

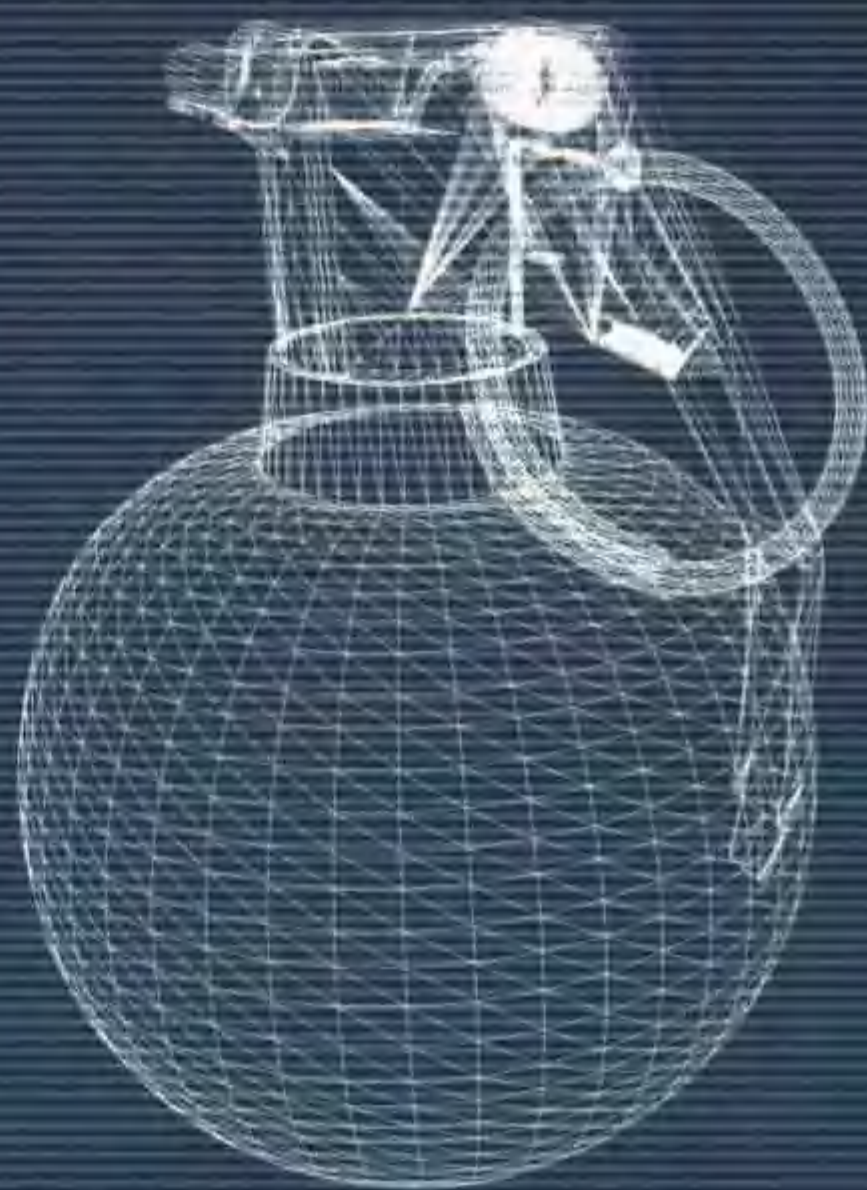
兵器科学与技术



国防科工委「十五」规划
教材

弹药学

● 王志军 尹建平 主编



北京理工大学出版社

北京航空航天大学出版社

哈尔滨工业大学出版社

西北工业大学出版社

哈尔滨工程大学出版社



国防科工委“十五”规划教材·兵器科学与技术

弹 药 学

王志军 尹建平 主编

北京理工大学出版社

北京航空航天大学出版社 西北工业大学出版社
哈尔滨工业大学出版社 哈尔滨工程大学出版社

内容简介

本书是按照国防科工委重点教材建设计划而编写的, 全书共分 15 章, 主要内容包括: 弹药及其发展, 目标类型及其特性, 弹药的组成分类及作用, 弹药的研究设计与制造验收, 弹药的相关基础知识, 以及榴弹、穿甲弹、破甲弹、碎甲弹、子母弹、特种弹、迫击炮弹、火箭弹、灵巧弹药、防空反导弹药、燃料空气弹药、软杀伤弹药和航空炸弹等弹药的结构特点与作用原理。

本书可作为高等院校弹药工程与爆炸技术专业的本科生教材, 也可作为相关专业教材或教学参考书, 还可供有关的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

弹药学/王志军, 尹建平主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2005. 5

国防科工委“十五”规划教材. 兵器科学与技术

ISBN 7-5640-0443-6

I. 弹… II. ①王…②尹… III. 弹药-理论-高等学校-教材
IV. TJ41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 008131 号

弹 药 学

王志军, 尹建平 主编

责任编辑 董双洪

责任校对 陈玉梅

北京理工大学出版社出版发行

北京市海淀区中关村南大街 5 号 (100081)

电话: 010-68914775 (办公室) 68944990 (发行部)

<http://www.bitpress.com.cn>

E-mail: chiefedit@bitpress.com.cn

北京圣瑞伦印刷厂印制 各地新华书店经销

开本: 787×960 1/16

印张: 26.25 字数: 527 千字

2005 年 5 月第 1 版 2005 年 5 月第 1 次印刷

印数: 3000 册.

ISBN 7-5640-0443-6 定价: 41.50 元

国防科工委“十五”规划教材编委会

(按姓氏笔画排序)

主 任：张华祝

副主任：王泽山 陈懋章 屠森林

编 委：王 祁 王文生 王泽山 田 蔚 史仪凯
乔少杰 仲顺安 张华祝 张近乐 张耀春
杨志宏 肖锦清 苏秀华 辛玖林 陈光禔
陈国平 陈懋章 庞思勤 武博祎 金鸿章
贺安之 夏人伟 徐德民 聂 宏 贾宝山
郭黎利 屠森林 崔锐捷 黄文良 葛小春



总 序

国防科技工业是国家战略性产业,是国防现代化的重要工业和技术基础,也是国民经济发展和科学技术现代化的重要推动力量。半个多世纪以来,在党中央、国务院的正确领导和亲切关怀下,国防科技工业广大干部职工在知识的传承、科技的攀登与时代的洗礼中,取得了举世瞩目的辉煌成就。研制、生产了大量武器装备,满足了我军由单一陆军,发展成为包括空军、海军、第二炮兵和其他技术兵种在内的合成军队的需要,特别是在尖端技术方面,成功地掌握了原子弹、氢弹、洲际导弹、人造卫星和核潜艇技术,使我军拥有了一批克敌制胜的高技术武器装备,使我国成为世界上少数几个独立掌握核技术和外层空间技术的国家之一。国防科技工业沿着独立自主、自力更生的发展道路,建立了专业门类基本齐全,科研、试验、生产手段基本配套的国防科技工业体系,奠定了进行国防现代化建设最重要的物质基础;掌握了大量新技术、新工艺,研制了许多新设备、新材料,以“两弹一星”、“神舟”号载人航天为代表的国防尖端技术,大大提高了国家的科技水平和竞争力,使中国在世界高科技领域占有了一席之地。十一届三中全会以来,伴随着改革开放的伟大实践,国防科技工业适时地实行战略转移,大量军工技术转向民用,为发展国民经济作出了重要贡献。

国防科技工业是知识密集型产业,国防科技工业发展中的一切问题归根到底都是人才问题。50多年来,国防科技工业培养和造就了一支以“两弹一星”元勋为代表的优秀的科技人才队伍,他们具有强烈的爱国主义思想和艰苦奋斗、无私奉献的精神,勇挑重担,敢于攻关,为攀登国防科技高峰进行了创造性劳动,成为推动我国科技进步的重要力量。面向新世纪的机遇与挑战,高等院校在培养国防科技人才,生产和传播国防科技新知识、新思想,攻克国防基础科研和高技术研究难题当中,具有不可替代的作用。国防科工委高度重视,积极探索,锐意改革,大力推进国防科技教育特别是高等教育事业的发展。

高等院校国防特色专业教材及专著是国防科技人才培养当中重要的知识载体和教学工具,但受种种客观因素的影响,现有的教材与专著整体上已落后于当



今国防科技的发展水平,不适应国防现代化的形势要求,对国防科技高层次人才的培养造成了相当不利的影响。为尽快改变这种状况,建立起质量上乘、品种齐全、特点突出、适应当代国防科技发展的国防特色专业教材体系,国防科工委全额资助编写、出版 200 种国防特色专业重点教材和专著。为保证教材及专著的质量,在广泛动员全国相关专业领域的专家学者竞投编著工作的基础上,以陈懋章、王泽山、陈一坚院士为代表的 100 多位专家、学者,对经各单位精选的近 550 种教材和专著进行了严格的评审,评选出近 200 种教材和学术专著,覆盖航空宇航科学与技术、控制科学与工程、仪器科学与工程、信息与通信技术、电子科学与技术、力学、材料科学与工程、机械工程、电气工程、兵器科学与技术、船舶与海洋工程、动力机械及工程热物理、光学工程、化学工程与技术、核科学与技术等学科领域。一批长期从事国防特色学科教学和科研工作的两院院士、资深专家和一线教师成为编著者,他们分别来自清华大学、北京航空航天大学、北京理工大学、华北工学院、沈阳航空工业学院、哈尔滨工业大学、哈尔滨工程大学、上海交通大学、南京航空航天大学、南京理工大学、苏州大学、华东船舶工业学院、东华理工学院、电子科技大学、西南交通大学、西北工业大学、西安交通大学等,具有较为广泛的代表性。在全面振兴国防科技工业的伟大事业中,国防特色专业重点教材和专著的出版,将为国防科技创新人才的培养起到积极的促进作用。

党的十六大提出,进入 21 世纪,我国进入了全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化新的发展阶段。全面建设小康社会的宏伟目标,对国防科技工业发展提出了新的更高的要求。推动经济与社会发展,提升国防实力,需要造就宏大的人才队伍,而教育是奠基的柱石。全面振兴国防科技工业必须始终把发展作为第一要务,落实科教兴国和人才强国战略,推动国防科技工业走新型工业化道路,加快国防科技工业科技创新步伐。国防科技工业为有志青年展示才华,实现志向,提供了缤纷的舞台,希望广大青年学子刻苦学习科学文化知识,树立正确的世界观、人生观、价值观,努力担当起振兴国防科技工业、振兴中华的历史重任,创造出无愧于祖国和人民的业绩。祖国的未来无限美好,国防科技工业的明天将再创辉煌。

张华祝



前言

在常规兵器的发展过程中,弹药的发展成为兵器发展的先导和关键。其原因一方面在于毁伤目标最终要靠弹药,另一方面在于战争中弹药的消耗是一次性的,使用数量极大,这就要求弹药既要性能好,又要经济,还要能长期储备。实践证明,完善和发展弹药技术是提高现有武器系统效能行之有效的、经济节约的途径。

20世纪80年代以来,世界发达国家在微电子技术、信息技术、材料技术、人工智能技术等重要技术领域展开了激烈的竞争,使得常规弹药经历了较大的发展变化,特别是在新技术、新原理、新材料的推动下,常规弹药正在向着高精度、远射程、大威力、多功能、灵巧化和智能化的方向发展,出现了一系列在作用原理、结构、功能和使用效能上与常规弹药相区别的新型弹药,如末敏弹、弹道修正弹、智能地雷、碳纤维弹、声光弹药、微波弹、激光弹等。这些新概念弹药的发展体现了战争从数量对抗到质量对抗的趋势,使得弹药技术出现了质的飞跃。

弹药学是一门研究各种弹药结构特点与作用原理的具有工程应用背景的学科。为有利于开展教学和方便有关技术人员自学,本书第1章绪论介绍了弹药及其发展、目标类型及其特性、弹药的组成分类及作用、弹药的研究设计与制造验收等内容;第2章介绍了内弹道与外弹道、火药与炸药、药筒与发射装药、火炮和引信等相关基础知识;从第3章到第15章分别介绍了榴弹、穿甲弹、破甲弹、碎甲弹、子母弹、特种弹、迫击炮弹、火箭弹、灵巧弹药、防空反导弹药、燃料空气弹药、软杀伤弹药和航空炸弹等弹药的结构与作用原理。因此,本书可作为弹药工程与爆炸技术及相关专业的教学用书,也可作为相关学科专业技术人员的参考书。

本书是国防科工委教材建设计划重点教材之一,由王志军、尹建平主编,吴国东、罗建国副主编。其中第1.1节、第5、6、10、12章由王志军编写,第1章其余部分和第2、3、4、11章及附录由尹建平编写,第8、13、14、15章由吴国东编写,第7、9章由罗建国编写,全书由王志军统稿。本书初稿由国防科工委重点教材建设计划申请受理办公室聘请有关专家进行了匿名评审,提出了许多宝贵的修改意见和建议,为提高本书的质量做出了重要贡献。在此我们对评审专家表示衷心的感谢。



本书在编写过程中得到了各级领导的关心和支持,并得到了北京理工大学出版社、中北大学教材科的大力帮助,在此一并表示感谢。

由于作者知识水平有限,书中一定会有不少错误和不足之处,敬请读者批评指正。

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 弹药及其发展	(1)
1.2 目标类型及其特性	(5)
1.3 弹药组成及其分类	(7)
1.4 弹药的作用	(16)
1.5 对弹药的要求	(20)
1.6 弹药的研究与设计	(25)
1.7 弹药的制造与验收	(30)
第 2 章 相关基础知识	(38)
2.1 内弹道与外弹道	(38)
2.2 火药与炸药	(46)
2.3 药筒与发射装药	(57)
2.4 火炮	(74)
2.5 引信	(84)
第 3 章 榴弹	(100)
3.1 概述	(100)
3.2 普通榴弹	(105)
3.3 远射程榴弹	(127)
3.4 枪榴弹	(136)
3.5 榴弹的发展趋势	(142)
第 4 章 穿甲弹	(145)
4.1 概述	(145)
4.2 普通穿甲弹	(154)
4.3 次口径超速普通穿甲弹	(158)
4.4 超速脱壳穿甲弹	(159)
4.5 贫铀弹	(167)
4.6 穿甲弹的发展趋势	(173)
第 5 章 破甲弹	(175)
5.1 破甲弹作用原理	(175)
5.2 影响破甲威力的因素	(180)
5.3 成型装药破甲弹的结构	(188)



5.4	爆炸成型弹丸·····	(197)
5.5	多爆炸成型弹丸·····	(203)
第6章	碎甲弹 ·····	(206)
6.1	概述·····	(206)
6.2	碎甲作用原理·····	(207)
6.3	碎甲弹的结构特点·····	(210)
6.4	影响碎甲威力的主要因素·····	(211)
第7章	子母弹 ·····	(214)
7.1	概述·····	(214)
7.2	子母弹的结构与作用·····	(219)
7.3	杀伤子母弹·····	(222)
7.4	反装甲子母弹·····	(224)
7.5	反装甲杀伤子母弹·····	(225)
第8章	特种弹 ·····	(228)
8.1	概述·····	(228)
8.2	烟幕弹·····	(228)
8.3	燃烧弹·····	(233)
8.4	照明弹·····	(237)
第9章	迫击炮弹 ·····	(246)
9.1	概述·····	(246)
9.2	迫击炮弹的组成与特点·····	(247)
9.3	迫击炮弹的结构与作用·····	(251)
9.4	迫击炮弹发射装药的构成·····	(255)
第10章	火箭弹 ·····	(258)
10.1	概述·····	(258)
10.2	尾翼式火箭弹·····	(263)
10.3	涡轮式火箭弹·····	(268)
10.4	反坦克火箭弹·····	(270)
10.5	航空火箭弹·····	(272)
10.6	火箭弹的散布问题·····	(274)
第11章	灵巧弹药 ·····	(277)
11.1	末敏弹·····	(277)
11.2	末制导炮弹·····	(285)
11.3	弹道修正弹·····	(294)
11.4	智能地雷·····	(300)
第12章	防空反导弹药 ·····	(309)
12.1	概述·····	(309)



12.2	小口径高炮弹药	(311)
12.3	防空导弹战斗部	(318)
第 13 章	燃料空气弹药	(334)
13.1	概述	(334)
13.2	云爆弹	(338)
13.3	温压弹	(341)
第 14 章	软杀伤弹药	(347)
14.1	概述	(347)
14.2	针对有生力量的软杀伤弹药	(347)
14.3	针对装备的软杀伤弹药	(351)
14.4	针对人员和装备的软杀伤弹药	(360)
第 15 章	航空炸弹	(366)
15.1	概述	(366)
15.2	普通航空炸弹	(375)
15.3	制导航空炸弹	(385)
习 题		(393)
附录 常用词汇表		(398)
参考文献		(405)

第 1 章 绪 论

1.1 弹药及其发展

1.1.1 弹药的定义

武器是直接用于杀伤敌方有生力量和破坏敌方作战设施的器械、装置。制造和使用武器的目的就是最大限度地削弱敌人的战斗力，以至最后消灭敌人。在现代战争中，达到这一目的的主要手段就是弹药。弹药是武器系统的核心，是借助武器（或其他运载工具）发射或投掷到目标区域，完成既定战斗任务的终极手段。那么，什么是弹药呢？

“弹药”一词最早来自法语“munition de guerre”，意思是战争之需。现代弹药既用于军事，也可民用，本书主要介绍军事上的弹药。

弹药，一般指有壳体，装有火药、炸药或其他装填物，能对目标起毁伤作用或完成其他任务的军械物品。它包括枪弹、炮弹、手榴弹、枪榴弹、航空炸弹、火箭弹、导弹、鱼雷、深水炸弹、水雷、地雷、爆破器材等。用于非军事目的的礼炮弹、警用弹以及采掘、狩猎、射击运动的用弹，也属于弹药的范畴。

1.1.2 弹药的发展

1. 弹药的发展历史

兵器的发展经历了冷兵器时代和热兵器时代。在冷兵器的发展过程中，古时用于防身或进攻的投石、弹子、箭等可以算是射弹的最早形式。它们利用人力、畜力、机械动力投射，利用本身的动能击打目标。黑火药的发明可以认为是热兵器时代的开始，也就是一般意义上弹药发展的开始。

黑火药是我国在公元 9 世纪初发明的。10 世纪开始用于军事，作为武器中的传火药、发射药及燃烧、爆炸装药，在弹药的发展史上起着划时代的作用。黑火药最初以药包形式置于箭头被射出，或从抛石机抛出。13 世纪，中国创造了可以发射“子窠”的竹制“突火枪”，被认为是管式发射武器的鼻祖，“子窠”可以说是最原始的了弹。随后有了铜或铁制的管式火器，用黑火药作为发射药。黑火药和火器技术于 13 世纪经阿拉伯传至欧洲。早期的火器是滑膛的，发射的弹丸主要是石块、铁块、箭，以后普遍采用了石质或铸铁的实心球形弹，从膛口装填，依靠发射时获得的动能毁伤目标。16 世纪初出现了口袋式铜丸和铁丸的群子



弹，对集群的人员、马匹的杀伤能力大大提高。16 世纪中叶出现了一种爆炸弹，由内装黑火药的空心铸铁球和一个带黑火药的信管构成。17 世纪出现了铁壳群子弹，17 世纪中叶发现并制得雷汞。

19 世纪末至 20 世纪初先后发明了无烟火药和硝化棉、苦味酸、梯恩梯等猛炸药并应用于军事，是弹药发展史上的一个里程碑。无烟火药使火炮的射程几乎增加 1 倍，猛炸药替代黑火药使弹丸的爆炸威力大大提高。第一次世界大战期间，深水炸弹开始用于反潜作战，化学弹药也开始用于战场。随着飞机、坦克投入战斗，航空弹药和反坦克弹药得到发展。第二次世界大战期间，各种火炮的弹药迅速发展，出现了反坦克威力更强的次口径高速穿甲弹和基于聚能效应的破甲弹。航弹品种增加，除了爆破杀伤弹外，还有反坦克炸弹、燃烧弹、照明弹等。反步兵地雷、反坦克地雷以及鱼雷、水雷的性能得到提高，分别在陆战、海战中大量使用。二战后期，制导弹药开始用于战争。除了德国的 V-1 飞航式导弹和 V-2 弹道式导弹以外，德国、英国和美国还研制并使用了声自导鱼雷、无线电制导炸弹。但是，当时的制导系统比较简单，命中精度也较低。

二战结束后，电子技术、光电子技术、火箭技术和新材料等高新技术的发展，成为弹药发展的强大推动力。制导弹药，特别是 20 世纪 70 年代以来各种精确制导弹药的迅速发展和在局部战争中的成功应用，是这个时期弹药发展的一个显著特点。精确制导弹药除了有命中精度很高的各种导弹外，还有制导炸弹、制导炮弹、制导子弹药和有制导的地雷、鱼雷、水雷等。与此同时，弹药射程和威力性能也获得了长足进步。火炮弹药广泛采用增程技术，出现了火箭增程弹、冲压发动机增程弹、底凹弹和底部排气弹等增程炮弹。液体发射药、模块化（刚性组合）装药的研制取得重要进展，已经接近实用水平。随着坦克装甲防护能力的不断提高，研制成功了侵彻能力更强的长杆式次口径尾翼稳定脱壳穿甲弹，以及能对付反应装甲的串联式聚能装药破甲弹。除了传统的钨合金弹芯穿甲弹外，新发展了贯穿能力更强的贫铀弹芯穿甲弹。为了满足轰炸不同类型目标的需要，发展了集束炸弹、反跑道炸弹、燃料空气炸弹、石墨炸弹、钻地弹等新型航弹。为了适应高速飞机外挂和低空投弹的需要，在炸弹外形和投弹方式上都作了改进，出现了低阻炸弹和减速炸弹。火箭弹品种大量增多，除了地面炮兵火箭弹以外，还发展了航空火箭弹、舰载火箭弹、单兵反坦克火箭弹以及火箭布雷弹、火箭扫雷弹等。

2. 弹药的发展趋势

从近年来发生的海湾战争、科索沃战争、伊拉克战争中可以看出，现代战争具有下述主要特点：

（1）信息制胜

信息技术是现代战争取得胜利的关键，左右着战争的发展进程，战场信息化、数字化成为现代战争的主要特征之一。

（2）距离优势



现代战争的作战距离越来越大, 已经没有传统战场前后方的概念。拥有防区外远程压制武器将提高己方部队的作战灵活性, 能够做到保护自己消灭敌人, 赢得战争的主动权。

(3) 技术对抗

战场成为了交战国家高新技术武器弹药的试验场, 现代战争中各种新概念高新技术武器不断出现, 性能不断提高, 谁拥有高新技术武器, 谁就掌握了战争的主动权。

(4) 目标变化

现代战争的作战理论和作战方式发生了根本性的变化, 所打击的目标也随之发生了改变, 在战场上除了坦克、装甲车辆、掩体等传统目标外, 还出现了各类巡航导弹、武装直升机、新型钢筋混凝土防护目标、各类主被动防护坦克、C⁴ISR 系统以及洞穴等具有新型易损特性的目标。

由上述特点可以知道, 为了适应现代战争的需要, 作为最终完成对各类目标毁伤功能的弹药必须具有下述能力:

(1) 精确打击能力

在现代战争中, 为减少不必要的附加损伤, 要求弹药具有精确的点目标打击能力, 弹药制导化、可控化成为弹药技术的必然发展方向。随着科学技术的发展, 弹药技术发生了质的变化, 正朝着灵巧化、智能化的方向发展, 出现了末敏弹、弹道修正弹、智能雷等新型弹药。末敏弹是一种由火炮发射, 集先进的敏感器技术和爆炸成型弹丸技术于一体, 用于对付坦克、自行火炮和步兵战斗等装甲目标的新型灵巧弹药。如美国的萨达姆 (SADARM) 末敏弹、德国的灵巧 (SMART) 末敏弹等, 它实现了“发射后不用管”的目标, 是弹药技术领域的一次飞跃。

弹道修正弹是一种有别于制导弹药的简易控制弹, 依靠弹上的接收装置来获得弹道信息, 通过处理后由修正装置来有限次修正弹药的弹道, 从而达到提高射击精度的目的。如美国的 XM982 式 155 mm 复合增程弹道修正弹, 集弹道修正技术和火箭底排复合增程技术于一体, 在 40 km 处的圆概率误差可小于 20 m。

(2) 远程压制能力

战争实践表明, 拥有远程压制能力的一方可使己方在敌方火力圈之外打击敌方目标, 掌握战争主动。因此, 提高弹药射程始终是对弹药发展的要求之一, 也是弹药技术发展的一个主要方向。火箭推进、底部排气、滑翔增程以及复合增程技术是提高弹药射程的基本手段。

美国、法国、俄罗斯、南非等国都研制了火箭增程弹、底排增程以及底排与火箭复合增程弹, 可以在敌方火炮系统射程之外较好地压制敌方火力, 获得战争的主动权。如南非 VLAP 增速远程炮弹, 采用火箭和底排复合增程技术, 由 155 mm/52 倍口径火炮发射时, 射程可达 52.5 km。

(3) 高效毁伤能力



现代战争要求弹药能够有效对付地面设施、装甲车辆等目标，也要求能够有效对付武装直升机、巡航导弹以及各类高价值地下目标。同时，由于弹药是在战争中大量消耗的装备，作战效能高的弹药可以大大降低作战成本。因此，现代战争要求弹药具有对各类目标的多功能高效毁伤能力，可以根据不同的目标进行不同类型的毁伤，以适应现代战争的特点。

提高弹药的高效毁伤能力，除提高装药性能外，研制新型多功能子母弹药已成为弹药技术领域重点发展的关键技术之一。在子母弹的发展中，某些国家强调在子弹药威力性能足够的前提下，通过数量的增加来提高子母弹的面毁伤能力；而某些国家则在面毁伤前提下更注重单枚子弹药的威力。如美国 M864 子母弹携带 108 枚 XM80 子弹药，其 XM80 子弹药破甲威力约 52 mm；而德国 DM652 子母弹仅携带 49 枚子弹药，但其子弹药破甲威力达 100 mm，远高于 XM80 子弹药。目前子母弹技术将与精确制导技术、增程技术等结合起来，共同实现对目标的高效毁伤。

（4）信息钳制能力

在现代战争中，要想实现对战场态势的快速响应，就要求弹药必须具有快速获取战场信息并迅速反馈的能力，同时还必须具有对敌方获取信息能力的阻断和反制能力。因此，研制具有战场态势获取控制能力的弹药，也是目前弹药技术的一个新的发展方向。

目前，世界各国已经开始研制具有战场信息感知获取甚至兼具攻击能力的信息化弹药。如美国的 155 mm XM185 电视侦察炮弹，利用弹丸向前飞行和旋转，使弹载传感器的视场作动态变化，对飞越的区域进行扫描，实施侦察并发现目标。而战场评估炮弹也是一种新型的评估目标毁伤情况的信息化炮弹，当它被发射到目标区域上空时，炮弹内部装载的微型电视摄像机可将目标被毁情况通过传送系统发送回指挥所，对目标毁伤情况进行评估。如美国 155 mm 目标识别与毁伤评估炮弹作用距离 60 km，悬浮时间 5 min 以上。

综上所述，随着科学技术的发展，弹药技术将向着精确打击、智能化、远程与高效毁伤多功能的方向发展，其具体的发展方向可以归结为：采用高破片率钢材制作弹体或装填重金属、可燃金属的预制、半预制破片，提高战斗部的杀伤威力；发展智能引信，实现最佳引信与战斗部配合，提高战斗部对目标的作用效率；研制复合作用战斗部，增加单发弹药的多用途功能；发展集束式、子母式和多弹头战斗部，提高弹药打击集群目标和多个目标的能力；在航空弹药和炮弹上加装简易的末段制导或末段敏感装置，提高弹药对点目标的命中精度；发展各类特种弹药，执行军事侦察、战场监视（听）及通信干扰等任务，适应未来全方位作战需要；采用高能发射药、改善弹药外形，或探索简易增程途径，增大弹药射程。此外，在弹药部件结构上，还应实现通用化、标准化、组合化，简化生产及勤务管理。



1.2 目标类型及其特性

1.2.1 目标的分类

一种弹药的选择和设计，总是应该首先考虑武器的战术用途和它所要对付的目标。不同的目标，应当采用不同的方法去对付，这里既包含弹种的选择问题，也包含毁伤机理的选择问题。因而在这一节里，首先从目标谈起。

从不同的观点出发，对目标分类可以有不同的方法。按照目标所在位置，可以把目标分为空中目标、地（水）面目标和地（水）下目标；按照目标的范围，可以把目标分为点目标和面目标，进而按照目标的防御能力再把它们分为“软”目标和“硬”目标；按照目标运动情况，可以分为固定目标和运动目标。

点目标，通常是指一个目标单元占据一个位置的目标。这类目标是根据这样的假设确定的：用目标的大小同武器与目标之间的距离相比，或者与战斗部的有效毁伤半径相比，目标显得比较小。敌方的一辆坦克，是点目标的一个例子，而一座桥梁也可能是一个“点”目标。

面目标，是指那些要求杀伤和破坏效果遍及某一区域的目标，这种目标是二维的。或者说，面目标是分布在一个区域内的一批不同类型的目标单元，如部队集结区、防御工事地带、工业区和各种基地等。

尚须指出，点目标和面目标的概念是相对的，它们的区别还取决于在给定区域内目标单元的数目和它们的配置。同一目标，对某一个武器系统可以划为点目标，而对另一个武器系统则可定为面目标。

至于目标的“软”、“硬”之分，主要是从目标的防护能力来区别的，诸如人员、卡车、吉普车、建筑物、布雷区和飞机等，由于其防护能力较弱，故称为软目标；而坦克、装甲车、舰船、潜艇、水坝和飞机跑道等，由于其防护能力较强，故称为硬目标。

1.2.2 目标的特性

一般来说，未来战场上弹药对付的主要目标包括空中目标、地面目标和海上目标三大类。

1. 空中目标特性

现代战争中，主要对付的空中目标包括固定翼军用飞机、旋转翼军用飞机和精确制导弹药等，其基本特征为：

① 空间特征：空中目标是点目标，其入侵高度和作战高度从几米到几十千米，作战空域大；

② 运动特征：空中目标的运动速度高、机动性好；



③ 易损性特征：空中目标一般没有特殊的装甲防护，某些军用飞机驾驶舱的装甲防护约 12 mm 左右，武装直升机在驾驶舱、发动机、油箱、仪器舱等要害部位有一定的装甲防护；

④ 空中目标区域环境特征：采用低空或超低空飞行，即掠海、掠地飞行，利用雷达的盲区或海杂波、地杂波的影响，降低敌方对目标的发现概率；

⑤ 空中目标对抗特征：为了提高空中武器系统的生存能力，采取一些对抗措施。如电子对抗、红外对抗、隐身对抗、烟火欺骗、金属箔条欺骗等。

2. 地面目标特性

地面目标主要包括地面机动目标和地面固定目标。地面机动目标包括坦克、自行火炮、轻型装甲车辆及有生力量等，属于点目标或群目标。地面固定目标大多是建筑物、永备工事、掩蔽部、野战工事、机场、桥梁、港口等，其基本特征为：

① 位置特征：地面固定目标不像空中目标、海上目标或地面活动目标那样具有一定的运动速度和机动性，地面固定目标有确定的空间位置；

② 集群特征：地面固定目标一般为集结的地面目标；

③ 防护特征：对纵深的战略目标都有防空部队和地面部队防护；

④ 易损性特征：对于为军事目的修建的建筑和设施，都有较好的防护，采用钢筋混凝土或钢板制成，并有覆盖层，抗弹能力强；

⑤ 隐蔽性特征：地面固定目标一般采用消极防护，例如隐蔽、伪装等措施。

3. 海上目标特性

海上目标主要指的是海面上的各种作战舰艇、各种运输补给工具以及水下潜艇等，其基本特征为：

① 空间特征：海上目标属于点目标，舰艇再大，相对于海洋，相对于舰载武器的射程而言很小，加之海洋航行之间保持一定距离，故属于点目标；

② 防护特征：舰艇具有较强的防护能力，包括间接防护和直接防护两种能力，直接防护系指被来袭反舰武器命中后如何不受损失和少受损失，间接防护系指如何防止被来袭的反舰武器命中；

③ 火力特征：海上目标具有较强的火力装备，在各种舰艇上装备有导弹、火炮、鱼雷、作战飞机等现代化的武器进行全方位的进攻和自卫；

④ 运动特征：海上目标具有很强的机动性能，如目前大量应用的轻装甲、高速度、导弹化的护卫舰、驱逐舰等；

⑤ 易损性特征：海上目标具有较大的易损要害部位，如舰载燃油、弹药、电子设备、武器系统等。



1.3 弹药组成及其分类

1.3.1 弹药的组成

弹药的结构应能满足发射性能、运动性能、终点效应、安全性和可靠性等诸方面的综合要求,通常由战斗部、投射部和稳定部等部分组成。制导弹药还有制导部分,用以导引或控制弹药进入目标区,或自动跟踪运动目标,直至最终击中目标。

1. 战斗部

战斗部是弹药毁伤目标或完成既定终点效应的部分,某些弹药仅由战斗部单独构成,如地雷、水雷、航空炸弹、手榴弹等。典型的战斗部由壳体(弹体)、装填物和引信组成。壳体用来容纳装填物并连接引信,在某些弹药中又是形成破片的基体;装填物是毁伤目标的能源物质或战剂,常用的装填物有炸药、烟火药、预制或控制成型的杀伤穿甲元件等,还有生物战剂、化学战剂和核装药,通过装填物的自身反应或其特性,产生力学、热、声、光、化学、生物、电磁、核等效应来毁伤目标;引信是为了使战斗部产生最佳终点效应,而适时引爆、引燃或抛撒装填物的控制装置,常用的引信有触发引信、近炸引信、定时引信等,有的弹药配用多种引信或多种功能的引信系统。

根据对目标作用和战术技术要求的不同,可分为几种不同类型的战斗部,其结构和作用机理呈现各自的特点。爆破战斗部,壳体相对较薄,内装大量高能炸药,主要利用爆炸的直接作用或爆炸冲击波毁伤各类地面、水中和空中目标;杀伤战斗部,壳体厚度适中(有时壳体刻有槽纹),内装炸药及其他杀伤元件,通过爆炸后形成的高速破片来杀伤有生力量,毁伤车辆、飞机或其他轻型技术装备;动能穿甲战斗部,弹体为实心或装少量炸药,强度高、断面密度大,以动能击穿各类装甲目标;破甲战斗部,为聚能装药结构,利用聚能效应产生高速金属射流或爆炸成型弹丸,用以毁伤各类装甲目标;特种战斗部,壳体较薄,内装发烟剂、照明剂、宣传品等,以达到特定的目的;子母战斗部,母弹体内装有抛射系统和子弹等,到达目标区后抛出子弹,毁伤较大面积上的目标。

2. 投射部

投射部是提供投射动力的装置,使战斗部具有一定速度射向预定目标。射击式弹药的投射部由发射药、药筒或药包、辅助元件等组成,并由底火、点火药、基本发射药组成传火序列,保证发火的瞬时、一致及可靠。弹药发射后,投射部的残留部分从武器中退出,不随弹丸飞行。火箭弹、鱼雷、导弹等自推式弹药的投射部,由装有推进剂的发动机形成独立的推进系统,发射后伴随战斗部飞行。

3. 稳定部

稳定部是保证战斗部稳定飞行,以正确姿态击中目标的部分。典型的稳定部结构有使



战斗部高速旋转的弹带（导带）或涡轮装置，有使战斗部空气阻力中心移于质心之后的尾翼装置以及两种装置的组合形式。

1.3.2 火炮弹药的组成

火炮弹药也即炮弹，是供火炮发射的弹药，依靠炮膛内火药燃气压力推动弹丸而获得初速。炮弹是火炮系统完成战斗任务的核心部分，它的发展和改进直接提高火炮系统的威力、射程和精度，并有效地增加了火炮系统的作战功能。炮弹广泛配用于地炮、高炮、航炮、舰炮、坦克炮等武器，毁伤各种目标完成各种战斗任务。

炮弹由弹丸和发射装药两部分组成（如图 1.1）。

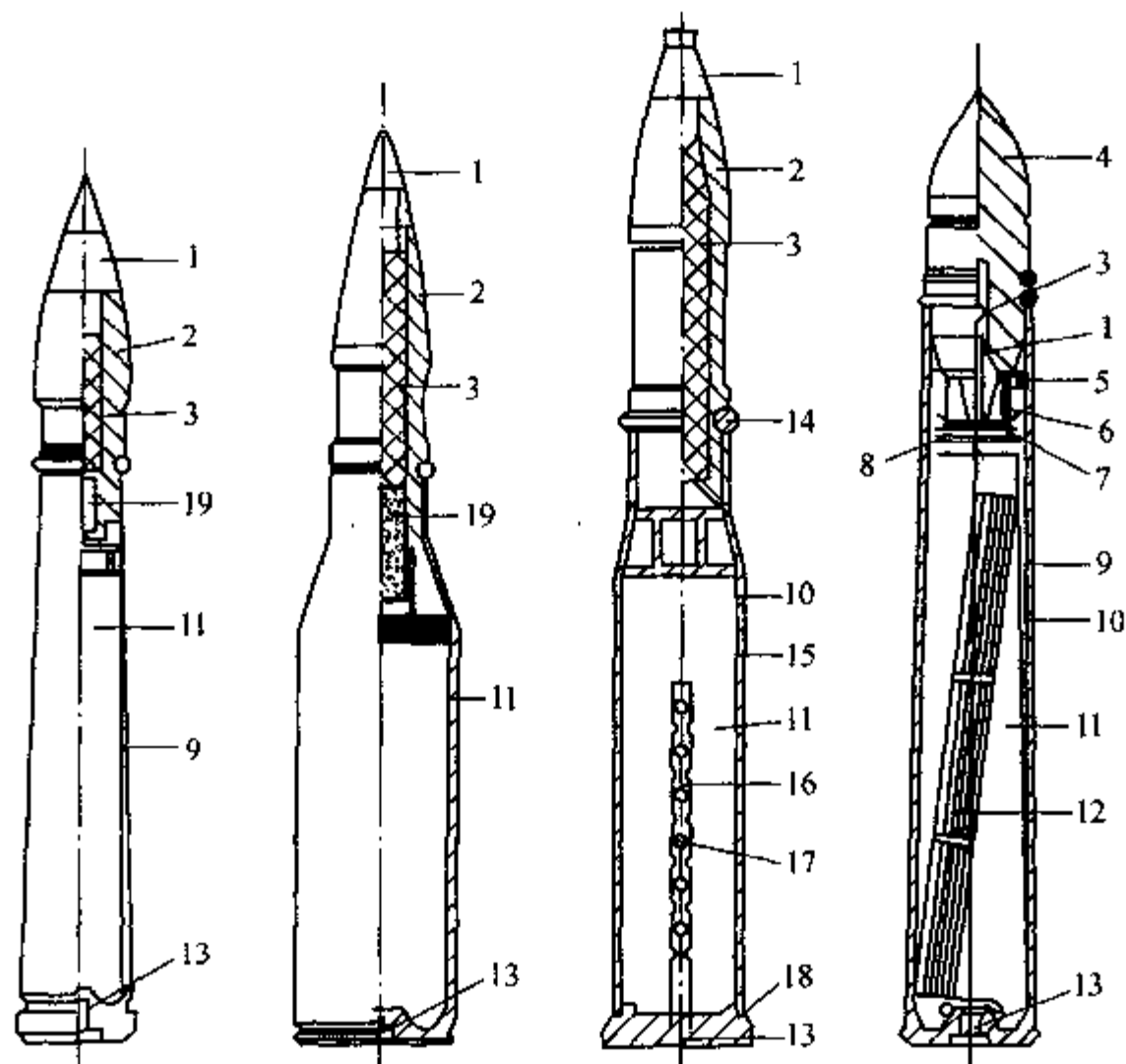


图 1.1 炮弹的组成

- 1—引信；2—弹体；3—炸药；4—弹头；5—紧塞盖；6—纸筒；7—纸垫；8—除铜剂；9—护膛剂；
10—药筒；11—粒状发射药；12—管状发射药；13—底火；14—弹带；15—衬纸；
16—传火管；17—传火药；18—底座；19—曳光管

1. 弹丸

弹丸通常由引信、弹体（壳体）和装填物等组成，用以杀伤有生力量和摧毁目标，或完



成其他战斗任务。

(1) 引信

引信是利用目标信息和环境信息，在预定条件下引爆或引燃弹药战斗部装药的控制装置（系统），根据不同炮弹弹种和对付目标的需要选择不同的引信。

(2) 弹体

弹体是容纳弹丸装填物并连接炮弹各零部件的壳体，分为弹头部、圆柱部、弹尾部等，圆柱部的两端有定心部、弹带（导带）与闭气环。

弹头部是弹顶以下的弧形、台锥或两者结合的弹丸部分，为不同形状母线的回转体，母线形状有直线、圆弧、抛物线或这些曲线的组合型等。在超音速下弹头部受到波动阻力作用，适当增加弹头部长度的，并使其尖锐，可减小波动阻力。

圆柱部是与弹头部相连接的圆柱形弹丸部分，通常为上定心部至弹带之间的位置，它的尺寸能影响膛内导引性能和弹丸的威力。

弹尾部是圆柱部以下的弹丸部分。通常由尾柱部和尾锥部结合组成，也称船尾部，弹尾部形状影响弹丸的底阻。为了与药筒牢固结合，一般定装式炮弹圆柱部上有车制的沟槽，以便弹丸与药筒牢固结合。

定心部分为上定心部和下定心部，它的作用是使弹丸在膛内正确定心，两个定心部表面可以承受膛壁反作用力。定心部与炮膛间有一很小间隙，以保证弹丸顺利装填和运动。下定心部一般都在弹带之前，保证弹丸装填时的弹带处于正确位置，并承受部分膛壁径向压力。

弹带是弹体上的金属或非金属的环形带。其作用是在弹丸发射时，嵌入膛线，赋予弹丸一定的转速，并密闭火药燃气。分装式炮弹在装填时，弹带还起定位作用。弹带材料应具有良好的强度和塑性，一般采用紫铜或镍铜。弹带的宽度是根据发射时强度要求而确定的，过宽的弹带会产生飞边，影响弹道性能，常采用两条较窄的弹带，或开环形沟槽。弹带的直径应大于火炮阴线的直径，其超出的尺寸称为弹带的强制量，强制量的大小应考虑到保证弹丸在膛内运动时，密闭火药燃气，避免火药燃气对炮膛的烧蚀，并防止弹带对弹体产生相对旋转，使弹丸出炮口有一定的转速。强制量也不能过大，否则会影响火炮的寿命和弹带处弹体的强度。

闭气环由尼龙或塑料等材料制成，装在弹带的后面，它的作用是补充弹带闭气作用的不足。闭气环的直径比弹带的直径大，这样在膛线起始部有磨损的情况下，仍能保证弹丸装填入膛的初始位置不变，使初速不致下降，延长火炮的寿命。某些尾翼弹也装有闭气环，它的作用是密闭高压火药燃气，以减小对炮膛的烧蚀及漏气带来的影响。闭气环应具有弹性，通常卡入弹体槽内，在弹丸出炮口后破碎，不会增大弹丸飞行阻力。

(3) 装填物

大部分炮弹的弹丸装填物是炸药。炸药的威力、猛度和装药结构应适合弹丸性能的要求，



如杀伤爆破弹一般选梯恩梯或 B 炸药；破甲弹一般选用以黑索今为主体的混合炸药、钝化黑索今或奥克托今炸药，并采用聚能装药结构；穿甲弹和小口径高射炮弹一般选用钝黑铝炸药（钝化黑索今加铝粉）；碎甲弹选用黑索今为主体的塑性炸药；迫击炮弹选用硝铵炸药或梯恩梯炸药等。炸药的装填方法根据炸药的性质和弹壳的结构，可选择螺旋压装、注装、压装和热塑态装药法等。核、化学、生物炮弹的弹丸装填物则为核装药、化学毒剂和生物战剂。

（4）其他零部件

除以上弹丸的基本组成部件，有些弹丸还有一些其他零部件和特殊结构。

头螺，当弹丸需要从弹头部抛出装填物（如霰弹、燃烧弹）以及破甲弹的聚能装药，常需使用头螺，头螺与弹体连接必须保证同轴性、密封性和结合强度。

底螺，是螺接的底缘。需要从底部抛出装填物（如照明弹、宣传弹）或需要从底部装填炸药（如穿甲弹、混凝土破坏弹）时，常需使用底螺。底螺与弹体必须结合牢固，密封可靠。为了可靠紧塞火药燃气，须在螺纹间隙中填满密封胶或油灰，并使用各种塑性金属（铜、铅）制成垫圈装在弹底和底螺之间。

底凹，是指弹丸底部有空腔的结构形式，采用底凹结构可使整个弹丸具有良好的空气动力外形并提高弹丸的飞行稳定性，增加射程。底凹结构有两种形式，一种是整体式，它与弹体为一整体，结构简单、强度好、与弹体同轴，但工艺性较差。一种是非整体式，底凹件与弹体尾部用螺纹连接，构成弹丸的船尾部，采用铝合金材料，使弹丸质心前移，提高弹丸的飞行稳定性，拆卸方便，必要时可改成底部排气弹。

排气装置，是提高弹底压力，减小弹丸底阻，增加射程的装置。一般由壳体、排气药柱、点火器组成。壳体构成弹丸的船尾部，其底部有排气孔，中间部分为燃烧室。排气药柱装在燃烧室内，一般用复合火药，做成多块扇形体，以增大起始燃烧面积，并用阻燃材料包覆药柱两端及外表面，使药柱呈减面燃烧。弹丸出炮口时，由于弹后压力迅速下降，排气药柱很容易熄灭，点火器的火焰则可继续点燃排气药柱，保证正常燃烧。

风帽，是装在弹丸前端用来改善弹形，减小空气阻力的零件。旋转稳定的弹丸采用风帽能提高其飞行稳定性。风帽用酸洗钢板或轻金属等制成，用滚压或螺纹与弹体连接。通常在次口径脱壳穿甲弹、钝头穿甲弹等弹种上使用。

弹托，是次口径弹在膛内承受火药燃气压力、支撑、带动、导引弹体在膛内正确运动的部件。弹托质量尽可能轻，以减少消极重量，并有足够的强度，在膛内保证支撑和正确导引弹丸运动，出炮口后，弹托应能与弹丸迅速分离，并对弹体不产生干扰。常用在脱壳穿甲弹、次口径远程弹等弹种上。

爆管，是内装炸药的管状部件，插入某些弹丸装填物（毒剂、黄磷等）中间，并借助爆管内炸药的爆炸能量，将弹体炸开，使其内装填物迅速弥散开来。主要用于化学弹和烟幕弹。爆管平时能密封装填物，为了防止爆管在弹丸发射时因离心力作用而产生振动和歪斜，要求爆管质量尽量轻、长度短，如需要长爆管时，则要做成与弹丸内腔等长，并将其下端固定在



弹底中心。

尾翼稳定装置，是保证弹丸飞行稳定的装置，分固定式尾翼和张开式尾翼两种。固定式尾翼的翼展多为适口径，常用于亚音速的迫击炮弹和某些破甲弹。张开式尾翼的翼展大于火炮口径，用于超音速弹丸上，尾翼在膛内呈合拢状态。弹丸出炮口后，可利用不同的结构和力使尾翼张开，有气缸张开式尾翼、涡流张开式尾翼、火药气体直接作用的张开式尾翼。由于低速旋转有利于提高射弹密集度，故常在尾翼片上做成斜面，使弹丸飞行时微旋。

杆形头部结构，用杆形头部代替一般弹丸的锥形头部，其气动力的特点是减小头部法向力，且杆形头部的台阶端面提供稳定力矩，这样就比一般弹丸更有利于稳定。杆形头部破甲弹常用适口径筒式尾翼稳定。

2. 发射装药

发射装药由发射药、药筒、底火、辅助元件组成。

(1) 发射药

发射药是具有一定形状和一定质量的火药，它放置在药筒中的一定位置上，发射时，火药被点燃，并迅速燃烧生成大量的高压火药气体，从而推动弹丸前进。发射药是发射弹丸的能源。

(2) 药筒

药筒用来连接弹丸、底火和盛装发射药，保护发射药不受潮湿和损坏。发射时，筒体膨胀与火炮药室贴紧以密闭火药燃气，发射后由抽筒和抛筒机构将药筒从药室中抽出和抛掉。

(3) 底火

底火受火炮机械的或电的作用发火，点燃发射药，产生膛压推动弹丸运动，由底火体、火帽、火帽座、发火砧、黑火药、压螺、闭气塞等元件组成，如图 1.2 所示。

(4) 辅助元件

发射装药的辅助元件有消焰剂、除铜剂、护膛剂、点火药、传火药、紧塞盖和防潮盖等。

消焰剂，通常采用硫酸钾等物质，将其装在药包中置于发射药的上面，其作用是将可燃气体的浓度冲淡，使其与空气接触的机会减小，并提高其发火点，减少出炮口后产生二次燃烧而形成的炮口焰和炮尾焰。

除铜剂，采用低熔点的铅锡合金制成，用以清除弹丸在膛内运动时弹带在膛壁上形成的积铜。

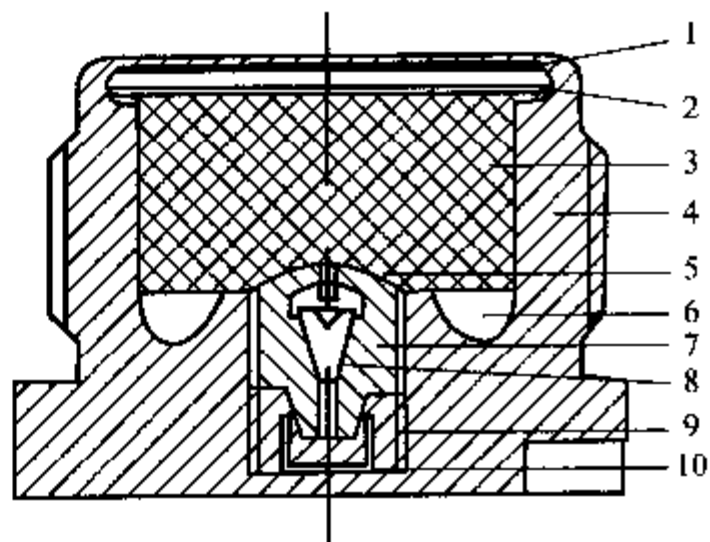


图 1.2 底火

1—盖片；2—垫片；3—黑火药；

4—底火体；5—纸片；6—粒状黑火药；

7—发火砧；8—锥形体；9—螺套；10—火帽



护膛剂，常用钝感衬纸等减轻火药燃气对炮膛的烧蚀，用来保护炮膛，提高火炮寿命，一般在初速较高的火炮上使用。

点火药，一般采用黑火药，放在底火上部，用以加强底火的火焰，保证瞬时点燃发射药。

传火药，通常采用黑火药装在有孔的传火管中，轴向置于装药的中间位置，或将传火药制成药包，置于发射药中间，以保证长药室火炮前后一致地点燃全部发射药。

紧塞盖，为硬纸制成，用以压紧发射药，使其在运输和操作中不致移动。变换发射药后仍需将紧塞盖装入药筒内并将发射药压紧，有利于发射药正常燃烧。

防潮盖，为硬纸板制成，用于药筒分装式炮弹中，从药筒口部压入，紧贴紧塞盖，并在防潮盖上涂密封油，用以保护发射药不受潮湿，须在装填火炮前取掉。

1.3.3 弹药的分类

目前，世界各国所装备和正在发展的各种弹药有数百种，为了便于研究、管理和使用，将它们进行必要的分类是很有意义的。弹药有多种分类方法，可从不同的角度分为不同的类别。

1. 按用途分类

主用弹药，用于直接毁伤各类目标的弹药，包括杀伤弹、爆破弹、杀伤爆破弹、穿甲弹、破甲弹、混凝土破坏弹、碎甲弹、子母弹和霰弹等；

特种弹药，用于完成某些特殊作战任务的弹药，如照明弹、燃烧弹、烟幕弹、信号弹、干扰弹、宣传弹、侦察弹和毁伤评估弹等；

辅助弹药，供靶场试验和部队训练等非作战使用的弹药，如训练弹、教练弹和试验弹等。

2. 按弹丸与药筒（药包）的装配关系分类

定装式弹药，弹丸和药筒结合为一个整体，射击时一齐装入膛内，因此发射速度快，容易实现装填自动化，弹药口径一般不大于 105 mm；

药筒分装式弹药，弹丸和药筒为分体，发射时先装弹丸、再装药筒，两次装填，因此发射速度较慢，但可以根据需要改变药筒内发射药的量，弹药口径通常大于 122 mm；

药包分装式弹药，弹丸、药包和点火器分 3 次装填，没有药筒，而是靠炮闩来密闭火药气体，一般是在岸炮、舰炮上采用，弹药口径大，但射速较慢。

3. 按发射的装填方式分类

后装式弹药，弹药从尾部装入膛内，关闭炮闩后发射；

前装式弹药，弹药从口部装入膛内发射。

4. 按口径分类

弹药按口径划分如表 1-1 所示。



表 1-1 弹药按口径划分的类别

类 别	地面炮/mm	高射炮/mm	舰载炮/mm
小口径弹药	20~70	20~60	20~100
中口径弹药	70~155	60~100	100~200
大口径弹药	>155	>100	>200

5. 按稳定方式分类

旋转稳定式弹药，依靠膛线或其他方式使弹丸高速旋转，按照陀螺稳定原理在飞行中保持稳定。

尾翼稳定式弹药，弹丸不旋转或低速旋转，依靠弹丸的尾翼使空气动力作用中心（压力中心）后移，一直移到弹丸质心之后的某一距离处，从而保持弹丸飞行稳定。迫击炮弹就是尾翼稳定的一个实例（如图 1.3）。

6. 按弹丸与火炮口径的关系分类

适于口径弹药，弹径与火炮口径相同；

次口径弹药，弹径小于火炮口径；

超口径弹药，弹径大于火炮口径。

7. 按配属的军种分类

按配属的军种分类可分为陆军弹药、海军弹药、空军弹药等。

8. 按投射方式分类

按投射方式分类，弹药可分为射击式弹药、自推式弹药、投掷式弹药和布设式弹药 4 种。

（1）射击式弹药

各类枪炮身管武器以火药燃气压力从膛管内发射的弹药，包括炮弹、枪弹等。榴弹发射器配用的弹药也属于射击式弹药。炮弹、枪弹具有初速大、射击精度高、经济性好等特点，是战场上应用最广泛的弹药，适用于各军兵种。

炮弹是指口径在 20 mm 以上，利用火炮将其发射出去，完成杀伤、爆破、侵彻或其他战术目的的弹药。炮弹是武器系统的一个重要组成部分，它直接对目标发挥作用，最终体现着火炮的威力。炮弹主要用于压制敌人火力，杀伤有生力量，摧毁工事，毁伤坦克、飞机、舰艇和其他技术装备。

枪弹是从枪膛内发射的弹药。主要对付人员及薄装甲目标，结构与定装式炮弹类似。普通枪弹弹头多是实心的。穿甲燃烧弹弹头除有穿甲钢心外，还装填少量燃烧剂，借助高速撞击压缩而引燃。20 世纪 60 年代开始发展无壳弹，它的发射药压成药柱形状，再与底火、弹

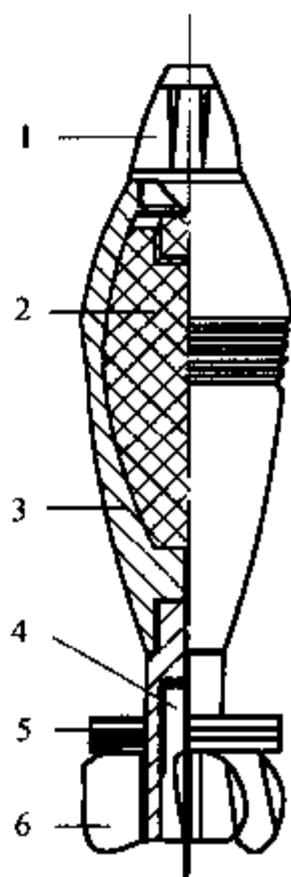


图 1.3 迫击炮弹

1—引信；2—炸药；3—弹体；
4—基本药管；5—附加装药；6—尾翼



头粘成一个整体。由于去掉了金属弹壳，弹长变短，可提高射速和点射精度，并减轻了弹药重量，提高了单兵携弹量，射击后无须退壳，有利于武器性能的提高。

（2）自推式弹药

本身带有推进系统的弹药，包括火箭弹、导弹、鱼雷等。这类弹药靠自身发动机推进，以一定初始射角从发射装置射出后，不断加速至一定速度后才进入惯性自由飞行阶段。由于发射时过载低、发射装置对弹药的限制因素少，所以自推式弹药具有各种结构形式，易于实现制导，具有广泛的战略战术用途。

火箭弹是指非制导的火箭弹药，利用火箭发动机从喷管中喷出的高速燃气流产生推力。发射装置轻便，可多发联射，火力猛，突袭性强，但射击精度较低，适用于压制兵器对付地面目标。轻型火箭弹可用便携式发射筒发射，射程近，机动灵活，易于隐蔽，特别适用于步兵反坦克作战。

导弹是依靠自身动力装置推进，由制导系统导引、控制其飞行路线并导向目标的武器。制导系统不断地修正弹道与控制飞行姿态，导引射弹稳定、准确地飞向目标区。小型战术导弹通常采用破甲、杀伤或爆破战斗部，多用来攻击坦克、飞机、舰艇等快速机动目标。装核弹头的大中型中远程导弹，主要打击固定的战略目标，起威慑作用。

鱼雷是能在水中自航、自控和自导的用以爆炸毁伤目标的水中武器，以较低的速度从发射管射入水中，用热动力或电力驱动鱼雷尾部的螺旋桨或通过喷气发动机的作用在水中航行。战斗部装填大量高能量炸药，主要用于袭击水面舰艇、潜艇和其他水中目标。

（3）投掷式弹药

投掷式弹药包括航空炸弹、深水炸弹、手榴弹和枪榴弹等。

航空炸弹是从飞机和其他航空器上投放的弹药。主要用于空袭，轰炸机场、桥梁、交通枢纽、武器库及其他重点目标，或对付集群地面目标。常以全弹的名义质量（kg 或 lb）标示大小，又称圆径，圆径变化范围广（从小于 1 kg 至上万千克）。航空炸弹弹体上有供飞机内外悬挂的吊耳。尾翼起飞行稳定作用。某些炸弹的头部还装有固定的或可卸的弹道环，以消除跨音速飞行易发生的失稳现象。外挂式炸弹具有流线型低阻空气动力外形，便于减小载机阻力。超低空水平投放的炸弹，在炸弹尾部还加装有金属或织物制成的伞状装置，投弹后适时张开，起增阻减速，增大落角和防止跳弹的作用，同时使载机能充分飞离炸点，确保安全。航空炸弹具有类型齐全的各类战斗部，其中爆破、燃烧、杀伤战斗部应用最为广泛。

深水炸弹是从水面舰艇或飞机发（投）射，在水中一定深度爆炸，攻击潜艇的弹药，也可攻击其他水中目标。

手榴弹是用手投掷的弹药。杀伤手榴弹的金属壳体常刻有槽纹，内装炸药，配用 3~5 s 定时延期引信，投掷距离可达 30~50 m，弹体破片能杀伤 5~15 m 范围内的有生力量和毁伤轻型技术装备。手榴弹还有发烟、照明、燃烧、反坦克等类型。

枪榴弹是借助枪射击普通子弹或空包弹从枪口部投掷出的超口径弹药，由超口径战斗部



及外安尾翼片、内装弹头吸收器（收集器）的尾管构成。发射时，将尾管套于枪口部特制的发射器上，利用射击空包弹的膛口压力或实弹产生的膛口压力及子弹头的动能实现对枪榴弹的发射。枪榴弹战斗部直径 35~75 mm，质量一般在 0.15~1 kg，射程可达 200~400 m，采用火箭增程可达 700 m。具有破甲、杀伤、燃烧、照明、发烟等多种战斗部，是一种用途广泛的近战、巷战单兵弹药。

（4）布设式弹药

用空投、炮射、火箭撒布或人工布设（埋）方式设于预定地区的弹药，如地雷、水雷及一些干扰、侦察、监视弹等。待目标通过时，引信感觉目标信息或经遥控起爆，阻碍并毁伤步兵、坦克和水面、水下舰艇等。具有干扰、侦察、监视等作用的布设式弹药，可适时完成一些特定的任务。有的在布设之后，可待机发射子弹药，对付预期目标。

地雷是撒布或浅埋于地表待机作用的弹药。反坦克地雷内装集团或条型装药，能炸坏坦克履带及负重轮；内装聚能装药的反坦克地雷，能击穿坦克底甲、侧甲或顶甲，还可杀伤乘员及炸毁履带。防步兵地雷还可装简易反跳装置，跳离地面 0.5~2 m 高度后空炸，增大杀伤效果。

水雷是布设于水中待机作用的弹药。有自由漂浮于水面的漂雷、沉底水雷以及借助雷索悬浮在一定深度的锚雷，其上安装触发引信或近炸引信。近炸引信可感受舰艇通过时一定强度的磁场、音响及水压场等而作用；某些水雷中还装有定次器和延时器，达到预期的目标通过次数或通过时间才爆发，起到迷惑敌人，干扰扫雷的作用。

9. 按装填物（剂）的类别分类

按装填物（剂）的类别，弹药可分为常规弹药、核弹药、化学弹药、生物弹药等。以上所讲的都是常规弹药，核弹药、化学弹药、生物弹药不仅具有大面积杀伤破坏能力，同时污染环境，属于大规模杀伤弹药。

生物弹药是装有生物战剂的弹药。生物战剂为传染性致病微生物或其提取物，包括病毒、细菌、立克次氏体、真菌、原虫等，能在人员、动植物机体内繁殖，并引起大规模感染致病或死亡。它可制成液态或干粉制剂，装填在炮弹、炸弹、火箭弹的战斗部中，通过爆炸或机械方式抛撒于空中或地面上，形成生物气溶胶，污染目标或通过媒介物（如昆虫）感染目标。

化学弹药是装有化学战剂的弹药。化学战剂为各种毒性的化学物质，可装填在炮弹、地雷、航空炸弹和火箭弹的战斗部中，通过爆炸将其撒布于空中、地面，使人员中毒，器材、粮食、水源、土地等受到污染。

核弹药是指原子弹利用核裂变链式反应，氢弹利用热核聚变反应，放出核内能量产生爆炸作用的弹药。威力极高，用梯恩梯当量标示大小。氢弹威力可高达数千万吨梯恩梯当量。爆炸后产生冲击波、地震波、光辐射、贯穿辐射、放射性沾染、电磁脉冲等，对大范围内的建筑、人员、装备、器材等多目标具有直接和间接的毁伤作用。核装药主要装填在航空炸弹及导弹战斗部中，用于对付战略目标。原子弹已日益小型化，20 世纪 70 年代后，美军已制



成了核炮弹、核地雷装备部队，中子弹是热核弹药的特殊类型，爆炸后的冲击波及光辐射效应较小，但产生大剂量贯穿辐射极强的高速中子流，可在目标（坦克、掩蔽部等）不发生机械损毁的情况下，杀伤其内部人员。

1.4 弹药的作用

弹药对目标的毁伤一般是通过其在弹道终点处与目标发生的碰击、爆炸作用将自身的动能或爆炸能或其产生的作用元（破片、射流等）对目标进行机械的、化学的、热力效应的破坏，使之暂时或永久地局部或全部丧失其正常功能，丧失作战能力。影响目标毁伤程度的主要因素是目标自身的易损性和弹药的威力——使目标失去战斗功能的能力。

1.4.1 破片杀伤作用

弹药爆炸时形成的破片对目标的毁伤效应，它表征杀伤弹药的威力。杀伤作用的大小取决于破片的分布规律、目标性质和射击（或投放、抛射）条件。破片的分布规律包括：弹药爆炸时所形成破片的质量分布（不同质量范围内的破片数量）、速度分布（沿弹药轴线不同位置处破片的初速）、破片形状及破片的空间分布（在不同空间位置上的破片密度）。而这些特性则取决于弹体材料的性质、弹药结构、炸药性能以及炸药装填系数等参量。为了在不同作战条件下对不同目标（人员、军械等）起到毁伤作用，需要不同质量、不同速度的破片和不同的破片分布密度。对于暴露的有生力量，各个国家制定有不同的杀伤标准。

射击条件包括射击的方法（着发射击、跳弹射击和空炸射击）、弹着点的土壤硬度、引信装定和引信性能。当引信装定为瞬发状态进行着发射击时，弹药撞击目标后立即爆炸。此时破片的毁伤面积是由落角（弹道切线与落点的水平面的夹角）、落速、土壤硬度和引信性能决定的。落角小时，部分破片进入土壤或向上飞而影响杀伤作用。随落角的增大，杀伤作用提高。引信作用时间越短，杀伤作用越大。弹药侵入地内越深，则杀伤作用下降越快。当进行跳弹射击（通常落角小于 20° ，引信装定为延期状态）时，弹药碰击目标后跳飞至目标上空爆炸。跳弹射击和空炸射击时的空炸高度适合时，杀伤作用有明显提高。

1.4.2 弹药爆破作用

装填猛炸药的弹丸或战斗部爆炸时，形成的爆轰产物和冲击波（或应力波）对目标具有破坏作用。其破坏机制主要为：

1. 爆轰产物的直接破坏作用

弹丸爆炸时，形成高温高压气体，以极高的速度向四周膨胀，强烈作用于周围邻近的



目标上,使之破坏或燃烧。由于作用于目标上的压力随距离的增大而下降很快,因此它对目标的破坏区域很小,只有与目标接触爆炸才能充分发挥作用。

2. 冲击波的破坏作用

弹丸、战斗部或爆炸装置在空气、水等介质中爆炸时,所形成的强压缩波对目标的破坏作用。冲击波是一种状态参数有突跃的强扰动传播。它是由爆炸时高温高压的爆轰产物,以极高的速度向周围膨胀飞散,强烈压缩邻层介质,使其密度、压力和温度突跃升高并高速传播而形成的。

冲击波波阵面(扰动区与未扰动区的界面)上具有很高的压力,通常以超过环境大气压的压力值表征,称为超压。波阵面后的介质质点也以较高的速度运动,形成冲击压力(称为动压)。当冲击波在一定距离内遇到目标时,将以很高的压力(超压与动压之和)或冲量作用于目标上,使其遭到破坏。其破坏作用与爆炸装药、目标特性、目标与爆心的距离和目标对冲击波的反射等有关。通常大集团装药(装药量超过 300 kg)爆炸的破坏作用以冲击波的最大压力(或称静压)表征;而常规弹药小药量爆炸,由于正压作用时间大大小于目标自振周期,属于冲击载荷,故常用冲量或比冲量表征。破坏不同的目标,需要的超压或冲量也不同。一般对各种建筑物或技术装备,常以破坏半径来衡量冲击波的破坏作用;而对有生目标则以致命杀伤半径表征冲击波的作用范围。目标离爆心近时,破坏作用虽强烈,但受作用的面积小,多为局部性破坏;反之,波阵面压力虽衰减了,但受作用面积大、波的正压作用时间长,易引起大面积、总体性的破坏。

弹药在水中爆炸时,不但产生冲击波,而且水中冲击波脱离爆轰产物后,爆轰产物还会出现多次膨胀、压缩的气泡脉动,并形成稀疏波与压缩波。气泡第一次脉动形成的压缩波,对目标也具有实际破坏作用。

1.4.3 弹药燃烧作用

燃烧弹等弹药通过纵火对目标的毁伤作用。目标通常指可燃的木质建筑物、油库、弹药库、干木材以及地表面的易燃覆盖层等。纵火包括引燃和火焰蔓延两个过程。不同种类的燃烧弹,其火种温度约在 1 100~3 300 K 范围内,因而对于燃点为几十至数百度的干木材和汽油等可燃物,是完全可以引燃的。可燃物燃烧所放出的热量,部分向周围空间散发,其余热量能使其周围尚未燃烧的可燃物烘干、升温或汽化并继续加热到燃点以上,这是火势能够在目标处蔓延开来的必要条件。燃烧弹纵火的效果与燃烧弹爆炸后火种的数量、分布密度、燃烧温度、火焰大小、持续时间以及目标的物理性质(燃点、湿度、温度等)和堆放情况等因素有关。火种的高温有时也能直接毁伤目标。

目前采用的燃烧剂基本有三种。金属燃烧剂,能做纵火剂的有镁、铝、钛、锆、铀和稀土合金等易燃金属,多用于贯穿装甲后,在其内部起纵火作用;油基纵火剂,主要是凝固汽



油一类，其主要成分是汽油、苯和聚苯乙烯，这类纵火剂温度最低，只有 790°C ，但它的火焰大（焰长达 1 m 以上），燃烧时间长，因此纵火效果好；烟火纵火剂，主要是用铝热剂，其特点是温度高（ $2\ 400^{\circ}\text{C}$ 以上），有灼热熔渣，但火焰区小（不足 0.3 m ）。

1.4.4 弹药穿甲作用

弹丸等以自身的动能侵彻或穿透装甲，对装甲目标所形成的破坏效应。弹丸着速通常为 $500\sim 1\ 800\text{ m/s}$ ，有的可高达 $2\ 000\text{ m/s}$ 。在穿透装甲后，利用弹丸或弹、靶破片的直接撞击作用，或由其引燃、引爆所产生的二次效应，或弹丸穿透装甲后的爆炸作用，可以毁伤目标内部的仪器设备和有生力量。高速弹丸碰击装甲时，可能发生头部墩粗变形、破碎或质量侵蚀及弹身折断等现象。钢质装甲被穿透破坏的主要形式有韧性扩孔、花瓣型穿孔、冲塞、破碎型穿孔和崩落穿透等。

实际上，钢质装甲板的破坏往往由多种形式组合而成，但其中必有一种为主。此外，弹丸还可能因其动能不足而嵌留在装甲板内，或因入射角过大而从装甲板表面上跳飞。在工程上，弹丸穿透给定装甲的概率不小于 90% 的最低撞击速度，称为极限穿透速度，常用以度量弹丸的穿甲能力，其大小受到装甲板倾角、弹丸和装甲材料性能、装甲厚度及弹丸结构与弹头形状等因素的影响。

1.4.5 弹药破甲作用

破甲弹等空心装药爆炸时，形成高速金属射流，对装甲目标的侵彻、穿透和后效作用产生毁伤效应。当空心装药引爆后，金属药型罩在爆轰产物的高压作用下迅速向轴线闭合，罩内壁金属不断被挤压形成高速射流向前运动。由于从罩顶到罩底，闭合速度逐渐降低，所以相应的射流速度也是头部高尾部低。例如，采用紫铜罩形成的射流，头部速度一般在 $8\ 000\text{ m/s}$ 以上，而尾部速度则为 $1\ 000\text{ m/s}$ 左右。整个射流存在着速度梯度，使它在运动过程中不断被拉长。

金属射流的侵彻过程，在高速段符合流体力学模型，在低速段则要考虑装甲材料强度的影响。整个过程大致可分为开坑阶段、准定常侵彻阶段和侵彻终止阶段 3 个阶段。金属射流穿透装甲后，继续前进的剩余射流和穿透时崩落的装甲碎片，或由它们引燃、引爆所产生的二次效应，对装甲目标内的乘员和设备也具有毁伤作用，即后效作用。破甲威力通常用破甲深度表征，而其后效作用的大小，则以射流穿透装甲板时的出口直径和剩余射流穿过具有一定厚度与间隔的后效靶板块数来评价。影响破甲作用的主要因素有：炸高、装药直径的大小、药型罩的材料和结构、炸药及装药结构、制造工艺和弹丸转速等。炸高是从罩底端面到装甲板表面之间的距离，适当的炸高是使射流得到充分拉长达到最大破甲深度的必要条件。性能



较好的破甲弹，对钢质装甲穿深已可达主装药直径的8~10倍。

带有浅空腔药型罩的空心装药爆炸时形成的高速侵彻体，对目标具有一定的侵彻作用。药型罩一般为锥形罩、球缺药型罩或双曲面药型罩。罩壁可为等壁厚或变壁厚，锥角一般为 $120^{\circ}\sim 150^{\circ}$ ，常用钢、铜、钨或钼等材料制成；炸药则多采用奥克托今（HMX75/TNT25）或黑梯（RDX60/TNT40）混合炸药。在爆炸载荷的作用下，药型罩翻转并逐步向轴线收缩和闭合，形成速度梯度很小的爆炸成型弹丸；或者整个罩面翻转成一个整体的爆炸成型弹丸。

与金属射流相比，爆炸成型弹丸具有速度低（一般为2 000~3 500 m/s）、形状短粗（长径比约为1.5~3）、质量大、穿透深度浅而后效大等特点。而且，改变炸高时穿深变化不明显，故适于在大炸高（如20~40倍装药直径）下侵彻，侵彻性能受弹丸旋转的影响也较小。爆炸成型弹丸的形状和侵彻性能，主要取决于药型罩与装药的几何形状、性能和初始爆轰波阵面的形状等。在近距离（如20~30倍装药直径）上，穿深一般为0.5~1.0倍装药直径；在远距离（如800~1 000倍装药直径）上，穿深则有所下降，这主要是由于爆炸成型弹丸外形不佳所致。它主要应用于反坦克炮弹、导弹、航空炸弹、地雷和末段敏感反坦克弹药等。

1.4.6 弹药碎甲作用

以炸药装药紧贴装甲板表面爆炸，使装甲背部飞出崩落碎片并毁伤装甲目标内部人员与设备的破坏效应。它是利用高猛度塑性炸药与装甲板接触爆炸的爆轰波能量，转化为向板中传播的强冲击波能量来破坏装甲的。当装甲板表面的强冲击波（强度约为40~45 GPa）向板内传播，到达装甲板背面时，入射压缩波在自由界面产生反射拉伸波，与入射压缩波合成，使背部产生拉应力区。当某截面上的拉应力达到装甲板的临界断裂强度时，便产生首次崩落碎片。一般对单层、中等厚度金属装甲板的崩落效果较好，常从背部撕剪下一块碟形碎片（简称碟片），并以30~200 m/s或更高一些的速度飞离背部，其直径约为装药直径的1.25~1.5倍。如入射压缩波的剩余强度仍然较高，还会产生二次或多次崩落，继续有一些较小的碎片飞出。这些飞出的碎片，可毁伤装甲目标内部的人员和设备。碎甲作用对钢质装甲板的破坏，一般不出现透孔。对混凝土墙则不出现整块碟片，而是崩落大量碎片，背部出现大面积崩落和长条裂纹。

崩落碎片（主要是碟片）的质量和速度越大，则碎甲威力越大。在一般情况下，斜着靶的碎甲威力大于垂直着靶，这主要是由于炸药堆积面积增大，使碟片的直径、厚度增大所致。但如着角过大则碎甲威力反而下降。薄装甲、间隔装甲、屏蔽装甲和复合装甲通常不产生碎甲作用。

影响崩落碎片厚度及飞出速度的主要因素有：炸药的密度、爆速，炸药堆积形状和尺寸，爆轰波传播方向与装甲板法线的夹角，装甲板的厚度、表面状态、材料密度、声速和动态机械性能等。



1.5 对弹药的要求

炮弹和火箭弹是弹药中的主要品种，也是整个火力系统中的重要组成部分，是直接对目标起作用的，其性能的好坏，直接影响着部队的战斗力。在此，对弹药的要求，主要从炮弹和火箭弹的角度来谈。稳、准、狠地毁伤敌方目标，历来是兵器研制、发展和使用上所遵循的总方向，当然也是弹药研制、发展和使用上的总方向。无论对哪一级配备的炮弹和火箭弹，从战术要求上看，总是希望其射程远、威力大、精度高、使用安全和能长期储存；从经济上看，总是希望其造价低。这些要求以战术技术指标的形式统一在具体的炮弹或火箭弹上，并由此表明了该弹的先进与否。

对某一类或某一种炮弹或火箭弹来说，要求总是具体的。具体的指标要求，不可能脱离战争实践，也不可能脱离科学技术的发展状况，因而在指标的提法上是多种多样的。在提出这些具体的指标时，应当考虑和分析具体炮弹或火箭弹所要配备的兵种和级别、所要对付的目标、国外同类武器的发展状况和技术上实现的可能性。这个过程，即是弹药战术技术指标的论证过程。

1.5.1 射程

对于不同的目标和弹种，其射程的含义是不同的。压制兵器所用弹药的射程，一般是指从射出点到落点的水平距离；反坦克弹药的射程是指最大弹道高不超过 2 m 时的所谓直射距离；高射弹药的射程是指弹道高度；机载用弹药的射程是指从射出点到着点的直线距离等等。

要求射程远的意义是显而易见的。只有射程远，才能消灭敌人，保存自己；才能在不变换阵地的情况下，以火力不断支援步兵和行进中的坦克；才能在大纵深、宽正面的地域内实施火力机动，射击更多目标。

影响射程的主要因素是弹丸的初速（对火箭弹来说，是主动段终点速度）、弹道系数和飞行稳定性。

目前，提高炮弹射程的方法，除了采用高膛压火炮、新型发射药等措施外，在弹药领域还广泛采用火箭推进、底排减阻、滑翔、低阻弹形等多种技术来提高弹丸的射程。

1.5.2 威力

弹药的威力是指弹药对目标的杀伤和破坏能力，它是完成战斗任务的直接因素。不同用途的弹药，其威力要求也是不同的。例如杀伤榴弹要求有效杀伤破片多，杀伤半径大；爆破



榴弹要求炸药量多，炸药威力大；穿甲弹与破甲弹要求具有足够大的穿破甲深度；碎甲弹要求层裂片的质量大、速度高；照明弹要求亮度大，作用时间长等等。弹药的威力大，可以相应地减少弹药消耗量，缩短完成战斗任务的时间。

适应现代战争的需要，用什么标准来衡量弹药的威力大小还是一个值得进一步研究的问题。总的来说，具体威力标准的提出与目标类型、弹药毁伤机理和战术使用等因素相关。综合威力指标可以在考核项目比较少的情況下全面衡量弹药的威力，使考核试验简化，给考核工作带来方便。但是，在缺乏综合威力指标时，单项威力指标的提出也不是毫无意义的。特别是单项威力的提出利于有针对性地提高弹药性能。在确定具体弹药的威力指标时，下述从弹药作用角度考虑的威力指标可供使用中参考（见表1-2）。

表 1-2 弹药的威力指标

弹药作用	威力指标
杀 伤	杀伤面积，有效杀伤破片数，平均破片速度、质量和破片分布密度
爆 破	漏斗坑体积，最小抵抗线高度，在一定距离上的冲击波超压，炸药量
侵 彻	在一定距离上穿透一定倾角的装甲板厚度，在一定距离上穿透标准靶板的厚度
碎 甲	层裂片的质量和速度，靶厚一定距离处的冲击波超压

影响弹药威力大小的因素很多，对具体弹药应当进行具体的分析。对此，将在以后各章中分别予以说明。

1.5.3 精度

这里所说的精度是指射击精度。射击精度是指射弹的弹着点（或炸点）同预期命中点间接近程度的总体度量，包括射击准确度和射击密集度两个方面，只有射击准确度和射击密集度都好，才能说射击精度好。弹着点对预期命中点的偏差称为射击偏差，也称射击误差。射击偏差是衡量射击精度的尺度，是由诸元偏差与散布偏差引起的。诸元偏差影响射击准确度，散布偏差影响射击密集度。

1. 射击准确度

射击准确度，表示射弹散布中心对预期命中点的偏离程度。这种偏离是由在射击准备过程中测地、气象、弹道等方面的误差、射表误差和武器系统技术准备误差等综合产生的射击诸元误差造成的，通常称为诸元偏差，因此射击准确度又叫诸元精度。诸元偏差在一次射击中是不变的系统误差，可以通过校正武器或者修正射击诸元来缩小或者消除。射击准确度通常用诸元概率偏差来表征，其值越小，射击准确度越好。诸元概率偏差通常采用理论与试验相结合的方法来确定。在枪械射击中，射击准确度一般用平均弹着点偏离预期命中点的距离来近似度量。这个距离越小，射击准确度就越好。平均弹着点是一定数量弹着点分布空间的



中心位置，在弹着点无限多时它就是射弹散布中心。

2. 射击密集度

当在相同的射击诸元条件下，用同一批弹药对同一目标进行瞄准射击时，这些弹药无论在什么情况下都不会命中同一目标，即使事先对各发弹都仔细进行了挑选，各发弹的弹道也不会重叠在一起，而是形成一定的弹道束，落在一定的范围内，这种现象叫射弹散布。

射击密集度，表示各个弹着点对散布中心偏离程度的总体度量。这种偏离来源于各发弹发射时武器、弹药、气象、发射操作及其他有关因素的非一致性造成的各不相同的随机偏差。这种偏差，会引起射弹散布，也叫散布偏差，因此射击密集度也叫散布精度，它是射弹散布疏密程度的表征。由于散布偏差只能设法减小，不能完全消除，射弹散布是不可避免的。

(1) 射弹散布产生的原因

总的来说，引起射弹散布的原因大体可分为三类：

① 各发弹的特征系数（如弹丸质量、弹径、弹长、质心位置、质量偏心和外形等）稍有不同并表现为随机性质；

② 各发弹的射击条件（如初速、射角、射向和发射药量等）稍有不同并表现为随机性质；

③ 各发弹所受到的干扰（如初始扰动、气象条件、气动偏心和火箭弹的推力偏心等）稍有不同并表现为随机性质。

所有这些因素的综合作用结果，使射弹的实际弹道形成散布（如图 1.4）。

(2) 射击密集度的度量方法

射击密集度通常有三种度量方法，即射弹散布概率偏差、散布密集界和散布圆半径（即圆概率偏差，CEP）。

① 射弹散布概率偏差：射弹散布概率偏差，也称射弹散布概率误差、射弹散布中间偏差或公算偏差。在射弹散布面上，与散布轴对称，弹着点出现概率为 50% 的区间宽度的一半称为射弹散布概率偏差（如图 1.5）。有高低、方向和距离射弹散布概率偏差之分。通常以字母 E 表示，以长度单位计量。

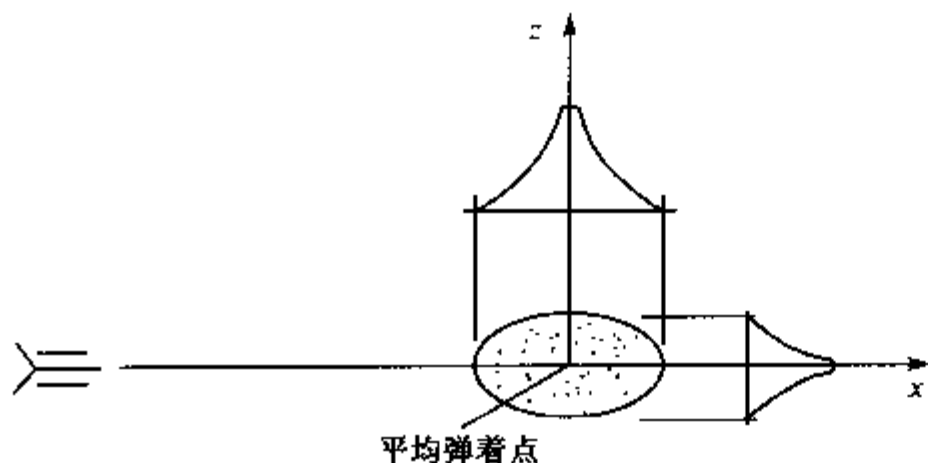


图 1.4 射弹散布

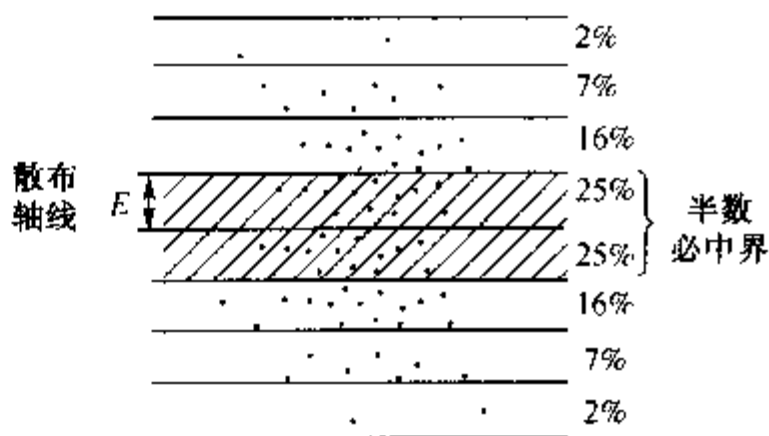


图 1.5 射弹散布概率偏差



大量的观察表明, 射弹落点相对于平均弹着点的坐标为平面上的二维随机变量, 且满足正态分布规律。若取坐标轴与散布椭圆的主轴相重合, 而坐标原点任选, 则落点坐标 (x, z) 有如下分布规律:

$$f(x, z) = \frac{\rho^2}{\pi E_x E_z} \cdot \exp \left\{ -\rho^2 \left[\frac{(x-\bar{x})^2}{E_x^2} + \frac{(z-\bar{z})^2}{E_z^2} \right] \right\} \quad (1-1)$$

式中, ρ ——常数 ($\rho = 0.477$);

E_x ——坐标 x 的中间偏差, 通常称为射弹的距离 (或射程) 的概率偏差;

E_z ——坐标 z 的中间偏差, 通常称为方向 (或侧向) 的概率偏差;

$\bar{x}$ 和 $\bar{z}$ ——平均弹着点的 x 和 z 的坐标。

其中: $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, $\bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i$, n 为射弹发数。

E_x 、 E_z 与均方差之间有如下关系:

$$E_x = \rho \sqrt{2} \sigma_x = 0.6745 \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1-2)$$

$$E_z = \rho \sqrt{2} \sigma_z = 0.6745 \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2} \quad (1-3)$$

同理, 在坐标 y 的方向上, 有高低概率偏差

$$E_y = \rho \sqrt{2} \sigma_y = 0.6745 \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (1-4)$$

式中, 平均弹着点坐标 $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ 。

在实际中就是利用射弹散布概率偏差 E_x 、 E_y 和 E_z 的大小来衡量射击密集度的好坏。一般来说, 如果弹药的射程为 X 时, 对水平面上的目标射击, 用距离概率偏差 E_x 和方向概率偏差 E_z , 或用相对概率偏差 E_x/X 和 E_z/X 表征射击密集度; 对垂直目标射击, 用高低概率偏差 E_y 和方向概率偏差 E_z , 或用相对概率偏差 E_y/X 和 E_z/X 表征射击密集度; 对空中目标射击, 用距离概率偏差 E_x , 高低概率偏差 E_y 和方向概率偏差 E_z , 或用斜距离概率偏差 E_D , 法向概率偏差 E_n 表征炸点散布。不同的国家或不同的武器, 表示射弹散布或射击密集度的方法各有不同。

② 散布密集界: 散布密集界, 在射弹散布面上, 包含 70% 弹着点, 对称且平行于散布轴的两条平行线间的区域 (如图 1.6)。其宽度常用字母 C 表示, 约为全散布宽度的 1/3, 也有方向、高低和距离散布密集界之分。弹着平面上相互垂直的两个散布密集界交叉面形成的矩形称为中央半数必中界, 其中约包含全部弹着点的 50%。理论分析证明 $C = 3.07E$, 可以

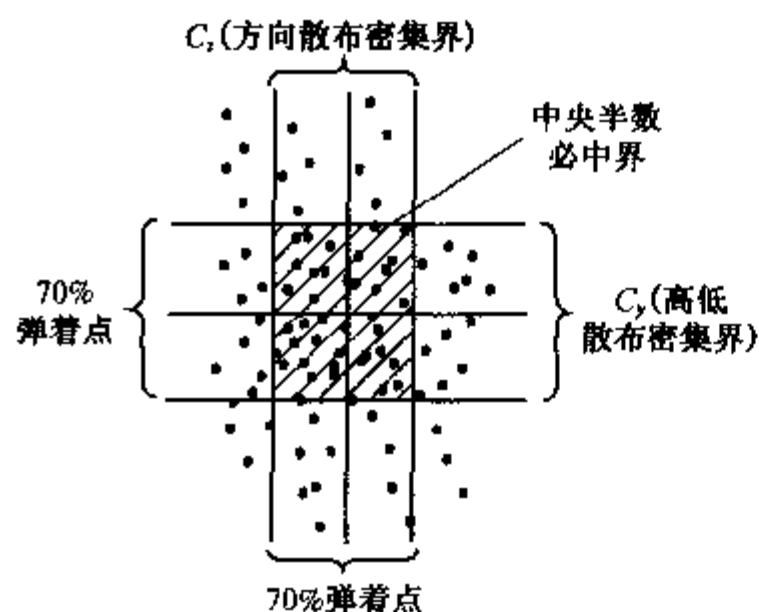


图 1.6 垂直散布面上的散布密集界

概略地认为 $C = 3E$ 。

③ 散布圆半径或圆概率偏差 (CEP): 散布圆半径, 常用于射弹较少或散布区域近于圆形的射击, 如步枪、机枪对 300 m 以内目标的射击, 或远距离地地导弹的射击。以平均弹着点为圆心, 包含全部弹着点 50% 的散布圆的半径 R_{50} , 称为圆概率偏差, 亦称半数必中圆半径; 包含全部弹着点 100% 的散布圆半径 R_{100} , 称为全散布圆半径 (如图 1.7)。在理论上 R_{100} 是无限大的, 并不存在, 实际应用中常将包含全部弹着点 98.7%~99.8% 的散布圆近似作为全散布

圆。理论分析可以证明 $R_{50} = 1.75E$, $R_{100} = (2.5 \sim 3) R_{50}$ 。

射击精度都是由实际射击结合理论计算来确定的。提高弹药的射击精度, 主要依靠采用先进的技术设备 (如制导系统、火控系统等), 改进武器弹药设计, 保证制造质量, 加强武器系统的维护保养, 提高射表精度, 减小外界因素 (如气温、风、能见度、波浪、海流等) 影响, 以及提高指挥员和射手的射击训练水平等来实现。

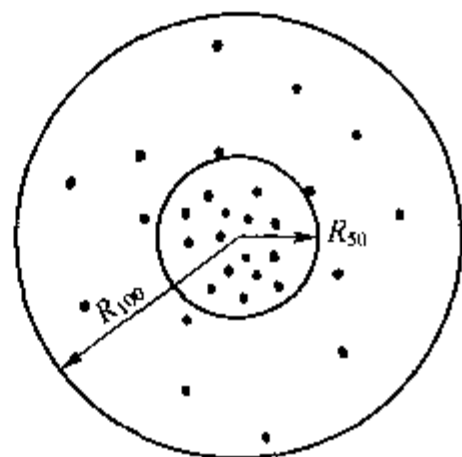


图 1.7 圆形散布面上的散布圆半径

1.5.4 安全性

弹药的安全性, 既包括射击过程中的发射安全性, 也包括弹药运输和勤务处理中的储运安全性。弹药的使用安全是极端重要的, 必须绝对保证。为此, 要求弹药设计制造必须做到:

- ① 火工品和炸药能承受强烈震动而不自炸;
- ② 引信保险机构确实可靠;
- ③ 内弹道性能稳定, 膛压不超过允许值;
- ④ 弹丸发射强度足够, 炸药所承受的最大应力不超过许用应力;
- ⑤ 药筒作用可靠。

1.5.5 长储性

在现代战争条件下, 弹药的消耗量很大。这些弹药, 一靠战时生产, 二靠平时储存, 而



且主要是靠储存。一般来说,平时生产的弹药应能保存 15~20 年。为使长期储存的弹药不变质,要求:

- ① 弹丸、药筒不生锈,不受腐蚀;
- ② 火工品长期储存不失效;
- ③ 炸药不分解、不变质;
- ④ 发射药密封可靠,不受潮分解。

为了解决这一问题,加强对包装和表面防腐处理的研究是很有意义的。

1.5.6 经济性

在现代战争中,弹药已成为消耗量最大、花钱最多、后勤保障最为艰巨的问题。据资料报导,自 1965 年至 1973 年,美军在越南战场上地面弹药(主要是炮弹)的总消耗量是 7.5×10^9 kg。而在 1991 年 42 天的海湾战争中就投弹近 5×10^8 kg,显示出现代战争中的庞大弹药消耗。

在这种情况下,为提高经济性,既要求降低常规弹药的生产成本,也要求大力发展高效能的新弹药,减少完成具体战斗任务的弹药消耗量肯定是经济的。例如,发展带有制导的、具有单发毁伤能力的弹丸,使本来需要打几发或十几发,现在只要打 1~2 发就能毁伤目标的弹丸。

除此之外,要求弹药的结构工艺性好,便于采用新工艺,便于大量生产;要求原料的来源丰富,且价格低廉。

1.6 弹药的研究与设计

弹药的研究与设计任务可能是各种各样的,如仿制和自行设计就大有不同,改型设计与完全创新也很不一样。本书仅介绍一般的研究和设计工作过程。

1.6.1 弹药的研究与设计步骤

弹药的一般研究和设计工作过程主要可分为下述几个步骤。

1. 提出新原理、新结构的设想

一种新的弹药,为了在性能上超越已有的弹药,总要体现新的设计思想。这种新的设计思想,不应是凭空产生的,一方面要根据实际作战的需要,并考虑到敌方的装备和作战方式的发展趋势;另一方面还要根据我国的科学技术和生产工艺的实际情况,既充分利用早已成熟的科研成果和行之有效的经验,又尽可能采用最新的科学技术成就。也就是说新设计的弹



药，在战术技术上既是先进的又是经过努力能够实现的。

2. 预研和战术技术论证阶段

一种新的弹丸设计方案的提出，在技术上总得采用一些新的原理或者先进的措施，才可能超越已有弹丸的性能。因此，总是有一些关键性的技术问题需要解决，只有突破这些关键，设计思想才有可能实现。预研阶段就是从技术上探索解决这些问题的阶段。一种新的弹丸的设想，在战术上是否具有优越性，它的有效性到底怎样，对于各项战术技术指标应作如何规定才算合理，这些问题都应经过战术技术论证给予回答。预研工作由研制弹丸的单位、受委托的科研单位或高等院校进行。战术技术论证则由军方和研制单位共同进行。

3. 方案设计阶段

方案设计阶段又称初步设计阶段。这一阶段的主要任务是确定所设计弹丸的主要特点、主要性能、主要参量以及总体结构，目的是提出总体设计方案。这一阶段结束时，应提出弹丸的方案总图、总体设计说明书。

4. 技术设计阶段

技术设计阶段是设计工作全面展开的阶段。在此阶段中，承担任务的各单位，分别进行各部件的具体结构设计，直到提出每个零件的加工图、每个部件的装配图、全弹的总装图以及一切有关的技术资料。在技术设计中，需要进行实验室实验和靶场试验，如弹丸模型的风洞气动力实验、弹体结构强度和作用威力试验等。

5. 样品试制

技术设计工作完成后，即投入样品试制。试制工作的目的是为了考核设计的工艺性，并进行所采用的新工艺的研究。样品试制必须严格控制产品质量。生产过程应按大量生产安排，以检查设计的工艺性是否符合大量生产要求，对于生产量大的弹丸，这是非常重要的。

6. 靶场试验

靶场试验在样品试制阶段完成后进行，设计的正确性要通过系统的靶场试验来验证。试验时要对弹丸的内、外弹道性能、终点效应和强度与安全性作出细致的观察，并取得一系列的数据。试验后，要对试验结果进行详尽的分析。每次靶场试验都应有明确的试验目的和详细的试验大纲，并依次安排试验。靶场试验后，根据发现的问题，需要对设计进行修改，并再次试制和试验。这样经过几次反复之后，使设计弹丸的性能全面满足战术技术要求，这时即可进行设计定型工作。

7. 设计定型

设计定型前，应对弹丸研制过程中的全部技术资料进行总结，整理出全套定型用图纸资料。定型用的技术资料包括产品图、制造与验收技术条件、设计说明书、试验总结报告等。产品的制造与验收技术条件是产品图的配套文件，其内容包括：对弹丸制造的一般技术要求、零部件制造与装配的要求、检验与靶场试验的要求、产品的编批与质量控制等。按制定的产品图和技术条件生产出设计定型批产品，用来进行设计定型试验。定型试验是在接近实战的



条件下进行射击试验。试验的目的是全面地检查与鉴定设计的弹丸性能是否满足规定的设计指标。定型试验成功后,整理出定型文件并报请领导部门批准设计定型。到此,设计工作基本完成。

8. 部队试验

设计定型后的弹丸要经过部队试验,即由部队按实战条件进行射击,以考察新设计的弹丸是否适合作战使用。部队实验要在不同地区、不同季节进行,以观察弹丸对各种作战条件下的性能是否符合要求。

9. 生产定型

部队试验后,并经过几批的大量生产,经靶场交验试验证明设计的弹丸工艺性良好,质量稳定,经检查鉴定后批准生产定型。与设计定型不同,生产定型主要是对弹丸制造工艺的定型。

1.6.2 弹药设计的常用方法

通常,弹药设计包括结构强度设计、飞行性能设计和威力设计等,在工程设计中,常用如下几种方法:

1. 半经验设计法

弹药爆炸形成各种毁伤元素是一种瞬态、高压过程。建立一套数学力学模型,从理论上描述上述过程需要较长时间。传统的设计方法是借助类比、试凑与经验公式进行初步计算确定方案,制造样品,进行试验。通过多次试验,修改设计参数,最后获得满足战术技术要求的可行方案。

半经验法以理论作指导,所用的经验公式由简化的模型结合试验数据建立,有的经验公式是将大量的试验数据通过回归、最小二乘法、DFP 法获得的。经验公式有一定的适用范围与局限性,需要试验验证与修正。

2. 模化设计法

模化设计法又称相似设计法。它以相似理论和模拟方法为基础,应用几何相似律或能量相似律,将所设计的弹药按一定比例缩小,在相似的模拟条件下进行试验。通过测定模型的性能,推测产品原型的性能,进行必要的修改,进一步完善设计,以便取得合理的威力参数和结构参数。

(1) 基本原理

相似理论是模化设计的基础, π 定理是相似理论的核心。解决相似问题的关键是找出相似系统各尺寸参数的相似比。在基本相似条件和相似三定律的基础上,使用量纲分析法是求相似比的有效方法。

量纲分析又叫因次分析,是自然科学研究的基本方法。有量纲量指受测量单位变化影响



数值的量,例如长度 L 、时间 T 、力 F 和能量 E 等。量纲为 1 量指不受测量单位变化影响数值的量,例如长度比、角度比、面积与长度平方比、能量与力矩比等。由于客观上各物理量之间存在着一定的联系,因此若对某些量选定测量单位,其余物理量的测量单位则随之确定。前者称为基本量纲(独立量纲),后者称为导出量纲(非独立量纲)。在描述战斗部终点效应的物理量中,通常取长度、时间、质量和温度(即 L, T, M, θ) 为基本量纲。

任何一个物理过程都可以表示为各独立物理量之间的函数关系,其表达式为

$$\alpha = f(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k, \alpha_{k+1}, \dots, \alpha_n) \quad (1-5)$$

式中, $\alpha_1 \cdots \alpha_n$ 为已知独立物理量; α 为待定物理量。

在上式的 $(n+1)$ 个量中,假设有 k 个基本量纲,通过测量单位的改变,可以把 $(n+1)$ 个量纲之间的函数关系改写成 $(n+1-k)$ 个量纲为 1 量之间的函数关系,而它们之间的函数形式是相同的。这个结论就是著名的 π 定理

$$\pi = f(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{n-k}) \quad (1-6)$$

式中, $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{n-k}$ 为量纲为 1 量。

在两个物理过程相同的系统中,如果有相对应的自变量 π_i 相等,那么相对应的因变量 π 也必然相等,则两个系统是相似的, π_i 称为相似参数。在相似参数相等的条件下,两个系统的因变量之间存在直接换算关系。

相似理论和量纲分析为弹药提供了一种既合理又简便的模化设计法。这种设计方法的优点是研制周期短、成本低,设计出的产品在性能与结构上具有较好的可靠性。但目前仅适用于符合几何相似的某些类型的弹药战斗部(穿甲战斗部、爆破战斗部、聚能战斗部等)的设计。

(2) 模化设计过程

模化设计有三个过程,即模化设计、模型试验和分析原型性能参数。

模化设计主要分析原型(指方案中拟定的初步结构)的尺寸、工作条件与边界条件,设计与原型相似的模型,选定尺寸与材料,以确定模型的工作条件与边界条件。

模型试验用于测定模型在选定的工作条件下的性能参数。模型的工作条件常用各种方法模拟,需进行适当简化。

分析原型性能参数,根据模型测得的性能参数,利用相似条件,求出与原型相应的性能参数值。必要时在此基础上调整原设计的参数、尺寸和结构,使性能最佳。

3. 数值计算法

随着电子计算机的广泛使用和数值计算方法的不断完善,20 世纪 60 年代开始在弹药工程领域内采用数值计算方法,已显示出它的许多优点。

数值计算法的过程是:首先分析所研究的问题的物理实质,建立数学模型,选择合适的坐标系,根据模型写出偏微分方程组,然后用有限差分法或有限元法在数值计算机上求解。



根据采用坐标和网格划分的不同,数值算法分为拉格朗日法和欧拉法。拉氏法描述的对象是物体质点,计算时在物体(介质)上划分网格,每一个网格单元随物体运动而变形,可以较准确地确定材料的边界形状,提供较多的信息,便于处理物质界面,可以把微分方程和差分方程写成简单的形式。但当物体变形很大时,网格产生扭曲、交叉与合并等大畸变,使计算产生较大的误差。当畸变增大到破坏网格的连续性时,则需重新划分网格,这样会带来许多计算上的不便。欧氏法描述的对象是空间点,只对空间预先划分网格。由于网格固定在空间,使变形物体通过它,所以不存在网格扭曲变形的大畸变问题,但处理不同物体(介质)的界面有一定的困难。因此选择哪种方法解决战斗部的设计问题是很重要的。

由于计算机进行数值解只有对代数方程才能运算,因此需将所建立的偏微分方程和常微分方程改写成差分方程。不同的差分方程和不同的边界条件,其解法也不同,其中的技术技巧需在实践中掌握。在应用数值算法时,需注意计算精度和差分格式的稳定性问题。

数值算法的优点是:在弹药设计时对选择参数有很大的灵活性,可以任取边界;在求解多因素同时作用的复杂过程时,可反映出各种物理参数在所研究问题中的地位、互相依赖关系以及过程中物理量的动态变化;它能做理论分析和试验都不易做到的事,例如能检验对一些独立的理论近似的敏感性、检验本构方程的正确性。

4. 综合设计法

综合设计法综合使用实验、分析和数值计算三种手段,其核心是使用不同等级的迭代。综合设计法的基本思路是使用不同精度等级的迭代设计,根据设计精度的增加采用不同的设计手段,关键是迭代技术。当某一设计能预报所希望的结果时,就进行下一轮迭代。若在精度较高一级的计算中,计算的结果与前一轮的结果很不一致,就把这些较精确的计算结果反馈到精度较低的一级,重新进行迭代计算,一直继续到取得成功的结果。

综合设计第一步是拟定战术技术要求,通常由军方提出。第二步选择弹药类型和方案,以战术技术要求为准则,选定一组初始数据作为迭代过程的起点。综合设计法的目的是通过多次迭代,修正或优化初始数据,以便得到所要求的性能指标。第三步进行第一轮设计,即一维计算回路,用近似公式进行初步设计,然后用一维程序进行计算,其结果有两种,一种与原先的设计公式计算结果相符,则可进入下面的程序;另一种情况与原先的计算结果不符,则反馈给原设计公式,进行修正,计算另一方案的数据,一直到获得满意的结果为止,第一轮设计结束。下一轮是二维计算回路,这一轮更精确,循环时间较长。若结果与一维计算的相差较大,则反馈给设计公式,对公式中的系数和一维程序中的系数进行修正,一直迭代到二维回路的满意结果。再一轮迭代转到试验回路,制作战斗部,进行试验,把试验数据与二维回路计算结果进行比较,若两者不符,则将修正信息反馈给一维回路计算公式,一直到获得满意的弹药设计。综合设计法是一个闭合回路,通过不断迭代计算得到满意的设计方案。



1.7 弹药的制造与验收

弹药的制造过程是典型的大量生产过程。制造时首先要确定采用哪一种工艺过程，选用制造工艺过程的原则是，既要保证达到对产品提出的战术性能要求，又要具有优越的生产经济性质，即制造成本最低。

编制工艺规程的依据是产品图、技术条件及专用守则，决定制造工作规模的生产纲领（即年产量），制造厂的现有生产条件和生产设备资料等。制定工艺规程之后，要进行专用的夹具、刀具、量具及辅助工具的设计与制造，必要时还要进行非标准设备的设计与制造。在这些工作完成之后，就可开始进行试生产，试生产要逐项工序地进行，直至制造出的产品完全符合设计要求为止。

验收工作是由定货一方进行的。我国的订货一方是由解放军的派出代表来行使验收职能。军代表按产品图和技术条件验收产品，并对验收过的产品质量负责。在产品验收过程中，必须注意下列各项：

- ① 用于制造弹药的原料、材料是否合格；
- ② 工厂在生产和检验工作中使用的量具和测量仪器；
- ③ 在生产过程中，工人是否严格遵守工艺规程的规定；
- ④ 最重要的工序（即所谓性能工序，如液压实验、强度实验等）的工作情况；
- ⑤ 加工车间的半成品和成品数量，以防混入不合格品；
- ⑥ 对靶场试验进行监督，实验品的抽样一般应由军代表进行；
- ⑦ 出厂前的最后验收，包括包装及防腐处理情况等。

1.7.1 弹药制造工艺特点

由于炮弹和火箭弹的生产类型属于大量生产，因而在生产的工艺过程中应当广泛使用特种专用机床，各种自动机床、半自动和多刀机床，采用机械传送装置，成品与半成品检验的过程自动化等。

1. 弹药制造的自动化

值得重点提出的是弹箭制造工艺有着广泛采用现代化的生产自动化技术的可能性，包括：

（1）数控机床

数控机床的主要形式是计算机数控，即用一台电子计算机实现数字控制。微型计算机的发展使控制系统的体积变小，质量减轻，可靠性提高，特别是直接数字控制（亦称群控），即用一台计算机同时控制几台数控机床，这就更适合于炮弹的制造。



(2) 加工中心

这是一种自动换刀数控机床，可以在一次装夹中，对工件的几个面一次加工完毕。一台加工中心相当于一条组合机床自动线。对于加工火箭弹零件，如多喷孔喷管就非常适用。

(3) 自适应控制

这是根据切削过程中的一些参数变化（如对切削力、扭矩、温升、功率消耗变化等）进行测量，并根据测量结果对加工过程进行干预，使其保持在最佳切削状态下工作，从而提高加工质量、效率，以及延长机床及刀具寿命等。

(4) 机器人

机器人除可应用于铸造、锻造、热处理、焊接和喷漆等工作条件不好的工作外，特别适用于对人体健康有害的以及危险性的生产过程中。在弹药生产中，这种加工过程是相当多的，如装填炸药等。此外，还可以用机器人进行繁重的体力劳动，如工序间的运送工作，自动检验及全弹的自动装配等。

(5) 柔性加工系统

组合机床和专用机床组成的自动线适合于炮弹的大量生产，但不适合产品更新换代的需要。为此，在弹药制造中，近年来又出现了柔性加工系统，这种系统是由数控机床、加工中心、自动刀具变换装置、检测装置、计算机控制装置和软件库等组成。柔性加工系统可使操作人员减少到原生产线的 1/5，生产成本降低 50%。

柔性加工系统对兵器工业具有更为特殊的意义，这是因为武器的竞争激烈，更新换代迅速，使用柔性加工系统后可以很快改变生产的产品，不必像专用生产线那样平时闲置不用。所以对军民结合、平战结合也具有特殊的意义。

2. 弹药制造的工艺

(1) 弹体毛坯制造

弹体毛坯制造是弹体制造过程中的一道工序。弹体毛坯主要制造方法有铸造法、热冲压法、冷挤法以及管缩和旋压成形法。

铸造法适用于制造杀伤、爆破的迫击炮弹弹体，用材有钢性铸铁、稀土球墨铸铁。铸造弹体不允许有白口、气孔、缩孔、疏松等疵病，其材质的化学成分、机械力学性能、弹体外形尺寸、质量偏心、药室形状等应符合毛坯图与技术要求。

热冲压法适用于中大口径后膛弹弹体，材料一般为 D60、58SiMn、60Si₂Mn 等炮弹钢。用水压机热冲压毛坯，其材料利用率一般为 60% 左右，这就是说，要有 40% 左右的钢材要切削成屑；用精密热冲压方法制造毛坯，材料利用率一般为 75%~80%，有了比较大的改善。弹体头部需经收口成形。热压所需设备吨位比冷挤法小，压型、冲孔、拔伸一次加热完成，生产效率高，适合大量生产。缺点是材料利用率低，劳动条件较差。

冷挤法最适用于中小口径弹体毛坯的制造，材料一般为低碳钢，如 S15A、S20A 等。冷挤法能保证弹体尺寸精度、表面粗糙度、高的强度和刚度。与热冲压法相比，材料利用率



高，但需要大吨位的压机和高强度、高精度和耐磨的冲模具相匹配，毛坯制造过程中又需多次退火、酸洗、磷化等技术措施，限制了其在大、中口径弹体制造上的应用。冷挤弹体毛坯简化了后续机加工等生产工序，具有较高的生产效率。

管缩和旋压成形法用于壁厚不大的战斗部毛坯，具有较高的生产效率。目前，在用强力旋压技术生产薄壁零件上，已取得了一定的进展。

(2) 弹体和火箭战斗部收口

弹体和火箭战斗部收口是用压力机和收口模将粗加工后的弹体（或火箭战斗部壳体）毛坯缩径成所要求弹体或火箭战斗部头部的成形方法。按变形区的加热温度可分为：热收口、温收口和冷收口。

热收口工艺简单，收口时，金属流动性好，变形力小，但氧化皮多，内腔尺寸和形状不易控制，一致性差，适用于变形大的厚壁弹体收口工艺。

冷收口生产效率高，尺寸精度和表面粗糙度好，但变形力大，对模具的精度和强度要求高，模具使用寿命低，收口前一般都需要热处理和表面润滑处理等准备工序。

温收口具有热收口和冷收口的优点，已用于大型薄壁弹体的收口。收口的操作有口朝下和口朝上两种方式。薄壁弹体收口也可用旋压成形的工艺方法。

旋压收口常用于碎甲弹弹头部收口成形，或作为变形量较大的薄壁火箭战斗部的收口工艺。旋压收口时，将筒形弹体半成品，装卡在专用的旋压收口机上，头部加热至规定温度。弹体强力旋转时，装在旋压收口机旋臂端的硬质合金摩擦板与弹体外表面加热部分接触，旋臂绕中心轴旋转，旋转半径为弹头弧形半径。弹体靠摩擦板的挤压变形，逐步形成圆弧形头部。加热弹体过程中要严防局部温度过高产生过烧或脱碳，或温度过低而发生折裂。此法优点是：弹体头部与圆柱部的同轴性好，生产效率较高，成本低等。

3. 弹药加工中的自动检测

炮弹的战术性能是取得战争胜利的保证，弹药质量的好坏直接关系着军队的战斗力，任何质量不好的炮弹都会给部队带来严重后果，这就要求产品的质量必须合格。炮弹质量的最终检验是射击实验，由于不可能把生产出来的炮弹都进行这样的试验，因而，试验上的局部性决定了必须在生产过程中逐个工序的严格检验。不难想像，这种检验的工作量是非常大的，因而有必要使用自动检测技术。

对于检测工作，首先要测量工件的几何参数，确定工件是否合格，而且还要将测量结果作为一种信息，反馈到加工系统，对加工过程进行评价及控制。过去，仅采用生产过程前后的检测，即在加工前检验毛坯，防止加工不合格的毛坯和在加工结束后检验成品。现在，更重要的是加工过程的检测，利用检测到的信号进行反馈控制，以防止废品的发生。由于炮弹生产要求 100% 的检验，而且是大量生产，这就需要大量的检验工人。自动检测可以提高检测效率，提高检测的可靠性，还可减少检测工人的数量。在自动检测中，广泛使用了专用的自动检验机，它适用于特定产品的自动检测系统，最初应用于小口径炮弹的检测，以后必将



向中、大口径的炮弹推广。

激光扫描自动检测系统是一种用于生产现场的高精度检测系统，其扫描速度很高（90~220 m/s），并将多次的扫描结果平均化，可以大大提高测量精度。由于它是在非接触状态下进行测量，因而可以对热状态的工件进行检验，如用于热冲压毛坯的尺寸检验等。

炮弹表面缺陷的检查，如裂纹、沙眼、气孔、划痕、夹杂等现象，以往一直以人工用肉眼检查，近来已采用各种传感器代替人的视觉进行检查。

无损检测主要是用超声波的方法检验炮弹装药的质量，这对及时发现影响发射安全的疵病，如炸药中的疏松、缩孔、气泡等，并加以剔除，有着极其重要的意义。

1.7.2 技术条件和弹药靶场试验

1. 技术条件

技术条件和产品图同样是工厂组织弹药生产的最主要的原始资料。在弹药的生产过程中，技术条件是所有技术工作和相关人员共同遵守的技术规则。技术条件也是从多年大量生产实践中总结出来的技术要求。当然，随着生产工艺的改变和科学技术的发展，技术条件也应当不断改变和发展。

最重要的技术条件是：弹体的制造与验收，以及全弹的装药、装配与验收等。这些技术条件规定了生产过程中技术文件制定的规则，生产的组织，产品的质量标准，原材料的检验，毛坯的制造与检验方法，以及靶场试验的抽样与实施方法等等。

技术条件的内容，一般包括：

（1）一般技术要求

规定弹药生产所依据的技术资料，生产的组织程序，工艺规程的审批规定，工艺改变时的具体程序与要求，原材料的检验规定，代用原材料的使用办法等等。

（2）对毛坯、零件和部件的要求

规定热冲压、型锻、热收口、热处理的技术要求，如加热时间的检验，冲压工艺过程的控制，以及对钢材规格改变的处理方法，截断的要求，加工质量的检验，热处理如一次没达到性能要求，需要重复热处理时的技术规定等。

（3）对机械加工零件的尺寸要求

表面质量的要求与检验方法的规定。这里面主要有壁厚差的检验方法，几何偏心的检验，螺纹的检验方法，局部超差的允许范围，表面刀具划痕的深度、条数等的具体要求等等。

（4）对关系到产品发射强度与射击密集度的试验办法与技术标准

规定水压试验的具体规则，磁力探伤的规则，弹带加工质量的检验办法等等。在技术条件中，还规定废品的隔离管理办法，生产中的责任制度，生产责任者的工序印记的位置规定，工厂代号，产品的材料炉号，热加工与热处理炉号，制造年月与军代表验收的印记位置及顺



序的规定等等。

因炮弹、火箭弹是大量生产的，对编批将提出要求，如不同口径炮弹的每批数量，同批炮弹允许使用材料炉号的数量等等。此外，还有表面处理、涂油、涂漆质量的检验办法等等。最后，技术条件还规定军代表的验收技术规则，包括：验收程序，抽样的方法与数量，验收的项目，不合格品返修的处理方法，靶场试验的实施方法与质量标准等等。

除上述主要技术条件外，还有一些工艺专用的技术条件，如镀锌、涂漆的技术条件，表面氧化与磷化的技术条件等等。

在制造弹药时，只有产品图是不够的，设计者除了提出供制造使用的产品图外，还必须编制出产品图上没有作出具体规定的技术要求，即技术条件。这样，才能保证制造出的产品，在性能上达到设计的战术技术要求。

2. 靶场试验

由于影响因素很多，只是靠理论来分析计算弹药的作用与性能是不够的，因而必须进行各种试验来检查弹药的制造质量。在各种试验中，决定性的是靶场射击试验。

靶场试验可分为生产交验和科学研究两种情况。生产交验的靶场试验是经常进行的，在一般情况下，每批弹药都必须进行这种试验。试验项目有：弹体强度、射击密集度、炸药装药安定性与爆炸完全性等。科学研究的靶场试验，是为了检查新设计的弹药是否满足设计要求。

靶场试验项目主要有：

- ① 发射强度；
- ② 射击密集度和最大射程；
- ③ 飞行稳定性和飞行正确性；
- ④ 破片性能和杀伤威力（榴弹）；
- ⑤ 爆破威力（榴弹）；
- ⑥ 穿甲威力（穿甲弹）；
- ⑦ 破甲威力（破甲弹）；
- ⑧ 特种弹的作用性能（烟幕、照明等）；
- ⑨ 其他有关作用与性能的试验项目。

3. 炮弹的靶场试验

（1）强度试验

目的是检查弹丸发射时、飞行中和撞击目标后，弹体保持完整不破裂的性能，弹带的强度等等。强度试验需在制式火炮上进行，发射药需经过 50℃ 的保温，以使膛压达到试验规定的“强装药”压力。

在射击之前，需对弹丸进行检查，并在规定的部位冲印后测量其外径尺寸，并作记录。弹丸内装填不爆炸物质，并使弹丸质量及质心位置与原弹丸相同。



射击后回收，并检查下列内容：弹体有无破裂，弹体圆柱部上有无不允许的永久变形，弹底有无凹陷，弹带是否断裂，有无不允许的位移，接缝处拉开的距离是否超过允许值，以及产品图上规定的其他要求。

弹体强度试验是强度试验中的主要方面，指的是检验发射时和撞击目标时弹体与其他零件的强度及作用可靠性的射击试验。试验用的火炮性能应符合规定要求（如初速降低不超过2%~5%）；弹体内装有惰性物质，配假引信或阻力帽；采用强装药。射击后，弹丸应回收（回收率不低于80%）检测。57 mm口径以上弹丸和迫击炮弹采用对地面射击后回收，57 mm口径以下弹丸采用对木屑回收装置射击后回收。检验回收后的弹体及零部件的变形量（应符合图样规定范围）、各零部件的连接可靠性和弹体药室的闭气可靠性。对有药室的普通穿甲弹的弹体，主要考核碰靶强度，试验时，着速要略大于靶板的极限速度，按规定着角，向设置离炮口50~100 m处靶板射击。弹体弧形部允许破损，但裂纹扩展不允许延至药室，其他部分须符合试验规定。

（2）炸药装药发射安定性试验

此试验又称弹体装药射击安定性试验，是检查弹丸的炸药装药在最高膛压条件下是否具有膛内、炮口和弹道的安全性能。

为了排除来自弹体强度方面的影响，必须在弹体及其零件发射强度试验合格后，方可进行射击安定性试验。炸药装药射击安定性试验是用强装药射击，试验方法基本同于装配弹体发射强度试验。

（3）榴弹终点安定性与爆炸完全性试验

榴弹的碰击安定性就是要求弹丸被引爆之前，炸药装药必须安定，不能出现早炸。在引信正确作用后，弹丸又必须爆炸完全。

碰击安定性试验实施时，采用专用减装药，用实弹、假引信或摘火引信。爆炸完全性的判定是定性的。

（4）密集度试验

弹丸密集度试验，考核弹丸弹着点相对弹着中心密集程度的试验。随弹丸性能和作用的不同，试验时可对立靶或对地面射击。立靶射击主要用于破甲弹、穿甲弹、碎甲弹，以及用水平射击就能达到考核目的的小口径炮弹和高射炮炮弹等；地面射击用于迫击炮弹、半穿甲弹和中大口徑炮弹。

试验时，为消除其他各种因素的影响，试验场地、火炮、瞄准系统、气温、风速、风向、发射装药等试验条件，瞄准、试射、射角的确定等射击操作方法，以及弹着点的观测均应符合有关规定。

试验场地应开阔而平坦，立靶为正方形，大小取决于射击距离和弹丸的最大预定散布，一般用厚纸板、胶合板或布绷在垂直地面的靶架上构成。瞄准点是靶面十字中心线交点，十字线宽以从炮位能看到为度。地面射击多用最大射程，靶道应有足够的长度和宽度。场地小，



不能进行最大射程射击时,允许缩短至最大射程的 $4/5$ 或 $2/3$,这时对密集度指标应作相应调整。试验用火炮的初速下降量应在规定范围内,发射装药为弹道性能符合规定的全装药。弹丸应经外观检查,称重并测出质心位置。同组弹丸质量差不得超过一个弹重符号值。立靶试验一般用惰性弹,若用实弹时必须用摘火引信。地面试验一般用实弹,引信装定为瞬发,若用惰性弹,应保证其质心位置不会在发射时后移,用真引信,并采取观察弹着点的措施。试验时,地面风速不大于 10 m/s (试验迫击炮炮弹、无坐力炮炮弹和火箭弹时,应不大于 7 m/s)。正式试验前先进行温炮(或叫试射)射击。试射确认一切正常后,按组进行射击,每组发数按产品图纸规定。立靶射击后按直接坐标法测量靶面弹着点的 y 、 z 坐标,地面射击用交会法或直角仪法测量弹丸在地面爆炸点的 x 、 z 坐标。

(5) 杀伤和爆破威力试验

① 榴弹破碎性(破片质量分布)试验:破碎性试验的方法是回收弹丸爆炸后的破片,并按质量分组获取破片质量分布,必要时可进一步测定各质量组破片的平均迎风面积以及空气阻力系数。

② 破片速度分布试验:测量破片速度的常用方法有 X 光摄影法、测时仪法和高速摄影法。

③ 破片空间分布试验:过去主要采用球形靶测试法,现在则采用长方形靶测试法,这种方法在靶区的划分以及破片密度的计算上都比较准确,靶的制作也比较容易。

④ 扇形靶试验:扇形靶试验的目的是测定弹丸及战斗部在静止情况下爆炸的密集杀伤半径。

在密集杀伤半径的圆周上平均一个人形靶上(立姿:高 1.5 m 、宽 0.5 m)要有一块击穿 25 mm 厚松木靶板的破片。

(6) 穿甲弹威力试验

① 极限穿透速度试验:这种试验应逐发测量并调整靶试法向角。试验中,不仅要测量穿甲弹的着靶速度,而且要测定其着靶章动角。一般要求着靶章动角不超过 3° 。当最低穿透着速与最高不穿透着速之差不超过 3% 时,其最低穿透着速即为该弹的极限穿透速度。为确保穿透试验的有效性,试验还必须满足穿甲有效条件。

② 穿甲威力试验:穿甲威力试验,是一项综合性的考核穿甲威力的试验。该试验通常在极限穿透速度试验后进行。靶后必要时设立观察弹丸后效作用的松木板和油箱等。脱壳穿甲弹在有效射程上进行射击实验,依据穿透后效靶的情况,评定威力。

(7) 破甲弹威力试验

① 静破甲试验:聚能装药战斗部在一定炸高条件下,以静态爆炸测定破甲威力(深度)的试验称为静破甲试验。

在穿深试验中,还可以用 X 光摄影机研究射流的形成、射流速度、射流形态和破甲等现象和参数,也可测量侵彻深度与穿靶时间关系,即 $P-t$ 曲线。



② 动破甲试验：动破甲试验是对指定的模拟装甲目标，在一定的着靶条件下以射击测定破甲弹威力的综合性试验。对破甲弹威力做出综合评定时，应包括对后效靶的后效作用试验，或进行专门的后效试验。

动破甲试验要统计破甲率——命中靶面有效区的穿透靶板发数量与试验有效发数量之百分比。破甲率一般不低于 90%。

③ 破甲后效试验：后效靶板法是利用主靶后面设置的多层薄靶测定剩余射流和二次破片的侵彻能力及空间分布情况，以检验破甲后效作用。

4. 火箭弹的靶场试验

由于火箭炮一次齐射的数量较大，为减少试验弹药的消耗量，所以一般规定：火箭弹的射击密集度、发射强度和装药安全性试验，用一组全备的火箭弹射击。

试验时，以最大射程角，用精密射击法进行，即在每发之间相隔 8~10 s，以消除火炮振动对射击密集度的不利影响。

因为地面风对火箭弹密集度的影响较为敏感，故射击条件要求严格控制。一般规定：

- ① 地面风不大于 8 m/s；
- ② 火箭炮的运载车，其纵向和横向都必须保持水平，射击前需用仪器检验；
- ③ 定向器尺寸、直度必须用量具检验；
- ④ 一组火箭弹的质量公差应在 $\pm 0.5\%$ 的范围内；
- ⑤ 射击后必须测得 100% 的弹着点位置。

若在射击过程中和射击之后，没有发现早炸和弹上各部件（如燃烧室、战斗部、喷管、稳定装置等）分离，而且射击密集度符合规定指标，则为试验合格。

第2章 相关基础知识

2.1 内弹道与外弹道

弹道学是研究弹丸运动规律的科学，传统上把它区分为内弹道学和外弹道学。内弹道学是研究弹丸在膛内的运动规律以及火药燃烧规律的科学，而外弹道学是研究各种弹丸在空气中运动规律及相关问题的科学。

2.1.1 内弹道

通常，弹丸的内弹道过程可以分为如下四个过程。

1. 点火过程

后膛炮弹从炮尾装入并关闭炮闩后，便处于待发状态。射击是从点火开始，通常是利用机械作用使火炮的击针撞击药筒底部的底火（如图 1.2），使底火药着火，底火药的火焰又进一步使底火中的点火药燃烧，产生高温高压的气体和灼热的小粒子，并通过小孔喷入装有火药的药室，从而使火药在高温高压的作用下着火燃烧，这就是所谓的点火过程。

2. 挤进膛线过程

在完成点火过程后，火药燃烧，产生大量的高温高压气体，并推动弹丸运动。由于弹丸的弹带直径略大于膛内的阳线直径，因而在弹丸开始运动时，弹带是逐渐挤进膛线的，阻力不断增加，而当弹带全部挤进（嵌入）膛线后，阻力达到最大值，这时弹带被划出沟槽并与膛线完全吻合（如图 2.1），这个过程称为挤进膛线过程。

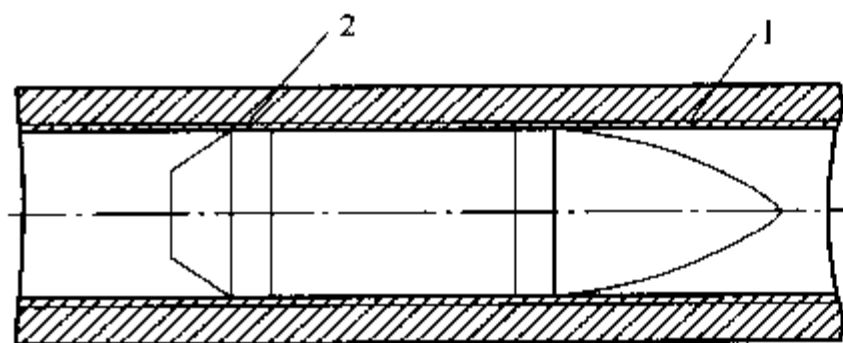


图 2.1 弹丸在炮膛内运动

1—膛线；2—弹带嵌入

3. 膛内运动过程

弹丸的弹带全部挤进膛线后，阻力急剧下降。随着火药的继续燃烧，不断产生具有很强做功能力的高温高压气体。在这样的气体压力作用下，弹丸一方面沿炮管轴线方向向前运动，另一方面又沿着膛线

作旋转运动。在弹丸运动的同时，正在燃烧的火药气体也随同弹丸一起向前运动，而炮身则向后运动。所有这些运动都是同时发生的，它们组成了复杂的膛内射击现象。随着这种过程



的进行,膛内气体压力从起动压力 p_0 开始,升高到最大膛压 p_m 后开始下降,而弹丸的速度不断增加,在弹底到达炮口瞬间,弹丸的速度称为炮口速度(如图 2.2)。以后,弹丸离开炮口而在空中飞行。

4. 火药气体对弹丸后效作用过程

弹丸飞出炮口之后,在它后面的火药气体也将随之喷出。这时,气体的运动速度将大于弹丸的运动速度,对弹丸仍将起着推动作用,使弹丸继续加速。但是,由于气体流出后将迅速向四周扩散(膨胀),因而在距离炮口的某一距离处,火药气体的运动速度将变得小于弹丸的运动速度,对弹丸不再起推动作用。对弹丸来说,当火药气体的推动作用同空气对弹丸的阻力和重力的影响相平衡时,弹丸的加速度为零,此时速度将达到最大值。这就是说,弹丸运动的最大速度不是在炮口处,而是在出炮口以后的某一弹道点上。尽管弹丸飞出炮口后,火药气体对弹丸运动继续起作用的这段弹道不长,但对弹丸运动的影响却是不可忽视的。

弹丸自飞出炮口到伴随流出的火药气体对弹丸作用消失为止的这段弹道,是中间弹道学的研究对象。过去,总是把中间弹道作为内弹道学的一个组成部分来对待。在处理具体的弹道问题时,是将炮口作为内、外弹道的分界,把在外弹道某点处的速度测出以后,考虑弹丸的受力情况,然后再折算到炮口,并把这一折算后的速度(初速 v_0)作为弹丸外弹道的起始条件。这样,火药气体在中间弹道对弹丸运动速度的影响也就被间接地考虑了。

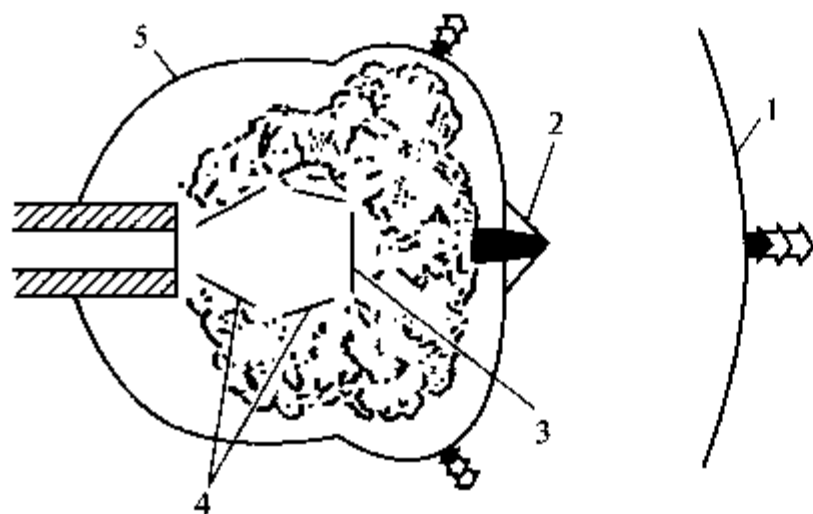


图 2.3 中间弹道流场示意图

1—前驱波;2—初始冲击波;3—马赫盘;
4—瓶状冲击波;5—爆炸冲击波

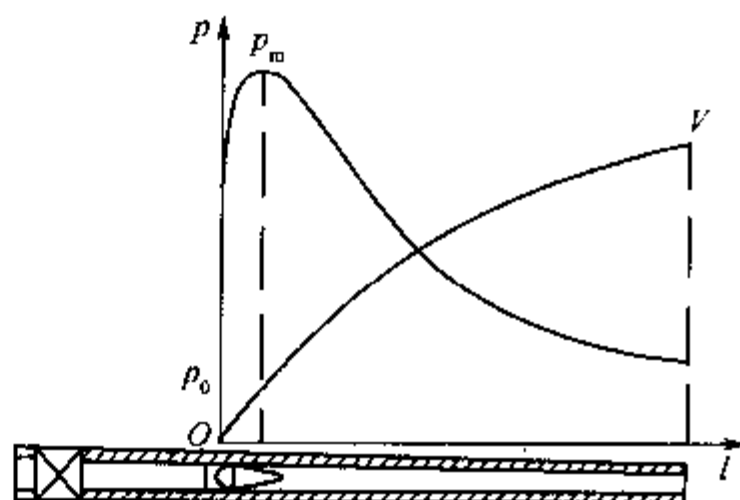


图 2.2 膛内压力、速度随行程的变化曲线

但是,弹丸在中间弹道上的运动是一个十分复杂的问题。在图 2.3 中,给出了某一瞬时中间弹道的流场示意图。由此可见,弹丸在中间弹道内的受力和运动情况是比较复杂的,只是间接考虑火药气体对弹丸运动速度的影响是不够的。对中间弹道的初步研究表明,深入认识中间弹道内的物理本质,可能对火炮炮口处的结构选择以及弹丸射击精度的提高都会带来好处。

至于火箭弹的内弹道问题,它是研究火箭发动机工作原理的。与弹丸的运动不同,在火箭发动机工作时,将不断喷出燃气流而直接产生反作用——推力,从而推动火箭弹运动。



2.1.2 外弹道

弹丸在飞行过程中, 由于受到发射条件、大气条件以及弹丸本身各方面因素的干扰, 所以呈现出复杂的运动规律。按照外弹道学研究的历史过程, 可以将其分成质点弹道学和刚体弹道学两大部分。

质点弹道学是在一定的基本假设下, 略去对弹丸运动影响较小的一些力和全部力矩, 把弹丸当成一个质点来看待, 研究其在重力、空气阻力和推力作用下的运动规律。质点弹道学的作用在于研究此简化条件下的弹道计算问题, 分析影响弹道的诸因素, 并初步分析形成散布和产生射击误差的原因。

刚体弹道学则是考虑弹丸所受的全部力和力矩, 把弹丸当做刚体, 研究其质心运动、围绕质心的角运动以及二者之间的相互影响。刚体弹道学的作用在于解释飞行中出现的各种复杂现象, 研究弹丸稳定飞行的条件, 形成散布的机理及减小散布的途径, 刚体弹道学还用来精确计算弹道或应用于编拟射表。

1. 弹丸的空气阻力

弹丸在空气中运动时, 将受到空气的作用力。对于质量分布均匀、外形对称的弹丸, 当其对称轴与运动速度方向平行时, 空气作用力的合力便与弹丸的对称轴重合, 且其方向与飞行速度方向相反, 这就是空气阻力, 以 R 表示。空气阻力的大小取决于三个方面, 即弹丸形状尺寸与表面状况, 空气的密度、黏性与可压缩性以及弹丸与空气的相对速度。试验结果表明, 空气阻力的大小与弹丸的最大截面积成正比, 与空气密度成正比, 在马赫数小于临界马赫数时近似与速度平方成正比, 其他因素的影响可以包含在一个实验系数中, 称为阻力系数, 即有

$$R = \rho v^2 S C_x(Ma)/2 \quad (2-1)$$

式中, S 为弹丸横截面积; ρ 为空气密度; v 为弹丸运动速度; $C_x(Ma)$ 为阻力系数; Ma 为马赫数。

由此可见, 对于一定的弹丸, 在一定的射击条件下, 空气阻力的大小主要取决于阻力系数的数值。在图 2.4 中, 给出了几种不同弹形的阻力系数 (C_x) 与马赫数 (Ma) 之间的关系曲线。

对形状相似的弹丸来说, 其阻力系数与马赫数的关系曲线是相似的, 故常取某一个或某一组弹丸的 $C_x^*(Ma)$ 曲线作为标准, 并称其为空气阻力定律。

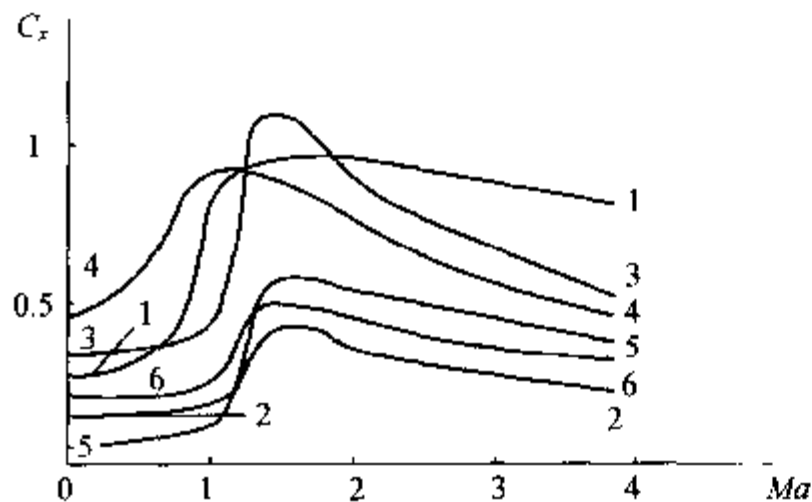


图 2.4 阻力系数与马赫数的关系

1—球形弹丸; 2—旋转稳定弹丸; 3—张开式尾翼稳定弹丸;
4—同口径尾翼稳定弹丸; 5—迫击炮弹; 6—火箭弹



而其他弹丸的 $C_x(Ma)$ 关系则以标准弹丸的阻力系数与某一系数的乘积表示, 并将该系数定义为弹形系数 (i), 即有

$$C_x(Ma) = iC_x^*(Ma) \quad (2-2)$$

目前, 常用的阻力定律有西亚切阻力定律和 1943 年阻力定律等。

对于超音速运动的旋转稳定弹丸来说, 常把阻力系数 $C_x(Ma)$ 分为头部波阻系数 C_{x_h} , 尾部波阻系数 C_{x_w} , 底部阻力系数 C_{x_b} 和表面摩擦阻力系数 C_{x_m} , 即有

$$C_x = C_{x_h} + C_{x_w} + C_{x_b} + C_{x_m} \quad (2-3)$$

2. 弹丸的质心运动轨迹

(1) 弹丸的质心运动方程组

弹丸的质心运动方程组是在如下基本假设条件下建立的:

- ① 弹丸质量分布均匀, 外形对称且其对称轴与质心速度矢量的夹角即攻角为零;
- ② 气象条件符合标准气象条件;
- ③ 不考虑地球自转的影响及重力加速度随纬度的变化;
- ④ 不考虑地球曲率及重力加速度随高度的变化。

由于外形对称且攻角为零, 空气阻力矢量必然与弹轴重合。又由于质量分布均匀, 故质心必然在弹轴上, 因此空气阻力必然通过质心。由于重力总是通过质心的, 所以炮弹所受外力均通过质心, 即可把弹丸作为质点来研究。

由于标准气象条件中规定无风, 空气阻力必然在射击平面内。又因忽略哥氏惯性力的影响, 因此弹丸受力均在射击平面内, 如图 2.5 所示。

在上述基本假设条件下, 根据牛顿第二定律可得弹丸的质心运动方程组为

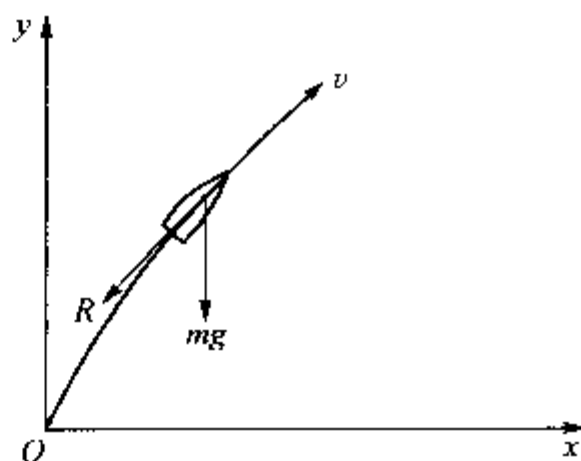


图 2.5 弹丸受力图

$$\begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = -cH(y)G(v, c_x)v_x \\ \frac{dv_y}{dt} = -cH(y)G(v, c_x)v_y - g \\ \frac{dx}{dt} = v_x \\ \frac{dy}{dt} = v_y \\ \frac{dp}{dt} = -\rho g v_y \end{cases} \quad (2-4) \quad \text{其中} \quad \begin{cases} G(v, c_x) = \frac{\pi}{8000} \rho_{0n} C_{x0n} \left(\frac{v}{a} \right) v \\ H(y) = \frac{\rho}{\rho_{0n}} \\ \rho = \frac{p}{R_1 \tau} \\ v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \\ a = \sqrt{k R_1 \tau} \end{cases}$$



式中, τ 由气温随高度分布的标准定律确定; C_{x0n} 是 1943 年阻力定律的阻力系数; 气压对时间的变化方程由大气铅直平衡方程得到。

积分初始条件为: $t=0$ 时, $v_x = v_0 \cos \theta_0$, $v_y = v_0 \sin \theta_0$, $x = y = 0$, $p = p_{0n} = 10^5 \text{ Pa}$ 。

(2) 弹道系数

在各种力的作用下, 弹丸和火箭弹在空气中的质心运动轨迹即为弹道 (如图 2.6)。在图 2.6 (b) 中, Oa 段是火箭发动机工作的一段, 称为主动段, 而 asc 段称为被动段。

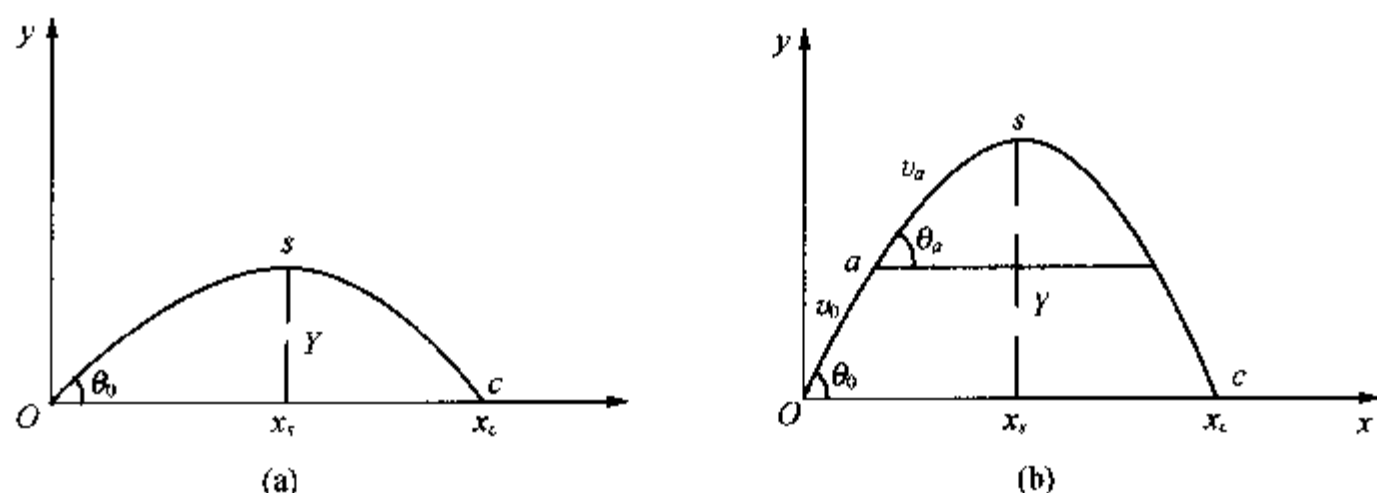


图 2.6 外弹道示意图

(a) 炮弹弹丸弹道; (b) 火箭弹弹道

为方便起见, 常用注脚“O”、“s”、“c”和“a”分别表示射出点、顶点、落点和主动段终点的弹道诸元。采用英文大写字母表示弹道诸元。如 X 表示全射程, Y 表示最大弹道高等。

对弹丸质心运动的研究表明, 弹丸的外弹道诸元由所谓弹道系数 c 、初速 v_0 和射角 θ_0 所决定。对射程而言, 可以写出如下函数关系

$$X = X(c, v_0, \theta_0) \quad (2-5)$$

其中初速和射角对射程 (或弹道诸元) 的影响是显而易见的。在此, 只对弹道系数的影响作一说明。

弹道系数的表达式为

$$c = \frac{id^2}{m} \times 10^3 \quad (2-6)$$

式中, i 为弹形系数, 对于确定的弹形可视为常数; d 为弹丸直径; m 为弹丸质量。

分析式 (2-6) 可知, 弹道系数反映了弹丸保持运动速度的能力。弹道系数大, 说明作惯性运动的弹丸容易失去其速度; 弹道系数小, 说明弹丸保持其速度的能力强。

(3) 质量系数

由于弹丸质量 m 与弹丸的体积有关, 所以有 $m \propto d^3$ 。若引入弹丸质量系数 (或称弹丸相对质量)



$$c_m = \frac{m}{d^3} \quad (\text{kg/dm}^3) \quad (2-7)$$

则式(2-6)可写为

$$c = \frac{i}{c_m d} \quad (2-8)$$

不同种类的弹丸,其质量系数值不同。但对于相似的同类弹丸,其质量系数值将在不大的范围内变化。可见,形状相似的同类弹丸,其弹道系数与弹径成反比,即弹径越大,弹道系数越小,因而空气阻力的影响也小。

3. 飞行稳定性

所谓飞行稳定性,就是指弹丸在飞行中受到扰动后其攻角能逐渐减小,或保持在一个小角度范围内的性能。实际上,稳定飞行是对弹丸的基本要求。如果不能保证稳定飞行,攻角将很快增大,此时不但达不到预定射程,而且会使落点散布也很大。

当前保证弹丸飞行稳定的方法有两种:旋转稳定(即陀螺稳定)和尾翼稳定。

旋转稳定是令弹丸绕其轴高速旋转,产生足够的陀螺力矩,使弹轴绕平衡位置作周期运动的一种稳定方式。由外弹道学研究得知,弹丸旋转稳定性内容包括:急螺稳定性、追随稳定性和动态稳定性三部分。

急螺稳定性是指弹丸在发射时,经受膛内各种不均衡因素的作用,使弹丸获得一个力矩冲量,使出炮口后弹轴与弹道切线不重合,这样,空气阻力作用线不通过弹丸的质心,产生一个迫使弹丸翻转的力矩,其大小与弹速、弹轴对弹道切线偏角等有关。为实现飞行稳定,弹丸应绕自身轴线进行高速旋转,以克服翻转力矩的不利作用。旋转弹丸的这种飞行稳定性,称急螺稳定效应。弹丸在旋转过程中可能出现三种情况:转速适中,在飞行中始终能维持允许的小攻角;转速过低,弹丸飞行不稳定并在空中翻转;转速过高,使弹轴方向在飞行中保持不变,且攻角很大,这种过稳定现象会影响射程,而且发生弹底着地,致使炮弹失效。在工程设计中,常用理论计算确定的急螺稳定系数与旋转飞行稳定弹丸的相应值作对比,当前者大于后者时,满足急螺稳定性条件。

追随稳定性是指弹丸在弹道曲线段飞行时,弹道切线的方向时刻在改变,这时飞行弹丸的动力平衡轴亦应作相应变化,以保持两者每时每刻不发生大的偏差。弹丸的动力平衡轴跟随弹道切线以同样角速度向下转动的特性,称为追随稳定性。在弹道顶点追随稳定性最差。

另外从弹丸整个飞行过程来分析,仅考虑直线段的急螺稳定性和曲线段的追随稳定性还不够,还应考虑全弹道上的章动运动是否逐渐衰减,弹丸的这种特性称为动态稳定性。

尾翼弹丸的飞行稳定性是靠尾翼产生的升力使弹丸的压力中心移至弹丸质心之后,此时,空气动力对弹丸产生的力矩是迫使弹丸攻角不断减小的稳定力矩。当弹丸遇上由攻角引起的扰动时,该力矩会阻止攻角的增大,迫使弹丸绕弹道切线作往返摆动。这是尾翼弹飞行稳定的必要条件。为使弹丸在全弹道上稳定飞行,还要求这种摆动迅速衰减;同样在曲线段



具有追随稳定性。对微旋尾翼弹，还要求弹丸具有良好的动态稳定性。

(1) 稳定飞行的原理

弹丸飞行稳定原理为研究弹丸保持固有飞行姿态或反抗外界干扰能力的有关过程、现象及规律的理论，这是外弹道学研究的主要内容，亦是弹丸设计的重要内容之一。现对尾翼稳定和旋转稳定（即陀螺稳定）分述如下：

① 尾翼稳定原理：尾翼稳定的原理比较容易理解，古代的弓箭就是靠尾翼稳定的。其实质是使空气动力的压力中心处于质心之后，此时的静力矩就是稳定力矩，其作用方向是使攻角减小的方向。除了设置尾翼以外，凡能使静力矩成为稳定力矩的方式都属于尾翼稳定的范畴。

尾翼稳定的必要条件是压力在质心之后，即翻转力矩系数 $m'_z < 0$ 。但并非满足此条件就够了，一般还需要一定富余量。压心至质心的距离与弹长之比称为稳定储备量，通常稳定储备量都在 10%~30% 范围内。稳定储备量大并非肯定就能稳定，实际上尾翼弹丸在转速过高时也会发生不稳定。这说明满足稳定储备量的要求仅是稳定飞行的必要条件。

② 陀螺稳定原理：陀螺稳定是利用高速旋转所产生的陀螺效应来改变弹轴的运动规律，以此来达到稳定飞行的目的。玩具陀螺之所以能不倒也是同样的原理。

不旋转的弹丸当受到外力矩作用使弹轴产生一个角速度后，如果不再受其他外力矩作用，则弹轴将以此角速度继续在此平面内转动，只有在受到另一个力矩的作用后才能改变转动方向。但高速旋转弹丸其弹轴的运动规律与不旋转的弹丸完全不同。

高速旋转弹丸的运动与陀螺仪完全相似。不妨把弹丸看成高速旋转的陀螺转子，其转速为 γ （如图 2.7）。设想有一个框架，弹丸可以在框架上绕弹轴自转，框架可以绕框架轴转动。

如果使框架轴以角速度 ϕ 逆时针转动，则弹丸和框架在随同框架轴转动的同时，必将产生一个绕框架轴的角加速度，使弹尖向外转动，就像受到一个绕框架轴的力矩作用一样。这种现象称为陀螺效应，这个假想的绕框架轴的力矩就是陀螺力矩。

下面具体说明陀螺力矩产生的原因。如图 2.7 所示，在弹丸上取四个小质点 M 、 N 和 E 、 F 。当弹绕弹轴高速自转时，这些小质点的速度都是与弹轴垂直的。设弹轴以角速度 ϕ 转动，并设想转了一个小的角度，弹轴转到了虚线所示位置。则 M 、 N 两点的速度方向都将随之发生变化（ E 、 F 两点速度方向不变）， M 点速度由 v_M 变为 v'_M ，产生了向上的一个速度增量 Δv_M ； N 点速度由 v_N 变为 v'_N ，产生一个向下的速度增量 Δv_N 。这意味着如果弹轴以角速度 ϕ 作平面摆动

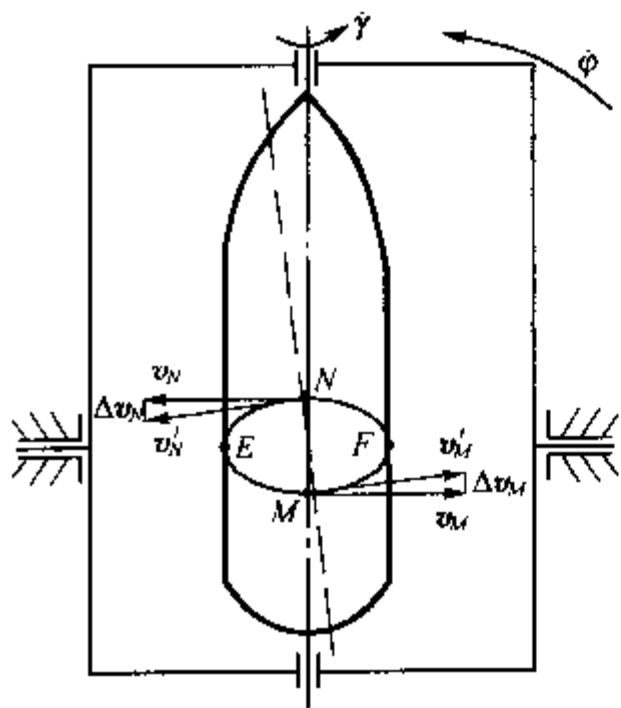


图 2.7 陀螺力矩的物理本质



时, 则 M 点将产生向上的加速度, N 点将产生向下的加速度。但欲使 M 点产生向上的加速度必须向其提供向上的力才有可能, 在外界没有提供此力的条件下, M 点必须向下加速运动, N 点必须向上加速运动。也就是弹轴和框架以 ϕ 逆时针转动的同时, 必须绕框架轴使弹头向纸面外加速转动, 其角加速度矢量向右, 好像受到一个向右的力矩矢量作用一样。此力矩就是陀螺力矩, 其实质是惯性力矩。以上说明高速旋转的右旋弹丸, 当其产生一个使弹头向左的角速度同时, 必须产生一个向右的惯性力矩矢量。

陀螺力矩的大小与自转角速度 $\dot{\gamma}$ 成正比, 与极转动惯量 C 成正比, 与摆动角速度 ϕ 成正比, 它等于三者的乘积 $C\dot{\gamma}\phi$ 。

在陀螺力矩的作用下, 由于陀螺力矩矢量的方向始终与角速度矢量垂直, 所以弹轴不可能再作平面摆动。此时弹轴将在空间作复杂的角运动, 弹轴上任一点都在作曲线运动, 且自转角速度越大, 此曲线的曲率越大。在转速足够高时有可能使弹轴的运动局限在一个小的范围内, 通常将弹轴的这种性质称为定向性。转速愈高, 弹轴的运动范围愈小, 弹轴的定向性愈强。利用弹轴的这种定向性, 在一定条件下就能使弹的攻角保持在一个小的范围内, 这就是陀螺稳定原理。

并非所有高速旋转弹丸都能稳定飞行。决定弹丸能否稳定飞行的一个重要参量叫做陀螺稳定因子, 它的定义为

$$S_g = \left(\frac{C\dot{\gamma}}{2A} \right) / \left(\frac{M_z}{A\delta} \right) \quad (2-9)$$

它的分子与 $\phi=1$ 时的陀螺力矩有关; 它的分母与 $\delta=1$ 时的静力矩有关。陀螺稳定因子的大小反映陀螺力矩相对静力矩的大小。当 S_g 很大时, 陀螺力矩的作用胜过翻转力矩, 弹丸飞行可能是稳定的; 当 S_g 接近于零时, 翻转力矩的作用胜过陀螺力矩, 弹丸的运动不可能稳定。保证稳定飞行的必要条件是 $S_g > 1$, 称为陀螺稳定条件。由此知欲使弹丸稳定飞行必须使自转角速度 $\dot{\gamma}$ 大于一定数值。

(2) 飞行稳定条件

为了保证弹丸稳定飞行, 除了必须满足以上必要条件外, 还必须同时满足一些其他条件。这些稳定条件是: 动稳定条件和共振稳定条件以及追随稳定条件。

① 动稳定条件: 陀螺稳定因子也可推广应用于尾翼弹。尾翼弹的稳定条件 $m'_z < 0$ 和旋转稳定弹丸的陀螺稳定条件 $S_g > 1$ 可以合写成下面一个不等式

$$1/S_g < 1 \quad (2-10)$$

当 $m'_z < 0$ 时, $S_g < 0$, 自然满足上式; $m'_z > 0$ 时, 如果 $S_g > 1$, 则也能满足上式。所以式 (2-10) 是两种稳定方式共同的稳定必要条件。

动稳定条件比式 (2-10) 要求高一些。由飞行稳定性知, 动稳定条件为

$$1/S_g < 1 - (S_d)^2 \quad (2-11)$$



式中, S_d 称为动稳定因子, 它的大小取决于马氏力矩系数, 赤道阻尼力矩系数和升力系数等。

对于静不稳定弹丸公式 (2-10) 要求 ($m'_z > 0$), ($S_g > 0$), 式 (2-11) 要求 $1/S_g$ 大于 0 小于 1, 也就是要求 S_g 大于 1, 因而动稳定条件比陀螺稳定条件要求转速更高一些。

对于静稳定弹 ($m'_z < 0$), $S_g < 0$, 当转速 $\dot{\gamma} = 0$ 时, $1/S_g = -\infty$, 式 (2-11) 永远成立, 即不旋转的静稳定弹永远是动稳定的。对于旋转的静稳定弹, 如果马氏力矩系数等于 0, 则 $|S_d| < 1$, 此时式 (2-11) 也永远成立, 弹仍然永远是稳定的。但如果马氏力矩系数不等于 0, 便有可能 $|S_d| > 1$ 。

由式 (2-11) 知, 转速过高时就有可能出现动不稳定现象。这说明尾翼弹发生动不稳定是由马氏力矩引起的, 尾翼式火箭由于转速过高而出现不稳定的现象在试验中是曾经发生过的。

② 共振稳定条件: 弹丸在设计中除了需要满足动稳定条件外, 还应同时满足共振稳定条件, 也就是避免共振。尾翼弹有其固定的摆动周期, 此固有周期的长短取决于稳定力矩系数和赤道转动惯量等。如果弹的自转周期接近摆动周期, 则将发生共振, 在此情况下攻角将明显增大, 设计时应该避免。静不稳定弹丸不存在固有摆动周期, 故不存在共振问题。

③ 追随稳定条件: 弹轴在追随速度矢量向下转动的过程中, 将同时产生动力平衡角。当动力平衡角过大时, 理论和试验表明, 弹丸的运动将会发生不稳定现象, 致使攻角发散, 因而在设计中要求最大动力平衡角必须小于某一允许数值。这就是追随稳定条件。

一般情况下, 动力平衡角随自转角速度 $\dot{\gamma}$ 的增大而增大, 为实现追随稳定条件必须控制转速不能太高, 以使在最大射角下弹道顶点的动力平衡角小于允许值。追随稳定条件与动稳定条件是矛盾的, 因为动稳定条件要求静不稳定弹丸的转速不能太低。这个矛盾有时会给设计带来一些困难。特别在初速比较高的情况下, 由于最大弹道高很高, 弹道顶点空气密度很小, 这样使动力平衡角过大。所以除了初速比较小的榴弹炮外, 一般线膛火炮都不用大于最大射程的射角射击。

保证追随稳定的难易程度除了与翻转力矩系数 m'_z 有关外, 还与弹道系数有关。当弹道系数太大时, 弹道顶点速度太小, 也会使动力平衡角过大。涡轮式火箭加阻力环后在大射角射击时往往出现弹底着地, 致使引信不能起爆就是这个缘故。

2.2 火药与炸药

2.2.1 火药

火药是指在没有外界供氧条件下, 可由外界能量引燃, 自身进行迅速而有规律的燃烧, 同时生成大量热和气体的物质。通常由可燃剂、氧化剂、黏结剂和 (或) 其他附加物 (如增塑



剂、安定剂、燃烧催化剂等)组成,是枪炮弹丸、火箭、导弹等的发射能源。火药在武器的发展和战争中具有特殊的重要地位。火药按一定的装填方式在武器装药燃烧室中燃烧,将化学能转变为热能,同时产生大量高温、高压气体并转变成弹丸、火箭、导弹的动能。这两个转变过程是在极短时间内完成的。火药的能量及其释放速率是这两个过程的决定因素,也是决定武器性能的重要参数之一。火药的能量性质由爆热、比容、爆温、火药力或比冲量等来表征。

1. 火药在弹药中的作用

在枪炮武器中,火药是装在枪弹壳体、炮弹药筒或火炮药室内的。发射时,火药经由底火或其他发火装置点燃而进行快速燃烧,火药燃烧后释放大热量,同时生成大量气体,在膛内形成很高的压力,这种高温、高压气体在膛内膨胀做功,将弹丸高速地推送出去,达到发射弹丸的目的。

在火箭武器中,火药是装在火箭发动机的燃烧室内,发射时,火药经点火装置点燃而进行燃烧,燃烧后生成的高温、高压气体经由发动机尾部的喷管高速喷出,从而产生一种反作用推力,使火箭获得一定的速度向前飞行。

从上述情况看,火药在武器中的作用是提供发射的能源,它是通过急剧的化学反应——快速燃烧,释放热量和产生大量气体来实现的。

火药不仅在武器中提供能源,同时它与武器的质量密切相关。火药提供能量的多少直接影响到弹丸、火箭飞行速度,从而影响武器射程。对某些穿甲弹来讲,弹丸飞行速度大小直接影响穿甲侵彻深度。火药燃烧的均匀性和稳定性直接影响到弹丸、火箭弹着点的散布精度。当制造武器的材料一定时,随着火药燃烧产生的高温高压气体温度高低、压力大小的不同,武器的结构和重量会有较大差别,从而影响武器的机动性能。发射过程中,火药燃烧产生的高温高压气体是通过枪炮身管、火箭发动机尾部喷出的,因此火药燃烧情况会直接影响枪炮身管的使用寿命和发动机推力,故火药必须具备一定的性能方能满足武器要求。

2. 火药的分类及组成

随着科学技术和武器的不断发展,火药的品种也逐渐增多,为了使用、学习和研究方便,将火药进行分类。火药按所选定的分类特征,通常有两种分类方法。一是按火药用途分类,火药可分为枪炮发射药,火箭固体推进剂及其他用途的火药;二是按照火药组成成分,火药可分为均质火药和异质火药两类。均质火药又称溶塑火药,包括单基、双基、三基和多基发射药;异质火药又称混合火药或复合火药,包括低分子混合火药、高分子复合火药及复合改性双基火药,分别列于表 2-1。



表 2-1 火药的分类

火 药 (按用途分)	枪炮发射药	单基发射药 双基发射药 三基发射药 多基发射药	
	火箭固体推进剂	双基推进剂 复合推进剂 复合改性双基推进剂	
	其他用途的火药		
火 药 (按组成分)	均质火药 (硝化纤维素为基的火药)	单基火药 双基火药 三基火药 多基火药	
	异质火药	低分子混合火药	
		高分子复合火药	聚硫橡胶火药 聚氯乙烯火药 聚氨酯火药 聚丁二烯火药
		复合改性双基火药	

下面概略介绍各类火药组成及其特点:

(1) 单基火药

以硝化纤维素为惟一能量组成的火药称为单基火药, 单基火药的主要成分有:

① 硝化纤维素: 硝化纤维素是纤维素经过硝化反应后制成的纤维素硝酸酯, 它是这类火药的主要成分, 通常占 90% 以上, 也是这类火药提供能量的惟一成分。

② 化学安定剂: 火药在长期储存过程中, 硝化纤维素会发生自动分解反应, 加入化学安定剂后, 可以减缓或抑制这种分解反应的进行, 从而提高火药的化学安定性。单基火药中常用的安定剂是二苯胺。

③ 消焰剂: 消焰剂加入后, 可以减少武器发射后二次火焰的生成。常用的消焰剂有硝酸钾、碳酸钾、硫酸钾、草酸钾及树脂等。

④ 降温剂: 降温剂的加入使火药燃烧温度降低, 以减少高温对枪膛、炮膛的烧蚀作用。常用的降温剂有二硝基甲苯、樟脑和地蜡等。

⑤ 钝感剂: 加入钝感剂的作用是控制火药的燃烧速度由表及里逐渐增加, 达到所谓的渐猛性燃烧特性, 从而改进火药内弹道性能, 使初速增加或膛压降低。单基火药常用的钝感剂为樟脑。

⑥ 光泽剂: 为了提高火药的流散性, 使火药便于装药以及在药筒内提高其装填密度,



并且减小静电积聚的危险，加入了光泽剂。通常的光泽剂是石墨。

为了便于火药成形和加工的药料密实（即压成火药后药粒密度大），在火药生产过程中，常用挥发性溶剂如乙醇、乙醚，使硝化纤维塑化后具有可塑性，火药成型后又将挥发性溶剂去除，但在成品火药中总会残留少量剩余溶剂，成为火药的组分之一，因此单基火药也称挥发性溶剂火药。典型单基药的组成见表 2-2。

表 2-2 典型单基药的组成

成 分	质量分数/%	
	枪 药	炮 药
硝化纤维素 ($w(N) > 13.0\%$)	94~96	
硝化纤维素 ($w(N) = 12.8\% \sim 13.0\%$)		94~96
二苯胺	1.2~2.0	1.2~2.0
樟 脑	0.9~1.8	
石 墨	0.2~0.4	
残余挥发分	1.7~3.4	1.8~3.8

在单基火药制造过程中，为了要去除溶剂，火药成品的燃烧弧厚度受到一定的限制，即不能制成燃烧弧厚度大的火药粒，由于需要去除溶剂也使单基火药生产周期增长。单基火药含有残余挥发分和它本身有一定的吸湿性，故在储存期间，随着溶剂的挥发和水分的变化，火药的内弹道性能也将发生变化。对比其他火药，单基药对枪、炮膛的烧蚀作用较小。单基火药常用做各种步枪、机枪、手枪、冲锋枪以及火炮的发射装药。

（2）双基火药

以硝化纤维素和硝化甘油（或硝化二乙二醇或其他含能增塑剂）为主要成分的火药称为双基火药，其主要成分是：

① 硝化纤维素：这是双基火药的能量成分之一，通常用 3#硝化棉，其含氮量为 11.8%~12.1%（通称弱棉），因其在硝化甘油中较易溶解，药料塑化质量好，易制成均匀性良好的火药。

② 主溶剂（增塑剂）：它起溶解（增塑）硝化纤维素的作用，同时也是双基药的另一能量组成，常用的主溶剂有硝化甘油、硝化二乙二醇等。

③ 助溶剂（或称辅助增塑剂）：它的作用是增加硝化纤维素在主溶剂中的溶解度，常用的助溶剂有二硝基甲苯、苯二甲酸类、二乙醇硝胺二硝酸酯（通常称吉纳）等。

④ 化学安定剂：它是起减缓或抑制硝化纤维素及硝化甘油缓慢热分解的作用，双基火药中一般用中定剂而不是用二苯胺，因为二苯胺碱性较强，能使硝化甘油皂化。

⑤ 其他附加剂：其中有为改进工艺性能而加入的工艺附加剂（如凡士林），有为改善火药燃烧性能而加入的燃烧催化剂和燃烧稳定剂（如氧化铅、氧化镁、氧化铜、氧化铁、苯二甲酸铅、碳化钙等），消焰剂（如硫酸钾），钝感剂（如樟脑、二硝基甲苯、树脂、苯二甲酸二丁酯等），以及为提高火药导电性能和火药粒的流散性而加入的少量石墨。



典型双基火药配方见表 2-3。

表 2-3 典型双基火药组成

成 分	质量分数/%		
	迫击炮药	线膛炮药	变化范围
硝化纤维素	58	56	30~60
硝化甘油	40	26.5	25~40
二硝基甲苯	—	9	
苯二甲酸二丁酯	—	4.5	
安定剂	1.5	3	
凡士林	0.5	1	
水 分	0.7	0.7	0.5~0.7

双基火药可用有溶剂和无溶剂两种加工方法进行生产,用挥发性溶剂(如丙酮)加工制造的火药称柯达型火药,这种方法目前在生产上用得较少。用无溶剂加工制造的火药称巴利斯太型火药。

和单基药相比,用无溶剂加工方法制造的双基火药,由于生产过程中没有去除溶剂过程,故生产周期较短,且适宜于制造燃烧弧厚度较大的火药。火药吸湿性较小,物理安定性和弹道性能稳定。双基火药中的硝化纤维素和硝化甘油配比可在一定范围内变化,所以火药能量能满足多种武器要求。缺点是双基火药燃烧温度较高,对炮膛烧蚀较重,生产过程不如单基药安全。双基火药主要用于迫击炮和大口径火炮的发射装药。

(3) 三基火药

三基火药是在双基火药的基础上加入一定数量的含能成分(如硝基胍)而制得的,因其有三种主要含能成分,故称为三基火药。这种火药多用挥发性溶剂工艺制造。当加入硝基胍以后可以降低火药的燃烧温度,所以加硝基胍的火药有“冷火药”之称。三基火药典型配方范围见表 2-4。

表 2-4 三基火药的典型配方

成 分	质量分数/%
硝化纤维素 ($w(N)=12.6\%\sim 13.15\%$)	20~28
硝化甘油	19~22.5
硝 基 胍	47~55
苯二甲酸二丁酯	0~4.5
二苯胺	0~1.5
2-硝基二苯胺	1~1.5
乙基中定剂	0~6.0
石 墨	0~0.1
冰晶石	0~0.3



三基火药多用于各种加农炮、榴弹炮、无后坐炮和滑膛炮的炮弹发射装药。除上述的三基火药外，还有加入其他含能成分（如黑索今）的三基火药及多基火药。

（4）双基推进剂

双基推进剂是以硝化纤维素和硝化甘油或其他含能增塑剂为基本成分，再加入适应火箭发动机弹道性能各种要求的弹道改良剂而成，其配方虽与双基火药相类似，但比双基火药复杂。

双基推进剂典型配方范围见表 2-5。

表 2-5 双基推进剂典型配方范围

组成名称	质量分数/%
硝化纤维素	50~66
主溶剂（硝化甘油、硝化二缩乙二醇、硝化三缩乙二醇等）	25~47
助溶剂（二硝基甲苯、苯二甲酸酯、甘油三醋酸酯、吉纳等）	0~11
安定剂（中定剂、硝基二苯胺、二苯脲等）	1~9
弹道改良剂（炭黑、各种金属氧化物及有机酸盐和无基酸盐类）	0~3
其他附加剂（凡士林、蜡、金属皂等）	0~2

双基推进剂可用压伸法和浇铸法生产，压伸法适用于生产小型及形状简单的药柱，浇铸法对药柱形状和尺寸可不受限制。双基推进剂生产周期短，工艺比较成熟，成品药柱均匀性好，在高温条件下具有较好的安定性和力学性能。双基推进剂广泛适用于小型火箭、导弹（如某些地空导弹、空空导弹、战术地地导弹及反坦克导弹等）。双基推进剂的主要缺点是能量较低，燃速范围较窄，低温力学性能较差，与发动机壳体黏结比较困难，因而不适宜于大型火箭发动机装药。

（5）复合推进剂

复合推进剂是由氧化剂、燃料、黏合剂及其他附加剂组成，各组分之间存在着明显的界面，因而有“异质火药”之称。现就各类组分分述如下：

① 氧化剂：可用于复合推进剂的固体氧化剂有各种硝酸盐（如硝酸铵、硝酸钾、硝酸钠、硝酸锂等），高氯酸盐（如高氯酸铵、高氯酸钠、高氯酸锂、高氯酸硝酰及硝基化合物等）。高氯酸铵是在固体推进剂中应用最广的氧化剂，因其与推进剂中其他组分的相容性好，且来源也较广。高氯酸铵和高氯酸钾二者都溶于水，且吸湿。高氯酸硝酰与常用黏合剂在化学上都不相容，本身也不稳定。各种高氯酸盐氧化剂与燃料混合燃烧时都产生氯化氢或其他氯化物，故其燃烧产物有烟，且有腐蚀性。硝酸盐虽比高氯酸盐含氧量低的氧化剂，但硝酸盐中的硝酸铵具有价格低廉、来源广、燃烧产物无烟等优点，故在低能量和低燃速的推进剂中，常用硝酸铵作氧化剂。有时为了提高推进剂的比冲，也将高能炸药（如黑索金、奥克托金）用于复合推进剂中。



② 燃料：复合推进剂中广泛应用的固体燃料是金属铝粉，其含量一般在 14%~18% 之间。硼也是一种高能燃料，但在燃烧室内难以燃烧完全，故其实用价值不大。铍较硼易燃烧，且燃烧后释放能量较高，但其毒性很大，价格昂贵。氢化铝 (AlH_3)、氢化铍 (BeH_2) 在燃烧后释放能时都很高，但二者都难于制造，且储存时不稳定，还能缓慢地放出氢气使推进剂变质，目前还没有实用价值。

③ 黏合剂：黏合剂的作用是把固体氧化剂和燃料黏合在一起，同时黏合剂本身也是燃料的一部分。黏合剂会影响推进剂的力学性能、工艺性能和储存性能。可用做推进剂的黏合剂的高聚物很多，有固态的高聚物、液态的高聚物，也有可聚合的单体，可以是橡胶类型的，也可以是塑料类型的。目前，在复合推进剂中广泛应用的黏合剂为聚氯乙烯 (PVC)、液态聚硫橡胶 (PS)、聚氨酯 (PU) 以及各种聚丁二烯共聚物的高聚体。

④ 附加剂：在复合推进剂中，根据不同的特殊要求加入少量的附加剂，如起固化交联作用的固化剂，缩短或延长固化时间的固化催化剂，改善药浆流变性能使之易于浇铸的表面活性剂，提高推进剂力学性能的增塑剂和键合剂，以及增加或降低推进剂燃速的弹道改性剂等。聚氨酯推进剂和聚丁二烯推进剂见表 2-6 和表 2-7。

表 2-6 聚氨酯推进剂

成 分	质量分数/%	成 分	质量分数/%
高氯酸钾	65	二异氰酸酯	2.24
铝 粉	17	三 元 醇	0.43
聚 二 醇	12.73	附加剂及增塑剂	2.6

表 2-7 聚丁二烯推进剂

成 分	质量分数/%
高氯酸钾	74
铝 粉	10
端羧基聚丁二烯 (分子量 6 000)	9.3
壬酸异癸酯	5.23
乙酸丙酮钴	0.05
三 (1-丙炔基) 磷化氧	0.13
三 (N, 1', 2', 4'-亚丁基) 苯均酰胺	0.29
氧化铁	1

聚氨酯推进剂和聚丁二烯推进剂应用范围比较广泛，如某些战略导弹、空空导弹、地地导弹、地空导弹和空间飞行器等。

(6) 复合改性双基推进剂

复合改性双基推进剂是双基推进剂和复合推进剂之间的中间品种，它是以双基黏合剂、氧化剂和金属粉燃料组成，复合改性双基推进剂的配方及其变化范围见表 2-8。



表 2-8 复合改性双基推进剂典型配方及其变化范围

成 分	质量分数/%	成 分	质量分数/%
硝化纤维素	15~21	安 定 剂	2
硝化甘油	16~30	高氯酸铵	20~35
甘油三醋酸酯	6~7	铝 粉	16~20

复合改性双基推进剂与其他类推进剂相比, 有较高的比冲, 原材料来源比较广, 生产设备可借用生产双基火药的部分设备, 因而这种推进剂获得了比较迅速的发展和应用。其缺点是复合改性双基推进剂的高、低温力学性能较差, 可使用的温度范围较窄等等。复合改性双基推进剂多用于战略导弹和大型助推发动机上, 如某些反弹道导弹的空间飞行器等。

2.2.2 炸药

炸药是指在适当外部激发能量作用下, 可发生爆炸变化(速度极快且放出大量热和大量气体的化学反应), 并对周围介质做功的化合物或混合物。可以是固态、液态或气态, 也可以是气—液态或气—固态; 军用和工业炸药多为固态。炸药不仅是武器的能源, 也是国民经济许多部门不可缺少的含能材料, 它能发生极快的爆炸变化, 可在瞬间产生压力达数十吉帕、温度达数千摄氏度的气体, 这种气体向炸点周围急剧膨胀而做功。炸药的爆炸特性, 可用爆热、爆速、爆温、爆压和爆容(比容)5个参数综合评价, 它们是炸药做功能力(威力)和对周围介质粉碎能力(猛度)的决定性因素。

在军事上, 炸药用做杀伤爆破装药以装填各种炮弹、航空炸弹、导弹战斗部、鱼雷、水雷、地雷、手榴弹、爆破药包以及原子弹和热核武器的起爆元件。在民用上, 炸药广泛应用于各种工程爆破作业(如采矿、建筑、水利)和金属爆炸加工(焊接、成形、复合), 也用于制造超硬材料(如金刚石、氮化硼)、人工降雨、灭火、地震勘探和油井射孔等。能够实际应用的炸药, 应具有足够的能量和威力, 适当的感度, 足够的安全性, 且原料易得, 制造简便而安全。

1. 爆炸现象

在自然界和人们的日常生活中, 有各种各样的爆炸现象。由物理变化引起的爆炸现象称为物理爆炸, 例如高压气瓶或蒸汽锅炉的爆炸, 地震、闪电等也属于此类。由化学变化引起的爆炸称为化学爆炸, 如矿井瓦斯爆炸、煤矿粉尘爆炸及炸药爆炸等。

从广义的角度来看, 爆炸是物质的一种非常急剧的物理、化学变化, 在变化过程中, 伴随有物质所含能量的快速转变, 即变成该物质本身、变化的产物或周围介质的压缩能或运动能。因此, 爆炸的重要特征是大量能量在有限的体积里突然释放或急剧转变, 在爆炸点附近的介质形成急剧的压力突跃和急剧的温度增长, 这种压力的突跃正是爆炸破坏作用的直接和根本的原因。弹丸爆炸都属于化学爆炸。



2. 炸药爆炸三要素

(1) 反应的放热性

这是构成爆炸反应的必要条件，没有这个条件，爆炸根本不可能发生，没有这个条件，爆炸反应也不可能自行延续，只有放热才能构成爆炸。例如硝酸铵的分解：



前者是吸热反应，不爆炸；后者是放热反应，可发生爆炸。

当炸药受到一定的外界作用（亦叫外界冲能）后，首先在炸药局部引起反应，这局部炸药反应放出的热量又激发下层炸药的继续反应。正是由于反应放热，才使爆炸反应得以自动维持下去，直至整个炸药爆炸完毕。假如反应不放热，势必要由外界不断供给能量来引发爆炸反应，显然这样的反应不可能发展为爆炸，这样的物质也不可能是炸药，所以反应的放热性给爆炸变化提供了能源，同时，反应放热也是爆炸做功的能源。

(2) 反应的快速性

爆炸反应与普通燃料的反应最突出的区别在于反应速度不同。普通燃料的燃烧热比炸药的爆热大得多，见表 2-9。

表 2-9 几种炸药和燃料在爆炸和燃烧时放出的热量

物质名称	爆热或燃烧热/kJ		
	1 kg 物质	1 kg 物质和氧的混合物	1 L (物质和氧) 混合物
黑 火 药	2 929	2 929	2 803
梯 恩 梯	4 184	4 184	6 485
硝化甘油	6 270	6 270	10 041
无 烟 煤	3 347	9 205	18
汽 油	41 840	9 623	17

一般燃料的燃烧过程进行得比较缓慢，如煤块在空气中的燃烧，能放出大量的热量和气体，却不能形成爆炸。相反，煤矿中极细的煤粉（煤尘）均匀地悬浮在空气中，煤和空气接触充分，一旦点火反应十分迅速，有可能发生爆炸，这说明反应的快速性是构成爆炸的必要条件。

(3) 生成气体产物

1 L 普通炸药爆炸瞬间可生成约 1 000 L 的气体产物（标准状态）。这样的气体，由于反应的放热性把它加热到几千度的高温，由于反应的高速度，使这样多的气体在爆炸结束瞬间仍占有原来炸药所有的体积，相当于 1 000 L 左右的气体被压缩到近似 1 L 的体积里，此体积具有相当大的压缩能。高温高压的气体产物一旦膨胀，对外界将产生相当大的机械破坏作用。



综上所述,反应的放热性、快速性和生成气体产物这三个条件是炸药发生爆炸变化的重要因素。放热性给爆炸变化提供了能源;快速性使有限的能量迅速放出,在较小的容积内集中着较大的功率;反应生成的气体则是能量转换的工质。具有这三方面性质是炸药的共性,而各种炸药的化学结构和物理状态不同,反应后它们表现的程度也各不相同,这是每种炸药的个性。

3. 炸药的本质

一般来说,炸药是指受到一定的外界刺激作用就容易引起高速化学反应,产生大量气体和热量的物质。据此,炸药的本质是:

(1) 相对不稳定物质

在一般情况下,炸药是不会自发地发生爆炸,正如大多数猛炸药都是相对稳定的物质。但当炸药受到一定外界冲能(如热、机械能、冲击波、电……)的作用,就会发生爆炸,故称它为相对不稳定的物质。

(2) 能量密度高

单位体积的炸药所放出的能量称为炸药的能量密度,可由式(2-14)表示。

$$\rho_E = Q\rho_0 \quad (\text{kJ/m}^3) \quad (2-14)$$

式中, ρ_E ——能量密度, kJ/m^3 ;

Q ——炸药的爆热, kJ/kg ;

ρ_0 ——炸药的装药密度, kg/m^3 。

就单位质量的物质而言,炸药爆炸时放出的热量并不比普通燃料的燃烧热大。但因爆炸反应的快速性,在爆炸瞬间所放出的热量仍集中在原来炸药的体积内,所以炸药的能量高度集中,即能量密度大(见表2-9)。炸药的能量密度大,对炸药的使用极有实际意义。欲达到同样的破坏效果, ρ_E 大,则可使弹药体积相应变小,尤其可使引信中使用的火工品类的危险元件愈加小型化,这对安全很有利。

(3) 由氧化剂和可燃剂组成

无论是单体炸药还是混合炸药,大多是由氧化剂(或氧元素)与可燃剂(可燃元素)组成。由于炸药本身含氧,不需要从外界摄取氧,它的爆炸反应速度是一般化学发应无法达到的。

4. 炸药的分类

按照作用方式可将广义的炸药分为起爆药、猛炸药、推进剂和烟火剂四大类。起爆药用于起爆猛炸药,猛炸药用于产生爆轰,推进剂和烟火剂用于产生燃烧和爆燃,但通常称谓的炸药有时仅是指猛炸药。

(1) 起爆药

在较弱外部激发能(如机械、热、电、光)的作用下即可发生燃烧并迅速转变为爆轰的敏感炸药。对外界初始冲能敏感,高的能量输出,爆轰成长期(从爆炸开始达到最大爆速的



时间)短,结晶颗粒球形化和良好的流散性,是起爆药的四个特征。起爆药爆轰所产生的爆轰波,用以引爆猛炸药。

由于起爆药具有以上特点,多用来制造各种起爆器材或点火器材,如火帽、雷管等火工品。目前军用火工品使用的起爆药主要是叠氮化铅、斯蒂酚酸铅及特屈拉辛等。

(2) 猛炸药

又称高级炸药,它比较不敏感,只有在相当强的外界作用下才能发生爆炸,通常用起爆药的爆炸来激发爆轰。猛炸药一旦爆轰,就比起爆药具有更高的爆速,可达数千米每秒,对周围介质有强烈的破坏作用。

根据猛炸药的特点,在军事上主要用来装填各种弹丸和爆破器材等。弹丸中装药经常用梯恩梯或梯恩梯与黑索今为主的各种混合炸药;工程爆破上常用硝铵炸药、浆状炸药、铵油炸药及乳化油炸药等;火工品中常用的猛炸药有钝化黑索今、钝化钛铵等。

(3) 推进剂

推进剂有时也称为发射药或火药,是指在不依赖外界空气的条件下,自身可进行快速有规律的化学反应(燃烧),放出大量高温燃气的物质,是火箭发动机的能源和工质。必须具备的条件是单位质量推进剂所含能量高,燃烧稳定且有规律,物理、化学稳定性好,储存运输安全。按照它们的用途可分为火箭推进剂、燃气发生剂等。按照它们的物理形态也可分为液体推进剂、固体推进剂、固液混合推进剂、膏状推进剂、凝胶推进剂等。火箭推进剂主要是为火箭发动机提供大量喷射物质使火箭获得前进的推力。

(4) 烟火剂

通常由氧化剂、有机可燃剂或金属粉及少量黏合剂组成。其特点是接受外界作用后发生燃烧作用,使其产生有色光焰、烟幕等烟火效应,主要用以装填特种弹药。常用的烟火剂有:照明剂、烟幕剂、燃烧剂、曳光剂等等。

5. 燃料空气炸药

燃料空气炸药是一类新的有别于其他常规炸药的爆炸能源,以挥发性的液体碳氢化合物或固体粉质可燃物为燃料,以空气中的氧气为氧化剂组成的不均匀爆炸性混合物。使用时,将装有燃料的弹体投掷或发射到目标上空,在一次引信引爆和中心抛撒炸药爆炸作用下,把燃料抛撒到周围空气中,迅速扩散并与空气混合形成可燃云雾,经二次引爆使云雾爆轰,产生爆炸冲击波,达到破坏大面积目标的目的。其特点是爆炸后引起的超压虽低,但破坏面积大,冲量大,适于对付集团部队、布雷区、丛林地带工事以及轻型装甲等大面积软目标;缺点是猛度不高,对半硬以上的目标破坏效果不佳,而且易受风雨、低温等环境条件的影响。其燃料可为气体、液体、固体或混合态四类,应具有易于抛撒、扩散和起爆的特点及一定的物理化学安定性,能产生较高的爆轰压力。

目前燃料空气炸药主要使用的是液体燃料,它们可大致分为五类:不需要氧可自行分解的,如环氧乙烷、肼等;没有氧或空气仍能继续燃烧的,如硝酸丙酯;含有大量氧,与可燃



物质接触时发生剧烈反应的,如过氧化乙酰;在常温下与湿空气接触时发生爆炸的,如二硼烷;接触富氧物质时反应激烈,与某些物质接触时能自燃的,如无水偏二甲肼。军用常用液体燃料主要有环氧乙烷、环氧丙烷等。固体燃料可分固体可燃剂和固体单质炸药两种,固体可燃剂(如镁、铝、锆、钛等金属粉以及煤粉、硫粉等)均能在空气中爆炸,固体炸药粉末分散在空气中也可成为燃料空气炸药。燃料空气炸药可用于面杀伤武器,主要靠爆炸时形成的超压杀伤破坏目标,其爆速和猛度不高。

2.3 药筒与发射装药

药筒与发射装药,是炮弹的重要组成部分。从历史上看,药筒是射击武器在从前装式滑膛向后装式线膛的变革中由比利时人首创的(1841年)。药筒的出现,为后膛武器的发展,以及为不断提高射击速度和实现装填自动化创造了条件。目前,除了部分大口径火炮和迫击炮弹药采用药包分装式而不用药筒外,其他中、小口径火炮弹药都要用药筒,这是因为药筒对提高火炮的射击速度,保护发射装药,减少火药对炮膛的烧蚀,以及提高火炮寿命等方面起着重要的作用。但也应当看到,现有药筒还存在着严重不足,即药筒是炮弹的消极质量,射击后需要清理,尤其对坦克炮、自行火炮更为费事,影响火炮威力的充分发挥。此外,现有的药筒多数是用黄铜制造的,成本高。因此,进一步研究和改进火炮药筒,仍是今后的一个重要课题。

2.3.1 药筒的用途与要求

1. 药筒的用途

药筒作为炮弹的重要组成部分,其用途主要有如下几个方面:

- ① 盛装并保护发射药、辅助品、点火具等,以免受潮、变质和损坏;
- ② 发射时密闭火药气体,保护火炮药室免受烧蚀,防止火焰由炮口喷出;
- ③ 连接弹丸及其他零件(如底火、紧塞盖等),使炮弹构成整体(定装式炮弹)或半整体(药筒分装式炮弹),便于装填和勤务处理;
- ④ 装填入膛时以药筒的肩部或底缘起定位作用。

根据上述用途,通常对药筒提出两个方面的要求,即战术技术要求和生产经济性要求,前者决定了药筒在使用和勤务处理时的质量,后者决定了在生产水平和原料储备条件下进行大量生产的特点。

2. 战术技术要求

- ① 在允许的间隙下,药筒能自由装入炮膛,送到位后能关得上门,闭锁后能可靠击发底火,这是保证战斗和高射速的重要条件;



- ② 射击时可靠闭塞火药气体, 不允许火药气体从尾部泄出, 妨碍射手的工作与安全;
 - ③ 保证必要的强度和刚度, 发射时不因火药气体压力作用产生变形破裂, 勤务处理时不因轻微碰撞而变形;
 - ④ 射击后, 不论火炮自动开栓或手动开栓, 均能可靠退壳;
 - ⑤ 对整装式弹, 药筒与弹丸应能牢固连接, 并使拔弹力在规定的范围内;
 - ⑥ 药筒在射击后, 经简单修复, 具有多次使用性;
 - ⑦ 长期储存不变质, 不锈蚀, 不改变使用性能, 不影响发射药的安定性。
3. 生产经济性要求
- ① 原材料来源丰富、成本低廉, 国内易于取得;
 - ② 产品结构简单, 易于制造, 有良好的工艺性能。

2.3.2 药筒的分类与组成

1. 药筒的分类

药筒的类型很多, 常用的分类方法如图 2.8 所示。

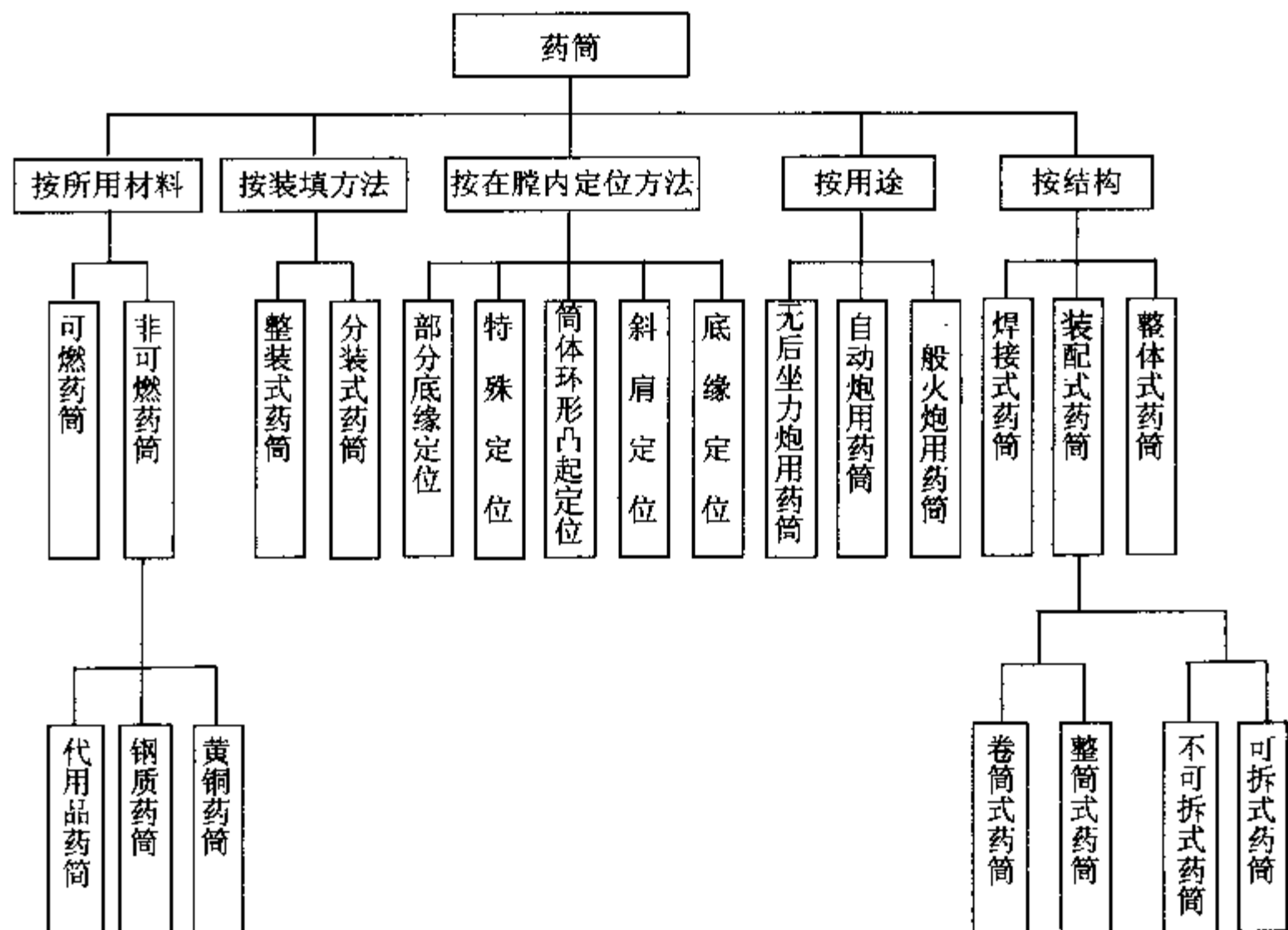


图 2.8 药筒的分类



(1) 装填方法分类

按照弹丸与药筒之间的装配关系或装填方法来分, 药筒可以分为定装式药筒和分装式药筒两种。

定装式药筒与弹丸尾部紧密结合, 并要求有一定的拔弹力以保证装填和勤务处理时不松动。发射时一次装入膛内, 发射速度快。分装式药筒是和弹丸分别装入炮膛的, 由于两次装填, 发射速度较慢, 分装式药筒口部平时用紧塞具密封, 射击时取出。

(2) 按结构分类

根据结构不同, 可以分为整体式药筒、装配式药筒和焊接式药筒三种。

整体式药筒又称为无缝药筒, 整个药筒为一整体, 战术性能和勤务处理性能好, 但生产工艺复杂。装配式药筒是由若干零件装配而成, 一般有筒底、筒体、连接零件和密封元件组成。这种结构虽然应用不多, 但其各零件可用通用设备制造, 战时动员性好。装配式药筒又可分为卷筒式和整筒式两种。卷筒式药筒由两层低碳钢板卷制出筒体, 用压紧环压在底板上而成, 如图 2.9 所示, 由于所用金属多, 所以较重。整筒式药筒是将整体结构的筒体与钢制底板用压紧环连接而成, 如图 2.10 所示, 其结构简单, 强度较好。焊接式药筒筒底一般为低碳钢经冲压加工后再经机械加工而成, 筒体沿纵缝焊接, 如图 2.11 所示, 由于结构简单, 制造方便, 战时动员性好, 发展较快。

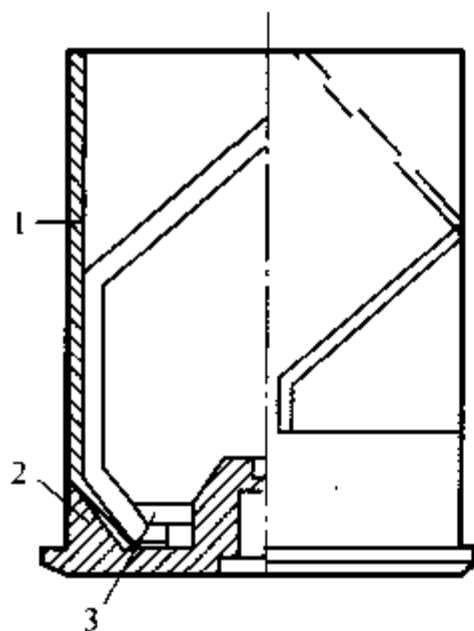


图 2.9 卷筒式药筒

1—筒体; 2—筒底; 3—压紧环

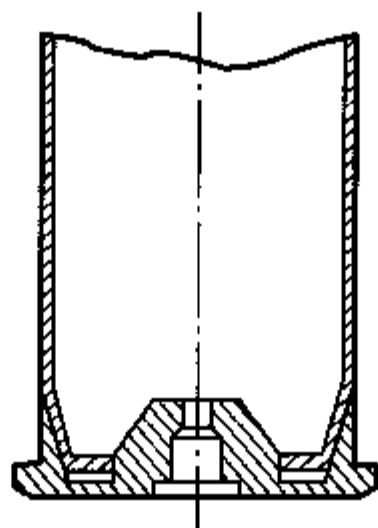


图 2.10 整筒式药筒

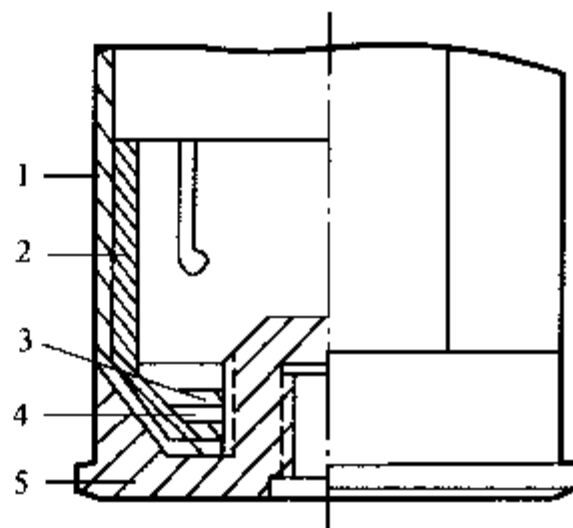


图 2.11 焊接式药筒

1—筒体; 2—套筒; 3—螺帽;
4—压紧环; 5—筒底

(3) 按膛内定位方法分类

根据药筒入膛后的定位方式可以分为底缘定位、斜肩定位、环形凸起定位等几种。

底缘定位是药筒装入炮膛时其轴向定位作用由底缘确定, 其定位可靠, 但需注意底缘厚度的变化将影响炮弹在膛内轴向定位的准确性。



斜肩是药筒由筒口到筒体的过渡部分。某些药筒的斜肩与火炮药室的斜面相配合，在装填炮弹时用来起轴向定位作用。斜肩的锥度不宜过大或过小，过大会导致药筒生产中的废品率增加，过小则会因为药筒尺寸的变化而使炮弹在膛内的位置发生很大变化，引起定位误差过大。

环形凸起定位是靠药筒上的环形凸起部起轴向定位作用，以确保定位可靠。

(4) 按所用材料分类

按药筒所用材料分类，可以分为可燃药筒和非可燃药筒两大类。

可燃药筒是用可燃物质制成的药筒，发射时在膛内燃烧完毕，无需退出炮膛。其主要特点是药筒本身也是发射药的一部分，可大大减少全弹质量。

非可燃药筒又可以分为铜制药筒、钢制药筒和代用品药筒。

无论从药筒发展的历史还是从药筒应用的广泛性来看，铜制药筒都居首位。黄铜材料韧性大，强度高，工艺性能好，是其他材料所无法相比的，但其成本高，经济性差。钢制药筒代替铜制药筒不仅可以提高经济性能，而且由于加工工艺和热处理工艺的改进，其性能逐渐提高，为其广泛应用创造了条件。

代用品药筒包括铝制药筒、塑性药筒、纸质药筒等几种，主要是在满足药筒基本要求的前提下为提高经济性和勤务处理性能而提出的。

2. 药筒的组成

药筒的结构：如图 2.12 所示，整装式药筒通常由筒口、斜肩、筒体、底缘、底火室（包括传火孔和凸起部）和筒底等部分组成。分装式药筒大都没有斜肩和筒口圆柱部（如图 2.13）。

① 筒口：筒口通常呈圆柱形，用以与弹丸连接，发射时密闭火药气体。从结合强度考虑，除采用滚口槽外，还要求药筒口部的材料强度高，筒口与弹丸的接触面积大。实际上，由于受到弹丸尾部长度的限制，故常常使筒口圆柱部长度等于弹尾圆柱部长度（一般为 $(0.80 \sim 1.25)d$ ）。药筒口部内径略小于弹尾外径，过盈量要适中，一般应大于 0.1 mm 。

② 斜肩：斜肩即由筒口到筒体的过渡部分。某些药筒的斜肩与火炮药室的斜面相配合，在装填炮弹时用来定位和防止火炮药室受烧蚀。斜肩的锥度不宜过大和过小，过大会导致药筒生产中的废品率增加，过小会因为药筒尺寸的变化而使炮弹

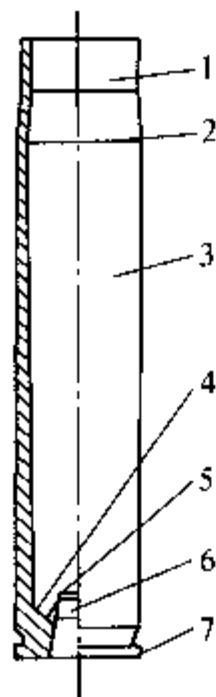


图 2.12 整装式药筒

1—筒口；2—斜肩；3—筒体；4—筒底；
5—凸起部；6—底火室；7—底缘

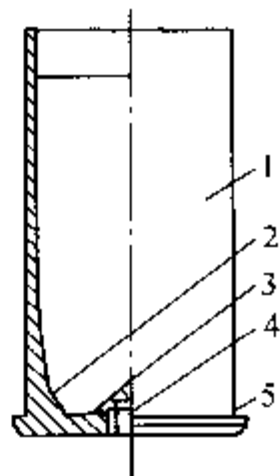


图 2.13 分装式药筒

1—筒体；2—筒底；3—凸起部；
4—底火室；5—底缘



在膛内的位置发生很大变化，锥角一般采用 $30^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 为宜。

③ 筒体：筒体的形状应与炮膛药室形状相适应，一般为截锥体。不同的药筒具有不同的锥度。自动火炮用的药筒锥度最大，而分装式药筒的锥度最小；锥度愈大，则装填和退壳就愈容易。筒体锥度的大小，常用瓶形系数 φ 来衡量，它等于药筒体的平均直径 D_{cp} 与火炮口径 d 之比，即 $\varphi = D_{cp}/d$ 。对中口径火炮， $\varphi = 1.05 \sim 1.25$ ；对小口径火炮， $\varphi = 1.2 \sim 1.5$ 左右。而大多数现代药筒，其筒体斜度为 $1/120 \sim 1/60$ 。筒体的壁厚由口部到底部是逐渐增大的。因此，发射时药筒的变形使筒口首先贴紧火炮炮膛，接着发展到筒体的某一断面，变形终止断面距筒底的距离，依火药气体的压力而定，压力愈大，此断面距筒底愈近。

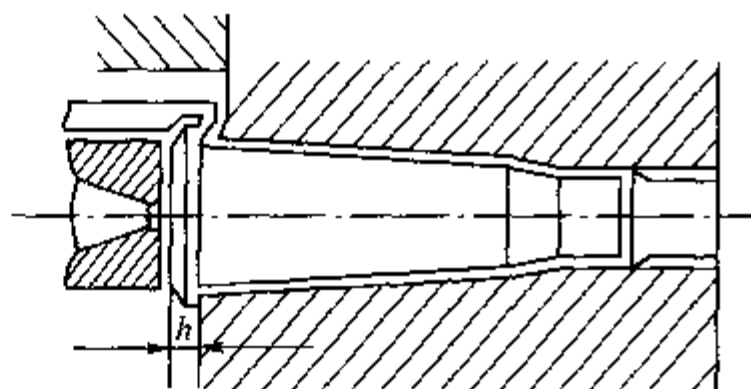


图 2.14 药筒在炮膛药室中的状态

④ 底缘：底缘在药筒装入炮膛时起轴向定位作用，射击后靠它进行退壳（如图 2.14）。由于退壳力很大，因此它必须具有一定的宽度和厚度来保证足够的强度。但需注意，底缘厚度的变化将影响炮弹在膛内轴向定位的准确性，厚度过小，可能造成瞎火；厚度过大，可能造成关门困难，故应控制其厚度尺寸。

定位精度由底缘厚度的公差决定，当火炮闭锁件装配精度一定时，底缘厚度 h 不能大，故厚度 h 公差应控制在较小范围内。

⑤ 底火室：底火室是容纳点火具的。其内有内螺纹，以便与底火结合。也有不带螺纹的，它与底火的结合靠过盈配合来保证。

⑥ 凸起部：凸起部（亦称为火台），其上有传火孔和挡顶。传火孔一般小于底火室直径，在底火室上面即形成一挡顶，其作用主要是防止底火室的密封盖被冲入炮膛，减少火药气体对底火室螺纹的烧蚀。但随着底火的改进（如配用底-1 式底火）也可不设挡顶。传火孔主要用以传递底火火焰。凸起部的尺寸，主要由配用底火的结构来决定，为保证强度，凸台的肩厚一般不得小于 2 mm 。

在一般情况下，筒底的内、外底面均为平面，与筒体连接处为过渡圆弧。筒底必须有足够的强度，以防止射击时筒底变形或破裂，从而影响开门或危及射手安全。筒底厚度，从强度考虑应厚，从经济考虑应薄，为此，筒底厚度在保证强度和退壳性能的情况下应取最小值。

目前，我国的筒底厚度大都在 $8 \sim 18\text{ mm}$ 之间，高膛压取上限，低膛压取下限。

3. 药筒结构尺寸的拟定

现有火炮药筒，就其外形轮廓来说，大部分为瓶形和锥筒形。所有整装式药筒均采用瓶形，而分装式药筒则有的采用瓶形，有的采用锥筒形。

我国部分药筒结构尺寸见表 2-10，表中各符号所代表的意义如图 2.15 所示。



表 2-10 我国部分药筒结构尺寸表

药筒名称	药筒口部		药筒斜肩下部		药筒根部		药筒底缘		药筒底部厚度 t_5	药筒长度 l	内根角半径 R
	内径 d_1	厚度 t_1	外径 d_2	厚度 t_2	外径 d_3	厚度 t_3	外径 d_4	厚度 t_4			
37 mm 高射炮铜药筒	$36^{+0.17}_0$	$0.9^{0.0}_{-0.2}$	$42^{0.0}_{-0.02}$	$1.25^{0.0}_{-0.4}$	$46^{0.0}_{-0.6}$	$1.65^{0.0}_{-0.4}$	$52^{0.0}_{-0.14}$	$5.0^{0.0}_{-0.2}$	$11^{0.0}_{-1.5}$	$252^{0.0}_{-0.5}$	5
57 mm 高射炮铜药筒	$56.3 D_6$	$1.4^{0.0}_{-0.2}$	$86.5 d_8$	$1.7 d_9$	$91.8 d_7$	$2.2 d_9$	$96 d_7$	$5.5 d_7$	$15.2^{0.0}_{-1.5}$	$348 d_8$	10
57 mm 高射炮铜药筒	$56.35 D_6$	$1.4^{0.0}_{-0.3}$	$86.5 d_8$	$1.7 d_9$	$91.8 d_7$	$2.3^{0.0}_{-0.5}$	$96 d_7$	$5.5^{0.0}_{-0.2}$	$15^{0.0}_{-1.5}$	$348 d_8$	10
85 mm 加农炮铜药筒	$83.2 D_6$	$1.3^{0.0}_{-0.2}$	$94.7 d_4$	$1.5 d_9$	$101.7 d_6$	$2.85^{0.0}_{-0.7}$	$112 d_6$	$4 d_7$	$8^{0.0}_{-1.6}$	$630^{0.0}_{-1.5}$	10
85 mm 加农炮铜药筒	$83.2 D_6$	$1.3^{0.0}_{-0.2}$	$94.7 d_4$	$1.5 d_9$	$101.7 d_6$	$2.25 \sim 2.85$	$112 d_6$	$4 d_7$	$7.5^{0.0}_{-1.8}$	$630^{0.0}_{-1.0}$	8
100 mm 高射炮铜药筒	$102.5 D_6$	$1.2^{0.0}_{-0.2}$	$134 d_8$	$2.3^{0.0}_{-0.5}$	$140^{0.0}_{-0.4}$	$3.7 \sim 4.4$	$147.5^{0.0}_{-0.4}$	$5 d_7$	$18.2^{0.0}_{-2.2}$	$695^{0.0}_{-1.15}$	8
122 mm 榴弹炮铜药筒	$124.77 D_7$	$1.2^{0.0}_{-0.2}$	—	—	$130.4 d_6$	$3 d_9$	$137.2 d_6$	$5.04 d_7$	$9^{0.0}_{-1.8}$	$295 d_8$	8
122 mm 榴弹炮铜药筒	127.2	$1.2^{0.0}_{-0.3}$	—	—	$130.3 d_6$	$2.2^{0.0}_{-0.5}$	$137.2^{0.0}_{-0.35}$	$5.04^{0.0}_{-0.24}$	$9.5^{0.0}_{-1.5}$	$285 d_8$	12
60 式 122 mm 加农炮铜药筒	$131.94 D_6$	$1.8^{0.0}_{-0.2}$	156.75	$2.2 d_9$	$160.3 d_7$	$2.6 d_9$	$172 d_7$	$7 d_7$	$11.5^{0.0}_{-1.5}$	$760 d_8$	10
130 mm 加农炮铜药筒	$143.33 D_7$	$1.6^{0.0}_{-0.2}$	d_8	$1.9 d_9$	$173.3 d_7$	$1.6^{0.0}_{-0.2}$	$185 d_7$	$6 d_7$	$15.5^{0.0}_{-1.5}$	$846 d_8$	10
152 mm 榴弹炮铜药筒	$155.05 D_6$	$1.2^{0.0}_{-0.2}$	167.56	—	$161.4 d_6$	$1.2^{0.0}_{-0.2}$	$167.7 d_7$	$5.04 d_7$	$11.2^{0.0}_{-2.2}$	$305^{0.0}_{-1}$	10
152 mm 加榴炮铜药筒	$154 D_6$	$1.6^{0.0}_{-0.2}$	d_8	—	$162 d_6$	$1.6^{0.0}_{-0.2}$	107.2	$7 d_7$	$13^{0.0}_{-2.2}$	$547.5^{0.0}_{-1.2}$	8
152 mm 加农炮铜药筒	$163.15 D_6$	$1.6^{0.0}_{-0.2}$	—	—	$174.7 d_6$	$1.6^{0.0}_{-0.2}$	$185 d_7$	$6 d_7$	$16^{0.0}_{-2.0}$	$750 d_8$	10



(1) 药筒壁厚

为了保证退壳性能和密闭火药气体, 药筒的壁厚一般都采用变壁厚, 即从药筒口部到底部壁厚逐渐增加。各部位厚度对性能的影响如下:

对药筒口部来说, 从闭气性能看, 应当薄些, 但过薄将会影响与弹丸的连接强度, 射击时容易造成严重烧蚀, 在修复收口时会产生裂纹, 因而对多次使用不利。通常, 筒口壁厚最薄不得小于 0.7 mm, 最厚不应超过 2 mm。药筒斜肩厚一般稍大于筒口部厚度, 大出的数值约为 0.1~0.5 mm。

药筒体部厚度 (不包括圆弧过渡部) 可用筒体的相对厚度 $\bar{b}$ (即某断面壁厚的两倍与该断面直径之比) 来衡量。试验表明, 当 $\bar{b}$ 在 0.03~0.05 时, 火炮药筒的退壳性能较好。对用于自动火炮 (如 37 mm、57 mm 高炮) 上的药筒, 该值可适当加厚到 0.07 左右。

(2) 筒口和斜肩部分尺寸

前已述及, 定装式药筒筒口圆柱部长度, 主要影响与弹丸结合的强度, 接触面积愈大, 连接愈牢固,

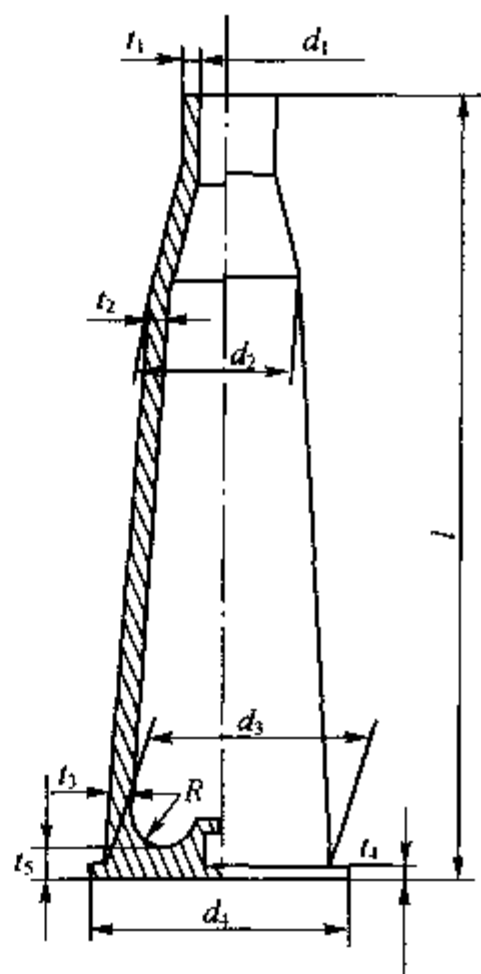


图 2.15 药筒各部位尺寸

但却受到弹尾圆柱部长度的限制, 一般把筒口圆柱部长度制成等于弹尾圆柱部长度, 此长度约在 $(0.80 \sim 1.25) d$ 范围内。当弹尾圆柱部长度比此值小时, 则采取弹尾加支撑弹带 (如 100 mm 加农榴弹) 以解决结合强度不足问题。也有一些药筒, 出于结构上的考虑, 其口部圆柱部较长, 如图 2.16 所示的长杆式穿甲弹药筒就是这样。

如图 2.17 所示, 药筒斜肩部长度 l_c 可用下式计算

$$l_c = (d_c - d) \tan(\alpha/2) / 2 \quad (2-15)$$

对于以斜肩定位的药筒, α 角应取得大一些, 以减少药筒尺寸的微小变化而使整个药筒前后有很大的变动量, 一般取 $\alpha = 30^\circ \sim 50^\circ$ 。对于非斜肩定位的药筒, α 值应取得小一些, 因为 α 角过大, 将使收口复杂、废品增多。

筒口内径, 主要影响与弹丸的连接强度。过盈量愈小, 结合强度越低, 一般要求最小过盈量大于 0.1 mm。但过盈量又不能太大, 以免产生较大变形, 损害药筒的防腐层, 并使口部产生较大的张应力。对小口径炮弹, 其最大值不应超

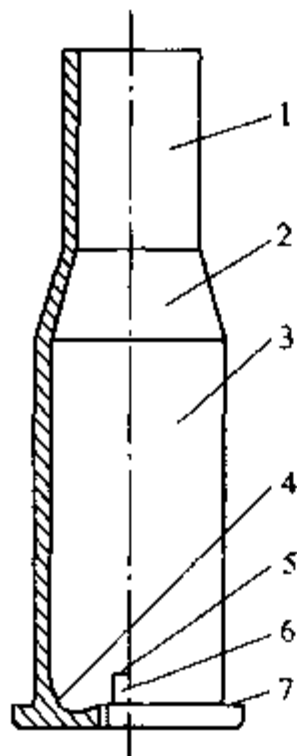


图 2.16 长杆式穿甲弹药筒

- 1—筒口; 2—斜肩; 3—筒体;
4—筒底; 5—凸起部;
6—底火室; 7—底缘

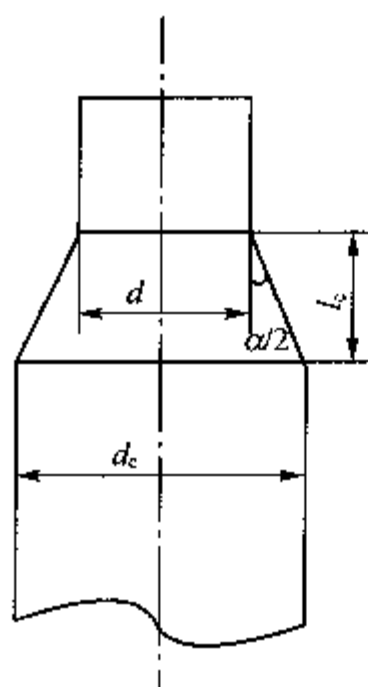


图 2.17 斜肩长度几何尺寸计算

过弹尾圆柱部直径的 3%；对中、大口径炮弹，此值不超过 1%。对分装式药筒来说，筒口内径应大于弹尾圆柱部直径，一般大于 2 mm 以上。

(3) 药筒外部直径

药筒外部直径的大小，将会影响到炮弹的自由装填、射击时的药筒强度、退壳性能和闭塞火药气体的可靠性等。

为了保证弹丸的自由装填，希望药筒与火炮药室之间的初始间隙大些；为了具有良好的闭气性和提高药筒在发射时的强度，希望初始间隙小些，而间隙过小又将造成退壳性能变坏。部分火炮药筒的初始间隙值，见表 2-11。

表 2-11 部分火炮药筒的初始间隙值

mm

火 炮 名 称	底缘上尺寸和间隙				筒上处或斜肩下的尺寸和间隙			
	火炮药室直径	药筒直径	最大间隙	最小间隙	火炮药室直径	药筒直径	最大间隙	最小间隙
37 mm 高射炮	—	$46.0^{+0}_{-0.4}$	—	—	$42.2^{+0.15}_{-0}$	$42^{+0}_{-0.62}$	0.97	0.20
57 mm 高射炮	$92.4^{+0.15}_{-0}$	$91.8^{+0}_{-0.45}$	1.20	0.60	$86.9^{+0.15}_{-0}$	$86.5^{+0}_{-0.37}$	1.42	0.40
76.2 mm 岸舰炮	$99.1^{+0.2}_{-0}$	$98.7^{+0}_{-0.2}$	0.80	0.40	$94.1^{+0.2}_{-0}$	$93.4^{+0}_{-0.87}$	1.77	0.50
85 mm 坦克炮	$102.4^{+0.15}_{-0}$	$101.7^{+0}_{-0.28}$	1.08	0.70	$95.5^{+0.15}_{-0}$	$94.7^{+0}_{-0.87}$	1.82	0.80
100 mm 加农炮	$140.4^{+0.15}_{-0}$	$140^{+0}_{-0.6}$	0.95	0.40	$134.4^{+0.15}_{-0}$	$134^{+0}_{-1.60}$	2.15	0.40
122 mm 榴弹炮	$131^{+0.15}_{-0}$	$130.4^{+0}_{-0.28}$	1.01	0.60	$127.8^{+0.15}_{-0}$	$126.77^{+0.73}_{-0}$	1.22	0.10
37 式 122 mm 加农炮	$135^{+0.15}_{-0}$	$134.6^{+0}_{-0.46}$	0.95	0.40	$126.5^{+0.15}_{-0}$	$125.13^{+1.13}_{-0}$	1.52	0.24
60 式 122 mm 加农炮	$162.8^{+0.15}_{-0}$	$161.8^{+0}_{-0.26}$	1.41	1.00	$136.0^{+0.15}_{-0}$	$135.14^{+0.56}_{-0}$	1.01	0.20
59 式 130 mm 加农炮	$175.4^{+0.2}_{-0}$	$174.3^{+0}_{-0.28}$	1.58	1.10	$147.5^{+0.2}_{-0}$	$146.13^{+0.93}_{-0}$	1.57	0.44
66 式 152 mm 加榴炮	$162.8^{+0.2}_{-0}$	$162^{+0}_{-0.26}$	1.26	0.80	$157.5^{+0.2}_{-0}$	$156.8^{+0.56}_{-0}$	0.90	0.04
59 式 152 mm 加农炮	$175.4^{+0.2}_{-0}$	$174.7^{+0}_{-0.26}$	1.16	0.70	$166.79^{+0.2}_{-0}$	$165.95^{+0.56}_{-0}$	1.04	0.18

(4) 药筒长度

药筒长度将影响炮弹的入膛性能。对底缘定位的整装式药筒，其长度取决于炮弹入膛后弹带圆柱部的前缘到炮管入口锥体部的缝隙 K （如图 2.18）。

在已知炮膛尺寸的条件下，给定 K 值



图 2.18 底缘定位的整装式药筒



即可确定药筒全长。对于不同口径的火炮，炮弹的 K 值不同（见表 2-12）。

表 2-12 炮弹的 K 值

口径/mm	20	37	45	75	76	85	100	>100
$K_{\max}/\text{mm}$	3.0	6.0	7.0	8.0	8.0	8.0	9.0	9.0
$K_{\min}/\text{mm}$	0.8	1.8	1.8	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0

对于分装式药筒，其长度可以稍短一些，但应以不影响装药和紧塞具的固定为原则。过短，还将造成炮膛的严重烧蚀。

(5) 药筒底部

药筒底部的结构、厚度、强度，以及加工质量等，都将影响药筒的强度和退壳性能。通常，为了避免底部过厚造成质量增加，金属消耗量增大，冲凹和冲孔的困难等缺点，常在保证药筒使用性能条件下尽量使其减薄。同时还要求：内底平面 $A-A$ 应位于炮尾切面的内侧（如图 2.19）；药筒内部和筒体必须圆滑过渡，保证一定的厚度和强度（如图 2.20）。

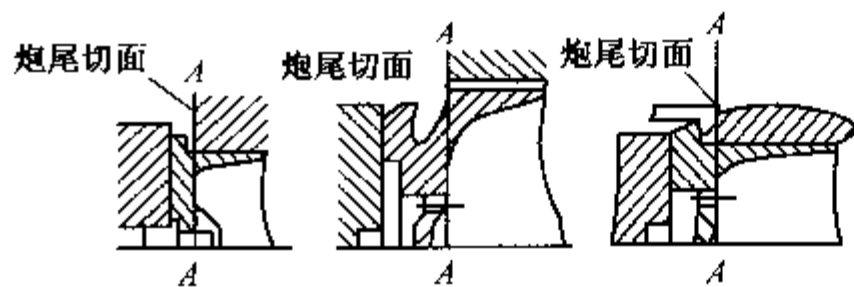


图 2.19 药筒底部内平面相对炮尾切面位置

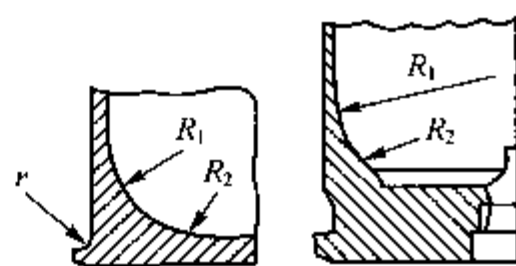


图 2.20 内底圆滑过渡结构

2.3.3 发射时药筒的作用

1. 发射时药筒的作用过程

在炮弹装填以后，药筒与火炮药室壁之间存在间隙，该间隙常称为“初始间隙”，它包括药筒壁与炮膛壁之间的间隙和药筒与药体内表面之间的间隙。前者是为了使药筒顺利入膛，以及便于退壳；后者是为了在药筒放入弹膛之后保证可靠的关闭。初始间隙过大，会使药筒在射击后产生纵向或横向裂纹以及瞎火和胀底现象。

发射时，药筒内的火药气体压力将迅速增长。当达到一定数值时，由于药筒口部的机械性能最低，所以首先开始膨胀，从而在筒口和弹尾之间（整装弹）出现缝隙，药筒内的火药气体就是通过这一缝隙冲到筒口外壁与炮膛内壁之间，有时可达到斜肩部和筒体部。对分装式药筒，气体更容易泄出。火药气体压力的继续增长，使斜肩部和部分筒体开始与炮膛紧贴，紧贴的顺序是由上向下逐渐向筒体下部扩展。在一般情况下，火药气体不易蹿入筒体下部，这就起到了闭气作用。由于在筒口和斜肩处夹有火药气体，当膛内压力继续增加时就有



可能产生斜肩的再冲压，致使药筒产生向内的褶皱。

在弹性范围内，药筒所能承受的最大火药气体压力 P ，可用下式近似计算

$$P = 2t \times \sigma_e / d \quad (2-16)$$

式中， t 为所研究断面处药筒壁厚； d 为所研究断面处的药筒直径； σ_e 为所研究断面处的材料弹性极限。

当超过上述压力时，药筒将由弹性变形过渡到塑性变形，并产生强化。除火药气体的压力作用外，药筒壁也将因高温火药气体的作用而产生热膨胀，筒壁的温度由内向外降低。

当药筒壁与炮膛壁相贴之后便与炮膛一起变形。炮膛的变形只允许有弹性变形，这是由身管设计所保证的。药筒底部由于火药气体压力的作用，将产生位移，从而消除了药筒底与闭体的内表面间的间隙。当药筒与闭体紧贴之后，若膛内压力继续增加，则将压缩闭体使之产生位移，消除闭体各元件之间的配合间隙并产生变形，而这种变形将使药筒继续移动，从而产生轴向拉伸。在火药气体压力作用下，筒底有压缩变形。

当火药气体在压力下降时，炮膛恢复到发射前的原有状态，而药筒却因为有余量变形，只能有弹性恢复；在残余变形中还有因加热而产生的膨胀变形。随着药筒热量向炮膛的不断传递，残余变形将会减小。

在发射过程中，由于药筒的受热不均匀，所以当压力下降时壁内仍有残余应力：外表面为压应力，内表面为拉伸应力。

压力下降后，闭体将恢复到原始位置，从而推动药筒向膛内移动。这种变形和位移的最终结果，可能使药筒在膛内产生间隙或过盈。从上述变形过程可知，药筒在发射过程中将处于复杂应力状态，当应力超过一定数值时将会引起药筒的横向或纵向破坏。

药筒在发射时，根据火药气体压力的变化和药筒的工作情况，可将药筒的作用过程分为四个时期。

第一时期，底火发火引燃发射药，膛内压力开始增加，迫使药筒变形，直至与炮膛相接触。开始时，药筒口部因来不及密封药筒和炮膛壁间的间隙，将造成口部及筒体受火药气体的熏蚀（熏黑）；接着，药筒变形，先为弹性变形，后为塑性变形，药筒材料性能将发生强化现象；由于药筒壁受热而有温度变化，引起药筒的周向和轴向变形，使药筒筒底和炮闭支撑面间的间隙减小或靠拢。

第二时期，即从药筒与炮膛接触到膛压达到最大值时为止。此时期药筒与炮膛一起变形，对炮管是弹性变形，对药筒则是塑性变形，药筒与膛壁达到更紧的贴合，药筒壁受到径向压力（其压力与膛压值相等），而产生压缩变形。药筒底被压在炮闭的支撑面上，使炮闭及尾部构件达到极限位置，前一时期的火药气体，有些受压后排出，有些则留在炮膛与药筒壁之间。在此时期内，若遇药筒强度不足或材料塑性太低，则会发生破裂或烧蚀。

第三时期，从最大膛压到膛压降为大气压为止，膛压完全下降，使炮膛最终变形位置



恢复到原来位置。在此时期内,炮膛朝着与原来变形相反的方向移动,直至恢复到原来位置,此时药筒随火炮药室一起弹性恢复,由于药筒已经产生了塑性变形,它不可能恢复到原来位置。继续受热从膛压降至大气压到抽筒完毕为止,在此时期,当火炮恢复到原来位置时,药筒仍得继续恢复。此时期終了,可能会有两种情况:一种是药筒恢复后的尺寸小于火炮药室的尺寸,因而产生间隙,对抽筒有利;另一种是药筒恢复的尺寸仍大于火炮药室尺寸,因而产生过盈,这对抽筒不利。

第四时期,药筒和炮膛形成最终间隙,药筒被抽出。这个间隙将保证药筒能被顺利抽出。

由上不难看出,在药筒的作用中,只要能形成有利的最终间隙,会给退壳带来方便。

2. 影响药筒作用的因素

在射击以后,药筒可靠地退出炮膛,这是重要的战术要求之一。药筒的退壳性能,主要与最终间隙、退壳力和药筒同炮膛间摩擦力的大小等因素相关。

(1) 药筒机械性能的影响

根据金属材料的机械性能可知,药筒材料的强度极限愈高,发射后还原的弹性变形就愈大,即最终间隙愈大,因而容易退壳。在同样的强度极限下,若材料的弹性系数 E 愈小,则弹性恢复的程度愈大,这将有利于间隙的形成,有利于退壳。对黄铜药筒 $E=1 \times 10^9 \text{ Pa}$,钢药筒 $E=2 \times 10^9 \text{ Pa}$,因而铜药筒的退壳性能优于钢药筒。

(2) 火炮射击速度的影响

射击速度高,会使药筒的最终间隙减小,这是因为射击速度影响到药室的受热程度。射击速度愈高,炮膛受热越严重,退壳性能也愈差。

(3) 火药气体压力的影响

火药气体压力的大小,是决定药室退壳性能和最终间隙的主要因素。当药筒强度一定时,膛压增加,药筒的残余变形变大,因而形成的最终间隙就小,甚至产生“过盈”而卡壳。与药筒根部间隙为零时的相应膛压,常称为药筒的临界压力。

(4) 退壳力的影响

退壳力大,容易退壳,但必须注意确保药筒底缘的强度。

(5) 药筒表面质量和药室光洁度的影响

表面粗糙或质量不佳,如锈蚀、脏物、划痕等造成摩擦阻力增加,从而影响退壳。

(6) 初始间隙的影响

初始间隙的增大将会使药筒的最终间隙也增大,但是初始间隙过大会造成闭气性能不良和增加药筒纵向破裂的可能性。

2.3.4 可燃药筒

长期以来,世界各国都以铜作为制造药筒的材料。但是,铜是贵重的有色金属,其蕴藏



量和产量都不能满足日益增长的需求,特别是在第二次世界大战中,人们深感药筒供应困难,原因就是铜的供应困难。在这种情况下,美、德、日等国开始研制钢药筒,从而开创了以钢代铜的发展时期。但在战争中钢材的消耗量也是很大的,况且制造一个大口径药筒比制造同口径炮弹要困难得多。加上钢药筒的质量大,反复使用并不可靠(复修药筒大约只有 30% 的合格率),这又给供应和回收带来很大的负担。为此,人们又进行了非金属药筒的研究,其中德国最早提出了可燃药筒的研究课题,美国则在研究纸药筒和塑料药筒。二次世界大战后,美国也着手研究可燃药筒,并于 1962 年宣布研制成功。与此同时,国外还在集中人力研究纸药筒和塑料药筒。可燃药筒的出现,给弹药装备带来了很大方便。

可燃药筒是用可燃性物质制成,发射时在膛内燃完,无需退出炮膛。这种药筒,特别适于坦克炮使用。可燃药筒可分为全可燃与半可燃两种。带有金属底座的可燃药筒称为半可燃药筒,目前大多采用这种药筒,并配于现有火炮使用。

1. 可燃药筒的特点

无论从战术技术上还是生产经济性上,可燃药筒都具有明显的优点。

- ① 改进了火炮操作条件,提高了射击速度,减少了回收运输等繁重任务;
- ② 节约金属材料,减轻炮弹质量,简化生产工艺,提高了生产效率,降低了成本;
- ③ 有利于火炮结构的改进;
- ④ 可燃药筒可以起到增加发射药的作用。

由此可见,用可燃药筒代替金属药筒无论从战斗上和生产上都是有重大意义的。但是目前还没有完全用可燃药筒代替金属药筒,因为可燃药筒还存在如下缺点:

- ① 整装式药筒与弹丸的结合强度不易保证,不利于高速装填;
- ② 防火、防潮、长期储存性能低于金属药筒;
- ③ 药室污染比较严重,而且当膛内有残渣时容易引起药筒自燃;
- ④ 由于可燃,故对内弹道性能有影响。

2. 对可燃药筒的要求

① 可燃药筒使用后,炮膛不允许留有残燃物和残渣,药筒燃烧,不允许造成大的射击偏差;

② 有一定的强度,能满足拔弹力要求,可反复装填三次,运输和在一定高度下落(90°自由推倒和 1.3 m 以上高度跌落)时不破裂;

- ③ 有一定的闭气性,连续射击不因药室温升而造成装填中自燃;
- ④ 有一定的承热能力,对火源不敏感;
- ⑤ 遭轻兵器或弹片等击穿,安全性应不低于金属药筒。

3. 可燃药筒的基本特征

由于可燃药筒在膛内是燃烧的,因此药筒结构和装药具有如下明显特点:

- ① 药筒及装药中的每个元件(包括底火和传火管)都参与燃烧,底火可用低熔点的金



属（锡、锌和铬镉的合金）做外壳，在炮膛内同时起到除铜剂的作用；

② 为保证可燃药筒在膛内发射时及时燃完，药筒不采用胶化的组织状态结构，而应采用毡状多孔性的混杂体结构，以增加其燃烧面积；

③ 可燃药筒含有一定量的纸纤维和黏结剂，射击中易出现炮口焰和炮尾焰，因此在装药结构上应考虑适当增加消焰剂的数量；

④ 可燃药筒本身也是装药燃烧的一部分，为保证 100% 的燃尽，硝化棉的含量不能少于 60%（现用 65%）。而纸浆纤维是保证强度的主要成分，一般含量不低于 15%（现用 23%）。黏结剂对药筒强度、可燃性和工艺性都有影响，小于 7% 时强度低，工艺性差。大于 15% 时强度高，防火性好，但残渣多，现在用量是 12%，外加二苯胺作为硝化棉的中定剂。

常用的黏结剂有聚乙烯醇缩甲醛，聚乙烯醇缩丁醛、酚醛树脂等。聚醋酸乙烯酯可溶于水，因此工艺性好。

⑤ 可燃性药筒因燃烧较快，产生火药气体也多，故膛压曲线的起始段比金属药筒上升要快，最大压力的出现也比较早。另外，金属药筒在发射时要吸收火药气体的部分热量，而可燃药筒却要放出一部分热量，因此增加了火药气体对弹丸做功的能力，使弹丸的初速有所增加。这一弹道特性随温度变化而异，在考虑结构时，必须特别注意。

2.3.5 发射装药

发射装药是指满足一定弹道性能要求，由发射药及必要的元器件按一定结构组成，用于发射的组合件。发射药与点火具是发射装药的基本元器件。除此之外，根据武器的具体要求，发射装药中还可能含有缓蚀剂、除铜剂、消焰剂、可燃容器、紧塞具和密封盖等。

根据射击性能的不同，常将发射装药分为三类：即实习装药、空包装药和战斗装药。实习装药是在试验和训练中使用；空包装药主要在演习（当不使用实弹时）和鸣放礼炮时使用；战斗装药在实际战斗中使用，按弹药装填和装药结构特点，可分为定装式装药、分装式装药和迫击炮装药。

定装式装药的特点是不论在运输、储存以及发射装填时，装药都放置在药筒内与弹丸连成一个整体，装药质量是固定不变的。属于定装式装药的武器弹药有：步兵武器（手枪、冲锋枪、步枪、机枪）的枪弹装药；中小口径地面炮、坦克炮、高射炮、航炮、舰炮所用弹药的发射装药。

分装式装药的特点是装药全部放置在药筒或药包内，在储存、运输时与弹丸分开。装填时，首先把弹丸装入膛内，然后再装入盛有装药的药筒或药包。分装式装药一般都是可变装药，即在射击前可根据需要从装药中取出定量的附加药包而改变其装药量。155 mm 口径以上地面炮及大口径岸舰炮发射装药一般都采用分装式装药。

迫击炮装药在射击时虽然也是一次装填，具有定装式装药的特点，但其辅助装药又具



有药包分装式装药的特点，所以单独列为一类。发射装药对提高武器弹道性能有重要作用。因此，对刚性组合装药、低温感装药、随行装药、密实装药等新概念、新结构装药技术的研究非常活跃，并已取得重大成果。例如刚性组合装药、低温感装药已正式应用于制式弹药。

1. 新型发射装药

(1) 刚性组合装药

刚性组合装药，又称模块装药。由若干个刚性装药模块组合而成的发射装药，可根据使用时不同射程的要求决定装填模块的个数。它是一种用于大口径火炮的新型发射药，正在取代传统的布袋式药包装药。由于现代战争要求武器的快速反应能力，要求火炮有更高的射速，因此现代大口径火炮一般都配置弹药快速自动装填系统。传统药包装药无法适应快速自动装填的要求，因此刚性组合装药技术便应运而生。组合装药的模块外壳是由硝化棉和纸浆加工制成的可燃容器，它具有足够的强度，以保证装药的刚性。模块内盛装发射药，并配置可靠的点传火系统以及其他元件。由于可燃容器及可燃传火管等也具有一定能量，成为装药发射能源的组成部分，因此对其配方、几何尺寸及质量公差均有严格要求，以保证装药弹道性能稳定及射击后燃烧完全，不遗留未燃尽的残渣。刚性组合装药有全等式和不等式（刚性装药各模块的外形、尺寸、内部结构完全相同的为全等式，否则为不等式）。目前，美、英、法、德等国已研制成功由两种模块组成的发射装药系统，例如美国的 M231 和 M232 模块化火炮装药系统。

(2) 低温感装药

低温感装药即低温度感度装药，又称低温度系数发射装药，是指发射装药的初温对装药内弹道性能（膛压、初速）影响较小的一类发射装药。其理想状态是在使用温度范围内，发射装药的高温膛压增量、低温初速降趋近于零，这时也称为零梯度发射装药。由于发射药燃速是随其初温的提高而增加，所以一般发射装药高温膛压增量很大，而低温初速降也很大。低温度系数发射装药可以在不提高火炮最大膛压的条件下（即身管能够承受的压力条件下）大幅度提高初速，这是提高火炮性能的有效途径。低温度系数发射装药的研究受到国内外装药工作者的普遍重视。国外的研究工作主要从两方面着手：一是化学途径，即使用某些化学添加剂来减小温度对发射药燃速的影响，已在中小口径武器发射装药研究上取得明显进展；二是物理途径，即通过发射药的包覆控制高低温条件下发射药的初始燃面或通过延迟点火，控制发射药气体生成速率，降低装药温度系数。

(3) 密实装药

密实装药，即使用压实、固结等方法使装填密度超过发射药自然堆积密度的一类装药的统称。当前采用的制造密实装药的主要方法有：

① 多层密实结构发射药装药，由多层发射药片叠加而成，各层之间有明显的界限，其制造工艺可以采用复式压伸或发射药圆片叠加；

② 小粒药或球形药压成密实发射药，制造工艺一般是采用溶剂蒸气软化技术将药粒软



化再进行压实,可使装填密度达到 $1.25 \sim 1.35 \text{ g/cm}^3$;

③ 纺织式密实发射药,将发射药组分溶于挥发性溶剂中制成黏稠溶液,在一定压力下通过抽丝器抽丝并使之固化,细丝用纺织机按预定式样绕成一定形状。

对一定的武器装药,密实装药可使装填密度由 0.9 g/cm^3 提高到 1.35 g/cm^3 ,能量密度提高到 1.5 倍;当火药力由 $1\,087.7 \text{ kJ/kg}$ 提高到 $1\,274.8 \text{ kJ/kg}$ 时,能量密度仅提高到 1.18 倍,由此可见密实装药的潜力很大。密实装药的关键技术是点(传)火、装药解体和燃烧的一致性,以及由此引发的弹道稳定性和再现性问题。目前,该装药技术正在研制中,尚未用于武器装药。

(4) 随行装药

随行装药,又称兰维勒装药。射击过程中,部分装药固定在弹丸底部与弹丸一起运动的一种发射装药。

对于常规发射装药,发射药主要集中于药室内,当推动弹丸加速时,发射装药与弹丸分离,并散布在整个弹后空间进行燃烧。随着弹丸的运动,弹后未燃完的固体火药在火药气体的驱动下将追随着弹丸而沿膛内流动,使得膛底和弹底之间形成一个接近于在拉格朗日假设下抛物线形式的压力分布,膛底压力远高于弹底压力。由于这一压力梯度的存在,使得推动弹丸运动的弹底压力仅是膛底压力的 $70\% \sim 80\%$;同时,火药燃烧释放出的能量,不仅用于推动弹丸运动,还要用于加速弹后空间的火药气体,以保证部分气体与弹丸以相同的速度运动,因而严重地影响了弹丸初速的提高。尤其是高膛压、高装填密度的反坦克炮,弹丸的炮口速度越高,膛底和弹底之间的压力差就越大,气体和装药运动所消耗的能量也就越大。

随行装药技术是在弹丸底部携带有一定量的火药,并使之随弹丸一起运动。由于随行装药的燃烧能够在弹丸底部形成一个很高的气体生成速率,从而有效地提高了弹底压力,降低了膛底与弹底之间的压力梯度,在弹丸底部形成一个较高的、近似恒定的压力;同时,局部的、高速的固体火药燃烧生成的火药气体,在气固交界面上形成很大的推力,与普通装药火炮相比,该推力与弹丸底部附近的气体压力相结合,导致了对弹丸做功能力的增加,直至该部分火药燃完。因此在相同的装药量与弹丸质量的比值 ω/m 下,使用随行装药技术能够使弹丸获得比普通装药更高的初速。目前,随行装药技术还没有达到应用的程度,其关键技术是高燃速发射药燃速稳定性、弹体与药柱之间的结合还没有突破性进展。

随行装药一般可以分为三大类型:

① 固体随行装药,固体随行装药就是指组成随行装药结构的主装药和随行装药均采用固体火药。作为随行装药的固体火药一般都采用气体生成速率较高的火药,采用随行技术将火药固定于弹丸的尾部,使其随弹丸一起运动。

② 液体随行装药,液体随行装药是指组成随行装药结构的主装药和随行装药均是液体火药。作为随行装药的液体火药一般是装在位于弹丸尾部的容器内。

③ 固液混合随行装药,固液混合随行装药是指随行装药结构的主装药是固体火药,随行装药是液体火药。它充分地利用了固体火药燃烧稳定可靠、液体火药便于携带的优点。这



是目前研究较为广泛的一种随行装药方案。

2. 对装药的要求

(1) 弹道方面的要求

从弹道方面看, 要求主要有:

① 获得必要的初速和压力, 为此, 必须正确选择火药成分、形状、单体火药尺寸、装药质量、点火药质量和合理的装药结构;

② 火药应在炮膛内迅速燃尽, 为此, 必须合理地选择火药成分、形状和燃烧层厚度, 点火药要能瞬时引燃全部药粒;

③ 在不同的温度条件下应能保持装药的弹道性能, 为此, 要求设计合理的装药结构, 选择安定性好的火药和确保装药保管时的密封性。

(2) 战术技术方面的要求

从战术技术方面看, 要求主要有:

① 增大火炮寿命。在满足弹道性能的要求下, 应当尽量使用低爆热、低烧蚀性的火药, 并在装药中加护膛剂;

② 发射时, 烟少、火焰小 (加入消焰剂);

③ 装药安全、简便;

④ 长期保存安全、不变质。

(3) 生产经济性方面的要求

从生产经济性方面看, 要求主要有:

① 装药结构简单, 适于大量生产;

② 装药成本低, 不用昂贵和稀缺材料。

3. 装药的组成与作用

装药的基本元件是火药。火药具有一定的潜能, 当火药发生爆燃时, 潜能将转变为火药气体的动能和热能, 从而推动弹丸运动而作功。从根本上来说, 火药是弹丸运动的能源。

装药的第二个不可缺少的元件是点火药。点火药的作用是在尽可能短的时间内, 同时点燃装药的全部药粒, 以保证火药的正常燃烧。除此之外, 装药还包含钝化剂、护膛剂、除铜剂、消焰剂、紧塞具和厚纸等, 它们的功能已在前面谈及, 在此不予赘述。

当击针撞击火帽或电流通过火帽时, 火帽火药燃烧, 放出灼热气体和固体颗粒。若装有黑药制的药饼或粒状辅助点火药时, 击发剂的燃烧生成物立即点燃辅助点火药。辅助点火药的燃烧生成物大约以 $1\ 000\text{ m/s}$ 的速度传布于整个装药, 加热并点燃发射药表面, 从而引起火药的热分解反应。发射药分解时, 1 g 火药大约放出 $900\sim 1\ 100\text{ ml}$ 的气体、 $2\ 500\sim 5\ 000\text{ J}$ 的热量和少量的固体颗粒。装药燃烧时生成的火药气体温度可达 $2\ 200\sim 3\ 600\text{ K}$, 密度达 0.3 g/cm^3 。火药气体分子的无规则运动, 产生了炮膛压力。在该压力的作用下, 弹丸将向前 (或作旋转) 运动。



4. 发射装药的结构

(1) 整装式药筒装药的结构

整装式装药大都采用硝化棉粒状火药，部分使用管状硝化棉火药和双基药。粒状硝化棉火药的优点是假密度大，装药制造容易，同一种牌号的火药可适用于不同的火炮。缺点是火药放置较乱，难于点燃。为此，在一部分装药结构中，常加有管状药束，以利于传火。

在我军装备的 57 mm 高射榴弹的发射装药中（如图 2.21），使用牌号为 7/14 的散装粒状硝化棉火药。药筒的内表面装有护膛衬纸，上面放有除铜剂、紧塞具和厚纸等。

在 85 mm 穿甲弹的装药（如图 2.22）中 17/7 粒状药占总装药的 88%，18/1 管状药占 12%。使用管状硝化棉火药的目的，在于改进装药的点燃条件和提高它在低温下弹道性能的稳定性。管状药用细棉线绳捆在一起。

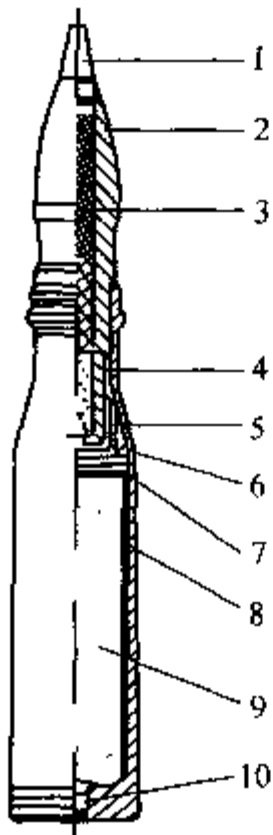


图 2.21 57 mm 高射榴弹药筒结构装药

1—引信；2—弹体；3—炸药；4—曳光管；
5—支筒；6—紧塞具；7—除铜剂；
8—护膛剂；9—发射药；10—底火

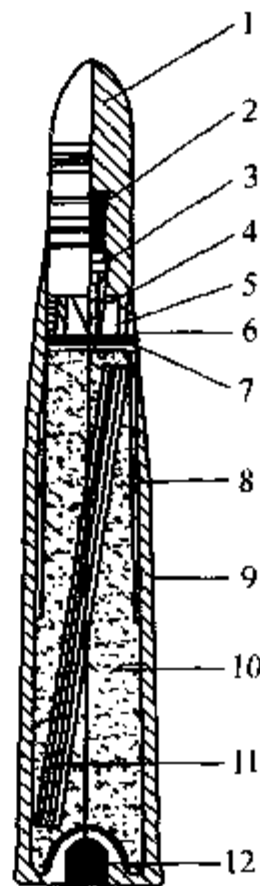


图 2.22 85 mm 穿甲弹药筒装药

1—弹丸；2—炸药；3—引信；4—紧塞盖；
5—支筒；6—纸垫；7—除铜剂；8—护膛剂；
9—药筒；10—粒状发射药；11—管状发射药；12—底火

(2) 分装式药筒装药的结构

分装式药筒装药一般都采用变装药。通常，榴弹炮和加农炮的变装药是由两种牌号的火药组成。变装药是由基本药包和若干附加药包（等重的或不等重的）制成：基本药包构成最小号装药；基本药包和若干附加药包的组合，构成了中间装药和最大装药（或称全装药），见表 2-13。



若一种牌号的火药可以满足规定的初速和最大（或最小）膛压时，装药应采用一种火药。若一种牌号的火药装药不能满足弹道性能要求时，就应采用两种牌号的火药。此时，基本药包用薄火药，附加药包用厚火药。例如，54 式 122 mm 榴弹炮杀爆榴弹的装药（如图 2.23）就用了基本药包 4/1 火药和附加药包 9/7 火药构成，其中附加药包由上下两种等量药包（各 4 个）组成。30 g 点火药包，缝在基本药包下部。除铜剂放在附加药包上，上面用紧塞盖和密封盖压紧。

表 2-13 54 式 122 mm 榴弹炮杀爆榴弹装药

装药号数	基本药包	下药包	上药包
全	1	4	4
1	1	4	3
2	1	4	2
3	1	4	1
4	1	4	
5	1	3	
6	1	2	
7	1	1	
8	1		

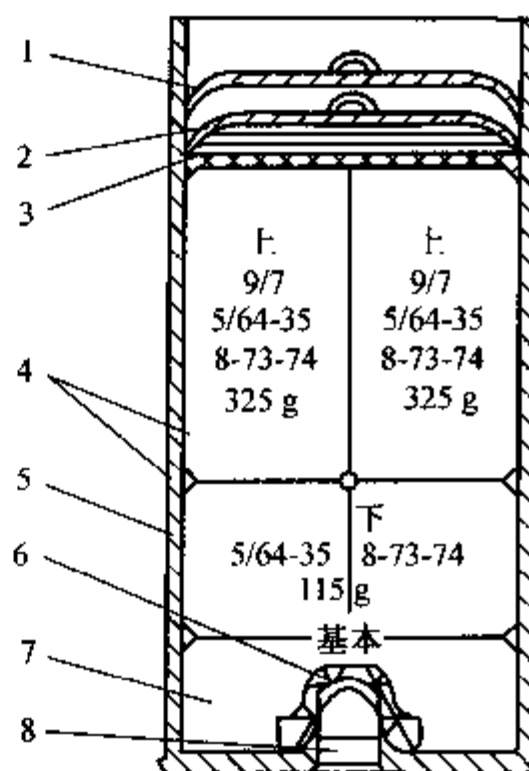


图 2.23 122 mm 榴弹炮杀爆榴弹药筒装药
1—密封盖；2—紧塞盖；3—除铜剂；4—附加药包；
5—药筒；6—点火药；7—基本药包；8—底火

2.4 火 炮

火炮，通常是指以火药为能源发射弹丸，口径在 20 mm 以上的身管射击武器，是军队实施火力突击的基本装备。火炮种类较多，配有多种弹药，可对地面、水上和空中目标射击，歼灭、压制有生力量和技术兵器，摧毁各种防御工事和其他设施，击毁各种装甲目标和完成其他特种射击任务。

火药及利用火药的管形火器最早出现在中国，公元 1225 年后火药和火器从中国传到伊斯兰国家，后又传到欧洲。自此以后直到 19 世纪末现代火炮出现，火炮有几个重要发展阶段。17 世纪，伽利略抛物线弹道的发现、牛顿对空气阻力的研究都对现代火炮的发展起了重要的推动作用。其后各国对提高火炮机动性的研究，口径标准化，线膛炮与长形弹丸的出现，后装填火炮与螺式炮闩、楔式炮闩的发明，直到带有反后坐装置弹性炮架的使用，逐渐形成了现代火炮的雏形。

20 世纪 70 年代以来，由于科学技术的发展和生产工艺的改进，火炮在射程、射速、弹丸威力、机动性和快速反应能力方面都有明显提高。



在增大射程方面,主要采用高能发射药、加大装药量、加长身管、增大膛压、提高初速以及发展底凹弹、远程全膛弹、底部排气弹、火箭增程弹和复合增程弹等新弹种。105 mm 榴弹炮射程从第二次世界大战前的 11~12 km 增大到 15~17 km。155 mm 榴弹炮射程从 14~15 km 增大到 30 km 以上。比利时 GC-45 式 155 mm 加农榴弹炮,炮身为 45 倍口径,增大药室容积和增加装药量,采用远程全膛弹,射程达 30 km,发射远程全膛底部排气弹,射程可达 39 km。远程全膛弹为全弧形弹丸,是 20 世纪 70 年代末发展的新弹种,它弹体流线形好,空气阻力小,一般能增大射程 10%~20%。南非 155 mm 榴弹炮发射的高速远程弹,采用底排与火箭复合增程技术,39 倍口径身管最大射程为 39 km,45 倍口径身管射程为 50 km,52 倍口径身管则达到了 52.5 km。美国更换 M247 式 40 mm 高射炮预制破片榴弹的外壳和风帽,弹丸飞行阻力降低 6%,弹丸飞行时间明显缩短。反坦克炮能发射高动能或初速高的尾翼稳定脱壳穿甲弹,攻击复合装甲和反应装甲目标。新研制的反坦克炮都具有坦克炮的弹道性能。前西德 120 mm 自行反坦克炮和前苏联 125 mm 反坦克炮的直射距离分别达到 2 km 和 2.1 km。迫击炮的射程也有明显增加。60 mm 迫击炮的射程由原来的 2 km 提高到 4 km,120 mm 迫击炮从 5.5 km 提高到 8 km,发射火箭增程弹可达 13 km。

为了收到火力奇袭的效果和有效地对付日益增多的机动目标,各国普遍重视提高火炮发射速度。采用半自动炮闩、自动装填系统、液压瞄准机构和可燃药筒等,减少人员参与程度,可明显缩短射击循环时间,提高射速。瑞典 FH77 式 155 mm 榴弹炮采用半自动立楔式炮闩、液压瞄准机构和半自动装填系统,爆发射速达到 3 发/8s,正常射速 6 发/min。40 mm 高射炮的射速已达 330 发/min,比第二次世界大战前的 120 发/min 有明显提高。采用液体发射药和模块式的发射药,射速可望进一步提高。

在提高弹丸威力方面,采取增加弹体强度、减薄弹体厚度、改装高能炸药和采用预制破片技术等措施,有的 105 mm 榴弹的杀伤效果,相当于第二次世界大战期间的 155 mm 榴弹。已经使用和正在发展的子母弹、多爆炸成型弹、末段制导炮弹和寻的炮弹,大大提高了压制火炮的远距离反坦克能力。高射炮采用近炸引信和预制破片榴弹,提高了对目标的毁伤能力。尾翼稳定超速脱壳穿甲弹的穿甲厚度已达 400 mm,有的破甲弹的破甲厚度达 900 mm。

改进火炮结构,减轻火炮重量和发展新型自行火炮,可进一步提高火炮的机动性能。美国 M102 式 105 mm 榴弹炮,实现了上架、下架和大架合一,高低机和平衡机合一,改用鸟胸骨闭架式大架和迫击炮底盘,全炮重由原来的 2 260 kg 减到 1 480 kg。有的自行榴弹炮采用封闭式旋转炮塔,具有浮渡能力。采用液压折叠式驻锄,方向射界 360°。一些火炮附有火炮辅助推进装置,进出阵地和短距离行军的速度大为提高。

为了延长炮身使用寿命,许多国家采用电渣重熔等精炼工艺,提高炮身钢的机械性能和抗热裂纹能力。炮膛镀铬,改善了炮膛的热耐磨性能。使用高能量低烧蚀发射药及新型缓蚀添加剂,减轻了炮膛烧蚀。有的坦克炮采用自紧和镀铬处理的炮身,虽然初速达 1 831 m/s,膛压达 5.5×10^5 kPa,寿命仍可达到 1 000 发。



为了提高炮兵火力的适应性,火炮除配用普通榴弹、破甲弹、穿甲弹、照明弹和烟幕弹外,还配有各种远程榴弹、核弹、化学弹、反坦克子母弹以及末段制导炮弹等,使火炮能压制和摧毁从几百米到几千米距离内的多种目标。

火炮将在提高射程、威力和射速,以及增强战场生存能力方面继续发展。随着以固体发射药为火炮能源的传统模式的突破,将出现依靠多种能源的液体发射药火炮、电磁炮、电热炮等新装备。远距离遥控和机器人操作的花炮也在试验和研制中。

2.4.1 火炮的分类

火炮分类的方法很多,常见的分类见表 2-14。对火炮分类,有几点需进一步说明。

表 2-14 火炮的分类

火 炮	按 军 种 分	陆军炮 海军炮 空军炮	
	按 用 途 分	地面压制火炮	加农炮 榴弹炮 迫击炮 火箭炮
		反坦克火炮	坦克炮 反坦克炮 无后坐炮
		高 射 炮	野战高射炮 城防高射炮
		海岸及要塞炮 舰载火炮 机载火炮	
	按 口 径 分	大口径炮 中口径炮 小口径炮	
	按弹道特性分	平射炮 曲射炮	
	按炮膛结构分	滑膛炮 线膛炮 锥膛炮 半滑膛炮	
		固定炮 牵引炮	带辅助推进装置 不带辅助推进装置
	按运动方式分	自行炮 驮载炮 铁道炮	轮式 履带式
	按装填方式分	前装炮 后装炮	
	按操作方式分	自动炮 半自动炮 非自动炮	



1. 按弹道特性分类

主要是根据弹丸在空中飞行的轨迹特性分。一般弹道平直低伸、射程远、威力大者称为加农炮，也叫平射炮，“加农”系英语 cannon 的音译，高射炮、反坦克炮、坦克炮、机载火炮、舰载火炮和海岸炮都具有加农炮的弹道特性；弹道比较弯曲、射程较远者称为榴弹炮；兼有上述两种火炮弹道特点的火炮称为“加农榴弹炮”；弹道十分弯曲，且射程较近者称为迫击炮，早期称其为臼炮。榴弹炮与迫击炮等也常统称为曲射炮。图 2.24 为三种火炮弹道性能示意图。

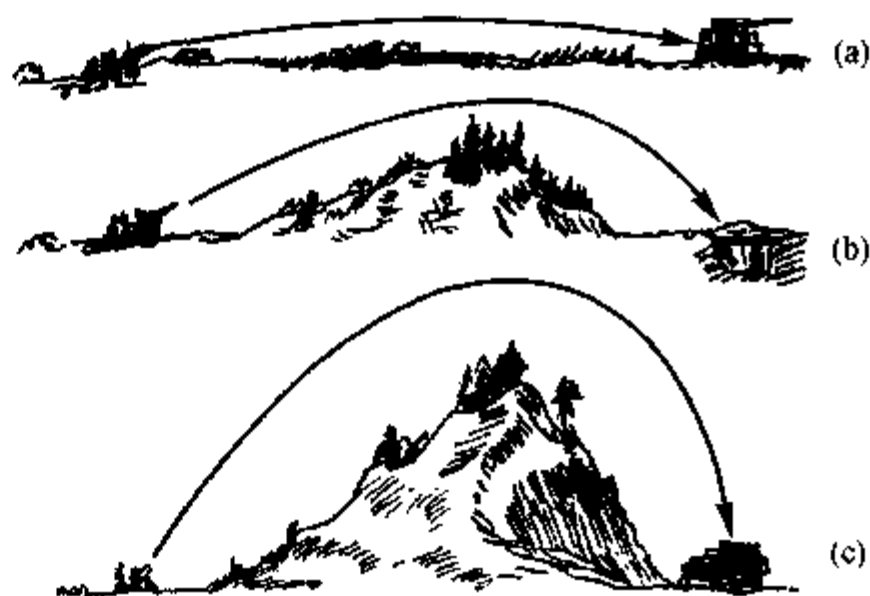


图 2.24 火炮弹道性能示意图

(a) 加农炮；(b) 榴弹炮；(c) 迫击炮

加农炮、榴弹炮与迫击炮的主要区别可参见表 2-15，表中有关初速、炮身长度等数值只是泛指，不能绝对化。目前有些新型火炮的初速、炮身长度已超过表中数据。在第二次世界大战后，西方国家很少采用“加农炮”一词。而是将新型研制的大口径地面火炮都称为榴弹炮。

表 2-15 加农炮、榴弹炮与迫击炮的主要区别

种类	一般射击的目标	弹道形状	性能特点	结构特点
加农炮	活动目标，直立目标，远程目标，（对大口径火炮）	低伸	初速大（ $>700\text{ m/s}$ ），射角较小（ $<45^\circ$ ），一般用定装式炮弹，大口径用分装式，变装药号数较少	炮身长（ $>40d$ ），比同口径其他火炮重（ d 为口径）
榴弹炮	远程隐蔽目标及面目标	较弯曲	初速小（ $<650\text{ m/s}$ ），射角较大（ $<75^\circ$ ），分装式炮弹，变装药号数多	炮身较加农炮短（ $20\sim40$ ） d ，全炮较轻
迫击炮	近程隐蔽目标及面目标	很弯曲	初速大，射角大（ $45^\circ\sim85^\circ$ ），多用尾翼稳定弹，变装药号数多	炮身（ $10\sim20$ ） d ，结构简单，全炮很轻

2. 按口径分类

按照口径的大小，可分为大口径炮、中口径炮与小口径炮。划分口径大小的界限，随火炮类别而异，也随着不同历史时期火炮技术发展的状况而定，而且各个国家的规定也不尽相同，第二次世界大战以前，火炮技术水平较低，大威力火炮口径都偏大。例如，地面火炮曾将 90 mm 以下列为小口径， 200 mm 以上称为大口径， $90\sim200\text{ mm}$ 之间叫中口径。对海岸炮，多数国家的规定是：口径大于 180 mm 者称为大口径，低于 100 mm 者为小口径，二者之间的为中口径。现仅以当前地面火炮与高射炮为例，见表 2-16。



表 2-16 地面火炮与高射炮的口径区分

口径划分		我国/mm	英、美/mm (in)	前苏联/mm
地面火炮	大口径	>155	>203 (8)	>152
	中口径	76~155	100~203 (4~8)	76~152
	小口径	20~75	<100 (<4)	20~75
高射炮	大口径	>100	13~47	>100
	中口径	60~85		60~100
	小口径	20~57		20~60

3. 按炮膛结构分类

按炮膛结构分类，火炮可分为滑膛炮、线膛炮和锥膛炮等。

滑膛炮是指身管内壁无膛线的火炮，发射后弹丸依靠尾翼稳定。19 世纪中叶线膛炮出现之前的火炮都是滑膛炮，发射球形弹丸，射程近，射击密集度差。线膛炮出现后，基本上由线膛炮取代。20 世纪 60 年代后，为了提高对复合装甲的穿甲能力，采用次口径长杆式尾翼稳定超速脱壳穿甲弹和相对密度大的钨（铀）弹芯，使滑膛炮又重新得到了广泛使用。在现代火炮中，坦克炮和迫击炮多采用滑膛身管，有些无坐力炮也采用滑膛结构。

线膛炮是指身管内壁有若干平行螺旋槽（膛线）的火炮。发射时弹丸上的弹带切入膛线，迫使弹丸在膛内向前运动时又作旋转运动，使弹丸出炮口时具有一定的转速，以保证弹丸飞行稳定。与滑膛炮相比，线膛炮的射击密集度较高。在火炮发展史上，线膛炮的出现是火炮技术发展的重大突破。膛线的凸起部称阳线，膛线的凹进部称阴线。将炮膛展开平面后膛线与膛轴线的夹角称缠角，缠角保持为一常数的膛线称等齐膛线；膛线起始处缠角小，以后按二次曲线向炮口逐渐加大的膛线称渐速膛线。按膛线深度可分为深膛线和浅膛线。

锥膛炮是指炮膛导向部全部或局部向炮口端逐渐缩小呈圆锥形的火炮。配用带裙边的缩径弹丸，裙边用软金属制造。发射时弹丸在火药气体的推动下向前运动，其裙边逐渐收缩，并密闭火药气体。利用这种火炮发射的弹丸与等弹重同口径（指炮口）的普通火炮相比，弹丸在膛内全长上受火药气体作用的平均面积大，可获得较大的初速。其缺点是制造工艺复杂，裙边的变形耗能较多。德国首先设计使用了这种火炮。1914 年德国制造的 75 mm 反坦克炮，锥膛的大端直径 75 mm，出口直径 55 mm，穿甲弹的初速达到 1 124 m/s。锥膛炮实际上是一种发射早期次口径弹的火炮。与后来使用的次口径脱壳穿甲弹相比，早期次口径弹射击效果差，工艺性不好，使这种火炮未能得到推广应用。

4. 按运动方式分类

按运动方式分类，可分为固定炮、牵引炮、自行炮和驮载炮等。

固定炮是指固定在地面或安装在大型运载体上的火炮。前者通常指在永备工事中，火炮炮架与基础固定在一起的海岸炮、要塞炮。后者一般指火炮与运载体固定在一起的舰炮、铁道炮。由于支撑火炮的基座质量大，射击稳定性好，射击精度较高，所以固定炮在设计上与



一般野战炮有所不同。有的要塞炮及海岸炮在射击时升高伸出堡垒或通过轨道前移至洞口外面,射击完后返回原位置,过去称为显隐炮,属于半固定炮,如轨道式 58 倍口径双管 130 mm 海岸炮。

牵引炮是指行军时用机动车辆拖动或骡马挽曳的火炮。早期的野战火炮一般用骡马挽曳,现代火炮用履带式或轮式车辆牵引。按牵引方式可分为炮口牵引和架尾牵引两种方式。牵引火炮均有运动体和牵引装置,有的还有前车,运动体装有缓冲装置和制动器,车轮采用海绵胎或气胎。有的牵引火炮在炮架上装有辅助推进装置,在火炮解脱牵引后推动火炮进出阵地和短距离行军,有一定的自运能力。牵引火炮一般牵引长度较长,受道路转弯半径的限制,通过性较差。为了减小牵引长度,有的火炮将炮身作 180° 回转(朝向牵引方向)并固定后牵引。牵引火炮的特点是:结构简单,造价低,操作维修方便,便于大量装备;相对同级别自行火炮,牵引火炮外形尺寸和质量较小,可空运;装甲防护少。20 世纪 70 年代以来,各国在大力发展自行火炮的同时,仍重视牵引火炮的发展。由于牵引火炮的独特优点,目前在陆军、海军陆战队、空降部队中仍有大量装备。牵引火炮将继续朝着轻量化、射击指挥与观瞄装置的自动化、提高反应速度等方向发展。

自行炮是指安装在车辆底盘上能自行运动(行军或越野机动)的火炮。按底盘不同分履带式和轮式自行火炮。自行火炮的任务是伴随装甲兵和摩托化及装甲步兵作战,执行压制、火力支援和掩护等任务。自行火炮是随坦克和各种车辆的投入战斗与发展而产生和发展的。自行火炮出现于第一次世界大战,在第二次世界大战中得到较广泛使用,但其从技术、战术使用等各方面有巨大发展是在 20 世纪 70 年代以后。20 世纪 50 年代,主要以利用原有坦克底盘为主,重点是提高机动性;20 世纪 60 年代后则以减小质量、缩小体积、适于空运和空降等为改进重点,为此开始为自行火炮设计专用底盘或使用较轻的装甲输送车底盘。20 世纪七八十年代以后,自行火炮逐渐发展成为包括火炮、火控、底盘、通信、防护等的复杂综合体。其发展方向是:提高射速,增大火力密集度;增加弹药种类,提高毁伤效果和对付不同地面和空中目标的能力;充分利用现代电子、信息技术成果,改进和发展具有搜索、观测、跟踪、射击诸元求取、瞄准功能的火控系统,提高火炮射击控制的自动化水平,从而提高射击精度和反应速度;通过增加地面导航定位系统以及其他信息装备,提高火炮自主和半自主作战能力,并具有“打了就跑”机动作战能力;通过(高射炮)加装防空导弹或(榴弹炮、火箭炮)发射制导炮弹,增强火炮的威力与作战能力;提高可靠性和生存能力等。另外,20 世纪 90 年代以来,国外利用现有牵引火炮和轮式装甲车或汽车底盘组成一类“无炮塔”式轮式自行火炮,如法国“凯撒”155 mm 自行火炮等。

驮载炮又称山榴炮、山炮。以畜力驮载作为运动方式的火炮。主要用于在山地和崎岖地形上行军作战。以畜力驮载的火炮主要有作为山炮使用的轻型榴弹炮和中口径以上的迫击炮。一般便于拆装,利用随身携带的少量工具便可把全炮迅速分解成几大部件,每个部件的质量差别不大,并应在畜力能负载的范围内。有的驮载炮除了驮载外,还可以牵引。驮载炮



在第二次世界大战期间和战前曾广泛使用，现在不少国家仍有装备和应用，如意大利的 56 式 105 mm 驮载榴弹炮。

5. 野战炮

在历史和目前习惯用语中，常引用“野战炮”或“野炮”一词。这主要是指在海域、要塞和城市以外地区作战的陆军部队中所装备的火炮。野战炮的射击范围大，火力机动性和运动性好，能以火力伴随和支援步兵、装甲兵的战斗行动，通常是指牵引式或自行式的加农炮、榴弹炮、加农榴弹炮、高射炮和反坦克炮等。西方国家将地面炮和高射炮合称为野战炮，前苏联将装备于野战部队属炮兵的火炮称为野战炮。

最早的野战炮系将炮身装在带轮的车上，由马拉曳以配合步兵战斗，随后又将牵引式火炮统称为野炮。例如法国士乃德 75 mm 野炮，日本三八式 75 mm 野炮。

6. 火箭炮

火箭炮是一种发射无控火箭弹的装置。从其作用原理上看，它并不属于身管火炮的范围。火箭炮除赋予火箭弹一定的射角、射向和提供点火机构与火箭发电机开始工作的条件外，并不给火箭弹提供任何飞行动力，火箭弹是借助自身的火箭发动机产生的反作用而运动的。由于在我国的炮兵装备中将火箭炮列入压制武器内，因此在火炮分类表中列有此种“炮”。火箭炮与同口径的身管火炮相比，具有反应快、火力猛、发射速度高、机动性好和价格低廉等优点。主要用于对集群目标、面目标实施猛烈的火力突击，压制敌有生力量、装甲目标和其他技术兵器。但该炮射弹散布大，需要较大的安全界，发射时火焰大，易暴露阵地。因此，常选择多个阵地，以适时进行转移。

7. 新型火炮

目前，国内外正在研制的新概念新原理火炮有液体发射药火炮、电热炮和电磁炮等。

液体发射药火炮 (LPG) 是指使用液体发射药作为发射能源的火炮。LPG 一般有外喷式、整装式和再生式三种形式。外喷式 LPG 是依靠外力在发射时适时地将 LP (液体发射药) 喷射到燃烧室进行燃烧。外喷压力很大，外喷机构复杂，现在已经不再采用。整装式 LPG (BLPG) 与常规固体发射药火炮一样，LP 装填在固定的容积内，经点火后整体燃烧，整体燃烧规律较难控制。再生式 LPG (RLPG) 在发射前，LP 被注入储液室。点燃点火药，使得燃烧室内压力升高，推动再生喷射活塞，挤压储液室中的 LP。根据差动原理，储液室内液体压力大于燃烧室内气体压力，迫使储液室中的 LP 经喷孔喷入燃烧室，在燃烧室中雾化燃烧，使燃烧室压力进一步上升，继续推动活塞并挤压储液室中的 LP，使其不断喷入燃烧室，同时推动弹丸沿身管高速运动，直到储液室中的 LP 喷完，弹丸获得预定的初速，完成再生喷射循环。LPG 的主要优点是：可控制燃烧，实现压力平台，提高初速，减小压力峰值；炮口焰、烟较少，声音小，不易暴露；可精确控制 LP 的注入量，调节射程，实现多发弹同时弹着；LP 燃烧温度低，火炮寿命长；LP 储存方便，有利于总体布置；LP 的低易损性有利于火炮的安全；LP 的良好后处理性能有利于火炮的后勤保证；LP 成本低廉，可降低火炮



全寿命周期费用。目前, RLPG 还存在一些技术难题, 如压力振荡、弹道控制、点火、液体发射药与材料的相容性等, 需要解决。

电热炮是指全部或部分利用电能加热工质产生等离子体推进弹丸的发射装置, 如图 2.25 所示。从工作方式上, 电热炮可以分为直热式电热炮和间热式电热炮两大类。直热式电热炮是使用特定的高功率脉冲电源向某些分子量小的惰性第一工质放电, 把工质加热转变成等离子体状态, 利用含有热能和动能的等离子体直接推进弹丸运动, 也称单热式电热炮。间热式电热炮是利用加热第

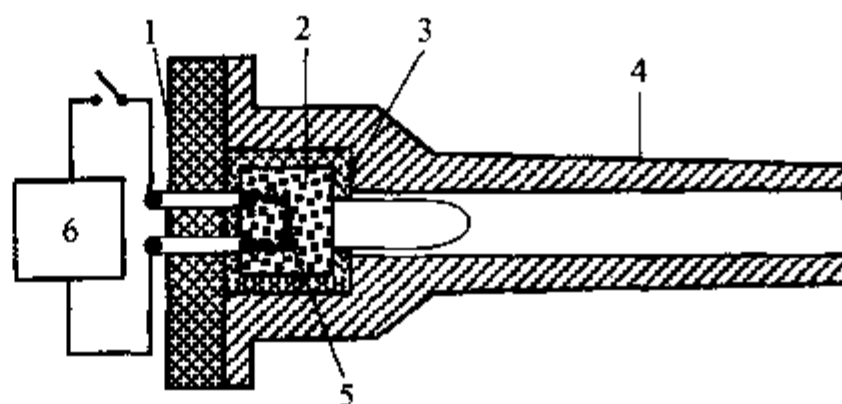


图 2.25 电热化学炮工作原理图

1—电极; 2—第二工质; 3—药筒; 4—身管;
5—第一工质; 6—电源

一工质产生的等离子体再去加热其他更多的低分子量第二工质 (甚至是发射药), 使其化学反应变成热气体 (含少量等离子体), 借助热气体的热膨胀做功来推进弹丸, 也称为复热式电热炮。从能源和工作机理方面考虑, 直热式电热炮是全部利用电能来推进弹丸的, 也称为纯电热炮; 而间热式电热炮, 发射弹丸既使用电能又使用化学能 (发射能量约 20% 来自电能, 80% 来自化学反应), 也称为电热化学炮。在电热炮中用放电方法产生的等离子体多属低温等离子体, 又称为电弧等离子体。所以, 较早的电热炮又称为电弧炮、脉冲等离子体加速器或等离子体炮。电热炮的主要优点有: 初速高, 内弹道可控性好, 有利于隐蔽, 有利于改变射程。电热炮首先要解决高能量密度的脉冲电源小型化问题, 其次要有能承受百万安培强电流的材料和结构, 以及其他武器化的工程问题。

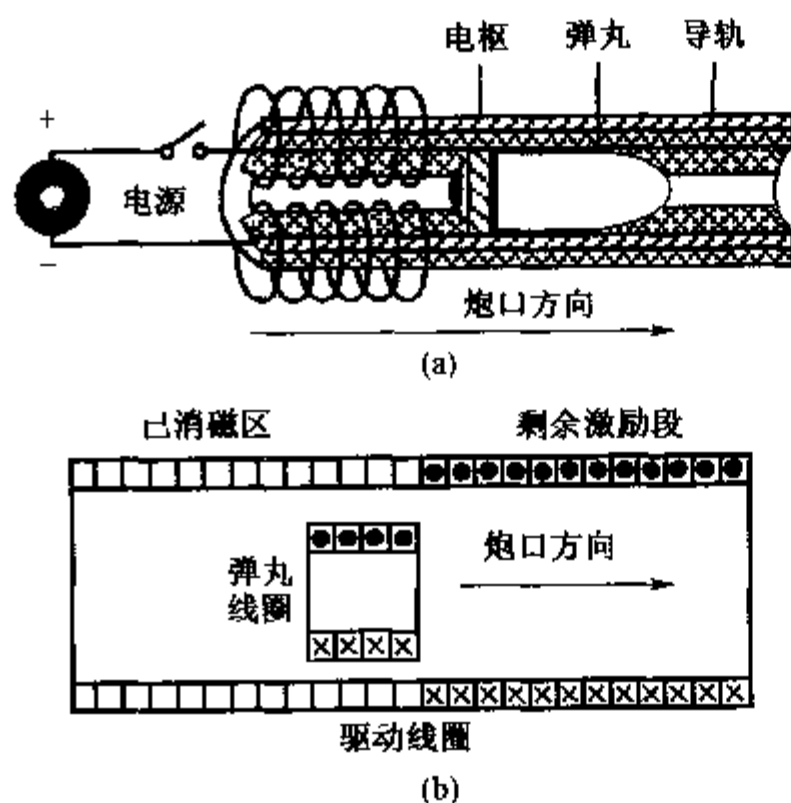


图 2.26 电磁炮

(a) 轨道炮工作原理图; (b) 线圈炮工作原理图

电磁炮又称电磁发射器, 是指完全依靠电磁能发射弹丸的新型超高速发射装置。根据工作原理的不同, 电磁炮可分为轨道炮和线圈炮两种, 如图 2.26 所示。轨道炮工作原理为: 炮弹位于两根平行的铜制导轨中间, 当强电流从一根导轨经炮弹底部的电枢流向另一根导轨时, 在两根导轨之间形成强磁场, 磁场与流经电枢的电



流相互作用,产生强大的电磁力(洛伦兹力),推动炮弹从导轨之间发射出去,理论上初速可达 $6\,000\sim 8\,000\text{ m/s}$ 。轨道炮的优点是结构简单。线圈炮工作原理为:身管由许多个同口径、同轴线圈构成,炮弹上嵌有线圈。当向身管的第一个线圈输送强电流时形成磁场,炮弹上的线圈感应产生电流,磁场与感应电流相互作用,推动炮弹前进;当炮弹到达第二个线圈时,向第二个线圈供电,又推动炮弹前进,然后经第三个、第四个线圈……直至最后一个线圈,逐级把炮弹加速到很高的速度。线圈炮的优点是炮弹与炮管(线圈)间没有摩擦,能发射质量较大的炮弹,电能转换成动能的效率较高,但供电比较复杂。

电磁炮的主要优点有:初速高,有利于隐蔽,有利于改变射程,工作稳定、重复性好,身管形状以及弹丸质量都不受限制,弹丸的平均加速度和峰值加速度的比值小,装弹快,效率高。电磁炮的研制主要需解决两个关键技术,即能加速高速飞行弹丸的加速装置(相当于常规火炮的身管)和容量大、密度大、比能大的能量储存与传输装置。

2.4.2 火炮的结构组成

1. 对火炮结构总的要求

不管哪种火炮,在满足战术技术要求的前提下,其结构越简单越好,操作人员只需一般的训练就能在实战中进行操作。各机构应与人体尺寸、体力和生理特点相适应,减轻疲劳强度。符合人一机一环工程原则,尽可能减少操作、维修中不安全因素,特别是人的心理状态可能造成的潜在人为错误因素。

火炮结构是实现火炮功能的重要方面,应该满足以下具体要求:

- ① 火炮能长时间准确地对目标发射具有一定射向和一定初速值的弹丸;
- ② 火炮的射向应能随战斗需要轻便而迅速、准确地变化;
- ③ 火炮发射时,对其后坐能量要进行妥善的处理;
- ④ 火炮应具有轻便、灵活的瞄准结构、支撑机构、行走或运动机构,全炮的质量应小。

现有的各类火炮结构,在不同程度上体现了上述要求,这是前人智慧的结晶,也是启迪我们创新的基础。第二次世界大战以来,火炮系统的威力有很大提高,地面火炮发射的增程弹射程突破了 50 km 大关。但是,除电磁炮、电热炮、液体发射药火炮等新原理、新结构火炮外,火炮结构本身变化却不大。

2. 火炮结构组成简介

为使读者能对火炮整体结构有初步的了解,现将地面火炮的结构组成简介如下。火炮通常由炮身和炮架两大部组成,图 2.27 是牵引式火炮的一般结构图,其主要结构组成如表 2-17 所示。

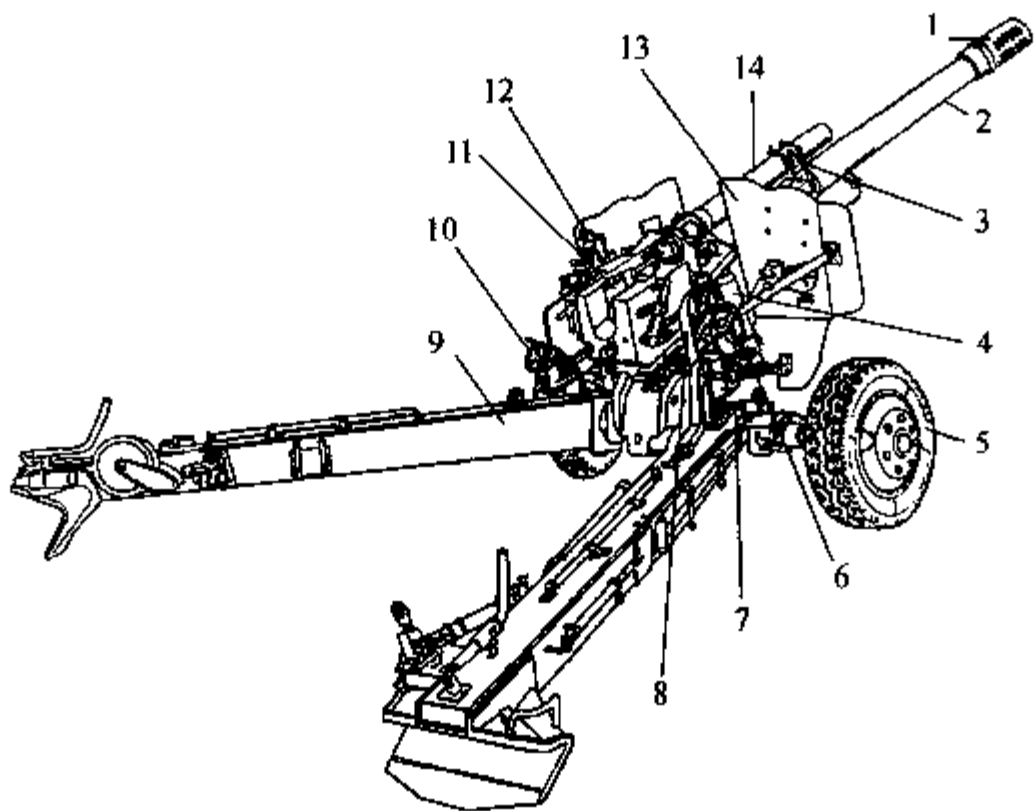


图 2.27 牵引式火炮的一般结构图

1—炮口制退器；2—身管；3—摇架；4—平衡机；5—运动体；6—高低机；7—下架；8—上架；9—大架；
10—方向机；11—炮闩；12—瞄准装置（瞄准具、瞄准镜）；13—防盾；14—反后坐装置（驻退机、复进机）

表 2-17 牵引式火炮主要部件组合表

火炮结构	炮身部	身管 炮尾 炮闩 炮口装置
	炮架部	反后坐装置（驻退机、复进机） 摇架 上架 瞄准机（高低机、方向机） 瞄准装置（瞄准具、瞄准镜等） 平衡机 防盾 下架 大架 运动体（车轮、缓冲器等）

(1) 炮身部分

火炮炮身由身管、炮尾、炮闩和炮口装置等组成。

身管是炮身的主体，用来赋予弹丸初速和飞行方向。线膛炮身管使弹丸旋转以保持弹丸飞行的稳定，滑膛炮的弹丸一般不旋转。为保证炮身有足够的强度和纵向刚度，身管一般用镍铬钼系列的高级合金钢制造。

炮尾用来盛装炮闩并将身管与反后坐装置连成一体。



炮闩用来闭锁炮膛、击发炮弹和抽出发射后的药筒。现代火炮大都采用半自动炮闩。半自动炮闩一般为楔式，发射后借助炮身复进运动打开，装填炮弹后自动关闭，装填炮弹和发射均由人工完成。有的火炮采用自动炮闩。采用自动炮闩的火炮，开闩、装填、关闩和发射均利用炮身的后坐复进能量或从身管内导出的火药燃气能量来完成。自动炮闩多用于小口径高射炮、航空机关炮和舰炮。

炮口装置包括炮口制退器、炮口助退器、消焰器、炮口抽气装置等。炮口制退器利用火药燃气在后效期对它的作用，产生制止炮身后坐的冲量，以减小后坐能量。发射时，装在炮闩内的击针撞击炮弹底火，点燃发射药。发射药燃烧产生大量的燃气，压强一般为 $(3\sim4)\times 10^5$ kPa，推动弹丸以极大的加速度沿炮膛向前运动。弹丸离开炮口瞬间获得最大速度，并沿着给定弹道飞向目标。燃气推动弹丸向前运动的同时使炮身后坐。

(2) 炮架部分

火炮炮架是支撑炮身，赋予火炮不同使用状态的各种机构的总称，通过反后坐装置与炮身连接在一起。炮架由反后坐装置、摇架、上架、方向机、高低机、平衡机、瞄准装置、下架、大架和运动体等组成。

反后坐装置是将炮身与炮架构成弹性连接的装置，包括驻退机和复进机。驻退机用来消耗炮身后坐能量，使炮身后坐至一定距离而停止。复进机在炮身后坐时储存能量，后坐终止时使炮身重新回到发射前的位置。由于反后坐装置的缓冲作用，炮身传到炮架上的力仅为燃气作用于炮身轴向力（炮膛合力）的 $1/5\sim 1/30$ 。

摇架是炮身后坐复进的导轨，也是起落部分（包括炮身、反后坐装置和摇架）的主体。摇架以其耳轴装在上架上，借高低机作垂直转动；上架支撑着摇架，通过垂直轴与下架本体相连，是火炮回转部分在水平面内转动的中心；下架是全炮的基座，大架为开脚式，射击时与车轮一起构成全炮对于地面的支撑点，行军时两条大架并拢，作为机动车牵引火炮时的连杆；防盾是保护炮手和火炮免遭弹片伤害的板状构件。

在水平面上赋予炮身轴线方位角的机构叫方向机，在垂直平面上赋予炮身轴线俯仰角的机构称为高低机。高低机和方向机用于驱动炮身在高低和方向上转动，根据瞄准装置上所装定的射击诸元使炮身瞄向目标。高低机装在摇架和上架之间，方向机装在上架和下架之间。平衡机用于平衡起落部分在摇架耳轴前后的质量，使火炮作高低瞄准时轻便、平稳。

瞄准装置由瞄准具和瞄准镜组成，用来装定火炮射击诸元，供火炮实施瞄准。牵引式火炮的下架、大架和运动体，射击时支撑火炮，行军时作为炮车。

2.5 引 信

引信起源于中国古代火药在军事上的应用。关于引信的起源地与起源时间，国际上有不同的见解。以国内外文献为依据，指出引信的起源在中国，其雏形为类似爆竹的火药捻子。



引信以这种形态在中国的出现不迟于公元 12 世纪。既然中国是引信的诞生地,“引信”这一名词当然不会是外来语。明代成书的《火龙经》称火药捻子为“信”;《武备志》详细记载有“信”的具体制造方法;明末宋应星所著《天工开物》则将“信”与“引信”通用。《中国军事百科全书》中的“引信”词条,将引信的雏形定为“火球”外层的薄壳状缓燃药,这种雏形要比火药捻子早出现大约一个世纪。

从最原始的火药捻子经历过 8 个多世纪的发展,特别是在 20 世纪中,引信的功能得到很大的扩展。现代引信的主要功能是:

- ① 起爆控制——在相对目标最有利位置或时机引爆或引燃战斗部装药;
- ② 安全控制——保证勤务处理与发射时引信的安全;
- ③ 命中点控制——修正无控弹药的飞行弹道或水下弹道,提高对目标的命中概率和毁伤概率;
- ④ 发动机点火控制——控制带有两级发动机导弹的第二级发动机的点火,或控制火箭上浮水雷发动机的点火。

引信的上述四个功能,第一个功能为的是“消灭敌人”;第二个功能为的是“保存自己”,这正是战争对抗克敌制胜所遵循的最基本的法则,是任何一种现代引信所必备的功能,后两个功能在某些类型弹药的引信中才有。

因此,可以认为“引信是利用目标信息和环境信息,在预定条件下引爆或引燃弹药战斗部装药的控制装置或系统”。

从引信的上述定义,可以看出现代引信的三大特征:引信纯粹用于军事目的;引信是一个信息与控制系统;引信要在预定条件下实现其功能,这些预定条件的本质就是“最优”。

考察引信装备及引信技术的发展,需要在三个层面上进行。第一个层面是战争对抗克敌制胜的需求;第二个层面是武器系统综合作战效能提高的需求;第三个层面是相关技术发展所提供的技术可能性和所产生的技术推动力。第一个和第二个层面主要体现军事需求的牵引,它们对引信装备发展所产生的影响主要表现在引信功能的不断完善与扩展;第三个层面主要体现技术发展的推动,它对引信装备发展所产生的影响主要表现在引信性能的不断提高。这些是引信装备与引信技术发展的一般规律,是发展的大脉络,也是武器装备的其他子系统及相关技术发展的一般规律。当然也会有不同于上述一般规律的个别特例,由于它们不具有一般性,这里不作讨论。

2.5.1 引信的分类

引信有各种分类方法。它可以按作用方式来分,如触发引信、非触发引信等;按作用原理来分,如机械引信、电引信等;按配用弹种来分,如炮弹引信、航弹引信等;按弹药用途来分,如穿甲弹引信、破甲弹引信等;按装配部位来分,如弹头引信、弹底引信等;还可按

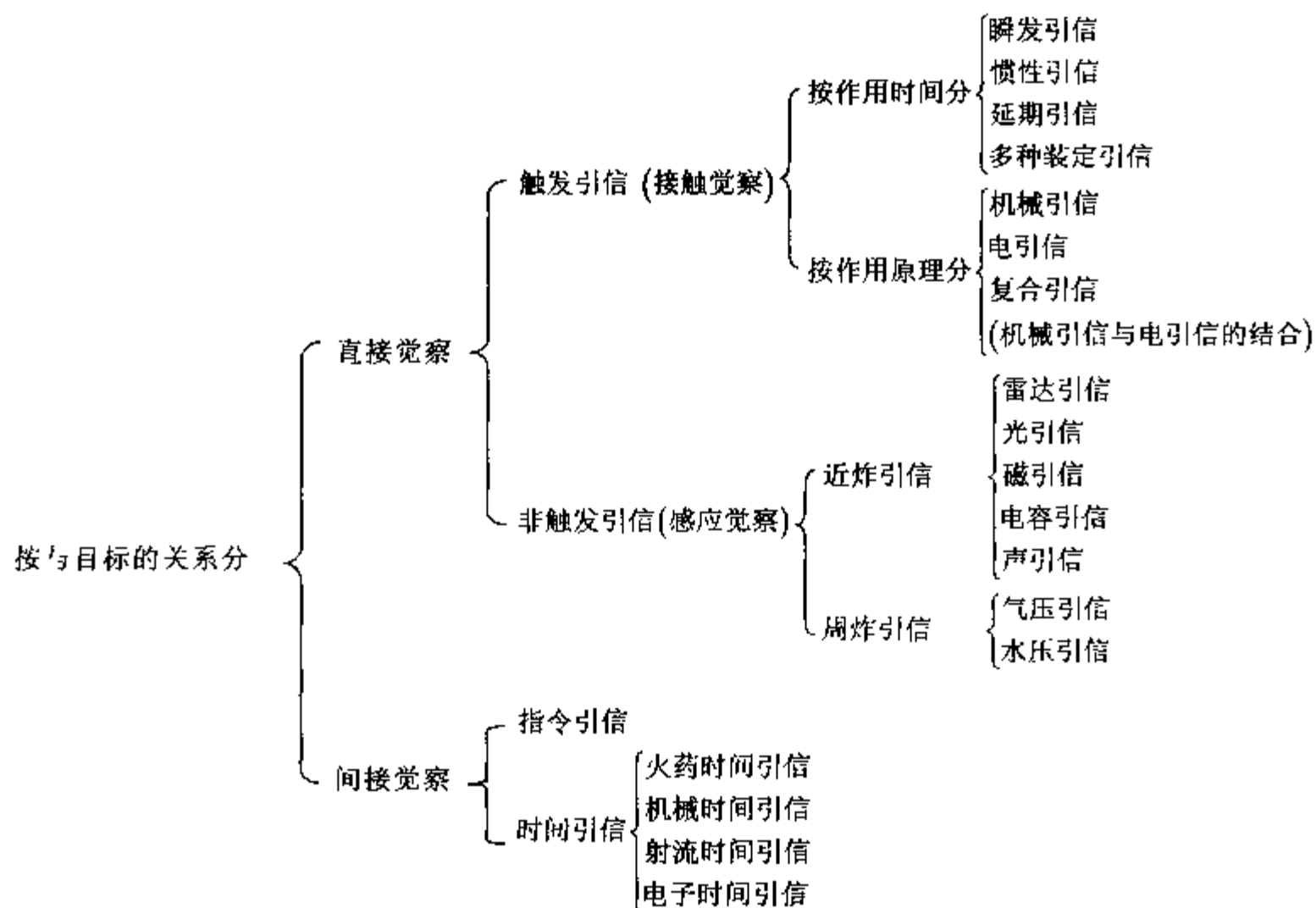


配用弹丸的口径、引信的输出特性等方面来分等等。

1. 按与目标的关系分类

引信对目标的觉察分直接觉察和间接觉察，直接觉察又分接触觉察与感应觉察。表 2-18 给出了常用的引信分类表。目前周炸引信用得极少，非触发引信几乎都是近炸引信。

表 2-18 引信分类表



(1) 直接觉察类引信

在直接觉察类引信中，可以按作用方式来分，如触发引信、非触发引信等；触发引信按作用原理来分，如机械引信，电引信等；非触发引信可分为近炸引信和周炸引信。

瞬发触发引信，简称瞬发引信。直接感受目标反作用力而瞬时发火的触发引信。其发火机构位于弹头引信或弹头激发弹底起爆引信的前端，发火时间与具体结构有关。采用针刺雷管发火机构的发火时间一般在 $100\ \mu\text{s}$ 左右；采用针刺火帽发火机构的发火时间不超过 $1\ 000\ \mu\text{s}$ ；采用压电元件的压电发火机构的发火时间与发火电压建立时间及电雷管作用时间有关，约 $40\sim 100\ \mu\text{s}$ ；采用储能元件的电力发火机构的发火时间与闭合开关的时间及电雷管作用时间有关，约 $25\sim 50\ \mu\text{s}$ 。瞬发引信广泛配用于要求高瞬发度的战斗部，如破甲战斗部、杀伤战斗部和烟幕战斗部等。

惯性触发引信是指利用碰击目标时的前冲力发火的触发引信。通常由惯性发火机构、安



全系统和爆炸序列组成。惯性作用时间一般在 $1\sim 5\text{ ms}$ 之间。常配用于爆破弹、半穿甲弹、穿甲弹、碎甲弹、手榴弹和破甲弹或子母弹的子弹。

延期触发引信，简称延期引信。装有延期元件或延期装置，碰目标后能延迟一段时间起作用的触发引信。延期元件或延期装置可采用火药、化学或电子定时器。按延期方式可分为固定延期引信、可调延期引信和自调延期引信。固定延期引信只有一种延期时间；可调延期引信的延期时间可在某一范围内调整，发射前根据需要装定；自调延期引信的延期时间，随目标阻力的大小及阻力作用时间的长短而自动调整。按延期时间的长短又可分为短延期引信（延期时间一般为 $1\sim 5\text{ ms}$ ）和长延期引信（延期时间一般为 $10\sim 300\text{ ms}$ ）。有些触发引信的发火机构利用侵彻目标过程接近终结时前冲加速度的明显衰减而发火，虽然它的作用与时间并无直接关联，但习惯上仍称这种引信为自调延期引信。

多种装定引信，它兼有瞬发、惯性和延期三种或其中两种作用，这种引信需在射击装填前根据需要进行装定。

机械触发引信是指靠机械能解除保险和作用的触发引信。一般由机械式触发机构、机械式安全系统和爆炸序列等组成。当引信与目标碰撞后，引信的机械触发机构输出一个激发能量引爆第一级火工品从而引爆爆炸序列，继而使战斗部起爆。机械触发引信常用于各类炮弹、火箭弹、航空炸弹及导弹上。

机电触发引信是指具有机械和电子组合特征的触发引信。一般由触发机构、安全系统、能源装置和爆炸序列组成。当引信与目标碰撞后，引信的触发机构或能量转换元件（如压电晶体）输出一个激发能量引爆传爆序列、第一级火工品，从而引爆爆炸序列，继而使战斗部起爆。机电触发引信的电源可以采用物理电源、化学电源等，其发火机构可以是机械发火机构或电发火机构。主要应用于破甲战斗部、攻坚战斗部等。

复合引信是指具有一种以上探测原理（体制）的引信。本来包括多选择引信和多模引信，但现在一般特指这两种引信之外的几种探测原理（体制）复合而成的引信，例如红外/毫米波复合引信、激光/磁复合引信、声/磁复合引信、主动/被动毫米波复合引信等。复合引信的优点是探测识别目标能力和抗干扰能力更强，缺点是成本较高，目前多用于导弹和灵巧弹药。在弹药灵巧化的进程中，复合引信的应用面将会逐步扩大。

周炸引信，又称环境引信。感觉目标周围环境特征（不是目标自身特征）而作用的引信。有时被归并为近炸引信的一个特殊类别。由于目标区环境信息很难人为制造，因此周炸引信不易被干扰。典型的周炸引信是压力引信。气压定高引信可用于攻击地而大范围目标的核战斗部，水压定深引信用于攻击潜艇的深水炸弹。

近炸引信是指在靠近目标最有利的距离上控制弹药爆炸的引信。靠目标物理场的特性而感受目标的存在并探测相对目标的速度、距离和（或）方向，按规定的启动特性而作用。其特点在于采用带有感应式目标敏感装置的发火控制系统。近炸引信按其对目标的作用方式，可分为主动式引信、半主动式引信、被动引信和主动/被动复合引信。按其激励信号物理场



的不同,可分为无线电引信、光引信、静电引信、磁引信、电容感应引信、声引信等。对于地面有生力量,杀伤爆破战斗部配用近炸引信可得到远大于触发引信的杀伤效果;对于空中目标,各类杀伤战斗部配用近炸引信可以在战斗部未直接命中目标时仍能对目标造成毁伤,是对弹道散布的一个补偿。近炸引信还可实现定高起爆,以满足子母式战斗部等多种类型战斗部的高需求,还可与触发引信等复合。近炸引信的发展趋势是提高引信作用的可靠性、抗干扰性;提高对目标的探测、识别能力;提高炸点及战斗部起爆点精确控制和自适应控制能力,充分利用制导系统获得的弹目交会信息;提高引信与战斗部的配合效率。

雷达引信,又称无线电近炸引信,简称无线电引信,是指利用无线电波感觉目标的近炸引信。一般由无线电近感发火控制系统(含无线电探测器、信号处理器、执行装置)、安全系统、爆炸序列和电源等组成。有主动式、被动式和半主动式之分,以主动式为主。工作波长 $1\sim 10\text{ m}$ ($300\sim 30\text{ MHz}$)时称米波无线电引信;工作波长 $10\text{ mm}\sim 1\text{ m}$ ($30\text{ GHz}\sim 300\text{ MHz}$)时称微波引信;工作波长 $1\sim 10\text{ mm}$ ($300\sim 30\text{ GHz}$)时称毫米波引信。工作体制有多普勒式、调频式、脉冲式、比相式和编码式等。无线电近炸引信的应用始于第二次世界大战,是目前国内外应用最为广泛的一种近炸引信。弹目交会时,无线电探测装置接收到目标辐射或反射的无线电波,经变换将含有目标特征信息的信号输给信号处理器进行目标识别,在需要的弹目相对位置输出启动信号给执行装置,引爆爆炸序列,从而引爆弹丸或导弹战斗部。它不仅可探测到目标的存在,还可以获得引信和战斗部配合所需要的目标方位、距离或高度、速度等信息,故称为雷达引信。近年来,随着微电子技术的发展,无线电引信正朝新频段、集成化、多选择、自适应的方向发展,而提高抗干扰能力始终是其发展过程中要解决的关键问题。

光引信是指敏感目标光特性而作用的引信。按光源的位置可分为被动式、主动式和半主动式光引信。被动式光引信多为红外引信。按红外引信探测器的响应光谱分为近红外、中红外和长波红外引信,偶尔可见被动紫外引信。主动式和半主动式光引信多为激光引信。由于阳光背景的可见光谱成分很强,故可见光引信很少应用。与无线电引信相比,光引信具有方向性较好的探测场,对电磁干扰不敏感等优点,但易受恶劣气象条件的影响和诱饵弹的干扰。

磁引信是指装有磁传感器利用目标磁场特性而工作的近炸引信。导弹、鱼雷、水雷、地雷等使用磁引信打击舰船及坦克装甲车辆等含有铁磁材料的目标。磁引信分为3种类型:静磁引信,探测目标的静磁场强度,以信号幅度判别使引信起爆,检测目标附近空间两点间磁场强度差值的梯度引信也为静磁引信;磁感应引信,磁传感器与目标接近时,由于相对运动,目标磁场在磁传感器线圈中产生磁电效应,利用这种电磁感应原理使引信起爆;主动磁引信,一种是在鱼雷上使用的主动电磁引信,由辐射线圈向水中发射低频交变电磁场,利用舰船等铁磁目标具有非曲直反射相位 90° 的特性使引信工作,另一种是在磁传感器线圈处布设永磁体建立恒磁场,在与目标相对运动时,由于铁磁目标的出现,线圈将感到恒磁场的畸变和在铁磁目标上产生的涡流磁场而使引信起爆。



电容引信是指利用弹目接近过程中引信电极间电容的变化探测目标的一种近炸引信。其组成与无线电引信基本相同，差别仅在于其探测器是电容探测器。电容近炸引信分为鉴频式和直接耦合式两种类型。鉴频式探测器具有两个电极，在远离其他物体时，极间电容为 C_0 （是振荡回路的一部分），在与目标接近过程中，两电极与目标间形成的电容 C_1 、 C_2 不断加大，极间总电容 C 则不断加大。总电容为

$$C = C_0 + \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (2-18)$$

振荡器震荡频率为

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2-19)$$

式中， L ——回路电感。

振荡频率 f 随 C 加大而降低，可以通过鉴频器得到与电容增量相应的电压信号，此信号含有弹目距离信息。直接耦合式探测器具有三个电极，极间电容既是振荡回路的一部分，又是与检波器间的耦合电容。随弹目不断接近，振荡频率、振幅、耦合量都连续变化，得到的检波电压含有弹目距离信息。电容近炸引信的特点是：作用距离小（目前可达到 3 m），抗干扰能力强，具有抗隐身功能。可用于炸高要求小于 3 m 的各种战斗部，特别适合于破甲战斗部，通过电容近炸引信获得最佳炸高，使其最大限度地发挥破甲威力。

声引信是指用声呐原理工作的近炸引信。按频率可分为次声引信、声频引信（频率在 20~20 000 Hz）、超声引信。按工作方式可以分为被动声引信和主动声引信。声场较其他物理场在海水中传播衰减较小，鱼雷、水雷、深水炸弹等水中兵器较多使用声引信以打击舰船等水中目标；地雷用声引信可以攻击直升机、车辆等活动目标。利用目标声场特性工作的为被动声引信，被动声探测功耗小，隐蔽性强，能对目标定向。利用目标回声特性工作的为主动声引信，主动声探测容易实现对目标准确定位，而且在发射声波时加入编码等更多的信息量以便于对目标的判别。目前水雷声引信已能对舰船目标进行分类和对目标运动参数估值。

（2）间接觉察类引信

在间接觉察类引信中，可分为指令引信和时间引信两大类。

指令引信，又称遥控引信。受弹药以外的指令控制而作用的引信。指令可以来自操作人员，也可以来自发射平台的自动控制装置。起爆控制有外界干预是其与时间引信的共同点，两者的区别在于指令引信是实时控制，时间引信是事先设定。尽管指令传输媒介、传输距离、抗干扰能力等都在发展，但是随着引信探测、识别能力的提高，指令引信正逐步蜕化为多模引信的一种作用方式，主要用于地雷、水雷的指令激活、指令休眠、指令自毁以及导弹的指令自毁。

时间引信，又称定时引信。按使用前设定的时间而作用的引信。根据定时原理分为电子时间引信、机械时间引信（又称钟表引信）、火药时间引信（又称药盘引信）、化学定时引信



等, 主要由定时器、装定装置、安全系统、能源装置和爆炸序列组成。时间引信在引信发展史中占有重要地位, 最早出现的引信即时间引信, 至今仍与触发引信、近炸引信并列为引信的 3 个最主要类型。多数时间引信以发射(投放、布设)为计时起点, 但也有的以碰撞地面为计时起点, 例如某些定时炸弹引信。尽管可以通过设定时间取得引信在预定高度或目标附近作用的效果, 但是时间引信的起爆取决于外界干预, 与目标之间没有必然联系。时间引信的时间按一定步长基准连续地调整。为引信设定作用时间或作用方式称为“装定”。一般在即将使用前依据使用要求装定。定时炸弹引信的装定范围为几分钟至几天, 典型炮弹引信可在 $0.5 \sim 200 \text{ s}$ 之间装定, 装定步长 0.1 s 。定时精度由低到高依次是化学、火药、机械和电子。钟表引信误差约为装定时间的百分之几, 炮口感应装定电子时间引信误差在 1 ms 以下。时间引信可以用于子母弹、干扰弹、照明弹、宣传弹、发烟弹、箭霰弹等特种弹的开舱抛撒, 可以用于高炮弹丸对飞机实施拦截射击, 还可以用于定时炸弹对目标区实施封锁。电子时间引信的定时精度远高于其他类型, 并且有利于采用遥控装定、炮口装定等快速装定方法, 随着成本的下降和抗电磁脉冲能力的加强, 将会得到更加广泛的应用。

2. 按装配部位分类

按装配部位来分, 可分为弹头引信、弹身引信、底部引信和尾部引信 4 类。

弹头引信, 装在弹丸或火箭弹战斗部前端的引信。类似的装在航空炸弹或导弹前端的引信, 则称为头部引信。弹头引信可以有多种作用原理和作用方式, 如触发、近炸或时间。使用最为广泛的是直接感受目标的反作用力而瞬时作用或延期作用的弹头触发引信, 这种引信要同目标直接撞击, 必须有足够的强度才能保证正常作用。弹头引信的外形对全弹气动外形有直接影响, 因此必须与弹体外形匹配良好。

弹身引信, 又称中间引信。装在弹身或弹体中间部位的引信。一般是从侧面装入弹体, 多用于弹径较大的航空炸弹、水雷和导弹。为了保证起爆完全和作用可靠, 大型航空炸弹和导弹战斗部可同时配用几个或几种弹身引信。弹身引信多采用机械引信和电引信。

底部引信, 装在战斗部底部的引信。炮弹的底部引信又称弹底引信。穿甲爆破、穿甲纵火、碎甲等战斗部配用的都是底部引信。为使战斗部在侵彻目标之后爆炸, 底部引信通常带有延期装置。引信装在战斗部底部, 不直接与目标相碰, 可防止引信在战斗部侵彻目标介质时遭到破坏。

尾部引信, 又称弹尾引信。装在航空炸弹或导弹战斗部尾部的引信。穿甲爆破型的航空炸弹通常配用尾部引信。为了保证起爆完全性和提高战斗部作用可靠性, 重型航空炸弹通常同时装有头部引信和尾部引信。

3. 新型引信

灵巧引信通常是指控制硬目标侵彻弹药炸点的触发引信, 有时也指末端敏感弹药的近炸引信。对单层或多层连续介质硬目标, 配用触发延期引信, 利用侵彻炸点自适应起爆控制技术, 可在不同着速、不同着角、不同目标介质强度和目标厚度的情况下自适应控制炸点的位



置,使战斗部穿透防护工事等有限厚钢筋混凝土介质或穿透机场跑道混凝土层后爆炸,以获得对目标的最佳毁伤效果。对指挥控制中心、通信中心和舰船舱室等有间隔的多层硬目标,配用可编程触发引信,利用可编程起爆控制技术识别战斗部穿透目标的层数,并在穿透预先装定的层数后爆炸,以获得对多层目标特定部位的最佳毁伤效果。末端敏感弹药灵巧引信利用毫米波或厘米波无线电探测原理、红外探测原理或它们的复合,在目标上方对坦克、装甲车等地面点目标进行螺旋扫描式探测和实时识别,当判定为真实目标时,引信起爆爆炸成形弹丸战斗部的装药,形成初速约 $1\,400\sim 3\,000\text{ m/s}$ 的爆炸成形弹丸射向目标,自顶部毁伤目标。

弹道修正引信是指测量载体空间坐标或姿态,对其飞行弹道进行修正,同时具有传统引信功能的引信。由空间位置或姿态测量部件、中央处理单元、控制部件、执行部件,以及传统引信的目标探测部件、安全系统、爆炸序列及电源组成。它的外形符合引信结构要素标准。载体姿态的测量与弹道的修正主要利用微型惯性测量组合和捷联惯性导航原理;载体空间位置的测量与弹道的修正主要利用微型卫星信号接收机和卫星导航原理。分一维和二维弹道修正引信。一维弹道修正引信仅对射程误差进行修正。发射前将目标距离等信息装于引信中,并瞄向比目标更远的一个点。发射后由引信中的定位部件对弹丸初始段弹道进行测量并预报实际弹道,将预定弹道与实际弹道进行比较,得出射程修正量,通过控制阻尼机构的张开时刻或张开量度修正弹丸的飞行弹道,使落点尽量接近目标。二维弹道修正引信同时对射程误差和方向误差进行修正,常用捷联惯性导航原理测量弹丸飞行初始段的姿态,也可与卫星导航原理相结合,通过微型火药推冲器、鸭式舵等修正机构对弹道进行修正。弹道修正引信配用于榴弹炮(或加农炮、加榴炮)、迫击炮、火箭炮等地面火炮弹药,特别是增程弹药上,用以提高对远距离面目标射击的毁伤概率。

红外引信是指依据目标本身的红外辐射特性而工作的光近炸引信。红外引信通常特指被动红外引信,而不包括发射红外激光的激光引信。红外引信主要由光学接收组件(包括光学窗口、光学组镜、红外滤光片和探测器等)、电子组件(包括光电转换、放大、信号处理和执行等模块以及安全系统和电源组成)。近红外引信使用 PbS 探测器,引信工作波段在 $2.5\sim 3.0\text{ }\mu\text{m}$,为消除太阳光对引信的干扰,近红外引信必须采用双通道体制。中红外引信使用 InSb 探测器,引信工作波段在 $4.2\sim 5.5\text{ }\mu\text{m}$,而太阳光能量主要集中在 $4.2\text{ }\mu\text{m}$ 以下,故中红外引信可采用单通道体制。红外引信的优点是不易受外界电磁场和静电场的影响。方向性强,视场可以做得很宽。采用光谱、频率、极性和时序选择可以提高引信抗干扰能力。其缺点是易受恶劣气象条件的影响,对目标红外辐射的依赖性较大,例如防空导弹近红外引信只能在飞机目标后半球一定范围内探测发动机喷口的红外辐射,使用条件和应用范围受到限制。中红外引信能在后半球较大范围内探测发动机喷口的红外辐射以及高速飞行的飞机蒙皮气动加热产生的红外辐射。近年出现的红外成像引信的目标探测识别能力显著提高,发展前景很好。

激光引信是指利用激光束探测目标的光引信。按作用方式分为主动式和半主动式两类。



主动式激光引信由激光发射机、接收机、信号处理电路、安全系统和电源等组成。激光引信发射机的辐射源通常采用半导体砷化镓激光器。激光引信的工作体制由注入激光器的泵浦电源的波形信号决定。当目标位于激光引信接收机的探测视场内,并被发射机通过光学系统发出的激光束照射时,接收机探测来自目标的部分漫反射光,经光电转换、信号放大和处理,输入到执行级,适时起爆战斗部。激光引信具有全向探测目标的能力,良好的距离截止特性。对于周视探测的激光引信(主要配用于空对空导弹和地对空导弹)和前视探测的激光引信(主要配用于反坦克导弹)都可采用光学交叉的原理实现距离截止。配用于空对空导弹、地对空导弹的多象限激光引信,与定向战斗部相匹配,对提高导弹对目标的毁伤效能具有重要作用。激光引信配用于反坦克导弹,可进一步提高定距精度,并避免与目标碰撞引起弹体变形。激光引信对电磁干扰不敏感,因此也广泛配用于反辐射导弹。激光引信的进一步发展是提高抗干扰能力,主要是指在中、高空受阳光背景干扰,在低空受云、雾、烟、尘等大气悬浮微粒的影响以及地、海杂波干扰和人工遮蔽式干扰。

2.5.2 引信的组成和作用

1. 引信的组成

引信主要由发火控制系统、安全系统、能源装置、爆炸序列等组成。

(1) 引信发火控制系统

引信发火控制系统,其作用是感觉目标信息与目标区环境信息,经鉴别处理后,使爆炸序列第一级元件起爆,包括目标敏感装置、信号处理装置和执行装置(发火装置)3个基本部分。

目标敏感装置是能觉察、接受目标或目标周围环境的信息,并将信息以力或电的信号予以输出的装置,根据引信对目标的觉察方式的不同可分为直接觉察和间接觉察。直接觉察又分接触觉察与感应觉察。接触觉察是靠引信(或战斗部)与目标直接接触来觉察目标的存在,有的还能分辨目标的真伪。感应觉察是利用力、电、磁、光、声、热等觉察目标自身辐射或反射的物理场特性或目标存在区的物理场特性。对目标的直接觉察是由发火控制系统中的信息感受装置和信息处理装置完成的。间接觉察有预先装定与指令控制。预先装定在发射前进行,以选择引信的不同作用方式或不同的作用时间。例如时间引信多数是预先装定的。指令控制由发射基地(可能在地面上,也可能在军舰或飞机上)向引信发出指令进行遥控装定、遥控起爆或遥控闭锁(就是使引信瞎火)。

信号处理装置是接收和处理来自目标敏感装置的信号,分辨和识别信号的真伪与实现最佳炸点控制的装置。

执行装置是使引信的爆炸序列第一级起爆元件发火的装置,也称发火装置,是各种形式的发火启动装置。常用的执行装置有击发机构、点火电路、电开关等。



(2) 引信安全系统

引信安全系统,是防止引信在勤务处理、发射(或投掷、布设)以及在达到延期解除保险时间之前的各种环境条件下,解除保险或爆炸的各种装置的组合,其作用是保证引信进入目标区以前的安全。引信安全系统包括环境敏感装置(主要是发射和飞行弹道敏感装置)或指令接受装置、保险与解除保险的状态控制装置、爆炸序列的隔爆件或能量隔断件等。现代引信安全系统应是冗余保险,也就是要有两个以上的独立保险装置,要在不同的环境信息作用下,按规定的时间和程序解除保险。

(3) 引信能源装置

引信能源装置,是引信正常工作提供所需的环境能量转换或储能、换能装置。引信的环境能源是在弹药发射和飞行中所受的后坐力、离心力、切线力、空气阻力、水的压力、高速飞行产生的热量等可以转变为电能或机械能。引信的内储能源有加载的弹簧、充电的电容器、电池、火药驱动器和压缩的气体等。内储能源是在外部启动的条件下才能输出,其能量形式有机械能、电能、化学能、热能等。换能装置是在弹药发射时或碰击目标时能将接收的后坐力或碰击力转换为电能提供给引信的器件,如压电晶体、磁发电机等。有的引信还可以从弹药的控制系統或制导系统取得所需要的能源。

(4) 引信爆炸序列

引信爆炸序列,是爆炸元件按感度由高到低排列而成的序列。其作用是将较小的激发冲量,有控制地放大到能使装药完全爆炸或燃烧,分为传爆序列和传火序列。最后一个爆炸元件输出爆轰冲量的称为传爆序列,相应的引信称为起爆引信;输出火焰冲量的称为传火序列,相应的引信称点火引信。

2. 引信的作用过程

引信的作用过程为引信从弹药发射(或投掷、布设)开始到引爆或引燃战斗部装药的过程,它包括解除保险过程、目标信息作用过程和引爆(引燃)过程。

解除保险过程:引信平时处于保险状态,发射时,引信的安全系统根据预定出现的环境信息,分别使发火控制系统和爆炸序列从安全状态转换成待发状态。

信息作用过程:分为信息获取、信号处理和发火输出3个步骤。信息获取包括感觉目标信息、信息转换和传输。引信感觉到目标信息后,转换为适于引信内部的力信号或电信号,输送到信号处理装置,进行识别和处理,当信号表明弹药相对于目标已处于预定的最佳起爆位置时,信号处理装置即发出发火控制信号,再传递到执行装置,产生发火输出。

引信作用可靠性主要取决于解除保险过程与信息作用过程中各个程序是否完全正常。

引爆(引燃)过程:指执行装置接收到发火信号的能量使爆炸序列第一级起爆元件发火,通过爆炸序列起爆或引燃战斗部装药的过程。



2.5.3 引信的传爆序列

所有的引信都有传爆序列。传爆序列是指各种传爆元件按它们的敏感程度逐渐降低而输出能量逐渐增大的顺序排列而成的组合。它的作用是把由信息感受装置或起爆指令接收装置输出的信息变为火工元件的发火，并把发火能量逐级放大，让最后一级火工元件输出的能量足以使战斗部可靠而完全地作用。对于带有爆炸装药的战斗部，引信输出的是爆轰能量。对于不带爆炸装药的战斗部，例如宣传、燃烧、照明等特种弹，引信输出的是点火能量，这种引信又称点火引信。点火引信的传爆序列一般称为传火序列。引信传爆序列随战斗部的类型、作用方式和装药量的不同而不同。要注意引信中用做保险的火工元件不属于传爆序列。图 2.28 所示的是榴弹触发引信常用的三种传爆序列。图 2.28 (a) 用于中、大口径榴弹引信中，图 2.28 (b)，图 2.28 (c) 多用于小口径榴弹引信中。

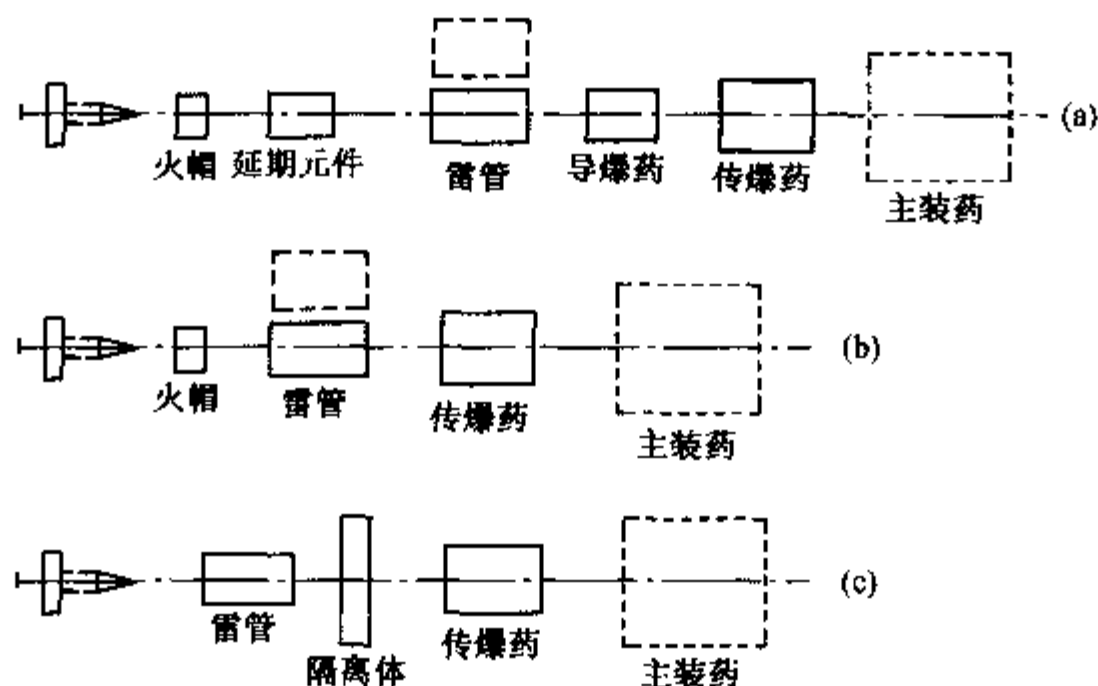


图 2.28 榴弹触发引信的传爆序列

(a) 带延期的隔离火帽型引信；(b) 隔离火帽型引信；(c) 隔离雷管型引信

从引信碰击目标到传爆序列最后一级火工完全作用所经历的时间，称为触发引信的瞬发度或称引信的作用迅速性。这一时间越短，引信的瞬发度越高，瞬发度是衡量触发引信作用适时性的重要指标，直接影响战斗部对目标的作用效果。

传爆序列中比较敏感的火工元件是火帽和雷管。为了保证引信勤务处理和发射时的安全，在战斗部飞离发射器或炮口规定的距离之内，这些较敏感的火工元件应与传爆序列中下一级传爆元件相隔离。隔离的方法是堵塞传火通道（对火帽而言），或者用隔板衰减雷管爆炸产生的冲击波，同时也堵塞伴随雷管爆炸产生的气体（对雷管而言）。可以把雷管平时与下一级传爆元件错开（如图 2.28 (a)，图 2.28 (b)），或在雷管下面设置可移动的隔离体



(如图 2.28 (c))。仅将火帽与下一级传爆元件隔离开的引信,称隔离火帽型引信,又称半保险型引信。将雷管与下一级传爆元件隔离开的引信,称隔离雷管型引信,又称全保险型引信。没有上述隔离措施的引信,习惯上称为非保险型引信。非保险型引信没有隔爆机构,但仍有保险机构。实践证明,由于引信的原因引起弹药膛炸的,大多数出现在非保险型引信上。因此,研制新的引信时,一定要将引信设计成全保险型的。有些国家把这一点已定为必须遵循的一条设计准则。

传爆序列的起爆由位于发火装置中的第一个火工元件开始。第一个火工元件往往是传爆序列中对外界能量最敏感的元件。元件发火所需的能量由敏感装置直接供给,也可以经执行装置或时间控制、程序控制或指令接受装置的控制,而由引信内部或外部的能源装置供给。第一个火工元件的发火方式主要有三种:

1. 机械发火

用针刺、撞击、碰击等机械方法使火帽或雷管发火,称为机械发火。

(1) 针刺发火

用尖部锐利的击针戳入火帽或针刺雷管使其发火。发火所需的能量与火帽或雷管所装的起爆药(性质和密度)、加强帽(厚度)、击针尖形状(角度和尖锐程度)、击针的戳击速度等因素有关。

(2) 撞击发火

与针刺发火的主要不同在于击针不是尖头而是半球形的钝头,故又称撞针。火帽底部有击砧,撞针不刺入火帽,而是使帽壳变形,帽壳与击砧间的起爆药因受冲击挤压而发火。撞击发火可不破坏火帽的帽壳。

(3) 碰击发火

碰击发火不需要击针,靠目标与碰炸火帽或碰炸雷管的直接碰击或通过传力元件传递碰击使火帽或雷管受冲击挤压而发火。这种发火方式常在小口径高射炮和航空机关炮榴弹引信中采用。

(4) 绝热压缩发火

绝热压缩发火也不需要击针。在火帽的上部有一个密闭的空气室,引信碰目标时,空气室的容积迅速变小,其内的空气被迅速压缩而发热,由于压缩时间极短,热量来不及散逸,接近绝热压缩状态,火帽接受此热量而发火。在前苏联过去的迫击炮弹引信以及第二次世界大战日本、美国、英国的 20 mm 航空机关炮榴弹引信中,都曾采用过这种发火方式。

2. 电发火

利用电能使电点火头或电雷管发火,称电发火。电发火用于各种电触发引信、压电引信、电容器时间引信、电子时间引信和全部的近炸引信。所需的电能可由引信自带电源和换能器供给。对于导弹引信,也可利用弹上电源。引信自带电源有蓄电池,原电池,机电换能器(压电陶瓷、冲击发电机、气动发电机等)或热电换能器(热电池)等等。



3. 化学发火

利用两种或两种以上的化学物质接触时发生的强烈氧化还原反应所产生的热量使火工元件发火，称化学发火。例如，浓硫酸与氯酸钾和硫氰酸制成的酸点火药接触就会发生这种反应。化学发火多用于航空炸弹引信和地雷引信中，也可利用浓硫酸的流动性制成特殊的化学发火机构，用于引信中的反排除机构、反滚动机构（这两种机构常用于定时炸弹引信中）及地雷、水雷等静止弹药的诡计装置中。

2.5.4 引信的安全控制

引信安全控制的设计保证已在有关安全性设计准则中作了系统而具体的规定。在关键技术实现上，依引信所采用的爆炸序列的类型而异。对于错位式爆炸序列，必须要有隔爆件，引信安全系统的设计主要是对隔爆件安全状态的控制及其由安全状态向待发状态的转换控制，其本质是运动控制。实现这些控制的技术形态有机械式和机电式安全系统。对于直列式爆炸序列，由于采用高能起爆电雷管，如冲击片雷管，引信安全系统不需要隔爆件，从原理上讲不存在运动控制。它的“安全”和“待发”状态，就是高压起爆电路发火电容的非充电和充电状态，安全控制的本质是对充电电路的“隔断”控制。实现它的技术形态是电子式安全系统，这种系统既可以是全电子式，也可以带有机械式开关。当引信采用电子式安全系统时，引信中在肉眼分辨率下看不到任何活动零件，这就有可能将整个引信（不论是近炸引信、时间引信或触发引信）用微电子和微机电技术制造，构成“固态引信”。

引信安全系统设计的一个重点是将预定发射周期内所规定的环境激励与非环境激励或非正常发射环境激励正确地区分开，即“环境激励识别”。

对于环境激励的识别，特别是对加速度、角加速度及其效应的识别，可以直接检测环境加速度或角加速度激励，也可以检测其一次积分效应（速度，角速度）或二次积分效应（位移、角位移）。通常情况下对于二次积分效应的误识别率要比一次积分效应的误识别率要大。

另外，对于任何一种效应的单参数（如阈值）识别比双参数（如阈值与时间）或多参数（如阈值、峰值及时间）识别的误识别率要大。安全系统对环境激励的识别率对保证武器系统安全和对目标可靠作用均有重大的影响。

在环境激励识别基础上，还有一个“解除保险决策”问题，它是引信安全系统研究的另一个重点。解除保险决策又有“启动解除保险程序决策”和“完成解除保险程序决策”。

通常情况下，引信解除保险程序的启动与弹药进入预定发射周期是不同步的，前者要滞后于后者。对于“启动解除保险程序决策”，有基于单一环境激励识别的启动决策和基于多个环境激励识别的启动决策，前者较为简单，后者较为复杂。例如由后坐保险和离心保险构成的安全系统，发射对后坐销运动到位，解除对隔爆件的第一道保险，解除保险程序即启动，这属于简单启动决策。如果采用电子式安全系统，分别用两个传感器检测轴向



加速度和横向加速度，在确认两个加速度均满足识别准则后才启动解除保险程序，这属于复杂启动决策。

启动解除保险程序并不必然要完成解除保险程序。因此，又有“完成解除保险程序决策”的问题。

解除保险决策也是引信安全系统研究的一个重点。安全系统解除保险决策可以分为三个技术层次，如图 2.29 所示。即“非发射环境启动，但不完成解除保险程序”、“非发射环境不启动解除保险程序，非正常发射环境启动，但不完成解除保险程序”，以及“非发射环境和非正常发射环境均不启动解除保险程序”。显然后一个技术层次的固有安全性要比前一个层次高。

需要指出的是，按照图 2.29 第二、第三技术层次的原理设计引信安全系统，并不总是会对引信正常作用可靠性带来负面影响。第三技术层次通过电子安全系统最容易实现，这也是国外在常规兵器引信中大力开展电子式安全系统技术研究，并努力使其产品化的一个重要原因。

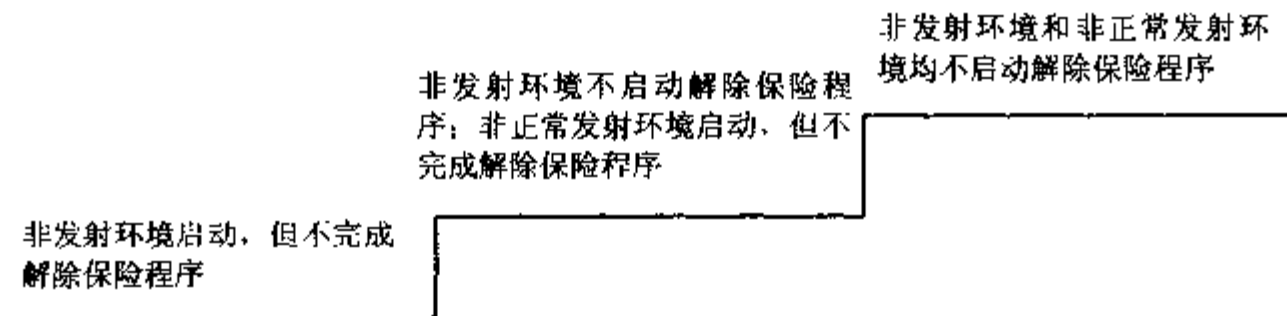


图 2.29 引信安全系统解除保险决策的技术层次

2.5.5 引信的起爆控制

引信的起爆控制内容十分丰富，其技术层次概括起来可用图 2.30 表示。

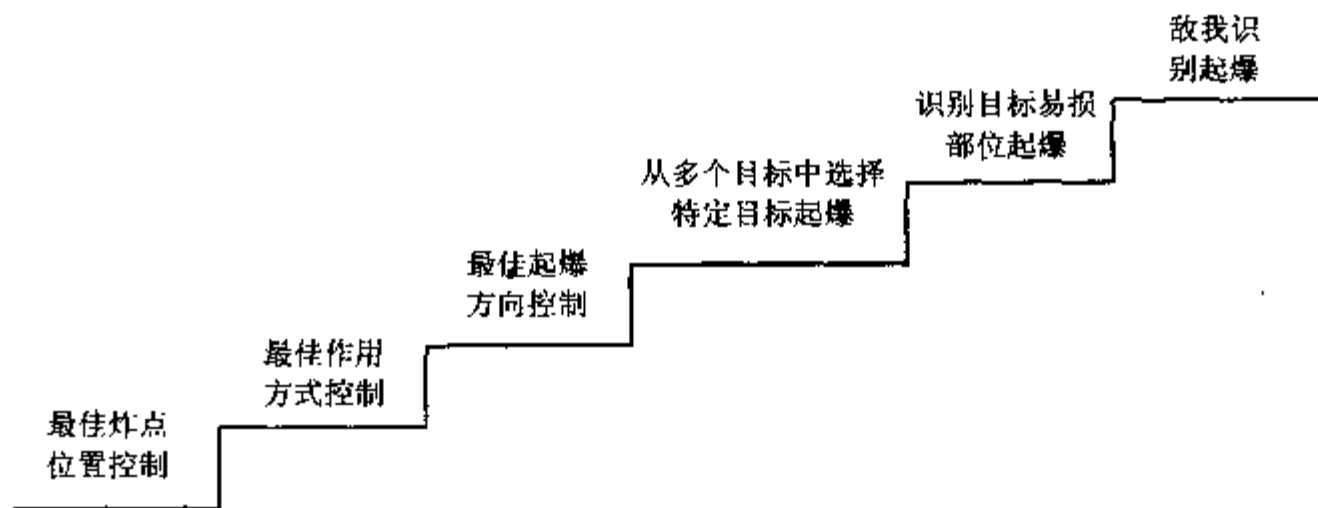


图 2.30 引信起爆控制的技术层次



最佳炸点位置控制一直是 20 世纪近代引信起爆控制技术一个研究热点。引信引爆战斗部瞬间, 战斗部爆炸中心相对于目标特定点(例如飞机等目标的几何中心或驾驶舱的几何中心, 大型指挥通信枢纽建筑的特定层数或舰船目标特定舱段等)的位置称为炸点。在某一弹目交会条件下, 能获得战斗部对目标最大毁伤概率的炸点称为最佳炸点。最佳炸点位置控制也即引信炸点控制, 是利用一切可行的技术手段尽可能在最佳炸点引爆战斗部。按目标、战斗部和引信的不同, 炸点控制的方法和原理分为:

① 能量控制型 如机械触发引信通过弹簧、击针等部件感受环境力, 利用力学、机械原理控制炸点; 多普勒无线电引信利用多普勒信号达到一定幅度控制炸点; 光引信、电容近炸引信、静电引信等利用目标信号达到一定幅值来控制炸点。

② 频率控制型 如调频测距引信利用差频达到预定值控制炸点。

③ 时间控制型 如时间引信, 只要飞行时间达到装定的时间值就给出启动信号; 脉冲测距引信依据发射信号与接收到回波信号的时间差控制炸点。

引信炸点控制是实现引信最终目的的关键技术之一, 不论是理论研究, 还是技术实现都有广阔的发展空间。为了提高引信与战斗部配合效率, 引信的炸点控制正在向自适应与智能化方向发展, 即向自适应炸点控制和可编程炸点控制方向发展。

引信自适应炸点控制指的是利用引信探测或借用导引头探测的目标及环境信息, 适时调整炸点位置, 以实现最佳引信与战斗部配合效率的技术。可用于近炸引信、时间引信和触发引信。对于近炸引信, 主要用于各种防空弹药的无线电和光引信。炸点自适应控制可通过延迟时间、天线方向图的自动调节等进行。目标、背景、环境等信息的充分利用是实现自适应炸点控制的基础。在弹目交会过程中, 这些信息大多含有随机特性, 可利用随机自适应系统的相关理论构造引信自适应炸点控制的模式。为满足弹目高速交会条件下加速自适应求解过程的要求, 采用模糊查询是一条有效的技术途径。

引信可编程炸点控制指的是通过电子编程对战斗部爆炸瞬间的弹目相对位置进行控制, 以造成对预定目标最大毁伤的技术。可编程炸点控制通常应用于硬目标侵彻引信, 可使战斗部进入均质或非均质叠层硬目标一定深度后爆炸, 也可使战斗部穿越建筑物或舰船多层楼(舱)板后在某一层中爆炸。其基本原理为存储在引信固件中的控制程序, 根据传感器测得的战斗部碰目标时初始条件及侵入目标后加速度历程, 进行相应计算并实时查询射前装定的炸点控制要求, 一旦侵彻深度或贯穿层数满足预定要求, 即给出起爆信息。炸点控制程序一经固化, 不能也不允许改写, 所谓可编程是指射前根据攻击任务装定所需的侵彻深度或贯穿层数, 或当采用无线遥控装定方式时, 当弹药飞离发射平台后, 根据射击任务的变化重新进行装定。在无线电引信中, 可通过编程方法改变天线方向图、高频灵敏度或低频响应特性等, 以使同一种引信满足不同引战配合的要求。

引信作用方式的复合, 导致引信最佳作用方式控制问题的出现, 如对空和反舰导弹触发/近炸复合引信, 其最佳作用方式控制应是, 当导弹能够直接命中目标时优先选择触发作



用：当导弹未能直接命中目标时应选择近炸作用，当导弹完全脱靶时，引信应定时作用自毁。

引信最佳作用方式控制还包括区域封锁弹药的多模引信，它可以有即时起爆、随机延时起爆、不可近起爆、不可动起爆、不可拆起爆，不可运起爆甚至包括“不起爆”等多种作用方式，为的是在封锁与反封锁的对抗条件下获得尽量长的封锁时间。

现代战争遇到多目标拦截问题，这时要求引信具有从多个目标中识别特定目标的功能，以保证导弹掠过非指定攻击目标时引信不提前作用，它也包括区域封锁弹药（地雷、水雷）引信对特定目标起爆的功能。采用识别目标易损部位在对空导弹引信中最有应用前景。

近年来，随着弹药技术的发展，又出现了由引信担负敌我识别的功能。在激烈的战争对抗中。敌我识别问题愈来愈受到重视，作为一个武器系统，首先应做到“非敌方目标不发射”，其次要做到“非敌方目标不跟踪”，最后要做到“非敌方目标不起爆”。引信是整个武器系统敌我识别的最后一个步骤，为的是保证盟军及友军部队的安全。

2.5.6 引信的发展

引信技术的发展，主要解决引信本身的安全性和对目标作用的有效性。如对地、对空兵器弹药要求发展能适应不同目标、不同交会弹道的遥控装定多选择引信和自适应引信；反坦克导弹引信要求提高识别目标和精确定位的能力；地空导弹引信应提高超低空截止距离性能；空空导弹引信要满足全向攻击目标要求；锚雷或沉底水雷引信和深水炸弹引信要求发展根据目标位置控制水雷上浮方向及控制深水炸弹下沉方向的导向引信；为提高战略武器引信的抗干扰和抗攻击能力，发展精确惯性路程长度引信和当核弹头被攻击毁伤前能起爆的自救引信等。

为提高引信安全性、可靠性，发展工作环境传感器、程控技术、固态隔离模件、电子式安全系统和高能、低能直列爆炸序列。为提高战斗部的毁伤效率，发展引信的多点、多次、定向起爆控制技术。以微电子技术为基础，提高引信的目标探测识别性能、炸点精确控制性能，实现多功能与智能化是现代引信技术发展的重要课题。

第 3 章 榴 弹

3.1 概 述

榴弹是弹丸内装有猛炸药，主要利用爆炸时产生的破片和炸药爆炸的能量以形成杀伤和爆破作用的弹药的总称。“榴弹”只是一种传统的说法，过去常将杀伤弹、爆破弹和杀伤爆破弹统称为榴弹。

3.1.1 榴弹的发展史

榴弹，是弹药家族中普通平凡又神通广大的元老级成员，属于战术进攻型压制武器。发射后，弹上引信适时控制弹丸爆炸，用以压制、毁灭敌方的集群有生力量、坦克装甲车辆、炮兵阵地、机场设施、指挥通信系统、雷达阵地、地下防御工事、水面舰艇群等目标。通过对这些面积较大的目标实施中远程打击，使其永久或暂时丧失作战功能，达到消灭敌人或延缓敌方作战行动的目的。

榴弹的发展尤以杀伤爆破榴弹（简称杀爆弹）最为典型突出，下面以旋转飞行稳定杀爆弹为例，说明杀爆弹的发展演变过程。杀爆弹是弹药家族中最为活跃的弹种之一。自 19 世纪中叶发明线膛炮发射长圆柱形杀爆弹以来，为追求“远射程、高精度、大威力”的弹药三大发展目标，杀爆弹经历了以下几方面的演变：

1. 弹体外形的演变

弹体外形的演变以提高弹药射程为目标，其演变过程为从平底远程型弹形、底凹远程型弹形、枣核弹形、底排弹，最终发展到复合增程弹，经历了五个发展阶段。早期的杀爆弹受到弹丸设计理论和火炮发射技术的限制，设计成平底短粗形状。全弹的长度通常不超过 5 倍弹径，头弧部长度远小于圆柱部长度。短粗的弹形制约了射程的提高。

20 世纪初，杀爆弹的体形开始演变为平底远程型，全弹长度已超过 5 倍弹径，头弧部长度大于圆柱部长度，射程有了提高。这种弹形已成为中大口径杀爆弹的制式弹形。20 世纪 60 年代，杀爆弹出现了外形与平底远程型相似的底凹远程型弹形。由于弹底部存有圆柱形底凹，所以较好地匹配了弹丸的阻心与质心位置，全弹长度超过 5.5 倍弹径，射程有了进一步的提高。

20 世纪 70 年代，杀爆弹出现了俗称“枣核弹”的第二代底凹远程型弹形。除了保留底凹机构外，其外形也有几处较大的变化：头弧部长度接近 5 倍弹径；圆弧母线半径大于 30



倍弹径；圆柱部长度不足1倍弹径；全弹长度已超过6倍弹径。在尖锐的头弧部上通常安装4片定心块来解决“枣核”弹形的膛内定心问题。该弹形通常与底部排气（简称底排）减阻增程技术或底排—火箭复合增程技术配合使用，可获得极佳的增程效果。

2. 增程方式的演变

增程方式的演变以扩大增程效果为目标。仅通过弹形的改变提高杀爆弹的射程，增程效果是有限的。实际上弹形的演变是与相应的增程技术同步发展并成熟起来的。

20世纪70年代，底排减阻增程技术在杀爆弹的平底远程型弹形上获得成功应用，增程效果达到30%以上。20世纪80年代，底排减阻增程技术在杀爆弹的“枣核”弹形上也获得成功应用，使杀爆弹跻身于现代远程压制主用弹药之列。

20世纪90年代以来，底排减阻增程技术和火箭助推增程技术集中应用在155 mm、130 mm口径杀爆弹的平底远程型弹形或“枣核”形上。由于充分发挥了底排增程和火箭增程的潜能，155 mm底排—火箭复合增弹的最大射程突破了50 km，130 mm底排—火箭复合增程弹最大射程已突破45 km，大幅度拓展了炮兵作战的纵深，成为新型远程弹中的宠儿。

3. 破片形式的演变

破片形式的演变以提高杀伤威力为目标。杀爆弹弹体爆炸后自然形成大量破片，其飞散速度可达900~1200 m/s。早期的杀爆弹主要是利用破片动能实现侵彻性杀伤。由于自然破片形状与质量的无规律性，破片速度衰减得相当快，限制了杀爆弹的有效杀伤范围。

随之而来的改进措施是，将预定形状与质量的钢珠、钢箭、钨球、钨柱等预制破片装入套体，安装在杀爆弹弹体的外（或内）表面。杀爆弹爆炸后，预制破片与自然破片共同构成破片杀伤场。由于预制破片飞行阻力的一致性，带预制破片的杀爆弹将在设定的范围内有较密集的杀伤效果，全弹的杀伤威力有较大程度的提高。

进一步的改进措施是，根据爆炸应力波的传播规律，在弹体外（或内）表面上按照预先设计刻出槽沟，从而在杀爆弹弹体爆炸后产生形状与质量可控的破片；也可以采用激光束或等离子束等区域脆化法，在弹体的适当部位形成区域脆化网纹，从而确保弹体在爆炸后按照预定的规律破碎，产生可控破片。

4. 炸药装药的演变

炸药装药的演变以提高杀伤、爆破威力为目标。炸药类型和爆轰能、弹丸炸药装填系数和装药工艺等，直接影响着杀爆弹的威力和对目标的毁伤效果。对于同样的弹体，将TNT炸药改为A-IX-2炸药后，对目标的毁伤效能会有显著的提高。同样，B炸药和改B炸药应用到杀爆弹中，杀爆弹的杀伤威力和爆破威力均会有很大程度的提高。

5. 弹体材料的演变

弹体材料的演变以提高杀伤、爆破威力为目标。杀爆弹早期使用D50或D60弹钢材料，目前基本上由58SiMn、50SiMnVB等高强度、高破片率钢材所取代。这些新型炮弹钢与高



能炸药的匹配使用,使杀爆弹的综合威力得到显著提高。

3.1.2 榴弹的种类

1. 按作用原理分

- ① 杀伤榴弹:侧重杀伤效能的榴弹;
- ② 爆破榴弹:侧重爆破效能的榴弹;
- ③ 杀伤爆破榴弹:兼顾杀伤、爆破两种效能的榴弹。

2. 按对付的目标分

- ① 地炮榴弹:用以对付地面目标的榴弹;
- ② 高炮榴弹:用以对付空中目标的榴弹。

3. 按发射平台分

- ① 一般火炮榴弹;
- ② 迫击炮榴弹;
- ③ 无后坐力炮榴弹;
- ④ 枪榴弹;
- ⑤ 小口径发射器榴弹;
- ⑥ 火箭炮榴弹;
- ⑦ 手榴弹。

4. 按弹丸稳定方式分

- ① 旋转稳定榴弹;
- ② 尾翼稳定榴弹。

3.1.3 榴弹的基本结构

1. 榴弹基本结构

榴弹弹丸由引信、弹体、弹带、炸药装药和稳定装置等组成。如图 3.1 所示。图中 L 为弹丸长度, L_n 为弹头部长度, L_h 为弹壳头部长, L_y 为圆柱部长度, L_w 为弹尾部长。

(1) 引信

榴弹主要配用触发引信,具有瞬发、惯性和延期三种装定,在需要时也配用时间引信和近炸引信。

(2) 弹体

弹体的结构可分为两类:整体式和非整体式。非整体式弹体由弹体和口螺、底螺组成。为确保弹体具有足够的强度,通常要求弹体采用强度较高的优质炮弹钢材,最常用的是 D60

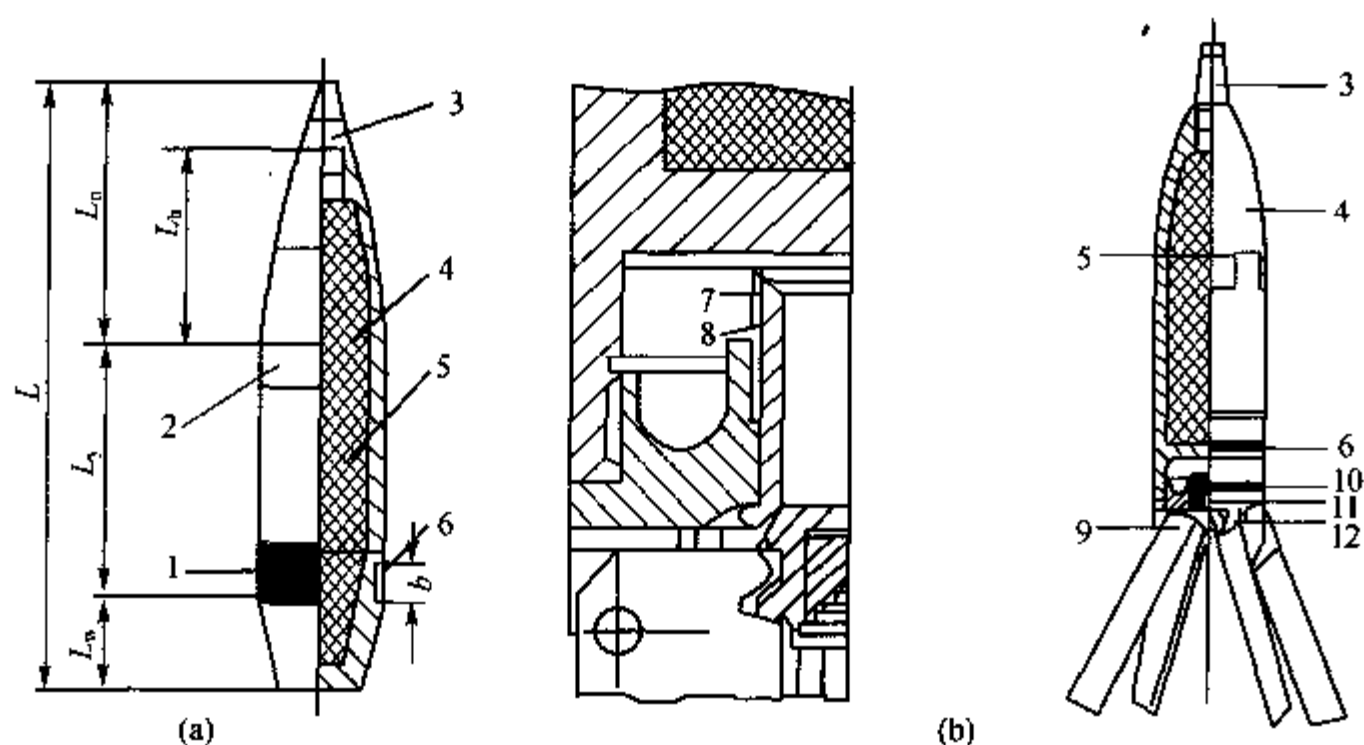


图 3.1 榴弹弹丸的基本结构

(a) 54 式 122 mm 榴弹; (b) 73 式 100 mm 滑膛炮榴弹

1—下定心部; 2—上定心部; 3—引信; 4—弹体; 5—炸药; 6—弹带;

7—轱花; 8—剪切环; 9—曳光环; 10—活塞; 11—尾翼座; 12—销轴

或 D55 炮弹钢 (高碳结构钢)。其加工方法, 对大、中口径弹体是由热冲压、热收口毛坯车制成形, 而小口径弹体一般由棒料直接车制而成。也有部分弹体如 37 mm 和 57 mm 高射炮榴弹则采用冷挤压毛坯精车成形的办法, 其材料为 S15A 或 S20A 冷挤压钢。只有极少数弹体使用高强度铸铁制造。

(3) 弹带

采用嵌压或焊接等方式固定在弹体上。为了嵌压弹带, 在弹体上车出环形弹带槽, 槽底轱花或在环形凸起上铲花, 以增加弹带与弹体之间的摩擦, 避免相对滑动。弹带的材料应选用韧性好、易于挤入膛线、有足够强度、对膛壁磨损小的材料, 过去多采用紫铜, 也有用镍铜、黄铜或软钢的。近年来, 已有许多弹丸用塑料做弹带。现在出现的新型塑料, 不仅能保证弹带所需的强度, 而且摩擦系数较小, 可减小对膛线的磨损。据报导, 其他条件不变, 改用塑料弹带, 可提高身管寿命 3~4 倍。如美 GAU8/A 30 mm 航空炮榴弹即采用尼龙弹带。

弹带的外径应大于火炮身管的口径 (阳线间的直径), 至少应等于阴线间直径, 一般均稍大于阴线间直径, 此稍大的部分称为强制量。因此弹带外径 D 等于口径 d 加 2 倍阴线深度 Δ 再加 2 倍强制量 δ , 即

$$D = d + 2\Delta + 2\delta \quad (3-1)$$

强制量能够保证弹带确实可以密封火药气体, 即使在膛线有一定程度的磨损时仍起到密封作用。强制量还可增大膛线与弹带的径向压力, 从而增大弹体与弹带间的摩擦力, 防止弹带相对于弹体滑动。但强制量不可过大, 否则会降低身管的寿命或使弹体变形过大。弹带强制量



一般在 $0.001 \sim 0.0025$ 倍口径之间。

弹带的宽度应能保证它在发射时的强度，即在膛线导转侧反作用力的作用下，弹带不至于破坏和磨损。在阳线深度一定的情况下，弹带宽度越大，则弹带工作面越宽，因而弹带的强度越高。所以，膛压越高，膛线导转侧反作用力越大，弹带应越宽；初速越大，膛线对弹带的磨损越大，弹带也应越宽。弹带越宽，被挤下的带屑越多，挤进膛线时对弹体的径向压力越大，飞行时产生的飞疵也越多，所以弹带超过一定宽度时，应制成两条或在弹带中间车制可以容纳余屑的环槽。根据经验，弹带的宽度以不超过下述值为宜：小口径 $\leq 10 \text{ mm}$ ；中口径 $\leq 15 \text{ mm}$ ；大口径 $\leq 25 \text{ mm}$ 。

弹带在弹体上的固定方法因材料和工艺而异，对金属弹带，主要是机械力将毛坯挤压入弹体的环槽内。其中小口径弹丸多用环形毛坯，直接在压力机上径向收紧使其嵌入槽内（通常为环形直槽），中、大口径弹丸多用条形毛坯，在冲压机床上逐段压入燕尾弹带槽内，然后把两端接头碾合收紧。挤压法的共同特点是在弹体上需要有一定深度的环槽，从而削弱了弹体的强度。为保证弹体的强度，在装弹带部位必须做得特别厚，这样又影响了弹丸的威力。近年来发展了焊接弹带的方法。使用焊接弹带，弹体上无需深槽，可使壁厚更均匀。至于塑料弹带，除了可以塑压结合外，还可以使用黏接法。

（4）弹丸装药

弹丸内的装药为炸药，它通常是由引信体内的传爆药直接引爆的，必要时在弹口部增加扩爆管。在杀伤榴弹的铸铁弹体内装填代用炸药阿马托时，口部要加入一定的梯恩梯，以起防潮作用。榴弹经常采用的炸药为梯恩梯和钝化黑铝炸药。在现代大威力远程榴弹中也采用高能的 B 炸药。梯恩梯炸药通常用于中、大口径榴弹，采用压装工艺，将炸药直接压入药室，并通过螺杆上升速度来控制炸药的密度分布。钝黑铝炸药一般用在小口径榴弹中，先将炸药压制成药柱，再装入弹体。

（5）稳定装置

发射的弹丸除了靠自身的旋转来维持其飞行稳定性外，还可以靠尾部的尾翼稳定装置来稳定。尾翼稳定装置是指弹丸上用以使空气阻力中心后移，从而使弹丸飞行稳定的装置。尾翼安装在弹丸重心之后，在出现章动角时，能增大弹丸后部的空气阻力，从而使空气阻力中心位于弹丸重心之后形成稳定力矩。

尾翼按其是否能张开可分为固定式尾翼和张开式尾翼两种，张开式尾翼又可分为前张开式和后张开式两种。

2. 弹丸外形

（1）外形

弹丸外形为回转体，头部成流线形。全长可分为 3 部分：弹头部（ L_n ）、圆柱部（ L_y ）和弹尾部（ L_w ），参看结构图（如图 3.1）。弹头部是从引信顶端到上定心部上缘之间的部分。弹丸以超音速飞行时，初速越高，弹头部激波阻力占总阻力的比重越大。为减小波阻，弹头



部应呈流线型，要增加弹头部长度和弹头的母线半径使弹头尖锐。常把引信下面这段弹头部称为弧形部。某些低初速、非远程弹丸的弹头部形状为截锥形加圆弧形；有的小口径弹丸的弹头部形状为截锥形。

圆柱部是指上定心部上边缘到弹带下边缘部分。圆柱部越长，炸药装药越多，有利于提高威力，但圆柱部越长，飞行阻力越大，影响射程，二者应兼顾。

弹尾部是指弹带下边缘到弹底面之间的部分。为减小弹尾部和弹底面阻力，弹尾一般采用船尾形，即短圆柱加载锥体。尾锥角为 $6^{\circ} \sim 9^{\circ}$ 定装式炮弹弹丸的弹尾部全部伸入到药筒内，在弹尾圆柱上预制两个紧口槽，以便与药筒碾口部结合。因此定装式榴弹的弹尾部要比分装式长些。

(2) 定心部

定心部是弹丸在膛内起径向定位作用的部分。为确保定心可靠，应尽量减少弹丸和炮膛之间的间隙，但为使弹丸顺利装入炮膛，间隙又不能太小。通常弹丸具有上、下两个定心部。某些小口径榴弹，往往没有下定心部，依靠上定心部和弹带来径向定位。

(3) 导引部

上定心部到弹带（当下定心部位于弹带之后时，则为上定心部到下定心部）的部分称为导引部。在膛内运动过程中，导引部长度就是定心长度，因此，其长度影响着弹丸膛内运动的正确性。

3.2 普通榴弹

3.2.1 概述

普通榴弹，一般是指内装高能炸药，利用其爆炸后产生的气体膨胀功、爆炸冲击波和破片动能来摧毁目标的弹丸。这里所说的普通榴弹，既有传统弹丸的含义，也有与前装迫击炮和远程榴弹等相区别的意思。应当说，在各类弹丸中，普通榴弹的结构与作用最具有典型意义。通过对普通榴弹的分析与了解，同样有利于对其他各类弹丸的认识。

根据目标位置的不同，常把普通榴弹区分为地面榴弹和高射榴弹。地面榴弹主要用来对付地面上的有生力量和土木工事；而高射榴弹则主要用来对付空中目标（如飞机等）。

对于榴弹的一般要求，无非是在第一章中谈及的对炮弹的要求内容，在此不予赘述。但是，由于高射榴弹对付的是空中目标，而且该目标是高速运动的，所以作为特殊情况，将对高射榴弹提出如下要求：

① 弹丸初速要高，弹形要好。目的是减小空气阻力，缩短飞行时间，提高命中率和增大射高。

② 弹丸威力要大。对小口径高射榴弹应尽量增大炸药威力和炸药量；对中、大口径高



射榴弹要尽量增大有效破片数和破片速度。

③ 引信要适时起爆，并要求有自炸机构。中、大口径高射榴弹应当采用时间引信或其他非着发引信，小口径高射榴弹可以采用着发引信。

④ 药筒采用定装式，并适于自动装填和抽筒。

3.2.2 榴弹的作用

前已述及，榴弹是依靠炸药爆炸后产生的气体膨胀功、爆炸冲击波和弹丸破片动能来摧毁目标的，前者是榴弹的爆炸破坏（简称爆破）作用，主要对付敌人的建筑物、武器装备及土木工事；后者是榴弹的杀伤破坏（简称杀伤）作用，主要对付敌方的有生力量。通常，以爆破作用为主的弹丸称为爆破榴弹；以杀伤作用为主的弹丸称为杀伤榴弹，两者兼顾者称为杀伤爆破榴弹。

从弹丸的终点效应来说，除了上述的爆破作用和杀伤作用外，由于弹丸在到达目标后尚有存速（落速或末速），弹丸对目标还将产生侵彻作用，其侵彻深度的大小主要取决于弹丸速度、引信装定和目标的性质等。实际上，弹丸的这种侵彻作用，对于爆破榴弹和杀伤爆破榴弹不仅是必然的，而且是必需的。

1. 侵彻作用

榴弹的侵彻作用，是指弹丸利用其动能对各种介质的侵入过程。对于爆破榴弹和杀伤爆破榴弹来说，这种过程具有特殊意义，因为只有在弹丸侵彻至适当深度时爆炸，才能获得最有利的爆破和杀伤效果。在这里将要讨论的侵彻作用，主要就是地面榴弹对土石介质的侵彻。

如图 3.2 所示，当弹丸以某一落角 θ_c 侵入土石介质时，将要受到介质阻力（或抗力）的作用。随着弹丸在介质中的运动，阻力的大小也在不断改变。当弹丸爆炸或弹丸动能耗尽时，弹丸侵彻至最大深度 h_m 。可见，侵彻作用始于弹丸与目标的接触瞬间，结束于弹丸爆炸或弹丸速度为零的瞬间。一般来说，侵彻作用的大小，将由弹丸侵彻行程或深度来衡量。

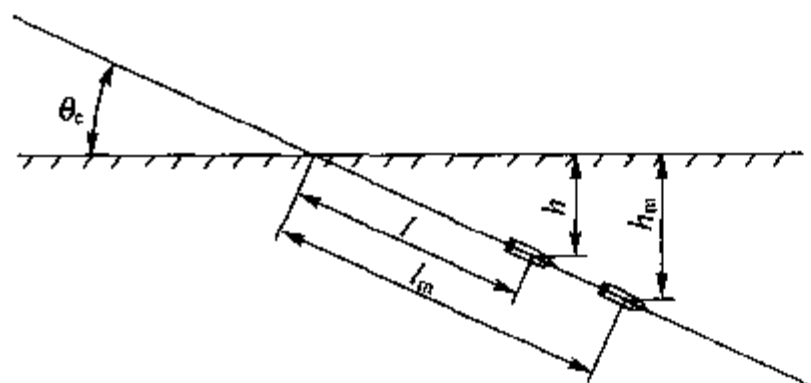


图 3.2 弹丸侵彻过程

常把土壤对弹丸运动的阻力分成两个部分。一部分是所谓静阻力，另一部分是所谓动阻力。弹丸用在破坏土石介质之间的联系，使介质受到压缩，以及克服摩擦等消耗的能量所对应的阻力称为静阻力。静阻力与弹丸的横截面积成正比。与弹丸克服介质惯性所消耗的能量对应的阻力称为动阻力，它除与弹丸的横截面积有关外，还与弹丸速度的平方成正比。这样，阻力表达式常表示为



$$F = i \frac{g\pi d_x^2}{4} (a + bv^2) \quad (3-2)$$

式中, d_x ——弹丸钻入土石部分的最大直径;

a ——静阻力系数 (见表 3-1);

b ——动阻力系数 (见表 3-1);

i ——弹丸形状系数, 球形弹 $i=1$, 现代尖形弹 $i=0.9$;

v ——弹丸在土壤中的运动速度。若用着速 v_c 代替公式中的 v , 即得最大阻力。

另一种阻力表达式为

$$F = \frac{2.303 \times 10^7}{K_m} d^2 \cdot \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{v}{100} \right)^2 \right] \quad (3-3)$$

式中, d ——弹径;

K_m ——取决于目标性质的系数 (见表 3-2)。

表 3-1 各种目标的 a , b 值

目 标		a	b
土 砂 石 类	砂—砾石	0.435×10^6	200×10^6
	土砂—砾石	0.60×10^6	200×10^6
	黏土—砂—砾石	1.045×10^6	35×10^6
	长满草的土工程	0.70×10^6	60×10^6
	砂—黏土工程	0.461×10^6	60×10^6
	砂土土壤	0.345×10^6	80×10^6
	潮湿土	0.265×10^6	80×10^6
	湿黏土	0.0917×10^6	80×10^6
	土工程	0.304×10^6	20×10^6
	湿土工程	0.265×10^6	20×10^6
砖土、 混凝 土类	良好的石砌工程	5.52×10^6	15×10^6
	中等的石砌工程	4.40×10^6	15×10^6
	砖砌工程	3.16×10^6	15×10^6
	钢筋混凝土	3.35×10^6	10.5×10^6
木 类	樟木、槐木	2.085×10^6	20×10^6
	榆木	1.60×10^6	20×10^6
	枞木、桦木	1.16×10^6	20×10^6
	白杨	1.09×10^6	20×10^6

表 3-2 K_m 值

目标种类	K_m	目标种类	K_m
一般土地	11.00	混凝土地	0.28
红黏土	11.00	混凝土掩体	无钢筋 0.28
湿黏土	10.10		有钢筋 0.14
掺砂黏土	8.60	软钢板	0.10
掺石子黏土	6.00	砖墙	0.94
靶场荒地	5.00	石砌墙	0.62
长有植物的土地	4.70	楠	1.64
砂地	3.5	柳、针枞松	2.10
岩石土	2.20	枞、桦	2.90
冻结石	0.43	白杨	3.08

在公式中若用着速 v_c 代替 v , 则得最大阻力。

这样, 根据牛顿第二定律, 可以写出弹丸的运动方程

$$m \frac{dv}{dt} = -F \quad (3-4)$$

式中, m 为弹丸质量。

若将式 (3-2) 代入上式并积分, 可得弹丸的侵彻行程

$$l = \frac{2m}{\pi d_x^2 b i} \ln \frac{a + b v_c^2}{a + b v^2} \quad (3-5)$$

当 $v=0$ 时, 可得弹丸的最大侵彻行程

$$l_m = \frac{2m}{\pi a_x^2 b i} \ln \left(1 + \frac{b}{a} v_c^2 \right) \quad (3-6)$$

同理可得, 对应于行程 l 时的弹丸运动时间为

$$t = \frac{4m}{\pi d_x^2 i \sqrt{ab}} \left(\arctan v_c \sqrt{\frac{a}{b}} - \arctan v \sqrt{\frac{a}{b}} \right) \quad (3-7)$$

若将式 (3-3) 代入方程 (3-4) 中, 积分后可得最大行程的另一表达式

$$l_m = K_m \frac{mg}{1000 d^2} \lg \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{v_c}{100} \right)^2 \right] \quad (3-8)$$

假定弹丸是沿直线运动, 则弹丸距目标表面的垂直深度 (如图 3.2)

$$h = l \sin \theta_c \quad (3-9)$$

但应指出, 由于弹丸在碰击目标时仍然存在着章动角 δ , 因而弹丸在介质中并非完全沿直线运动。对土壤来说, 当落角 θ_c 小于 10° 时, 旋转弹丸几乎 100% 的发生跳弹; 当 $\theta_c = 20^\circ \sim 30^\circ$ 时, 弹丸钻入目标后又向上运动, 有跳出地面的倾向; 当 $\theta_c = 30^\circ \sim 40^\circ$ 时, 弹丸在土壤



中作来回拐弯的不规则运动：只有当 $\theta_c > 40^\circ$ 时，弹丸在土壤中的行程才接近直线。但对尾翼式弹来说，除跳弹情况与旋转弹相近外，它在土壤中行程出现来回拐弯的可能性较小。

尚须说明，弹丸对介质的侵彻，影响着引信零件的受力，关系着弹丸的碰击强度，决定着爆破威力的效果。前两项在引信设计和弹丸设计中必须加以考虑，以保证它们的正常作用；后一项与引信装定的选择有关，早炸将使弹坑很浅，迟炸可能造成“隐炸”（如图 3.3），破坏效果不大。

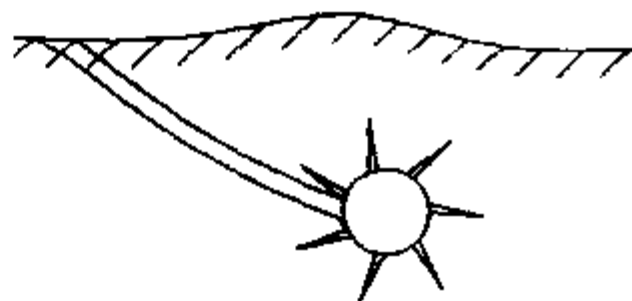


图 3.3 隐炸

2. 爆破作用

弹丸在目标处的爆炸，是从炸药的爆轰开始的。通常认为，引信起作用后，弹丸壳体內的炸药被瞬时引爆，产生高温、高压的爆轰产物。该爆轰产物猛烈地向四周膨胀，一方面使弹丸壳体变形、破裂，形成破片，并赋予破片以一定的速度向外飞散；另一方面，高温、高压的爆轰产物作用于周围介质或目标本身，使目标遭受破坏。

弹丸在空气中爆炸时，爆轰产物猛烈膨胀，压缩周围的空气，产生空气冲击波。空气冲击波在传播过程中将逐渐衰减，最后变为声波。空气冲击波的强度，通常用空气冲击波峰值超压（即空气冲击波峰值压强与大气压强之差） Δp_m 来表征。

球形 TNT 炸药在空气中爆炸时，其空气冲击波峰值超压可按下式计算

$$\Delta p_m = 0.082 \frac{\sqrt[3]{m}}{r} + 0.265 \left(\frac{\sqrt[3]{m}}{r} \right)^2 + 0.687 \left(\frac{\sqrt[3]{m}}{r} \right)^3 \quad (\text{MPa}) \quad (3-10)$$

式中， m 为炸药质量，kg， r 为到爆炸中心的距离，m。

空气冲击波峰值超压愈大，其破坏作用也愈大。冲击波超压对目标的破坏作用如表 3-3 所示。

表 3-3 空气冲击波对目标的破坏作用

超压 $\Delta p_m / 10^4 \text{Pa}$		破坏能力
对人员的杀伤	< 1.96	无杀伤作用
	$1.96 \sim 2.94$	轻伤
	$2.94 \sim 4.90$	中等伤害
	$4.90 \sim 9.81$	重伤、甚至死亡
	> 9.81	死亡
对飞机的破坏	$1.95 \sim 2.94$	各种飞机轻微损伤
	$4.90 \sim 9.81$	活塞式飞机完全破坏、喷气式飞机严重破坏
	> 9.81	各种飞机完全破坏

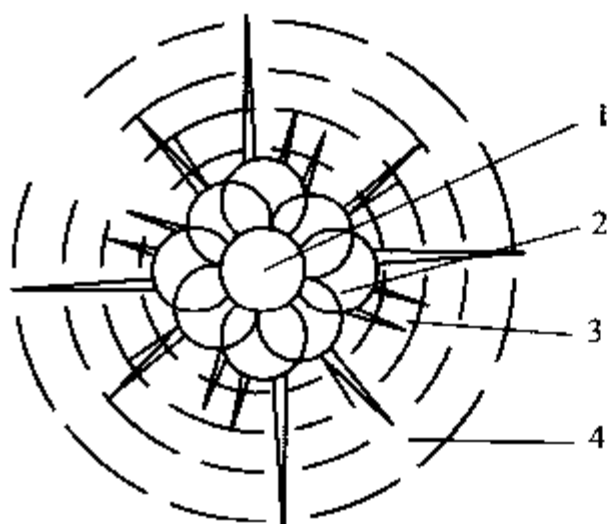


图 3.4 岩土中爆炸

1—空穴；2—强烈压缩区；
3—破碎区；4—震撼区

如图 3.4 所示，当弹丸在岩土中爆炸时，爆轰产物强烈压缩周围的岩土介质，使其结构完全破坏，岩土颗粒被压碎。整个岩土因受爆轰产物的挤压而发生径向运动，形成一个空腔，称为气室或空穴。与空穴相邻接的是强烈压缩区，该区域内原来的岩土结构完全被破坏和压碎。随着与爆炸中心间的距离增大，爆轰产物的能量将传给更多的介质，压缩应力迅速下降。当压缩应力值小于岩土介质的抗压强度时，岩土不再被压碎，而是基本上保持其原有的结构。但是，随着岩土介质的径向运动，介质中每一环层都将受到拉应力的作用。如果拉伸应力超过岩土的抗拉强度，则会出现从爆炸中心向外辐射的径向裂缝。由于岩土的抗拉强度远小于其抗压强度，因而在强烈压缩区之外出现了拉伸应力的破坏区，

称为破碎区。该区的破坏范围比前者大，在破碎区之外，压缩应力和拉伸应力已不足以使岩土结构破坏，只能产生介质质点的震动，离爆炸中心愈远，震动的幅度越小，最后衰减为零，这一区域称为震撼区。

以上所述，是弹丸在无限岩土介质中的爆炸情况。在这种情况下，强烈压缩区的半径 r_y 和破碎区半径 r_p 可分别按如下公式计算

$$r_y = K_y \sqrt[3]{m} \quad (\text{m}) \quad (3-11)$$

$$r_p = K_p \sqrt[3]{m} \quad (\text{m}) \quad (3-12)$$

式中， K_y 为压缩系数（见表 3-4）， K_p 为破碎系数（见表 3-4）； m 为炸药质量，kg。

表 3-4 岩土中的 K_y 和 K_p 值

介 质	$K_y / (\text{m} \cdot \text{kg}^{-1/3})$	$K_p / (\text{m} \cdot \text{kg}^{-1/3})$
普通土壤（植物土）	0.50	1.07
沙质黏土	0.46	0.99
坚实的蓝色黏土	0.46	0.99
新积松土	0.63	1.44
流 沙	0.45	0.97
含沙质黏土及多石土壤	0.45	0.96
坚硬的黏土	0.41	0.88
无裂缝的砂岩和石灰岩	0.22	0.90
无裂缝的花岗岩或片麻岩	0.215	0.87
劣质石砌体	0.27	1.09



续表

介 质	$K_f / (\text{m} \cdot \text{kg}^{-3})$	$K_f / (\text{m} \cdot \text{kg}^{-3})$
中等石砌体	0.25	1.04
优质石砌体	0.22	0.90
含砾石配比为 1:3:7 的混凝土	0.19	0.77
含砾石配比为 1:2:5 的钢筋混凝土	0.16	0.65
优质土泥、花岗岩石制的混凝土	0.19	0.77
沥青混凝土	0.11	0.45
含水泥砂浆砌的砖体	0.24	0.97
钢筋混凝土	---	0.39

当弹丸在有限岩土介质中爆炸时, 如果弹丸与岩土表面较接近或炸药量加大, 那么破碎区将逐渐接近于岩土表面。由于在岩土表面处没有外层的阻力, 所以弹丸爆炸时岩土很容易向上运动形成漏斗坑 (如图 3.5)。图中爆炸中心到岩土自由表面的垂直距离称为最小抵抗线, 并用 h 表示。漏斗坑口部半径用 R 表示。

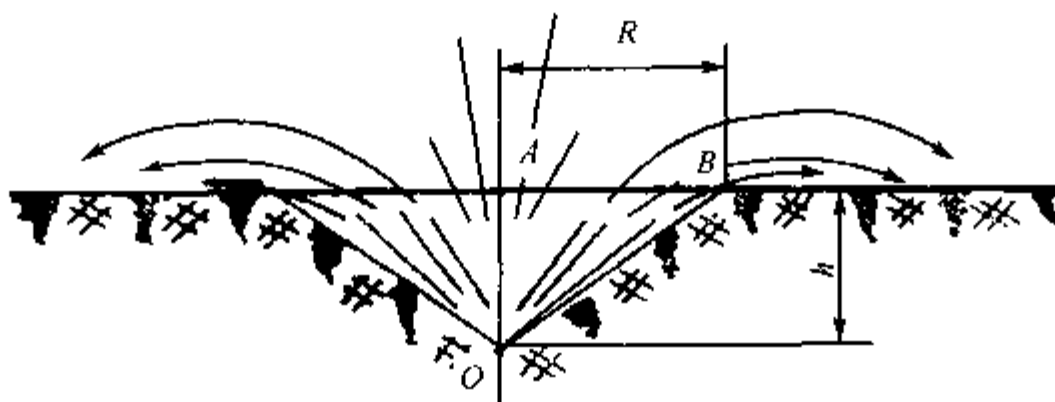


图 3.5 抛掷漏斗坑

从爆炸时岩土运动的过程来看, 在弹丸爆炸后的一段时间内, 最小抵抗线 OA 处的地面首先突起, 同时不断向周围扩展。上升的高度和扩展的范围随时间的增加而增加, 但范围扩展到一定的程度就停止了, 而高度却继续上升。在这一段时间内, 漏斗坑内的岩土虽已破碎, 但地面却仍然保持一个整体向上运动, 其外形如鼓包 (钟形), 故称为鼓包运动阶段 (如图 3.6)。当地面上升到最小抵抗线高度的 1~2 倍时, 鼓包顶部破裂, 爆轰产物与岩土碎块一起向外飞散, 此即鼓包破裂飞散阶段。此后, 岩土块在空气中飞行, 并在重力和空气阻力作用下落到地面, 形成抛掷堆积阶段。

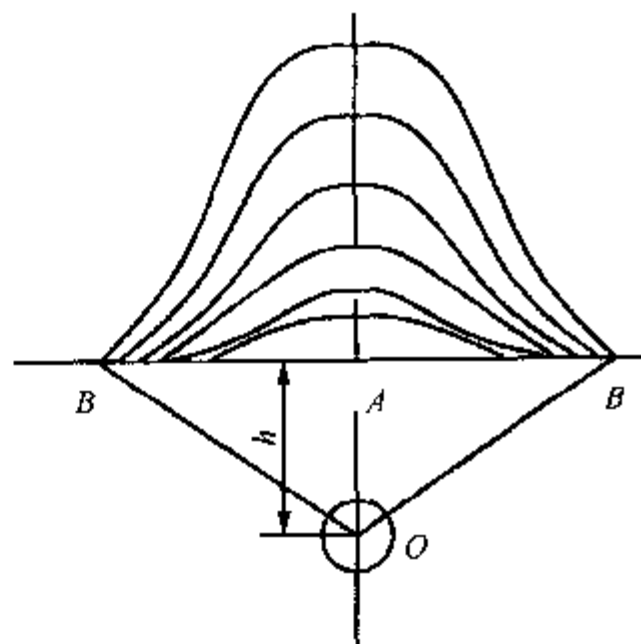


图 3.6 鼓包的运动



就鼓包运动速度来看,在最小抵抗线 OA 方向上岩土块的运动速度最大,离 OA 愈远,速度愈小,在 B 点(即漏斗坑边缘处)速度最小。

抛掷爆破可根据抛掷指数 ($n=R/h$) 的大小分为以下几种情况:

① 当 $n>1$ 时为加强抛掷爆破,此时的漏斗坑称为加强型漏斗坑。在这种情况下,漏斗坑顶角大于 90° 。

② 当 $n=1$ 时为标准抛掷爆破,此时的漏斗坑称为标准型漏斗坑。在这种情况下,漏斗坑顶角等于 90° 。

③ 当 $0.75<n<1$ 时为减弱抛掷爆破,此时的漏斗坑称为减弱型漏斗坑。在这种情况下漏斗坑倾角小于 90° 。

④ 当 $n<0.75$ 时为松动爆破,此时没有岩土抛掷现象,不形成漏斗坑。这种情况下的爆破,称为隐炸。

大量的实验研究表明,抛掷漏斗坑的尺寸与炸药质量、炸药性能、爆破深度和岩土性质有关。漏斗坑的体积 V 可以写为

$$V = \alpha n^2 h^3 \quad (3-13)$$

式中, α 是决定漏斗坑体积的系数。当 $n=2\sim 2.25$ 时, $\alpha=1.16$; $n=1\sim 1.5$ 时, $\alpha=1.52$ 。

漏斗坑的体积与漏斗坑的类型有关。从爆破效果来说,有一最有利的爆破深度存在。这样,弹丸就应侵彻到最有利的爆破深度爆炸,以获得最好的爆破效果。最有利的爆破深度可按下式计算:

$$h = \left(\frac{m}{K_c} \right)^{3/2} \quad (\text{m}) \quad (3-14)$$

式中, m 为炸药质量; K_c 为与岩土特性有关的系数,对一般土壤可取为 $0.7\sim 1.0$,对混凝土或岩石可取为 $3.0\sim 5.0$ 。

3. 杀伤作用

当弹丸爆炸时,弹体将形成许多具有一定动能的破片,这些破片主要是用来杀伤敌方的有生力量(人员或马匹等),但也可以用来毁伤敌方的器材和设备等。从破片的主要作用出发,通常把破片对目标的作用称为榴弹的杀伤作用。弹丸爆炸后,破片经过空间飞行到达目标表面,进而撞击人体的效应属于“终点弹道学”的范畴,而穿入人体后的致伤效应与致伤原理则属于“创伤弹道学”的研究对象。随着科学技术的发展,杀伤破片和杀伤元素(如钢珠、钢筋等)的应用发展很快,创伤弹道的理论和实验也有所发展,这对认识和提高榴弹的杀伤作用很有帮助。

破片侵入人体后,一方面是向前运动,造成人体组织被穿透、断离或撕裂,从而形成伤道。当破片动能较大时,可产生贯穿伤;动能较小时,可留于人体内而形成盲伤。有时速度较大的破片遇到密度大的脏器(如骨骼等)还可能发生拐弯,或者将其击碎,从而形成“二



次破片”，引起软组织的广泛损伤。另一方面，由于冲击压力的作用，将迫使伤道周围的组织迅速向四周位移，形成暂时性的空腔（其最大直径可比原伤道大几倍或几十倍），从而造成软组织的挤压、移位挫伤或粉碎性骨折等。

破片致伤的伤情既取决于破片本身的杀伤力，又与所伤组织或脏器的部位和结构有关。破片本身的杀伤力，包括破片动能、质量、速度、形状、体积和运动稳定性等，其中以速度最为重要。由于在动能相同的条件下，质量轻而速度高的破片，其能量释放快，致伤效果好，因而国外对破片多控制在 1 g 以下。

对有生力量的杀伤，目前我国已有一个较为可靠的致死或致伤的能量标准，常使用的标准是 78.48 J。日本根据过去的实战统计和大量的动物实验，对人和马提出了如表 3-5 所示的杀伤标准。

表 3-5 对人、马的杀伤标准

目标及部位	致伤情况	破片动能/J
人 肌肉	创 伤	>53.36
马 肌肉	创 伤	>98.10
人 骨部	创 伤	>58.86
马 骨部	创 伤	>166.77
人 骨部	完全破碎	>196.20
马 骨部	完全破碎	>343.35

弹丸破片的形成过程是极为复杂的，影响因素很多，欲从理论上对此进行充分的描述尚有困难。目前，主要还是借助于试验的方法进行研究和分析。

如图 3.7 所示，当引信引爆后，炸药的爆轰将以波的形式（爆轰波）自口部向右传播。紧跟在爆轰波后面的是由于弹体变形等而产生的稀疏波。爆轰波以 10^{10} Pa 的压力冲击弹体，在冲击点 I 处压力最大，稀疏波所到之处压力急速下降。当爆轰波达到弹底时，弹丸内装的炸药全部爆轰完毕。弹体在爆轰产物的作用下，从冲击点开始，沿内表面产生塑性变形，同时弹体迅速向外膨胀。弹体出现裂缝后，爆轰产物即从裂缝向外流动，作用于弹体内表面的压力急速下降。弹体裂缝全部形成后，即以破片的形式以一定的速度向四周飞散。

弹丸由起爆到炸药爆轰结束所经历的时间，同弹体由开始变形到全部破裂成破片所经历的时间相比是很短的，约为后者的四分之一。例如，122 mm 的榴弹由起爆到炸药爆轰结束约需 60 μ s，而弹体由塑性变形到全部形成破片则需 250 μ s 左右。但对于很长的弹体来说，在炸药尚未爆轰结束时，弹体的起爆端就可能发生破裂，从而影响杀伤破片的形成。在这种情况下，应当对传爆系列采取措施，尽量避免上述情况的出现。



弹丸爆炸后,生成的破片是不均匀的,其中圆柱部产生的破片数量最多,占 70%左右。如图 3.8 所示,是弹丸在静止引爆下破片的飞散情况。由于破片主要产生在圆柱部,所以弹丸落角的不同,将会影响杀伤破片的分布。若弹丸垂直爆炸,则破片分布近似为圆形,具有较大的杀伤面积;若弹丸爆炸时具有一定的倾角,则只有两侧的破片被有效地利用,面上下方的破片则飞向天空和土中,因此破片的有效杀伤区域近似为一矩形,面积较小(如图 3.9)。

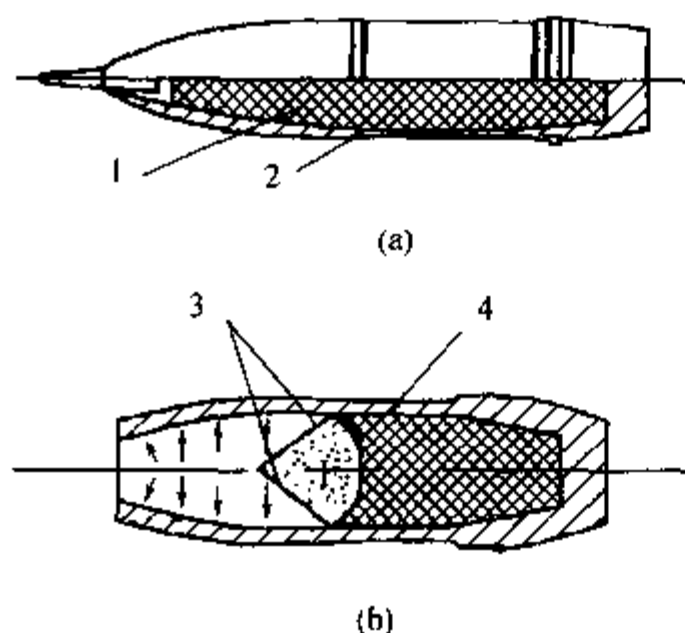


图 3.7 弹丸爆炸过程示意图

(a) 爆炸前; (b) 爆炸过程中

1—炸药; 2—弹体; 3—稀疏波; 4—爆轰波

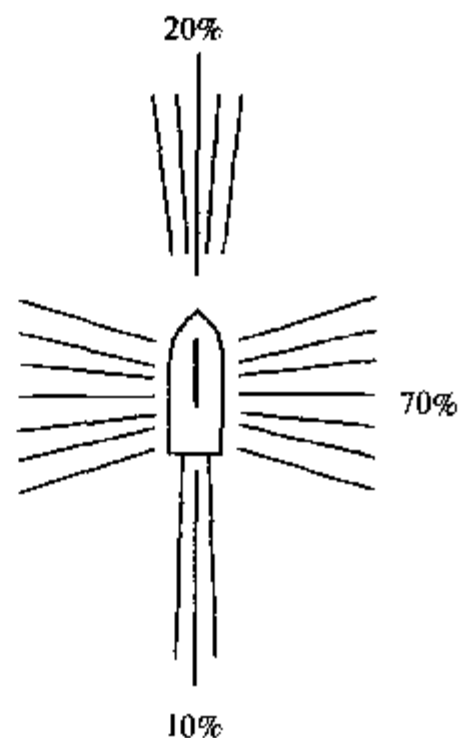


图 3.8 破片的飞散

由于弹体在膨胀过程中获得了很高的变形速度,故破片具有很高的速度,而且当破片向外飞散时,由于爆轰产物的作用,破片还略有加速。但破片所受的空气阻力很快与爆轰产物的作用相平衡,此时破片速度达到最大值,并称其为破片初速 v_0 。破片初速与弹体材料、炸药性能和质量有关,一般为 600~1 000 m/s。

不难理解,离弹丸爆炸点越远,破片的密度愈小,速度愈小,目标被杀伤的可能性也愈小。

当目标为战壕内的步兵时,若用着发射击,破片向四周飞散,往往不能实施有效的杀伤(如图 3.10)。为了杀伤这类目标,可以采用小射角的跳弹射击。射角小,弹丸的落角也

小,一般当落角小于 20° 时,弹丸就会在地面上滑过一条沟而跳飞起来在空中爆炸,从而

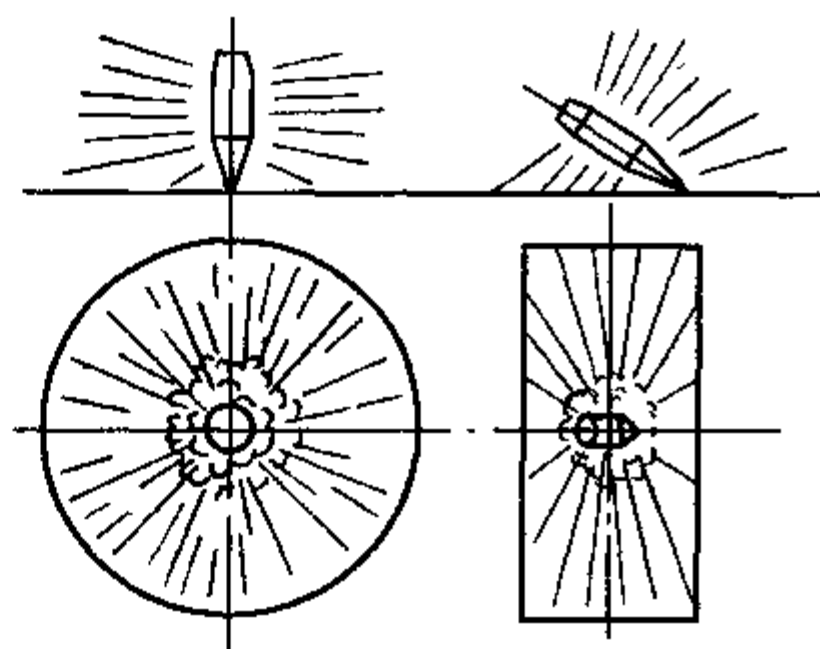


图 3.9 落角不同的杀伤范围



杀伤隐蔽在战壕的敌人（如图 3.11）。实施跳弹射击时，引信应当装定为延期。跳弹射击的有利炸高，对 122 mm 榴弹约为 5~10 m。一般来说，弹丸在空中爆炸可以使杀伤作用提高一倍以上，而且声音响，对敌人的震撼作用大。但是对于头部强度不足的弹丸，不能采用跳弹射击。当地面榴弹配用时间引信或非触发引信来实施空炸射击时，不仅不受地形的限制，而且杀伤威力更大。

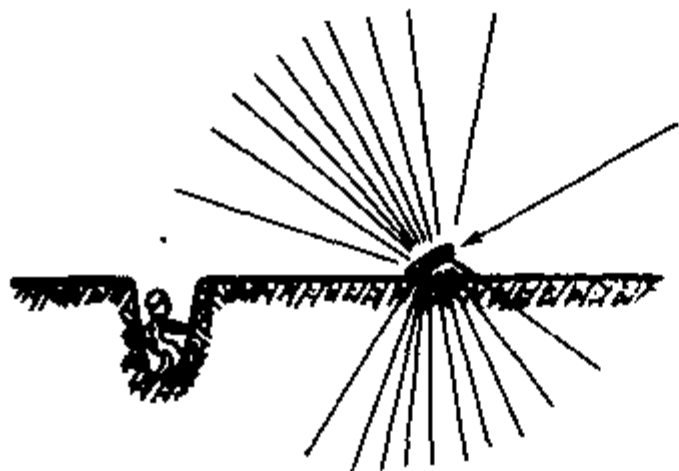


图 3.10 对战壕内的步兵无法实施有效的杀伤情况

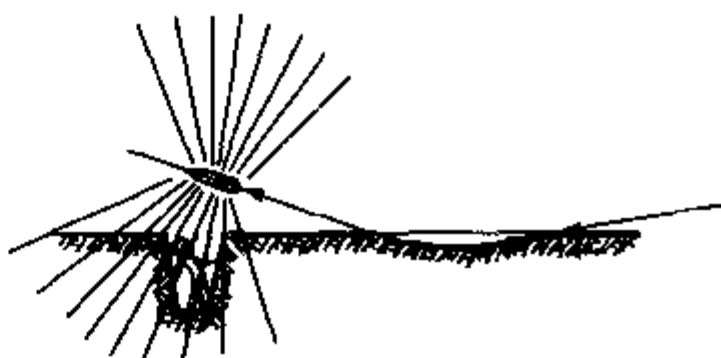


图 3.11 跳弹射击时的杀伤情况

杀伤弹爆炸后在空间构成一个立体杀伤区，其大小、形状由弹丸的破片飞散角、方位角和杀伤半径所限定。有效杀伤半径随目标的易损性不同而不同。

弹体在爆炸后形成的破片总数 N 及其按质量的分布规律，是衡量弹体破碎程度的标志，同时也是计算弹丸杀伤作用的重要依据。用理论方法预先估计弹丸爆炸后产生的破片总数及质量分布是一个十分困难的问题，至今尚未解决。在工程计算中，常用如下的经验公式计算 1 g 以上的破片总数 N ：

$$N = 3\,200\sqrt{M} \cdot \alpha(1-\alpha) \quad (3-15)$$

式中， M 为弹体金属与炸药质量之和，kg， α 为炸药装填系数（即 $\alpha = m/M$ ）。此式适用于壳体壁厚较大的弹丸和战斗部。

对于壳体壁厚较薄，装填 TNT 炸药的弹丸或战斗部，可以应用下述公式来近似估算破片数：

$$N = 4.3\pi \left(\frac{1}{2} + \frac{r}{\delta} \right) \frac{1}{\delta} \quad (3-16)$$

式中， r 为壳体内半径，mm， l 为壳体长度，mm， δ 为壳体厚度，mm。

破片平均质量的估计值为

$$\bar{m}_f = k \frac{m_s}{N} \quad (3-17)$$

式中， m_s 为金属壳体的质量， k 为壳体质量损失系数，其值在 0.80~0.85 之间。

一般钢质整体式壳体在充分破裂后所形成的破片，大致为长方形，其长宽厚尺寸的比例大约为 5:2:1。破片质量分布规律的经验公式为



$$m_i = m_s (1 - e^{-B m_{it}^\alpha}) \quad (3-18)$$

式中, m_i 为质量小于等于 m_{it} 的破片总质量, g, m_{it} 为大于 1 g 的任一破片质量, g, B 、 α 为取决于壳体材料的常数, 对于钢材料分别为 0.045 4 和 0.8。

预制破片和预控破片都是靠爆炸驱动抛射的, 预制破片弹丸在爆炸后其破片总质量仅损失 10% 左右, 所要求的破片速度越高, 质量损失越大; 而预控破片弹丸爆炸后的质量损失在 10%~15% 范围。

此外, 破片初速 v_0 也是衡量弹丸杀伤作用的重要参数。对于圆柱形弹体, 其破片初速可用如下公式进行计算:

$$v_0 = \sqrt{2E} \sqrt{\frac{m}{M + \frac{m}{2}}} \quad (3-19)$$

式中, E 为单位质量炸药的能量, m 为炸药质量, M 为弹体质量。

3.2.3 榴弹的结构特点

在上一节里, 分别讨论了榴弹的侵彻作用、爆破作用和杀伤作用。对于不同的目标, 往往采用不同的弹种和作用机理。弹种和作用机理的不同, 又必然带来弹丸在结构上的差别。这些差别主要反映在弹丸结构的几个特征数上: 弹丸相对质量 c_m 、炸药装填系数 α 、弹体壁厚 δ 和炸药相对质量 c_a 。对榴弹的大量统计表明, 上述特征数大致在表 3-6 所给出数据范围内变化。

表 3-6 榴弹结构特征数值

结构特征数 弹 种			δ	$\alpha / \%$	$c_m / (\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3})$	$c_m / (\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3})$
爆破榴弹			0.10~0.17 d	10~24	8~15	1.9~3.0
杀 伤 榴 弹	地 面	小口径	0.12~0.25 d	5~10	14~24	1.0~1.5
		中口径	0.15~0.20 d	7~14	11~16	1.0~1.65
	高 射	小口径	0.12~0.25 d	3.5~8	12~8	0.5~1.4
		中、大口径	0.15~0.25 d	6~10	12~15	0.8~1.3
杀伤爆破榴弹			0.12~0.21 d	9~16	11~16	1.3~3.2

为了说明问题的方便, 首先介绍榴弹的外部形状和内部形状, 以使读者对榴弹全貌有一个概略认识。随后, 再分别对地面榴弹和高射榴弹的结构特点作一简略说明。



1. 榴弹的外部形状

形状是通过尺寸来描述的。图 3.12 给出了榴弹的外形尺寸，这些尺寸对弹丸的飞行特性和威力都有直接的影响。图中各尺寸符号的意义是： d 为弹丸直径； L 为弹丸全长； h 为弹体头部长； H 为弹头部长； β 为弹头部母线与圆柱部的连接角； A 为圆柱部长； E 为弹尾部长； h_y 为弹尾圆柱部长； h_k 为弹尾圆锥部长； α_k 为尾锥倾角。

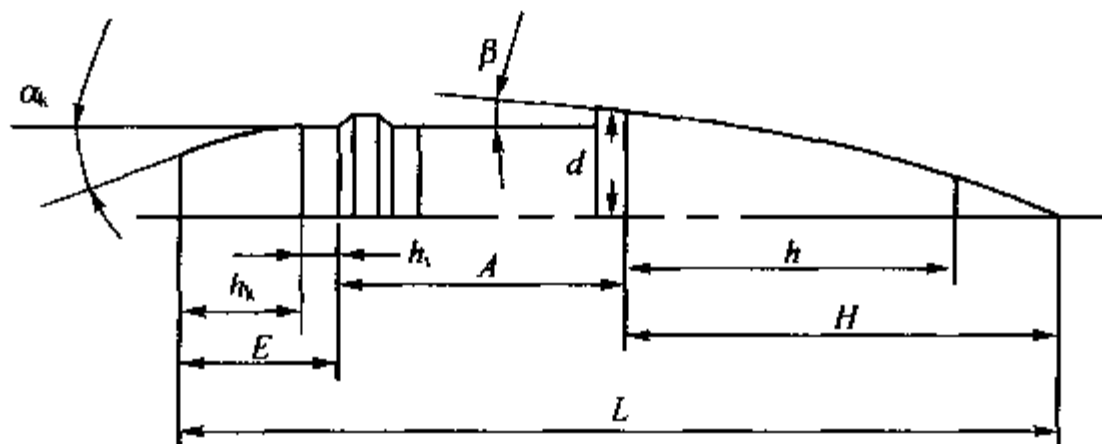


图 3.12 榴弹的外形尺寸

在上述尺寸中，弹径 d 、弹丸全长 L 、弹头部长 H 、圆柱部长 A 及弹尾部长 E 是决定弹丸结构布局的基本尺寸，而其他尺寸则进一步描述了弹丸的外形特点。

弹丸全长 L 是在已知弹丸质量后确定的，它直接影响着弹丸所受的阻力、飞行稳定性、威力和弹体的强度。在弹径一定的情况下，增大弹丸长度，即增大弹体的长径比，对减小弹丸所受的空气阻力有利，对普通旋转弹丸来说，其最大长径比一般不超过 5.5 倍弹径。从威力上考虑，弹长增大，有利于弹丸威力的提高。但从发射强度上看，当弹丸质量一定时，弹丸长度增大，势必引起弹体壁厚的减小，使强度降低。此外，弹丸长度还影响着弹丸的工艺性、运输和装填条件等，这也是在确定弹丸长度时所应当考虑的。

弹头部的形状与尺寸对迎面空气阻力有着直接关系。在超音速情况下，头部波阻占总阻的很大部分，弹头部长愈大，形状越尖锐，其阻力值也愈小。因此，增长弹头部长可使弹形系数 i 降低。但是，当弹头部过分增长时，其弹形系数的变化并不显著。从弹丸在膛内的运动情况看，当弹丸长一定，弹头部长增大必将使圆柱部长减小，这将恶化弹丸在膛内的定心性能，从而影响弹丸的飞行稳定性和射击精度。对普通榴弹来说，弹头部长一般不超过 3.5 倍弹径。在不同初速下，弹头部长度的经验值见表 3-7。

当弹丸采用弹头引信时，弹丸顶部的形状将由引信外形决定。一般来说，在超音速情况下，尖锐形弹顶可以减小阻力；而在亚音速情况下，弹顶的形状影响不大。不过，在弹丸章动角较大时，在尖锐弹顶的侧面将出现涡流，因而应尽量避免尖锐形顶部。实际上，为了加工和勤务处理上的方便，常将弹顶做小圆角或不大的小平顶形。圆顶或平顶的尺寸可按下列经验值选取（如图 3.13）：



表 3-7 具有最小阻力的弹头部长度的

初速 v_0 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	弹头部相对长度 H/d
≥ 800	3.2~3.5
600~800	3.0~3.2
500~600	2.5~3.0
400~500	2.0~2.5
300~400	1.5~2.0
< 300	1.5

当 $v_0 \leq 600 \text{ m/s}$ 时, 圆角 $r = (0.07 \sim 0.08) d$ 或平顶 $2r = 0.15 d$ 。

当 $v_0 > 600 \text{ m/s}$ 时, 对于大口径, 圆角 $r = 5 \text{ mm}$ 或平顶 $2r = 5 \sim 10 \text{ mm}$ 。

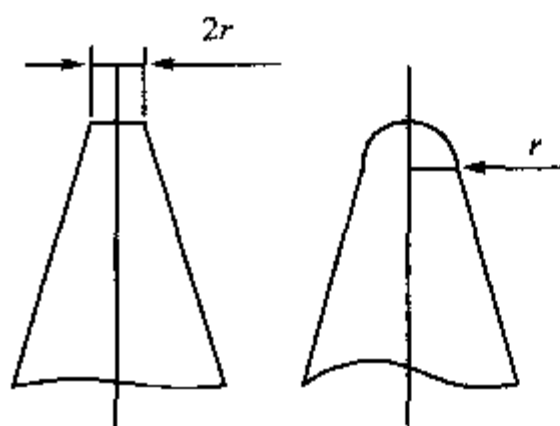


图 3.13 弹顶形状

弹头部是一旋成体, 其旋成体母线可以是直线、圆弧、抛物线、椭圆线和指数曲线等, 也可以是这些曲线的组合。从空气动力学的观点看, 在不同的速度下, 将有不同的最有利的母线形状。该旋成体母线可以同圆柱段母线平滑相切, 也可以在连接处具有一不大的折转角。

圆柱部长度 A , 是指上定心部至弹带之间的距离。在一般情况下, 即为弹丸在膛内的导引部长度。该尺寸的大小, 对弹丸在膛内的运动有着决定性的影响, 圆柱部长, 弹丸定心情况就好, 可以减小弹丸出炮口时的章动角, 从而使射击精度提高。此外, 圆柱部愈长, 弹丸内装药量就

愈多, 弹丸的威力也就愈大。但是, 从空气动力学观点看, 圆柱部增长, 弹丸所受的摩擦阻力增加; 圆柱部过短, 也将因初始章动角的增大而导致阻力的增加。因而, 在一定的射击条件下, 有一使空气阻力最小的圆柱部长度。一般来说, 榴弹的圆柱部长度大致为 $(1.1 \sim 3.0) d$ 。

弹带一般用紫铜制成, 嵌在弹体的弹带槽里。目前广泛采用的弹带槽有矩形弹带槽和燕尾形弹带槽两种形式 (如图 3.14)。为使弹带固定牢固, 避免出现弹带与弹体之间的滑动, 一般在弹带槽的底部压有滚花, 以增加摩擦力。



图 3.14 弹带槽形式
(a) 矩形弹带槽; (b) 燕尾形弹带槽



弹带的形状多种多样,但为了使弹带容易嵌入膛线,并对弹丸起到良好的定心作用和使弹丸减小飞行中的阻力,常把弹带的前端面做成与弹轴成 $14^\circ \sim 40^\circ$ 的斜面。为了存留嵌入坡膛时挤下的积铜,常把后端面做成与弹轴成 45° 的斜面或倒成圆角。对于定装式炮弹还必须在弹带后面留下一小平面,以便支住药筒口(如图 3.15)。弹带的宽度取决于其强度条件。常见的弹带宽度:小口径为 10 mm;中口径为 15 mm;大口径为 25 mm。如果强度不够时,可以将弹带做成 2 条,甚至 3 条,为了解决弹带的闭气问题,其直径应比火炮口径为大,该值称为弹带强制量。

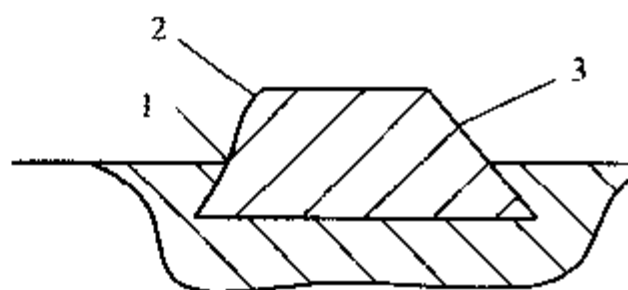


图 3.15 弹带形状

1—药筒支撑面;2—后斜面;3—前斜面

最简单的弹尾部形状是圆柱形。虽然这种形状加工起来简单、容易,但是其尾部阻力较大。一般来说,最好的弹尾部形状应当是适于弹尾空气环流形状的船尾形,因为这种形状可以减小尾部的涡流阻力。由于空气流线的形状与弹速有关,因而在不同速度下最好的船尾部尺寸也不相同(见表 3-8)。

表 3-8 弹尾部形状及尺寸

初速 $v_0 / (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	弹尾部长 E	圆柱部长 h_y	尾锥部长 h_k	尾锥角 $\alpha_k / (^\circ)$
< 300	圆柱形			
300	$1.10 d$	$0.1 d$	$1.0 d$	9
500	$0.95 d$	$0.15 d$	$0.80 d$	9
700	$0.80 d$	$0.20 d$	$0.60 d$	6
900	$0.60 d$	$0.25 d$	$0.35 d$	6
> 900	圆柱形			

由上表可知,当初速较小($v_0 < 300 \text{ m/s}$)时,虽然弹尾部的形状和尺寸对整个弹丸所受的空气阻力有较大的意义,但由于阻力的绝对值较小,故可采用最简单的圆柱形外形。而当初速较高($v_0 > 900 \text{ m/s}$)时,也将采用圆柱形尾部。这是因为在高速情况下,弹丸所受的空气阻力中波动阻力的分量较大,而且依靠改变尾部形状来减小底部阻力也无多大效果,因而仍然采用简单的圆柱形尾部。

对于定装式弹药,为了保证弹丸与药筒的连接可靠,弹丸的尾柱部长度至少应有 $(0.25 \sim 0.50) d$,有时还需在尾柱部上加工 1~2 个紧口沟槽。

此外,在进行配弹设计时,为了采用制式发射药,在确定弹尾部尺寸时还必须考虑到使其保持原来的装填密度。

2. 榴弹的内部形状

图 3.16 描述了弹丸的内部(内腔)尺寸,其中各符号的意义是: L_k 为内腔长度; H_k 为内腔



弧形部长度； ρ_k 为内腔弧形部母线半径； α_k 、 b_k 为母线半径的中心坐标； h_{kk} 为内腔锥部长度； d_B 为内腔圆柱部直径； h_B 为平均弹壁厚度（一般按圆柱处的壁厚计算）； d_D 为内腔底部直径； h_D 为底部厚度。

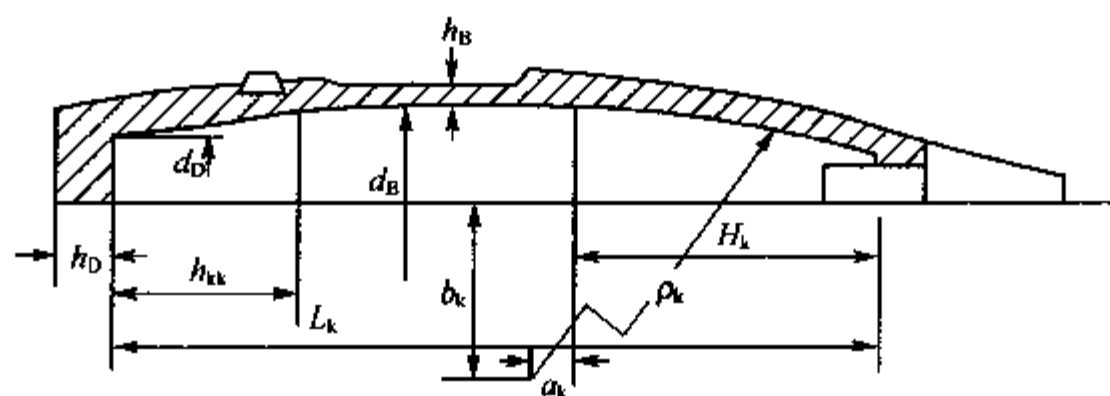


图 3.16 榴弹的内部尺寸

在弹丸外部尺寸已经确定的条件下，内腔的形状与尺寸决定了弹丸的炸药装药量以及弹丸的质量和分布，因此，也就影响着弹丸的膛内运动和在空气中的飞行特性。此外，内腔尺寸也决定了弹体的壁厚和底厚，所以也影响着弹丸的发射强度。一般来说，榴弹的内腔形状有圆柱形（带有不大的锥度）或锥形、柱形或弧形的组合形式。

从弹丸威力考虑，以爆破作用为主的榴弹应当多装炸药，为此必须加大内腔的容积，而为了保证其发射强度，常常从等强度壁厚的角度去确定内腔形状。以杀伤作用为主的榴弹，为了产生更多的杀伤破片，其内腔形状常常从等壁厚角度去确定。从弹丸在膛内的运动条件考虑，弹丸的质量中心应当尽可能位于弹带处。从加工工艺性考虑，弹丸的内腔形状应当与炸药的装填方法相适应。例如，以压装法为主的小口径榴弹，其内腔形状常做成柱形。为了便于机械加工，在内腔中应尽量避免阶梯形突变，而且在线段衔接处采用圆弧过渡。

榴弹的壁厚与威力密切相关，不同类型的榴弹，其壁厚不同。因而，常用壁厚作为表征弹丸结构的一个特征数。爆破榴弹的壁厚完全取决于发射强度。为使炸药量增加，常在保证发射强度的前提下选取最小壁厚。由于在发射时，弹底的受力最大，因而底部也最厚，其他部位则按等强度原则向头部方向逐渐减薄，其平均厚度大致为 $(1/8 \sim 1/10) d$ 。杀伤榴弹的壁厚选取，除应保证发射强度外，还应得到最好的破片性能。因此，壁厚的选取应与弹体材料和炸药性能相匹配。一般来说，炸药的猛度高，或弹体的材料较脆，壁厚应当厚些；反之，壁厚应薄些。通常，杀伤榴弹的平均壁厚为 $(1/4 \sim 1/6) d$ 。杀伤爆破榴弹的壁厚常在爆破和杀伤榴弹之间选取，一般为 $(1/5 \sim 1/8) d$ 。

3. 地面榴弹

(1) 爆破榴弹

爆破榴弹的主要用途是破坏土木结构的野战工事（如指挥所和观察所）、钢丝网和布雷区；有时也和混凝土破坏弹共同使用，对永久性工事进行摧毁，必要时也可对有生力量或坦克、步兵战车等目标进行射击。



爆破榴弹的特点是炸药量多，且炸药的猛度大。一般来说，爆破弹只有配备在大口径火炮上才能发挥较大的作用。

图 3.17 给出了几种爆破榴弹的示意图，其中图 (a) 是近程爆破榴弹，图 (b) 是远程爆破榴弹。对近程爆破榴弹来说，其头部一般较短，约为 $(1.3 \sim 1.7)d$ ，圆柱部较长，有的可达 $3.2d$ 。为了获得较大的炸药装填和保证发射强度，一般将弹带设置在弹底附近。这种结构的弹丸不可能获得较远的射程。对远程爆破榴弹来说，其头部一般较长（约为 $2.6d$ ），圆柱部较短（约为 $1.3d$ ），弹尾部也较长。可见，远程爆破榴弹的射程增加是靠牺牲威力而得到的。

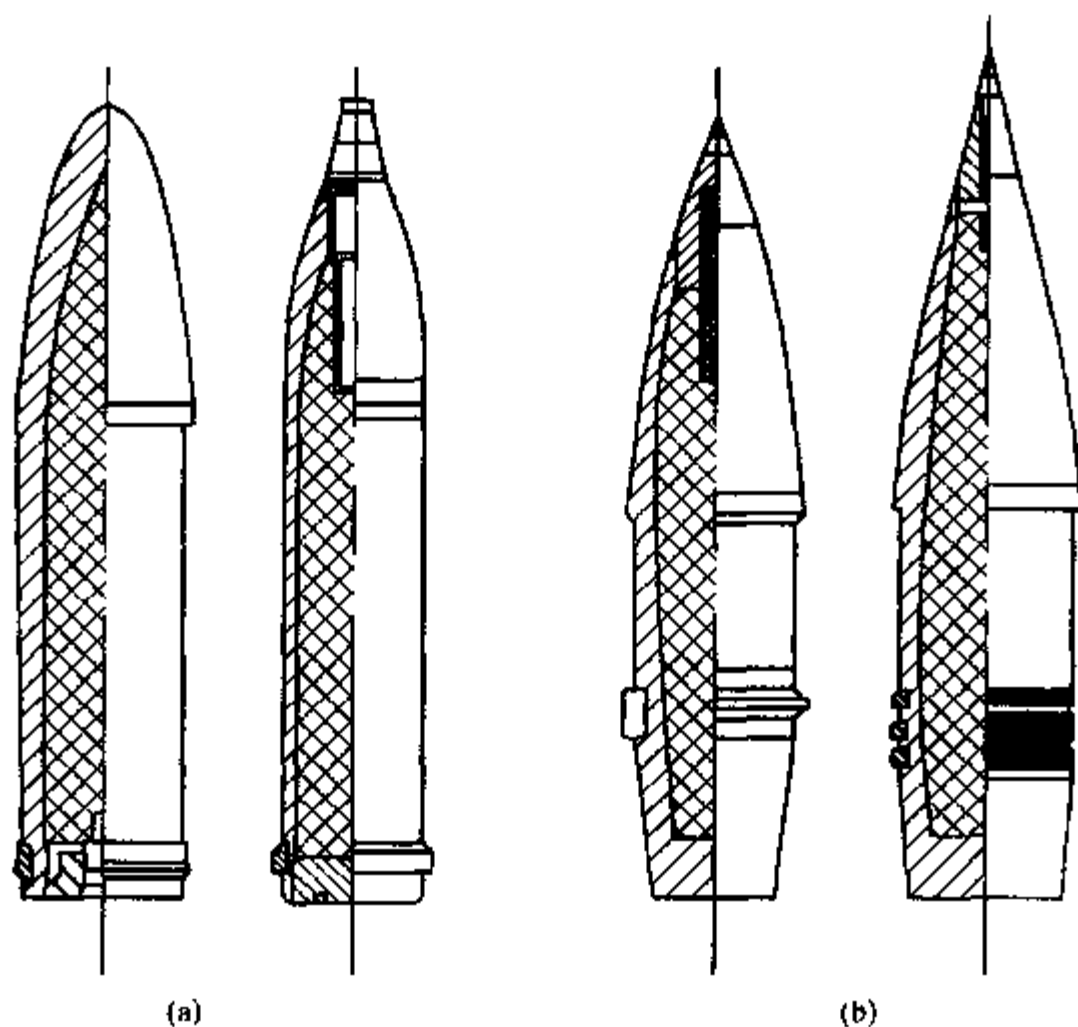


图 3.17 爆破榴弹

(a) 近程爆破榴弹；(b) 远程爆破榴弹

为了装填炸药的方便，弹体结构有头螺式、底螺式和整体式三种类型。对于头螺式爆破榴弹，必须注意保证碰击强度。对于底螺式爆破榴弹，必须注意密封，绝对保证发射时的安全。爆破榴弹的弹体材料，一般均采用合金钢并进行热处理。

配用于爆破榴弹上的引信，一般具有两种或三种装定。只有当爆破弹代替杀伤弹使用时，才用瞬时装定。弹底引信多在大口径榴弹上使用，有时为了保证大口径爆破榴弹的完全爆炸和不失效，同时采用弹头和弹底两种引信。

为了提高爆破榴弹的威力，增加弹丸质量是有效的，但对旋转稳定弹丸来说，则要受到



飞行稳定性的限制。虽然尾翼稳定不受此限制，但弹丸的射击精度将会下降。

由于爆破榴弹要直接命中目标才能有效地发挥其威力，因此要求其密集度较高。对大口径爆破榴弹来说，要求其 $E_x/X = 1/250 \sim 1/300$ 。目前，在国内外的地面榴弹中，单纯的爆破榴弹已不多见，一般都具有杀伤和爆破两种作用。

(2) 杀伤榴弹

杀伤榴弹主要用来杀伤暴露的和轻型掩体内的有生力量及器材，也用来在布雷区和铁丝网区开辟道路，以及破坏轻型野战工事，必要时也可对坦克、步兵战车等目标进行射击。

杀伤和破坏这类目标，主要依靠弹丸爆炸后形成的破片。使目标失去战斗力的破片通常称为杀伤破片。为了达到良好的杀伤效果，既要求杀伤破片多，又要杀伤面积大，因而在结构上杀伤榴弹的弹壁较厚。

由于杀伤榴弹不需要直接命中目标就可获得良好的杀伤效果，因而对杀伤榴弹的密集度要求可略低于爆破榴弹，即 $E_x/X = 1/120 \sim 1/190$ 。

一般杀伤榴弹均为钢质弹体，装填 TNT 或 B 炸药，配用瞬发、短延期和近炸引信。

如图 3.18 所示，是配用于 57 mm 反坦克炮的杀伤榴弹示意图。该炮虽已淘汰，但该弹在结构上有其特点。

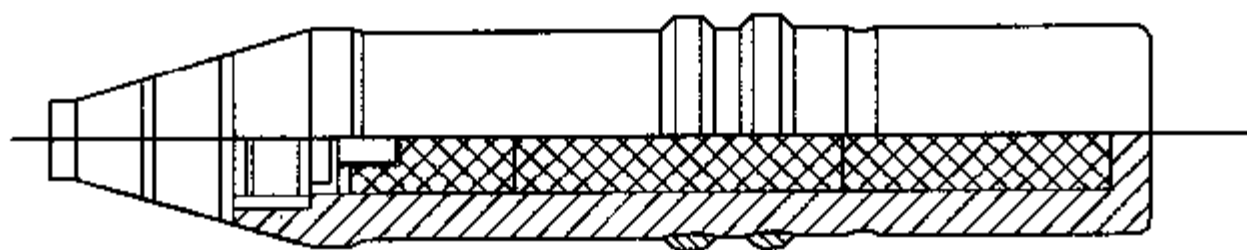


图 3.18 57 mm 杀伤榴弹

该弹在设计上的着眼点是杀伤威力。由于其射程要求不高，故该弹在外形上采用棒状，弹头部很短并呈截锥形，圆柱部和弹尾部较长（伸入药筒较长）；其内腔为直圆柱形。这种结构的弹壁较厚，弹丸质量也大，因此可提高杀伤威力。

由于该弹采用等壁厚弹体，且形状简单，加之采用柱形 TNT 块状装药，因而便于生产。

如图 3.19 所示是 85 mm 杀伤榴弹示意图。该弹的主要诸元见表 3-9。该弹在设计上综合考虑了射程及威力要求。

表 3-9 85 mm 杀伤榴弹主要诸元

弹丸质量/kg	9.54	初 速/(m·s ⁻¹)	793
最大射程/m	15 650	膛 压/Pa	2.55 × 10 ⁸
配用引信	榴-3		



(3) 杀伤爆破榴弹

杀伤爆破榴弹是介于上述两弹种之间的弹种，它同时具有杀伤和爆破两种作用。虽然从威力上看，这种弹的爆破作用不如同口径的爆破弹，杀伤作用不如同口径的杀伤弹，但是，它综合了两种作用，并具有简化生产和供应的优点，故已广泛配用于中口径以上的火炮上。

对于杀伤爆破榴弹来说，同时获得大的爆破效果和大的杀伤效果是不可能的，只能针对给定的口径和战斗任务保证其主要方面的实现。在一般情况下，小口径杀伤爆破榴弹是以杀伤作用为主，爆破作用为辅，而大口径杀伤爆破榴弹则是以爆破作用为主，杀伤作用为辅。

一般来说，杀伤爆破榴弹的弹体厚度比同口径的杀伤榴弹薄，比爆破榴弹厚；装药比同口径的杀伤榴弹多，比爆破榴弹少。其密集度要求为 $E_x/X=1/170\sim 1/200$ 。

杀伤爆破榴弹的弹体材料一般为钢质，装填 TNT 或 B 炸药。为了对付不同的目标，杀伤爆破榴弹一般配用具有瞬发、短延期和延期装定的弹头着发引信。

如图 3.20 所示是 122 mm 杀伤爆破榴弹示意图。该弹主要用于杀伤敌人的有生力量，破坏敌人的野战工事，压制敌人的炮兵，以及在雷区开辟道路等。该弹的主要诸元见表 3-10 所示。

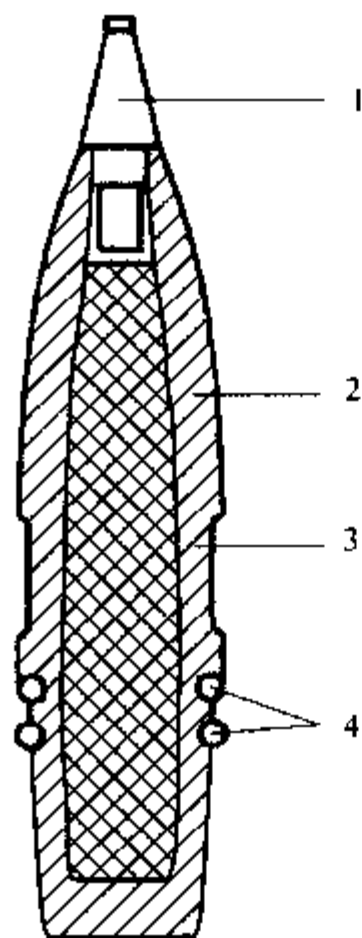


图 3.19 85 mm 杀伤榴弹

1—引信；2—炸药；3—弹体；4—弹带

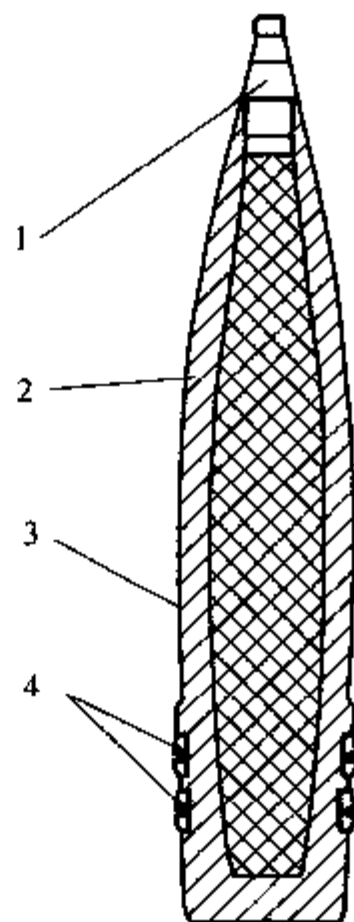


图 3.20 122 mm 杀伤爆破榴弹

1—引信；2—炸药；3—弹体；4—弹带



表 3-10 122 mm 杀伤爆破榴弹主要诸元

弹丸质量/kg	27.3	平均膛压/Pa	3.15×10^8
最大射程(全装药)/m	24 000	初 速(全装药)/(m·s ⁻¹)	885
最大射程(减装药)/m	20 310	初 速(减装药)/(m·s ⁻¹)	770 m/s

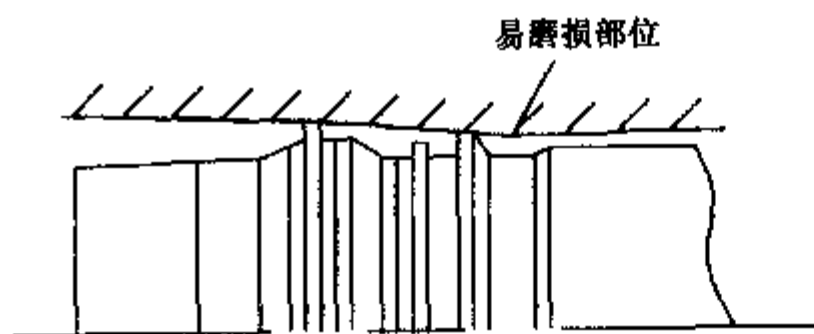


图 3.21 带有凸起部的两条弹带结构

确,致使药室容积增大,初速减小。带有凸起部的弹带则通过凸起与膛壁接触而定位,从而提高了火炮的寿命(如图 3.21)。

如图 3.22 所示是 100 mm 滑膛炮杀伤爆破榴弹示意图,该弹的主要诸元见表 3-11。

表 3-11 100 mm 滑膛炮杀伤爆破榴弹主要诸元

弹丸质量/kg	15	初 速/(m·s ⁻¹)	900
最大射程/m	15 000	平均膛压/Pa	3×10^8

由于该弹配用于滑膛炮,故只能采用尾翼稳定方式。该弹采用了气缸式张开尾翼结构。尾翼在膛内是收拢的,出炮口以后在气室内的火药气体压力下,推动活塞使尾翼张开。活塞上有两个小孔,膛内火药气体经这两个小气孔进入气室。活塞后部装有曳光管,用以观察弹道。尾翼上铣有单面斜角,供弹丸在弹道上产生低速旋转,以改善其密集度。

这种尾翼结构的优点是翼片张开迅速,同时性好,但其结构比较复杂,尾翼张开时有较大的冲击力。为了密闭火药气体,该弹在弹底处配有弹带。

4. 高射榴弹

高射榴弹主要用于毁伤敌方的飞机、导弹等空

为了减小空气阻力,该弹的弹头部母线采用了抛物线形,其头部高度约为 $3.2d$ 。

该弹采用了两条弹带,以保证满足强度要求。此外,在后面的弹带上尚有一凸起部。采用这种结构是为了提高火炮的寿命。一般弹带是通过前斜面与膛壁起始部接触进行定位的。而火炮膛线的起始部最容易被高温火药气体烧蚀,从而引起弹丸装填定位的不准

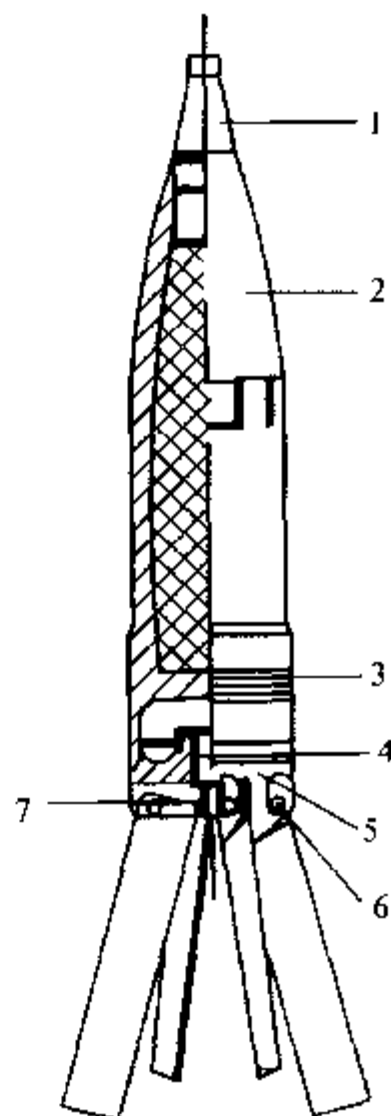


图 3.22 100 mm 杀伤爆破榴弹

1—引信;2—战斗部;3—弹带;4—活塞;
5—尾翼座;6—销轴;7—曳光管



中目标。这类目标的特点是飞行速度快。一般来说, 对这类目标进行射击, 小口径高射榴弹靠直接命中, 中、大口径高射榴弹靠弹丸破片。为了提高高射榴弹毁伤目标的机会, 常要求高射炮反应快、射速高、威力大, 这是因为目标飞过高射炮对空射界的时间很短, 只有提高射速才能在有限的时间内发射更多的炮弹, 以增加毁伤机会。此外, 还要求高射榴弹的初速高, 这是因为提高初速可以增加射高, 减小弹丸在空中的飞行时间。射高增加, 必然提高弹丸的射击范围。减小弹丸命中目标的飞行时间, 必然提高弹丸的直接命中率。一般来说, 对运动目标进行射击, 在瞄准时总应瞄准目标的前方, 即有一个提前量。弹丸速度低, 飞行时间长, 提前量也大, 命中目标的可能性就小。

(1) 37 mm 高射榴弹

一般高射榴弹的引信都有自炸机构, 以免落在自己的阵地上造成伤亡。图 3-23 所示是 37 mm 高射榴弹, 该弹的主要诸元见表 3-12。

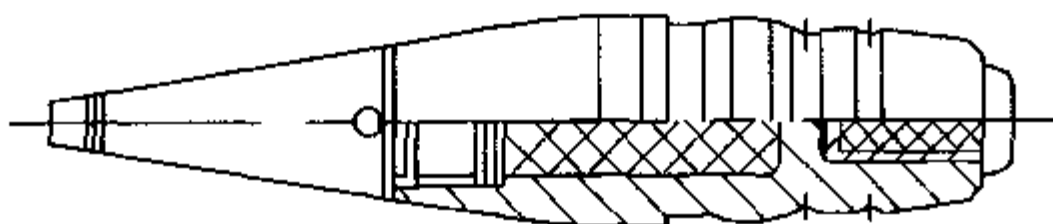


图 3.23 37 mm 高射榴弹

表 3-12 37 mm 高射榴弹主要诸元

弹丸质量/kg	0.732	初 速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	866
炸药质量/kg	0.036	有效射高/m	3 000
最大射高/m	6 700	平均膛压/MPa	$\leq 2.8 \times 10^8$
曳光时间/s	6		

为了保证弹丸与药筒结合后不松动, 该弹在弹体上设有两条滚口槽, 其拔弹力大于 7 848 N。在一般情况下, 小口径弹丸的弹带均采用环形毛坯, 收压在弹带槽中。该弹带槽无燕尾, 是一个直槽。

该弹丸内装钝黑铝炸药, 其成分为: 80%钝化黑索今和 20%铝粉。这种炸药威力较大, 且有一定的燃烧作用。

(2) 100 mm 高射榴弹

如图 3.24 所示是 100 mm 高射榴弹, 该弹的主要诸元见表 3-13。



表 3-13 100 mm 高射榴弹主要诸元

弹丸质量/kg	15.6	初 速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	900
炸药质量/kg	1.23	平均膛压/MPa	3×10^8
最大射高/m	14 000	有效射高/m	12 000

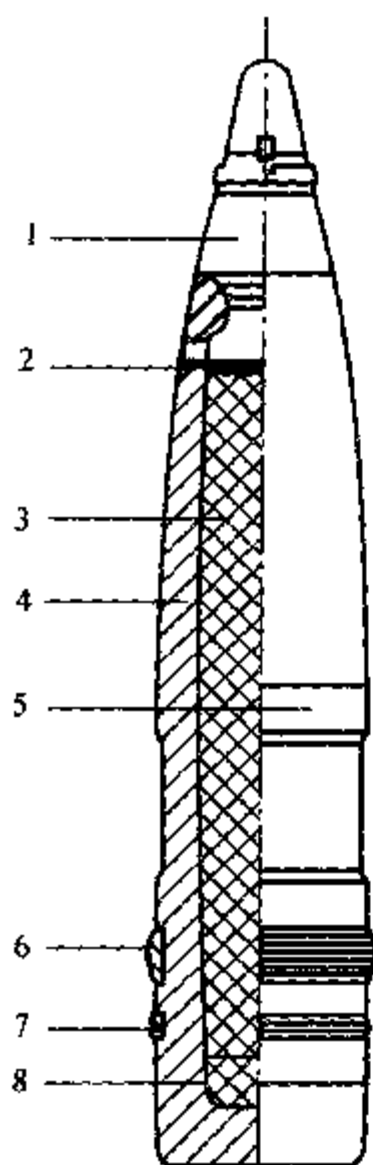


图 3.24 100 mm 高射榴弹

1—引信; 2—驻锁; 3—炸药; 4—弹体;
5—定心轴; 6—弹带; 7—支撑弹带;
8—烟火强化剂

100 mm 高射榴弹是利用时间引信在预定的空间爆炸, 产生大量的破片形成一个杀伤空域。在这个空域中的目标就将遭到毁伤, 这种方式增加了命中目标的机会。该弹在炸药底部装有烟火强化剂, 其目的是便于观察炸点。

由于 100 mm 高射炮的初速大、膛压高, 所以火炮的寿命问题较为严重。为了提高火炮寿命, 在弹带上同样采用了凸起结构。但是, 这个凸起不是放在后面, 而是设置在前面的弹带上。这是考虑弹体与药筒连接上的需要而确定的 (如图 3.25)。

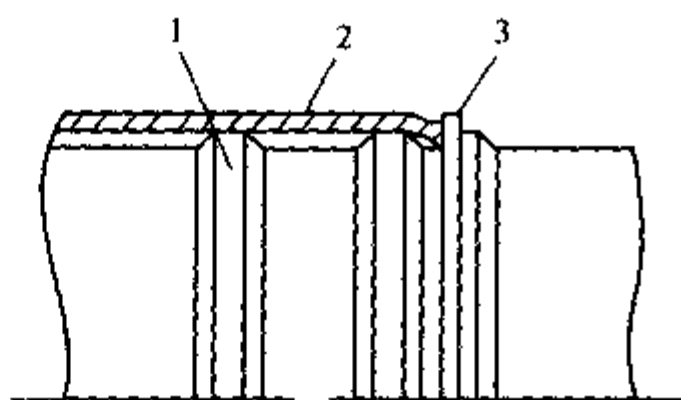


图 3.25 凸起弹带结构的作用

1—支撑弹带; 2—药筒; 3—凸起部

该弹是利用破片来毁伤空中目标的, 因为毁伤飞机等所需要的破片动能要比杀伤人员大得多 (一般需要 $980 \sim 1\,962 \text{ J}$), 因而弹丸的壁厚较大, 以使破片质量增加。



3.3 远射程榴弹

3.3.1 概述

现代高技术条件下作战的特点之一是实现对目标的远程精确打击和高效毁伤,装备远程弹药就可以获得战场的火力优势。因此,提高弹药射程一直是弹药技术中的主要要求之一。

从 20 世纪 60 年代起,国外中、大口径火炮弹丸的最大射程提高很快。从西方国家配备于师级 155 mm 榴弹炮弹丸的射程看,在 20 世纪 30 年代到 50 年代一直保持在 15 km 以下的水平,到 20 世纪 60 年代提高到接近 20 km,到了 20 世纪 70 年代接近甚至超过了 30 km。目前,有些弹丸的射程已达到 70 km。综合国内外的增程方法,炮弹增程的途径可概括为三大方面:一是从发射平台考虑增大射程,即所谓武器法,实质上是提高初速;二是从弹上考虑,即外弹道法,实质上为减阻法和增速法;三是复合增程法,即各种增程方法的综合应用。以身管长 52 倍口径的 155 mm 火炮为例,采用目前的发射药,各种技术的增程效果明显不一样,可能达到的最大射程:弹形减阻为 30~35 km;底部排气增程或火箭增程均为 40~45 km;底部排气/火箭发动机复合增程为 45~50 km;冲压发动机增程为 50~70 km。

1. 提高初速法

提高初速法的技术又可分为三种:改善现有发射技术的性能;随行装药技术、液体发射药技术和冲压增速技术;新型发射技术。

改善现有发射技术的性能,主要从改进火药的性能、改变装药结构和改变火炮参数三方面入手,而通过改变火炮参数来实现增程目的的方法主要有提高膛压、加长身管和扩大药室容积。高膛压火炮推进技术,主要是通过增加火药装填密度,将火炮膛压由原来通常在 200~300 MPa 增加到 400~700 MPa,以达到增加弹丸初速的目的;火炮身管加长,可以使弹丸在膛内运动时间增加,火药气体压力作用时间加长,因此可以使得初速提高。例如,155 mm 榴弹炮采取了该措施后,使弹丸的初速由原来的 600 m/s 左右提高到 800 m/s 以上,甚至达到 910 m/s。

随行装药技术、液体发射药技术和冲压增速技术是运用三种不同原理来提高弹丸初速的推进技术。随行装药技术是在弹丸底部携带一定量的火药,并使之随弹丸一起运动,其作用原理是随行装药在弹丸运动过程中始终在弹底燃烧,从而在弹底部形成一个较高的、近似恒定的压力,推动弹丸向前加速运动;液体发射药推进技术,是一种利用液体燃料为能源,通过将液体发射药从储箱直接打入药室,进行燃烧反应产生高温、高压气体推进弹丸加速运动;冲压增速技术,是在炮弹上安装冲压喷气发动机,直接燃烧喷气推动弹丸高速运动。



新型发射技术, 包括电磁推进、电热推进和电热化学推进三种。电磁推进技术, 是把电能通过某种方式转换为电磁能, 以洛伦兹力将弹丸从膛内加速发射出去, 使弹丸获得超高速; 电热推进技术, 是利用电能作为全部或部分能源, 通过电能加热工质产生等离子体而推进弹丸高速运动; 电热化学推进技术是利用电能转变为热能使推进剂燃烧, 产生高温、高压气体推动弹丸以获得高速度。

2. 外弹道法

外弹道法, 也即增速减阻法, 主要分为三种技术: 改变弹丸结构减阻、外部加能加质减阻和滑翔增程。

改变弹丸结构减阻的方法, 主要包括弹形减阻, 如减小波阻、底阻和摩阻等, 其具体方法如图 3.26 所示; 姿态减阻, 如减小初始扰动、动力平衡角等; 减小阻力加速度, 如通过采用次口径的方法实现; 空心弹减阻。

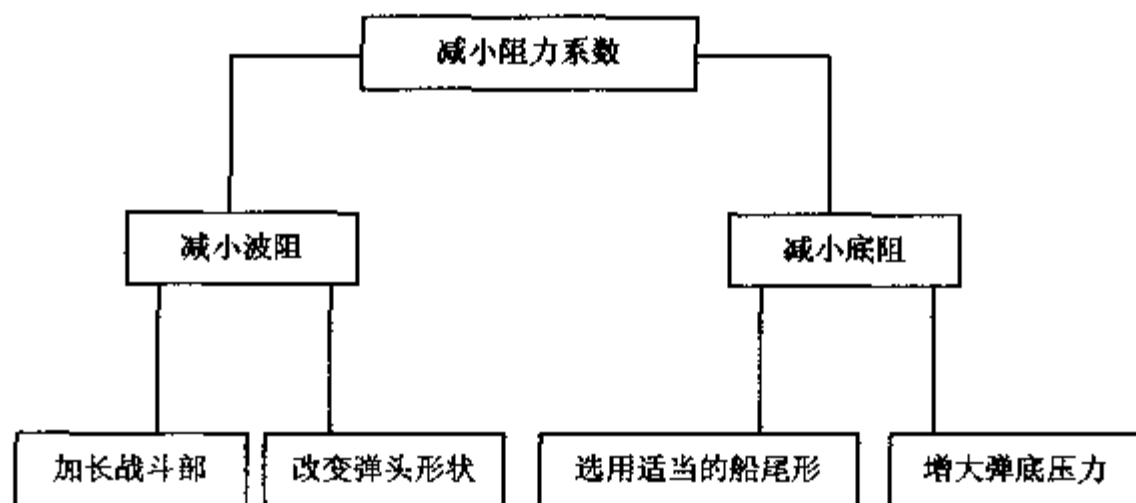


图 3.26 减小阻力系数的方法

外部加能加质减阻包括火箭增程、冲压增程和底排增程等方法。所谓火箭增程, 是在弹丸上加装一个火箭发动机, 该火箭发动机在弹丸飞出炮口后一定距离上点燃, 从而在弹道上产生推力, 增加射程, 这种弹药称为火箭增程弹; 所谓冲压增程, 是在弹丸上安装冲压喷气发动机, 通过高速迎面气流冲入进气扩压器后受压, 流入燃烧室与燃油混合进行等压燃烧, 生成高温燃气, 经喷管加速喷出, 从而推动弹丸加速运动; 所谓底排增程, 是通过在弹丸上安装底部排气装置, 使弹丸在飞行中能产生燃气, 以提高底压, 减小底阻, 增加射程。

滑翔增程, 实质上是通过增大弹丸升力来实现增程的。根据弹丸的空气动力特性和滑翔飞行的弹道特性, 在弹丸飞行到某一有利于滑翔飞行状态时, 通过控制俯仰控制舵偏转, 使其按所需要的攻角飞行, 从而产生一个确定的向上升力, 且该升力克服弹丸自身重力对其飞行轨迹的不利影响, 理想的结果是使弹丸在运动过程中法向加速度趋近于零, 这样弹丸便能以较小的倾角沿纵向滑翔较大距离, 从而达到增加射程的目的。滑翔增程的主要优点在于对



弹丸的初速要求不高，即在一般的发射初速条件下，就可以达到远程炮弹的射程。滑翔增程弹的这一特点为解决武器系统设计中射程与机动性、射程与威力之间的矛盾创造了有利条件，因此该技术备受重视并表现出较良好的应用前景。

3. 复合增程

两种或两种以上增程技术共用于同一弹丸上，可以实现复合增程，可采用初速与弹形匹配、弹形与底排匹配、底排与火箭复合、空心与冲压复合等增程技术来达到炮弹增程的目的。

由于射程、威力和精度间的辩证统一关系，增加射程必须保证在该射程上能够达到满足战术使用的命中概率，也必须保证对预定目标具有足够的毁伤能力，否则射程的增加就失去了意义。实际上，伴随对提高射程技术的研究，必然也要对威力和精度的改善进行探讨。各种类型的子母弹，以及末敏、末制导炮弹，就是在这种情况下发展起来的。

3.3.2 底凹弹

底凹弹是指底部带有凹窝形结构的旋转稳定式炮弹，可用于杀伤爆破弹、子母弹和特种弹等。底凹与弹体可为一体，或用螺纹连接。这种弹是美国在 20 世纪 60 年代初最先开始研制的，它的出现受到了世界各国的普遍重视。底凹弹由于在弹丸底部采用底凹结构而得名。在底凹弹中，除了在弹丸底部采用底凹结构外，还常同时在底凹壁处对称开设数个对称导气孔（如图 3.27）。

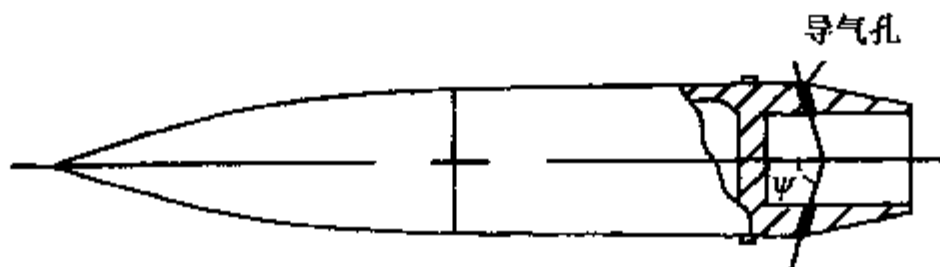


图 3.27 带有导气孔的底凹弹

为什么采用底凹结构后能够减小弹丸所受的空气阻力呢？在此，根据个别风洞试验结果作一概略说明。

首先，采用底凹结构后，弹丸所受的空气动力状况得到改善。由于弹丸在飞行过程中冲开空气而向前运动，从而造成了弹丸头部将承受比较大的压力。而在弹丸底部却由于惯性作用，弹丸向前运动后空气还来不及填充弹丸运动所造成的局部真空（或稀疏），从而使弹底所承受的空气压力降低。这种弹丸头部和底部压力之差，就构成了弹丸的底部阻力。采用底凹结构后，特别是采用带有对称导气孔的底凹结构后，使弹底部气流涡流强度减弱，局部真空区被空气填充，从而提高了弹底部的压强，致使底部阻力减小。



其次, 采用底凹结构后, 整个弹丸的质心前移, 压力中心后移, 弹丸的赤道转动惯量与极转动惯量比值减小, 使翻倒力矩也减小, 从而改善了弹丸的飞行稳定性和散布特性。

采用底凹结构, 除可以减小弹丸的阻力系数外, 还可以改善弹带处的弹壁受力状况,

这是因为弹带可以设置在弹体与底凹之间的隔板处。与普通榴弹相比, 这样做可使弹壁减薄, 弹丸增长, 既能增加炸药装药量, 提高弹丸的终点效应, 又可改善弹形, 提高射程。从结构上看, 弹体与底凹可以是一体的, 也可以是螺纹联结的。

目前, 在底凹的深度上, 有所谓“长底凹”和“短底凹”之分, 它们的数值大致为 $(0.2 \sim 0.9)d$ 。试验表明, 在亚音速和跨音速范围内, 底凹深度以取 $0.5d$ 为宜, 而在超音速范围内, 底凹深度与底压的关系不大。至于导气孔的设置, 其倾角 (见图 3.27) 以取 $60^\circ \sim 75^\circ$ 为宜, 相对通气面积 (即通气面积与弹丸横截面积之比) 以取 0.32 为宜。

试验表明, 单纯的底凹结构增程效果并不显著, 一般只能使射程提高百分之几。因而在进行

弹丸设计时, 常常采用综合措施, 例如在采用底凹结构的同时, 加大弹丸长径比, 并使弹头部改为流线型。如图 3.28 所示, 是美军 M470 式 155 mm 底凹弹与 M107 式 155 mm 普通榴弹的外形对比示意图。

由图可见, M470 式采用了底凹结构, 增大了弹丸的长径比, 头部更加尖锐。计算表明, 该弹以 43 年阻力定律为准的弹形系数 i_{43} 由原 M107 式的 0.95 降至 0.83。

3.3.3 枣核弹

枣核弹结构的最大特点是这种弹没有圆柱部, 整个弹体由约为 $4.8d$ 长的弧形部和约为 $1.4d$ 长的船尾部所组成。枣核弹的长径比较大, 一般都已超出 $5.5d$ 的限制。在结构上, 枣核弹一般均采用底凹结构。

目前的枣核弹有两种形式, 一种是全口径枣核弹, 另一种是减口径枣核弹, 它们的区分是从弹径与火炮口径的对比出发的。全口径枣核弹弹径的名义尺寸与火炮口径是相同的, 而减口径枣核弹的弹径尺寸却比火炮口径略小。由于弹径的这种区别, 在结构上也将有各自

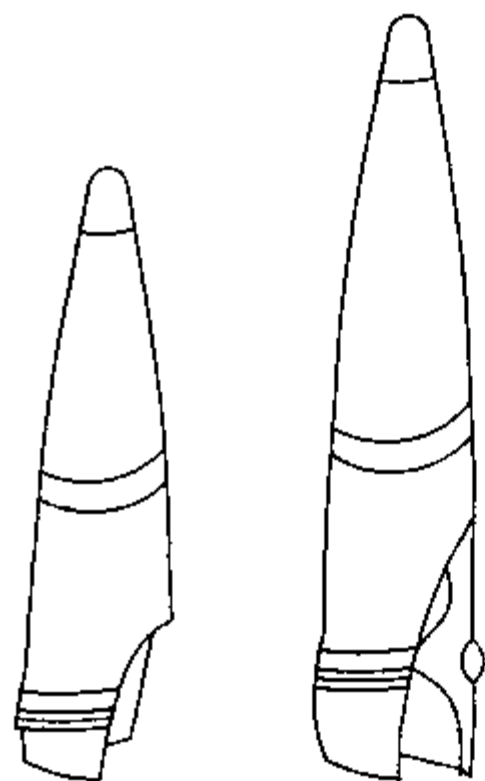


图 3.28 美军 M470 式 155 mm 底凹榴弹
与 M107 式 155 mm 普通榴弹



不同的特点。

全口径枣核弹是加拿大于 20 世纪 70 年代研制成功的。为了解决全口径枣核弹在膛内发射时的定心问题，他们在弹丸弧形部上安装了四个具有一定空气动力外形的定心块（如图 3.29）。在膛内，就是利用这四个定心块和位于弹丸最大直径处的弹带来完成定位使命的。

定心块的形状、安置角度和位置，在弹丸设计中是需要精心考虑的。除需要考虑良好的定心作用外，还应考虑到阻力小和对飞行稳定性有利。对定心块斜置角从 $0^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 的试验表明，随定心块斜置角的增大，弹丸所受的阻力也将有所增大。

从空气动力学角度看，在目前的各种榴弹中，枣核弹的阻力系数最小。计算表明，枣核弹的弹形系数 i 约在 0.7 左右。采用枣核弹结构，其射程可提高 20% 以上。如果采用可脱落的塑料弹带，其射程还可进一步提高。

但需指出，由于在弹带上安置了 4 个定心块，从而增加了弹体结构的复杂性，给加工带来了一定的难度。加拿大发展的 155 mm 全口径枣核弹的主要参数见表 3-14；美国发展的 155 mm 全口径枣核弹的气动外形参数见表 3-15。

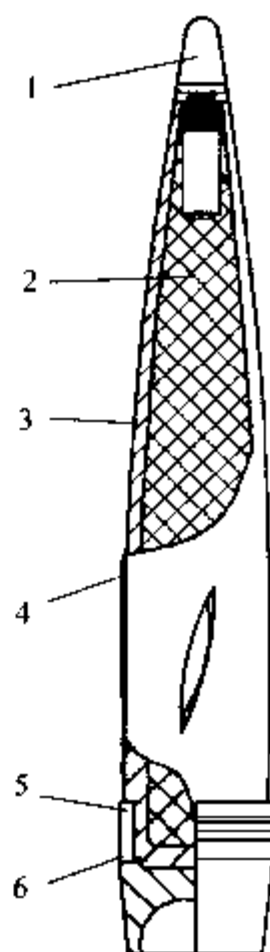


图 3.29 全口径枣核弹结构示意图

1—引信；2—炸药；3—弹体；
4—定心块；5—弹带；6—闭气环

表 3-14 加拿大 155 mm 全口径枣核弹主要诸元

弹丸质量/kg	45.58	弹丸长/mm	938
船尾部长/mm	114	船尾角/ $(^{\circ})$	6
弹体长（无引信）/mm	843	底凹深/mm	63
弹尾底部直径/mm	131	弹带直径/mm	157.76
炸药质量（B 炸药）/kg	8.6~8.8	弹带宽/mm	36.7
定心块倾斜角/ $(^{\circ})$	10.4		

表 3-15 美国 155 mm 全口径枣核弹主要诸元

弹径/mm	155 d	弹丸长	6.13 d
弹头部长	4.7 d	尾锥角/ $(^{\circ})$	6
弹头部曲率半径	25.3 d	底凹深	$(0.8 \sim 1) d$
船尾部长	1.5 d （或 0.7 d ）		



在全口径枣核弹基础上发展起来的减口径枣核弹，其射程还可进一步增加。图 3.30 所示即为这种弹的两种结构外形示意图。其中图 (a) 采用了塑料的可脱落弹带和前、后塑料定心环，为了可靠地密闭火药气体，它采用了内、外两个闭气环。而图 (b) 仍然采用了定心块结构。减口径枣核弹之所以使射程进一步增加，主要是因为弹形进一步得到改善。此外，在相同条件下，减口径枣核弹可以获得比全口径枣核弹略大的初速。

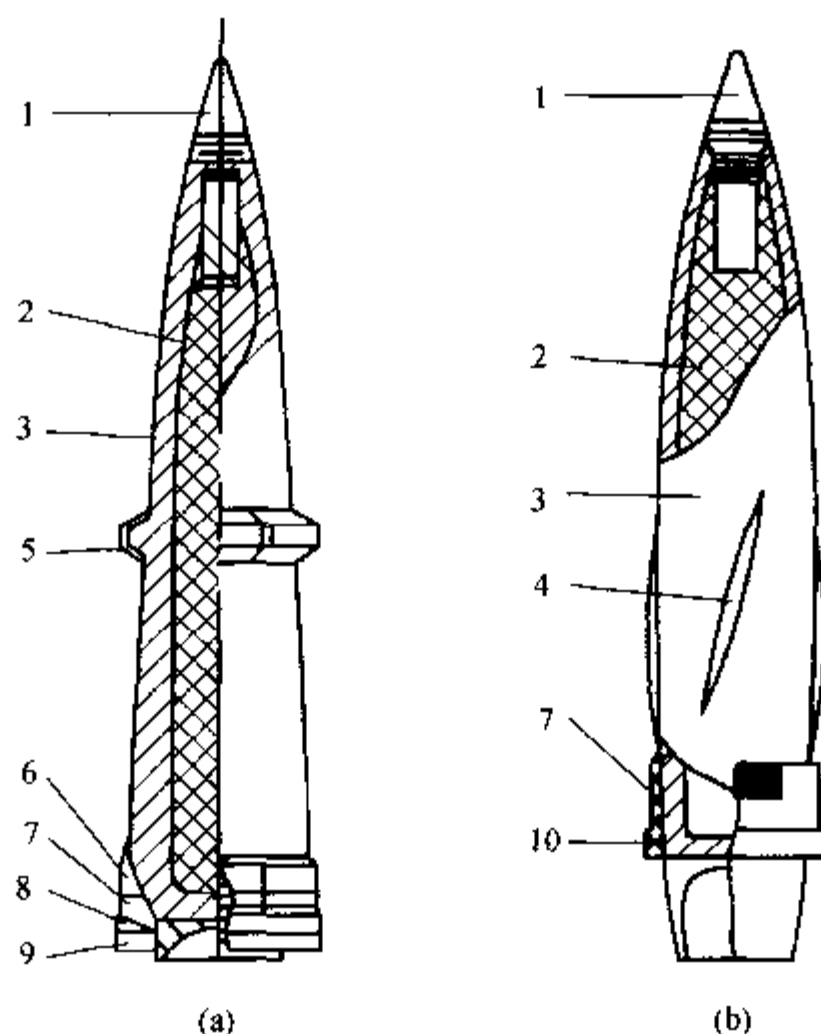


图 3.30 减口径枣核弹结构示意图

(a) 采用前后塑料定心环；(b) 采用定心块

1—引信；2—炸药；3—弹体；4—定心块；5—前定心环；6—后定心环；

7—弹带；8—内闭气环；9—外闭气环；10—闭气环

3.3.4 火箭增程弹

火箭增程弹是由一般弹丸加装火箭发动机并在身管火炮中发射出去，以达到增加射程目的的弹丸。这种弹丸，将火箭技术用在普通炮弹上，使弹丸在飞出炮口后，火箭发动机点火工作，赋予弹丸以新的推动力，从而增加速度，提高射程。

火箭增程弹由引信、弹体、装填物、火箭发动机组成。火箭发动机与弹体底部连接，它由发动机壳体、火箭推进剂、点火系统和喷管组成。火箭增程弹装入火炮，击发后，在火炮



发射药燃气压力推动下在膛内运动，同时点燃延期点火装置的点火药，弹丸以一定初速和射角飞出炮管，沿弹道飞行至延期药烧完。发动机点火，并开始工作，火箭增程弹开始加速，直至火箭推进剂烧完，火箭发动机停止工作。之后，火箭增程弹按惯性飞行至落点。原则上讲，火箭增程技术可以在各个弹种上使用，但由于各个弹种都有其各自的独特要求，加上采用火箭技术后会出现一些新的问题，因而使其在使用上受到一定的限制。

从结构特点上看，火箭增程弹不外乎有旋转稳定式火箭增程弹（如图 3.31）和张开尾翼式火箭增程弹（如图 3.32）两种形式。图中所示的结构，都以杀伤或杀伤爆破为目的。从这些图中可以看出，火箭装药可以采用单根管状药，也可以采用多根管状药；可以采用单喷管，也可以采用多喷管；可以采用前喷管，也可以采用后喷管。无论采用什么形式，都应保证火箭发动机部分作用可靠，使用安全。

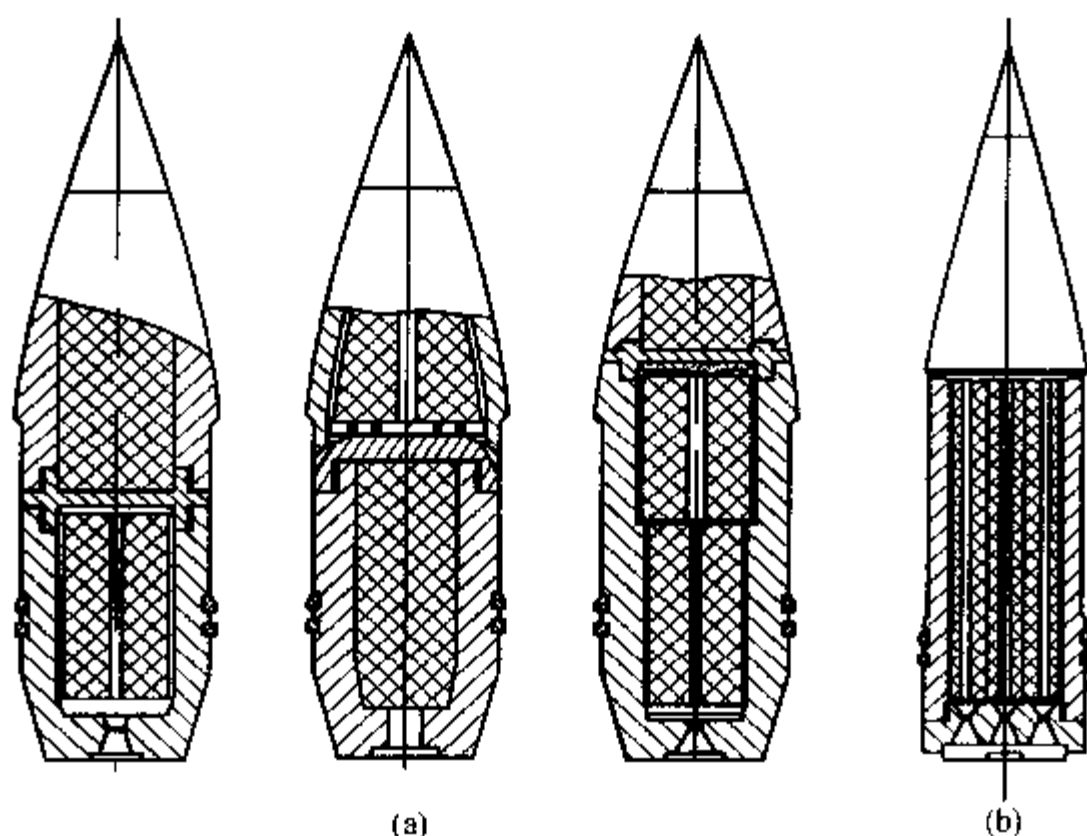


图 3.31 旋转稳定式火箭增程弹

(a) 单喷管结构；(b) 多喷管结构

对于火箭增程弹的研究，可以追溯到二次世界大战以前。后来，由于增程效果、射击精度、炸药量等方面的问题，曾经中断对火箭增程弹的研究。到了 20 世纪 60 年代，随着科学技术的发展，又恢复了对火箭增程弹的研究。为了解决威力问题，战斗部采用了高破片率钢和装填高能炸药（如 B 炸药）。为了提高增程效果，改进了弹形，采用了新的火箭装药，火箭发动机壳体采用了高强度钢，使增程效果达到 25%~30%。如图 3.33 所示，是美军装备的 M549 式 155 mm 火箭增程弹示意图。该弹采用了堆焊弹带、闭气环，以及短底凹等措施，可增程 30%。

在火箭增程弹设计中，火箭发动机的点火时间对射程的增加和射击精度均有影响。换



句话说，就是存在一个最有利点火时间的问题。总的来说，火箭增程弹虽然可以增程，但它的结构比较复杂，战斗部威力和射击精度都将下降，而且成本较高。

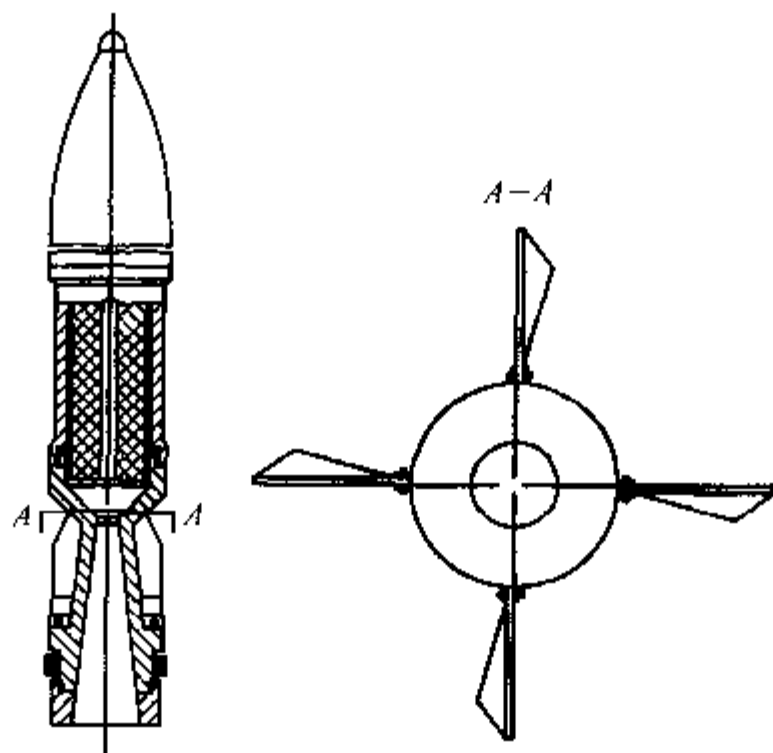


图 3.32 张开尾翼式火箭增程弹

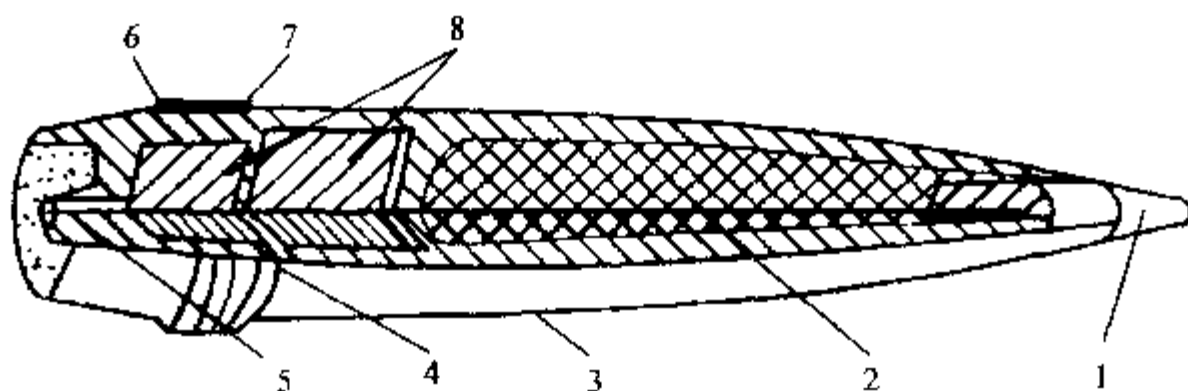


图 3.33 美 M549 式 155 mm 火箭增程弹

1—引信；2—炸药；3—弹体；4—点火具；5—喷管；6—闭气环；7—弹带；8—火箭装药

3.3.5 底排弹

底排弹全称为底部排气弹，指在弹丸尾部用螺纹连接一个底部排气装置（简称底排装置）所构成的炮弹。底排装置由底排装置壳体、底排药柱和点火具等组成。底排药柱可选用复合药剂或烟火药剂。底部排气弹减阻增程原理是：弹丸飞行时，弹底部形成低压区，产生底部阻力。排气装置向低压区排入质量与能量，提高底压，从而减小底阻。底部排气弹最大底阻减阻率约 75%以上，弹丸底阻与总阻的比值越高，排气弹道的减阻率越高，一般增加射程约 15%~30%。与其他增程法相比，底部排气弹具有低阻弹药特性，全弹道可分为底排工作段和惯性飞行段两部分，有较高的增程效率，提高了弹丸存速，增加了撞击能，或保持



存速则可减小初速，增加武器的机动性；具有结构简单、弹丸威力不降低等优点。关键技术是底排装置的发射安全和作用可靠、控制底排药柱点火和燃烧过程的一致性和稳定性等。

底排弹首先是瑞典于 20 世纪 60 年代中期开始研制的。在此之后，许多国家也积极研究和发展了这种弹丸（如图 3.34）。

与火箭增程弹不同，底排弹不是靠增加推力，而是靠减小弹丸所受的底部阻力来提高射程的。目前，底排弹已出现两种类型，一种是使用推进剂的底部排气弹，另一种是使用烟火药的底部排烟弹。对于小口径弹丸（如 7.62 mm 枪弹、20 mm 和 30 mm 炮弹），多采用底部排烟技术，而在大口径弹丸上多采用底部排气技术。在此，只概略介绍底部排气技术。

在采用底部排气技术以后，排出的气体将填充由于弹丸运动所造成的弹底稀疏区，从而提高该区的压力，减小弹头部与弹底部之间的压力差，使弹底阻力大大下降（图 3.35）。由于降低了弹丸在弹道上所受的空气阻力，因而射程增加。

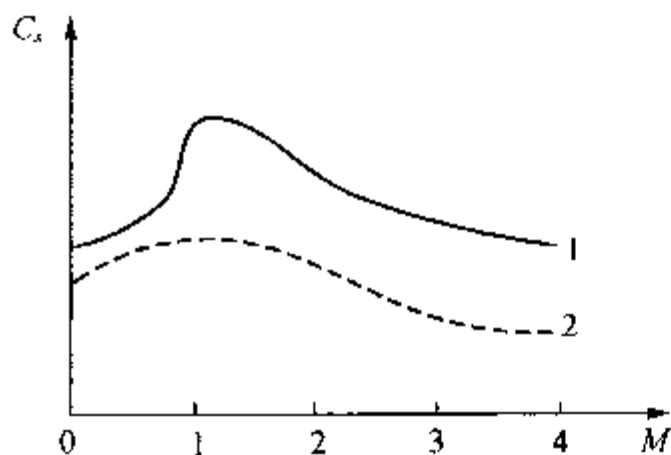


图 3.35 无底排与有底排情况下的阻力系数对比曲线
1—无底排；2—有底排

排气装置相比可增程 30%。

与火箭增程弹相比，底排弹有下列优点：

① 底部排气弹的结构比较简单，只需要在弹底的底凹内加装排气装置即可；

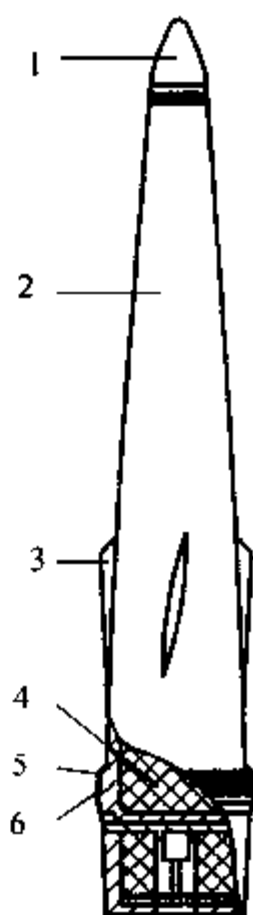


图 3.34 底排弹结构示意图

1—引信；2—弹体；3—定心块；
4—炸药；5—弹带；6—闭气环

瑞典发展的 105 mm 底部排气弹的弹丸质量为 18.5 kg（用铝制底排装置时外壳为 17.3 kg），排气装药柱质量为 0.33 kg（75%过氯酸胺和 25%端羧基丁二烯），药柱呈中空圆柱形，并分为两半（药柱长 57 mm，外径 76 mm，内径 25 mm），底螺盖上的喷气孔直径为 25 mm。喷气药柱的燃烧温度为 3 000℃左右，燃烧时间为 22 s，该弹可增程 25%~26%。

比利时发展的 155 mm 底部排气弹的质量为 46.7 kg，弹丸长为 950 mm，炸药装药量为 8.8 kg B 炸药，其最大射程达 39 km，与不加



② 底部排气弹可以基本上不减少弹丸的有效载荷(战斗部质量),因而不会使威力降低;

③ 底部排气弹由于空气阻力的减小,从而缩短了弹丸在空气中的飞行时间,这就使外界对弹丸运动的影响减小,使弹丸的散布情况得到改善;

④ 由于底部排气装置的燃烧室工作压力低,因而对装置壳体的要求低。实际上,可以利用原来的底凹弹加装排气装置来实现增程,而不必采用特殊的提高强度的措施,这在技术上容易实现。

因此,底排弹可以说是一种比较实用的、性能较好的远程榴弹。目前世界各国普遍采用底排与火箭复合技术来增程。由于炮弹射程增加总是伴随着其散布范围的增大,所以在远射程榴弹中普遍采用了弹道修正技术、制导技术来提高远程榴弹的射击精度。

3.4 枪 榴 弹

随着高科技武器不断应用于战场,未来战争将异常激烈,为此对步兵分队独立作战提出了更高的要求:步兵分队不仅要对付敌有生力量,更重要的是对付敌装甲目标;不仅需要有点杀伤武器,也要有面杀伤武器。因此,步兵武器逐渐在向步霰榴合一,点面杀伤一体化的方向发展。枪榴弹就是为了提高步兵武器作战效能,增强步兵分队独立作战能力,以便更有效地完成各种作战任务而发展起来的。

枪榴弹是由步枪或冲锋枪发射的弹药,通常由战斗部、子弹收集器和稳定装置等三大部分组成。枪榴弹的初速是靠火药气体的作用和子弹的动能得到的。射击前将枪榴弹装在枪管上,击发时子弹撞击收集器,并在火药气体作用下使其获得一定的初速。

枪榴弹通常作为非占编武器配备步兵使用,主要用于杀伤有生力量,毁伤坦克和其他装甲目标,或完成发烟、照明等特殊任务。早期,还有尾杆式枪榴弹和旋转式枪榴弹,现代枪榴弹一般都是尾翼式枪榴弹。尾翼式枪榴弹一般由弹体、装药、引信、尾管、尾翼等组成。弹体内装炸药或其他化学药剂,用于完成预定的作战任务;尾管用于承受推力并赋予枪榴弹一定的射向;尾翼用于保持枪榴弹稳定飞行。步枪枪管可兼做枪榴弹发射具。枪榴弹体积小、质量小、威力大、便携性好、操作容易、不占编,能使步枪做到点面结合、杀伤破甲一体化,提高了步枪独立作战能力,特别适用于山地、丛林作战和城市巷战。

枪榴弹的种类可按照战斗部的作用分为:破甲、杀伤(对有生目标或直升机)、照明、烟幕等枪榴弹。按照获得速度的方法可分为普通枪榴弹和火箭增程枪榴弹。

3.4.1 杀伤枪榴弹

杀伤枪榴弹是指带有杀伤战斗部,用于杀伤有生目标的枪榴弹。杀伤战斗部利用炸药的爆炸生成物使弹体破裂,靠破片杀伤有生目标或破坏武器装备。杀伤战斗部一般由引信、弹



体、炸药等组成。弹体广泛采用全预制或半预制破片，有效杀伤破片数 300~3 500 片以上。杀伤枪榴弹全弹质量 200~500 g，最大射程 600 m 左右，增程枪榴弹可达 1 000 m 左右，有效杀伤半径 5~25 m。杀伤枪榴弹能及时提供近程火力支援，填补迫击炮和手榴弹之间的火力空白，在山地、丛林作战中尤其有效。下面介绍几种杀伤枪榴弹的结构。

1. 35 mm 杀伤枪榴弹

35 mm 杀伤枪榴弹结构如图 3.36 所示。

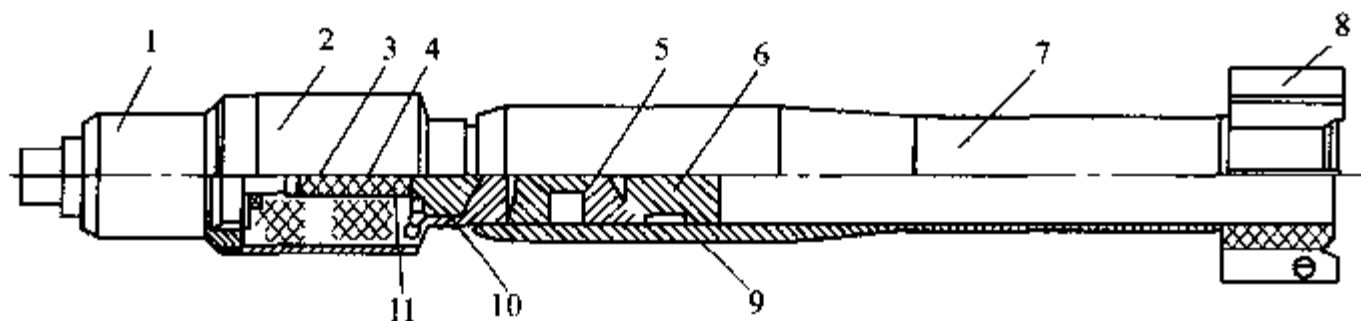


图 3.36 35 mm 杀伤枪榴弹

1—引信；2—弹体；3—扩爆管；4—炸药；5—缓冲器；
6—子弹收集器；7—尾管；8—尾翼；9—密封圈；10—尼龙塞；11—衬垫

战斗部直径为 35 mm，为防止破片形成时沿轴向的尺寸过长，内表面车制环形槽，构成半预制破片。在底部放有 3 mm 钢珠，增加了破片的数量。内部铸装 B 炸药。中间为扩爆管，内装扩爆药柱。扩爆管由泡沫塑料衬垫和尼龙塞支承。

尾管后部固定着塑料压制成的六片尾翼，飞行中起稳定作用。其中两片同时钻有直径为 3.5 mm 的小孔，用来安放瞄准用塑料标尺。

尾管中部装有子弹收集器。它由收集器、橡胶密封圈和缓冲器等三个零件组成。收集器为铝合金制成，射击时在子弹碰击下变形，并挤压缓冲器，使枪榴弹获得一定的速度，射击时子弹的旋转能量通过收集器、橡胶圈、缓冲器传递给尾管，从而可以改善射击精度。

该弹配用高灵敏度机械触发引信。在发射前取下引信上的运输保险销，射击后弹体离枪口 15 m 时引信解除保险。当碰击目标时，引信作用起爆扩爆管，进而使炸药爆炸。战斗部爆炸后大约生成 300 片破片，杀伤直径为 5 m。该枪榴弹的初速为 63 m/s 或 79 m/s（随射击时枪的种类不同而初速不同），最大射程为 300~400 m。全弹长约为 290 mm、全弹质量 0.385 kg。

2. 高射反直升机杀伤枪榴弹

该枪榴弹由战斗部（包括炸药、弹体、火帽、延期药及雷管）子弹收集器和尾翼三部分组成（如图 3.37）。塑料尾翼安装在尾管的后部。子弹收集器装在尾管之内。战斗部壳体用钢制成，内壁车有环形槽，爆炸时形成半预制破片。

该枪榴弹的特点是：没有引信，在战斗部内装有一个起爆系统，它是由冲击钢球、火



帽、延期药、火焰雷管组成。发射时，步枪（或冲锋枪）子弹冲击收集器。收集器挤压缓冲器，从而使冲击钢珠向前运动，击发火帽，点燃延期药，经 4 s 后，火焰雷管起爆，炸药爆炸，壳体在爆炸载荷下形成破片。冲击钢珠的直径稍大于螺塞中间的孔径，运输和勤务处理时，由于缓冲器不可能受到很大的冲击力或惯性力，钢珠不可能冲击火帽，因此是安全的。

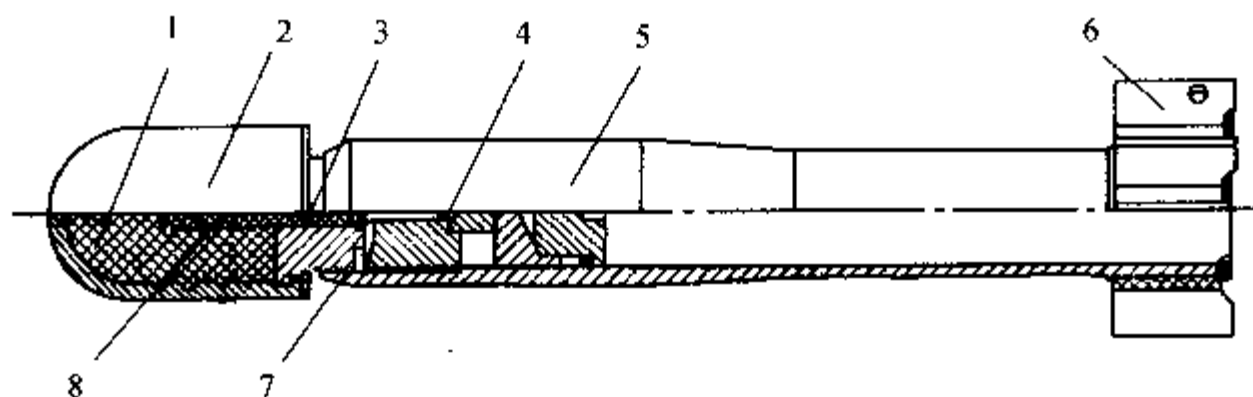


图 3.37 反直升机枪榴弹

1—炸药；2—弹体；3—延期药；4—冲击钢珠；5—尾管；6—尾翼；7—火帽；8—雷管

该弹战斗部口径为 35 mm，全长 240 mm，质量 0.335 kg。可用来对直升机射击。另外，由于没有引信，所以可用于丛林战争，杀伤敌有生力量，而不会碰击树枝时引起早炸。

3.4.2 破甲枪榴弹

破甲枪榴弹是指装有空心装药，用于反装甲的枪榴弹。破甲枪榴弹利用炸药的聚能效应使金属药型罩形成高温、高速金属射流将装甲击穿，并利用其后效作用杀伤乘员，破坏仪器设备。重型的破甲枪榴弹常用于反坦克，称为反坦克枪榴弹；轻型的破甲枪榴弹用于反战车，称为反装甲车枪榴弹。空心装药战斗部主要由引信、风帽、主装药、药型罩、壳体等组成。对破甲枪榴弹的主要要求是应具有足够的破甲能力，在大着角时战斗部能正常作用，引信有足够的瞬发度，并应带落地炸机构。反坦克枪榴弹全弹质量约为 800 g，直射距离 50~100 m，破甲深度 350 mm 左右；反装甲车枪榴弹全弹质量约为 200~400 g，直射距离约 150 m，破甲深度为 100 mm 左右。第二次世界大战前夕，欧洲最早研制出反坦克枪榴弹，在第二次世界大战中反坦克枪榴弹得到广泛应用。由于坦克防护能力不断增大，而反坦克枪榴弹威力的提高又受枪管强度和人体耐受力的限制，因而破甲枪榴弹的发展主要转向对付轻型装甲目标，如步兵战车、装甲输送车等。

40 mm 破甲枪榴弹是由战斗部、子弹收集器和稳定装置等三部分组成。聚能装药战斗部直径为 40 mm，它由机械触发引信、药型罩、主药柱、副药柱、主传爆管（如图 3.38）组成。

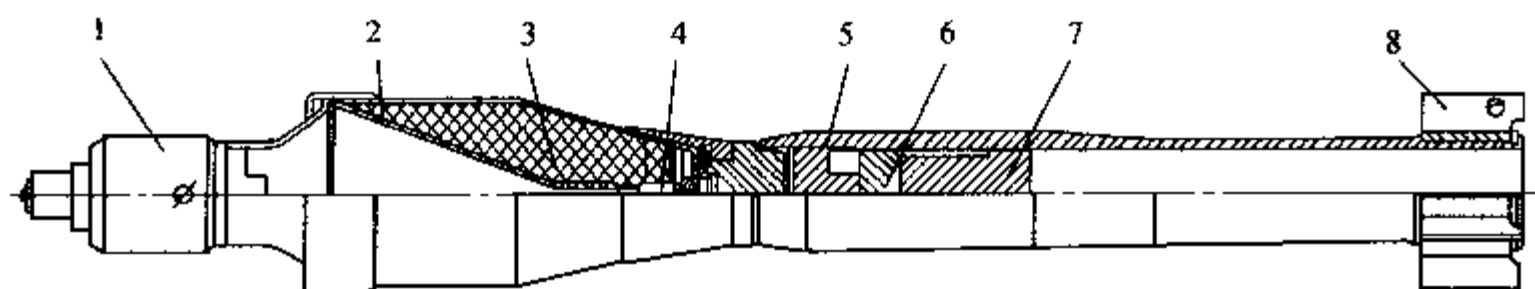


图 3.38 40 mm 破甲枪榴弹

1—引信; 2—药型罩; 3—炸药; 4—扩爆管; 5—尾管; 6—缓冲器; 7—子弹收集器; 8—尾翼

引信的结构如图 3.39 所示。射击前拔去运输安全销, 发射时锁定销因惯性力压缩弹簧向下运动, 当到达一定位置时, 开口弹簧钢丝将其固定, 使其出炮口后不能再向上运动和恢复到原来位置。

转子在扭簧的作用下旋转。该弹离炮口 15 m 时, 击针与火帽对正, 引信解除保险, 如图 3.39 所示。当枪榴弹碰击目标时, 引信头部的防滑帽使枪榴弹着角减小, 防止跳弹, 进而提高大着角发火的可靠性, 同时引信头与击针向后运动, 火帽因惯性向前运动, 使火帽击发, 火焰经斜孔使引信上的雷管起爆, 并使引信下部的传爆药和主药柱后面的扩爆管引爆, 炸药装药爆炸, 药型罩形成金属射流侵彻装甲。

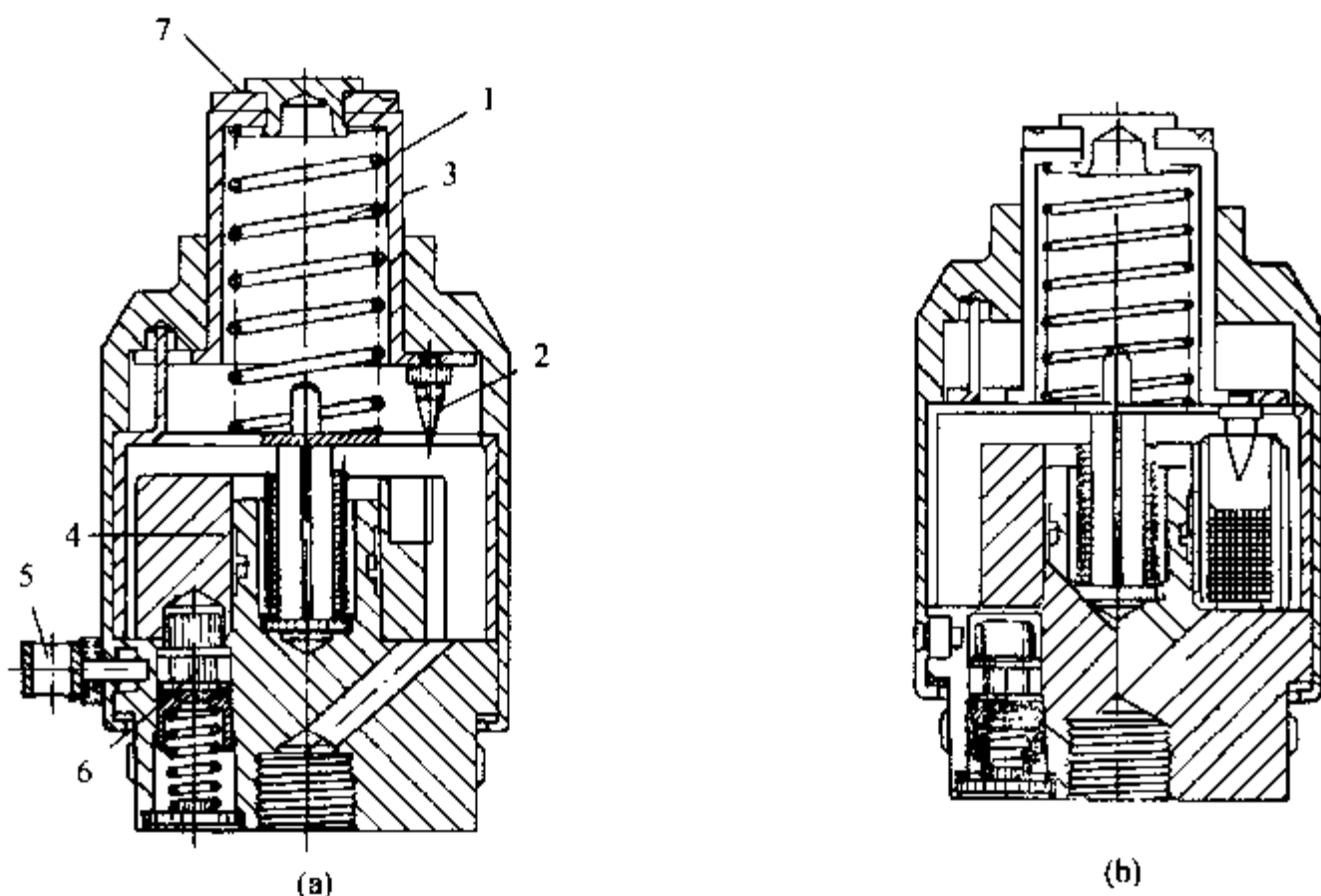


图 3.39 40 mm 破甲枪榴弹引信

(a) 平时状态; (b) 碰击目标时状态

1—引信头; 2—击针; 3—保险簧; 4—转子和扭簧; 5—运输安全销; 6—带有弹簧的锁定销; 7—防滑帽



该弹战斗部直径为 40 mm，全长 330 mm，质量 0.360 kg，可用 7.62 mm 或 5.56 mm 枪射击。可垂直穿透 100 mm 装甲钢板，引信可在着角为 70° 时发火作用。该弹有效射程为 150~200 m（用不同的枪发射时距离不同），最大射程为 300~400 m。

3.4.3 照明枪榴弹

该弹弹体为薄的铝管制成，内装吊伞、照明剂和抛射药，弹体与尾管用连接螺连接，中间装有火帽、延期药、点火黑药等。尾管后部装有尾翼，尾管中间装有子弹收集器和冲击钢珠（如图 3.40）。射击前将枪榴弹套在枪管上。击发后，子弹冲击收集器和缓冲器，并撞击钢珠击发火帽，点燃延期药。当弹丸飞行一定高度后，点燃点火药和抛射药；推动照明剂、降落伞和半圆瓦；打开前盖，使照明剂和降落伞抛出，其主要诸元见表 3-16。

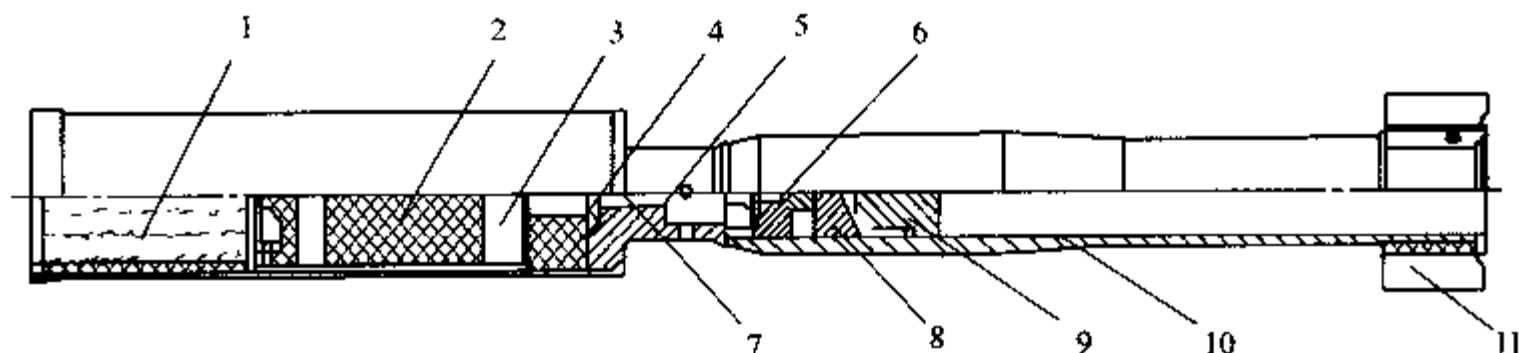


图 3.40 照明枪榴弹

1—吊伞；2—照明剂；3—抛射药；4—引燃药；5—火帽；6—冲击钢珠；
7—延期药；8—缓冲器；9—子弹收集器；10—尾管；11—尾翼

表 3-16 照明枪榴弹主要诸元

使用范围（距发射点）/m	300	照明强度/cd	61 140
弹 径/mm	40	照明时间/s	30~35
全 长/mm	370	质 量/kg	0.420

3.4.4 火箭增程杀伤枪榴弹

增程枪榴弹是指带有增程装置的枪榴弹。常用的有火箭增程和辅助药包增程两种方式。火箭增程枪榴弹一般是在弹体内加装一火箭发动机，用枪弹发射后，发动机点火药被点燃，发动机开始工作，推进剂燃烧产生高温高压气体经喷管喷出，形成与气流相反方向的推力，使枪榴弹加速。例如比利时 55 mm 火箭增程枪榴弹，发射时，枪弹弹头和火药燃气推动枪榴弹沿发射管运动，同时枪弹弹头进入子弹收集器，点燃发射药。火药燃气从子弹收集器的



4个排气孔喷出点燃火箭发动机,使枪榴弹初速由30 m/s增至105 m/s,最大射程达650 m。火箭增程技术不仅使射程增加,而且可使威力相对增大,后坐相对减小。辅助药包增程枪榴弹(如比利时58 mm AC-N反坦克枪榴弹)是在子弹收集器的周围装约1 g的发射药实现增程。发射时,枪弹弹头打入子弹收集器,引燃发射药,火药燃气使枪口压力提高,将枪榴弹速度增加5 m/s以上。两种增程方式相比,火箭增程枪榴弹的增程幅度较大,但射击精度稍差。

55 mm 火箭增程杀伤枪榴弹由战斗部、增程发动机和弹尾3部分组成,结构如图3.41所示,其主要诸元见表3-17。

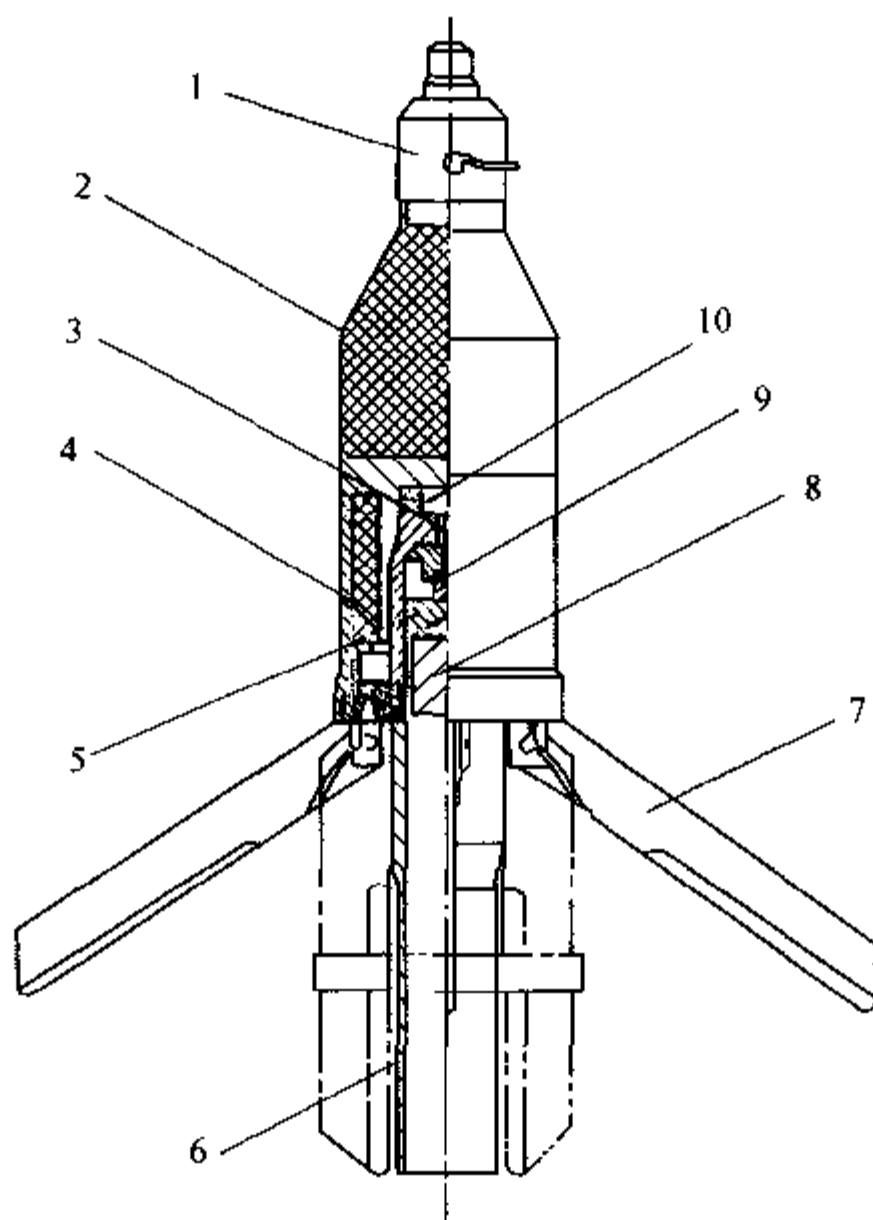


图 3.41 火箭增程杀伤枪榴弹

1—引信;2—炸药;3—火帽及延期药;4—火箭火药;5—缓冲器;
6—尾管;7—尾翼;8—子弹收集器;9—冲击钢珠;10—点火药

战斗部与增程发动机的直径都为55 mm。在战斗部壳体内表面制有环形槽,形成半预制破片。配用机械触发引信。增程发动机具有4个对称放置的小喷管,它们的位置与尾管上的4片尾翼错开45°。喷管的扩张段不是对称形状,使喷出的气流与弹的轴线具有一定的夹



角,防止喷出的高速气流直接喷在尾管上。火箭发射药为单孔管状药,内孔燃烧,外表面与两端面包覆,不燃烧。挡药板是一个薄圆环,它的外径与燃烧室内径相同,内径稍大于发射药的内径。挡药板放在支承环上,使燃气整流均匀后再流入喷管。尾翼为后张式超口径尾翼。平时用塑料套住,使其不张开,射击前去掉塑料环,使尾翼向前张开到位。尾翼前部和发动机中间装有子弹收集器、冲击钢珠、火帽等。射击前将尾翼套在枪管上,并拔出引信运输保险销。射击时子弹碰击收集器和缓冲器,冲击钢珠,从而击发火帽,点燃延期药。与此同时,枪榴弹获得一定初速,弹丸飞行一定距离后,引信解除保险。经一定时间,延期药点燃火箭火药,使火箭火药燃烧,枪榴弹速度增加。碰击目标时引信作用,起爆炸药装药。

表 3-17 55 mm 火箭增程杀伤枪榴弹主要诸元

口径/mm	55	最大速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	105
质量/kg	0.77	炸药铸装 B 炸药/kg	0.158
全长/mm	300	扇形靶密集杀伤半径/m	8
初速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	39	引信解除保险距离/m	25

3.5 榴弹的发展趋势

榴弹的发展趋势,依然以杀爆弹为例来分析。高新技术下的现代杀爆弹,已脱去了“钢铁+炸药”简单配置的“平民外衣”,正沿着现代弹药“远、准、狠”的方向发展。根据弹药的发展趋势和未来战争的需要,远程压制杀爆弹的发展趋势是:口径射程系列化、弹药品种多样化、无控弹药与精确弹药并存。

在提高射程方面,从中近程(20 km 左右)发展到超远程(大于 200 km)。中近程弹药采用减阻及装药改进技术;远程弹药采用火箭、底排-火箭、冲压发动机增程技术,超远程弹药采用火箭-滑翔、冲压发动机-滑翔、涡喷发动机-滑翔等复合增程等技术。

在提高精度方面,中近程弹药采用常规技术,远程弹药采用弹道修正、简易控制、末段制导等单项技术;超远程弹药采用简易控制、卫星定位+惯导、末段制导等多项复合技术。

在提高战斗部威力方面,针对不同的目标采用高效毁伤破片技术。

1. 先进增程技术

从发展现状、今后需求以及技术走向来分析,冲压发动机增程、滑翔增程、复合增程是远程压制杀爆弹药的主要增程技术。

采用冲压发动机增程技术后,中、大口径弹药的射程可以达到 70 km 以上,增程率达到 100%。可以说,冲压发动机增程炮弹是未来陆军低成本、远程压制杀爆弹药的主要弹种。

滑翔增程是受滑翔飞机及飞航式导弹飞行原理的启发而提出的一种弹药增程技术。目前



正在研究火箭推动与滑翔飞行相结合、射程大于 100 km 的火箭-滑翔复合增程杀爆弹药。其飞行阶段为弹道式飞行+无动力滑翔飞行：首先利用固体火箭发动机将弹丸送入顶点高度 2 万米以上的飞行弹道；弹丸到达弹道顶点后启动滑翔飞行控制系统，使弹丸进入无动力滑翔飞行。弹丸射程一般可达到 150 km 左右。

炮射巡航飞行式先进超远程弹药，与上面提及的火箭-滑翔复合增程弹药在工作原理上截然不同，其飞行阶段为弹道式飞行+高空巡航飞行+无动力滑翔飞行：首先用火炮将弹丸发射到 10 km 高空（弹道顶点）；然后启动动力装置使弹丸进入高空巡航飞行阶段，该阶段的飞行距离将大于 200 km 以上；动力装置工作结束后，弹丸进入无动力滑翔飞行。该技术可使弹丸射程大于 300 km。

根据动力装置的不同，上述先进超远程弹药又分为采用小型涡喷发动机的亚音速巡航飞行、采用冲压发动机的超音速巡航飞行两种巡航飞行模式。前者动力系统复杂、控制系统相对简单、可以采用火箭-滑翔复合增程弹的一些成熟技术，但是弹丸的突防能力低于后者。后者动力系统简单、控制系统相对复杂、突防能力强，是未来技术发展的主要方向。

2. 精确打击技术

随着杀爆弹射程的增大，弹丸落点的散布随之增大，从而使得毁伤效率下降。为了提高远程压制杀爆弹的射击精度，各国正借助日新月异的电子、信息、探测及控制技术，大力开展卫星定位、捷联惯导、末制导、微机电等技术的应用研究，提高远程压制杀爆弹药的精确打击能力。

与导弹相比，炮射压制弹药的特点是体积小、过载大，而且要求生产成本低，因此精确打击压制弹药的研制必须突破探测、制导及控制等元器件的小型化、低成本、抗高过载等关键技术。微机电系统具有低成本、抗高过载、高可靠、通用化和微型化的优势，正是弹药逐步向制导化、灵巧化发展所迫切需要的。也正是它的出现使得常规弹药与导弹的界线越来越模糊。

比如，微惯性器件和微惯性测量组合技术的发展，催生了新一代陀螺仪和加速度计，包括硅微机械加速度计、硅微机械陀螺、石英晶体微惯性仪表、微型光纤陀螺等。与传统的惯性仪表相比，微机械惯性仪表具有体积小、重量轻、成本低、能耗少、可靠性好、测量范围大、易于数字化和智能化等优点。

随着压制弹药射程的提高，对弹药命中精度的要求也愈来愈高，单靠一种技术措施已不能满足要求，需要开展多模式复合制导和修正技术的研究，并不断探索提高射击精度的新原理、新技术。

3. 高效毁伤技术

在远射程、高精度的作战要求下，必然导致战斗部有效载荷降低。为提高远程杀爆弹药的威力，必须加强战斗部总体技术和破片控制技术的研究，采用各种技术措施提高对目标的毁伤能力，归纳起来有提高破片侵彻能力、采用定向技术提高破片密度、采用含能新型破片



等几种方法。

含能破片是一种新型破片，具有很强的引燃、引爆战斗部的能力，能够高效毁伤导弹目标，因此受到高度重视。有三种类型的含能破片：本身采用活性材料，当战斗部爆炸或撞击目标时，材料被激活并释放内能，引燃、引爆战斗部；在破片内装填金属氧化物，战斗部爆炸时引燃金属氧化物，通过延时控制技术使其侵入战斗部内部并引爆炸药；在破片内装填炸药，并放置延时控制装置，破片在侵入目标战斗部后爆炸，并引爆目标战斗部。

第4章 穿甲弹

4.1 概 述

4.1.1 装甲目标和对反装甲弹药的要求

所谓装甲目标是指用装甲保护的武器装备目标，如坦克、装甲车辆、自行火炮、武装直升机和军舰等，而装甲则是指安装在军事装备或军用设施上的防护层，主要指的是安装在坦克、装甲车上的防护用的金属板。穿甲弹是一种依靠动能来摧毁装甲目标的重要弹种，有时也称为动能弹。

1. 目标分析

如前所述，最具代表性的装甲目标就是坦克，随着现代反坦克弹药性能的提高，世界各国都普遍加强了坦克的防护能力，间隔装甲、复合装甲、贫铀装甲、屏蔽装甲、反应装甲等技术被广泛采用，坦克已成为防护好、火力猛、高速、高机动性的移动堡垒。这样就对反装甲弹药的性能提出了更高的要求。坦克的操作和驾驶位于车体前部，传动部件在后部，因此坦克等装甲目标都采用非均等厚度。坦克的装甲结构如图 4.1 所示，通常，炮塔前装甲最厚，车体前装甲较厚，两侧和后部次之，顶部和底部最薄。为抵抗低伸弹道弹丸的进攻，装甲应

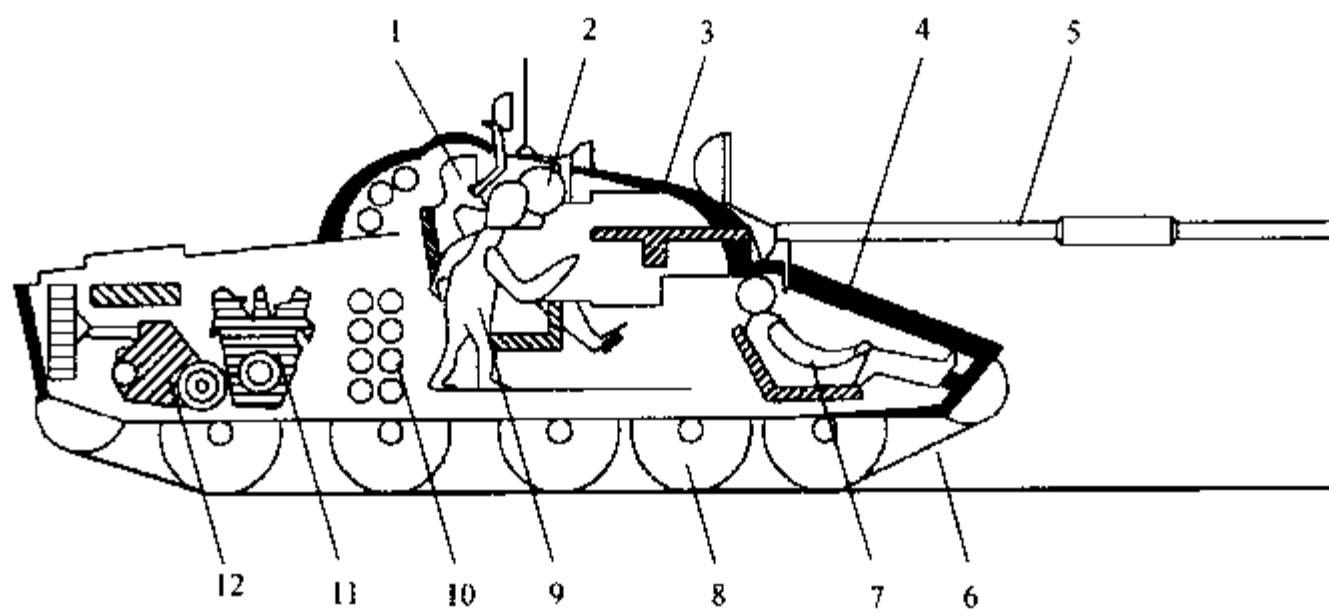


图 4.1 坦克装甲示意图

1—车长；2—炮长；3—炮塔；4—车体；5—火炮；6—履带；
7—驾驶员；8—负重轮；9—装填手；10—弹药；11—发动机；12—变速箱



相对于铅垂线倾斜布置,这样不仅可以增大装甲的水平厚度,还容易产生跳弹和使引信瞎火。随着装甲防护技术的发展,坦克的装甲防护层正在不断地采用新材料、新结构和新原理,目前普遍采用了多层间隔装甲、复合装甲、或披挂了反应装甲等防护措施,另外世界许多国家提出了某些新概念装甲,如电磁装甲、电热装甲和灵巧装甲等。

间隔装甲是指在车体或炮塔的主装甲之外,相隔一定距离,增加一层或多层附加钢甲。其作用是使破甲弹提前引爆、穿甲弹的弹芯遭到破坏并消耗弹丸的动能、改变弹丸的侵彻姿态和路径,提高防护能力。若附加装甲是相对独立的,也称为屏蔽装甲。屏蔽装甲可以做成固定式,也可做成安、取都较为方便的披挂式。在坦克上加装附板或裙板都属屏蔽装甲。

复合装甲是由两层或多层不同材料组合而成的装甲。就材质而言,金属材料除装甲钢外,还有铝合金、钛合金;非金属复合材料有高强度纤维、抗弹陶瓷等。复合装甲种类很多,按照所使用材料,可分为金属与金属的复合和金属与非金属的复合两大类。不同材质的装甲层以黏合或机械连接方法组合在一起,具备较好的综合防护能力,优于相等质量的单层钢装甲,然而装甲较厚、成本较高,常配置在战车中弹率较高的部位,例如车体前装甲和炮塔部位。位于伦敦西部萨利州乔巴姆镇的英国陆军军用车辆与工程研究院,1976年研制成功一种复合装甲,国际上称其为乔巴姆装甲(Chobham armour)。该装甲由钢板、非金属夹层(陶瓷等)和铝合金板复合而成,已用于“勇士”、“挑战者”等坦克。乔巴姆装甲的出现,激发了各国对复合装甲的研究。现代复合装甲已融合间隙和双板填加惰性材料的响应式装甲技术,构成新的组合装甲。

贫铀装甲也称铀合金装甲,是用低放射性铀 238 合金制成的装甲。具有塑性好、波阻抗大、密度大等特点,因此抗穿甲和抗破甲的综合效果好。美国在海湾战争中动用了 1 000 多辆装有重型贫铀装甲的 M1A1-HA 坦克,其抗弹防护系数达到 1.1,厚度系数达到 2。该坦克正面的防穿甲水平达到 600 mm 钢装甲。贫铀装甲的密度约为钢的 2.4 倍,强度和塑性好。反应装甲和响应装甲的结构层板使用这种材料时,可以大幅度提高抗穿甲和抗破甲能力。此外,碳化铀陶瓷装甲的抗弹能力已达到同等厚度铬刚玉陶瓷的 2.5 倍,用其制造复合装甲,可减薄装甲厚度。但贫铀装甲含有微量放射性物质,会给乘员带来一定危害。

反应装甲是依靠钝感炸药的爆炸效果干扰作用进行防护的装甲。第一代反应装甲在两层薄装甲钢板间装上相对安全的钝感装药。典型的反应装甲表面还带有一块厚度 2~3 mm 的引爆板,当射流引爆炸药时,驱使两层钢板高速向相反方向运动,干扰射流使其变形、降低破甲效果。钢板还具有防止意外撞击的作用,反应装甲的炸药不会被枪弹引燃、引爆,遇明火只燃不爆。以色列研制的 Blazer 装甲属于防普通破甲弹的第一代爆炸式反应装甲。为对付动能穿甲弹,须增加反应装甲的两层夹板的厚度,同时调整好炸药的冲击感度,确保只有一定撞击能量的大口径穿甲弹才能引爆反应装甲。具有上述两种功能的反应装甲为“双防”反应装甲。既能防破甲弹,也对穿甲弹有一定防护效果,俄罗斯已将这种反应装甲安装在



T-80Y 坦克的车体首上部位。为对付串联破甲战斗部的攻击,又研制成具有“三防”功能的双层反应装甲,用其第一层装药阻挡第一级战斗部,以第二层主装药对付串联战斗部的第二级战斗部。利用串联战斗部的第一级装药引爆预埋在反应装甲中的反击装置,提前击毁串联战斗部的第二级装药,是一种更新的“三防”式反应装甲。

电磁装甲是利用电磁原理进行防护的装甲。电磁装甲有自动激活电磁装甲和主动电磁装甲两种。自动激活电磁装甲由安装在主装甲外侧的、相隔一定距离的两块薄钢板和高压电容器组组成。一块薄钢板接地,另一块钢板与高压电容器组相连。当射流或弹芯经过两块薄钢板时,电容器放电,形成强大磁场,使弹丸金属导体产生交变洛伦兹力,造成弹杆偏转或断裂,使金属射流膨胀发散、断裂破坏,直径增大 5~10 倍,作用在单位面积上的侵彻能量急剧下降,从而避免主装甲被击穿。主动电磁装甲由探测器、处理器、蓄能器、转换器和发射器组成。探测器一旦探测到 100 m 距离上、速度为 1 600~2 000 m/s 的入射弹丸,计算机控制系统会接通电容器组,向电感发射器线圈输出强大脉冲电流。发射器是由两块保持一定间隔距离的金属板组成,金属板中弹后被“激活”,弹丸和射流偏转。

电热装甲是利用电热原理进行防护的装甲。电热装甲的组成与自动激活电磁装甲类似,区别在于主装甲前的两块薄金属板之间的间隔较小,且有一层绝缘材料。当射流或动能弹弹芯穿经两块薄金属板时,电容器会放电,使绝缘材料迅速受热膨胀,向两边推压薄金属板,干扰射流或弹芯。电热装甲和所有电装甲一样,需要高能量密度的高压电容器组作动力源。随着车用大功率发电机、整流器、变流器、大功率脉冲电流发生器和电能存储器技术的进步,一旦电容器组的能量密度达到 20 MJ/m^3 ,电装甲就有可能装车使用。

灵巧装甲的基本原理是把弹丸着靶产生的机械能快速转变为微动力装置的机械能。研究表明,通过在装甲内部嵌入微型动力装置控制拉应力,或者使灵巧装甲系统偏转一定角度,都可以改变弹丸的运动方向,从而保护基体装甲不被破坏。它的关键装置是传感器和微型动力装置,传感器要极其灵敏,可在数微秒内作出响应,并能精确测定弹丸着速和着靶时的撞击方向。微动力装置应具有高度灵敏性,尺寸小,可使用压电陶瓷材料、陶瓷电致伸缩材料、形状记忆合金等制造。

目前,国外主战坦克的主要性能如表 4-1 所示。

由上述分析可以看出,现代装甲目标具有如下的特性:

(1) 装甲坚

- ① 装甲厚度大,如前苏联 T80 坦克,前炮塔装甲厚度达 400~450 mm。
- ② 装甲机械性能好。一般多采用含铬、锰、镍、钼等元素的合金钢,抗拉强度高达 2 000 MPa,布氏硬度介于 2 450~5 450 MPa 之间。
- ③ 装甲结构多样,有乔巴姆装甲、复合装甲、间隔装甲、贫铀装甲、反应装甲、电磁装甲、电热装甲等。
- ④ 装甲具有大倾角。一般前装甲垂直倾角多在 $60^\circ \sim 65^\circ$,有的高达 $68^\circ \sim 70^\circ$ 。



(2) 火力强

现代坦克一般都装有一门 100~125 mm 火炮，一挺并列机枪和一挺高地两用机枪。

(3) 速度快

在公路上最高时速达 60~70 km/h；作战时，一般时速约 35 km/h。

(4) 越野性能好

一般可爬 30° 坡，超越 1 m 高的垂直墙和 2~3 m 宽的壕沟，能涉渡 1 m 深的河流，还能利用潜渡装置在 4~5 m 深的水中潜渡。

表 4-1 国外主战坦克的主要性能

性能 \ 车型	美国 M1A1	前苏联 T-80	法国 AMX 勒克莱尔	前西德 “豹” II
全重/ 1×10^3 kg	57.154	43	50~53	55.2
车体长/m	7.918	7.4	6.6	7.72
车宽(带裙板)/m	3.657	3.4	3.67	3.7
车高(至炮塔顶)/m	2.438	2.2	2.3	2.79
主炮类型	120 滑	125 滑	120 滑	120 滑
主炮弹药基数/发	40	40	35~41	42
穿甲弹初速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	1 650	1 800	1 750	1 650
发动机功率/kW	1 103	734	1 103	1 103
公路最大速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	66.77		70	72
装甲结构类型(车体/炮塔)	乔巴姆/乔巴姆	复合(前上)/均质	模块/模块	复合/间隙复合
装甲厚度/mm//水平倾角/(°)				
车体首上		200//22		
车体首下		100//30		
车体侧面		(60~80)//90		
炮塔正面		(400~450)//0		

(5) 装甲目标的攻击弱点

装甲目标的攻击弱点主要有：内部空间小，且在不大的体积内装有大量的易燃易爆物。这样的空间结构一旦被击中，很容易发生燃烧和爆炸；受容积限制，携带的弹药较少；顶甲和底甲的防护较弱；不便于观察和与外界联系。



2. 对反装甲弹药的要求和反装甲弹药的分类

(1) 对反装甲弹药的要求

根据装甲目标的上述特性，对反装甲弹药提出了以下要求：

① 威力大：这里所说的威力是指毁伤装甲目标的能力，由于各种反装甲弹药的作用原理不同，因此对威力的具体要求也不同。反装甲弹药若能用以攻击目标的薄弱部分，如坦克的顶甲和侧甲，也就相对提高了弹丸的威力。

② 精度好：由于坦克等装甲目标体积小、速度快，又必须直接命中目标才能奏效，因此对反装甲弹药的射击精度要求很高。

③ 有效射击距离大：所谓有效射击距离主要是指能保证必要的命中概率和对目标毁伤效力的射击距离。为保证必要的命中概率，除弹药的散布精度要好以外，还可采用低伸弹道，并尽量减小飞行时间。

(2) 反装甲弹药的分类

① 按作用原理分：

穿甲弹——主要依靠弹丸碰目标时的动能贯穿装甲、击毁目标。

破甲弹——主要利用成型装药聚能爆轰原理在装药爆炸时驱动金属药型罩形成金属射流贯穿装甲、击毁目标。当采用大锥角罩、球缺罩及双曲形罩等聚能装药时，也可形成爆炸成型弹丸来对目标进行毁伤，其实质为成型装药技术的特殊情况。

碎甲弹——主要利用堆积在装甲表面的炸药爆炸的能量使装甲另一面崩落、产生碎片以击毁目标。

② 按作用能源分：

动能弹——利用弹丸碰目标时的动能贯穿装甲的弹药，如各种穿甲弹。

化学能弹——利用弹丸装药爆炸释放的能量以破坏装甲的弹药，如破甲弹和碎甲弹。

4.1.2 穿甲弹的发展

穿甲弹是依靠自身的动能来穿透并毁伤装甲目标的弹药，其特点为初速高，直射距离大，射击精度高，是坦克炮和反坦克炮的主要弹种，也配用于舰炮、海岸炮、高射炮和航空机关炮。用于毁伤坦克、自行火炮、装甲车辆、舰艇、飞机等装甲目标，也可用于破坏坚固防御工事。穿甲弹在穿甲作用过程中，弹丸会发生镦粗、破断和侵蚀等变形和破坏，当装甲被穿透后，穿甲弹利用弹丸的爆炸作用，或弹丸残体及弹、板破片的直接撞击作用，或由其引燃、引爆产生的二次效应，杀伤目标内的有生力量和各种设备。

穿甲弹是在与装甲目标的斗争中发展的。穿甲弹出现于19世纪60年代，最初主要用来对付覆有装甲的工事和舰艇。第一次世界大战出现坦克以后，穿甲弹在与坦克的斗争中得到迅速发展。普通穿甲弹采用高强度合金钢做弹体，头部采用不同的结构形状和不同的硬度分



布,对轻型装甲的毁伤有较好的效果。在第二次世界大战中出现了重型坦克,相应地研制出碳化钨弹芯的次口径超速穿甲弹和用于锥膛炮发射的可变形穿甲弹,由于减轻弹重,提高初速,增加了着靶比动能,提高了穿甲威力。20世纪60年代研制出了尾翼稳定超速脱壳穿甲弹,能获得很高的着靶比动能,穿甲威力得到大幅度提高。20世纪70年代后,这种弹采用密度为 18 g/cm^3 左右的钨合金和具有高密度、高强度、高韧性的贫铀合金做弹体,可击穿大倾角的装甲和复合装甲。随着科学技术的发展和穿甲理论的研究,精确制导技术用于穿甲弹,又出现了超高速动能导弹及X-杆式弹,能在2000 m以远遂行反装甲作战。

1. 穿甲弹发展中的几次飞跃

随着与装甲的“碰撞”,穿甲弹经历了适口径钢质实心弹体或装有炸药弹体的普通穿甲弹(AP)、具有次口径碳化钨弹芯的超速穿甲弹、旋转稳定脱壳穿甲弹(APDS)与尾翼稳定脱壳穿甲弹(APFSDS)等发展阶段。穿甲弹的穿甲能力主要取决于弹体结构、材料特性、着靶比动能以及着靶姿态。穿甲弹的发展与改进,主要是围绕这几个方面进行的。

(1) 采用钨、铀合金弹芯

侵彻机理研究表明,在穿甲弹芯长度一定的情况下,侵彻深度与靶板材料密度的平方根成反比,与弹芯材料密度的平方根成正比。穿甲弹最开始采用适口径钢质实心弹芯,侵彻效果不理想。随后人们发现,钨合金密度约 17.6 g/cm^3 、贫铀合金密度约 18.6 g/cm^3 ,均是钢密度的2.2倍以上,是更好的弹芯材料。其中,贫铀材料是提取核材料的副产品,性能和密度稍优于钨,使用它主要是为了合理利用资源。

(2) 采用“脱壳”方式

比动能是指着靶时作用在单位面积装甲上的动能,比动能越大则穿甲能力越强。而要大幅度增加穿甲弹的比动能,则应该设法提高其离开炮口时的初速,同时降低飞行时的空气阻力以减少速度损失。于是发明家想到一个“鱼与熊掌兼得”的高招——设法让穿甲弹飞行时的弹径远小于在膛内获得火药燃气推力时的弹径——于是出现了脱壳穿甲弹。脱壳穿甲弹在小直径高密度材料(如钨或铀合金)的飞行弹体外,包以一个低密度材料(如铝合金)制造的适口径弹托。这样,脱壳穿甲弹在膛内受燃气推动时,由于安装了弹托因此承受火药燃气推力的面积比较大,而弹丸质量比较小(约为普通穿甲弹的 $1/3$),可以提高初速;而出炮口后,高密度、小弹径穿甲弹芯很快与弹托分离(即脱壳)独自飞向目标,从而减小了阻力和速度损失,提高了到达终点时的比动能。因此,脱壳穿甲弹的穿甲能力是普通穿甲弹无法比拟的。

(3) 采用“尾翼稳定”方式

为了减小飞行阻力、改善着靶姿态,穿甲弹要有一个理想的飞行弹道和稳定的飞行姿态,以避免弹丸在空中出现翻跟头的现象。最先出现的是旋转稳定脱壳穿甲弹,受旋转稳定方式的限制,穿甲弹的飞行弹体(即弹芯)的长细比一般不超过 $5\sim6$,其应用受到局限。继而问世的是尾翼稳定脱壳穿甲弹(因穿甲弹芯为杆状,俗称杆式弹),它可以大大提高弹芯的长细比,脱壳后就像一支带尾翎的利箭。尾翼稳定脱壳穿甲弹的比动能远大于旋转稳定脱壳



穿甲弹，能有效地对付复合、间隙装甲目标，对均质装甲板的穿深可达 700 mm 以上，现被各国广泛应用。

现代的尾翼稳定脱壳穿甲弹采用高密度钨，钨合金材料的大长细比弹芯，是中大口徑火炮的主要反坦克弹种之一。小口径火炮上除了配有普通穿甲弹、旋转稳定脱壳穿甲弹之外，也逐渐配备了尾翼稳定脱壳穿甲弹。尾翼稳定脱壳穿甲弹具有相对较低的成本和良好的战场抗干扰特性，在未来战争中将占据重要地位。

2. 穿甲弹技术的发展

穿甲弹是在与装甲的对抗中发展起来的。从 20 世纪 60 年代至今，40 多年中的技术进步可归结为：

弹芯材料从低密度的钢发展为高密度的钨、贫铀合金，穿甲能力大幅提高，同时综合机械性能也满足了新一代高膛压火炮的强度要求；

弹芯结构经历了从整体钢结构，经钢包钨、铀芯（为满足发射强度），到整体锻造钨、铀合金结构，为了避免跳弹，并兼顾各种靶板的抗弹特性，除整体弹芯加断裂槽结构外，又出现了球头式、穿甲块式等多种头部结构。弹体的机械物理性能沿轴线及截面可以有不同的要求；

尾翼外径从同口径并承担膛内定心的大尾翼，发展到不起定心作用的小尾翼，材料也由钢改为铝合金，再加上对弹型的优化，使气动力性能大大改善，提高了终点比动能；

随着材料及工艺性能的提高，弹芯长细比不断加大，现已达到 30~40，可满足提高穿甲威力的要求；

发射穿甲弹的火炮的口径现以 105 mm、115 mm、120 mm、115 mm 为主，不久将出现 140 mm、145 mm 等更大口径的火炮；

由于初速的提高、新技术的应用，射弹密集度逐步提高，概率误差一般在 0.2 密位以内。

4.1.3 对穿甲弹的性能要求和穿甲作用

1. 穿甲弹的战术性能要求

一般来说，对于穿甲弹的战术性能要求常包括如下几个方面：

① 要求在一定的距离上穿透给定厚度、给定倾斜角的装甲，表示为均质靶板厚度/着角——有效穿透距离或多层靶板厚度/着角——有效穿透距离。

有效穿透距离是指穿透给定装甲的最大距离，也就是说，在有效穿透距离内，命中目标的动能穿甲弹均能穿透给定的装甲靶板；着角是指弹丸着靶时的

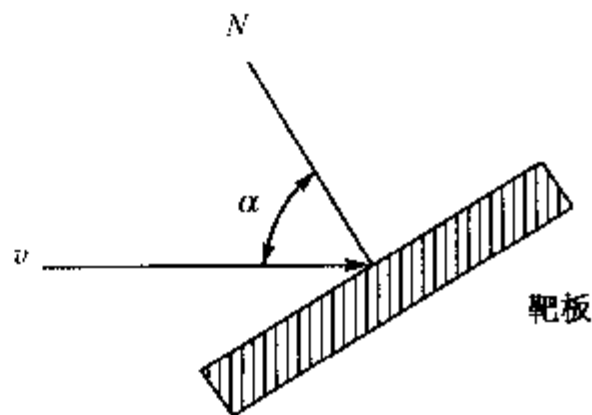


图 4.2 着角



速度矢量与靶板外法线之间的夹角 α (如图 4.2)。

② 要求一定的直射距离。所谓直射距离,是指限定最大弹道高的最大射程。根据坦克装甲车辆的实际情况,目前均以 2 m 作为最大弹道高限定值。这种限定的含义是,自运动目标进入直射距离起,火炮就可以在不改变射角的情况下使弹丸连续命中目标。

③ 要求一定的密集度。由于穿甲弹是以直接命中目标来完成战斗任务的,因而除要求有较高的瞄准精度外,对其射击密集度的要求较高,常用一定距离上的立靶精度来表示穿甲弹的射击精度,即用高低中间偏差 E_y 和方向中间偏差 E_x 来衡量穿甲弹的精度好坏。

2. 穿甲弹侵彻靶板的破坏形式

穿甲弹是靠弹丸的碰击作用穿透装甲,并利用残余弹体的动能、钢甲的破片或炸药的爆炸作用毁伤装甲后面的有生力量或器材。因此穿甲弹对装甲目标的整个作用过程包括侵彻作用、杀伤作用和爆破作用。下面主要叙述侵彻作用。

动能穿甲弹与目标的撞击过程是一个极为复杂的现象。从穿甲弹与目标撞击后的运动形式看,将有三种可能,即穿透、嵌埋和跳飞。穿透是指弹丸穿越了目标;嵌埋是指弹丸侵入目标后留在了目标内;跳飞是指弹丸既未穿透目标,又未嵌埋在目标内,而是被目标反弹出去了。从穿甲弹与目标撞击后的形状看亦有三种可能,即完整、变形和破裂。保持原有形状者为完整;形状发生变化者为变形;破碎为两块以上者为破裂。有时,人们根据破裂程度的不同,还把破裂细分为碎裂和粉碎。

就穿透来说,装甲目标的破坏形式不外乎如下 5 种 (如图 4.3),即韧性破坏、冲塞破坏、花瓣型破坏、破碎型破坏和层裂型破坏。

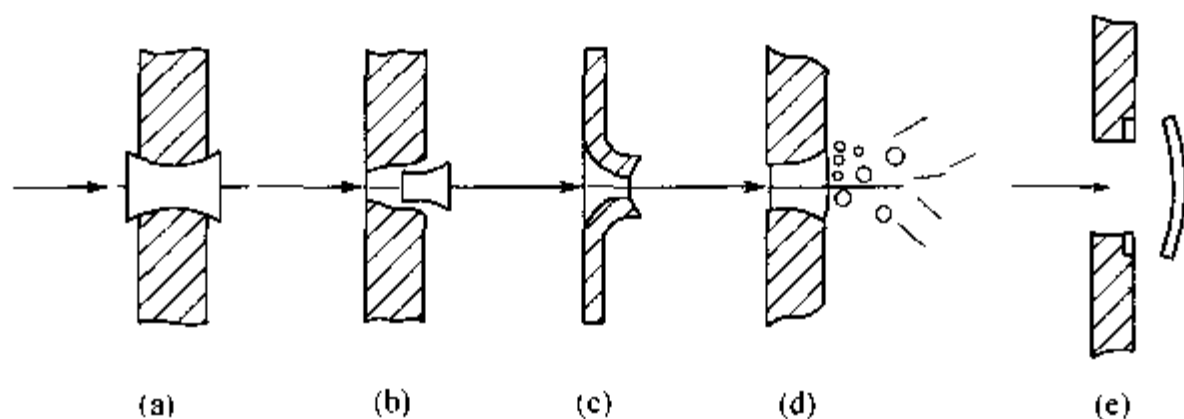


图 4.3 装甲板破坏形式

(a) 韧性破坏; (b) 冲塞破坏; (c) 花瓣型破坏; (d) 破碎型破坏; (e) 层裂型破坏

下面,把靶板破坏的五种基本形式作一简要说明。

① 韧性破坏。这种破坏常见于靶板厚 b 与弹径 d 之比 $b/d>1$ 的情况下。由于靶板富有韧性和延性,穿孔被弹丸扩开。尖头弹容易产生这种破坏形式,靶板阻力将随硬度的增加而增大。



② 冲塞破坏。这是一种剪切穿孔，容易出现在中等厚度的钢板上。当 $b/d < 1/2$ ，板厚与弹长 L 之比 $b/L < 1/2$ 时，在弹丸强度比较高且不变形的情况下，靶板破坏形式是冲塞型。对于薄靶板（即 $b/d < 1$ 时）或者钝头弹，都易于出现这种破坏形式。

③ 花瓣型破坏。靶板薄、速度低（一般小于 600 m/s）时，容易产生这种破坏。形成的花瓣数，将随靶板厚度和弹丸速度的不同而不同。

④ 破碎型破坏。当靶板相当脆时，容易出现这种破坏。

⑤ 层裂型破坏。在靶板硬度稍高或质量不太好的具有轧制层状组织的情况下，容易出现这种破坏，产生的碟形破片往往比弹丸直径大。

应当指出，上述现象是典型情况，实际出现的可能是几种破坏形式的综合。特别是，当弹丸对靶板进行斜射击时，其现象就更为复杂了。

3. 弹道极限的计算

在对弹丸射击靶板现象的研究中有一重要的术语，即所谓弹道极限，它在终点弹道学中是指对装甲有效的撞击速度，也就是穿透装甲的最低速度。对此，人们虽然已经进行了近百年的实验和理论研究；但是由于影响穿甲的因素很多，至今还没有得到一个比较完善的计算公式。在实际的工程计算中，还仍然利用一些经验公式。

（1）德马尔公式

该公式是德马尔在 1886 年建立的，假定弹丸是刚性的，在碰击靶板时不变形，所有的动能都消耗在穿透靶板上；靶板材料是均质的；弹丸只做直线运动，不旋转；靶板固定牢固等。在这种条件下，根据能量守恒，最终可以写出

$$v_b = K \frac{d^{0.75} b^{0.7}}{m^{0.5} \cos \alpha} \quad (4-1)$$

式中， v_b ——弹丸穿透靶板所需要的最低速度，m/s；

d ——弹径，dm；

b ——靶板厚度，dm；

α ——着角；

K ——穿甲系数，其范围为 2 200~2 600，通常取 $K = 2 400$ 。

（2）贝尔金公式

为了克服德马尔公式没有直接反映靶板和弹丸材料机械性能的缺陷，贝尔金提出了如下公式：

$$v_b = 0.0687 \sqrt{K_1 \sigma_s (1 + \varphi)} \frac{d^{0.75} b^{0.7}}{m^{0.5} \cos \alpha} \quad (4-2)$$

式中， σ_s ——靶板金属的屈服极限，Pa；

K_1 ——与弹丸结构和靶板受力状态有关的效力系数；



φ —— $6.16 \text{ m}/(bd^2)$ 。用普通穿甲弹射击均质靶板时，效力系数 K_1 的值见表 4-2。

表 4-2 效力系数 K_1

穿 甲 弹 类 型	效力系数 K_1
尖头弹（头部母线半径=（1.5~2.0） d ）	0.95~1.05
钝头弹（钝化直径=（0.6~0.7） d ），头部母线半径=（5~6） d	1.20~1.30
被帽穿甲弹	0.9~0.05

（3）次口径穿甲弹的穿甲公式

对于次口径穿甲弹，可用下式进行计算：

$$v_b = K \frac{d_c^{0.75} b^{0.75}}{(m_c + \mu m_T)^{0.5} \cos \alpha} \quad (4-3)$$

式中， d_c 为弹芯直径， m_c 为弹芯质量， m_T 为软壳质量， μ 为与软壳参与穿甲作用有关的系数，其数值与落角和弹径有关。

（4）长杆式次口径穿甲弹的穿甲公式

对于长杆式穿甲弹，可以用下式进行计算：

$$v_b = K \frac{(d_c + 0.25)b^{0.5}}{m_c^{0.5} \cos(\lambda \alpha)} \quad (4-4)$$

式中， d_c ——弹杆直径，dm；

m_c ——飞行弹丸质量；

λ ——考虑弹体折转的系数，通常可取 $\lambda = 0.85$ ；

K ——穿甲系数，其范围一般为 2 200~2 400，通常取 2 300。

4.2 普通穿甲弹

这里所说的普通穿甲弹，是指适于口径的旋转稳定穿甲弹，即穿甲弹体的直径与火炮口径一致的旋转稳定穿甲弹。

普通穿甲弹的结构形式很多，其主要差别是在头部结构上，有带风帽的钝头穿甲弹（如图 4.4）、尖头穿甲弹（如图 4.5）和带风帽的被帽穿甲弹（如图 4.6）。

其次，除了一些小口径穿甲弹是实心结构外（如图 4.7），相当一部分穿甲弹都具有药室，内装少量炸药，使弹丸穿透装甲后爆炸，发挥二次效应——杀爆作用。

对于这种装有炸药的，且装填系数 α 可达 4%~5% 的穿甲弹，常称为半穿甲或穿甲爆破弹（如图 4.8）。

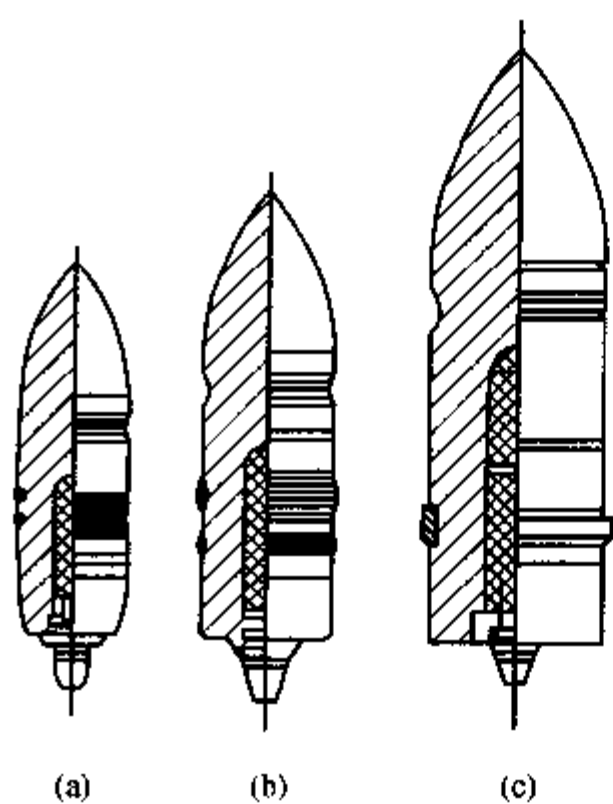


图 4.4 尖头穿甲弹

(a) 85 mm; (b) 100 mm; (c) 152 mm

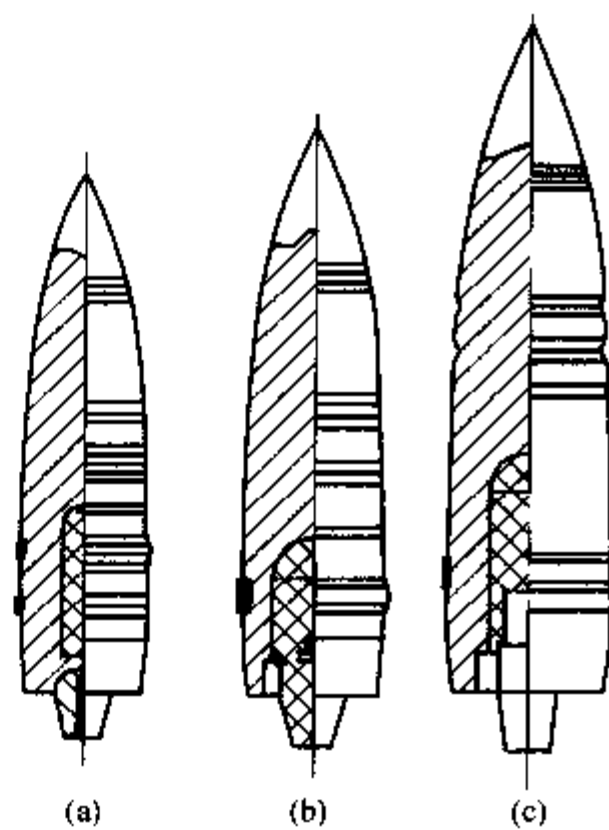


图 4.5 钝头穿甲弹

(a) 100 mm; (b) 122 mm; (c) 152 mm

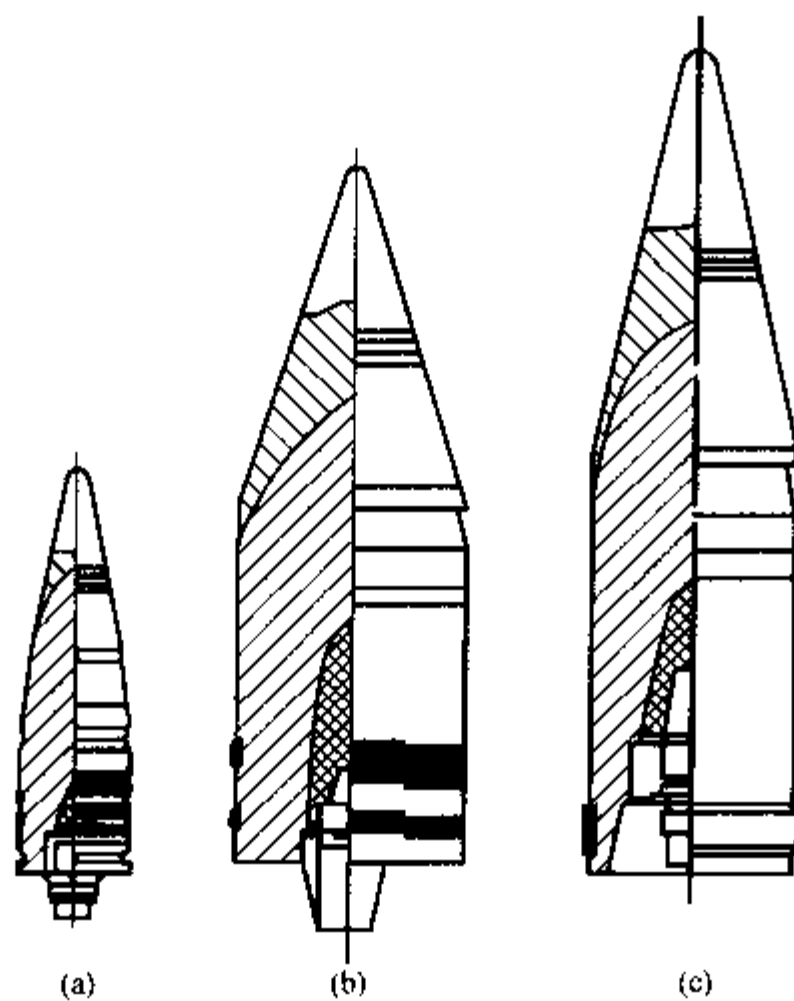


图 4.6 被帽穿甲弹

(a) 57 mm; (b) 100 mm; (c) 122 mm

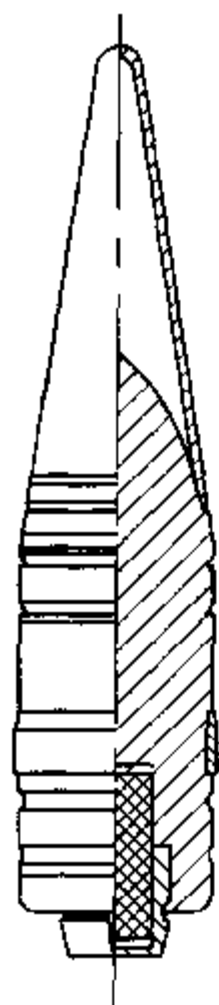
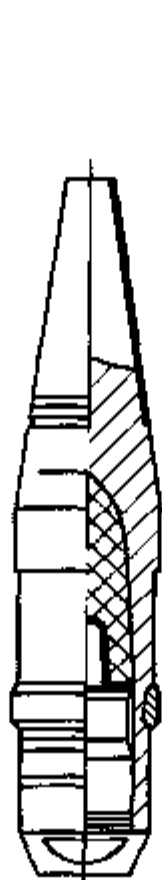
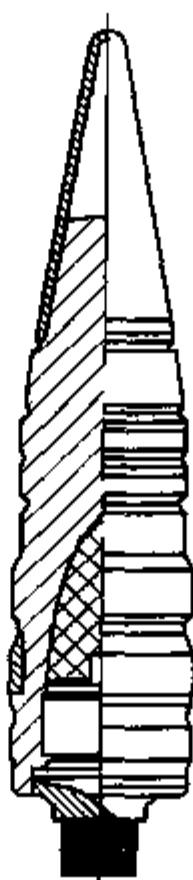


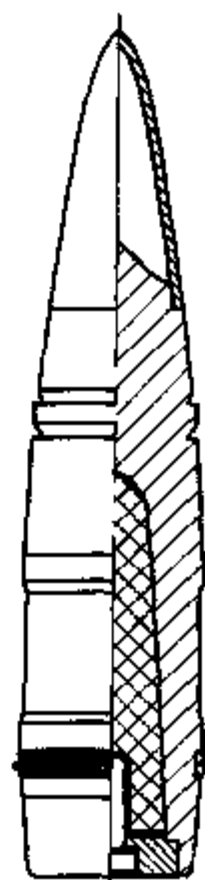
图 4.7 37 mm 尖头穿甲弹



(a)



(b)



(c)

图 4.8 带有爆炸性能的穿甲弹

(a) 50 mm 穿甲爆破弹; (b) 37 mm 穿甲爆破弹; (c) 130 mm 半穿甲弹

由图 4.4~图 4.8 可见,普通穿甲弹在结构上大体是相似的,它们都有弹体、炸药、引信、曳光管和弹带,只是在弹体采用钝头结构时,加设了风帽;在弹体采用尖头结构时,加设了风帽和被帽。

弹体是弹丸穿甲的主体。为了保证普通穿甲弹对目标的撞击强度和侵彻性能,其材料常采用优质合金钢,并经过热处理。一般来说,小口径普通穿甲弹常作等硬度处理,而中、大口径普通穿甲弹常采用头部淬火和尾部高温回火的处理,使头部具有高的硬度,尾部具有好的韧性。

炸药是普通穿甲弹发挥二次效应的能源。由于普通穿甲弹的药室小,故采用高威力炸药,通常既要求一定的爆破作用,又要求一定的燃烧作用,常用的炸药有钝化黑索今、钝黑铝等炸药。一般采用块填法装填:把压制的药柱用石蜡、地蜡混合物粘固于药室中。为了防止炸药在弹丸撞击装甲时早炸,常在药室顶端加放缓冲垫(如木塞)。

装有炸药的穿甲弹均采用弹底引信,带有固定延期或自动调整延期机构,以保证弹丸在穿透钢甲后再爆炸。另外,为了观察和修正弹道,除个别穿甲弹外,各类穿甲弹都装有曳光管,一般装在引信体的下部或弹底部。



就普通穿甲弹的结构特征数来说，一般在如下数据范围内：

装填系数 α	0.3%~1.5%;
弹丸相对质量 c_m	13~17 kg/dm ³ ;
炸药相对质量 c_w	0~0.4 kg/dm ³ ;
弹丸壁厚 δ	(0.22~0.37) d 。

下面，对尖头穿甲弹、带风帽的钝头穿甲弹和被帽穿甲弹的特殊点作一简要说明。

① 尖头穿甲弹的侵彻阻力较小，虽然对硬度低、韧性好的均质装甲具有较好的穿甲效果，但在对付硬度较高的装甲时，其头部却容易破碎。此外，在对付倾斜装甲时，尖头穿甲弹容易出现跳弹。因而，面对现代坦克装甲，尖头穿甲弹已接近于被淘汰的地位。

尖头穿甲弹的头部母线弧形，一般为圆弧形，其半径约为 $(1.5\sim 2)d$ ，且母线与圆柱部相切。

② 钝头穿甲弹在接触装甲时由于接触面较大，所以碰击应力小，故头部不易破碎。此外，钝头穿甲弹便于产生冲塞破坏，而且不易跳弹。因而，这种弹可用来对付硬度较高的装甲。

钝头穿甲弹均有比较平钝的顶部，其形状有球面、平面和蘑菇形等（图 4.9），钝化直径约为 $(0.6\sim 0.7)d$ 。

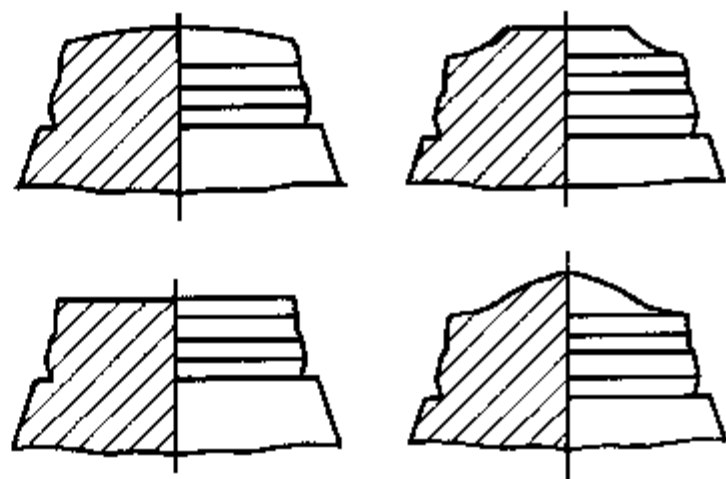


图 4.9 钝头部形状

与尖头穿甲弹相比，钝头穿甲弹之所以不易出现跳飞，主要是因为相同条件下弹丸所受的跳飞力矩较小。如图 4.10 所示，钝头穿甲弹撞击靶板时，力 R_t 将对弹丸质心产生一反跳力矩。

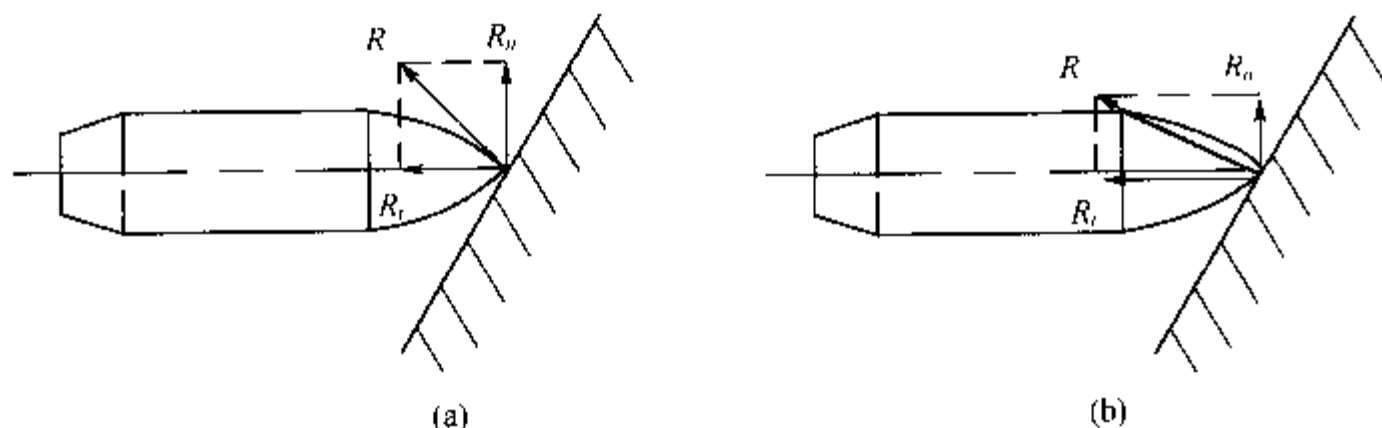


图 4.10 弹丸撞击靶板时的受力情况

(a) 尖头弹；(b) 钝头弹

③ 无论是尖头穿甲弹还是钝头穿甲弹，在前定心部附近的适当位置上都制有 1~2 条环形断裂槽，其形状如图 4.11 所示。设置断裂槽的目的是控制弹体头部的破碎范围，保证弹



体其他部位的完整性。尤其是对于带有药室的穿甲弹，设置断裂槽可以起到保护药室完整、发挥炸药效能的作用。

④ 被帽的作用，是用来改善弹丸撞击装甲时弹体头部的受力状态以及撞击倾斜装甲时的跳飞现象。

被帽的主要尺寸是高度 H 和顶厚 t (如图 4.12)。实验结果表明，被帽的高度 H 以能包住弹头部长度的 60%~70% 为宜，顶厚 t 与所对付的装甲厚度和硬度有关，一般取为 $(0.2 \sim 0.4) d$ 。在对付厚度较大的渗碳装甲时，选取上限尺寸较好；对付均质装甲时，如果着角较大，为防止跳弹，顶厚宜取下限。顶部形状可以是球面，也可以是锥面，其钝化直径一般为 $(0.4 \sim 0.6) d$ ，适当增大钝化直径有利于防止跳弹。

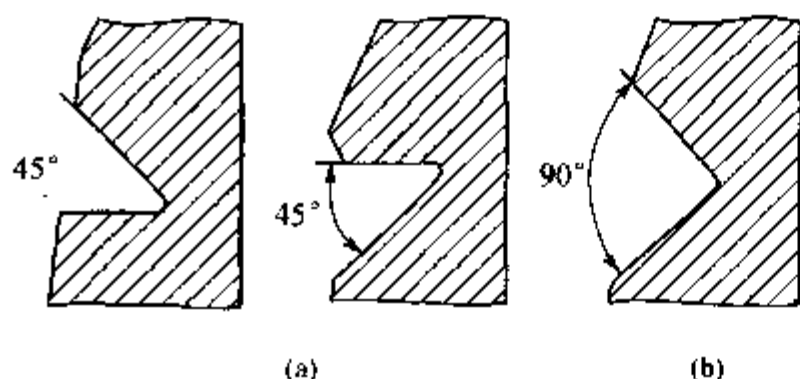


图 4.11 断裂槽断面形状

(a) 45° 断裂槽；(b) 90° 断裂槽

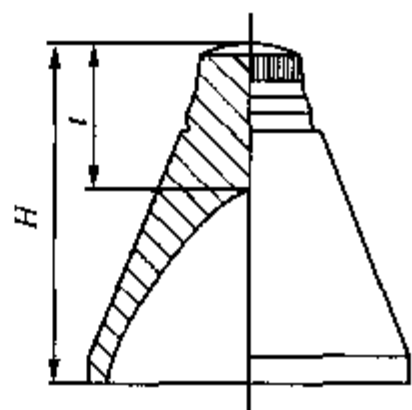


图 4.12 被帽

被帽通常采用与弹体材料相当的合金钢制成，并经热处理。被帽的硬度一般比弹头部低些，韧性好些，以免被帽过早破裂而失去对弹头部的保护作用，但提高被帽前端的表面硬度将对穿甲有利，所以某些被帽前端常进行淬火处理。被帽与弹头部的连接通常采用钎焊的方法。

⑤ 为了减小钝头穿甲弹和被帽穿甲弹的飞行阻力，保证弹丸具有良好的空气动力外形，一般都加设了风帽。风帽一般为薄钢板冲压而成，用滚压的办法与弹体或被帽连接。

4.3 次口径超速普通穿甲弹

在第二次世界大战中出现了装甲厚度达 150~200 mm 的重型坦克。为了对付这类目标，反坦克火炮增大了口径，反坦克炮弹提高了初速，同时发展了一种高密度碳化钨弹芯的次口径超速穿甲弹，其在膛内和飞行时是适于口径的，命中目标后起穿甲作用的是直径小于口径的碳化钨弹芯。由于碳化钨弹芯密度大、硬度高且直径小，故比动能大，从而提高了穿甲作用。

次口径超速穿甲弹的结构与普通穿甲弹相比差别很大。按其外形的不同，可分为线轴型 (如图 4.13) 和流线型 (如图 4.14) 两种。线轴型的弹重较轻，流线型的弹形较好。

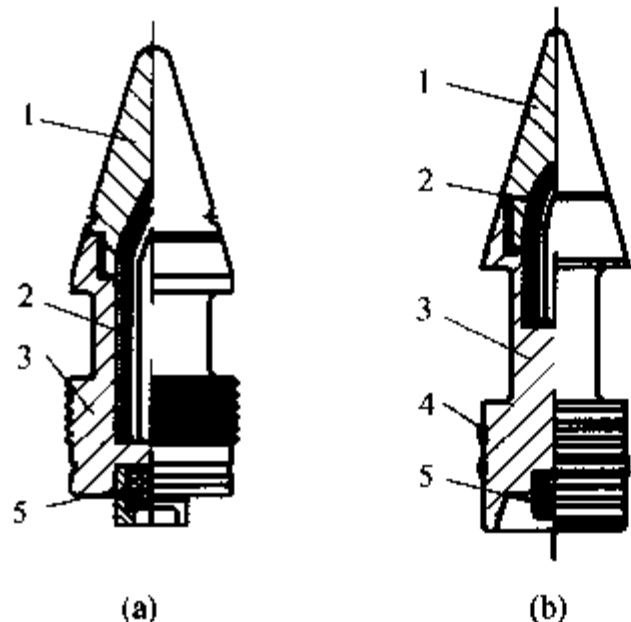


图 4.13 线轴型次口径超速穿甲弹

(a) 环形突起作为弹带; (b) 本身加有弹带
1—被帽; 2—弹芯; 3—弹壳; 4—弹带; 5—曳光管

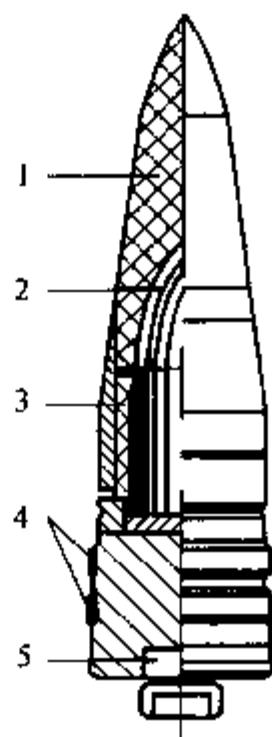


图 4.14 流线型次口径超速穿甲弹

1—被帽; 2—弹芯; 3—弹壳; 4—弹带; 5—曳光管

次口径超速穿甲弹主要由弹芯、弹壳、风帽（或被帽）、曳光管和弹带等组成，其中弹芯是由碳化钨制成的穿甲主体。弹芯材料之所以采用碳化钨，是因为其硬度高（洛氏硬度为 80~92）、密度大（ $14\sim 15\text{ g/cm}^3$ ）和耐热性强（熔点为 $2\ 800\text{ }^\circ\text{C}$ ）。弹芯直径很小（一般为火炮口径的 $1/3\sim 1/2$ ），弹芯头部的弧形母线半径约为 $1.5\sim 2$ 倍弹芯直径。弹壳常用一般碳钢或铝合金制成，为了减轻质量常把头部设计成截锥状，中部为线轴形，底部制成凹形。线轴形的两缘构成了定心部。环形突起（如图 4.13a）作为弹带使用，有的弹丸则另加有弹带（如图 4.13b）。被帽可用碳钢、铝合金、塑料或玻璃钢等制成，外形一般为锥形。被帽可采用螺纹或其他方式与弹壳连接。

虽然次口径超速穿甲弹的威力比普通穿甲弹有了较大的提高，但由于线轴型次口径超速穿甲弹的弹形不好，流线型次口径超速穿甲弹的断面密度（是指弹丸质量与弹丸或弹芯横断面积之比。对动能穿甲弹来说，它决定了弹丸的终点效应）不大，因而速度衰减很快，加之性能更好的超速脱壳穿甲弹的出现，次口径穿甲弹已处于被淘汰的地位。

4.4 超速脱壳穿甲弹

随着坦克装甲防护和机动性的迅速提高、数量的不断增多，促使各国对各类反坦克武器及弹药研制发展工作的重视程度与日俱增，反坦克弹药的发展日新月异。超速脱壳穿甲弹就是在这种形势下发展起来的新弹种之一。

超速脱壳穿甲弹的作用原理可以从两个方面来看。为了提高穿甲威力，要求弹丸具有



较高的着速和比动能。要提高比动能，应降低着靶时穿甲弹弹径和提高着速；而要提高着速，可以采用提高初速和减小弹道系数两条途径。超速脱壳穿甲弹正是从这两方面出发提高威力的。

从弹道学的观点看，超速脱壳穿甲弹与同口径榴弹相比，其弹丸较轻，因而可以获得高的初速；超速脱壳穿甲弹脱壳以后，飞行弹体的直径较小，相对弹丸质量较大，因而可以获得较小的弹道系数。这种高初速、小弹道系数，必然使弹丸的直射距离、有效穿透距离和威力都得到提高。从超速脱壳穿甲弹的稳定方式来看，可以把它分为旋转稳定和尾翼稳定两种类型。

超速脱壳穿甲弹一般由飞行部分和脱落部分组成，当弹丸出炮口后，在膛内起定心和传力作用的弹托在外力作用下迅速脱离弹体，这种现象称为弹托分离，又称卡瓣脱落，简称脱壳。目前，脱壳方式主要有四种：

① 离心力脱壳：卡瓣上设置斜孔的尾翼稳定穿甲弹或旋转稳定穿甲弹靠离心力使弹带破裂，卡瓣沿切向飞离弹体。

② 火药燃气压力脱壳：弹孔同时受弹后火药燃气的轴向作用以及弹气室内火药燃气的侧向作用，紧固环撕断，卡瓣向前翻转并脱离弹体。

③ 空气阻力脱壳：弹托前端及凹槽受空气阻力的轴向和侧向作用，紧固环撕断，卡瓣向后翻转并脱离弹体。

④ 升力脱壳：当弹托达到一定攻角时，激波强度减弱，升力使弹托产生俯仰运动，使卡瓣侧向飞离弹体。根据不同的需要，可采用不同的脱壳方式。

一般来说，旋转稳定脱壳穿甲弹采用离心力脱壳；尾翼稳定脱壳穿甲弹采用后三种脱壳方式之一或是其综合方式，脱壳均要求一致性好、脱壳迅速和危险区域小。

4.4.1 旋转稳定超速脱壳穿甲弹

旋转稳定超速脱壳穿甲弹是在次口径超速穿甲弹基础上发展起来的，其典型结构如图 4.15 和图 4.16 所示。

由图可见，这种弹丸主要是由飞行弹体和弹托两大部分所组成。飞行弹体主要包括弹芯、弹芯外套和曳光管等。其中弹芯常用碳化钨或钨合金制成。弹芯外套是为连接曳光管和给弹丸以较好的空气动力外形而设置的。弹托是弹丸的辅助部件，平时固定飞行弹体，发射时用于导引和密封火药气体，并利用其弹带嵌入膛线而赋予弹丸以高速旋转，出炮口后自行脱落，使飞行弹体获得良好的外弹道性能。从弹丸质量的角度讲，弹托部分实属消极质量。因为弹托获得的动能对弹丸穿甲毫无用处，所以在确保满足发射强度的条件下，要求弹托愈轻愈好，一般采用轻金属（如铝合金）作为弹托材料。

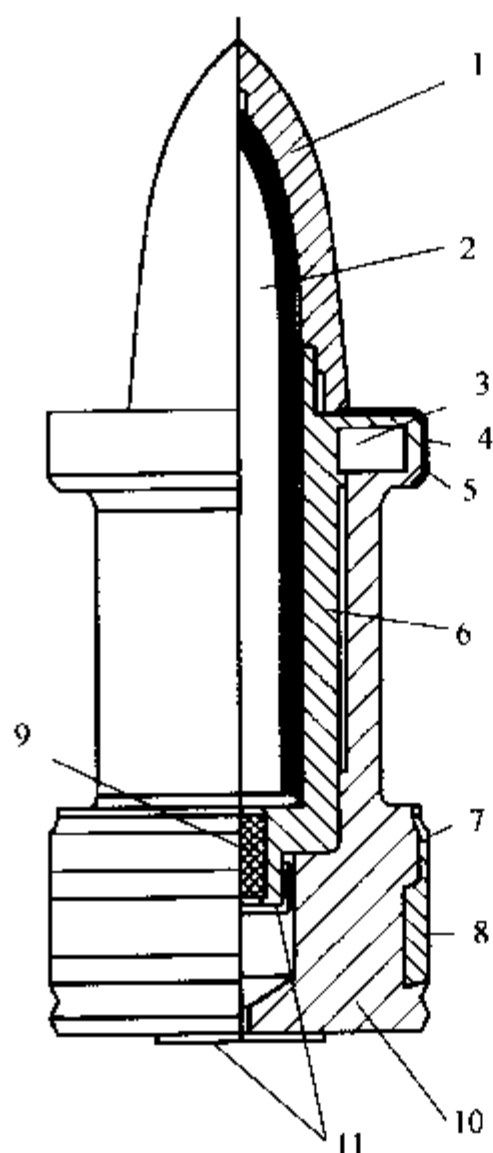


图 4.15 85 mm 加农炮用脱壳穿甲弹

1—风帽; 2—弹芯; 3—离心帽; 4—前定心环;
5—弹簧; 6—座套; 7—后定心环; 8—弹带;
9—曳光管; 10—弹托; 11—赛璐珞片

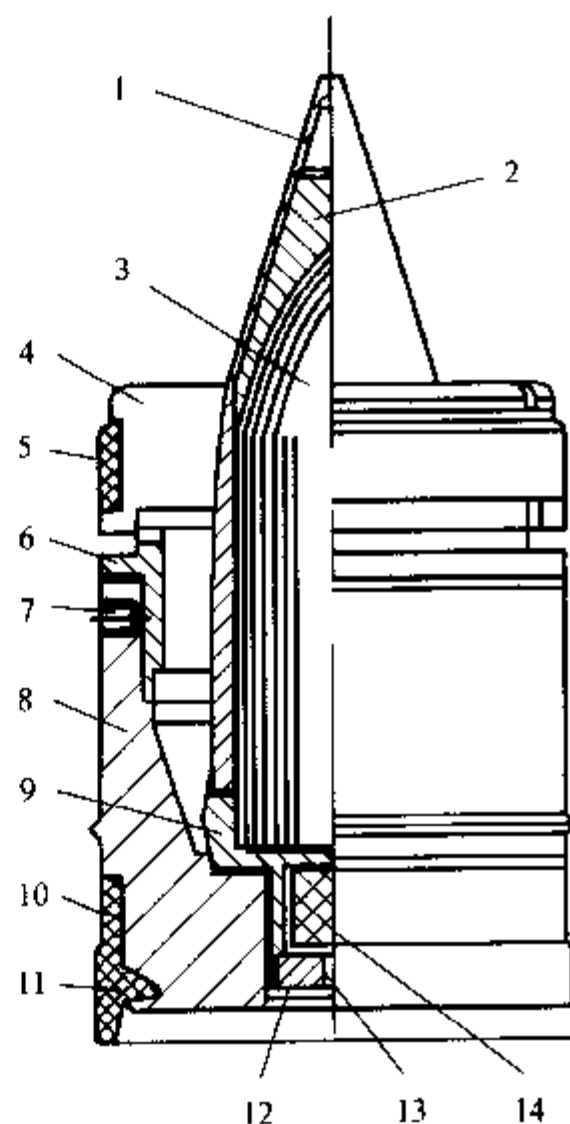


图 4.16 100 mm 反坦克炮用脱壳穿甲弹

1—外套; 2—被帽; 3—弹芯; 4—定心瓣 (三块);
5—前定心环; 6—前托; 7—定位螺钉; 8—后托; 9—底座;
10—后定心环; 11—闭气环; 12—底螺; 13—铜片; 14—曳光管

为了解决飞行弹体的飞行稳定性问题, 必须使飞行弹体具有一定的旋转速度, 该速度是通过弹托与飞行弹体之间的摩擦力传递的。

旋转稳定脱壳穿甲弹的结构特点, 主要反映在弹托结构和它的脱落方式上。在此, 就如图 4.15 和如图 4.16 所示的弹托结构作一简要的分析。

如图 4.15 所示的弹托, 其主件是底托, 它采用了整体结构, 由铝合金制成。在前、后定心部处加有钢圈以提高耐磨性。由于弹丸的转速较高, 紫铜弹带已不能满足强度要求, 故采用了纯铁弹带。在弹托的前定心部处装有两个带有弹簧的离心销来固定飞行弹体。弹丸出炮口后, 离心销在离心力的作用下压缩弹簧、释放弹体, 使弹托在空气阻力的作用下向后脱出, 而飞行弹体独自飞向目标。此外, 在弹体尾部的曳光管后有一气室, 发射时高压火药气体通过弹托底部的小孔进入气室点燃曳光剂, 出炮口后由于气室内的气体膨胀也将协助脱壳。由于这种脱壳方法对飞行弹体的干扰小, 所以弹丸的精度较高。

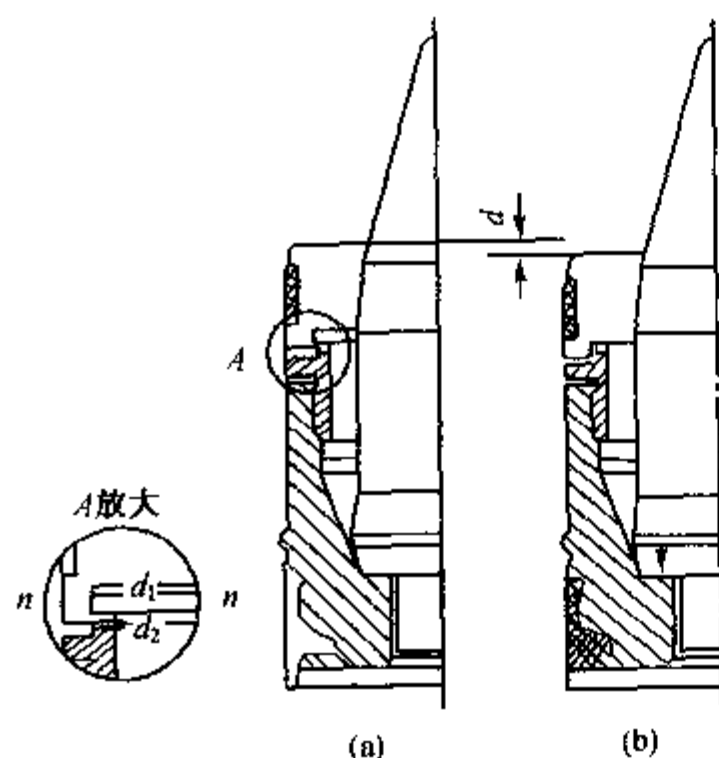


图 4.17 卡瓣与弹体的相对位置

(a) 发射前; (b) 发射后

如图 4.16 所示的弹托, 主要是由后托和具有三块预制卡瓣的前托所组成, 其材料仍采用铝合金。前托与后托用螺纹连接、定位螺钉固定, 而飞行弹体靠前托三个预制卡瓣的内锥固定。在弹托上设置有尼龙前定心环, 在后托上设置有尼龙后定心环和橡胶闭气环。

如图 4.17 所示, 图 (a) 给出了卡瓣在发射前的位置, 图 (b) 给出了发射后的位置。由图 (a) 的局部放大图可见, d_1 和 d_2 (d_1 略大于 d_2) 两个尺寸确定的环形槽构成了削弱环形面 ($n-n$)。发射时, 连在一起的三块预制卡瓣将在惯性力作用下, 沿削弱断面 ($n-n$) 剪断, 并使三块预制卡瓣分离, 完成对弹丸的解脱。但是, 由于炮管壁面的限制, 分离后的卡瓣仍然被其外面的尼龙前定心环箍住, 并继续压在飞行弹体前部的锥面上, 保证它在膛内的定心作用。另外, 在后托上有一环形凸起, 发射时嵌入膛线并使弹托旋转, 从而通过摩擦力带动飞行弹体与其一起旋转。在后托上还有一个用丁腈橡胶制成的闭气环, 其目的是密闭火药气体, 防止气体对炮膛的冲刷。

弹丸出炮口以后, 膛壁的约束解除, 定心卡瓣将在离心力作用下挣断尼龙定心环而解脱, 与此同时后托将在空气阻力作用下与飞行弹体分离。这种弹托结构脱壳性能较好, 平时和发射时对飞行弹体的固定作用也好, 只是结构比较复杂。

综上所述, 旋转稳定脱壳穿甲弹虽然具有初速高、弹道低伸、直射距离远和射击精度高等一系列优点, 但其穿甲威力由于与弹长有关, 因而受到飞行稳定性的限制, 而且在大着角射击时容易折断或跳飞, 从而影响其穿甲性能。

4.4.2 尾翼稳定超速脱壳穿甲弹

1. 概述

由于尾翼稳定超速脱壳穿甲弹的弹长不受飞行稳定性的限制, 一般把它做得很长 (有的甚至达到 25~30 倍飞行弹径), 因而常把这种弹称作长杆式尾翼稳定脱壳穿甲弹, 或简称为杆式穿甲弹。

杆式穿甲弹首先是前苏联于 20 世纪 60 年代初研制成功, 并正式装备的。主要有 115 mm 和 125 mm 两种杆式穿甲弹, 并分别装备在 T-62 坦克的 115 mm 和 T-72 坦克的 125 mm 滑膛炮上。



杆式穿甲弹一经问世，立即引起世界各国的普遍重视。一贯主张以动能穿甲作为其主战坦克火炮配用弹的英国和美国，都立即研究这种新式的动能穿甲弹，而且美国还首先把这种长杆式尾翼稳定脱壳穿甲弹配用于线膛火炮上。法国一向在其主战坦克上只配用破甲弹而不配用动能穿甲弹，也一反常态积极发展这种杆式穿甲弹。由此不难看出，杆式穿甲弹在当前反坦克弹药中所处的地位。现在，杆式穿甲弹已被世界各国公认为是当前最有效的反坦克弹种之一。表 4-3 为国外部分杆式穿甲弹性能。

表 4-3 国外长杆式尾翼稳定脱壳穿甲弹性能数据

国 别	火炮口径及 型式	弹丸型号	全弹 质量/kg	弹丸质量/kg	飞行弹丸 质量/kg	弹杆直径 ϕ /mm
前苏联	125 mm 滑		19.5	5.68		44
美 国	90 mm 线	EP190				26
前西德	120 mm 滑	DM13 式	18.6	7.1	4.5	38
以色列	105 mm 线		18.7	6.3	4.2	33
英 国	105 mm 线	PPL64 式	18~18.9	5.7~6.12		28
法 国	105 mm 线	OFL-105	17.1	5.8	3.8	27
国 别	膛 压 1×10^8 Pa	初速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	威 力		长细比	弹杆材料
			距离/m	靶板/mm		
前苏联		1 800	3 000	北约三层靶 10,25,80, (65°)	12	碳化钨
美 国	3.483	>1 470	1 500	150 (60°)		钨合金
前西德	5.403	1 650~1 680	2 200	北约三层靶 10,25,80 (65°)	12	钨合金
以色列	4.415	1 455		北约三层靶 10,25,80 (65°)	12.6	整体钨合金
英 国	4.199	1 490	2 000	T-2 坦克前装甲	14	整体钨合金
法 国		1 525	2 000	北约三层靶 10,25,80 (65°)	20	钨合金

从杆式穿甲弹的发展现状看，目前存在着滑膛炮发射的和线膛炮发射的两种杆式穿甲弹。虽然这两种杆式穿甲弹配用的火炮类型不同，但它们的稳定方式相同（均以尾翼稳定），结构也大致相仿，都是由飞行弹体和弹托两大部分组成的。

由于杆式穿甲弹采用尾翼稳定，所以其弹长不受飞行稳定性的限制，飞行弹体的长径比（弹长与飞行弹体直径之比）可达 13~30，甚至更大，这是旋转稳定弹丸所无法比拟的。因此，杆式穿甲弹可以获得更大的断面密度，从而提高了穿甲威力。

一般来说，在同口径情况下，杆式穿甲弹要比其他弹种轻得多，因而可以获得很高的初速。目前，杆式穿甲弹的初速一般为 1 400~1 800 m/s，是所有火炮弹丸中的佼佼者。弹丸



初速的这种大幅度变化，必然大大提高飞行弹体的动能，从而使威力进一步提高。弹丸初速的提高，不仅使威力增加，而且缩短了弹丸的飞行时间，从而提高了命中概率。

2. 穿甲过程

杆式穿甲弹由于具有高初速、大长径比的特点，因而其侵彻威力远远超过其他动能穿甲弹。从弹丸对装甲板的破坏看，一般认为，杆式穿甲弹属于“破碎穿甲”，即弹丸在穿甲过程中一方面破碎、一方面穿甲。在这种情况下，破碎的弹体和装甲破片将沿弹坑壁面反向飞溅，并形成大于弹径的穿孔。如图 4.18 所示，即为杆式穿甲弹在大着角情况下的穿甲情况。

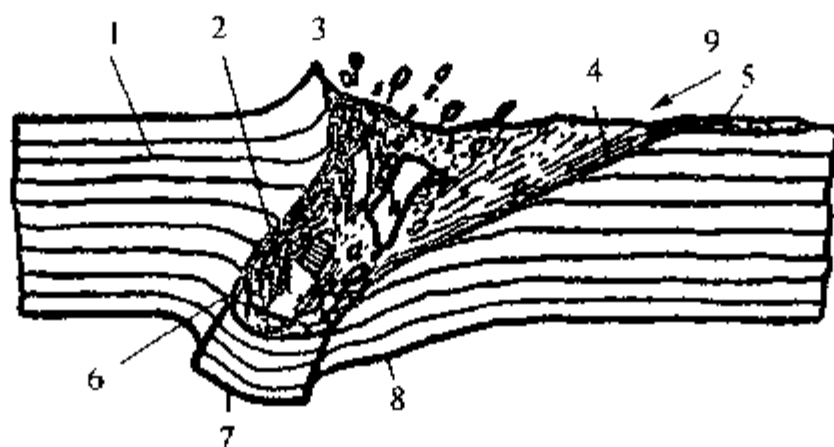


图 4.18 大着角下的穿甲情况

1—钢甲；2—弹体残部；3—翻边；4—滑坡；5—尾翼碰痕；
6—破碎弹体；7—塞子；8—鼓包；9—碰撞力向

杆式穿甲弹的穿甲过程可以分为开坑、侵彻和冲塞三个阶段。开坑阶段是从弹丸着靶到开坑形成，此时弹丸的撞击速度最高，撞击所产生的压力可达 10^4 MPa。由于该压力已远远超过金属材料的强度极限，因而弹体和装甲金属发生破碎，并向抗力较小的一侧飞溅。弹体不断破碎，也不断飞溅，从而在装甲表面上形成一个口部不断扩大的坑。弹体进入坑内后，侵彻阶段开始。由于此时的撞击压力仍然很大，所以弹体还是边破碎、边飞溅。在这一阶段里，由于装甲金属被不断侵入的弹体所挤压，所以向侧面和表面方向以很高的速度运动，最后使表面和弹体之间的金属破裂、抛出，孔径增大。

当弹丸侵彻到一定深度后，在装甲背面出现鼓包。在侵彻阶段里，由于装甲抗力方向的变化和弹丸的惯性运动，将有一个弹丸“转正”的现象出现。冲塞阶段是穿甲过程的后期，由于弹丸速度的降低，弹丸不再破碎，装甲的抗力也越来越小，装甲背面的鼓包因惯性而继续增大。最后，在最薄弱处剪切下一个钢塞，残余弹体和碎片以剩余速度从装甲背面的孔中喷出。至此，杆式穿甲弹完成了全部穿甲过程。

由上述弹丸在开坑和侵彻阶段的运动情况可知，开始时弹丸的破碎部分向外飞溅，剩余弹体继续向前运动，完成开坑；进入侵彻阶段后，弹丸将向装甲板的外法线方向运动。这种飞溅和转正现象，正是杆式穿甲弹在大着角情况下不易跳飞的原因。



3. 结构实例

为了进一步说明问题，以下介绍两种杆式穿甲弹的结构。

(1) 俄罗斯 115 mm 长杆式穿甲弹

如图 4.19 所示，是俄罗斯 115 mm 滑膛炮用长杆式穿甲弹的结构示意图。该弹由飞行弹体和弹托两部分组成。

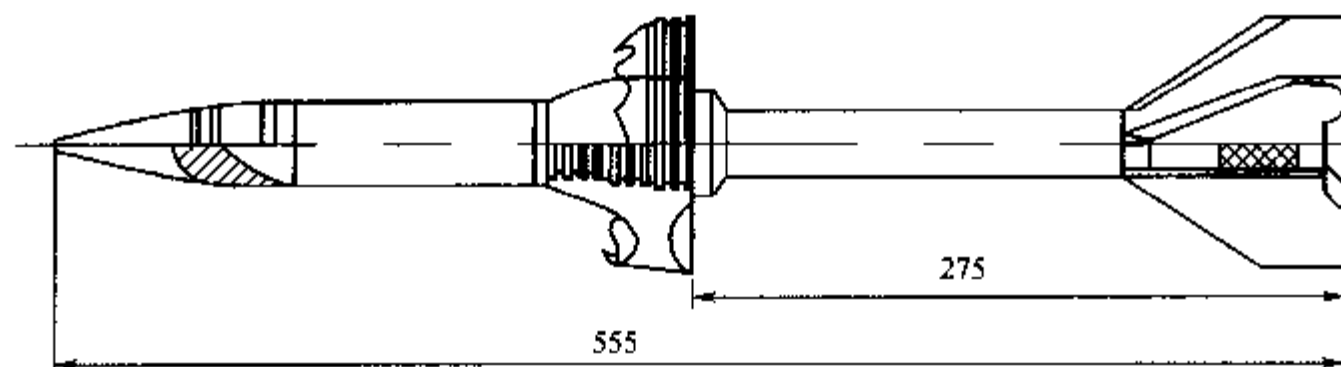


图 4.19 俄罗斯 115 mm 长杆式穿甲弹

飞行弹体部分包括：弹杆、风帽、被帽、尾翼、曳光管和压螺等零件。其中弹杆采用整体结构，用 35 铬镍钼合金钢制成。为了与弹托连接，在弹杆中部制有环行锯齿形槽。弹杆头部带有风帽和被帽，尾部用螺纹与尾翼连接。该弹的尾翼经精密铸造而成，除保证弹丸的飞行稳定性外，在膛内还起定心作用。曳光管用压螺固定于尾翼的内孔中，为保证尾管内外的压力平衡，在尾管上开有小孔，尾翼片为后掠形，在后掠部位铣有一定角度的斜面，以使弹丸在飞行中承受旋转力矩而旋转，从而提高弹丸的射击精度。

弹托部分包括：三块呈 120° 的扇形卡瓣和闭气环（如图 4.20）。该弹的卡瓣是由钢材制成的。卡瓣内制有环行锯齿形凸起，装配时与弹杆上的齿槽啮合。每块卡瓣上都开有两个与弹轴成 40° 的漏气孔，以使弹托在膛内获得炮口脱壳所需要的转速。为了减轻卡瓣质量和便于气体动力脱壳，在卡瓣的前后面均开有凹形环槽，在卡瓣前面的边缘上开有花瓣形的缺口。为了保证弹丸出炮口后使卡瓣与飞行弹体可靠分离，在对着三块卡瓣接缝处的闭气环上制有削弱槽。

发射时，膛内的火药气体一方面推动弹丸向前运动，另一方面从弹托的六个斜孔中喷出，从而使弹托旋转，并靠摩擦力的作用带动飞行弹体也作旋转运动。此时，在离心力作用下，弹托虽有解脱的趋势，但由于炮管的约束而仍然拖住飞行弹体，只是使闭气环加大磨损为脱壳创造条件。

弹丸飞出炮口后，炮管的约束消失，离心力将起作用。此外，由于火药气体从炮管中高速喷出，并向侧方膨胀，此时作用于卡瓣

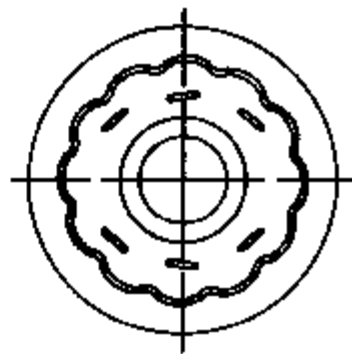
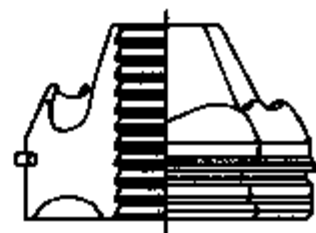


图 4.20 环形弹托



后部环形槽上的火药气体压力,将产生一个使卡瓣向侧方飞散的力。在中间弹道结束后,卡瓣前方将受到空气动力的作用,也将产生一个使卡瓣向侧方飞散的力。在以上诸因素的作用下,挣断闭气环,卡瓣与飞行弹体脱离,从而完成脱壳过程。从弹托与飞行弹体的啮合部位看,该弹在设计思想上采用的是前张式脱壳结构,火药气体对弹壳的作用不大。

(2) 以色列 105 mm 长杆式穿甲弹

如图 4.21 所示,是以色列 105 mm 线膛炮用长杆式穿甲弹的结构示意图。同样,该弹也是由飞行弹体和弹托两部分组成的。

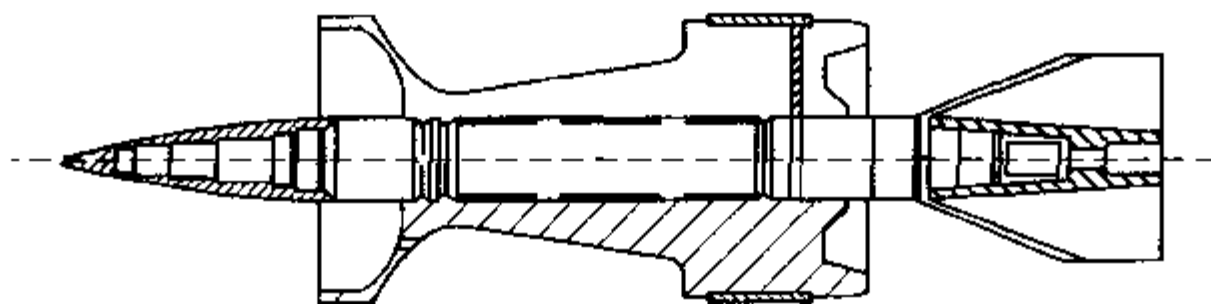


图 4.21 以色列 105 mm 长杆式穿甲弹

飞行弹体部分包括:弹杆、穿甲块(三块)、风帽、尾翼(六片)、曳光管等。其中弹杆和穿甲块用钨合金制成的。采用穿甲块的目的是控制弹丸在开坑阶段的破碎程度。在弹杆上制有 27 个锯齿形齿槽,以便与弹托相连接。在弹杆前后均制有螺纹,以便与风帽和尾管连接。该弹的尾翼是将翼片焊接在尾管上的,翼片采用铝合金材料。由于尾翼部分的重量轻,从而使飞行弹体的质心前移,在保证飞行稳定性的前提下,翼展和翼片的面积可以减小,这样有利于减小弹丸所受的阻力、减小火药气体在中间弹道对弹丸运动的干扰,使射击精度提高。

弹托部分包括:由三块呈 120° 的扇形卡瓣、滑动弹带(内弹带和外弹带)、三爪橡胶密封圈(如图 4.22)和前、后紧固环等。

该弹的卡瓣由铝合金制成,在每一块卡瓣上均开有两个小直孔,用来改善弹丸在发射时的受力状态。

为了解决线膛炮发射尾翼稳定弹丸的旋转速度问题,该弹采用了滑动弹带的结构。其中内弹带胶粘在卡瓣上,外弹带与内弹带之间呈滑动摩擦状态。发射时,外弹带嵌入膛线,获得高的旋转速度,而卡瓣与飞行弹体却在摩擦力的带动下只作低速旋转运动。

三爪橡胶密封圈,是防止火药气体沿齿槽向前泄出而设置的。前、后紧固环是固定卡瓣用的,为了便于脱壳,其上均开有削弱槽。

与俄罗斯 115 mm 杆式穿甲弹不同,该弹的弹托呈马鞍形。虽然马鞍形弹托的前后定心

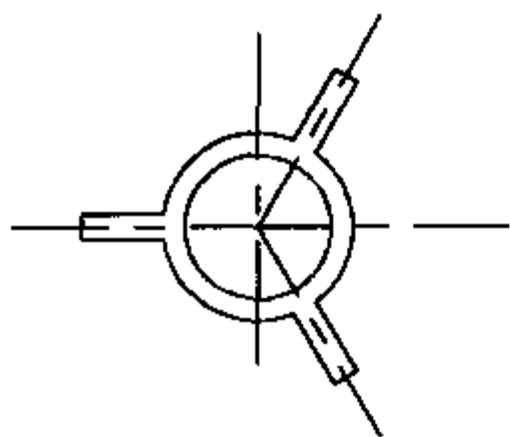


图 4.22 三爪橡胶密封圈



部距离较短，但它避免了尾翼打膛现象的出现。实际上，这种马鞍形弹托要比环形弹托优越。

无论是环形弹托还是马鞍形弹托，都存在脱壳后的卡瓣飞散问题。卡瓣的可能飞散区域如图 4.23 所示，在这个区域里可能造成自己部队的伤亡。这一问题是脱壳穿甲弹在使用中的主要缺陷。

由上所述不难看出：在杆式穿甲弹中，弹托是一个十分重要的部件，弹托的好坏直接影响着飞行弹体的性能和作用。为此，要求弹托：

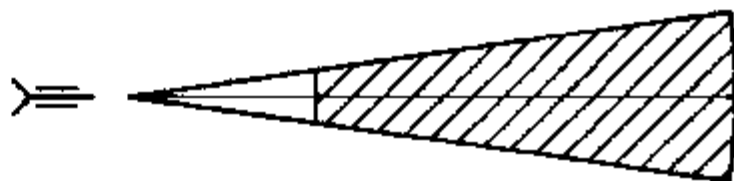


图 4.23 弹托飞散危险区

- ① 具有足够的强度和刚度，并能保护细长的高密度弹杆完整地发射出去；
- ② 在满足强度的条件下，弹托的质量愈轻愈好；
- ③ 在膛内能可靠密闭火药气体，并能正确引导弹丸沿炮管轴线运动；
- ④ 弹丸出炮口后能顺利脱壳，并且对飞行弹体的干扰小；
- ⑤ 与药筒的连接可靠，并能防止火药受潮；
- ⑥ 生产工艺性良好。

4.5 贫铀弹

4.5.1 贫铀基本知识

自 1896 年发现铀的放射性后，铀作为核工业的基本原材料，广泛应用于核动力（如发电、火箭和潜艇推进）、核武器（如原子弹、氢弹）、辐射能源（如宇宙飞船、人造卫星）等多个领域。铀在地壳中的平均含量为 4×10^{-6} （相当于 1 卡车泥土中有一大勺铀），在海水中含量为 3.3×10^{-9} ，总量达 45 亿吨。人们每天都会通过空气、水和食物摄入一定量的铀，平均来说，每天通过食物和水摄入铀的量为 $1.9 \mu\text{g}$ ，从空气中吸入铀的量为 $0.007 \mu\text{g}$ 。因此，无需谈“铀”色变。

自然界中的铀元素是由铀 234、铀 235 和铀 238 这三种放射性同位素组成，它们的含量分别为 99.275%、0.720% 和 0.005%。其中只有铀 235 是裂变性核素，能用来制造原子弹核反应堆燃料。但天然铀中铀 235 含量太低，不能直接用于生产原子弹和核反应堆，必须经过浓缩或富集，使铀 235 的浓度提高到 3% 以上（反应堆燃料）或 90% 以上（核武器燃料）。这种经富集后铀 235 含量高于天然水平的铀，叫富集铀或浓缩铀，经铀 235 富集后剩余的铀就是贫化铀或称贫铀，英文为 Depleted Uranium，所以有的书中把贫铀弹简称为 DU 弹。

贫铀的密度为 19.05 g/cm^3 ，是钢的 2.5 倍，是一般辐射防护材料铅的 1.7 倍。贫铀的强度和硬度都不是很高，但添加一定量的其他金属（如 0.75% 的钛）制成的贫铀合金，强度可



比纯贫铀高 3 倍，硬度可达钢的 2.5 倍，并具有良好的机械加工性能。贫铀的商业用途十分广泛，主要用来制造石油井钻、船舶压舱物、各种衡量物、军用和民用飞机的平衡控制系统和阻尼控制器（如外舷升降舵和上侧方向舵，一架波音 747 飞机上有 1 500 kg 贫铀）、机械沙囊、辐射探测器、医用或工业用放射性防护罩、化学催化剂、X-射线管、玻璃和陶瓷的上色染料等。

贫铀粉末在常温就能自燃。在摩擦或撞击时，贫铀能在空气中氧化燃烧，释放大量的能量并发生爆炸。用贫铀做成的金属棒在动能驱动下撞击到物体时，表现出自发锐性的特征，穿透性能明显优于军事上用做穿甲弹的钨（钨在撞击装甲时会钝化为蘑菇状，而影响其穿甲性能）。

在核大国，贫铀的储量十分丰富。以富集 1 吨供压水反应堆用铀燃料（铀 235 浓度为 3.6%）为例，需用 6.7 吨天然铀，产生 5.7 吨贫铀，约是富集铀的 6 倍。如富集用作核武器燃料的高浓度铀（铀 235 浓度为 90%），则贫铀的产率是富集铀的 175 倍。据报道，截至 1993 年，美国贫铀储量约为 56 万吨，此后，又增加了 10 多万吨。从法国制定的贫铀储存计划分析，储量也有 26 万吨。俄罗斯的贫铀储量虽未见准确数据报道，但从其拥有的核武器数量估计，贫铀储量不会少于美国。贫铀主要以铀的化合物——六氟化铀的状态存在，一般储存在特制的圆筒钢罐中，长时间储存时有可能腐蚀钢罐。

4.5.2 贫铀弹

对付装甲目标通常选用两种弹：穿甲弹和破甲弹。穿甲弹利用动能穿透装甲，因此需要有极高的动能，而穿甲弹的着靶动能与弹丸着靶速度的平方及质量成正比。以脱壳穿甲弹为例，为了提高其穿甲性能，弹芯必须要有较大质量以及较高的着靶速度。因此，穿甲弹弹芯通常选用密度高的金属材料。另外，弹芯质量大，断面密度大，也能显著改善其外弹道性能，使得弹芯在飞行较远距离后，仍保持较高的着靶速度。此外，由于穿甲弹弹芯通过与目标撞击而穿透目标，弹芯除具有良好的机械加工性能外，还要有足够的强度、韧性和硬度。

贫铀材料具有优良的物理性能，可满足穿甲弹芯对重金属材料的需求。由于钨制穿甲弹弹芯在撞击装甲时会钝化为蘑菇状，侵彻性能将受到一定的影响。而贫铀穿甲弹弹芯在撞击装甲时具有自锐特性，穿甲性能优于钨制弹芯。另外，贫铀具有硬度高、延展性好、韧性强的特点，当加入少量其他金属材料处理后，性能还可以进一步提高。例如，在贫铀中加入 0.75% 的钛时，强度比纯铀金属高 3 倍。从价格方面而言，贫铀是核反应堆燃料的废弃物，价格比钨便宜。

由于贫铀所具有的独特性质（高密度、易燃易爆、贫铀合金的高强度和高硬度、贫铀穿透时表现出的自发锐性）、丰富的储量和良好的机械加工性能，美国从 20 世纪 50 年代开始



研究用贫铀制造各种武器，用来取代军事上广泛应用而又价格昂贵的钨。20 世纪 60 年代先后对用于单兵、车载、舰载、机载，用枪、炮、导弹发射的 7.92 mm、20 mm、25 mm、30 mm、105 mm 和 120 mm 等多种贫铀穿甲弹的战术性能进行了大规模的试验。20 世纪 70 年代开始正式装备部队，并研究和开发了贫铀合金的其他军事用途，如贫铀合金破甲弹、有穿甲燃烧功能的贫铀航空炮弹和贫铀装甲等（如图 4.24、图 4.25 所示）。



图 4.24 正在射击的主战坦克



图 4.25 各种类型的贫铀弹药

贫铀弹，其弹芯采用贫铀合金材料制成，可用在炮弹、炸弹和导弹的战斗部上（如图 4.26 所示）。试验结果表明，这种贫铀合金弹芯比同类型的钨合金弹芯的穿甲性能要高出 10%~15%。用贫铀合金（如铀钛合金）做弹芯的反坦克弹药可以穿透很厚的装甲，而且在穿进坦克装甲后还能引起车内的燃油和炮弹燃烧爆炸，增强穿甲弹的杀伤破坏威力，因而是对付现有主战坦克的有效武器。

目前已有不少国家将贫铀用于新弹药的研制，生产了贫铀弹。美国在贫铀的利用方面取得了突破性进展，美国生产的新式 M1A1 坦克采用了贫铀装甲，大大提高了坦克防护能力。在海湾战争期间，美国使用了贫铀穿甲弹。贫铀穿甲弹穿甲性能很强。首先是由于贫铀密度大，制成相同体积的弹丸时质量大，侵彻装甲目标时，其比动能较大，穿透能力强；其次贫铀易氧化，穿甲时发热燃烧，形成较大的后效破坏作用，杀伤乘员及破坏坦克的内部设备。

美国从 1975 年开始投产贫铀弹并装备部队，主要包括以下 5 个口径：20 mm、25 mm、30 mm、105 mm 和 120 mm。例如，120 mm 坦克炮配用 M829 系列尾翼稳定脱壳穿甲弹和 105 mm 坦克炮配用 M900 式尾翼稳定脱壳穿甲弹。另外，陆军 M2/M3 布雷德利战车 25 mm “蝮蛇”自动炮、空军 A-10 攻击机 30 mm 航炮和海军“密集阵”火炮系统 20 mm 自动炮也都配用贫铀弹芯穿甲弹。

M829 式穿甲弹是在德国 DM33 式 120 mm 穿甲弹的基础上研制而成，为定装式长杆式

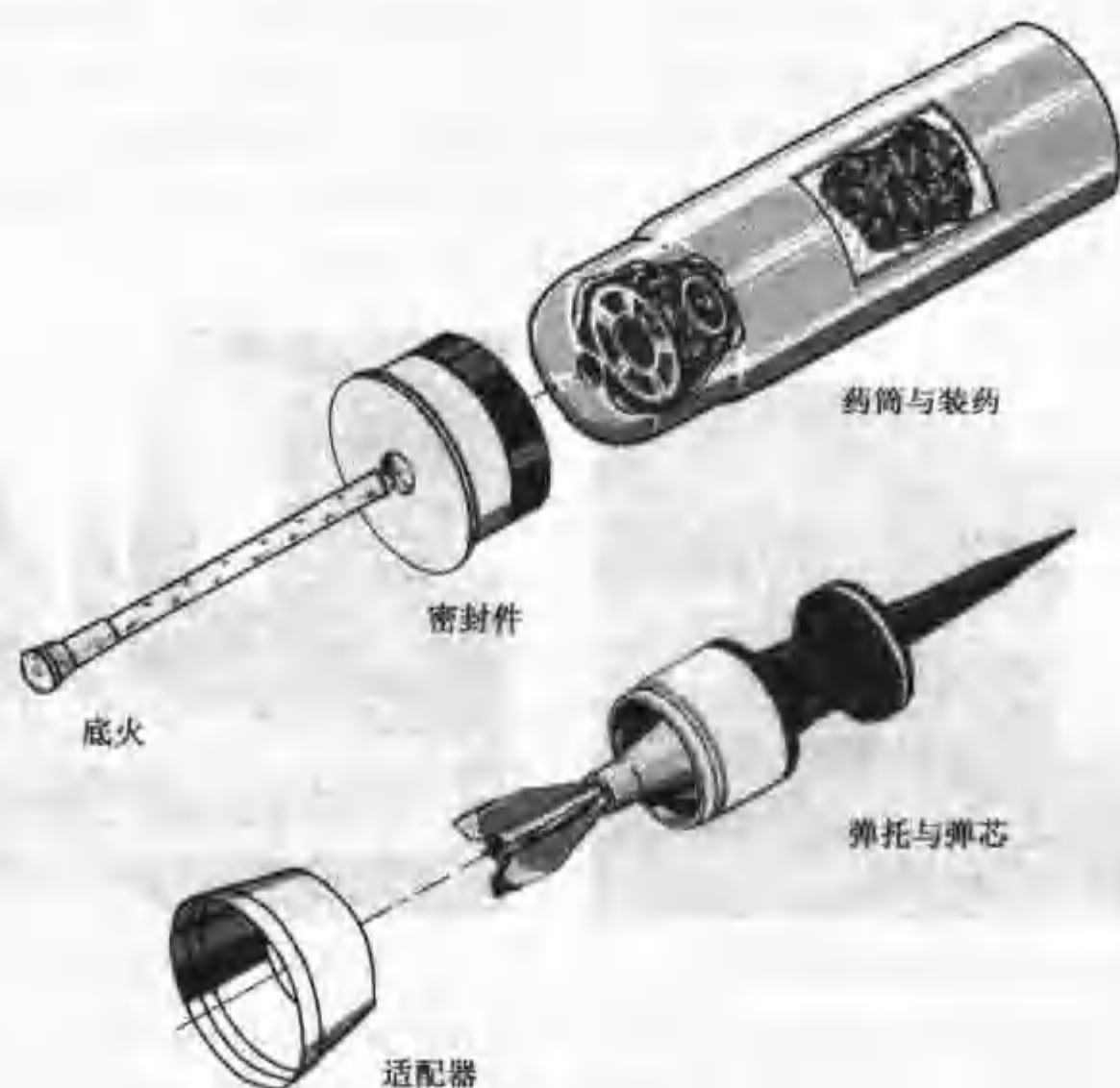


图 4.26 贫铀弹结构图

侵彻弹，用于对付敌方装甲目标。其改进型 M829A1 式炮弹贫铀弹芯长径比为 20:1，初速为 1 675 m/s，在 2 000 m 的距离上可击穿 550 mm 厚的均质钢装甲板。随后，美国又于 1992 年研制出了改进型 M829A2 式炮弹，并于 1993 年开始生产并装备。目前美军装备的 120 mm 贫铀穿甲弹为 M829A1 式和 M829A2 式。在 M829A2 式炮弹中，弹托采用碳-环氧树脂复合材料制造；采用新的机械加工工艺来改进贫铀侵彻弹芯的结构性能，采用特殊的加工工艺对药包进行处理。与 M829A1 式炮弹相比，在 M829A2 式的初速提高了将近 100 m/s。该炮弹在 2 000 m 距离上的穿甲深度为 730 mm。

4.5.3 贫铀对健康的危害

铀是放射性的重金属，铀的损伤作用包括重金属的化学毒性作用和放射性核素的辐射损伤作用两个方面。贫铀的放射性作用于生物体后，会出现核辐射生物效应。生物体（主要是人、动物和植物）吸收核辐射的能量后，会使细胞内物质的分子和原子发生电离和激发，进



而导致体内高分子物质（如蛋白质和核酸等）分子键断裂而破坏；还会使生物机体内水分子电离成自由基，其与细胞内其他物质相互作用，导致细胞变性甚至死亡，直至引起物质代谢和能量代谢障碍，引起整个机体发生一系列病变。

综合起来，贫铀弹对人体至少有五大伤害：引起造血障碍，表现为红细胞、白细胞、血小板和血红蛋白减少，造血细胞受损而导致造血障碍；眼白内障，表现为眼晶体混浊及视觉障碍，也是最早发生和最多见的病症；白血病及其他恶性肿瘤；生育能力下降，甚至会导致精子和卵子中的染色体畸变和基因突变，进而导致下一代的形态或功能出现异常；生长发育出现障碍，严重时会引起寿命缩短，未老先衰或提前死亡。

1. 贫铀的生物代谢

铀属于内照射放射性核素，须进入人体内方能造成损伤效应。铀进入人体的途径主要有经呼吸道吸入、经胃肠道食入以及经皮肤伤口进入人体。铀被人体吸收量的大小除了与进入途径有关外，还与铀化合物的物理、化学性状有关，如铀化合物的溶解度、铀气溶胶粒子粒径的大小等。

进入血液后的铀迅速分布到各组织器官，主要滞留在肾脏、骨骼、肝脏和脾脏。早期在各器官中滞留量排列为：肾脏>骨骼>肝脏>脾脏；晚期骨骼中铀的滞留量比例明显增加。进入血液中的铀主要滞留在肾脏和骨骼，在肾脏与近曲管上皮细胞蛋白结合，在骨中参与骨骼的钙化过程。人体内铀的排除主要通过胃肠道和肾脏排除，可分为快组分排除和慢组分排除。

在贫铀军事应用造成人体铀污染事件中，贫铀主要是以难溶性氧化铀的形式存在。经胃肠道进入人体的难溶性铀化合物几乎不被吸收而通过粪便排出体外，经呼吸道进入体内的难溶性铀则主要沉积在肺部，而且很难被吸收入血液再向其他组织转移，正常皮肤几乎不吸收难溶性铀，但是如果皮肤损伤（外伤、烧伤），则难溶性铀可经伤口直接进入血液。

2. 贫铀的化学毒性及危害

铀与铅、镉一样，是重金属，对健康有不良作用。铀的溶解性与其存在形态、化合物形式以及溶剂性质有关。人体内 80%以上都是液体，为进入体内的贫铀提供了良好的溶解条件。随着时间的延长，几乎所有的铀都能被体液缓慢溶解。一旦溶解，铀便能与生物分子反应，发挥其毒性作用。铀的主要毒性是造成肾小球细胞坏死和肾小管管壁萎缩，导致肾过滤血液杂质的功能下降。溶解的铀一旦进入血液，其 90%以上都可经肾随尿在 24~48 h 排除体外，其余 10%的贫铀将留在体内，最终沉积于骨、肺、肝、肾、脂肪和肌肉中。

研究表明，最易受高剂量贫铀损伤的器官是肾，铀酰-碳酸盐复合物被肾中的尿酸分解所形成的产物是造成肾损伤的主要因素。一些受到贫铀污染的海湾战争退伍军人诊断出肾方面的疾病，主要是多尿症、血管球性肾炎、狼疮和肾功能衰竭等，贫铀可能是主要原因。海湾战争结束 7~8 年后，受贫铀污染的美国退伍军人的尿中仍能检测到较高水平的铀，足以证明这些放射性物质可在体内长期存在，带来健康危害。



除肾脏损伤外，体内贫铀还能导致多种疾病，主要包括呼吸疾病、皮肤疾病、神经功能紊乱、染色体损伤、免疫功能下降等，严重的甚至发生远后效应，如致癌（主要是肺癌、骨癌、白血病等）、遗传毒性和生殖发育障碍等。

3. 贫铀的辐射特性及危害

贫铀的主要成分为铀 238。铀 238 是 α 射线辐射体，其半衰期（放射性衰减一半所需要的时间）为 4.51×10^9 年，因此，贫铀的放射性强度还是比较低的，不到天然铀的 50%。法国曾对其 11 个贫铀储存库的辐射水平进行过监测。结果表明，在简易防护条件下，最大个人暴露剂量远远低于法国规定的公众限量。因此专家认为：固体贫铀在不与人体接触时几乎是安全的。

但应该指出的是，贫铀的放射性危害毕竟还是存在的。除 α 粒子外，贫铀还能释放少量的 β 粒子，长期接触时对健康也有影响，可能造成皮肤损伤。美国陆军环境政策研究所指出：贫铀是低水平的放射性废物，必须按放射性废物处理和储存。虽然贫铀的外照射对健康的危害极小，但一旦进入体内，如不及时促排，将长期滞留在体内，造成肺、骨骼、肝脏、肾脏、肌肉、血液等多种组织器官的内照射损伤，严重的会导致肿瘤。此外，战争条件下，贫铀武器的使用致使人员受伤，或普通野战外伤受到贫铀的污染，贫铀均可通过伤口被吸收进入体内，造成体内贫铀污染，不仅带来健康危害，还会影响伤口的处理与治疗，延迟伤口愈合时间。

贫铀弹的危害主要来自贫铀燃烧或爆炸所形成气溶胶。在作战条件下，弹药中的贫铀有 18%~70% 被燃烧和氧化为细小的颗粒——直径在微米范围的贫铀气溶胶（如 1 枚 120 mm 贫铀穿甲弹发射后可产生 900 g 到 3 400 g 氧化铀气溶胶），而这些气溶胶 50%~96% 可通过呼吸进入人体，其中 52%~83% 在肺液中是难溶的，这些难溶的粒子很难从体内排除，可在肺或其他组织器官中停留数年甚至更长。如果吸入贫铀的剂量较高，将造成肺损伤，严重时甚至导致肺癌。更为严重的是，这些贫铀气溶胶在空气中悬留达数小时，随空气流动或风力作用漂移到下风方向 40 km 以远。即使降落后，还会因风、人员活动和车辆行驶等再度扬起、悬浮，再次造成空气污染。而沉降的贫铀又将造成水、土壤、农作物和其他物体的污染。由于贫铀的半衰期极长，这些污染将经过动、植物的生物代谢进入食物链。人们在污染的环境中生活，呼吸污染的空气，贫铀都将通过吸、食途径进入体内，造成长期的健康影响。

此外，对贫铀污染的分析还表明，贫铀弹中含有微量的铀 236。这种物质在自然界中并不存在，只能来自核反应堆产生的核废料。核电站“燃烧”铀的同时会生成钚，虽然核废料处理过程中人们通过一系列化学手段将钚从铀中分离出来，核废料中仍不可避免含有微量的钚。贫铀弹击中装甲后，弹头中含有的钚也会气化形成气溶胶微粒散入空气中，通过呼吸进入人体肺部。钚的放射性比铀要强 20 万倍，化学毒性比铀强 100 万倍，即使是以毫克计算的微量也会对人体健康带来很大的危害，导致肺癌和骨癌等。

贫铀弹不是核武器，它不是利用核裂变能量来打击敌方目标，所以国际上尚无限制或



禁止对其使用的明文规定。由于贫铀的半衰期（放射性减少一半所需的时间）长达 45 亿年，这种危害将是长期的，持续不断的，因此应该予以关注。

4.6 穿甲弹的发展趋势

从动能穿甲弹的使用情况看，普通穿甲弹主要是发展小口径穿甲弹和半穿甲弹，它所对付的目标主要是飞机、导弹、舰艇和轻型装甲等；但对于重型装甲目标，则主要是发展长杆式尾翼稳定超速脱壳穿甲弹，目前，杆式穿甲弹虽然已在许多国家的军队中进行了装备，但对杆式穿甲弹的研究工作仍方兴未艾，我国发展的杆式穿甲弹也已经接近或赶上世界先进水平。未来穿甲弹的发展趋势可以归结为两个方面，其一是如何提高穿甲威力；其二是如何对付二代反应装甲。

1. 提高穿甲威力

穿甲弹是靠弹丸动能进行穿甲的。根据冲击理论，弹丸对靶板的侵彻深度 L 可近似写为

$$L = \alpha_0 \frac{mv_c^2}{d^2} \quad (4-5)$$

式中， m 为弹丸质量， v_c 为弹丸着靶速度， d 为弹丸直径， α_0 为系数。由上式可见，欲提高侵彻深度，必须增加 mv_c^2/d^2 项的数值。

从该项的物理意义看，它是弹丸单位横截面积上的动能，常称为比动能。这就是说，只有提高弹丸着靶的比动能才能使威力增加。一般来说，为了提高弹丸的比动能，可采用如下措施：

(1) 提高弹丸的着靶速度

由式（4-5）不难看出，弹丸的着靶比动能与着速的平方成正比，增加弹丸着速显然比增加弹丸的质量合算。

为了提高弹丸的着速，首先应提高初速。目前，高膛压火炮和新发射药的研制，在提高弹丸初速上还是行之有效的。此外，应尽量减小弹丸在弹道上的阻力损失，即设计最好的空气动力外形。再者，也可采用增速技术，在增速技术方面，有人提出以火箭增速提高弹丸速度，也有人提出“自燃增速式”铀合金穿甲弹的设想。该弹中心有一轴向通孔，后部有喷嘴，当发射时点火药进入通孔并点燃，此时弹丸将好像冲压式火箭发动机，使弹丸增速。该弹利用铀的可燃性和密度大的特点，使铀既是穿甲弹体，又是增速火箭的推进剂。

(2) 增加弹丸的长细比

由式（4-5）可知，弹丸长细比的增加自然会使 m/d^2 的数值增大。换句话说，长细比提高，弹丸的威力增强。但是，长细比的提高，将会受到弹丸材料的限制。因而，在改进现有弹杆材料的基础上，继续寻求新的性能更好的材料是有意义的。有人提出，弹杆材料与弹杆结构的搭配是影响杆式穿甲弹威力大小的因素之一。这就是说，弹杆的材料和结构不是孤立



的影响因素，而是结合在一起对威力起作用。由此看来，探讨飞行弹体的新结构、研究弹体材料与结构之间的内在关系，对提高杆式穿甲弹的威力和设计水平是有很大大意义的。

(3) 采用高密度合金的弹杆材料

由式(4-5)可见，弹杆材料的密度增加必将使弹丸的比动能增加，从而使威力提高。因而，进一步提高弹杆材料的密度必然是弹杆的发展趋势。上述提高弹丸初速、减小弹丸在外弹道上的速度降低量、增加弹丸的长细比和采用高密度材料作为弹体等，是提高杆式穿甲弹性能的方向，也必然是它的发展趋势。

(4) 减小弹托质量

这不仅依赖于先进的设计理念，还要采用小密度、高性能的金属、非金属及复合材料，如碳纤维-铝复合材料、碳硅纤维-铝复合材料、碳纤维复合材料等。

2. 对付二代反应装甲

反应装甲一般是将 2~3 mm 的钝感炸药层夹在 1~3 mm 的钢板中组成的爆炸块。当杆式弹击中它时引爆炸药，高压爆轰物推动前后钢板向相反方向运动，使弹芯偏转或断裂，降低其侵彻能力。近年来，反应装甲、复合装甲、贫铀装甲、主动装甲发展得很快。二代反应装甲将使杆式弹的穿甲能力损失 16%~67%。

有两种对付反应装甲的思路：在弹芯主侵彻体攻击坦克主装甲之前引爆反应装甲；或在反应装甲上打出一个“通道”，使主侵彻体在不引爆反应装甲的情况下侵彻主装甲。穿甲弹也可以与串联结构的破甲弹类似，采用“穿甲—穿甲”结构。比如采用多节式穿甲弹芯（如 DM33 采用两节弹芯）。也可以采用串联式弹芯，在攻击目标时先由分离机构适时射出前置弹芯打爆反应装甲的头部结构；或将前置弹芯推向弹的前部（与主弹芯间形成固定的距离），在反应装甲上打出通孔、开辟通道，主弹芯随后跟进。

第5章 破甲弹

一般情况下，“破甲弹”是指成型装药破甲弹，也称空心装药破甲弹或聚能装药破甲弹。破甲弹和穿甲弹是击毁装甲目标的两种最有效的弹种，穿甲弹靠弹丸或弹芯的动能来击穿装甲，因此，只有高初速火炮才适于配用。而破甲弹是靠成型装药的聚能效应压垮药型罩，形成一束高速金属射流来击穿装甲，不要求弹丸必须具有很高的弹着速度。因而，破甲弹能够广泛应用在各种加农炮、无坐力炮、坦克炮以及反坦克火箭筒上。

19 世纪发现了带有凹槽装药的聚能效应。在第二次世界大战前期，发现在炸药装药凹槽上衬以薄金属罩时，装药产生的破甲威力大大增强，致使聚能效应得到广泛应用。1936—1939 年西班牙内战期间，破甲弹开始得到应用。随着坦克装甲的发展，破甲弹出现了许多新的结构。例如，为了对付复合装甲和反应装甲爆炸块，出现了串联聚能装药破甲弹；为了提高破甲弹的后效作用，还出现了炸药装药中加杀伤元素或燃烧元素等随进物的破甲弹，以增加杀伤、燃烧作用；为了克服破甲弹旋转给破甲威力带来的不利影响，采用了错位式抗旋药型罩和旋压药型罩。

多年来，国内外就成型装药新结构新技术的研究从来就没有停止过，从 20 世纪 60 年代的变壁厚药型罩、喇叭形和双锥形药型罩，到后来的串联成型装药药型罩、截锥药型罩、分离式药型罩和大锥角自锻破片药型罩等，都是为了对付不断发展的装甲防护而提出的新型成型装药结构。到 20 世纪 80 年代以来，由于坦克装甲防护能力的不断增强，破甲弹性能也不断提高，破甲深度已由原来的 6 倍装药直径提高到 8~10 倍的装药直径。同时，为了提高远距离攻击装甲目标的能力，还出现了末段制导破甲弹和攻击远距离坦克群的破甲子母弹。

目前，许多反坦克导弹都采用了成型装药破甲战斗部；在榴弹炮发射的子母弹（雷）中也普遍使用了成型装药破甲子弹（雷）；在工程爆破、石油勘探中，采用成型装药的聚能爆破、石油射孔也已得到广泛使用。由此可见，对成型装药聚能效应的研究，无论在军事上还是在民用上都具有十分重要的意义。

5.1 破甲弹作用原理

破甲战斗部之所以能够击穿装甲，得益于带凹槽装药爆炸时的聚能效应。具体地说，装药凹槽内衬有金属药型罩的装药爆炸时，产生的高温、高压爆轰产物迅速压垮金属药型罩，使其在轴线上闭合并形成能量密度更高的金属射流，从而侵彻直至穿透装甲。



5.1.1 聚能效应

首先观察不同装药结构爆炸后对装甲的不同作用，如图 5.1 所示，在同一块靶板上安置了 4 个不同结构形式但外形尺寸相同的药柱。当使用相同的电雷管对它们分别引爆时，将会观察到对靶板破坏效果的极大差异：圆柱形装药只在靶板上炸出了很浅的凹坑（图 5.1 (a)）；观察到对靶板破坏效果的极大差异：圆柱形装药只在靶板上炸出了很浅的凹坑（图 5.1 (a)）；带有锥形凹槽的装药炸出了较深的凹坑（图 5.1 (b)）；锥形凹槽内衬有金属药型罩的装药，炸出了更深的洞（图 5.1 (c)）；锥形凹槽内衬有金属药型罩且药型罩距靶板一定距离的装药却穿透靶板，形成了入口大出口小的喇叭形通孔（图 5.1 (d)）。

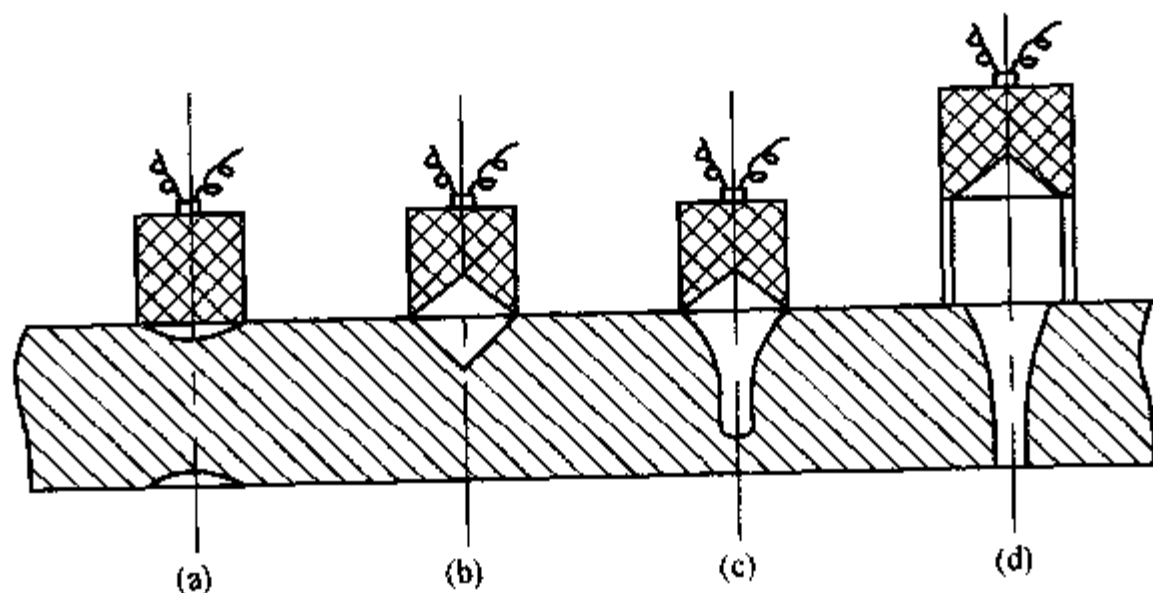


图 5.1 不同装药结构对靶板的破坏

(a) 圆柱形装药; (b) 锥形凹槽装药; (c) 锥形装药; (d) 距靶板一定距离的锥形装药

上述现象可以通过爆轰理论来说明。由爆轰理论可知，一定形状的药柱爆炸时，必将产生高温、高压的爆轰产物，在瞬时爆轰条件下可以认为，这些产物将沿炸药表面的法线方向向外飞散，因而在不同方向上炸药爆炸能量也不相同。这样，可以根据确定角平分线的方法确定作用在不同方向上的有效装药，如图 5.2 所示。圆柱形装药作用在靶板方向上的有效装药仅仅是整个装药的很小部分，又由于药柱对靶板的作用面积较大（装药的底面积），因而能量密度较小，其结果只能在靶板上炸出很浅的凹坑。

然而，当装药带有凹槽后，情况就发生了变化。如图 5.3 所示，虽然有凹槽使整个装药量减小，但有效装药量并不减少，而且凹槽部分的爆轰产物也将沿装药表面的法线方向向外飞散，并且互相碰撞、挤压，在轴线上汇合，最终将形成一股高压、高速和高密度的气流。此时，由于气流对靶板的作用面积减小，能量密度提高，故能炸出较深的坑。这种利用装药一端的空穴使能量集中从而提高爆炸后局部破坏作用的效应就称



为“聚能效应”。

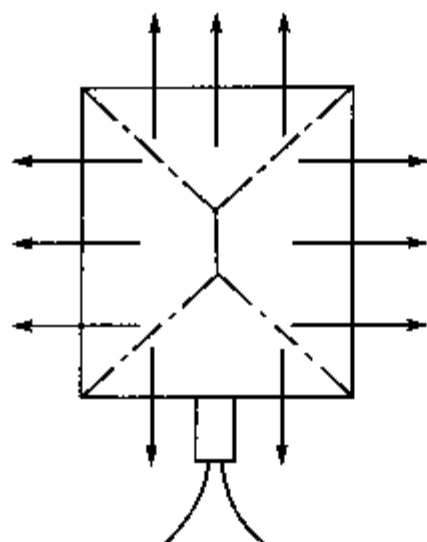


图 5.2 柱形装药爆轰产物的飞散

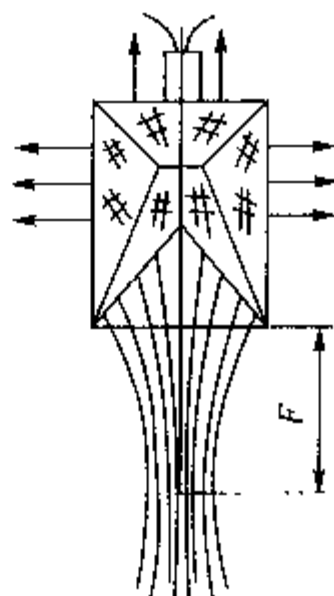


图 5.3 无罩聚能装药爆轰产物的飞散

由图 5.3 还可以看出，在气体流的汇集过程中，总会出现直径最小、能量密度最高的气体流断面。该断面常称为“焦点”，而焦点至凹槽底端面的距离称为“焦距”（图中的距离 F ）。不难理解，气体流在焦点前后的能量密度都将低于焦点处的能量密度，因而适当提高装药至靶板的距离可以获得更好的爆炸效果。装药爆炸时，凹槽底端面至靶板的实际距离，常称为炸高。炸高的大小，无疑将影响气体流对靶板的作用效果。

至于锥形凹槽内衬有金属药型罩的装药，之所以会提高破甲效果，简单地说，那是因为炸药爆炸时，汇聚的爆轰产物压垮药型罩，使其在轴线上闭合并形成能量密度更高的金属射流，从而增加对靶板的侵彻深度；而具有一定炸高时，金属射流在冲击靶板前进一步拉长，在靶板上形成更深的穿孔。

5.1.2 金属射流的形成

如图 5.4 所示，当带有金属药型罩的炸药装药被引爆后，爆轰波将从装药底部向前传播，传到哪里，哪里的炸药爆轰，并产生高温、高压的爆轰产物。当爆轰波传播到药型罩顶部时，所产生的爆轰产物将以很高的压力冲量作用于药型罩顶部，从而引起药型罩顶部的高速变形。随着爆轰波的向前传播，这种变形将从药型罩顶间到底部相继发生，其变形速度（亦称压垮速度）很大，一般可达 $1\,000\sim 3\,500\text{ m/s}$ 。在药型罩被压垮的过程中，可以认为，药型罩微元也是沿罩面的法线方向作塑性流动，并在轴线上汇合（亦称闭合）；汇合后将沿轴线方向运动。



实验和理论分析都已表明,药型罩闭合后,罩内表面金属的合成速度大于压垮速度,从而形成金属射流(或简称射流);而罩外表面金属的合成速度小于压垮速度,从而形成杵状体(或简称杵体)。就目前的情况看,射流的头部速度可达 $7\,000\sim 10\,000\text{ m/s}$;杵体的速度一般为 $500\sim 1\,000\text{ m/s}$ 。

以定常不可压缩流体动力学理论为基础,可以导出射流速度和杵体速度计算式

$$\begin{aligned} v_{ji} &= \frac{v_{oi} \cos(\beta_i/2 - \alpha - \delta_i)}{\sin(\beta_i/2)} \\ v_{si} &= \frac{v_{oi} \sin(\alpha + \delta_i - \beta_i/2)}{\cos(\beta_i/2)} \end{aligned} \quad (5-1)$$

式中, v_{ji} 、 v_{si} 分别为射流速度和杵体速度;

v_{oi} ——罩体某微元 i 的压垮速度;

β_i ——压垮角;

δ_i ——飞散角;

α ——药型罩半锥顶角。

在药型罩压垮过程中,由于药型罩顶部处的有效装药量大、金属量少,因而压垮速度大,形成的射流速度高;而在药型罩底部,其有效装药量小、金属量多,因而压垮速度和相应的射流速度都比前者低。可见,就整个金属射流而言,其头部速度高,尾部速度低,即存在着速度梯度。这样,当装药距靶板一定距离时,随着射流的向前运动,射流将在拉应力的作用下不断被拉长,使得侵彻深度加大。但当炸高过大,射流被拉伸到一定长度时,由于拉应力大于金属射流的内聚力,因而射流被拉断,并形成许多直径为 $0.5\sim 1\text{ mm}$ 的细小微粒(如图 5.5),使得其侵彻能力下降,影响穿孔深度。因此,装药存在一个最佳炸高。

实验显示,当爆轰波到达药型罩底部端面时,由于突然卸载,在距罩底端面约 $1\sim 2\text{ mm}$ 的地方将出现断裂,该断裂物并以一定的速度飞出,这就是通常所说的“崩落圈”,如图 5.6 所示。

实验结果还表明,射流是由药型罩的内表面形成的,且射流部分的质量与药型罩的锥角有关,一般其质量只占药型罩质量的 $10\%\sim 30\%$ 。

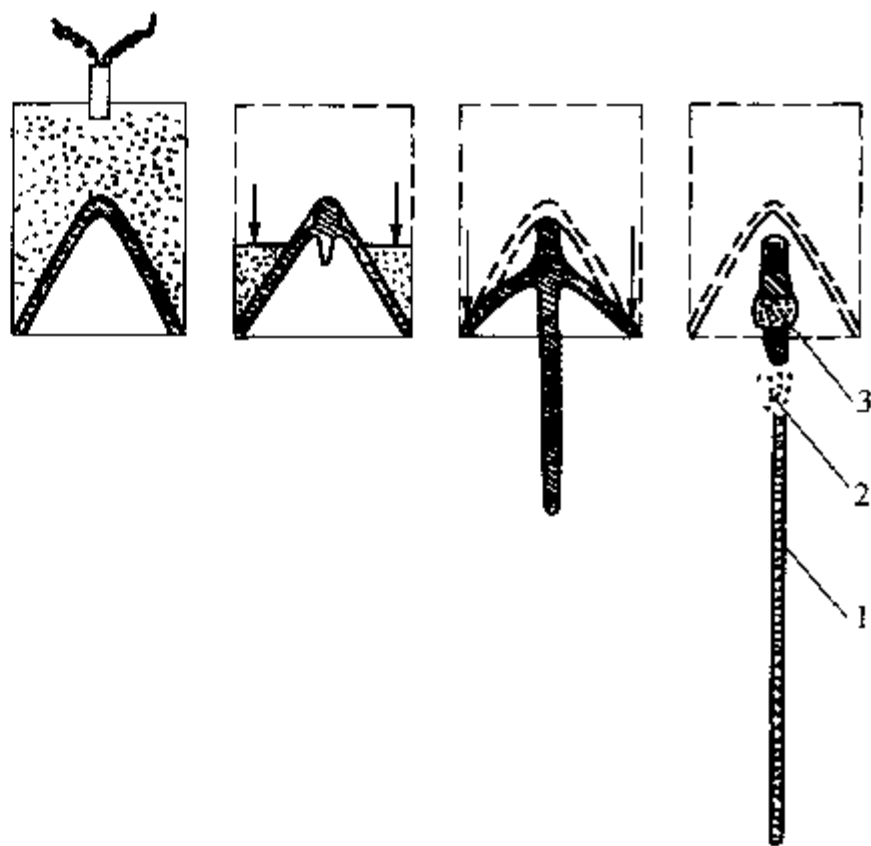


图 5.4 金属射流的形成

1—射流;2—碎片;3—杵体



图 5.5 金属射流被拉断情形



图 5.6 形成崩落圈

5.1.3 破甲作用

实验表明,射流部分的质量与药型罩锥角的大小有关,一般占药型罩质量的 10%~30%,虽然金属射流的质量不大,但由于其速度很高,所以它的动能很大。射流就是依靠这种动能来侵彻与穿透靶板的。金属射流侵彻靶板的过程如图 5.7 所示。

金属射流对靶板的侵彻过程,大致可以分为如下三个阶段:

1. 开坑阶段

开坑阶段也就是射流侵彻破甲的开始阶段。当射流头部碰击靶板时,碰撞点的高压和所产生的冲击波使靶板自由界面崩裂,并使靶板和射流残渣飞溅,而且在靶板中形成一个高温、高压、高应变率的区域,简称为“三高区”。此阶段所形成的孔深只占整个孔深的很小部分。

2. 准定常侵彻阶段

在这一阶段中,射流对三高区状态的靶板进行侵彻破孔。侵彻破甲的大部分破孔深度是在此阶段形成的。由于此阶段中的破击压力不是很高,射流的能量变化缓慢,破甲参数和破孔的直径变化不大,基本上与时间无关,故称为准定常侵彻阶段。

3. 终止阶段

这一阶段的情况较为复杂。首先,射流速度已经很低,靶板强度对阻止射流侵彻的作用愈来愈明显;其次,由于射流速度的降低,不仅破甲速度减小,而且扩孔能力也下降,以致后续射流推不开前面已经释放出能量的射流残渣,不能作用于靶孔的底部,而是作用于射流残渣上,影响侵彻破甲的进行;再者,射流在破甲的后期出现失稳(颈缩和断裂),从而影响破甲性能。当射流速度低

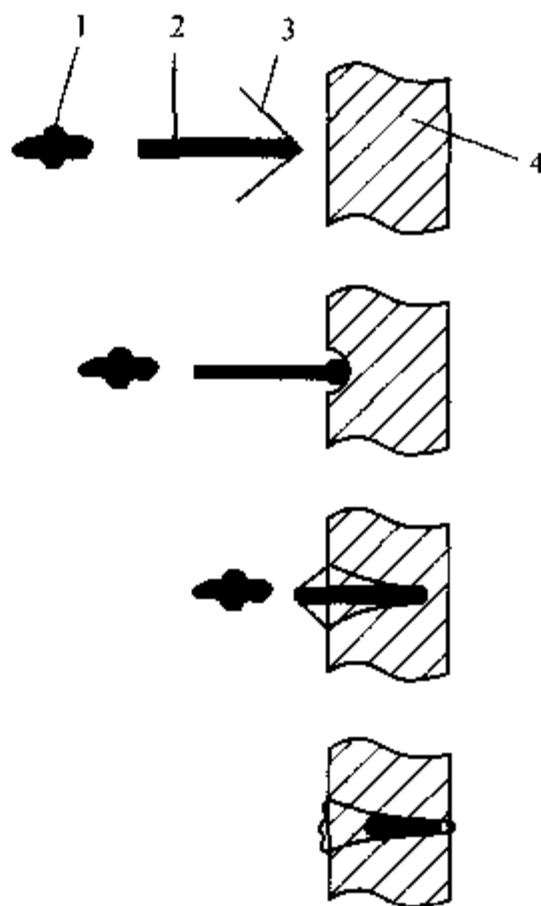


图 5.7 金属射流的破甲过程

1—弹体;2—金属射流;
3—弹道波;4—铜靶



于射流开始失去侵彻能力的所谓“临界速度”时，射流已不能继续侵彻破孔，而是堆积在坑底，使破甲过程结束。

对于杵体，由于其速度较低，一般不能起破甲作用，即使在射流穿透靶板的情况下，杵体也往往留存在破孔内。

在工程设计中，常用一些经验公式来估算设计方案的破甲深度。根据新 40 破甲弹总结的经验公式为

$$L = 1.7 \left(\frac{1}{2 \tan \alpha} + \gamma \right) d_k \quad (5-2)$$

式中， L ——静破甲的平均深度；

α ——药型罩半锥角；

γ ——与药型罩锥角有关的系数；

d_k ——药型罩口部内直径。

5.2 影响破甲威力的因素

成型装药破甲弹主要是用来对付敌方坦克和其他装甲目标的，为了有效地摧毁敌方坦克，要求破甲弹具有足够的破甲威力，其中包括破甲深度、后效作用和金属射流的稳定性等。

总的说来，射流的形成是一个非常复杂的过程，一般可分为两个阶段：第一阶段是成型装药起爆，炸药爆轰，进而推动药型罩微元向轴线运动。在这个阶段内起作用的因素，是炸药性能、爆轰波形、药型罩材料和壁厚等；第二阶段是药型罩各微元运动到轴线处并发生碰撞，形成射流和杵体。在这个阶段中起作用的因素主要是罩材的音速、碰撞速度和药型罩锥角等。因此，影响破甲威力的因素主要有炸药装药、药型罩、炸高、旋转运动、壳体、引信、隔板材料及形状等。

5.2.1 炸药装药

炸药是使药型罩形成聚能金属射流的能源。理论分析和试验研究都表明，炸药性能影响破甲威力的主要因素是炸药的爆轰压力。国外曾做过不同炸药的破甲威力试验，试验药柱直径为 48 mm，长度为 140 mm；药型罩材料为钢，锥角 44° ，底径为 41 mm；炸高为 50 mm。试验结果见表 5-1。

可见，随爆轰压力的增加，破甲深度和孔容积都将增大。由爆轰理论可知，爆轰压力 p 的近似表达式为

$$p = \rho D^2/4 \quad (5-3)$$



式中, ρ ——炸药装药的密度;

D ——炸药装药的爆速。

表5-1 炸药性能对破甲威力的影响

炸 药	密度 / $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	爆压 / 10^8 Pa	破甲深 /mm	孔容积 / cm^3	试验发数
B 炸药	1.71	232	144 $\pm$ 4	35.1 $\pm$ 1.9	8
RDX/TNT 80/20	1.662	209	136 $\pm$ 9	29.8 $\pm$ 1.7	4
RDX/TNT 50/50	1.646	194	140 $\pm$ 4	27.5 $\pm$ 1.2	5
RDX/TNT 20/80	1.634	171	138 $\pm$ 7	23.5 $\pm$ 0.7	5
TNT	1.591	152	124 $\pm$ 7	19.2 $\pm$ 1.2	10
RDX	1.261	123	114 $\pm$ 5	12.6 $\pm$ 0.9	10

由此可知, 欲取得较大的爆压 p , 应使装药的密度 ρ 和爆速 D 增大。因此, 在聚能装药中, 应尽可能采用高爆速炸药和增大装填密度。除此之外, 破甲深度还与装药直径和长度有关。试验表明, 随着装药直径和长度的增加, 破甲深度逐渐加大。

增加装药直径(相应地增加药型罩口径)对提高破甲威力特别有效, 破甲深度和孔径都随装药直径的增加而增加。但是, 装药直径受到弹径的限制, 增加装药直径必然要相应地增加弹径和弹重, 这在实际设计中是受限制的。随着装药长度的增加, 破甲深度增加, 但当装药长度超过3倍装药直径时, 破甲深度不再增加。这是因为稀疏波的传入使有效装药量接近于一个常数。

在确定聚能装药的结构形状时, 必须考虑多方面的因素, 既要使装药重量轻, 又要使破甲效果好。通常聚能装药带有尾锥, 有利于增加装药长度, 又可以减小装药质量, 还不致影响有效装药量。

另外, 为了对付坦克的屏蔽及间隔装甲, 必须提高远炸高时的破甲性能。精密成型装药与非精密成型装药对比, 在远炸高时存在着突出的优点。精密成型装药的设计特点是十分注意成型装药的对称性和均匀性。药型罩要精密制造, 锥形罩母线旋成面必须平直, 表面要求抛光, 厚度差需严格控制在非精密罩的1/10。关于装药成分不均匀性对金属射流的影响, 在美国BRL精密药型罩上进行了仔细研究。采用TNT、RDX混合炸药压制药柱, 人为地造成局部RDX含量有3%的不对称, 用脉冲X光摄影测量射流偏离轴线的最大值。结果是: 成分不均匀性小于3%的成型装药, 射流在1180mm范围内的偏离轴线值小于15mm; 而当成分不均匀性为3%的部分占据药柱的整个半侧时, 射流偏离轴线的最大值达到50mm, 并成为倾斜或弯曲的射流, 这时侵彻深度显著下降。



5.2.2 药型罩

药型罩是形成金属射流的主要零件。它的形状、锥角、壁厚、材料和加工质量等都对破甲威力具有显著影响。

1. 形状

药型罩形状是多种多样的，有半球形、截锥形、喇叭形和圆锥形等，如图 5.8 所示。

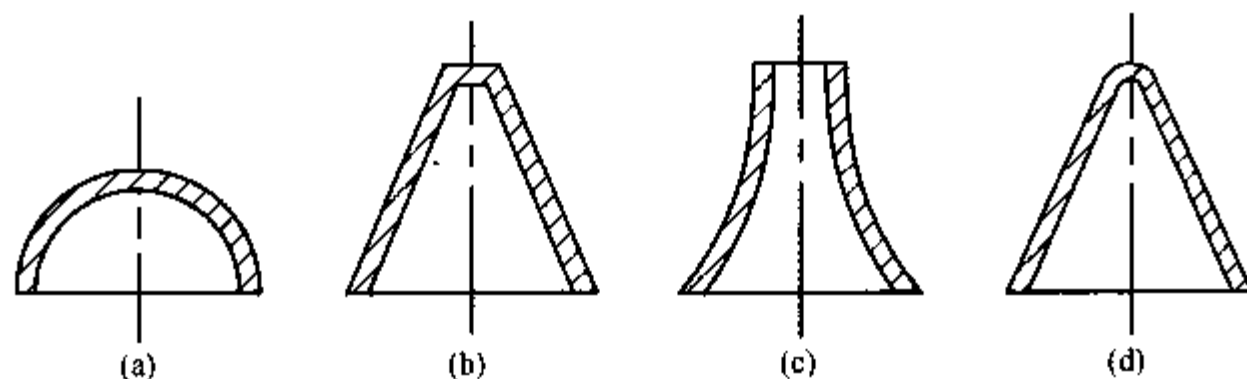


图 5.8 常用药型罩的形状

(a) 半球形；(b) 截锥形；(c) 喇叭形；(d) 圆锥形

不同形状的药型罩，在相同装药结构的条件下得到的射流参数不同。对装药直径为 30 mm、长度为 70 mm 的聚能装药，药型罩壁厚为 1 mm（钢板）所做的试验表明（见表 5-2）：喇叭形药型罩所形成的射流速度最高，圆锥形次之，而半球形最差。

表 5-2 药型罩形状对射流速度的影响

药型罩形状	药型罩参数		射流头部速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
	底部直径/mm	锥角/($^\circ$)	
喇叭形	27.2	—	9 500
圆锥形	27.2	60	6 500
半球形	28	—	3 000

虽然喇叭形药型罩具有母线长、炸药装药量大和变锥角等优点，但其工艺性不好，不易保证加工质量。因此，在国内外装备的破甲弹中大都采用圆锥形药型罩。圆锥形药型罩不但能够满足破甲威力要求，而且工艺简单、容易制造。

为了克服弹丸高速旋转对破甲性能的不利影响，提出了抗旋药型罩（如错位药型罩和螺旋药型罩等）。为了提高成型装药破甲弹的侵彻能力，在一些破甲弹上亦采用双锥药型罩（如图 5.9）。



2. 锥角

圆锥形药型罩锥角的大小, 对所形成射流的参数、破甲效果以及后效作用都有很大影响。当锥角小时, 所形成的射流速度高, 破甲深度也大, 但其破孔直径小, 后效作用及破甲稳定性较差; 而当锥角大时, 虽然破甲深度有所降低, 但其破孔直径大, 并且后效作用及破甲稳定性都较好。

对药型罩锥角的研究表明, 其锥角在 $35^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 之间选取为好。对中、小口径破甲弹, 可以取 $35^{\circ} \sim 44^{\circ}$; 对中、大口径, 可以取 $44^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。采用隔板时锥角宜大些, 不采用隔板时, 锥角宜小些。

3. 壁厚

药型罩的壁厚与药型罩材料、锥角、罩口径和装药有无外壳有关。总的说来, 药型罩壁厚随罩材密度的减小而增大, 随罩锥角的增大而增大, 随罩口径的增加而增大, 随外壳的加厚而增大。

为了改善射流性能, 提高破甲效果, 在实践中通常采用变壁厚药型罩 (如图 5.10)。实验结果表明, 采用顶部厚、底部薄的药型罩, 其穿孔浅; 采用顶部薄、底部厚的药型罩, 只要壁厚变化适当, 穿孔进口变小, 随之出现鼓肚, 且收敛较慢, 能够提高破甲效果, 但如果壁厚变化不合适, 则破甲深度降低。

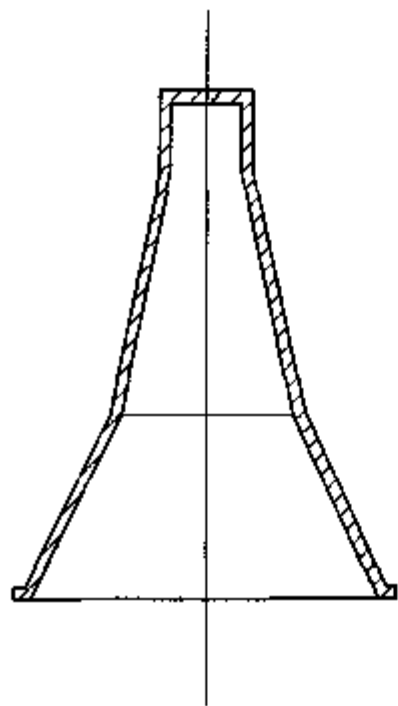


图 5.9 双锥形

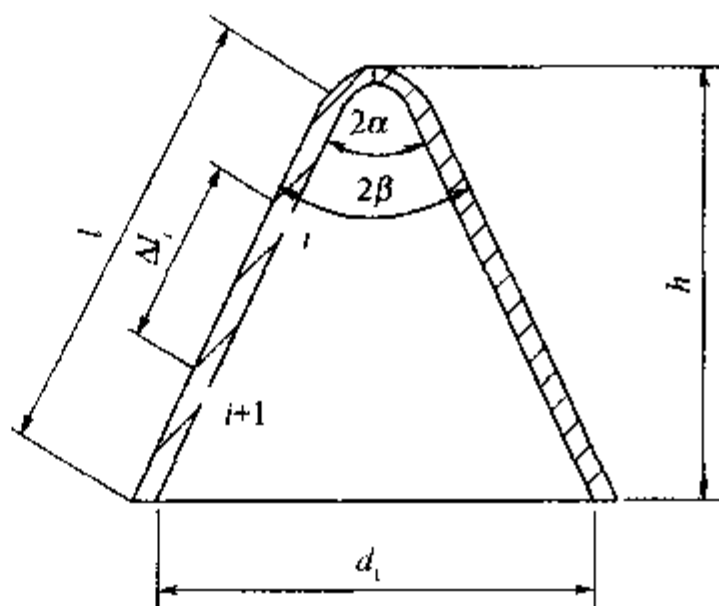


图 5.10 变壁厚药型罩

采用顶部薄、底部厚的变壁厚药型罩之所以使破甲深度增加, 是因为这样的药型罩使射流头部速度提高、射流尾部速度降低, 从而增加了射流的速度梯度, 使射流拉长。壁厚的变化情况, 通常以壁厚的变化率 Δ 来表征, 即



$$\Delta = \frac{\delta_{i+1}l - \delta_i}{\Delta l_i} \quad (5-4)$$

式中, Δl_i ——对应于微元 i 的母线长度;

δ_{i+1} 和 δ_i ——对应于同一母线上点 $i+1$ 和点 i 处的壁厚;

l ——药型罩母线长。

一般来说, 药型罩的厚度变化率为 1% 左右。锥角小时低些, 锥角大时高些。

4. 材料

当药型罩被压垮后, 形成连续不断裂的射流愈长, 密度愈大, 其破甲愈深。从原则上讲, 要求药型罩材料密度大、塑性好、在形成射流过程中不气化。

表5-3 不同材料药型罩的破甲试验结果

罩 材	破甲深度/mm			试验发数
	平 均	最 大	最 小	
紫 铜	123	140	103	23
生 铁	111	121	98	4
钢	103	113	96	5
铝	72	73	70	5
锌	79	93	66	5
铅	91	-	-	1

对采用梯黑 (50/50) 药柱、装药直径为 36 mm、药量为 100 g (装药密度为 1.6 g/cm^3)、药型罩锥角为 40° 、罩壁厚为 1 mm、罩口直径为 30 mm 和炸高为 60 mm 的试验结果表明 (见表 5-3), 紫铜的密度较高, 塑性好, 破甲效果最好; 铝虽然延性较好, 但密度太低, 熔点低; 铅虽然密度高, 延展性也好, 但由于其熔点和沸点都很低, 在形成射流的过程中易气化, 所以铝和铅的药型罩破甲效果不好。

为了提高破甲弹的破甲效果, 也可以采用“复合材料药型罩”, 即药型罩内层用紫铜, 外层用铝合金、镁合金、钛合金和锆合金等具有燃烧效能的低燃点的金属材料。

5. 加工质量

药型罩一般采用冷冲压、旋压法和数控机床切削加工法制造。用旋压法制造的药型罩具有一定的抗旋作用, 这是因为在旋压过程中改变了金属药型罩晶粒结构的方向, 形成内应力所致。

药型罩的壁厚差易使射流扭曲, 影响破甲效果, 所以在加工时应严格控制壁厚差 (一般要求不大于 0.1 mm), 特别是靠近锥顶部的壁厚差, 对破甲的影响更大, 所以更应严格控制。



5.2.3 炸高

炸高指聚能装药在爆炸瞬间，药型罩的底端面至靶板的距离。静止实验时的炸高称为静炸高，而实弹射击时的炸高称为动炸高。炸高对破甲深度的影响很大（图 5.11）。炸高对破甲威力的影响可以从两个方面来分析，一方面随炸高增加，射流伸长，从而破甲深度增加；另一方面随炸高增加，射流产生径向分散和摆动，延伸到一定程度后出现断裂，从而使破甲深度降低。

与最大破甲深度相对应的炸高，称为最有利炸高。影响最有利炸高的因素很多，诸如药型罩锥角、材料，炸药性能和有无隔板等都有关系。图 5.12 给出了罩锥角为 45° 时，不同材料药型罩的破甲深度与炸高的关系曲线。在一般情况下，最有利炸高的数值常根据实验结果确定。

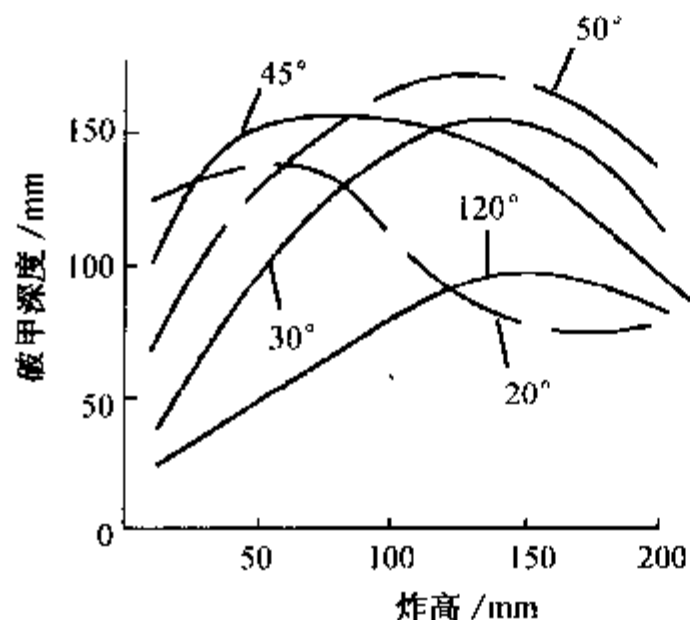


图 5.11 不同罩锥角时炸高与破甲深度的关系曲线

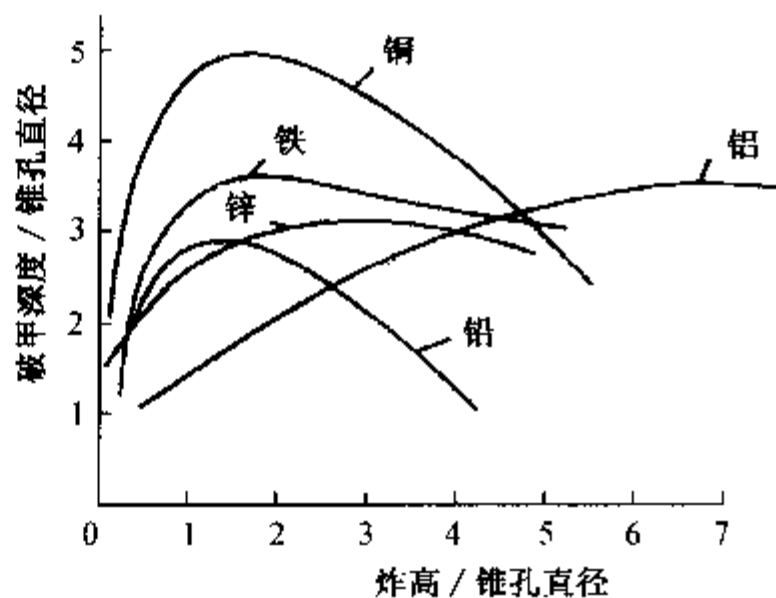


图 5.12 不同罩材的炸高与破甲深度的关系曲线

5.2.4 引信

引信与破甲弹的结构、性能有密切的关系。首先，引信能直接关系到破甲弹的破甲威力，引信的作用时间对炸高有影响，引信雷管的起爆能量、起爆的对称性、传爆药等都会直接影响破甲威力和破甲稳定性。所以，应根据具体的装药结构选择合适的引信。其次，引信的头部机构和底部机构在破甲弹上通常是分开的，在设计破甲弹结构时，必须考虑构成引信回路问题。

适合破甲弹破甲威力要求和结构要求的首选引信是压电引信。压电引信作用原理是由引



信顶部的压电晶体在撞击装甲板时受压所产生的电荷，经导线回路传到破甲弹底部的电雷管，以起爆成型装药。压电引信瞬发度高，不需要弹上的电源，靠晶体受压产生电压，结构简单、作用可靠，因而在破甲弹上得到广泛应用。

5.2.5 隔板

隔板是指在炸药装药中，药型罩与起爆点之间设置的惰性体或低速爆炸物。隔板的作用，在于改变在药柱中传播的爆轰波形，控制爆轰方向和爆轰到达药型罩的时间，提高爆炸载荷，从而增加射流速度，达到提高破甲威力的目的。

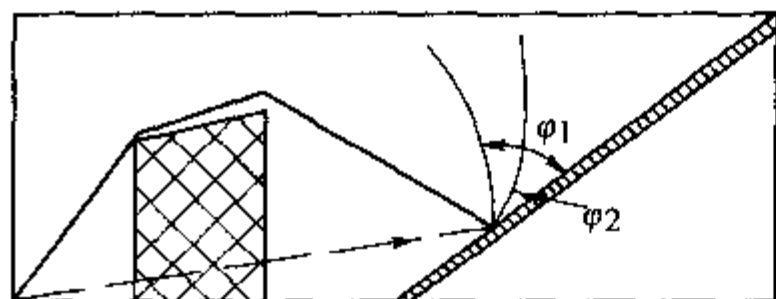


图 5.13 爆轰波传播示意图

隔板的形状可以是圆柱形、半球形、球缺形、圆锥形和截锥形等，目前多用截锥形。

图 5.13 是爆轰波在装药中的传播示意图。

无隔板装药的爆轰波形是由起爆点发出的球面波，波阵面与罩母线的夹角为 φ_1 。有隔板装药的爆轰波传播方向分成两路，一路是由起爆点开始经过隔板向药型罩传播；另一路是由起爆点开始绕过隔板向药型罩传播，结果可能形成具有多个前突点的爆轰波，这时，作用于药型罩上的爆轰波阵面与罩母线的夹角为 φ_2 ，显然 $\varphi_2 < \varphi_1$ 。

理论分析与实验结果表明，作用于药型罩壁上某点的初始压力与 φ 角有关。对于紫铜药型罩，初始压力 p_m 的近似表达式为

$$p_m \approx p_{cj} (\cos \varphi + 0.68) \quad (5-5)$$

式中， p_{cj} 为爆压。

由于采用隔板后， φ 角变小，故作用于罩面上的初始压力增加。为了获得良好的爆轰波形，必须对隔板材料和尺寸进行合理的选择。隔板材料一般采用塑料，因为这种材料音速低，隔爆性能好，并且密度小，还有足够的强度。表 5-4 中给出了几种惰性隔板材料的性能。

表 5-4 常用的几种惰性隔板的性能

材 料	酚醛层压布板 (3302-1)	酚醛压塑料 (FS-501)	聚苯乙烯泡沫塑料 (PB-120)	标准纸板
密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^3$)	1.3~1.45	1.4	0.18~0.22	0.7
抗压强度/($\times 10^5 \text{ Pa}$)	2 500	1 400	30	—

除惰性材料外，也可采用低速炸药制成的活性隔板。由于活性隔板本身就是炸药，它改变了惰性隔板情况下冲击引爆的状态，从而提高了爆轰传播的稳定性，对提高破甲效果的



稳定性大有好处。

隔板直径的选择与药型罩锥角有很大关系，一般随罩锥角的增大而增大。当药型罩锥角小于 40° 时，采用隔板会使破甲性能不稳定，因而必要性不大。实践表明，在采用隔板时，隔板直径以不小于装药直径的一半为宜。

隔板厚度与材料的隔爆性有关，过薄、过厚都没有好处，过薄会降低隔板的作用，过厚可能产生反向射流，同样降低破甲效果。

在确定隔板时，应合理地选择隔板的材料和尺寸，尽量使爆轰波形合理，光滑连续，不出现节点，以便保证药型罩从顶至底的闭合顺序，充分利用罩顶药层的能量。

5.2.6 旋转运动

弹丸的旋转运动，一方面会破坏金属射流的正常形成，使射流早断；另一方面使断裂金属射流颗粒在离心力作用下甩向四周，以致横截面增大，中心变空，而且这种现象将随转速的增大而加剧。

聚能装药处于旋转运动状态时，最有利炸高将比无旋转运动时要大大缩短，并且随转速的增大，其最有利炸高将变得更短。

此外，旋转运动对破甲性能的影响还随着药型罩锥角的减小而增大，随着装药直径的增大而增大。要消除旋转运动对破甲性能的影响，可以采用错位式抗旋药型罩、旋压药型罩（对于低速旋转破甲弹）或者从结构上考虑减旋等途径。

5.2.7 壳体

试验表明，装药有壳体和无壳体相比，破甲效果有很大差别，此差别主要是由弹底和隔板周围部分的壳体所造成的。

壳体对破甲效果的影响是通过壳体对爆轰波形的影响而产生的，其中主要表现在爆轰波形成的初始阶段。壳体对于破甲性能的影响可以从两个方面来分析。对于光药柱可以通过试验使得爆轰波形与药型罩压合之间获得良好配合。当药柱带有壳体时，由于爆轰波在壳体壁面上发生反射，并且稀疏波进入推迟，从而使靠近壳体壁面的爆轰能量得到加强。这样一来，侧向爆轰波较之中心爆轰波提前到达药型罩壁面，损害罩顶各部分的受载情况，迫使罩顶后喷，形成反向射流，从而破坏了药型罩的正常压垮顺序，使最终形成的射流不集中、不稳定，导致破甲威力下降。另一方面，当药柱增加壳体后，将减弱稀疏波的作用，而且，如果适当改变装药结构，也可以提高破甲性能。在同样条件下，减小隔板的直径和厚度，可降低壳体的影响。从而有利于提高炸药的能量利用率。



5.2.8 靶板

靶板对破甲性能的影响主要有两个方面,即靶板材料和靶板结构。靶板材料对破甲效果的影响很大,其中主要的影响因素是材料的密度和强度。当靶板材料密度加大、强度提高时,射流破甲深度减小。靶板结构形式包括靶板倾角、多层间隔靶、复合装甲以及反应装甲等。一般说来,倾角越大越容易产生跳弹,对破甲性能产生不利影响。多层间隔靶抗射流侵彻能力比同样厚度的单层均质靶强,由钢与非金属材料组成的复合装甲可以使射流产生明显的弯曲和失稳,从而影响其破甲能力。对于由夹在两层薄钢板之间的炸药所构成的反应装甲而言,当射流头部穿过反应装甲时,引爆炸药层,爆轰产物推动薄钢板以一定速度抛向射流,使射流产生横向扰动,从而使射流的破甲性能降低。

随着高强度靶板和新型靶板的应用,应对靶板材料的影响进行认真、深入的研究,以便有的放矢地对付坦克和装甲目标。

5.3 成型装药破甲弹的结构

成型装药破甲弹是在第二次世界大战中出现的。早期的成型装药破甲弹,多采用旋转稳定方式,其外形基本上与普通炮弹一致,后来,人们发现弹丸的高速旋转运动将破坏金属射流的稳定性,致使破甲威力大大降低。例如,对中口径破甲弹来说,当转速为 20 000 转/min 时,破甲深度下降 30%~60%。

目前,为了保证和提高破甲弹的威力,许多国家都采用了不旋转的或微旋的尾翼式稳定结构。此外,对于旋转稳定方式,人们也进行了许多抗旋结构的研究。

为了适应各种火炮的要求,加上多年来破甲弹本身在结构上的发展,使破甲弹的结构多种多样。但一般来说,成型装药破甲弹大都由弹体、炸药装药、药型罩、隔板、引信和稳定装置等部分组成。它们的差别,主要反映在火炮发射特点、弹形和稳定方式上。

从稳定方式来看,目前所装备的破甲弹有旋转稳定式和尾翼稳定式两种。在一般情况下,无论哪一种破甲弹,它们都需要直接命中目标而起作用,因而要求具有较高的射击精度。与动能穿甲弹一样,破甲弹的威力指标也常以穿透一定倾角的装甲靶板厚度(即靶厚/倾角)的形式给出。为了保证破甲弹能够可靠地摧毁敌方的坦克目标,有时还对其后效作用提出明确的战术技术要求,例如规定射流穿孔的出口直径,或者规定穿透一定厚度的后效靶板数。除此之外,还明确要求破甲弹具有一定的直射距离。



5.3.1 气缸式尾翼破甲弹

气缸式尾翼破甲弹，是因利用火药气体的压力推动活塞使尾翼张开而得名的。这种炮弹的结构，如图 5.14 所示。

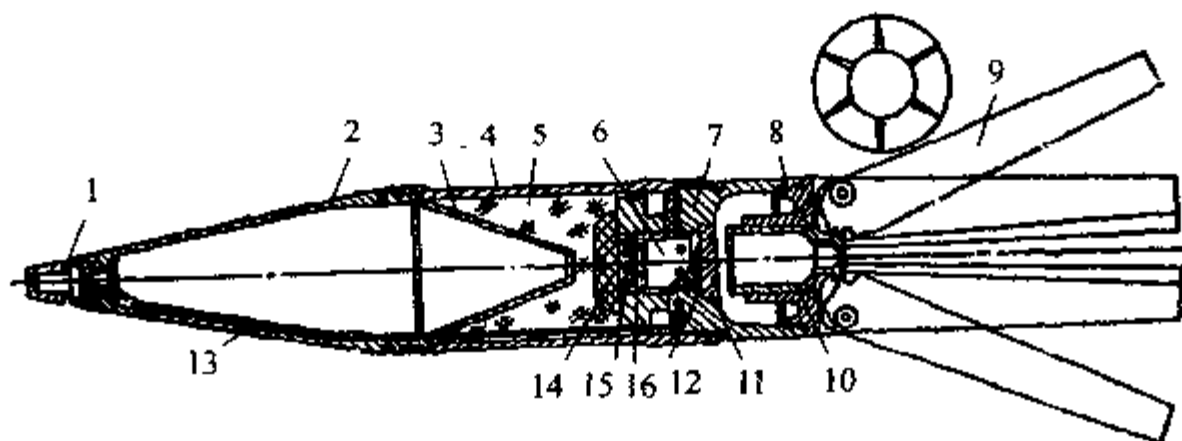


图 5.14 气缸式尾翼破甲弹的结构

1—引信头部；2—头螺；3—药型罩；4—弹体壳；5—主药柱；6—引信底部；7—弹底；8—尾翼座；
9—尾翼（6片）；10—活塞；11—橡皮垫圈；12—螺塞；13—导线；14—隔板；15—副药柱；16—支承座

1. 弹体

弹体由头螺、弹体壳、弹底和螺塞等零件组成，它们之间均用螺纹连接。在弹壳与弹底、弹底与螺塞连接处用橡皮垫圈密封。头螺高度是根据最有利炸高确定的，它考虑了弹丸的着速、药型罩锥角和引信作用时间等因素。在弹丸设计中，头螺的高度一般先按经验公式进行估算，然后经过试验考核再最后确定。常用的经验公式为

$$H_1 = 2d_1 + v_c t \quad (5-6)$$

式中， H_1 ——头螺的估算高度；

d_1 ——炸药装药直径；

v_c ——弹丸着速；

t ——弹丸碰击目标到炸药完全爆轰所需要的时间（对机械着发引信，一般取 200~350 μs ；对压电引信取 30 μs ）。头螺材料一般用可锻铸铁或稀土球墨铸铁。

弹体壳的外形通常为圆柱形，其上有两条具有一定宽度的定心部。弹体壳长度的确定与炸药的威力、装药结构以及引信的配置等因素有关。弹体壳材料，一般采用合金钢。

由于弹底在发射时需承受火药气体的压力，在飞行中又受到尾翼的拉力，为保证强度，一般采用高强度铝合金或合金钢等材料制造。85 mm 气缸式尾翼破甲弹的主要诸元见表 5-5。



表5-5 85 mm气缸式尾翼破甲弹主要诸元

弹丸质量/kg	7.0	破甲威力/mm	100 (65°)
直射距离/m	945	初 速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	845
立靶精度 (800 m 处) / ($\text{m} \times \text{m}$)	0.4 × 0.4	引 信	电-1 引信

2. 炸药装药

炸药装药是形成高速高压金属射流的能源。炸药的能量高, 所形成的射流速度就高, 其破甲效果也好, 一般选用梯/黑 (50/50) 炸药或黑索金为主体的混合炸药或其他高能炸药。炸药的装填方法, 可采用铸装、压装, 或其他装药方法。

3. 药型罩

药型罩是形成聚能金属射流的关键零件, 其形状有圆锥形、截锥形、双锥形、喇叭形和扇状错位形等, 但常用的是圆锥形药型罩。药型罩材料对破甲性能的影响很大, 一般采用紫铜。

4. 隔板

隔板是改变爆轰波形, 从而提高射流速度的重要零件, 一般用塑料制成。

5. 引信

该弹配用压电引信。压电引信一般可分为引信头部和引信底部两个部分。引信头部主要为压电机构, 在碰击目标时依靠压电陶瓷的作用产生高电压 (可达 10^4 V), 供给引信底部电雷管起爆所需要的电能。引信底部包括有隔离、保险机构及传爆机构。引信头部和引信底部之间, 一般以导线相连; 也有利用弹丸本身金属零件作为导电通路的。

6. 稳定装置

该弹的稳定装置是由活塞、尾翼、尾翼座和销轴等零件构成。活塞安装在尾翼的中心孔内, 尾翼以销轴与尾翼座相连, 翼片上的齿形与活塞上的齿形相啮合。平时六片尾翼相互靠拢; 发射时高压的火药气体通过活塞上的中心孔进入活塞内腔。弹丸出炮口后, 由于外面的压力骤然降低, 活塞内腔的高压气体推动活塞运动, 通过相互啮合的齿而使翼片绕销轴转动, 将翼片向前张开并呈后掠状。翼片张开后, 由结构本身保证“闭销”, 而将翼片固定在张开位置。翼片张开的角度一般为 $40^\circ \sim 60^\circ$ 。为提高设计精度, 在翼片上制有 5° 左右的倾斜角, 使弹丸在飞行中呈低速旋转。该弹翼片采用铝合金材料制成。

气缸式尾翼破甲弹的稳定装置具有翼片张开迅速, 同步性好和作用比较可靠的特点, 有利于提高弹丸的射击精度。其缺点是结构较为复杂、加工精度要求也高。



5.3.2 长鼻式破甲弹

长鼻式破甲弹是因其采用瓶状结构的特殊弹形而得名的。这种弹形虽然使空气阻力增大,但却减小了头部的升力,从而给飞行稳定性带来好处。长鼻式破甲弹的结构形式很多,如瑞典 84 mm 破甲弹(图 5.15)、前西德 DM-12 式 120 mm 破甲弹(图 5.16)和我国 100 mm 破甲弹(图 5.17)等都有它各自的特点。

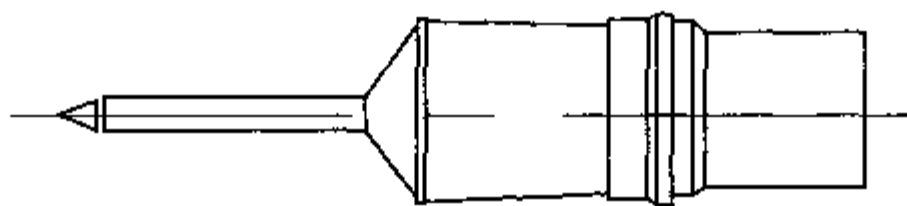


图 5.15 瑞典 84 mm 破甲弹结构示意图

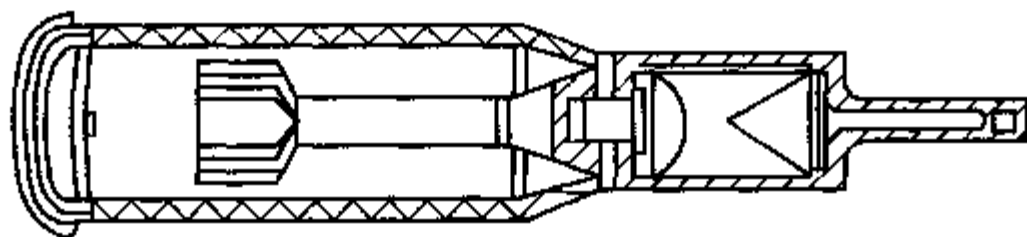


图 5.16 前西德 DM-12 式 120 mm 破甲弹结构示意图

瑞典 84 mm 破甲弹采用了筒式稳定方法。该弹以尾部的圆筒代替尾翼,使弹丸质心位于压力中心之前而获得飞行稳定。这种长鼻式结构既可用于滑膛炮,也可用于线膛炮。

前西德 DM-12 式 120 mm 破甲弹采用了固定尾翼稳定装置。该弹在提高破甲性能的同时,大大提高了其杀伤作用,从而使长鼻式破甲弹具有多用途弹的性能。这一点也正是长鼻式破甲弹的发展趋势。

为了说明长鼻式破甲弹的结构组成,着重介绍一下 100 mm 破甲弹的特点。该弹配用于 53 式 100 mm 线膛加农炮和坦克上,主要用于对付坦克和装甲车辆,其结构如图 5.17 所示,其主要诸元见表 5-6。

该弹稳定装置的翼片是通过销轴连接于尾杆的翼座上。由于翼片的质心较销轴中心距弹丸轴线更近,所以发射时翼片的惯性力矩与剪断切断销所需要的剪切力矩之和,大于离心力所产生的力矩,因而翼片在膛内自锁而呈“合拢”状态。

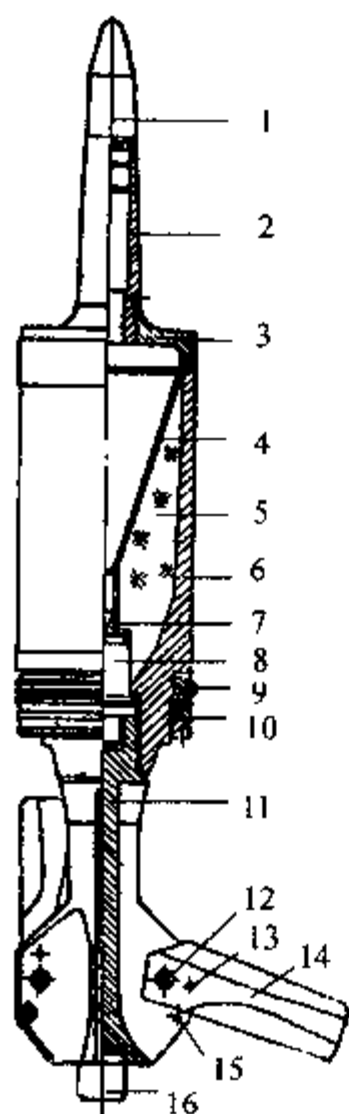


图 5.17 100 mm 坦克炮用破甲弹

- 1—引信; 2—传火管; 3—头螺; 4—药型罩;
5—炸药; 6—弹体; 7—传火管; 8—起爆机构;
9—滑动弹带; 10—压环; 11—尾杆;
12—销轴; 13—切断销; 14—尾翼;
15—定位销; 16—曳光管

表 5-6 100 mm 坦克炮用破甲弹主要诸元

弹丸质量/kg	9.45	威力/m	440 (0°)
弹长/mm	609	初速/ (m·s ⁻¹)	1 013
膛压/Pa	2.293×10 ⁸	翼展/mm	208
炸药/kg	0.967 (梯/黑 45/55, 密度 1.68 kg/cm ³)		

弹丸飞离炮口后, 惯性力矩消失, 在离心力作用下, 切断销被剪断, 翼片绕销轴向后张开, 并在迎面阻力作用下使翼片紧靠在定位销上。

该弹采用了滑动弹带结构, 即将弹带镶嵌在弹带座上。弹带座与弹体之间为动配合, 并用带有螺纹的压环固定, 以限制其轴向运动。这种结构既能在发射时起闭气作用, 避免火药气体冲刷炮膛, 延长火炮寿命, 又能使弹丸低速旋转; 既有利于提高弹丸的射击精度, 又可保证破甲威力不受高速旋转的影响。滑动弹带可采用紫铜、陶铁或塑料 (如聚四氟乙烯) 等材料制造。

就目前的情况看, 长鼻式破甲弹已在许多国家的坦克上进行了装备, 在表 5-7 中给出部分长鼻式破甲弹的性能数据。

表 5-7 国外坦克配用的长鼻式破甲弹性能数据

国 别	坦 克	火炮口径 /mm	初速 /(m·s ⁻¹)	膛压 /10 ⁴ Pa	全弹质量 /kg	弹丸质量/kg		侵彻能力/mm
						全重	炸药	
前苏联	T-62	115 滑	1 070		25.3	12		400 (0°)
前苏联	T-72	125 滑	1 100			19		500 (0°)
前西德	豹 II	120 滑	1 154	45 300	23	13.5		北约三层 重型靶
前西德	豹 I	105 线	1 174	37 000	21.7	10.3	1/B 炸药	北约三层中型靶 360 (30°)
前西德	M-48 JPZ	90 线 90 线	1 204 1 145	33 852 33 852	14.4 14.4	5.74 5.74	0.54/B 炸药	
法 国	AMX-32	120 滑	1 100					



5.3.3 具有抗旋结构的旋转稳定破甲弹

前已述及, 旋转稳定破甲弹的破甲威力将因其高速旋转而下降。为了解决这一问题, 人们在药型罩上采取了各种各样的措施, 这里介绍的就是其中的实例。

1. 美 152 mm 多用途破甲弹

美 152 mm XM409E5 式多用途破甲弹是 60 年代末期的产品, 配用于 152 mm 坦克炮上。所谓多用途破甲弹是指该弹以破甲为主, 兼具榴弹的杀爆作用。该弹的结构如图 5.18 所示, 其主要诸元见表 5-8。

表 5-8 美 152 mm 多用途破甲弹主要诸元

弹丸质量/kg	19.37	弹丸长/mm	488.6
初速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	687	炸药(B 炸药)/kg	2.88
最大射程/m	8 830	直射距离/m	800
最大膛压/MPa	2.78×10^4	最大转速/ ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	6 800
威力/mm (0°)	500		

该弹采用旋转稳定式结构, 其弹带采用陶铁材料。为了克服弹丸旋转对破甲性能带来的影响, 采用了错位抗旋药型罩。这种错位抗旋药型罩是采用先冲压后挤压的方法制成的, 其材料为紫铜(含铜量在 99.9% 以上)。如图 5.19 所示, 该弹药型罩由 16 个圆锥扇形块组成, 每块对应圆心角 φ 约为 $21^\circ 16'$ 。这种药型罩之所以能够抗旋, 是因为当炸药爆炸时, 每一扇形块都由于错位而使压垮速度的方向不再朝向弹丸轴线, 而是偏离轴线并与半径为 r 的圆弧相切(图 5.20)。这样一来, 形成的射流将是旋转的, 如使其旋转方向与弹丸的旋转方向相反, 即可抵消或减弱弹丸旋转运动对破甲性能的影响。

此外, 该弹在弹丸底部采用了短底凹结构, 有利于改善其射击精度。

2. 法 105 mm 破甲弹

该弹配用于法国 AMX-30 主战坦克的 105 mm 坦克炮上, 在 105 mm 口径的各种加农炮和榴弹炮上可以通用, 其结构如图 5.21 所示, 主要诸元见表 5-9。

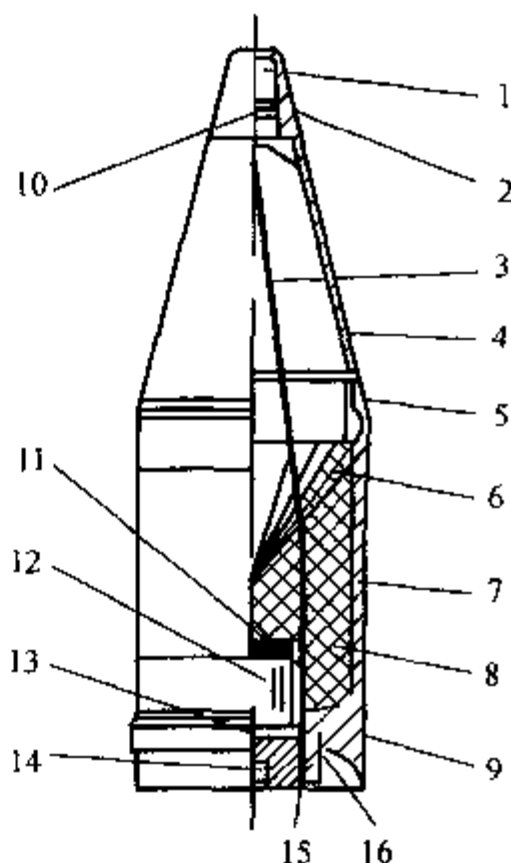


图 5.18 美 152 mm 多用途破甲弹

- 1—引信头部; 2—引信帽; 3—导线; 4—头螺;
5—连接螺圈; 6—错位药型罩; 7—弹体;
8—炸药; 9—陶铁弹带; 10—垫片; 11—座垫;
12—引信顶部; 13—压紧帽; 14—曳光管;
15—底螺; 16—药筒压紧螺

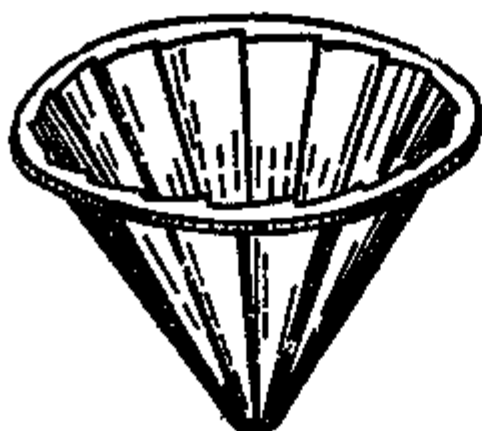


图 5.19 错位抗旋药型罩

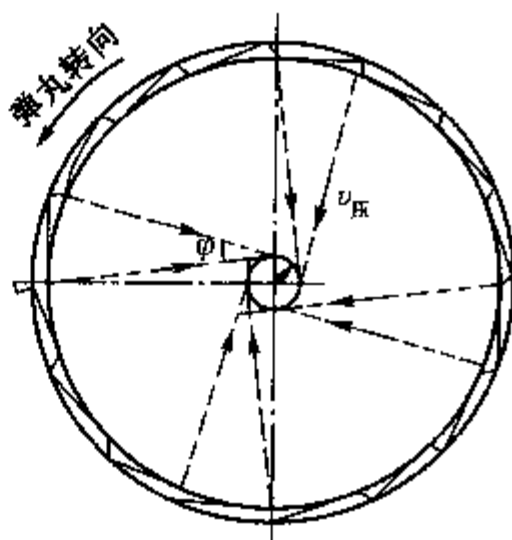


图 5.20 抗旋原理示意图

表5-9 法105 mm破甲弹主要诸元

弹丸质量/kg	10.95	初 速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	1 000
炸药(钝化黑索今)/kg	0.78	威 力/mm	400 (0°)

为了克服弹丸的高速旋转对破甲性能的不利影响,该弹将聚能装药与弹体分开,并在两端设置滚珠轴承。发射时,虽然弹体作高速旋转运动,但装药部分却因惯性作用而不旋转或低速旋转,从而达到了抗旋目的。平时,在弹体与装药之间用脆弱元件锁住,防止它们之间的相对转动。该弹在弹丸底部还设有通气孔,其目的是减小轴承在发射时的受力。该弹由于采用旋转稳定,故其射击精度较高。采用压电引信,由弹丸壳体的内外表面构成起爆回路。弹尾装有曳光管,药型罩为喇叭罩。

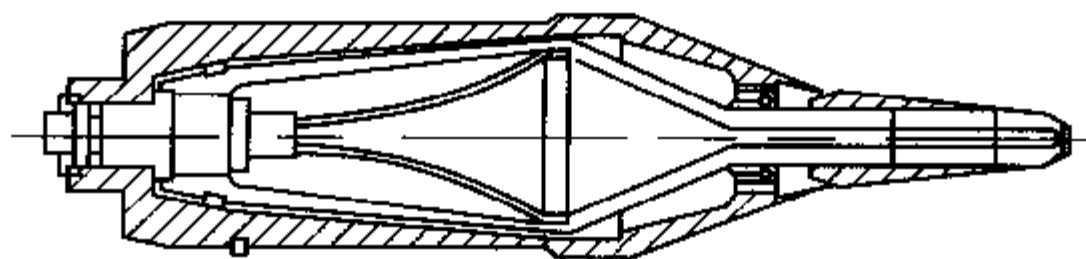


图 5.21 法国 105 mm 破甲弹

5.3.4 火箭增程破甲弹

火箭增程破甲弹是为增加直射距离而加装火箭发动机的。下面以 69 式 40 mm 火箭增程破甲弹为例,介绍其结构特点,如图 5.22 所示。该弹是由无坐力炮发射,依靠火箭发动机增程的弹种,其主要诸元见表 5-10。该弹在结构上的主要特点如下:



1. 超口径战斗部

为了提高破甲威力，该弹的聚能装药部分（战斗部）采用了大于火炮口径的结构。为了减小空气阻力，在头部设有风帽，风帽和弹体均采用铝合金材料制造。药型罩为锥形，采用紫铜板（T2M）冲压而成。为提高破甲威力，聚能炸药采用高能炸药（8321）。

表5-10 69式40 mm火箭增程破甲弹主要诸元

口 径/mm	40	战斗部最大直径/mm	85
全弹质量/kg	2.25	主动段终点速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	294.6
炸药（8321）/kg	0.4	火箭装药/kg（双石-2）	0.22
最大膛压/Pa	$<9.00 \times 10^7$	初速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)（距炮口6 m处）	120
飞行弹丸质量/kg	1.83	直射距离/m（目标高2 m）	>300
点火延期时间/s	0.08~0.11	精度/m（在300 m处）	0.45×0.45
威 力/mm	100（65°）		

2. 张开式尾翼

为了保证弹丸的飞行稳定性，该弹采用了后张式尾翼结构，其4个翼片用销轴装在尾杆上，平时呈合拢状态；出炮口后在离心力作用下（约距炮口3~4 m处）张开，与弹轴成90°，翼展为282 mm。该弹的翼片制有 $10^\circ 40'$ 的斜面，以使弹丸旋转，提高射击精度。

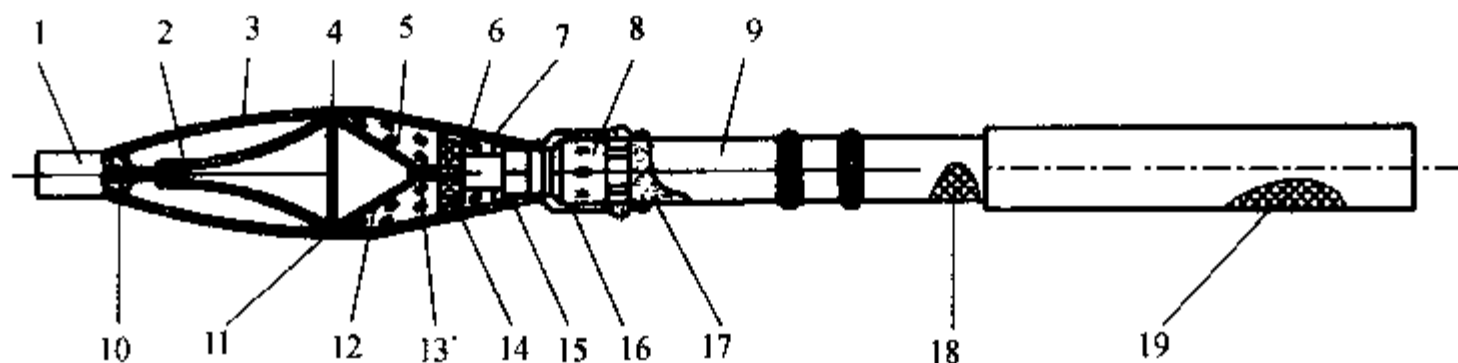


图 5.22 40 mm 火箭增程破甲弹示意图

1—引信头部；2—内锥罩；3—风帽；4—绝缘环；5—主装药；6—辅助药；7—弹体；
8—喷管；9—燃烧室管；10—绝缘套；11—压紧环；12—药型罩；13—导电杆；
14—隔板；15—衬套；16—引信底部；17—火箭装药；18—点火药；19—发射药

3. 火箭发动机增程

由于火炮的口径小、膛压低，故采用火箭发动机增程。增程发动机采用前喷管，其喷孔（共6个）中心线与弹轴倾角为 18° ，其目的是防止喷出的火药气体冲刷弹尾而影响全弹的稳定。为了避免弹丸的旋转速度增大过多，各喷孔沿切线方向向右倾斜 3° ，用来抵消尾翼的一部分右旋作用。火箭发动机采用延期点火的方式，其延期时间约0.08~0.11 s，相当于弹丸在出炮口后12~14 m的距离上点火。



4. 涡轮旋转

在尾杆下部装有一个涡轮，涡轮上面制有 4 个与轴线成 33° 的斜面，后喷的火药气体作用在涡轮的倾斜面上，使全弹旋转，这样弹丸出炮口后尾翼容易张开，使飞行稳定。

5. 铝合金减重

除火箭发动机为钢制外，弹体、风帽、尾杆、尾翼、涡轮均为硬铝制成，减轻了弹丸质量，有利于提高初速和飞行速度。

该弹的优点是火炮质量轻、机动性好、弹丸的直射距离较长和威力较大，其缺点是精度受横风的影响较大；零部件数量多；生产工艺较为复杂。

5.3.5 多级串联复合聚能装药战斗部

多级串联复合聚能装药战斗部，即是在战斗部的弹体内接连装有两个或两个以上的聚能装药部分。如图 5.23 为装药两个聚能成型装药的二级成型装药结构。装药内装有两个药型罩，在后面一个药型罩的适当部位还装有截断器，起爆时，后级装药的金属射流穿过前面药型罩的顶部，然后前级装药再起爆形成射流进行破甲。当后面的药型罩压垮时，截断器将其切为两部分，被切药型罩的前端形成初始射流，其头部射流速度大约为 $9\,500\text{ m/s}$ ，尾部速度大约为 $6\,000\text{ m/s}$ 。被切药型罩末端向轴线压垮并撞击在前级装药上，利用此冲击使前级装药爆轰。这种串联装药可以通过两个装药中药型罩几何形状的设计达到控制射流速度梯度的目的并提高破甲效应，因此在设计中要求后级装药形成射流的头部速度和前级装药形成的尾部射流速度相互配合，而不能发生碰撞以影响射流形成质量。

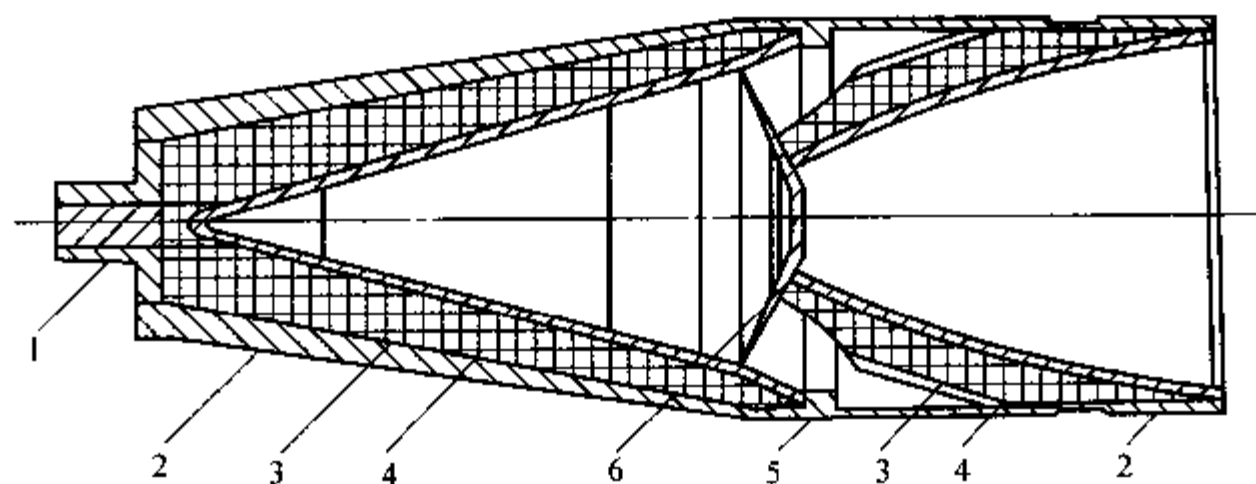


图 5.23 二级串联成型装药结构

- 1—雷管接头；2—第一级和第二级外壳；3—LX-07 炸药；
4—第一级和第二级药型罩；5—连接器；6—截断器



5.4 爆炸成型弹丸

一般的成型装药破甲弹在炸药爆炸后,将形成高速射流和杵体,由于射流速度梯度很大,从而被拉长甚至断裂。因此,破甲弹存在有利炸高问题,炸高的大小直接影响了射流的侵彻性能。而采用大锥角药型罩、球缺形药型罩及双曲型药型罩等聚能装药,在爆轰波作用下罩压垮、翻转和闭合形成的高速体,称为爆炸成型侵彻体(Explosively Formed Penetrator, 简称为 EFP),也称为爆炸成型弹丸或自锻破片,无射流与杵体的区别,整个质量全部用于侵彻目标。与普通破甲弹相比,EFP 具有以下特点:首先,它对炸高不敏感,在 1 000 倍弹径的炸高范围内均可有效侵彻装甲目标;其次,它外形短粗,长细比一般在 3~5 范围内,因此反应装甲对其干扰小;再次,它的侵彻后效大,EFP 侵彻装甲时,70%以上的弹丸进入坦克内部,而且在侵彻的同时坦克装甲内侧大面积崩落,崩落部分的重量可达弹丸重量的数倍,从而形成大量具有杀伤破坏作用的碎片。因此,在弹药战斗部中获得了广泛应用。

5.4.1 形成原理

普通成型装药破甲弹的药型罩在爆炸载荷作用下,一方面形成高速运动的、不断延伸的金属射流,另一方面还将形成低速运动的杵体。而爆炸成型弹丸的药型罩则是在爆炸载荷作用下,形成单一的特殊破片,即 EFP。

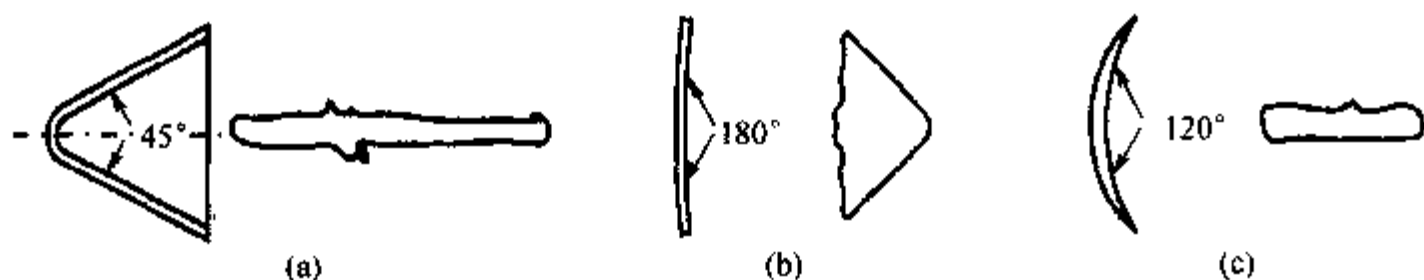


图 5.24 金属射流、翻转弹与杵体弹

(a) 金属射流; (b) 翻转弹; (c) 杵体弹

根据 EFP 形成过程的不同,可将其分为翻转弹和杵体弹两种类型(如图 5.24)。翻转弹是由药型罩被压垮时翻转形成的 EFP,按照翻转程度的不同,翻转弹还可分为柱形翻转弹和碟形翻转弹两种;杵体弹是由药型罩形成的射流和杵体的综合体。

形成 EFP 的途径有二,一是装药爆炸时,药型罩翻转,形成翻转弹;二是装药爆炸时,药型罩向前压垮,形成杵体弹,后者同普通聚能装药药型罩的变形过程近似。

1. 药型罩翻转式

这种方式是形成 EFP 的最普通、最常见的方式。当这种装药爆炸时,药型罩在爆炸载



荷作用下,通过翻转、压缩和拉伸而形成翻转弹。“翻转”是药型罩变形过程的主要特点。锥角大于 150° 的圆锥罩和球缺罩一般都服从于这种变化方式;对于低碳钢药型罩,开始翻转的角度要小些,一般接近 130° 即可形成正常的翻转弹。

为什么会出现翻转呢?关键是锥角大。如图 5.25 所示,当爆轰波扫过球缺罩顶部时,微元 1 首先向右运动;之后,微元 2 也向轴向运动,但由于微元 2 的切线方向与轴线之间的夹角很大,故径向分速度较小,结果使微元 2 滞后,微元 1 超前。这样,微元 2 不得不随微元 1 翻转过来,此后各微元一一滞后,从而一一翻转。翻转的程度轻时,形成碟形翻转弹(图 5.26a);完全翻转时,形成中空的柱形翻转弹(图 5.26b)。

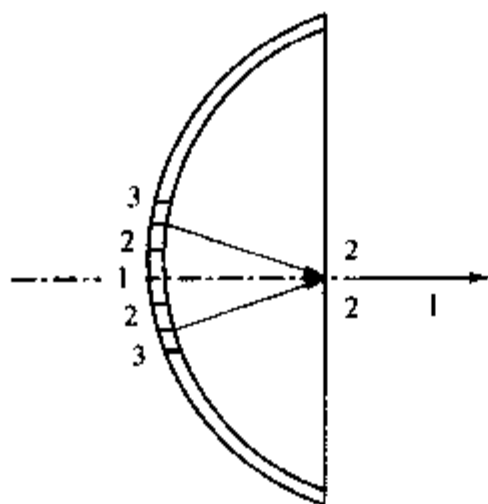


图 5.25 球缺罩翻转

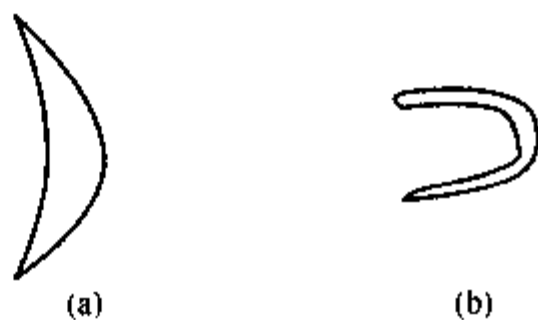


图 5.26 翻转弹

(a) 碟形翻转弹; (b) 柱形翻转弹

经 X 光闪光摄影研究, EFP 的具体形成过程如图 5.27 所示。当爆轰波传至罩体表面时,首先是罩顶部被压垮,然后沿罩体表面母线从罩顶到罩底依次被压垮。罩体质量沿轴向的运动速度,以靠近轴线处为最大,沿罩体母线上半径越大速度越小,促使罩体翻转。其后,罩体金属向轴线聚集,出现径向收缩。不断的收缩使聚集在轴线上的金属由于挤压而在轴线上形成前后两个方向的凸起。由于罩体上靠近轴线处与边缘处部位存在着速度梯度,使罩体不断变形,产生径向收缩和轴向拉长,或许有小的颗粒被拉断而脱离本体。罩底部周边部分的金属,先是随罩体的压垮向外延伸,同时又受稀疏波的作用而破碎飞散。用 X 光闪光摄影测得罩体翻转后,头尾速度变化的趋势是:初期 EFP 头部及尾部的速度差较大,以后随时间加长,头部速度逐渐减慢,尾部速度逐渐加快,最后速度趋近一致,这时, EFP 不再发生塑性变形。从引爆到 EFP 成型结束的时间大约需数百微秒。

另外,可以通过改变药型罩的厚度来改变翻转弹的外形,药型罩各处的厚度将影响 EFP 的外形、尺寸和速度。当药型罩外边的厚度比中间的厚度小时,药型罩将向后翻转形成 EFP;当药型罩外边的厚度比中间的厚度大时,药型罩将向前翻转形成 EFP,如图 5.28 所示。

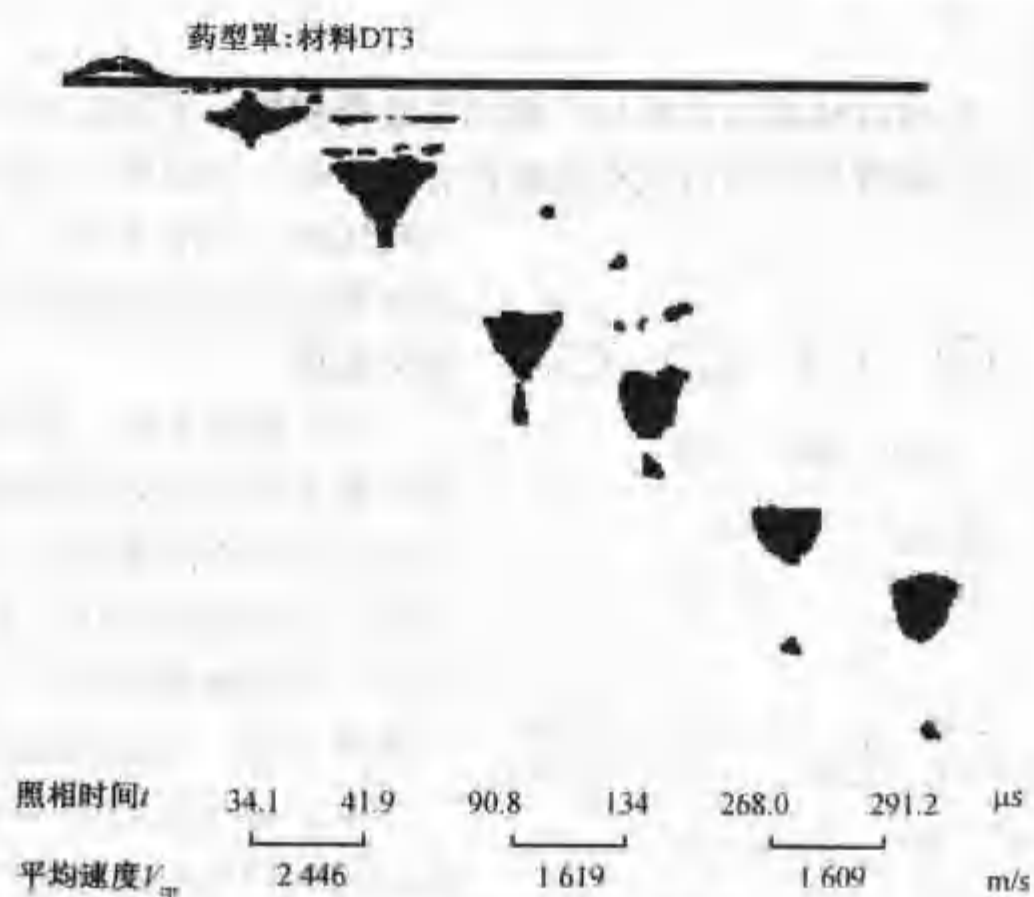


图 5.27 EFP 的形成过程 (脉冲 X 光摄影)

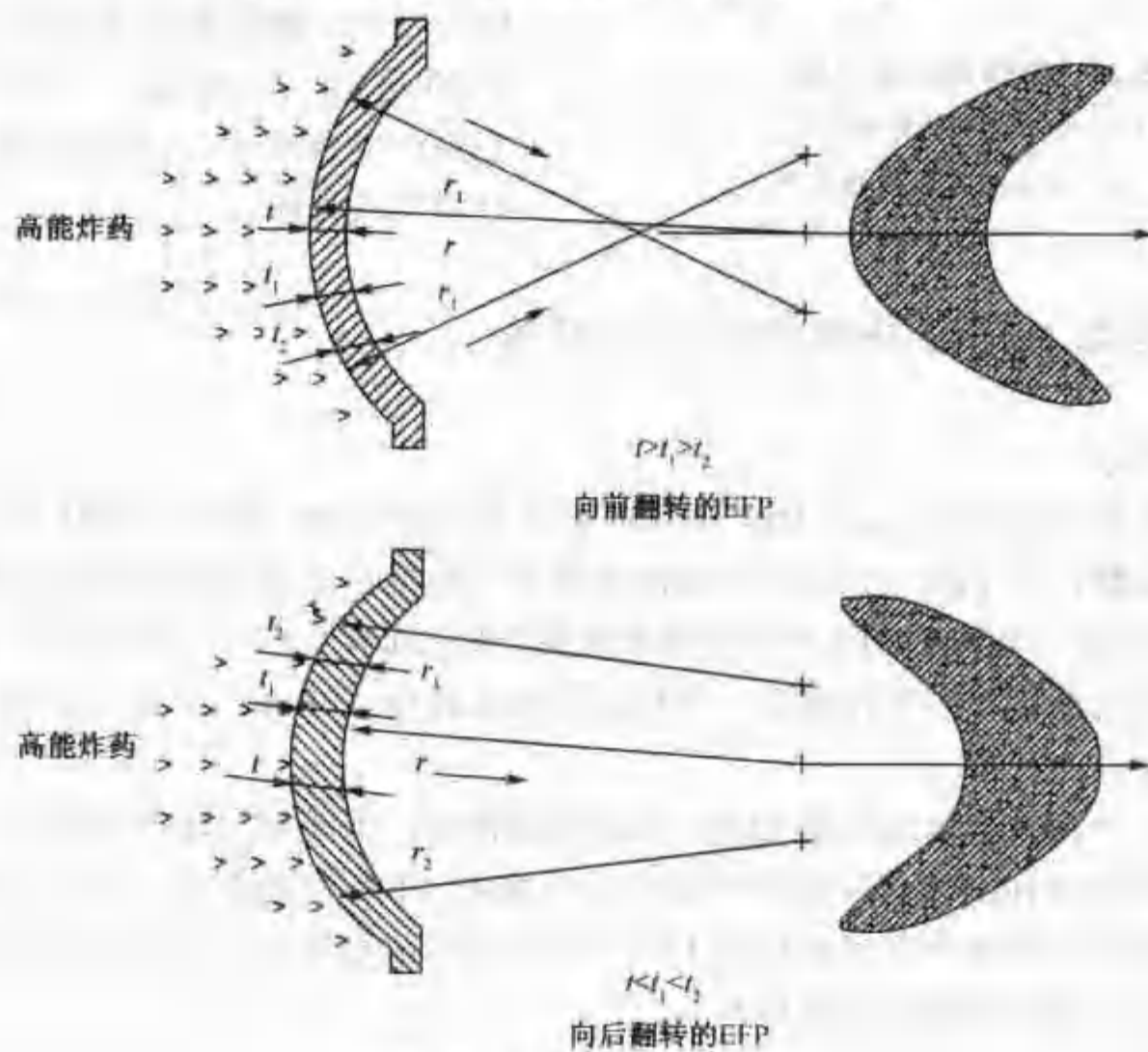


图 5.28 不同形式的翻转弹



2. 药型罩压垮法

药型罩向前压垮，形成杵体弹的过程与一般成型装药相似，不同之处是在压垮过程中，靠近外表面的材料与速度梯度较小的射流有机地结合成一体，形成单一的杵体，这就是所谓的杵体弹（如图 5.29）。这种特殊的过程，是依靠选定特殊形状和壁厚变化率的药型罩来实现。

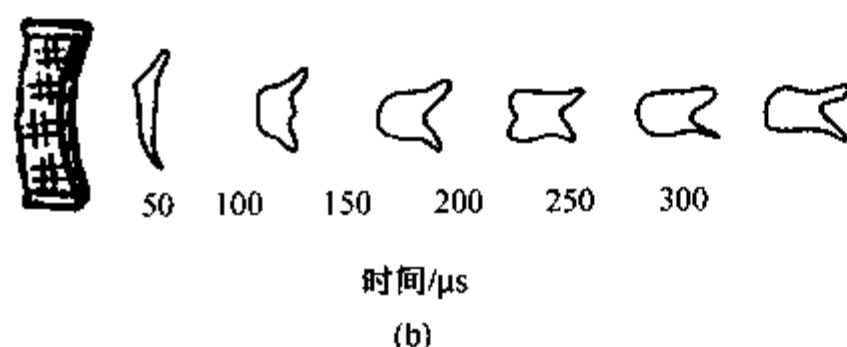
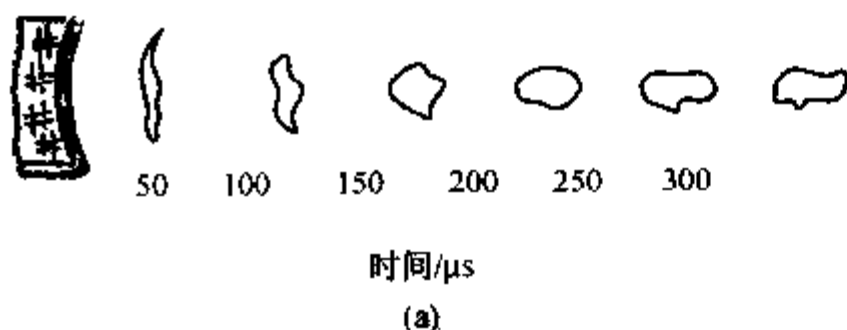


图 5.29 杵体弹形成过程

(a) 150° 双曲线形紫铜药型罩；

(b) 140° 双曲线形钢质药型罩

设计药型罩时，要使底部得到的轴向速度略大于顶部外表面的轴向速度，形成的射流必须充满罩闭合以后形成的空间。同时，从罩顶内部挤出来的射流与外部要保持一定的速度梯度，以使杵体弹延伸到必要的长度，从而保证有效的穿甲作用。

由于翻转弹与杵体弹形成的方法不同，它们的外形及可能达到的速度也各不相同，但是柱形翻转弹与杵体弹在外形上比较相似。翻转弹的速度高于杵体弹，最高的可达 3 500 m/s，而杵体弹可达 2 000~3 000 m/s，其中碟形翻转弹有较好的气动外形。

5.4.2 影响 EFP 形成性能的主要因素

1. 药型罩形状

药型罩形状对所形成的 EFP 的类型和速度有着直接影响。通常，球缺形药型罩在爆炸载荷作用下形成翻转式 EFP，此时球缺罩的曲率半径和壁厚是影响其成型性能的重要因素。对于锥形药型罩来说，其形成 EFP 的类型随着锥角的变化而有所不同。实验表明，锥角为 150° 的变壁厚双曲线形紫铜药型罩在爆轰压力作用下形成杵体式 EFP；当锥角达到 160° 时可以形成翻转式 EFP。

实验表明，封顶药型罩形成的 EFP，径向收缩性好，但前端出现严重破碎，使空气阻力加大；变壁厚药型罩在翻转后径向收缩极差，形成的 EFP 如圆盘状一样，飞行时空气阻力大；中心带孔的等壁厚药型罩所形成的 EFP，不仅径向收缩性好，且有良好的外形，而且金属损失也少，是一种成型较好的结构形状。



2. 药型罩材料

药型罩材料对 EFP 的形成有较大影响, 比如在 EFP 的形状、速度及侵彻性能等方面。一般说来, 要求药型罩材料有较好的塑性和较高的密度, 这样可以形成具有一定质量、速度和较大长径比的 EFP, 有利于提高弹丸的飞行稳定性和存速, 对提高侵彻性能具有较大影响。

3. 药型罩厚度

对一定形状的药型罩, 壁厚对 EFP 的形状和速度分布具有决定性的影响, 由试验结果看: 翻转弹一般采用等壁厚; 杆体弹一般采用变壁厚, 但壁厚的变化规律与小锥角时不同, 从罩顶至底部厚度愈来愈薄。对杆体弹来说, 罩底厚与顶部厚之比是一重要设计参数。

4. 装药长径比

装药长径比对形成的 EFP 的速度有较大的影响。试验表明, 装药长径比增大时, 爆炸成型弹丸速度亦相应增大, 但其速度增大幅度随装药长径比的增大而逐渐减小。

5. 起爆方式

在影响 EFP 成型性能的诸多因素中, 起爆方式是重要的一种因素。不同起爆方式下, 装药的爆轰及药型罩压垮变形机理是不同的, 而 EFP 是由药型罩在爆轰载荷作用下压垮变形形成的, 所以说起爆方式对 EFP 成型性能具有质的影响。即便在相同装药及药型罩结构下, 不同起爆方式所得 EFP 也完全不同。另外, 实验研究表明: 端面均布多点同时起爆可有效提高装药爆轰潜能, 改善爆轰波结构及其载荷分布, 对改善药型罩压垮变形机制和 EFP 成型结构有一定的积极作用; 偏心起爆可造成不对称波形和药型罩轴线偏斜, 使得形成的 EFP 弹丸总是或多或少存在不对称性, 而这些不对称性将直接影响着 EFP 的外弹道飞行稳定性, 着靶精度和穿甲威力等。

5.4.3 EFP 计算机模拟

在 EFP 的发展过程中, 国内外学者进行了大量的计算机模拟研究工作, 用二维程序对 EFP 的形成过程进行数值计算, 得到变形过程中应力、速度、变形等力学量的空间分布和随时间的变化曲线, 精确地预测出 EFP 的形状。

EFP 形成过程的计算机模拟结果如图 5.30 的翻转弹, 其中间是空心的, 有较好的气动外形, 飞行中空气阻力小; 图 5.31 为杆体弹, 因外形如同杆体而得名, 且不如翻转弹规则。

近年来, 随着传感器技术和电子技术的发展, 使得目前的一些新概念弹药能够探测和识别到 200 m 以上距离的目标。因此, 在新概念弹药中将要求 EFP 具有在较远距离上毁伤目标的能力。目前, 国外正在致力于高性能 EFP 的研究工作, 主要设想是促使 EFP 旋转, 提高其飞行稳定性, 使得 EFP 能够在较远距离上准确命中和毁伤目标。



通常使弹丸旋转可以提高弹丸的飞行稳定性, 对 EFP 来说也一样。通过结构设计等措施使药型罩形成的 EFP 带有倾斜尾翼, 则有可能使 EFP 旋转起来, 保证其在飞行过程中的飞行稳定性, 改进 EFP 的性能, 从而提高 EFP 的存速以达到在远距离毁伤目标的目的。如图 5.32、图 5.33 所示为带尾翼 EFP 的计算机模拟和试验结果。

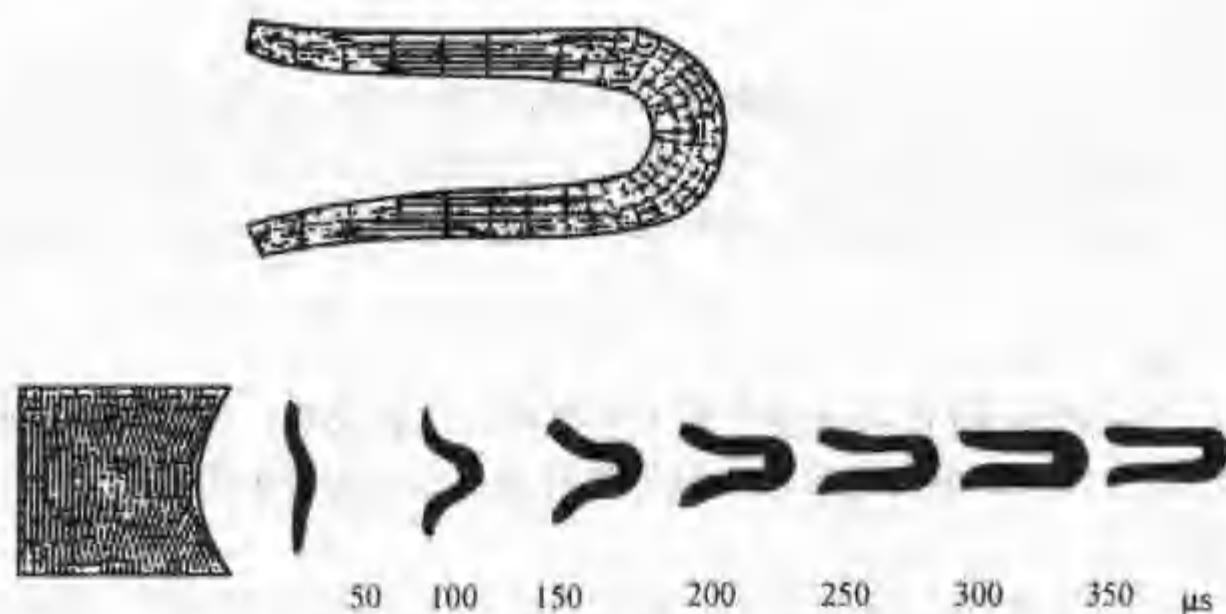


图 5.30 EFP 形成过程的计算机模拟结果—翻转弹

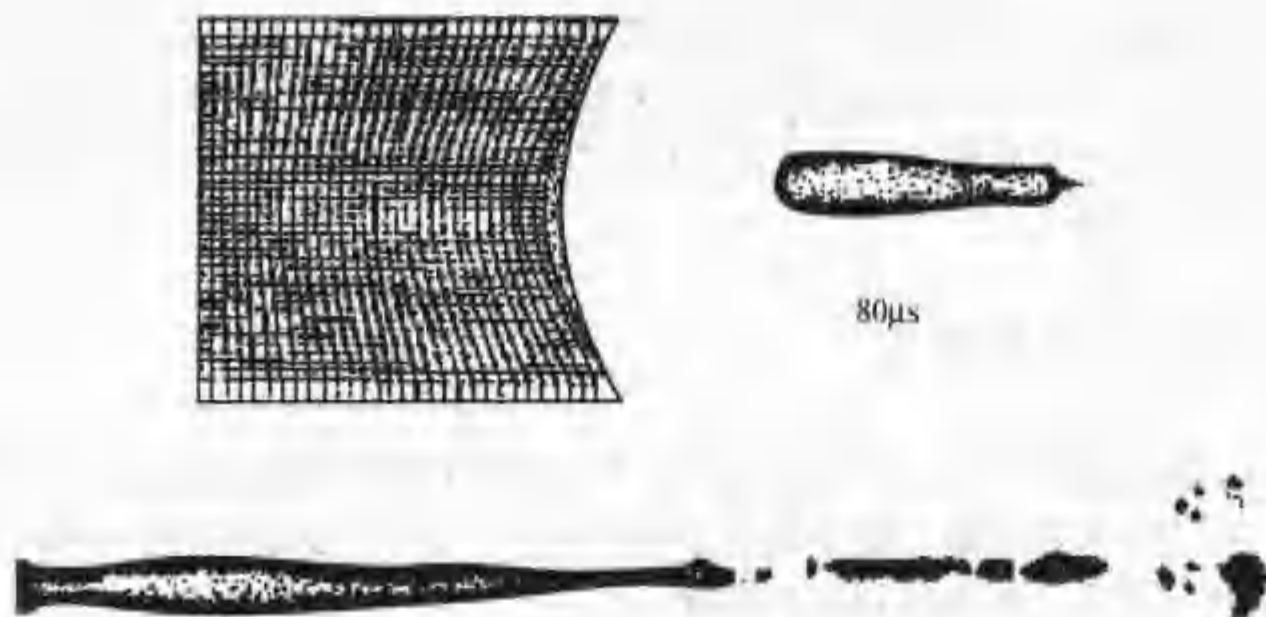


图 5.31 EFP 形成过程的计算机模拟结果—杆体弹



图 5.32 计算机模拟的带尾翼 EFP



图 5.33 带尾翼 EFP 的试验结果

5.5 多爆炸成型弹丸

20 世纪 80 年代以来,为了提高弹丸的命中和毁伤装甲目标的概率,美国在战斗部技术方面进行了广泛的分析和研究,多爆炸成型弹丸技术就是所提出的一种高效毁伤战斗部技术。多爆炸成型弹丸,简称为 MEFP,与一般的单 EFP 战斗部技术相比,它形成的是多个球体或椭圆柱体成型弹丸,可以对目标进行大密集度攻击,造成大面积的毁伤,尤其是集群地面和空中装甲目标,效果相当明显。

在 MEFP 战斗部中,药型罩被设计成能形成多个 EFP 弹丸的结构,在爆炸载荷作用下,药型罩形成多个 EFP 来攻击轻型装甲目标。典型的 MEFP 战斗部由药型罩、挡环、起爆器、炸药和壳体组成,如图 5.34 所示。药型罩材料为钽或钢或铜,其形状类似浮雕,能产生像霰弹枪一样发射的多个弹丸。



图 5.34 圆柱形的 MEFP 战斗部

通过大量的试验研究表明:MEFP 战斗部产生的弹丸外形主要有细长体、球状体、椭球体和长杆体四种,如图 5.35 所示,重量从 5~50 g 不等,速度为 500~2 500 m/s,在 0.25~



100 m 距离内攻击轻型装甲目标, 可以大大提高命中目标的概率。图 5.36 所示为战斗部爆炸形成 MEFP 的计算机仿真结果。



图 5.35 MEFP 的外形



图 5.36 战斗部爆炸形成的 MEFP

目前, MEFP 已经应用于很多不同的武器系统中来攻击各种装甲目标。图 5.37 为应用于战区导弹防御系统的 MEFP 战斗部, 这个战斗部装置在起爆器点火后, 将沿一条直线汇聚形成多个 EFP, 快速飞向目标。战区导弹防御系统中的目标的易损性可以根据系统的分析确定, 这样形成的 EFP 弹丸个数也可以通过这些计算数据确定。图 5.38 为在最后攻击阶段, 多个 EFP 攻击战术弹道导弹的情形。

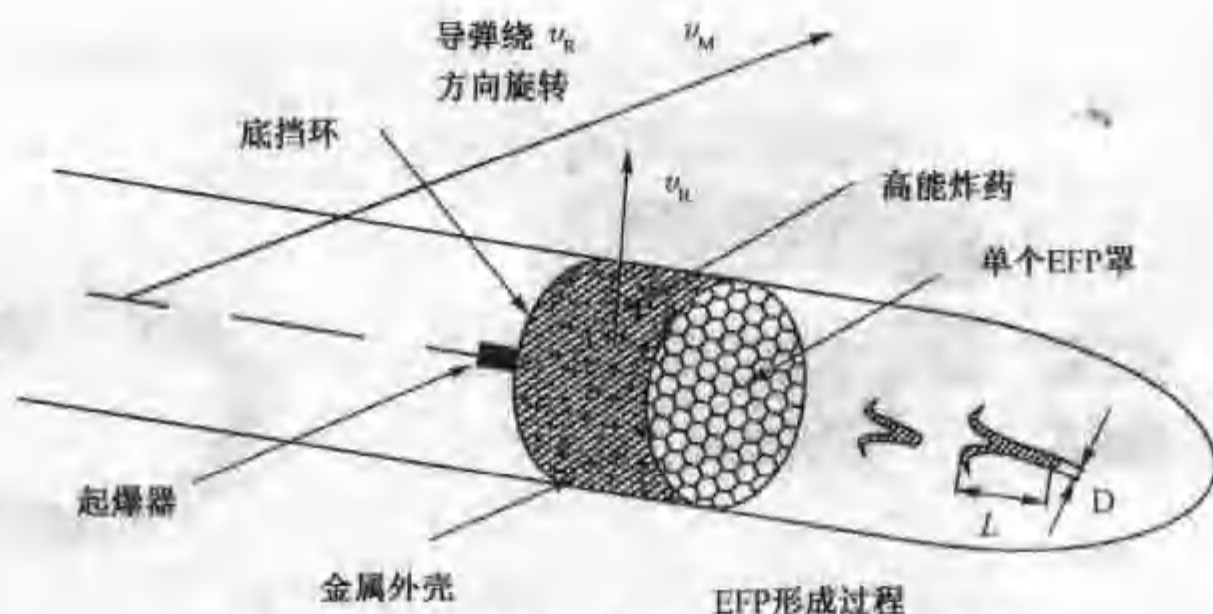


图 5.37 应用于战区导弹防御系统的 MEFP 战斗部

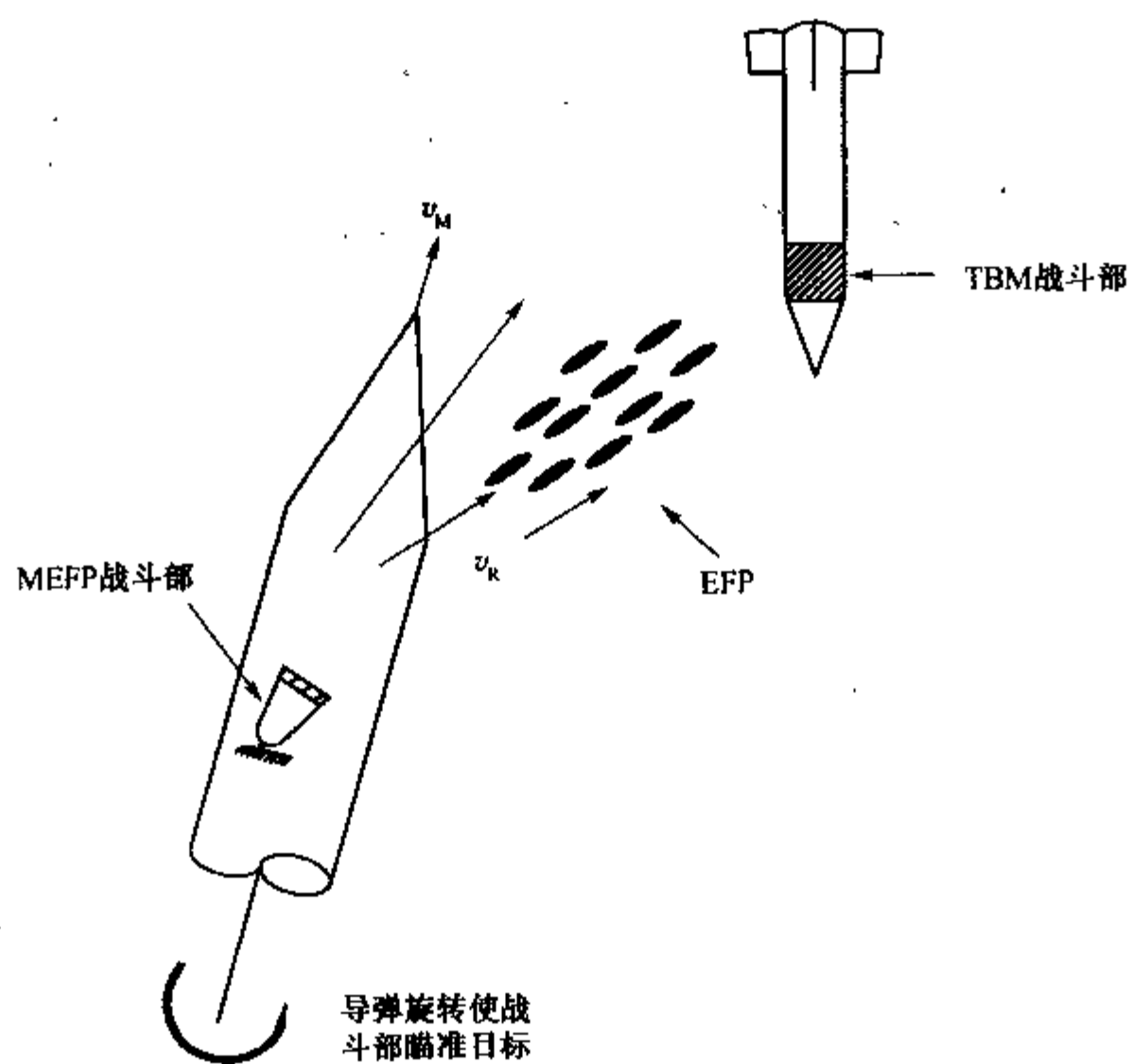


图 5.38 攻击阶段 MEFP 战斗部攻击战术弹道导弹

第6章 碎甲弹

6.1 概 述

碎甲弹是20世纪60年代发展起来的新型反坦克弹种，是一种利用塑性炸药在装甲表面爆炸，利用层裂效应使装甲背面产生强烈崩落效应的炮弹，主要配用于中口径火炮。

从作用原理上分析，它与穿甲弹和破甲弹不同。穿甲弹是将发射药的能量转化为弹丸的动能对装甲进行破坏；破甲弹是将炸药的化学能量转化为金属射流的动能来穿透装甲；而碎甲弹则是使炸药的能量通过波动的形式向装甲板内传播，使装甲板背面产生局部崩落。由此可见，碎甲弹并不穿透装甲，而是利用崩落下来的装甲碎片在坦克内部进行杀伤和破坏。

碎甲弹适用于对付倾角大的中厚均质装甲，以及钢筋混凝土建筑物等目标，其直射距离受弹形和初速的影响，命中概率低于尾翼脱壳穿甲弹。碎甲弹对复合装甲或间隔装甲不起作用，但其直接爆炸作用及破片可毁坏坦克其他部位，也可压制地面兵器 and 杀伤有生力量。

虽然碎甲弹对复合装甲破坏效果不好，但仍不失为一种有效的反坦克弹药，这是因为：当前的大部分主战坦克虽然前面装甲采用了复合装甲，但其正面投影的绝大部分仍可用碎甲弹进行有效攻击；对于坦克侧面，因不采用复合装甲，碎甲弹对其任何部位射击都是有效的。而破甲弹会由于坦克侧面的屏蔽板而降低威力。由于穿甲弹、破甲弹和碎甲弹各有特点，互相不可替代，如在使用中互相配合，会给敌方坦克设计增加许多困难。同时，对碎甲机理的研究，必将使人们对高速冲击载荷下金属材料的响应问题的认识进一步深化，从而提高弹药系统的设计水平。另外，由于碎甲弹还同时具有杀伤和爆破作用，因而必将向多用途、多功能方向发展。

碎甲弹也称碎头榴弹(HESE)、塑性榴弹(HEP)和黏着碎甲弹。碎甲弹最初用来破坏混凝土工事，后来发展为一种新型的反坦克弹种。曾有国家准备用其取代坦克炮上所配用的榴弹。

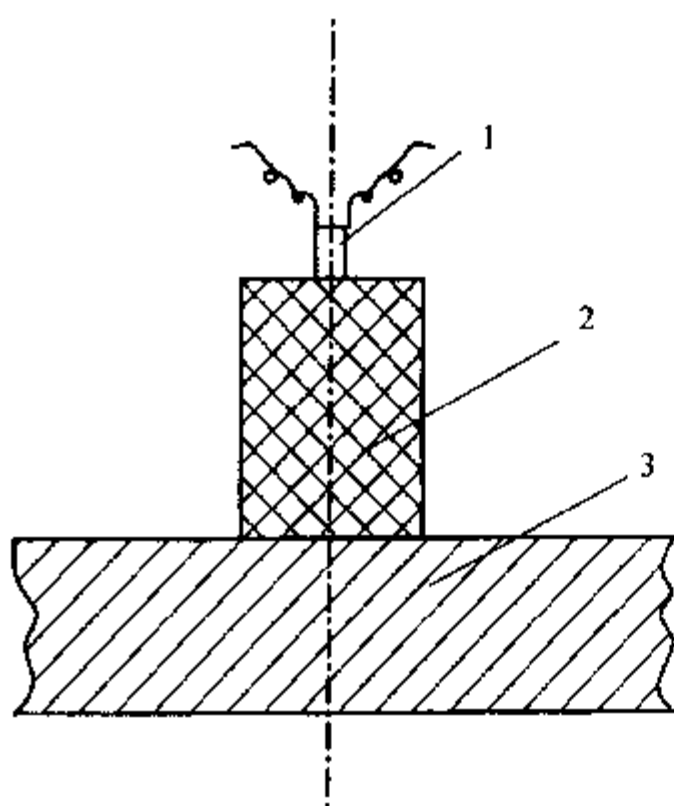


图 6.1 爆炸前示意图

1—电雷管；2—塑性炸药；3—靶板



目前, 世界各国的碎甲弹口径在 30~165 mm 之间, 一般中口径弹较多, 炸药装填量 2~9 kg。

6.2 碎甲作用原理

6.2.1 层裂效应

把一个一定尺寸的圆柱形炸药装药放在具有一定厚度的靶板表面上, 如图 6.1 所示。用一个电雷管从药柱上端起爆, 当药柱爆轰后可以看到, 钢板上原来放药柱的地方发生了强烈的塑性变形, 形成了一个表面光滑的凹坑, 坑口直径大致与药柱直径相同, 一般稍大一些。

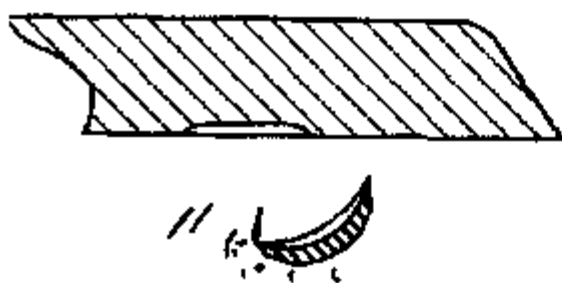


图 6.2 靶板破坏示意图

在爆炸过程中, 除了在炸药与靶板接触面上出现上述塑性变形外, 同时, 在靶板的背面 (亦称为自由表面) 与药柱相对应的地方也将产生极大的破坏, 如图 6.2 所示。从靶板上剥落了一大块破片或者碎成数块。该破片外表面光滑, 就是原来的自由表面, 内表面非常粗糙。这种破片具有一定的质量和较大的速度, 因而具有强大的杀伤和破坏作用。

对于炸药与靶板接触爆炸, 在靶板自由表面处发生的这种破坏效应, 常称为层裂效应或剥落效应。

6.2.2 层裂效应的物理解释

对于层裂效应的发生机理, 可以借助于应力波理论来说明。当炸药起爆后, 爆轰波将以恒定的速度在药柱中沿轴线方向向前传播, 波阵面上的峰值压力可达 2.5×10^{10} Pa 以上。由于爆轰产物向外飞散, 因而紧跟在爆轰波后的是稀疏波。当爆轰波垂直入射到炸药与靶板的接触面时, 立即在接触面上产生一个反射波进入爆轰产物, 同时有一个折射波以应力波的形式进入靶板中, 而接触面上的峰值压力远远大于爆轰波阵面上的压力, 可达 4×10^{10} Pa 以上。实际上, 应力波是以一个压力脉冲的形式在靶板中传播, 其波形如图 6.3 所示 (波头是陡峭的

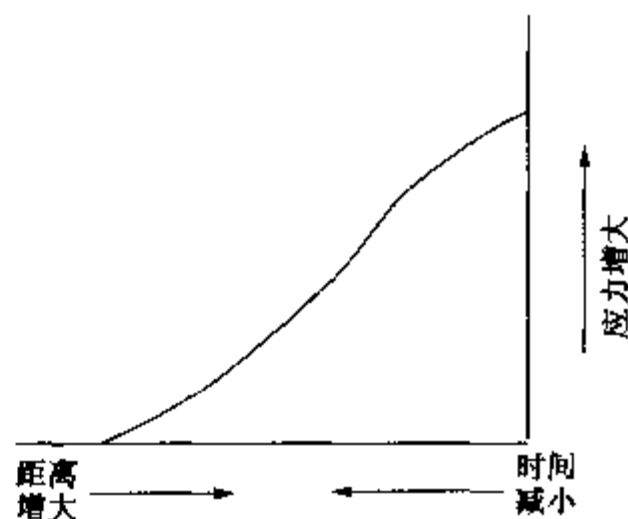


图 6.3 应力波波形示意图



冲击波，波尾是曲线变化的卸载波）。

与其他机械波一样，这里所说的应力波，其波阵面仍然是介质中已受扰动与未受扰动区域的分界面。根据应力的 大小 ，应力波可分为弹性应力波（简称弹性波）和塑性应力波（简称塑性波）。当上述这种强度很高，作用时间很短的冲击载荷对固体介质（如靶板）作用时，如果载荷引起的应力在材料的弹性极限内，则在介质中只传播弹性波；如果载荷引起的应力超过材料的弹性极限，则在介质中传播弹塑性波。

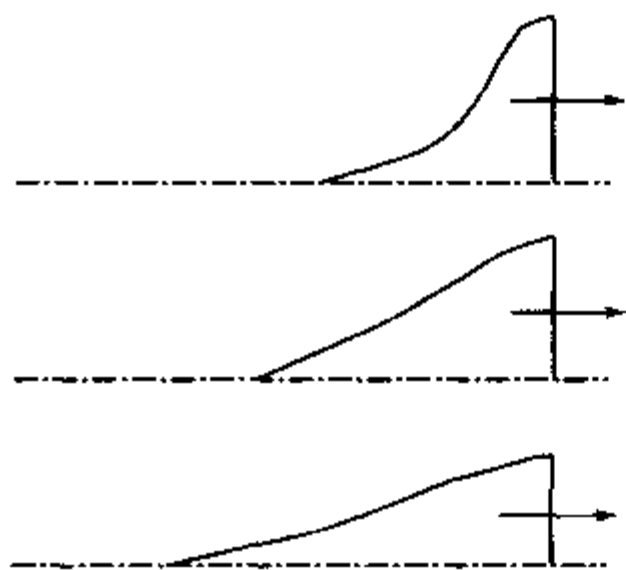


图 6.4 应力波在传播过程中的衰减

由于靶板受冲击部分的尺寸比靶板的平面尺寸小得多，所以可以认为，实际的靶板平面是无限的、而厚度是有限的。在这种极大的横向惯性约束下，横向变形可以忽略，受冲击部分的压缩应力可近似认为是以单向应变平面波的形式对靶板垂直入射。

在应力波的传播过程中，由于稀疏波的传入与追赶，靶板的塑性变形和内摩擦，从而使压缩应力波急剧衰减，其峰值压力（波幅）减小，波长增大，波形变得愈来愈平坦，如图 6.4 所示。

为了便于问题的讨论，可以把应力波近似地用一个三角形脉冲来代替，并忽略它的衰减。此外，由于弹性波波速远大于塑性波波速，所以可以用弹性波理论来分析应力波在自由平面上的反射和干扰过程。

如图 6.5 所示，当压缩应力波的波头到达靶板自由表面时，应当满足自由表面处的边界条件，即应力等于零，也就是说，立即在靶板自由表面上反射成为拉伸波，其强度与入射波强度相等，两者以同速相向而行，并发生相互干扰，干扰区的合应力可用叠加原理求出。由于入射波波头后面跟着的是卸载波尾，所以在自由表面附近出现了拉应力区。

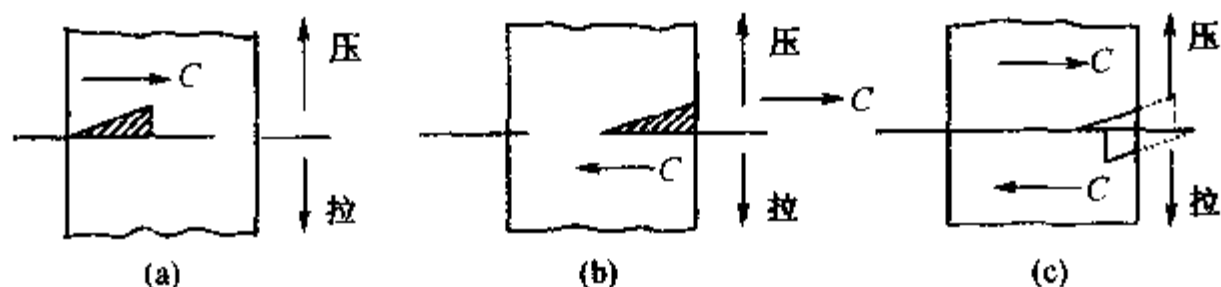


图 6.5 应力波的反射

(a) 初始入射波；(b) 入射波到达靶板自由表面；(c) 入射波与反射波相互叠加

当某一截面上的拉应力（合应力）达到材料的临界断裂应力时，在该截面上将会产生裂



纹, 此裂纹随即沿径向向四周扩展, 形成层裂。与此同时, 陷入破片内的应力波冲量将转化为破片的动能, 从而克服周边剪切应力的阻碍和破片本身的弯曲变形后, 以一定的速度从靶板上飞出。破片从中心部分最先裂开, 在破裂向四周扩大的过程中, 中心部分发生弯曲, 在破片沿侧面的剪断过程中, 弯曲程度进一步扩大, 从而使破片呈碟形。碟形破片裂开以后, 就将出现新的自由表面, 剩余的压缩波继续反射, 形成新的反射波, 同上所述, 还可能发生两次、三次层裂等, 直到所叠加的拉应力低于材料的破坏应力为止, 层裂才会停止。

6.2.3 层裂准则和层裂厚度

层裂准则一般有临界断裂应力准则、应力陡度准则、损伤积累准则等, 都带有一定的经验性质。

临界断裂应力准则认为层裂是一种冲击效应, 当高强度瞬时拉应力值达到或超过材料的临界断裂应力极限 σ_{cr} 时, 便发生层裂, 即

$$\sigma(t) \geq \sigma_{cr} \quad (6-1)$$

对于矩形入射波, 瞬时断裂条件为

$$\sigma_m \geq \sigma_{cr} \quad (6-2)$$

式中, σ_m 为入射压缩波最大应力值。

这时的主碎片厚度 $\delta = \lambda_w/2$ (λ_w 为入射波长)。主碎片的飞散速度 $v_s = 2\sigma_m/\rho_\alpha c$ 。式中, ρ_α 为靶板密度, c 为一维应变弹性波速。

6.2.4 碎甲弹的作用

碎甲弹是依据上述原理对装甲起破坏作用的反坦克弹种。碎甲弹对装甲的破坏过程, 如图 6.6 所示。

在碎甲弹碰击目标瞬间, 惯性作用使弹头部受压变形, 随之炸药装药被堆积于装甲表面。同时, 引信内部的击发机构也开始作用, 经过一定的延期时间后, 引信起爆, 从而引爆炸药。由于爆轰产物对靶板的强烈冲击, 从而在靶板内引起应力波的传播、反射和叠加, 最终形成碟形破片。

当碎甲弹被用来对付由脆性材料构成的目标(如混凝土工事、铸铁靶板等)时, 由于材料的抗弯能力差, 所以层裂破片不呈碟形, 而是一些表面较为平整的碎块。

与破甲弹相比, 对一定厚度的均质硬装甲, 在一定的着角范围内, 碎甲弹具有破甲威力大、后效可靠的特点, 其后效作用远大于相同口径的破甲弹; 与穿甲弹相比, 在一定的着角范围内, 对均质装甲, 碎甲弹破甲作用随着角增大而有所增大, 穿甲弹则随着角增大发生跳弹的可能性也增大, 导致穿甲可能性减小。

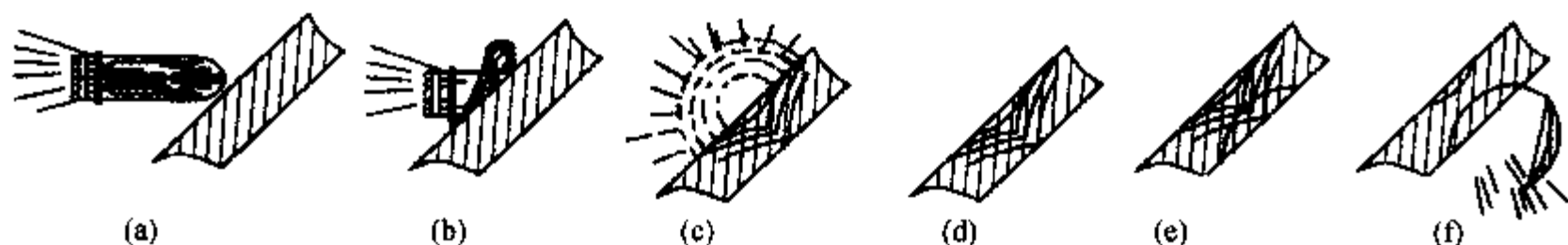


图 6.6 碎甲弹的作用过程

(a) 碎甲弹飞向装甲目标；(b) 在撞击目标瞬时弹体变形；(c) 碎甲弹爆炸，压缩波在装甲内部传播；(d) 应力波从装甲背面反射而产生拉伸波；(e) 压缩波和拉伸波相遇而在装甲内部产生裂纹；(f) 在装甲背面崩落出碟形破片以及其他小破片

碎甲弹除了作为反坦克弹种外，还由于它能装填较多的炸药，因而还可以作为爆破弹使用；又由于它在爆炸时，弹丸破片具有较大的动能（虽然破片质量小，但飞行速度高，一般可达 $1\,500\sim 2\,000\text{ m/s}$ ），所以对敌方有生力量具有较强的杀伤力，故也可作为杀伤弹使用。

6.3 碎甲弹的结构特点

碎甲弹的结构比较简单，如图 6.7 所示，它由弹体、炸药装药、底螺和引信等组成。由图可以看出，碎甲弹的外形不同于榴弹，整个弹丸较短，其长度一般仅为 $3.5\sim 4.5$ 倍弹径，弹体圆柱部很长，而弹头部很短。为减小飞行时空气阻力，弹头部呈尖拱形，这种形状有利于增加弹丸着靶时的炸药堆积面积。

1. 弹体

为保证弹丸在碰击目标时的既易变形又不破裂的需要，弹体应采用强度较低、塑性较好的材料。兼顾发射强度的要求，通常选用 15 和 20 号钢。

为了增大内腔容积、多装炸药，弹体头部一般都比较钝，而圆柱部较长。在圆柱部上，有的碎甲弹采用了定心部（图 6.7），有的则与圆柱部统一起来，采用“全定心”方式（图 6.8）。

所谓“全定心”方式是指整个圆柱部都作为定心部。这种结构有利于多装炸药，有利于碰击目标时的炸药堆积和弹体的加工，但需选择合适的弹炮间隙，以保证弹丸在膛内的正确运动，从而提高射击精度。为了使碎甲弹能在碰击靶板时很快破碎，保证弹丸具有正常的碎甲作用，碎甲弹的壁厚较薄。除了为保证弹带附近和弹底部分的发射强度而使其壁厚较大外，其他部分的壁厚都很薄，有的碎甲弹壁厚最薄处只有 $1.5\sim 2.5\text{ mm}$ 。

为了保证弹丸在膛内的发射强度和弹带的可靠作用，一般将弹带安置在弹壁较厚的弹底部。为了增加弹丸在碰击目标时的堆积面积，适当提高弹尾部的质量是有利的。

2. 炸药

为保证碎甲弹在碰击目标时能更好地堆积，以便紧贴表面爆炸，从而要求在可能使用的



温度（如 $-40^{\circ}\text{C}\sim+50^{\circ}\text{C}$ 范围内）条件下，炸药具有一定的塑性变形能力，因而通常采用塑性炸药。为提高层裂效应，还要求塑性炸药具有较高的猛度和较高的爆速。

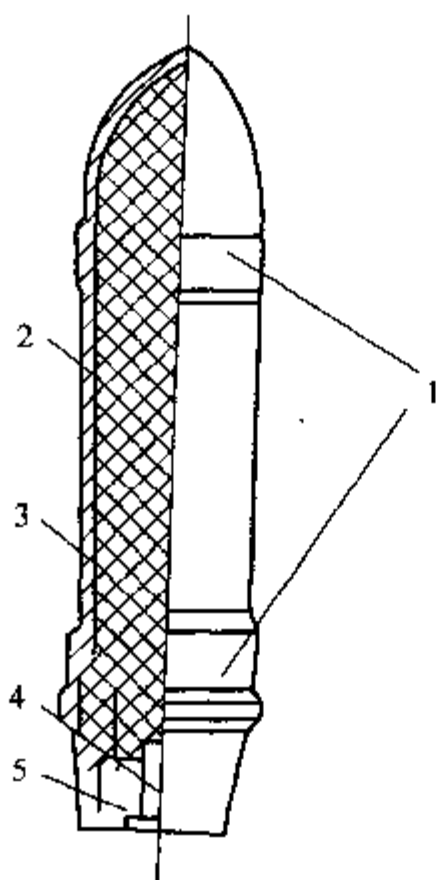


图 6.7 采用定心部的碎甲弹

1—定心部；2—塑性炸药；3—弹体；
4—引信；5—底螺

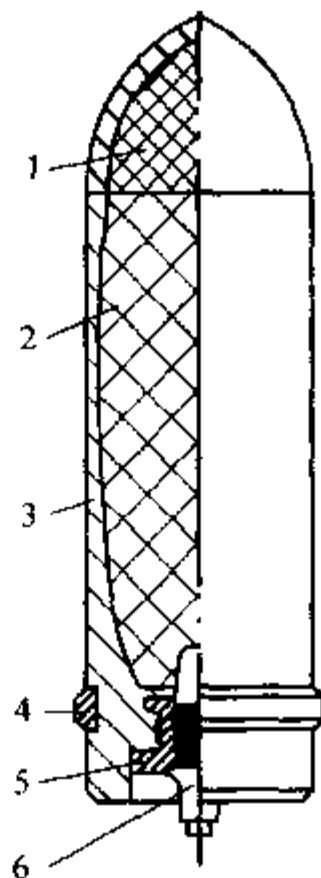


图 6.8 碎甲弹结构示意图

1—弹性炸药；2—塑性炸药；3—弹体；
4—弹带；5—底螺；6—引信

由于弹丸在碰击目标时的冲击动能很大，很容易出现早炸，即碎甲弹装药因冲击而爆炸，因此，通常在弹丸内腔的顶部装填一部分感度较低、威力较小的弹性炸药。

3. 引信

由于弹丸碰击目标的速度不同，所以装药在装甲表面形成堆积的时间也不同，因而要求引信能够自动调整作用时间，使装药在适当时机爆炸，以获得最好的层裂效应。

机械惯性引信是依靠击针的惯性作用来冲击雷管起爆，其起爆时间取决于击针前冲时的速度。由于击针的前冲速度与弹丸碰击目标时的速度有关，因而机械惯性引信具有自动调整起爆时间的功能，故通常采用机械惯性引信。

6.4 影响碎甲威力的主要因素

一定尺寸的炸药装药在靶板表面上爆炸时，是否能够在靶板背面上产生层裂破片，主要取决于炸药性能及其在靶板表面的堆积面积和高度，以及碎甲弹的着角、靶板材料特性等因素。下面，仅对几个主要因素作一简要说明。



6.4.1 着角

随着弹丸着角的增大, 引信作用时间增长, 炸药与钢板的接触面积增大, 打下的碟形破片体积和重量增大, 破甲作用在一定程度上有所增加。但着角太大时, 药柱太偏, 碟片速度将降低, 影响碎甲效果, 也可能使引信作用不可靠。

6.4.2 炸药性质和装药尺寸

一般来说, 炸药的爆速与装填密度愈大, 炸药的猛度愈大, 爆炸后在金属材料内造成的压缩应力波波峰也愈高, 因而猛度较高的炸药可以提高碎甲效果。

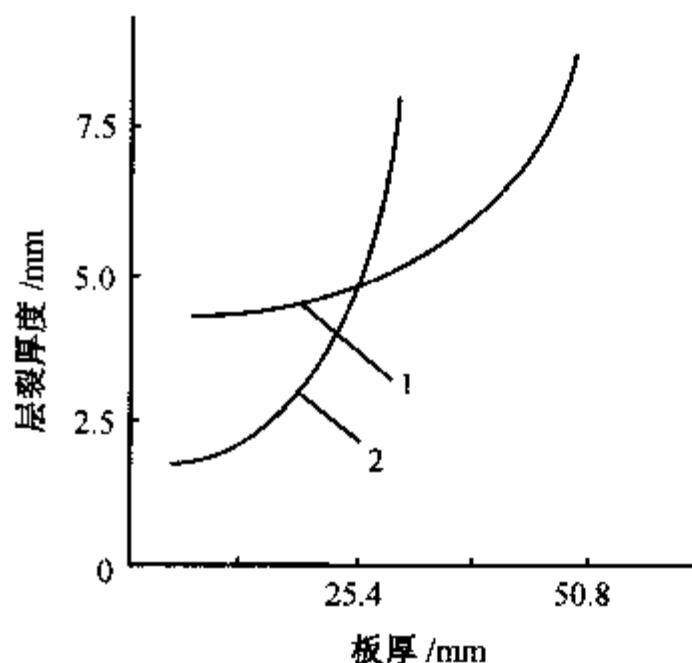


图 6.9 装药厚度、装甲厚度与层裂厚度的关系

1—药厚 6.4 mm; 2—药厚 3.2 mm

碎甲弹装药, 通常是圆柱形的。实验表明, 药柱的长径比对层裂效应具有显著的影响; 在一定的装药量和靶板厚度条件下, 长径比过大或过小, 都不利于层裂的产生。实际上存在着上下两个临界长径比, 在这两个临界长径比之间, 随长径比增大, 碟形破片的厚度一般要减小 (有时不明显), 但它的飞散速度则明显增大。反之, 随长径比减小, 碟形破片明显地增厚, 而其飞散速度则减小。

这就是说, 在碎甲弹设计中, 应当考虑弹丸碰击目标时需形成一个良好的堆积条件, 这既要考虑弹体和炸药的变形能力, 又要考虑弹丸碰击目标时的速度。

6.4.3 靶板厚度及其机械性能

靶板厚度对层裂效应的影响与入射波的波长有关。当靶板厚度大于波长时, 随板厚的增加, 由于应力波在传播过程中的衰减, 卸载波曲线的曲率减小, 结果使层裂厚度增大。但是, 当板厚增加到 4 倍以上的波长时, 由于应力波衰减过甚, 入射波在自由表面反射后产生的拉应力过低, 将不足以产生层裂。当板厚小于波长时, 随靶厚的减小, 发生层裂的可能性降低; 当板厚远小于波长时, 将不可能发生层裂 (如图 6.9)。

靶板的机械性能对层裂的影响主要表现在材料的抗拉强度上, 抗拉强度低而脆性大的靶板,



越容易发生层裂。一般情况下,靶板强度越高脆性越大,层裂次数增加,但碟形破片速度降低。

6.4.4 屏蔽物

当入射的压缩波传到钢板自由面以前,如果受到不应有的反射和干扰时,将使层裂效应减弱,甚至完全丧失层裂效果。例如,当炸药装药在带有屏蔽物的钢板上爆炸时,由于入射波在屏蔽物与钢板的分界面上反射,结果导致进入钢板内的压缩波减弱,从而使在钢板自由面上发生层裂的可能性大大下降。这是碎甲弹的致命弱点。

如图 6.10 所示,当炸药对双层结构的靶板爆炸作用时,压缩波首先进入面板(屏蔽物)中,之后,压缩波的一部分在面板与底板之间的界面上反射,另一部分传入底板中。传入底板中的压缩波已大大衰减,减小了发生层裂的可能性。

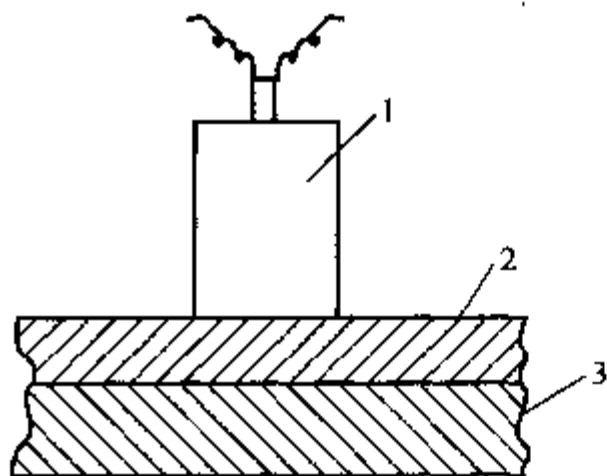


图 6.10 炸药爆炸对屏蔽装甲的作用

1—炸药;2—面板;3—底板

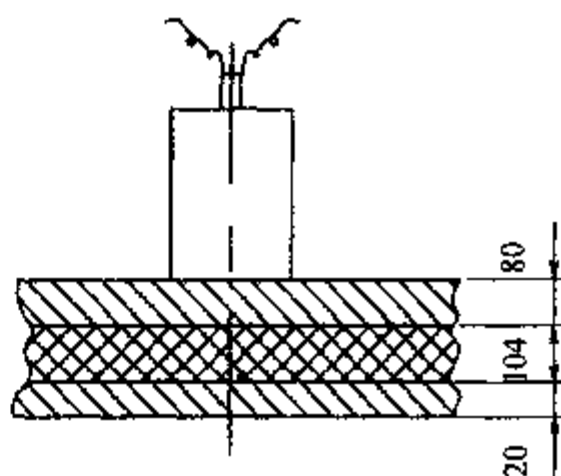


图 6.11 炸药对复合装甲的作用

假若采用如图 6.11 所示的复合靶板(在 80 mm 面板和 20 mm 底板之间夹装 104 mm 玻璃纤维),当压缩应力波通过第一界面进入夹层时,波的强度将大大减弱,在第二层中传播时又将自行衰减。当应力波到达底层的自由表面时,应力波的强度已不足以发生层裂。用 122 mm 碎甲弹对上述复合靶板的射击试验(靶板倾角为 68°)表明,在复合装甲的正面形成一个凹坑,其口部尺寸为 $235\text{ mm} \times 372\text{ mm}$,深为 75 mm。而在底层钢板的自由表面上仅仅落下几块氧化皮。

第7章 子 母 弹

7.1 概 述

子母弹是以母弹作为载体，内装有一定数量的子弹，发射后母弹在预定高度开舱抛射子弹，以完成毁伤目标和其他特殊战斗任务的炮弹。用于毁伤集群坦克、装甲车辆、技术装备，杀伤有生力量或布雷，配用于中大口径火炮、迫击炮等。

现代战争中，由于战场上的主要目标是集群坦克和步兵战车等装甲目标，因此作为压制兵器的火炮，在远距离上对这种装甲目标作战应当是它的主要任务之一，而子母弹正是完成这一任务的有效弹种。

20 世纪 50 年代末，出现了杀伤子母弹。20 世纪 60 年代随着坦克、步兵战车、自行火炮等集群目标的出现，美国开始研制 155 mm M483A1 杀伤一破甲多用途子母弹，1975 年 9 月配用于 M109A1 式 155 mm 自行榴弹炮上，从而使得压制武器能在远距离上对付装甲目标，并列为压制武器的主用弹。联邦德国莱恩金属公司也发展了 RH-49 式 155 mm 装有底部排气装置的子母弹，内装 49 枚直径为 42 mm 的子弹，最大射程可达 30 km。我国于 20 世纪 80 年代研制了 122 mm 反装甲子母弹。子母弹在继续提高有效射程、威力和散布精度的同时，朝着半自动寻的、自动跟踪、自动捕捉目标的方向发展。

子母弹是由母弹和子弹组成一体的。其中，母弹包括炮弹、航弹、火箭弹和导弹诸弹种；子弹包括刚性尾翼的子弹和柔性尾翼（降落伞或飘带尾翼）的子弹。

子母弹中一枚母弹将装载少则几枚，多则数百枚的子弹。子母弹飞行过程是由一种母弹内装许多子弹，当母弹飞达预定的抛射点时，经过母弹开舱、抛射全部子弹，直至子弹群散布在预定的目标区域，击中敌人的集群目标。

从威力方面而言，同样口径的子母弹优于普通榴弹。以反装甲杀伤子母弹为例，它不仅在反装甲目标的性能上具有其突出的特点，而且在杀伤人员方面也远远优于普通榴弹。美国 M483 型和 M509 型两种子母弹与其同口径 M107、M106 普通榴弹的威力对比结果见表 7-1。

表 7-1 子母弹与其同口径普通榴弹的威力对比结果

炮 弹		相对毁伤面积/m ² （开阔地/树林中）					
弹径 /mm	型号	人 员			兵器和技术装备		
		立 姿	卧 姿	散兵坑内	坦 克	装甲输送车	卡 车
155	M107	103/42.5	70.8/22.3	6.67/2.0	1.50/1.0	8.50/5.0	62.8/37.7
	M483	981/580	508/308	14.2/9.5	19.8/9.5	24.7/12.2	67.0/32.0



续表

炮 弹		相对毁伤面积/m ² (开阔地/树林中)					
弹径 /mm	型号	人 员			兵器和技术装备		
		立 姿	卧 姿	散兵坑内	坦 克	装甲输送车	卡 车
203	M106	198/96.2	124/40	12.0/7.3	2.17/1.5	11.5/6.8	130/79.2
	M509	2 012/1 234	1 086/667	31.3/20.8	43.8/20.8	54.5/27	148/71.0

由于子母弹在毁伤威力上的优越性,所以在火箭和导弹战斗部上也广泛采用了子母弹结构。目前所发展的炮射子母弹有杀伤子母弹、动能穿甲子母弹、布雷子母弹、反装甲子母弹和发烟子母弹等。另外,目前世界各国新型灵巧弹药中的末敏弹等均属于子母弹的范畴,其相关内容见灵巧弹药一章所述。

7.1.1 子母弹的弹道特点

按照子母弹飞行过程,子母弹弹道主要由一条母弹弹道和由母弹抛出许多子弹形成的集束弹道所组成,如图 7.1 所示。母弹弹道是人们熟知的炮弹、航空炸弹、火箭弹和导弹的飞行弹道。从每一枚母弹中抛出的子弹,将形成许多互不相同的子弹弹道,比如,在图 7.1 中, OP 为一母弹弹道, PC 为其中的一组子弹弹道。对于不同的子弹(如刚性尾翼的子弹、带降落伞或飘带的柔件尾翼的子弹),还将有不同特色的子弹弹道。比如伞弹的弹道将分为若干段来考虑:当伞弹被抛出时,为伞弹的抛射段;随即伞绳逐渐拉出,便进入拉直段;当伞绳拉直以后,便进入降落伞充气过程,即充气段;降落伞充满气以后,伞弹进入减速段并达到末敏子弹的稳态扫描段。无论何种子弹弹道,抛射点是抛射弹道的一个重要特征点,也是各种子弹弹道的起始点。

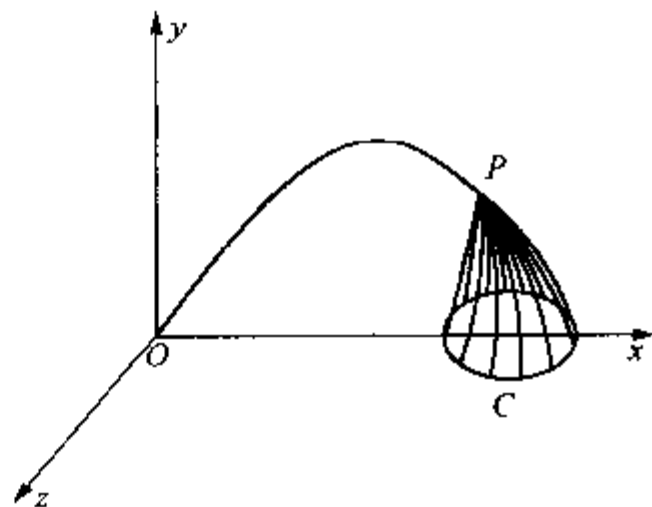


图7.1 抛射弹道示意图

子母弹弹道还有另一个重要特点,就是在抛射点母弹有一个开舱、抛射过程伴随产生的动力学问题,它是一个复杂的瞬态过程。对于不同的开舱、抛射方式、方法,将由相应的不同的抛射动力学模型分别研究。这也是子母弹弹道研究中有待研究解决的一个重要问题,它将为研究解决子母弹开舱、抛射这一关键技术提供理论依据。



7.1.2 子母弹的开舱与抛射

对各种炮弹、航空炸弹、火箭弹和导弹，当其配制有子母战斗部后，将能构成更有利的大面积压制火力和大纵深突击火力，以其弹药数量多、火力猛而有效地阻击敌人的坦克、装甲战车和有生力量以及重要的军事目标，从而倍受世界各国的普遍重视。如美国的 MLRS 多管火箭系统，由口径为 227 mm 的 12 管火箭组成，每发火箭可携带 M77 子弹 644 枚，一次齐射可发射子弹总数达 7 728 枚，射程 30~40 km，覆盖面积达 120 000~240 000 m²；意大利研制的 Firos-70，弹径为 315 mm 的 8 管火箭，每发战斗部可装子弹 924 枚，子弹覆盖面积达 50 000 m² 等。为使如此众多的子弹发挥最佳的效力，不仅需要足够大的子弹覆盖面积，而且又具有毁伤目标所要求的合理密度，这就需要解决好了母战斗部的开舱与子弹抛射的技术问题。

不同的子母战斗部具有不同的结构、性能及使用等特点，其开舱、抛射方式不可能是相同的，这里仅介绍一些目前所采用的开舱、抛射方法。

1. 母弹的开舱

对于不同的子母战斗部，即使是同一弹种的子母战斗部，其开舱部位与子弹抛出方向都是有区别的，在选择开舱、抛射方式时，都需要进行认真的全面分析、论证。以火箭子母弹为例，仅弹径的变化就需要考虑不同的开舱、抛射方式：

① 火箭子母弹当弹径较小时，如 122 mm 火箭子母弹可采用战斗部壳体头弧部开舱，子弹向前方抛出。加上抛射导向装置的作用，子弹则向前侧方抛出，达到较好的抛射效果。

② 当火箭弹径加大到 230 mm 以至 260 mm 时，子弹装填数量增大，应采用战斗部壳体全长开舱，子弹向四周径向抛射。如美国 MLRS 多管火箭系统子母战斗部采用中心药管形式，结构紧凑，对子弹装填容积无大的影响，并且可以同时达到壳体全长开舱与子弹径向抛射的目的。

③ 当火箭弹弹径进一步增大，子弹数量更多时。为了均匀撒布，必要时还可采用二级抛射的形式。如意大利的 Firos-70 火箭子母弹战斗部，火箭弹径为 315 mm，内装直径为 122 mm 的子弹筒 12 发，而每个子弹筒内又装有小子弹 77 枚。如图 7.2 所示。在引信作用下，切割索先将壳体沿全长切开，燃气再将带有小子弹的子弹筒沿径向抛出，然后小子弹再由子弹筒中被抛出。

对于母弹的开舱方式，目前采用的主要有如下几种：

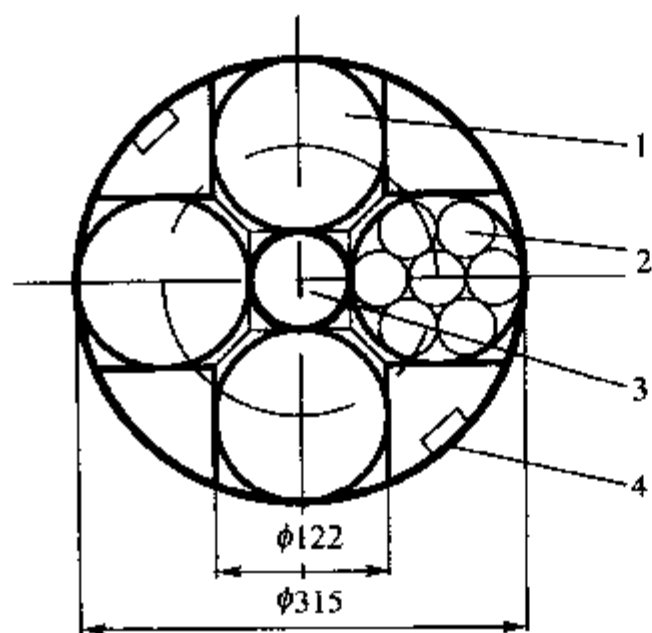


图 7.2 Firos-70 火箭子母战斗部横剖面图

1—子弹筒；2—小子弹；3—燃气抛射装置；4—切割索



(1) 剪切螺纹或连接销开舱

这种开舱方式在火炮特种弹丸上用得较多,如照明弹、宣传弹、燃烧弹、子母弹等。一般作用过程是时间点火引信将抛射药点燃,再在火药气体的压力下,推动推板和子弹将头螺或底螺的螺纹剪断,使弹体头部或底部打开。

(2) 雷管起爆,壳体穿晶断裂开舱

这种开舱方式用于一些火箭子母弹与火炮箭形榴霰弹丸上。其作用过程是:时间引信作用后,引爆4个径向放置的雷管,在雷管冲击波的作用下,脆性金属材料制成的头螺壳体产生穿晶断裂,使战斗部头弧全部裂开。

(3) 爆炸螺栓开舱

这是一种在连接件螺栓中装有火工品的开舱装置,是以螺栓中的火药力作为释放力,靠空气动力作为分离力的开舱机构。它常被用在航空炸弹舱段间的分离。现在也已成功地用于大型导弹战斗部的开舱和履带式火箭扫雷系统战斗部的开舱上。

(4) 组合切割索开舱

这种方法在火箭弹、导弹及航空子母弹箱上都得到了广泛的使用。一般采用聚能效应的切割导爆索,根据开裂要求固定在战斗部壳体内壁上。而引爆索的周围装有隔爆的衬板,以保护战斗部内的其他零部件不被损坏。切割导爆索一经起爆,即可按切割导爆索在壳体內的布线图形,将战斗部壳体切开。

(5) 径向应力波开舱

这种方式是靠中心药管爆燃后,冲击波向外传播,既将子弹向四周推开,又使战斗部壳体在径向应力波的作用下开舱。为了开舱可靠、部位规则,一般在战斗部壳体上加上若干纵向的断裂槽。这种开舱方式成功地使用在美 MLRS 火箭子母弹战斗部上和一些金属箔条干扰弹的开舱上。

这种开舱的特点是开舱与抛射为同一机构,整体结构简单紧凑。

无论何种方式开舱,均需满足如下基本要求:

(1) 要保证开舱的高可靠性

通常,子母弹弹径大,装子弹多,每发弹的成本较高。因此,要求开舱必须很可靠,不允许出现由于开舱故障而导致战斗部失效。为此要求:配用引信作用可靠,传火系列及开舱机构性能可靠。在选定结构与材料上,尽量选用那些技术成熟、性能稳定、长期通过实践考验的方案。

(2) 开舱与抛射动作协调

开舱动作不能影响子弹的正常抛射,即开舱与抛射之间要动作协调,相辅相成。

(3) 不影响子弹的正常作用

开舱过程中不能影响子弹的正常作用。特别是子弹尾带完整,子弹飞行稳定。子弹引信能可靠解脱保险和保持正常的发火率。

此外,还要求具有良好的高低温性能和长期储存性。



2. 子弹的抛射

在抛射步骤上可分为一次抛射和两次（或多次）抛射。由于两次抛射机构复杂，而且有效容积不能充分使用，携带子弹数量少等原因，因而在一次抛射可满足使用要求时，一般不采用两次抛射。目前常用的抛射方法，主要有如下几种：

（1）母弹高速旋转下的离心抛射

这种抛射方式，对于一切旋转的母弹，不论转速的高低，均能起到使子弹飞散的作用。特别是对于火炮子母弹丸转速高达每分钟数千转，以至上万转时，均起到主要的以至全部的抛射作用。

（2）机械式分离抛射

这种抛射方式是在子弹被抛出过程中，通过导向杆或拨簧等机构的作用，赋予子弹沿战斗部径向分离的分力。导向杆机构已经成功地使用在 122 mm 火箭子母弹上，狭缝摄影表明，5 串子弹越过导向杆后，呈花瓣状分开。

（3）燃气侧向活塞抛射

这种方式主要用于子弹直径大，母弹中只能装一串子弹的情况，如美 MLRS 火箭末端敏感子母战斗部所用的抛射机构。前后相接的一对末敏子弹，在侧向活塞的推动下，垂直弹轴沿相反方向抛出（互成 180° ）。每一对子弹的抛射方向又有变化，对整个战斗部而言，子弹向四周各方向均有抛出。

（4）燃气囊抛射

使用这种抛射结构的典型产品是英国的 BL755 航空子母炸弹。共携带小炸弹 147 颗，分装在 7 个隔舱中。小炸弹外缘用钢带束住，小炸弹内侧配有气囊。当燃气囊充气时，子弹顶紧钢带，使其从薄弱点断裂，解除约束。在燃气囊弹力的作用下，147 颗小炸弹从不同方向以两种不同的名义速度抛出，以保证子弹散布均匀。

（5）子弹气动力抛射

通过改变子弹气动力参数，使子弹之间空气阻力有差异，以达到使子弹飞散的目的。这种方式已在国外的产品中一些产品中使用。如在国外的炮射子母弹上，就有意地装入两种不同长度尾带的子弹；在航空杀伤子母弹中，采用由铝瓦稳定的改制手榴弹作的小杀伤炸弹，抛射后靠铝瓦稳定方位的随机性，从而使子弹达到均匀散开的目的。

（6）中心药管式抛射

使用成功的典型结构是美国 MLRS 火箭子母弹战斗部，如图 7.3 所示。

每发火箭携带子弹 644 枚。一般子弹排列不多于两圈。如圆柱部外圈排 14 枚子弹，内圈排 7 枚子弹。子弹串之间用聚碳酸酯塑料固定并隔离。战斗部中心部位装有药管。时间引信作用，引起中心药柱爆燃后，冲击波既使得壳体沿全长开裂，又将子弹向四周抛出。

（7）微机控制程序抛射

应用于大型导弹子母弹上。由单板机控制开舱与抛射的全过程，子弹按既定程序分期分

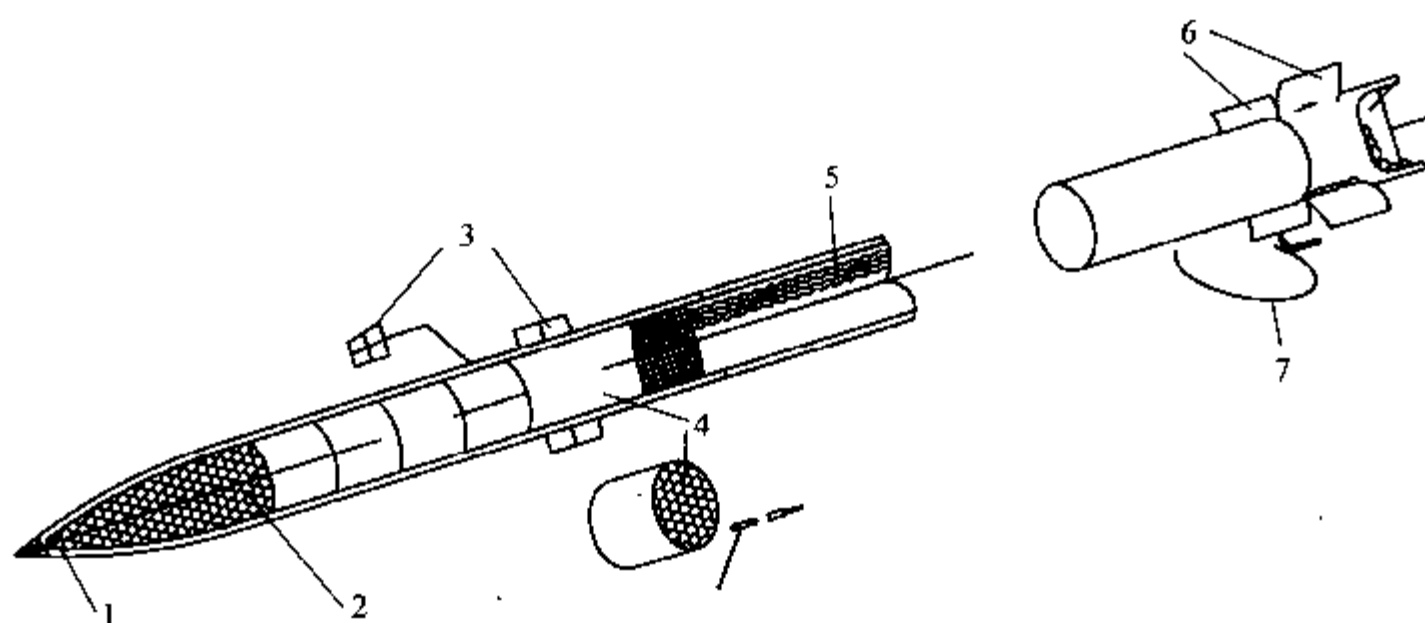


图 7.3 MLRS 火箭子母弹战斗部示意图

1—电子时间引信;2—M77 子弹;3—定心块;4—聚氨酯支承筒;
5—火箭发动机;6—尾翼;7—翼锁定释放装置

批以不同的速度抛出,以得到预期的抛射效果。

对各种方式的抛射,均需满足如下的基本要求:

(1) 满足合理的散布范围

根据毁伤目标的要求和战斗部携带子弹的总数量,从战术使用上提出合理的子弹散布范围,以保证子弹抛出后能覆盖一定大小的面积。但在试验时还应注意,实际子弹抛射范围的大小,还与开舱的高度有关。

(2) 达到合理的散布密度

在子弹散布范围内,子弹应尽可能地均匀分布,至少不能出现明显的子弹堆积现象。均匀分布有利于提高对集群装甲目标的命中概率。

(3) 子弹相互间易于分离

在抛射过程中,要求子弹能相互顺利分开,不允许出现重叠现象。如果子弹分离不开,尾带张不起来,子弹引信就解脱不了保险,这将导致子弹失效。

(4) 子弹作用性能不受影响

抛射过程中,子弹不得有明显变形,更不能出现殉爆现象,力求避免子弹间的相互碰撞。此外,还要求子弹引信解脱保险可靠,发火率正常,子弹起爆完全性好。

7.2 子母弹的结构与作用

子母弹是近 40 年内出现的新弹种,从 20 世纪 70 年代以来得到迅速发展。美军就装备了 M444 型 105 mm 杀伤子母弹, M449 型 155 mm 杀伤子母弹, M404 型 203 mm 杀伤子母弹; M483 型 155 mm 反装甲杀伤子母弹, M509 型 203 mm 反装甲杀伤子母弹; M741 型 155 mm



反坦克布雷弹；M731 型 155 mm 杀伤布雷弹；M825 型 155 mm 发烟子母弹等。

7.2.1 子母弹典型结构

如图 7.4 所示，子母弹主要是由弹体、引信、抛射药、推力板、支杆、子弹和弹底等部分组成的。

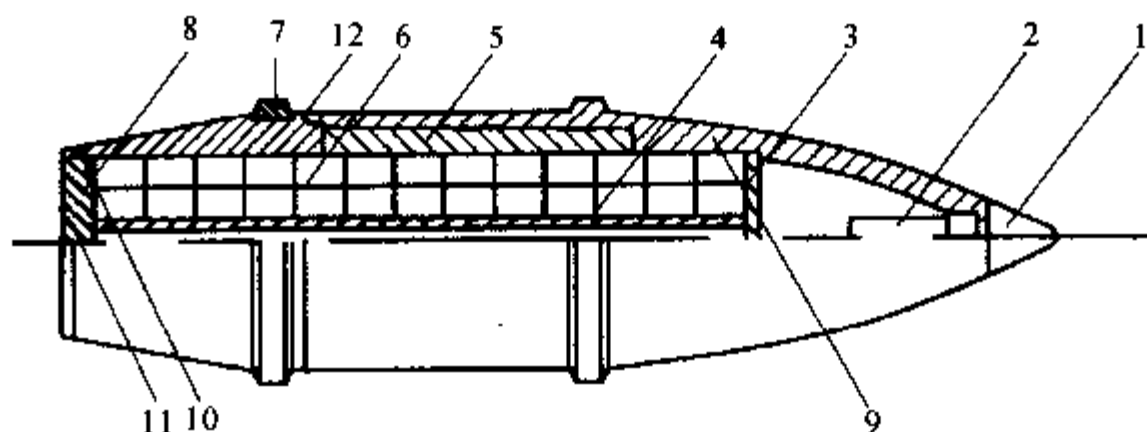


图 7.4 美国 M404 型 203 mm 杀伤子母弹

1—引信；2—抛射药管；3—推力板；4—支筒；5—衬筒；6—子弹（13 层，每层 8 个）；
7—弹带；8—弹底；9—弹体；10—剪断销（共 3 个）；11、12—密封圈

弹体是盛装子弹的容器，通常称为母弹。在外形上，母弹基本上与普通榴弹相同或者接近。母弹的头部常采用尖锐的弧形，其目的是为了减小空气阻力，提高射程。但是，这样做的结果是难以在头部内腔部分装填子弹，只好使这部分容器空着。这样的结构，必然使全弹的质心后移，从而影响弹丸的飞行稳定性。在这种情况下，为了保证子母弹的飞行稳定性，以及获得良好的射击精度，有些子母弹不得不采取措施，减小全弹的长度。母弹的内腔与普通榴弹有着明显差别：首先，应当尽量减薄母弹的壁厚，增大内腔容积，便于多装子弹；其次，为了便于将子弹从内腔中推出，内腔必须制成圆柱形；再次，由于子弹是从底部推出的，母弹底部都是开口的。

由于采用上述的弹体结构，弹带部分将会出现明显的强度不足。为了保证发射时的强度要求，在制造中母体压制弹带部位一般都需要进行局部热处理，以提高母体材料的强度。

母弹的弹底材料通常与母体相同，均用炮弹钢制造。与母体连接，可以用螺纹、螺钉和销钉等。采用螺纹连接时，对现有火炮膛线（右旋），应采用左旋螺纹，以免发射时引起松动或旋下。螺纹圈数的多少，取决于连接强度的要求，该连接强度对抛射压力有着很大的影响。螺纹圈数过多，相应的抛射压力也高，在这种情况下子弹将要承受很高的抛射压力，这可能引起子弹变形，从而影响子弹在抛出后的正常作用。如果圈数过少，则难以保证必要的连接强度。在一般情况下常采用细牙螺纹，其总圈数不超过 4 圈。采用销钉连接时，其抛射



压力较小, 虽然可以避免子弹的受压变形, 但其连接强度也低。

母弹的引信通常为机械时间引信, 其工作时间与全弹道的飞行时间相当。抛射药一般装于塑料筒内, 放置在引信下部。当子母弹飞行到目标上空时, 引信按装定的时间发火, 点燃抛射药。抛射药点燃后, 依靠火药气体的压力推动推力板, 破坏弹底的连接螺纹, 打开弹底, 并将子弹推出母弹弹体。为了减小子弹所受的推力板压力, 在推力板与弹底之间设有支杆。支杆系由无缝钢管制成, 作用时将推力板的压力直接传递到弹底。如果弹底与弹体之间采用销钉连接, 则因其强度较低, 可以不用支杆, 而直接用推力板经过子弹将弹底压开。

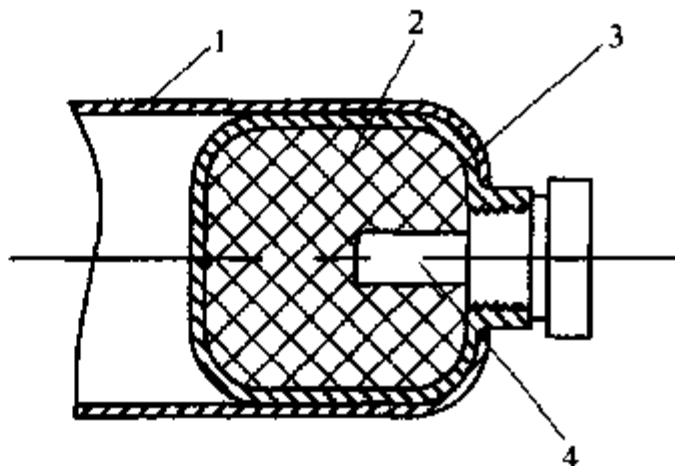


图 7.5 M35 子弹

1—铝套筒; 2—杀伤钢球; 3—卷起的稳定带; 4—子弹引信

子母弹的子弹应以密实的方式装入母弹的弹体内, 子弹的类型多种多样, 可以是杀伤的, 也可以是破甲的等等。如图 7.5 所示, 是一种地面爆炸式杀伤子弹。主要

部分为球形弹丸(钢球), 该弹丸系钢制球形外壳, 内装炸药, 并在头部装有机械着发引信。在球形钢弹丸的外部还套有铝制套筒, 筒内装有尼龙制的稳定带, 以便在子弹下落时保持飞行稳定, 确保引信朝下。

7.2.2 子母弹的作用过程

布雷子母弹是用来向敌方坦克群行进或即将行进的地区布撒反坦克地雷, 以阻止、延缓坦克部队行进的一种炮弹。杀伤子母弹主要是用来完成对有生力量杀伤作用的一种炮弹。为了防止敌方坦克兵或步兵排除反坦克雷, 布雷子母弹还可以同时装有起杀伤作用的子弹, 与反坦克地雷混合撒布。反装甲子母弹中装有成型装药破甲子弹, 在坦克群上空爆炸后释放出子弹, 子弹分散飞行, 攻击坦克的顶装甲。因为坦克的顶装甲比较薄, 破甲子弹能够在直接命中后有效地击穿装甲并毁伤坦克内部。杀伤子母弹在目标上空爆炸后, 释放出多个杀伤子弹, 子弹落地后再跳起到 1.2~1.8 m 高爆炸, 起到的杀伤效果可比普通榴弹高出 2~10 倍。

当发射后的子母弹飞抵目标上空时, 母弹的时间引信作用, 点燃抛射药, 通过推力板和支杆将弹底打开, 从而把子弹从弹底部抛出。此时, 由于离心力的作用将使子弹偏离母弹的弹道而散开。在子弹从母弹中抛出时, 子弹的引信解脱保险, 同时稳定带展开以保持子弹的飞行稳定, 并使子弹引信朝向地面。当子弹碰击地面时引信发火, 子弹爆炸形成破片, 杀伤敌人。

子母弹具有对目标覆盖面大, 毁伤效率高等优点, 是一种反集群目标的有效弹药。但子弹落在丛林和松软厚雪等地面时, 不容易起爆。



7.3 杀伤子母弹

7.3.1 美军 M449 型 155 mm 杀伤子母弹

M449 型杀伤子母弹用于 155 mm 榴弹炮, 它可以携带多个子弹, 供远距离杀伤敌方有生力量, 其主要诸元见表 7-2。

表 7-2 M449 型 155 mm 杀伤子母弹主要诸元

弹丸质量/kg	43.091	抛射药质量/g	30
弹长/mm	699	最大射程/m	14 600
子弹型号	M43A1	子弹数量/个	60
引信型号	M565 或 M548、M57	初速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	563
子弹内炸药质量/g (A5 复合炸药)	21.25		

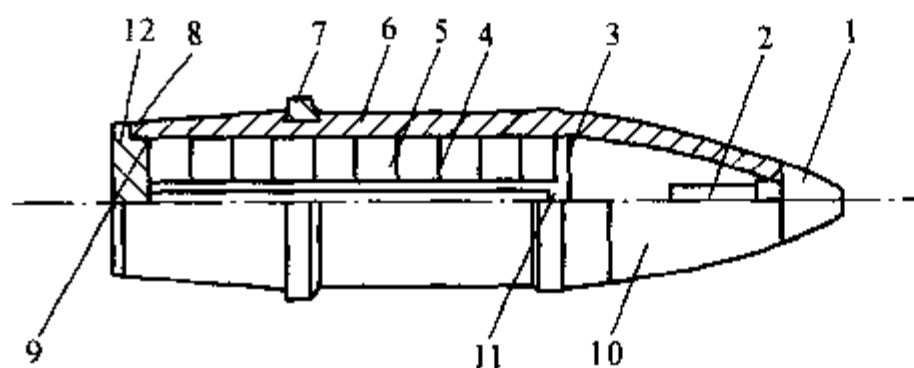


图 7.6 美国 M449 型 155 mm 杀伤子母弹

1—引信; 2—抛射药管; 3—推力板; 4—支筒; 5—子弹; 6—弹体;
7—弹带; 8—弹底; 9—销钉 (共3个); 10—头螺; 11、12—密封圈

如图 7.6 所示, 在该子母弹的母弹内装有 60 个 M43A1 型杀伤子弹, 这些子弹共分 10 层 (每层 6 个) 装填。母弹的外形与普通榴弹相同, 但底部开口。在装配时, 子弹从底部装入, 然后装上弹底。该弹弹底用 3 个剪切销固定在弹体上。在母弹头部装有机械时间引信, 引信下部装有抛射药, 子弹前部为推力板。当发射后的母弹飞到目标

上空时, 时间引信按装定时间作用, 点燃抛射药, 由此产生的火药气体压力将推动推力板剪断弹底的连接销, 从而将子弹从弹底抛出。子弹依靠离心力作用向四周飞散。子弹落地后, 向上抛起, 在距地面 1.2~1.8 m 的高度处爆炸, 产生杀伤破片, 杀伤敌方有生力量。

下面着重说明该子母弹的 M43A1 式子弹的结构及作用。M43A1 式子弹为反跳空炸式杀伤子弹, 如图 7.7 所示。该子弹主要由壳体、稳定翼、球形杀伤弹丸和反跳抛射装置等组成。

壳体的外形为 60° 角的尖劈形, 6 个子弹刚好构成一个圆, 在母弹内腔可作为一层。可



见, 这种外形可以获得最密实的装填。

每个子弹都有两片稳定翼, 包于子弹壳体外侧。稳定翼上装有弹簧, 子弹抛出后即可展开。钢制球形杀伤弹丸内, 装有 A5 复合炸药。A5 炸药是加入石蜡的钝化黑索金, 其爆速可达 $8\,100\text{ m/s}$ 。在炸药装药中心装有延期起爆雷管。在球形弹丸的下部装有反跳抛射药和反跳抛射点火装置。

当子弹从母体内抛出后, 翼片张开, 使子弹在飞行中保持稳定。翼片靠弹簧和空气动力的作用使其张开并保持在最大张开位置。同时, 反跳抛射装置动作, 解除保险, 处于待发状态。当子弹着地后, 抛射装置中的击针击发火帽, 点燃抛射药及延期雷管, 将子弹中的球形弹丸向上抛起, 随后延期雷管引爆球形弹丸中的 A5 炸药, 将钢壳炸成破片, 从而杀伤敌方人员。

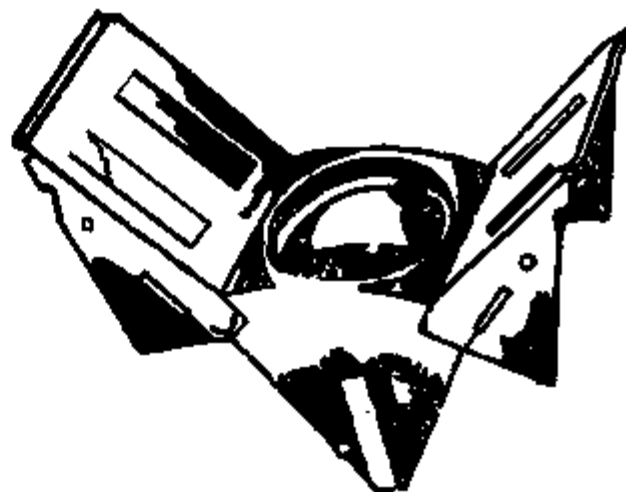


图 7.7 翼片打开时的 M43A1 式子弹

7.3.2 美军 CBU-24 式杀伤子母弹

CBU-24 式杀伤子母弹 (CBU-24 Cluster Bomb) 是美军于 20 世纪 60 年代中期装备部队的, 主要配用于 A-4 式、F-4 式和 F-105 式等飞机, 属于子母航空炸弹, 其主要诸元见表 7-3。

表 7-3 美军 CBU-24 式杀伤子母弹主要诸元

弹径/mm	406	全弹重/kg	326--371
名义重量/kg	340	全弹长/mm	2 212
装填物及重量	640 或 670 枚 BLU-26/B 式杀伤小炸弹		

CBU-24 式子母炸弹由 SUU-30 系列投弹箱内装 BLU-26/B 式杀伤小炸弹构成。现有 CBU-24/B 式、CBU-24A/B 式、CBU-24B/B 式、CBU-24C/B 式 4 种, 分别采用 SUU-30/B 式、SUU-30A/B 式、SUU-30B/B 式、SUU-30C/B 式 4 种投弹箱, 其外形如图 7.8 所示。前两种投弹箱空重相同, 为 95.3 kg ; 后两种投弹箱空重分别为 89.8 kg 和 89.3 kg 。前 3 种投弹箱装 BLU-26/B 式杀伤小炸弹 670 枚, 后一种投弹箱装 640 枚。



图 7.8 SUU-30/B (CBU-24 子母炸弹投弹箱) 外形



SUU-30/B 式投弹箱由上、下两半部构成。上半部盖有加强板（硬背），其上用螺纹连接有两个间距 356 mm 的弹耳；下半部为硬壳结构，以支承小炸弹。上、下两半部的连接，前端用剪切销固定的头部锁盖，后端用 1 个固定环。头部锁盖上有 1 个内径 38.1 mm 的引信口，用来安装机械时间引信。上盖装有两套保险钢丝导耳，可适于各种类型的炸弹架。投弹箱壳体由低合金高强度钢制成。尾翼用螺栓固定，有 2.5° 安装角，使子母炸弹离开载机后旋转稳定。尾翼布局根据要求可装成十字形或 X 形。SUU-30A/B 式和 SUU-30C/B 式投弹箱与 SUU-30/B 式投弹箱相同，仅内部构造和尾翼有所不同。前两者尾翼无 2.5° 安装角且向后延长，使侧面积增大，同时在每一个尾翼翼片上加装 1 个小的水平翼片以提高稳定性。SUU-30B/B 式投弹箱与 SUU-30A/B 式投弹箱大致相同，但头部结构不同，它可配用直径 38.1 mm 的机械时间引信，也可配用 76.2 mm 直径的引信。该弹的作用原理为：从飞机上投放后，引信作用，引爆炸药，使头部锁盖炸裂，同时使上盖围绕后环铰链翻起，上、下两半部张开，将小炸弹散向目标。

7.4 反装甲子母弹

在反坦克布雷弹的弹体中装有若干个反坦克地雷，发射后可以实施远距离的快速机动布雷。如图 7.9 为美 M718 式 155 mm 反坦克布雷弹的结构示意图。

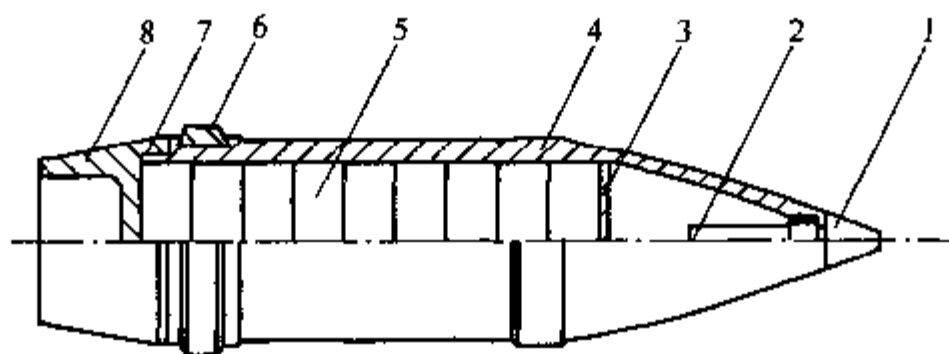


图 7.9 美军 M718 式 155 mm 反坦克布雷弹

1—引信；2—抛射药管；3—推力板；4—弹体；5—地雷；6—弹带；7—弹底；8—密封圈

该弹由弹体、机械时间引信、抛射药、推力板、地雷、弹底等组成。在该布雷弹的母弹内，装有 9 个 M73 型反坦克地雷。

当发射后的布雷弹飞达预定的布雷区上空时，时间引信作用，点燃抛射药将地雷抛出。此时，每个地雷上的降落伞开伞，使地雷减速并徐徐下落、着地。当敌方坦克和装甲车辆经过时，磁引信作用，反坦克地雷爆炸，从而破坏装甲目标。

一般来说，反坦克地雷都有自毁机构，M73 型反坦克地雷的自毁时间为 24 小时，其主要诸元见表 7-4。



表 7-4 M73 型反坦克地雷主要诸元

弹丸质量/kg	46.7	地雷质量/kg	2.2
弹长/mm	781	地雷数量/个	9
子弹型号	M43A1	最大射程/m	17 000
引信型号	M577	地雷型号(成型装药、磁引信)	M73
雷场面积	6 门 155 mm 榴弹炮(一个炮兵连), 两次齐射, 可布设 300 m 宽、250 m 纵深的雷场		

7.5 反装甲杀伤子母弹

7.5.1 美军 M483A1 式 155 mm 反装甲杀伤子母弹

M483A1 子母弹用于美国 155 mm 自行榴弹炮和牵引榴弹炮 7, 能携带多个子弹, 是远距离反装甲目标并杀伤人员的炮弹, 如图 7.10 所示。

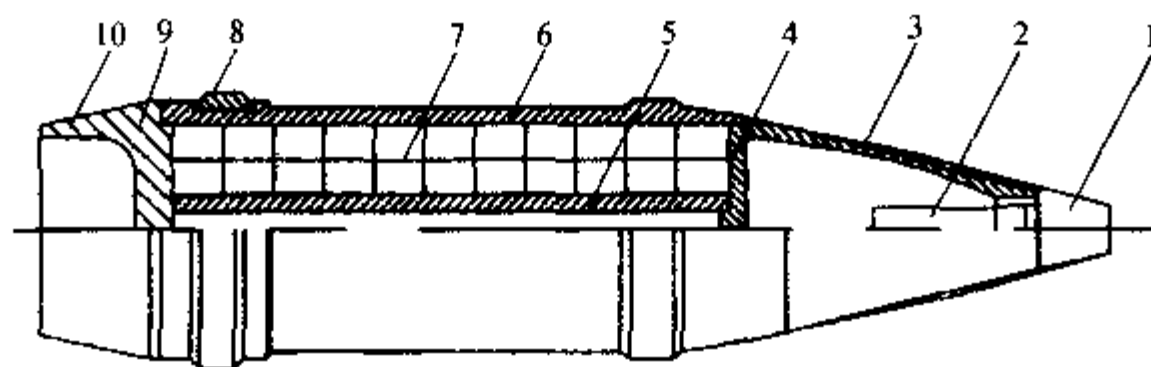


图 7.10 美军 M483A1 式 155 mm 反装甲杀伤子母弹

1—引信; 2—抛射药管; 3—头螺; 4—推力板; 5—支筒; 6—弹体;

7—子弹(11层, 每层 8 个); 8—弹带; 9—密封圈; 10—弹底(左螺纹连接)

该弹由弹体、机械时间引信、抛射药、推力板、子弹和弹底组成, 其主要诸元如表 7-5 所示。

表 7-5 M483A1 型反装甲杀伤子母弹主要诸元

弹丸质量/kg	46.5	抛射药质量/g	51
弹长(带引信)/mm	890	最大射程/m	14 856
弹长(不带引信)/mm	789	子弹数量/个	88
引信型号	M577	初速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	560
子弹内炸药质量/g (A5 复合炸药)	30.5		

该弹采用钢制弹体, 外形与普通榴弹相同, 其头部装有机械时间引信, 引信后部装有



抛射药。母体内装 88 个子弹（每层 8 个，共 11 层）。其中前部 8 层为 64 个 M42 式子弹，后部 3 层为 24 个 M46 型子弹。子弹上部装有推力板，推力板靠抛射药燃烧的火药气体推动抛出子弹，弹底用左旋螺纹与弹体连接。

当发射后的子母弹飞达目标上空时，时间引信按装定时间作用，点燃抛射药，产生的火药气体压力，经推力板、子弹而破坏弹底连接螺纹，同时将子弹从母弹弹体后部抛出。依靠离心力和空气阻力作用，使子弹散开。同时，子弹引信解除保险，当子弹命中目标后爆炸，侵彻装甲和杀伤人员。

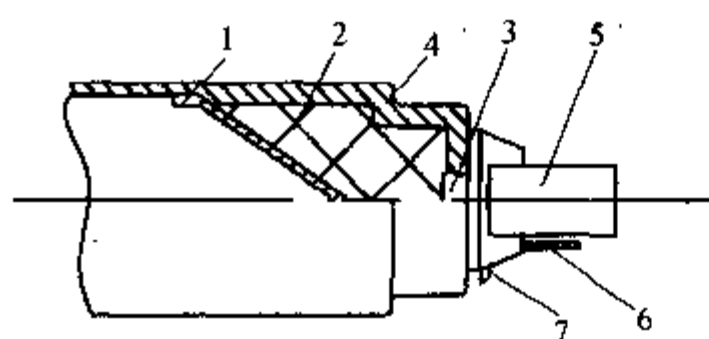


图 7.11 美国 M46 式子弹

1—药型罩；2—炸药；3—弹体；4—引信；
5—折叠起的稳定带；6、7—保险销

母弹内装填的 M42 式和 M46 式子弹，是破甲兼杀伤作用的子弹。M42 式和 M46 式两种子弹的区别在于 M46 的弹体壁厚较 M42 式为大，而且内壁光滑。在 M42 子弹的内壁上有预制破片刻槽。

M42 子弹由子弹弹体、药型罩、成型装药、引信和稳定带等组成，如图 7.11 所示。子弹弹体的前部为圆筒形，其作用是保持成型装药爆炸时的固定炸高。药型罩接于弹体上，以保证炸药密封。子弹引信采用惯性式机械着发引信。稳定带由尼龙制成，子弹飞散后展开，用来保证子弹的稳定飞行。

M42 子弹的主要诸元见表 7-6。

表 7-6 M42 子弹的主要诸元

弹径/mm	38.9	药型罩材料	铜
高度/mm	62.5	药型罩角度/(°)	60
弹丸质量/g	182	药型罩壁厚/mm	1.27
固定炸高/mm	19	破甲深/mm	63.5~76.2
杀伤面积/m ²	1.4		

美军 M483A1 式 155 mm 反装甲杀伤子母弹的作用过程：当子弹从母弹抛出后，由于离心力作用，子弹将在较大范围内散开。在子弹抛出的同时，尼龙稳定带展开，以保证子弹的稳定飞行，此时引信解除保险。

当子弹碰击目标时，引信起爆，成型装药产生的金属射流侵彻装甲目标，而弹体爆炸成高速破片，从而杀伤人员。

7.5.2 法国 G1 式 155 mm 反装甲杀伤子母弹

G1 式 155 mm 反装甲杀伤子母弹是一种能携带多枚反装甲杀伤子弹的炮弹，它是法国



地面武器工业集团为 155 mm 火炮设计的, 该弹起到既能反装甲又能杀伤人员的双重作用, 如图 7.12 所示。

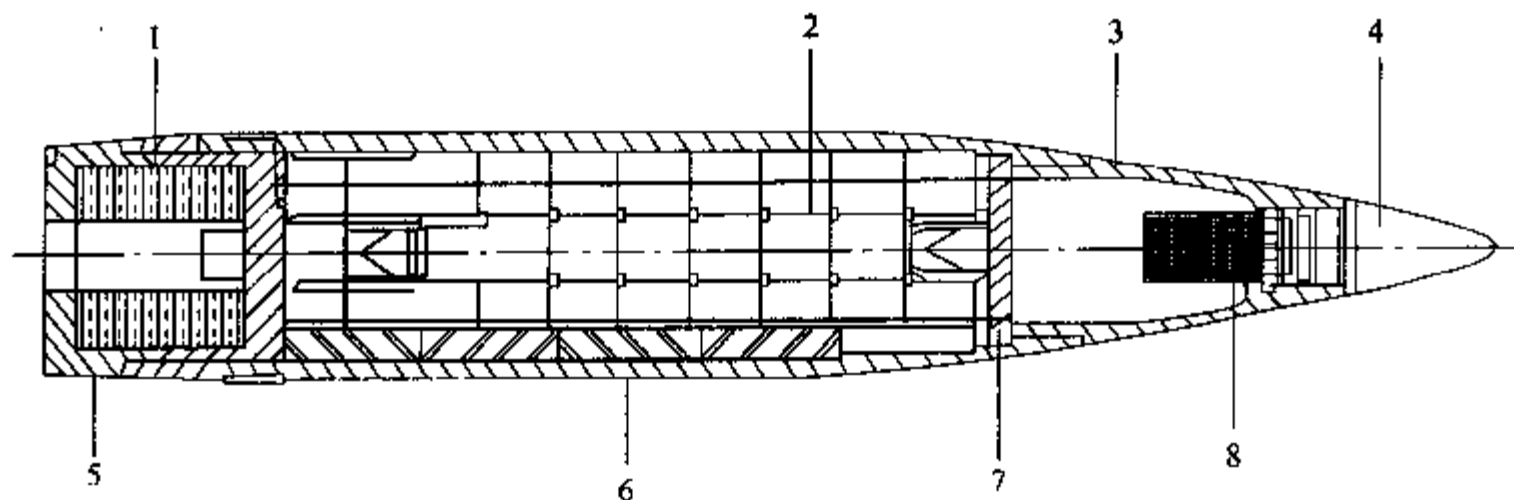


图 7.12 法国 G1 式 155 mm 反装甲杀伤子母弹

1—气体发生器;2—子弹;3—弧形部;4—引信;5—底部排气装置;6—弹体;7—推板;8—抛射装药

该弹母弹由电子时间引信、抛射药、轻合金弹头部、钢弹底和底排装置组成。弹体内装 63 枚子弹。子弹靠母弹引信作用点燃抛射药并经推板从母弹底部抛出。每枚子弹的空心装药爆炸时形成的射流可击穿顶部装甲, 产生的破片能有效地杀伤人员。每枚子弹的杀伤面积达 100 m^2 , 全部子弹 (即 63 枚) 的覆盖面积达 $15\,000 \text{ m}^2$, 杀伤威力是普通榴弹的 5 倍, 其主要诸元见表 7-7。

表 7-7 法国 G1 式 155 mm 反装甲杀伤子母弹的主要诸元

弹径/mm	155	弹体材料	钢
全弹长/mm	900	全弹重/kg	46
膛压/MPa	294	装填物	63 枚反装甲杀伤子弹
最大射程/km	28 (155TR 式 155 mm 榴弹炮)	初速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	808 (155TR 式 155 mm 榴弹炮, 8 号装药)
最大射程/km	27 (155GCT 式 155 mm 榴弹炮)	初速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	790 (155GCT 式 155mm 榴弹炮, 6 号装药)
使用温度范围/ $^{\circ}\text{C}$	$-31 \sim +51$	威力	子弹能穿透 100 mm 厚的装甲, 每枚子弹杀伤面积 100 m^2 , 全部子弹覆盖面积达 $15\,000 \text{ m}^2$

第8章 特种弹

8.1 概述

军事技术的演变,使现代战争具有更大的复杂性,为了配合军事行动,完成各种战斗任务,在现代武器装备中,除配备用来直接杀伤和摧毁目标的主用弹外,还必须配备依靠自身具备的特有性能来产生特殊效应,从而完成某一特定的战术技术任务的特种弹。例如,烟幕弹、燃烧弹、照明弹、宣传弹、目标指示弹、电子侦察弹和干扰弹等都属于特种弹。虽然特种弹也能起到某些杀伤和破坏作用,如黄磷烟幕弹能够烧伤有生力量,照明弹也能对易燃目标纵火,但这并非配备的主要目的。

与主用弹相比较,特种弹在结构和性能上具有如下特点:

① 配备量较小。特种弹特殊效应的发挥,主要靠装填元素的性质和数量。由于小口径弹的装填量少,因而产生效应的能力也低,所以,特种弹只能配备于中口径以上的火炮、迫击炮及火箭炮上。即使在中口径以上各种武器的弹药装备基数内,特种弹的配用数量也比较低。

② 结构复杂,制造工艺特殊,成本高。除烟幕弹外,特种弹都采用抛药和推板等结构,装填物制备工艺繁琐,要求严格,成本高。

③ 特种效应受外界条件的影响大。特种弹在完成战斗任务时,往往受气象条件和地形条件的限制。例如,当风速很大时,烟幕弹和目标指示弹的烟云会很快消失,照明弹会飘离目标区等,从而影响了特种弹的有效使用。

④ 密封、防潮要求严。由于特种弹的装填物,大多是烟火混合物,或是自燃物,或是易吸湿的黑火药,很不安定,易受潮变质。因此,必须有严格的密封措施。

本章只介绍烟幕弹、照明弹、燃烧弹等几种特种弹。

8.2 烟幕弹

8.2.1 烟幕弹的用途与要求

烟幕弹,亦称发烟弹,广泛配用在中口径以上的火炮、迫击炮和火箭炮上,用以迷茫敌观测所、指挥所和火力点,掩蔽我方阵地和军事设施等。同时,亦可作为试射、指示目标、发信号和确定目标区的风速、风向等,是现代战争中一种重要的战术手段。



烟幕弹是靠装填发烟剂来完成任任务的。烟幕弹炸开后，将产生大量的烟雾（烟和雾幕），使周围空气的透明度大大下降，从而起到遮蔽作用。这里所说的烟雾，就是散布和悬浮于空气中的固体和液体微粒，由于这些微粒的存在，从目标反射回来的光线将被这些微粒吸收或漫射，强度大大减弱，使目标景象变得模糊不清，难以分辨。

从战术要求出发，烟幕弹应当满足下列要求。

- ① 射程和精度应与同口径主用弹相近；
- ② 发烟剂的装填系数尽可能大，利用率要高，形成烟幕速度快，浓度和烟幕面积大，持续时间长；
- ③ 发烟剂具有好的安定性，作用可靠而不失效；
- ④ 密封可靠，储存和勤务处理安全。

8.2.2 烟幕弹的种类

根据烟幕弹的作用方式不同，常分为着发式和空爆抛射式两种。

1. 着发式烟幕弹

着发式烟幕弹结构如图 8.1 所示，通常采用着发引信，在弹丸碰击目标后才起作用，炸开弹体，发烟剂飞溅出来，迅速形成烟幕，如图 8.2 所示。

这种作用方式的烟幕弹，射击精度较高，形成烟幕也快，但其生成热量大，烟云上升快，而且常常因为弹丸要侵彻一定深度，而使一部分发烟剂留在弹坑内，造成损失。

2. 空爆抛射式烟幕弹

空爆抛射式烟幕弹如图 8.3 所示，通常采用时间引信，发烟剂装入盒内。在预定的弹道点上，引信起作用，点燃抛射药和发烟剂，抛出发烟盒；发烟盒落到地上后，继续燃烧而发烟，形成烟幕。

这种方式的烟幕弹，发烟时间较长，但其成烟速度慢，烟幕浓度低，易受气象条件影响，加之受引信时间的散布影响，因而精度较差。

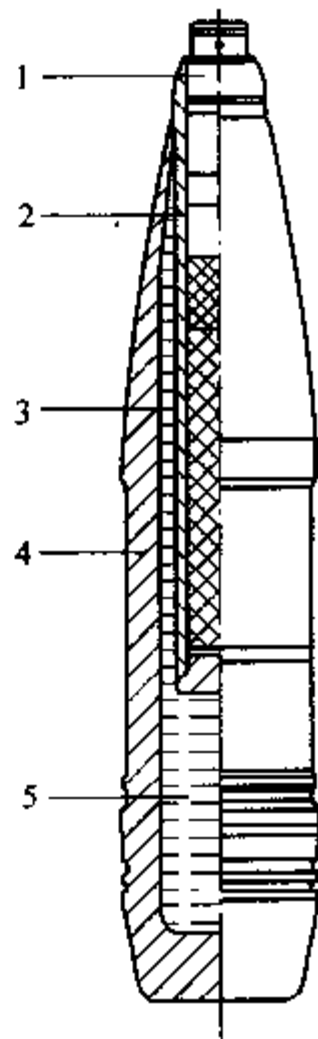


图 8.1 着发式烟幕弹

1—引信；2—传爆管；3—炸药；
4—弹体；5—发烟剂（黄磷）



图 8.2 着发式烟幕弹的作用情况

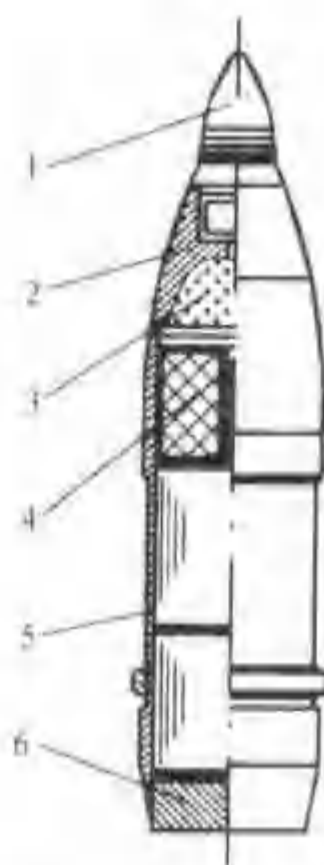


图 8.3 空爆抛射式烟幕弹

1—引信; 2—头罩; 3—抛射药;
4—发烟块; 5—弹体; 6—底罩

8.2.3 烟幕弹的结构特点

1. 60 式 122 mm 加农炮用烟幕弹

60 式 122 mm 加农炮用烟幕弹主要由弹体、扩爆管、发烟剂（黄磷）和引信组成，如图 8.4 所示。弹体的各个部分基本与主用弹相仿，在此不予赘述。

扩爆管主要是用来密封发烟剂、盛装炸药柱和连接引信的。我国后膛炮（各种口径）发射的烟幕弹大都采用烟-1 式引信，因此，扩爆管内径均为 24 mm。扩爆管的长度，主要取决于炸药量和弹体炸开程度的要求，一般取为炸药室长度的 $1/2 \sim 1/3$ ，最长以不超过弹带位置为限。

该弹的发烟剂系采用黄磷（亦称白磷）。黄磷是一种蜡状固体，密度为 1.73 g/cm^3 ，熔点为 44°C ，沸点为 280°C ，常温下能与空气中的氧反应而自燃，生成浓白烟。其优点是成烟快，烟云浓度高，遮蔽力强，同时对人的皮肤具有强烈的烧伤作用，伤口经久难愈；其缺点是有毒、易燃，不易储存（在水中保存），并且爆炸后的烟云迅速上升，利用率低。

该弹的发烟剂（黄磷）是用铸装法装填的，因为黄磷熔点低，密度大于水而不溶于水，装填时先将磷块置于热水槽溶为液体，再打开水槽下的阀门，通过定量均匀注入弹体。为防止装填时自燃，弹腔内可先充少量的二氧化碳。注磷后立即旋上压好铅圈的传爆管进行密封。



为避免旋紧传爆管时胀裂弹体，并考虑到高温时磷的体积膨胀，故需留出必要的空间。在一般情况下，黄磷所占的容积约为装填容积的 94%~98%。

2. 55 式 120 mm 迫击炮用烟幕弹

该弹是前装式烟幕弹，主要由弹体、传爆管、发烟剂（黄磷），尾管和引信等组成，如图 8.5 所示。弹体多用铸铁或钢性铸铁制造，不宜采用稀土铸铁，这是因为强度高的材料将影响发烟效果。

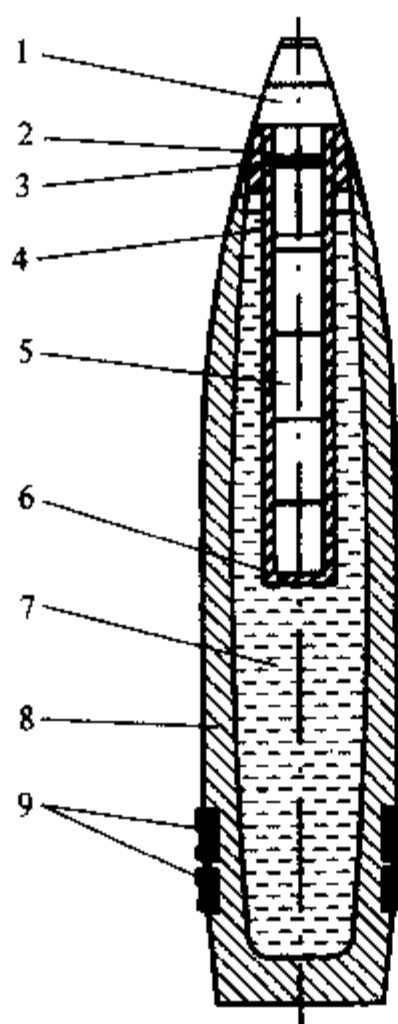


图 8.4 60 式 122 mm 加农炮用烟幕弹示意图

1—引信；2—扩爆管壳；3—垫圈；4—包装纸；

5—扩爆药；6—垫片；7—发烟剂；

8—弹体；9—弹带

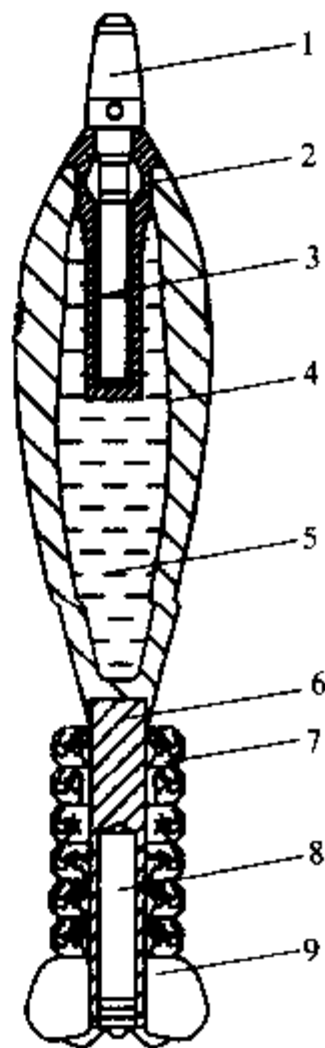


图 8.5 55 式 120 mm 迫击炮用烟幕弹示意图

1—引信；2—炸药管；3—炸药柱；4—弹体；

5—发烟剂；6—尾管；7—附加药包；

8—基本药管；9—尾翅

由于迫击炮用烟幕弹的弹口螺纹直径较大，不利于密封，故采用细牙螺纹。此外，由于弹丸头部内膛直径也比较大，对装磷容积的控制比后膛弹困难，因而规定较宽，一般定为 90%~98%。

迫击炮用烟幕弹所配用的引信往往与主用弹（榴弹）相同，只是不准使用延期装定。这种弹在到达预定目标上空时，时间引信作用，点燃抛射药和装在发烟盒中的发烟剂，并通过推板推开底螺，抛出发烟盒，落地后发烟剂继续燃烧而发烟，形成烟幕。



8.2.4 影响烟幕弹作用效果的因素

烟幕弹主要是靠弹丸爆炸时生成的烟幕来迷茫敌人, 掩蔽自己, 其作用效果的好坏, 通常是根据烟幕的正面宽度、高度和迷茫时间来衡量。由于情况多变, 测定这三个特征数, 应在标准条件下取多发射击的平均值。

我国各种火炮用烟幕弹的性能见表 8-1。但需指出, 烟幕弹燃放烟幕的高度并不需要很高, 过高不仅对遮蔽地面目标毫无意义, 而且还降低了烟雾的浓度。

表 8-1 我国烟幕弹性能表

烟幕弹名称	装填系数 $\alpha(\omega \cdot m^{-3})/\%$	炸药与磷量比 $(\omega' \cdot \omega^{-1})\%$	烟幕性能		
			正面宽 /m	高度 /m	持续时间 /s
82 mm 迫击炮烟幕弹	11	8	14~18	15~20	23
120 mm 迫击炮烟幕弹	9	8.5	25~30	23~28	35~40
85 mm 加农炮烟幕弹	5.6	19	12~15	18~22	20~25
122 mm 榴弹炮烟幕弹	15.4	4.4	25~30	37~42	40~50
152 mm 加榴炮烟幕弹			30~45	40~50	50~60

1. 弹丸结构的影响

对着发式烟幕弹来说, 弹体材料和炸药量的选择应当适当。弹体材料强度不宜过高, 炸药量应以炸开弹体为限, 应避免炸药爆炸时产生过高的热量, 因为过高的热量将使烟雾呈蘑菇状烟柱, 起不到遮蔽作用。但对于加农炮用烟幕弹, 由于其着速大, 发烟剂量应适当增加, 否则较多的发烟剂将被留在弹坑内减弱发烟作用。

对空爆抛射式烟幕弹来说, 发烟盒的落地速度不应很高, 需要避免发烟盒落地时, 碰到硬质表面被摔碎或碰到软质表面而陷入, 影响发烟效果。为此, 国外有些烟幕弹采用了加装降落伞的结构形式, 降落伞可以加在发烟盒上, 也可加在弹丸上。

2. 发烟剂的成分

前已述及, 黄磷是使用较多的一种发烟剂, 由于黄磷在空气中燃烧时会产生火焰, 因此具有一定的燃烧作用, 所以有些国家将黄磷烟幕弹作燃烧弹使用。此外, 还由于黄磷有毒, 对人的皮肤有强烈的烧伤作用, 且伤口不易愈合, 因而黄磷烟幕弹还具有杀伤作用。但是, 黄磷燃烧将产生热量, 会使烟幕迅速上升, 影响遮蔽作用。

为了克服黄磷的缺点, 目前还采用一种以黄磷为主的塑性黄磷。它是在微粒黄磷中加入



适量的天然橡胶或合成橡胶制成的胶状物。由于塑性黄磷内含橡胶，所以在爆炸后的烟云中固体微粒增多，从而有助于减小黄磷烟幕迅速上升的缺点。但由于高温下黄磷熔化，从而使胶液与黄磷在弹体内分层，影响作用效果，故尚未得到普遍使用。

除此之外，在空爆抛射式烟幕弹中还采用有机氯化物、金属粉和少量氧化剂组成的混合物来作为发烟剂，其配方是：六氯乙烷 55%，锌粉 43.5%，硝酸钡 1.5%。这种发烟剂燃烧时间较长，但成烟速度慢，烟雾浓度低。

3. 气象条件的影响

当风速大于 10 m/s 时，烟雾会很快消失，不能形成烟雾；风向与阵地正面垂直时，烟雾就不能充分拉开，不能有效地遮蔽目标；气温较高时，由于气流上升，所以烟雾也迅速上升，不能有效地遮蔽目标；雨天，雨滴会加大烟云的凝聚作用，也会使烟云迅速消失等等。但是，有些气象条件却对施放烟幕有利，如风向和阵地正面相平行时有助于烟雾展开；气压低、湿度大，对烟幕形成有利；清晨和傍晚气流较弱，烟雾会弥漫地面，保持较长的时间等等。对于这些有利条件，射击时应加以利用。

4. 目标处地形地物的影响

当目标区的土质较软或为沼泽地、稻田时，发烟剂留在弹坑内的较多，甚至会落在水中而失效，因而很少对这种地区使用着发式烟幕弹；目标区的地形平坦，土质较硬，对形成烟幕有利。

5. 射击条件的影响

对着发式烟幕弹来说，落速小比落速大好，落角大比落角小好，这是因为落速小可以使弹丸钻入地面的深度浅，落角大可以使弹丸爆炸后，发烟剂向四周飞散。

8.3 燃 烧 弹

8.3.1 燃烧弹的用途与要求

燃烧弹主要用来对目标（如木质结构的建筑、油库、易燃易爆的弹药库、粮仓及其物质供应站等）进行纵火，有时也用来烧毁敌军的技术兵器、通讯器材和阵地上的隐蔽物。

由于单纯的燃烧弹有时还不能满足战斗的需要，近代还出现了一些复合作用的燃烧弹，如与穿甲作用相结合的曳光穿甲燃烧弹，与爆破作用相结合的爆破燃烧弹等。

燃烧弹的燃烧作用是通过弹体内的燃烧炬（内装燃烧剂），在目标区域抛撒火种而点燃目标。从实际出发，常对燃烧剂提出如下要求：

1. 具有较高的燃烧温度、较长的火焰和适量的灼热熔渣

燃烧温度、火焰长度和灼热的熔渣量是决定燃烧能力的主要因素。实践证明，点燃易引燃的物质，燃烧温度不应低于 800~1 000℃；若点燃较难引燃的物质，燃烧温度应高于 2 000℃；在纵火烧毁面积较大的易燃目标（如森林）时，为扩大燃烧剂的作用



范围,造成更多的火源,燃烧剂必须具有产生长火焰的性质;对在烧毁难引燃的金属目标(如器材、汽车、火炮等)时,要求燃烧剂在燃烧时产生大量的液态灼热熔渣,以便附着在目标上进行较长时间的燃烧。

2. 容易点燃,不易熄灭

燃烧剂的点燃难易程度,以及点燃后是否容易熄灭,决定了燃烧弹作用的可靠性。目前用铝热剂作为燃烧弹燃烧元素的较多。铝热剂是由金属氧化物和其他金属组成的燃烧剂,燃烧时能够产生 $2\,500\sim 3\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温。但是,点燃这种燃烧剂一般需要 $1\,300\sim 1\,500\text{ }^{\circ}\text{C}$,因而需要采用专门的点火药。

3. 要有一定的燃烧时间

为了确实引燃某些目标,需要燃烧剂具有一定的燃烧时间,如引燃城市建筑需要 $10\sim 20\text{ s}$ 的燃烧时间。为了保证一定的燃烧时间,常要求燃烧剂的燃烧速度不能过大。

4. 具有足够的化学安定性

只有这样,才能在长期的存储中确保燃烧剂不变质、不失效。

8.3.2 燃烧弹的结构特点

1. 60 式 122 mm 加农炮用燃烧弹

如图 8.6 所示,该弹由引信、弹体、弹底、燃烧炬、中心管和抛射系统组成。

(1) 引信

该弹配用时-1 式钟表时间引信。

(2) 弹体

弹体是用 60 号钢制成。为提高装填容积,以及便于使燃烧炬从底部抛出,弹体内腔呈圆柱形。

(3) 弹底

弹底厚度较大,主要是为了保证弹带部位的弹体强度。弹底与弹体之间靠螺纹连接,为剪断螺纹将燃烧炬抛出,该弹只采用了 $2\sim 3$ 扣的螺纹。为了防止火药气体从弹底连接处窜入弹体引起燃烧剂的早燃。在弹体与弹底的连接处有 0.4 mm 厚的铝质密封圈。

(4) 燃烧炬

该弹共有 5 个燃烧炬,每个燃烧炬的结构如图 8.7 所示。在钢质炬壳内压装有燃烧剂,为了点燃它们,在上下两端各压有点燃药饼。燃烧剂的成分与配比为:硝酸钡 32%,镁铝合金粉 19%,四氧化三铁 22%,草酸钠 3%,天然橡胶 24%。这种燃烧剂的燃烧温度达 $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,燃烧时间也较长。

点燃药饼分为引燃药和基本药两部分,靠近中心管小孔的为引燃药,其成分及配比为:硝酸钾 75%,镁粉 10%,酚醛树脂 15%,精馏酒精(外加) $5\%\sim 8\%$ 。引燃药外部为基

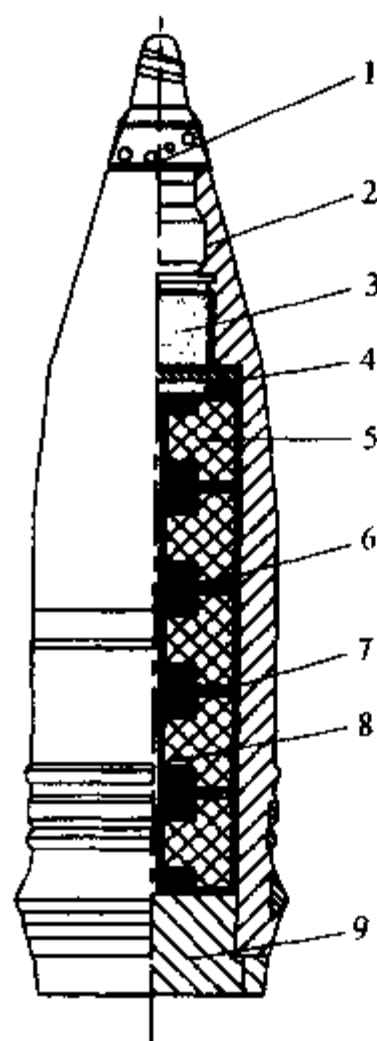


图 8.6 122 mm 加农炮用燃烧弹示意图

1—引信；2—弹体；3—抛射药；4—推板；
5—燃烧炬；6—点火药饼；7—压板；8—中心管；9—弹底

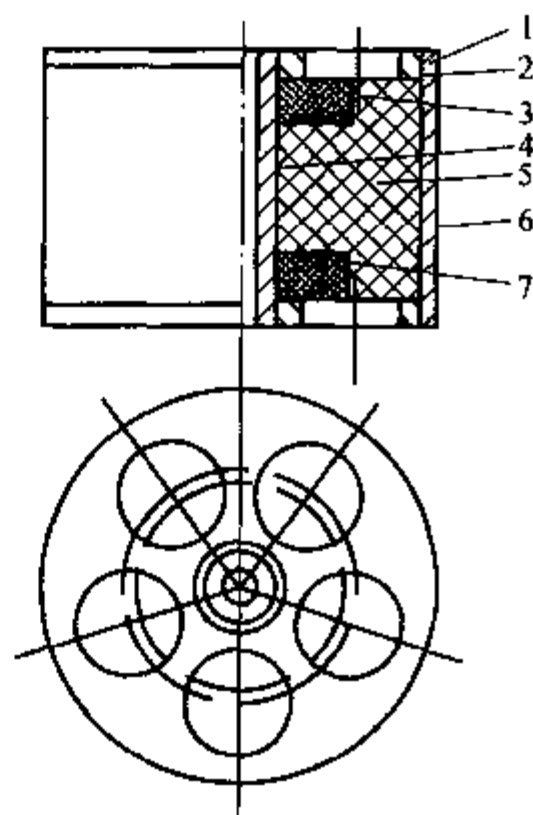


图 8.7 燃烧炬示意图

1—压板；2—药饼挡板；3—毡垫；4—中心管；
5—燃烧剂；6—炬壳；7—点燃药饼

本药，其成分及配比为：硝酸钡 66%，镁粉 10%，铝粉 20%，天然干性油 4%。

每个燃烧炬上下两端均有一块压板，其作用是固定点燃药饼和燃烧剂，在压板平面上有 5 个直径为 25 mm 的孔，以便喷吐火焰起到纵火的作用。

(5) 中心管

为了保证在燃烧炬抛出前均被点燃，在燃烧炬中心有一钢质中心管。中心管两端用螺纹与上下压板连接，以免燃烧炬碰击目标时被摔出。在中心端两端侧面上，紧靠点燃药饼处各有 3 个均匀分布的小孔（直径 3 mm），以保证药饼的可靠点燃。

(6) 抛射系统

该弹的抛射系统是由聚乙烯药盒（内装 80 g 2 号黑药）和推板组成。当时间引信作用时，使抛射药点燃，一方面抛射药产生的火焰将通过推板中间的小孔和中心管内孔，把每个燃烧炬的点燃药饼点燃；另一方面抛射药燃烧所产生的压力，将通过推板和 5 个燃烧炬壳体，将弹底螺纹切断，从而将已点燃的燃烧炬抛出弹体，落于目标区域，起到纵火作用。



2. 53 式 82 mm 迫击炮用燃烧弹

如图 8.8 所示,该弹在结构上是内装燃烧体的黄磷弹。燃烧体由金属壳体和燃烧剂组成,其中的燃烧剂由镁粉、铝粉、四氧化三铁、硝酸钡和虫胶漆组成。弹体装药时,先放入一定数量的燃烧体,再注入黄磷、旋紧扩爆管壳,然后加以密封。

该弹作用时, 引信引爆烟火强化剂并炸开弹体, 使燃烧体和黄磷散开, 燃烧体内的燃烧剂依靠黄磷燃烧而被点燃。燃烧体燃烧时, 其温度可达 $2\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$, 火焰长 200 mm , 持续时间约 7 s , 但由于燃烧体质量小, 燃烧时间短, 贯穿能力差, 除对油类、干燥柴草等纵火效果比较好外, 对其他物质纵火效能较低。

3. 82 mm 迫击炮用燃烧球式燃烧弹

如图 8.9 所示, 这种燃烧弹是上述燃烧弹的改进型, 是将原来的燃烧体改成燃烧球。燃烧球是用棉纱头和塑料燃烧剂构成的。燃烧剂的成分与配比为: 四氧化三铁 22%, 硝酸钡 32%, 铝镁合金粉 19%, 草酸钠 3%, 天然橡胶溶液 24%。

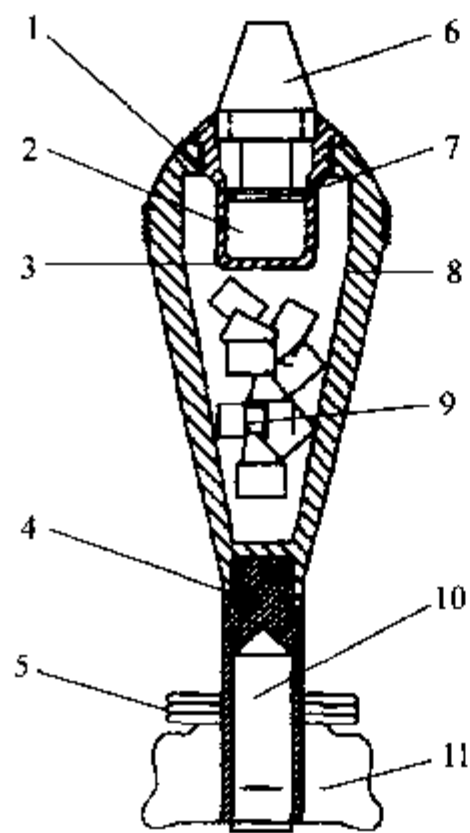


图 8.8 82 mm 迫击炮用燃烧弹示意图

1—垫圈;2—烟火强化剂;3—扩爆管;
4—尾管;5—附加药包;6—引信;7—炸药;
8—弹体;9—燃烧体;10—基本药管;11—尾翅

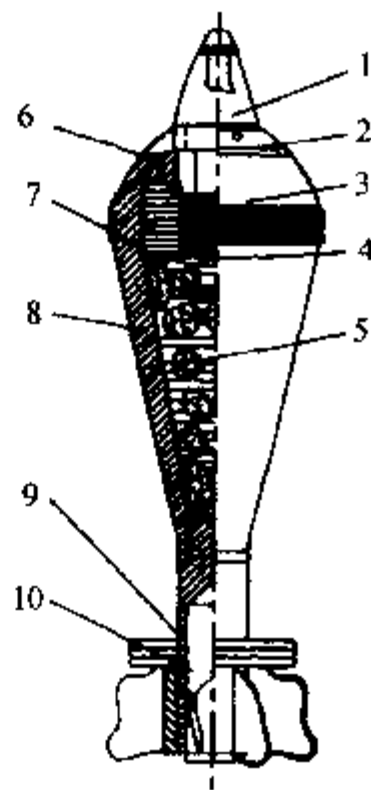


图 8.9 82 mm 迫击炮用燃烧球式燃烧弹示意图

1—引信; 2—扩爆管; 3—TNT 和烟火增强剂;
4—黄磷; 5—燃烧球; 6—密封圈; 7—圆纸片;
8—弹体; 9—尾管; 10—基本药管

燃烧球的制作方法是：将棉纱头经硝酸钾处理并烘干后，剪成 30~40 mm 长。将质量约为 1 g 的棉纱头，掺入约 24~29 g 塑性药剂并团成球状（每个燃烧球质量 25~30 g）。装填时，先装入一定数量的燃烧球，再在上面放一圆纸垫，然后注黄磷并密封。放入圆纸垫的目的是防止装黄磷时燃烧球燃烧。



这种燃烧球结构的优点是具有黏附力，对易燃物有一定的纵火效果；缺点是弹被炸开时，部分药球会被炸碎而不起作用。此外，药球燃烧不够连续，在橡胶溶液燃烧一段时间后，其余成分才能燃烧，故纵火速度不如燃烧体快。

8.3.3 燃烧弹的使用和发展

燃烧弹的作用是靠从弹体内抛出已被点燃的火种——燃烧炬，直接命中目标，而把目标点燃的。因此，它不但要求射程远、精度高，而且要求落在目标的有利点燃位置上。只有这样，才能有效的将目标点燃。如果落在不利位置（如下风地带），即使相距较近，也难点燃。又因为在炮弹射程范围内很难找到合适的燃烧目标，即使有这样的目标，通常也是靠航空燃烧弹来达到目的。对于较近的目标，常常用火焰喷射器来实施纵火。因此，炮用燃烧弹只用于对付某些特殊目标，或者在空军不能使用那些战术的情况下才使用燃烧弹。

目前燃烧弹在现代战争中的地位还难以确定，能否发展的关键在于燃烧剂性能上的突破。美国正在研制一种火焰火箭弹，其作用相当于往较远的距离上送一具火焰喷射器。

总之，在目前炮兵弹药中，燃烧弹的应用并不多，有的国家已经没有制式燃烧弹了。小口径高射榴弹的炸药中，常增加起燃烧作用的成分（如铝粉），来增强其燃烧能力。用来对付军舰的海军炮弹，增加燃烧作用也是有利的，但也不必发展专门的燃烧弹。至于对付地面目标，短距离使用燃烧手榴弹；在较远的距离上，一般爆破弹和黄磷弹都具有一定的燃烧作用，只有在对付汽油库、弹药库、易燃易爆物等目标时，才有必要使用燃烧弹。

8.4 照明弹

8.4.1 照明弹的用途与要求

1. 照明弹的用途

照明弹（亦称照明器材），是利用照明剂在空中燃烧，发出强光，从而在夜间照明一定区域的弹种。主要用于夜间作战时照明敌方区域或交战区域，借以观察敌情和射击效果。

照明弹在夜间作战中使用，主要用途是：

- ① 搜索和发现敌军目标，包括固定目标（阵地、仓库、营房等）和活动目标（人群、坦克、水面舰只等）；
- ② 在一定时间内照明敌军目标，借以观察敌情，指示、修正火力射击，监视射击效果。

2. 照明弹的使用方法

陆军使用照明弹的方法，是将照明弹的开伞照明点选择在敌军目标上方，在阵地和观测



所观察目标情况；而海军使用照明弹的方法，则通常是将照明弹的开伞照明点选择在比目标远 2~3 链（一链等于 185.2 m）的水域上空，形成光照屏幕，借以衬托出目标的清晰轮廓和我军射击时弹着点水柱分布情况。

由于照明弹的照明时间有限，单发照明弹很难满足照明效果要求。因此，照明弹常常需要间隔一定时间进行连续射击，使空中始终保持悬挂一二个照明炬。需要加强对目标的照明亮度时，则可适当加快发射速度，也可用两门以上火炮齐射或交替发射，增加照明炬在空中的同时悬挂数量。

3. 照明弹的战术技术要求

在一般情况下，照明弹的战术技术要求主要有以下几个方面：

（1）照明效应

照明效应指照明炬的发光光色、发光强度和在空中的持续照明时间。照明炬的光色以白光或黄光照明下，对目标的观察效果较好。照明炬的发光强度，应满足对目标的观察效果要求（使被照明区域的目标清晰可辨）。虽然发光强度愈大，被照明目标的轮廓愈清楚，但由于照明炬结构尺寸的限制，随着发光强度的增大，照明时间将会缩短。照明炬的照明时间不应过短，至少应保证单炮射击时满足连续照明的要求。同时，为使观察者有足够的时间发现、辨别和确定目标位置，照明弹的有效照明时间一般不小于 20~25 s。照明时间愈长，连续照明效果愈好，并且可以节约照明弹的用量。

（2）开伞效率

开伞效率是照明弹开伞性能水平的反映。正常燃烧的照明炬，只有在正常开伞的情况条件下，才能起到稳定照明作用，而开伞失效时会使正常燃烧的照明弹丧失照明能力。为保证照明弹在空中的连续稳定照明效果，通常对照明弹的开伞效率和照明效应进行综合考虑。要求迫击炮照明弹的全失效（在规定爆高范围内，由于开伞不良等原因使照明炬的空中燃烧时间不足要求时间之半时，为全失效）和半失效（在规定爆高范围内，照明炬空中燃烧时间大于要求时间之半，但不足全燃烧时间，为半失效）数量均不超过试验总数 5%，若无全失效时，半失效数量可达 10%；线膛火炮照明弹的全失效数量不超过 5%、半失效数量不超过 10%，无全失效时，半失效数量允许达 15%。

（3）吊伞照明炬系统空中平均降落速度

吊伞照明炬系统在空中的平均降落速度，影响照明炬对地面目标照明效果的稳定性：降速愈小，照明效果愈好。但减小降速需增大吊伞，而过多占去弹体内腔有效装填容积，结果会引起照明炬尺寸减小，照明性能水平降低。一般线膛火炮照明弹吊伞照明炬系统空中平均降落速度不应大于 8~10 m/s，迫击炮照明弹不应超过 6~8 m/s。

（4）开伞距离与使用范围

照明弹的开伞距离包括最远与最近两方面的要求。最远开伞距离与最近开伞距离之间的范围，就是照明弹的使用范围。



一般情况下,照明弹的开伞距离和使用范围应与同类火炮的使用条件相适应。但对远射程照明弹,射程达到一定距离后,因散布精度的影响,其空爆开伞高度会发生很大变化,使开伞自然失效数量增大;对于使用定装药发射的照明弹,在确定开伞距离与使用范围要求时,应注意兼顾到远、近距离使用条件下的开伞照明效果。

(5) 射击精度

照明弹的爆点散布,直接影响开伞点的方位和高度,影响照明效果。在排除时间引信影响的条件下,照明弹的爆点散布,可以通过地面散布精度反映出来。地面散布精度愈集中,爆点散布愈集中;地面纵向散布距离愈小,空爆开伞高度波动愈小。

照明弹内部装填零件较多,质量偏心较大,故一般来说地面散布精度比相同口径制式榴弹稍差。

(6) 射击和勤务处理安全性

照明弹在发射过程中和勤务处理时的安全性,具有重要的工程实际意义。在运输和勤务处理时,照明弹往往受长时间比较有规则或无规则的冲击与震动,而在发射瞬间,照明弹还会受到很大惯性力的作用与影响。在这些条件下,照明弹必须具有可靠的安全性能。对照明弹射击和勤务处理安全性的试验,一般包括跌落试验和射击试验两方面。跌落试验的安全落高取 1.5~2 m,射击试验必须使用加强装药进行。

(7) 长期储存安定性

一般在弹体内腔密封的条件下,要求照明弹长期储存 15~20 年不变质失效。

(8) 其他一些特殊要求

除了上述一些基本要求外,对于不同的照明弹,通常还需要根据不同情况提出一些相应的特殊要求或必须加以规定和控制的内容,诸如对弹重及主要结构尺寸的限制,对配用时间引信和发射装药的规定及要求等等。

照明弹的类型很多,但从结构特点上看,大致可分为有伞式和无伞式,下面分别予以介绍。

8.4.2 有伞式照明弹

1. 有伞式照明弹的结构

所谓有伞式,是指照明弹在空中爆炸后,照明炬由吊伞悬挂,缓慢下落并照亮目标区。有伞式照明弹的结构形式也很多,如尾抛式一次开伞照明弹,二次开伞照明弹,二次抛射照明弹等。这种类型的照明弹,照明时间较长,发光强度稳定,作用也比较可靠,但其结构复杂,成本也高。

(1) 后膛炮用照明弹

如图 8.10 所示,后膛炮用的照明弹大都由弹体、吊伞照明炬系统、抛射元件(抛射药包、药盒、推板、半圆环和半圆瓦等)和时间引信 4 部分组成。

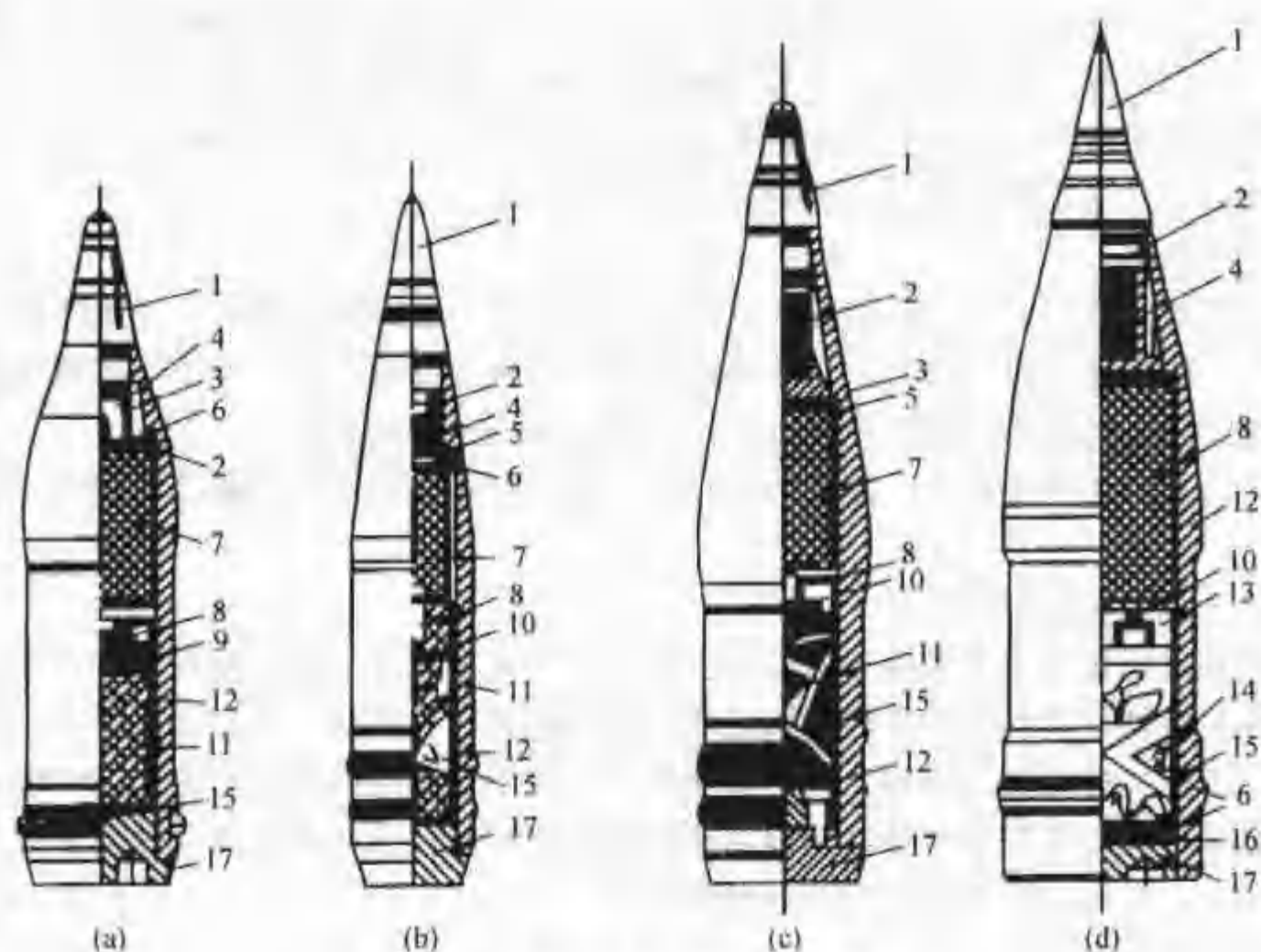


图 8.10 各种口径后膛炮用照明弹

(a) 122 mm 榴弹炮用照明弹; (b) 100 mm 岸舰炮用照明弹;

(c) 122 mm 加农炮用照明弹; (d) 130 mm 岸舰炮用照明弹

1—时间点火引信; 2—毡垫圈; 3—抛射药盒; 4—抛射药包; 5—推板; 6—毡垫; 7—照明炬; 8—半圆环;

9—包伞纸; 10—轴承合件; 11—半圆瓦; 12—弹体; 13—三瓣环; 14—三瓣瓦; 15—吊伞; 16—纸垫; 17—弹底

弹体外形基本上与同口径榴弹相仿, 这样可以使其与榴弹的弹道性能相近。但其内腔药室与榴弹差别很大, 首先是增大了内腔体积, 以利于多装照明剂; 其次是为了将照明炬系统从内腔推出, 内腔形状为圆柱形。弹底是弹丸在空中爆炸后影响开伞的零件, 为使弹底尽快脱离伞包, 常在弹底上钻两个偏心孔。对于较重的弹底, 即使开有偏心孔, 其效果也不大。因而有的采用将弹底制成上、下两部分 (如图 8.10 (c)), 上者为圆板, 支撑弹带部; 下面相当于普通弹底, 制有螺纹, 并与弹体连接。上下两部分在偏心孔位置用销钉连接 (彼此可绕轴转动), 弹丸爆炸后, 在离心力和空气阻力作用下, 销钉剪断, 上、下两部分偏离弹道, 脱开伞包。

吊伞照明炬系统, 由照明炬、吊伞和转动轴承三部分组成。

① 照明炬: 照明炬是由照明炬壳、药剂、护药板、封口垫等构成 (如图 8.11)。照明炬内装 4 种药剂: 引燃药、过渡药、基本药和中性药, 其中基本药即是照明剂, 由金属可燃物、氧化剂和黏合剂组成, 装填量最多。引燃药是硝酸钾 (82%)、镁粉 (3%) 和酚醛树脂 (15%) 的混合物。引燃药和过渡药, 主要用来引燃基本药, 因为黑火药的火焰难以直接点燃照明剂。



中性药是不燃烧的药剂，是由石棉、松香、锭子油组成的混合物，在压装和发射时起缓冲作用，在照明剂燃烧时起隔热作用。

② 吊伞系统：吊伞系统，由伞衣、伞绳、伞绳衬环、钢绳和转子盘组成（如图 8.12）。伞衣由丝织品或尼龙织品制成，在上面缝有布条或尼龙作为加强带。伞衣的张开形状呈中心角为 20° 的等边形，空中张开近似于半球形。伞衣中央有一小圆孔，孔径约为吊伞张开直径的 $1\% \sim 2\%$ ，其作用是减小开伞时的空气动力载荷，提高下降的稳定性。

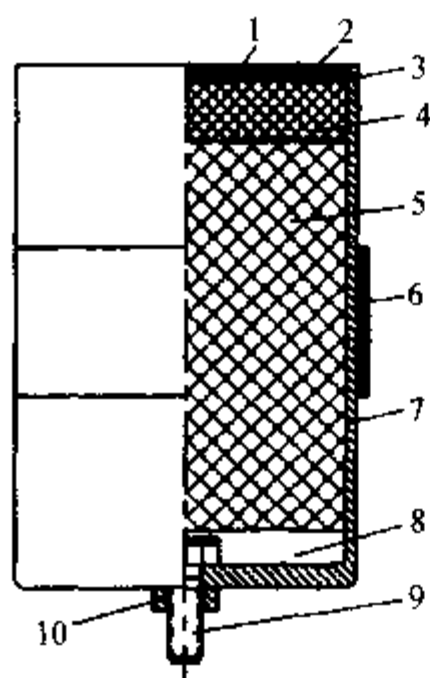


图 8.11 照明炬

1—护药板；2—封口；3—引燃药；
4—过渡药；5—基本药；6—缠纸；7—壳体；
8—中性药；9—螺栓；10—螺帽

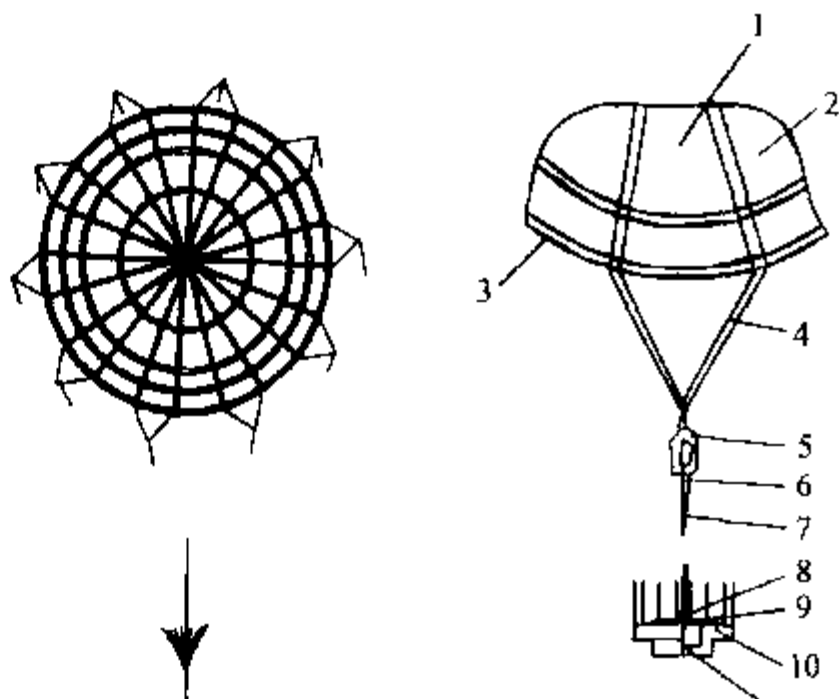


图 8.12 吊伞系统

1—伞衣；2—辐射加强带；3—周边加强带；
4—伞绳；5—伞绳衬环；6—铆接钢管；7—钢绳；
8—开口弹簧张圈；9—毡垫；10—药盘；11—转子盘

伞绳是用高强度钢丝绳或尼龙丝绳制成，先按规定长度截好，根数为伞衣边数之半，将每根绳的两端分别缝在伞衣相邻两条辐射的加强带上，缝好后再在各伞绳中部套一个伞绳衬环，使伞绳与钢绳脱离接触，防止空爆开伞时伞绳拉断或割断。

各钢丝绳的端部穿过各伞绳衬环，用编绕法或铆压法结成绳环，从而使伞衣、伞绳、钢绳、转子盘结合成吊伞整体。这里需要注意：钢绳和伞绳的长度和数量对吊伞的使用性能影响极大，长度过小，伞衣就张不充分，下落速度快，同时伞衣离照明炬近，受照明炬火焰熏烤严重。实践证明，钢绳同伞绳从转子盘到伞衣边的总长，一般取为伞衣张开直径的 $0.8 \sim 1$ 倍较为合适。伞绳数量过少时，吊伞强度低，伞衣张不圆，下降速度不稳定；过多时，质量增加，吊伞折叠和装填都有困难，一般取为 10 或 12 根，伞衣边数和伞绳数量应当与钢绳的根数相匹配。

③ 轴承合件：轴承合件，用来将吊伞和照明炬结合为一体，空爆时传递开伞动载并防止照明炬高速旋转，而使钢绳和伞衣缠裹起来。这种轴承合件是由止推轴承、螺套、弹簧圈以及照明炬上的连接螺栓、螺帽和吊伞上的转子盘组成（如图 8.13）。



(2) 迫击炮用照明弹

如图 8-14 所示, 是迫击炮用照明弹的结构示意图。该弹主要由引信、弹体、弹尾稳定装置、吊伞照明炬系统和抛射系统组成。弹体由上弹体和下弹体构成, 均以螺纹连接, 外形为圆柱形, 目的是增大装填系数。

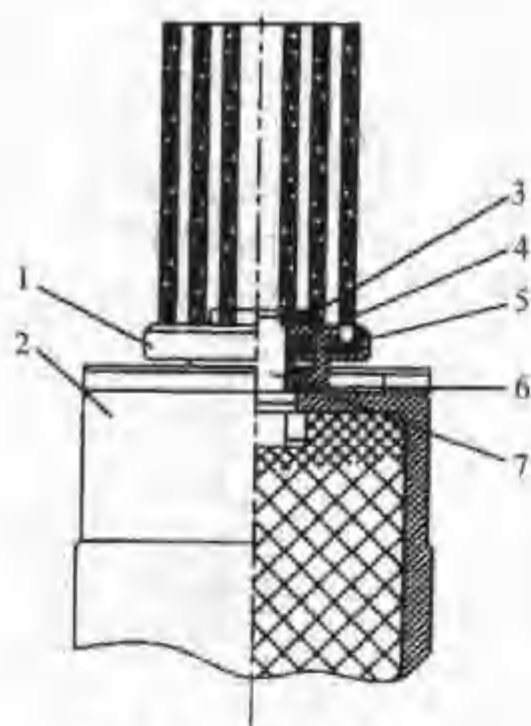


图 8.13 轴承合件

- 1—转子盘; 2—照明炬; 3—螺套;
4—开口弹簧张圈; 5—止推轴承;
6—螺帽; 7—连接螺栓

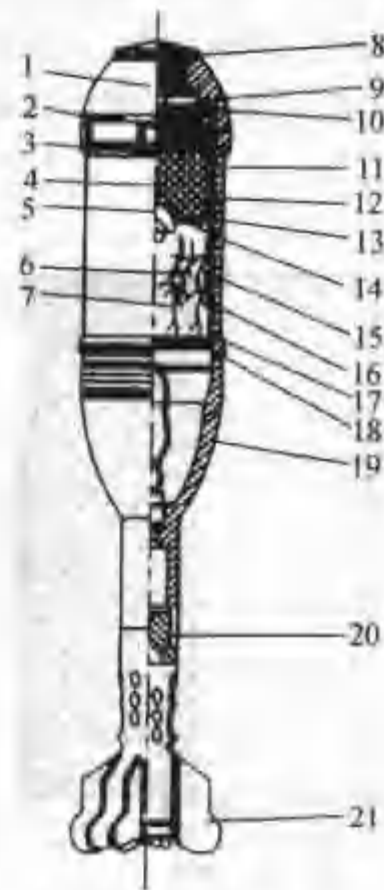
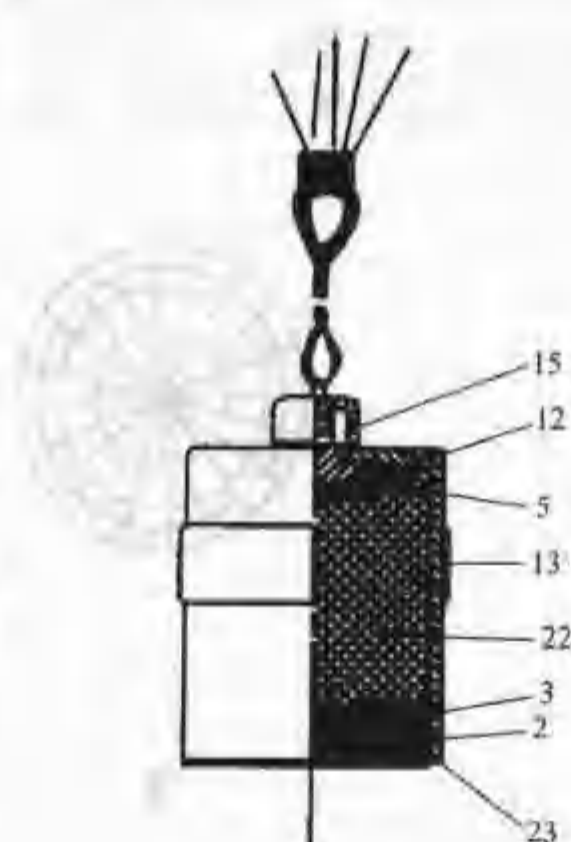


图 8.14 120 mm 迫击炮用照明弹

- 1—纸垫; 2—引燃药; 3—过渡药; 4—基本药; 5—中性药; 6—包绳纸;
7—吊伞; 8—防潮螺盖; 9—抛射药包; 10—推板; 11—上弹体;
12—照明炬壳; 13—缠纸; 14—半圆环; 15—连接螺; 16—半圆瓦;
17—包伞纸; 18—挡板; 19—下弹体; 20—尾管; 21—尾翅;
22—照明剂; 23—封口纸圈

迫击炮用照明弹的吊伞系统仅用一根钢伞绳, 故体积较小, 易于装填。抛射时, 下弹体和吊伞、照明炬一同抛出, 但由于吊伞的阻力加速度大, 故下弹体越过伞包向前飞行, 直到将吊伞绳拉直, 把伞袋拉脱, 使吊伞充气张开。

对于迫击炮照明弹来说, 由于其不旋转, 抛出后各零件的分离主要是靠各零件的质量和形状不同以及空气阻力不同和空气动力偏心等而完成的。

2. 有伞式照明弹的作用过程

后膛炮用照明弹的空爆开伞过程, 一般可分为如下 4 个阶段, 如图 8.15 所示。

(1) 抛射

弹丸飞行到预定目标区域上空时, 引信作用点燃抛射黑药, 其火药气体通过推板上的传火孔点燃照明炬, 同时火药气体压力推动推板、照明炬、半圆环和半圆瓦, 将弹底螺纹剪断,



装填物连同弹底一起抛出。

(2) 伞套（或伞袋）脱开

抛开后，由于弹底较重，其阻力加速度小，而伞包较轻，其阻力加速度大，加之弹底的偏心作用，因而弹底很快擦过伞包，从吊伞照明炬旁侧向前飞行。之后，伞包上的开缝式伞套在空气阻力作用下被吹走，吊伞即按全长拉直，开始充气。

(3) 开伞

由于从伞口的进气量大于从伞顶孔和伞衣本身的出气量，因而伞顶逐渐鼓起，并很快张开。

(4) 缓慢下降

吊伞全部张开后，吊伞照明炬系统在空气阻力的作用下迅速减速，直到所受阻力与其重力平衡时，开始稳定缓慢下降，并呈垂直状态。由于照明炬的燃烧使其质量不断减轻，因而下降速度也是逐渐减小的。

迫击炮用照明弹的开伞过程如图 8.16 所示。

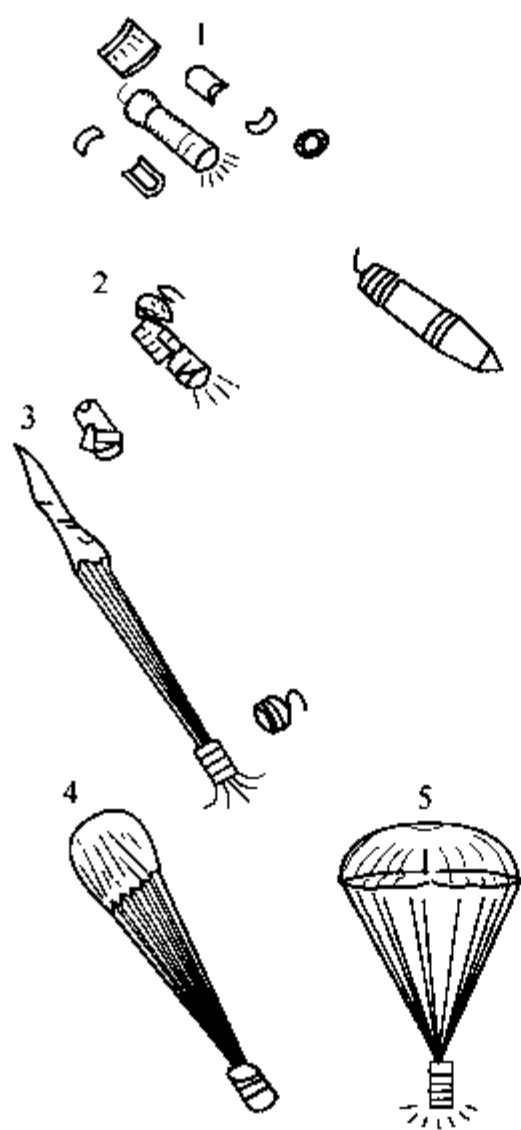


图 8.15 后膛炮用照明弹开伞过程

1—抛射；2—弹底飞离；3—伞套脱开；4—充气；
5—张开

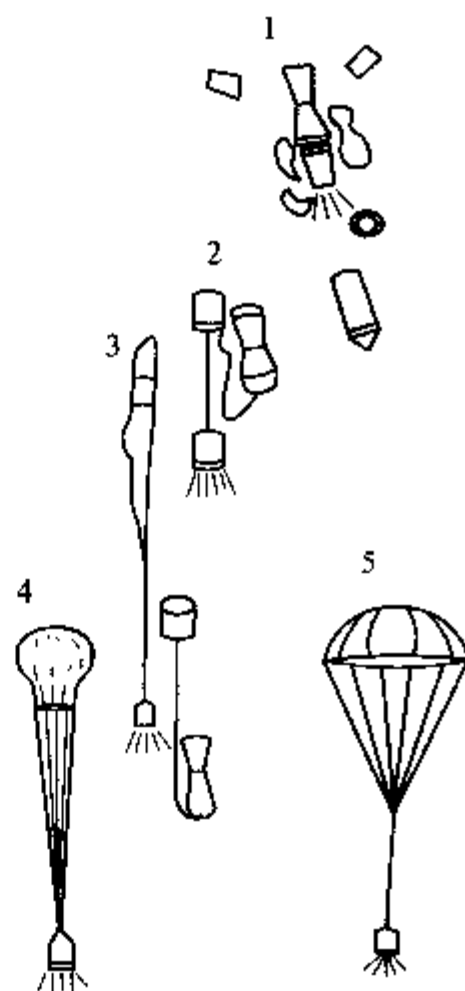


图 8.16 迫击炮用照明弹的开伞过程

1—抛射；2—下弹体飞离；3—伞袋脱开；4—充气；
5—张开



8.4.3 无伞式照明弹

不配备吊伞的照明弹，称为无伞式照明弹。这种弹结构简单、容易生产，但照明效果不好，如图 8.17 所示。无伞式照明弹又可分为曳光照明弹和星体照明弹两种。

曳光照明弹（如图 8.17 (a)），由弹体 1、照明剂 2、过渡药 3、引燃剂 4 和延期药 5 组成。这种照明弹不配备引信，靠发射时膛内火药气体点燃延期药，经过一段短期延期后，点燃照明剂（避免出炮口即曳光，暴露炮位阵地），而在弹丸飞行过程中起曳光照明作用。曳光照明弹仅适于配备在小口径火炮上，对搜索近海目标具有较好效果。

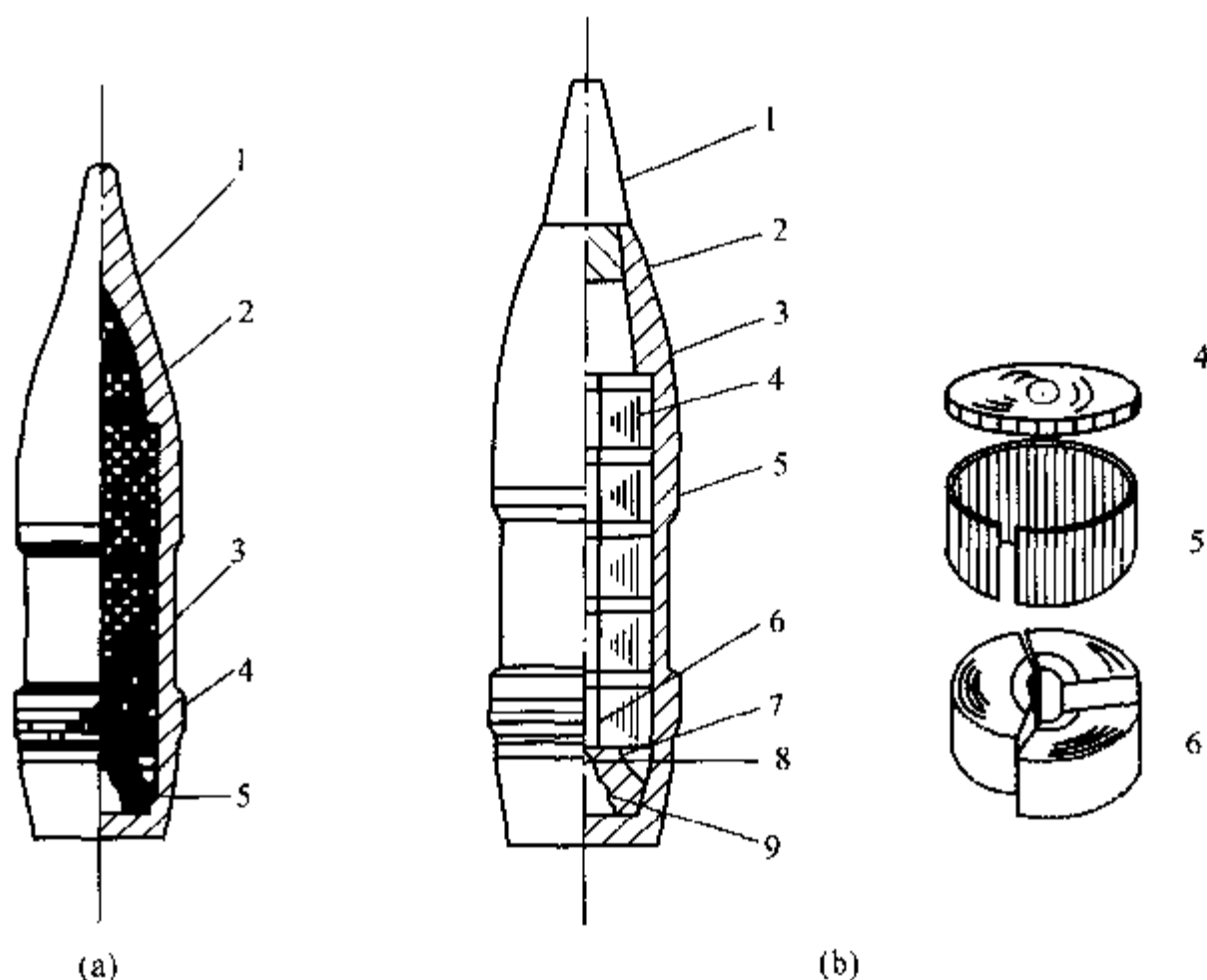


图 8.17 无伞式照明弹

(a) 曳光照明弹：

1—弹体；2—照明剂；3—过渡药；
4—引燃剂；5—延期药

(b) 星体照明弹

1—引信；2—头螺；3—弹体；4—隔板；5—半圆筒；
6—照明星体；7—推板；8—延期体；9—抛射药包

星体照明弹（图 8.17 (b)）多采用前抛式结构，弹体 3 上装有头螺 2，弹体内装填若干照明星体 6。弹丸飞抵目标上空时，引信 1 作用并点燃传火药，火药气体进入弹腔中心引燃照明星体及位于推板 7 上的延期体 8，延期体的作用在于保证照明星体在弹体内具有充分的点火时间。待延期体燃烧完后，点燃抛射药包 9，而火药气体推动推板，并通过各层隔板 4、半圆筒 5 和头螺，剪断结合螺纹，将燃烧着的星体推出弹腔。照明星体在滑落过程中对目标



起照明作用。这类照明弹照明时间短，且不均匀，故效果不好。

8.4.4 照明弹使用注意事项

照明弹在使用中，应注意下列问题：

① 用照明弹射击时，应当使用该射程的最小号装药，并且其射程应大于一定值，即有一个最小爆距的要求，这是为了保证爆点处存速不致过大。因为当爆点处弹丸存速太大时，开伞的动载荷也大，易使吊伞系统不能很好张开，或者影响吊伞系统的强度，或者使弹底的零件有打伞的危险。一般应使爆点的存速不大于 230 m/s。

② 照明弹的爆点高度也存在一个照明效果最好的最有利爆高。爆点过高，照明炬起不到应有的照明作用；爆点过低，则照明炬来不及燃烧完毕就已经落地，减少了照明时间，有时甚至吊伞未张开就已落地，影响了照明性能。实验表明，对 122 mm 照明弹大约在 500 m 高空作用较为有利。

爆高受射弹散布与引信作用时间散布的影响。当射程远时，这些散布都将增大而使爆高无法控制，所以一般照明弹也不应在远射程使用。

③ 照明弹的使用好坏，是以照明区域的视距（能分清目标的最大距离），照明地区的大小和照明时间来衡量的，而视距往往与气象条件、目标性质、观察方法有关，如晴朗的气候、平坦的地形就有利于提高视距；活动目标又比固定目标好认。一般在下雨或大雾天气不宜使用照明弹。风速太大，会使吊伞很快飞离照明区，起不到应有的照明效果。所以当风速大于 10 m/s 时，不宜使用照明弹。

第9章 迫击炮弹

9.1 概 述

迫击炮发射的炮弹称为迫击炮弹。“迫击”两字是由炮弹以一定的速度撞击迫击炮膛底部的击针，迫使底火发火而来的。迫击炮弹的特点是膛压低，初速小，弹道弯曲，落角大，可大射角射击，便于城市巷战和山地作战，有利于毁伤隐蔽物后的目标。

早在16世纪，欧洲人已经使用迫击炮发射石弹，靠它弯曲的弹道特点，飞越城墙攻击对方。到20世纪初，日本、德国、俄国等国也都先后使用迫击炮弹。在第一次世界大战中由于堑壕战的发展，交战各国开始重视迫击炮的发展和使用，1927年法国制成的“斯托克斯—勃兰特”81 mm 迫击炮，使用尾翼稳定的水滴状迫击炮弹。第二次世界大战中迫击炮的使用更加广泛，使用的迫击炮弹，口径从50 mm 增大到160 mm。20世纪50年代初，前苏联制造了口径为240 mm 的迫击炮弹。20世纪30年代~20世纪40年代我国在抗日战争和解放战争期间，利用迫击炮弹在近距离带送炸药包取得较大战果，还采用了60、82 mm 长弹和长炮榴弹的结构形式，其共同特点是弹径大于火炮口径，弹丸露于炮口外，以提高小口径迫击炮弹的爆炸威力。日本50 mm 掷弹筒、美国107 mm 线膛迫击炮装备了没有尾翼、靠旋转稳定的迫击炮弹。弹丸由炮口装填，滑至膛底击发以后，在火药燃气压力作用下，可胀弹带向外胀开嵌入膛线，使弹丸旋转，稳定飞行。

20世纪80年代以来，迫击炮弹采用近炸引信，利用空炸来提高杀伤效果。改善弹形，减小飞行阻力；提高初速，增大射程；采用闭气装置来提高射程和射击密集度。目前，利用迫击炮弹弹道弯曲的特点，应用末段敏感和制导技术以及子母弹技术，发展迫击炮发射的反坦克弹药，致力于解决从地面有效地攻击坦克顶部装甲的难题。

目前，各国装备的迫击炮弹有尾翼稳定的，也有旋转稳定的（如美国106.7 mm 化学迫击炮弹）。除某些大口径迫击炮弹是由后膛装填外，多数迫击炮弹是从炮口装填的。国外部分迫击炮的主要性能见表9-1。

表 9-1 国外几种迫击炮的主要性能

名 称	口径 /mm	全弹质量 /kg	弹丸质量 /kg	射程 /m	射速 /(发·s ⁻¹)	高低射角 /(°)	配用弹种
英19A1式51迫	51	6.275	1.025	1 100	3~8		榴、烟、照



续表

名 称	口径 /mm	全弹质量 /kg	弹丸质量 /kg	射程 /m	射速 /(发·s ⁻¹)	高低射角 /(°)	配用弹种
美 M224 式 60 迫	60	20.4	1.68	4 500	12		
法 M63 式 60 迫	60	14.8	1.73	2 000	25	40~85	烟、照、教
美 M29A1 式 81 迫	81	48.6	4.27	3 549	18~30	40~85	榴、照、烟
英 L1A1 式 81 迫	81	35.44	4.47	5 600	15	45~85	榴、烟
前苏 M37 式 82 迫	82	56	3.1	3 040	15~25	45~85	杀伤、榴
法 M0-81-61C 式 81 迫	81	39.4	3.3	4 100	12~15	30~85	榴、照
美 M30 式 106.7 迫	106.7	303	11.9	5 650	20	45~58.8	照、烟
法 M0-120RT61 式 120 迫	120	582	18.7	13 000	15~20	30~85	
前苏 M43 式 120 迫	120	275	15.9	5 700	12~15	45~80	杀伤、烟、燃
西班牙 ECIAL 式 105 迫	105	105	9.2	7 075	12	45~85	榴、烟

与线膛火炮相比，迫击炮具有如下优点：

- ① 弹道弯曲，落角大，死角与死界小，并且容易选择射击阵地；
- ② 结构简单，质量轻、使用灵活，易于操作和转移阵地，特别适于前沿阵地使用；
- ③ 发射速度高；
- ④ 经济性好。

迫击炮的这些优点，给了它存在和发展的生命力。过去是这样，在未来的战争中，它仍然是一种重要的、必需的武器装备。

但是，由于迫击炮的初速低、射程近、散布大，且难于平射，因而也限制着迫击炮弹的使用和发展。

9.2 迫击炮弹的组成与特点

9.2.1 迫击炮弹的组成

迫击炮弹通常是由引信、弹体、填装物（炸药或其他元素）、尾翼装置和发射装药 5 个主要部分组成的（如图 9.1）。

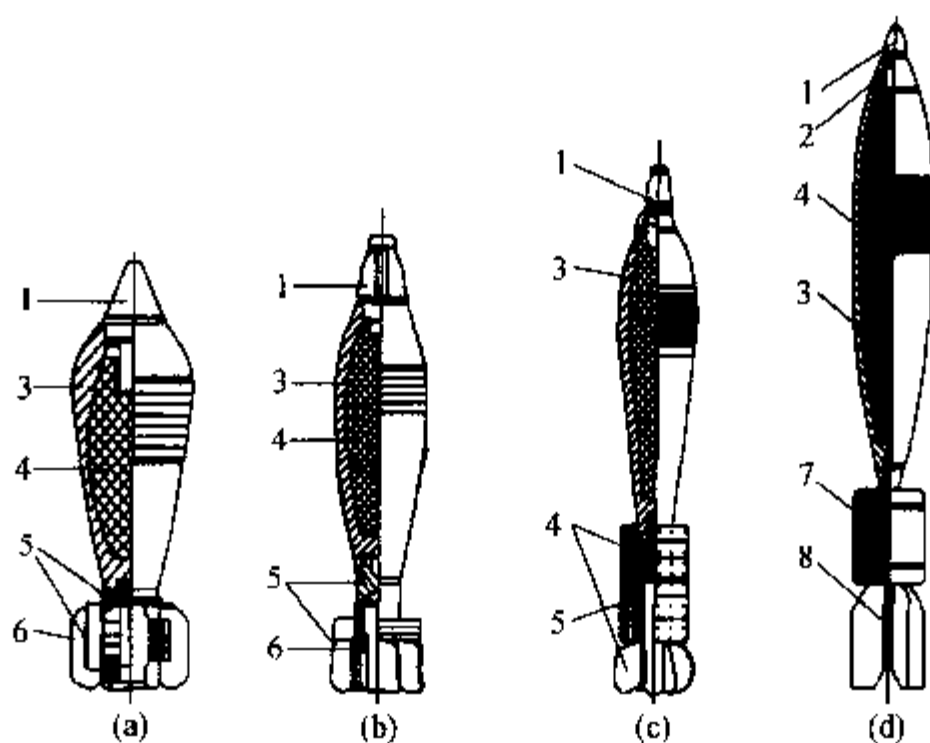


图 9.1 迫击炮榴弹的组成

(a) 60 mm 迫击炮杀伤榴弹; (b) 82 mm 迫击炮杀伤榴弹; (c) 120 mm 迫击炮爆破榴弹; (d) 160 mm 迫击炮爆破榴弹
1—引信; 2—扩爆管; 3—弹体; 4—炸药; 5—弹尾; 6—发射装药; 7—附加药; 8—基本药管

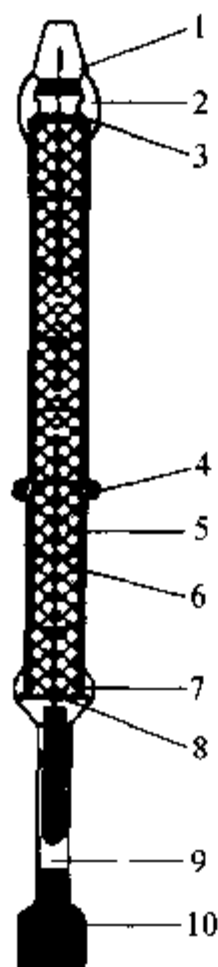


图 9.2 60 mm 迫击炮长弹

1—引信; 2—口螺; 3—垫圈; 4—定心翅;
5—炸药; 6—弹体; 7—弹带; 8—垫片;
9—尾管; 10—尾翅

对于内装炸药的迫击炮榴弹来说, 也可分为杀伤榴弹、爆破榴弹和杀伤爆破榴弹 3 种类型。榴弹类型的不同, 其装填系数 α 和所配用的范围也不相同。杀伤榴弹, 其 $\alpha=8\%\sim 12\%$, 配用在 60~100 mm 的迫击炮上; 杀伤爆破榴弹, 其 $\alpha=12\%\sim 16\%$, 多配用在 100~120 mm 的迫击炮上; 爆破榴弹, 其 $\alpha=18\%\sim 24\%$, 多配用在 120 mm 以上的迫击炮上。

除了上述传统形式的迫击炮弹外, 还有迫击炮长弹和超口径迫击炮弹。如图 9.2 所示, 是 60 mm 迫击炮长弹; 如图 9.3 所示, 是超口径榴弹头。

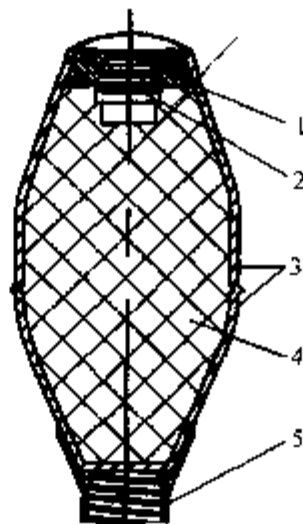


图 9.3 82 mm 迫击炮 150 mm 弹头

1—口螺; 2—防潮塞; 3—弹体; 4—炸药; 5—底托



迫击炮长弹的装填系数 $\alpha=17\%\sim 45\%$,属于爆破弹类型。这种弹主要由引信、头螺、炸药、身管(弹体)、定心翅、尾翼装置和专用发射药等组成。超口径榴弹是在长弹基础上,将其头螺拧下,另接一个大于口径的弹头构成的。由于该弹的质量大、初速低、射程近、散布大,以及行军和使用不便等缺点,故一般只在特殊需要下(如开辟通道)才使用。

除迫击炮榴弹外,还有迫击炮弹弹体内装填非炸药的其他元素者,此即为迫击炮特种弹(图9.4)。

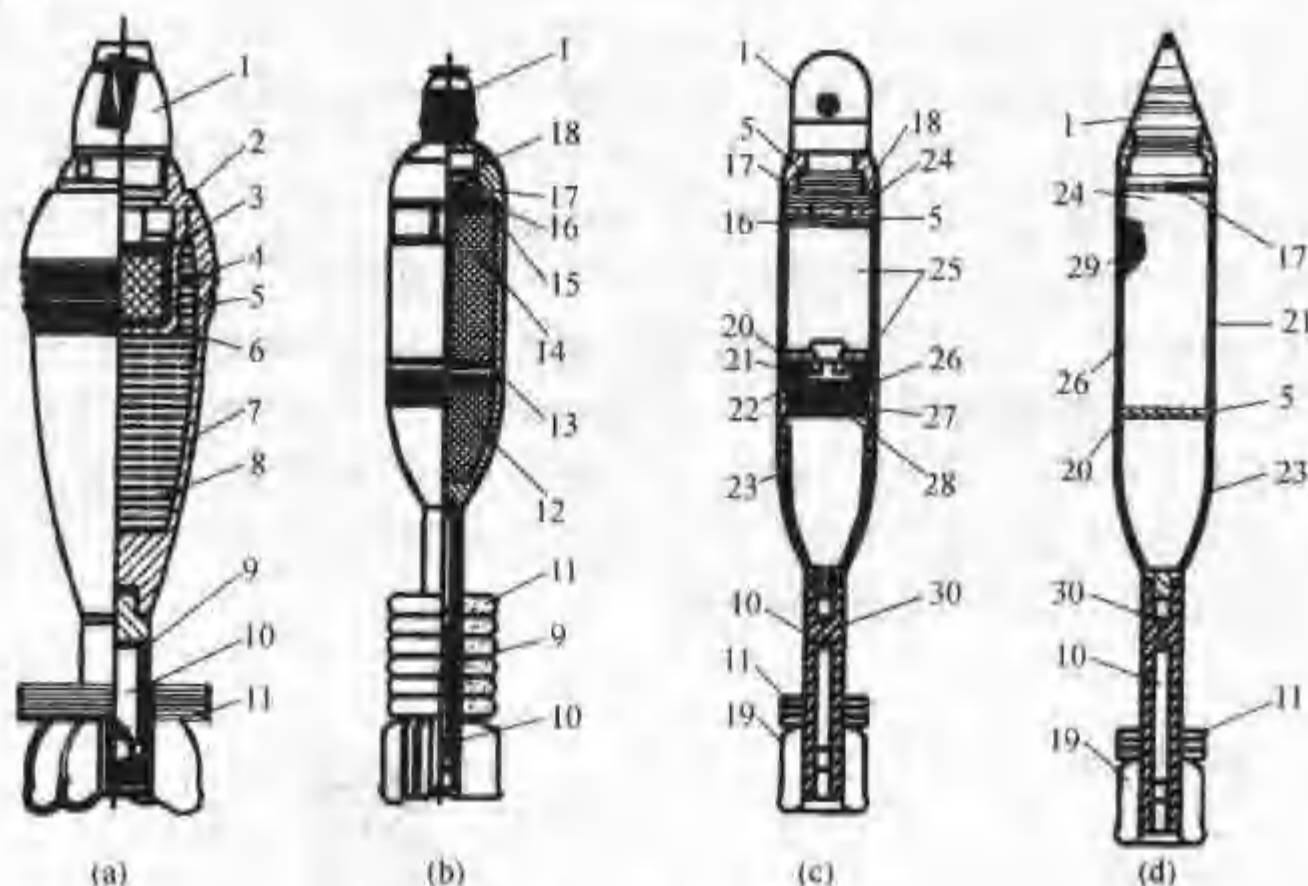


图 9.4 迫击炮特种弹

(a) 迫击炮发烟弹; (b) 迫击炮燃烧弹; (c) 迫击炮照明弹; (d) 迫击炮宣传弹

1—引信; 2—铅圈; 3—垫圈; 4—扩爆药柱; 5—垫片; 6—扩爆管; 7—弹体; 8—黄磷; 9—弹尾; 10—基本药管;
11—附加药包; 12—下燃烧炬; 13—支撑管; 14—上燃烧炬; 15—毡垫; 16—推板; 17—抛射药; 18—毡垫圈;
19—尾翅; 20—隔板; 21—上弹体; 22—吊伞; 23—下弹体; 24—纸垫; 25—照明炬系统;
26—半圆瓦; 27—包绳纸; 28—包伞纸; 29—宣传品; 30—尾弹

9.2.2 迫击炮弹的特点

如上所述,迫击炮弹也有榴弹和特种弹之分,但使用最多的是榴弹,因此常将迫击炮榴弹简称为迫击炮弹。

与普通榴弹相比,迫击炮弹具有如下特点:

- ① 装填密度小,点火方式特殊;
- ② 装填条件与弹尾部的结构相关;



- ③ 弹径小于炮管口径，火药气体可通过缝隙向外泄漏；
- ④ 发射装药结构和尾翼稳定方式特殊。

如图 9.5 所示，迫击炮弹的发射药（基本装药和辅助装药）配置在弹尾部的稳定装置上，因此药室容积的大小取决于弹尾部留下的空间。相对地说，这个空间是很大的。由于发射药量小而装填容积大，因而装填密度很小，通常在 $(0.04 \sim 0.15) \text{ kg/dm}^3$ 的范围内变化。在这种情况下，点火药往往不能及时均匀点燃发射药。为了确保点火与燃烧的均匀，必须采用特殊的点火方式。

基本装药（又称药底）的质量小，威力大，装在用厚纸制成的具有底火的基本药管（如图 9.6）内。基本药管插在弹丸的尾管内。辅助装药（亦称附加装药）的质量较大（一般为底药的 10 倍或 10 倍以上），常分成几个药包套在尾管上，或分别对称地配置在相邻翼片之间。由于底药的装填密度较大 [可达 $(0.65 \sim 0.80) \text{ kg/dm}^3$]，发射时基本药管上的火帽被击针触发，立即引燃全部基本装药，使药管内的火药气体压力急骤增高，当增至一定数值时 [一般达 $(0.8 \sim 1) \times 10^8 \text{ Pa}$]，基本药管的管壁破裂，高温、高压的气流将从尾管上均匀分布的传火孔中泄出，并喷射在辅助装药上。鉴于此时的冲量很大，辅助药包可以迅速、均匀地被点燃，从而保证弹丸初速的一致性。这种迫击炮发射装药的阶段燃烧过程，解决了小装填密度下内弹道性能的稳定问题，使弹丸得以在一定压力下才开始运动。由于辅助药包是可以调整的，故改变药包数量就可以改变弹丸的初速。

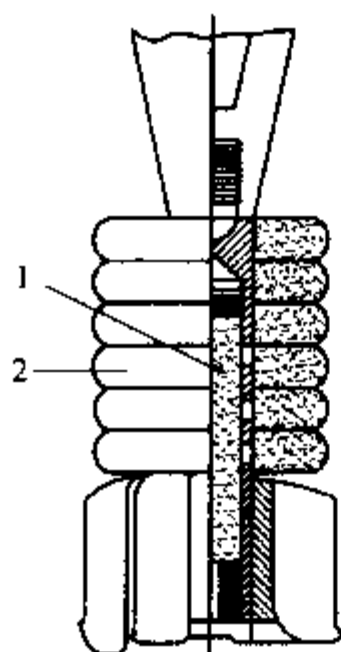


图 9.5 迫击炮弹的发射药

1—基本装药；2—辅助装药

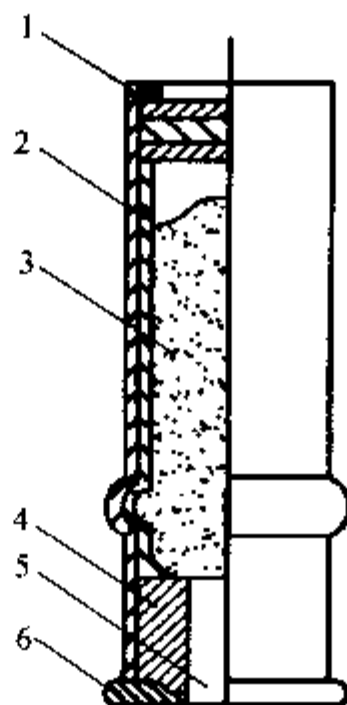


图 9.6 基本装药

1—外纸管；2—内纸管；3—基本装药；4—塞垫；5—底火；6—铜座

迫击炮弹与膛壁之间的间隙，应使弹丸下滑时膛内被挤压的气体顺利流出而又不过分地影响下滑速度，这是装填条件所必需的。由于间隙的存在，发射时火药气体也将大量外泄，其泄出量可达总量的 10%~15%，其结果将使膛压降低。此外，间隙的存在也影响了弹丸在



膛内的定心,使弹丸沿炮管运动发生摆动,从而引起射击精度的降低。因此,确定合理的间隙值,对迫击炮弹来说是很重要的。

一般来说,迫击炮弹的稳定是靠迫击炮弹后部的尾翼来实现的。虽然尾翼是确保弹丸稳定飞行的不可缺少的部分,但它并不构成杀伤破片,因此是一种消极质量,所以愈轻愈好。

9.3 迫击炮弹的结构与作用

9.3.1 迫击炮弹的结构尺寸

决定迫击炮弹形状和弹道性能的结构尺寸如图 9.7 所示。图中 N 为弹顶, a 为稳定杆, b 为尾翼片, E 为传气孔, n 为传火孔, g 为尾翼的定心突起。

迫击炮弹的结构尺寸,是根据射程、威力和射击精度等战术要求选定的。

迫击炮弹的全长 L 一般不受限制,这一点可使威力大大提高。但实际上,当弹丸质量和弹径确定后,长度过大会使飞行阻力增加,引起射程的降低。一般来说,全长的确定原则是在符合质量、保证飞行稳定、满足威力要求的条件下采取最小长度。

弹头部长 H 主要影响射程、飞行稳定性和对目标的侵彻作用。从空气阻力出发,不同的飞行速度,对应着一个最有利的头部长。弹头部增长,弹形尖锐,空气阻力也小。但由于迫击炮弹在飞行中的摆动,又使空气阻力随弹头部的增长而增大。在一般情况下,初速低,弹头部宜短;初速高,弹头部宜长。从稳定性看,弹头部愈短,弹丸的质心愈靠前,从而阻力中心距质心的距离相对增大,稳定性也愈好。从对目标的侵彻看,头部愈尖锐,侵

彻深度愈大。因此,爆破弹和杀伤爆破弹的头部应尖锐些,而杀伤弹则与此相反,不希望侵彻过深,以防止大量杀伤破片不能发挥作用。一般来说,大容积爆破弹,其 H 为 $(1.0 \sim 1.4)d$; 滴状杀伤爆破弹和爆破弹,其 H 为 $(1.3 \sim 2.0)d$; 滴状杀伤弹,其 H 为 $(0.9 \sim 1.2)d$ 。

圆柱部长 A 将影响威力和空气阻力。 A 增大会使威力增大,但过大会造成稳定性变坏和阻力增大。在一般情况下,滴状迫击炮弹的圆柱部长为 $(0.3 \sim 0.4)d$ 。

迫击炮弹弹尾部外形是以圆弧为母线的旋成体,它影响着空气阻力、药室容积和威力。尾

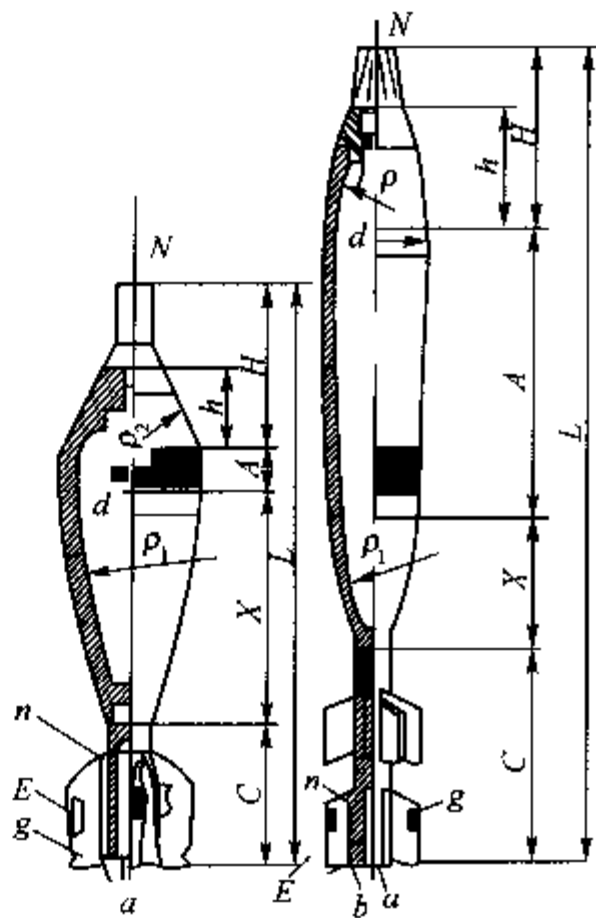


图 9.7 迫击炮弹的结构尺寸



部长度增加, 药室容积也增加。现有迫击炮弹的尾部长度 X 有如下几种: 小口径, 初速较低, $X = (1.2 \sim 2.0) d$; 中口径, 初速居中, $X = (1.7 \sim 2.3) d$; 大口径, 初速较高, $X = (1.7 \sim 2.7) d$ 。

9.3.2 弹体

弹体是构成迫击炮弹的主体零件, 上接头螺或引信, 下接稳定装置, 内装炸药或其他装填物, 其结构直接影响迫击炮弹的使用性能。

1. 弹体结构

迫击炮弹的弹体可分为整体式和非整体式两种。整体式只有一个零件 (如图 9.8), 它无论在发射时和碰击目标时都具有良好的强度。此外, 在弹体上不存在螺纹结合部, 故密封性好, 而且弹体质量分布的不对称性较小。因此, 在可能条件下, 迫击炮弹的弹体应尽可能制成整体式。非整体式弹体是由两个或两个以上的零件组成 (如图 9.9), 这是根据生产工艺性、炸药装填和迫击炮弹的特殊要求而采用的。通常, 非整体式弹体多采用传爆管结构 (如图 9.10), 它是将传爆管接在弹体上, 而引信拧在传爆管上。采用传爆管的目的是保证炸药起爆的完全性。对大口径铸造弹体, 因弹体口部直径相差较大, 容易出现铸造疵病, 故使用传爆管结构。采用传爆管结构, 必然使弹体的结构复杂化, 且质量偏心增加。

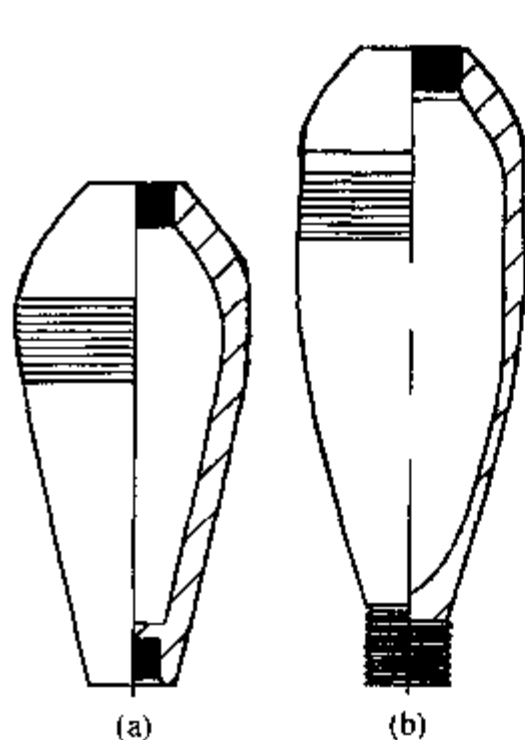


图 9.8 整体式弹体

(a) 铸铁弹体; (b) 钢质弹体

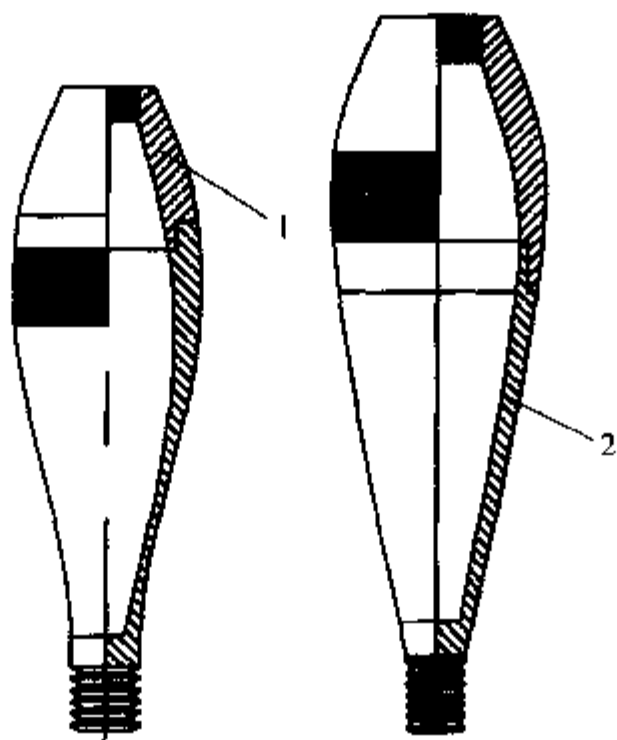


图 9.9 非整体式弹体

1—上弹体; 2—下弹体

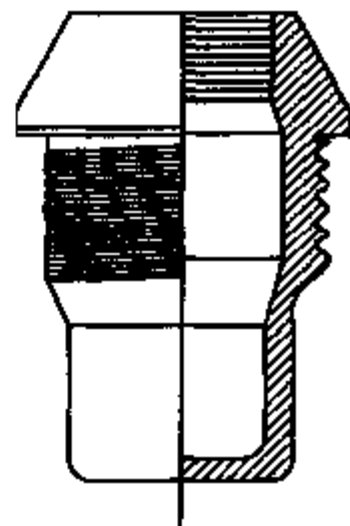


图 9.10 传爆管结构

2. 弹体形状

不同类型的迫击炮弹, 其弹体的内外形状是根据引信式样、装药、飞行速度和稳定方式而设计的。由于迫击炮弹常在亚音速条件下飞行, 因此常采用流线型 (或称水滴形), 即头



部短而圆钝，圆柱部也较短，弹尾较长且逐渐缩小。这种流线型不仅有利于减小空气阻力，而且因质心靠前而对飞行稳定性有利。因此，一般的杀伤榴弹和杀伤爆破榴弹均采用流线型。为了提高杀伤或爆破威力，有时也采用大容积圆柱形弹体，特别是爆破榴弹更是如此。但是，在这种情况下，弹丸质量增大，射程降低，因而在中、小口径的迫击炮弹上很少采用大容积圆柱形弹体。

3. 弹体圆柱部

弹体圆柱部，亦称为定心部。由于迫击炮弹是由圆柱部与尾翼突起来实施膛内导引，故圆柱部一般较短（ $0.3 \sim 0.4$ ） d 。对于大容积迫击炮弹，常从威力和弹丸质量两个方面来确定其长度。

弹体圆柱部直径比炮膛直径小，以便形成必要的间隙。间隙的大小影响迫击炮弹的发火性、下滑时间和火药气体的外泄程度。由于小口径迫击炮的炮身短，弹轻，下滑动能小，因而为保证可靠发火需选取较大的间隙。如 60 mm 迫击炮弹，其间隙为 $0.65 \sim 0.85$ mm，比大口径迫击炮弹大。

为了减少火药气体的泄出，在定心部上常设置闭气环或加工数个环形沟槽。沟槽形状多为三角形，也有矩形、半圆形和梯形（图 9.11）。发射时，高压火药气体流经沟槽，多次膨胀并产生涡流，减慢流速，使火药气体的泄出量减小（图 9.12）。如果在迫击炮弹弹体上存在两个定心部，则应在下定心部上制出环形闭气沟槽，在上定心部上制出纵向排气槽，以减小火药气体对圆柱部的压力。

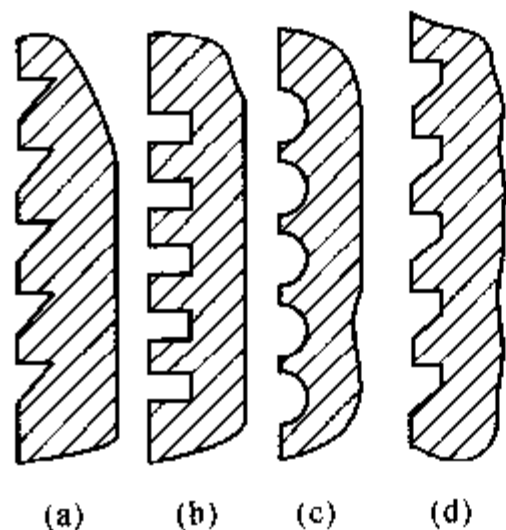


图 9.11 环形沟槽结构

(a) 三角形；(b) 矩形；(c) 半圆形；(d) 梯形

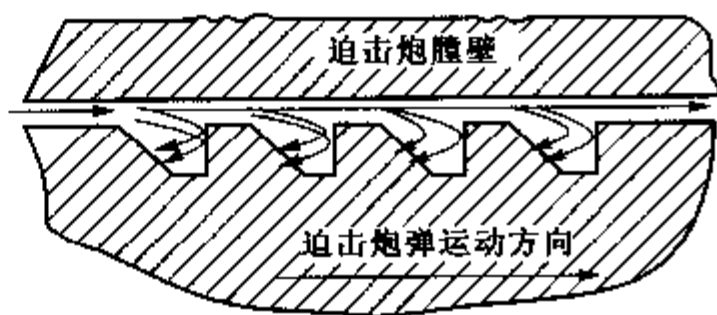


图 9.12 沟槽的闭气作用

4. 弹体药室形状与壁厚

弹体的内腔母线是由直线和弧线组成的，其形状与外部形状相对应，因而药室的尺寸取决于弹体的壁厚。壁厚的大小与材料、威力和工艺性等因素有关。为满足碰击强度和改善飞行稳定性，弹体头部壁厚一般都比圆柱部和尾部要厚。而圆柱部和尾部的壁厚，则取决于弹



丸的用途。对于爆破弹，为了多装炸药，应在满足强度的条件下选取最小壁厚值。对于杀伤弹，则应从获得最大有效杀伤破片数出发，使壁厚与炸药性能和弹体材料的机械性能相匹配。

5. 弹体材料

常用的榴弹弹体材料是钢性铸铁和稀土球墨铸铁。由于钢性铸铁（即在优质原生铁中加入大量废钢而得到的低碳低硅优质灰口铸铁）强度低，破片性能差，故目前多采用稀土球墨铸铁。当使用铸造弹体时，由于只需对口螺、定心部和尾螺等连接处进行机械加工，因而工时少，成本低，适于大量生产。

9.3.3 炸药

迫击炮弹装填的炸药一般为混合炸药，主要有：梯萘炸药、梯铵炸药和热塑黑-17 炸药等。这是因为迫击炮弹的弹体材料多为铸铁类，其机械性能较差，因而不能采用高能炸药（如 TNT），否则弹体将被炸得过碎，影响杀伤威力。

梯萘炸药是由梯恩梯和二硝基萘混合而成的。现在的迫击炮弹大都采用这种炸药。该炸药的优点是：不吸湿，不与金属作用，容易起爆。

近几年来，广泛采用了由梯恩梯、钝化黑索金、二硝基萘和硝基胍组成的热塑态炸药。装填前，先配好各成分，然后放入蒸汽熔药锅内混合并熔化成塑态，用挤压法装入弹体，在室温下冷却、固结。这种装药方法的主要优点是工艺操作简单，生产效率高，装药致密、均匀、密度大，并便于实现自动化，缺点是不便于进行装药质量的检查。

9.3.4 稳定装置

迫击炮弹的稳定装置是由尾管和翼片（或称尾翅）组成的。除保证稳定性之外，翼片上的突起尚起着弹丸在膛内的定心作用。此外，稳定装置还被用来放置和固定发射药及基本药管，保证实现发射药的阶段燃烧。

尾管是稳定装置的主体，尾管内腔用以放置基本药管，尾管上的传火孔一般有 12~24 个，孔径为 4~11 mm。传火孔应与辅助装药对正，一般分成几排，且轴向对称分布。

尾管与弹体的连接方式和弹体材料有关。对钢质弹体，弹体底部加工成阳螺纹，尾管为阴螺纹；对铸铁类弹体，弹体底部加工成阴螺纹，尾管为阳螺纹。尾管的长度与稳定性有关，一般为 $(1\sim2)d$ 。

翼片常用 1.0~2.5 mm 厚的低碳钢板冲制而成，其数目一般为 8~12 片，每两片为一体焊于尾管上，并呈辐射状沿尾管圆周对称分布。翼片末端有一突起处，其直径与弹体定心部直径相当，共同构成导引部。翼片高度和翼片数量，影响翼片承受空气动力作用的面积。而积大，稳定力矩就大；但当弹丸在飞行中摆动时，面积大，迎面阻力也大。因此，在一般情



况下，翼片高度不大于 $1.2d$ 。

为便于迫击炮弹装填和保证底火与击针对正，起定心作用的翼片突起部直径应略小于弹体定心部直径。翼片突起的定心处应有较高的光洁度，以便减小对炮膛的磨损。为使迫击炮弹具有良好的射击精度，要求弹尾的结构具有充分的对称性，并使弹尾与弹体尽可能同心。

9.4 迫击炮弹发射装药的构成

前已述及，迫击炮弹的发射装药是由基本装药和辅助装药（亦称附加药包）两部分组成的。如图 9.13 所示是 60 mm 迫击炮弹发射装药的结构。在图 9.14 中，给出了它的基本药管。下面对基本装药和辅助装药作一简要介绍。

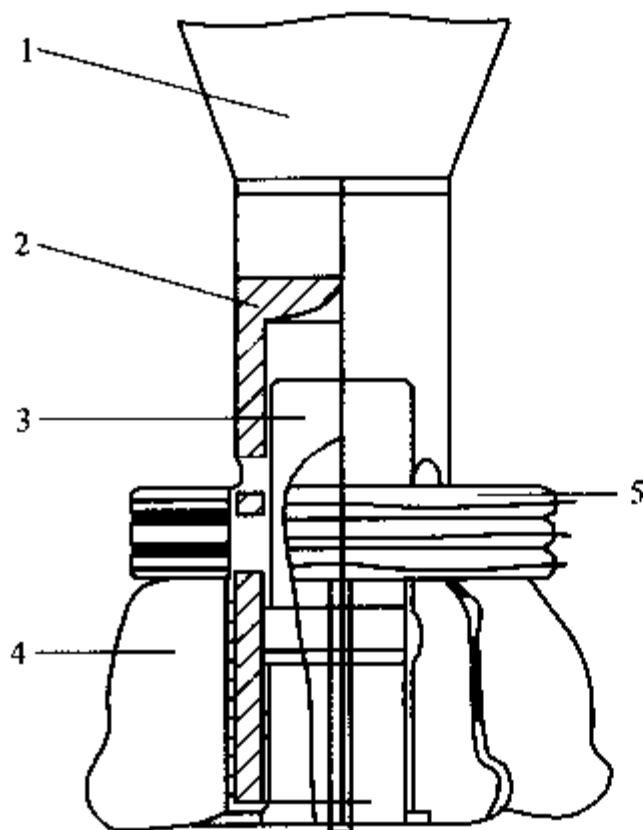


图 9.13 60 mm 迫击炮弹发射装药结构

1—弹体；2—尾管；3—基本药管；
4—尾翅；5—附加药包

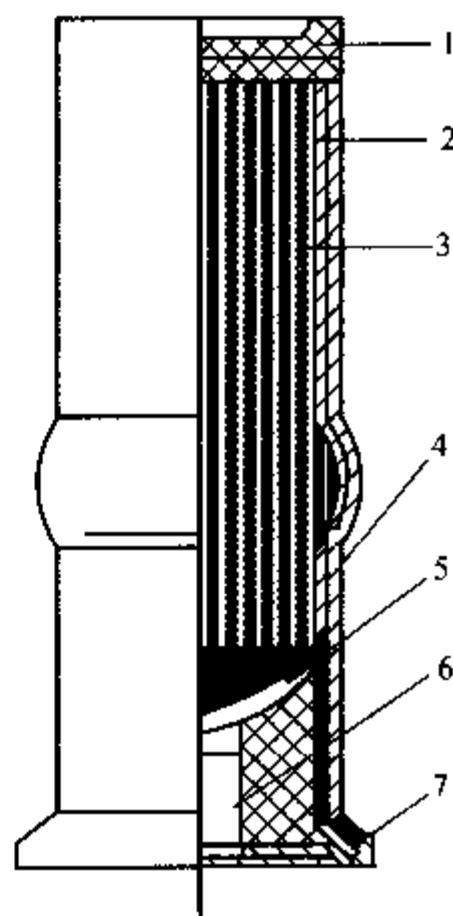


图 9.14 60 mm 迫击炮弹基本药管

1—封口垫；2—纸壳；3—发射药；4—点火药；
5—隔片；6—底火；7—铜座

9.4.1 基本装药

基本装药是由纸壳、底火、点火药、火药隔片、发射药及封口垫等元件组成的，一般采用整体结构。为防潮和便于识别，在基本药管的口部装有标签并涂有酪素胶，在所有纸制部分以及底火与铜座接合处均涂以防潮漆。各种口径迫击炮弹的基本药管在结构形式上基本



相同,只是点火药的装填方式有些差别。

点火药的装填有散装、盒装和圆饼状绸布袋装三种。散装时,其上下用火药隔片与底火和发射药分开,如 60 mm 和 82 mm 迫击炮弹基本药管的点火药就是这种装填方式。盒装时,先将点火药装入硝化棉软片盒内,密封后再装入管内,如 56 式 120 mm 迫击炮弹基本药管的点火药就是这种装填方式。圆饼状绸布袋装时,是把黑火药装入袋内缝合后再装入管内,82 mm 长弹专用点火药即采用这种形式。

基本装药是迫击炮发射装药的基本组成部分,没有辅助装药时,它可以单独发挥作用(即为 0 号装药)。基本装药性能的好坏直接影响整个发射装药的性能,因此合理设计与使用基本装药是十分重要的。

9.4.2 辅助装药

辅助装药是由双基片状或单基粒状无烟药和药包装袋组成的。药包装袋一般采用易燃、灰分少的丝绸或棉纺制品制成,主要结构形式有如下几种:

1. 环形药包

当发射药采用双基无烟环形片状药时,即采用此种药包(如图 9.15),其形状为一圆环,一端开口,以便套在尾管上。其优点是射击时调整药包比较方便,因此射速要求高的中、小口径迫击炮弹均采用此种药包。缺点是环形药片叠在一起,高温时有粘连现象,从而影响内弹道性能。

2. 条袋形药包

当采用单基粒状无烟药作为发射药时,即采用条袋形药包(如图 9.16)。这种药包装袋的长度恰等于紧绕尾管一周的长度,使用时用绳子捆起来固定在尾管上并成环形。由于比环形药包紧固,且能对正传火孔,故不易发生药包串动,并能确保引燃。其缺点是射击前调整药包不便,故不宜用于要求射速较高的迫击炮弹上。

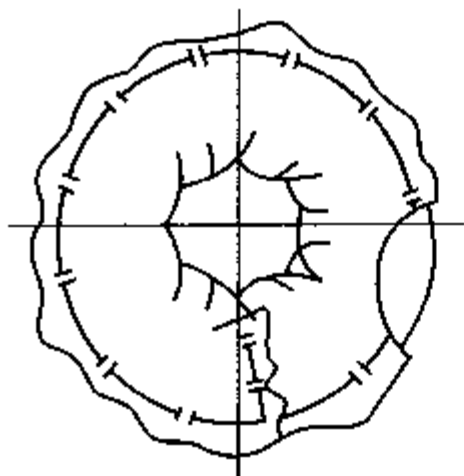


图 9.15 环形药包结构

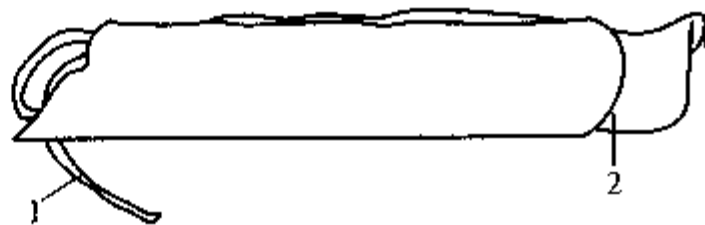


图 9.16 条袋形装药

1—绳环;2—绳结



3. 环袋形药包

环袋形药包是把小片状或颗粒状火药装在绸质或布质的环形药袋内，并经口部缝合即成（如图 9.17）。显然，这种药包介于环形药包和袋形药包之间，它也是用绳子捆起来固定在尾管上。

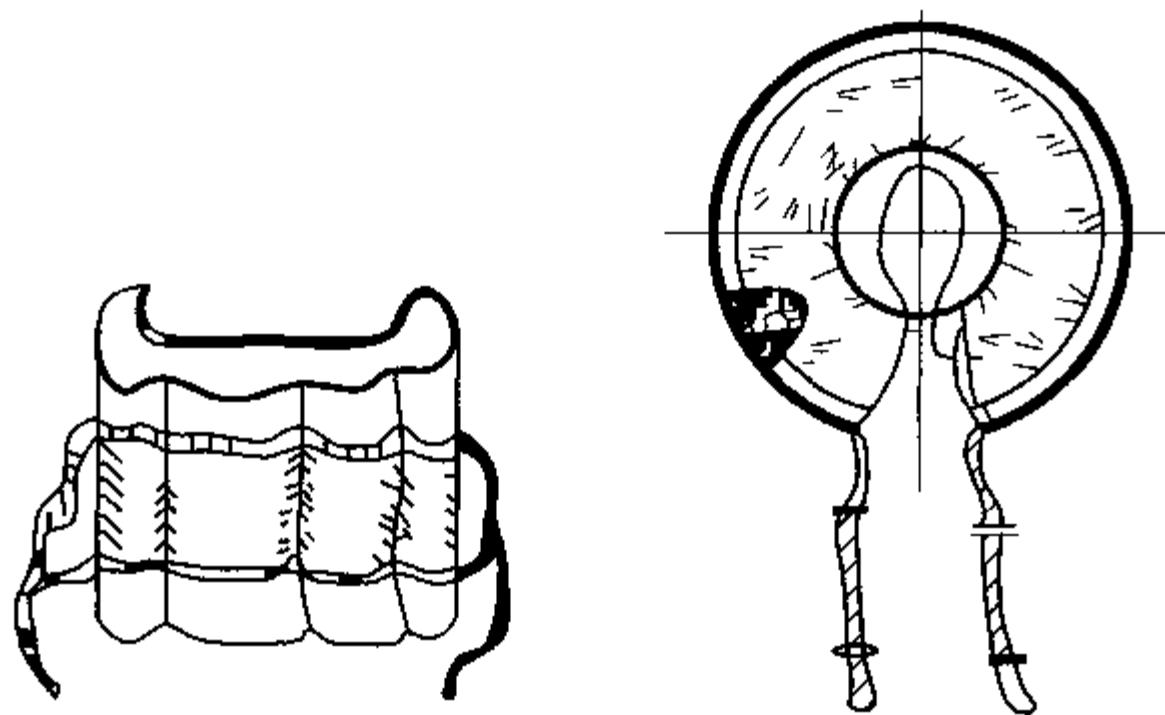


图 9.17 环袋形药包

辅助装药大都采用同一规格的火药制成等量药包，也有采用两种规格的火药制成两种不等量药包。为了使用上的方便，通常采用等量药包。在使用中，等量药包的数量与装药号相对应，基本装药本身构成了 0 号装药，每加一辅助药包，装药号加 1，最大号装药即为全装药。

第 10 章 火 箭 弹

10.1 概 述

10.1.1 火箭弹的定义和分类

1. 火箭弹的定义

火箭，是以火箭发动机推进的飞行器。火箭弹通常是指靠火箭发动机所产生的推力为动力，以完成一定作战任务的无制导装置的弹药，主要用于杀伤、压制敌方有生力量，破坏工事及武器装备等，如图 10.1 所示。

与火炮弹丸不同，火箭弹是通过发射装置借助于火箭发动机产生的反作用力而运动，火箭发射装置只赋予火箭弹一定射角、射向和提供点火机构，创造火箭发动机开始工作的条件，而不给火箭弹提供任何飞行动力。

火箭弹的外弹道可分为主动段和被动段弹道两个部分，主动段是指火箭发动机工作段，被动段则指火箭发动机工作结束直到火箭弹到达目标为止的阶段。火箭弹在弹道主动段终点达到最大速度。但需指出，火箭弹在滑轨上的运动，由于有推力存在应当说是属于主动段弹道，但对外弹道来说，常常以射出点作为弹道的起点，不考虑火箭弹在滑轨上的运动。

火箭弹的发射装置，有管筒式和导轨式之分，前者叫火箭炮或火箭筒，后者叫发射架或发射器。为了使火箭发动机点火，在发射装置上设有专用的电气控制系统，该系统通过控制台接到火箭弹的接触装置（点火器）上。

与一般火炮弹丸相比，火箭弹具有如下优越性：高速度和远射性；威力大、火力密度强；机动性和火力急袭性好；发射时作用于火箭弹诸零件上的惯性力小。但是，火箭弹的密集度差，散布较大，而且成本较高。火箭弹的发展趋势是采用高能推进剂与优质壳体材料；改进设计，提高密集度；加装简易控制，对其弹道进行修正，提高命中精度；配备多种战斗部拓宽用途及提高威力。

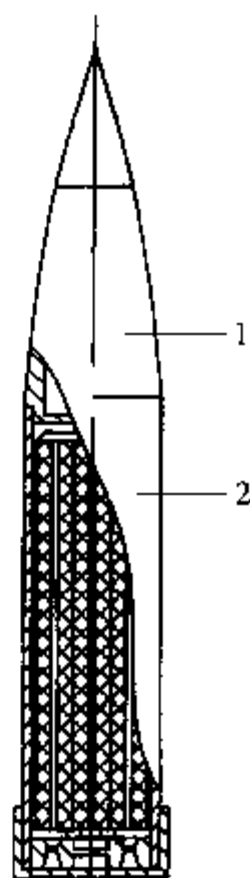


图 10.1 无控火箭弹

1—战斗部；2—发动机



2. 火箭弹的分类

表 10-1 是火箭弹目前常用的分类。

表 10-1 火箭弹分类

固体火药火箭弹分类	按战斗部类型分	- 杀伤火箭弹 - 爆破火箭弹 - 杀伤爆破火箭弹 - 空心装药破甲火箭弹 - 碎甲火箭弹 - 特种火箭弹 - 子母战斗部火箭弹
	按所属兵种分	- 地面炮兵用火箭弹 - 地面步兵用反坦克用火箭弹 - 空军用火箭弹 - 海军用火箭弹
	按稳定方式分	- 涡轮式火箭弹 - 尾翼式火箭弹
	按有无控制分	- 无控火箭弹 - 有控火箭弹

10.1.2 火箭弹的组成

一般来说，火箭弹是由战斗部、火箭发动机和稳定装置等主要部分组成，如图 10.2、图 10.3 所示。

1. 战斗部

战斗部由引信、阻力环、战斗部壳体、炸药装药和隔热、密封件组成。战斗部是完成战术任务的装置，对于不同目标需采用不同的战斗部。引信是战斗部的引爆装置，为获得较大的战斗效果，对付不同的目标需采用不同性能和类型的引信；阻力环的作用是调节射程。

2. 火箭发动机

火箭发动机的作用是产生火箭弹向前飞行的推力。一般来说，有固体燃料火箭发动机和液体燃料火箭发动机两种。常用的火箭弹，目前均采用固体燃料火箭发动机。固体燃料发动机，主要由燃烧室、喷管、挡药板、推进剂和点火装置等组成。

燃烧室是火箭发动机的主体，用来储存火箭装药并在其中燃烧的部件。由筒体壳体、两端封头壳体及绝热层组成。对于短时间工作的小型发动机，其燃烧室没有绝热层。燃烧室是火箭发动机的重要组成部件，同时也是弹体结构的组成部分，装药在其内燃烧，将化学能转换成热能。燃烧室承受着高温高压燃气的作用，还承受飞行时复杂的外力及环境载荷。燃烧室属于薄壁壳体，常用材料有合金钢材、轻合金材料及复合材料。由于选用材料不同和制造

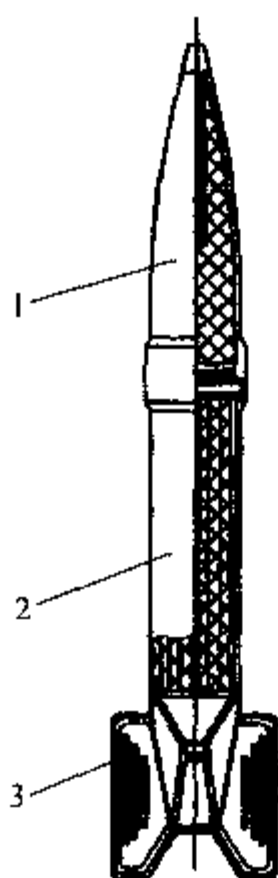


图 10.2 130 mm 尾翼式火箭弹结构

1—战斗部; 2—发动机; 3—稳定装置

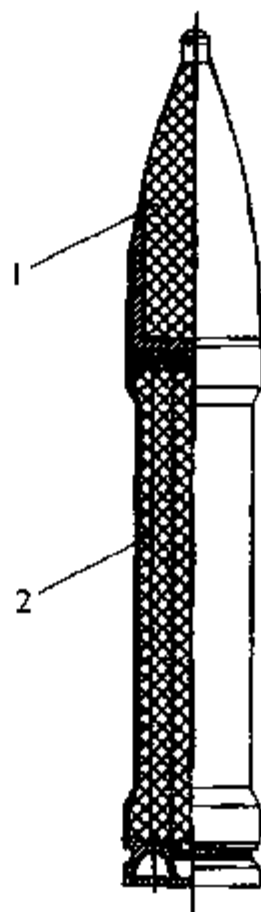


图 10.3 130 mm 涡轮式火箭弹结构

1—战斗部; 2—发动机

工艺不同, 燃烧室的结构形式有整体式、组合式和复合式。封头壳体一般为碟形或椭球形, 前封头与点火装置连接, 后封头与喷管连接。小型燃烧室的前封头多为平板形端盖。燃烧室筒体与封头连接常采用螺丝、焊接、长环连接方式, 连接处要求密封可靠。

喷管是固体火箭发动机的重要部件之一, 具有先收敛后扩散的几何形状, 用来控制燃烧室压力, 以及使亚音速气流变为超音速气流, 提高排气速度。喷管处于发动机尾部, 是能将燃烧室中的高温高压燃气的热能转换为燃气的动能, 并控制燃气流量的变截面管道。火箭发动机喷管为超音速喷管, 内形面由收敛段、临界面和扩张段组成。喷管的种类按型面不同分为锥形喷管和特型喷管, 锥形喷管的扩张段为简单锥形, 特型喷管的扩张段为曲面形。特型喷管比锥形喷管的效率高, 常用在大、中型发动机上。按喷管个数不同又分为单喷管结构 and 多喷管结构; 按制成结构材料不同分为普通简单喷管和复合喷管结构。复合喷管的热防护性能好, 常用于较长时间工作的发动机上。此外, 还有长尾管喷管、潜入式喷管、可调喷管和斜切喷管等。

挡药板是用来固定装药, 并防止未燃尽的药粒喷出或堵塞喷管孔。点火器用来点燃火箭装药, 一般由点火管和引燃药组成。当电点火管通电时, 首先点燃引燃药, 并在燃烧室内形成初始压力, 使火箭装药迅速、同时燃烧, 从而保证发动机很快进入稳定工作状态。



推进剂是发动机产生推力的能源，常用双基推进剂、改性双基推进剂或复合推进剂，加工成单孔管状或内孔呈星形等各类形状的药柱。药柱的几何形状和尺寸直接影响着发动机的推力、压力随时间的变化，所以药柱的设计在很大程度上决定了发动机的内弹道性能和质量指标的优劣。药柱设计的主要参数有：药柱直径、药柱长度、药柱根数、肉厚系数、装填系数、面喉比、喉通比、装填方式等。按药柱燃面变化规律不同可分为恒面性、增面性、减面性；按燃烧面位置不同分为端燃形、内侧燃形、内外侧燃形；按空间直角坐标系燃烧方式不同分为一维、二维、三维药柱；按药柱燃面结构特点不同分为开槽管形、分段管形、外齿轮形管形、锥柱形、翼柱形、球形等。最常用的有管形、内孔星形及端燃形药柱。药柱的装填方式依推进剂种类不同及成型工艺不同分为自由装填式和贴壁浇注式。图 10.4 所示为几种典型药柱截面图形。

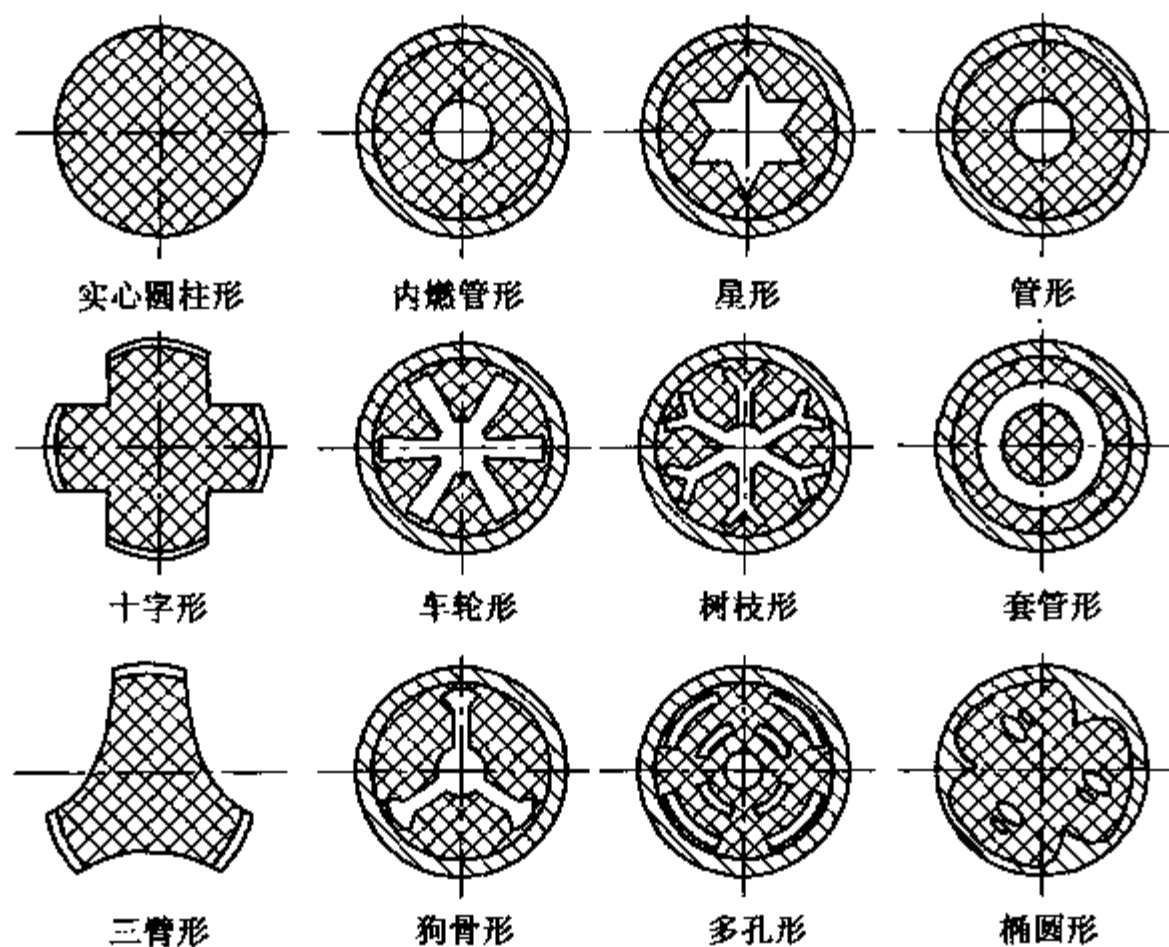


图 10.4 几种典型药柱截面图形

点火装置由点火线路、点火药、药盒、发火管等组成，其作用是提供适当的点火能量，使推进剂全面瞬时点燃。

3. 稳定装置

稳定装置用来保证火箭弹稳定飞行，其稳定方式有尾翼式（尾翼稳定）和涡轮式（旋转稳定）两种。涡轮式火箭弹靠弹体绕弹轴高速旋转所产生的陀螺效应来保证飞行稳定，使弹体旋转的力矩由燃气从与弹轴有一定切向倾角的诸喷孔喷出所形成；尾翼式火箭弹靠尾翼装



置, 使空气动力合力的作用点 (压力中心) 位于全弹质心之后, 形成足够大的稳定力矩来保证飞行稳定。

10.1.3 火箭弹的工作原理

火箭弹是靠火箭发动机产生的反推力而运动的。当火箭发射药被点燃时, 火箭发动机便开始工作, 其推力产生的原理可由其在实验台上产生推力的原理来说明, 如图 10.5 所示。发射药燃烧后生成大量火药气体, 从而使燃烧室内的压力迅速增加, 高压的火药气体以一定的速度从喷管喷出。用符号 u_1 表示火药气体的排气速度。以火箭弹体和在 t 时刻包含在发动机出口端面以内的火药气体作为研究对象。根据动量定理, 系统动量的增量等于系统所受外力对时间的冲量, 则有

$$F_p = \left| \frac{dm}{dt} \right| u_1 + (p_a - p) \cdot S \quad (10-1)$$

式中, F_p 为火箭发动机推力; $\frac{dm}{dt}$ 为火箭质量的变化率; S 为发动机出口端面面积; p 为大气压强; p_a 为发动机工作时出口端面气体压强。

(10-1) 式右端第一项即为喷气产生的反作用力, 称为动推力; 第二项是由喷气引起的出口端面气体压强变化产生的压力合力, 称为静推力。一般, 静推力只占很小的比重。火箭发动机推力随时间的变化曲线如图 10.6 所示。

上式也可以改写为

$$F_p = \left| \frac{dm}{dt} \right| \left(u_1 + \frac{S(p_a - p)}{\left| \frac{dm}{dt} \right|} \right) = \left| \frac{dm}{dt} \right| u_{\text{eff}} \quad (10-2)$$

式中, u_{eff} 称为有效排气速度, 其数量级一般为 2 000 m/s。

当大量的气体高速从喷管喷出时, 火箭弹在火箭发动机的推力作用下高速向前运动。

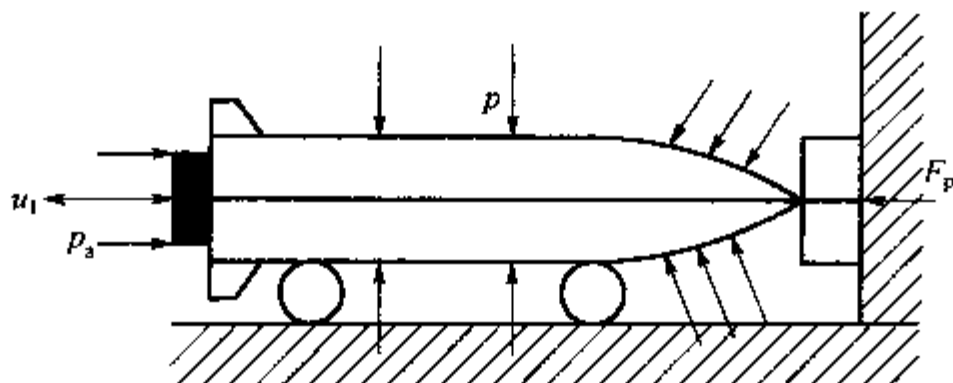


图 10.5 火箭在实验台上的推力

由此可见, 与炮弹不同, 火箭弹的发射装置 (如火箭筒) 只赋予火箭弹一定的射角、射向



和提供点火机构，使动力装置开始工作，发射装置并不提供使火箭弹飞行的初始速度。火箭弹与目前使用的火箭增程弹也不同，火箭增程弹是采用火箭发动机增程的炮弹。即火箭增程弹首先由火炮提供一定的初始速度将其发射出去，出炮口一定距离后，火箭发动机开始工作，弹丸在推力作用下继续加速，使射程增加。在火箭发动机工作以前的运动与普通炮弹一样，在火箭发动机开始工作以后，则和普通火箭弹相同，而当火箭发动机工作结束后，又和普通炮弹的运动规律一致。

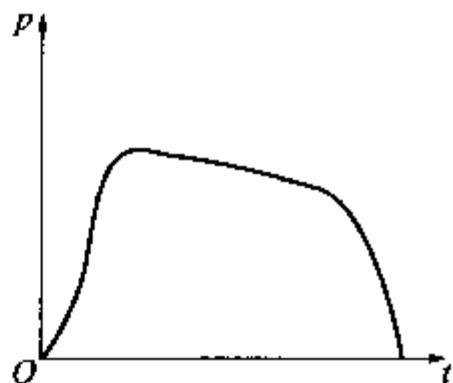


图 10.6 推力-时间关系曲线

10.2 尾翼式火箭弹

尾翼式火箭弹又称尾翼稳定火箭弹，是指利用尾翼稳定装置产生的空气动力保持稳定飞行的火箭弹，主要由战斗部、火箭发动机和尾翼稳定装置组成。射程远的野战火箭弹、初速高的反坦克火箭弹和航空火箭弹均采用尾翼稳定装置。尾翼式野战火箭弹和航空火箭弹的弹身较长，一般达 15 倍弹径，甚至 20 倍弹径以上，这样便可加长发动机，增加推进剂质量，提高弹速以增加射程，同时也提高抗干扰能力，增强稳定性。稳定装置位于火箭弹尾部，沿其圆周均布多个翼片即尾翼。

火箭弹的结构形式是多种多样的。图 10.2 所示是单室一端喷气的尾翼式火箭弹。图 10.7 所示是单室两端喷气的尾翼式火箭弹。图 10.8 所示是双室尾翼式火箭弹。

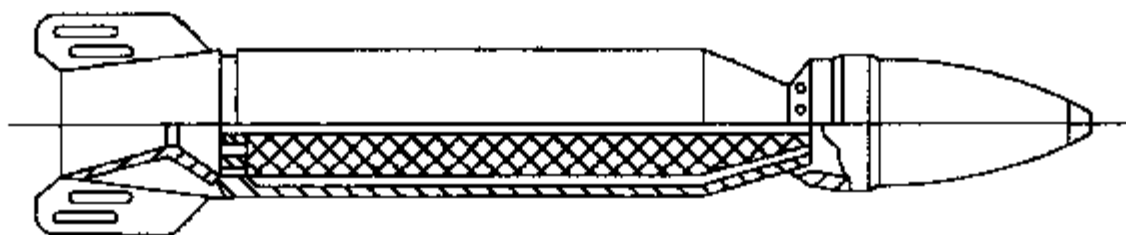


图 10.7 单室两端喷气尾翼式火箭弹

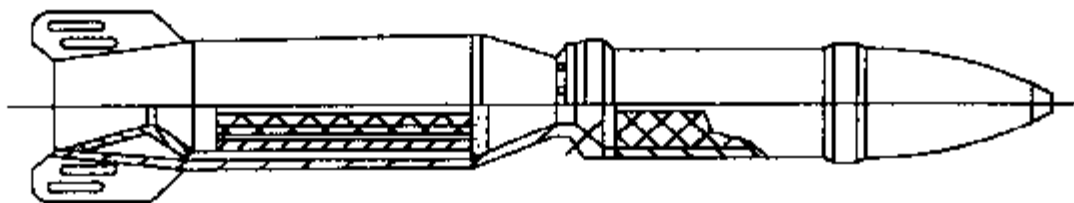


图 10.8 双室尾翼式火箭弹



对于远程火箭弹来说,发动机也可以采用多级结构。图 10.9 所示是二级防空火箭弹,其特点在于燃烧室内的装药依次燃烧,第一级发动机装药燃烧完毕后脱落,第二级发动机再开始工作。这种多级结构可以提高火箭弹的飞行速度,增加射程(或射高)。

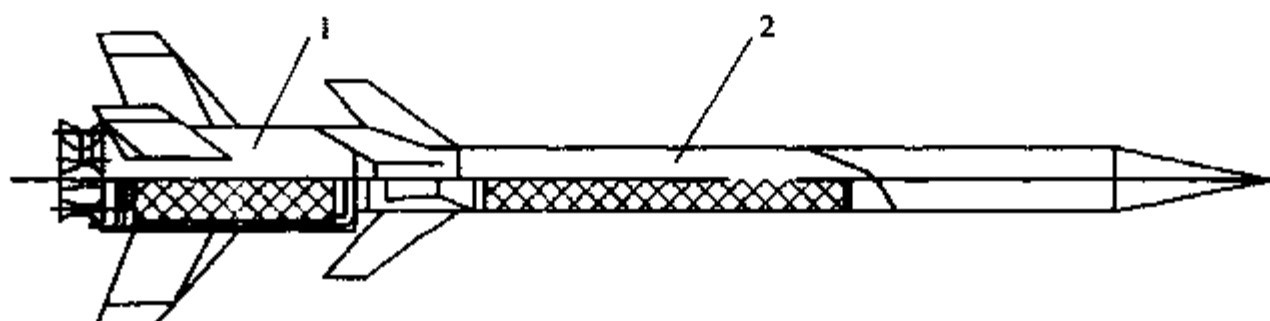


图 10.9 二级防空火箭弹

1—第一级发动机;2—第二级发动机

以下仅就 180 mm 火箭弹为例来说明尾翼式火箭弹的结构与作用,但由于尾翼式火箭弹的尾翼结构形式很多,所以还将简要说明各种尾翼结构。

10.2.1 180 mm 火箭弹

如图 10.10 所示,180 mm 火箭主要由战斗部、发动机和尾翼装置三大部分组成。

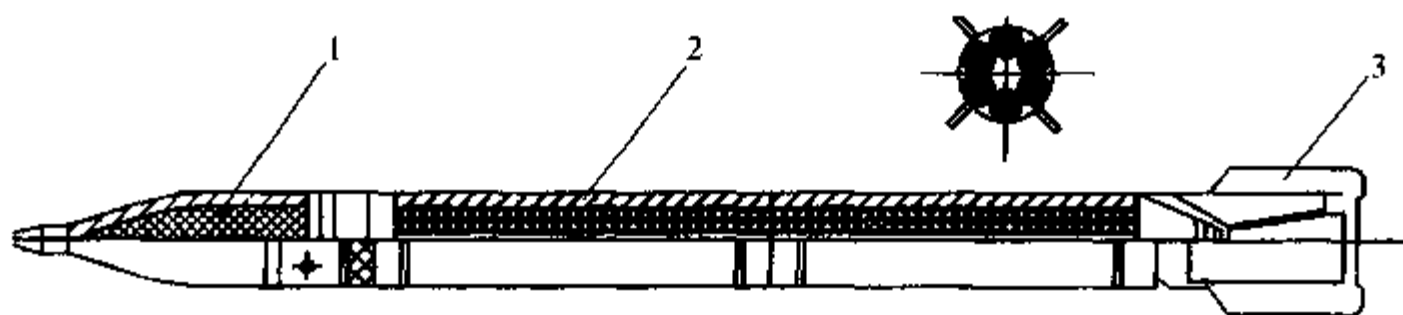


图10.10 180 mm 火箭弹

1—战斗部;2—发动机;3—尾翼装置

1. 战斗部

战斗部包括引信、辅助传爆药、炸药、战斗部壳体、连接底(亦称中间底)和隔热垫等。

该战斗部配用箭-3 引信,具有瞬发和短延期两种装定。战斗部内装梯黑炸药(50/50),为使炸药爆炸完全,采用了三节辅助传爆药,靠近引信的一节为压装特屈儿药柱(77 g),后面两节为钝化黑索今药柱(各为 80 g)。

隔热垫是为保证安全而设置的。实验表明,在发动机工作 12~15 s 后,连接底靠炸药端的温度可达 215 ℃(TNT 炸药的熔点为 80.5 ℃),加隔热垫后温度将大大下降,发动机工作 90 s 后,上述部位的温度只有 60 ℃~65 ℃。



2. 发动机

该弹的发动机采用了两节燃烧室、两套火药装药和两端喷气的结构，包括前燃烧室、后燃烧室、前喷管、后喷管、装药、挡药板和点火装置等。其目的是在允许的条件下增加火药装药，从而提高射程。装药的牌号为双铅-2，两套装药均为7根管状药，每根尺寸是56.8/9 mm。

点火药盒设置在两套装药之间，并由中间支架固定。在点火药盒内装有电发火管，所引导线，一根连在药包支架上，另一根穿过药柱铆接在导电盖上，而导电盖与喷管之间有起绝缘作用的橡皮碗。

为了挡药和固定药柱，180 mm 火箭弹采用了前、中和后三个挡药板。由于该弹的转速低，挡药板主要承受直线惯性力作用，所以挡药板的筋和轮缘尺寸都比较小，而通气面积较大（如图 10.11）。

由于前、后喷管的喷喉面积是相等的，因而可近似视为前燃烧室的燃气从前喷管喷出，后燃烧室的燃气从后喷管喷出。为安装尾翼方便，后喷管采用直置单喷孔形式（如图 10.12）。前喷管采用了具有 18 个斜置喷孔的形式，其中每个喷孔都可以看成是一个小喷管，小喷管的轴线与弹轴的轴向倾角为 24° 、切向倾角为 8° （如图 10.13）。

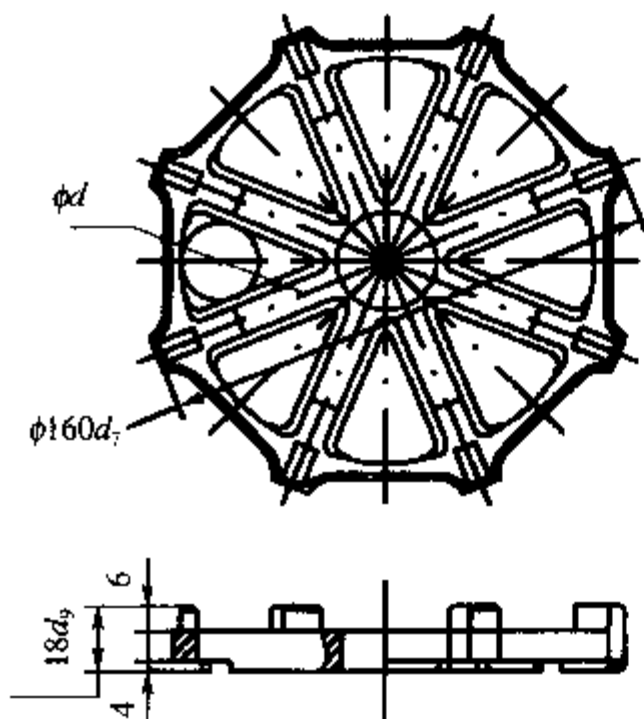


图 10.11 180 mm 火箭弹挡药板

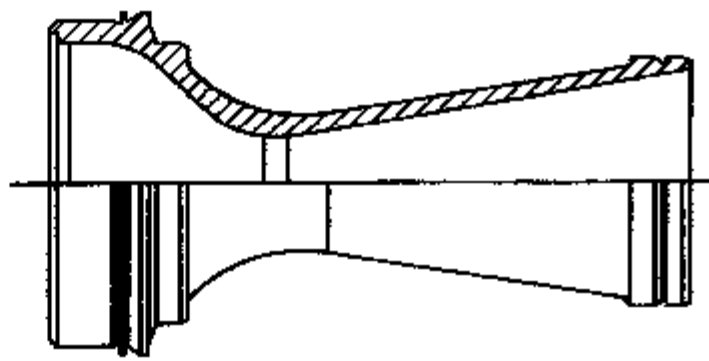


图 10.12 180 mm 火箭弹后喷管

切向倾角的作用是为产生推力的切向分量，使火箭弹绕弹轴低速旋转，用来抵消一部分推力偏心所造成的散布。该角大，弹的转速也大，这虽然对消除推力偏心的影响有利，但却增加了炮口扰动、马格努斯效应、尾翼颤振和推力损失等，从而造成散布增大。

由于前喷管使弹体右旋，因而为了保证各部件之间连接可靠，前喷管与战斗部的连接采用了右旋螺纹；前喷管与前燃烧室以及后面的螺纹连接都采用了左旋螺纹。此外，在螺纹连接处，一般还采用了驻螺钉固定。

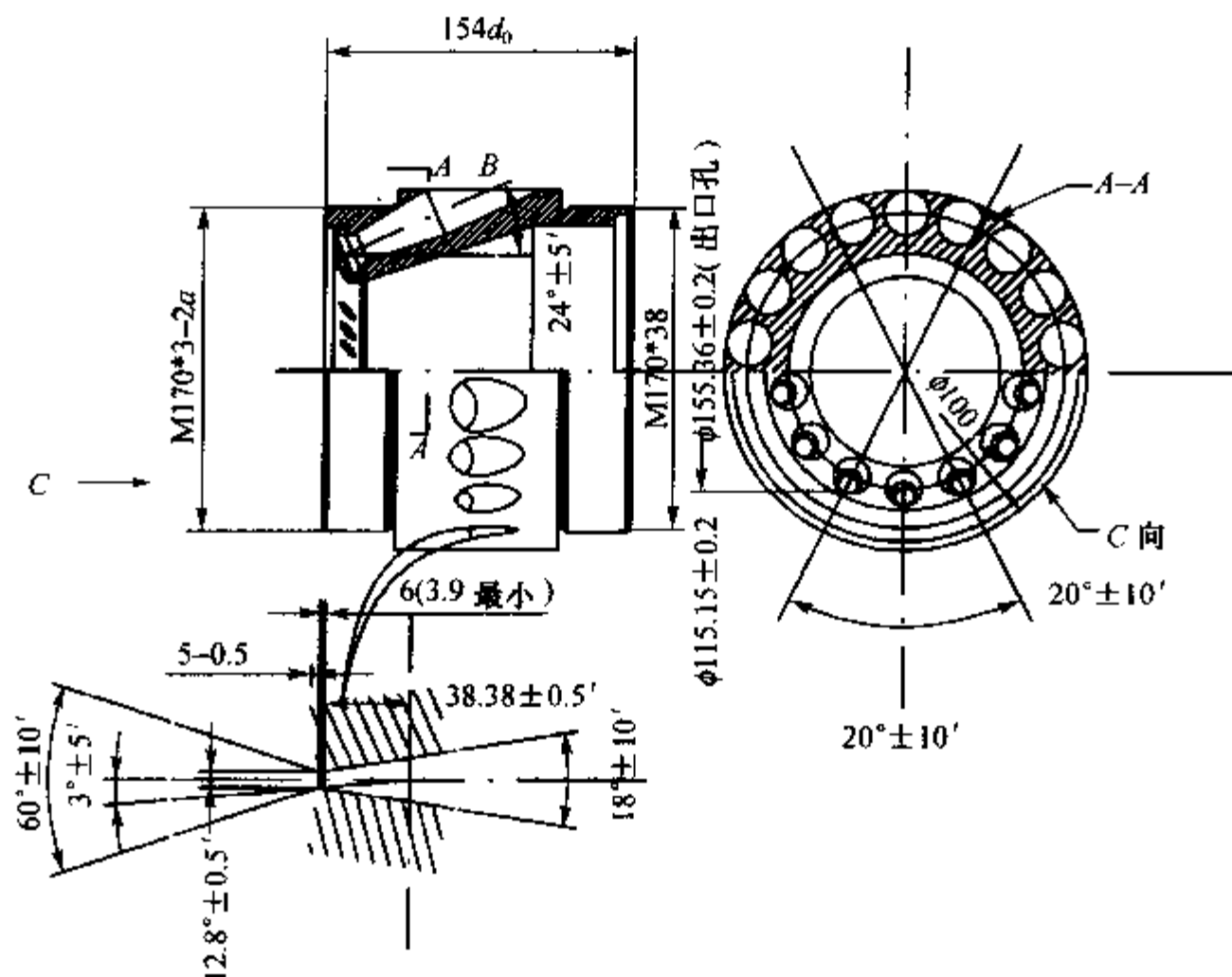


图 10.13 180 mm 火箭弹前喷管

3. 尾翼

尾翼是火箭弹稳定飞行的保证。180 mm 火箭弹的稳定装置采用了滚珠直尾翼结构，并由尾翼片、整流罩、前后轴承和螺圈组成。用 20 号钢板制成的尾翼片呈“十”字形对称焊接在整流罩上。整流罩除起安置尾翼片的作用外，还将使尾部呈船尾形，以减小空气阻力。

在整流罩与后喷管之间设置了滚珠轴承，其目的是减小尾翼装置的旋转速度。此外，采用这种结构也是发射时的需要。该弹是在笼式定向器上发射的，发射时火箭弹将沿 4 根导杆运动，边前进、边旋转，如果弹体和尾翼之间不能相对转动，势必造成翼片与导杆的碰撞，从而影响火箭弹的正常飞行。

180 mm 火箭弹是在 10 管笼式定向器的火箭炮上发射的。当闭合点火电路时，发火管发火并点燃点火药，点火药燃烧产生 2×10^6 Pa 左右的点火气体，使 14 根双铅-2 火药柱瞬时点燃，并产生大量燃气，其压力达 10^7 Pa 以上。高温、高压的燃气通过前、后喷管以超音速向外喷出，形成推力和旋转力矩，使火箭弹沿定向器赋予的方向作边前进边旋转的运动（但尾翼不旋转）。当后定心部脱离定向器时，其飞行速度约为 52 m/s。在火箭弹飞离定向器 300 m 左右时，发动机工作结束。这时，火箭弹达到最大飞行速度（610.5 m/s）和最大转速（5 183 r/min）。此后，同普通弹丸一样，火箭弹将作惯性飞行，其最大射程为 19.6 km。



10.2.2 尾翼装置的结构形式

尾翼装置是保证尾翼式火箭弹飞行稳定的不可缺少的部件。一般来说,除满足飞行稳定性外,还要求尾翼片具有足够的强度和刚度,以及空气动力对称和阻力较小。尾翼结构形式要根据总体与发射装置要求选定,一般有两大类,即固定式尾翼与折叠式尾翼。固定式尾翼分直尾翼、斜置尾翼与环形尾翼;折叠式尾翼主要有沿轴向折叠的刀形尾翼、沿圆周方向折叠的圆弧形尾翼和沿切向折叠的片状尾翼,发射前翼片处于收缩状态,便于装入发射筒中,发射后翼片快速张开并锁定,使翼片张开的动力主要有膛口燃气流、空气动力、弹簧力和气缸活塞推力等。

除 180 mm 火箭弹可旋直尾翼外,下面再介绍几种尾翼装置的基本结构形式:

1. 固定式直尾翼

这种结构的尾翼,不仅简单,而且应用较广。其结构类似于 180 mm 火箭弹的尾翼装置,只是不能旋转。它的 4 片尾翼呈“十”字形,并且焊接在锥形整流罩上。

2. 张开式圆弧形尾翼

前苏联“冰雹”火箭弹的尾翼装置就采用了这种结构,如图 10.14 所示。该弹是在管式发射器中发射的。

尾翼片是用铝板冲压成弧形,在其根部有卷压而成的轴孔,通过轴与整流罩相连,翼片可以绕轴旋转,平时 4 片尾翼均覆盖在整流罩上。在轴上套有压缩弹簧,其作用有二:既可使翼片得以向外张开,又使翼片在张开过程中得以沿弹轴方向移动,从而使翼片卡在整流罩的缺口内而到位固定。

为使 4 片尾翼同时张开,在整流罩中间套有同步环,同步环通过螺钉轴与翼片根部相连。当任一翼片向外张开时,都可带动同步环而使其他翼片也张开。

3. 折叠式刀形尾翼

如图 10.15 所示,翼片 1 安装在喷管上,可绕销轴 3 转动。平时靠固定板限制,翼片不能张开;待发动机工作后,靠气流将固定板顶出,同时利用弹簧 2 的抗力使翼片迅速张开。这种折叠式尾翼的片数,将根据飞行稳定性要求而定,常见的是 4 片和 6 片。

4. 簧片式可卷片状尾翼

簧片式可卷尾翼是一种用弹簧钢片制成,并可卷

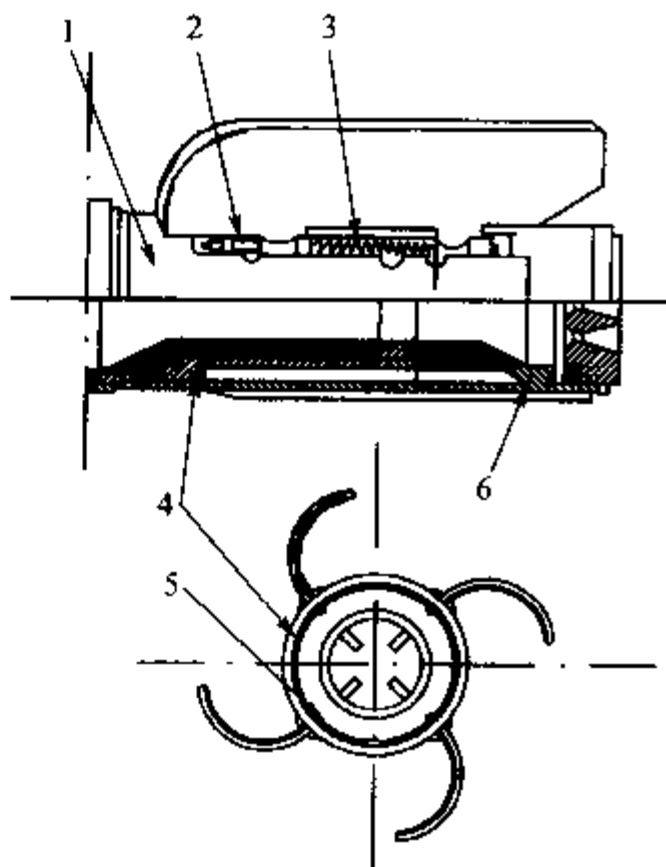


图 10.14 张开式圆弧形尾翼结构

1—整流罩;2—轴;3—压缩弹簧;

4—同步环;5—螺钉轴;6—喷管座



折起来的结构形式（如图 10.16）。这种翼片的厚度较薄，一般为 $0.3\sim 0.5\text{ mm}$ ，因而只适于小口径火箭弹。我国的 40 mm 反坦克火箭弹就采用了这种尾翼结构，其翼片数为 6 片。对翼片材料来说，常采用强度足够的轻金属、塑料和玻璃钢等，以减轻翼片的质量。

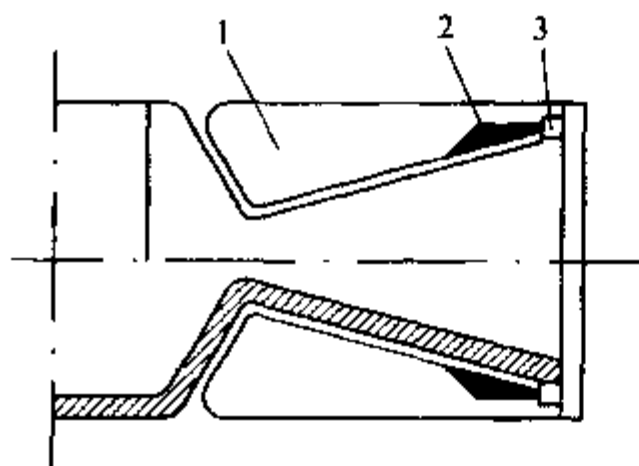


图 10.15 折叠式刀形尾翼

1—翼片；2—弹簧；3—销轴

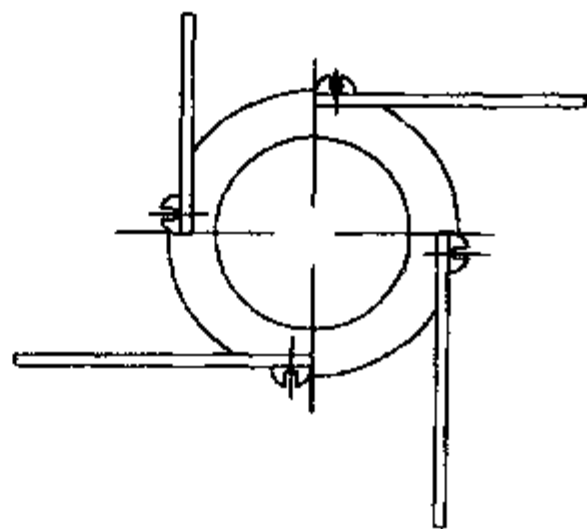


图 10.16 簧片式可卷片状尾翼

10.3 涡轮式火箭弹

涡轮式火箭弹又称旋转稳定火箭弹或旋转式火箭弹，是利用绕弹体纵对称轴高速旋转而产生的陀螺效应保持稳定飞行的火箭弹。燃烧室中燃气从与弹轴成一定切向倾角的多喷管喷出，形成使弹体旋转的力偶。根据稳定力偶的要求，选取倾斜角度一般在 $12^\circ\sim 25^\circ$ 之间，弹体转数在 $10\,000\sim 25\,000\text{ r/min}$ 范围内。全弹由战斗部与火箭发动机组成，倾斜多喷管作为燃烧室底部组件。这种火箭弹的优点是火箭高速旋转能减小推力偏心的不良影响，可提高密集度，弹长较短，勤务处理方便。缺点是弹长受限制，一般弹长不超过 $7\sim 8$ 倍弹径，在保证战斗部威力条件下限制发动机长度，难以增加射程。最大射程超过 20 km 的野战火箭弹不宜采用涡轮式。

在涡轮式火箭弹的总体布局上，最常见的是将战斗部设置在发动机之前，如国内的 107 mm 杀伤爆破火箭弹（如图 10.17）。但是，也有的是将战斗部设置在发动机之后如德国的 158.5 mm 火箭弹（如图 10.18）就是这种结构形式。

在此，仅以国内的 107 mm 和 130 mm 涡轮式杀伤爆破火箭弹为例，简要说明涡轮式火箭弹的结构特点和作用。

在结构上，这两种弹是相似的，前者由 107 mm 火箭炮（12 管筒式定向器）发射，后者由 130 mm 火箭炮（19 管）发射。它们的战斗部均配用箭-1 式引信，该引信具有瞬发、短延期和延期三种装定。

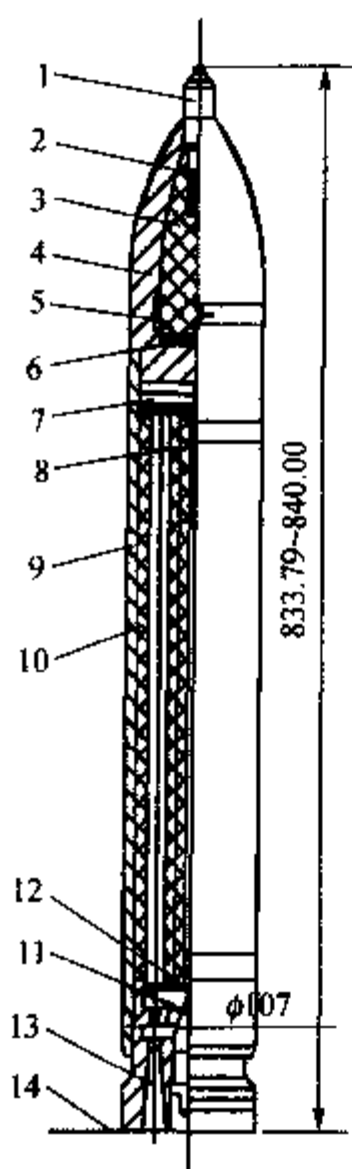


图 10.17 107 mm 涡轮式杀伤爆破火箭弹

1—引信; 2—传爆药; 3—炸药; 4—战斗部本体; 5—连接栓;
6—垫片; 7—隔热板; 8—传火具; 9—燃烧室; 10—发射药;
11—点火器; 12—挡药板; 13—喷管; 14—导电盖

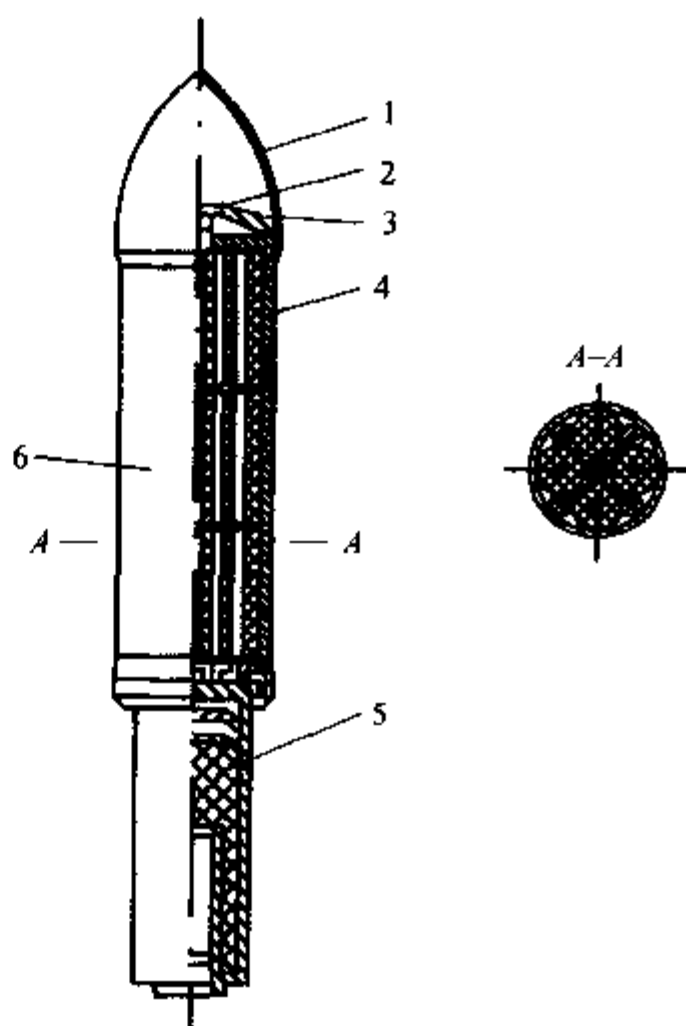


图 10.18 德国 158.5 mm 涡轮式杀伤火箭弹

1—风帽; 2—螺栓; 3—钩环;
4—燃烧室; 5—战斗部; 6—发动机

从战斗部看, 107 mm 火箭弹是由壳体和连接底组成。这种非整体式结构, 便于内腔加工, 且质量偏心较小, 有利于提高射击精度, 也有利于炸药的铸装。而 130 mm 火箭弹的战斗部采用了整体式结构, 从而减少了零件, 也减少了螺纹加工, 使战斗部轴线与弹轴的不一致性减小。130 mm 火箭弹用螺旋装药法装入梯恩梯炸药, 其感度比铸装为好。为使 107 mm 火箭战斗部的爆炸完全, 在引信下面设有 65 g 感度较大的特屈尔药柱。

从发动机部分看, 这两种火箭弹均采用牌号为双石-2 的 7 根单孔管状药, 燃烧室均用无缝钢管制成。在燃烧室两端均有长度为 30~50 mm 的定心部, 用来与定向器配合。喷管除控制和调整燃烧室压力外, 还将提供旋转力矩, 以保证火箭弹的飞行稳定性。

图 10.19 所示是 107 mm 火箭弹的喷管结构示意图, 通过喷管轴线的切向倾角产生一旋转力矩, 使火箭弹在弹道主动段终点达到 21 400 r/min 的转速。

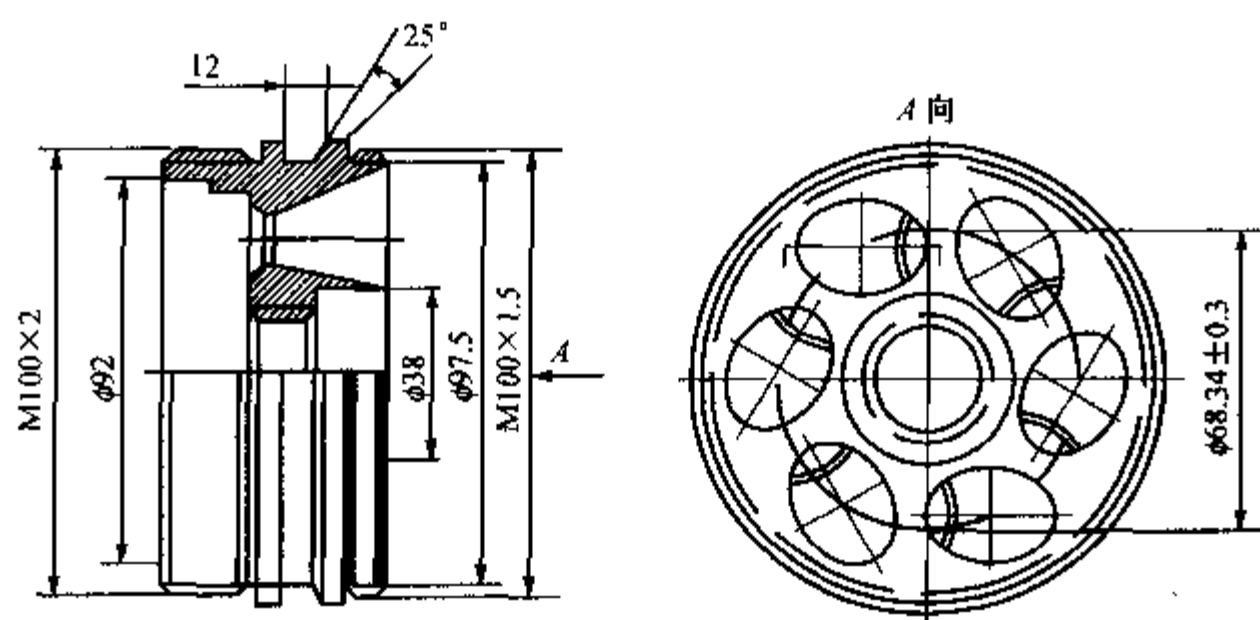


图 10.19 107 mm 火箭喷嘴

挡药板的作用与尾翼式火箭弹的情况一样，在此不予赘述。这两种火箭弹的挡药板结构，如图 10.20 和图 10.21 所示。

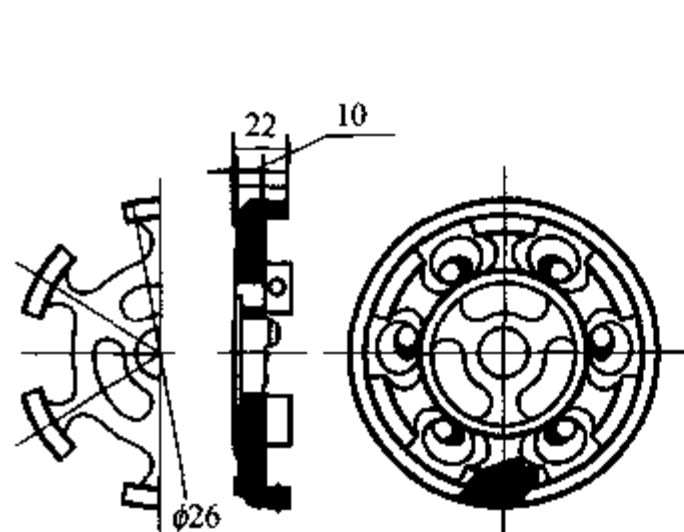


图 10.20 107 mm 火箭弹挡药板

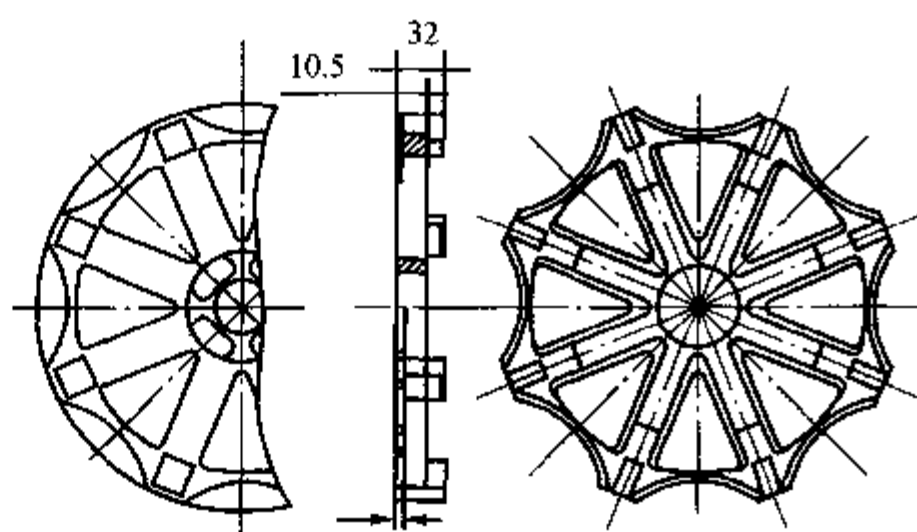


图 10.21 130 mm 火箭弹挡药板

10.4 反坦克火箭弹

反坦克火箭弹是用于近距离内打击坦克和装甲车辆等目标的火箭弹，由战斗部、火箭发动机和稳定装置组成，多采用聚能战斗部，火箭发动机选用高能量、高燃速（或薄肉厚）固体推进剂药柱，稳定装置选用折叠式尾翼。反坦克火箭弹弹径一般为 60~120 mm，初速为 150~400 m/s，有效射程为 150~800 m，破甲厚度为 300~900 mm。单兵反坦克火箭弹一般在飞离发射筒之前，发动机不工作，不存在弹道主动段有推力偏心而影响散布的问题。它射击精度高，结构简单轻便，适于步兵单人操作使用，有发展前景，应进一步研制能打击复合装甲、屏蔽装甲和反应装甲的新弹种。现只简要介绍 70 式 62 mm 单兵反坦克火箭弹。



该弹是单兵肩射式武器，由火箭筒进行发射，其特点是质量轻、操作简便、命中率高、成本较低。该弹的有效射程为 200 m。

70 式 62 mm 单兵反坦克火箭弹主要由成型装药破甲战斗部、发动机和稳定装置三部分组成，如图 10.22 所示。

反坦克火箭弹战斗部，是由压电引信（电—1 甲）、风帽、战斗部壳体、药型罩、主药柱、辅助药柱、隔板和连接螺等零、部件组成的。火箭发动机是由燃烧室、火箭发射药、喷管、挡药板和点火具等零件组成。其各零、部件的作用同其他火箭弹一样，在此不予赘述。

该弹的燃烧室是用高强度铝合金材料（LC4）制成，厚为 3.2 mm，两端的螺纹部位外径加大，以满足强度要求。燃烧室内的火药气体压力可达 6.5×10^7 Pa，为避免燃气外漏，装配时在螺纹连接处均涂铅丹或密封胶。燃烧室内装有 22 根细而薄的单孔管状药（171-25），其燃速和比冲量比双石-2 火药为高。为解决挡药与通气的矛盾，采用了固药板结构，其材料为二辛酯的乙基纤维素，它是由一个圆片构成，上有 22 个固药柱，使用时将火药插在固药柱上，并用胶进行黏结，如图 10.23。

该弹喷管是用超硬铝合金制成，在其扩张段的外表面上加工有 6 个固定座，用以安装尾翼，如图 10.24 所示。

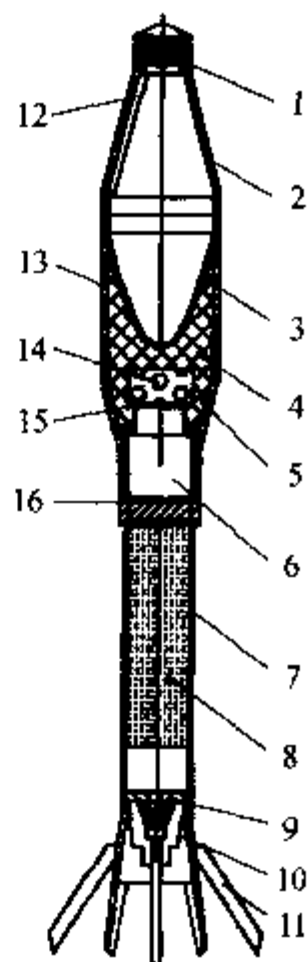


图 10.22 70 式 62 mm 单兵反坦克火箭弹
1—引信头部；2—风帽；3—药型罩；4—主药柱；
5—辅助药柱；6—引信底部；7—燃烧室；8—发射药；9—点火具；10—喷管；11—尾翅；12—导线；
13—战斗部壳体；14—隔板；15—衬套；16—连接螺

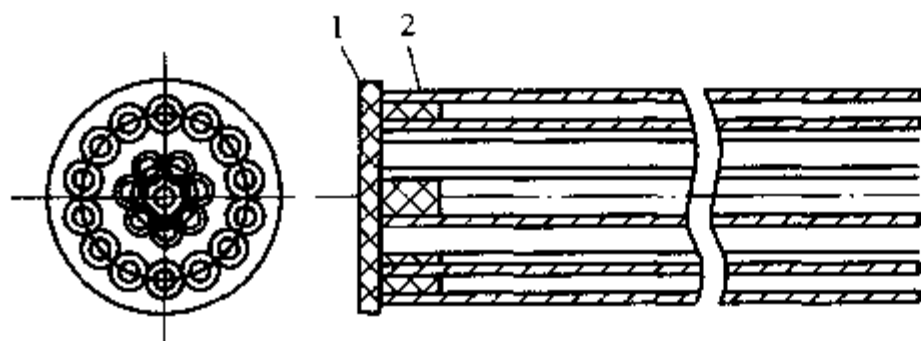


图 10.23 火药与固药板黏结示意图
1—固药板；2—火箭药

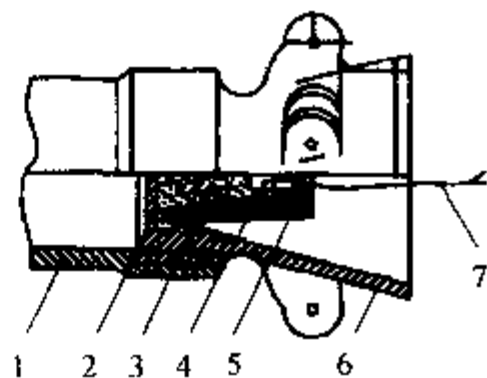


图 10.24 喷管及点火具结构示意图
1—燃烧室；2—薄膜；3—黑药；4—发火头；
5—点火具；6—喷管；7—导线



该弹的点火具为一整体结构,是由本体、发火头、黑药和导线等组成的。为保证点火具不从喷喉处滑出,其前端制有凸台,当点火药点燃后达到一定压力时才能把点火具喷掉。在此之前,燃烧室是处于全密封状态,因而压力上升快,有利于发射药迅速点燃。

该弹发射时的点火方式是机械击发的电点火。发射时扣动扳机,击锤撞击压电陶瓷而产生高电压,经发射筒内的铜片、导电销、导线与发火头的电阻丝构成导电回路,使发火头发火而点燃黑药,并产生一定的点火压力。

10.5 航空火箭弹

航空火箭弹又称机载火箭弹,从航空器上发射的以火箭发动机为动力的非制导火箭弹,是空军用来摧毁敌机和地面目标的弹种,其结构及作用与普通野战火箭类似,均属于低加速度弹药。

航空火箭弹由火箭弹壳体、火箭发动机、引信、战斗部和稳定装置组成,其射程一般为 5~10 km,最大飞行速度为 2~3 马赫数。对多数航空火箭弹来说,常采用低速旋转的尾翼结构,即使尾翼面与火箭弹轴线呈一定角度,使尾翼既产生升力起到稳定作用,又使尾翼产生旋转力矩使火箭弹低速旋转。也有的航空火箭弹采用倾斜的多喷管结构,使火箭弹作低速旋转运动。配用于航空火箭弹的引信,有瞬发、延期和非触发三种类型。

航空火箭弹按攻击目标区域不同可分为空对空火箭弹、空对地火箭弹和空对空/空对地两用火箭弹。空对空火箭弹的弹径一般为 50~70 mm,多装备在歼击机上。空对地火箭弹的弹径为 37~70 mm 时,装备在强击机或武装直升机上;弹径为 70~300 mm 时,装备在歼击轰炸机上。

航空火箭弹按战斗部的作用不同可分为杀伤弹、爆破弹、破甲弹、子母弹、干扰弹、箭霰弹等。航空火箭弹与航空机关炮相比,具有射程远、威力大等特点,但散布大且命中率低,通常以多发齐射使用,目前大口径航空火箭弹已被机载导弹所取代。空对地火箭弹已成为飞机特别是武装直升机攻击地面目标的重要武器。一架飞机可挂 2~4 个发射筒,每个发射筒可装 4~32 枚航空火箭弹,且与机上瞄准具和发射装置配套使用。

以下简要介绍两种航空火箭弹。

10.5.1 57-1 型航空杀伤爆破火箭弹

57-1 型航空杀伤爆破火箭弹是由战斗部、发动机和稳定装置组成,如图 10.25 所示。

该弹战斗部属爆破弹类型,内装钝黑铝炸药,由一块上药柱和两块下药柱黏结而成,配用箭-1 引信,其使用高度为 20 000 m,有效射程为 2 000 m。

该弹的稳定装置由翼片、尾翼和轴组成。6 片尾翼均为变截面的钢片,可使火箭弹作低



速旋转运动。该弹与目标相遇后，引信作用，战斗部爆炸；若在发射 10~15 s 后未与目标相遇，则在引信自爆装置作用下自行爆炸。

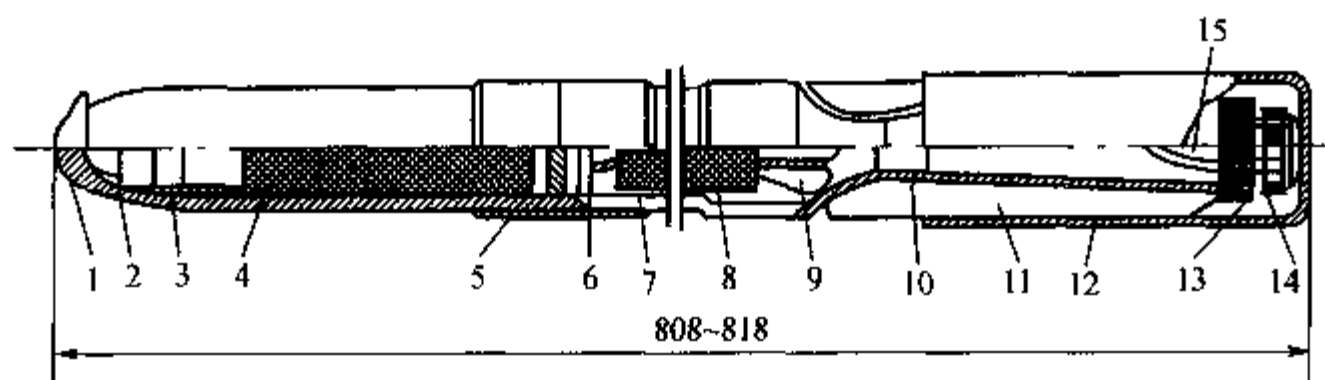


图 10.25 57-1 型杀伤爆破火箭弹

1—防潮塞；2—弹头体；3—衬环；4—炸药；5—连接螺头；6—点火器；7—燃烧室；8—推进剂；
9—挡药板；10—喷管；11—翼片；12—护套；13—底盖；14—插头；15—导线

10.5.2 90-1 型航空杀伤爆破火箭弹

90-1 型航空火箭弹是一种空对地火箭弹，主要用来对付地面和水上目标。该弹配用箭-4 引信。该航空火箭弹由战斗部、发动机和稳定装置组成，如图 10.26 所示，各部分的零件结构大体与普通火箭弹相同，只是稳定装置的区别较大。

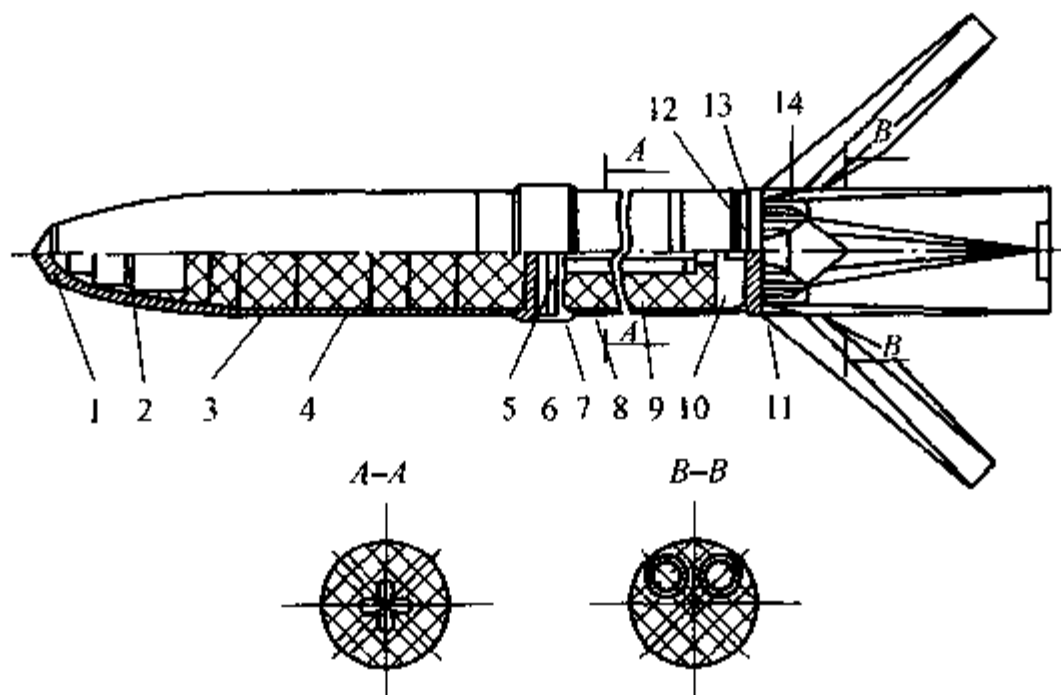


图 10.26 90-1 型航空杀伤爆破火箭弹

1—防潮塞；2—衬环；3—炸药；4—战斗部壳体；5—点火具；6—夹持器；7—垫圈；
8—燃烧室；9—推进剂；10—挡药板；11—绝缘环；12—喷管座；13—导电环；14—导线



该弹的稳定装置主要由活塞、十字块和尾翼组成。活塞装在喷管座的中心孔内，活塞杆前端套有橡胶活塞环，后端用螺帽固定有十字块。十字块位于喷管座的后端面，其端部分别与4片尾翼的根部相抵。尾翼片用铝合金制成，叶面呈对称形，用固定轴连接在喷管座的4个凸耳上。平时，4个翼片合拢在一起，并由支撑架将其限制。发射时，在火药气体作用下活塞带动十字块向后运动，而十字块则推动翼片向外张开，加上迎面气流的作用，最终使翼片张成 50° 的后掠角。由于喷管轴线具有 2° 的切向倾角，所以火箭弹在飞行中将作低速旋转运动。

10.6 火箭弹的散布问题

10.6.1 密集度

火箭弹的命中精度，包括准确度和密集度两方面内容。火箭弹主要用以消灭敌方集群装甲目标和带有轻型装甲防护的有生力量，所以不仅射击准确度要高，能准确发射到目标上空，而且密集度要好，能覆盖目标区内大部分目标。

由于火箭弹在飞行过程中会受到各种扰动因素的影响，其实际弹道将偏离理想弹道，形成射弹的落点散布。火箭弹的散布虽然是一种随机现象，但它是有规律的，即所有的弹着点都分布在某一椭圆范围内，而且这种分布服从正态分布规律。

对一组火箭弹的射击结果，其弹着点的平均位置常称为散布中心；各弹着点偏离散布中心的程度常称为密集度；而散布中心偏离瞄准点（目标）的程度常称为准确度。由于射击密集度通常反映了武器系统的射击性能，因而常用射击密集度来评定火箭武器的技术性能。

一般来说，火箭弹的密集度较差，如何提高火箭弹的密集度，仍然是火箭弹研究中的一个重要课题。

10.6.2 火箭弹散布影响因素

火箭弹由于本身结构上的特点，射击时射弹散布比一般炮弹大得多，特别是方向散布更大些。有哪些原因造成了火箭弹较大的散布呢？对一般火箭弹来说，主要是推力偏心、质量分布不均衡、起始扰动、火箭弹的气动弹性以及阵风的影响。

1. 推力偏心

在理想的情况下，火箭弹推力的作用线应通过火箭弹的质心，且与火箭弹纵轴重合。但实际上，由于加工装配误差、发动机燃烧不稳定、喷出燃气流的不对称性等原因，使推力作用线既不通过火箭弹的质心，也不与弹轴重合，因而存在垂直于弹轴的分力和力矩作用于火箭弹上，这就是常说的推力偏心，常用推力偏心距及推力偏心角来表示。



推力及其偏心的随机规律可以通过试验由统计学理论来求得。

2. 质量分布不均衡

由于加工制造、装配或者由于弹体质量分布不均匀等原因,使得火箭弹质量分布不均衡,因而形成了质心偏离弹轴。当弹绕纵轴旋转时,将同时产生静不平衡力和动不平衡力。因而存在质量偏心距和动不平衡度。

3. 起始扰动的影响

火箭弹脱离发射筒(架)时,由于各种因素的影响,运动姿态受到扰动,使其具有起始攻角(弹轴与速度矢量线间的夹角)、起始偏角(速度矢量与基准射向的夹角)和起始摆动角速度。由于每发弹外形、尺寸都有差异,火箭弹与发射筒(架)之间的配合间隙、运动情况也有差异,多管火箭炮发射时炮身振动情况对每发弹的影响都不一样,属于弹、炮配合方面的偶然因素的影响使得每发弹的起始扰动不一样,因而造成了弹着点的散布。

4. 气动弹性

对于长细比大的火箭弹,在发射和飞行过程中,都会受到空气载荷的影响使其发生振动,火箭弹发生的振动将会引起运动姿态发生变化,这将影响飞行稳定性和弹道的散布。

5. 阵风的影响

在火箭弹弹道上,有方向和大小都经常变化的阵风存在,这也是影响散布的主要因素。

10.6.3 提高火箭弹密集度的技术措施

多年来,人们在减小火箭弹的射弹散布方面进行了大量的研究工作,如火箭弹微推力偏心喷管技术、尾翼延时张开技术、同时离轨技术、控制全弹的动不平衡以及简易控制技术等提高其射击密集度。

1. 微推力偏心喷管技术

推力偏心是火箭弹产生散布的主要原因之一,采用微推力偏心喷管设计,利用调整喷喉尺寸和喷管收敛段空间的方法,使得火箭发动机在整个工作过程中推力偏心大大降低。

2. 尾翼延时张开技术

尾翼张开过程必然引起振动,所以不希望尾翼的张开过程发生在火箭弹开始启动时,而是希望延迟一段时间。此时火箭弹已经具有了一定速度和惯性,即使有了扰动,火箭弹也能产生足够的恢复力矩,使得扰动尽快衰减。但是,尾翼张开时间也不能太迟,否则由于尾翼没张开而起不了稳定作用。所以,尾翼延时张开有一个最佳时间的选定问题。

3. 同时离轨技术

无控火箭弹的长径比普遍很大(即火箭弹比较细长),所以在弹体上相应地设计有几个定心部。同时,火箭发射管与火箭弹之间存在着间隙,在火箭弹前定心部出炮口后的半约束期内,火箭弹体就会倾斜,而且火箭弹又是低速旋转的,因此会引起较大的起始扰动。如果



把发射管前后两节的内径设计的尺寸不同,从而保证弹上前后两个定心部同时离轨,就从根本上消除了半约束期,使起始扰动大幅降低,从而提高了密集度。

4. 严格控制火箭弹全弹的动不平衡

即使对于低速旋转的尾翼稳定火箭弹,其最大转速也能达到 $600\sim 900\text{ r/min}$,所以必须在最后的装配阶段对全弹的动不平衡进行严格调整。

5. 提高武器系统的火控能力,使射击参数能及时归零

MLRS 火箭系统的密集度之所以能达到世界水平,除了采用同时离轨、尾翼延时张开和选择合理转速之外,很重要的一条就是武器的火控系统先进。MLRS 火箭炮一次齐射 12 发火箭弹是在 1 min 之内完成的,弹与弹之间的平均发射间隔不超过 5 s ,而就在这 5 s 时间内,所有的射击诸元能够完全归零。这种火控系统的精确控制能力,可以使火箭弹的密集度大大提高。

6. 简易控制技术

除了上述多种提高火箭弹密集度的措施外,俄罗斯的“旋风”火箭弹还采取了简易控制技术,从而使密集度达到了更高水平。简控火箭弹不是导弹,它不能主动探测目标,进而锁定、跟踪,直至击中目标;简控火箭弹只能对弹道的某些参数进行控制或修正,而且只能在一定范围内进行。简控火箭弹是在已经通过其他技术途径(如减小推力偏心、减小起始扰动等)使密集度得到改善,但还是满足不了战术要求的情况下,再采取简易控制措施使密集度进一步提高。如果密集度原来就很差,单纯依靠简易控制很难修正。

第 11 章 灵巧弹药

为了适应现代战争的需要,随着科学技术的发展,弹药领域发生了日新月异的变化,出现了许多新型弹药,灵巧弹药就是其中一类。此类弹药是在外弹道某段上能自身搜索、识别目标,或者自身搜索、识别目标后还能跟踪目标,直至命中和毁伤目标的弹药。

灵巧弹药是介于无控弹药和导弹之间的弹药,它包括敏感器引爆弹药(末端敏感弹药)和末制导弹药。在当前发展阶段更广泛一些,它还可把弹道修正弹药和简易控制弹药包含在内。敏感器引爆弹药由载体抛撒后落向目标区,在有效作用范围内敏感到目标后,起爆战斗部形成爆炸成型弹丸毁伤目标,是一种射击—毁伤的攻击方式,其搜索面积较小,主要用于攻击集群装甲目标;末制导弹药能跟踪目标,并最终击中目标,主要用于攻击战场上纵深的装甲队列,其毁伤机理是战斗部碰撞后起爆毁伤目标,是一种击中—毁伤的攻击方式。

11.1 末 敏 弹

11.1.1 概述

末敏弹是国外于 20 世纪 70 年代发展起来的一种用于对付坦克、自行火炮和步兵战车等装甲目标的新型灵巧弹药,它是一种敏感器引爆弹药,是把先进的敏感器技术和爆炸成型弹丸技术应用到子母弹领域中的一种新型弹药。

末敏弹是末端敏感弹药的简称,这里末端是指弹道的末端,而“敏感”是指弹药可以探测到目标的存在并被目标激活。所以,末敏弹就是弹道末端能够探测出装甲目标方位并使战斗部朝着目标方向爆炸的炮弹,末敏弹多采用子母弹结构,母弹内装多个子弹,母弹仅仅是载体,只有子弹才具有末端敏感的功能。

子弹事实上可以用多种载体运载,如炮弹、远程火箭、航空火箭、撒布器等,一次发射(或投射)可攻击多个不同的目标,末敏弹专门用于攻击集群坦克装甲车辆等的顶部装甲,是一种以多对多的反集群装甲目标的有效武器。末敏弹除了具有常规炮弹的间瞄射击的优点外,还能在目标区上空自动探测、识别并攻击目标,实现“打了不管”,是一种具有高效费比的灵巧炮弹,其扫描与攻击目标示意图如图 11.1、图 11.2 所示。

美国是最早开展末敏弹研究的国家,目前,除美国外,德国、法国、瑞典、俄罗斯等国在末敏弹的技术方面处于领先地位。一些国家研制的末敏弹主要性能见表 11-1。



图 11.1 末敏弹正在对目标区域作螺旋状扫描



图 11.2 末敏弹发现目标后, 攻击装甲车辆

表 11-1 末敏弹主要性能表

型 号	SADARM	BONUS	SMART155	ACED155
国 别	美 国	瑞 典	德 国	法 国
母弹直径/mm	155	155	155	155
子弹数量	2	2	2	2
子弹直径/mm	147		147	130
子弹质量/kg	12.5	6.5		
末端敏感体制	双色红外/主被动毫米波/磁	红外/毫米波	双色红外/主被动毫米波	双色红外/毫米波
战斗部威力	斜距 150 m 处引爆, 可击穿装甲目标	斜距 150 m 处引爆, 可击穿 108 mm 厚装甲	斜距 150 m 处引爆, 可击穿装甲目标	斜距 100 m 处引爆, 可击穿 100 mm 厚装甲

虽然末敏弹相对于子母弹由于具备了在一定范围内探测目标的能力, 因而其威力比子母弹提高了一大步。但是试验表明, 末敏弹传感器的探测范围有限, 而且在对运动的装甲目标攻击时, 没有改变飞行轨迹的能力, 从而使其作战效力仍然受到一定的限制。

11.1.2 末敏弹结构与组成

1. 末敏弹结构组成

末敏弹由母弹和药筒组成。母弹由弹体、时间引信、抛射结构和抛射药、分离装置、敏



感子弹等组成。末敏弹系统组成如图 11.3 所示。

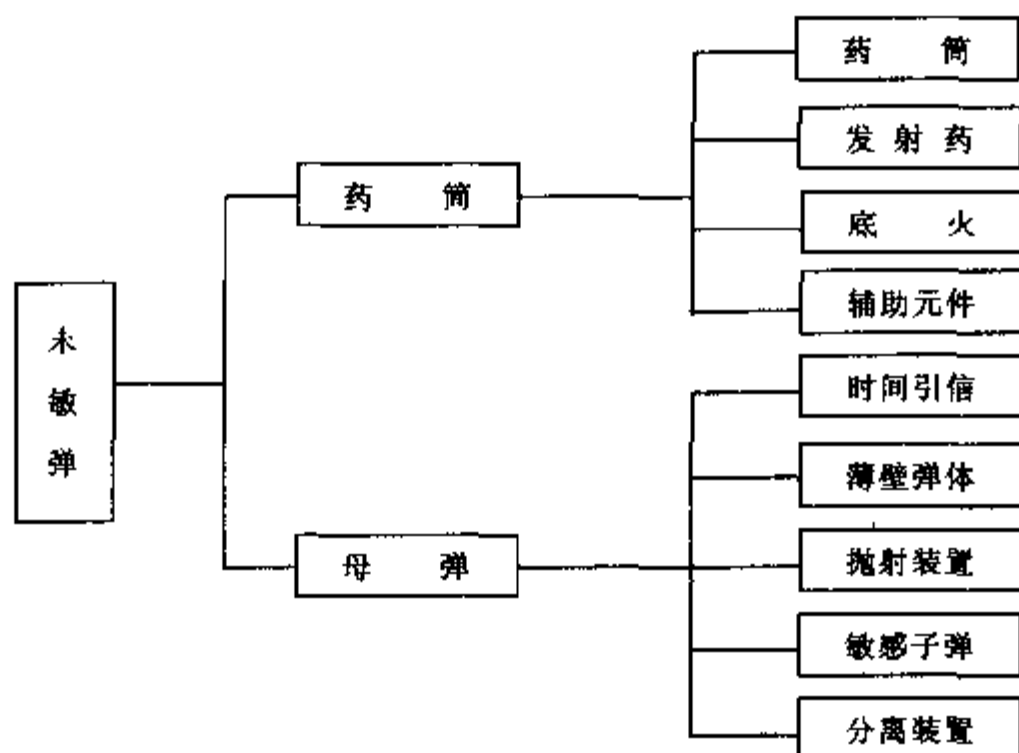


图 11.3 末敏弹系统组成框图

敏感子弹由 EFP 战斗部、中央控制器、复合敏感器系统、减速减旋与稳态扫描系统、电源、子弹壳体等组成。EFP 战斗部由 EFP 战斗部装药、起爆装置、保险机构、自毁机构等组成，主要完成对目标的最终毁伤功能；中央控制器由火力决策处理器、驱动舱、控制舱等组成，具有火力决策、信号处理、数据采集、电源管理、驱动控制等功能；复合敏感器系统主要作用是探测目标，其敏感体制主要是由毫米波雷达、毫米波辐射计和双色红外探测器单独或者组合而成。如美国“萨达姆”末敏子弹的复合敏感器系统由毫米波雷达、毫米波辐射计、红外成像敏感器、磁力计组成。减速减旋与稳态扫描系统由充压式空气充气减速器和涡旋式旋转伞组成，其中稳态扫描装置的作用是使敏感子弹药在降落过程达到预定的稳态扫描状态。

2. 几种典型的末敏弹

(1) 德国 SMART 155 mm 末敏弹

德国 SMART 155 mm 末敏弹可以说是当今最先进的炮射末敏弹（如图 11.4 所示），它是德国的智能弹药系统公司（GIWS）从 1989 年开始为德国 PZH2000 155 mm 自行火炮研制的，1994 年进行了该弹的首次实弹射击以试验其薄壁结构，其弹体壁厚只有普通炮弹的 $1/4 \sim 1/3$ 。这样做的目的是使母弹的有效载荷空间最大，同时也使 EFP 战斗部药型罩的直径最大。

SMART 末敏弹敏感装置采用了三个不同的信号通道，即红外探测器、94 GHz 毫米波雷达和毫米波辐射计，从而使它具有较强的抗干扰能力，能适应战场环境，即使由于环境条件（如大气条件）使敏感器某个通道不能正常工作，SMART 也可以根据其他两通道的信号识



图 11.4 SMART 母弹和带阻力伞的末敏弹

别目标。例如，在地面有雾的情况下，红外探测器很难接收到目标的红外辐射信号，但毫米波在雾中可以照常工作，各路探测器接收的信号由弹上的信息处理器利用统计计算的方法进行综合分析和处理，以降低虚警率。

SMART 在结构设计上使毫米波雷达和毫米波辐射计共用一个天线，而且天线与 EFP 战斗部的药型罩融为一体。这种结构不仅为天线提供了一个合适孔径，而且还不需要添加机械旋转装置，较好地利用了空间，其减速减旋与稳态扫描装置由阻力伞、三个减旋翼和旋转降落伞组成。在战斗部设计中，SMART 使用高密度的钽作为药型罩的材料，这样，在 155 mm 炮弹内部空间有限的条件下，尽可能的提高了 EFP 战斗部的穿透能力，使形成的侵彻体的长细比接近 5，侵彻体的穿透力

与使用铜质药型罩时相比提高了 35%。

(2) 瑞典、法国联合研制的“博尼斯”155 mm 末敏弹

瑞典的博福斯公司和法国的地面武器集团联合研制的“博尼斯”155 mm 的末敏弹，是一种采用底部排气装置的远程弹药，在用 52 倍口径火炮发射时射程为 34 km，其结构示意图如图 11.5 所示。“博尼斯”末敏弹主要有底排装置、敏感装置、战斗部、抛撒装置、反碰撞装置、安全引爆装置和引信组成。与其他末敏弹相比，“博尼斯”在设计上也有一定的特色，

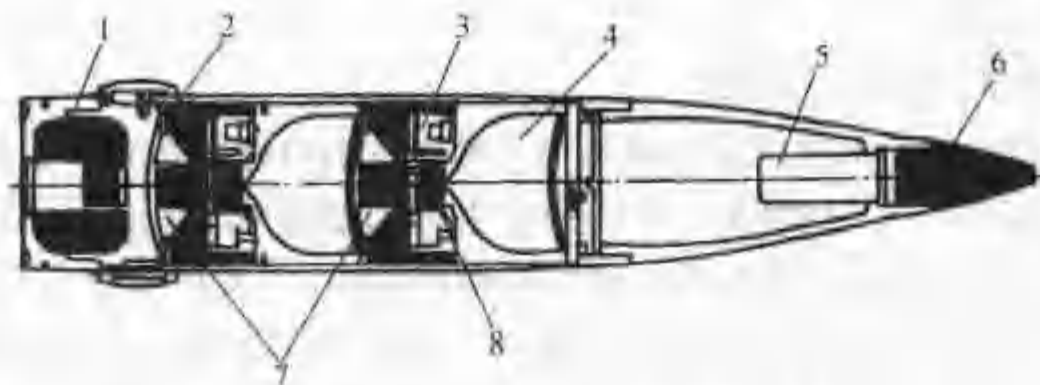


图 11.5 155 mm “博尼斯”末敏弹示意图

1—底排装置；2—母体弹；3—敏感器装置；4—战斗部；
5—抛撒装置；6—引信；7—反碰撞装置；8—安全引爆装置



它的稳定装置没有阻力伞而是用了一个由两片旋弧翼组成的圆盘。子弹被抛出后，位于子弹一侧的圆形红外传感器张开并被锁定在固定的位置上，与此同时，在传感器对称的一侧的稳定圆盘也张开了，从而使子弹在下降的过程中达到相对的稳定状态，由于没有用阻力伞，子弹下降的速度比较快，减少了被敌方干扰的机会，同时，风对子弹的影响也减小了。

与 SMART 相比，“博尼斯”的敏感装置比较简单，它只采用了一个多波段的被动式红外线探测器，而没有使用比较复杂的复合敏感装置，因此它的目标识别率相对而言是比较低的。“博尼斯”战斗部采用金属钽药型罩，在爆炸载荷下形成高速 EFP，可在 150 m 外侵彻坦克顶甲目标。

(3) 美国 M898 式“萨达姆”155 mm 末敏弹

“萨达姆”(SADARM，如图 11.6 所示)从 20 世纪 60 年代初开始研制，其结构特点和 SMART 差不多，敏感装置是复合型的，它由一个红外探测器、一个主动式毫米波探测器和一个被动式毫米波探测器组成；减速减旋与稳态扫描装置使用冲压式空气充气减速器和涡旋式旋转伞，以 10 m/s 的落速和 4 r/s 的转速进行稳态扫描；战斗部也是钽 EFP 战斗部，可以实现 150 m 距离击穿装甲目标。

另外，“萨达姆”末敏弹还可用于 227 mm 多管火箭系统，但子弹的直径稍大一些（用于多管火箭时，子弹的直径是 175.6 mm；用于 155 mm 火炮时，子弹的直径是 147.3 mm）。因此，子弹的重量也约有不同。而且，用于多管火箭系统时，每发火箭弹中含有 6 枚末敏弹。



图 11.6 美国“萨达姆”末敏弹

11.1.3 末敏弹作用原理

1. 敏感器作用原理

末敏弹使用的敏感器主要有毫米波雷达、毫米波辐射计、红外成像探测器以及磁力计等，其工作原理，可用被动毫米波探测目标为例来说明。广义地讲，任何一个物体都是一个辐射源，在一定温度下物体都要发射电磁波。被动毫米波属于无源被动探测，它是根据目标与背景之间的热对比度来识别目标的。众所周知，金属目标和地面背景均以各种频率向外界辐射能量，而其辐射能量的大小将由其发射率而定。各种物体的发射率见表 11-2，可见，金属目标和地面背景的辐射特性有着明显的差别。

表 11-2 各种物体的发射率 E

物 体	范 围	平均值
金 属	0	0
水	0.3~0.34	0.320
混凝土	0.75~0.80	0.775
草 地	0.90~0.97	0.935
雪 地	0.90~0.97	0.935
湿土壤	0.68~0.70	0.690

当毫米波敏感器进行无源探测时,接收到的辐射能量信号将与天线的亮度温度成正比,天线的亮度温度 T_A 可用下式表出

$$T_A = (T_G A_G + T_T A_T) / A_A \quad (11-1)$$

式中, T_G 、 T_T ——分别为地面背景和金属目标的视在温度,见表 11-3;

A_G 、 A_T ——分别为天线场景内地面背景的面积和金属目标的面积;

A_A ——为天线场景的全面积(即 $A_A = A_G + A_T$)。

表 11-3 几种典型背景的视在温度

K

天空	金属	水	混凝土	沥青	裸露土地	草	茂密植物
65	90	150	225	240	265	275	280

由此可知,当天线波束全被目标充满时,天线的亮度温度等于目标的视在温度,即 $T_A = T_T$;同理,当天线波束全被背景充满时,天线的亮度温度等于背景的视在温度,即 $T_A = T_G$ 。而 T_T 和 T_G 可用下式表出:

$$T_T = E_t T_t + (1 - E_t) T_z \quad (11-2)$$

$$T_G = E_g T_g + (1 - E_g) T_z \quad (11-3)$$

式中, E_t 、 E_g ——金属目标和地面背景的发射率;

T_t 、 T_g 和 T_z ——金属表面、地面背景和天空的温度。

由几种典型的背景和金属目标的视在温度可知,一般常见背景相当于热目标,而金属相当于冷目标,两者的视在温度差可达 100 K 以上。因此,从地面常见背景中探测出金属目标是不难实现的。

实际上,由于目标对天线波束的填充系数小于 1,因而发现目标时的天线亮度温度的对比度为

$$\Delta T_A = T_A - T_G \quad (11-4)$$

式中, T_A ——天线波束内含有目标时的天线亮度温度;

T_G ——地面背景的天线亮度温度。



由于金属目标（如坦克）的辐射性能可近似视为均匀的，而天线的瓣轴线增益最高，因此当天线依次扫过目标时，天线所接收的信号波形如图 11.7 所示。波形最低点对应于天线主瓣轴线扫过目标中心的瞬间。在动态扫描条件下，通过信号波形即可确定天线主瓣轴线在扫描方向上越过目标中心的时间，由此可以给出确定目标位置的依据。

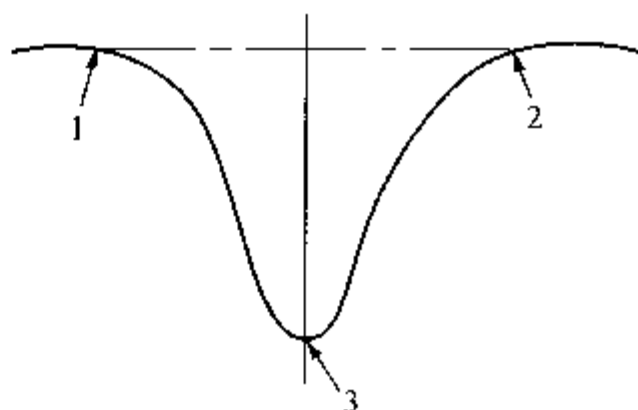


图 11.7 典型的信号波形

1—开始扫到目标；2—已完全离开目标；

3—波束中心到达目标中心

2. 末敏弹作用过程

末敏弹的作用过程是这样的：装有敏感子弹药的母弹由火炮或火箭发射后按预定弹道以无控的方式飞向目标，在目标区域上空的预定高度，

时间引信作用，点燃抛射药，将敏感子弹从弹体尾部抛出，敏感子弹被抛出后，靠减速和减旋装置（一般是阻力伞和翼片）达到预定的稳定状态。在子弹的降落过程中，弹上的扫描装置对地面做螺旋状扫描，弹上还有距离敏感装置，当它测出预定的距地面的斜距时，即解除引爆机构的保险。随着子弹的下降，旋转扫描的范围越来越小，一旦敏感装置在其视场范围内发现目标时，弹上信号处理器就发出一个起爆信号，战斗部爆炸后，瞬时形成高速飞行（2 000~3 000 m/s）的 EFP 去攻击装甲目标；如果敏感装置没有探测到目标，子弹便在着地时自毁。

现以 155 mm “萨达姆”末敏弹为例，具体介绍末敏弹的作用过程，如图 11.8、图 11.9 所示：

① 末敏弹由制式 155 mm 榴弹炮发射，其火炮射击诸元与引信装定诸元的操作，与发射普通无控弹丸相同；

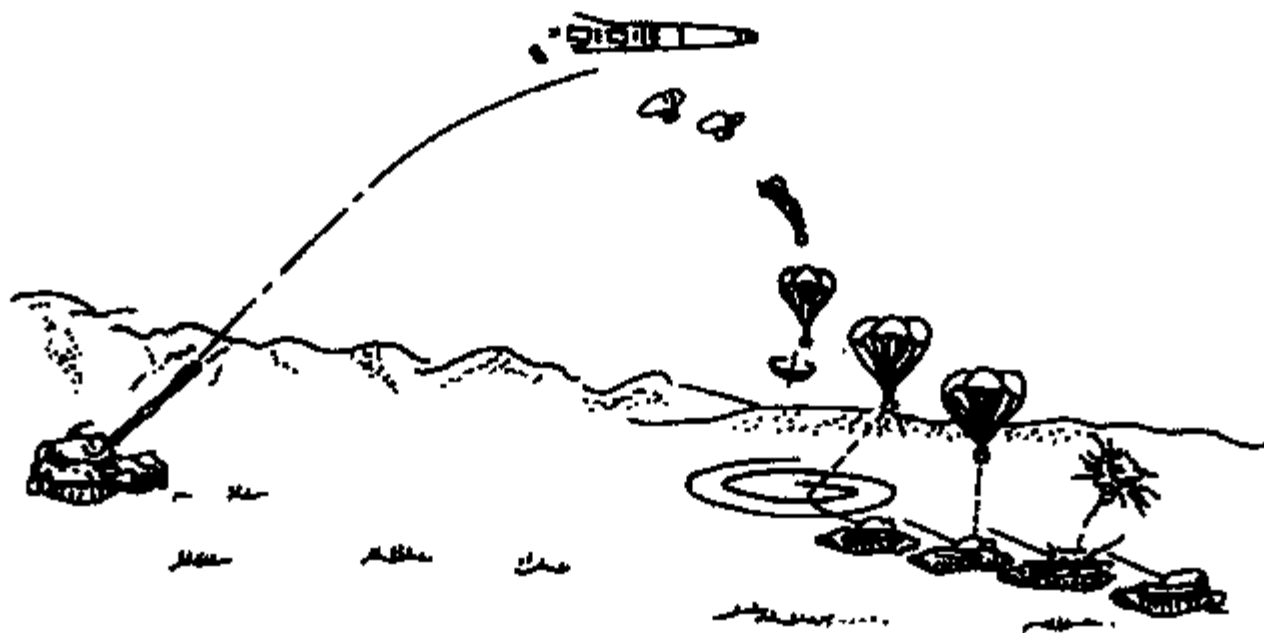


图 11.8 末敏弹作用过程示意图

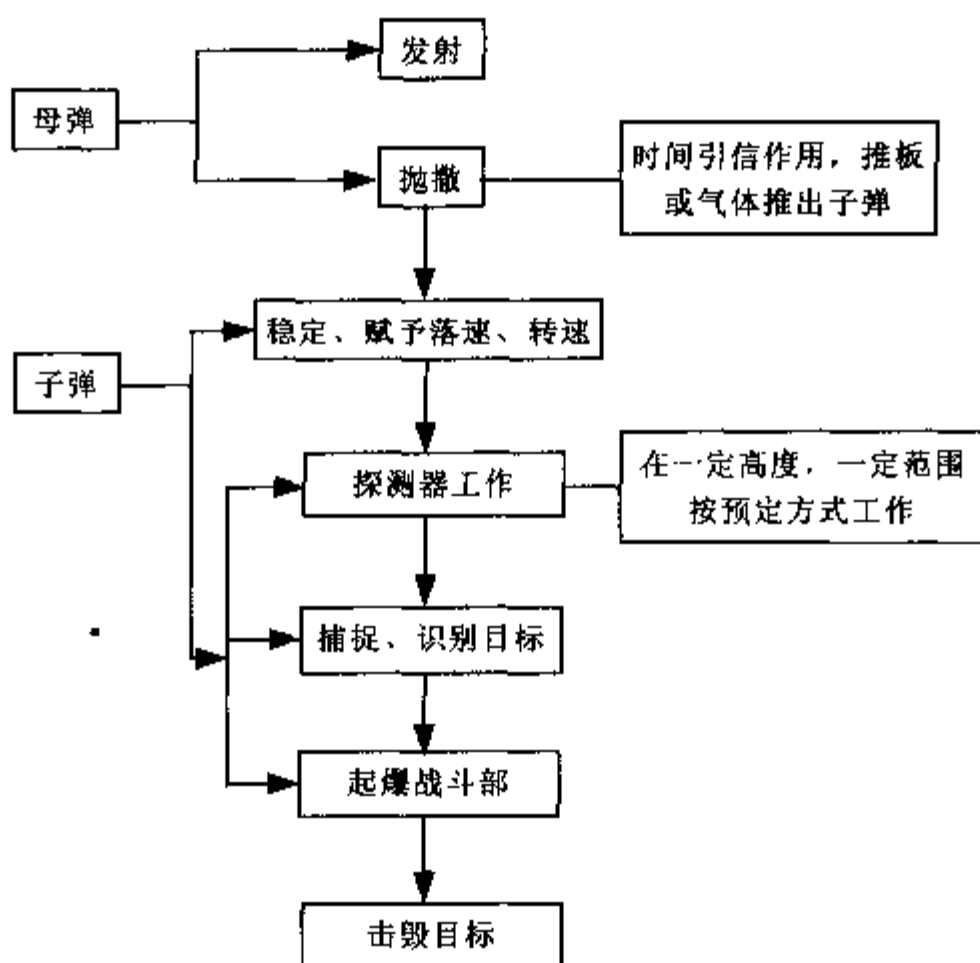


图 11.9 末敏弹作用过程框图

② 末敏弹经无控弹道飞抵目标上空后, 时间引信作用, 启动抛射装置, 打开底螺, 向后依次抛出两枚子弹;

③ 子弹抛出后, “空气充气减速器”被充气, 形成扁球形, 对子弹起减速、减旋、定向、稳定的作用;

④ 与此同时, 启动热电池工作, 当热电池达到规定值时开始对电子系统(含微处理器、多模传感器、中央控制器等电器部件)充电启动;

⑤ 当子弹以大着角下落并在中央控制器的控制下, 毫米波雷达开始第一期测距, 测定子弹到地面的距离;

⑥ 当测定结果达到预定高度时, 在中央控制器的控制下, 子弹抛去“冲压式空气充气减速器”后, 涡旋式旋转伞在气动力的作用下展开并开始工作, 带动子弹旋转;

⑦ 在子弹圆柱体外侧, 在中央控制器的控制下打开红外探测器窗口并锁定到位, 同时启动“红外焦面阵列”开始致冷;

⑧ 在旋转伞带动子弹稳态降落过程中, 在中央控制器的控制下, 毫米波雷达进行第二期测距;

⑨ 在第二期测距过程中, 中央控制器中火力决策处理器启动“前期措施”, 完成对目标探测数据采集准备工作。此时, 子弹已进入稳态扫描, 但子弹高度仍大于威力有效作用高度; 火力决策处理器根据各传感器提供的数据, 调整探测门限, 以抑制假目标和外界干扰, 获得



最大的探测概率;

⑩ 子弹再下落一段距离后,各传感器在火力决策处理器的统一指令下,进行工作扫描,此时子弹已经进入了威力有效高度,在中央控制器的控制下发火装置解除最后一道保险;

⑪ 对目标的探测,采用相邻的两次扫描后判定的方式,即第一次扫过目标后,向火力决策处理器报告目标和信息;第二次扫过目标时把目标敏感数据与处理器为特定目标设定的特征值进行比较,再作最终判定;

⑫ 第二次扫描结果,如确认是目标,与此同时还判定目标已进入子弹的威力窗口内时,由火力决策处理器下达指令起爆战斗部,抛射出 EFP;

⑬ EFP 以大于 2 000 m/s 的高速射向目标,在目标来不及运动的瞬间,命中并毁伤目标;

⑭ 若第二次扫描结果判定为非目标时,可以改换对象,继续探测其他潜在的目标;

⑮ 如果一直未发现目标,子弹战斗部将在距离地面一定高度时自毁。

11.2 末制导炮弹

11.2.1 概述

末制导炮弹是由火炮发射,在弹道末段上实施搜索、导引、控制,使其能够直接命中目标的一种灵巧型弹药。

末制导炮弹的研制工作开始于 20 世纪 70 年代,其典型代表为美国的 155 mm “铜斑蛇”半主动激光末制导反装甲炮弹和前苏联 152 mm “红土地”半主动激光末制导杀伤爆破火箭增程弹。由于在作战时需使用外部激光器照射目标,使用不便,因此,从 20 世纪 80 年代初开始,各国相继开始研制“打了不管”的第二代末制导弹药,如德国采用毫米波制导的 155 mm “伊夫拉姆”(EPHRAM)反装甲制导炮弹、英国利用毫米波制导的“灰背隼”反装甲迫击炮弹、瑞典采用双色红外制导的“Strix”末制导反装甲迫击炮弹等,表 11-4 所示为一些国家研制的末制导炮弹的主要性能。

末制导炮弹主要采用榴弹炮、火箭炮和迫击炮等武器系统发射,除了具有常规炮弹的射程远、威力大和精度高的特点外,由于在弹道末段采用制导技术,能越过地形障碍命中静止或行进中的坦克、装甲车辆、舰艇以及掩体、工事等目标,是一种集常规炮弹的初始精度和末制导于一体的经济型、具有首发命中概率高的精确制导弹药。

末制导炮弹与其他制导武器相比,可以利用现代火炮发射,无需附加地面设备,借助于火炮较高的射击密集度可以降低自身搜索目标的难度。但是由于采用火炮发射,其制导系统需要承受高过载且需满足小型化的要求。与末敏弹相比,由于有制导系统,它具有更高的命中精度和对付活动目标的能力,但其制导系统相对末敏弹的敏感器复杂得多。末制导炮弹系统与战术导弹相比,只是在末段弹道实施制导。因此,末制导炮弹既具有与战术导弹相同的



表 11-4 末制导炮弹主要性能表

型 号	ASP	CGSP	XMR21	EPHRAM	CLAMP	Strix	BOSS
国 别	美国	美国	北约	德国	以色列	瑞典	瑞典
弹径/mm	155	155	155	155	155	155	155
弹长/mm		869	900				
弹丸质量/kg		40.82	45			51	
末制导方式	红外/毫米波	双色红外	毫米波或红外/毫米波	红外/毫米波	激光半主动	红外	毫米波
搜索范围/m ²		10 000		10 000			
战斗部类型	串联空心装药	空心装药	串联空心装药	空心装药	空心装药	空心装药	空心装药
最大射程/km		22	24	24	24	30	

射击精度，又比战术导弹结构简单、成本低。

末制导炮弹的这些特点，使常规炮弹的精度有了质的飞跃，已使其成为现代炮兵重要的组成部分，具有广阔的发展应用背景。

11.2.2 末制导炮弹结构与组成

1. 末制导炮弹的组成

末制导炮弹由发射药筒（或药包）和制导炮弹组成，其中发射药筒的结构与作用和普通炮弹相同，在此不再赘述。在发射时装有不同的发射装药便可得到不同的攻击范围。制导炮弹部分一般由下述几部分组成：

- ① 弹体结构：由弹身和前、后翼面连接组成的整体；
- ② 导引舱：由导引头部件、整流罩、馈线、传感器等组成；
- ③ 电子舱：由自动驾驶仪、信号处理器、时间程序机构、滚转角速率传感器等组成；
- ④ 控制舱：由机械类零件，如舵机、热电池、气瓶、减压阀等组成；
- ⑤ 弹药助推段：包括引信、战斗部、助推发动机、闭气减旋弹带、底座等。

末制导炮弹发射后开始阶段与普通炮弹相同，首先沿曲线弹道飞行，当末制导炮弹进入制导段瞬间，导引头就立即获取目标信息，经信号变换、处理、辨识和选择，得出目标的坐标和运动参数，然后与弹丸运动参数比较，形成导引指令，传输给控制系统，最终通过舵机带动舵面来控制末制导炮弹的飞行，使它命中预选的目标。对于带有助推装置的末制导炮弹，则还有助推增程飞行阶段。

2. 末制导炮弹的结构与作用

下面以美国 155 mm “铜斑蛇”末制导炮弹为例来说明末制导炮弹的结构与作用。



美国 155 mm “铜斑蛇”末制导炮弹是一种精密制导的反坦克炮弹，该弹用于 155 mm 榴弹炮，可首发命中远距离活动目标。该弹由制导段、战斗部段和控制段三部分组成，如图 11.10 所示，图中 A 为制导段、B 为战斗部段、C 为控制段。

在“铜斑蛇”末制导炮弹的中部有 4 片弹翼呈十字形，尾部有 4 片尾翼（控制舵）亦呈十字形。弹翼是提供升力的主要部件，主要目的是提高制导炮弹的射程。尾翼是由冷气式气动舵机驱动的旋转振动舵，主要用来提供控制力以改变飞行弹道，并保证稳定作用。气动舵机的压力源是高压冷气瓶。弹翼和尾翼都是可以折叠的，发射前收入控制段弹身的缝隙内，发射出炮管后尾翼首先展开，并保证飞行稳定，在达到弹道最高点时，弹翼展开以增加滑翔距离（20%）。

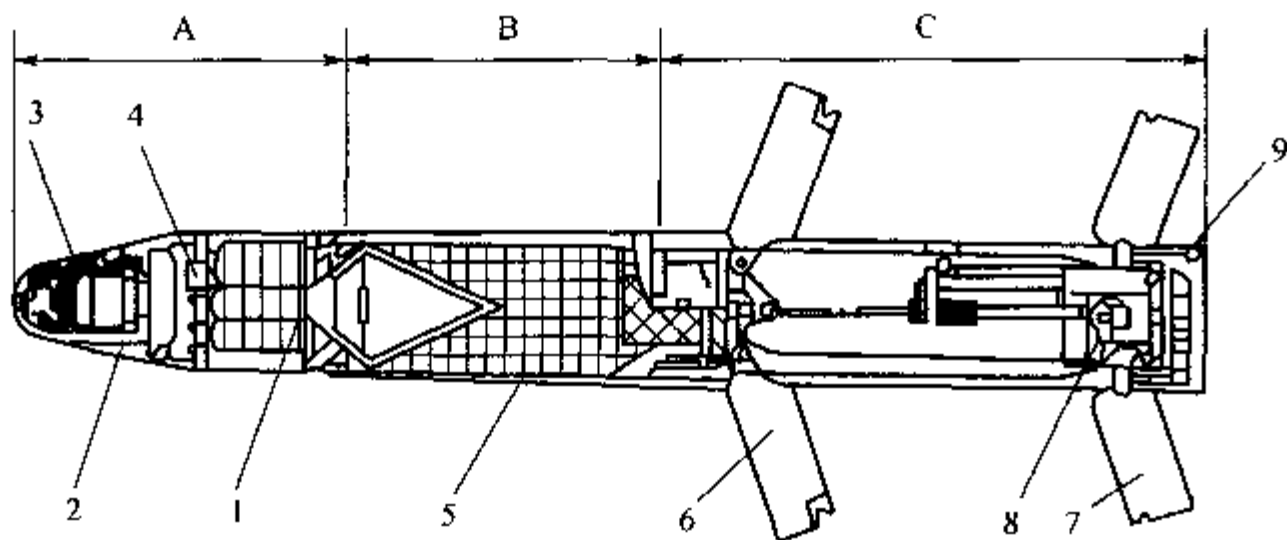


图 11.10 “铜斑蛇”炮弹结构简图

- 1—电子舱；2—导引头；3—陀螺；4—滚转速率传感器；
5—聚能装药；6—弹翼；7—尾舵；8—舵机；9—滑动闭气环

该弹弹身的长细比为 8.85，弹头为圆头锥形，有利于减小飞行时的头部阻力。激光导引头由位标器和电子舱两部分组成，在位标器中有光学系统、探测器及其前置放大器，还有陀螺及其驱动的元件。电子舱中有信息处理电路、陀螺驱动电路、解码电路和程序控制电路。位标器为陀螺—光学耦合形式，结构简单，性能良好。光学系统的主要部分和探测器均固定在弹体上，陀螺只稳定一小块反射镜。探测器均固定在光学系统的后主面上。导引头输出视线角速率信号和支架角信号。

光学系统采用单透镜，视场为 $\pm 12.5^\circ$ 。滤光片置于平行光路中，探测器是光电二极管，它与前置放大器制成一个组件。探测器位于透镜的后主点附近，稍离焦点以获得线性信号。

炮弹发射时最大加速度为 9 000 g，为了不损坏陀螺转子，采用了负载转移轴承，发射时陀螺暂时“固化”。导引头壳体上装有陀螺旋转驱动线圈、陀螺进动线圈、陀螺电锁线圈和补偿线圈 4 种线圈。旋转线圈和进动线圈配于陀螺转子上的环形磁铁，使陀螺旋转和进动



以跟踪目标。电锁线圈和补偿线圈用于输出电锁信号和导引头支架角信号。

在电子舱中装有 8 块圆片形电路板，其间用一条电缆连接。在电子舱前壁上，固定有横滚速率传感器。电路板中央留有战斗部爆炸后形成的金属破甲射流通道。

该弹采用破甲战斗部，利用聚能射流击毁目标。战斗部为圆柱形，在壳体内装有成型装药，前部有铜制药型罩，后部有引信和保险装置。控制舵为圆柱形外壳，前部设置 4 片弹翼，后部设置 4 片尾翼。舱中前部装有高压冷气瓶作为舵机的动力源，后部装有舵机和电池组。在控制舱的后部设有弹底外套滑动闭气环，用以承受发射时的火药气体压力，并起密封作用。155 mm “铜斑蛇” 末制导炮弹的主要诸元见表 11-5。

表 11-5 155 mm “铜斑蛇” 末制导炮弹主要诸元

口径/mm	155	初速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	587
全弹长/mm	1 372	全弹质量/kg	62
导引头长/mm	370	战斗部质量/kg	22.5
战斗部长/mm	390	炸药质量/kg	6.4
控制舱长/mm	612	最大加速度/g	7 185
引信型号	XM740	射程/km	4~17

11.2.3 末制导炮弹作用原理

末制导炮弹是用末段制导将弹丸引向目标的，而末制导的实现方法有主动式和半主动式两种。

1. 主动式末制导炮弹工作原理

主动式末制导炮弹是根据侦察通信指挥系统或 C⁴I 系统提供的目标位置和运动状态检查弹药、装定工作程序和发射诸元、装弹、发射。

在膛内，炮弹靠发射时的冲击作用激活工作程序用电池，工作程序开始工作。同时滑动闭气弹带密封火药燃气，降低弹体转速。

以正常式布局的末制导炮弹为例，末制导炮弹飞出炮口后，首先张开舵翼，引信解除保险，进入无控段飞行。在接近弹道顶点时，激活弹上热电池、滚转速率传感器和舵机，开始滚转控制，约在 1 s 时间内停止弹体转动，在飞过弹道顶点后，导引头解锁启动，弹翼张开，进入滑翔飞行。

在距攻击目标只有 2~3 km 时，导引头开始搜索、捕获目标，末制导炮弹按导引规律跟踪目标，控制末制导炮弹飞向目标，引爆战斗部，毁歼目标。

图 11.11 给出了主动式末制导炮弹的工作程序及弹道示意图。

图 11.12 是“灰背隼”末制导迫击炮弹及其飞行弹道示意图。它装有主动毫米波导引头，能在大多数气象条件下用来探测运动/固定目标。由主动毫米波制导系统、舵面、电子仪器、



图 11.11 主动式末制导炮弹工作程序及弹道示意图

0—发射：检查弹药，装定发射参数，装弹发射，激活工作程序电池，膛内减旋；1—飞出炮口：舵片张开，引信解除保险；2—无控段：无控弹道飞行；3—滚转控制段：激活弹上热电池，启动滚转速率传感器，启动滚转控制机构；4—滑翔飞行段：启动导引头陀螺，张开弹簧，下滑飞行；5—末制导段：脱离风帽，搜索目标，跟踪目标，俯冲目标，摧毁目标。

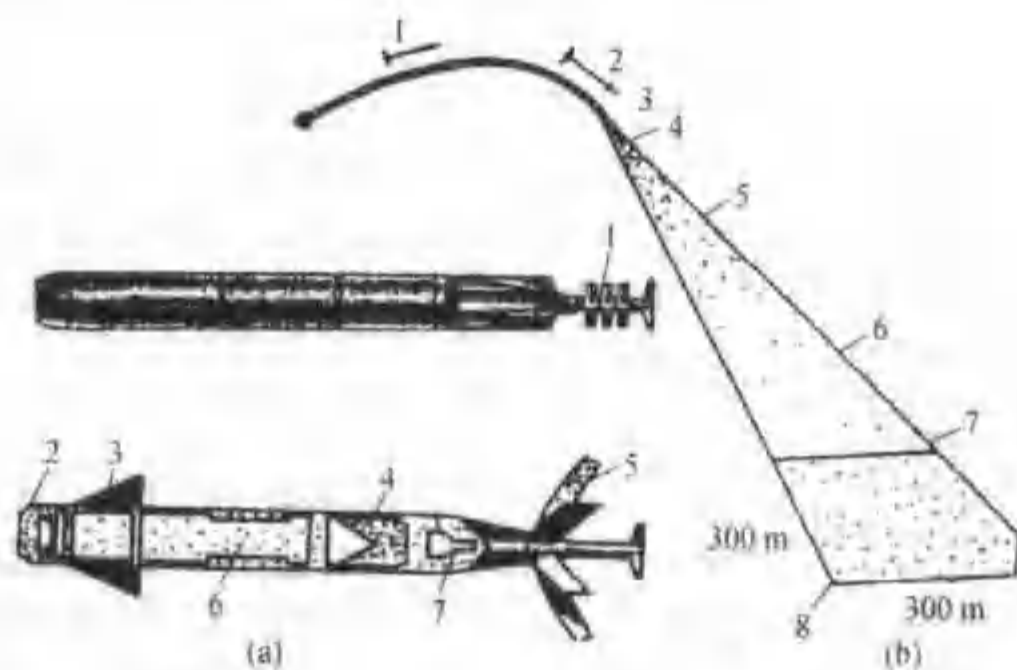


图 11.12 “灰背隼”全貌和典型弹道

(a) Merlin 迫击炮弹全貌

(b) 典型飞行弹道

1—发射药；2—导引头；3—鸭舵；4—聚能装药；
5—稳定尾翼；6—弹载电子控制设备；
7—引信、保险与解脱机构

1—展开尾翼；2—解脱引信保险；3—接通导引头；
4—弹道转弯；5—展开鸭舵；6—搜索目标；7—导向目标；
8—目标搜索区



成型装药战斗部、保险和解除保险装置及尾翼组成。其工作过程是：当末制导迫击炮弹飞出炮口后便展开尾翼，战斗部解除保险、弹出舵面，制导系统进入寻的状态。导引头扫描有效作用范围 $300\text{ m} \times 300\text{ m}$ ，在此范围内的任何装甲目标一旦被发现就被锁定，成型装药战斗部能攻击坦克和装甲目标的顶部。

2. 半主动式末制导炮弹工作原理

半主动末制导炮弹工作原理如图 11.13 所示。

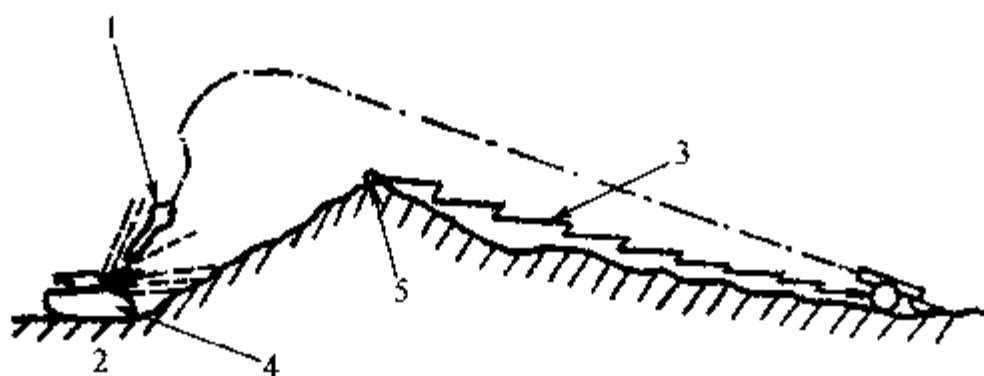


图 11.13 激光制导炮弹导引原理图

1—制导炮弹；2—目标；3—与火炮通信联络；4—反射激光；5—激光目标指示器

用激光器指示目标，而制导炮弹上的导引头则通过从目标反射回来的激光确定目标的位置，并经控制舵修正其飞行弹道，从而最终将炮弹导向目标。由于末制导炮弹上并不携带用于指示目标的激光器，故称为半主动式。目前指示目标的方法有如下几种：

1. 前沿观察员指示目标

由前沿观察员（单兵）携带激光指示器，当发现目标后照射目标，并将地形特点、目标方向和运动速度通知火炮，要求发射制导炮弹。当弹丸飞行在弹道下降段时，一般在 $10 \sim 15\text{ s}$ 之间即可击中目标，这种方法简单易行。通常用一辆吉普车，同时搭载几名警戒通信兵，在距目标 3 km 左右的位置处选择视界开阔的制高点，并隐蔽地安置激光器，它可以有效地配合处于 20 km 后方的火炮攻击坦克或装甲目标。

2. 无人驾驶飞机指示目标

无人驾驶飞机上安装激光指示器，同时装有电视摄像机、红外线监视装置等。无人驾驶飞机由后方控制车上人员远距离控制，当飞机到达目标区上空时发出激光束照射目标，由于目标指示器的光轴与电视摄像机的光轴平行，因而发现目标后即可发射制导炮弹。鉴于无人驾驶飞机的体积小，飞行速度高，不易被敌方火炮击毁，同时炮兵的指挥人员可通过电视和红外监测装置直接观察目标，因而比采用前沿观察员的方法为好。

3. 直升机指示目标

在攻击型直升机上安装激光器，同时安装光学和红外线监测装置等。因为直升机较无人驾驶飞机易于受到敌方高射火炮的攻击，所以直升机应处于敌火炮有效射程以外的上空照射



目标。

当激光指示器瞄准目标后给出信号，火炮发射炮弹。在末制导炮弹飞向目标的过程中，激光指示器不断向目标发射激光。弹上激光导引头接收到目标反射回来的激光能量后，制导装置便产生控制指令，并通过舵机使导弹的控制舵偏转，从而改变导弹飞行方向，纠正弹道，引导制导炮弹飞向目标。

图 11.14 所示为“铜斑蛇”末制导炮弹的工作过程。先由激光指示器照射目标，炮手根据激光指示器编码和目标距离，通过弹上的激光编码选取孔和定时器开关装定激光编码和定时器，然后将炮弹装入炮膛发射。利用弹体向前运动的加速度使弹上惯性开关和电源接通，开始工作，定时器启动并同时释放尾翼。此时，由于作用在尾翼上的加速度负载使尾翼仍收拢在尾翼槽内，弹上的滑动闭气带卡入膛线，炮弹与滑动闭气带之间作相对滑动，“铜斑蛇”炮弹以 20 r/s 出口转速飞出炮口，然后，在离心力的作用下打开尾翼，进入无控弹道飞行。当它飞越弹道最高点附近时，定时器将弹翼展开，转入滑翔段和末制导段飞行。

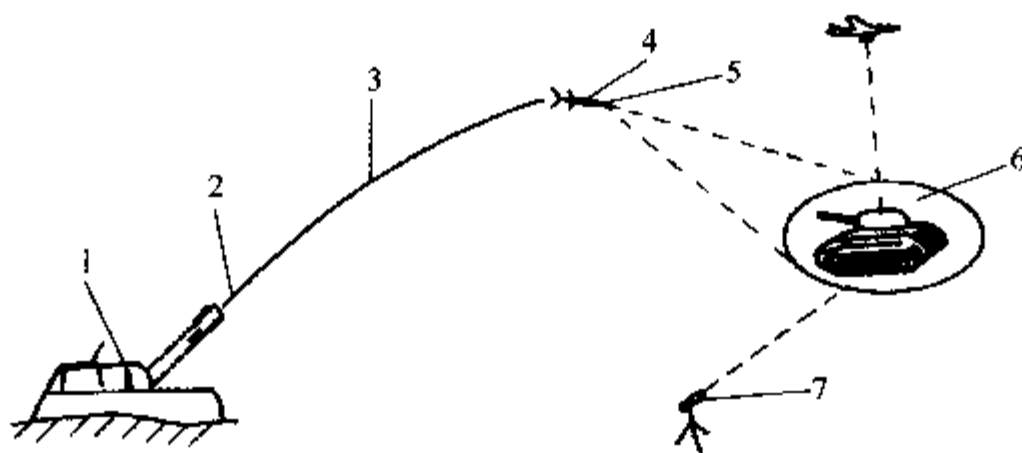


图 11.14 “铜斑蛇”末制导炮弹工作原理图

1—自行火炮；2—尾翼展开；3—无控弹道；4—开始末制导；
5—探测目标；6—目标区；7—激光指示器

在该弹进入目标区后，定时器启动激光导引头开始工作，导引头接收目标反射的激光回波，陀螺测出弹体在飞行中的偏移量，再由传感器将偏移量转换成相应的比例导引指令送给舵机，操纵尾翼，控制“铜斑蛇”末制导炮弹飞行，使其最终准确命中目标。

11.2.4 末制导炮弹的制导系统

通常，把末制导炮弹中能够克服飞行中的各种干扰因素，引导和控制炮弹根据目标的运动情况，按选定的导引规律飞向目标的全部装置和软件称为制导系统。制导系统以末制导炮弹体为控制对象，包括导引系统和控制子系统。其中，导引系统通常由弹体、目标位置运动敏感器和导引计算机组成，其功能是测量相对目标的运动偏差，按照预先设计好的导引规律，由导引计算机形成导引指令。该指令通过弹上控制系统控制末制导炮弹运动。



末制导炮弹姿态控制系统一般由姿态敏感元件、控制计算机和伺服机构组成，其主要功能是保证末制导炮弹在导引指令作用下沿着要求的弹道飞行，保证末制导炮弹的姿态稳定，不受各种干扰影响。

末制导炮弹是一种集常规炮弹与制导弹药特点于一体的新型弹药，其制导系统中的导引技术对提高弹药的性能有着重要作用。因此，下面重点介绍末制导炮弹常用的几种导引技术。

1. 激光导引技术

利用激光获得导引信息或传输导引指令，使末制导炮弹按一定导引规律飞向目标的导引方法。激光波束方向性强，波束窄，所以激光制导精度高，抗干扰能力强。它通过用激光器向目标发射激光波束之际，同时用对激光敏感的探测器敏感目标反射回来的激光束，导引末制导炮弹飞向目标。激光的波长是毫米波的千分之一，激光束的散角是毫弧度级，因而目标分辨率很高，导引终点误差可达 $0.5\sim 1.0\text{ m}$ ，能同时分别命中两个相隔仅 10 m 甚至靠得更近的目标。已装备的激光制导武器多数采用半主动制导，少数采用驾束制导。如美国的“铜斑蛇”激光半主动末制导炮弹、前苏联的“红土地”等，都是采用半主动激光制导的末制导弹药。它们在弹道末端由弹上的激光导引头自动搜索从目标反射回来的激光编码信号，经信号处理，在自动识别、跟踪并锁定目标的同时，将导引指令传输给控制系统，使末制导炮弹进入自动跟踪状态，直至与目标遭遇。

2. 毫米波导引技术

利用毫米波获得导引信息或传输导引指令，使末制导炮弹按一定导引规律飞向目标的导引技术。毫米波是波长为 $1\sim 10\text{ mm}$ 的电磁波，用于末制导炮弹的毫米波波长多为 8 mm 和 3 mm （或 2 mm ），介于微波和红外线之间。毫米波器件尺寸小，质量轻，抗干扰能力强，制导精度高，并能比较容易地实施对多目标的攻击。末制导炮弹采用毫米波导引的原因是全天候性能好，有较强的穿透云层和雾的能力；战场环境适应性好，可以在尘埃和浓烟下工作；毫米波传感器不仅能测得目标的方位，还能测得目标的距离和速度。由于末制导炮弹内的天线直径通常会被限制在 $6\sim 15\text{ cm}$ 内，传感器的尺寸同样也受到很大限制，却又要求很高的探测目标的空间分辨率（波束宽度要求小到 $0.5^\circ\sim 2^\circ$ 之间）；再加上探测坦克等目标时又呈低空下视状态，地物杂波和多径效应会产生相当大的干扰，只能通过窄波束降低这种干扰。凡此种种，都是末制导炮弹需要采用毫米波导引的主要原因。毫米波导引的主要模式有主动式、被动式和主—被动复合式。主动式即是指利用毫米波雷达截获和跟踪目标，已被多数末制导炮弹采用；被动式是指利用毫米波辐射计截获和跟踪目标；主—被动复合式是指主动式截获和早期跟踪，最后由被动式跟踪到与目标相遇，常用于远距毫米波制导武器。但毫米波的分辨率比可见光和红外光低，制导精度和隐蔽性不如红外导引；在全天候性能和作用距离上不如微波导引。

3. 红外导引技术

利用目标和背景的红外辐射能量的差异，提取目标信息并加以处理，以确定目标相对于



导引头视轴的角偏移,产生导引信号,将末制导炮弹导向所要攻击的目标。人们通常指的红外制导系统,绝大多数就是指这种被动式自动导引系统。任何物体只要它的温度高于绝对零度,都能辐射红外线,辐射能量随温度上升而迅速增加。对地面坦克目标的探测来说,最重要的是 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ (中红外) 和 $8\sim 14\ \mu\text{m}$ (远红外) 两个大气窗口。红外导引的优点是目标探测分辨率高,可获得较高的制导精度;弹上设备简单可靠,功耗少,体积小,质量小;以被动方式工作,隐蔽性能好。然而,红外制导的全天候性能和战场烟尘环境的适应性不及毫米波导引。红外导引又分红外点源导引和红外成像导引两种。

(1) 红外点源导引

红外点源导引又称红外非成像导引,其特点是把目标看成一个热点源来探测。末制导炮弹通过导引头锁定并跟踪目标的最热部分。它的工作原理是:弹上的红外导引头接收从目标辐射来的红外线。当视线与红外导引头光轴重合时,经导引头光学系统聚焦的目标像点落在以一定角速度旋转或固定的调制盘中心,不被调制;当目标偏离光轴时,像点被调制。从像点投射在调制盘上的位置,可以判断出目标偏离光轴的方位和距离,形成导引信号,控制末制导炮弹飞向目标。

(2) 红外成像导引

这是利用装在弹头的热成像仪摄取目标图像信息,用数字计算机对目标图像信息进行处理,形成导引指令来控制末制导炮弹飞行的导引方法。热成像仪的主要部件是光机扫描器件或红外焦平面阵列器件,工作波段分别为:碲镉汞 (Hg-Cd-Te) 凝视焦平面阵列器件的工作波段是 $8\sim 12\ \mu\text{m}$,利用肖特基效应的焦平面阵列硅器件的工作波段是 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 。这两个波段的大气透过率高,使末制导炮弹能在远距离内探测到目标;它也可以在发射前把目标信息存储在弹体内,发射后该弹就不断摄取目标图像信息与预先存储的目标信息比较,进行相关跟踪。红外成像导引系统主要由红外探测和成像、信息处理两部分组成。前者摄取景物的红外图像,并把二维景物图像转换为随时间变化的视频幅度信号(其时间同步基准与每个像素的时间位置有着精确的对应关系);信息处理系统识别目标,并以各种跟踪算法为基础产生出目标位置相对于摄像头光轴的误差信号。由于采用红外波段,白天、黑夜、或者目标有简单的伪装时,红外图像导引均能正常使用,不易受假目标的诱惑。同时,由于红外成像获取的信息比较丰富,因此,制导精度高。但是,红外热成像的技术难度大,成本相对较高。

4. 复合导引技术

以毫米波雷达和被动红外传感器复合导引为例,这是一种双模式寻的导引方式。毫米波雷达和红外传感器的组合形式可以是共口径的,也可以是相互分开的。红外传感器可以是成像式,也可以是非成像式;可以是单波段,也可以是双波段。这种双模式的复合导引头可以使毫米波雷达和红外传感器的性能相互补充,以最大可能对地面目标进行探测。这种复合导引系统既利用了红外传感器的高分辨率目标信息,又利用了毫米波的距离和多普勒目标特征信息。因此,可用于目标识别的信息量大为增加。例如,识别目标轮廓可利用红外成像传感



器的数据；而识别运动中的坦克则可以利用毫米波雷达进行搜索和截获，再利用红外传感器进行鉴定和攻击目标。

5. 惯性导引技术

利用惯性器件作为测量元件的导引方法称为惯性导引。惯性导引和上述4种导引的区别是，它属于自主式导引。在末制导炮弹中常被用来对弹体重力的法向分力影响进行补偿，工作在末制导炮弹的滑翔段。

11.3 弹道修正弹

11.3.1 概述

随着以微电子技术为代表的高新技术逐渐渗透和应用于军事领域，炮兵对高新技术的应用也日趋广泛。弹道修正弹就是诸多新型弹药中的低成本、高精度的炮兵常规弹药之一。

弹道修正弹（Course-Corrected Shell）是通过对目标的基准弹道与飞行中的攻击弹道进行比较后，给出有限次不连续的修正量来修正攻击弹道，以减小弹着点误差，达到提高弹丸对付高速机动飞行目标的命中精度，或提高中大口径弹丸的远程打击精度的一种低成本高精度的弹药。

所谓基准弹道，是通过系统的弹道计算机，根据目标的位置和各种已知参量，进行修正后计算出的理想弹道。弹丸在弹道中的位置，可以根据弹丸上的GPS接收器接收卫星信号，然后经过数据处理得知；也可以用地面雷达跟踪弹丸来探知弹丸某些时刻在弹道中的位置。有了准确的目标位置和弹丸在实际弹道中某些时刻的准确位置，即可推算出实际弹道与“基准弹道”之间的偏差，或者实际弹道与目标位置之间的偏差。有了这个偏差，即可指令修正模块中的执行机构按预定的要求动作，完成一次弹道修正。

由于弹道修正弹只通过不连续的、有限次控制修正弹运动来修正弹道，以消除因瞄准误差和由大气及其他使弹丸偏离目标方向的干扰因素，达到提高射击准确度的目的。因此它没有导弹那么复杂，既不需要在修正弹弹体内装有导引头、基准陀螺，也不要求装有自动驾驶仪，只需在弹上装有简单的修正指令接收传递装置和相应的执行机构。执行机构也仅仅执行不连续地有限次动作，而不需要像导弹那样长时间连续地导向目标，也无需对火炮和供弹系统进行改造。因此，弹道修正弹的成本远低于导弹。

11.3.2 弹道修正弹结构与组成

弹道修正弹的基本结构是在常规炮弹上加装弹道修正模块，由GPS或地面雷达探知飞行中的弹丸在某几个时刻的空间位置，将此位置与预先装定的“基准弹道”相比较，根据偏



差大小, 指令弹上的修正机构进行距离或方向修正。这种修正可以在全弹道上修正几次, 也可以只在弹道末端或起始端修正。

1. 修正系统

弹道修正弹的修正系统分弹上设备和弹下装置两大部分。弹上的修正部分由弹上信号接收和执行部分组成; 弹下装置包括地面或舰面上的跟踪检测分系统、弹道解算发送装置等。

弹上信号接收和执行部分由指令接收机、译码器、执行控制电子线路 (或单板机)、修正指令控制器、修正执行机构、电源等组成, 用来接收和执行由地面传送来的指令。装在有限空间内的弹上设备力求简单高效, 具有抗高过载和高动态响应的品质。

地面跟踪检测设备由跟踪检测分系统和弹道解算发送装置两部分组成。

① 跟踪检测分系统: 它是常规火控系统的发展, 由天线、主机、测距装置、随动装置、支架、电源等组成。用来跟踪获取修正弹或目标的运动参数和相对位置的弹道偏差值 (坐标), 并把它直接输入弹道解算装置进行实时处理。

② 弹道解算发送装置: 它是修正弹运动学环节的反映。在这里, 修正弹的运动参数和测试信息被输入到计算机内进行综合处理比较, 快速求出弹道修正量, 通过修正指令发射机发送给飞行中的修正弹。所以, 该装置既受修正执行机构作用的影响, 同时又影响弹道偏差的变化, 与跟踪检测分系统的工作直接相关。它由弹道解算计算机、修正指令编码器、指令信号发射机、发射天线和火控接口等组成。

若在修正弹引信内嵌有 GPS 接收机和弹道算法组件, 把对目标的预测基准弹道或弹着点在发射前编入引信中, 再与飞行中的攻击弹道进行比较, 就不需要再对火控系统进行改造。遥控指令体制的弹道修正弹修正系统组成结构层次如下, 系统工作框图如图 11.15 所示。

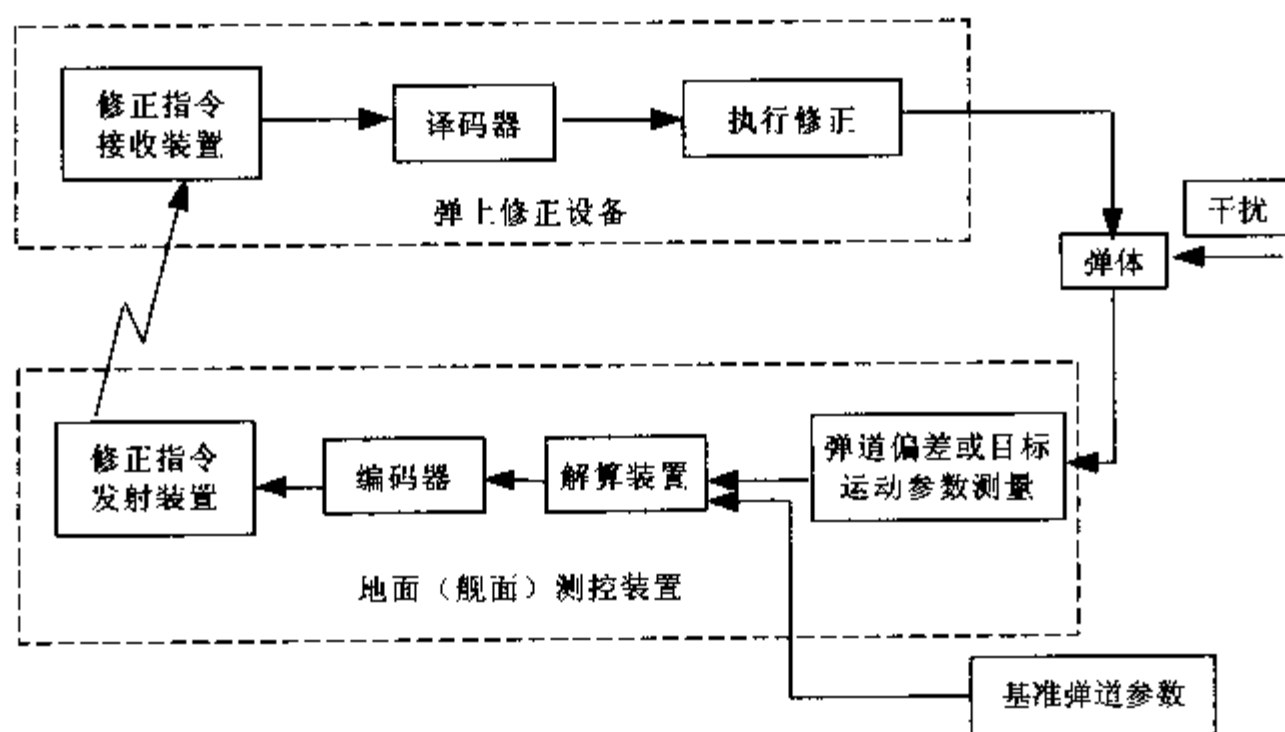


图 11.15 弹道修正弹修正系统工作框图



2. 修正执行机构

弹道修正弹的修正执行机构通常采用脉冲矢量或气动力两大技术进行修正控制。

(1) 脉冲矢量修正执行机构

脉冲矢量修正执行机构又称力型控制修正技术，它是通过在修正弹重心附近呈环状分布的横向喷流机构实现修正目的。它利用由起爆装置、药柱或燃气发生器生成的能源，经电磁阀等的控制，通过弹体侧壁开口的喷嘴喷射所产生的脉冲式推力矢量来修正弹丸的横向运动，达到修正弹丸弹道方向的目的，在修正弹飞行过程中该装置能执行多次修正。如图 11.16 所示的 4PGJC 喷气控制弹道修正弹，它在位于重心附近设置了多个弹道修正气体喷孔，气源由小型燃气发生器产生，弹底装有折叠式尾翼，用来降低修正弹的转速，指令信号接收机装在弹尾。当它接到传递来的弹道修正指令后，燃气发生器立刻在所需方位喷气产生横向推力，修正弹丸弹道。

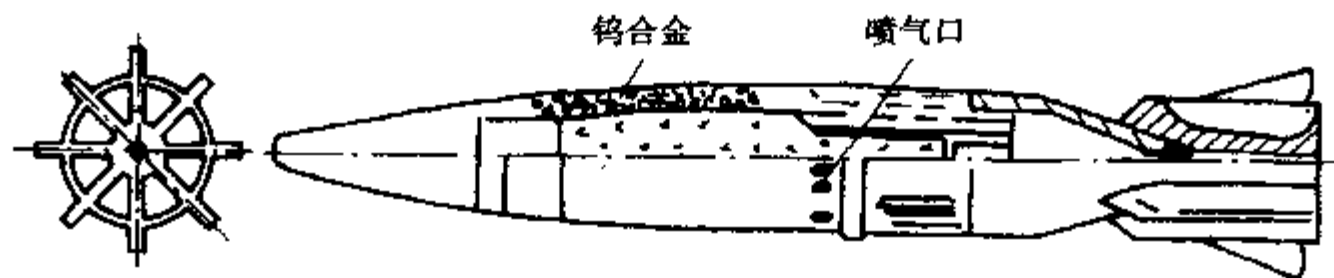


图 11.16 瑞典 4PGJC 40 mm 弹道修正弹示意简图

(2) 气动力修正执行机构

气动力修正执行机构是借助于改变气流方向，从而改变作用在修正弹上的力和力矩的活动面来实施修正弹道的技术，是被最广泛采用的传统飞行器控制手段之一。除常规的气动舵面外，弹道修正弹还可通过径向活动翼面、阻力环（板）、扰流片、活动尾裙和用来改变头部外形的风帽等气动力手段来实现对飞行弹道的修正。如瑞典研制的 BROMSA 修正弹，当地面测控系统计算出的期望弹着点所要求的减速速度指令传到修正弹上的近炸引信时，该引信就引爆少量装药，炸掉弹头上划有刻痕的卵形部顶端，以增大修正弹飞行中的头部阻力，达到减速目的，实现对弹丸弹道纵向落点的修正，使其在 17.5 km 距离上的散布不到 100 m。若传到修正弹上的指令是打开径向活动翼面或阻力环时，它们同样也是通过增大修正弹的（迎面）阻力，从而减速获得对纵向射程的调节；当控制尾裙“收/张”时，那是通过调整修正弹的底阻大小来影响弹丸飞行速度的“增/减”；而利用控制鸭式前翼面的转动可实现对修正弹飞行姿态的调正改变弹道方向，尽管相应的伺服机构等比较复杂，但它独特的优良控制效果已在弹道修正弹中开始获得应用。



11.3.3 弹道修正弹修正方法与作用原理

1. 修正方法

弹道修正弹可采用指令修正技术（含自动试射）或 GPS 技术对攻击弹道进行修正。无论采用哪种修正技术来提高命中精度，均可通过以下方法（或之一）来实现。

（1）纵向距离修正法

利用地炮弹丸的距离散布远大于方向散布的特点，在只对飞行弹丸进行纵向距离修正的同时，还保留了弹丸为减小横向散布的旋转措施。常利用改变弹丸的纵向飞行速度达到修正目的，故修正原理简单，技术难度相对较低。

（2）横向方位修正法

对付（高）机动目标的弹道修正弹，必须对横向（方位）运动进行修正。通过对弹道修正弹横向运动的修正，达到快捷改变弹道方向的目的。它适用于空射型和一切对方向散布有要求的弹道修正弹。

（3）GPS 弹道修正法

利用全球定位系统技术来提高远程弹道修正弹的命中精度时，不需要改造原有的火炮系统，发射后的修正弹通过封装在修正弹引信内的 GPS 接收机，在不超过 10~15 s 的时间内，即可经天线从卫星上获取首次三维定位数据，通过处理器算出修正弹的位置和速度数据，或它的未修正的弹着点，与基准弹道或弹着点进行比较，计算出弹道修正值，直至驱动（力型）修正执行机构动作，达到提高远程打击精度的目的。

若把用于自动试射时装有 GPS 接收机的首发弹道修正弹所获取的飞行弹道数据传回发射部队处理，进行发射修正，同样能实现提高打击精度的效果。为提高攻击远程硬目标所需精度的弹道修正模式，已有使用小型 GPS 接收机加惯性器件的简易组合趋势，更进一步提高对目标的毁伤效果。

无论采用哪种方法，都需要解决修正点位置与修正次数的选择，以及弹上设备的抗高过载和小型化等问题。

2. 作用原理

弹道修正弹按攻击目标类型分空射型和面射型两类；按发射位置又分地面和舰载武器两种。下面分别以空射型弹道修正弹和面射型弹道修正弹为例，介绍弹道修正弹的作用原理。

（1）空射型弹道修正弹

这是以目标在空中的运动参数为依据，以修正方向为主的弹道修正弹。多采用横向方位修正法，它是根据地面站计算出的弹道修正指令来控制弹道修正弹的横向运动，能快捷地修正弹道方向，命中目标。

发射后的空射型弹道修正弹除受制于按已知的弹道参数和周围气象条件预算出的弹道，



飞向预先设置的目标未来点的同时,还要受到地面或舰面上的修正指令控制,此时的探测装置正在不断地测出目标飞行参数的变化值,弹道解算装置便根据目标变化实时计算出目标飞行参数变化后的目标未来点,随即通过修正指令发射装置向修正弹发出修正指令,经装在弹尾上的信号接收机把指令传到修正弹上,驱动修正机构动作,产生侧向推力,自动修正它的弹道方向。经过若干次不连续的修正,使修正弹命中目标,如图 11.17,这是在 3P 弹的基础上发展而成的 4PGJC 式 40 mm 修正弹的弹道修正示意图。在修正弹飞行过程中,火控系统的探测装置——雷达(或激光、电视、红外跟踪系统等)不断测出目标飞行参数的变化值,火控计算机根据上述变化计算出目标飞行参数变化后的目标未来点,通过无线电发射机向该修正弹发出弹道修正指令信号,位于弹尾部的信号接收机装置在收到指令信号后,控制相应的燃气发生器喷口瞬间喷气。于是,喷气产生的推力便自动修正弹道修正弹的弹道。4PGJC 的修正速度为 15 m/s,经过 5~6 次修正,总共可使修正弹横向位移 30~50 m,但此时弹尾的弹出式尾翼已降低了修正弹的旋转速度。

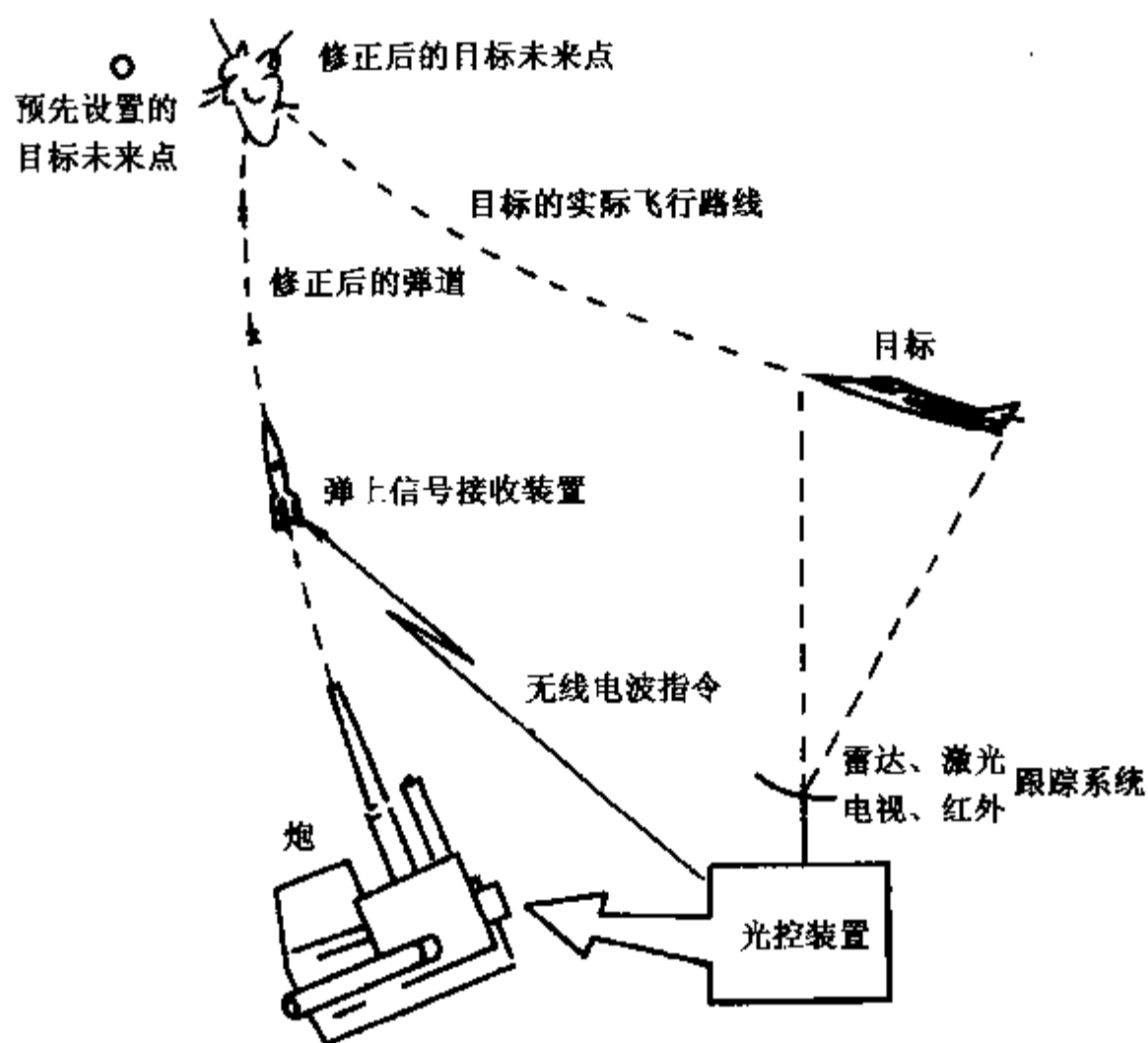


图 11.17 4PGJC 弹的弹道修正示意图

由于空射型弹道修正弹是以目标在空中的参数为依据进行方向修正,对付的是高速机动飞行目标,所以要求弹道修正响应时间要短,故多选用力型修正执行机构——横向喷流技术为主,得到快捷的方向修正能力。它们是由能产生横向力的软、硬件组成的修正执行机构。



横向推力采用脉冲式发动机原理，如上面提到的小型固体火箭发动机或带喷嘴的燃气喷流器来实现；除此以外，还有利用各种活动翼面（如鸭翼）来实现对弹道的方向修正。不管采用何种修正执行机构，要使它们能有效、可靠工作的必要条件是：一方面是降低修正弹的旋转速度，使修正弹易于有效修正；另一方面是能确定每个横向推力产生器在空间的方位，保证修正执行机构产生的脉冲矢量力与弹道修正信号具有相同方位，恰当地进行修正控制。这样，就要求对修正弹的旋转特性有清晰的了解。

（2）面射型弹道修正弹

现有的地炮火控系统都是根据假设的目标运动（运动的或静止的），推算出目标未来点，确定地炮的射击诸元，弹丸发射后按预定的弹道飞向目标。这样发射的弹丸在原理上就不可避免地要产生假设命中误差。此外，它还会随着射程的不断增长，弹道上的各种随机干扰因素如起始扰动、随机风、底排药剂燃烧不均匀等的累积效应也会越来越大，使地炮的命中精度难以满足现代战争对武器发展的需求。为此，必须对远程中、大口径地炮系统进行改造。一种采用不连续地有限次修正弹道偏差的方法——弹道修正技术就可以达到提高弹丸命中精度的目的。

图 11.18 是面射型弹道修正过程的示意图。它不同于空射型弹道修正弹以目标在空中的参数为依据进行修正，而是利用测定修正弹在空中的参数为根据的弹道修正弹药。地炮弹道修正弹的空间定位方式分地面（或舰面）探测定位和 GPS 定位两种体制。修正弹飞出炮口后不久，由地面跟踪检测分系统测出修正弹在某点的坐标及速度后，弹道解算装置立即结合射击诸元快速算出未修正弹道与基准弹道的偏差（实时偏差或落点偏差），算出修正弹运动的修正量，确定修正弹修正力的大小和方向，发出修正信号，经修正指令发射机把修正指令传给修正弹上的指令接收装置，快速启动执行机构动作，完成一次修正。这样，经过不连续的若干次修正，便可大幅度提高弹丸命中精度。

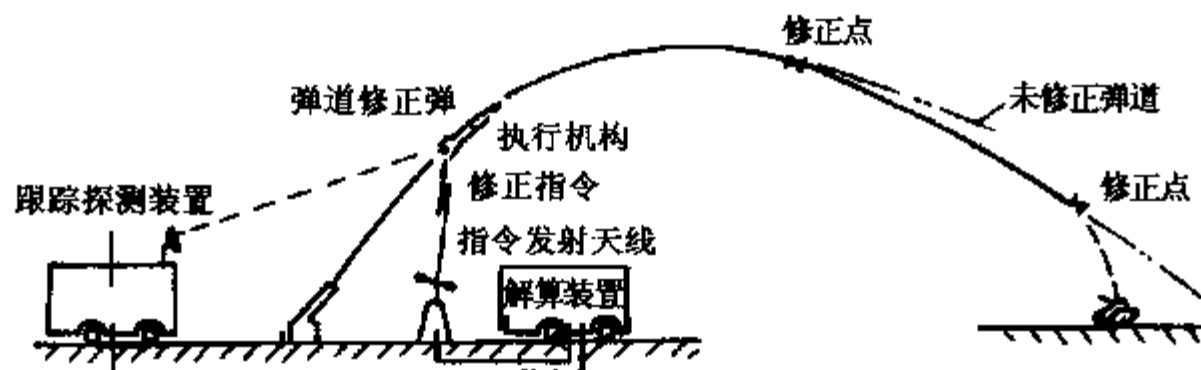


图 11.18 地炮弹道修正弹的修正过程示意图

采用 GPS 全球定位系统体制的弹道修正弹系统是通过嵌装在引信内的 GPS 接收机和处理器，把在飞行中获取的攻击弹道实时飞行数据与基准弹道数据（或弹着点）进行比较后，很快地自动算出弹道修正量（或直接把实时数据传回地面处理），启动修正装置动作，使修正弹“减/增”速度，也可以控制修正弹“或左”、“或右”地修正弹道方向，达到提高对目



标的打击精度。

由于地炮弹丸的距离散布远大于方向散布，因此对地炮弹丸改进时，可以只作纵向距离修正，对修正弹提供所需的轴向力，便能最大限度地简化执行机构，在提高地炮命中精度时，可把对弹丸本体结构的影响降到最小，是一种高效费比的技术改造措施。

11.4 智能地雷

11.4.1 概述

在未来的战争中，坦克装甲车辆和武装直升机是战场上主要的突击力量。面对大规模敌方坦克装甲车辆的进攻，能否迟滞、阻碍并有效地摧毁它们已成为地面战场胜负的关键。随着复合装甲和主动装甲防护技术迅速发展，坦克装甲车辆的防护能力不断提高，给正面攻击坦克的武器带来了巨大的困难。军用飞机的迅速发展和大量装备，向防空武器系统提出了严峻的挑战。武装直升机以超低空飞行方式进行攻击，不仅给探测带来了极大的困难，同时也使交战的时间大大缩短。对于超低空飞行的武装直升机，绝大多数的防空系统都难以对付，因此，如何对付坦克装甲车辆和高性能超低空飞行的武装直升机已成为亟待解决的问题。正是在这样的背景之下，以及高新技术在军事领域中的应用，许多灵巧弹药，智能化的常规武器应运而生，智能地雷就是其中的一个，它是一种集障碍、机动、火力于一身的新型地雷。

智能地雷又称寻的地雷，能够自动地识别目标，并在远距离上攻击目标。智能地雷的出现，改变了传统地雷的作用模式，使地雷有了探测、跟踪和主动攻击目标的能力，同时保证在最佳时机对捕获到的目标实施攻击，造成最大程度上的毁伤。智能地雷不再是静止、被动的防御武器，而是成为有自主作战能力的攻防兼备的作战武器。

根据对付目标的不同，智能地雷可分为两大类，即反坦克智能地雷和反直升机智能地雷。

1. 反坦克智能地雷

反坦克智能地雷命中率高，并且具有可选择攻击目标薄弱部位的能力，主要用于攻击敌方坦克、自行火炮、步兵战车、装甲输送车和工程车等装甲目标；其功能是可以支援和影响直接火力与间接火力作战，封锁交通要道，保护和警戒我军防线，阻碍敌人进攻速度，打乱敌军的作战计划、时间表和机动性，以及干扰战争的流动性。按照毁伤坦克部位的不同，可分为反坦克车底雷、反坦克侧甲雷和反坦克顶甲雷。

(1) 反坦克车底雷

反坦克车底雷主要用于击穿坦克或其他装甲车辆的底甲，破坏其内部设备和杀伤其乘员。反车底雷的装药结构有两种，一种是聚能装药，另一种是爆炸成型弹丸（EFP）装药，配用非触发引信，如磁、震动-磁、声-磁等。

采用聚能装药的反坦克车底雷于 20 世纪 40 年代出现，具有体积小、重量轻、威力大等



优点。美国 155 mm 榴弹炮发射的 M70/M73 式反坦克地雷是一种典型的反车底地雷，其外形为扁圆形，雷壳由塑料制成，内装 0.5 kg 塑性炸药。采用双药型罩成型装药结构，具有自毁机构，自毁时间 M70 式在 24 h 以上，M73 式在 24 h 以下。

当坦克从地雷上方通过时，磁感应引信作用，发出点火信号，点燃抛撒装药，抛掉地面上方的覆土层、碎石等物。30 μ s 后装药爆炸，药型罩形成高速爆炸成型弹丸，击穿坦克底甲，同时在车内产生大量高速飞散的破片，杀伤乘员甚至引起弹药爆炸或油料燃烧，使坦克失去战斗能力。

(2) 反坦克侧甲雷

反坦克侧甲地雷又称为路旁地雷，用于击穿坦克或其他装甲车辆的侧甲，破坏内部设备，杀伤乘员使其丧失战斗力或机动能力。通常用在不便设置反履带地雷和反车底地雷的路段及其他特定区域，用以封锁道路、隘口、登陆渡河场、城镇街区和沼泽地。

反侧甲地雷可分为配有发射筒的反侧甲地雷和配有爆炸成型弹丸的反侧甲地雷两种。有发射筒的反侧甲地雷一般配有带尾翼的战斗部，如串联战斗部、制导的聚能装药战斗部，装在高低瞄准和方位瞄准架上，利用发射筒使战斗部飞向目标，此地雷的主要代表是德国的 PARM、美国的 M66 式、英法两国研制的阿杰克斯/阿皮拉等。

EFP 战斗部的出现使反侧甲地雷不需要发射筒就可以击毁 100 m 范围内坦克的侧甲，如奥地利 ATM 路旁反坦克雷。该地雷战斗部装在圆柱—锥形壳体内，雷壳由薄钢板制成。发射时，药型罩形成 2.8 kg 重的高速爆炸成型弹丸，以 2 300 m/s 的速度射向目标，可以对付 80 mm 厚装甲，产生直径约 120 mm 的孔洞。在 50 m 处，战斗部可侵彻 90 mm 厚钢板，在 80 m 处则为 70 mm，而且战斗部在侵彻陶瓷装甲后不会破裂。

(3) 反坦克顶甲雷

反坦克顶甲雷是 20 世纪 80 年代发展起来的新型反坦克雷，典型代表如美国的 XM-93 广域地雷、法国的玛扎克 (MAZAC) 声控增程反坦克地雷。“玛扎克”声控增程反坦克地雷有效毁伤半径为 200 m，单个地雷的障碍效能相当于 60~100 枚普通地雷。该地雷内装有声音探测器、微处理器和红外线探测器。当声音探测器探测到目标并确认是敌方目标后，立即将信号传给微处理器，由微处理器计算目标的运动速度，并实施跟踪目标。当目标进入地雷半径 200 m 的杀伤范围后，地雷通过指令作用由发射装置抛向空中，在红外探测器的指引下，地雷以 50 m/s 的速度自动跟踪目标，飞向坦克，当达到坦克的上方时，地雷射出 EFP 攻击坦克顶甲，击穿坦克顶甲。

2. 反直升机智能地雷

近年来，随着武装直升机机载武器性能的提高，以及新式火控系统和微电子技术的应用，武装直升机已成为一种完整独立、具有高度机动能力和强大毁伤能力的武器系统，而且具有良好的机动性和利用地形地物隐蔽的特点，能以较高的速度在较远距离上发起猝然进攻。其典型的作战程序是：一般以 200 km/h 左右的速度在距地 15~50 m 的高度上直线飞行，接到



战斗命令后以 40~100 km/h 的速度在 3~5 m 高度掠地飞行, 隐蔽接近, 发现目标后跃起 5~10 m。一般在距目标 3 000~5 000 m 时发射反坦克导弹或火箭弹, 同一阵位最多发射 2 发, 然后迅速躲避, 转移到新的隐蔽阵位, 再行攻击新的目标。对于这样的运动目标, 现有的地面武器系统很难发现, 即使发现了火力系统往往来不及反应, 或者火力系统能够来得及反应而因其直射距离达不到无法毁歼目标。新出现的反直升机智能地雷则克服了上述的不足, 它是一种预先布置, 等待目标接近, 并且有自主探测、搜寻、识别、选择、发火的武器系统, 已成为反武装直升机的最有效的手段之一。

反直升机智能地雷配用战斗部主要为多爆炸成型弹丸战斗部 (MEFP), 战斗部起爆后, 能够向同一方向发出多个 EFP 战斗部。如美国的反直升机智能雷战斗部可以形成多达 55 个的 EFP。经实验证实, 与采用一般战斗部相比, MEFP 战斗部可大大提高智能雷命中目标的概率。

反直升机地雷 (AHM) 是 20 世纪 80 年代末期才提出来的。它是一种地面防御智能地雷, 在雷上采用先进的传感器和 EFP 等技术, 用于摧毁敌方超低空飞行的直升机, 或利用密集部署的反直升机地雷迫使敌机高飞, 从而使其暴露于其他防空武器的火力之中。反直升机地雷还能用来保护地面重要设施, 如布置在司令部、机场和武器库附近等, 使其免遭超低空飞行的武装直升机的突然袭击。

反直升机地雷使用声传感器跟踪可能的目标, 用微处理机去识别目标, 用某种 (主动的或者是被动的) 方式识别敌我, 用红外或其他传感器获取目标, 用 EFP 战斗部击毁目标。采用声传感器, 具有被动式、全天候、昼夜工作性能, 可进行非瞄准线远距离探测和识别。声传感器对直升机的识别能力可达到 95%; 对目标方位的计算精度可达 5° , 并可跟踪多个目标。战斗部大多用集束爆炸成型弹丸, 可形成多个小弹丸, 对瞄准精度降低了要求。此外, 还可利用定向大面积破片战斗部和可抛射细金属丝的战斗部来摧毁目标。

已经研制成产品的反直升机智能地雷有: 美国、英国的 AHM 反直升机地雷, 奥地利的“赫克伊尔” (HELKIR) 反直升机地雷以及保加利亚的 AHM-2000 反直升机地雷。这些反直升机地雷 (除保加利亚采用音响和压力传感器外) 均采用音响和红外复合传感器。战斗部则为: 美国和英国采用单一或多枚 EFP 战斗部, 奥地利采用杀伤爆破战斗部, 保加利亚采用预制破片战斗部。

英国艾连特 (Aliantt) 公司的 AHM 反直升机地雷具有被动音响/红外复合传感器和一个多枚 EFP 战斗部。该雷一旦布设, 则自主工作, 音响传感器开始接收有效的声音信号, 地雷可以自动地将战斗部对准声源方向, 然后启动与战斗部同轴安置的红外传感器, 一旦红外传感器探测到有效目标便引爆地雷, 27 枚爆炸成型弹丸被发射出去, 足以摧毁来袭的直升机。该地雷战斗部结合了指令控制模式, 可遥控保险与解除保险。该地雷的战术技术性能为: 地雷质量 10 kg, 直径 180 mm, 长 335 mm, 扫描范围 360° , 防御直径 200 m。对付的目标速度 0~350 km/h, 目标高度 0~100 m。

“赫克伊尔”反直升机地雷是由奥地利 Hirtenberger 公司研制, 主要用于对付距离在 150 m



以内贴近地面飞行的直升机目标,所使用的传感器为音响/红外复合传感器,当音响传感器识别到有效声音后便启动红外传感器,红外传感器与战斗部同轴安置,一旦红外传感器探测到有效目标便自动引爆定向破片杀伤战斗部,其破片能侵彻 50 m 远的 6 mm 厚的装甲钢和 150 m 远的 2 mm 厚的碳钢。该地雷主要战术技术性能为:地雷质量 43 kg,装药质量 20 kg,有效射程 5~150 m,对付的目标速度大于 250 km/h,使用温度范围 $-35^{\circ}\text{C}\sim+63^{\circ}\text{C}$ 。

AHM-2000 反直升机地雷是保加利亚科学研究院研制的反直升机地雷,已装备保加利亚陆军。该地雷可发射预制的不规则钢片或碎铁片,其作用扇面角 200 m,宽 5 m,最大射程 200 m。雷体呈长方形,长 700 mm,宽 150 mm,高 400 mm,表面呈凸状,质量 35 kg,由三角架支撑固定。这种地雷采用音响传感器和压力传感器作用,传感器的动作由预编程时间的单片机控制。超过预定时间后,地雷自动失效,并将起爆装置与装药分开。其作用原理是,首先由音响传感器探测 200 m 范围内的直升机螺旋桨产生的噪音,并锁定其频率。若噪音消失,地雷则不解除保险,并重新回到监听状态。当信号或噪音增加到一定程度时,压力传感器便起作用,使地雷解除保险,并感知直升机主旋桨下降气流产生的大气压力变化。一旦压力变化达到预定值,地雷便起爆,该雷还可遥控发射。

反直升机地雷共用了广域反坦克地雷的许多技术,先进的传感器技术,探测控制技术和 EFP 技术等。下一代的反直升机地雷不仅要有单雷作战能力,还要有协同作战能力,通过编程或遥控允许一定数量的目标进入雷场再发起攻击,以发挥雷场的更大作用。

11.4.2 智能地雷结构与组成

1. 智能地雷系统组成

为实现智能地雷的自主作战功能,一般智能地雷系统由运载布撒系统、中央控制系统、智能探测系统、随动系统、火力系统等 11 大部分组成,如图 11.19 所示。智能地雷武器系统一般布置在智能地雷场内,智能地雷场由若干个智能地雷按照战场的需要布设或布撒而成,可以由单一类型地雷组成,也可以由两种类型的智能地雷(反坦克智能地雷和反直升机地雷)组成。

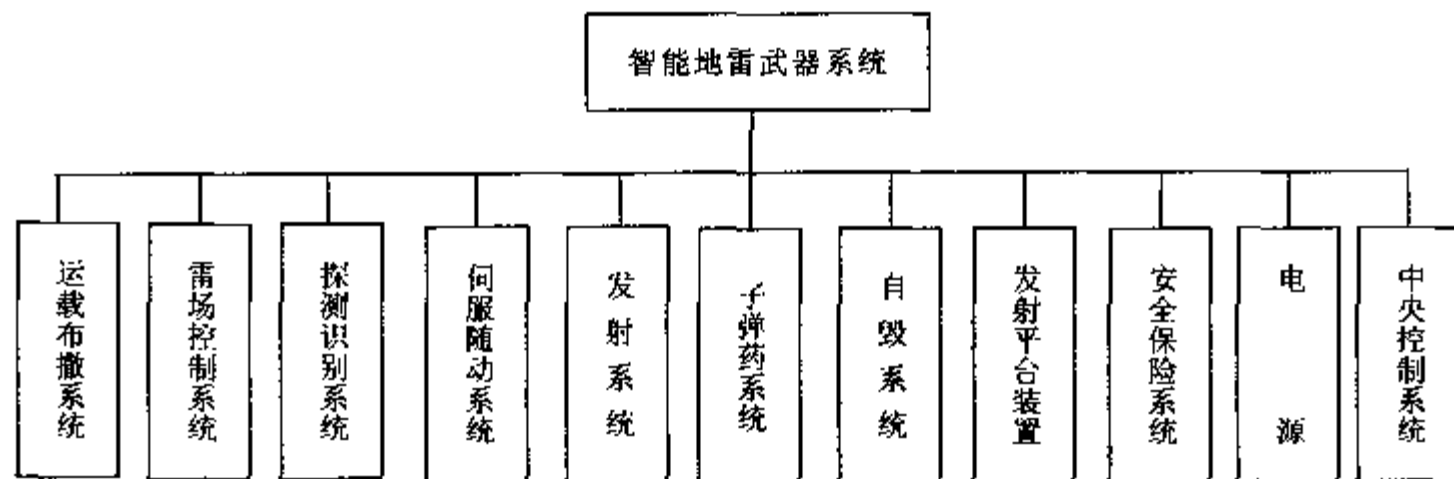


图 11.19 智能地雷武器系统框图



智能地雷武器系统的各个子系统在中央控制系统的统一指挥下相互作用,构成一个有机的统一体。各子系统的功能分别是:

(1) 运载布撒系统

根据作战技术要求,把智能地雷布设到预定地方的系统称为布撒系统。运载布撒系统可以为人工布设、车辆布设、火箭布撒和飞机布撒。

(2) 雷场综合控制系统

控制雷场内的智能地雷启动、关闭、连接作战指挥中心及雷场内的智能地雷对目标合理攻击方案的处理系统,可控制雷场中的地雷,地雷之间可互通信息,所有的地雷可联网并同步操作。

(3) 智能探测与目标识别系统

侦察、搜索、寻找、发现目标并作出早期预报信息的系统;根据信息对目标进行探测、跟踪、捕获、综合信息处理,作出真假、敌我判断的系统,要求主要传感器采用被动体制,以降低敌目标实施干扰和逃离雷场的机会。

(4) 伺服随动系统

始终使发射系统对准目标的系统。它由指挥控制和伺服随动两部分组成。

(5) 发射系统

发射战斗部或子弹药的装置,由发射器、点火控制机构及发射装药结构等部分组成。

(6) 子弹药系统

是攻击摧毁目标的弹药系统。由战斗部、敏感器、微处理器和引爆机构组成。

(7) 自毁系统

智能地雷服役期满后自动毁坏装置。分为三种状态,一是服役期满后定时自毁;二是有人人员或其他车辆接近时自毁;三是发射子弹药后发射平台自毁。

(8) 发射平台装置

支撑智能地雷的全部重量及承受发射战斗部的后坐力的平台装置,与随动机构连接,内部是一个装有各种电子部件的仓体。

(9) 安全保险系统

在智能地雷布设前,保证智能雷储存、运输、勤务处理时绝对安全的装置。

(10) 电源

是智能地雷控制系统及各种电子仪器装置工作的能源,由主用电池和备用电池组成。

(11) 中央控制系统

中央控制系统融合各子系统或功能模块的信息,控制各系统的动作,进行战术组织和火控决策。具体完成对目标运动进行滤波预测、解算命中方程、优化射击诸元、向各子系统发送控制命令、控制各子系统的动作、接受处理各子系统发出的各种信号消息,是智能探测系统、随动系统、发射控制器、自毁系统、安全保险系统及电能的最高管理系统,被人们称为



智能地雷武器系统的“大脑”。

2. 典型智能地雷结构组成

智能地雷既是一种防御性武器，又是一种进攻性武器，既可为工兵和步兵所用，又可为炮兵和航空兵所用，是各国军队的重要武器之一。20 世纪 80 年代初期，美国和英国率先开始了智能雷的研制工作，在他们的带动下，德国、法国、奥地利、保加利亚、瑞典、芬兰等国家也都研制成新型的反坦克侧甲雷，并且有些国家已步入研制反直升机广域地雷的行列，大有后来者居上之趋势。

(1) 美国 XM-93 广域地雷

这是专门用来攻击坦克顶甲的一种智能反坦克地雷，它由母雷体和末敏子雷构成，母雷体实际上是一个安装在弹簧支架上的发射器（如图 11.20）。该雷布设后展开 8 条稳定支脚和 1 个传感器阵列，传感器阵列由 3 个微声器和 1 个地雷探测器组成。当传感器阵列在 100 m 毁伤半径内探测到坦克到来后即进行跟踪，并测定坦克行进的方向和速度，由微处理机计算出坦克的运行轨迹，然后控制子弹药发射装置处于准确的发射角度，同时计算出子弹药飞行轨迹与坦克运行轨迹的交汇点，使子弹药旋转对准目标，适时点火起爆，通过 EFP 战斗部击穿坦克顶甲。该雷布设后，对目标的探测、识别、确认与击毁均自动进行，最大作用距离为 400 m，并可远距离遥控。该雷可以在 60 天内通过遥控装置控制母雷探测器的开/关状态。

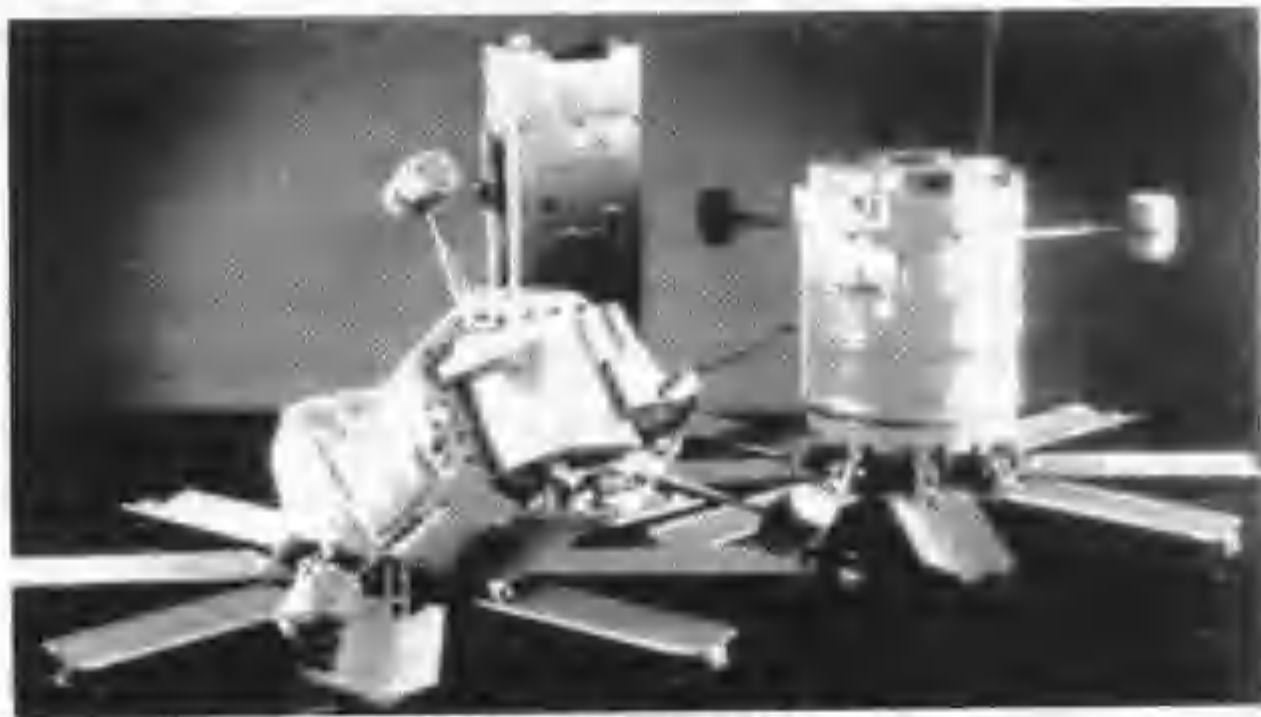


图 11.20 美国 XM-93 广域地雷

(2) 美国 AHM 反直升机地雷

该雷由传感器与战斗部、指挥与控制两大部分组成，探测与识别系统采用了高技术传感器，具有全天候工作能力，它可以通过声传感器和信号处理器探寻直升机螺旋桨叶片的独特声响，并能分辨直升机的类型，其可靠性达 90%，防御范围为半径 400 m、高度 200 m 以下的空域，战斗部的有效距离在 100 m 以上。这种智能地雷可用人工、火箭炮、陆军战术导



弹或“火山”布雷系统设置。当友方部队通过时,它可通过编程传感器关闭雷场,防止造成误伤。

如图 11.21 所示为美国 AHM 反直升机地雷发射车。



图 11.21 美国 AHM 反直升机地雷发射车

(3) 美国 ERAM 远程反装甲地雷

这种地雷为空投寻的地雷,主要用于攻击坦克顶甲,杀伤车内乘员,破坏车内设备,使坦克丧失战斗力。该雷由发射器、音响探测器、数据处理器和 2 枚带红外传感器的“斯基特”EFP 战斗部等部分组成。它的药型罩在装药起爆时,能在 100~150 ms 的时间内被爆轰波的高压锻造成高速弹丸,弹丸飞行速度约 2 750 m/s。该雷装在美空军 SUU-65/B 战术投弹箱内,离开投弹箱后自动打开降落伞,以 50 m/s 的落速下降到地面上。地雷借助冲击惯性抛掉降落伞,伸出 3 根接收目标音响的传感器天线,探寻进入其作用范围内的目标。一旦发现目标,即自动进入识别和跟踪,自动计算目标未来位置,发射器旋转至 45°沿目标拦截弹道弹射出第一个战斗部。战斗部上的红外传感器探测、跟踪目标和引爆战斗部内的炸药。炸药爆炸形成高速弹丸,攻击坦克顶部装甲。第一个战斗部发射后,发射器自动旋转 180°,对准第二个目标,准备发射第二个战斗部。

(4) 法国的“玛扎克”(Mazac)声控反坦克地雷

这也是一种自动寻的攻击坦克顶甲的智能地雷,作用半径可达 200 m,1 枚地雷的障碍面积相当于 60~100 枚普通地雷。该雷安装有音响探测器和微处理器,当音响探测器探测并分辨出坦克行驶的声音后即将信息传送给微处理器,由微处理器计算出目标的运动速度并自动跟踪。当目标距该雷 200 m 内时,地雷通过指令腾空而起直扑坦克装甲。由于地雷上装有红外探测器,故能以 50 m/s 的速度自动跟踪目标,当接近目标后即射出 EFP 攻击坦克顶甲。

(5) 英、法研制的“阿杰克斯”/“阿皮拉”路旁反坦克地雷系统

该系统为自主式远程反坦克地雷系统,设置在路旁。它由“阿杰克斯”探测/火控系统



和“阿皮拉”反坦克火箭筒—地雷两大部分组成。“阿杰克斯”探测/火控系统由音响—震动警戒传感器、被动红外寻的传感器和微处理机组成。作战时，将地雷系统放在隐蔽处，当装甲车辆接近地雷时，音响—震动警戒传感器报警，红外寻的传感器将目标的距离输入微处理机，由微处理机测定目标的方位，计算出发射地雷的提前角。当装甲车辆以 $3\sim 80\text{ km/h}$ 的行驶速度接近地雷时，地雷能在 $2\sim 200\text{ m}$ 距离内穿透 700 mm 以上厚度的装甲。

这些智能地雷一旦投放于战场，将给坦克、装甲车辆尤其是集群坦克造成严重威胁。

11.4.3 智能地雷作用原理

1. 智能地雷作用原理

智能地雷一般采用先进的红外探测器或毫米波雷达以及音响或震动传感器，并配有发射装置，能在远距离上主动攻击目标。反坦克智能雷工作过程主要分为探测、弹射、扫描、爆炸和攻顶 5 个阶段，如图 11.22 所示。其系统工作原理为：首先由布撒系统把雷体布设到预定位置，并对电子线路进行检测，装定自毁周期并解除保险。然后智能雷武器系统处于“休眠”状态，由传感器阵列探测、跟踪和识别目标。一旦目标出现，声传感器或震动传感器开始进行侦察、搜索目标，当目标特征信号达到一定强度时，由系统微处理器对信号进行分析识别（根据一定的识别算法通过软件实现），目标确认后在一定范围内，中央控制器指挥随动系统启动对目标进行跟踪，并对目标运动规律进行分析预测，然后控制智能雷发射装置处于正确的发射位置，同时进行弹道解算处理，对子弹药的攻击过程进行适当的预编程，当目标进入攻击作战有效半径内时，在最佳时刻给出点火指令，点燃发射药，发射装置将智能雷发射出去，智能雷射出后在空中摆动前进，同时雷体上携带的扫描装置以有重叠的椭圆形式扫描地面目标，一般飞行距离 100 m 左右，飞行时间约 $4\sim 5\text{ s}$ 。当智能雷位于目标上空区域

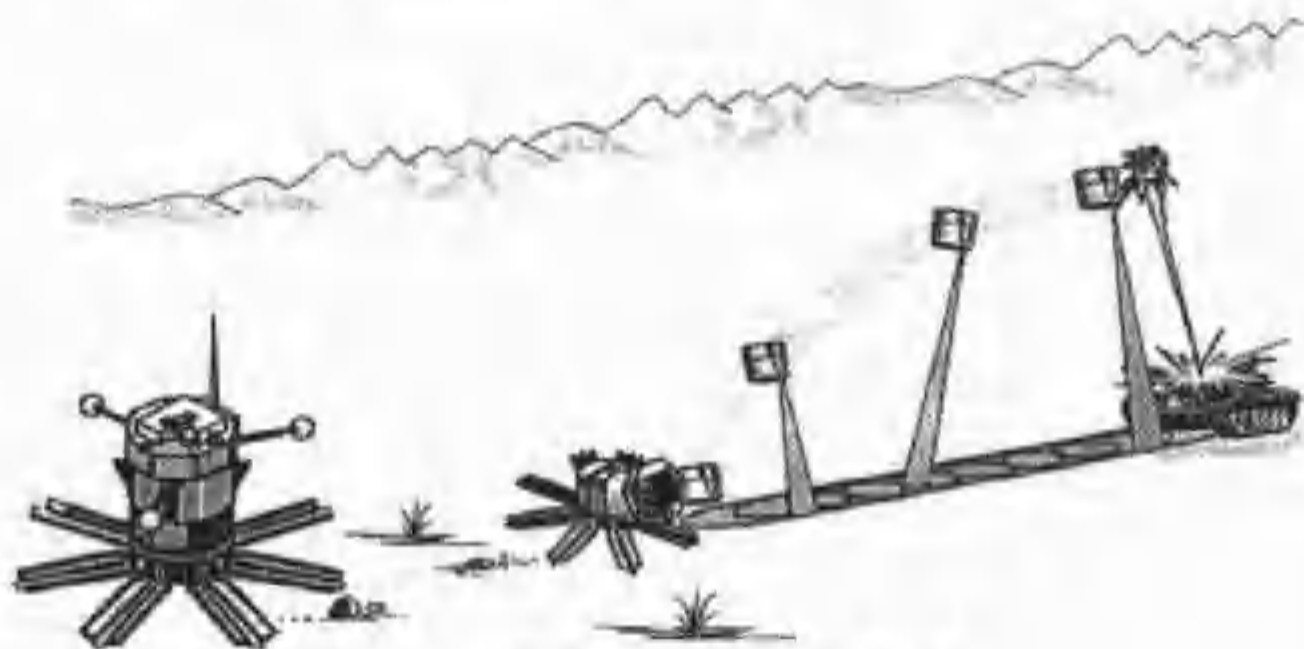


图 11.22 智能地雷武器系统工作过程



且扫描器捕获到目标时,起爆器被触发,雷体内的药型罩在炸药爆轰产物作用下形成 EFP 高速飞向目标,对捕获到的目标进行顶部攻击,使其造成最大程度的毁伤。

2. 智能地雷的使用特性

智能地雷在布设方式上与传统的地雷一样,但在战术使用上有许多不同的特点:

① 攻击范围广。智能地雷的主要传感器具有半球形覆盖范围,它通过 360° 的方位角及 $0^\circ\sim 90^\circ$ 的俯仰角的旋转来探测目标。反坦克地雷可攻击 $150\sim 200\text{ m}$ 范围内的坦克目标;反直升机地雷可攻击 $100\sim 150\text{ m}$ 范围内、距地面高度 $5\sim 150\text{ m}$ 的直升机,能摧毁悬停状态及时速高达 350 km 的直升机。

② 一定数量的智能地雷能构成一个基本的雷场。智能地雷间可互通信息,同步工作。较大型的智能地雷场也可由两个或多个基本地雷场联网构成。在雷场中有一个控制“雷”,它实际上是一个中央控制装置,可激活其他地雷,控制雷对目标没有攻击能力。智能地雷场既可由命令控制,也可自动操作。

③ 基本地雷场间可建立内部信息网。如果在特定的雷场中含有多于一个的基本雷场,则每个基本雷场间也要联网。两个基本雷场间的联网通过每个基本雷场中的控制雷的相互作用来实现。指明其中的一个控制雷为指定雷场的控制雷,然后该雷场将信息传送到其控制装置。智能雷场还可能向负责运用该地雷的部队传送情报,并由该部队控制雷场。

④ 智能地雷可攻击集群目标。当探测到目标已经进入智能地雷攻击区时,可比较目标和地雷的数量,决定作战开始实施,或者延迟至最佳数量的目标进入雷场时才发起攻击。必要时,可分批作战,让雷场中的一部分地雷投入作战,其余地雷待命,减小了多枚地雷同时攻击一个目标的可能性,以对付后面可能出现的其他机动目标。

⑤ 单个智能地雷也是独立的武器系统。智能地雷最重要的特性是其独立的攻击力和杀伤力,不需其他系统配合,便能自主地攻击目标,达到阻止或降低敌人作战能力的目的。

第 12 章 防空反导弹药

12.1 概 述

12.1.1 防空反导的重要作用

1. 防空反导在现代战争中的重要意义

海湾战争、科索沃战争和伊拉克战争的实践表明，空袭与反空袭将成为未来战争的主要模式之一，防空反导将贯穿于整个战争的全过程，并在很大程度上影响着战争的进程和结局。由于来自空中的导弹、飞机、武装直升机、无人驾驶飞行器等的威胁越来越大，可以想像，在防空反导能力薄弱的情况下作战，是很难取得战争胜利的。

由于弹道导弹、巡航导弹、各种空地导弹等精确制导弹药造成的现实威胁，使地面防空在空中作战中的地位正在上升，所以地面防空已成为反空袭的重要力量。各国把发展地面防空力量放在重要位置，即使是西欧，过去倾向于空军航空兵制胜论，以空基防空为主、地基防空为辅的防空指导思想，目前也已转向以地基防空为主、以飞机防空为辅的指导思想。

俄罗斯的防空主要依靠地面防空武器，建成了世界上配置最完善、最庞大的防空体系。美国依据自己的经济实力和技术优势，建立了高质量的地面防空体系。可见，防空反导在现代战争中有着极其重要的作用。

2. 各类弹药在防空反导中的不同作用

在当今世界，全方位多层次的防空反导体系除部分采用“软防御”手段（干扰、诱饵、隐身等技术）外，主要由高、中、低空、远、中、近及超近程防空反导武器系统组成。对高、中空目标，主要依靠对空导弹拦截；对中、低空目标，以近程对空导弹和小口径火力系统混合配备拦截；对近程、低空、超低空目标，则以小口径火力系统拦截为主。各层次防空反导武器系统虽在作战距离上有所重叠，但不能相互替代，在不同的作战距离上有着各自独特的优势。

而随着现代作战飞机隐形技术、电子对抗及红外干扰技术等飞速发展和应用，地形匹配制导导弹、低空巡航导弹的出现，飞行高度不超过 30 m 的高性能武装直升机的使用，使得敌方攻击武器容易逃避雷达监视，容易突破外层防御。而外层防御一旦被突破，因反击距离太近、反应时间太短而影响了导弹反击来袭目标的可靠性，这时便只有利用小口径火力系统反应快、抗干扰能力强、火力密度大、机动性能好的特点，对逼近的敌方各种攻击武器进行有效拦截。



因此,性能优良的小口径火力系统通常是作为多层次防空反导体系中的一道防御屏障,也是极其重要和必要的一种防御手段,在较近距离上有着导弹等其他防御方式不可替代的作用。

12.1.2 空中目标特性分析

现代战争中主要对付的空中目标有三大类,即固定翼飞机、武装直升机和精确制导弹药。

1. 固定翼飞机

固定翼飞机包括战斗机、攻击机、轰炸机及无人驾驶军用飞机等,主要用于空中格斗,截击敌机的入侵,对地面(水面)目标进行空中攻击,以及空中预警、空中侦察等特种任务。20世纪90年代后,作战飞机的飞行高度、飞行速度、隐蔽能力、攻击能力和防御能力都大幅度得到提高,并装备有先进的航空兵器和电子设备。以美军战机为例,美军的多种型号战机均能实施空中加油,其作战用途的基本要求是:全球力量,全球到达,远距离突击;其情报保障系统和导航定位系统均能满足情报保障需求,攻击系统具备全天候、远距离和精确制导的能力。

2. 武装直升机

随着技术的发展和作战理论的改变,给一些兵器创造了新的用武之地,直升机的发展证明了这一点。20世纪60年代,美国发展了世界上第一批专用的武装直升机,并在越南战争中得到了应用。之后随着新型火控技术、微电子技术的应用,武装直升机的发展日益完善,装备数量越来越多。武装直升机的主要优点是机动性和防护能力都较强,起降场地要求低,战场运用能力强,攻击型武装直升机对防空阵地、装甲部队威胁很大,是防空弹药要对付的主要目标之一。外军某些武装直升机的性能见表12-1。

表 12-1 几种武装直升机主要性能表

机 型	AH-1T	AH-64	米-24	米-28	SA-365M
国 别	美国	美国	俄罗斯	俄罗斯	法国
主旋翼直径/m	14.63	14.63	17.0	17.0	13.74
机长/m	13.87	17.76	21.5	17.0	12.07
机高/m	4.16	4.3	4.25	3.9	4.07
发动机功率/kW	2×1 074	2×1 055	2×1 620	2×1 620	2×558
最大飞行速度/(km·h ⁻¹)	272	365	330	300	296
最大爬升率/(m·s ⁻¹)	4.37	12.7	15	18	7.8
实用升限/m	5 913	6 400	4 500	6 000	6 000
作战半径/km	285	295	200	240	280
作战飞行时间/h	3.3	3.35			2.66



续表

机 型	AH-1T	AH-64	米-24	米-28	SA-365M
国 别	美国	美国	俄罗斯	俄罗斯	法国
航程/km	572	610	750	480	740
携带导弹型号	TOW	海尔法	AT-6	SA-14	HOT
携带导弹数量/枚	8	16	4~8	8~16	4~8
火箭直径/mm		70	57		70
火箭弹数量/发		76	4×32		
火炮口径/mm	20	30	23 (30)	30	20

3. 精确制导弹药

现代战场上大量涌现的各类精确制导弹药, 主要包括各类导弹和精确制导炸弹等, 其中尤以导弹种类繁多, 应用广泛, 发射平台多样, 是来自空中的主要威胁。地面防空反导系统重点要对付空地导弹、巡航导弹、反辐射导弹和战术地地导弹等目标, 这些导弹目标的速度和飞机差不多(绝大部分巡航导弹速度较小), 雷达反射面积小, 飞行高度低, 因此反导比反飞机有更大的难度。

综上所述, 以上几种空中目标具有下列基本特征:

- ① 空间特征: 作战空域大, 入侵高度和作战高度从几十米到几十千米, 目标为点目标;
- ② 运动特征: 运动速度高, 机动性好, 可以作不同方向的机动飞行;
- ③ 易损性特征: 空中目标防护能力较弱;
- ④ 目标对抗特征: 空中目标为了提高自身的生存能力, 具有一定的对抗能力, 如电子对抗、红外对抗、隐身对抗等能力。

12.2 小口径高炮弹药

小口径高炮作为一种防低空目标的防空武器, 其突出优点是射速高, 发射的弹丸密度大, 能在空中某一个区域内形成一个“弹幕”, 抗电子干扰能力强, 反应速度快等。下面介绍近年来出现的几种小口径高炮弹药的结构特点。

12.2.1 薄壁榴弹

小口径高炮榴弹一般是采取直接命中空中目标, 并要求侵入到机体内部爆炸, 利用爆破、杀伤、燃烧作用对目标进行毁伤。小口径高炮榴弹的初速高, 因此弹形呈流线型, 弹带较宽, 空气阻力小。弹体采用整体式, 因需多装炸药故其炸药药室通常为直圆柱形, 装有大威力炸药且具有一定的燃烧作用。表 12-2 所示为瑞士“厄利空”公司研制的双 35 mm 高炮榴弹与



普通 37 mm 高炮榴弹的对比。

双 35 mm 高炮榴弹是小口径高炮弹药中较为典型的一种，具有如下特点：

(1) 弹体薄，装药量大

弹丸药室为瓶形薄壁结构，采用特殊的深冲钢材经冷挤压成型而成，弹丸质量只有 550 g，而炸药质量为 112 g，装填系数达 20%。

(2) 流线外形，阻力小

弹丸外形为流线型，空气阻力小，因此，弹丸飞行时间短，可以大大提高对付活动目标的命中概率。

(3) 初速高，存速大

双 35 mm 榴弹的初速为 1 175 m/s，飞行至 1 000 m 处的时间为 0.95 s，其时存速为 950 m/s 左右，弹丸具有较大的动能，能够保证侵入目标机体内再发生爆炸。

(4) 射速高，火力猛

双 35 mm 榴弹射速为 2×550 发/min，可以在较短时间内形成密集的火网，有效对付空中目标。

另外，双 35 mm 榴弹装填的 HexalP30 炸药是一种以 RDX 为基体加铝粉及钝感物的高能炸药，其爆速为 7 500 m/s，爆热达 1 600 kJ/L，因而可获得较高的冲击波超压。但是从另一方面看，该弹弹体壁较薄，炸药威力又大，形成的破片就过细了。总之，双 35 mm 榴弹是以爆破威力为主，杀伤威力为辅，依靠较大的冲击波，对飞机产生致伤作用。

表 12-2 双 35 mm 榴弹与 37 mm 高炮榴弹对比

项 目	双 35 mm 榴弹	37 mm 高炮榴弹
口 径/mm	35	37
初 速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	1 175	855
全弹质量/g	1 580	1 500
弹丸质量/g	550	732
炸药质量/g	112	60
1 000 m 主靶密集度/($\text{m} \times \text{m}$)	0.68×0.68	1.15×1.05
射 速/(发 $\cdot \text{min}^{-1}$)	2×550	200~240
有效射高/m	3 000	2 800
有效斜距离/m	4 000	3 500
弹丸飞行时间/s (1 000 m)	0.96	1.40
弹丸飞行时间/s (2 000 m)	2.18	3.20
弹丸飞行时间/s (3 000 m)	3.80	5.60
弹丸飞行时间/s (4 000 m)	6.02	9.20
弹丸长度	5.37 d	4.54 d



12.2.2 近炸引信预制破片弹

为了提高小口径高炮弹药对空中目标（飞机、导弹）的毁伤威力，近年来人们发展了近炸引信预制破片弹，即凸底弹。预制破片均采用重金属材料（如钨合金）制成，这样可大大提高其侵彻能力，比较典型的有瑞典博福斯 40 mm 近炸引信预制破片弹，意大利 BPD 公司的 40 mm 预制破片弹，比利时 FN 40 mm L70 预制破片弹和美国的 40 mm 预制破片弹。

1. 40 mm 近炸引信凸底榴弹的特点

图 12.1 表示 40 mm 近炸引信凸底榴弹的典型结构，其主要诸元见表 12-3。

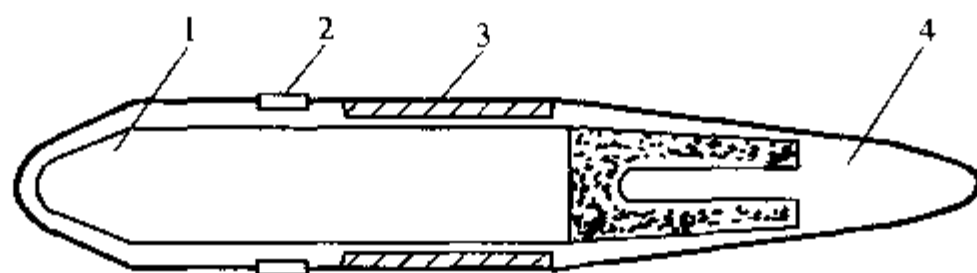


图 12.1 40mm 近炸引信凸底榴弹

1—炸药；2—弹带；3—预制破片；4—近炸引信

表 12-3 40 mm 近炸引信凸底榴弹主要诸元

初速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	1 020~1 060	弹丸质量/kg	0.895
钨球数/个	600~750	破片速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	1 700
炸药量/g	114~158 (A-IX-II, B 或奥克托今炸药)		

40 mm 近炸引信凸底榴弹具有如下特点：

(1) 采用重金属作预制破片，侵彻威力大

用重金属作预制破片，可大大提高侵彻能力。一颗直径为 3 mm 质量为 0.245 g 的钨球，对目标的贯穿能力相当于 5 g 破片的效果，这样也就可以大大提高对目标的毁伤效果。一般重金属是用塑料压铸成筒形，套在弹体的前半部分，预制破片筒的外面再加一个薄的钢套筒，以提高爆炸后破片的初速。

(2) 采用凸形底部，改善破片分布

底部为凸形，改善了破片的空间分布。一般平底榴弹底部破片均向弹后飞散，对于迎面攻击方式的战斗，这部分破片没有用上。考虑到小口径高炮在防空反导战斗中，绝大部分的作战模式为迎面攻击，将弹丸底部做成凸形，使破片的空间分布呈更加合理的形状。

图 12.2 所示为该弹在动态条件下的破片空间分布，这是考虑了弹丸速度作为牵连速度的原因。这种破片飞散方式对于迎面攻击的目标将提高命中破片的数量，从而提高其对目标的

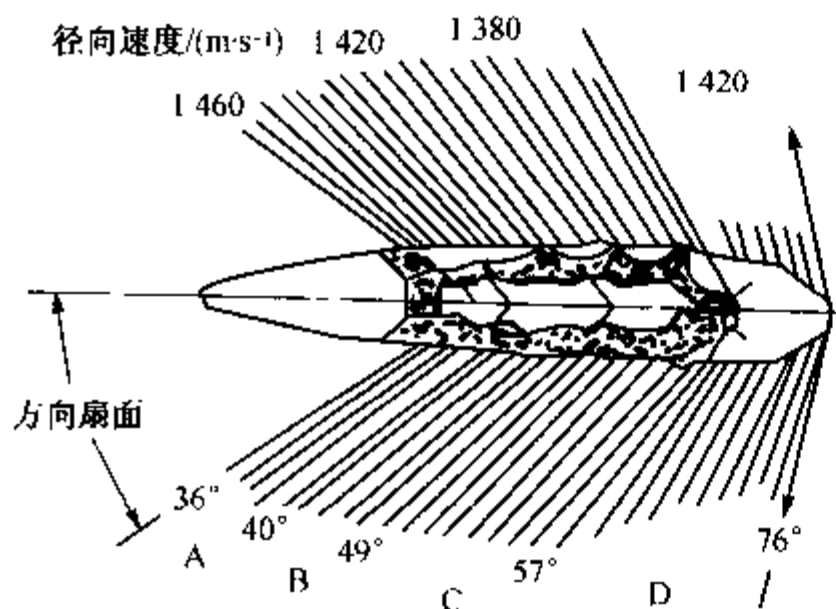


图 12.2 40 mm 预制破片弹动态条件下破片分布

毁伤概率。

(3) 采用近炸引信, 自动调节灵敏度
这种引信按多普勒原理进行工作, 具有近炸、碰炸、自毁功能, 它能根据目标离地面(或海面)的高度不同, 而自动调整其作用半径。如果需要引信起着发作用, 那么火炮的自动装弹机在装填时就闭锁其近炸作用。这种引信的抗干扰能力也较强, 可以区别目标信号与地面(海面)的杂波信号。

理论计算与试验表明, 带近炸引信的预制破片弹比不带近炸引信的普通榴弹杀

伤范围要大得多, 可以大大提高弹丸对运动目标的毁伤概率, 比较适用于防空和反导。

2. 瑞典博福斯 40 mm 3P-HV 可编程近炸引信预制破片高速弹

可编程近炸引信预制破片高速弹英文名为 **Prefragmented Programmable Proximity-fuzed High-velocity Cartridge**, 通常简称为 3P-HV 弹。该弹是博福斯公司继 MK2 式 40 mm 预制破片榴弹之后研制的又一种新型弹药, 目的是提高对付所有空中目标的杀伤效果和完成野战防空系统所要求的各种辅助战斗任务。该弹的多用途和对各种目标的适应性, 可提高武器系统的战术灵活性, 并减少后勤供应方面存在的复杂问题。

该弹重约 1 000 g, 内含直径为 3 mm 的钨合金球, 数目约为预制破片榴弹的两倍, 初速增大到 1 100 m/s。这些特性与新型低阻力弹体设计相结合, 使该弹具有较远的射程和较短的飞行时间。博福斯公司认为这样做比单纯提高火炮的射速更有价值。根据不同目标, 3P-HV 弹比 MK2 式预制破片榴弹的杀伤效果增加 25%~50%, 对付战斗一轰炸机, 单发弹的毁伤概率可达 50%左右。

射击时, 借助近炸引信编程器可为每发弹独立编程序, 编程器在火控系统和 3P-HV 弹之间起接口功能。近炸引信编程器利用自动装填机上的两个触点提供的直流电压激活引信的电子装置, 并装定引信的作用方式和其他信息: 如飞行时间、位置、距离门的持续时间, 是在输弹前以弹丸头部天线中继的高频信号形式提供给弹丸。

可编程序近炸引信有 6 种作用方式: 前两种是自动作用方式, 用于对付空中目标, 每种方式都利用来自火控系统的信息, 预测命中点。近炸引信编程器按此命中点位置装定一个距离门限, 此时弹丸只有到达这个距离门限起始点以后引信才激活。所以弹丸在到达目标区域之前, 引信是不受干扰和其他外界影响的, 这样使得传感电路的灵敏度增大, 从而可使弹丸飞到距固定飞机或直升机 8~9 m 的距离时才起爆。如果目标为导弹, 引信在一探测到目标时立即引爆弹丸。尽管如此, 与飞机交战时引信也可预先装定编程使之具有延期作用, 以便



直接命中飞机。当弹丸飞行到达引信距离门限终点时,弹丸自动起爆自毁,此时至少可额外提供一次攻击机动目标的机会;第三种是按火控系统信息预先编程具有定时功能的作用方式,用于对付隐蔽目标如树林后面悬停的直升机或在开阔地带的进攻部队,此时可在目标上方 5~10 m 处爆炸;第四种是命中后延期爆炸和自毁作用的方式,用于对付机载或陆基的轻型飞行器,以期获得高的毁伤概率。延期爆炸时间约 300 μ s,相当于一个弹丸钻入目标的时间,用这种方式引信编程自毁时间为 15 s;第五种是穿甲作用方式,用于对付地面轻型装甲目标,以及将来可能出现的超重装甲直升机。采用这种方式弹丸依靠命中硬目标时的冲击导致起爆;第六种作用方式是当无任何方式可选择或弹丸无法达到目标射程时,引信具有通常的近炸/触发功能,并在 15 s 后自毁。

3P-HV 弹用 L/70 式 40 mm 舰炮发射时,其弹道与曳光榴弹和目标训练弹相匹配。其主要诸元见表 12-4。

表 12-4 瑞典博福斯 40 mm 3P-HV 弹主要诸元

弹 径/mm	40	全弹重/g	2 800
最大射程/m	6 000 (对付飞机)	弹丸重/g	1 000
最大射程/m	3 000 (对付导弹)	初 速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	~1 100
引 信	多功能(可程序控制)引信	威 力	杀伤效果比 MK2 式预制破片弹提高 25%~50%
装填物及重量	奥克托今炸药, 0.14 kg; 1 000 个以上钨合金球, 每个直径 3 mm		

12.2.3 AHEAD 编程弹

1. AHEAD 编程弹概述

普通榴弹要求直接命中目标才能起到毁伤作用,而实战条件下小口径弹药的直接命中概率是相当小的。带近炸引信的预制破片弹,由于破片在弹的圆周方向上起爆后向弹轴的径向飞散,即使在有牵连速度条件下,仍无法完全集中向前方目标攻击。为解决这个问题,瑞士厄利空-康特拉夫斯公司成功研制出一种全新概念的 35 mm AHEAD 弹药(“AHEAD”是 Advanced Hit Efficiency And Destruction 的缩写,表示“先进的有效命中和摧毁”弹药的意思,同时也表示超前拦截的意思),这是一种集束定向式预制破片弹,破片全部向弹丸前方抛出,利用弹丸与来袭目标的相对速度对目标进行毁伤。35 mm AHEAD 弹药的主要诸元见表 12-5。

表 12-5 35 mm AHEAD 编程弹主要诸元

弹丸质量/kg	0.75	初 速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	1 056
口 径/mm	35	飞行时间	1 000 m 为 1.05 s, 2 000 m 为 2.34 s
注:内装预制破片(子弹)152 个,每个质量为 3.3 g 的钨合金柱			



AHEAD 弹结构本身是比较简单的,它一反弹丸依靠炸药爆炸将弹体炸成高速破片或将预制破片高速抛出的常规特点,而是在弹丸内仅装有少量抛射药,其目的是将预制破片舱打开,将其中的 152 个钨合金杀伤元素抛出。它对目标的毁伤不是靠抛射装药提供,而是利用弹丸的弹道存速与目标运动形成的高相对速度将目标摧毁。因为小口径高炮弹丸初速较高,直射距离较近,速度衰减小。例如当初速为 $1\,050\text{ m/s}$ 时,其在 $1\,000\text{ m}$ 处的存速仍有 900 m/s 以上,此时若来袭导弹的速度为 300 m/s ,则动能杀伤元撞击目标的速度将达到 $1\,200\text{ m/s}$ 以上, 3.3 g 的重金属动能杀伤元可以给来袭导弹以严重的打击。同时,由于小口径高炮武器系统射速高,火力猛。如果以 25 发为一组,通过引信的精确控制,则可以在目标运动的前方形成一个直径为 8 m 、具有 3 800 个动能杀伤元的弹幕,也就大大提高了命中目标的杀伤密度。因此,AHEAD 弹在设计上是一种完全新颖的设计思想。

AHEAD 弹之所以能完成如上所述功能,其关键在于装备了一个可编程的电子时间弹底引信。它可以迅速实现时间装定,具有极高的计时精度,可使弹丸在目标前方精确位置抛射出动能元。引信作用距离为 $70\sim 4\,600\text{ m}$,时间精度为 $1/1\,000\text{ s}$,距离精度达 1 m 。

2. AHEAD 编程弹工作原理

AHEAD 弹药的作用原理为:通过炮口装定可编程弹底时间引信控制弹丸适时开舱,抛射出呈前倾锥形分布的重金属钨破片,在目标前面形成高动能、高分布密度并带有一定纵深的破片弹幕,拦截并摧毁目标。

AHEAD 弹发射时的工作过程可分为 5 个阶段:

① 首先雷达发现和探测到来袭目标,并对目标进行跟踪;

② 雷达向火炮的火控系统发出指令;

③ 火炮发射弹丸;

④ 火炮计算机通过炮口线圈测出每发弹的炮口速度,并根据目标运动参数,对每发弹的弹底引信进行时间装定;

⑤ 弹丸出炮口后,引信上的计时装置将以 ms 为单位进行倒计时,当达到零标志时,引信作用,点燃抛射药,将动能元向前抛出。弹体采用前开舱方式,抛射药很少,对动能元起不到加速作用。152 个动能元被抛出后,向前形成一个顶角为 $10^\circ\sim 12^\circ$ 的锥形弹束。理论计算和试验都表明,动能元在离心力作用下在空中形成一个较均匀的弹幕。

因此,AHEAD 弹药作为地面防空反导的先进武器已经得到理论与试验的证实,它具有先进性、准确性、有效性和高毁伤效果,是对付导弹威胁的重要手段之一。

12.2.4 新型小口径高炮弹药

1. 易碎脱壳穿甲弹

易碎脱壳穿甲弹是一种具有穿甲弹纵向侵彻与爆破榴弹横向破坏特征的新型弹药。瑞士



厄利空公司与荷兰 NLM 及德国莱茵公司合作研制了 12.7 mm、20 mm、23 mm、25 mm、30 mm、35 mm 等一系列口径的易碎脱壳穿甲弹，已被许多国家装备。由于该弹无引信，无炸药，结构简单，命中概率高，毁伤概率大，对坚硬目标及半硬目标破坏作用强，毁伤目标需要的弹药发数少，对付导弹和武装直升机最有效。因此，该弹成为现代与未来战争中防空反导的重要高炮弹药。

易碎脱壳穿甲弹与以往的穿甲弹不同之处在于其弹芯材料特殊，当与目标作用时，不仅具有穿甲弹的纵向侵彻作用，而且具有高爆榴弹的横向破坏作用。该弹丸的弹体是一种易碎性重金属液相合金相烧结材料制成。当弹丸与多层间隔目标作用时，每穿透一层目标，都要破碎成许多碎块。在穿甲过程中，不断穿甲，不断破碎，直到新生碎块具有的动能不足以穿透间隔靶中的分层板为止。

空中目标及地面轻型装甲车辆可以被简化成多层铝合金间隔或钢板与铝合金板组成的多层间隔靶。当弹丸穿透多层间隔靶的首层板后，由于弹体材料的高易碎性，在膨胀波的作用下，破碎成许多碎块。这些碎块作为新的弹块命中间隔靶后续各层目标板，继续穿甲，并破碎成更小的弹块。在旋转作用下，形成了一个分散角约 3° 的锥形碎块束，其横向碎块质量相当弹体质量的 30%~40%，对目标的横向破坏起到相当大的作用。

锥形碎块束对目标具有 3 个效应，即穿甲效应、“寄生”效应及“协同”效应，在这 3 个效应的共同作用下，获得最佳的纵向与横向毁伤效果。穿甲效应是易碎脱壳穿甲弹纵向侵彻作用的标志，弹体材料的高密度是获得高穿甲能力的保障。在碎块束中由于碎块速度梯度的存在，当飞在前面的碎块穿过目标板并在板上穿出一个孔后，而后飞到该板的碎块直接飞过穿孔，不需要再次穿透目标板，则该碎块将不会破碎也无能量损失，这一现象就称做“寄生”效应。“寄生”效应的存在使部分碎块保存了能量，提高了碎块束整体的侵彻能力。许多碎块同时碰撞目标板产生的效应要比等数量碎块分别命中目标板产生的效果更大，这就是多重碎块的“协同”效应。“协同”效应的存在，在多层间隔目标中会产生更大的横向破坏作用。对于多层间隔目标，易碎脱壳穿甲弹终点弹道性能的杰出表现是，由于高易碎性重金属碎块的累积效果在目标结构里穿出一个大洞，在大洞周围有许多直径约 1 mm 到 3 mm 的小洞，这就扩大了该弹对目标的破坏效果。

易碎脱壳穿甲弹在穿甲过程中破碎主要取决于材料性能，但也与弹、板作用特征有关。易碎脱壳穿甲弹对付的空中与地面目标多为薄金属板，因而终点弹道性能研究的主要对象是动能弹与薄板的作用，如图 12.3 所示。

从试验可以观察到易碎穿甲弹及碎块束对薄金属板的破坏分成 3 个区：穿孔、

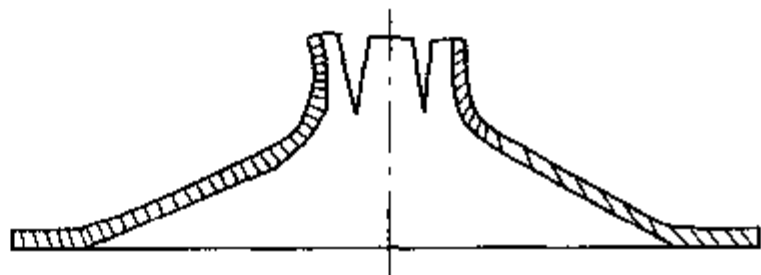


图 12.3 易碎脱壳穿甲弹在薄金属板上的穿孔



压痕及辐射状裂纹。破坏区内有大量的塑性变形及翘曲。在这种情况下,引起板产生塑性变形消耗的能量很大,这不仅使板产生破坏与形变,而且弹块也受着很大的轴向与径向力。当弹丸或弹块穿过板时,约束边界突然解除,应力释放。在这种突然加载与卸载的应力状态下,弹丸或碎块发生破裂,其规律是碰撞、穿甲、破碎,形成了大量的弹体碎块,在锥形碎块束作用下,在间隔靶中形成了相对应的锥形穿孔破坏。

总的来说,易碎脱壳穿甲弹是一种多用途的防空反导新型中小口径弹药。该弹不用炸药,不用引信,结构相当简单,安全可靠,不仅具有穿甲弹纵向侵彻作用,而且具有爆破榴弹的横向破坏作用,因此具有较大的发展前途。

2. 多用途弹

一方面由于目标的多样性,小口径弹药要完成多种功能,如杀伤、爆破、穿甲、燃烧等才能全面对付各种目标,因而出现了如前所述的榴弹、预制破片弹、穿甲弹等弹种,它们各有侧重。如榴弹的杀伤爆破能力较大而穿甲能力较小,穿甲弹则反之,穿甲能力较强而杀伤能力较小或没有。另一方面弹药的供应系统包括后勤保障、武器供弹等又要求弹药品种尽可能简单,多品种的供给有时是难以完成的。在这种思路下,人们研制出了多用途高炮弹药。

多用途弹就是一弹同时具有多种功能,如意大利奥托·梅拉拉公司研制的 76 mm MOM 多用途弹。其引信同时具有着发、近炸、延期作用,简称为“3P 弹”。弹体相对要厚一点,提高贯穿能力,弹丸质量为 6.35 kg,内装 0.75 kg 混合炸药和 1.55 kg 的几千个钨合金小立方体,其引信的装定是通过火炮装弹机构来完成的。当装定在着发作用时,弹丸在目标外部爆炸,起到外部杀伤爆破作用;当引信装定在延期作用时,弹丸侵彻到目标内部爆炸,起到内部杀伤爆破作用;当引信装定在近炸作用时,弹丸离目标一定距离爆炸,靠弹丸上的预制破片(钨合金小立方体)和弹丸本身破片毁伤目标,提高命中概率。同时其炸药内混有燃烧剂,可以起到纵火作用。所以这种多用途弹,借助于引信的改进,可以同时具有穿甲、杀伤、爆破、燃烧作用,简化了弹药的装备体制。

12.3 防空导弹战斗部

对于各类来袭的空中目标,尤其是中、高空目标,最有效的防御武器还是防空导弹,防空导弹命中精度高,射程远,威力大,是其他武器弹药无法与之相比的。导弹主要由制导舱、控制舱、战斗部舱、发动机舱组成。其战斗部一般主要由壳体、杀伤元、装药和传爆装置组成,战斗部是导弹主要部件之一,它是直接完成战斗任务的部件,而其他部件的任务只在于将战斗部准确地投送到目标区或预定目标。

防空导弹战斗部可分为核战斗部和非核常规战斗部,如图 12.4 所示,本书仅讨论非核常规战斗部。防空导弹战斗部的类型、质量及结构特性等都与目标的特性和目标的易损性直接相关。从导弹战斗部的发展来看,应用最多的是杀伤爆破型战斗部,为此导弹总希望直接命中或离目标



很近处起爆，直接利用炸药的能量对目标进行毁伤。因此一般导弹战斗部都装填高能炸药，如以黑索金为主体的混合炸药，或奥克托金炸药等。其杀伤元有自然破片、半预制破片和预制破片等。对付飞机目标的导弹战斗部也有采用连续杆式战斗部和离散杆式战斗部，以提高其对目标的毁伤能力。为了提高破片对某一个方向上的杀伤威力，又出现了定向杀伤的战斗部。由于导弹战斗部一般直径较大，发射时过载又较小，在其上面可以采用较多的先进技术，如多点逻辑网络起爆技术，各种复杂的预制或预控破片技术等，以提高战斗部对目标的毁伤效果。

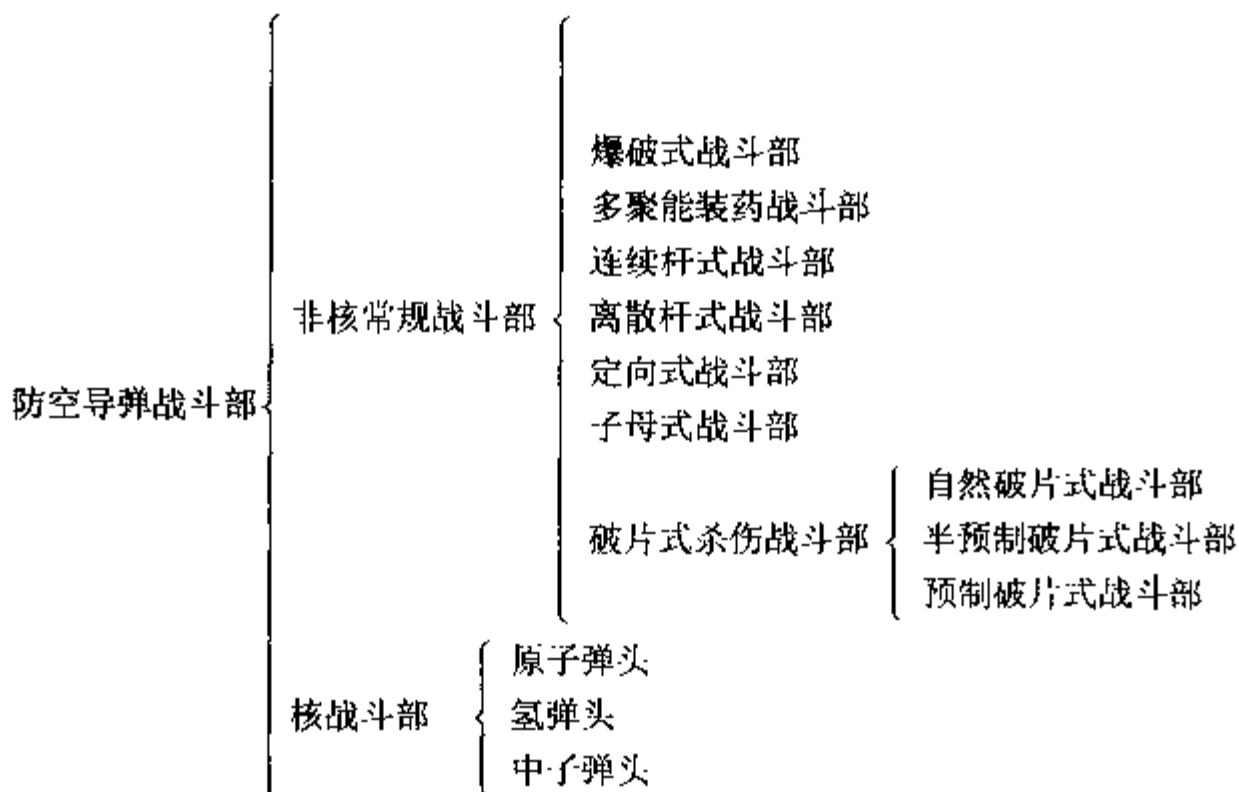


图 12.4 防空导弹战斗部分类

12.3.1 爆破式战斗部

爆破式战斗部主要靠冲击波来摧毁目标。在爆破式战斗部中装有大量的炸药，战斗部爆炸时气体的迅速膨胀产生大量的高温、高压气体，使周围介质受到强烈的冲击。

在对付空中目标（如飞机和导弹）时，战斗部爆炸后，大约有 60%~70% 的爆炸能量传递到空气中，形成空气冲击波，冲击波遇到目标时，将对目标施加巨大的压力和冲量，从而使目标遭受严重破坏。但由于这种爆炸压力和冲量的作用效果随高度的增加而急速下降，因而爆破式战斗部不适于在高空使用。一般说来，在 7 000 m 高度以下使用较为合适。

爆破式战斗部通常按对目标作用状态的不同而分为内爆式和外爆式两种。

1. 内爆式爆破战斗部

内爆式战斗部是指进入目标内部后才爆炸的爆破式战斗部，它对目标产生由内向外的爆破性破坏。按战斗部在导弹部位安排不同，又可分为如下两种：



(1) 战斗部本身就是导弹的头部

这种战斗部具有下列特点：第一，战斗部必须具有较厚的外壳，特别是头部，以保证在进入目标内部的过程中结构不致损坏；第二，战斗部应有较好的气动外形，以降低导弹飞行和穿进目标时的阻力；第三，常采用触发延时引信，以保证战斗部进入目标一定深度后再爆炸，从而提高对目标的破坏力，这种战斗部的典型结构如图 12.5 所示。

(2) 战斗部装在导弹的中段

这种战斗部设计时具有下列特点：第一，战斗部可设计成圆柱形，以充分利用导弹的空间，其直径比舱体内径略小即可（允许电缆等通过）；第二，战斗部的强度设计不仅应满足导弹发射和飞行时的受载条件，而且应能承受导弹命中目标时的冲击载荷；第三，必须采用触发延时引信，若采用瞬发性触发引信，则因战斗部与导弹尖端有一距离，而使其爆破作用大大降低，图 12.6 是这种战斗部的示意图。

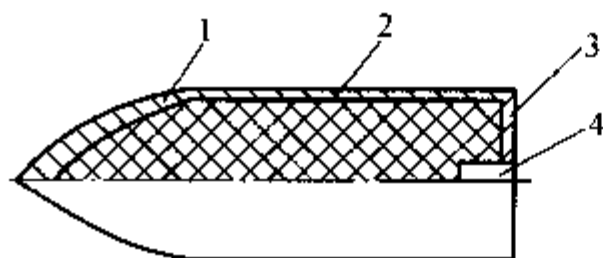


图 12.5 装于导弹头部的内爆式爆破战斗部
典型结构示意图

1—外壳；2—装药；3—后端板；4—触发延时引信

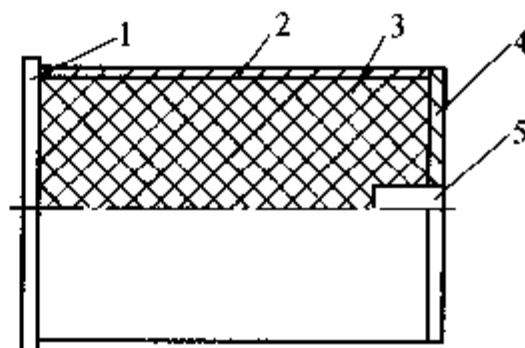


图 12.6 装于导弹中部的内爆式爆破战斗部
典型结构示意图

1—前连接杆；2—外壳；3—装药；
4—后连接杆；5—触发延时引信

2. 外爆式爆破战斗部

外爆式战斗部是指在目标附近爆炸的爆破式战斗部，它对目标产生由外向内的挤压性破坏。与内爆式相比，它对导弹的制导精度要求可以降低。当然其脱靶距离应不大于战斗部冲击波的破坏半径。外爆式战斗部的外形和结构与图 12.6 所示的战斗部相似，但有两处差别较大。第一，战斗部的强度仅需满足导弹飞行过程的受载条件，因而结构要弱得多，其壳体较薄，主要是作为装药的容器；第二，必须采用非触发引信。

12.3.2 破片式杀伤战斗部

破片式杀伤战斗部的特点是利用战斗部内高能炸药的爆炸，使金属外壳形成大量高速破片，这些破片能对目标造成多种形式的破坏。这种战斗部的结构形式有很多种，其破片形成机制也有很大的差别。通常可分为自然破片式战斗部、半预制破片式战斗部（可控破片或预控破片战斗部）和预制破片式战斗部等几类。



1. 自然破片式战斗部

这种战斗部的壳体，通常是等壁厚的圆柱形钢壳，在径向和轴向都没有预设的薄弱环节。战斗部爆炸后，所形成的破片数量和质量虽与装药的性能、装药质量与壳体质量的比值（质量比）、壳体材料的机械特性和热处理工艺以及起爆形式等有一定的关系，但总的说来，与半预制和预制破片式战斗部相比，破片数量不够稳定，破片质量散布较大，特别是破片形状很不规则，速度衰减很快。因此，在不能直接命中目标的防空导弹中，不宜采用自然破片式战斗部。但是，在某些能直接命中目标的便携式防空导弹中，却不乏使用此类战斗部的例子。例如美国的红眼睛、尾刺，前苏联的萨姆-7，这是因为在直接命中的情况下，自然破片式战斗部的主要缺点如破片速度衰减快等已不成其为缺点，或者可以忽略，而这种战斗部加工工艺简单、成本较低的优点就突出出来，这正好适应了便携式防空导弹生产批量较大的客观需要。

图 12.7 是萨姆-7 战斗部的示意图。该战斗部质量为 1.15 kg，装药量只有 0.37 kg，战斗部直径为 70 mm，长度为 104 mm。战斗部前端有球缺形结构，装药爆炸后，此球缺结构能形成速度较高的破片流，但它在破坏位于战斗部前方的导引头等弹上设备后，对目标的破坏作用已经大为减弱。此战斗部的装药质量只占战斗部总质量的 32%，从战斗部设计的一般原则看，它主要是设计成破片杀伤式，但由于是直接命中目标，其爆炸冲击波和爆炸产物能对目标造成相当大的破坏。

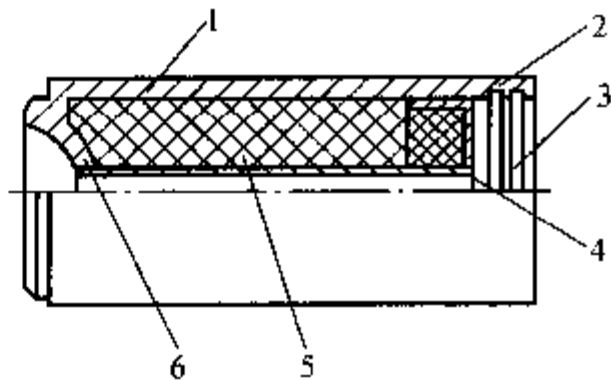


图 12.7 萨姆-7 战斗部示意图

1—壳体；2—扩爆药；3—触发引信；
4—电缆管；5—主装药；6—球缺结构

提高自然破片式战斗部威力性能的主要途径是选择优良的壳体材料，并与适当的装药量和装药性能相匹配，以增加速度和质量都符合要求的破片比例。

2. 半预制破片式战斗部

半预制破片式战斗部是破片式战斗部中应用最广泛的形式之一，也称可控破片或预控破片战斗部。它采用了各种较为有效的控制破片形状和尺寸的方法，避免产生过大和过小的破片，因而减小了壳体金属的损失，显著地改善了战斗部的杀伤性能。根据不同的半预制技术途径，可以分为刻槽式、聚能衬套式和叠环式等几种。

(1) 刻槽式破片战斗部

在一定厚度的钢板上，按规定的方向和尺寸加工出相互交叉的沟槽，沟槽之间就形成菱形、正方形、矩形或平行四边形的小块。刻槽也可以在钢板轧制时直接成形，以提高战斗部生产效率并降低成本，然后将刻好槽的钢板卷、焊成圆柱形或截锥形，即形成刻槽式破片战斗部壳体。

典型的刻槽式结构如图 12.8 所示（端盖未示出）。装药爆炸后，壳体在爆轰产物的作用

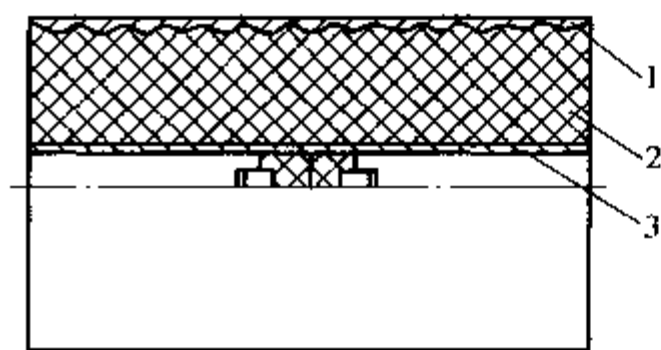


图 12.8 壳体刻槽式结构示意图

1—刻槽壳体; 2—装药; 3—中心管

下膨胀, 并按刻槽造成的薄弱环节破裂, 形成较规则的破片, 刻槽的形式可以有:

- ① 内表面刻槽;
- ② 外表面刻槽;
- ③ 内外表面刻尺寸和深度匹配的槽, 且内外一一对应;
- ④ 内外表面都刻槽, 但分别控制壳体的轴向和径向破裂。

焊接壳体的缺点是, 焊缝区域对破片的形成性能有一定影响, 使该区域的破片密度降低, 破片尺寸不一致, 容易形成连片或产生小片。这种影响的程度取决于焊缝的宽度和强度 (最好使焊缝和基本金属成等强度), 以及焊接后的回火工艺质量。焊缝情况相同时, 战斗部直径越小, 焊缝影响区就越大。由截锥台焊接并整形而成的鼓形结构, 增加了环形焊缝的影响, 使破片在飞散角内的分布出现稀疏区。试验结果证明, 纵焊缝的影响区一般在径向占 $6^{\circ} \sim 10^{\circ}$, 在影响区域内, 破片密度只有正常区域的 50%。为了克服焊缝带来的影响, 可以采用整体刻槽方式, 这种壳体是直接在适当厚度的无缝钢管上刻槽而成。由于加工工艺与钢板刨制不同, 因此形成的刻槽也不同, 如图 12.9 所示。但两者的破片性能没有大的区别。如果用钢管制造成鼓形或截锥形的壳体, 则战斗部的单枚破片质量是不相等的, 其差别取决于壳体直径之差。

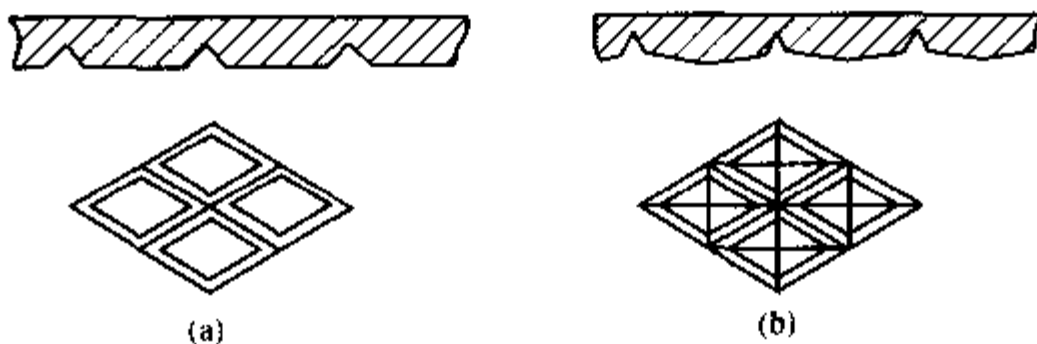


图 12.9 刻槽的局部展开图

(a) 无缝钢管内的沟槽; (b) 钢板上刨制的沟槽

根据破片数量的需要, 刻槽式战斗部的壳体可以是单层, 也可以是双层。如果是双层, 外层可以采用与内层一样的结构, 也可以在内层壳体上, 缠以刻槽的钢带, 后者很容易控制外层破片的质量, 使之与内层破片质量相同或者不同。

实践证明, 在其他条件相同的情况下, 内刻槽的破片成型性能优于外刻槽, 后者较易形成连片。刻槽方向对破片分布也有所影响, 以圆柱形结构为例, 如按平行和垂直于战斗部纵轴的方向刻槽, 则由于壳体径向膨胀的原因, 破片在轴向呈条状分布, 在径向形成空挡, 空挡的宽度随离爆点距离的增大而增大。为了克服这一缺点, 刻槽时通常都带有一定缠度。

圆柱形战斗部壳体在膨胀过程中, 最大应变产生在径向, 轴向的应变很小。因此, 刻槽



方向的设计应充分利用径向的应变作用。设计菱形破片时,最合理的形式是菱形的长对角线位于壳体轴向,短对角线位于径向,如图12.10所示。实践证明,菱形的锐角以 60° 为宜。

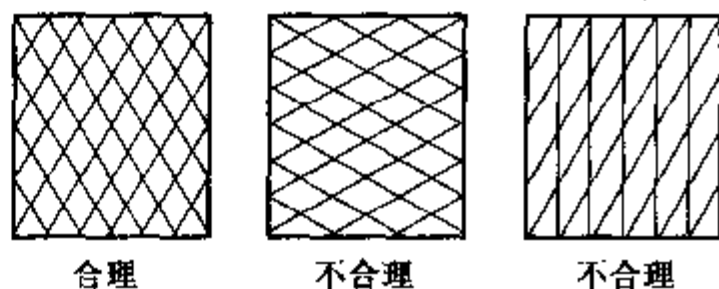


图 12.10 不同刻槽方向的展开图

刻槽的深度和角度,对破片的成型性能和质量损失有重大影响。刻槽过浅,破片容易形成连片,使破片总数减少;刻槽过深,壳体不能充分

膨胀,爆炸产物对壳体的作用时间变短,使破片速度下降。刻槽底部的形状有平底、圆弧形和锐角形,以锐角形底效果最好。刻槽的深度和角度对剪切撕裂的行程和方向有影响,因而也对破片的质量损失有影响。破片质量损失要小而速度要高,这是矛盾的。这需要在刻槽方式上进行折中,比较适宜的刻槽深度为壳体壁厚的 $30\%\sim 40\%$,常用的刻槽底部锐角为 45° 和 60° 。

刻槽式战斗部应选用韧性钢材而不宜用脆性钢材做壳体,因为后者不利于破片的正常剪切成型,而容易形成较多的碎片。

(2) 聚能衬套式破片战斗部

聚能衬套式破片战斗部如图12.11所示。战斗部的外壳是无缝钢管,衬套由塑料或硅橡胶制成,其上带有特定尺寸的楔形槽,衬套与外壳的内壁紧密相贴。用注装法装药后,装药表面就形成楔形槽。装药爆炸时,楔形槽产生聚能效应,把壳体切割成近似六角形的破片。

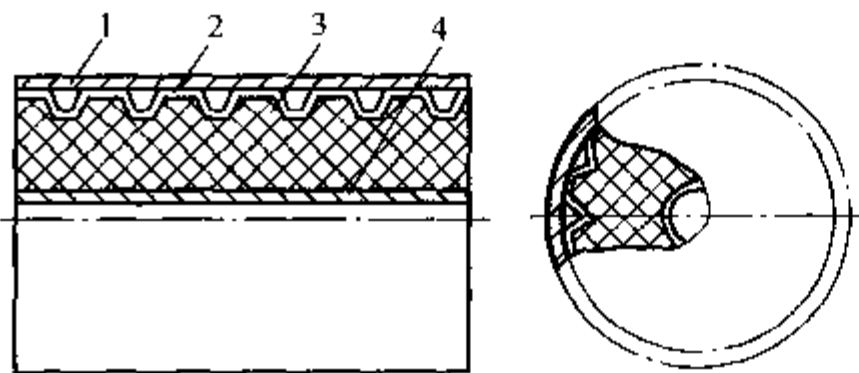


图 12.11 聚能衬套式破片战斗部示意图

1—外壳;2—塑料聚能衬套;3—装药;4—中心管

衬套通常采用厚度约为 0.25 mm 的醋酸纤维薄板模压制成,它应有一定的耐热性,以保证在装药过程中不变形。楔形槽的尺寸由战斗部外壳的厚度和破片的理论质量来确定。由于衬套和楔形槽占去了部分容积,使装药量减少;同时,聚能效应的切割作用使壳体基本未经膨胀就形成破片,所以与尺寸相同而无聚能衬套的战斗部相比,破片速度稍低。

聚能槽式破片战斗部的最大优点是生产工艺非常简单,成本低廉,对大批量生产是非常有利的。但由于结构的限制,它较宜用于小型战斗部,大型战斗部还是以刻槽式为好。

(3) 叠环式破片战斗部

战斗部壳体由钢环叠加而成,环与环之间点焊,以形成整体,通常在圆周上均匀分布三个焊点,整个壳体的焊点形成三条等间隔的螺旋线,如图12.12所示(连接结构未示出)。装药爆炸后,钢环径向膨胀并断裂成长度不太一致的破片。如果在钢环内壁刻槽或放置一个径向有均匀间隔,用塑料或硅橡胶制成的聚能衬套,则钢环可完全按设计的要求断裂。如果

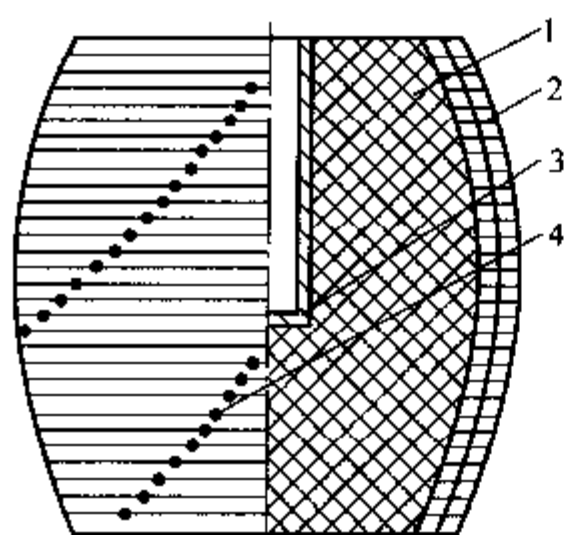


图 12.12 叠环式破片战斗部示意图

1—装药; 2—钢环; 3—中心管; 4—焊点

外壳是非圆柱体, 则径向形成的破片长度是不等的。

钢环可以是单层或双层, 视所需的破片数而定。钢环的截面形状, 根据所需的破片形状是立方体还是长方体而定。环的高度和径向厚度, 确定了破片两个方向的尺寸, 钢环内壁的刻槽间距或聚能衬套的有关尺寸则确定了破片另外一个方向的尺寸。

叠环式结构的最大优点是可以根据破片飞散特性的要求, 以不同直径的圆环, 任意组合成不同曲率的鼓形或反鼓形结构。因此, 这种结构不是设计成大飞散角, 就是设计成小飞散角, 两者必居其一。如果需要中等大小的飞散角, 用简单的整体圆柱结构就可实现。

叠环式结构与质量相当的刻槽式结构相比, 其破片速度稍低, 这是因为钢环之间有缝隙, 装药爆炸后, 在环的膨胀过程中, 稀疏波的影响较大, 使爆炸能量的利用程度下降。因此, 圆环之间接触面的加工是工艺关键。

3. 预制破片式战斗部

战斗部的结构如图 12.13 所示 (连接结构未画出)。破片按需要的形状和尺寸, 用规定的材料预先制造好, 并用黏结剂黏结在装药外的内衬上, 内衬可以是薄铝板、薄钢板或玻璃钢。破片层外面再缠绕一层玻璃钢, 球形破片则可直接装入装药外的两层薄金属板之间, 其间隙以环氧树脂或其他适当材料填满。装药爆炸后, 爆炸产物较早逸出, 预制破片被爆炸力直接抛出前几乎不存在膨胀过程, 因而在各类破片式战斗部中, 在质量比相同的情况下, 预制式的破片速度是最低的。与刻槽式相比, 要低 10%~15%。破片通常制成立方体或球, 它们的速度衰减性能较好。立方体在排列时, 比球形或圆柱形破片紧密, 能较好利用战斗部的表层空间。如果破片制成适当的扇形体, 则排列最紧密, 黏结剂用量最少。预制破片在装药爆炸后的质量损失较小, 经过调质的钢质球形破片几乎没有什么质量损失, 这在很大程度上弥补了预制结构附加质量较大的固有缺陷 (附加质量是指不形成杀伤破片的质量, 如内衬、外套和胶黏剂等)。

预制式结构具有几个重大的优点:

① 具有比叠环式结构更优越的成型特性, 可以把壳体加工成几乎任何需要的形状, 以满足各种飞散特性要求;

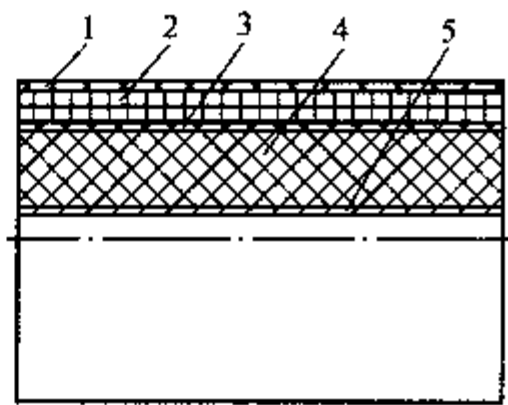


图 12.13 预制破片式战斗部示意图

1—外套; 2—预制破片; 3—内衬;
4—装药; 5—中心管



② 破片的速度衰减特性比其他破片战斗部的都好。在保持相同杀伤能量的情况下，预制式结构的破片速度或质量可以减小；

③ 预制破片可以加工成特殊的类型，如利用高比重材料做破片以提高洞穿能力，还可在破片内部装填不同的填料（发火剂、燃烧剂等），以增大破片的杀伤效能；

④ 在性能上有较广泛的调整余地，如通过调整破片层数，可满足破片数量大的要求，也容易实现大小破片的搭配以满足特殊的设计需要。

12.3.3 多聚能装药战斗部

聚能装药战斗部又称成型装药战斗部，其结构和组成如图 12.14 所示，它利用装药的聚能效应，使战斗部中的金属药型罩形成高速的聚能射流去摧毁目标。由于聚能射流对目标具有极大的洞穿能力，因此一般用来对付坦克等装甲目标。对付空中目标的聚能装药战斗部，在基本原理上与对付坦克的破甲战斗部一致，在结构及作战特点等方面则有较大的区别。

1. 防空导弹聚能装药战斗部的特点

与反坦克破甲战斗部相比，防空导弹聚能装药战斗部在作战使用方面具有如下特点：

① 由于空中目标的速度大、距离远，制导系统的误差使导弹难以直接命中目标，因而只能由近炸引信引爆（便携式防空导弹例外）；

② 炸距一般较大，最大可达几十米；

③ 由于炸距大，聚能射流到达目标时已断裂为高速射流颗粒，因此主要是以高速射流颗粒摧毁目标；

④ 虽然射流的速度可高达 $Ma=10\sim20$ ，使得在考虑射流能否命中目标时，只要炸距在射流的威力范围内，导弹速度和目标速度的大小相对地变得不太重要，但问题是难以保证单一的轴向射流能正好命中目标。要解决这一问题，惟一的办法是使射流在空间形成必要的分布，即一个战斗部在不同方向产生多个聚能射流。因此，防空导弹的聚能装药战斗部，通常采用多聚能装药战斗部。

2. 多聚能装药战斗部的类型

多聚能装药战斗部基本上有两种类型：一种是组合式多聚能装药战斗部，它以“聚能元

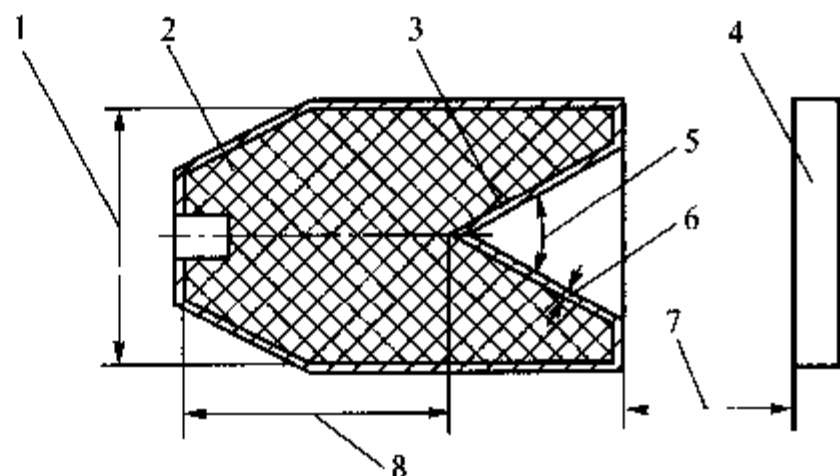


图 12.14 聚能装药战斗部结构示意图

1—装药直径；2—装药；3—药型罩；4—靶板；

5—药型罩锥角；6—药型罩壁厚；7—炸高；8—装药长度



件”作为基本构件，“聚能元件”实际上就是一个与破甲战斗部十分相似的小聚能战斗部；另一种叫整体式多聚能装药战斗部，它在整体的战斗部外壳上，镶嵌有若干个交错排列的聚能穴。

(1) 组合式多聚能装药战斗部

这种战斗部的结构如图 12.15 所示，聚能元件固定在支承体上，其下端与扩爆药环相邻，药型罩呈球缺形。聚能元件沿径向和轴向对称分布，元件的对称轴与战斗部纵轴间有适当的夹角，以使聚能射流或高速破片流在空间均匀分布。夹角的大小取决于对战斗部杀伤区域的要求。聚能元件间的排列应保证各束破片流之间互不干扰。聚能元件的结构和尺寸如图 12.16 所示。 d 为聚能元件大端直径， d_1 为聚能元件小端直径， h_1 为大端圆柱部高， h_2 为锥形部高， h_3 为小端圆柱部高。

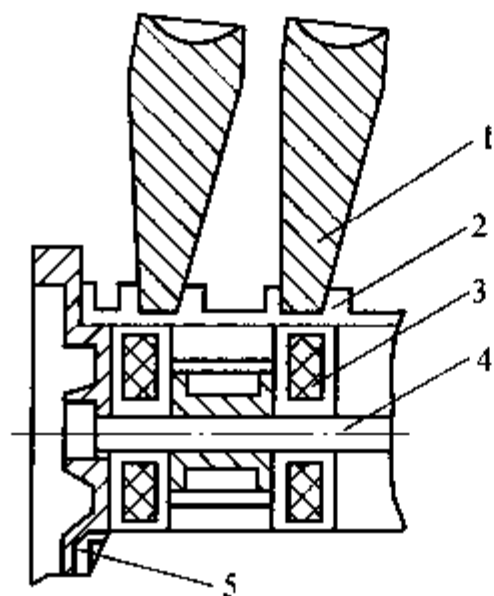


图 12.15 组合式多聚能装药战斗部示意图

1—聚能元件；2—支承体；3—扩爆药；4—传爆管；5—连接框架

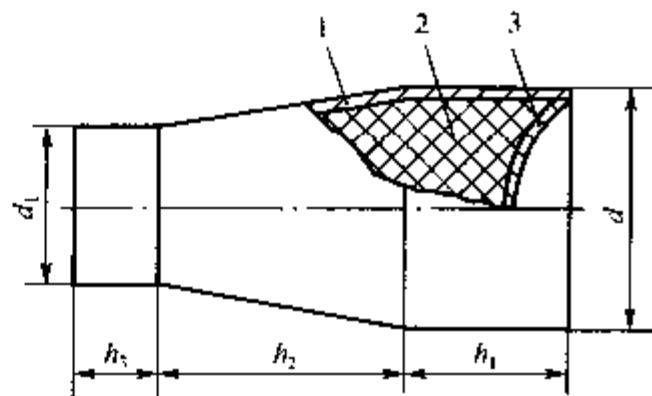


图 12.16 聚能元件结构示意图

1—外壳；2—装药；3—药型罩

试验结果表明，对于组合式多聚能装药战斗部，当射流初速为 $4\,200 \sim 4\,400 \text{ m/s}$ 时，对 10 mm 厚的航空装甲钢板，平均穿孔面积为 $5 \sim 6 \text{ cm}^2$ ，穿孔数为 5。

(2) 整体式多聚能装药战斗部

这种战斗部的典型结构如图 12.17 所示，半球形药型罩沿壳体的周线围绕战斗部纵轴对称地排列，为了保证在空间形成均匀的杀伤场，在壳体结构上采取了如下措施：上一圈药型罩与下一圈药型罩的位置互相交错，每一圈药型罩的数量相等。战斗部如果是截锥形，则药型罩的直径由上至下逐圈增大。药型罩的形状除半球形外，还可以是锥形、球缺形等。药型罩的材料，通常是铜、铁或铝，这要取决于所要对付的目标。对于制导精度较高的导弹系统，战斗部药型罩的直径为 $30 \sim 40 \text{ mm}$ ，这样，根据战斗部的直径并考虑药型罩间的合理间隙（约为 0.1 倍药型罩底径），就可确定每一圈药型罩数，再根据所要求的空间杀伤带宽度并与给定的战斗部长度相协调，就可以基本确定药型罩的圈数。



锥形药型罩形成的射流速度较半球形药型罩为高,但以顶角为 60° 的锥形罩为例,其高度要比底径相同的半球形罩大 73%,考虑到形成最佳射流性能的装药长度应为 2~2.5 倍装药直径(此处是指从药型罩顶部至战斗部轴线的径向装药尺寸),显然,战斗部的径向尺寸难以满足这种要求,因而实际的多聚能装药战斗部特别是小型战斗部,只能退而求其次,即采用半球形药型罩。

多聚能装药战斗部爆炸后,各药型罩形成高密度的聚能射流,射流具有一定的速度梯度,前端速度大,后端速度小。随着距离的增加,聚能射流逐步断裂并略有发散地成为金属粒子或破片。这种粒子或破片仍具有很高的速度,它们能洞穿目标并使其形成许多二次碎片,射流粒子和二次碎片对电缆、管路、通讯设备和人员等具有相当大的破坏能力。

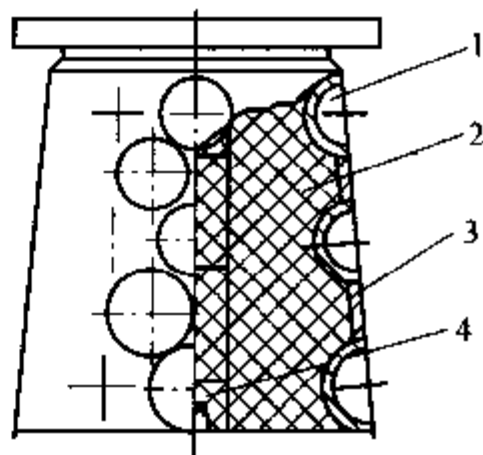


图 12.17 整体式多聚能装药战斗部示意图

1—半球形药型罩;2—主装药;
3—战斗部壳体;4—传爆药

12.3.4 连续杆式战斗部

破片式杀伤战斗部的破片大小虽然可以进行控制,但在对付空中目标时其杀伤力不甚理想。如果用相连的长杆围在爆炸装药周围,爆炸后长杆连续扩张,其杀伤力要比破片大,这种战斗部称为连续杆式战斗部。

连续杆式战斗部又称链条式战斗部,它是因其外壳由钢条焊接而成,战斗部爆炸后又形成一个不断扩张的链条状金属环而得名。连续杆环以一定的速度与飞机碰撞时,可以切割机翼或机身,对飞机造成严重的结构损伤,它对目标的破坏属于破片线杀伤作用。众所周知,单个破片洞穿飞机的非要害结构,一般不会造成飞机的重大损坏,而有一定长度的杆状破片,在同样情况下可造成较长的切口,有可能在气动载荷下发展成结构损伤。但是,研究结果证明,要使飞机结构造成破坏,杆状破片必须具有足够的长度,以便形成造成破坏所需的相应长度的切口。例如,试验证明,要使机翼失效,必须有约一半的截面被切断;要毁伤机身,必须切断其截面的 $1/2 \sim 2/3$,而且连续切断要比总长度相同的分散切断更为有效。但是,由于战斗部舱长度的限制,单个的杆状破片不可能很长,连续杆战斗部因此应运而生。

1. 战斗部结构和连续杆环的形成

连续杆式战斗部的典型结构如图 12.18 所示。战斗部的外壳是由许多金属杆在其端部交错焊接并经整形而成的圆柱体杆束,它可以是单层或双层。单层时,每根钢条的两端分别与相邻两根钢条的一端焊接;双层时,每层的一根钢条的两端分别与另一层相邻的两根钢条的一端焊接。这样,整个壳体就是一个压缩和折叠了的链环即连续杆环。切断环也称释放环,



是铜质空心环形圆管，直径约 10 mm，安装在壳体两端的内侧。波形控制器与壳体的内侧紧密相配，其内壁通常为一曲面。装药爆炸后，一方面由于切断环的聚能作用把杆束从两端的连接件上释放出来；另一方面，爆炸作用力通过波形控制器均匀地施加到杆束上，使杆束逐渐膨胀，形成一个直径不断扩大的圆环，直到断裂成离散的杆，如图 12.19 所示。在动态情况下，圆环的飞行方向是导弹速度和杆扩张初速的合速度。

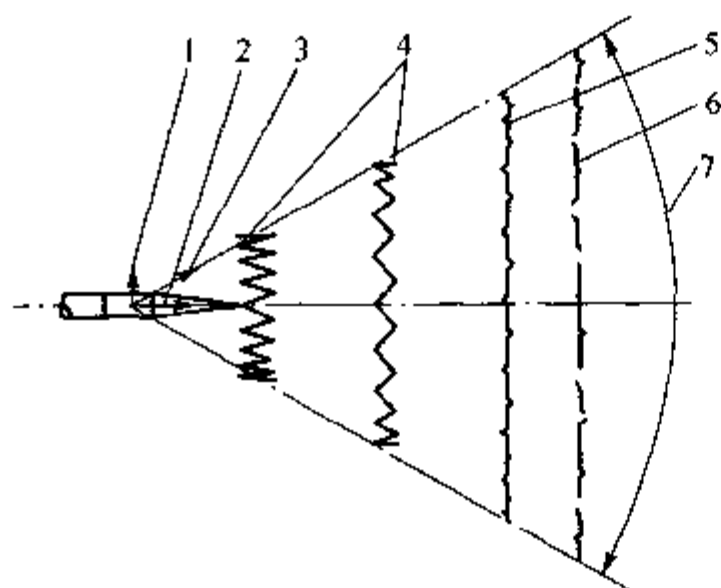


图 12.19 连续杆环的动态膨胀过程

1—杆的扩张初速；2—导弹速度；3—杆的动态扩张初速；
4—连续杆环逐渐膨胀；5—环完全拉直，达到最大直径；
6—连续杆环已断裂；7—连续杆环动态飞散区域

作用力的作用线偏转，从而获得一个力的作用线互相平行并与杆束圆筒内壁相垂直的作用力场。在爆炸载荷的作用下，杆束将向外膨胀，拉开，抛射。这时，在靠近杆端的焊接处将发生弯曲，使连续杆逐渐展开成为一个不断扩张的锯齿形圆环。这一锯齿形圆环的周长在达到杆总长度的 80% 以前不会被拉断。扩张直径继续增大，最后在杆的焊接处附近断裂，圆环也就分裂成一段段的短杆了。

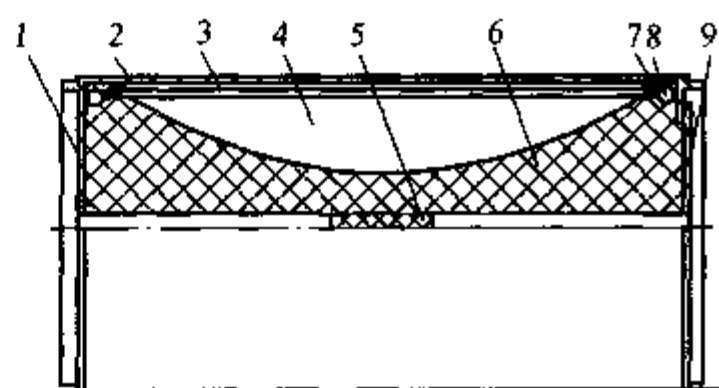


图 12.18 连续杆式战斗部的典型结构

1—端盖；2—蒙皮；3—连续杆；4—波形控制器；
5—传爆药；6—主装药；7—杆的焊缝；
8—切断环；9—装药端板

2. 连续杆式战斗部的作用原理

连续杆式战斗部是在炸药装药的周围排列一束杆件，这些杆分两层并排放置，在其两端交替焊在一起，并围绕炸药装药形成一个筒形结构（如图 12.20）。各个杆子的长度和厚度均相同，尺寸与战斗部尺寸匹配，杆的断面形状可以是圆形、方形或三角形等。

连续杆式战斗部采用中心引爆，当炸药爆炸时，从战斗部中心产生球面爆轰波，并向四周传播。通过炸药周围的波形控制器，使球面波变为柱面波，即使爆炸

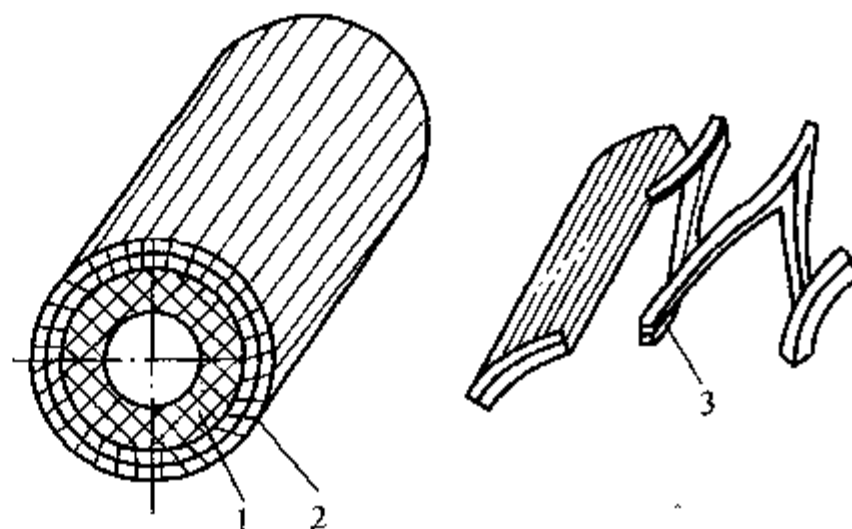


图 12.20 连续杆式战斗部结构原理

1—炸药装药；2—杆束组件；3—杆内外层连接方式



连续杆式战斗部杆环的初始扩张速度可达 $1\,200\sim 1\,600\text{ m/s}$,在与飞机遭遇时,就像轮形切刀一样将飞机切断。连续杆式战斗部的作用效果不仅与杆环的速度有关,而且与导弹速度、飞机速度以及导弹的制导精度有关。

由于空气阻力的作用,连续杆飞行速度的衰减将与飞行距离成正比。随杆环直径的扩大,其速度亦降低。杆环扩张断裂后,杆条的运动将失稳,并出现不同方向的转动和滚翻,连续杆效应也随之转变成破片效应。但是,由于连续杆断裂后形成的单个短杆状破片数量少,因而威力将大幅度下降。由此可知,连续杆式战斗部在杆环断裂以前遭遇目标,才能达到最佳的切割效果,这就要求导弹具有足够的制导精度。

对空中目标来说,连续杆的切割效应比破片的击穿作用和引燃作用要大得多。这是因为杀伤破片要击中飞机的要害部位才能使其摧毁,而连续杆可以切断机翼、机身等大型构件,从而使飞机失去气体动力平衡或者被切成几段而完全毁坏。

3. 连续杆式战斗部的性能特点

与其他战斗部(特别是破片式战斗部)相比,连续杆式战斗部具有下列重要特点:

①“扩大”了目标的要害尺寸。因为一般认为的非要害部位,可能由于连续杆环的切割而导致目标失稳或被摧毁,这是破片式战斗部难以做到的。

②使飞机的某些防御措施失效。例如,自封式油箱对由于破片穿孔而引起的漏油、燃烧有一定的防御效果,而对连续杆式战斗部则基本无效。

③连续杆环在超过最大扩张半径后,杆环的切割效应变为破片杀伤效应。由于杆的数量少,命中目标的概率很低,因而它的杀伤效率一般忽略不计。这与破片式战斗部杀伤概率随距离的增加而逐渐下降的情况有所不同。

④连续杆环的飞散初速较低,静态杀伤区只是垂直弹轴的一个平面,因此引战配合必须特别精确。基于这种原因,这种战斗部只宜用于脱靶量较小、目标尺寸较大的情况。如果采用多环结构,即战斗部产生几个飞行方向不同的连续杆环,则可形成一个一定宽度的飞散区,从而弥补上述缺陷。

⑤对于飞机的某些强结构,连续杆环难以切割,除非加大杆的截面,但这将大大增加战斗部的质量。

12.3.5 离散杆式战斗部

离散杆式战斗部是目前发展的一种防空反导战斗部,是在破片式战斗部的基础上发展的,将预制破片做成长条状的杆式破片,数量比粒状破片要少但杀伤威力较大。这些离散杆式破片互相独立,不像连续杆式破片是焊在一起的,对导弹的制导精度要求可以低一些,其破片形成杀伤区域有一定宽度,不像连续杆杀伤为一环形切口。图 12.21 所示为离散杆式破片作用原理。



离散杆式破片战斗部对飞机目标的作用效果较好, 所以各国在空—空或地—空导弹上纷纷采用。俄罗斯的“P-737”导弹战斗部是离散杆式, 这种战斗部直径为 170 mm, 战斗部长度 243 mm, 战斗部质量 7.4 kg, 内装炸药 2.45 kg, 共有 164 根杆式破片, 每根金属杆质量为 16.5 g, 据称爆炸后金属杆的速度为 1 200 ~ 1 300 m/s, 对飞机的有效威力半径为 7 m。

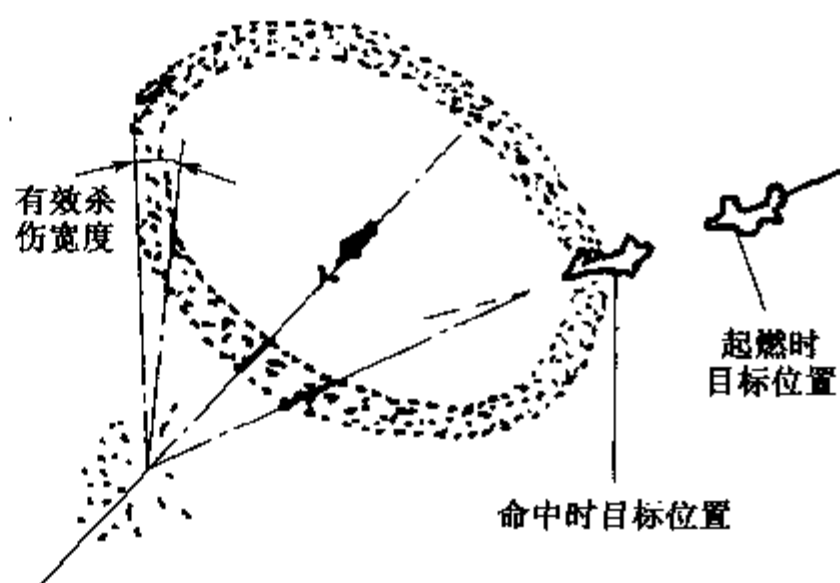


图 12.21 离散杆式战斗部作用原理图

12.3.6 定向杀伤战斗部

上述所有战斗部的杀伤破片均为向弹轴四周均匀飞散的, 各方向上的破片速度也是相同的, 也就是说能量均匀分布。这对于杀伤均匀分布的地面有生目标是合适的, 但对于空中来袭的飞机或导弹目标, 往往只能有效利用其某一方向上的破片, 其余破片都白白浪费了。为了使战斗部上的破片向某一指定方向集中飞散出去, 充分发挥破片的作用; 或者使破片飞散有所侧重, 在某一特定方向速度较大能量较多, 提高其对某一方向上的威力, 产生了下列两种定向杀伤战斗部。

1. 破片芯式定向杀伤战斗部

这种战斗部的杀伤元放置在中心部位, 而炸药装药则放在杀伤元四周(如图 12.22 所示)。

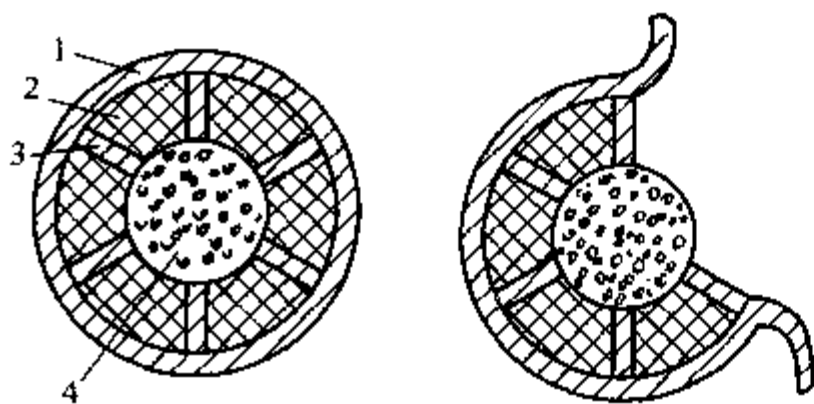


图 12.22 破片芯式定向杀伤战斗部

1—外壳; 2—炸药; 3—隔板; 4—破片

当发现目标(飞机或导弹)在战斗部的某一方向处时, 逻辑起爆线路就控制战斗部的某一块(或几块)主装药起爆, 将破片向目标所在方向抛出。而且在破片飞出之前, 又通过辅助装药将正对目标的那部分战斗部外壳炸开, 使中心破片可以毫无阻碍地飞向目标。

2. 偏心起爆式定向杀伤战斗部

一般战斗部炸药均为中心起爆式, 炸药能量向四周均匀发散, 而偏心起爆式的炸药装药其起爆装置是偏心安置的。起爆时由于炸药的起爆点不在中心, 而在侧边处, 使其爆炸后能量分布不对称, 并使破片的杀伤威力也不对称, 从而提高了在某一方向上的杀伤威力。图 12.23 所示为美国研究的一种偏心起爆式定向杀伤战斗部示意图。装药系统为 4 块瓦形药柱, 起爆系统在 4 块药柱的边上, 每个药柱有 8 个起爆点, 按照目标不同的方向由引信逻辑控制起爆, 预制破片仍在战斗部的四周, 但因



爆炸能量的不对称性, 在某一方向上杀伤威力将有所增大。

12.3.7 子母式战斗部

子母式战斗部又称集束式战斗部, 它由子弹、子弹抛射系统和障碍物排除系统组成。当战斗部得到引信的起爆指令后, 抛射系统中的抛射药被点燃, 子弹以一定的速度和方向飞出, 在子弹引信的作用下, 子弹爆炸, 以冲击波或破片等击毁空中目标。由于子母式战斗部一般都装在舱体内, 舱体的蒙皮和构件会影响子弹的正常抛出。因此, 需要在子弹抛出前把蒙皮等障碍物排除掉。

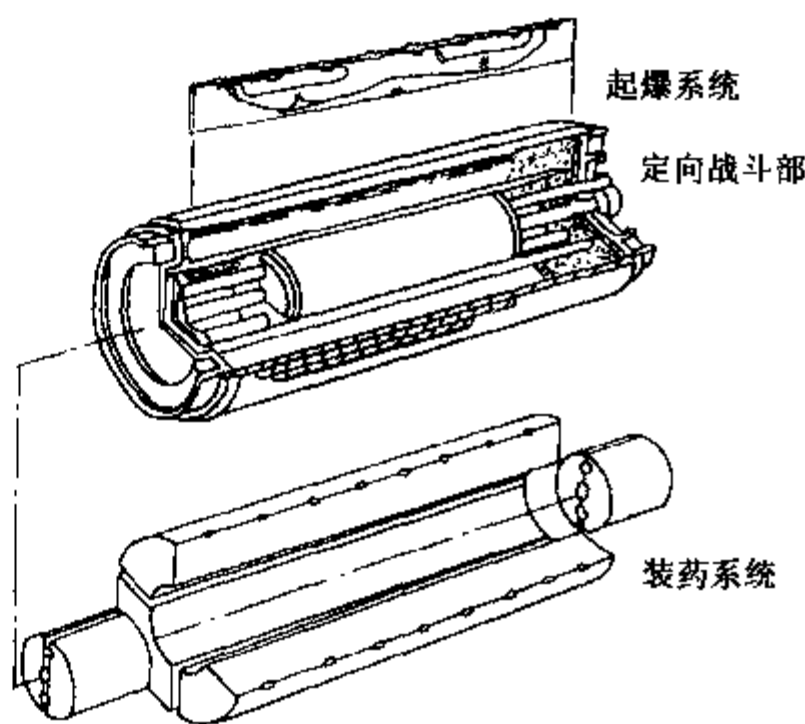


图 12.23 偏心起爆式定向杀伤战斗部

1. 子弹

防空导弹子母式战斗部的子弹主要有爆破式、破片杀伤式和聚能式三种。按子弹的飞行性能分, 有稳定型和非稳定型两种。采用哪一种类型, 主要取决于子弹对目标的破坏形式、子弹的形状和子弹引信的性能。例如, 聚能式子弹和带有触发引信的爆破式子弹, 为了保证可靠地起爆并作用于目标, 必须采用稳定型子弹; 杀伤型子弹, 一般呈球形, 可采用非稳定形式, 子弹的飞行稳定可以通过加装阻力板、阻力伞和尾翼等来实现。

子弹的壳体要能经受抛射时的冲击力, 内爆式子弹还要能经受洞穿目标结构时的冲击。

(1) 爆破式子弹

爆破式子弹必须装有足够的炸药, 以便在命中目标时能给予致命的破坏 (通常使用含铝炸药)。装药量根据子弹是内爆型还是外爆型而有所不同。根据经验, 子弹在目标表面爆炸时, 子弹的装药量为 $1 \sim 1.4 \text{ kg}$ (HBX 炸药), 装药量为 1 kg 时, 可有效对付小型飞机 (如歼击机); 装药为 1.4 kg 时, 可有效对付大型飞机 (如轰炸机)。如果子弹在目标内部爆炸, 子弹的装药量可以减小, 为 $0.5 \sim 1 \text{ kg}$, 可分别有效对付小型飞机和大型飞机。

爆破式子弹必须是在接触目标以后才爆炸, 而且子弹与目标的接触部位是随机的 (非稳定子弹), 因此必须采用全向触发引信, 内爆型子弹的引信还需有短暂的延时。子弹对目标的破坏能力、子弹引信的作用准确性都应通过地面试验予以鉴定。

(2) 杀伤式子弹

杀伤式子弹的破片在打击目标时应具有足够的洞穿目标的能量和适当的分布密度。与破片式战斗部设计相同之处是, 破片的质量和速度之间也应协调, 不同之处是确定子弹的破片速度时, 可不考虑对引战配合的影响。应当指出, 由于子弹通常为球形, 因此在对付单一的



空中目标时，只有接近一半的破片飞散区能对拦截目标起作用。

杀伤式子弹应选用延时引信。子弹从被抛射出来（引信完全解锁）到子弹爆炸这一段延迟时间的长短，主要取决于抛射速度和要求子弹到达的位置。

（3）聚能式子弹

装有聚能式子弹的子母式战斗部，主要用来对付结构坚固的弹道导弹的再入弹头。试验表明，直径为 25~40 mm 的小型聚能装药能够完成这种任务。为了充分发挥聚能装药的作用，子弹应基本是圆柱体，并应带有飞行稳定装置。

（4）子弹数量

对于新设计的子母式战斗部，为满足一定的杀伤概率，应根据武器的导引精度和要求的子弹散布密度，确定子弹的数量。作为基本杀伤单元的爆破式子弹和聚能式子弹，应根据目标的大小确定所需的散布密度，并在此基础上确定子弹的数量。例如，拦截尺寸较小的战术导弹弹头时，为了确保命中，子弹的散布间隔为 0.3 m 左右。如果要求有一个直径 5 m 的子弹散布面，则所需的聚能式子弹数为 850~900 个。杀伤式子弹的基本元素是破片。因而，在类似的情况下，子弹数可以少得多。子弹数初步确定后，还要根据总体设计关于质量和容积的要求，进行适当的调整。

（5）子弹引信

除了为保证子弹充分发挥其威力而要求子弹引信具有触发、全向触发或延时起爆的功能外，为了保证子母式战斗部在运输、操作和弹道起始段的安全，要求子弹引信至少具有两级保险。可以利用导弹发射时的过载和子弹被抛射时的过载，先后解除两级保险。对于爆破式或聚能式子弹，子弹引信还应有子弹在脱靶时（大部分子弹不会命中目标）使其自毁的功能。

2. 子弹抛射系统

子弹抛射系统利用火药能或炸药能量，使子弹获得必要的速度。在此过程中，还必须保证子弹及其引信的全部功能不受到破坏。这样，抛射速度将受到很大的限制。在一般情况下，保证子弹不受破坏的实际安全抛射速度不超过 200 m/s。子弹抛射系统的类型有很多种，一些在常规弹药中适用的子弹抛射系统如离心抛射、导向抛射等，从总体上说不适用于防空导弹的子母式战斗部系统。在防空导弹子母式战斗部中，子弹抛射系统主要有三种：整体式中心装药子弹抛射系统（如图 12.24）、枪管式抛射系统和膨胀式抛射系统。

3. 障碍物排除装置

导弹的蒙皮，在某些情况下（如不受力的薄蒙皮）能被抛射气体直接排除，而子弹的抛射速度下降不大。但这种作用并不十分可靠，

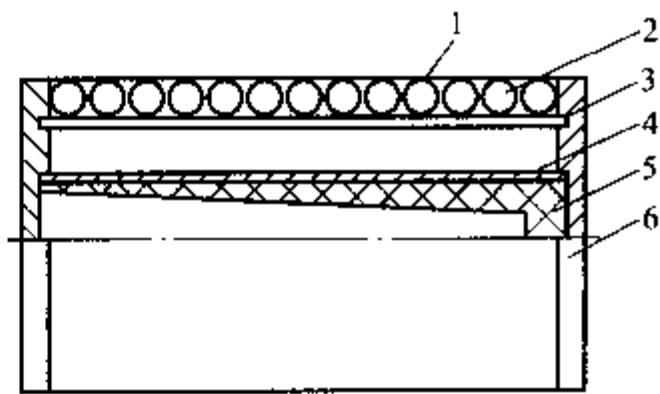


图 12.24 整体式中心装药子弹抛射系统示意图

1—蒙皮；2—子弹；3—内衬；4—中心管；
5—装药；6—连接件



而且障碍物并非如此单一。因此，子母式战斗部一般都必须配有障碍物排除装置。

最常用的障碍物排除装置是线性聚能装药，即切割索，它是把炸药装在聚乙烯塑料或其他材料制成的管子内，并使装药截面具有 V 形或半圆形聚能槽。切割索的引爆与子弹抛射药的点火可同时进行，由于前者的反应远远高于后者，因而障碍物的分离不会影响子弹的抛射。

4. 子母式战斗部的应用

与质量相同的其他整体结构战斗部相比，子母式战斗部的主要优点是威力范围较大。整体结构战斗部，其破片杀伤作用，特别是冲击波和聚能射流作用，随着爆点至目标距离的增加而迅速衰减，而子母式战斗部中的子弹要抛射一定距离后才爆炸，因而在脱靶量相同时，子弹破片到达目标的实际距离要小得多，破片密度的下降和破片能量的衰减也就小得多。爆破式子弹或聚能式子弹要与目标碰撞或穿入目标后才爆炸，即导引系统的误差将完全由子弹的抛射距离所弥补，因而更有利于摧毁目标。由此可见，脱靶量越大，目标越大，子母式战斗部的优点越能充分发挥。攻击有适当间距的编队飞机，子母式战斗部，特别是使用杀伤型子弹的子母式战斗部，会有更高的杀伤效率。在脱靶量较小时，子母式战斗部较其他类型的战斗部并不具有优势。因为此时各种杀伤作用的衰减相对较小，而在子母式战斗部中，用做抛射系统及其他辅助结构的质量要比其他整体结构战斗部多。

子母式战斗部结构复杂，因而造价昂贵，一般数倍甚至更多倍于其他类型战斗部。另外，每个子弹都需要由子弹引信引爆，所以子弹作用的可靠性也要受到影响，所以子母式战斗部目前在防空导弹中的应用已不多见。

第 13 章 燃料空气弹药

13.1 概 述

燃料空气炸药 (Fuel Air Explosive, 简称 FAE) 是近三四十年发展起来的一种新型爆炸能源, 其显著特征在于: FAE 爆轰过程所需的氧气取自爆炸现场的空气中, 因而可大大提高装药效率; FAE 实施分布爆炸, 因而其云雾区爆轰压力较低, 但超压作用范围和比冲量却较大。FAE 在弹药中的应用开创了常规武器提高威力的新途径, 使常规弹药战斗部技术发生了重大革新。燃料空气弹药可以按照其装填物的不同而分为云爆弹和温压弹两类, 它是利用燃料空气炸药来毁伤目标的一种新型弹药, 其战斗部的爆炸作用过程和对目标的毁伤效应与常规弹药不同, 它以大体积的云雾爆轰为特征, 其对目标的毁伤作用主要是通过云雾爆轰及由此引起的冲击波超压实现的。

13.1.1 燃料空气弹药的发展

燃料空气弹药的应用范围较宽, 作战效果显著, 是一种低成本、高效能的武器, 因此受到世界各国的重视。燃料空气弹药诞生于 20 世纪 60 年代初, 研究的重点最初是燃料空气航空弹药, 其典型弹药如美国的 CBU-55、BLU-72 和俄罗斯的 ODAB-500PM 等燃料空气弹药。这类炸弹只能采用直升机或低速飞机投放, 采用两次起爆技术。第一次起爆用于爆开装在容器中的燃料, 使其形成云雾; 第二次起爆用于引爆云雾, 形成爆轰。CBU-55B 航空云爆弹是一种



图 13.1 美国 FAE 武器 CBU-72

子母弹, 是美军在侵越战争中使用的燃料空气弹药中数量最多的一种。CBU-55B 质量 750 kg, 内装 3 枚子弹药, 每枚子弹药通过一个减速伞控制下降, 由引信发火起爆, 可使半径 20~30 m 范围内的人员遭到严重杀伤, 并会使半径 20~25 m 范围内的地雷被引爆。

从 20 世纪 70 年代开始, 美国研制了 CBU-72 云爆弹、直升机投放的 MADFAE 集束弹以及 BLU-73、BLU-76、BLU-96 等炸弹, 以适应高投放速度和提高对硬目标破



坏效果的要求。CBU-72 云爆弹（如图 13.1），也是一种子母弹，质量 1 t，内装 3 枚子弹药，采用了新的引爆系统，其中包括一个近炸引信和一个起爆器，其威力相当于 CBU-55B 的 4~5 倍。

为了拓展燃料空气弹药的应用范围和提高毁伤威力，20 世纪 70 年代中期开始，美国、加拿大、俄罗斯等国开始研制新型燃料空气弹药。这一时期的主要技术进步点是解决了直接起爆问题，即将二次起爆改为一次起爆，起爆方法主要有化学催化法和光化学起爆法，从而简化了燃料空气弹药的结构，降低了成本，提高武器性能，拓宽应用范围，增强自身生存能力和降低费效比，冲击波速度更快，作用距离更远，破坏力更大，威力比相同重量 TNT 炸药的威力大很多。其典型代表是俄罗斯的 RPO-A “什米尔”单兵温压弹，该弹战斗部直径为 93 mm，内装 2 kg 温压药剂。战斗部中心有扩爆装药和使温压药剂在目标上方散开并点火的底部起爆引信，点火后可产生巨大的爆炸和热效应。与常规炸药相比，它所产生的爆炸温度和压力更高，高温、高压持续时间更长，爆炸时产生的闪光强度更高。

今后提高燃料空气弹药杀伤力的主要趋势是：改进燃料的配方与性能，使其爆炸峰压达 100 kg/cm^2 以上；改进触杆引信和云雾引信结构，使其既不易损坏，又能保证较好的爆高；改进弹体结构，提高气溶胶云雾生成效果，或增强爆炸时的复合效应。如研制夹层弹体，其夹层内装填钢珠或毒剂，以增强杀伤效果。此外，国外也在研究将燃料空气炸药装填在巡航导弹、鱼雷、水雷、火箭弹以及大口径炮弹中，以进一步扩大燃料空气弹药的杀伤威力和使用范围。

13.1.2 燃料空气弹药的爆炸破坏作用形式

从空间上看，燃料空气弹药的爆炸作用形式涉及空中、地面、地下。从物理现象看，燃料空气弹药的爆炸作用形式有：云雾爆轰直接作用、空气冲击波作用、窒息作用、爆炸地震作用、热传导燃烧作用、电磁燃烧作用、电磁辐射作用和噪声等，其爆炸效果如图 13.2 所示。



图 13.2 FAE 武器爆炸效果

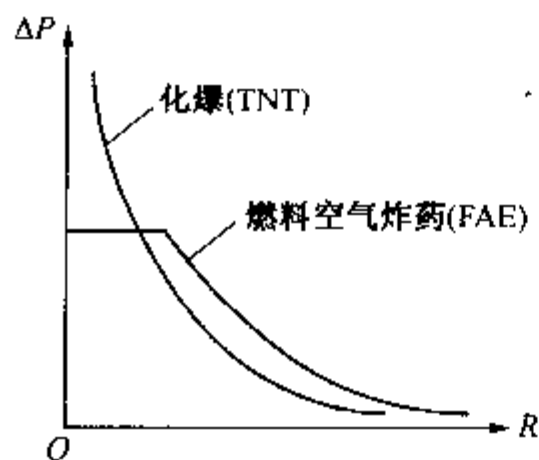


图 13.3 FAE 及 TNT 装药爆炸场超压-距离关系

FAE 与常规凝聚相化学爆炸（如 TNT 爆炸）在装药量相当时爆炸场超压（ ΔP ）随距爆心的距离（ R ）变化的规律如图 13.3 所示。从图中可以看出尽管 FAE 云雾爆轰区爆压不高，但 FAE 具有体积庞大的云雾爆轰直接作用区；尽管 TNT 在爆点附近可产生很高爆压，具有猛烈的毁伤作用，但超压随距爆点距离增加而急剧下降，而 FAE 空气冲击波超压随传播距离衰减速率较 TNT 爆炸场缓慢，有效作用范围大。当距爆心的距离超过某一范围后，爆炸场超压却大于 TNT 装药，也即云雾区及

边缘区外的超压均高于等质量的凝聚炸药。另外，大量的试验表明，FAE 的爆炸冲击波随时间的衰减也比凝聚相炸药迟缓，即某个距离处尽管超压可以相同，但 FAE 超压的作用时间要比凝聚相炸药长。

可见，FAE 杀伤面积广，冲击波作用时间长，总冲量大，特别适宜于大面积的对冲击波敏感的软目标。

13.1.3 燃料空气弹药的威力特点

与 HE 战斗部相比，FAE 战斗部具有以下威力特点：

1. 装填效率高，TNT 当量大

由于 FAE 爆轰反应所需要的氧化剂绝大部分取自于当地空气，且燃料组分具有高爆燃值，因此其能量等效 TNT 当量大。

2. FAE 爆轰体积大，作用时间长，冲量大

燃料空气弹药是装填燃料与空气构成的多项混合物，其爆轰体积达到燃料装填体积的 10^4 倍，峰值超压达 MPa 量级。燃料云雾爆轰和冲击波是 FAE 武器爆炸的主要毁伤因素，而前者是 FAE 的主要特点，特殊条件下毁伤优势明显，任何其他常规武器无法替代。

3. FAE 比 HE 的冲击波毁伤面积大

FAE 与常规高能炸药相比，冲击波能量分布均匀，特别在云雾区，而云雾区外侧冲击波压力衰减较慢。

13.1.4 燃料空气弹药的使用特点

燃料空气弹药虽然有很强的杀伤作用，但也有如下弱点：



① 燃料空气弹药的使用对气象条件要求高，风、雨、雷、电等恶劣的气候条件都会使其作战效能大打折扣，在某些特定情况下，甚至不能使用。

② 燃料空气弹药的使用对地形条件要求高，它适于在面积开阔地域使用，自然地形障碍和人工建筑密布的地区不适于使用。

③ 燃料空气弹药由于装药为易燃易爆易挥发的碳氢类化合物，所以对运输、储存都有很高的要求，稍有不慎就可能酿成大祸，在实战环境下使用则很难保证在各个环节上都万无一失。

④ 由于燃料空气弹药的杀伤范围大且准确性较差，所以它不适合在敌我双方短兵相接、犬牙交错的情况下使用，否则会伤及己方人员。

13.1.5 燃料空气弹药的主要攻击目标

燃料空气弹药独特的杀伤、爆破效能使它可适用于多种作战行动，如杀伤支撑点、炮兵阵地、集结地域等处的作战人员；摧毁坚固工事、指挥所；消灭岛礁上的守备力量；破坏机场、码头、车站、油库、弹药库等大型目标；攻击舰艇、雷达站、导弹发射系统等技术装备；在爆炸性障碍物中开辟通路（如排雷）等。它既可用歼击机、直升机、火箭炮、大口径身管炮和近程导弹等投射，打击战役战术目标，又可以用中远程弹道导弹、巡航导弹和远程作战飞机投射，打击战略目标。

1. 对人员杀伤

由于燃料空气弹药发射后，利用空气中的氧做氧化剂进行爆炸和燃烧，因此它爆炸后，在爆炸点周围地区将会发生长达 3~4 min 的暂时性的缺氧现象。这样，受到袭击的人由于呼吸不到空气中的氧气，感到憋气难受，往往会抓破喉咙挣扎，最后窒息而死。

2. 用于扫雷

燃料空气弹药也是最有效的扫雷设备。它爆炸时产生的冲击波压力比平时的大气压力超出几十倍到上百倍，称之为“超压”。用这种超压来引爆敌人的地雷是很有效的。一个小燃料空气弹药爆炸时所产生的超压，就能将直径为 30 m 的区域内的地雷全部清除掉。美国海军陆战队新近研制出 CATFAE 扫雷系统，由 21 发燃料空气弹药、发射装置和火控装置组成。该系统可在雷区开出一条长 300 m、宽 20 m 的通道，从而在一定距离内为部队登陆和地面作战扫清大面积的雷区。

3. 用于毁伤设备和工事

毁伤地面（或海面）上的暴露目标，如车辆、舰船、桥梁、丛林等，在美国试验时甚至击沉过一艘战舰、半地下掩体和工事等；破坏停机坪上的飞机、通讯指挥设备和 C⁴I 系统、火炮及导弹发射阵地、轻型战术兵器及装备和雷达站等。即使是“三防”性能良好的坦克、步兵战车，也会因“缺氧”而导致发动机暂时熄火。



13.2 云 爆 弹

云爆弹是一种以气化燃料在空气中爆炸产生的冲击波超压获得大面积杀伤和破坏效果的弹药，其战斗部由装填可燃物质的容器和定时起爆装置构成。通常云爆弹装填的可燃物质为环氧乙烷、环氧丙烷、甲基乙炔、丙二烯或其混合物、甲烷、丁烷，乙烯和乙炔、过氧化乙酰、二硼烷、无水偏二甲肼、硝基甲烷和硝酸丙酯等。由于这种弹药投放到目标区后会先形成云雾，然后再次起爆，形成巨大气浪，爆炸过程中又会消耗大量氧气并造成局部空间缺氧而使人窒息，故又称“气浪弹”和“窒息弹”。

13.2.1 云爆弹的结构和作用

1. 云爆弹的结构特点

在 20 世纪 60 年代，美国和前苏联就开始了云爆弹的研制工作。美军实际使用的 CBU 型云爆弹由 3 个子弹装在一起，组成所谓

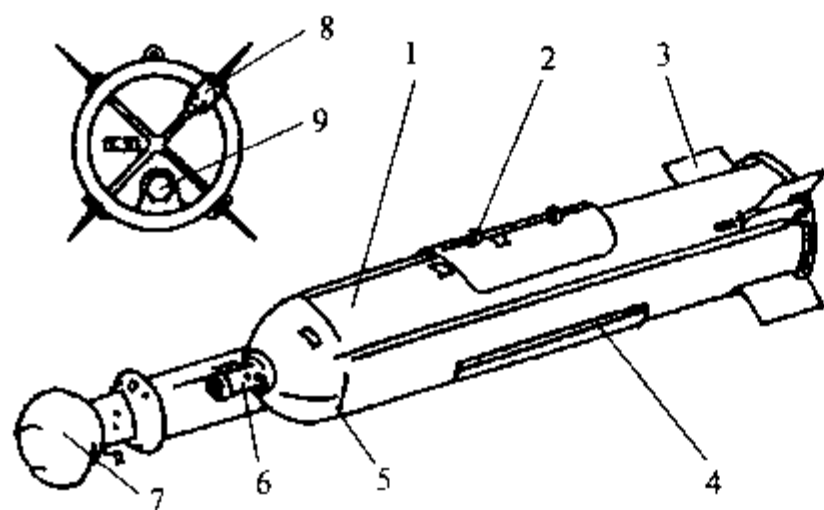


图 13.4 云爆弹母弹外形

- 1—母弹弹体；2—挂弹耳；3—稳定翼；4—加强护板；
5—整流风帽；6—机械定时引信；
7—引信盖；8—压电晶体；9—观察窗

集束母弹 (Cluster Bomb Unit)，可用直升机在 1 000 m 高空准确投放。母弹外形如图 13.4 所示。母弹的弹体用薄铝板制成圆筒形，后端敞开以便装入子弹。弹体中央焊有加强护板，其上有两个挂弹耳，用于飞机的吊装机载。弹体头部有两半合成的整流风帽，前端装有一个机械定时引信亦称母弹引信，它的作用是远距离解脱保险控制子弹的抛出时间。弹尾有 4 个可折叠的稳定翼，在投弹时有稳定作用。弹体的后端盖用螺钉和弹体相连，它的作用是配合母弹引信，投弹时后端盖中压电晶

体起作用，通过导爆索与前端的母弹引信底火连接，根据母弹引信预先装定的时间弹出后端盖，解脱子弹的中间保险，抛出了弹。

云爆弹的致伤作用是通过云爆子弹实现的，它从母弹抛出后，由降落伞投放入空中，因其特殊的原理和结构，形成燃料空气云雾而爆炸。云爆弹子弹的结构示意如图 13.5 所示。子弹的弹体为钢制薄壁圆筒，外表刻有几十条预制应力槽，以便在中心炸药引爆后外壁均匀破碎，并将燃料径向外撒形成基本上对称的燃料云雾。子弹引信装在前端，它兼有触发、惯性和自毁作用；或手动或控制拉动引信盖拉绳可戳破引信盖，使引信自毁装置开始作用；当



引信盖戳破后引信内部自动弹出一根装有传感器的探针，可触发引爆中心炸药：当中心炸药被引爆后，弹体破裂，燃料在大范围内被抛散成云雾状，这是第一次引爆。在第一次引爆的同时，将云爆装置的底端薄膜切碎，推动其中的击针使延期药发火；延时一定时间后引爆云爆装置中药柱使云雾爆炸，这是第二次引爆。

云爆弹中燃料常采用液态的环氧乙烷(C_2H_4O)。它的沸点很低($10.5\text{ }^{\circ}\text{C}$)，很容易挥发，为空气重量的1.52倍，抛散在空气中后能像水一样向低处流动，与空气混合后成为易燃易爆的混合物。空气混合物燃料要发生爆炸必须使较大的燃料液体碎裂成燃料云雾，这一碎裂过程是图13.5中心炸药引爆后冲击波作用和燃料液滴的高速对流作用引发的，其持续时间约几十毫秒，在有足够氧气的条件下，环氧乙烷和空气发生完全反应，释放大量热量，产生爆轰，此时爆速为 $1\,820\text{ m/s}$ ，爆轰波阵面温度最高达 $2\,770\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，爆轰波阵面压力最大达 2 MPa 量级。除云爆炸弹以外，云爆弹也可以是火箭弹、导弹或单兵榴弹的形式，此时其结构特点与此类似。

2. 云爆弹的作用原理

云爆弹的爆炸与炸弹爆炸不同，炸弹在发生爆轰反应时靠自身来供氧，而云爆弹爆炸时则是充分利用爆炸区内大气中的氧气，所以等质量的云爆弹装药要比炸弹释放的能量高，而且由于吸取了爆炸区域内的氧气，还能形成一个大范围缺氧区域，起到使人窒息的作用。

云爆弹的作用原理实质上是将燃料气体与空气充分混合，然后被引爆而形成爆轰。当云爆弹被投放到目标上空一定高度时，进行第一次起爆，装有燃料和定时起爆装置的战斗部被抛撒开；将弹体内的化学燃料抛撒到空中，在抛撒过程中，燃料迅速弥散成雾状小液滴并与周围空气充分混合，形成由挥发性气体、液体或悬浮固体颗粒物组成的气溶胶状云团；当云团在距地面 1 m 高度时被引爆剂引爆激发爆轰。由于燃料散布到空中形成云雾状态，云雾爆轰后形成蘑菇状烟云，并产生高温、高压和大面积冲击波，形成大范围的强冲击波以及高温、缺氧，对目标造成毁伤，破坏。冲击波以 $1\,500\sim 3\,000\text{ m/s}$ 的速度传播，爆炸中心的压力可达 3 MPa ， 100 m 距离处的压力仍可达 100 kPa 。而生物实验结果已经表明，当冲击波

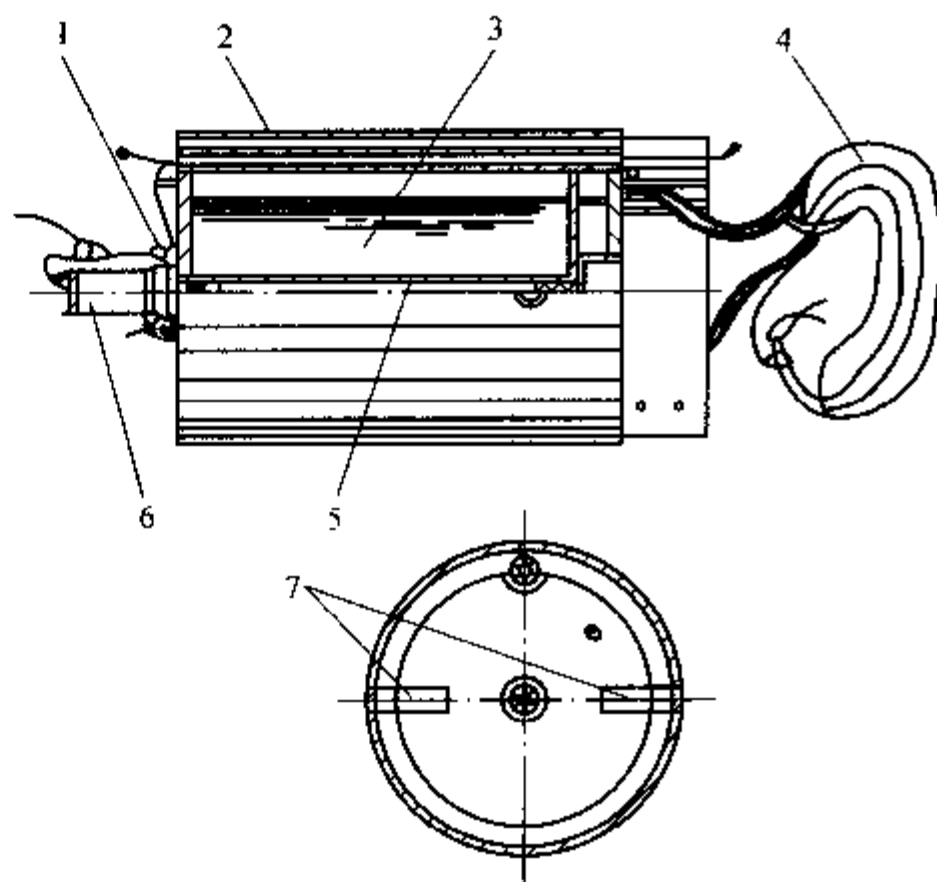


图 13.5 云爆弹子弹结构示意图

1—自毁装置；2—子弹弹体；3—燃料空气炸药；4—降落伞；
5—中心炸药；6—引信；7—云爆装置（二次引爆）



超压值超过 0.5 MPa 的范围时, 对人员或有生力量已可以造成严重的伤害, 甚至死亡, 由此可知云爆弹对有生力量的杀伤威力是毁灭性的。

通过冲击波和超压的作用, 云爆弹既能大面积杀伤有生力量, 又能摧毁无防护或只有软防护的武器和电子设备, 其威力相当于等量 TNT 爆炸威力的 5~10 倍。在杀伤有生力量时, 云爆弹主要通过爆轰、燃烧和窒息效应毁伤目标, 通过高压对人体肺部及软组织造成重大损伤来杀伤人员, 头盔和防护服对这类毁伤几乎没有保护作用。

13.2.2 云爆弹的特点

(1) 毁伤面积大

虽然云爆弹产生的爆轰超压值比等量的炸药低, 但由于爆轰反应时间高出炸药许多倍, 所以其形成的冲击波的破坏作用比炸药大得多, 其作用面积也大。由于其毁伤面积大, 无需直接命中目标也有较好的毁伤效果, 因此对战斗部的投放精度和制导要求相对较低, 有利于降低武器系统的成本和提高弹药的效费比。

(2) 毁伤效应增加

数枚云爆弹同时使用时, 战斗部的威力效应可以叠加, 对有生目标的窒息效果也更佳。

(3) 流动性能好

云爆弹爆炸时形成的气溶胶云雾密度比空气大, 能向低处流动。不仅可以直接有效地打击地面和海面军事目标, 还可以涌入地堡、坑道、堑壕及地下工事, 杀伤其中的有生力量。若能在密闭空间内爆轰时其毁伤效果更佳。

13.2.3 几种典型的云爆弹

1. 美国 BLU-73/B 云爆弹

图 13.6 所示为美国于 20 世纪 60 年代末开始试用的 BLU-73/B 云爆弹结构示意图, 1971 年正式装备部队, 该弹 (共 3 颗) 装入 SUU-49/B 弹箱构成 CBU-55/B 云爆弹。CBU-55/B

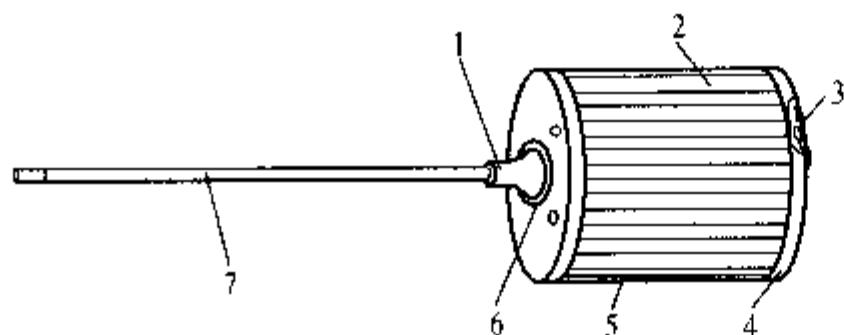


图 13.6 美国 BLU-73/B 云爆弹

1—FMU-74/B 引信; 2—云爆管; 3—减速伞; 4—伞箱;
5—弹体; 6—自炸装置; 7—延伸控杆

云爆弹是供直升机投弹使用的。投弹后, 母弹在空中由引信炸开底盖, 子弹脱离母弹下落, 并借助阻力伞减速, 至接近目标时触发爆炸, 使液体燃料扩散在空气中形成气化云雾。云雾借助于子弹上的云爆管起爆, 从而对地面形成超压, 杀伤人员、清除雷区和破坏工事等。除此之外, 这种炸



弹具有夺氧的特点，能够使人因缺氧而窒息。

BLU-73/B 云爆弹，全弹质量 59 kg，弹体直径 350 mm，内装液体环氧乙烷 33 kg。该弹爆炸时燃料与空气混合形成直径 15 m，高度 2.4 m 的云雾，云雾引爆后可形成 20 MPa 的压力。

2. 美国 BLU-82 云爆弹

美国 BLU-82 云爆弹是美国空军研制并装备使用的重型航空炸弹，质量 6.8 t，主要用来在敌方大型布雷区域开辟一条安全通道，也用来杀伤敌方有生力量。该弹研制成功后，从未有机会在大型布雷区进行实验。直到 1991 年的海湾战争中才得以使用，由美国空军的运输机 MC-130 改装的 MC-130H 装在机舱内的货架上从舱门投放，摧毁伊拉克的地雷区和高炮阵地，总共投放 11 颗。另外，在阿富汗战争也使用了这种炸弹。BLU-82 云爆弹的结构特点：全弹外形短粗。弹体像大铁桶，长 5.37 m，直径 1.56 m，弹头为圆锥形，前端装有一根长 1.24 m 的钢管，管头装有原用于 MK80 系列炸弹和 M117 炸弹的 M904 头部引信。该弹尾部没有尾翼装置，但装有降落伞，保证其下落的稳定性。该弹通常成对投放，投弹高度为 5 200 m，圆概率误差为 32 m，但由于装药量巨大，可以认为直接命中目标。该弹在地雷区可开辟 4 228 m 长的通道。目前，该弹装备美国空军改装的 MC-130H 运输机。

13.3 温 压 弹

顾名思义，温压弹就是利用高温和高压造成杀伤效果的弹药，也被称为“热压”（heat and pressure）武器。它是在云爆弹的基础上研制出来的，因此温压弹与云爆弹具有一些相同点和不同点。

相同之处是温压弹与云爆弹采用同样的燃料空气爆炸原理，都是通过药剂和空气混合生成能够爆炸的云雾；爆炸时都形成强冲击波，对人员、工事、装备可造成严重杀伤；都能将空气中的氧气燃烧掉，造成爆点区暂时缺氧。

不同之处是温压弹采用固体炸药，而且爆炸物中含有氧化剂，当固体药剂呈颗粒状在空气中散开后，形成的爆炸杀伤力比云爆弹更强。在有限的空间里，温压弹可瞬间产生高温、高压和气流冲击波，对藏匿地下的设备和系统可造成严重的损毁。另一个不同之处在于云爆弹多为二次起爆，第一次起爆把燃料抛撒成雾状，第二次起爆则把最佳状态的云雾团激励为爆轰反应，而温压弹一般采用一次起爆，实现了燃料抛撒、点燃、云雾爆轰一次完成。

13.3.1 温压弹的结构与作用

1. 结构特点

与云爆弹相同，温压弹也有温压炸弹、单兵温压弹、温压火箭弹、温压导弹等多种类



型。除此之外，由于温压弹独特的优越性，还有温压型硬目标侵彻弹，用于对深层坚固目标侵彻后毁伤内部空间的一切物体。

温压弹的结构随其种类不同而异，主要由弹体、装药、引信、稳定装置等组成。温压炸药是温压弹有效毁伤目标的重要组成部分，其中药剂的配方尤为重要，需要模拟与试验最终确定。引信是温压弹适时起爆和有效发挥作用的重要部件，当温压弹用于对付地下掩体目标时，则要求引信在弹药贯穿混凝土之后引爆，才能发挥最佳效果。对主要用于侵彻掩体的温压弹来说，要求有较好的弹体外形结构，弹的长细比要大，阻力小，且弹体材料要保证在侵彻目标过程中不发生破坏。以最初出现的温压弹 BLU-82B 为例，其结构仍与云爆弹 BLU-82 类似，由弹体、引信、稳定伞、含氧化剂的爆炸装药等部分组成，如图 13.7 所示。



图 13.7 美国 BLU-82B 温压弹

BLU-82B 是美国 BLU-82 云爆弹的改进型，质量 6 750 kg，炸弹长 3.6 m，直径 1.37 m，由于主要对付地面目标，弹壳厚仅为 6.35 mm，内装质量约 5 715 kg 的硝酸铵、铝粉和聚苯乙烯的稠状混合物。BLU-82B 既可用地面雷达制导，也可用飞行瞄准设备制导。炸弹由 MC-130 运输机投放，投掷前地面雷达控制员和空中领航员为最后的投掷引导目标。由于炸弹效果巨大，飞机必须在 1 800 m 高度以上投弹。在领航员作出弹道计算和风力修正结果后，MC-130 打开舱门，炸弹依靠重力滑下，在飞行过程中靠稳定伞调整飞行姿态并起减速作用。炸弹接近地面前，引信起爆引爆炸弹，可摧毁约 500 m 内的任何物体，而且炸弹产生的地震波可以在数千米外感觉到。

2. 作用原理

通常，温压弹的投放和爆炸方式有 4 种：

- ① 垂直投放，在洞穴或地下工事的入口处爆炸；
- ② 采用短延时引信（一次或两次触发）的跳弹爆炸，将其投放在目标附近，然后跳向目标爆炸；
- ③ 采用长延时引信的跳弹爆炸，将其投放在目标附近，然后穿透防护工事门，在洞



深处爆炸：

④ 垂直投放，穿透防护工事表层，在洞穴内爆炸。

与云爆弹相比，温压弹使用的燃料空气炸药为固体燃料，它是一种呈颗粒状的温压炸药，属于含有氧化剂的“富燃料”合成物。战斗部炸开后温压药以粒子云形式扩散。这种微小的炸药颗粒充满空间，爆炸力极强，其爆炸效果比常规爆炸物和云爆弹更强，释放能量的时间更长，形成的压力波持续时间更长。温压弹爆炸后形成3个毁伤区：一区为中心区，区内人员和大部分设备会受爆炸超压和高热而毁伤；在中心区的外围一定范围内为二区，具有较强爆炸和燃烧效能，会造成人员烧伤和内脏损伤；在二区外面相当距离内为三区，仍有爆炸冲击效果，会造成人员某些部位的严重损伤和烧伤。

温压弹爆炸后产生的高温、高压可以向四面八方扩散，通过目标上面尚未关好的各种通道如射击孔、炮塔座圈缝隙、通气部位等进入目标结构内部，高温可使人员表皮烧伤，高压可造成人员内脏破裂。温压弹更多地被用来杀伤有限空间内的敌人，引爆后空间内氧气被迅速耗尽，爆炸带来的高压冲击波席卷洞穴，彻底杀伤洞内有生力量。

13.3.2 几种典型的温压弹

1. 俄罗斯“什米尔”单兵温压弹

俄罗斯“什米尔”单兵温压弹（如图13.8）是一种步兵携带使用的单兵武器，属一次性使用武器，质量12 kg，杀伤半径为5~6 m。一个战士平时可背1~2具，具有威力大、可靠性高的特点，对人员、设备有较强的毁伤能力，主要用于摧毁掩体、建筑物、轻型装甲车辆及杀伤有生力量等，配合步兵分队进行攻坚作战。其半封闭的空间爆炸产生的威力要比常规装药大得多，而且还可以从房间内向外射击（后方需距墙5 m远），便于在城镇战斗中使用。



图 13.8 “什米尔”单兵温压弹



(1) 结构特点

该武器的发射筒采用玻璃钢结构,用前后盖密封,筒的前部和中间部位有两个握把,平时处于折叠状态。中间部位的握把和击发机构相连,打开该握把时击针簧就受到压缩,使击针获得能量(相当于待击发状态)。击发时长杆击针撞击发射筒后部的底火,底火引燃后,通过加强器点燃发动机装药。弹丸飞离筒口后,发动机或后抛或留在筒内,射击后发射筒即被丢弃。

作为一种筒式武器,它与火箭筒不同的是采用了浮动发动机,发动机有前喷口与后喷管两个通道。前喷口喷出的火焰在发射筒内,弹丸与发动机之间建立起一个工作压力区,推动弹丸飞出发射筒,并赋予发动机一个向后的作用力。与此同时,向后喷出气体的反作用力又对发动机有一个向前的作用力,从而使发动机在发射筒内得到平衡,并使武器不产生后坐力。其瞄准机构采用准星照门结构,每个班还配有一个带测距功能的瞄准镜,用以精确射击。为在强攻作战条件下掩护士兵更容易地接近敌人或者转移阵地,它还常和烟幕弹一起配合使用。所用烟幕弹实际上就是把云爆剂改为发烟剂类弹药,使用的是相同的发动机和发射药。

(2) 作用原理

由于温压弹的特殊作用原理,单兵温压弹与单兵使用的手榴弹、枪榴弹、榴弹发射器等武器所不同的是,其他武器大都是靠破片杀伤,以人员为主要杀伤目标;而单兵温压弹则是以冲击波摧毁建筑物为主要目标,也可杀伤有生目标。俄罗斯的“什米尔”单兵温压弹已在阿富汗、前南斯拉夫等战场上广为使用。它的一个最突出的特点是采用一次起爆。普通温压弹初期研制时,采用的是两次起爆,一次是把燃料抛散成雾状,另一次是把最佳状态的雾团激励为爆轰反应。其威力大小取决于第一次起爆时对燃料的抛撒均匀性、成雾的状态和第二次起爆时间的准确性,因而一般讲这种弹药作用可靠性并不很高。如果将两次起爆简化为一次起爆,它的作用效果和可靠性是否会有很大的提高呢?对此,俄罗斯作了成功的尝试,他们把固体(粉末状)和液体燃料混合在一起,用一个引信和爆炸装药完成了对燃料的抛撒和点火的全过程,燃料的微粒和雾滴在点燃后开始爆燃,进而转为爆轰,最终形成了温压弹一次起爆技术。

2. 美国 BLU-118B 温压弹

BLU-118B 是为了对付地下洞穴目标于 2001 年末研制的一种侵彻型温压炸弹,使用 BLU-109 钻地战斗部,在作战时用 F-15E 战斗机投放。BLU-118B 既可以垂直投放在洞穴和地道入口处而后引爆,也可以在垂直投放后穿透防护层在洞穴和地道内部爆炸。

BLU-118B 长 2.5 m,弹径为 0.37 m,质量 902 kg,内部填充爆炸物 255 kg,其战斗部使用改进的 FMU-143J/B 引信来起爆,该引信使用新型传爆药,并具有 120 ms 的起爆延时,可使弹丸侵彻 3.4 m 厚的混凝土上层后爆炸。BLU-118B 战斗部填充的炸药可以选用美国海军研制的一种新型钝感聚合黏结炸药 PBX1H-135 或使用 BLU-109 炸弹使用的固体燃料空气



炸药 SFAE。PBX1H-135 由奥克托今普通军用炸药、铝粉和聚氨酯橡胶混合而成。当用小型炸药起爆时，奥克托今分子转变成气体，并产生巨大的冲击波。在初始冲击波后一定时间内，燃烧中的铝粉发出高热和压力，由于温压爆炸在有限的空间内发生，其释放出的能量对数公里远的目标仍具有功能性杀伤效果。

3. 美国 MOAB 温压弹

MOAB 温压弹的全称是新型高威力空中引爆炸弹（Massive Ovdance Air Blast Bombs），如图 13.9 所示。它在结构设计方面近似于 BLU-82 云爆弹，但其性能更加先进。



图 13.9 放置在美国艾格林空军基地的 MOAB 温压弹

MOAB 炸弹长度为 9.14 m，直径 1.03 m，质量 9.76 kg，装有 8 164 kg 由 80% 新型 TNT 和 20% 铝粉混合而成的炸药。在弹体中部装备有短粗的弹翼，可以在空中滑行较长的距离。在其尾部套件上安装有 4 片格栅状舵面，每片格栅尾翼分别由 10 片长短不一的金属薄片相互交叉连接成一个整体，然后安装在一个矩形金属柜架内。这种格栅尾翼在一个小空间内形成大面积的升力翼面，可以提供有效的升力，这样不仅增强了其远距离滑翔的能力，而且使其在飞行过程中更加精确地校正航向。在 MOAB 上还装有全球定位/惯性制导系统，从而使其成为一种“智能”炸弹。从飞机上投放后，它可以在制导系统引导下，通过操纵舵面来改变下落方向，自主地飞向预定的攻击目标。这样就可以在地面防空系统难以攻击的高度投放炸弹，从而避免载机被击中，确保人员和飞机的安全。

另外，世界各国也正在积极探索新的温压弹药，如俄罗斯采用温压战斗部技术开发出供单兵榴弹发射器使用的多种攻击榴弹，可有效地杀伤躲藏在战壕和防御工事中的敌人，摧毁无保护措施武器以及轻型装甲车或软壳保护的器材。一种是 RShG-1 式 105 mm 火箭攻



击榴弹，该弹同时具有高效叠加、爆炸、杀伤和燃烧效应，触发时形成空心装药，能可靠地摧毁轻型装甲器材，甚至命中点偏差目标 2 m 时也能有效地杀伤人员，精确射击距离为 600 m。另一种是 RShG-2 式 73 mm 火箭攻击榴弹，该弹的尺寸小、重量轻、战场机动性好，既能以间接射击方式消灭躲藏在掩体中的敌人，也可以直接命中方式击穿身穿防弹衣的敌人，精确射击距离为 350 m。这些榴弹是为步兵分队研制的，同时又能为特种作战部队。

保加利亚研制了有温压战斗部的 GTB-7G 榴弹，使 RPG-7 单兵火箭发射器成为真正的多用途武器。该榴弹质量 4.7 kg、长 1.12 m，温压战斗部直径 93 mm，威力相当于 2 kg TNT，爆炸效应足以毁伤战场防御工事和轻型装甲车辆。RPG-7 发射温压战斗部榴弹时初速为 66 m/s，最大直射距离 200 m，可射击 1 000 m 以内的目标。

美国也正在研制一种称为“大型 BLU”的质量 13 600 kg 的“直接攻击硬目标钻地弹”，这种钻地炸弹的战斗部质量 9 070 kg，由高密度的钴合金材料制成，在攻击深埋的地下目标时能够产生更大的穿透力，可以在引爆前侵彻到地下 30 m。它采用了更加先进的差分 GPS 技术和硬目标侵彻灵巧引信，前者可以确保高空投放的精确性，后者是一种基于加速度计的电子引信，可以感受炸弹穿透目标时减速所产生的过载，能够区别土壤、混凝土、岩石和空气。因此，能够通过记录穿透的地层数目来控制爆炸点。

第 14 章 软杀伤弹药

14.1 概 述

现代战争的实践表明,在战争中除了参与作战的有生力量与武器之外,一个性能先进可靠、功能完善齐备的指挥—通讯—控制—情报系统,即所谓 C⁴I 系统,也是取得战争胜利的有力保证。随着高新技术在军事领域的广泛应用,为了追求最佳作战效果,常规弹药正在向两个不同的方向延伸。一方面,为了得到更大的毁伤效果,以实现高效毁伤、精确打击为目的,提出了一些新型弹药和武器,如超高速动能弹、精确制导弹药等;另一方面,为了避免战争中大量人员特别是无辜平民的伤亡,不再片面追求最大杀伤和摧毁目标,而在于通过各种手段使敌方丧失战斗力而投降。软杀伤弹药就是在这种情况下出现的,它是指不用传统的火力方式直接摧毁敌方武器装备、设施或杀伤人员,而是采用电、磁、光、声、化学和生物等某种形式的较小能量使敌方武器装备效能降低,乃至失效或使人员失去战斗力的一种新型弹药。战场上已经使用过的软杀伤弹药有各类干扰弹、诱饵弹、碳纤维弹等;目前正在发展和研制中的微波炸弹、激光弹、次声弹、电磁脉冲弹、强噪声弹、化学失能弹以及用于防暴的橡胶弹等都属于软杀伤弹药的范畴。

从弹药作用原理、结构、对目标的毁伤机理和目标易损性等方面来看,以火力直接毁伤敌方人员装备的常规毁伤技术与利用电、磁、声、光、化学和生物等技术使敌方武器装备、人员作战效能降低或失效的软毁伤技术是有很大差别的。常规毁伤技术主要依靠弹药战斗部的能量来毁伤目标,它主要包括两类弹药,一类是靠战斗部本身的动能来毁伤目标的动能类弹药;另一类是靠战斗部携带化学能在目标附近区域的适当位置释放,从而形成一定毁伤元素对目标实施毁伤的化学能类弹药。而软毁伤技术则主要是依靠控制电、磁、声、光、化学和生物等能量的释放与转换,从而使装备失去正常功能和使人员丧失作战能力。

目前,根据软杀伤弹药中能量的释放、控制和转换方式以及对各类目标的软毁伤模式不同,可以分为许多类。为便于讨论问题,本书按其作战对象的不同,将其分为 3 类,即针对有生力量的软杀伤弹药、针对装备的软杀伤弹药和同时针对人员与装备的软杀伤弹药。

14.2 针对有生力量的软杀伤弹药

针对有生力量的软杀伤弹药,也称为失能弹药,是指可以使作战人员丧失作战能力而又不会产生致命性伤害的一种弹药。目前,世界各国已经研制成功或正在研制的失能弹药多



种多样, 功能各异, 失能机理也不尽相同。

14.2.1 强噪声弹

强噪声弹以噪声对人体听觉的损伤作用来达到使作战人员丧失作战能力的目的。

1. 强噪声的生物效应

人们很早就发现, 连续、长时间作用的强噪声会对生物体产生严重影响。强噪声对生物的影响, 通常在实验室中进行。由于强噪声引起的作用不可能直接在人体上进行实验研究, 所以通常是以动物为研究对象进行的, 在取得研究结果并在必要验证后可以应用于人体作为参考。由于豚鼠和人的听力曲线非常接近, 所以强噪声的生物效应, 国内外多采用豚鼠进行。

强噪声对动物听觉器官的影响最为直接、最为明显。在高声强、宽频带连续噪声的作用下, 听觉器官的耳廓、中耳、鼓膜等都有不同程度的损伤。而且, 随着噪声的增强和作用时间的延长, 豚鼠听觉器官的伤情趋于严重。若把声强和作用时间的乘积定义为噪声作用量, 用以描述噪声对生物的作用, 则其对生物的作用见表 14-1。

表 14-1 噪声作用量和豚鼠听觉器官损伤的关系

噪声作用量/ ($\text{J} \cdot \text{mm}^{-2}$)	损伤程度	噪声作用量/ ($\text{J} \cdot \text{mm}^{-2}$)	损伤程度
< 1.2	无伤	10~20	中度伤
1.5~2.0	微伤	20~30	中-重伤
3~7.0	微-轻伤	> 30	死亡

在一定的噪声作用量范围内, 动物受损伤的听觉器官是可以恢复或部分恢复的。因此, 动物听觉器官损伤应控制在鼓膜出血及小穿孔的范围内, 不然会造成难以恢复的后果。

由于同一噪声作用量对不同动物引起的听觉损伤是不同的。因此, 虽然豚鼠实验的统计结论对强噪声于人体的作用有重要的参考价值, 但必须谨慎应用。就射击试验时观察到的情况来看, 峰值声压级在 165 dB 就能引起豚鼠鼓膜出血, 而人体对于 180 dB 的脉冲噪声很少能被引起鼓膜出血的现象。

强噪声不仅会造成动物和人听觉器官的损伤, 而且会严重影响内脏器官和神经系统等, 它可使人员神经混乱、行为错误、烦躁或器官功能失调甚至导致死亡。因此, 使用由炸药爆炸产生的强噪声弹时要注意合理使用装药量。

2. 强噪声弹的结构与作用

借炸药的爆炸是实现强噪声弹的简单、有效和成本较低的方法。

(1) 手榴弹式强噪声弹

如图 14.1 为防暴用强噪声手榴弹的结构示意图。由图可知, 手榴弹式强噪声弹包括下述几部分。



外壳：为了防止弹体爆炸破片所引起的伤亡，外壳采用塑料制成，不产生破片；引信：强噪声弹发射或抛出后往往需要一定时间的延迟后再爆炸，因此采用延期药实现延期。

强噪声弹的作用过程为：当用保险杆解脱保险后，就可拉动拉环，同时将弹投出，启动引信击针撞击火帽，触发传爆序列火工品依次作用致使炸药爆炸产生强噪声。

(2) 枪榴弹式强噪声弹

强噪声弹也可用步枪或发射装药发射，强噪声枪榴弹如图 14.2 所示。

它的工作原理和强噪声手榴弹相同，但其外形结构具有一定的特点。特别是尾部，它能够插入步枪枪管，也能够直接插入大口径的特制发射装置，将其发射出去。

除防暴使用的强噪声弹以外，国内外也在积极研制能够适于战场使用的强噪声弹药，如美国新近研制的称为“定向棒形辐射器”的强噪声弹，其外形为圆筒形，由 3~4 个叠放在一起的换能器组成，长 1.2 m，直径 101 mm。其产生强噪声的装置以鼓风机为基础，可产生高度定向的声束，声音信号的中心频率为 3 400 Hz，在 1 m 处的声压等级为 118 dB。作战使用时，发射中、低强度的噪声，可将宽 20 m、距离 50 m 的扇形区域覆盖。

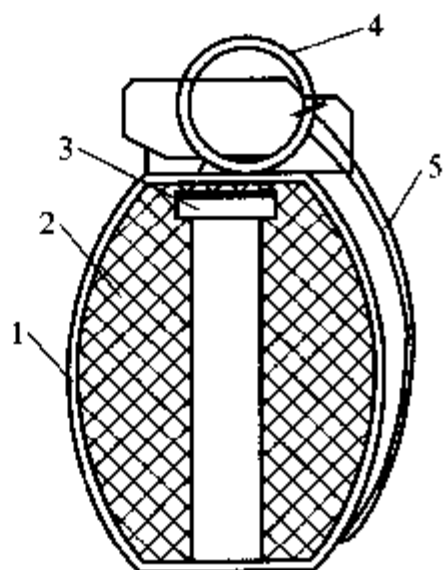


图 14.1 手榴弹式强噪声弹结构示意图

1—外壳；2—炸药；3—引信及传爆序列；
4—拉环；5—保险杆

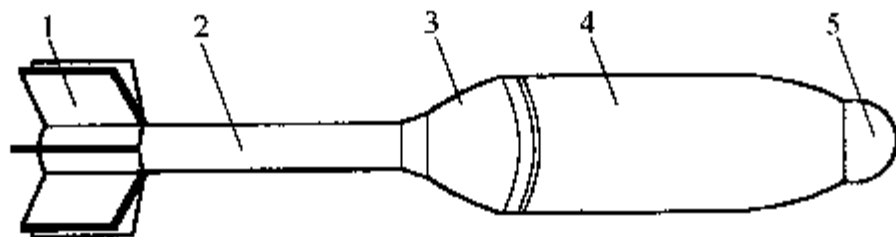


图 14.2 枪榴弹式强噪声弹外形

1—尾翼；2—尾管；3—引信及传爆序列部；4—弹体（炸药）部，5—碰撞保护帽

14.2.2 催泪弹

催泪弹是指装填物为催泪刺激剂的榴弹。催泪弹主要用于防暴作战、维和行动、战术战役等。催泪手榴弹主要由催泪刺激剂、弹体、引信等组成，发射的催泪弹还有发射药、推进和稳定装置。常用的催泪剂有 CN、CS、CR，弹体常用塑料、硬纸板等非金属材料制造，爆炸时不形成杀伤破片。催泪弹有爆炸型和燃烧型两种，使用时，通过爆炸或燃烧，将催泪



刺激剂变成气溶胶散布在空气中, 对人眼、上呼吸道以及皮肤产生强烈的刺激作用, 使人流泪、打喷嚏、皮肤产生烧灼感等。脱离接触后症状即可消失, 不会造成致命性伤害。

14.2.3 闪光弹

闪光弹是指装填物为闪光剂的榴弹。闪光弹主要用于防暴作战和维和行动。闪光手榴弹由闪光剂、弹体和引信组成, 发射用的闪光弹还有发射药、推进和稳定装置。闪光剂一般是烟火剂, 由氧化剂和可燃剂混合而成。弹体常用塑料、硬纸板等非金属材料制成, 爆炸时不形成杀伤破片。使用时, 弹爆炸伴随着强烈闪光产生冲击波超压和强烈声响, 使人眼暂时失明, 人耳暂时失聪, 人体受到冲击波超压的轻度损伤, 因而失去战斗力。初步研究表明: 闪光弹威力阈值应同时满足以下条件: $160\text{ dB} \leq \text{峰值声压级 } L_p \leq 176\text{ dB}$; $500 \times 10^4\text{ cd} \leq \text{闪光强度 } I \leq 5\,000 \times 10^4\text{ cd}$; $0.0196\text{ MPa} \leq \text{冲击波超压 } \Delta P \leq 0.0294\text{ MPa}$ 。

14.2.4 致痛弹

致痛弹又称防暴动能弹, 是依靠动能打击人体, 达到防暴目的的一种弹药。分为防暴枪弹和防暴致痛榴弹。致痛手榴弹由装填物、弹体和引信组成, 用于发射的致痛榴弹还有发射药、推进或稳定装置。装填物由一定数量和一定质量的橡皮球或橡皮块等组成, 弹体由塑料或硬纸板等非金属材料制成, 爆炸时不会形成杀伤破片。使用时, 通过引信爆炸推动橡皮球(块)打击人体, 对人体(不含喉部以上部位)造成中度和中度以下的损伤, 使人因痛疼难忍而逃离现场。

14.2.5 麻醉弹

麻醉弹是指装有麻醉剂并通过注射针管注入有生目标的弹药。用于特殊军事任务, 也可用于动物保护和管理。根据结构分为塑料弹头式和针筒弹头式两种。塑料弹头式与普通枪弹相似, 有弹头、弹壳、发射药和底火, 弹头由塑料或软橡皮等制成, 内装麻醉剂、注射针, 弹头撞击目标时产生较大变形而成扁平状, 使药室受到压缩, 将麻醉剂注入皮下组织。针筒弹头式用空包弹发射, 由针头、针筒(弹体)、尾翼组成。针筒内装有麻醉剂和产生注射压力的装置。发射后, 弹头靠尾翼稳定飞至目标, 针头插入并紧附目标上, 注射压力装置产生压力, 将麻醉剂注入目标内。将麻醉剂改为救生剂时, 则成为救生弹。

除上述针对有生力量的软杀伤弹药外, 目前国外正在研制的失能弹药还有次声弹、胶黏失能弹等。其中次声弹是利用次声波和人体器官固有频率相近的特性, 发射次声波使人体器官发生共振, 从而导致器官变形、移位、甚至破裂, 以达到使作战人员失去作战能力



的目的。

14.3 针对装备的软杀伤弹药

C⁴I系统是进行现代化作战的神经系统，一旦遭到干扰、破坏，整个作战体系将会瘫痪，对战争进程产生极大的影响。目前，对于针对装备的软杀伤弹药来说，主要攻击的是武器装备系统中最关键而又最脆弱的光电设备，按其对环境的作用方式可以分为两类，一类是以欺骗和扰乱对方制导与灵巧弹药为作战目的的弹药，如红外诱饵弹等；另一类则是以使敌方C⁴I系统的光电设备或电厂等重要设施失灵、失效或破坏为作战目的的弹药，如通信干扰弹、碳纤维弹等。

14.3.1 红外诱饵弹

1. 概述

随着红外技术的发展及其在精确制导中的应用，红外制导导弹日益显示出巨大的作战威力，构成了对飞机、舰船、战车等重要目标的极大威胁。因此，提高对抗红外导弹的能力已成为当前提高飞机、舰船、战车等重要目标战场生存能力非常重要的方面。红外诱饵弹就是一种能对抗红外制导导弹的干扰弹药。红外诱饵弹与其投放系统一起，构成了红外诱饵弹系统。理想的红外诱饵弹系统应具有如下特点：

- ① 能逼真地模拟飞机发动机喷焰的热辐射，或模拟飞机、舰船及战车等重要目标的热轮廓；
- ② 有宽的光谱覆盖范围及足够的辐射能量，能诱惑近、中、远红外制导导弹；
- ③ 能适时投入工作，不仅对单波段点源红外寻的导弹有好的干扰效果，而且对采用多光谱制导、复合制导及成像制导等技术制导的导弹也能奏效；
- ④ 诱饵弹能自备动力，能在空中稳定地飞行，并能与被保护目标保持最佳的距离和最合适的飞行轨道；
- ⑤ 投放系统能装填多种、多发诱饵弹，在雷达、红外报警器等警戒装置的自动导引下，能针对不同的目标实时地按不同的方式进行不同程度的干扰；
- ⑥ 体积小，质量轻，价格便宜，使用方便。

2. 红外诱饵弹的干扰机理

从红外理论可知，凡是温度高于绝对零度的物体都有红外辐射，而空中运动军事目标往往都具有大功率的发动机做动力，这就形成了高强度的红外辐射源。红外制导导弹的导引头能探测目标的发动机尾罩和尾气流的热辐射，从而使导弹跟踪，追击这个热辐射源。此时，投放红外诱饵弹是干扰红外导弹的一种有效的方法，它依靠红外药柱产生一个与目标红外辐

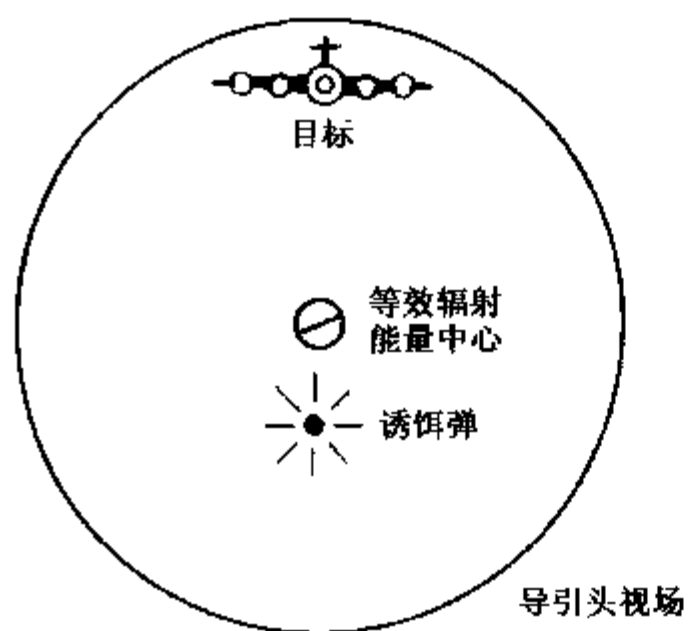


图 14.3 红外诱饵弹干扰机理示意图

射特性类似，但能量大于目标红外辐射能量 2~3 倍的热源，来达到欺骗来袭红外制导导弹的目的。当红外诱饵弹和目标同时出现在红外导引头视场内时，红外导弹跟踪两者的等效辐射能量中心，如图 14.3 所示。然而红外诱饵弹和目标在空间上是逐渐分离的。这样，由于红外诱饵弹的红外辐射强度大于目标红外辐射强度，所以等效辐射能量中心偏于红外诱饵弹，而且随着红外诱饵弹与目标的距离越来越远，逐渐使红外导引头偏向红外诱饵弹的一边，直到目标摆脱并离开红外导引头的视场，这时红外导弹就只跟踪红外诱饵弹。

3. 红外诱饵弹的主要技术指标

红外诱饵弹的主要技术指标有峰值强度、起燃时间、光谱特性、作用时间、弹出速度和气动特性等。

(1) 峰值强度

这是最重要的技术指标。红外诱饵弹的辐射峰值强度由目标的红外辐射强度所决定。在大多数情况下，诱饵弹必须在红外寻的器工作的全波段内有超过所保卫目标的辐射强度。一般来说，机载红外诱饵弹每产生 1 000 W/sr 的带内辐射强度，要消耗 0.5~1 MW 的功率。

(2) 起燃时间

从点燃开始到辐射强度达到额定辐射强度值的 90% 时所需时间定义为起燃时间。在红外诱饵弹离开红外导引头的视场之前，必须达到其有效的辐射强度。机载红外诱饵弹的有效辐射强度必须在零点几秒达到，而舰载红外诱饵弹可以延长到几秒钟。

(3) 光谱特性

机载红外诱饵弹燃烧时主要在 1~3 μm 、3~5 μm 波段内产生红外辐射，而舰载红外诱饵弹的干扰频段一般为 3~5 μm 和 8~14 μm 。

(4) 作用时间

诱饵弹的持续时间要足够长，以确保目标不被重新捕获。如果有被重新捕获的可能，就必须投放第二枚诱饵弹。为了对红外导弹实施有效干扰，单发红外诱饵弹的燃烧持续时间应大于目标摆脱红外导弹跟踪所需的时间。机载红外诱饵弹的燃烧持续时间一般大于 4.5 s，而舰载红外诱饵弹则为 40~60 s。

(5) 弹出速度

诱饵弹必须部署在寻的器容易观察到的位置，并以寻的器跟踪极限内的速度与目标分



离。可见，诱饵弹的分离速度通常应高于目标的机动能力。

(6) 气动特征

这主要由诱饵弹的空气动力学特性及释放时的相对风速所决定的。气动特性对舰载诱饵弹是很重要的，而对机载诱饵弹更重要。

综上所述，红外诱饵弹具有与真目标相似的光谱特性，且积分辐射强度应大于目标 2 倍。红外诱饵弹能快速形成高强度红外辐射源，它必须在离开导弹寻的器视场前点燃并达到超过目标辐射强度的程度，红外诱饵弹具有很高的效费比。红外诱饵弹结构简单，成本低廉，可以多载多投，是红外对抗中的重要技术手段。它可以保护飞机、军舰等高价值平台，而且一旦干扰成功，便可使红外制导系统难以重新截获、跟踪被保护的目标。

典型的红外诱饵弹技术参数见表 14-2。

表 14-2 典型红外诱饵弹的技术参数

分离速度/m/s	15~30	压制系数	$K \geq 3$ ；有些情况下要求 $K \geq 10$
燃烧时间/s	3~60	辐射强度	静态 $> 20 \text{ kW/sr}$ ；动态 $> 2 \text{ kW/sr}$
起燃时间/s	≤ 0.5	等效温度/K	1 900~3 000
工作波段	1~3 μm 、3~5 μm ，少数还可覆盖 8~12 μm 甚至更宽		
投放方式	常与箔条弹等干扰物联合投放		

4. 红外诱饵弹的结构与作用

红外诱饵弹一般是由弹壳、抛射管、活塞、药柱、安全点火装置和端盖等零部件组成。主要零部件的功能如下所述：弹壳起发射管的作用并在发射前对红外诱饵提供环境保护；抛射管内装有火药，通常由电能起爆，产生燃气压力以抛射红外诱饵；活塞密封火药气体，防止药柱被过早点燃；安全点火装置用于适时点燃药柱，并保证药柱在膛内不被点燃。

红外诱饵弹的工作过程：当红外诱饵弹被抛射点燃后产生高温火焰，并在规定的光谱范围内产生强红外辐射，从而欺骗或诱惑敌红外探测系统或红外制导系统。红外诱饵弹的前身是侦察机上的照明闪光弹。目前，普通红外诱饵弹的药柱由镁粉、聚四氟乙烯树脂和黏合剂等组成。通过化学反应使化学能转变成辐射能，反应生成物主要有氟化镁、碳和氧化镁等，其燃烧反应温度高达 2 000~2 200 K。典型红外诱饵弹配方在真空中燃烧时产生的热量约为 7 500 J/g，在空气中燃烧时约是真空中 2 倍。

从诱饵弹的形状看，有圆柱形、棱柱形及角柱形等多种；按其工作方式，则又可分为燃烧烛形、燃烧浮筒型和空中悬挂型三种；从装备对象看，又可将其分为机载型、舰载型及陆地型三种。当前，以机载及舰载红外诱饵弹系统的使用最为广泛。表 14-3、表 14-4 分别列出了目前几种典型的舰载红外诱饵弹及其投放系统的主要特性。



表 14-3 目前典型的部分舰载红外诱饵弹

国别	美国	英国	英国	瑞典
型号	GEMINI	SHIELD	RAMPART	PHILAX106
规格/mm	112	102	570	40
弹长/mm	451	1 680	375	
弹重/kg	4.0	25	1.77	0.37
有效载荷/kg	0.216			0.2
覆盖波段/ μm	3~5	3~5 8~14	1.8~2.5 3~5、8~14	3~5 8~14
辐射强度/ $(\text{W} \cdot \text{Sr}^{-1})$	1 000		700 (1.8~2.5) 550 (3~5) 160 (8~14)	
燃烧时间/s	45		30	
现状	大量装备	大量装备	大量装备	大量装备

表 14-4 目前部分典型的舰载红外诱饵弹系统

名 称	特 性	装备平台	国家	现状
快速离舰散升系统 (RBOC)	可发射 M171 箔条弹、HIRAM 红外诱饵弹、火炬红外诱饵弹、双子座箔条和红外复合诱饵弹	适于大、中、小型舰船	美国	服役
达盖系统 (DAGAIE)	每一诱饵发射箱含有 8 个一次激活弹, 26 个持续激活弹, 8 个一次激活弹形成红外诱饵云, 26 个持续激活弹在空中靠惯性展开降落伞并飘到水面上, 整个红外诱饵云持续时间达 30 s 之久	中、小型舰船	法国	服役
斯克拉 (SCLAN)	能发射红外诱饵弹、箔条弹和照明弹, 射程 0.3~12 km	各种舰船	意大利	服役
萨盖系统 (SAGAIE)	每一红外诱饵弹头中装一个主降落伞、6 个一次激活弹和 12 个持续激活弹, 红外诱饵云持续时间 30 s	中、小型舰船	法国	服役
盾 牌 (SHIELD)	可发射红外诱饵弹和箔条弹, 其改进型还可发射激光诱饵弹	大型舰船	英国	服役
女 座 (SIBYL)	可发射 6 种诱饵弹和 1 种练习弹, 自动化程度高, 综合性能好	大、中、小型舰船	英国 法国	服役

除红外诱饵弹外, 要实现对来袭导弹的干扰, 根据导弹系统的不同, 干扰弹药也有激光干扰型、雷达干扰型、红外干扰型和复合干扰型等类型, 其目的就是为了对抗新型制导弹药的发展, 适应新的战场需求。

14.3.2 通信干扰弹

通信干扰弹是在传统的通信干扰机的基础上发展起来的, 是先进的电子技术与弹药技术



相结合而产生的一种新型软杀伤弹药，主要功能是用以干扰敌方战场的无线电通信。通信干扰弹可以由火炮发射，也可由火箭、导弹等运载工具投送，一般采用子母弹形式，母弹内装多个一次性使用的宽频带通信干扰机。母弹被发射到目标区域上空后，逐个抛撒出干扰机，干扰机以一定速度落地至既定深度，然后展开天线，开始对战场无线电通信实施干扰。

1. 通信干扰弹的优点

通信干扰弹具有以下5个方面的优点：

① 在敌通信设备附近施放干扰，能以较小的干扰功率获得较高的干扰幅度和较好的干扰效果，用一部阻塞式干扰机可以同时抑制某一频段的所有电台；

② 在敌我双方电台功率及通信距离相同的情况下，对我方电台影响小，便于作战使用；

③ 干扰机采用迫击炮、加榴炮、火箭炮等投放平台，可选择遮掩阵地，发射后又能迅速转移，具有较强生存能力；

④ 便于掌握干扰区域、干扰方向和干扰时间，可根据作战需要灵活使用，如在反恐、营救人质和小规模武装冲突中，动用大型装备受时间、地点等诸多条件的限制，不如小巧的干扰弹简便、灵活、快速、有效；

⑤ 在局部战争中，情况瞬息万变、战机稍纵即逝，为取得局部的甚至小到几百平方米的制电磁权，更需小型投掷式干扰弹的有力补充。如外军的师、团级炮兵为保障射击指挥和任务协调，均配备了相当数量的超短波电台来组网通信，对于这种超短波电台，采用瞄准式干扰显然不适宜，而使用阻塞式干扰，充分发挥干扰机在一定区域内施放干扰的优势则十分有效。

2. 通信干扰原理

通信干扰是通过在敌方通信系统使用的频率上发射某种干扰信号达成的。如果干扰功率足够强，敌方接收机所接收的通信信号就会被干扰信号淹没，从而无法进行正常通信。但是，干扰功率是有限的，因此一个干扰系统只能在某个区域阻止敌方接收无线电信号，要对更广大的区域实施干扰，就必须使用多个干扰系统。干扰系统的有效辐射功率由输出功率和天线增益决定，如果要求高干扰率，需要具有较高的有效辐射功率。此外由于干扰机通常距被干扰接收机有一定距离，因此要提高干扰效果，就要尽量缩小二者之间的距离，并尽量减小路径损失，即减小从干扰机天线至目标接收机天线间电波的传播损失。

通信干扰经常使用的较成熟的干扰技术包括调频噪声、猝发噪声、连续波干扰和扫频—瞄准干扰等。以下介绍几种主要的通信干扰方式：

(1) 瞄准式干扰

可将干扰能量集中于敌方通信系统的很窄的频带内，因而有很高的干扰效率，但要求预先掌握敌方通信使用的频率。这就需要有一自动监视系统或由操作员监视敌方通信系统的频率覆盖范围，并确定重点干扰的接收机。

(2) 阻塞式干扰

可以覆盖某个预定的频率范围，无需准确地掌握被干扰信道的频率，但干扰能量将分



散在数量众多的信道内,从而降低了对某个信道的干扰效能,同时对工作在相同频率范围的己方通信也可能造成不良影响。因此,使用这种干扰方式时必须小心谨慎。

(3) 时分多路干扰

这种干扰方式可使干扰机有足够的功率干扰几个通信信道。时分多路干扰机可迅速从一个频率转换到另一个频率,短暂而有规律地干扰每一个目标信道。有人可能会认为,用这种方式实施干扰时,敌方的每个信道在大多数时间仍可通信,但实际上,接收机内的电路被干扰后,需要一定的恢复时间才能正常工作,还没等它恢复过来,下一次干扰又到了。

(4) 跟随跳频式干扰

跳频无线电通信系统的工作频率从一个信道跳到另一个信道,在每个频率以一定的时间(称为“闭锁时间”)短促地发射信号。这种通信体制,发射机和接收机的跳频次序必须一致,在通信网中的所有组成必须同步工作。慢速跳频电台的频率变化速率为每秒 50~500 跳,快速跳频系统可达每秒 1 000 跳或更高。干扰机不可能有足够的功率去干扰跳频目标的整个频带,在电台跳频之后,必须迅速调谐到新的频率,并在新的频率发射足够长的时间,使其产生足够多的误码,迫使其信号不能使用。根据当前蜂窝式电话系统易损性理论,要阻止敌方信息的有效传输,大约需对其造成 20% 的误码率。对于跳频速率为每秒 100 跳的慢速跳频系统,信号在每个频率上的驻留时间大约为 10 ms,也就是说,干扰机必须在 8 ms 之内重新找到信号、重调频率,并使输出功率上升到必须水平。

3. 几种典型的通信干扰弹

(1) XM867 式 155 mm 通信干扰弹

20 世纪 70 年代,美国费尔柴尔德·韦斯顿系统公司与美陆军通信电子局共同研制了 XM867 式 155 mm 通信干扰弹,配用于 M109A1 式 155 mm 榴弹炮,最大射程 17.74 km,如图 14.4 所示。

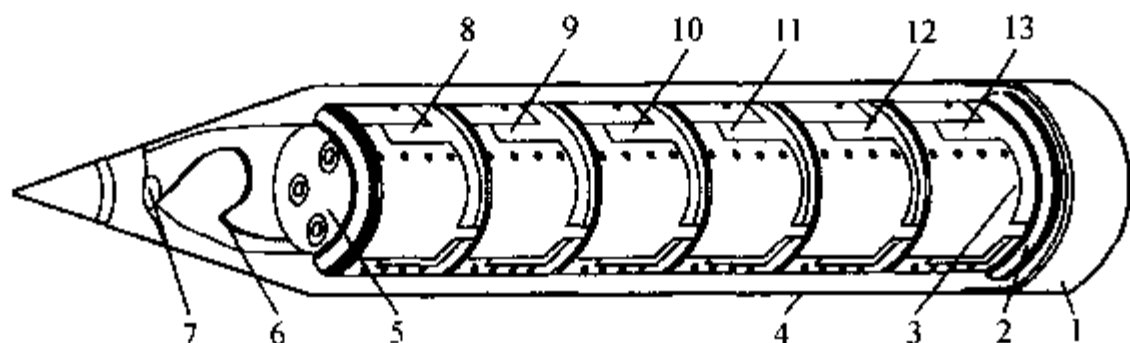


图 14.4 XM867 式 155 mm 通信干扰弹

1—底塞;2—抛射药座;3—减旋尾翼;4—155 mm 弹体;5—推板;6—柔性电缆;
7—开关组件;8、9、10、11、12、13—分别对应 1、2、3、4、5、6 号干扰机

XM867 式通信干扰弹为药包分装式炸弹,它属于子母弹结构形式,用于干扰离前沿部队 30~150 km 纵深地区行进中装甲部队的通信联络,其频段范围从 3~1 000 MHz;它还用于干扰敌雷达使其失效。



结构特点为该弹由引信、弹体（作为母弹）、6 部电子干扰机、弹带、推板和弹底塞组成。所使用的干扰机外形为短圆柱体，高 88.9 mm，直径 127 mm，造价低廉，能够承受火炮发射时的冲击力，属于宽频带阻塞式干扰发射机。主要诸元见表 14-5。

表 14-5 XM867 式 155 mm 通信干扰弹主要诸元

弹 径/mm	155	初 速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	650
弹丸长/mm	899	膛 压/MPa	约 290
弹丸重/kg	约 46	最大射程/km	17.74
弹体材料	锻 钢	装填物	6 个干扰机
引 信	M577 式机械时间瞬发引信		

使用时如同发射普通炮弹一样，将通信干扰弹对准预定目标射击，出炮口后，通过母弹上的定时引信和抛射药作用，按预定时间在最小高度 1 000 m 处从弹底部抛出干扰机。干扰机在离心力作用下使尾翼张开。与此同时，干扰机还展开了 1 根 0.914 m 长的定向带，与干扰机中的消旋翼片共同作用使干扰机减速定向着落，速度为 40 m/s，并以合适角度埋入土内 25.4~76.2 mm 处，之后露出在地面的天线展开，在几秒钟内干扰机上发射机接通，开始干扰敌通信联络，即干扰敌运动中的指挥通信网，干扰组成第二梯队装甲机械化部队可能使用的鞭状天线。如果处于守势时，可以用这种干扰弹结合爆炸性武器来对付撤退的敌部队或者在横向防御中阻止敌增援部队行进。这种通信干扰弹已正式装备美军，据称曾在“沙漠风暴”行动中用来干扰伊拉克的无线电通信设施。

该弹有以下特点：在不良气候和昏暗条件下特别适用，不易被测出，生产费用低，炮手可以将该弹与其他炮弹一起携带。

(2) XM982 式 155 mm 远程通信干扰弹

1991 年，美国研制出新型 XM982 式 155 mm 远程子母弹，内装有 4 个电子干扰器，构成远程通信干扰弹。干扰器上安装有降落伞，离开母弹后降落伞展开，使干扰器飘到目标区上方，并将传感器信息发回到手提式地面显示器上。

(3) 3HC30 式 152 mm 通信干扰弹

俄罗斯研制并出售给国外的 3HC30 式 152 mm 高频、甚高频通信干扰弹，质量 43.56 kg，射程达 22 km。弹丸内装有 1 个质量 8.2 kg 的电子干扰装置，发射频率范围为 1.5~120 MHz，可在 700 m 的有效作用半径内工作 1 h。

(4) 155 mm 和 152 mm 通信干扰弹

保加利亚防务工业公司也生产了 155 mm 和 152 mm 通信干扰弹。其 R-045L 和 R-046L 式通信干扰机工作频率为 20~100 MHz，分成 5 个阻塞频段并在它们之间有一定的频率重叠，覆盖系数为 1.3。



14.3.3 碳纤维弹

碳纤维弹, 又称石墨炸弹, 是一种以子母弹的形式, 由导弹或炸弹作为携带工具, 专门用于攻击对方发电厂及其供电系统的软杀伤弹药。

1. 电力系统的易损特性

(1) 电力系统的易损性分析

电力系统是指由发电厂、变电所、输配电线路直到用户等相互连接的一种整体, 它包括发电厂、输电线路、配电线路、升降压变电站。一般电厂都是封闭的, 电厂出口线路也都有保护, 不可能对其破坏。输配电线路和它所联系的各类变电所构成电网。输配电线路有两种, 一种是架空线路, 另一种是电缆线路。电缆线路埋于地下, 显然不在攻击之列; 架空线路是将电线架设在杆塔上, 设于户外并露置于大气中。变电所的配电装置有的采用屋内布置, 有的采用户外布置, 但考虑到输配电线路的大量性及其广阔的覆盖面积, 因此电力网络部分的露空输配电线路是碳纤维弹攻击的主要目标。变电站分区域性 ($\geq 110\text{ kV}$) 和地区性 ($< 110\text{ kV}$) 两种。变电站和配电装置多数采用户外或露天布置, 只有部分低于 35 kV 的地区性电站才采用屋内式布置。所以大型变电站的配电设备也是碳纤维弹攻击的主要目标。

(2) 电力系统的故障分析

对于碳纤维的应用来说, 主要是利用碳纤维丝束造成电力系统短路故障或烧毁。短路故障指的是电力系统正常运行情况以外的一切相与相之间或相与地之间的短接。三相系统中短路故障类型主要有三相短路、两相短路、两相接地短路和单相接地短路。

短路故障可分短时故障和永久故障。为防止短时故障, 线路上常采用重合闸进行保护, 当短路物品被烧毁后, 电路又恢复了。碳纤维丝束能否被烧毁, 可否实现短时故障或永久故障, 这与碳纤维丝束的性能直接相关。

2. 碳纤维的物理特性

碳纤维是近 30 年来迅速发展起来的一种新型材料, 它不仅具有一般碳材料密度小、强度高、导电性能好、耐高温和耐腐蚀等优良特性, 而且很柔软, 具有可编织性。

(1) 碳纤维的基本类型

碳纤维的基本种类有很多, 按制备原料可分为 4 类: 天然和人造碳纤维、聚丙烯腈 (PAN) 基碳纤维、沥青碳纤维、气相生长纤维。现在已大规模生产的只有 PAN 碳纤维和沥青碳纤维, 其中前者占产量的 90%, 后者占产量的 10%。

(2) 碳纤维的电性能和其他物理性能

为了研究碳纤维的应用, 首先分析一下碳纤维的电性能和一些物理特性。表 14-6 列出了各种不同碳纤维以及常见导体的物理机械性能。



表 14-6 各种碳纤维的物理机械性能

品 种	密度 / ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	电导率 / ($10^4 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$)	抗拉强度 / GPa	弹性模量 / GPa	伸长率 / %
人造丝基碳纤维	1.5~1.67	1.0~1.5	1~2.2	150~350	—
聚丙烯腈基碳纤维	1.7~1.8	2.0~2.6	2~3.5	250~400	—
各向同性沥青碳纤维	1.6~1.68	1.0~2.0	0.8~1	40~80	—
中间相沥青碳纤维	2.9~2.0	5.0~10	1.7~2.5	240~350	—
气相生长碳纤维	3.9~2.0	8.0~10	1~2.0	200~300	—
高强高模碳纤维	4.7~2.0	12~44	≥ 4.0	≥ 400	0.05~0.11
高强中模碳纤维	5.7~1.8	3.3~6.0	3.5~4.0	194~314	0.15~0.19
中强高模碳纤维	6.6~2.0	2.0~3.0	1.4~2.5	390~500	0.04~0.06
中模量碳纤维	7.4~1.7	1.0~2.0	1.2~3.0	100~300	0.08~0.18
低模量碳纤维	8.4~1.6	0.6~1.5	0.4~1.2	< 100	0.15~0.25
石墨 (a 轴)	2.26	250	20	1 000	—
铜	8.9	5 800	0.3	120	—
铝	2.7	3 570	0.2	70	—
铝合金	2.7	3 110	0.3	—	—

由表 14-6 可见, 各种碳纤维的抗拉强度和弹性模量与一般金属导体相比是很高的, 因此对使用要求不成问题。它的密度比金属低, 因而比金属轻。但碳纤维的导电性能比金属差, 它的电导率要比金属小 2~3 个数量级。

由于弹用碳纤维是用来短路高压电网的, 因此碳纤维性能的好坏至关重要。碳纤维性能的好坏与它的石墨化程度有关, 石墨化程度越高, 导电性越好。目前石墨碳纤维的电导率可达 $4.4 \times 10^5 \text{ (S/m)}$, 比铜线和铝线约小 2 个数量级。

(3) 碳纤维丝的特点

碳纤维弹丸内装的不是炸药, 而是大量极细密的碳纤维, 专门用于干扰敌方供电设备。这种经过化学处理的碳纤维丝有以下几个特点:

- ① 非常细, 碳纤维丝直径只有 $20 \mu\text{m}$, 而且很轻, 可以随风飘移到任何角落, 无孔不入;
- ② 具有极强的导电性, 当这些碳纤维丝黏附到电力设施上时, 可造成短路, 使整个电网瘫痪, 如果飘入计算机等电子设备中同样可使其击穿或损坏;
- ③ 对人员虽然没有伤害, 但它能黏附在人的皮肤上, 使人感到奇痒无比而无法工作。

3. 碳纤维弹的结构和作用

碳纤维弹主要由母弹、子弹药和雷达测高仪等构成。母弹是三瓣圆柱形筒体, 顶部带有引信, 尾部为折叠式弹翼。圆柱形筒体内可装填 200 多个碳纤维子弹药。子弹药酷似易拉罐, 长约 20 cm、直径 6 cm, 顶部设有可充气的降落伞, 底部设有弹簧底盖, 筒体内装有 20~40



捻为一束的高导电性碳纤维团（如图 14.5）。



图 14.5 BLU-114/B 碳纤维弹

母弹可以装在巡航导弹上，也可装在飞机上直接往下投掷，弹体上一般装有雷达测高仪。当弹体到达发电厂、配电站、雷达站这些指定目标的上空，降至预定高度时，弹药自动引爆。首先释放出无数枚罐头盒大小的子炸弹，然后子炸弹把碳纤维丝再炸成直径几百米的碳纤维团。

碳纤维团在目标地区降落，由于碳纤维丝的导电性和附着力作用，碳纤维丝会附着到变压器、供电线路上，当高压电流通过碳纤维时，电场强度明显增大，电流流动速率加速，并开始放电，形成电弧，致使电力设

备熔化，使电路发生短路，若电流过强或过热会引起着火；电弧若生成极高的电能，则造成爆炸。由此会给发电厂及其供电系统造成毁灭性的破坏。另外，由于它极细小，清除十分困难，一旦电网遭到袭击，很难在短时间内恢复。所以碳纤维弹是一种对发电厂破坏性极大、技术含量较高、成本较低的软杀伤弹药。

14.4 针对人员和装备的软杀伤弹药

在软杀伤弹药中，除专门针对有生力量和装备的弹药，还有一类弹药同时具有两方面的作用，既可以针对人员进行软杀伤，也可以针对设备进行攻击。这类武器一般分为两类，一类是能够用发射装置或运载体投放到目标区域的一次性弹药，如电磁炸弹、激光弹等；另一类则是可以多次重复使用的发射平台类武器，它由发射平台直接发出能量对目标进行攻击，如高功率微波武器、高能激光武器等。本书主要讨论前者，即各种弹药的概念与作用。

14.4.1 电磁炸弹

电磁炸弹是一种在爆炸时产生强电磁脉冲辐射的炸弹，根据它产生的电磁脉冲频段，可以将其分为两类，一类辐射的电磁波在微波频段称为微波炸弹，另一类辐射的电磁波频谱较宽称为电磁脉冲炸弹。



1. 电磁环境效应

电磁环境是指存在于给定空间的所有电磁现象的总和，通常构成空间电磁环境的主要环境因素有自然环境因素和人为环境因素两大类。

自然环境因素包括地球和大气层电磁场、静电电磁辐射源、雷电电磁辐射源以及太阳系和星际电磁辐射源等；人为环境因素包括各种电磁发射系统、工频电磁辐射系统、各种有电磁辐射的电器设备以及战场上用于军事目的的各种强电磁辐射源等。上述这些电磁危害源总体或某些对武器装备或生物体的作用效果称为电磁环境效应。

由于电磁环境效应对武器装备和人员的影响不可低估，因此，在高新武器装备研究、设计和靶场试验中，仅仅考虑一般意义上的电磁兼容和电磁干扰问题是不够的，必须考虑未来高技术战场的电磁环境效应对武器弹药的影响，尤其是要考虑强电磁脉冲场作用下战场装备和人员的生存能力。

2. 电磁炸弹的结构与作用

电磁炸弹一般包括电磁战斗部和制导系统两大部分。制导系统主要包括雷达高度表、气压计、引信或 GPS/INS 导航系统等。电磁战斗部主要包括电磁装置、电磁能转换器和电池组，其具体组成则随其类型的不同而有差别。

(1) 微波炸弹

典型的微波炸弹的结构如图 14.6 所示，主要由 4 大部分组成，即初级电源、爆炸激励电磁通量压缩发生器、微波发生器和发射天线，各部件之间由超短时同步开关控制。

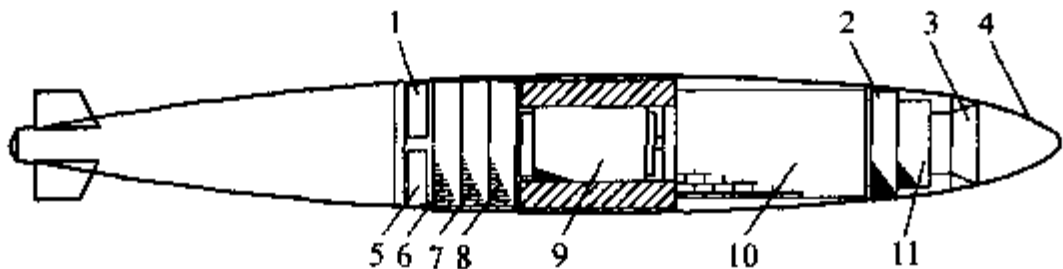


图 14.6 微波炸弹结构示意图

1—电源；2—脉冲形成网；3—微波天线；4—非导电头锥；5—电池；6、7、8—同轴电容器系列；

9—1 级螺线型 FCG；10—2 级螺线型 FCG；11—虚阴极振荡器

当微波炸弹到达目标区域预定起爆位置时，由引信启动第一个同步开关，由电容器组组成的初级电源放电，脉冲电源通过爆炸激励电磁通量发生器的线圈时，第二个同步开关工作，起爆炸药，利用炸药爆炸迅速压缩磁场，将爆炸的能量转化为电磁能，同时产生电磁脉冲，形成强大的脉冲电流。然后通过脉冲形成装置将电子束流变成适合虚阴极振荡器要求的电子束形式，再进入虚阴极振荡器中，使高速电子流加速通过网状阳极，形成空间电荷聚集区。在适当条件下产生微波振荡，将高能电子束流的能量转换成高功率微波能量，以作为适宜的高功率微波源，由天线发射出去。



(2) 电磁脉冲炸弹

电磁脉冲炸弹与微波炸弹的原理和功能相近,不同之处在于电磁脉冲炸弹发射的不是微波脉冲,而是一种混频单脉冲,因此不需要微波发生器,只是一个脉冲调制电路,将功率源输出的脉冲锐化压缩后直接发射,电磁脉冲炸弹结构如图 14.7 所示。

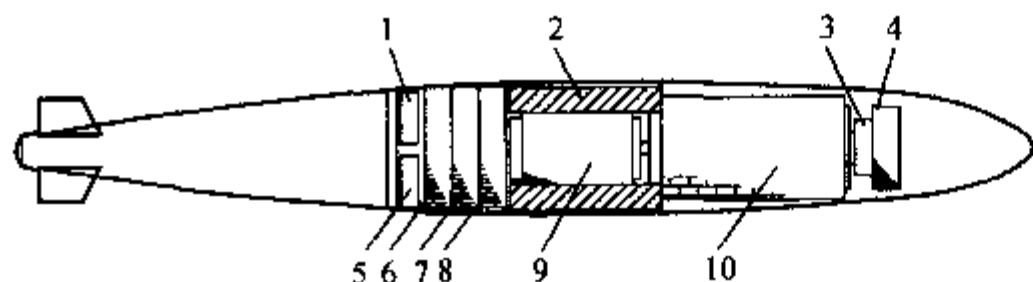


图 14.7 电磁脉冲炸弹结构示意图

1—电源;2—平衡环;3—爆炸开关;4—同轴载荷;5—电池;

6、7、8—同轴电容器系列;9—1级螺线型FCG;10—2级螺线型FCG

电磁脉冲炸弹由初级电源、爆炸激励电磁通量压缩发生器、脉冲调制网络和发射天线组成。与微波炸弹相比,它不需要微波发生器,这样既可以避免解决微波发生器中的许多技术难题,也可以使电磁脉冲炸弹的整个体积减小,更适用于使用常规武器系统发射和运载。

3. 电磁炸弹对武器装备的作用

电磁炸弹对目标进行攻击过程中,只有当爆炸能量被耦合进目标时,才能对目标造成有效毁伤。能量耦合方式决定了弹药所产生的电磁场能量中有多少被耦合进目标,其耦合方式可以分为“前门耦合”和“后门耦合”两种。“前门”是指设备对外开放的通道如天线,强电磁脉冲被直接导向目标设备,如果知道设备的接收频率,甚至可以通过技术设计,造成更大的破坏效果;“后门”是指设备的导线、动力电缆、电话线、失效的屏蔽部件甚至屏蔽箱上的孔洞,瞬时电流或驻波能量通过它们耦合到设备而造成破坏。通常情况下,微波炸弹比电磁脉冲炸弹的能量耦合效果好,采用圆极化耦合方式比采用线性极化耦合方式效果更好。

电磁炸弹对武器装备的作用机理可以概括为以下 4 个方面:

(1) 热效应

静电放电和高功率电磁脉冲产生的热效应一般是在 ns 或 μs 量级完成的,是一种绝热过程。这种效应可作为点火源和引爆源,瞬时引起易燃、易爆气体或电火工品等物品燃烧爆炸;也可以使武器系统中的微电子器件、电磁敏感电路过热,造成局部热损伤,导致电路性能变坏或失效。

(2) 射频干扰和“浪涌”效应

电磁辐射引起的射频干扰,对信息化设备造成电噪声、电磁干扰,使其产生误动作或功能失效。强电磁脉冲及其“浪涌”效应对武器装备还会造成硬损伤,既可能使器件和电路的性能参数劣化或完全失效,也可能形成积累效应,埋下潜在的危害,使电路或设备的可靠性降低。

(3) 强电场效应

电磁危害源形成的强电场不仅可以使武器装备中金属氧化物半导体(MOS)电路的栅氧化层或金属化线间造成介质击穿,致使电路失效;而且会对武器系统自检仪器和敏感器件



的工作可靠性造成影响。

(4) 磁效应

静电放电、雷击闪电及类似的电磁脉冲引起的强电流可以产生强磁场，使电磁能量直接耦合到系统内部，干扰电子设备的正常工作。

电磁炸弹的电磁辐射能量作用到武器装备上时，通过“前门”或“后门”耦合，使电磁脉冲能量以传导方式或辐射方式作用于电子部件和电爆火工品，致使武器装备的作战效能下降或完全失效。电磁炸弹的作用结果主要决定于武器装备中最弱部件的电磁敏感度和电磁脉冲作用时间内每个部件接收到的电磁脉冲能量。表 14-7、表 14-8、表 14-9 分别为电磁脉冲引起电子元器件失常或损坏的最小能量参数。

表 14-7 引起电路失常或干扰的最小电磁脉冲能量

J

名 称	最小能量	故 障	备 注
逻辑卡	3×10^{-9}	电路失常	典型的逻辑晶体管门电路
集成电路	4×10^{-10}	电路失常	J-K 双稳态单片集成电路 (SP-50)
放大器	4×10^{-21}	干 扰	典型的高增益放大器

表 14-8 引起元器件烧毁的最小电磁脉冲能量

J

型 号	最小能量	材 料	备 注
2N36	4×10^{-2}	锗	PNP 音频晶体管
MC715	8×10^{-5}	硅	数据输入门集成电路
1N3720	5×10^{-4}		隧道—极管
1N238	1×10^{-7}	硅	微波—极管
2N3528	3×10^{-3}	硅	可控硅整流器
6AF4	1		超高频振荡器电子管

表 14-9 引起附加器件永久性损坏的最小电磁脉冲能量

J

名 称	最小能量	故 障	备 注
继电器	2×10^{-1}	触点熔接	低电流断电器
爆炸栓	6×10^{-1}	引爆	8A 爆炸栓
雷 管	2×10^{-3}	引爆	35WN8 电雷管
燃料气体	3×10^{-1}	引爆	丙烷空气混合气



4. 电磁炸弹对有生力量的作用

电磁炸弹对人员的杀伤作用主要是生物效应和热效应两类。

(1) 生物效应

生物效应是由较弱的电磁能量引起的。试验证明,当人员受到能量密度为 $3\sim 13\text{ mW/cm}^2$ 的电磁波束照射时,会产生神经混乱、行为错误、烦躁、致盲和心肺功能衰竭等现象,飞行员受到照射后不能正常工作;当能量密度达到 $10\sim 15\text{ mW/cm}^2$,频率在 10 GHz 以下时,人员会发生痉挛或失去知觉。

(2) 热效应

热效应则是由较强电磁能量照射作用引起的,当电磁能量密度为 0.5 W/cm^2 时,可造成人员皮肤轻度烧伤;当能量密度达到 $20\sim 80\text{ W/cm}^2$ 时,照射时间超过 1 s 即可造成人员死亡。

14.4.2 激光弹药

激光是利用某些物质原子中的粒子受激发而发出的光,其相位、方向、频率完全相同,能量高度集中。激光武器就是利用其集中能量的特点而制造的。激光武器采用直接瞄准方式攻击目标,当用于对付远距离目标或无法直接瞄准时就无法完成攻击任务。为了解决这个问题,世界各国开始发展可远程投放的激光弹药。

目前,激光弹药的发展有两条技术途径,一是炸药爆炸直接冲击压缩发光工质产生激光;二是由爆炸磁压缩产生强电流,再由电能激励发光工质转换为光能产生激光。发光工质有固体发光工质和气体发光工质两种,因为固体工质激光弹体积小、使用灵活,美国正在研究一种 40 mm 激光弹,可作为榴弹发射。如图 14.8 所示为固体工质激光弹的工作原理。

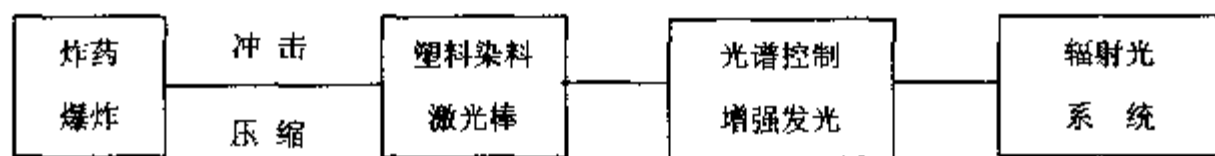


图 14.8 固体激光弹原理

固体激光弹也称为炸药爆炸冲击压缩固体激光弹,在战斗部内装有高能炸药和塑料染料激光弹,它是一种亚稳能态的固体工质,靠炸药爆炸冲击加热激光发出一定强度的激光,可以致盲人眼或破坏武器装备的传感器、光学瞄准镜、激光与雷达测距机、各种光学窗口以及武器装备的探测系统等。

激光弹对目标的作用主要表现在三个方面:一是伤害人眼;二是破坏光电器件;三是破坏光学系统。

根据各种实验证明,视网膜上的激光能量密度只需达到 151 mJ/cm^2 ,就可使人眼受到伤害,其受伤程度从发红、短时间失明到永久失明。更严重的后果是激光烧坏视网膜,造成眼



底大面积出血。对人眼损伤的程度取决于激光的各项参数，这些参数主要有激光的波长、激光输出功率和脉冲宽度等。在各种波长的激光中，以 $0.53\ \mu\text{m}$ 的蓝绿激光对人眼的伤害程度最大。相对来说，波长从 $0.4\ \mu\text{m}$ 到 $1.4\ \mu\text{m}$ 的激光，都能对人眼造成较大伤害。

对于破坏光电传感器来讲，所需的激光能量则要高一个到几个数量级。实验表明，当受到强激光辐射时，热电型红外探测器将出现破裂和热分解现象，光电导型红外探测器则被气化或熔化。

对于光学系统来说，当光学玻璃表面在瞬间接收到大量激光能量时就可能发生龟裂效应，并最后出现磨砂效应，致使玻璃变得不透明。当激光能量进一步提高，光学玻璃表面就开始熔化。这样，光学系统就会立即失效。

第 15 章 航空炸弹

15.1 概 述

15.1.1 航空炸弹在现代战争中的地位和作用

航空弹药是指载机从空中发射或投掷的弹药，包括航空炸弹、航空炮弹、航空导弹和其他用于特殊目的的航空弹药。航空炸弹则是指航空兵实施空袭中，从空中发射或投放的用来破坏和摧毁敌人各类目标，杀伤敌有生力量的一类弹药。制导航空炸弹通常也称为制导炸弹，它是投放后能对其弹道进行控制使之导向目标的一种新型炸弹。目前的许多制导炸弹是在原普通航空炸弹的基础上加装制导装置而成的，也有专门设计的新的制导系统，有些还增加了动力装置使之具有防区外攻击能力。

在现代高技术战争中，对地面目标实施空中打击已成为战争的首选方案。空中打击不仅可对敌方纵深的指挥控制中心、机场、防空阵地、掩体和桥梁等重要军事目标精确打击，而且可对集群坦克、装甲车辆、炮兵阵地以及地面人员及其他军事设施实施有效的摧毁。

1991 年爆发的海湾战争，向世人展示了空中打击在未来战争中的地位和作用。在空袭中，美国的宝石路激光制导炸弹系列、GBU-15 红外成像制导炸弹以及法国的马特拉系列激光制导炸弹广泛用于摧毁伊军指挥控制通信中心、交通枢纽、首脑机关建筑物、机动导弹发射架、桥梁、动力设施等坚固目标。持续 38 天的空中打击几乎完全摧毁了伊拉克的战争装备，为战争的最终胜利奠定了坚实的基础，从而使地面战争仅用 4 天时间就结束了战斗。

因此，在常规武器发展中，欧美国家不仅重视航空武器的发展，而且特别重视航空炸弹的发展。特别是精确制导武器和远程打击武器的出现，使空中打击效能成百倍、上千倍地得以提高，使载机的生存能力大为改善。各种新型制导技术和战斗部技术的发展使得航空炸弹不仅可精确地命中远距离的点目标，而且可有效地实施摧毁；不仅可摧毁地面上的各种点目标，而且可有效地摧毁各类面目标；不仅可对目标实施硬杀伤，而且可对目标实施软破坏。因此，航空炸弹已成为现代战争中最重要武器之一。

15.1.2 国外航空炸弹发展特点

从现代战争的特点来看出，航空炸弹的发展呈现出如下特点：



1. 强调对纵深目标的打击能力

利用空中打击力量,摧毁敌方纵深的军事目标,是现代战争的一个重要趋势。但随着防空火力的日益完善,特别是防空导弹的射程不断扩展,使实施空中打击的飞机面临严重的危险,特别是传统的掠飞攻击方式已无法适应今日的战场。因此,发展防区外发射的武器,远距离精确摧毁目标已成为当今世界各国航弹发展的重要特点,如美国研制的 AGM-130 航弹是通过在 GBU-15 航弹上加装发动机来提高射程。

2. 强调对加固硬目标的摧毁能力

为防止空中打击,现代指挥中心、掩体等重要军事设施的防护能力不断改善,一些重要的目标不仅处于地下,而且加有钢筋混凝土结构的保护,从而使一般的航弹无法将其摧毁。发展硬目标侵彻弹药,打击敌重要的军事设施,如摧毁指挥控制中心、通信中心以及导弹发射阵地等目标将对整个战局产生重要影响。

因此,国外特别注重硬目标侵彻弹的发展,如美国在许多制导炸弹中采用了 BLU-109B 硬目标侵彻战斗部来提高对硬目标侵彻能力。

3. 强调对集群装甲目标的精确打击能力

发展灵巧子弹药,加强对集群装甲目标、炮兵阵地等面目标的精确打击能力是国外航弹发展的另一个重要特点。国外正在大力发展能够精确打击地面集群装甲目标的武器,如美国的 BAT 智能反装甲子弹药将大大提高对这类目标的摧毁能力。

4. 强调对点目标的精确打击能力

在发展远程武器的同时,还需要这种武器具有极高的精度,这就需要发展相应的制导技术。尽管激光制导炸弹在海湾战争中显示出卓越的功能,但这种制导方式易受气候和战场环境条件影响,从而不能全天候作战。

因此,开发新的制导技术,使远程航弹具有精确打击能力和全天候作战能力已成为航弹发展的另一个重要特点。如美国的 JDAM 和 JSOW 等航弹就是通过采用惯性导航技术和全球定位系统提高远距离的命中精度,使其命中精度达 13 m。此外,通过引入毫米波或红外等末制导技术后可将命中精度提高到 3 m。

5. 强调对机场和跑道的摧毁能力

在现代战争中,争夺制空权将成为战争的焦点,甚至将成为影响战争进程的关键。在夺取制空权的众多措施中,将敌方飞机消灭在机场或通过摧毁跑道使其无法起飞已成为夺取制空权的重要手段。

为此,发展反机场和反跑道弹药,提高对机场的压制能力和对跑道的摧毁能力是国外航弹发展的重要方面。一方面发展可大面积摧毁跑道的撒布器武器,通过反跑道弹药与地雷的综合使用拖延跑道的修复时间;另一方面是发展侵彻和破坏能力更大的反机场弹药,将敌方飞机消灭在地面。



6. 强调对电子设备的软杀伤能力

探索发展软杀伤航弹是当今航弹发展的一个重要特点。以往航弹的发展总是强调对目标的硬杀伤和毁坏,但现代高技术战争对电子、通信设备的依赖使得软杀伤弹药具有更大的威力。如海湾战争中,美国海军在战斧巡航导弹中首次使用了碳纤维战斗部,从而使伊拉克的发电厂失效。

15.1.3 航空炸弹的战术技术要求

航空炸弹广泛用来攻击战场目标和后方军事基地、交通枢纽、工业设施等战略目标,其战术技术要求主要有:

1. 爆炸威力

爆炸威力是航空炸弹爆炸时对目标毁伤的能力,与炸药性质、装药量、装填系数、装药结构、弹体结构、目标性质、爆炸位置和方式有关。随航空炸弹的弹种不同,衡量的指标也不同:航空爆破炸弹常以冲击波超压值、冲击波作用半径和抛掷漏斗坑容积来衡量;航空穿甲炸弹、破甲炸弹常以贯穿装甲厚度来衡量;航空杀伤炸弹常以有效破片数、破片有效杀伤半径和破片最大杀伤半径等来衡量。

航空炸弹的名义质量以“圆径”表示,它代表航空炸弹的质量级别和威力,是设计和供载机配套使用的重要的战术技术指标。航空炸弹的圆径与以长度单位表示的炮弹口径不同,其大小决定着它的外形直径与长度。通常航空炸弹圆径只体现炸弹的名义质量,实际质量可大于或小于名义质量。当某些因素(如弹体厚度、内部装填物的密度等)使实际质量与名义质量相差太大时,一般在圆径后附加实际质量,如250-130(250为圆径,130为实际质量),以便为载机载弹量和轰炸计算提供实际数据。航空炸弹品类繁多,质量分布范围很广,为了有效地毁伤各种典型目标,方便生产,合理使用,许多国家都在已有的圆径等级基础上调整圆径等级范围,制定航空炸弹圆径系列。

航空炸弹圆径有公制(kg、t)和英制(lb)两种系列。公制系列:1 kg, 2.5 kg, 5 kg, 10 kg, 25 kg, 50 kg, 100 kg, 250 kg, 500 kg, 1 t, 1.5 t, 2 t, 3 t, 5 t 和 9 t 等;英制系列:4 lb, 6 lb, 10 lb, 20 lb, 25 lb, 90 lb, 120 lb, 220 lb, 260 lb, 350 lb, 500 lb, 750 lb, 1 000 lb, 2 000 lb, 3 000 lb, 4 000 lb, 10 000 lb, 12 000 lb, 22 000 lb 和 44 000 lb 等。使用中按不同炸弹种类选择不同圆径范围。

2. 安全分离距离

安全分离距离是飞机投掷后,航空炸弹爆炸时不危害飞机的炸点与飞机间的最小距离。安全分离距离的含义与安全距离相同。从飞机上投掷的航空炸弹从投弹点到引信解除保险所经历的一段行程称为最小空中安全行程,它的垂直分量称为安全垂直落下距离。在飞机水平投弹时,安全垂直落下距离与飞机投弹速度无关。飞机俯冲投弹时,安全垂直落下距离与飞



机投弹速度有关。航空炸弹引信的延期解除保险时间所对应的弹与飞机相互间的距离，称为解除保险空中行程，应大于或等于安全分离距离。

3. 安全性

安全性是航空炸弹在轰炸目标或预定时间之外不发生意外作用（或爆炸）的性能。它是炸弹的安全生产、使用和正常发挥作用的重要条件。除与引信的安全性有关外，通常与炸弹的装药质量、机构作用正常性、生产条件、储存环境条件、运输方式、挂载及投弹方式、弹道上的干扰以及目标性质等有关。有生产、储存、勤务处理、装挂、机载、离机、弹道飞行和弹着目标等各环节的安全性。常采取如下措施来保证这些环节的安全性：储存安全，规定储存环境条件和储存期，引信应具有优良的保险性能；勤务处理和装挂安全，操作中，要防止发生跌落、碰撞和滚坡等现象；机载安全，确保炸弹悬挂牢固，引信不得解脱保险；离机安全，用爆控拉杆和旋翼控制器等控制引信在炸弹离机达到安全分离距离后方能解脱保险；弹道安全，为保证炸弹在未达目标前不会因摆动、穿过密林或受雨、电、磁等外界干扰而误炸，引信应有相应的保险机构；弹着目标安全，要求炸弹侵入目标内部才爆炸时，引信与弹体必须有足够的强度，装药安全性良好。

4. 稳定性

稳定性是航空炸弹在飞行过程中，抵御外界干扰趋于恢复平衡的能力。表现在炸弹轴线与弹道切线的一致性上，是炸弹弹道性能的主要标志。当炸弹受外界干扰后，只要轴线绕弹道切线的摆动是逐渐衰减的，即攻角随炸弹的下落而减小，就认为是稳定的；反之，就认为是不稳定。摆动衰减快则稳定性好；反之则差。炸弹的稳定性不仅影响弹着点的散布，还会影响炸弹侵入目标的瞬时状态，甚至会影响引信作用或导致跳弹现象的产生。航空炸弹稳定性含静稳定性和动稳定性。静稳定性又称稳定储备量、稳定裕量，表明炸弹没有被干扰时的运动趋向。如果趋向原来的平衡位置，则炸弹是静稳定的；否则，是静不稳定的。普通炸弹必须保证静稳定度才能满足飞行稳定性的要求。制导炸弹的静稳定度不宜过高，即使有某种程度不足也可通过控制系统予以补偿。动稳定性又称运动稳定性，反映炸弹在平衡位置受到干扰后运动过程的特性。当炸弹受扰动后运动是减幅振动或单调衰减运动，炸弹是动稳定的；受扰动后的运动是增幅振动或单调发散运动，炸弹是动不稳定的；受扰动后的运动为等幅振动或保持受扰动状态，炸弹是动稳定的。动稳定性是运动过程中的主要特性，必须予以保证。

15.1.4 航空炸弹的分类

航空炸弹种类庞杂、使用广泛，各国的分类方法也不尽相同。按战术任务分为主用与辅助航空炸弹，按毁伤特性分为常规与非常规航空炸弹，按装药性质分为普通与特种航空炸弹，按控制能力分为无控与制导航空炸弹，按弹形分为高阻、低阻与减速航空炸弹，按增程方式分为动力型与滑翔型航空炸弹，按用途（装备、训练与教练）分为制式、航空训练与航空教



练炸弹等。

1. 主用航空炸弹

主用航空炸弹用于直接毁伤目标，是装备数量最多、使用最多、应用范围最广泛的一类航空炸弹。其作用效率分别以炸弹作用半径、战术毁伤定额、必须命中的平均炸弹数等效率指标表征。使用时，根据目标性质、轰炸条件、要求毁伤程度以及炸弹特性和威力等来选择使用适当功能的弹种和圆径。

(1) 普通航空炸弹

普通航空炸弹包括爆破炸弹、杀伤炸弹、低阻炸弹和减速炸弹等。

航空爆破炸弹是以炸药装药的爆破作用为主要毁伤手段的主用航空炸弹，特别是靠坚硬的弹头侵彻目标后以弹体内大量装药爆炸产生强大的冲击波，并辅之以弹体破片的作用毁伤目标。

航空杀伤炸弹指的是以破片杀伤有生目标为主，以爆炸产物和冲击波为辅的主用航空炸弹。

低阻航空炸弹指的是飞行中空气阻力较小的航空炸弹。特点是全弹长细比大、外形流线性好、气动阻力小，适于高速飞机机舱外挂。主要由低阻型战斗部与低阻型弹尾两部分组成。低阻型弹尾是一种带十字形翼片的安定器，用压紧螺帽固装在弹体上。弹耳根据挂弹钩形式可为单耳，也可为双耳。按战斗部的不同分为低阻爆破炸弹、低阻杀伤炸弹、低阻燃烧炸弹、低阻燃烧爆破炸弹和低阻子母炸弹。低阻爆破炸弹圆径一般为 100~1 000 kg 级，以 250~500 kg 级使用最广，其弹体一般用普通钢经整体锻造、拉伸或用钢管旋压加工制成。低阻杀伤炸弹圆径常见的为 100 kg 级，弹体多用衬管，外层缠绕钢带，炸药、装药、装填系数和作用性能分别与相应圆径的爆破炸弹和杀伤炸弹相当。

减速航空炸弹指的是带减速装置适于低空投放的航空炸弹。全弹主要由战斗部和带减速装置的弹尾两大部分组成。战斗部多与低阻航空炸弹的战斗部通用，装爆破战斗部的为减速爆破炸弹，装杀伤战斗部的为减速杀伤炸弹。减速装置有多种类型，如柔性伞式减速装置、金属伞式减速装置、组合伞式减速装置、火箭制动减速装置、阻力板式减速装置等。减速炸弹圆径多为 100~500 kg。减速航空炸弹的主要特性是：炸弹投下离载机一定距离后减速装置工作，瞬间增大阻力，炸弹迅速减速，使炸弹弹道弯曲，落角增大，飞行时间延长，载机有充分时间飞离爆炸区；低空或超低空投弹时不产生跳弹，可确保载机安全。

(2) 侵彻航空炸弹

侵彻航空炸弹包括穿甲炸弹、半穿甲炸弹、反跑道炸弹和硬目标深侵彻炸弹等。

航空穿甲炸弹指的是靠穿甲作用毁伤装甲目标的主用航空炸弹。主要利用动能贯穿装甲，毁坏坚固目标。采用延期弹尾引信起爆。弹体的头部形状和弹壁厚度要有利于贯穿，能确保在穿甲过程中不被破坏，通常用高强度合金钢经锻造加工制成。安定器用普通钢板制造。炸药装药通常为 TNT、B 炸药或其他钝感黑梯混合炸药，装填系数一般不大于 0.15。炸弹



圆径一般为 250~1 000 kg 级, 作用效率以穿透的最大装甲厚度来表征, 主要用于攻击大型军舰、钢筋混凝土工事、有防护层的地下工程等坚固目标。

航空半穿甲炸弹又称航空厚壁爆破炸弹, 是以贯穿、爆破双重作用毁伤有钢筋混凝土防护目标的主用航空炸弹。其贯穿能力优于爆破炸弹, 而低于穿甲炸弹; 爆破作用优于穿甲炸弹, 而低于爆破炸弹。结构与航空穿甲炸弹类似, 只是弹体厚度稍薄一些。弹体通常由中碳钢或合金钢锻造成形, 经热处理以确保侵彻过程中有足够的强度; 安定器用普通钢板制造; 弹体前部通常装普通 TNT 炸药, 中、后部装钝感黑梯混合炸药, 以确保装药安定性和提高爆炸威力。装填系数介于爆破炸弹与穿甲炸弹之间, 一般约 30%, 炸弹圆径一般为 250~1 000 kg 级。作用效率以贯穿混凝土障壁作用和爆破作用的诸效率指数来衡量。主要用于攻击轻型装甲舰艇、机库、港口、桥梁和钢筋混凝土等保护目标。

航空反跑道炸弹是以破坏机场混凝土跑道为主的航空半穿甲炸弹。

航空硬目标深侵彻炸弹是利用炸弹本身的动能贯穿深层目标并毁伤各种较硬介质的航空炸弹。其结构特点是, 弹体的头部形状和弹壁厚要有利于侵彻过程中弹体不被破坏, 通常由中碳钢或合金钢锻造加工成型, 炸药装药为 TNT、B 炸药或其他高能混合炸药, 确保炸药安定性, 提高爆炸能力。装填系数小于航空爆破炸弹, 一般在 0.15~0.3 之间。引信常配置于弹体尾部。炸弹圆径一般为 500~1 000 kg 级。作用效率以穿透最大硬目标表征。主要用于攻击大型舰艇、桥梁、钢筋混凝土工事及深层坚固军事目标。

(3) 特种航空炸弹

特种航空炸药用来完成某种特定战术任务, 主要装填特殊性能装填剂、装填物的航空炸弹, 包括定时炸弹、燃烧炸弹、深水炸弹、燃料空气炸弹和化学炸弹等。

航空定时炸弹是指投放后经预先装定时间才爆炸的航空炸弹。可由航空爆破炸弹、航空杀伤炸弹、航空杀伤爆破炸弹等配装时间引信构成, 有时根据需要还配装防拆装置。主要用于封锁敌人的交通枢纽或战略要地。除具有准确地按所需时间自动爆炸的功能外, 还能给敌人精神上的威胁, 起牵制敌人的作用。有时也可能配装震动引爆装置或其他敏感引爆装置, 兼做航空地雷使用。

航空燃烧炸弹是指内装燃烧剂, 利用爆炸后产生高温火焰获得纵火和燃烧效应的主用航空炸弹。用于引燃或烧毁弹药、油料、军用物资和其他易燃目标以及烧伤有生力量。有集中型和分散型两类。集中型燃烧炸弹圆径较小, 一般在 5 kg 级以下, 碰击目标后产生一个集中火种; 分散型燃烧炸弹圆径较大, 一般为 100~500 kg 级, 每枚炸弹爆炸后, 分散成多个火种, 在较大面积上引燃或烧毁目标。按装填的燃烧剂不同, 又分为高热剂燃烧炸弹和稠化油料燃烧炸弹。稠化油料燃烧炸弹, 常称做火焰炸弹, 主要装填凝固汽油、黏性高温燃烧剂和聚苯乙烯燃烧剂等, 一般用薄钢板或铝合金板制成薄壁弹体, 以提高装填系数。采用黄磷管做点火装置, 引信作用后, 经扩爆管炸开磷管和弹体, 抛出黄磷和燃烧剂, 并立即燃烧, 可产生较大火焰, 多用于对付大面积易燃目标。



航空深水炸弹又称航空反潜炸弹，是攻击潜艇及水下目标的主用航空炸弹。按装药不同，分为常规深水炸弹和核深水炸弹两种。小圆径航空深水炸弹专门用于直接攻击水面或水下潜艇；大圆径航空深水炸弹主要用以攻击水下潜艇和其他水下目标。航空深水炸弹的结构与航空爆破炸弹相似，弹体形状适于水中弹道，并能防止水面跳弹，弹壁较薄，装药量大，可装 TNT 炸药、混合炸药或核装药。配装触发或近炸引信，近炸引信有水压引信、时间引信等。有的为适应低空、高速投放，还在弹尾处配置降落伞装置。炸弹离开飞机一定安全距离后，降落伞张开使炸弹减速下落，入水角增大，以防水面跳弹。经预定时间后伞弹分离机构使降落伞与炸弹分离，炸弹仍保持稳定飞行，入水后下潜接近目标。引信在炸弹击水后进入待发状态。触发引信在碰击水下目标时起爆；水压引信在下沉到预定深度时起爆；时间引信按装定时间起爆；其他近炸引信如声引信、磁感应引信等则在目标附近起爆。

（4）航空子母炸弹

航空子母炸弹包括集束炸弹、破甲炸弹、破甲杀伤炸弹和多功能子弹药等。

航空集束炸弹简称航空炸弹束，集子炸弹成束挂载与投放的航空炸弹，一般由数个多至数十个中小型航空子炸弹组成。按子炸弹类型可分为航空爆破集束炸弹、航空杀伤集束炸弹、航空燃烧集束炸弹等。圆径在 50~250 kg 级之间。弹束结构简单，可机舱内挂或外挂集中使用。集束方式有箍带捆扎式和梁式集束架两类。箍带捆扎式是沿弹径方向用箍带将数枚子炸弹捆扎在一起，并由保险钢索锁定，弹耳安装在箍带上，投弹后抽脱保险钢索释放箍带，使子炸弹分离。梁式集束架以金属横梁为骨架，架上装有带弹耳的护板和分离用的火药盒，有的用径向箍带将各子炸弹沿弹轴方向紧固在梁架上，再由保险钢索锁定，也有用轴向紧固件、支持器等固装在梁架上。若要求投弹后迅速开放时，抽脱保险钢索，打开箍带，子炸弹分离。若要求投弹后延时开放时，装上时间引信点燃火药盒释放紧固件，使子炸弹分离。由于受结构限制，子炸弹集装数量少，散布面积和密集度较小，效果不十分理想，这种炸弹的发展受到一定限制。

航空破甲炸弹是利用聚能效应毁伤装甲目标的主用航空炸弹。靠空心装药产生高温、高压、高速的金属射流穿透装甲。以子炸弹形式集装于子母弹箱内或集成弹束投放，圆径约为 0.5~2 kg 级，最常见的是 0.5~1 kg 级的。炸弹壳体常用普通材质薄壁钢管或钢板卷制而成，安定器由普通薄钢板制成，药型罩多系铜质、钢质等高密度金属旋压或冲压的、空腔呈 $40^\circ \sim 60^\circ$ 锥角的圆锥形体，通常装填 TNT 与黑索今混合炸药。破甲炸弹的作用效率常以静止状态穿透最大装甲厚度或动态模拟落角、着速条件下的穿透最大装甲厚度来表征，一般破甲深度可达药型罩口部直径的 5~6.5 倍。用于攻击坦克、装甲车、自行火炮和其他有装甲防护的目标。击穿后，金属射流可杀伤装甲背后的乘员，破坏机件，引燃燃料，引爆弹药等。弹体爆炸产生的破片还可杀伤附近的有生力量。当前主要的发展方向是：提高穿透装甲、复合装甲的能力；增加子母炸弹箱装填数量；增大覆盖面积和提高命中精度。

航空破甲杀伤炸弹是指兼有破甲作用和杀伤作用的主用航空炸弹。结构和圆径与航空破



甲炸弹基本相似。特点是：药型罩角度较大，以利于提高装药量；弹壁较厚，常制成预制刻槽或用钢丝缠绕焊接成型，以利于产生有效破片。为增大子母弹箱装填数量，也有将头尾制成可伸缩的。航空破甲杀伤炸弹的作用效率以破甲厚度和杀伤作用各项效率指数来表征。用以攻击装甲输送车、步兵战车等轻型装甲目标，较使用航空破甲炸弹更为有效。

（5）制导航空炸弹

制导航空炸弹包括激光制导炸弹、图像制导炸弹（包括红外成像和电视制导）、毫米波制导炸弹、复合制导炸弹、卫星制导炸弹、机载空对地布撒器等。

激光制导航空炸弹是由弹外或弹上的激光束照射在目标上，弹上的激光寻的器（也叫激光导引头）利用目标漫反射的激光能量实现对目标的跟踪并对炸弹进行控制使之飞向目标的航空炸弹。目前国内外的激光制导炸弹都是半主动寻的方式，其中激光照射方式有地面照射和空中照射两种，空中照射亦可分本机照射和它机照射。激光制导航空炸弹按气动布局不同可分为鸭式气动布局和无尾式气动布局。前者的鸭式舵在全弹质心的前面；后者的质心前面有反安定翼，稳定尾翼在质心后，尾翼后缘是控制舵面。鸭式气动布局的激光制导航空炸弹有美国的“宝石路”系列炸弹；无尾式气动布局的激光制导航空炸弹有俄罗斯的 500 kg 型和 1 000 kg 型激光制导炸弹，其控制系统有自动驾驶仪，对滚转、俯仰和偏航三个通道分别进行控制。激光制导航空炸弹是由导引头舱、战斗部舱和仪器舱所组成。导引头舱接收目标反射的激光，经滤光片和聚焦透镜聚焦到光敏面四象限二极管上，转换成电信号，经信号处理，形成两个方位信号输入到弹上控制系统，控制系统的惯性测量器件和所有的电子器件都安置在仪器舱内；战斗部舱内有战斗部和引爆系统，包括引信，爆控拉杆，传爆管等。激光制导航空炸弹主要用于攻击地面固定的重要点目标和低速运动的目标，现正在朝远射程、高精度、复合制导和全天候作战使用的方向发展。

图像制导航空炸弹是红外成像寻的制导航空炸弹和电视寻的制导航空炸弹的统称。航空炸弹上的红外扫描成像寻的器依据目标和背景的图像实现对目标的捕获与跟踪并将炸弹引向目标的方法称为红外成像寻的制导。一般说红外成像制导系统的成像质量比电视成像质量差，但它可在能见度低的条件下或电视寻的难以工作的夜间工作，与红外点源寻的制导相比，红外成像制导系统有更好的识别能力和更高的制导精度，全天候作战能力和抗干扰能力有较大的改善。实现红外成像的途径有光机扫描和凝视两大类。光机扫描成像寻的器的热图像通过光学系统、扫描机构、红外探测器及其处理电路实现。电视制导的航空炸弹也是图像制导的一种，其工作原理是扫描线圈控制摄像管的电子束作水平和垂直扫描，外界视场内的目标和背景（三维图像）的光能，经大气传输进入镜头聚焦并在摄像管的靶面上成像，由靶面输出视频信号电流，完成光电转换。由视频跟踪处理器中的误差鉴别器自动测量目标与行场扫描中心的水平偏差和俯仰偏差形成的误差电压。该信号加于伺服系统使光轴对准目标，实现对目标的跟踪。在电视摄像机锁定目标后，发射由电视寻的制导系统产生的制导和控制信号。该信号一方面驱动电视寻的器的陀螺进动，另一方面控制舵机使目标始终位于摄像机视场的



中心，导引炸弹飞行，直至命中目标。

复合制导航空炸弹是指利用两种或多种制导方法制导的航空炸弹。采用复合制导方式的有串联式复合制导炸弹和并联式复合制导炸弹。串联式复合制导炸弹在制导过程中，由一种制导方式依次转到另一种制导方式接替进行制导；并联式复合制导炸弹是以两种制导方式同时或交替制导。复合制导炸弹多配装滑翔或动力等增程装置，主要用于远程攻击。在全程导引过程中，以不同性质的导引装置在不同的距离范围内发挥各自的特点，以提高航空炸弹的命中精度。

机载空对地布撒器是由作战飞机挂载、远距离投放、具有自主飞行控制和精确制导能力、可携带大质量有效载荷或多种类型子弹药的空对地攻击型武器的总称。主要由制导与控制、战斗载荷（子弹药）、动力推进装置和弹翼等四大部分组成。与空射巡航导弹有些相似，重要差别之一是有有效战斗载荷大，约占全弹总质量的 55%~75%。机载空对地布撒器按动力方式可分为无动力滑翔、火箭助推和涡喷动力型。制导系统多采用全球定位系统加惯性导航系统（或加末制导）。战斗载荷可根据预定攻击的目标，选择不同种类子弹药的组合或整体式战斗部，达到最佳毁伤效果。机载布撒器是在原系留式布撒器基础上，应用现代飞行控制与制导技术发展而来的，大多采用模块化设计。利用其防区外发射、精确制导和可携带大量多种类型子弹药的特点，可避开敌方防空火力对载机的攻击，对机场跑道及机场设施、集群装甲目标、电力通信系统、军用仓库或其他重要的点、面目标实施有效毁伤。机载布撒器具有较高的作战效费比，是目前机载空对地攻击武器发展的重点和热点。

2. 辅助航空炸弹

辅助航空炸弹不能直接毁伤目标，但能产生烟、光效应或传递信息，起照明、训练、教练、照相、标志、烟幕和宣传等辅助作战的作用，主要用来在特定条件下配合领航、轰炸、支援部队的战术行动。使用时，根据战术技术需求选择适应的弹种和最佳圆径。

（1）航空照明炸弹

航空照明炸弹是指利用照明剂燃烧时产生可见光效应的辅助航空炸弹，供飞机夜间轰炸、侦察和支援地面部队夜间作战照明用。一般圆径在 250 kg 以下，弹体多用薄钢板制成，内装抛射装药和降落伞照明系统。炸弹投下后，尾部风轮旋脱，拉出稳定伞，保持飞行稳定性。时间引信按预定时间作用，点燃抛射装药并引燃照明炬，抛出伞炬系统。照明炬减速伞张开，减缓照明炬下落速度并可减小主伞的开伞动载。伞套受气流作用拉出主伞，将照明炬悬挂在空中缓慢降落。总发光强度一般可达数百万坎德拉，照明时间约为 5~7 min。

（2）航空训练炸弹

航空训练炸弹是模仿航空炸弹弹道性能和外在效果的航空模拟炸弹，供训练和考核飞行员轰炸投弹使用。按弹种不同分为普通航空训练炸弹、深水航空训练炸弹、低阻航空训练炸弹、减速航空训练炸弹、制导航空训练炸弹、训练核炸弹和航空训练地雷等；按功能不同分为模拟各标准落下时间等级并能显示落点的训练炸弹（专供模拟目标瞄准投弹用）、模拟弹



道性能的训练炸弹、模拟除爆炸以外其他效果的训练炸弹等。各种训练炸弹的形状、结构依所模仿实弹的训练要求有所不同，有与实弹相同圆径的，也有缩小圆径的，一般多为缩小圆径的。相同圆径的训练炸弹除内部结构和装填物外，弹形、质量、质心等均与实弹相同。航空训练炸弹用量大，应力求结构、工艺简单，材料来源广泛，成本低廉。

（3）航空教练炸弹

航空教练炸弹是模拟某种航空炸弹外形、结构和动作原理的假炸弹，供空勤和地勤人员训练和教学使用。为了与实弹区别，均涂有“教练”字样的标志。因模拟的弹种、教练目的和内容的不同，品种十分繁杂，特点也各有不同。操作训练用的教练炸弹与真实炸弹的圆径、质量、外形等相同或缩小比例，多用钢筋混凝土、铸铁材料制成弹体，或用未装药真弹空体装填惰性装填物而成，供地勤人员练习装配、装引信、挂弹及操作维护等使用。教学用教练炸弹可模拟各种炸弹的结构、工作原理和动作程序，形式与构造多种多样：有与实弹形状相同的等圆径或缩小或放大比例的；有整体、分解和解剖等形式的；有用倒空装药的真正炸弹元、器件，或用木材、塑料、石蜡等代用材料制作的。这种教练炸弹可供培训空勤和地勤及有关人员熟悉炸弹构造、原理、作用等使用。

（4）航空照相炸弹

航空照相炸弹是指内装闪光剂，爆炸后产生瞬间强光源的辅助航空炸弹，供飞机夜间航空摄影作闪光光源使用，圆径一般在 100~250 kg 之间。投弹后，时间引信在预定时间引爆引燃药并点燃闪光剂，使炸弹爆炸闪光，在闪光的同时，飞机照相机的光电效应器产生电流，接通照相电路，自动拍照。发光强度达数十亿坎德拉，爆炸闪光达到最大光度时间一般不超过 0.04 s，可在 10 000~15 000 m 高空进行航空摄影。

15.2 普通航空炸弹

15.2.1 概述

航空炸弹（简称炸弹）是用飞机或其他飞行器投放的弹药，具有立体攻击、灵活机动、毁伤威力大的特点。第二次世界大战期间，在战略轰炸方面，交战双方都向对方政治中心、军事基地、军事工业、重要工矿和交通枢纽等目标投掷了大量的炸弹。据不完全统计，苏、美、英等国仅对德国就出动了飞机 5.12×10^6 架次，投炸弹 4.2×10^9 kg。实践证明，炸弹是一种极为有效的航空弹药。第二次世界大战后，航空炸弹得到很大发展，这主要是改进性能和增加品种。具体地说，主要是增强适应能力，发展低空、低阻炸弹；加大毁伤面积，发展集束、子母炸弹；提高命中精度，发展制导炸弹。

纵观近十几年的局部战争，空中火力打击一直占据着重要地位，空中火力先行已成为现代战争的一大作战样式；而各种航空弹药则是空中打击中使用最多、应用最广的一类武器弹药。



1. 航空炸弹的结构和作用

航空炸弹的外形像是一个纺锤、水滴或罐头盒，然后加上尾翼。一般由弹体、稳定装置、弹体装药、传爆管、引信及挂装弹耳（或弹箍）等组成，还可根据需要附加减速装置、制导装置、滑翔弹翼和动力系统等。

弹体是炸弹的外壳，它包括弹头、弹身和弹尾，有的炸弹还装有弹道环等。弹头通常呈卵形，也有截头圆锥形或半球形的，一般情况下，弹头部的母线半径为 $0.75d$ ，长度为 $(1\sim 2)d$ ；弹身为圆柱形或稍带一点锥度的截头圆锥形，有锥度的弹身不仅可以减小空气阻力，还可以使炸弹的质心前移，从而提高炸弹在弹道上的飞行稳定性，一般情况下，弹身长度为 $(2\sim 5)d$ ；弹尾一般为圆锥形，其长度一般为 $(0.5\sim 2)d$ ；弹道环是焊接（或安装）在弹头上的环形箍，其作用是当炸弹的运动速度接近音速时，可提高炸弹的稳定性，改善炸弹的弹道性能。

稳定装置是保证炸弹飞行稳定的部件，炸弹投放初始状态及气动扰动等因素使弹轴线与弹道切线偏离，增大攻角，产生翻转力矩，炸弹将在气动力作用下绕横轴摆动。通常用稳定装置产生稳定力矩迫使摆动衰减，以保证炸弹不翻滚。稳定装置一般有安定器、可控舵面、陀螺舵及增程滑翔弹翼等。此外，还包含各类改善弹道性能的弹道环、附加翼面、尾阻盘等。安定器亦称稳定器，它固定在弹尾上，用来保证炸弹在空中沿一定的弹道稳定下落。安定器的形状有箭羽式、圆筒式、方框式，方框圆筒式、双圆筒式和尾阻盘式等（如图 15.1）。安定器一般由薄钢板制造与弹体固定连接。各种稳定装置必须具有使炸弹绕质心的摆动振幅逐渐衰减的特征，确保航空炸弹飞行稳定性。稳定装置的稳定效果以相邻摆动的振幅之比来表征。也有的炸弹不用安定器，而用稳定伞来保证炸弹在弹道上稳定下落。为了保证安定器的强度和提 高炸弹下落时的稳定性，在各安定片之间设有撑杆或撑板，或者在安定片周围加一圆环。

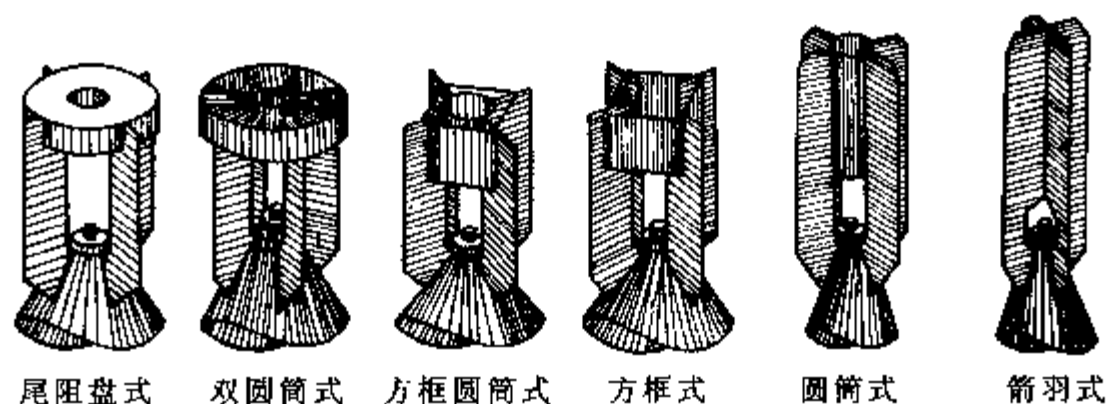


图 15.1 各种安定器的形状

弹体装药是使炸弹产生各种作用（爆破、杀伤、燃烧、照明和发烟等）的主要能源。不同用途的炸弹，弹体内的装药不同，可以是普通炸药、热核装药、燃烧剂、特种药剂、化学战剂、生物战剂或其他装填物。

传爆管焊接（或螺纹连接）在弹头部，有的在尾锥体内也设置一传爆管，它们的作用是



将引信起爆后的能量进一步加强,并传递给装药,使炸弹可靠地爆炸。

弹耳是直接焊在弹身上或用螺纹拧在弹身上的吊耳。弹箍是带有弹耳的箍圈,炸弹就是通过它们悬挂在飞机上的。弹体较厚的炸弹,其弹耳通常直接焊在弹身上,弹体较薄的炸弹,通常将弹耳焊在弹身的加强衬板上,或者使用弹箍。在一般情况下,100 kg 以下的炸弹使用一个弹耳;250 kg 以上的炸弹使用2个或2个以上的弹耳。

减速装置是起增大飞行阻力和稳定作用的航空炸弹组件,多用于低空、超低空投掷的减速航空炸弹。有伞式减速装置、火箭制动减速装置和阻力板式减速装置等。伞式减速装置又分为降落伞式减速装置、金属伞式减速装置、气伞式减速装置和组合伞式减速装置等。阻力板式减速装置通常由弹头前端装的防跳盘和弹尾后端装的尾阻盘构成。减速装置可使在挂飞中呈低阻外形的炸弹离机达到一定安全距离后所受阻力瞬间增加,飞行速度迅速降低,这就会使弹道弯曲,落角增大,防止产生跳弹,并且随配装弹体的爆炸威力半径大小的不同,相应地增长炸弹落下时间,以保证载机有足够的时间飞离爆炸区。因此,减速装置必须具有以下功能:确保挂飞中减速装置不工作,而在出现意外情况时必须能立即脱离载机,以保证挂飞安全;在弹道上一旦减速装置工作不正常时也能使引信的延期作用正常,从而保证炸弹延迟爆炸,载机有足够时间飞离危险区,确保炸弹连投间隔等。

炸弹对目标的作用,主要是爆破作用、杀伤作用、侵彻作用和燃烧作用等。对于每一种炸弹,通常是以一种破坏作用为主,兼顾其他破坏作用。

2. 航空炸弹的弹道性能

航空炸弹的弹道性能采用弹道系数、炸弹标准落下时间和炸弹极限速度来表示。

(1) 弹道系数

弹道系数是反映炸弹空气阻力加速度大小的数值。目前,我国采用的阻力定律是“1970年航空炸弹标准阻力定律”,该定律是以我国250 kg 2型航空爆破炸弹作为标准炸弹的。

(2) 标准落下时间

标准落下时间又称特征落下时间,是指在标准气象条件下,从海拔2 000 m高度以40 m/s的速度水平投弹至炸弹落到地面(海平面)所需的时间,常用符号 T 表示。炸弹标准落下时间是表示弹道性能很重要的特征数,在轰炸瞄准具中广泛使用。在相同的条件下,各种炸弹的落下时间是不同的,可反映出弹道性能的好坏。这个时间愈短,说明炸弹受空气阻力的影响愈小,弹道性能愈好。炸弹的标准落下时间在产品使用说明书中直接给出。生产装备部队的炸弹,在其弹体上均喷印有该弹使用的标准落下时间 T 。

(3) 极限速度

极限速度是指空气阻力等于炸弹重量(空气阻力加速度等于重力加速度)时的炸弹速度。炸弹的极限速度愈小,说明该炸弹受空气阻力影响愈大,弹道性能就愈坏;反之炸弹的极限速度愈大,该炸弹受空气阻力影响愈小,弹道性能就愈好。炸弹极限速度由其弹道系数确定。

弹道系数、炸弹标准落下时间和炸弹极限速度是同一事物的三种表现形式,三者之间有



密切联系，可以互相换算。航空炸弹极限速度的大小是炸弹弹道性能好坏的标志之一。

15.2.2 航空爆破炸弹

航空爆破炸弹，主要是利用炸药爆炸后所形成的冲击波来摧毁目标，同时也有一定的侵彻作用、燃烧作用和破片的杀伤作用。适于机身内舱挂载，也可机舱外挂。炸弹壳体一般用普通钢材制造，装药通常为 TNT 炸药，现也广泛使用 B 炸药、H6 炸药和其他混合炸药。装填系数均在 0.4 以上，最大达 0.8 左右（第二次世界大战时约为 0.5）。弹体壁厚与半径之比小于 0.1。圆径一般在 100 kg 级以上，最大可达 20 000 kg 级，其中以 250~500 kg 级使用最为广泛。航空爆破炸弹的作用效率用爆坑容积、冲击波比冲量、炸弹作用半径等表征。其用途最广，战时消耗量最大，是战备生产的主要品种，可用来毁伤各种军事目标、工业基地、动力设施、防御工事、地下建筑、交通枢纽、铁路、桥梁、舰船、港口、机场、仓库和技术兵器等。对付地面目标配装瞬发引信；对付需从内部炸毁或位于土层深处的目标配用延期引信；配装时间引信作定时炸弹。

图 15.2 所示是 500-1 型航空爆破炸弹示意图。该弹由弹体、安定器、传爆管、弹耳和装药等组成。

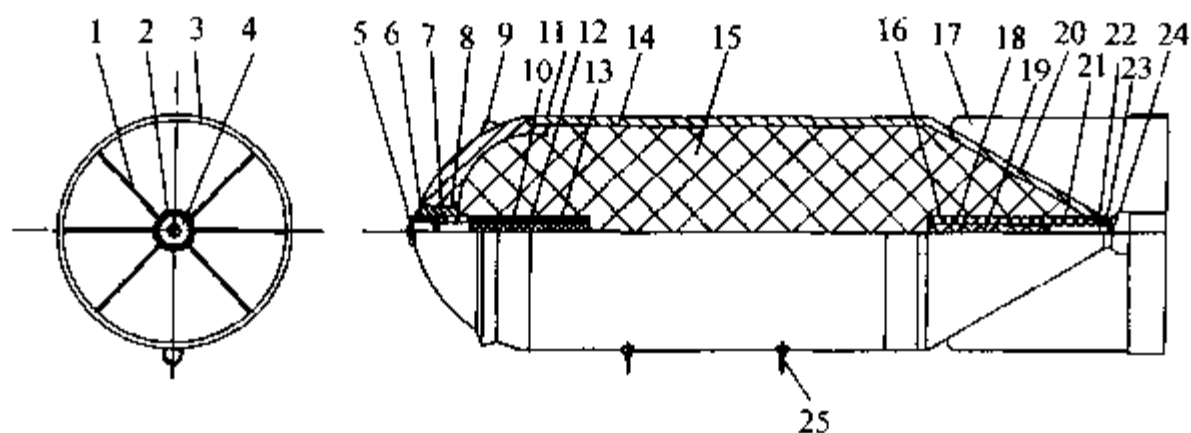


图 15.2 500-1 型航空爆破炸弹示意图

- 1—支板；2—内圈；3—外圈；4—制旋螺钉；5—防潮塞；6—连接螺套；7—螺套；8—纸衬筒；9—弹道环；
10—传爆药柱；11—弹头；12—布袋；13—传爆管壳；14—弹身；15—炸药；16—传爆管壳；17—翼片；
18—布袋；19—传爆药柱；20—尾锥体；21—纸衬筒；22—螺套；23—连接螺套；24—防潮塞；25—弹耳

弹体包括弹头、弹身、尾锥体和弹道环等组成。弹头由铸钢制成，外形呈卵形，壁较厚，弹头前端为一平面，中央有传爆管的安装螺孔，弹头弧形面上焊有弹道环；弹道环是由钢板压制而成的，弹道环外径与弹身外径相同；弹身是由钢板制成的圆筒，其上焊有弹耳，弹身前后两端分别与弹头和尾锥体焊接为一整体；尾锥体由钢板制成，锥度为 26° 。

安定器为双圆筒式，由钢板制成，并焊在尾锥体上。它包括 4 个翼片、4 个支板、一个内圈和一个外圈。4 个翼片对称地呈十字形分布。

该爆破炸弹有头部和尾部 2 个传爆管。头部传爆管用螺纹装在弹头中央的安装螺孔内，



尾部传爆管焊接在尾锥体后端。传爆管由螺套、传爆管壳、连接螺套、制旋螺钉、纸衬筒和传爆药柱等组成。螺套与传爆管壳焊在一起，端面有制旋螺钉孔，螺套的内螺孔为引信的安装孔，其上旋有连接螺套，连接螺套上有引信安装螺孔，平时拧上防潮塞。连接螺套外缘有制旋缺口，由制旋螺钉将其定位。头部和尾部传爆管内各装有特屈儿传爆药柱。传爆药柱的质量为 0.5 kg，装在布袋里，塞入传爆管，并被纸衬和连接螺套压紧。

该弹有 2 个弹耳和 5 个弹耳两种。弹耳由 45 号钢模锻而成，并焊在弹体上。弹耳及其焊缝的破坏载荷不小于 $6.867 \times 10^4 \text{ N}$ ；该弹内注装了 TNT 炸药 203 kg。

该弹的主要诸元见表 15-1。

表 15-1 500-1 型航空爆破炸弹主要诸元

炸药质量/kg	203	炸弹质量/kg (未装引信)	425
装填系数/%	47.7	长细比	~3.5
弹 长/mm	$\approx 1\ 560$	安定器翼展/mm	450
弹 径/mm	450		

该弹的威力：地面静爆冲击波压强(离爆心 35 m 处)为 $2.65 \times 10^4 \text{ Pa}$ ，弹坑容积为 145.4 m^3 (投弹时航速 194.4 m/s，高度 8 000 m，对中等土质目标轰炸的试验结果)。

500-1 型爆破炸弹是一种高阻外形的航空炸弹，其长细比较小，阻力系数较大。为了适应喷气飞机外挂的需要，国内外都发展了低阻外形的爆破炸弹。这种炸弹外形呈流线型，其长细比一般在 8 左右。

图 15.3 所示为 250-3 型航空爆破炸弹的外形图。该弹质量为 216.5 kg，长细比为 6.9，装填系数为 42%。

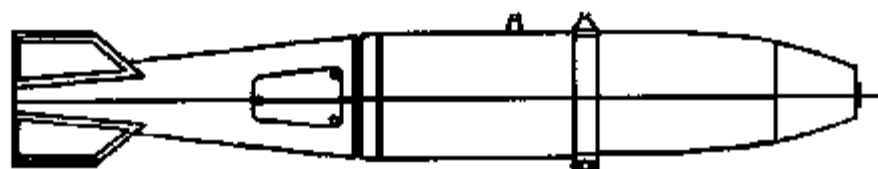


图 15.3 250-3 型航空爆破炸弹的外形图

图 15.4 所示为美 MK83Mod3 低阻爆破炸弹的外形图。该弹质量为 454 kg，长细比为 8.4，装填系数为 44%。

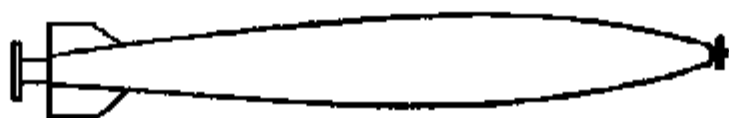


图 15.4 美 MK83Mod3 低阻爆破炸弹的外形图



20 世纪 60 年代以来, 飞机为了回避已经加强了防空火力, 经常采用低空水平投弹或俯冲投弹。为了适应这种战术, 发展了一种低空减速炸弹。对这种炸弹有两个基本要求: 一是挂在飞机上时, 应能保证飞机具有良好的飞行性能, 这就要求炸弹有良好的气动外形, 二是在投弹时, 应能保证飞机的安全, 因而除要求采用弹射弹架使炸弹快速与飞机分离外, 还要求炸弹的落速减缓。对爆破炸弹来说, 目前各国使用和发展的大多是在爆破弹的弹体上加装不同结构的减速装置。

目前, 航空炸弹减速装置采用的形式主要有: 十字板式机械减速尾翼、板伞复合式减速尾翼、十字伞式柔性减速尾翼等。

1. 十字板式机械减速尾翼

减速尾翼由 4 个既可以闭合、又可以张开的减速尾翼板、支承杆、铁杆和套筒组成。飞机挂弹飞行时, 减速翼板处于闭合状态 (如图 15.5), 炸弹投下时, 4 片减速翼板张开 (如图 15.6); 在迎面气流阻力作用下起减速作用。十字板机械减速尾翼的缺点是: 阻力小、减速效能低、因而安全斜距小; 刚性尾翼易受空气动力干扰, 使炸弹弹道不稳定, 命中精度低, 投弹高度受到一定的限制。美国 113 kg Mk81Mod I “蛇眼” 1 减速炸弹, 227 kg Mk82Mod I “蛇眼” 1 减速炸弹的减速装置都采用这种形式。

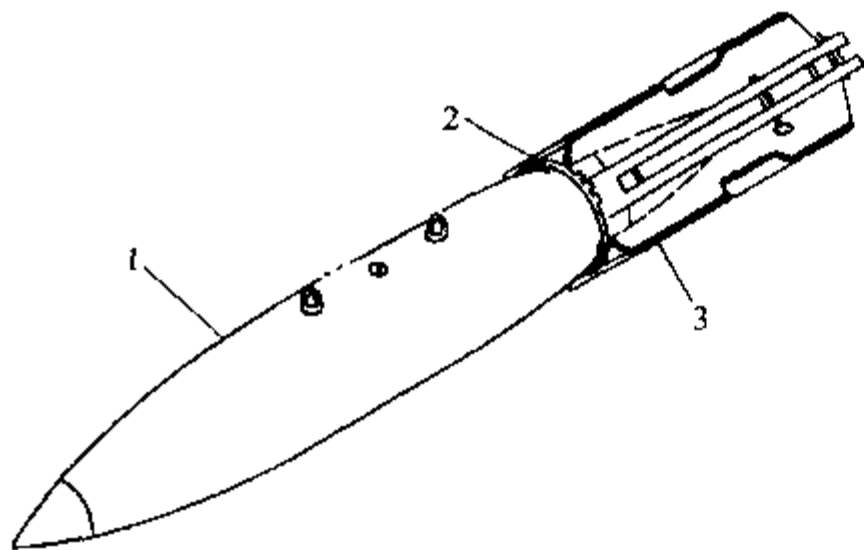


图 15.5 113 kg Mk81Mod I “蛇眼” 1 减速炸弹

1—弹体; 2—尾翼释放带; 3—减速尾翼

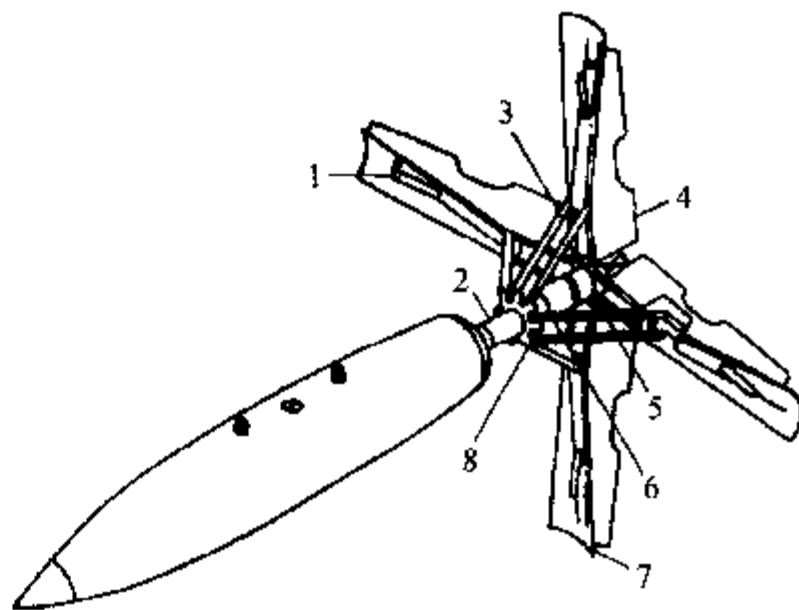


图 15.6 减速翼片张开状态

1—弹簧; 2—支承杆; 3—联杆; 4—翼片; 5—套筒;
6—插塞; 7—减速尾翼; 8—轴环

2. 板伞复合式减速尾翼

板伞复合式减速尾翼就是在十字板式机械减速尾翼的结构上, 加装柔性环缝减速伞。飞机挂弹飞行时, 减速翼板和减速伞处于闭合状态; 炸弹投下时减速翼板和减速伞张开, 在迎面气流作用下, 使炸弹减速下落 (如图 15.7)。其优点是开伞充气快, 阻力较十字板机械尾翼大, 弹道稳定, 连投间隔短; 缺点是结构复杂, 质量大, 造价贵。英国 454 kg MK1 型炸



弹配用 M-117 型板伞复合减速尾翼。

3. 十字伞式柔性减速尾翼

用高强度绵丝绸缝制成十字形的减速伞，装在尾锥部内；炸弹投下时，拉出十字伞。在迎面气流作用下开伞充气，使炸弹减速下落。优点是阻力大，弹道稳定，结构简单，造价低。其缺点是伞带长，伞衣大，充气时间长，必须有连投间隔，齐投有可能互相缠绕。法国 250 kg、500 kg “马特拉” 减速炸弹，西班牙 BRP-250 kg、BRP-500 kg 减速炸弹和瑞典 120 kg “威尔哥” 减速炸弹的减速尾翼都采用这种形式，美国空军军械发展试验中心正在研制一种尼龙织物制成的气球降落伞组合式充气减速尾部也属于这一类型。

4. 火箭减速炸弹

法国 400 kg 火箭减速炸弹，曾被以色列在 1967 年用来攻击埃及的机场跑道。它是在法国 400 kg STA200 型爆破炸弹尾部装上火箭减速装置而成。其特点是：位于炸弹尾部 4 个稳定翼片之间有 4 个逆推力火箭发动机，在投放后点火工作，以抵消水平速度，接着位于炸弹尾部的正推力火箭发动机在转入垂直下落时点火工作，并烧掉减速伞，以增大落速（最大为 160 m/s），提高侵彻力。尾部减速伞的功用是使炸弹迅速由水平状态转入垂直降落状态。这种减速炸弹对付坚固目标比较有效。但结构复杂、成本高，大规模使用受到限制。

火箭减速炸弹的投放过程（如图 15.8）如下：

- ① 飞机在 100 m 高度投弹，经 0.3 s 之后，4 个逆推力火箭发动机点火工作（如图 15.8 (a)）；
- ② 经 0.9 s 之后，减速伞开始展开（如图 15.8 (b)）；
- ③ 在减速伞作用下，炸弹以大约 0.35 r/s 的角速度向下转，以增大落角（如图 15.8 (c)）；
- ④ 经 4.7 s 之后，4 个正推力火箭发动机点火工作，并烧掉减速伞，以增大落速，提高贯穿力（如图 15.8 (d)）。



图 15.7 板伞复合式减速尾翼工作过程图

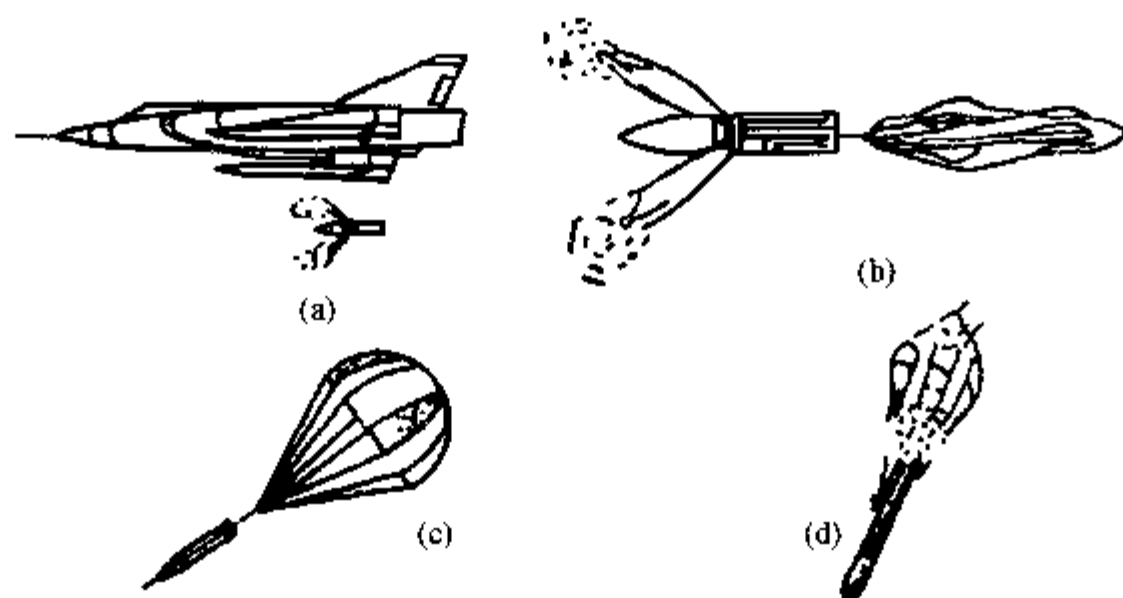


图 15.8 火箭减速炸弹投放过程图

(a) 逆推力火箭发动机点火；(b) 减速伞展开；(c) 炸弹转向；(d) 正推力火箭发动机点火

15.2.3 航空杀伤炸弹

航空杀伤炸弹主要是以炸弹爆炸后产生的破片来杀伤暴露的有生力量，破坏汽车、火炮和飞机等目标，主要由引信、传爆扩爆系统、炸药装药、弹体、稳定装置等组成。弹体内通常装填 TNT、B 炸药、梯萘、梯胍和阿马托等炸药，装填系数不超过 20%。炸弹圆径一般在 0.5~100 kg 级，弹体一般用高级铸铁或普通铸铁铸成，有的弹体上带刻槽，或用衬管外层缠绕带两端与头尾相接的半预制破片结构弹体。一般以数枚多至数十枚子弹集束成航空集束炸弹投放。小型杀伤炸弹有多种类型，集装于子母弹箱内投放。所产生的破片有的是依弹体上的预制刻槽或缠绕钢丝形成，有的是以钢珠、钢片制成或内装小箭等形成。炸弹作用效率以战术杀伤定额、有效破片作用半径等来表征。主要用于杀伤暴露的有生力量，破坏汽车、火炮、飞机和各种轻装甲技术装备。可装瞬发引信或近炸引信，小型杀伤弹又可装震发引信，诡雷引信和时间引信，用以建立雷场。航空杀伤炸弹用途广泛，是战备生产的主要品种。

图 15.9 所示是 10-1 型航空杀伤炸弹示意图。该弹由弹体、安定器和装药等组成。弹体

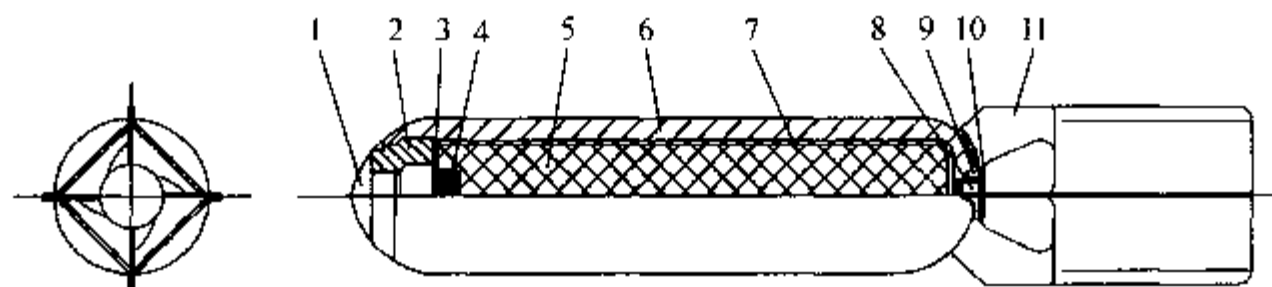


图 15.9 10-1 型航空杀伤炸弹示意图

1—防潮塞；2—螺套；3—纸垫；4—传爆药柱；5—炸药柱；6—弹体；

7—纸垫；8—螺钉；9—销钉；10—垫片；11—翼片



由稀土铸铁铸成，弹头、弹身和弹尾部为一整体，头部有螺套，螺套中央有一引信安装螺孔，平时旋有防潮塞；安定器为方框式，用螺钉和销钉固定并焊接在弹体尾部，它是由 4 片钢板制成的，翼片之间靠点焊连在一起；弹内装 3 节 TNT 药柱，第一节药柱的前端中央有一圆孔，内装特屈儿传爆药柱。整个药柱用衬纸围绕，两端垫有纸垫，并用螺套压紧。

该弹的主要诸元见表 15-2。

表 15-2 10-1 型航空杀伤炸弹主要诸元

炸药质量/kg	0.82	炸弹质量/kg (未装引信)	9.2
装填系数/%	9	安定器翼展/mm	106
弹 长/mm	≈510	弹 径/mm	90

该弹地面静爆杀伤威力：破片密集杀伤半径 23 m；破片有效杀伤半径为 38 m；破片飞散速度（距爆炸中心 5 m 处平均速度）为 724 m/s；4 g 以上破片数为 306 片。

图 15.10 所示是美国 M82 航空杀伤炸弹示意图。该弹的结构特点是：弹体圆柱部外层为缠绕钢带，内衬为无缝钢管，两端用螺纹同铸钢制成的弹头和弹尾连接。

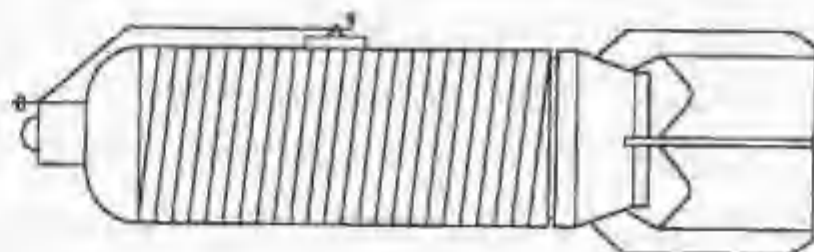


图 15.10 美国 M82 航空杀伤炸弹示意图

M82 航空杀伤炸弹质量为 40.8 kg，弹体直径为 154 mm，装填系数约为 13%。该弹可单独悬挂使用，也可构成集束炸弹。

图 15.11 所示为 100-1 型航空杀伤炸弹束示意图，它是由 3 枚 25 kg 杀伤炸弹用集束机构组合成的，投弹后可在空中散开，以增大杀伤面积。25 kg 杀伤炸弹是以破片杀伤作用来破坏目标的炸弹。

20 世纪 60 年代以来，子母炸弹得到迅速发展。据不完全统计，美国仅 CBU 系列的子母炸弹就有 50 多种（其中包括杀伤弹、反坦克弹、空投地雷、燃烧弹和毒气弹）。子母炸弹

是将同类或不同类的小炸弹（或地雷）集装在一个母弹体内而成，而母弹体又有一次使用和多次使用之分。子母炸弹的优点是，破坏（或作用）面积大，可对付分散目标，而且造价较为低廉，所以许多国家的航空部队都装备有子母炸弹。

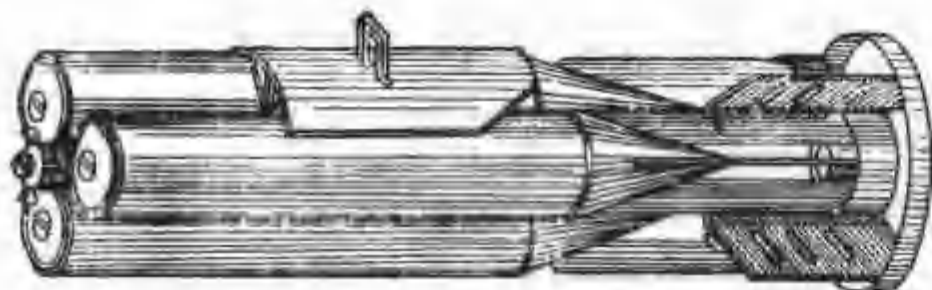


图 15.11 100-1 型航空杀伤炸弹束示意图



15.2.4 航空反跑道炸弹

压制敌方空军活动最有效的战术之一,是攻击敌方停放在地面上的飞机并击毁跑道。1967年以色列利用法国 STA200 型 400 kg 爆破炸弹改装成混凝土破坏弹,对埃及机场进行的闪电式攻击,在几小时使埃及空军瘫痪,就是一个很好的战例。自此以后,航空反跑道炸弹深受各国重视,许多国家已经研制出这种炸弹。航空反跑道炸弹适于低空轰炸,能使炸弹获得足够的贯穿能力侵入混凝土层下面爆炸,形成爆坑,使路面松裂、隆起,造成不易修复的效果。作用效率以穿透混凝土最大厚度和被毁跑道面积来衡量。除主要攻击机场跑道外,还可攻击机库、港口、铁路及其他有混凝土保护的目标。这类炸弹的圆径通常为 100~400 kg 级,其减速装置有降落伞式和制动火箭式等。法国的 200 kg “迪兰达尔”目标侵彻炸弹是典型的装有降落伞式减速装置类型的反跑道炸弹,该炸弹投放后在离机一定安全距离时,减速伞张开,炸弹减速,弹道逐渐弯曲,落角增大,达到一定负过载值时,程序控制器动作,延时器点燃增速火箭发动机,同时抛掉减速伞,使炸弹突然增速。处于待发状态的引信在撞击目标后延迟发火,使炸弹侵入目标内部爆炸。

法国的“迪兰达尔”反跑道炸弹(如图 15.12),由战斗部、点火系统、火箭助推发动机和减速装置组成。战斗部质量约 100 kg,内装 TNT 炸药 15 kg;点火系统是炸弹作用顺序的控制装置,用以开伞、解除战斗部保险和点燃火箭发动机;火箭发动机壳体是钢制,内装双基推进剂,可在 0.45 s 内产生 90 kN 的推力;减速装置包括主伞和副伞。

炸弹由飞机投放后,点火系统就开始作用。首先张开副伞,使炸弹减速到主伞张开时不致损坏的程度。主伞张开后,当炸弹达到不致产生跳弹的落角时,引信解除保险并点燃火箭增速发动机。增速发动机把炸弹加速到 250 m/s,对跑道进行袭击。由于引信的延时作用,炸弹侵入混凝土后爆炸。“迪兰达尔”炸弹,可在 60 m 低空条件下快速水平投掷。一颗“迪兰达尔”炸弹可使跑道造成直径 5 m、深 2 m 的弹坑,并在弹坑周围产生 150~200 m² 的隆起和裂缝区。

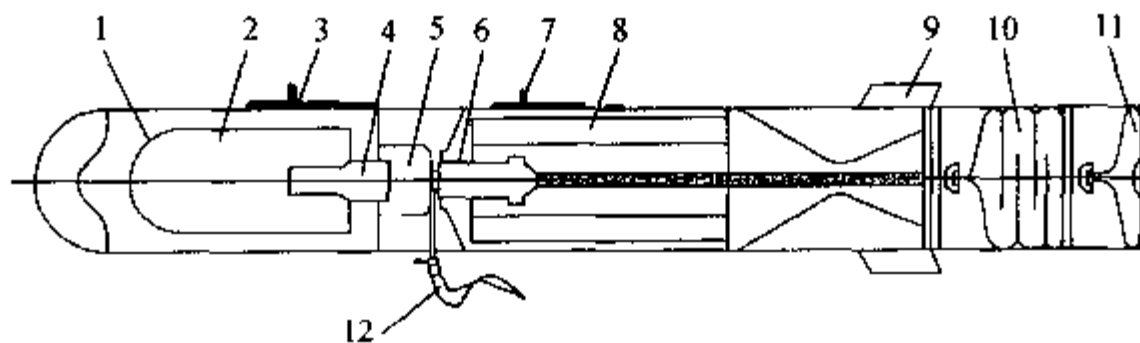


图 15.12 法国的“迪兰达尔”反跑道炸弹

- 1—战斗部;2—炸药;3—弹耳;4—引信;5—烟火程序器;6—点火器;7—弹耳;
8—火箭助推发动机;9—弹翼;10—主伞;11—导引伞;12—点火器安全装置



15.3 制导航空炸弹

制导航空炸弹是 20 世纪 60 年代才装备使用的新弹种，具有命中精度高和在低空与复杂气象环境下使用的能力，它的问世，为研制新型炸弹指明了发展方向。目前，国际上先进的制导炸弹主要有激光制导炸弹、电视制导炸弹、红外制导炸弹和毫米波制导炸弹，它们的产生推动了航空炸弹从数量优势向质量优势转化，使航空炸弹与空对地导弹的界线越来越难以划分；另一方面也为有效利用大量现有库存的常规炸弹开辟了新路。航空炸弹采用制导技术是在制式航空炸弹上加装制导装置和气动力控制面，因而结构简单、成本低，并适宜大量改装使用。

制导航空炸弹是一种高效费比的武器，尽管成本比常规炸弹昂贵，价格在几万美元至十几万美元，而普通炸弹仅为几千至上万美元左右，但其作战效能却比普通炸弹高数十倍乃至数百倍；而且可使飞机出动架次减少，相应减少了包括飞行员和平民在内的附带伤害。例如越南战争中，美军对越南的咸龙大桥、龙口大桥、保罗·杜美大桥使用常规炸弹进行轰炸，在越南密集的高射炮和地对空“萨姆”导弹的拦阻射击下，每日损失飞机多架，大桥却安然无事。当采用激光制导炸弹后，大桥很快被摧毁，而美军飞机却未受到损伤。制导炸弹的准确攻击能力，使摧毁目标只需出动少量飞机和空投少量制导炸弹便可取得预期效果，加之可以高空投弹，战斗机能避开致命的火炮射程，从而有效地降低了飞机损失率。制导炸弹因其攻击精度和作战效费比高而成为攻击高价值目标的理想武器，是航空武器装备不可缺少的组成部分。

由于制导航空炸弹发展很快，种类繁多，本章仅以几种典型的制导航空炸弹来作介绍。

15.3.1 激光制导航空炸弹

与传统炸弹相比，激光制导炸弹是一种较高效费比的弹药，据统计，轰炸一个目标在第二次世界大战时需投放 9 000 枚炸弹，在越南战争时需 200 枚，而在海湾战争时仅需 1~2 枚激光制导炸弹即可。

航空炸弹采用激光制导，一般是在普通航空炸弹头部装上激光导引头和控制舱，后部装上气动力控制弹翼。而实现制导的方式主要是采用半主动寻的和驾束两种制导方式。采用半主动寻的制导的炸弹在对目标进行攻击时，置于弹体外的激光信息源（激光照射器）负责照射目标，被照射的目标反射激光能量，被激光制导炸弹头上的激光能量接收装置（即激光导引头）接收，负责探测和跟踪激光反射源，引导航空炸弹准确投向目标；采用激光驾束制导方式的炸弹在攻击目标时，由激光发射系统向目标发射扫描编码脉冲，当制导武器偏离激光束中心时，由弹上激光接收机和解算装置检测出飞行误差，形成控制信号，控制激光制导



炸弹沿瞄准线飞行直至命中并摧毁目标。

激光制导航空炸弹的优点是：轰炸精确度高，圆概率误差一般只有 3~4 m，而普通航空炸弹则为 200 m 左右；威力大，战斗部就是普通航空炸弹；模式化，制导组件可装在几种标准的航空炸弹上；成本低，效率高，总的作战费用低。缺点是：不能在复杂气象环境下使用，因为云、雾、雨、雪等全都严重妨碍激光传播，使制导精度受影响。

随着高新技术的发展，尤其是光电子精确制导技术的迅猛发展，迄今激光制导炸弹已发展了 3 代。第一代有美国的“宝石路 I”和前苏联的 KAB-500L，采用风标式半自动激光导引头和固定的尾翼，圆概率误差为 3 m；第二代为美国“宝石路 II”和前苏联 KAB-1500L，仍采用风标式导引头，但制导与控制装置作了改进，提高了灵敏度，尾翼改为可折叠式的，从而便于飞机携带和提高升力，可攻击更远距离的目标，适用于中、高空投放，圆概率误差约为 2 m，但第一代与第二代激光制导炸弹都缺乏昼夜全天候远距离低空攻击能力。第三代激光制导炸弹是美国 20 世纪 80 年代初开始研制，20 世纪 80 年代中期装备部队的“宝石路 III”激光制导炸弹，其典型代表为 GBU-28 激光制导炸弹（如图 15.13），其弹体分为制导舱、战斗部舱和尾翼舱三部分。它用比例式导引头代替了风标式导引头，前端配有扫描式激光导引头，该导引头具有更大的视场和更高的灵敏度，因此可在低能见度下捕获更远距离处的激光能量，圆概率误差为 1 m。尾部装有气动力控制面的尾翼，机动性能大为提高。另外它还采用了更大的折叠翼，同时采用数字式自动驾驶仪进行终段制导，因此，能够实现远距



图 15.13 美国 GBU-28 激光制导炸弹

离防区外投放，且具有更高的命中精度。

GBU-28 是一种新型的攻击深层坚固目标的航空制导炸弹，它的引信是一种使用微型固态加速度计的智能引信，该引信可随时将炸弹侵彻硬目标过程中的相关数据与内装程序数据进行比较，以确定钻地深度。当炸弹钻到地下掩体时，会自动记录穿过的掩体层数，直到到达指定掩体层后才会发生爆炸，它能钻入地下 6 m 深的加固混凝土目标或侵彻 30 m 深的地下土层。

15.3.2 电视制导航空炸弹

电视制导是基于目标与其环境光能的反差来探测目标的。目标与环境的反差越大，制导就越精确，反差大小要由目标与环境间的吸收与反射特性的差异来决定，采用电视制导时，目标图像显示在阴极射线荧光屏上。电视制导方式有陀螺、图像对比和手控 3 种。

电视制导航空炸弹在美国已发展了 2 代，第一代是“白星眼 I”，20 世纪 60 年代产品，



由于受炸弹结构和性能上的限制,使用不方便且射程有限。第二代“增程白星眼II”是在第一代基础上的改进,是20世纪70年代产品,它具有弹载数据链和机载数据传输设备,可控制炸弹的投放,装有火箭发动机增程,增大了弹翼。“增程白星眼II”的射程可达56 km,圆概率误差为3~4.5 m。前苏联从20世纪70年代中期开始研制了KAB-500KR和KAB-1500KR两种电视制导炸弹,但只能白天使用,无全天候使用能力,射程较近,采用固定弹翼,命中精度为4~7 m,后者射程较远,采用KAB-1500L激光制导炸弹的可折叠弹翼。值得注意的是俄罗斯在1994年9月国际防务展上展出了一种装备俄罗斯空军飞机并可供出口的电视制导的燃料空气炸弹,该弹重460 kg,弹头重280 kg,电视导引头在炸弹投放前就锁定目标。投放后自动寻的目标,该炸弹可从500~5 000 m的高度投放,具有在防区外攻击目标的能力,主要用来大面积杀伤人员和攻击易损目标。

15.3.3 红外制导航空炸弹

红外线是一种热辐射。红外制导就是根据目标和背景红外辐射能量不同,从而把目标和背景区别开来,达到导引目的。当航空炸弹上的红外探测器探测到地面目标热辐射时,便发射出一个电信号、经过放大以光点形式显示在飞行员的荧光屏上,飞行员投弹后,红外制导炸弹便导向辐射红外线的目标。美国的MK81IR就是一种红外制导炸弹,还有以色列F-4“幽灵”飞机在俯冲攻击中发射的“埃比特奥菲尔”也是红外制导航空炸弹中的一种。

红外线是物质内分子热振动产生的电磁波,它的波长为0.76~1 000 μm ,在整个电磁波谱中位于可见光与无线电波之间。任何物体只要它的温度高于绝对零度,都能辐射红外线。红外线可穿透浓雾和烟雾,在有雾的情况下,红外线比可见光的作用距离远,在目视能见度2 km的情况下,用红外线可看到40 km外的较大目标,而且昼夜效果一样。但是,红外荧光屏清晰度低,所以图像不如电视荧光屏清晰。若采用红外电视双重制导系统,两者可以互补。微光电视要求周围环境的亮度最低,以便能看到目标,而红外则能在全黑的环境下工作,这种双重制导方式借目标的红外自然辐射可从屏幕上看到那些伪装和隐蔽的目标。俄罗斯1992年8月在希腊国际防务展中展出的并准备出口的RBK-500 3种集束炸弹,均为红外制导炸弹,ODAB-500PM为电视制导燃料空气炸弹。其中RBK-500SPBE-D型集束子母炸弹是RBK-500集束炸弹的改进型,可携带12~15枚SPBE-D制式反装甲子弹药,该子弹药由双色红外传感器和爆炸成型弹丸战斗部组成,当RBK-500母弹被飞机投放后,利用时间延时引信适时打开母弹箱,使SPBE-D传感器引导子弹药抛射出来,该子弹药重14.9 kg,利用降落伞减速,使落速低于15~17 m/s,然后以5~6 r/s的转速旋转,并利用红外传感器(具有30°的视场)旋转扫描搜索目标。一旦发现目标,弹上传感器将与微处理器一道迅速确定最佳炸点并及时引爆爆炸成型弹丸战斗部,从而有效地攻击坦克车辆装甲目标。尽管传感器引爆弹药要比常规炸弹或激光制导炸弹更昂贵,但其较高的命中概率与攻击多目标能力



对使用者产生极大的吸引力。

15.3.4 红外成像制导航空炸弹

红外成像制导是一种新发展的制导技术，也称热成像。红外成像就是将物体的自然红外辐射变成可见光进行显示或摄像，获得物体的图像。红外成像制导方式与电视制导一样也可采用图像对比制导，其差别是红外探测器采用敏感红外辐射而不是可见光，红外成像制导昼夜都可工作，还可辨别套上伪装网的坦克、装甲车、飞机等。与一般红外制导相比，因可从成像系统得到更多的景像信息量，所以识别目标的能力强，但系统较复杂。美国洛克威尔公司的 GBU-15 与 GBU-15 的改进型 AGM-130 就是红外成像制导航空炸弹。

美国 GBU-15 制导航空炸弹（如图 15.14），其最大特点是采用模块化结构，包括制导模块、战斗部模块和控制模块。

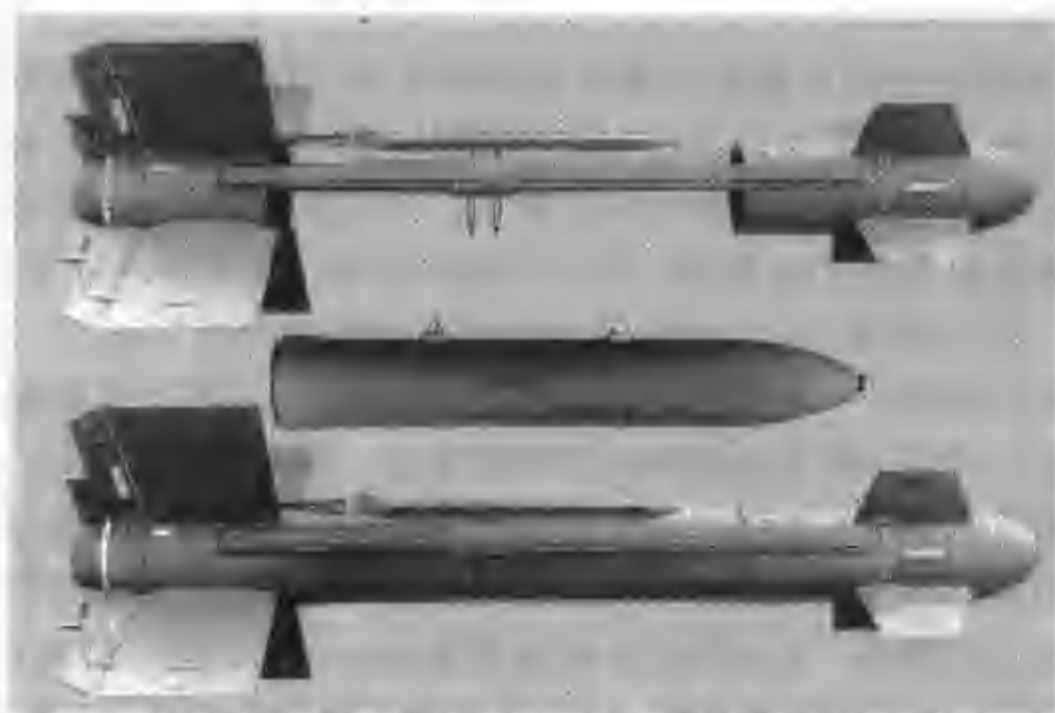


图 15.14 GBU-15 制导航空炸弹

制导模块包括 DSU-27A/B 电视寻的器和 WGU-10/B 红外寻的器两种，前者用于日间攻击，后者适于不良气候条件下和夜间攻击。以 DSU-27A/B 电视寻的器为例，在攻击目标时，装在陀螺仪稳定平台上的电视寻的器可以利用自动边缘跟踪器执行自动或手动跟踪。3° 视场的电视寻的器可使图像放大 2.37 倍，并扫描前方约 60° 的圆锥形空间以搜索目标。一旦发现目标，跟踪器将持续地跟踪目标的垂直对比边

缘，以提供自动锁定的功能。

GBU-15 制导航空炸弹的战斗部模块配有标准的 MK84 通用炸弹，用于攻击铁路、桥梁和特定建筑。同时战斗部模块也可配用 BLU-109/B 硬目标侵彻战斗部，该战斗部配有弹底引信，弹体由高强度钢制成，具有极大的侵彻硬目标能力，专门用于攻击各种加固的掩体目标。控制模块集中在弹体的后端，负责高度、俯仰和偏航动作的飞行控制。另外，GBU-15 还有自动导航装置以及气压式翼面制动，在控制模块后面还有数据传输系统，它是控制 GBU-15 制导航空炸弹的重要接口。

GBU-15 主要装备在 F-15E 和 F-111F 飞机上，弹长 3.94 m，弹径 0.46 m（装载 MK-84），0.37 m（装载 BLU-109/B），翼展 1.5 m，发射质量 1 125 kg，最大高度 9 091 m，电



视和图像红外制导，弹头为 MK-84 和 BLU-109。

GBU-15 制导航空炸弹对目标的攻击方式有 2 种，即直接攻击和间接攻击。在间接攻击方式中，当该弹由载机发射后便按照程序进行中途爬升和滑翔两个阶段飞向目标区域。当目标进入寻的器的视野之内时，飞行员可选择锁定目标进行自动终段导引，或选择手动方式将瞄准点对准目标特定的部位，直至炸弹命中目标为止；直接攻击方式用于仅配备光电设备而没有数据链舱的飞机，射手只要锁定目标后再发射，GBU-15 便自动飞向目标，并对准炸弹寻的器所认定的瞄准点，直至击中目标。直接攻击方式还包含发射后锁定功能，即在双机攻击中，由一架配有数据链舱的飞机控制飞行中但未锁定目标的 GBU-15 炸弹，并将其导向目标。

AGM-130 装有火箭发动机增程，具有 256×256 元焦平面阵列的红外成像传感器，采用模块化设计，装有 BLU-109 硬目标侵彻战斗部，能在 110 km 外发射，可摧毁 6 m 厚的水泥建筑。

15.3.5 毫米波制导航空炸弹

毫米波是波长 1~10 mm，相应频率为 30~300 kHz 的电磁波。而亚毫米波是波长 0.1~1 mm，相应频率为 300~3 000 MHz 的电磁波。与其他制导技术相比，毫米波的特点在于：在恶劣气候和战场有遮蔽物的情况下具有良好的穿透能力；频带宽，抗干扰能力强；体积小，重量轻；波束窄，具有较高的目标识别能力和跟踪精度，可以采用无源方式工作。由于毫米波具有这些优点，所以世界各国对毫米波制导技术极为重视。英国亨廷公司与桑恩安全电器公司研制了带极限毫米波制导子弹的 BL-755 反坦克子母炸弹。保持了原有的外形和质量，能从高、低空投放，预定的引信决定毫米波制导子弹何时抛放，无动力的子炸弹将展开降落伞和稳定器，毫米波制导传感器将选择目标，排除假目标和低价值目标，直接攻击坦克车辆的顶装甲。

目前，无论以上哪种制导方式的制导炸弹都存在着某些固有的弱点：例如电视制导炸弹只限于白昼使用，其能见度不能小于一定距离，投弹时飞机的俯冲角度和速度也有一定限制；红外制导炸弹易受气候环境及烟雾的影响，其导引头结构较复杂，红外敏感元件需要致冷才能工作；激光制导炸弹除易受气候和烟雾影响而降低性能外，在炸弹命中目标前的全过程始终需要用激光照射目标，无论是机载的，还是异机的激光照射器，飞行员都不能作机动飞行，很容易暴露自己而遭受防空火力的攻击，因此，都不具备真正的全天候以及恶劣环境下的攻击能力。海湾战争中多国部队的攻击飞机曾多次因巴格达上空的云层很低和烟雾沙尘的阻碍，无法投放制导炸弹，只好满载弹药返航。



15.3.6 联合直接攻击弹药 (JDAM)

为了克服上述制导炸弹固有的缺陷和战术使用上的弱点,美国军方吸取海湾战争教训,

正在研制具有合成孔径雷达、激光雷达、毫米波雷达或红外成像传感器制导的炸弹。其中最主要的是美国空、海军共同研制的“联合直接攻击弹药”与“联合防区外攻击武器”。

美国的联合直接攻击弹药 (Joint Direct Attack Munition), 简称 JDAM, 又称“杰达姆”, 它是在现役航空炸弹基础上加装相应制导控制装置而制成的, 如图 15.15 所示。“杰达姆”制导炸弹由于采用自主式的 GPS/INS 组合制导, 因而使载机具有昼夜、全天候、防区外、灵巧、多目标攻击能力。GPS 全称为全球定位系统, GPS 技术是指利用一组地球同步轨道卫星



图 15.15 联合直接攻击弹药 JDAM

确定地球上任一地点方位的一种技术。

同第一、二、三代激光制导炸弹一样,“杰达姆”制导炸弹也是在现役航空炸弹上加装相应制导控制装置而制成的。首先取下原有的尾翼装置,然后装上由惯性制导系统 (INS) 和全球定位系统 (GPS) 制导接收机、外部控制舵面组成的制导控制部件,形成“杰达姆”内部结构的关键部件——GPS/INS 制导控制尾部装置,并在头部加装稳定弹翼 (如图 15.16)。

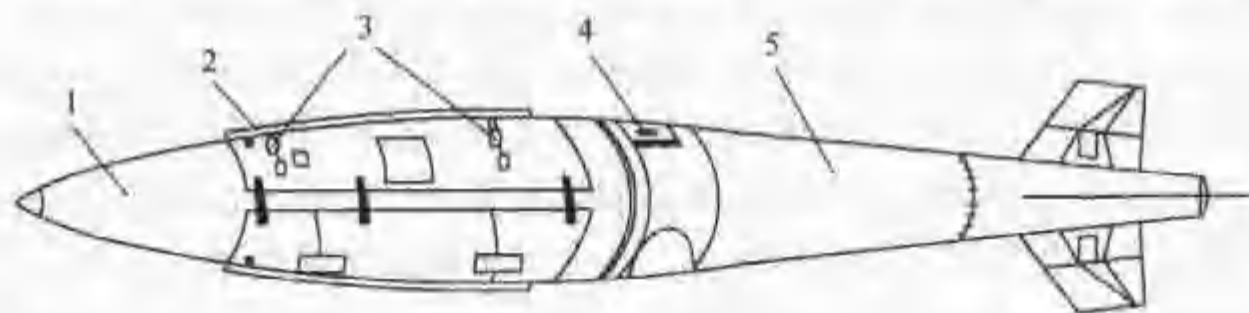


图 15.16 JDAM 的结构示意图

1—MK83 战斗部;2—弹体稳定边条翼片;3—14 in*弹耳;
4—1760 对接面;5—GPS/INS 制导控制部件

* 1 in (英寸) = 0.0254 m



1. 制导控制尾部装置

GPS/INS 制导控制尾部装置在外形和尺寸上,与所取代的航空炸弹的尾翼相同,使得“杰达姆”制导炸弹可以适用于原来携带该航空炸弹的任何作战飞机。GPS/INS 制导控制尾部装置由制导控制部件(GCU)、炸弹尾锥体整流罩、尾部舵机、尾部控制舵面等部件构成。

制导控制部件是“杰达姆”的核心,包括 GPS 接收机、惯性测量部件(IMU)和任务计算机三部分。为防止电磁干扰,各集成电路装在圆锥体内,外部装上锥形保护罩,从而起到保护作用。

(1) GPS 接收机

两个天线分别装在炸弹尾锥体整流罩前端上部(侧向接收)和尾翼装置后部(后向接收),以便在炸弹离机后的水平飞行段和下落飞行段,能及时接收并处理来自卫星及载机的 GPS 信号,将它传输给弹载任务计算机,以便进行制导控制解算。

(2) 惯性测量部件

由 2 个速度计和 3 个加速度计以及相应电子线路构成,用于测量制导炸弹的飞行信息,并将其输给任务计算机,供后者解算。同时,在弹载 GPS 接收机出现故障或被干扰、遮挡而无法跟踪卫星时,可使炸弹在其单独制导下攻击预定目标。

(3) 任务计算机

根据 GPS 接收机和惯性测量部件提供的炸弹位置、姿态和速度信息,完成全部制导和控制功能的解算,并输出相应信息、控制舵面偏转,引导炸弹飞向预定攻击目标。

2. 稳定弹翼

“杰达姆”弹体中部上加装了稳定边条翼片,以增加弹体结构强度、改善炸弹飞行时的气动性能,满足炸弹多目标攻击时的较大过载和立体弹道的要求。对各类“杰达姆”制导炸弹来说,稳定边条翼片的结构形式相同,但具体结构和尺寸随弹体直径和长度而有所变化。“杰达姆”制导炸弹的改进型将采用专门设计的稳定弹翼,以增大高空投放时的射程。

15.3.7 联合防区外攻击武器(JSOW)

“联合防区外攻击武器”(Joint Stand-Off Weapon,简称 JSOW)是与“联合直接攻击弹药”并行研制的姊妹计划,由美海军牵头,空军参加。目的是采用与“联合直接攻击弹药”相同的 GPS/INS 制导组件,研制能从敌防御火力以外发射的远程空对地攻击武器,JSOW 实际上是一种滑翔制导炸弹,由火箭发动机增程,平时弹翼收起,投放后张开,依靠滑翔其攻击距离可达 72 km,更可以从 750~12 000 m 的高度以 125~325 m/s 的速度攻击,用 GPS/INS 制导装置引导到目标区的预定点,然后抛放子弹药,精确度小于 10 m,如果加末段制导系统,采用合成孔径雷达、激光雷达、毫米波雷达或红外成像传感器,攻击精度可达 3 m。美国洛克威尔公司 AGM-130 改进型采用火箭发动机增程, GPS 全球定位系统导航的



电视红外成像制导的远距离攻击的滑翔炸弹就是 JSOW 的一种。

JSOW 的正式编号为 AGM-154, 实际上是一种制导炸弹。它采用 GPS/INS 制导加红外末制导的复合制导方式, 命中精度可达 $6\sim 10\text{ m}$ 。该弹采用模块式结构, 根据作战任务不同可在地面装配成 A、B 两型。A 型内装 145 枚 BLU-97 型子炸弹, 主要用于攻击停放的飞机、车辆、导弹阵地等目标; B 型内装 6 枚 BLU-108B 型子炸弹, 主要用于攻击装甲和加固目标。AGM-154 型炸弹弹身中藏有一副弹翼, 在投下后 1.5 s 内伸出来, 因而它的滑翔性能非常好, 滑翔速度可达 0.75 倍音速。该弹重 476 kg , 射程 $27\sim 72\text{ km}$ 。

习 题

第 1 章

1. 弹药的基本组成和主要作用有哪些？
2. 从近年来发生的海湾战争、科索沃战争、伊拉克战争中分析现代战争的主要特点？
3. 未来战场上弹药对付的空中目标、地面目标和海上目标的特性有哪些特点？
4. 根据现代战争的主要特点，分析作为最终完成对各类目标毁伤功能的弹药必须具有哪些能力？
5. 按照投射方式分类，弹药可分为哪几种，各有什么特点？
6. 区分弹药的射击准确度和射击密集度，并指出射击密集度的度量方法。
7. 弹药的研究与设计步骤和弹药的设计方法主要有哪些？
8. 弹药靶场试验项目主要有哪些内容？

第 2 章

1. 弹丸的内弹道过程可以分为几个阶段？
2. 弹形系数和弹道系数有何不同？阻力系数和阻力定律有何不同？
3. 尾翼稳定原理和陀螺稳定原理各有什么特点？
4. 火药和炸药有何异同，在弹药中各有哪些作用和优缺点？
5. 在弹丸发射过程中，影响药筒作用的因素有哪些？
6. 刚性组合装药、低温感装药、密实装药和随行装药各有哪些优缺点？
7. 分析加农炮、榴弹炮和迫击炮的性能特点和结构特点。
8. 分析液体发射药火炮、电热炮和电磁炮的不同工作原理。
9. 分析雷达引信、光引信、磁引信、电容引信和声引信的不同工作原理。
10. 分析引信的作用过程和发展趋势。

第 3 章

1. 以旋转飞行稳定杀爆弹为例，说明杀爆弹的发展演变过程。
2. 从弹丸的终点效应分析，榴弹的作用主要有哪些？
3. 当弹丸在有限岩土介质中爆炸时，抛掷爆破可能会出现哪几种情况？
4. 综合国内外的增程方法，炮弹增程的途径主要有哪几个方面？具体增程有哪些方法？
5. 分析底凹弹、枣核弹、火箭增程弹和底排弹的不同增程原理。
6. 根据弹药的发展趋势和未来战争的需要，分析榴弹的发展趋势。
7. 针对高速运动的空中目标，对高射榴弹应提出哪些要求？



第 4 章

1. 分析各类装甲防护的不同防护原理。
2. 根据现代装甲目标的特性,反装甲弹药应具备哪些能力?
3. 穿甲弹侵彻靶板的破坏形式主要有哪几种?
4. 风帽和被帽有什么区别?穿甲弹采用这两种结构,分别有什么用途?
5. 超速脱壳穿甲弹的作用原理是什么?其脱壳方式有哪几种?
6. 分析尾翼稳定超速脱壳穿甲弹的穿甲过程。
7. 从技术发展的角度,分析穿甲弹的发展趋势。

第 5 章

1. 金属射流对靶板的侵彻过程主要可分为几个阶段?每个阶段有什么特点?
2. 影响破甲弹破甲威力和 EFP 形成性能的因素各有哪些?
3. 目前旋转稳定破甲弹主要采取哪几种抗旋措施?如何使用?
4. 金属射流和爆炸成型弹丸的形成原理有什么不同?应用时各有什么优缺点?
5. 形成 EFP 的药型罩翻转法和药型罩压垮法各有什么特点?
6. 分析 MEFP 在不同武器系统中的应用前景。
7. 炸高指的是什么?聚能装药为什么会存在最佳炸高?

第 6 章

1. 聚能效应和层裂效应有何不同?
2. 层裂准则主要有哪些种类?
3. 分析碎甲弹、破甲弹、穿甲弹的不同作用原理和应用前景。
4. 分析碎甲弹的具体作用过程。
5. 影响碎甲弹碎甲威力的因素主要有哪些?
6. 碎甲弹有哪几种定心方式?各有什么特点?
7. 当炸药分别对双层结构的靶板和复合靶板爆炸作用时,会有什么不同结果?

第 7 章

1. 以火箭子母弹为例,从弹径的变化分析有几种开舱、抛射方式?
2. 对于子母弹的开舱与抛射,母弹有几种开舱方式?子弹有几种抛射方法?
3. 分析子母弹的弹道特点和具体作用过程。
4. 子母弹与碎甲弹相比,在结构特点上有何异同?
5. 子母弹弹底和母体采用螺纹连接时,需要考虑哪些因素的影响?
6. 子母弹一般采用哪些类型引信,原因有哪些?



7. 无论采用何种方式开舱和抛射, 子母弹分别均需满足哪些基本要求?

第 8 章

1. 与主用弹相比, 特种弹在结构和性能上具有什么特点?
2. 从战术技术要求出发, 烟幕弹、燃烧弹和照明弹应当满足什么要求?
3. 如何衡量烟幕弹的作用效果? 影响烟幕弹作用效果的因素有哪些?
4. 从实际出发, 对燃烧弹中的燃烧剂有什么要求?
5. 分析迫击炮用照明弹和后膛炮用照明弹的开伞过程有何异同?
6. 分析烟幕弹、燃烧弹和照明弹的不同作用原理与应用前景。
7. 照明弹的主要用途是什么? 在使用过程中, 需要注意哪些事项?

第 9 章

1. 与线膛火炮相比, 迫击炮具有什么优点?
2. 分析迫击炮弹的特殊发射装药结构和尾翼稳定方式。
3. 迫击炮弹与膛壁之间间隙的确定需要考虑哪些因素? 间隙值如何确定?
4. 环形药包、条袋形药包和环袋形药包是迫击炮弹的三种主要结构, 分析其特点。
5. 与普通榴弹相比, 迫击炮弹具有什么特点?
6. 迫击炮弹的弹体可分为整体式和非整体式两种, 这两种结构各有什么特点?
7. 分析迫击炮弹的结构特点和发展趋势。

第 10 章

1. 火箭弹和炮弹的作用原理有什么不同? 与之相比, 火箭弹具有哪些优越性?
2. 分析火箭弹的外弹道过程, 并指出主动段和被动段弹道有什么特点?
3. 固体燃料火箭发动机由哪些结构组成? 每部件的功能分别是什么?
4. 尾翼装置的基本结构有哪几种形式? 固定式尾翼与折叠式尾翼各有什么特点?
5. 对一般火箭弹来说, 影响射弹散布的因素有哪些? 如何提高火箭弹射击密集度?
6. 反坦克火箭弹和航空火箭弹的作用原理和应用领域有哪些?
7. 火箭推进剂药柱的设计参数主要有哪些? 有哪些分类方式?

第 11 章

1. 敏感器引爆弹药和末制导弹药的作用原理有什么不同? 各属于哪种攻击方式?
2. 以 155 mm “萨达姆”末敏弹为例, 具体分析末敏弹的作用过程。
3. 分析末敏弹和末制导炮弹的不同结构组成和特点。
4. 分析主动式和半主动式末制导炮弹的不同工作原理, 并指出其优缺点。



5. 导引技术对提高弹药的性能有着重要作用, 试分析末制导炮弹常用的几种导引技术。
6. 弹道修正弹的修正方法主要有哪些? 具体工作原理是什么?
7. 弹道修正弹的修正系统分弹上设备和弹下装置两大部分, 这两部分各实现什么功能?
8. 根据对付目标的不同, 智能地雷可以分为哪两类? 具体应用背景是什么?
9. 智能地雷系统由哪些子系统组成? 各子系统的功能具体是什么?
10. 智能地雷在战术使用上与传统的地雷相比有什么异同?

第 12 章

1. 从海湾战争、科索沃战争和伊拉克战争中分析防空反导在现代战争中的重要意义。
2. 从固定翼飞机、武装直升机和精确制导弹药三个方面, 分析空中目标具有哪些特征?
3. 双 35 mm 高炮榴弹是小口径高炮弹药中较为典型的一种, 具有什么特点?
4. AHEAD 编程弹的作用原理是什么? 发射时的工作过程可分为哪几个阶段?
5. 破片式杀伤战斗部通常可以分为哪几类? 作用原理分别是什么?
6. 与反坦克破甲战斗部相比, 防空导弹聚能装药战斗部在作战使用方面具有什么特点?
7. 连续杆战斗部和离散杆战斗部的作用原理是什么? 连续杆环和杆式破片有何异同?
8. 与普通穿甲弹相比, 易碎脱壳穿甲弹的结构和作用原理有什么特点?
9. 与其他战斗部(特别是破片式战斗部)相比, 连续杆式战斗部具有什么重要特点?
10. 子母式战斗部的结构组成有哪些? 有哪些应用前景?

第 13 章

1. 燃料空气弹药的发展和主要攻击目标有哪些?
2. 今后提高燃料空气弹药杀伤力的主要趋势是什么?
3. 燃料空气弹药的爆炸破坏作用形式主要有哪些?
4. 燃料空气弹药的威力特点表现在哪几个方面? 使用时需要注意哪几个方面?
5. 云爆弹和温压弹的作用原理各有什么异同点? 结构各有什么特点?
6. 通常, 温压弹的投放和爆炸方式有哪几种类型? 主要用于毁伤什么目标?
7. 燃料空气炸药指的是什么? 与普通炸药相比, 具有哪些典型特征?
8. 分析俄罗斯“什米尔”单兵温压弹的结构特点和作用原理。

第 14 章

1. 针对有生力量的软杀伤弹药主要有哪几种? 各类弹药的作用原理分别是什么?
2. 理想的红外诱饵弹系统应具有什么特点? 干扰机理是什么?
3. 红外诱饵弹的主要技术指标有哪些? 具体有什么要求?
4. 通信干扰弹有哪几种通信干扰方式? 各干扰方式的干扰原理有什么异同点?



5. 从电力系统的易损性和电力系统的故障两个角度分析电力系统的易损特性。
6. 分析碳纤维丝的特点，并指出碳纤维弹的作用原理和应用领域。
7. 电磁炸弹对武器装备的作用机理表现为哪几个方面？其具体作用机理是什么？
8. 电磁炸弹对人员的杀伤作用表现为哪几个方面？其具体作用机理是什么？
9. 激光弹药的发展有哪些技术途径？激光弹药对目标的作用表现在哪几个方面？
10. 电磁环境指的是什么？分析构成空间电磁环境的主要环境因素有哪些？

第 15 章

1. 从现代战争的特点来分析，航空炸弹的发展呈现出什么特点？
2. 航空炸弹的战术技术要求有哪些？如何衡量航空炸弹的弹道性能？
3. 低阻航空炸弹和减速航空炸弹的作用原理有什么区别？各有什么特点？
4. 制导航空炸弹有哪些种类？各类炸弹的具体作用原理和特点是什么？
5. 航空炸弹中稳定装置的具体作用是什么？稳定装置中的安定器有哪些形状？
6. 目前，航空炸弹减速装置采用的形式主要有哪些？具体结构和作用原理有何异同？
7. 联合直接攻击弹药中制导控制尾部装置包括哪些部件？各部件的具体功能是什么？
8. 红外制导航空炸弹和红外成像制导航空炸弹在设计原理上有什么不同？
9. 航空子母炸弹有哪些种类？各类炸弹的具体作用原理和特点是什么？
10. 火箭减速炸弹的特点是什么？其投放过程可分为哪几个阶段？

附录 常用词汇表

acoustic fuze	声引信
advanced hit efficiency and destruction ammunition	AHEAD 弹
aerial antirunway bomb	航空反跑道炸弹
aerial armour-piercing bomb	航空穿甲炸弹
aerial bomb	航空炸弹
aerial cluster bomb	航空集束炸弹
aerial demolition bomb	航空爆破炸弹
aerial depth bomb	航空深水炸弹
aerial dispenser and bomblet	航空子母炸弹
aerial flare bomb	航空照明炸弹
aerial fragment bomb	航空杀伤炸弹
aerial HEAT and fragmentation bomb	航空破甲杀伤炸弹
aerial high explosive antitank bomb	航空破甲炸弹
aerial incendiary bomb	航空燃烧炸弹
aerial instructional bomb	航空教练炸弹
aerial photoflash bomb	航空照相炸弹
aerial practice bomb	航空训练炸弹
aerial semi-armour-piercing bomb	航空半穿甲炸弹
aerial time bomb	航空定时炸弹
aircraft gun ammunition	航空炮炮弹
aircraft rocket	航空火箭弹
air-to-surface dispenser	机载空对地布撒器
ambient fuze	周炸引信
ammunition	弹药
anaesthetizing cartridge	麻醉弹
anti-aircraft gun ammunition	高射炮炮弹
anti-armour rifle grenade	破甲枪榴弹
anti-personnel rifle grenade	杀伤枪榴弹
anti-personnel warhead	杀伤弹头



anti-tank missile	反坦克导弹
anti-tank rocket	反坦克火箭弹
armour piercing discarding sabot (APDS) projectile	脱壳穿甲弹
armour piercing shot (AP Shot)	穿甲弹
armour-piercing cap, ballistic cap (APCBC) shot	带风帽的被帽穿甲弹
armour-piercing fin-stabilized discarding sabot projectile	尾翼稳定脱壳穿甲弹
armour-piercing spin stabilized discarding sabot projectile	旋转稳定脱壳穿甲弹
artillery	火炮
assisted rifle grenade	增程枪榴弹
auxiliary aerial bomb	辅助航空炸弹
auxiliary round	辅助炮弹
base bleed projectile	底部排气弹
base fuze	底部引信
battlefield surveillant projectile	战场监视弹
blank making of shell body	弹体毛坯制造
bomblet	小炸弹; 子炸弹
breech-loaded round	后膛炮弹
bullet	弹头; 弹丸; 子弹
canister	霰弹
cannon	加农炮
cannon launched guided projectile (CLJP)	制导炮弹
cargo round	子母炮弹
cartridge	弹药 (整装弹); 枪弹
cluster bomb unit (CBU)	集束炸弹
combination fuze	复合引信
command fuze	指令引信
communication jammer projectile	通信干扰弹
complete aerial bomb	全备航空炸弹
complete round	全备炮弹
composite armour	复合装甲
composite armour-piercing projectile	复合穿甲弹
concrete piercing projectile	混凝土破坏弹
consolidated charge	密实装药
decoy round	诱饵弹



delay contact fuze	延期触发引信
depleted uranium armour-piercing projectile	铀合金穿甲弹
depleted uranium projectile	贫铀弹
dispersion test of projectile	弹丸密集度试验
electromagnetic armour	电磁装甲
electromagnetic gun (EMG)	电磁炮
electromagnetic projectile	电磁炮弹
electromechanical contact fuze	机电触发引信
electro-thermal armour	电热装甲
electro-thermal gun (ETG)	电热炮
explosively formed penetrator (EFP)	爆炸成型弹丸
extended range full-bore projectile	全膛增程弹
extended range projectile	增程炮弹
field gun	野战炮
field rocket	野战火箭弹
fin-stabilized rocket	尾翼稳定火箭弹
firing accuracy	射击精度
fixed gun	固定炮
fixed round	定装式炮弹
flash grenade	闪光弹
fragmentation bomb	杀伤弹
fuel air explosive (FAE)	燃料空气炸药
fuze adaptive burst-point control	引信自适应炸点控制
fuze burst-point control	引信炸点控制
fuze programmable burst-point control	引信可编程炸点控制
grenade	手雷; 手榴弹; 枪榴弹; 掷榴弹
guided aerial bomb	制导航空炸弹
guided bomb unit (GBU)	制导炸弹
gun ammunition	炮弹
gun-howitzer	加农榴弹炮
gun-launched missile	炮射导弹
hand grenade	手榴弹
hard target deep-penetrating aerial bomb	航空硬目标深侵彻炸弹
high explosive antitank (HEAT) projectile	破甲弹



high explosive fragment incendiary projectile	杀伤爆破纵火弹
high explosive plastic (HEP) anti-tank projectile	塑性装药反坦克弹
high explosive projectile	榴弹 (炮射)
high explosive shell (HE shell)	榴弹
high explosive squash head (HESH) projectile	碎甲弹
high power microwave (HPM)	高功率微波
hollow base projectile	底凹弹
howitzer	榴弹炮
hybrid extended range projectile	复合增程弹
illuminating projectile	照明弹
image guided aerial bomb	图像制导航空炸弹
aerial composite guided bomb	复合制导航空炸弹
image guided anti-tank missile	图像制导反坦克导弹
incendiary projectile	燃烧弹
inert projectile	惰性弹
inertia contact fuze	惯性触发引信
infrared fuze	红外引信
internal fuze	弹身引信
jamming projectile	干扰弹
joint direct attack munition (JDAM)	联合直接攻击弹药 (杰达姆)
Joint Stand-Off Weapon (JSOW)	联合防区外武器
kinetic energy grenade	致痛弹
kinetic energy weapon (KEW)	动能武器
laser beam riding guided gun-launched missile	激光驾束制导炮射导弹
laser fuze	激光引信
laser guided aerial bomb	激光制导航空炸弹
laser guided anti-tank missile	激光制导反坦克导弹
liquid propellant gun (LPG)	液体发射药火炮
liquid propellant (LP)	液体发射药
low temperature sense propelling charge	低温度系数发射装药 (低温度感度装药)
low-drag aerial bomb	低阻航空炸弹
magnetic fuze	磁引信
main aerial bomb	主用航空炸弹



main round	主用炮弹
massive ordnance air blast bombs (MOAB)	高威力空爆炸弹
mechanical contact fuze	机械触发引信
millimeter wave guided gun-launched missile	毫米波制导炮射导弹
mine dispensing rocket	布雷火箭弹
modular propelling charge	刚性组合装药 (模块装药)
mortar	迫击炮
mortar projectile	迫击炮弹
multiple explosively formed penetrator warhead (MEFP)	多爆炸成型弹丸战斗部
multiple projectile round	多弹头弹
multi-purpose high explosive antitank (HEAT) projectile	多用途破甲弹
muzzle-loaded round	前膛炮弹
naval gun ammunition and coast artillery ammunition	舰 (岸) 炮炮弹
nose forming of shell body and rocket warhead body	弹体和火箭战斗部收口
optical fiber guided anti-tank missile	光纤制导反坦克导弹
optical fuze	光引信
optically tracked IR semiautomatic guided anti-tank missile	光学跟踪红外半自动制导反坦克导弹
pack gun	驮载炮
nose fuze	弹头引信
Prefragmented Programmable Proximity-fuzed Cartridge	可编程近炸引信预制破片弹
projectile dispersion	射弹散布
projectile flight stability principle	弹丸飞行稳定原理
propaganda projectile	宣传弹
propelling charge	发射装药
proximity fuze	近炸引信
radio proximity fuze	雷达引信, 无线电近炸引信
reactive armour	反应装甲
recoilless gun ammunition	无坐力炮炮弹
retarded aerial bomb	减速航空炸弹
ricochet	跳弹
rifle grenade	枪榴弹
rifled gun	线膛炮
rocket assisted projectile (RAP)	火箭增程弹; 火箭助推弹



rocket launcher	火箭炮
rocket projectile	火箭弹
sabot	弹托
sabot discarding	弹托分离
saluting round	礼炮弹
scatterable mine projectile	布雷炮弹
segmented rod armour-piercing projectile	分段杆式穿甲弹
self-propelled gun	自行火炮
semi- armour-piercing projectile	半穿甲弹
semi-active laser guided anti-tank missile	激光半主动制导反坦克导弹
separated round	分装式炮弹
shell	炮弹；弹壳；猎枪子弹
smart fuze	灵巧引信
smart munition	灵巧弹药
smoothbore gun	滑膛炮
smoothbore projectile	滑膛炮弹
soft-lethal projectile	软杀伤弹
special aerial bomb	特种航空炸弹
special round	特种炮弹
spin-stabilized rocket	旋转稳定火箭弹
spotting projectile	目标指示弹
strength test of shell body	弹体强度试验
stun grenade	爆震弹
subcaliber projectile	次口径弹
super-caliber projectile	超口径弹
superquick contact fuze	瞬发触发引信
tactical rocket	战术火箭弹
tail fuze	尾部引信
tank gun ammunition	坦克炮炮弹
tapered bore gun	锥膛炮
tear gas grenade	催泪弹
terminal guided projectile	末制导炮弹
terminal sensitive projectile	末敏弹
terminally guided rocket	末制导火箭弹



time fuze	时间引信
towed gun	牵引火炮
training projectile	教练弹
trajectory corrected projectile	弹道修正炮弹
trajectory corrected rocket	弹道修正火箭弹
trajectory correction fuze	弹道修正引信
travelling charge	随行装药（兰维勒装药）
tungsten alloy armour-piercing projectile	钨合金穿甲弹
TV reconnaissance projectile	电视侦察炮弹
uranium alloy armour	贫铀装甲
visually tracked wire guided anti-tank missile	目视有线制导反坦克导弹

参考文献

- 1 孟宪昌等.弹箭结构与作用.北京:兵器工业出版社,1989.10
- 2 于骐等.弹药学.北京:国防工业出版社,1987.12
- 3 王儒策.弹药工程.北京:北京理工大学出版社,2002.12
- 4 赵文宣.弹丸设计原理.北京:北京工业学院出版社,1988.6
- 5 王颂康等.高新技术弹药.北京:兵器工业出版社,1997.12
- 6 中国军事百科全书编审委员会.中国军事百科全书.北京:军事科学出版社,1997.7
- 7 胡星光.国防科技名词大典(兵器卷).北京:航空出版社,2002.1
- 8 张志鸿,周申生.防空导弹引信与战斗部配合效率和战斗部设计.北京:宇航出版社,1994.12
- 9 曹柏桢.飞航导弹战斗部与引信.北京:宇航出版社,1995.9
- 10 马宝华.引信构造与作用.北京:国防工业出版社,1983
- 11 世界弹药手册编辑部.世界弹药手册.北京:兵器工业出版社,1990
- 12 王靖君,郝信鹏.火炮概论.北京:兵器工业出版社,1992.7
- 13 金泽渊,詹彩琴.火炸药与装药概论.北京:兵器工业出版社,1988.1
- 14 隋树元,王树山.终点效应学.北京:国防工业出版社,2000.7
- 15 杨绍卿等.火箭弹散布和稳定性理论.北京:国防工业出版社,1979.10
- 16 蒋浩征.火箭战斗部设计原理.北京:国防工业出版社,1982
- 17 陆珥.炮兵照明弹设计.北京:国防工业出版社,1978.12
- 18 刘怡忻等.子母弹射击效力与使用分析.北京:兵器工业出版社,1992
- 19 刘怡忻,钟宜兴,王桂玉.新弹种射击效力与运用.北京:兵器工业出版社,1995.7
- 20 金志明.高速推进内弹道学.北京:国防工业出版社,2001.9
- 21 杨启仁.子母弹飞行动力学.北京:国防工业出版社,1999.6
- 22 宋振铎.反坦克制导兵器论证与试验.北京:国防工业出版社,2003.10
- 23 北京工业学院八系《爆炸及其作用》编写组.爆炸及其作用.北京:国防工业出版社,1979.7
- 24 张亚.弹药可靠性技术与管埋.北京:兵器工业出版社,2001.6
- 25 李景云.弹丸作用原理.北京:国防工业出版社,1963
- 26 崔秉贵.目标毁伤工程计算.北京:北京理工大学出版社,1995.1
- 27 宋丕极.枪炮与火箭外弹道学.北京:兵器工业出版社,1993.9
- 28 王尔林,张德智.现代兵器概论.北京:兵器工业出版社,1995.7
- 29 王儒策,刘荣忠,苏玳等.灵巧弹药的构造及作用.北京:兵器工业出版社,2001.6
- 30 马宝华.战争、技术与引信——关于引信及引信技术的发展.西安:探测与控制学报,2001(2):1~6
- 31 付伟.红外干扰弹的工作原理.电光与控制,2001(1)



- 32 李向东, 张运法, 魏惠之. AHEAD 弹对导弹目标的毁伤研究. 兵工学报, 2001 (4)
- 33 张玉龙. 电网“杀手”——碳纤维弹. 山东电力高等专科学校学报, 2000 (1)
- 34 阮谢永. 对红外诱饵弹干扰的分析及对策. 航天电子对抗, 2000 (4)
- 35 余勇. 干扰弹的现状与发展趋势浅析. 光电对抗与无源干扰, 2001 (2)
- 36 王瑛, 欧阳立新, 张国春. 高功率微波弹发展现状浅析. 微波学报, 1998 (1)
- 37 邓国强, 周早生, 郑全平. 钻地弹爆炸聚集效应研究现状及展望. 解放军理工大学学报, 2002 (3)
- 38 丛敏. 德国研制 Ahead 弹药. 飞航导弹, 2000 (8)
- 39 张巍. 电子战新武器——光学弹药的体制研究. 光电对抗与无源干扰, 1999 (1)
- 40 曹永珠. 定向能武器的现状及未来的研究和发展趋势. 中国国防科技信息, 1998 (3)
- 41 章雅平. 定向能武器技术发展的回顾与展望. 光电子技术与信息, 1996 (5)
- 42 杨屹, 曾宾. 反导利刃——动能武器. 高新技术, 2001 (12)
- 43 尹建平, 王志军, 陈超. 扫描捕获准则对 MEFP 智能雷毁伤概率的影响. 华北工学院学报, 2003 (2)
- 44 姚树旗. 关于“灵巧弹药”一词的探讨. 外军动态, 1995 (2)
- 45 王树魁. 国外弹药发展的特点和趋势. 弹箭技术, 1997 (1)
- 46 何喜营. 国外末敏弹药的发展现状及前景分析. 弹箭技术, 1995 (2)
- 47 罗健, 孙更生. 明天的灵巧坦克弹药. 弹箭技术, 1996 (1)
- 48 周军. 全天候打击的精确制导弹药. 飞航导弹, 2000 (3)
- 49 王海福, 冯顺山. 燃料空气炸药武器化应用条件. 弹箭技术, 1998 (1)
- 50 熊祖钊, 白春华. 燃料空气炸药武器威力评价指标研究. 火炸药学报, 2002 (2)
- 51 刘德喜, 王方玉. 特种航空弹药的现状及发展趋势. 火炸药, 1997 (1)
- 52 陈超, 王志军. 智能雷攻击坦克顶甲时的刚体扫描运动方程. 华北工学院学报, 2001 (3)
- 53 郭美芳, 王树魁. 美国 M93 式“大黄蜂”广域弹药. 智能地雷译文集. 中国兵器工业第二一零研究所, 1997
- 54 周健. 聚焦贫铀弹. 科技术语研究, 2001 (1)
- 55 李大红, 吴强, 张汉钊等. 钨杆弹斜侵彻研究. 爆炸与冲击, 1996 (2)
- 56 门建兵, 蒋建伟等. 带尾翼 EFP 形成的三维数值模拟研究. 北京理工大学学报, 2002 (4)
- 57 尹建平, 王志军, 陈超. MEFP 智能雷攻击坦克顶甲的毁伤模型. 弹箭与制导学报, 2003 (2)
- 58 樊飞跃. 贫铀武器应用及其危害. 中华放射医学与防护杂志, 2000 (1)
- 59 李颂德. 90 年代国外制导航空炸弹的发展. 弹箭技术, 1996 (2)

国防科工委“十五”规划教材
兵器科学与技术



责任编辑：董双洪

书籍装帧：

ISBN 7-5640-0443-6



9 787564 004439 >

ISBN 7-5640-0443-6

定价：41.50 元

[G e n e r a l I n f o r m a t i o n]

书名=国防科工委“十五”规划专著 兵器科学与技术 弹药学

作者=

页数= 4 0 6

S S 号= 0

出版日期=

V s s 号= 5 3 5 2 9 7 9 6