弹药概论

DANYAO GAILUN

李向东 钱建平 曹 兵 沈培辉 编著



国防工业出版社
http://www.ndip.cn

弹药概论



责任编辑：杜　钧　　封面设计：王晓军

ISBN 7-118-03681-1

9 787118 036817 >

ISBN 7-118-03681-1/TJ·192
定价：38.00 元

弹药概论

李向东　钱建平　曹兵　沈培辉　编著

国防工业出版社

·北京·

内容简介

本书共12章，主要介绍炮弹、火箭弹、枪榴弹及榴弹发射器用弹药、航空炸弹、常规导弹战斗部等弹药的性能、组成、结构特点和作用原理，以及弹药的发展方向。本书可作为火炮、自动武器及弹药工程专业本科生的教材，也可作为相关专业的本科生选修课教材、研究生的参考书，同时也是弹药设计、维护、使用等相关技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

弹药概论/李向东等编著. —北京：国防工业出版社，2004.12

ISBN 7-118-03681-1

Ⅰ.弹… Ⅱ.李… Ⅲ.弹药－概论 Ⅳ.TJ41

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第112169号

国防工业出版社出版发行

（北京市海淀区紫竹院南路23号）

（邮政编码 100044）

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 18¾ 430千字

2004年12月第1版 2004年12月北京第1次印刷

印数：1—2500册 定价：38.00元

（本书如有印装错误，我社负责调换）

国防书店：(010)68428422 发行邮购：(010)68414474

发行传真：(010)68411535 发行业务：(010)68472764

前　言

近年来，由于新技术、新材料、新工艺等在弹药中的广泛应用，弹药的结构不断改进，性能得到大幅度提高；同时又涌现出一批新型弹药，如末敏弹、弹道修正弹等，弹药已由原来的普通型向灵巧型、智能型等方向发展。为了适应国防事业的发展以及现代教学和科研的需要，特别是国防现代化培养人才的需要，结合当前科研最新成果和国际弹药发展动态，特编写了本书。

本书主要介绍炮弹、火箭弹、枪榴弹及榴弹发射器用弹药、航空炸弹、常规导弹战斗部等弹药的性能、组成、结构特点和作用原理，以及弹药的发展方向。

本书共 12 章，第 1、7、10、11 章由南京理工大学李向东编写，第 2、9 章由南京理工大学钱建平编写，第 3 章由 803 厂惠东高级工程师、崔晋所长编写，第 4、5、6 章由南京理工大学曹兵编写，第 8 章由南京理工大学沈培辉教授编写，第 12 章由 5013 厂胡晓东高级工程师、南京理工大学李向东编写。

南京理工大学赵国志教授审阅了全部书稿，提出了很多指导性意见和建议，为本书的出版付出了辛勤的劳动。本书的所有插图都是由陈健同志绘制的。另外，本书的出版得到了南京理工大学崔骥老师、徐建成教授、刘荣忠教授、陈惠武高级工程师、黄正祥副教授等的大力支持，并得到了 5013 厂陈文高级工程师、803 厂王议论高级工程师、建成机械厂郝传宏高级工程师、空军后勤学院刘金梅副教授的帮助。在此，向他们及对本书作出辛勤劳动的所有同志表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了大量国内外文献资料和相关的教材，在此，对原作者表示谢意。

由于编者水平有限，加之内容广泛，书中难免有错误和不妥之处，望读者批评指正。

作　者

2004 年 10 月

目　录

第 1 章　弹药概述 …… 1
1.1　弹药的组成 …… 1
1.1.1　战斗部 …… 1
1.1.2　引信 …… 1
1.1.3　投射部 …… 2
1.1.4　导引部 …… 2
1.1.5　稳定部 …… 2
1.2　弹药的分类 …… 3
1.2.1　按用途分类 …… 3
1.2.2　按投射运载方式分类 …… 3
1.2.3　按装填物类型分类 …… 4
1.2.4　按配属分类 …… 4
1.2.5　按控制程度分类 …… 4
1.3　炮弹的一般知识 …… 5
1.3.1　炮弹及其发射过程 …… 5
1.3.2　弹丸所受空气阻力及影响 …… 6
1.3.3　弹丸的结构特征参数 …… 7
1.3.4　炮弹的分类 …… 8
1.3.5　对炮弹的要求 …… 9
1.4　弹药发展趋势 …… 11
1.4.1　远程化 …… 11
1.4.2　精确化 …… 11
1.4.3　高效能 …… 12
1.4.4　多用途 …… 12
1.4.5　小型化和微型化 …… 12
第 2 章　榴弹 …… 13
2.1　榴弹概述 …… 13
2.1.1　榴弹的发展简况 …… 13
2.1.2　榴弹的外形特征 …… 13
2.1.3　榴弹的基本组成 …… 14
2.1.4　榴弹的分类 …… 21
2.1.5　榴弹的结构特征数 …… 21
2.1.6　榴弹的精度指标描述 …… 21

2.1.7 榴弹的作用 …… 22
2.2 旋转稳定榴弹 …… 25
2.2.1 概述 …… 25
2.2.2 主要诸元 …… 25
2.2.3 外形特点 …… 26
2.2.4 结构特点 …… 26
2.3 尾翼稳定榴弹 …… 26
2.3.1 概述 …… 26
2.3.2 PT73 式 100mm 滑膛反坦克炮Ⅰ型榴弹 …… 27
2.4 远程榴弹 …… 29
2.4.1 概述 …… 29
2.4.2 底凹榴弹 …… 29
2.4.3 低阻远程榴弹 …… 31
2.4.4 底排减阻增程榴弹 …… 32
2.4.5 底排—火箭复合增程榴弹 …… 36
2.5 榴弹的发展演变与发展趋势分析 …… 40
2.5.1 发展演变 …… 40
2.5.2 发展趋势分析 …… 41
第 3 章 穿甲弹 …… 44
3.1 装甲目标分析 …… 44
3.1.1 坦克概况 …… 44
3.1.2 装甲钢板简介 …… 46
3.1.3 新型装甲简介 …… 47
3.2 对穿甲弹的性能要求和穿甲作用 …… 50
3.2.1 对穿甲弹的主要性能要求 …… 50
3.2.2 穿甲作用 …… 52
3.3 普通穿甲弹 …… 54
3.3.1 尖头穿甲弹 …… 54
3.3.2 钝头穿甲弹 …… 54
3.3.3 被帽穿甲弹 …… 56
3.3.4 半穿甲弹 …… 58
3.4 次口径超速穿甲弹 …… 58
3.4.1 结构特点 …… 59
3.4.2 存在问题 …… 61
3.5 脱壳穿甲弹 …… 61
3.5.1 概述 …… 61
3.5.2 旋转稳定脱壳穿甲弹 …… 62
3.5.3 尾翼稳定脱壳穿甲弹 …… 64
3.6 穿甲弹的发展方向 …… 71

3.6.1 当前杆式穿甲弹的水平 …… 71
3.6.2 当前穿甲弹面临的问题 …… 72
3.6.3 杆式穿甲弹发展方向 …… 74
第4章 破甲弹 …… 79
4.1 破甲作用基本原理及影响破甲作用的因素 …… 79
4.1.1 破甲弹作用原理 …… 79
4.1.2 影响破甲作用的因素 …… 80
4.2 尾翼稳定的破甲弹 …… 84
4.2.1 82mm 无后坐力炮破甲弹 …… 84
4.2.2 苏联 100mm 坦克炮用破甲弹 …… 87
4.2.3 85mm 汽缸式尾翼稳定破甲弹 …… 87
4.2.4 100mm 滑膛炮用尾翼稳定破甲弹 …… 89
4.3 旋转稳定的破甲弹 …… 90
4.3.1 美 152mm XM409E5 式多用途破甲弹 …… 90
4.3.2 法 105mm 坦克炮用 G 型破甲弹 …… 92
4.4 火箭增程破甲弹 …… 92
4.4.1 40mm 火箭增程破甲弹 …… 92
4.4.2 苏联 ПГ-9 式 73mm 火箭增程破甲弹 …… 98
4.5 爆炸成型弹丸战斗部 …… 101
4.5.1 末敏弹子弹药 …… 102
4.5.2 改进 EFP 战斗部性能的技术措施 …… 108
4.6 串联式破甲弹 …… 111
4.6.1 破—破式串联装药战斗部 …… 112
4.6.2 穿—破式串联装药战斗部 …… 113
4.7 破甲弹的发展历程及发展方向 …… 114
第5章 碎甲弹 …… 117
5.1 碎甲作用原理及影响因素 …… 117
5.1.1 碎甲作用的基本原理 …… 117
5.1.2 碎甲弹的作用 …… 121
5.1.3 影响碎甲作用的因素 …… 122
5.2 碎甲弹的结构特点及性能评价 …… 125
5.2.1 碎甲弹的结构特点 …… 125
5.2.2 碎甲弹的性能评价 …… 128
第6章 迫击炮弹 …… 130
6.1 迫击炮弹的构造特点 …… 130
6.1.1 尾翼稳定迫击炮弹的构造 …… 130
6.1.2 典型迫击炮弹的特点 …… 135
6.1.3 旋转稳定的迫击炮弹 …… 136
6.2 典型迫击炮弹的发射装药 …… 138

6.2.1 基本装药 …… 138
6.2.2 附加装药 …… 140
6.3 特殊结构的迫击炮弹 …… 142
6.3.1 长弹 …… 142
6.3.2 长炮榴弹 …… 142
6.4 迫击炮弹的发展方向 …… 144
第7章 防空高炮弹药 …… 147
7.1 空中目标特性分析及高炮弹药的特点 …… 147
7.1.1 空中目标特性分析 …… 147
7.1.2 高射炮弹药的特点 …… 149
7.2 高射炮榴弹 …… 151
7.3 小口径 AHEAD 弹 …… 153
7.3.1 AHEAD 弹概述 …… 153
7.3.2 AHEAD 弹的主要技术指标 …… 154
7.3.3 AHEAD 弹的结构特点 …… 154
7.4 高射炮用穿甲弹 …… 156
7.4.1 脱壳穿甲燃烧弹 …… 156
7.4.2 易碎穿甲弹 …… 157
7.5 多功能弹 …… 159
7.6 弹道修正弹 …… 160
7.7 防空高炮弹药的发展 …… 162
第8章 特种弹和软杀伤弹药 …… 164
8.1 照明弹 …… 164
8.1.1 用途和要求 …… 164
8.1.2 结构特点 …… 165
8.1.3 照明弹使用中应注意的问题 …… 169
8.1.4 存在的问题及发展方向 …… 170
8.2 发烟弹 …… 171
8.2.1 用途和要求 …… 171
8.2.2 结构特点 …… 171
8.2.3 发烟弹的作用及影响作用的因素 …… 173
8.2.4 存在的问题与发展方向 …… 174
8.3 燃烧弹 …… 175
8.3.1 用途、要求及纵火剂种类 …… 175
8.3.2 燃烧弹的构造 …… 175
8.3.3 作用原理与使用要求 …… 177
8.4 视频侦察用弹 …… 178
8.4.1 视频侦察弹系统的基本组成 …… 178
8.4.2 目标辨认/战场毁伤评估(TV/BDA)系统 …… 179

8.5 软杀伤弹药 …… 180
8.5.1 激光弹 …… 180
8.5.2 碳纤维弹 …… 181
8.5.3 强光辐射致盲弹 …… 182
8.5.4 失能弹 …… 183
第9章 火箭弹 …… 184
9.1 火箭弹概述 …… 184
9.1.1 火箭弹的发展简况 …… 184
9.1.2 火箭弹的基本组成 …… 184
9.1.3 火箭弹的分类 …… 185
9.1.4 火箭弹的工作原理 …… 186
9.1.5 火箭弹的特点 …… 187
9.2 涡轮式火箭弹 …… 188
9.2.1 涡轮式火箭弹的特点 …… 188
9.2.2 1963 年式 130mm 杀伤爆破火箭弹 …… 189
9.3 尾翼式火箭弹 …… 193
9.3.1 尾翼式火箭弹的特点 …… 194
9.3.2 俄罗斯 БМ－21 式 122mm 杀伤爆破火箭弹 …… 195
9.4 火箭弹的发展趋势分析 …… 201
9.4.1 射程远程化 …… 201
9.4.2 打击精确化 …… 202
9.4.3 大威力及多用途化 …… 202
9.4.4 动力推进装置多样化 …… 202
第10章 航空炸弹 …… 204
10.1 航空炸弹的一般知识 …… 204
10.1.1 航空炸弹的发展 …… 204
10.1.2 弹道性能 …… 205
10.1.3 炸弹的分类 …… 207
10.1.4 对炸弹的基本要求 …… 207
10.2 航空爆破炸弹 …… 208
10.2.1 高阻爆破炸弹 …… 208
10.2.2 低阻爆破炸弹 …… 211
10.2.3 低阻低空爆破炸弹 …… 213
10.3 航空杀伤炸弹 …… 218
10.3.1 100－1 型航空杀伤炸弹 …… 219
10.3.2 小型杀伤炸弹 …… 220
10.4 航空杀伤爆破弹 …… 222
10.4.1 主要性能数据 …… 222
10.4.2 构造特点 …… 223

10.4.3 作用过程 …… 223
10.5 集束炸弹和航空子母炸弹 …… 223
10.5.1 集束炸弹 …… 224
10.5.2 航空子母弹 …… 225
10.6 航空反跑道炸弹 …… 228
10.6.1 主要性能数据 …… 229
10.6.2 结构特点 …… 229
10.6.3 作用过程 …… 234
10.7 燃料空气炸弹 …… 234
10.7.1 结构 …… 235
10.7.2 作用过程 …… 238
10.8 电磁炸弹 …… 238
10.8.1 高功率微波炸弹 …… 239
10.8.2 电磁脉冲炸弹 …… 241
10.8.3 高功率微波炸弹和电磁脉冲炸弹的毁伤能力 …… 242
10.9 制导炸弹 …… 242
10.9.1 激光制导炸弹 …… 242
10.9.2 “杰达姆”精确制导炸弹 …… 244
10.10 航空炸弹的发展趋势 …… 246
第 11 章 枪榴弹和榴弹发射器用弹药 …… 248
11.1 枪榴弹 …… 248
11.1.1 杀伤枪榴弹 …… 250
11.1.2 40mm 多用途枪榴弹 …… 251
11.1.3 照明枪榴弹 …… 252
11.1.4 火箭增程杀伤枪榴弹 …… 252
11.2 榴弹发射器用弹药 …… 254
11.2.1 榴弹 …… 254
11.2.2 破甲和杀伤双用途弹 …… 257
11.2.3 照明榴弹 …… 259
11.3 发展趋势 …… 260
11.3.1 枪榴弹的主要发展趋势 …… 260
11.3.2 榴弹发射器用弹药的发展方向 …… 260
第 12 章 常规导弹战斗部 …… 261
12.1 常规导弹战斗部类型及组成 …… 261
12.1.1 常规战斗部的分类 …… 261
12.1.2 常规战斗部的组成 …… 261
12.2 破片杀伤战斗部 …… 262
12.2.1 预控破片杀伤战斗部 …… 263

12.2.2 预制破片杀伤战斗部 …… 266
12.3 杆条杀伤战斗部 …… 267
12.3.1 离散杆杀伤战斗部 …… 267
12.3.2 连续杆战斗部 …… 268
12.4 爆破式战斗部 …… 270
12.4.1 组成及结构 …… 271
12.4.2 爆破机理 …… 271
12.5 聚能装药战斗部 …… 273
12.5.1 射流式聚能装药战斗部 …… 273
12.5.2 爆炸成型战斗部 …… 274
12.5.3 多聚能射流战斗部 …… 274
12.5.4 多 P 装药战斗部 …… 275
12.5.5 片形射流战斗部 …… 276
12.6 侵彻战斗部 …… 277
12.6.1 作用原理 …… 277
12.6.2 结构及组成 …… 277
12.7 串联战斗部 …… 278
12.7.1 反击反应装甲的串联战斗部 …… 278
12.7.2 反击混凝土目标的串联战斗部 …… 279
12.8 定向杀伤战斗部 …… 280
12.8.1 偏心起爆式定向杀伤战斗部 …… 280
12.8.2 破片芯式定向杀伤战斗部 …… 281
12.8.3 可变形定向杀伤战斗部 …… 281
12.8.4 展开型定向杀伤战斗部 …… 282
12.8.5 聚焦战斗部 …… 283
12.9 子母式战斗部 …… 284
12.9.1 子弹 …… 284
12.9.2 子弹抛射系统 …… 285
12.9.3 障碍排除装置 …… 288
12.9.4 母体 …… 288
12.9.5 子弹的抛射过程 …… 288
参考文献 …… 290

第1章　弹药概述

弹药通常是指在金属或非金属壳体内装有火药、炸药或其它装填物，能对目标起毁伤作用或完成其它作战任务(如电子对抗、信息采集、心理战、照明等)的军械物品。

弹药包括枪弹、炮弹、手榴弹、枪榴弹、火箭弹、导弹、鱼雷、水雷、地雷、爆破筒、发烟罐、炸药包、核弹药、反恐弹药以及民用弹药(如灭火弹、增雨弹)等。本书主要介绍炮弹、火箭弹、枪榴弹、航空炸弹以及常规导弹战斗部的结构及其工作原理。

1.1　弹药的组成

从结构上讲，弹药由很多零部件组成；从功能角度讲，弹药通常由战斗部、引信、投射部、导引部、稳定部等组成。这些功能部分有的是通过多个零部件共同组成，有的是由单个部件组成，有的部件还承担多种功能，如炮弹弹丸的壳体是战斗部的主要组成部分，同时还是导引部。

1.1.1　战斗部

战斗部是弹药毁伤目标或完成既定战斗任务的核心部分。某些弹药(如普通地雷、水雷等)仅由战斗部单独构成。战斗部通常由壳体和装填物组成。

1.1.1.1　壳体

壳体用于容纳装填物并连接引信，使战斗部组成一个整体结构。在大多数情况下，壳体也是形成毁伤元素的基体，如杀伤类的炮弹、导弹、炸弹等。

1.1.1.2　装填物

装填物是毁伤目标的能源物质或战剂。通过对目标的高速碰撞，或装填物(剂)的自身特性与反应，产生或释放出具有机械、热、声、光、电磁、核、生物等效应的毁伤元(如实心弹丸、破片、冲击波、射流、热辐射、核辐射、电磁脉冲、高能离子束、生物及化学战剂气溶胶等)，作用在目标上，使其暂时或永久地、局部或全部地丧失其正常功能。有些装填物是为了完成某项特定的任务，如宣传弹内装填的宣传品、侦察弹内装填的摄像及信息发射装置等。

1.1.2　引信

引信是能感受环境和目标信息，从安全状态转换到待发状态，适时作用以控制弹药发挥最佳作用的一种装置。

1.1.3 投射部

投射部是弹药系统中提供投射动力的装置,使射弹具有射向预定目标的飞行速度。投射部的结构类型与武器的发射方式紧密相关。两种最典型的弹药投射部为:

发射装药药筒——适用于枪、炮射击式弹药;

火箭发动机——是自推式弹药中应用最广泛的投射部类型。其与射击式投射部的差别在于,发射后伴随射弹一体飞行,工作停止前持续提供飞行动力。

某些弹药,如手榴弹、普通的航空炸弹、地雷、水雷等是通过人力投掷或工具运载、埋设的,无需投射动力,故无投射部。

1.1.4 导引部

导引部是弹药系统中导引和控制射弹正确飞行运动的部分。对于无控弹药,简称导引部;对于控制弹药,简称制导部,它可能是一完整的制导系统,也可能与弹外制导设备联合组成制导系统。

1.1.4.1 导引部

使射弹尽可能沿着事先确定好的理想弹道飞向目标,实现对射弹的正确导引。火炮弹丸的上下定心突起或定心舵形式的定心部即为其导引部;无控火箭弹的导向块或定位器为其导引部。

1.1.4.2 制导部

导弹的制导部通常由测量装置、计算装置和执行装置 3 个主要部分组成。根据导弹类型的不同,相应的制导方式也不同,有 4 种制导方式。

自主式制导——全部制导系统装在弹上,制导过程中不需要弹外设备配合,也无需来自目标的直接信息就能控制射弹飞向目标,如惯性制导。大多数地地导弹都采用自主式制导。

寻的制导——由弹上的导引头感受目标的辐射能量或反射能量,自动形成制导指令,控制射弹飞向目标,如无线电寻的制导、激光寻的制导、红外寻的制导等。这种制导方式的制导精度高,但制导距离较近,适用于攻击活动目标的地空、舰空、空空、空舰等导弹。

遥控制导——由导弹的制导站向导弹发出制导指令,由弹上执行装置操纵射弹飞向目标,如无线电指令制导、激光指令制导,适用于攻击活动目标的地空、空空、空地和反坦克导弹等。

复合制导——在射弹飞行的初始段、中间段和末段,同时或先后采用两种以上方式进行制导,如利用 GPS 技术和惯性导航系统全程导引,加上末段寻的制导等。适用于远程投放制导炸弹、布撒器等。复合制导可以增大制导距离,同时提高制导精度。

1.1.5 稳定部

弹药在发射和飞行中,由于各种随机因素的干扰和空气阻力的不均衡作用,导致射弹

飞行状态的不稳定变化，使其飞行轨迹偏离理想弹道，形成射弹散布，降低命中率。稳定部是保持射弹在飞行中具有抗干扰特性，以稳定的飞行状态、尽可能小的攻角和正确姿态接近目标的装置。典型的稳定部结构形式如下：

急螺稳定——按陀螺稳定原理，赋予弹丸高速旋转的装置，如一般炮弹上的弹带，或某些射弹上的涡轮装置。

尾翼稳定——按箭羽稳定原理的尾翼装置，在火箭弹、导弹及航空炸弹上被广泛采用。

1.2　弹药的分类

弹药的种类很多，不同类型的弹药其投放方式、作用原理、组成及结构也是千差万别，为了便于理解和学习，将弹药进行分类。弹药的分类方法也很多，下面以常用的几种方式对弹药进行分类。

1.2.1　按用途分类

根据弹药的用途可将弹药分为主用弹、特种弹和辅助用弹。

主用弹——直接杀伤敌人有生力量和摧毁非生命目标的弹药统称为主用弹，如用于杀伤敌方人员、马匹，破坏敌人的土木工事、铁丝网、障碍物、车辆、建筑物的杀爆式炮弹和炸弹；用于对付坦克装甲车辆等装甲目标的穿甲弹、成型装药破甲弹和反坦克子母弹，用于对付混凝土工事、机场跑道、地下掩体的攻坚弹药等都属于主用弹。

特种弹——为完成某些特殊战斗任务用的弹药称为特种弹，如照明弹、烟幕弹、宣传弹、电视侦察弹、信号弹、诱饵弹等都属于特种弹。其与主用弹的根本区别是本身不参与对目标的毁伤。

辅助用弹——是指用于靶场试验、部队训练和进行教学目的的弹药，如教练弹、训练弹等。

随着新型弹药的出现，这种划分的界限已逐渐模糊。

1.2.2　按投射运载方式分类

按投射运载方式可将弹药分为射击式、自推式、投掷式和布设式 4 类弹药。

射击式弹药——从各种身管武器发射的弹药，包括枪弹、炮弹、榴弹发射器用弹药。其特点是初速大、射击精度高、经济性好，是战场上应用最广泛的弹药，适用于各军兵种。

自推式弹药——这类弹药自带推进系统，包括火箭弹、导弹、鱼雷等。由于其发射时过载较小，发射装置对弹药的限制因素少，射程远且易于实现制导，因此具有广泛的战术及战略用途。

投掷式弹药——包括从飞机上投放的航空炸弹、人力投掷的手榴弹、利用膛口压力或子弹冲击力抛射的枪榴弹等。这类弹药靠外界提供的投掷力或赋予的速度实现飞行运动。

布设式弹药——包括地雷、水雷等，采用人工或专用工具、设备将之布投于要道、港口、海域航道等预定地区，构成雷场。

1.2.3 按装填物类型分类

按装填物类型可将弹药分为常规弹药、化学(毒剂)弹药、生物(细菌)弹药、核弹药4类。

化学弹药——战斗部内装填化学战剂(又称毒剂)，专门用于杀伤有生目标。战剂借助于爆炸、加热或其它手段，形成弥散性液滴、蒸气或气溶胶等，黏附于地面、水中或悬浮于空气中，经人体接触染毒、致病或死亡。

生物弹药——战斗部内装填生物战剂，如致病微生物毒素或其它生物活性物质，用以杀伤人、畜，破坏农作物，并能引发疾病大规模传播。

核弹药——战斗部内装有核装料，引爆后，能自持进行原子核裂变或聚变反应，瞬时释放巨大能量，如原子弹、氢弹、中子弹等。

常规弹药——战斗部内装有非生、化、核填料的弹药总称，以火炸药、烟火剂、子弹或破片等杀伤元素、其它特种物质(如照明剂、干扰箔条、碳纤维丝等)为装填物。

生、化、核弹药由于其威力巨大，杀伤区域广阔，而且污染环境，属于“大规模杀伤破坏性弹药”，国际社会先后签定了一系列国际公约，限制这类弹药的试验、扩散和使用。本书所讲弹药都属常规弹药。

1.2.4 按配属分类

按配属于不同军兵种的主要武器装备，弹药可分为下列几类：

炮兵弹药——配备于炮兵的弹药，主要包括炮弹、地面火箭弹和导弹等。

航空弹药——配备于空军的弹药，主要包括航空炸弹、航空炮弹、航空导弹、航空火箭弹、航空鱼雷、航空水雷等。

海军弹药——配备于海军的弹药，主要包括舰、岸炮炮弹、舰射或潜射导弹、鱼雷、水雷及深水炸弹等。

轻武器弹药——配备于单兵或班组的弹药，主要包括各种枪弹、手榴弹、肩射火箭弹或导弹等。

工程战斗器材——主要包括地雷、炸药包、扫雷弹药、点火器材等。

1.2.5 按控制程度分类

根据对弹药的控制程度可将其分为无控弹药、制导弹药。

无控弹药——整个飞行弹道上无探测、识别、控制和导引能力的弹药。普通的炮弹、火箭弹、炸弹都属于这一类。

制导弹药——在外弹道上具有探测、识别、导引跟踪并攻击目标能力的弹药，如导弹。

此外，还有一些弹药介于上述两类弹药之间，它们在外弹道某段上或目标区具有一定的控制、探测、识别、导引能力，如弹道修正弹药、传感器引爆子弹药、末制导炮弹等，是无控弹药提高精度的一个发展方向。

1.3　炮弹的一般知识

本书所讲的大部分弹药的内容属于炮弹，为了便于讲解，本节专门介绍一些有关炮弹方面的一般知识。

1.3.1　炮弹及其发射过程

炮弹是指直径在 20mm 以上，利用火炮将其发射出去，毁伤目标、完成战斗任务的弹药。炮弹一般由弹丸和发射装药两大部分组成。

弹丸是直接完成战斗任务包括引信在内的炮弹部件。弹丸由很多零部件组成，类型不同，构成弹丸的零部件也不同，但大部分都是由引信、弹体、装填物、弹带 、稳定装置(采用尾翼稳定的弹丸)等组成。

发射装药主要是由药筒、发射药、底火等元件组成。药筒的主要作用是盛装发射药、装填入膛时起定位作用等。发射药是发射弹丸的能源。底火的用途是点燃发射药。

发射时炮弹装入炮膛的情况如图 1－1 所示。射击过程是从击发开始的，通常采用机械作用，使火炮的击针 8 撞击药筒底部的底火 5，使底火药着火，底火药的火焰又进一步使底火中的点火药 9 燃烧，产生高温高压的气体和灼热的小粒子，从而使火药燃烧，这就是点火过程。

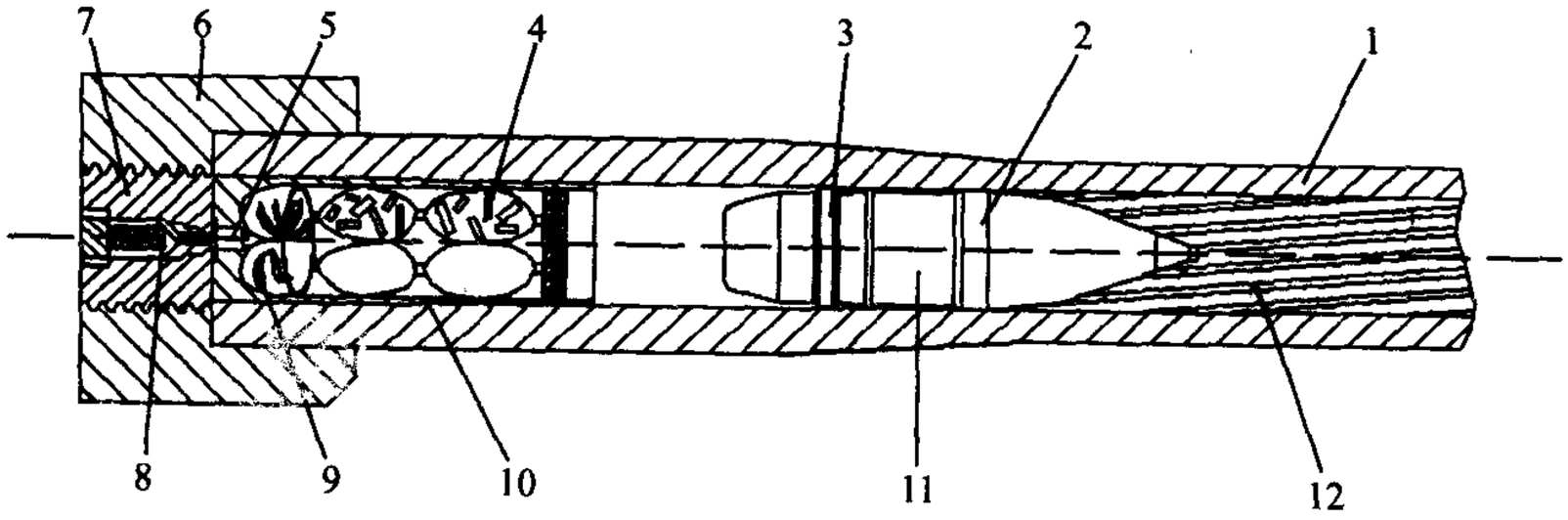


图 1－1　炮弹射击待发状态示意图

1—炮管；2—定心部；3—弹带；4—发射药；5—底火；6—炮尾；7—闩体；8—击针；9—点火药；10—药筒；11—弹丸；12—膛线。

点火过程完成后，火药燃烧，产生了大量高温高压气体，推动弹丸 11 向前运动，弹丸的弹带直径略大于膛内阴线直径，所以在弹丸开始运动时，弹带 3 是逐渐挤进膛线 12 的，前进的阻力也随着不断增加。当弹带全部挤进膛线时，即达到最大阻力，这时弹带被刻成沟槽而与膛线完全吻合，这个过程称为挤进膛线过程。

弹丸的弹带全部挤进膛线后，膛内阻力急速下降。弹丸开始加速向前运动，由于惯性，这时弹丸的速度并不高。随着火药继续燃烧，高温的火药气体聚集在弹后不大的容积里，使得膛压猛增，在高压作用下，弹丸速度急剧加快直至飞离炮口。弹底到达炮口瞬间弹丸所具有的速度称为炮口速度。之后打开炮闩，退出留在膛内的药筒，即完成一次射击过程。

1.3.2 弹丸所受空气阻力及影响

弹丸在空气中运动时,除受重力作用以外,主要受到周围空气作用产生的阻力,按其产生的原因不同,可分为摩擦阻力、涡流阻力和激波阻力3种。摩擦阻力是由于空气分子和弹丸表面之间相互作用引起的;弹丸在空中运动时,头部受到的气流压力比较大,尾部因气流分离而产生一涡流低压区,这样弹丸前后就形成压力差,由压力差产生的阻力就是涡流阻力,也叫压差阻力;当弹丸以超声速运动时,弹头部和弹尾部会出现激波,由于激波而产生的阻力,称为激波阻力。

空气阻力的大小取决于弹丸的运动速度、空气密度、弹丸横截面积和弹丸的形状等因素。根据空气动力学知识,空气阻力的表达式为

$$R = \frac{1}{2} C_{x0}(M) S\rho v^2 \tag{1.1}$$

式中 R——空气阻力(N);

v——弹丸相对空气的速度(m/s);

ρ——空气密度(kg/m^3);

S——弹丸最大横截面积(m^2);

M——弹丸运动速度与声速的比值,称为马赫数;

$C_{x0}(M)$——攻角为0时的阻力系数,是弹丸运动速度的函数。

1.3.2.1 弹丸速度 v

v是指弹丸相对于空气运动的速度。弹丸速度越大,弹体和空气分子之间的摩擦加剧,气流在弹尾后面越不容易合拢,弹尾部的涡流区增大,尾部后面的压力就越低,激波的强度也越大。因此,弹丸速度增大时,摩擦阻力、涡流阻力和激波阻力都会增大。

1.3.2.2 空气密度 ρ

空气密度越大,摩擦阻力、涡流阻力和激波阻力也越大。

1.3.2.3 弹丸最大横截面积 S

S是指弹体最粗部位的横截面积。当弹丸形状一定时,其外表面积随最大横截面积的增大而增大,所受的摩擦阻力就越大。弹丸最大横截面积越大,弹径越大,处于低压区的面积也就越大,涡流阻力越大,相应的激波面也大,所以激波阻力也大。

1.3.2.4 弹丸形状

空气阻力的大小与弹丸形状有很大关系。弹丸头部越尖,产生的激波越弱;弹尾部流线形越好,出现的涡流区越小;弹丸表面越光滑,不仅摩擦阻力小,而且当弹丸在跨声速时,产生的局部激波也越弱。因此,弹丸头部越尖、尾部越呈流线形、表面越光滑,空气阻力就越小;反之,则阻力越大。

1.3.2.5　阻力系数

阻力系数的大小与弹丸的速度和弹丸形状有关,实验结果证明,各种弹丸的阻力系数随速度变化的规律大致相同,如图 1 - 2 所示。

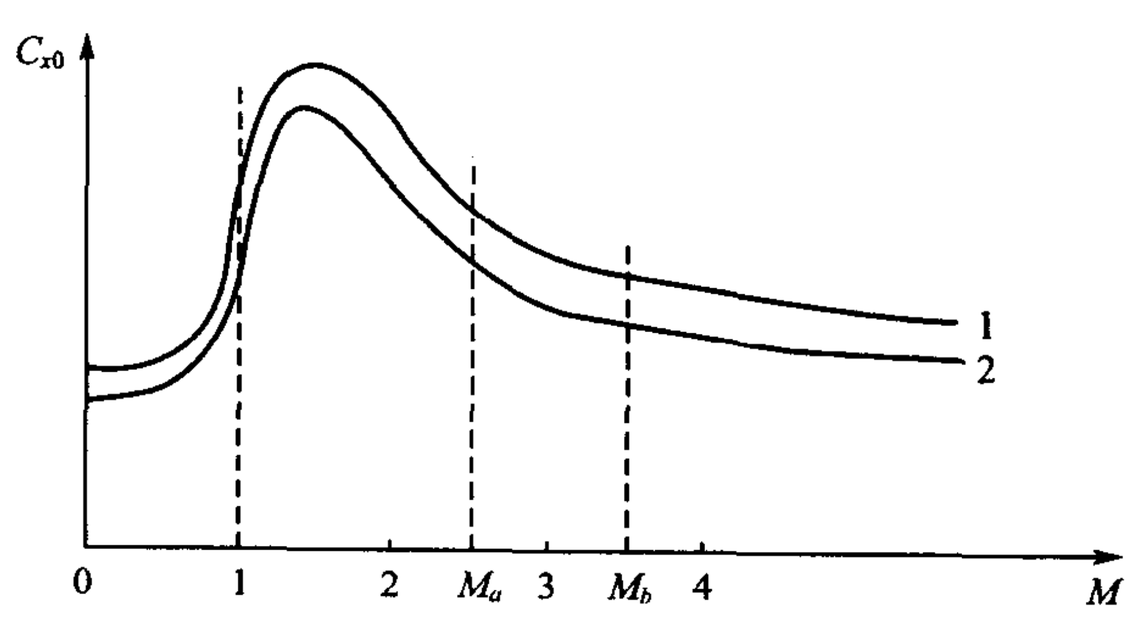


图 1 - 2　阻力系数随速度变化的曲线

从图中可以看出,弹丸速度为亚声速时($M < 0.75$),阻力系数基本不变,可以看作是一个常数,在此情况下,空气阻力的大小与速度的平方近似成正比。当弹丸速度接近声速时($M = 0.8 \sim 1.2$),因为产生了局部激波,空气阻力的增长不再与速度平方成正比关系,因此阻力系数急剧增大;过了最大值后,阻力系数随速度的增大而逐渐减小,至 $M = 3.5 \sim 4$ 后,又逐渐平缓而接近为常数。形状不同的弹丸以同一速度运动时,具有不同的阻力系数。但是,当速度改变时,形状差别不大的弹丸的阻力系数的比值大体上保持不变,即

$$\frac{C_{x0}^{1}(M_a)}{C_{x0}^{2}(M_a)} \approx \frac{C_{x0}^{1}(M_b)}{C_{x0}^{2}(M_b)} \approx \cdots \approx \text{常数} \tag{1.2}$$

根据此性质,找到了估算空气阻力的简便方法。通常选取一种弹丸作为标准弹丸,通过实验的方法将它的 C_{x0n}—M 曲线测量出来,其它与此形状相近的弹丸,只需测出任意一个 M 数时的阻力系数的值,将其与标准弹丸的同一 M 数处的阻力系数值相比,得出其比值,定义为该弹丸相对于某标准弹的弹形系数,即

$$i = \frac{C_{x0}(M)}{C_{x0n}(M)} \tag{1.3}$$

则其它任意 M 数时的阻力系数就可以近似利用弹形系数估算出来:

$$C_{x0}(M) = iC_{x0n}(M) \tag{1.4}$$

标准弹丸的阻力系数 C_{x0n} 与 M 的函数关系,就是通常所说的阻力定律。

弹丸形状越好,阻力系数越小,弹形系数也就越小。

1.3.3　弹丸的结构特征参数

描述弹丸结构特征的参数很多,如质量、质心位置、赤道转动惯量、极转动惯量、弹形系数、长径比等,它们从不同的角度反映了弹丸的结构特征。对于杀伤爆破类弹丸,通常采用弹丸相对质量 C_m、炸药相对质量 C_ω、炸药装填系数 α 及弹体(圆柱部)相对壁厚 λ_δ 等 4 个结构参数来反映其威力特征。表达式如下:

$$C_m = \frac{m}{d^3}(\mathrm{kg/dm^3})$$

$$C_\omega = \frac{\omega}{d^3}(\mathrm{kg/dm^3})$$

$$\alpha = \frac{\omega}{m} \times 100\%$$

$$\lambda_\delta = \frac{\delta}{d}$$

式中 m——弹丸质量(kg);

d——弹径(dm);

ω——炸药质量(kg);

δ——壁厚(dm)。

1.3.4 炮弹的分类

炮弹的种类很多,下面从不同的角度对炮弹进行分类。

按口径炮弹可分小口径炮弹、中口径炮弹和大口径炮弹 3 类。地面炮和高射炮划分的界限不同,对于地面炮弹,直径 20mm ~ 70mm 称为小口径炮弹;70mm ~ 155mm 称为中口径炮弹;155mm 及以上称为大口径炮弹。对于高射炮弹,直径 20mm ~ 60mm 称为小口径炮弹;60mm ~ 100mm 称为中口径炮弹;100mm 及以上称为大口径炮弹。

按照弹丸与装药药筒(药包)之间的装配关系,炮弹可分为定装式炮弹、药筒分装式炮弹和药包分装式炮弹 3 类。定装式炮弹的弹丸和装药药筒结合为一个整体,射击时一次装入炮膛,因此发射速度快,这类炮弹的直径一般不大于 105mm。药筒分装式炮弹的弹丸和装药药筒不为一体,发射时先装弹丸,再装装药药筒,因此发射速度较慢。但药筒内的发射药量可以根据需要而变换,通常这类炮弹的直径大于 122mm。药包分装式炮弹的弹丸、药包和点火门管分 3 次进行装填,没有药筒,用炮闩来密闭火药气体,一般在岸舰炮上采用,这类炮弹口径较大,但射速较慢。

按照发射时的装填方式,炮弹可分为后膛炮弹(后装式炮弹)和前膛炮弹(前装式炮弹)两类。后膛炮弹从炮尾装入炮膛,关闭炮闩后发射,这类炮弹在发射时膛压较高、后坐力较大,但射程较远。前膛炮弹从炮口装入炮膛发射,发射这种弹丸的火炮一般没有膛线,弹丸采用尾翼稳定方式。

按照获得速度的方法可将炮弹分为一般炮弹和火箭增程弹。一般炮弹的弹丸速度由火炮发射时获得,弹丸出炮口时的速度即为最大速度。火箭增程弹的弹丸速度不仅在火炮发射时获得,弹丸出炮口后火箭增程发动机工作,弹丸速度还可增加,在增程发动机工作结束时弹丸获得最大速度。

按稳定方式炮弹可分为旋转稳定式和尾翼稳定式两种。前者弹丸依靠火炮膛线获得高速旋转,按照陀螺稳定原理使其在飞行中保持稳定,由于转速受一定的限制,所以弹丸不能太长,一般全长小于 5.5 倍弹丸直径。后者弹丸不旋转或低速旋转,依靠弹丸尾部的尾翼来保持飞行稳定。尾翼使全弹阻力中心移至质心之后,不论弹丸如何摆动,均产生一个稳定力矩,使弹丸轴线和弹道切线一致。大多数迫击炮弹、成型装药破甲弹以及滑膛炮

发射的弹丸均采用这种稳定方式。

按弹丸口径和火炮口径之间的关系炮弹可分为适于口径炮弹、次口径炮弹和超口径炮弹 3 类。适于口径炮弹的弹径与火炮口径相同,大多数炮弹均属于这一类;次口径炮弹的弹径小于火炮直径,便于提高初速,如各种脱壳穿甲弹;超口径炮弹的弹径大于火炮直径,弹丸威力较大,如迫击炮长炮榴弹、某些火箭增程破甲弹。

1.3.5　对炮弹的要求

战争中,需要大量的炮弹来对付各种性质不同的目标,为了顺利、及时地完成战斗使命,它必须满足各种战术技术要求和工艺性要求。

1.3.5.1　在生产、勤务处理和设计时要确保安全

安全问题是一个非常重要的问题。炮弹不能确保安全,将会贻误战机,伤害我方人员,造成很坏的影响,这一点必须引起设计人员的高度重视。当安全性与炮弹的其它要求相矛盾时,必须首先确保所设计产品具有足够的安全性,在设计时应注意以下问题:

① 内弹道性能稳定,膛压不超过允许值;

② 弹丸在发射时强度满足要求,药筒作用可靠;

③ 引信保险机构确实可靠,确保平时和射击时安全;

④ 火工品和炸药在平时和射击时安全。

1.3.5.2　威力

威力是指弹丸对目标毁伤作用能力的大小。由于各种弹丸的用途不同,对目标的毁伤作用机理不同,所以衡量不同类型弹丸威力的方法也不同。如杀爆弹,要求杀伤半径和杀伤面积大;成型装药破甲弹、穿甲弹要求穿孔深;照明弹要求照度大,作用时间长等。相应地,杀爆弹用密集杀伤半径和杀伤面积来表示其威力,而穿甲弹等反坦克弹药用穿甲厚度来表示其威力。

完成同样的战斗任务,增大弹丸威力可减小弹药的消耗量或所需火炮的数量,缩短完成任务的时间。为了提高弹丸的威力,除了研究新材料、新工艺、新结构、优化引战配合使其发挥最大效能外,还必须研究新的毁伤机理和作用原理的弹药,寻求提高威力的新途径。

1.3.5.3　射程

由于现代战争中战场的纵深都明显加大,为了实现远距离打击目标,要求火炮具有比较远的射程,只有这样才能对敌纵深重要目标(司令部、集结地区、交通枢纽等)进行射击;同时较好地实施火力机动,集中大量炮火用于最重要的目标。

提高射程的途径有:

① 提高弹丸的初速;

② 改善弹丸的弹形,减小在飞行过程中所受的空气阻力;

③ 增加弹丸的端面比重;

④ 提高飞行稳定性;

⑤ 采用各种复合增程、滑翔等先进技术。

1.3.5.4 密集度

密集度是指弹丸落点彼此密集(或散布)的程度,是弹丸的主要技术指标之一,对射击精度有着极其重要的影响。通常用中间误差来表示,它包括距离中间误差 E_X、高低中间误差 E_Y 和方向中间误差 E_Z。

地面火炮发射的弹丸通常用地面距离中间误差 E_X 和方向中间误差 E_Z 表示其密集度。反坦克炮和高射火炮发射的弹丸通常用 E_Y 和 E_Z 表示其密集度。

弹丸落点之所以存在散布,是因为弹丸存在质量偏心、气动力外形上的不对称、弹重不完全相同、发射药量不完全相同、火药的性质、火药的燃烧情况、炮膛温度、炮膛的磨损情况不完全一样、外界条件(空气温度、密度、气压、风向)时刻变化等诸多随机因素引起的。但总的散布是有规律的,如图 1-3 所示,具有如下特点:①散布基本呈椭圆形;②散布中心密集,边缘稀疏;③散布分布对称,并服从正态分布规律。

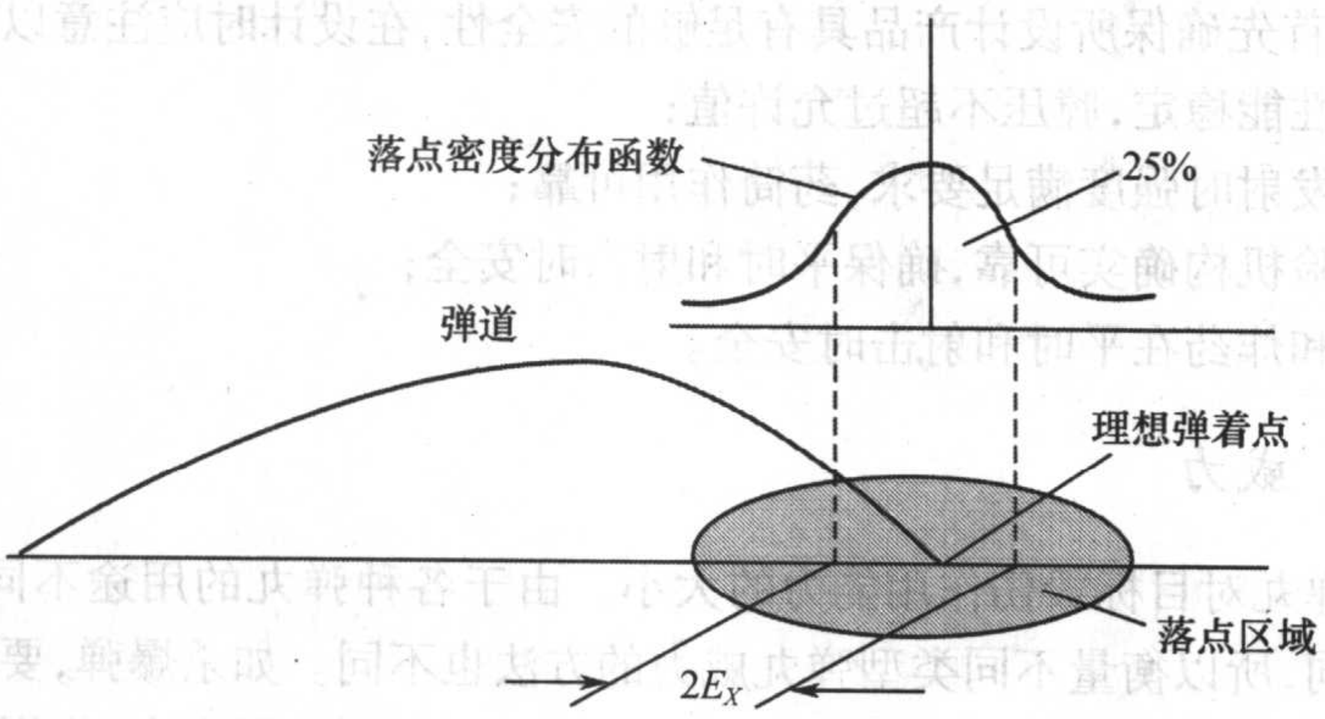


图 1-3 落点散布示意图

散布椭圆中心前后落有 50% 的弹着点的区域称为“半数必中界”,其宽度是 2 倍的 E_X。E_X 随着射程增大而增大,但不能反映与射程的相对关系。通常用相对中间误差 E_X/X(X 为射程)来表示密集度。Y 和 Z 方向类同。

提高弹丸射击精度除了消除或减小影响密集度的上述因素外,还可以从以下几个方面进行:

(1) 大闭环校射

整个发射平台系统采用先进的定位定向系统(如 GPS 等)、精确的侦校雷达、完善精确的气象测量系统、准确的初速测量系统、C^3I 指挥中心等。利用这些系统,可精确地快速计算与修正弹道,提高射击精度。

(2) 弹上控制

弹上控制是实现远程精确打击的核心。如弹道修正弹、末制导炮弹等。

(3) 大闭环校射与弹上控制相结合

发射平台在发射时采用大闭环校射的方法,使射弹接近目标区域,然后弹上探测、识别、制导控制系统工作,把弹导向目标。目前精确打击弹药都采用了这种方法。

1.3.5.5　长期存储中性能安定

由于弹药在战时的消耗量大，平时必须生产一定数量的弹药，保持必须而又充分的储备，所以要求平时的弹药能储存 15 年～20 年不变质。具体的要求是：

① 弹丸、药筒不腐蚀生锈；

② 发射装药密封可靠，不受潮，不分解；

③ 火工品长期存储不失效；

④ 炸药不分解变质。

为了满足上述要求，要认真研究火药、炸药、火工品的长储性能以及弹体与装填物之间的兼容性，同时还要研究炮弹的密封包装和零部件的表面防腐技术。

1.3.5.6　工艺性及生产经济性

战时炮弹的消耗量非常大，所以各零部件的设计要求在满足性能的前提下，结构简单、可靠，工艺性好；在制造过程中，尽量采用精度高、性能好、效率高的新工艺，缩短生产时间，降低生产成本。所用材料要尽量丰富，并且立足于国内资源。

1.4　弹药发展趋势

现代战争是海、陆、空、天一体化，以信息战和纵深精确打击为核心的高技术战争，主要特点是作战范围大、时间和空间转换快、作战样式多。为了适应现代化战争的需要，弹药正在朝着远程化、精确化、多用途、小型化和微型化、高效能等方向快速地发展。

1.4.1　远程化

高新技术条件下的局部战争，要求弹药在更远的距离上歼灭敌人，因此增大弹药的射程成为各国弹药发展的首要目标。为了实现这一目标，发展了各种各样的技术，如底部排气、火箭增程、滑翔增程以及复合增程技术，采用增大炮管长度、采用高能发射装药并增大发射药量等。例如比利时的 NR265 式 155mm 远程全膛底排弹，射程达 40km，比普通榴弹增程 120%；美国为海军研制的一种 EX－171 式 127mm 火箭增程弹，其最大射程可达 116.7km。

此外，还在不断地研究新型发射技术以增加弹丸的射程，如电热化学炮、电磁炮等。美国研制的 2.75kg 重的电热炮弹，在 60mm 口径电热化学炮上发射，可达到 200 发/min，速度达 3000m/s，其弹丸可击穿任何轻、重型装甲目标。同时，正在研制的 155mm 电热炮及炮弹，也将陆续装备。预计未来，在射程方面，坦克炮将从 3km～4km 增至近 10km；野战火炮从 30km 以下增至 50km 以上甚至达到 100km 以上；火箭炮系统的射程也增至 150km 以上甚至 300km。

1.4.2　精确化

在纵深、立体化、数字化的现代战争中，精确打击可起到无法估量的作用，能够以极少的伤亡代价换取决定性的胜利。所以未来弹药向精确化方向发展是一个必然趋势。

国外发展的提高弹药命中目标精度的技术主要有简易控制技术、末端敏感技术、弹道修正以及 GPS/INS 制导的航向修正技术、炮弹的末端制导技术等。例如,美国的“铜斑蛇Ⅱ型”制导炮弹采用红外/毫米波制导,还具有“打了就不用管”的性能,用一发炮弹即可摧毁一辆坦克,同过去需用大量常规炮弹才能击毁一辆坦克相比,其精度与效能分别提高了十几倍、上百倍。德、法、荷联合研制的 GAM155 毫米制导炮弹采用毫米波雷达寻的搜索目标,一旦在 2000m × 1000m 面积的范围内找到目标,其空心装药战斗部可准确地对装甲目标进行攻击。

1.4.3 高效能

一方面为了适应现代战争的需要,弹药的发展不断追求远射程高精度,而弹药的射程、精度和威力 3 大技术指标往往是相互制约、相互矛盾的,射程和精度的提高,在一定程度上必然影响威力;同时弹药又在向小型化方向发展。另一方面,战场目标的防护能力也在不断地提高与增强。为了有效地打击和毁伤目标,必须大幅度地提高弹药的毁伤效能,研究新型高效毁伤技术。

提高弹药效能的途径有:

① 开发新结构战斗部技术——如多级的战斗部串联技术、新型的装药技术等。

② 采用新材料——如应用高强度、低密度的复合材料,以减小弹药的消极质量;研究新型高能的含能材料,进一步提高弹药的威力。

③ 采用子母弹技术及高效子弹技术——采用子母弹技术提高弹药的杀伤范围,采用先进的子弹药提高对目标的命中和毁伤能力,如传感器引爆子弹药、末敏子弹药等。

④ 发展新型的引信技术——如抗高过载的引信、自适应的引信、多种装定模式的引信等。

⑤ 探索新的毁伤机理,开发新原理战斗部技术——随着未来战场目标的变化,必须开发新毁伤机理的弹药,只有这样才能高效地毁伤目标。如电磁、激光弹药等。

1.4.4 多用途

未来战争要求弹药能够对付各类目标,既可提高弹药的作战效能,又可节省作战时间,多用途弹药则是满足这一要求的典范。国外主要采用模块化结构、带各种类型子弹药的子母弹、多用途炮弹、非致命炮弹以及配用多种选择引信等方法来发展多用途。意大利的“菲洛斯”25 式子母弹,每发弹携带 122 枚双用途子弹药。

1.4.5 小型化和微型化

小型化和微型化是弹药系统发展的总趋势,随着微机电技术、纳米技术和新型材料技术的发展,各种微小型器件不断出现,为今后弹药向小型化和微型化方向发展提供了有利的空间。如法国 DGA 采购局目前正在进行一项“航空—陆地战系统”计划,可使地面车辆具有最大的自主防御能力。该计划将在 2015 年实现利用炮射小型无人机进行前沿侦察的能力,2030 年完成含小型攻击机和机器人的一种更复杂的攻击系统。美国空军也提出了“蜂群压制者微型弹药”研究计划,希望通过大量微型子弹药来击退挺进中的敌方部队。

第2章 榴　　弹

2.1 榴弹概述

2.1.1 榴弹的发展简况

榴弹是一类利用火炮将其发射出去，完成杀伤、爆破、侵彻或其它作战目的应用广泛的弹药。杀伤爆破弹、杀伤弹、爆破弹统称为榴弹。

榴弹从20mm枪榴弹到203mm加榴炮榴弹共经历了十几种口径系列的发展与演变，发射平台遍及地面火炮(榴弹炮、加农炮、加榴炮、迫击炮、高射炮、无后坐力炮、加农反坦克炮)、机载火炮、舰载火炮、火箭炮和榴弹发射器等。

榴弹的发展与火炮和能源的发展密切相关。早在18世纪初就出现了用滑膛炮发射的、装填黑火药的球形杀伤弹，爆炸威力小，飞行阻力大，射程近。1846年线膛炮的出现，诞生了装有弹带的旋转稳定弹，使射击精度大大提高，成为炮弹发展的一个里程碑。19世纪中叶以来，硝化棉、苦味酸、梯恩梯(TNT)和黑索今等现代火炸药相继在炮弹中应用，使榴弹的射程与威力都有了大幅度提高。1945年，弹丸的长度由3倍口径加长到了4倍～5倍口径，弹尾部由圆柱形改进为船尾形，从而形成了现代榴弹的雏形。自20世纪后半叶以来，随着弹丸设计、弹体材料、炸药、引信、增程等技术的发展与应用，现代榴弹已突破了“钢铁”+“炸药”的简单配置，在高新技术条件下正引领着现代弹药“远、准、狠”的主要发展方向，形成了一系列远程榴弹。

2.1.2 榴弹的外形特征

一般线膛火炮配用的榴弹采用旋转稳定方式，对于滑膛火炮榴弹则采用尾翼稳定方式。以下以旋转稳定榴弹为例介绍一下榴弹的外形特征。

榴弹的外形为回转体，由弹头部、圆柱部和弹尾部等3部分组成，如图2－1所示。

榴弹的外形设计与初速和飞行阻力有关。一般初速越高，其形状越细长。榴弹的外形可直接决定其飞行阻力大小，而榴弹每一部分的形状又决定了波阻、摩阻、底阻等阻力所占的比例。

2.1.2.1 圆柱部

榴弹的圆柱部包括上下定心部、弹带及弹体圆柱段。圆柱部越长，则炸药的装填量越多，有利于提高威力，但弹体圆柱部越长，飞行阻力越大，影响射程。

(1) 定心部

定心部是榴弹在膛内起径向定位作用的部位。为确保定心可靠，应尽量减少榴弹和

炮膛的间隙,但为使榴弹顺利装入炮膛,间隙又不能太小。通常榴弹具有上下两个定心部。但某些小口径榴弹,往往没有下定心部,依靠上定心部和弹带来径向定位。

通常榴弹定心部分的加工公差与粗糙度等要求比较高,且不允许锈蚀及磕碰。

(2) 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)的部位称为导引部。在膛内运动过程中,导引部长度影响着榴弹膛内运动的正确性。

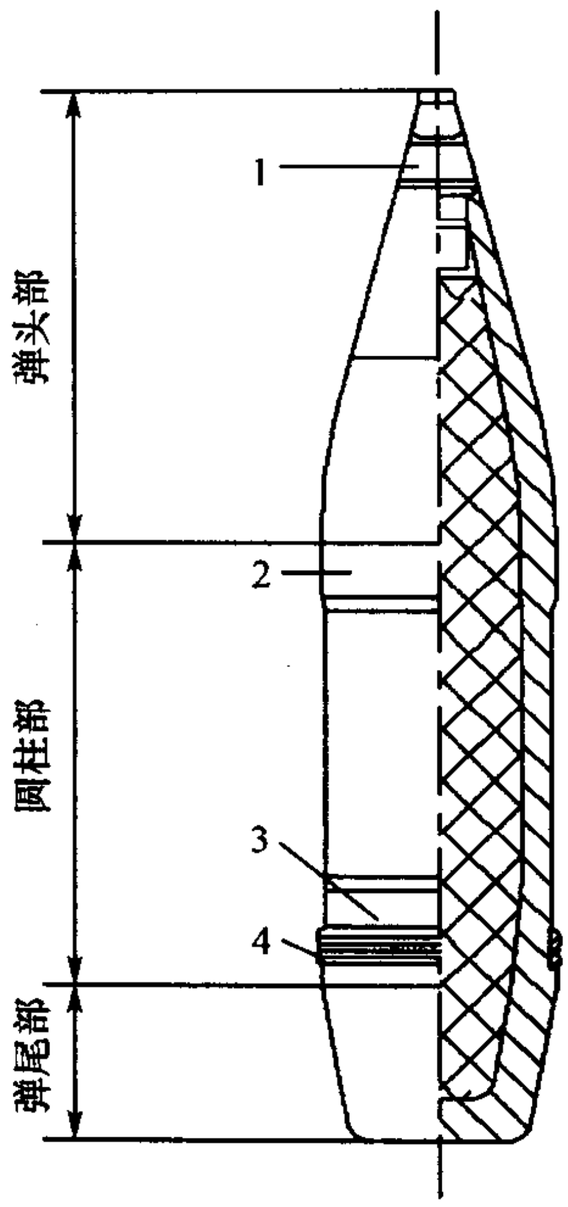


图 2-1 榴弹的外形结构图

1—引信; 2—上定心部;
3—下定心部; 4—弹带。

2.1.2.2 弹头部

弹头部是从引信顶端到上定心部上边缘之间的部分,而引信下端到上定心部上边缘之间的部分称为弧形部。

弹头部的形状主要影响弹头激波阻力。榴弹以超声速飞行时,初速度越高,弹头激波阻力占总阻力的比值越大。为减少波阻,弹头部应设计为流线形,如增加弹头部的长度或弹头的母线半径使弹头尖锐。而对低初速、非远程榴弹,其弹头部可设计为截锥形加圆弧形,有的小口径榴弹的弹头部形状也设计为截锥形。

2.1.2.3 弹尾部

弹尾部是指弹带下边缘到弹底面之间的部分。为减少弹尾部与弹底面阻力,弹尾一般采用船尾形,即短圆柱加截锥体,而尾锥角通常为 6° ~ 9°。不同初速的弹丸,尾锥角不同,一般初速越高,尾锥角越小。

对于定装式榴弹,其弹丸的弹尾部全部伸入到药筒内,在弹尾圆柱上预制 1 个 ~ 2 个紧口槽,以便与药筒辊口结合。因此,定装式榴弹的弹尾部要比分装式长些。

2.1.3 榴弹的基本组成

榴弹全备弹一般由弹丸、引信和发射装药等 3 大部分组成,图 2-2 所示是旋转稳定榴弹。

2.1.3.1 弹丸部分

弹丸部分由弹体、炸药装药、弹带或尾翼等组成。

经火炮发射后,弹丸被火药气体从炮膛中推出,利用所获得的动能飞向目标。当弹丸碰到目标时,引信开始作用,弹丸内的炸药爆炸,从而摧毁目标。

(1) 弹体

① 弹体的作用——弹体是用以装填炸药完成作战任务的零件。弹体连接弹丸的各个部分,保证弹丸发射时的结构强度和安全性,赋予弹丸有利的气动外形,弹体上的前后

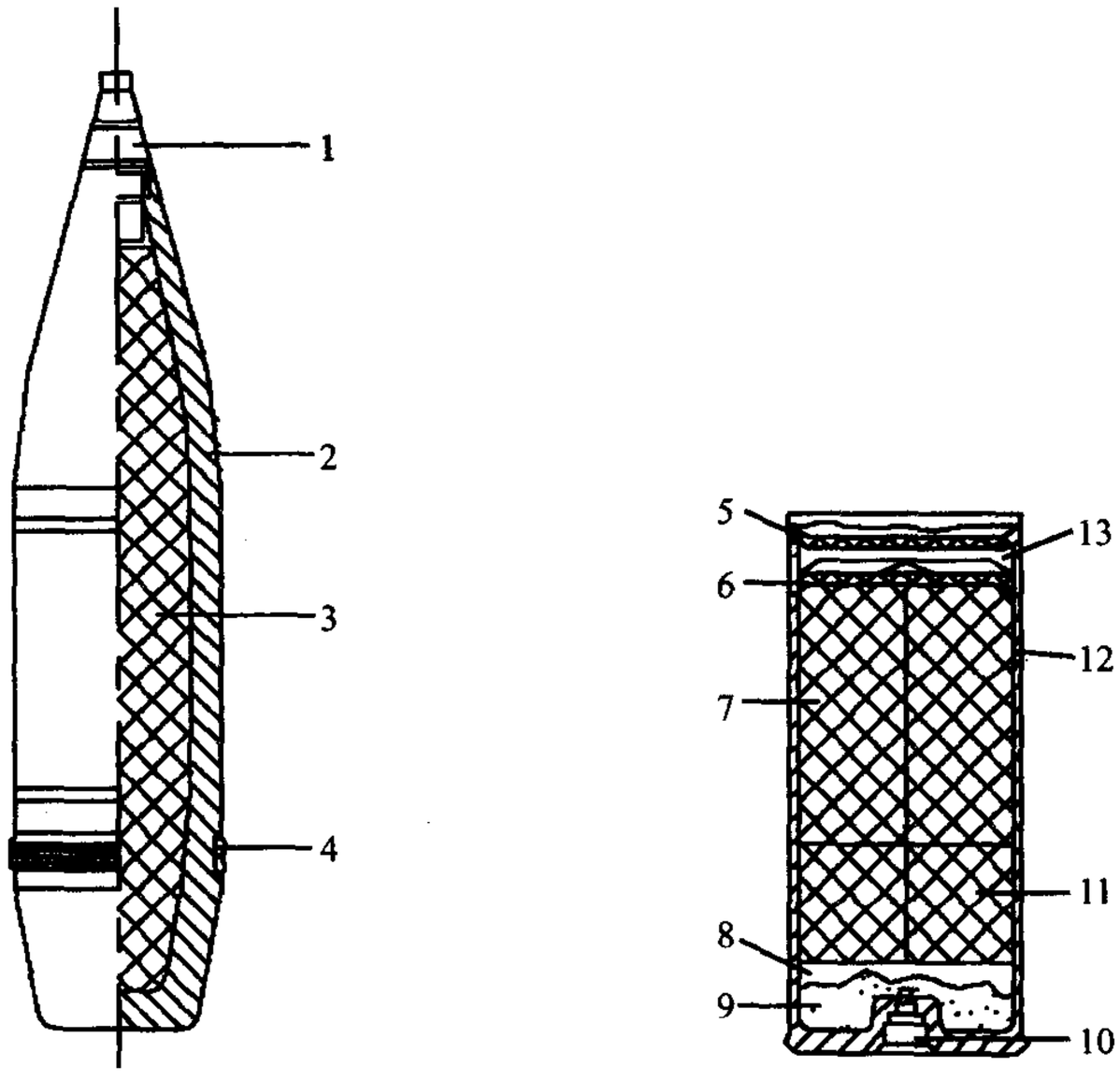


图 2-2　榴弹的基本组成

1—引信；2—弹体；3—炸药装药；4—弹带；5—密封盖；6—除铜剂；7—上药包；8—基本药包；9—点火药；10—底火；11—下药包；12—发射药筒；13—紧塞盖。

定心部(又称导引部)确保弹丸正确飞向目标，并在炸药爆炸时产生大量破片来杀伤敌人，是保证弹丸发射安全、射程、密集度和威力等战技指标的主要零件。

② 弹体的结构形式——弹体结构可分为整体式弹体和非整体式弹体两类。有些榴弹的弹体带有底螺，大中口径榴弹的弹体有的装有口螺。由于螺纹连接的同轴性较差，目前旧式口螺结构已基本淘汰。

③ 弹体材料——为确保弹丸具有足够的强度，通常要求弹体采用强度较高的优质炮弹钢材。榴弹最通用的弹体材料过去是 D60 或 D55 炮弹钢，现在大多采用 58SiMn、50SiMnVB 等高强度高破片率钢。

④ 弹体的加工方法——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 37mm 和 57mm 高射炮榴弹则采用冷挤压毛坯精车成形的方法，其材料为 S15A 或 S20A 冷挤压钢。像迫击炮榴弹等少数弹种的弹体是用高强度铸铁制造的。

(2) 炸药装药

炸药装药是形成破片杀伤威力和冲击波摧毁目标的能源。弹丸的炸药装药通常是由引信体内的传爆药柱直接引爆，必要时在弹口部增加扩爆管。

榴弹经常采用的炸药为梯恩梯、钝黑铝炸药和 B 炸药。梯恩梯炸药通常用于大、中口径榴弹，采用螺旋压药(常称螺装)工艺，将炸药直按压入药室，并通过螺杆速度来控制炸药的密度分布。钝黑铝炸药(钝化黑索今 80%，铝粉 20%)，又称 A-Ⅸ-Ⅱ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。而 B 炸药则多采用真空振动铸装。

新近研制的海萨尔炸药是先压制成药柱后再装入弹体，其平均装填密度可在1.80g/cm^{3}以上。目前正试行采用的炸药捣装技术，可克服螺旋压装工艺存在的装填密度偏低、密度分布不均匀、侧隙或底隙等疵病，可较大幅度提高装填炸药密度和装填质量。

(3) 弹带

① 弹带的作用：对于弹丸与药筒分装的榴弹，弹带是弹丸轴向装填定位、密封火药气体、赋予弹丸旋转的重要零件，它在嵌入火炮膛线时成为弹丸膛内运动时一个支撑点，并带动弹丸高速旋转，保证弹丸膛内定心和出炮口后的飞行稳定。

对于弹丸与药筒定装的榴弹，弹丸靠药筒的底缘凸起部轴向装填定位，发射时弹丸在克服药筒拔弹力后，弹带才嵌入火炮膛线，从而起到密封火药气体、赋予弹丸旋转的作用。

② 弹带材料：弹带材料的选择应考虑材料韧性、挤入膛线的难易程度、抗剪抗弯强度、对膛壁磨损大小等因素。

初速为300m/s～600m/s的榴弹采用紫铜材料，初速较高的加农炮或加榴炮榴弹采用强度稍高一些的铜镍合金或H96黄铜等铜质材料。铜质弹带耐磨，有利于保护炮膛，而且可塑性好。

近年来已有许多弹丸采用塑料或粉末冶金陶铁作为弹带材料，如美GAU8/A30mm航空炮榴弹采用了尼龙弹带，法F5270式30mm航空炮榴弹采用了粉末冶金陶铁弹带。这些新型弹带材料，不仅能保证弹带所需的强度，而且摩擦系数较小，可减小对膛壁的磨损，提高身管寿命。

③ 弹带强制量：弹带的外径应大于火炮身管的口径(阳线直径)，至少应等于阴线直径，一般均稍大于阴线直径，此稍大的部分称为弹带强制量。

强制量可以保证弹带可靠密闭火药气体，即使在膛线有一定程度的磨损时弹带仍起到密闭作用。强制量还可以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倍～0.0025倍口径。

④ 弹带外径：弹带外径D一般取火炮身管口径d、2倍阴线深度Δ以及2倍强制量δ的总和，即

$$D = d + 2\Delta + 2\delta$$

⑤ 弹带宽度：弹带的宽度应能保证它在发射时的强度，即在膛线反作用力的作用下，弹带不致破坏和磨损。在阴线深度一定的情况下，弹带宽度越大，则弹带工作面越宽，弹带的强度越高。所以，膛压越高，膛线反作用力越大，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。但弹带越宽，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，所以当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。

一般弹带设计的宽度下限值为：小口径10mm，中口径15mm，大口径25mm。

⑥ 弹带的固定方法：弹带采用嵌压或焊接等方法固定在弹体上。为了嵌压弹带，在弹体上车制出环形或燕尾形弹带槽，在槽底辊花或环形凸起上辊花，以增加弹带与弹体间的摩擦力，避免相对滑动，如图2－3所示。

弹带在弹体上的固定方法因材料和工艺而异。对金属弹带，主要是利用机械力将毛坯挤压入弹体的环槽内。

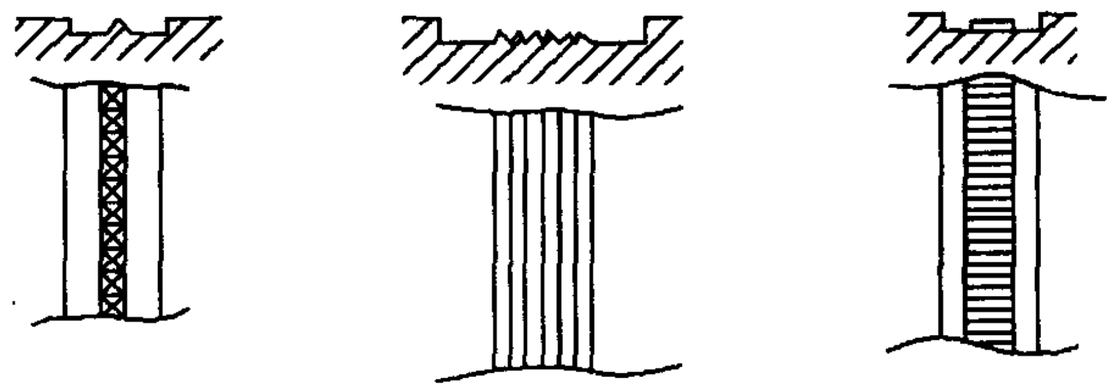


图 2-3 弹带槽形状

铜弹带压入弹体的方法主要有两种：

a) 环状弹带毛坯——直接在压力机上径向收紧使其嵌入槽内(通常为环形直槽)，该结构主要用于小口径榴弹，目前 130mm 舰炮榴弹也采用了环状弹带毛坯；

b) 条状弹带毛坯——在冲压机床上逐段压入燕尾形弹带槽内，然后把两端接头碾合收紧。条状弹带结构主要用于中大口径榴弹。条状毛坯结构加工简单，但是车制成形后，弹带上存有接缝。

弹带挤压工艺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，弹带部位的弹体必须加厚，这样又影响了弹丸的威力。

近年来发展了真空氧弧堆焊工艺焊接弹带的方法，使用这种新型工艺焊接弹带，弹体上无需刻槽，可使壁厚更均匀。

(4) 尾翼

尾翼作为非旋转稳定弹丸的稳定装置，使弹丸出炮口后弹体的压力中心移至弹丸质心之后，产生稳定力矩来克服外界扰动力矩的作用，保证弹丸出炮口后的飞行稳定。

2.1.3.2 引信部分

引信是一种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，是弹药的重要组成部分，用于控制弹药的最佳起爆位置或时机。目标信息是表征目标状态和特征的物理量，例如坐标、形状、尺寸、材料强度、磁场强度、电磁波发射特性、热辐射特性等。环境信息是间接的目标信息，即目标所处环境的信息，例如电磁辐射与反射、气动力加热、各种形式的作用力等。预定条件包括：作用方式、经历环境、弹药与目标交会条件、引信启动区、作用时间等。质量可靠的引信能保证弹药起到毁伤目标的作用，否则将导致弹药过早炸(膛炸或炮口炸)、早炸、迟炸或瞎火，不仅丧失战机，甚至造成己方人员伤亡、装备损坏的严重后果。

由于榴弹种类很多，其用途差别很大，所以配用于不同榴弹的引信在作用原理上有很大的不同。

(1) 引信的功能

① 保险功能——引信必须保证在预定的起爆时间之前不起作用，保证弹药在储存、运输、处理和发射中的安全。

② 解除保险功能——引信必须在发射后适当的时机解除保险，进入待发状态。通常是利用发射过程和飞行过程中产生的环境力，也可以利用时间装置、无线电信号使引信解除保险。

③ 感觉目标功能——引信可以通过直接或间接的方式感觉目标。

凡引信直接从目标获得信息而起爆的属于直接感觉。直接感觉包括：

a) 接触目标——引信或弹体与目标直接接触而感觉目标；

b) 感应目标——引信或弹体与目标不直接接触，而利用感应目标导致的物理场变化的方法来感觉目标。

引信通过其它装置感觉目标信息，属于间接感觉。间接感觉包括：

a) 预先装定——根据测得的从发射(包括投掷、布置)开始到预定起爆的时间或按目标位置的环境信息进行预先装定；

b) 指令控制——引信根据其它装置感觉到的目标信息发出的指令而起作用。

④ 起爆功能——引信必须在产生最佳效果的条件下起爆弹丸装药或战斗部。引信可以在接触目标前、接触目标瞬时或接触目标后起爆，这取决于对引信的战术技术要求。

(2) 引信的分类

榴弹引信可按装配位置、作用方式和作用原理等进行分类。

① 按装配位置分类：

a) 弹头引信——装配在弹丸或战斗部头部的引信；

b) 弹底引信——装配在弹丸底部的引信。

② 按弹丸对目标的作用方式分类：

a) 触发引信——指弹丸直接与目标撞击时而引爆弹丸的引信。触发引信又可按击发时间、触发力源和起爆能源来分类。

根据弹丸撞击目标到爆炸的时间长短不同，触发引信可分为瞬发引信和延期引信。瞬发引信的时间间隔 < 0.001s(也有的规定 $\leqslant 0.005$s)，而延期引信的时间间隔 > 0.01s (也有的规定为 > 0.05s)。

所谓延期是相对而言的，过去常以时间间隔 $\leqslant 0.001$s 为瞬发，因此，时间间隔 > 0.01s 就为延期。但现代引信的瞬发度提高了，有的引信的时间间隔 $\leqslant 0.0001$s，如装上一个延期机构能使引信的时间间隔延长到 0.0004s，就已经成为延期引信了。

根据触发力来源不同，触发引信可分为着发引信和惯性引信。着发引信的触发力来源于目标的直接撞击，这类引信通常装在弹丸的头部；惯性引信的触发力是由惯性力而引起，这类引信常装在弹丸底部。

根据起爆的能源不同，触发引信又可分为机械触发引信、压电引信和电触发引信。机械触发引信是利用撞击力压缩保险弹簧并带动击针戳击雷管起爆；压电引信是利用撞击力压缩装在弹头内的压电晶体，产生电压，使电雷管起爆；电触发引信是利用撞击力接通接触点，使电路闭合，从而使电雷管起爆。

b) 非触发引信——指弹丸不需要触及目标，当距目标一定距离时，就能引爆弹丸的引信。非触发引信又可分为近炸引信和时间引信。

近炸引信是利用一种专门感受目标特性(声、光、热、电)或外界条件(如气压)的敏感元件来控制起爆。根据受激励的特征不同，近炸引信又分为无线电引信(利用特种发射机向目标发射无线电波，引信中的接收机接收来自目标的反射信号，以此引起弹丸非触发爆炸，这种引信也称雷达引信)、光学引信(利用目标辐射的红外线能量自动进行工作。当弹丸接近目标小于一定距离，且接近目标的相对速度达到一定范围时，由于光学引信的作

用,从而引爆弹丸)和气压引信(利用大气层在不同高度上的压力不同,来控制引信在不同高度引爆弹丸)等。

时间引信是利用时间机构来控制引信引爆弹丸的时间。根据控制时间的方式不同,又可分为火药时间引信(靠火药柱燃烧的等时性来控制引信的引爆时间)、钟表时间引信(利用钟表计时原理来控制引信引爆弹丸的时间)和电力计时引信(利用电力计时原理来控制引信引爆弹丸的时间)。

(3) 对引信的要求

① 要求引信有高度的安全性和可靠性,也就是说平时在勤务处理、保管、运输、装填和发射等过程中,要绝对安全,在弹道上不早炸,在目标区域内能适时引爆弹丸;

② 要求引信的体积小,而结构尽可能简单,能防雨、防水,长期储存不变质;

③ 要求引信成本低、经济性好。

2.1.3.3　发射装药部分

发射装药部分是由药筒、发射药、底火、传火管及其它辅助元件组成,其作用是完成弹丸安全可靠发射,赋予弹丸动能,使弹丸在炮口达到规定的初速。有的榴弹其发射装药部分没有药筒,如迫击炮榴弹的发射药放在可燃的药包盒或药包袋中。

(1) 药筒

① 分类——按药筒材料可分为金属药筒和非金属可燃药筒。

金属药筒所用的材料有黄铜、钢和铝等,一般用冲压工艺制成。黄铜材料的弹性模量较小,做成药筒其闭气性较好,卸压后弹性恢复量较大,有利于形成最终间隙,便于顺利退壳。因此,黄铜被广泛用来制造各种炮弹的药筒,但经济性差,存在应力腐蚀破裂倾向,长期储存其口部易发生自裂现象。现多用优质低碳钢代替黄铜制造药筒,目前在 76mm 以上口径弹药药筒上已采用了钢质材料焊接成型工艺。

可燃药筒一般为半可燃药筒,由金属筒底和可燃的筒体组成。可燃的筒体一般用硝化纤维等制成,能提供一部分发射能量。半可燃药筒主要用于坦克炮和自行火炮,它可消除射击后药筒堆积在车内所带来的对乘员操作的不便。

按装填方式可分为定装式药筒和分装式药筒。定装式药筒主要用于舰炮、航炮和高射炮榴弹。

② 结构形式——药筒通常分为筒口、斜肩、筒体和筒底等部分。

筒口壁较薄,机械强度低,在火药燃气压力作用下容易紧贴炮膛壁,消除缝隙,保证火药燃气不后泄。定装式药筒用于连接弹丸,其药筒口部端面与弹丸弹带后端面配合,控制弹丸伸进药筒的长度。斜肩是筒口至筒体的过渡部位,有的在膛内起定位作用,分装式药筒无明显的斜肩。筒体用来盛装发射药和其它辅助用品,是药筒的主体部分,在平时保护发射药不受潮、避免碰坏。筒体外形为截锥形,其锥度直接影响装填和抽筒的性能。筒底部分由筒底、底缘、底火药室等组成,有的靠筒底底缘定位。筒底厚度有一定强度要求,以保证射击强度和开闩顺利。

③ 作用原理——弹丸发射前,药筒与火炮药室之间存在一定的初始间隙,当底火击发后,随着火药燃气压力上升,药筒产生弹性、塑性变形,消除初始间隙,使药筒与火炮药室壁紧贴,起到密闭火药燃气的作用,然后与火炮药室壁一起变形。当达到最大膛压时,

变形也达到最大，在膛压下降时，药筒与火炮药室壁一起弹性恢复，最后药筒与火炮药室壁形成最终间隙，以顺利退壳。

(2) 发射药

发射药是具有一定形状、品号和一定重量的火药，放在药包中或在药筒中的一定位置上。发射时，火药被点燃，迅速燃烧，生成大量火药气体，产生很高的压力，推动弹丸前进。发射药是发射弹丸的能源。

(3) 底火

底火的作用是用来点燃发射药，由底火体、火帽、黑药、压螺、锥形塞等元件组成。

(4) 传火管

传火管由管体、衬筒和辅助点火药等元件组成。管体是具有一定长度与直径、管壁四周均匀分布多排小孔的薄壁圆筒，用于盛装衬筒和辅助点火药，其一端与底火座螺接，一般由钢质材料制成。衬筒是薄壁圆筒，一般用硬纸材料卷制而成，用于盛装辅助点火药并提供发射药的初始点火压力。辅助点火药用来快速均匀、全面可靠地点燃发射药。

(5) 辅助元件

辅助元件包括与发射药一起放在发射药筒内的密封盖、紧塞盖、除铜剂、消焰剂、护膛剂和点火药等。

① 密封盖——密封盖一般用硬纸制成，放在药筒上方并涂有密封油，用以保护装药不受潮，有的在射击时要去掉。

② 紧塞盖——紧塞盖一般用硬纸制成，用以压紧装药，使其在运输和搬运时不致移动，变换装药后仍需放在药筒内，将装药压紧，使药包不串动，以利于火药的正常燃烧。

③ 除铜剂——弹丸在发射时，由于弹带嵌入膛线，会使弹带的一些铜屑残留在膛内，称其为挂铜。挂铜会影响弹丸的运动，使内弹道性能和射击精度变差。除铜剂是为了消除挂铜用的。

除铜剂一般由锡和铅的合金制成，其熔点很低，发射时在高温作用下与挂铜生成熔化物，这种熔化物熔点也很低，易被火药气体冲走或被下一发弹丸的弹带所带走，没有带走的也容易被擦掉。除铜剂一般制成丝状，缠成圈形放置在发射药的最上面，其用量约为装药总量的 0.5% ~ 2.0%。

④ 消焰剂——弹丸飞出炮口后，膛内的火焰气体也随之喷出，其中的可燃成分与空气中的氧发生反应，在炮口附近燃烧产生很大的火焰，即炮口焰。在夜间发射时炮口焰会使阵地暴露，并会使炮手眼睛发花，所以非常有害。

消焰剂通常使用氯化钾、硫酸钾等盐类，加入消焰剂后使火药气体出炮口后不易燃烧，从而减小炮口火焰。黑药中因为有硫酸钾，因此也有消焰作用，对小号装药不需放消焰剂。使用消焰剂会产生烟雾，所以白天不使用。消焰剂做成单独的药包放在装药中，或单独放置，射击前按需要放入。为了消除打开炮闩后火药气体在炮尾燃烧产生的炮尾焰，有的在装药底部也放置消焰剂。消焰剂用量约占装药总量的 2% ~ 5%。

⑤ 护膛剂——常用的护膛剂为钝感衬纸，由石蜡、地蜡、凡士林等配比混合后涂在纸上做成，一般用于初速较高的火炮(小口径初速在 800m/s 以上，中大口径在 700m/s 以上)，提高火炮使用寿命。因为高初速火炮的装药量多，膛压高，火药气体温度高，对炮膛的冲刷烧蚀作用严重，特别是较大口径的加农炮，有的仅发射几百发后就不堪使用，寿命

是一个严重的问题。采用护膛剂后,能提高寿命2倍~5倍甚至更多。

⑥ 点火药——点火药一般采用黑药,放在基本药包的底部,用以加强底火的火焰,保证充分点燃发射药。点火药量约占装药量的1%~2.5%,燃完时能产生5MPa~10MPa的点火压力。黑药燃烧产物中有很多固体,大量炽热的固体微粒易使发射药迅速被点燃。黑药中有硝酸钾,易受潮,因此必须注意防潮问题。

2.1.4 榴弹的分类

榴弹是现代战争中陆军火力的骨干,它能对付空中、地面、水上等各种目标,如空中的飞机、导弹;地面的各种建筑物、工事、火力点、铁丝网、雷场、坦克、装甲车辆、人员;水上的各种舰艇、船只等。

目前世界各国研制或装备的榴弹种类很多,为了科研、设计、生产、保管及使用的方便,榴弹可以像一般炮弹按口径、对付目标、装填方式、稳定方式和作用效能等方式来分类。以下仅按作用效能,将榴弹分为3类:

① 杀伤榴弹——侧重杀伤作用的弹丸,弹壁较厚,弹体质量较大,炸药威力也较大。

② 爆破榴弹——侧重爆破作用的弹丸,弹壁较薄,炸药威力大。

③ 杀伤爆破榴弹——兼顾杀伤、爆破两种作用的弹丸。其中远程杀伤爆破弹在炮兵弹药中成为压制兵器的主要弹药,也是目前弹药发展中较为活跃的弹药。

2.1.5 榴弹的结构特征数

上述3种榴弹的结构特征数虽无严格的界限,但有一定的规律性。榴弹结构特征数的大致范围如表2-1所列。

表2-1 榴弹结构特征数

弹 种	相对质量 C_m /(kg·dm^{-3})	相对装药质量 C_ω /(kg·dm^{-3})	炸药装填系数 α /(%)	弹体相对壁厚 λ_δ /(d)
杀伤榴弹	14~24	0.7~1.5	5~10	1/6~1/4
杀伤爆破榴弹	11~16	1.5~2.0	6~16	1/8~1/5
爆破榴弹	8~15	2.0~3.0	10~25	1/12~1/8

2.1.6 榴弹的精度指标描述

榴弹的射击精度通常用距平均弹着点的距离和方向中间误差来描述。

对地面榴弹,以地面上全射程(最大射程)X 上的距离相对中间误差 E_X/X 及方向中间误差 E_Z 为指标,通常有:

杀伤爆破榴弹 $E_X/X=\frac{1}{150}\sim\frac{1}{200}$; $E_Z=13\text{m}\sim18\text{m}$

爆破榴弹 $E_X/X=\frac{1}{180}\sim\frac{1}{240}$; $E_Z=12\text{m}\sim18\text{m}$。

对小口径着发高射榴弹,常用一定距离上的立靶精度 E_Y(高低)、E_Z(方向)来衡量,其值一般为 $E_Y=E_Z=0.75\text{m}$ 左右(1000m处立靶精度)。对中口径近炸高射榴弹,则常用炸点处弹道切线法面内的高低 E_Y、方向 E_Z 和距离 E_X 的中间误差作为指标。

2.1.7 榴弹的作用

榴弹对目标的毁伤是杀伤作用(利用破片的动能)、侵彻作用(利用弹丸的动能)、爆破作用(利用爆炸冲击波的能量)、燃烧作用(根据目标的易燃程度以及炸药的成分而定)等多种效应综合而致。

2.1.7.1 杀伤作用

杀伤作用是利用弹丸爆炸后形成的具有一定动能的破片实现的,其杀伤效果由目标处破片的动能、形状、姿态和密度来决定,而这些又与弹体的结构与材料、炸药装药类型与药量、弹丸爆炸时的姿态与存速等密切相关。

(1) 静爆的破片分布

由于弹丸是轴对称体,榴弹在静止爆炸后其破片在圆周上的分布基本上是均匀的,但从弹头到弹尾的破片纵向分布是不均匀的。70% ~ 80%的破片由圆柱部贡献。在轴向上破片呈正态分布,弹丸中部破片较密,头部和尾部破片较少且以大质量破片为多,其破片的分布如图 2 - 4 所示。

(2) 空爆的破片分布

弹丸的落速越大,榴弹在空中爆炸后的破片就越向弹头方向倾斜飞散。弹丸的落角不同,破片在空中的分布也不同。当弹丸以垂直地面姿态爆炸时,破片分布近似为一个圆形,具有较大的杀伤面积,如图 2 - 5(a)所示。而弹丸以倾斜地面姿态爆炸时,只有两侧的破片起杀伤作用,其杀伤区域大致是个矩形,如图 2 - 5(b)所示。

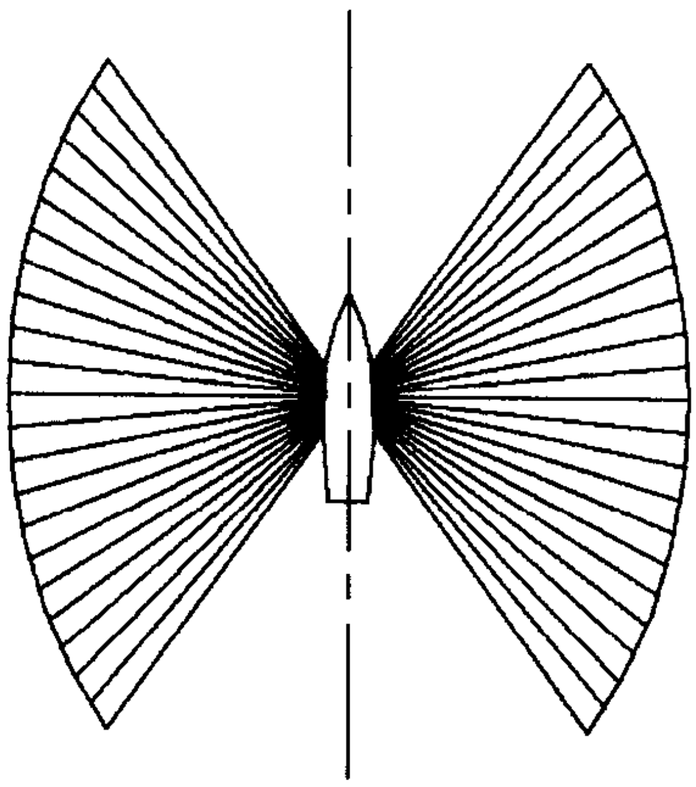


图 2 - 4 静爆的破片分布

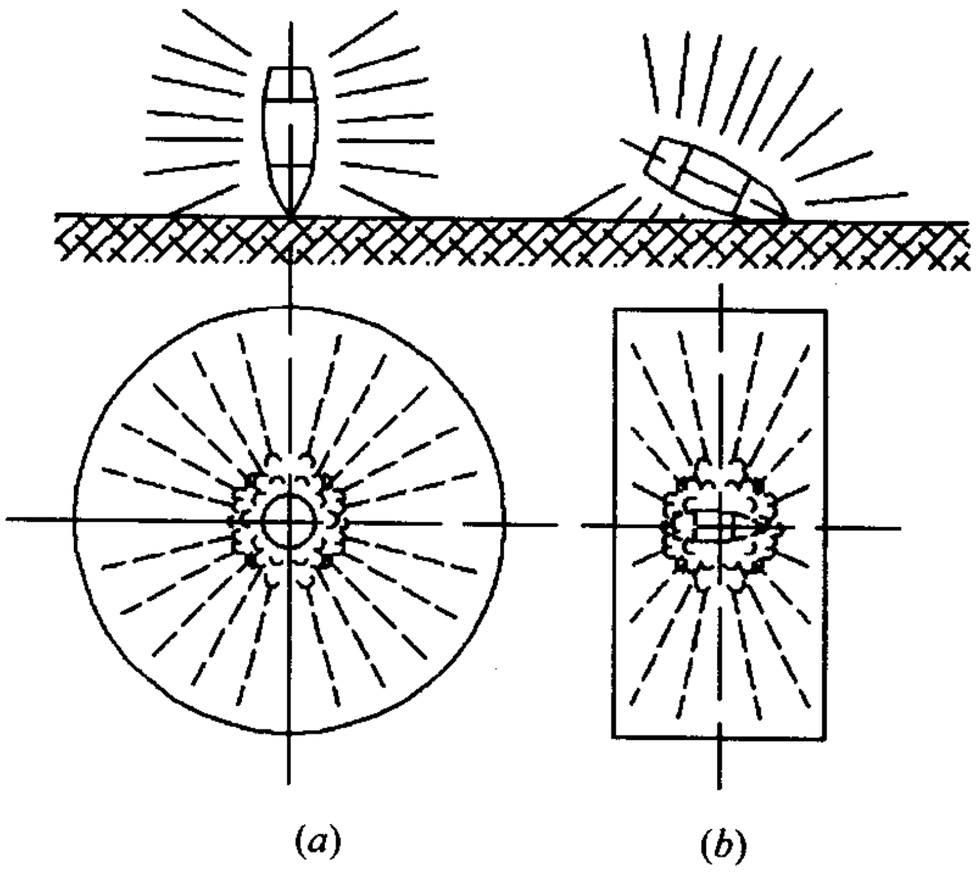


图 2 - 5 空爆的破片分布

(a) 垂直爆炸; (b)倾斜爆炸。

(3) 杀伤破片及杀伤标准

为了判断破片的杀伤能力,进而评价弹丸的杀伤威力,需有一个定量的杀伤标准。目前世界各国普遍采用破片的动能作为衡量标准。美国规定动能大于 78J 的破片为杀伤破片,低于 78J 的破片则被认为不具备杀伤能力。我国规定的杀伤标准为 98J。除此之外,

哥耐(Gurney)曾提出以 $m_f v_f^3$ 作为破片的杀伤标准;麦克米伦(McMillen)和格雷(Gregg)提出 75m/s 侵彻速度为标准;还有人提出穿过防护层后的破片应具有 2.5J 的动能等。

国外杀伤破片的标准只考虑动能,未提出破片质量要求。我国杀伤破片除考虑动能外,还提出破片质量≥1g 的要求。提出质量要求,除了保证杀伤距离外,还考虑了杀伤效果,也就是致伤标准问题。各种杀伤弹药的战术技术指标中往往对弹丸质量、杀伤威力(杀伤面积、杀伤半径等)都有一定要求,这在实际上要求破片质量限定在一定范围之内。

目前国内外试验评定破片杀伤能力时,都采用 25mm 松木板。也可采用 1.5mm 低碳钢板或 4mm 合金铝板。破片能击穿靶板,则认为具备杀伤能力,因为这样的破片能击穿动物的胸、腹腔。

评定榴弹对地面有生目标的杀伤威力,以及对已知目标射击预估弹药消耗量,都需要一个能符合实战条件的、能评定弹药杀伤效果的标准。目前国内外都采用杀伤面积或杀伤半径做评定标准。

(4) 密集杀伤半径

密集杀伤半径是由扇形靶试验测得的,其定义是:在该半径的周界上密集排列着(暴露地面上)由松木板制成的高 1.5m、宽 0.5m、厚 25mm 人形靶,弹丸爆炸后,平均每个靶上有一个破片穿透。

(5) 破片致伤的人员丧失战斗力时间

破片致伤的人员丧失战斗力时间是评定榴弹对地面有生目标杀伤威力的重要依据。这里的"人员",主要指现代战场上,敌军使用步兵武器执行地面进攻或防御任务的单兵,且致伤后未进行任何救治处理。表 2-2 是国家军用标准《破片致伤的人员丧失战斗力时间》GJB 3642—99 规定的人员丧失战斗力时间标准。

表 2-2 人员丧失战斗力时间标准

序号	战术任务	丧失战斗力时间/s	丧失战斗力时间标准的语言描述	丧失战斗力时间标准的适用范围
1	防 御	30	我军进攻,敌军防御时,敌军人员的丧失战斗力时间为 30s	现代战争中,在任何条件下使用
2	进 攻	30	我军防御,敌军进攻时,敌军人员的丧失战斗力时间为 30s	现代战争中,在敌军占有较大火力优势的条件下使用
3	进 攻	120	我军防御,敌军进攻时,敌军人员的丧失战斗力时间为 120s	现代战争中,以我军伤亡率的百分比为胜负准则时使用
4	进 攻	300	我军防御,敌军进攻时,敌军人员的丧失战斗力时间为 300s	现代战争中,以我军防御前沿是否被突破为胜负准则时使用

国外规定了 3 种丧失战斗力的类型:K 型——5s 内失去战斗力;A 型——5min 内失去战斗力;B 型——在一个不限定的时间内致死或严重致伤。而失去战斗力的标准是:可以阻止对方射击或者足以阻止对方做任何抵抗。

(6) 杀伤面积

杀伤面积可用数学方法表示。假设地面上(x、y)点的某一微元面积 dx、dy 内目标密度为 $\sigma(x,y)$,则该面积内的目标数为 $\sigma(x,y)dxdy$。设该微元面积内目标的杀伤概率

为 $p_k(x,y)$,则预期杀伤数 E_c 可表示为

$$E_c = \int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty}\sigma(x,y)\cdot p_k(x,y)\mathrm{d}x\mathrm{d}y$$

进一步假定目标在地面上均匀分布,则 $\sigma(x,y)$可简单地表示为一个常数 σ,则上式可写成

$$A_L = \frac{E_c}{\sigma} = \int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty}p_k(x,y)\mathrm{d}x\mathrm{d}y$$

式中 E_c/σ 具有面积量纲,因而被称为杀伤面积,在国外也称为平均效率面积。

由此可见,杀伤面积 A_L 与目标密度 σ 相乘可以得到预期的人员杀伤数。必须指出的是,杀伤面积不是炸点附近地面上一块真实的面积,它是一个加权面积,杀伤概率是它的权系数。

2.1.7.2 侵彻作用

榴弹的侵彻作用是指弹丸对土石等各种介质的侵入过程,依靠其动能和引信装定方式来获得。榴弹破坏地面或半地下工事主要依靠爆破作用,在适当的引信装定方式下的侵彻作用可以获得最大爆破效果。尤其当攻击土木工事等目标时,其侵彻作用的意义更为重大。

2.1.7.3 爆破作用

榴弹的爆破作用是指弹丸利用炸药爆炸时产生的高压气体和冲击波对目标的摧毁作用。弹丸壳体内炸药引爆后,产生的高温、高压爆轰产物迅速向四周膨胀,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。

对土木工事等目标攻击时,先将引信装定为“延期”,榴弹击中土木工事后并不立即爆炸,而是凭借其动能迅速侵入土石介质中。在弹丸侵彻至适当深度时爆炸,便可获得最有利的爆破和杀伤效果。炸药爆炸时形成的高温、高压气体猛烈压缩并冲击周围的土石介质,将部分土石介质和工事抛出,形成漏斗状的弹坑(称为“漏斗坑”)。

若引信装定为“瞬发”,弹丸将在地面爆炸,大部分炸药能量消耗在空中,炸出的弹坑很浅。相反,如果弹丸侵彻过深,不足以将上面的土石介质抛出地面,造成地下坑(出现“隐坑”),也不能有效地摧毁目标。

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。空气冲击波峰值超压越大,其破坏作用也越大。

当冲击波超压 ΔP_m 在 0.02MPa ~ 0.05MPa 范围内便可伤及人员,在 0.05MPa ~ 0.1MPa范围内便可致人重伤或死亡。当冲击波超压 ΔP_m 在 0.02MPa ~ 0.05MPa 范围内可使各种飞机轻微损伤,在 0.05MPa ~ 0.1MPa 范围内可使活塞式飞机完全破坏,可使喷气式飞机严重破坏,大于 0.1MPa 时可使各种飞机完全破坏。

2.1.7.4 燃烧作用

榴弹的燃烧作用是指弹丸利用炸药爆炸时产生的高温爆轰产物对目标的引燃作用,

其作用效果主要根据目标的易燃程度以及炸药的成分而定。在炸药中含有铝粉、镁粉或锆粉等成分时,爆炸时具有较强的纵火作用。

2.2 旋转稳定榴弹

大多数榴弹采用旋转稳定方式,它具有空气阻力小、射程远、精度好等特点。1959 年式 130mm 加农炮榴弹具有旋转稳定榴弹典型的结构形式。下面以该弹为例分析旋转稳定榴弹弹丸的结构及其作用。

2.2.1 概述

1959 年式 130mm 加农炮榴弹为药筒分装式炮弹,主要用于杀伤人员、摧毁野战工事和破坏军事器材。全弹由引信、弹丸和发射装药构成,弹丸由弹体、炸药装药和弹带组成。

引信为弹头机械触发引信,对不同目标,可将它装定成瞬发、惯性和短延期等 3 种作用方式。

药筒为黄铜药筒,内装发射药、除铜剂等其它辅助元件。发射药有全变装药和减变装药两种。全变装药由 1 个 5.3kg 的下药束、1 个 3.2kg 的中间药束和 1 个 1.9kg 的附加药包以及 2.5kg 的散药组成。减变装药由 1 个 3.92kg 的基本药包和 2 个各 1.3kg 的附加药包组成。根据不同的射程需求,可以变换不同的装药号。

1959 年式 130mm 加农炮榴弹经历了从有传爆管到取消传爆管、炸药装药底端有烟光药柱到取消烟光药柱的发展过程,从而先后出现过有传爆管有烟光药柱、有传爆管无烟光药柱和无传爆管无烟光药柱的 3 种杀爆型弹丸。

1959 年式 130mm 加农炮榴弹经过重新设计,采用底排增程技术,研制出了 20 世纪 90 年代先进水平的远程杀爆弹。该弹丸长度增长到 814mm,长径比达到了 6.26。采用 58SiMn 高强度高破片率弹体材料,TNT 炸药装药达到了 3.74kg。采用专用发射装药(初速为 947m/s)发射时最大射程为 37.5km,最大射程地面密集度($E_X/X \leqslant 1/180$, $E_Z \leqslant 22$m)。该弹完全具有了现代远程榴弹的外形特征。

2.2.2 主要诸元

1959 年式 130mm 加农炮榴弹的主要诸元如下:

弹　径/mm	130	弹丸长度/mm	661
炮口速度/($m \cdot s^{-1}$)	930(全装药)	弹丸质量/kg	33.4
全弹质量/kg	59.5	引信类型	榴 – 5;DRL08
炸药类型	TNT	炸药质量/kg	3.294
烟光药柱质量/kg	0.147	弹体材料	D60
最大膛压/mPa	355(强装药)		
有效破片数	2233 枚	杀伤破片	1024 枚
密集杀伤半径/m	33.7	最大射程/km	27.49
最大射程地面密集度	距离 $\frac{E_X}{X} \leqslant \frac{1}{220}$	方向 $E_Z \leqslant 18$m	

2.2.3 外形特点

1959年式130mm加农炮榴弹的弹丸长度突破了5倍口径，达到5.08倍口径，弹丸外形为回转体，由弹头部、圆柱部和弹尾部3部分组成，如图2-6所示。

1959年式130mm加农炮榴弹的弹头部较长，达到3倍口径，弹头形状比较尖锐，弧形部曲率半径达到15倍口径，由于全长受飞行稳定性限制，弹尾部较短。该弹有较好的气动外形，是20世纪50年代射程最远的中口径榴弹。

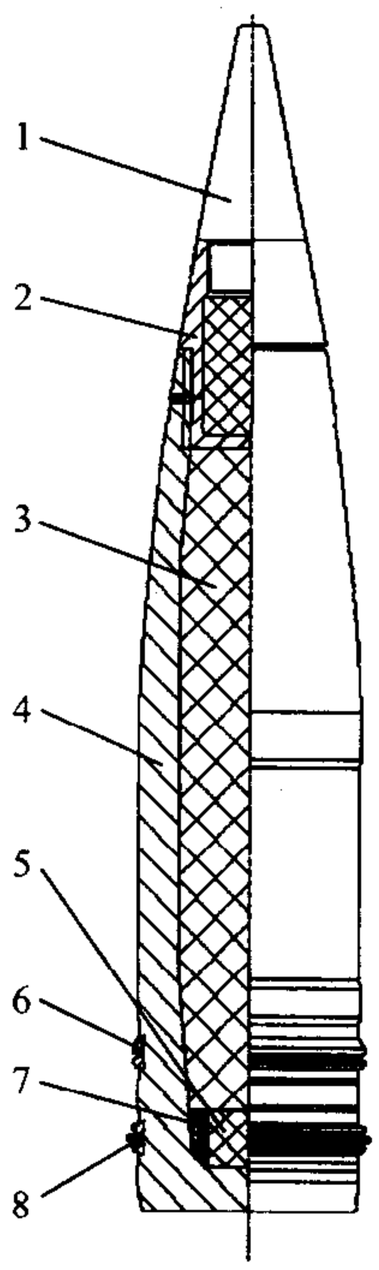


图2-6 1959年式130mm加农炮榴弹的结构图

1—引信；2—传爆管；3—炸药装药；4—弹体；5—烟光药柱；6—上弹带；7—工业石蜡；8—下弹带。

2.2.4 结构特点

① 弹丸口部装有传爆管——传爆管由管体和传爆药柱组成。管体是一个底端有外螺纹、上端有内螺纹、外部为截锥形、内部为圆柱形的金属壳体，用来盛装传爆药柱。管体的上端与引信螺纹连接，下端与弹体螺纹连接，并用驻螺钉固定。

传爆药柱采用质量为66g的钝化黑索今(A-Ⅸ-Ⅰ)，早期也曾采用过质量为56g的特屈儿。传爆药柱是用以确保炸药装药的完全起爆。

② 弹体壁较厚——由于1959年式130mm加农炮膛压较高(常温平均膛压为309MPa)，为了保证弹丸的发射强度，适当增加了弹体厚度，弹体壁相对壁厚 $\lambda_\delta = 1/6$，弹底相对壁厚为 $0.23d$，炸药装填系数 $\alpha = 10.9\%$。

③ 双弹带结构且下弹带有凸起部——该弹初速高达930m/s，满足弹带发射强度要求的弹带宽度超过30mm，所以当弹带宽度超过设计下限25mm时，就设计成两条弹带以容纳余屑。

下弹带凸起部的作用是使弹丸在火炮膛线起始部烧蚀的情况下，仍能在膛内正确定位。这种结构常用于高速远程榴弹。

弹带凸起部侧面直纹辊花，可增大装填时弹丸与火炮膛壁间的摩擦力，便于大射角射击。

④ 炸药装药底部装有烟火强化剂药柱——为便于观察射击炸点，在药室底部装有烟火强化剂药柱。烟火强化剂药柱的四周采用工业石蜡灌封，以便于炸药的装填。在药室底部装有烟火强化剂药柱的弹丸适于高平两用炮对空射击。

2.3 尾翼稳定榴弹

2.3.1 概述

对于无膛线火炮，如滑膛加农炮，主要配用尾翼稳定穿甲弹，滑膛无后坐力炮主要配用尾翼稳定破甲弹，迫击炮主要配用尾翼稳定榴弹。因实战需要，滑膛加农炮和滑膛无后

坐力炮也配备少量尾翼稳定榴弹。尽管采用尾翼稳定后弹丸在威力、射程、精度方面都会受到一定影响，但对整个火炮系列来讲，配备尾翼稳定榴弹仍十分必要。

尾翼稳定榴弹与旋转稳定榴弹相比，在弹尾部的设计上有所不同，如滑膛加农炮尾翼稳定榴弹在弹体上会保留一条强制量较小且宽度较窄的弹带，发射时起到膛内闭气和弹丸径向定位的作用。

迫击炮配用尾翼稳定榴弹，其尾翼一般为同口径刚性固定展翼形式，所以一般射程较近，但曲射性好，可对被山峰或高层建筑遮挡的目标实施有效攻击，其中 82mm 以下口径的迫击炮更是城市巷战的高效武器。该类尾翼稳定榴弹的外形结构特征和发射装药结构比较特殊，将在第 6 章中专门介绍。

滑膛无后坐力炮尾翼稳定榴弹的外形结构特征和发射装药结构与迫击炮配用的尾翼稳定榴弹基本相同，可参照第 6 章中迫击炮弹的有关介绍。

滑膛加农炮尾翼稳定榴弹除弹尾部的设计上有所不同外，其外形结构特征和发射装药结构与一般旋转稳定榴弹基本相同。

一般中口径滑膛加农炮和滑膛无后坐力炮才配备尾翼稳定榴弹，如 DYS 式 73mm 钢珠榴弹、PT73 式 100mm 滑膛反坦克炮Ⅰ型榴弹、1965 年式 82mm 滑膛无后坐力炮榴弹、PW65 式 82mm 滑膛无后坐力炮杀爆燃烧弹等。

PT73 式 100mm 滑膛反坦克炮Ⅰ型榴弹既适用于 1959 年式 100mm 线膛反坦克炮，又适用于 1973 年式 100mm 滑膛反坦克炮和 PT86 式 100mm 滑膛反坦克炮。

PT73 式 100mm 滑膛反坦克炮Ⅰ型榴弹具有尾翼式榴弹的典型结构，下面就以 PT73 式 100mm 榴弹为例分析尾翼式榴弹的结构及其作用。

2.3.2　PT73 式 100mm 滑膛反坦克炮Ⅰ型榴弹

2.3.2.1　主要诸元

PT73 式 100mm 滑膛反坦克炮Ⅰ型榴弹的主要诸元如下：

弹　　径/mm	100	弹丸长度(不含引信)/mm	558
炮口速度/($m \cdot s^{-1}$)	900	弹丸质量/kg	15.00
全弹质量/kg	28.9	引信类型	滑榴 - 2/滑榴 - 2A
炸药类型	TNT	炸药质量/kg	1.30
弹体材料	D60	最大膛压/MPa	294.2
有效破片数/枚	1160	杀伤破片数/枚	615
密集杀伤半径/m	21.4	最大射程/km	13.5

最大射程地面密集度　　距离 $\frac{E_X}{X} \leqslant \frac{1}{125}$　　方向　　$E_Z \leqslant 17\text{m}$

2.3.2.2　结构及其作用分析

PT73 年式 100mm 滑膛反坦克加农炮榴弹如图 2 - 7 所示。

(1) 定装式结构

为了快速发射，该弹采用弹丸与发射药筒定装式结构。全备弹长达到 1020mm。

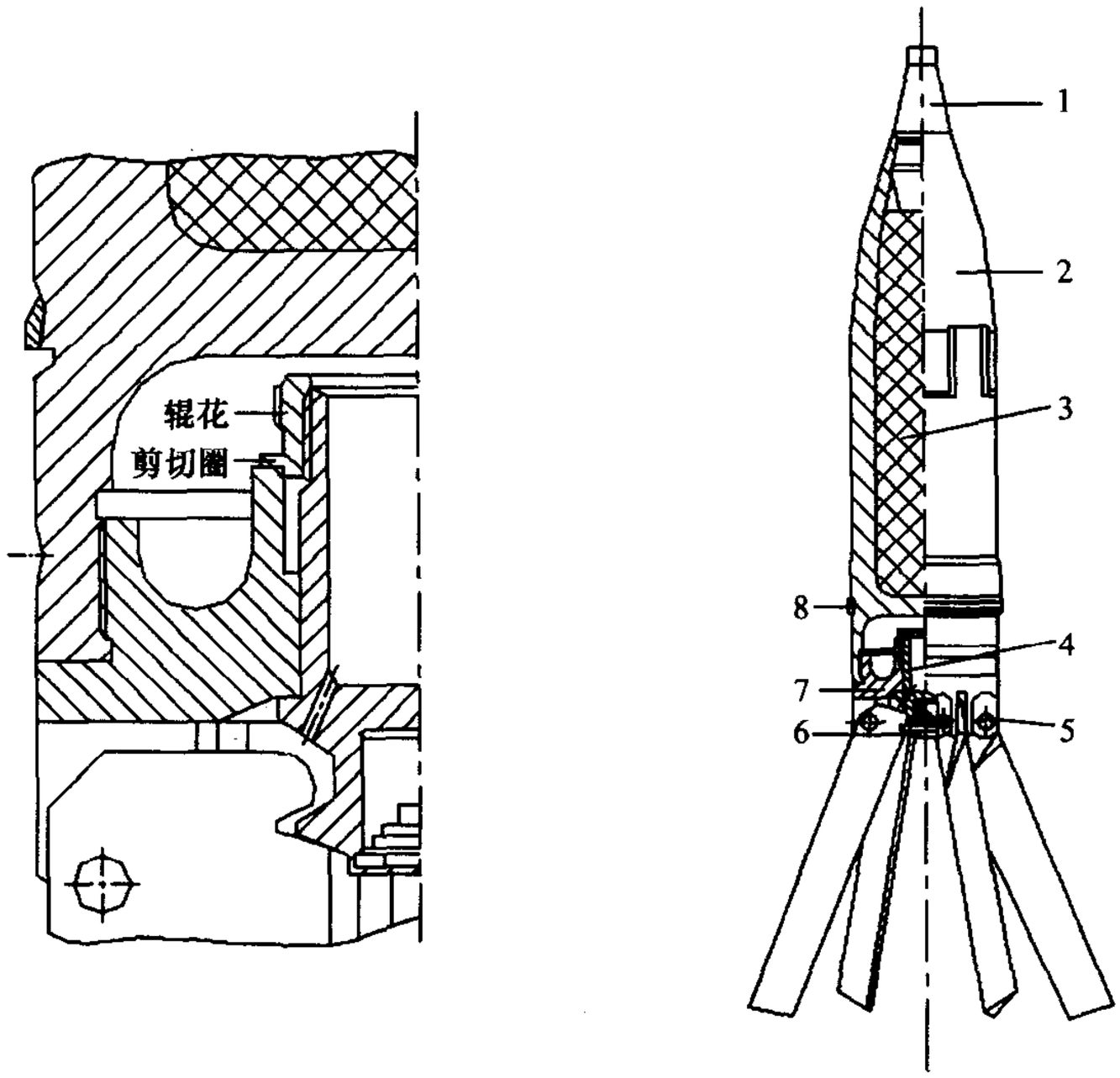


图 2-7 100mm 尾翼稳定榴弹

1—引信；2—弹体；3—炸药；4—活塞；5—销轴；6—曳光管；7—尾翼座；8—弹带。

(2) 弹头部与圆柱部

该弹初速为 900m/s，是超声速尾翼弹。头部曲线为圆弧形，因其飞行速度较高，故采用较长的弹头部以减小弹头部激波阻力；采用长圆柱部的外形结构，可增大药室容积，提高弹丸威力。

(3) 前张气缸式尾翼

对超声速飞行的尾翼弹，一般必须采用超口径尾翼。100mm 滑膛炮榴弹采用气缸式前张尾翼，6 片钢翼片通过销轴固定在翼座上，在膛内发射时处于收拢状态。翼片、翼座和销轴的材料均为 30CrMnSiA。

弹丸发射时，发射药燃气通过活塞外侧的两个小孔进入气室，弹丸出炮口后，气室外部压力骤减，气室内的火药气体推动活塞运动，剪断剪切圈上的剪切台，活塞便在尾翼座内向后作直线运动。通过活塞下部与翼片上一对齿(相当于齿条和齿轮)的啮合，使尾翼作回转运动，并逐渐张开，直到活塞下移到位为止，此时翼片的张开角为 30°。为防止反转，尾翼张开到位后利用螺圈的辗花及剪切台在被剪断时留下的残根来增加活塞与翼座间的摩擦力实现尾翼自锁。

翼片的单侧铣有 7°15′的斜面，可使弹丸产生低速旋转。由于弹丸制造与装配误差的存在会导致弹丸气动外形的不对称，弹丸飞行时相对质心有一定的偏心，即产生气动力偏心。这种气动力偏心会引起弹丸的弹道偏离，增大落点的散布。尾翼稳定的弹丸通过低速旋转可以减小或消除这种偏心的影响，有利于提高弹丸的密集度。

(4) 闭气弹带

弹体下部采用等离子弧焊工艺焊有一条铜质弹带,该弹带的宽度较窄且强制量较小,在弹丸发射时可起定心作用和一定的闭气作用。

(5) 轴向通气槽

由于弹体下部弹带的闭气性能比旋转稳定弹丸上弹带的闭气性能要差,有部分高温高压火药燃气会泄漏到闭气弹带前方的弹体处。为使弹体能承受较高的膛压,上定心部开有 4 条轴向通气槽,供高温高压火药燃气泄漏用,保证了弹体的发射强度。

2.4　远 程 榴 弹

2.4.1　概述

从 20 世纪 60 年代开始,远程榴弹的射程以每 10 年增加 25% ~ 30%的速度在增大。世界各国军事技术部门一直都在研究增大射程的方法。20 世纪 80 年代以来,远程榴弹的射程又有明显提高,一代新型中大口径远程榴弹已研制成功,正逐步装备部队。预计 21 世纪初远程榴弹的射程可以达到 45km ~ 50km。

综合国内外弹上增程方法,榴弹增程的技术途径可概括为:

① 减阻法增程技术——包括弹形减阻技术、姿态减阻技术、减小空气阻力加速度技术、空心弹减阻技术等。

② 添质加能增程技术——底排增程技术、火箭助推增程技术、冲压增程技术等。

③ 复合增程技术——各种方法的综合应用,如底排与火箭复合增程、冲压发动机复合增程等。

弹形减阻是其它增程技术应用的前提。弹形减阻的主要措施是通过改变弹丸长径比、弹头部长占弹丸全长的比例、弹头部弧形部半径、弹尾长、船尾角等参数,减小弹丸空气阻力,达到增程目的。

弹形减阻的关键是减小波阻和底阻。对波阻影响最大的因素是弹丸的全长和弹头部长占全弹长的比例。影响底阻最大的因素是尾锥长及船尾角。

为了减小阻力增大射程,近十几年,远程榴弹的弹长及弹头部长占全弹长的比例发生很大变化,老式榴弹弹长只有 $4.5d$ 左右,远程榴弹弹长超过 $6d$,使阻力减小 30%以上。从远程榴弹的发展过程考虑,根据弹长与阻力的关系,可把远程榴弹分为老式圆柱弹、底凹圆柱弹和低阻远程弹(俗称枣核弹)。

各种弹上增程方法的应用,不仅使榴弹的作战纵深有了大幅度的提高,也引领了现代远程弹药的发展方向。

2.4.2　底凹榴弹

底凹榴弹由美国在 20 世纪 60 年代初最先开始研制,因其在弹丸底部采用底凹结构而得名。底凹榴弹的主体外形与平底榴弹相似,目前已逐渐代替平底榴弹。

2.4.2.1 特点

(1) 底凹的深度影响弹底阻力

底凹结构呈圆柱形,底凹与弹体为一个整体时即为整体式底凹弹,与弹体螺接时即为螺接式底凹弹。凹窝的深度若取 0.2 倍 ~ 0.4 倍弹径,即为浅底凹,如图 2 - 8 所示。凹窝的深度若取 0.9 倍 ~ 1.0 倍弹径,即为深底凹,如图 2 - 9 所示。

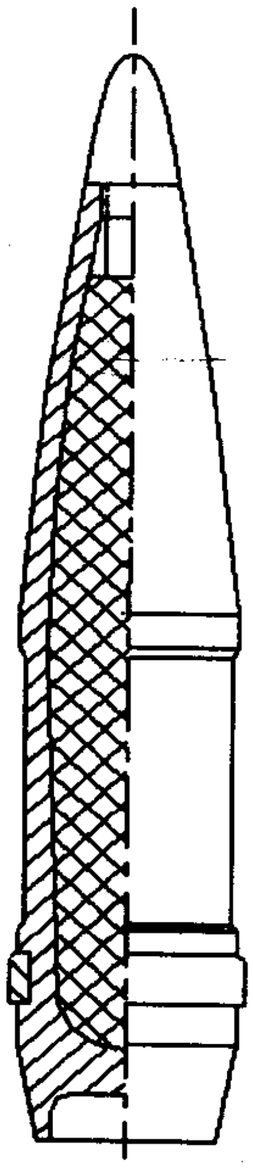


图 2 - 8 浅底凹榴弹

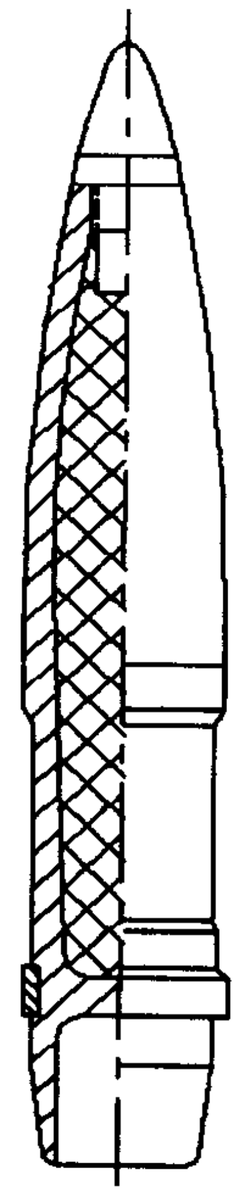


图 2 - 9 深底凹榴弹

底凹深度的设计取决于弹丸的飞行速度,风洞实验表明,在亚声速和跨声速范围内,底凹结构可使弹底低压涡流强度减弱,局部真空区域被空气填充,从而提高弹底部的压力,使底部阻力减小。底凹深度以取 0.5 倍弹径为宜,而在超声速范围内,底凹深度与底压的关系不大。

(2) 易于弹体强度设计

采用底凹结构,可以将弹带设置在弹体与底凹之间的隔板处,从而提高弹体强度。

(3) 提高威力

由于弹丸的增长,虽有底凹部分,但炸药药室的长度并未减短,同时由于弹带设置在弹体与底凹之间的隔板处,使弹体强度得到改善,可使弹壁减薄,从而增加炸药药量,提高了弹丸的威力。

(4) 弹丸细长且飞行稳定性提高

采用底凹结构后弹头部形状尖锐,弹底前移,全弹长可超过旋转稳定式平底榴弹。由于弹丸的增长,弹带又靠近弹底面,从而增长了导引部,提高了弹丸膛内运动的正确性,有利于提高外弹道性能。

底凹结构使弹丸质量分布较集中,弹丸的赤道转动惯量与极转动惯量之比减小,且整个弹丸的质心前移,压力中心后移,又使飞行中翻转力矩减小,这些都有利于弹丸的飞行稳定性,使空气阻力减小,且弹丸的散布也得到改善。

2.4.2.2 存在的问题

底凹结构存在的主要问题是:出炮口瞬间由于底凹部分内、外压差很大,可能出现强度不足的现象。因此在选取底凹部分的材料、确定底凹部分厚度时,必须满足炮口强度设计要求。

2.4.3 低阻远程榴弹

低阻远程榴弹又称为枣核形榴弹。从弹丸直径的名义尺寸与火炮口径相比来看,枣核榴弹的发展有过两种形式:一是全口径枣核弹,弹丸直径的名义尺寸与火炮口径相同;二是次口径枣核弹,弹丸直径的名义尺寸比火炮口径略小。次口径枣核弹是在全口径枣核弹基础上发展起来的,其射程可进一步增加,除了弹形可进一步改善外,在相同条件下,次口径枣核弹可获得比全口径枣核弹略大的初速。

加拿大20世纪70年代研制成功的155mm全口径枣核弹结构如图2-10所示。

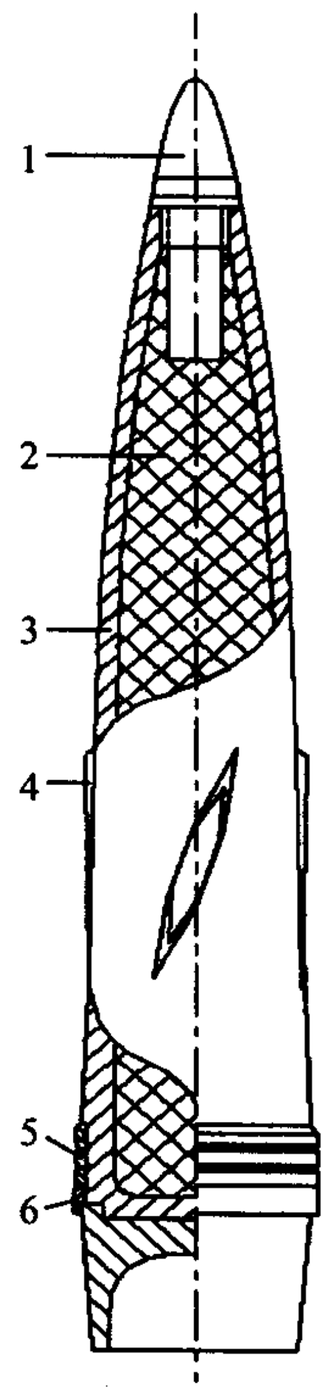


图2-10 全口径枣核弹结构示意图
1—引信;2—炸药;3—弹体;4—定心块;5—弹带;6—闭气环。

2.4.3.1 特点

① 枣核弹结构设计的最大特点是取消了圆柱部,整个弹体由约为4.8d长的弧形部和约为1.4d长的船尾部组成。

② 利用弹丸弧形部上安装的4片定心块和位于弹丸最大直径处的弹带来解决全口径枣核弹在膛内发射时的定心问题。

③ 枣核弹的长径比较大,一般都在6倍弹径以上,弹头长为全弹长的80%。在目前各类榴弹中,枣核弹的阻力系数最小,阻力比老式圆柱榴弹减少25%~30%。

④ 在结构设计上枣核弹一般均同时采用底凹结构。

2.4.3.2 存在的问题

定心块的形状、安置角度和位置需要精心设计。除需要考虑良好的定心作用外,还要考虑到减小阻力和有利于飞行稳定性。对定心块斜置角从0°~15°的实验表明,随定心块斜置角的增加,弹丸所受的阻力也将有所增加。

由于枣核榴弹长径比较大,其飞行稳定性要比传统的普通旋转稳定弹丸差。

另外,枣核榴弹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,给加工制造与装配工艺带来了一定难度。

2.4.4 底排减阻增程榴弹

底排榴弹是瑞典于20世纪60年代中期首先开始研制的。许多国家和地区都采用底排增程技术,底排增程率在25%~30%,到21世纪其增程率可望提高到40%~50%。

2.4.4.1 底排减阻增程原理

对于圆柱形弹丸,如图2-11所示,在弹尾部形成低压区,产生底部阻力。在超声速条件下,对于一般圆柱形弹丸,底阻占总阻30%左右。对于低阻远程弹,底阻占总阻的50%~60%。如果设法向尾部低压区排放气体,提高底压,就可以减小底阻,增大射程。

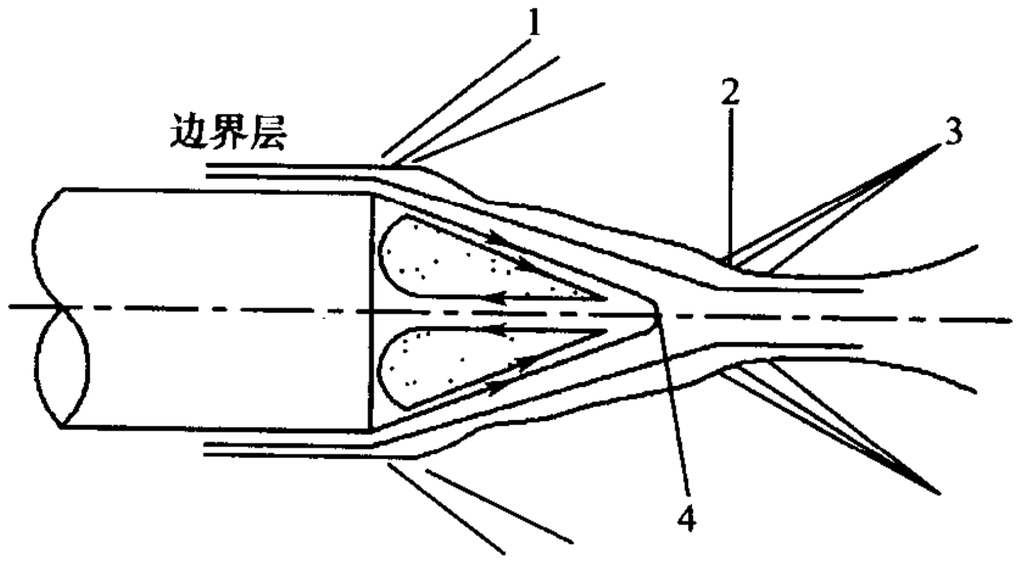


图2-11 尾流区的流动示意图

1—扇形膨胀区;2—喉部;3—尾激波;4—尾迹驻点。

如果把尾部低压区考虑成周围被气体边界包围的一定空间,根据气体热力学原理,向这一空间排入质量或向这一区域排放热量(相当增加能量),都可提高这一空间的压力,使弹丸底阻减小,从而增加射程,这就是底排增程的基本原理。

从这一原理可以看出,底排增程与火箭增程虽然都是向尾部区域排气,但是二者有本质的区别。前者是提高底压减小底阻,属于减阻增程;后者是利用动量原理,提高弹丸的速度。

底排的作用效果由3方面因素组成,即加入质量的效果、加入能量的作用效果和动量变化的作用效果。

2.4.4.2 结构组成

底排榴弹都是旋转稳定弹丸,在外形设计上主要有圆柱形和枣核形两种形式。图2-12和图2-13分别给出了圆柱形和枣核形两种形式的底排榴弹结构示意图。

圆柱形底排榴弹由卵形头部、圆柱部、船尾部、定心部、弹带和底排装置组成。枣核形底排榴弹由卵形头部、船尾部、定心部、弹带和底排装置组成。

底排榴弹25%~30%的增程率主要由减小底阻得到,所以其外形结构设计必须以提高底阻占总阻的比例份额为目标。一般通过增加弹丸总长、增加卵形头部的曲率半径和长度、缩短圆柱部长度、增加船尾部长度、减小船尾部船尾角度等措施来实现。同时,底排增程效果又与弹丸飞行马赫数有极大的关系,希望在底排装置工作期间弹丸飞行马赫数大于2.5,这就要求底排榴弹的初速不低于2.5马赫数。

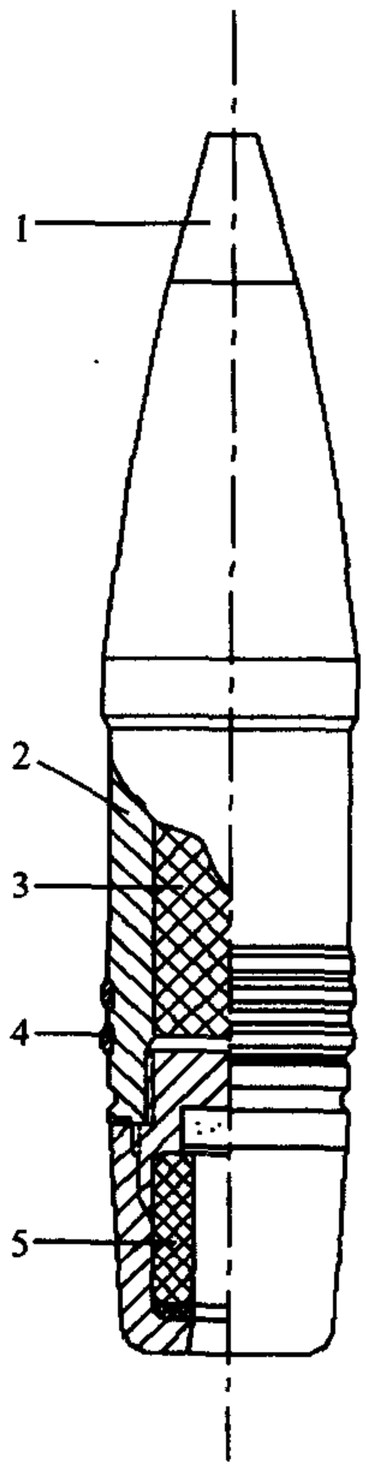


图 2 – 12　圆柱形底排弹结构示意图
1—引信；2—弹体；3—炸药；
4—弹带；5—底排装置。

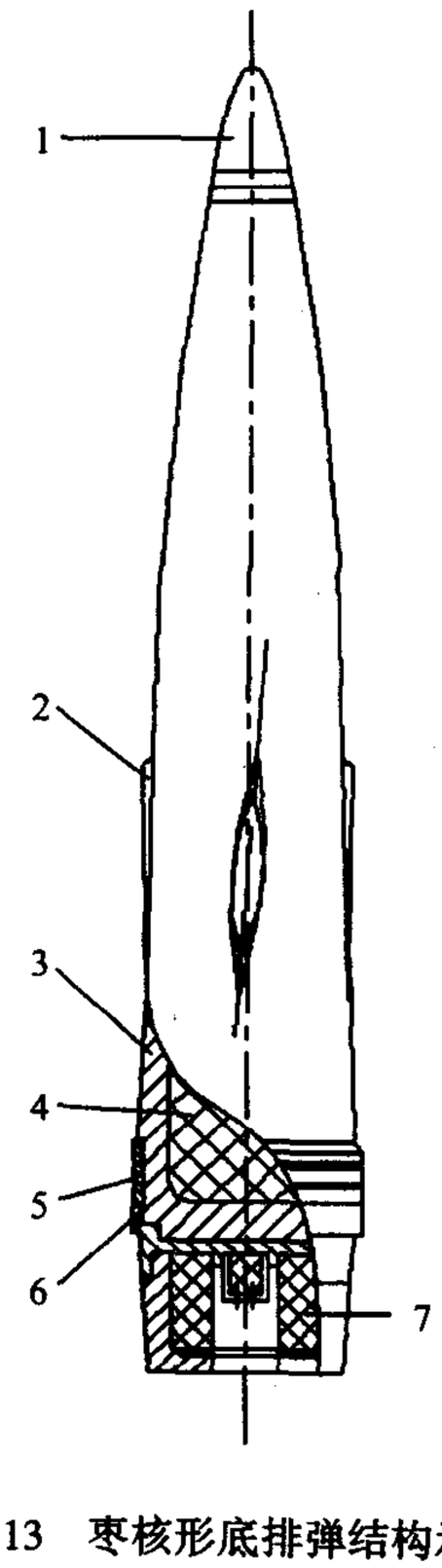


图 2 – 13　枣核形底排弹结构示意图
1—引信；2—定心块；3—弹体；4—炸药；
5—弹带；6—闭气环；7—底排装置。

在超声速条件下，对于一般圆柱形弹丸，底阻占总阻的 30% 左右。对于低阻(枣核形)远程弹，底阻占总阻的 50% ~ 60%(由于枣核形弹丸对弹丸威力发展制约较大以及定心舵片加工工艺复杂等原因，该弹型不太常用)。对于圆柱形远程弹，通常底阻占总阻的 40% ~ 45%。

PL59A 式 130mm 底排榴弹的总长达到了 $6.25d$，其卵形头部的曲率半径为 $25d$，卵形头部的长度为 $3.65d$，圆柱部长度为 $2.01d$，船尾部长度为 $0.59d$，船尾角为 3°。该弹在底排装置不工作时，底阻占总阻约 45%。当以 947m/s 初速和 45°射角发射时最大射程达到 37.5km，其中底排减阻和外形优化双方面贡献的综合增程率达到了 39%，而底排减阻增程率达到了 30%。PL59A 式 130mm 底排榴弹是目前圆柱形远程榴弹中增程效果十分显著的设计典范。

2.4.4.3　底排装置的组成及其作用分析

图 2 – 14 和图 2 – 15 分别给出了采用复合药剂和烟火药剂的底排装置结构示意图。

(1) 复合药剂底排装置

一般由钢接螺 1、底排药柱 2、点火具 3 和底排壳体 4 等组成。

钢接螺的作用是将弹丸战斗部壳体与底排壳体相连接，并固定点火具。

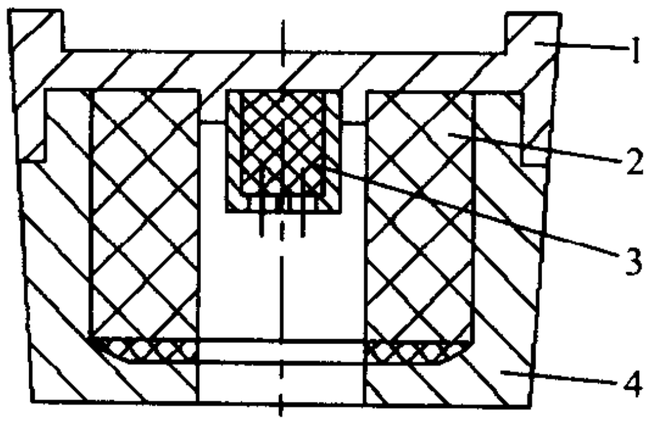


图 2-14 复合药剂底排装置结构示意图

1—钢接螺；2—底排药柱；3—点火具；4—底排壳体。

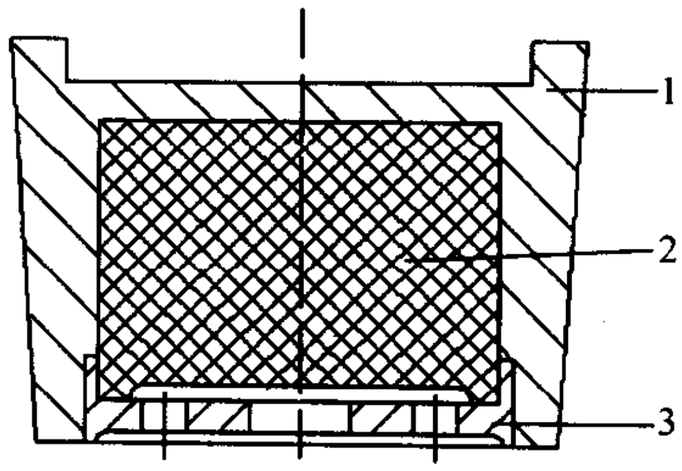


图 2-15 烟火药剂底排装置结构示意图

1—底排壳体；2—底排药柱；3—挡药板。

底排壳体的作用是将底排药柱径向与轴向固定，提供药剂燃烧的空间，并通过其底端的排气孔控制药剂的燃烧规律与燃气的排出流率。根据底排弹总体结构设计的需要，通常底排壳体材料采用 LC4 或 LY12 硬质铝合金。

底排药柱的作用是按预先设计的燃烧面维持一定时间、一定燃烧规律的燃气生成。

复合型底排药剂燃速较低、密度较小，通常需要独立的点火具，这些特点对减阻效果和总体结构匹配设计都不太有利，但复合型药柱通常设计为中空多瓣结构，发射时高温高压燃气充满底排装置，使其具有很好的抗高过载能力，采用中孔面和缝隙面燃烧方式。

复合型底排药剂在火炮膛内由发射药的高温高压气体点燃，但在炮口附近卸压时会出现被抽灭的现象，故为了确保底排弹的最大射程密集度，需要点火具提供持续的燃气维持底排药柱的持续燃烧。

点火具的作用是在火炮膛内和炮口附近维持一定时间的持续燃烧，其燃气应确保底排药柱全面可靠的点燃。点火具内装有由锆粉、镁粉和黑火药等混合而成的点火药剂，一经火炮发射时发射药的高温高压气体点燃后，就能维持一定时间的持续燃烧，在炮口卸压时也不会被抽灭，从而可以提供持续的燃气维持底排药柱的持续燃烧。

(2) 烟火药剂底排装置

一般由底排药柱 2、挡药板 3 和底排壳体 1 等组成。

烟火型底排药剂燃速高、排气流量大、密度大，不需要独立的点火具，这些特点对减阻效果和总体结构匹配设计都是有利的，但为了满足发射时抗高过载的强度要求，其药柱通常设计为实心整体结构，并采用端面燃烧方式。

烟火药剂底排装置通常需要独立的挡药板，该挡药板采用多孔结构形式，既能有效地支撑烟火药剂，又能提供较大的通气面积。

2.4.4.4 底排装置的设计要素

底排榴弹的底排装置设计是至关重要的。底排增程装置的设计要素主要有：

① 底排药剂的性能。底排药剂配方影响底排药柱的力学性能、弹道性能、生产工艺性能和勤务使用性能。底部排气弹研制过程中的大量试验证明，不同药剂配方对底排减阻效果影响较大。

② 排流参量和工作时间。底排工作时的排流参量应控制在一定的范围。底排工作时间不宜过长,通常为弹丸全弹道飞行时间的 1/4 左右。

③ 船尾长与船尾角的选取。船尾角和船尾长直接影响尾流区的流动状态,也就是对底压或底阻产生影响,同时影响底阻占总阻的比例。在这种情况下,底部排气的减阻效果一定受到影响。理论计算和试验证明,在一定的初速、射角、排气参数的条件下,存在减阻最大的最佳船尾角,一般为 2° ~ 3°;在船尾角减小的同时改善了弹尾部的机械强度,也提高了弹丸的稳定性。

④ 底排弹底板结构参数。底部排气弹底板结构参数包括:排气孔面积比、排气孔形状与位置、燃烧面积与排气孔面积比等。排气孔面积与弹底面之比称为排气面积比。在冷排气的条件下,它对减阻效果影响较明显,但是在实际药剂工作条件下,影响不大。排气孔的形状与位置对点火过程有一定影响。药柱燃烧面与排气面积之比,有一极限值,小于这一极限值,对减阻有一定影响。

在底排挡板排气孔结构的设计上,通常设计为中心排气结构。这主要是针对复合剂燃烧时要求具有较高的环境压力。但是当排出气体的分子动量较大时,采用这种结构会使气体产生较强的引射作用,带走一部分气体,出现旋涡,使底压降低,降低底排装置的减阻效果。而烟火剂的燃烧机理与复合剂不同,不要求较高的环境压力,所以在设计底排挡板的时候,可以增加排气孔面积,将其设计为底部均匀排气结构。两种排气结构的燃气流场如图 2 – 16 所示。

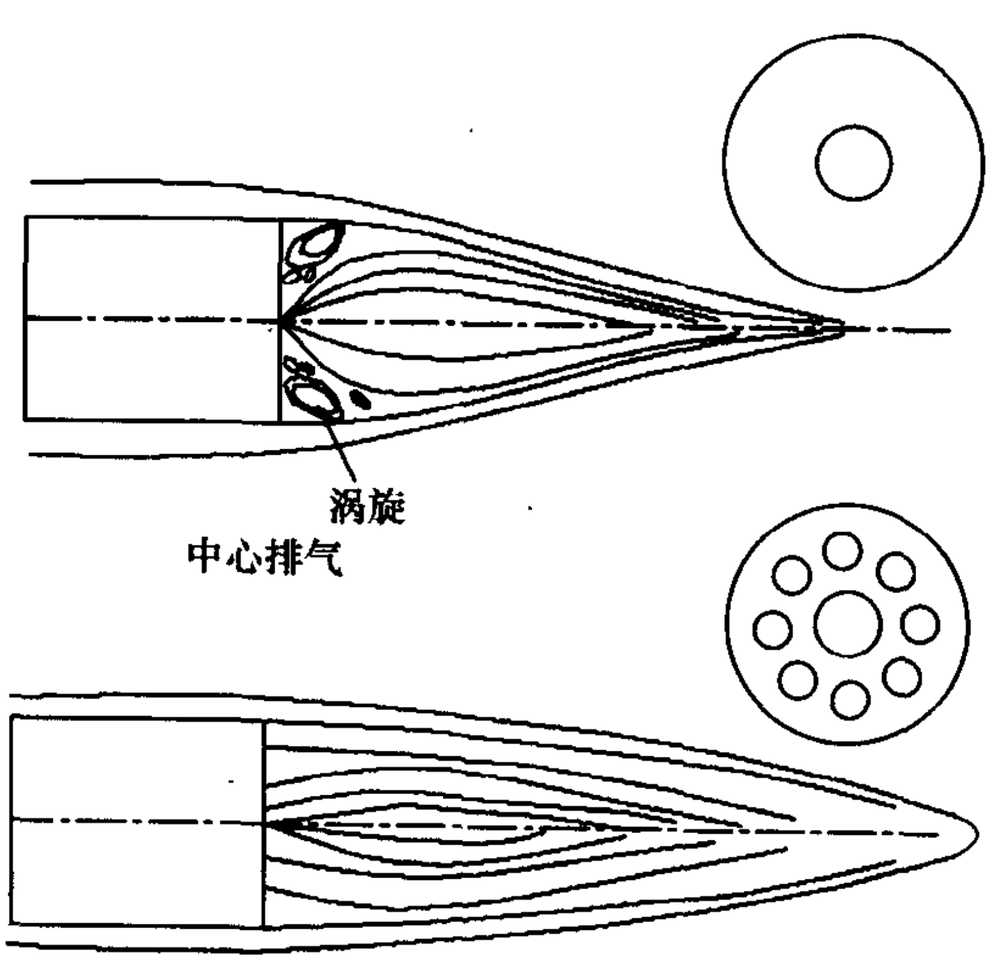


图 2 – 16　两种排气结构的燃气流场示意图

2.4.4.5　底排弹的优点

① 相对其它远程弹来讲,底排弹的结构简单,只要在弹丸底部加装排气装置即可。
② 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 由于空气阻力的减小,从而增大了射程。

④ 由于底排装置的燃烧室工作压力低,因而对装置壳体的要求低。可以利用原来的底凹弹加装底排装置来实现增程,而不必采取特殊的措施提高强度。

2.4.4.6 底排弹存在的问题

底排榴弹可使射程增加的同时,也带来了加大弹丸散布的问题。这主要是由于底排药柱的燃烧条件会受高空大气层气象条件的影响,而高空大气层的气象条件瞬息万变,难以准确地预测;底排药点火时间的一致性也有一定问题,目前各国都在努力寻求更好的减小底排弹散布的途径和措施。

2.4.5 底排—火箭复合增程榴弹

底排—火箭复合增程弹是针对弹丸飞行阻力的变化规律,综合应用底排减阻和火箭助推两项增程技术的新型增程途径,采用先底排后火箭的增程方式能够充分发挥这两种增程技术的优势而避免其缺点。当这种复合增程与高初速、低阻弹形技术相结合时,可使增程率达到 50%以上。

底部排气技术和火箭助推技术是已被人们所熟知的两种有效的增程技术,已分别在多种口径弹丸上应用。然而,将两者同时应用到同一弹丸上,却是许多国家弹药设计人员近十几年来致力探索的一种使弹丸打得更远的新型增程途径,集两种增程技术于一体的复合增程弹在许多方面有着不同于一般普通弹丸的特殊性。

2.4.5.1 复合增程原理

底排火箭复合增程基于这样一种设计思想:如果在空气密度较大的区域,保持低阻力,使速度损失很小,当弹丸进入空气密度较小的区域,再加速,这样速度损失小;弹丸在空气密度很大的空间加速,由于速度增加很快,空气阻力也增大很快,将损失较多速度。

底排—火箭复合增程弹能够获得更大射程的理论依据是:弹丸出炮口后在空气密度很大的低空飞行,空气阻力大,底阻占全部空气阻力的比例也大,因此采用底部排气减阻增程。当弹丸进入空气密度小的高空时,再用火箭发动机加速,以获得更高的增程率。

2.4.5.2 总体布局形式

底排—火箭复合增程弹总体结构布局设计时,底排装置总是置于弹丸的最底部,而火箭装置可以放置于弹丸的不同部位。依据火箭装置与底排装置的相对位置,底排—火箭复合增程弹的总体结构布局形式主要有如下 3 种。

(1) 前后分置式

前后分置式结构即在弹体头弧部放置火箭装置。图 2-17 所示的底排—火箭复合增程子母弹属于此种布局形式。由于前置火箭发动机完全依靠弹丸头弧形状来设计,有效地利用了弹丸头部空间,使弹丸的有效随行载荷装载空间不致减小太多,既可达到一定程度上的增程效果,又确保了弹丸一定的威力性能。由于这种布局形式,其火箭装置与底排装置的排气通道不重叠,可以实现两个装置的异步工作(即底排结束后火箭开始工作)或工作时段部分重叠的同步工作(即底排工作的同时火箭也工作),但火箭点火序列设计难

度较大,弹丸结构比较复杂。

(2) 弹底并联式

弹底并联式结构即火箭药柱在外圈、底排药柱在内圈同处一个装置内,并共享同一个排气口。图 2 - 18 所示的法国 OERAP - H3 型 155mm 的底排—火箭复合增程弹采用的就是此种布局形式。这种布局结构最为简单,也是威力牺牲最小的,但经计算与试验表明,其复合增程效率有限。另外,火箭药柱点火的一致性难以保证,并且只能实现先底排后火箭的异步工作。

(3) 弹底串联式

弹底串联式结构即火箭装置与底排装置同处弹底部,相对弹头而言,火箭装置在前,底排装置在后,呈串联方式排布。图 2 - 19 所示的俄罗斯 152mm 底排火箭复合增程弹就采用了此种布局形式。目前,南非 155mm 底排火箭复合增程弹也采用了此种布局形式。由于火箭装置与底排装置同居弹底,不与弹丸的传爆序列或抛射序列发生干涉,使整个弹丸总体结构布局相对简单。根据火箭排气通道的设计与安排,这种基本形式可以实现异步工作或同步工作,从而可以演变成同系列的多种结构布局形式。由于底排装置与火箭装置均占居弹丸有效的圆柱段空间,会使弹体有效携载空间(即威力性能)大为降低。

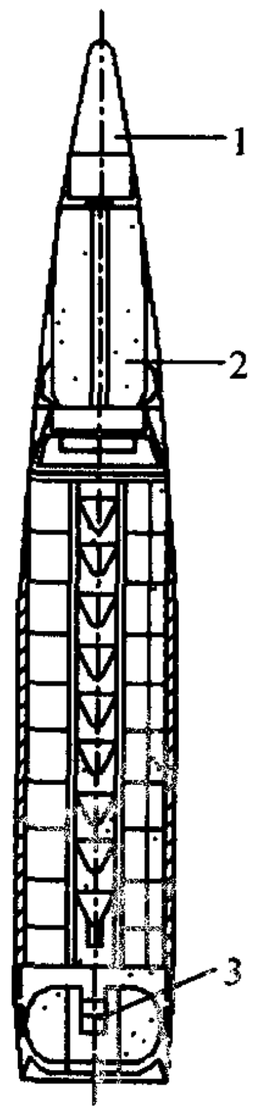


图 2 - 17　前后分置式布局

1—引信; 2—火箭药; 3—底排药。

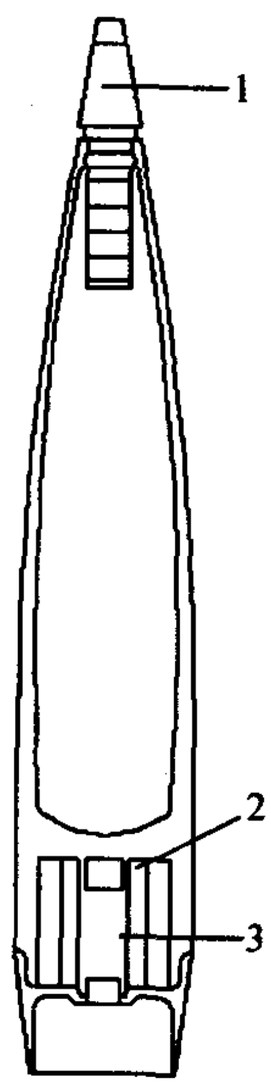


图 2 - 18　并联式布局

1—引信; 2—火箭药; 3—底排药。

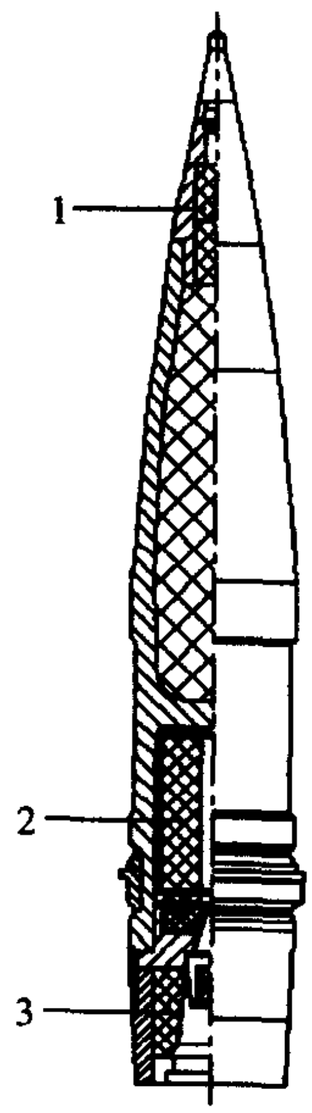


图 2 - 19　串联式布局

1—引信; 2—火箭药; 3—底排药。

2.4.5.3　弹道特征

以先底排后火箭工作时序为例,底排—火箭复合增程弹的飞行弹道分为底排减阻增程弹道(*OB* 段)、被动弹道 1(*BR* 段)、火箭增速增程弹道(*RK* 段)、被动弹道 2(*KSC* 段),如图 2 - 20 所示。

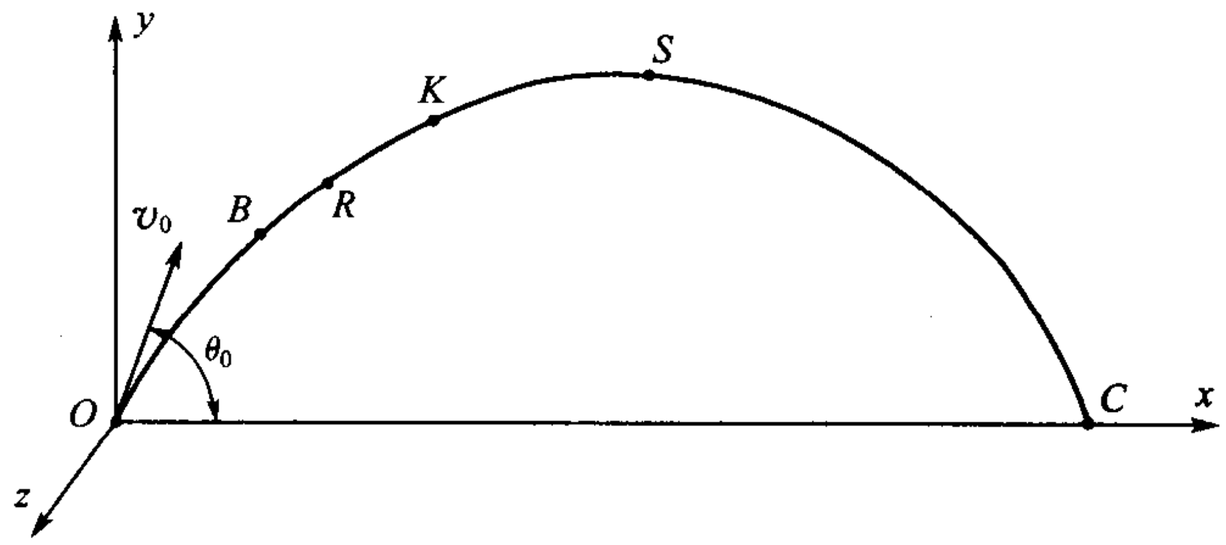


图 2-20 底排—火箭复合增程弹弹道轨迹

在全弹道上存在 6 个特征点，即发射起点（*O*）、底排工作结束点（*B*）、火箭点火工作点（*R*）、火箭工作结束点（*K*）、弹道顶点（*S*）、弹丸落点（*C*）。

O 点为底排药剂的理论点火时间，但实际的底排点火时间有推后趋势并存在一定的散布。*B* 点为底排药剂的燃烧结束点，由底排药剂的空中燃烧特性决定。*R* 点为火箭药剂的理论点火时间，但实际的火箭点火时间存在一定的散布。对优化设计的复合增程弹道方案，该段弹道一般不应存在，实际的 *R* 点通常会在之前。只有当火箭实际点火时间比预先设定点火时间滞后，才会有该段弹道的存在。理论设计上 *R* 与 *B* 两点重叠最佳。*K* 点为火箭药剂的燃烧结束点，由火箭药剂的空中燃烧特性决定。

在弹丸飞行稳定性和弹道后段的大气气象条件相同的情况下，*B* 点与 *K* 点的弹道诸元完全确定 *KSC* 段的弹道，即完全确定弹丸的射程与偏航或 *C* 点的弹道诸元。

2.4.5.4 底排与火箭的工作时序与工作方式

由底排减阻机理及规律可知，底排装置最佳的点火工作时机是弹丸出炮口即工作，这时弹丸空气阻力最大，底阻最大，减阻效果最好；而由火箭助推原理可知，火箭助推装置不宜一出炮口即点火工作，其主要原因有：

① 炮口扰动大，经火箭助推会加大横向散布精度；

② 炮口附近弹丸阻力加速度最大，火箭助推能量损失大，而增速效果较差；

③ 炮口附近弹道区段是底排工作的最佳时域。

所以，底排—火箭复合增程弹正常的工作时序应该是底排在先、火箭在后。

火箭药是高速燃烧型，其工作时间极短，一般在 2s 以下；而底排药则是缓慢燃烧型，其工作时间较长，一般在 20s 左右。若采用底排—火箭同步工作方式，在火箭结束后底排还有较长一段的工作时域。可见，底排—火箭采用不同的工作方式，其弹道特性也不同。

对于底排—火箭同步工作方式，复合增程弹的飞行弹道可分为四元弹道。

（1）底排前期工作弹道

即炮口至火箭点火时刻，底排减底阻效果最佳的工作时域。

（2）底排与火箭同时工作弹道

在该弹道段以火箭助推增程为主。当然两者同时工作会产生一定的干扰，有可能导致底排药剂终止燃烧或药柱破坏甚至掉落。

（3）底排后期工作弹道

理论计算与试验结果表明，这一阶段底排效果还较明显。

(4) 弹丸自由飞行弹道

对于底排—火箭异步工作方式,复合增程弹的飞行弹道可分为三元弹道:

① 底排工作弹道;

② 火箭工作弹道;

③ 弹丸自由飞行弹道。

2.4.5.5 结构组成及其作用分析

图 2-21 所示的是一种枣核形底排—火箭复合增程榴弹,该弹采用了弹底部串联式总体布局结构,由战斗部、引信、底排装置和火箭装置等构成。

底排装置与火箭装置的匹配设计是底排—火箭复合增程弹的关键环节之一。

(1) 底排装置

底排装置一般由底排壳体和底排药柱组成。底排药柱通常采用复合型底排药剂,为了给火箭发动机喷管留出排气通道,底排药柱不采用独立的点火具,而采用目前正在研制的烟火药剂递进式点火方式。

(2) 火箭装置

火箭装置由箭药燃烧室、火箭药柱、火箭空中点火具、喷管、喷堵、堵盖等零部件组成。火箭发动机的壳体通常在上下两端都车制螺纹,分别与战斗部壳体和底排装置壳体相连接。

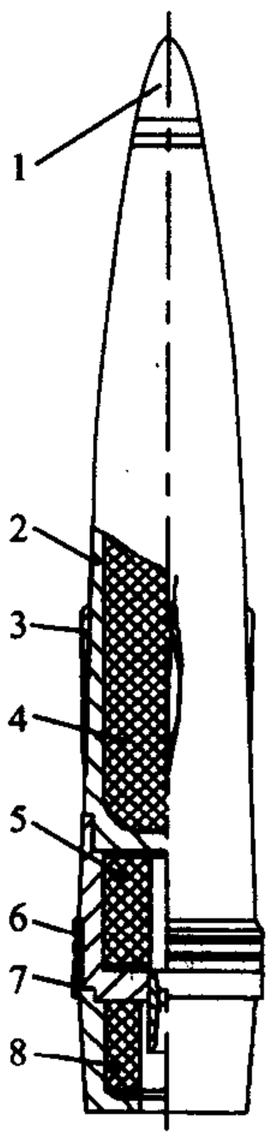


图 2-21 复合增程榴弹结构示意图

1—引信;2—弹体;3—定心块;4—炸药;5—火箭装置;6—弹带;7—闭气环;8—底排装置。

为了承受 10000g 以上火炮发射过载和膛内 300MPa 以上高温高压气体的冲击与烧蚀,燃烧室、喷管、喷堵、堵盖等零件必须构成一个抗高过载与抗高速旋转的结构组件。火箭发动机不工作时喷堵、堵盖必须密闭喷管排气通道,而火箭发动机开始工作时喷堵、堵盖则必须被顺利喷出,使喷管排气通道畅通。

目前可用于炮射火箭增程弹的火箭药主要有改性双基型和复合型两种。由于火炮用复合增程弹的总长受到飞行稳定性的限制,弹长设计分配的空间十分有限,希望火箭发动机占弹长的比例小些为好,这就要求箭药的比冲值大些为好。由于复合型箭药要比改性双基型箭药的比冲值大,故复合型箭药可以作为首选。

由于火箭发动机的起始工作时刻是在飞行弹道高空,则火箭药的点火必须采用延期点传火方式。延期点传火方式一般有两种:

① 火药延期;

② 电子定时。

后者在工程实现上要相对复杂许多,故一般采用火药延期点传火方式。

火药延期点传火方式的起始点火能源提供途径一般有两种：

① 发射时的高温高压燃气直接点燃火药延期体；

② 发射时的弹丸环境力(轴向惯性力或离心惯性力)击发火帽产生火焰点燃火药延期体。

前者是最为安全的点传火方式。

2.5 榴弹的发展演变与发展趋势分析

2.5.1 发展演变

榴弹是弹药家族中发展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榴弹以来，榴弹的发展已开始为“射程远、精度高、威力大”的三大目标注入时代发展的内涵。为追求“射程远、精度高、威力大”的弹药三大发展目标，榴弹经历了以下几方面的发展与演变。

2.5.1.1 弹形的演变

弹形的演变是以提高榴弹的射程为目标的。

早期的榴弹受到弹丸设计理论和火炮发射技术局限性的影响，其体形设计为平底短粗型。全弹长多数不超过5倍弹径，头弧部长度远小于其圆柱部长度。短粗型弹形制约了射程的提高。

20世纪初，榴弹的体形开始演变为平底远程型，其全弹长已超过5倍弹径，头弧部长度大于其圆柱部长度，射程有了一定程度的提高。这种弹形已成为中大口径榴弹的制式弹形。

20世纪60年代，榴弹出现了底凹远程型弹形，其外形与平底远程型相似。由于弹底部存有圆柱形底凹，较好地匹配了弹丸的阻心与质心位置，全弹长已超过5.5倍弹径，射程有了一定程度的提高。

20世纪70年代，榴弹出现了俗称为“枣核弹”的第二代底凹远程型弹形。在结构上除保留底凹结构外，其外形有几处较大变化：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，全弹长已超过6倍弹径。在尖锐的头弧部上通常固定安装着4片定心块，以解决枣核弹形的膛内定心问题。该弹形通常与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。

2.5.1.2 增程方式的演变

增程方式的演变是以进一步提高榴弹的射程、扩大增程效果为目标的。

仅通过弹形的改变提高榴弹的射程，其增程效果是有限的。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榴弹的平底远程型弹形上获得成功应用，底排减阻增程效果达到30%以上。随后20世纪80年代底排减阻增程技术在榴弹的枣核弹

形上获得成功应用。底排减阻增程技术使榴弹跻身于现代远程压制主用弹药之列。

20世纪90年代以来,将底排减阻增程技术和火箭助推增速增程技术集中应用在155mm、130mm口径榴弹的平底远程型弹形或枣核弹形上,充分利用底排增程技术和火箭增程技术的增程潜能,使155mm底排—火箭复合增程弹的最大射程已突破50km,130mm底排—火箭复合增程弹的最大射程已突破45km。底排—火箭复合增程弹的研制成功将大幅度拓展炮兵作战的纵深,目前已成为大力发展的新型远程弹。

2.5.1.3 破片形式的演变

破片形式的演变是以提高榴弹的杀伤威力为目标的。

早期的榴弹通过弹上引信适时控制弹丸爆炸产生自然破片,利用自然破片的动能(自然破片的飞散速度可达到900m/s~1200m/s左右)实现侵彻性杀伤。由于自然破片形状与质量的无规律性,自然破片的速度衰减相当快,使榴弹的有效杀伤范围有限。

将形状与质量预先设计的钢珠、钢箭、钨球、钨柱等预制破片制作成预制破片套体,并安装在榴弹弹体的外表面或内表面。这些预制破片与榴弹弹体爆炸形成的自然破片共同构成破片杀伤场,由于预制破片飞行阻力特性的一致性,带预制破片的榴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。

根据爆炸应力波的传播规律,在弹体的外表面或内表面上按照预先设计的参数进行机械加工刻槽,按照预先设计的剪切破坏沟槽将弹体控制形成形状与质量一定的预控破片。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络,从而确保在爆炸载荷作用条件下,使弹体按照预定网络有规律的破碎,形成形状与质量一定的预控破片。

2.5.1.4 炸药装药的演变

炸药装药的演变是以提高榴弹的杀伤威力和爆破威力为目标的。

炸药类型的改变直接影响着榴弹的威力和对目标的毁伤效果。对于同样弹体,将TNT炸药改为A—Ⅸ—Ⅱ,则毁伤元素对目标的毁伤效能会有显著的提高。同样,B炸药和改B炸药应用到榴弹中,榴弹的杀伤威力和爆破威力均有很大程度的提高。

2.5.1.5 弹体材料的演变

弹体材料的演变是以提高榴弹的杀伤威力和爆破威力为目标的。

榴弹早期的D50或D60弹钢材料目前基本由58SiMn、50SiMnVB等高强度、高破片率钢所取代。这些新型炮弹钢与高能炸药的匹配使用,使榴弹的综合威力得到显著提高。

2.5.2 发展趋势分析

2.5.2.1 利用先进增程技术大幅度提高远程打击能力

在射程方面从中近程(20km)发展到超远程(大于200km),中近程弹药采用减阻及装药改进技术,远程弹药采用火箭增程技术、底排/火箭复合增程技术、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/滑翔等复合增程技术。

就国外冲压增程弹药的发展现状来看,中大口径弹药采用冲压增程技术以后其射程可以达到 70km 以上,增程率达到 100%。冲压增程炮弹可能成为未来陆军低成本、远程压制弹药的主要弹种。

滑翔增程技术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。国外近年来开始研究利用固体火箭发动机与滑翔飞行原理结合的射程大于 100km 的复合增程超远程弹药(火箭/滑翔复合增程弹药)。

目前,美国正在进行射程大于 300km 的炮射巡航飞行式超远程弹药技术的研究,它与火箭/滑翔复合增程弹药的工作原理截然不同。

火箭/滑翔复合增程技术首先利用固体火箭发动机将弹丸飞行弹道高度提升到 20km 以上高空,弹丸到达弹道顶点后,启动滑翔飞行控制系统,弹丸开始无动力滑翔飞行,达到增程的目的,其飞行阶段为弹道式飞行 + 无动力滑翔飞行。该技术一般可使弹丸射程达到 150km 左右。

炮射巡航飞行式超远程弹药技术首先用火炮将弹丸发射到 10km 高空(弹道顶点),控制系统启动,同时动力装置启动。弹丸进入高空巡航飞行阶段,该阶段的飞行距离将大于 200km。动力装置工作结束后,弹丸进入无动力滑翔飞行,达到增程目的,其飞行阶段为弹道式飞行 + 高空巡航飞行 + 无动力滑翔飞行。该技术可使弹丸射程大于 300km。

先进超远程弹药技术根据动力装置的不同,又分为亚声速巡航飞行的超远程弹药(采用小型涡喷发动机)和超声速巡航飞行的超远程弹药(采用冲压发动机)。前者动力系统复杂,控制系统相对容易实现,并可采用火箭/滑翔复合增程弹的一些成熟技术,但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,是未来主要发展方向。

2.5.2.2 利用电子、信息、探测及控制等技术提高远程精确打击能力

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、卫星定位加惯导、末段制导等多项复合技术。

为了有效地提高压制武器弹药中单个目标的精度,在突破控测及制导元器件抗高过载能力的关键技术以后,国外许多国家开展了末制导压制弹药的研制工作。俄罗斯已装备和正在研制的末制导炮弹有 152mm“红土地”,美国正在研制 M712 式 155mm 激光制导炮弹。

与导弹相比,炮射压制弹药的特点是体积小、过载大、要求生产成本低,因此在进行高精度压制武器弹药研制时,必须进行探测、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的研究。

微机械技术与微电子技术相结合,形成了一代全新的微机电系统,由于它的低成本、耐高过载、高可靠性、通用性和微型化,使其在军事中有巨大的应用前景。正是由于它的出现,使得常规无控弹药逐步向制导化、灵巧化方向发展成为可能;也正是由于它的出现,使得常规无控弹药与导弹的界限越来越模糊。

微机电系统和微型制造技术的发展推动了微惯性器件和微惯性测量组合技术的发展,导致新一代陀螺仪和加速度计的产生。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。和传统的惯性仪表相比,微机械惯性仪表有体积小、

重量轻、成本低、可靠性好、工耗低、易于数字化和智能化、测量范围大等特点。

在远程压制弹药中微机电技术应用最多的是由微惯性测量组合与 GPS 接受器集成的微型制导系统,美国 EX－171 的火箭/滑翔增程炮弹就是应用了该技术。

随着压制武器弹药射程的不断提高,对弹药的射击及命中精度要求也越来越高,单靠一种技术措施已不能满足高精度的要求。因此,国外正在开展多模式复合制导和修正技术的研究,并在不断探索提高射击精度的新原理和新技术。

2.5.2.3 利用高效毁伤战斗部技术提高远程作战效能

在射程远、精度高的作战要求下,必然带来战斗部有效载荷的降低。为提高远程榴弹的威力,采用高效毁伤战斗部技术提高毁伤效率,满足不同的作战需求,力争使射程、精度和威力形成一个合理的匹配关系。

在战斗部威力研究方面,国内外大多侧重于战斗部总体和破片控制技术的研究,采用各种方法和技术措施提高对目标的毁伤能力,归纳起来主要包括如下几个方面:

① 提高破片的侵彻能力;

② 采用定向技术提高破片密度;

③ 采用含能新型破片。

含能破片作为一种新型破片,对战斗部具有很强的引燃和引爆能力,国外在此方面已作了很深入的研究工作,研制了三种类型的含能破片:第一种破片本身采用活性材料,当战斗部爆炸或者撞击目标时,材料被激活,释放内能,引燃、引爆战斗部;第二种是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;第三种是在破片内装填炸药,并放置延时控制装置,当破片侵入战斗部时,破片爆炸引爆目标战斗部。

含能破片能够高效毁伤导弹目标,在国内外受到高度重视。

2.5.2.4 利用多功能引信技术提高远程作战效能

多功能引信技术指的是一种或几种引信具有多种功能(如近炸、电子定时、触发、简易制导、弹道修正、联合可编程等),同时把点火与控制、弹道修正、制导与控制融为一体的引信技术。技术的成熟性将直接导致三军种引信的种类减少到几种或十几种,原有库存弹经过多功能引信的替换可大大提高命中精度和毁伤效能。

以美国为首的北约军事集团,为减少三军引信的种类,在 20 世纪 80 年代开始研究多功能引信的第一代产品,经过 10 年～15 年的发展,目前榴弹配有 M782 多选择引信,迫弹配有 M734A1 多选择引信,火箭弹配有 M174 电子时间引信,海军配用 EX437 多选择引信(2005 年装备部队)。通过红外技术、激光技术、毫米波技术与末制导的复合,仅更换一个引信,就能使常规无控榴弹变成末制导榴弹。随着 GPS 技术、MEMS 技术的成熟,捷联式 IMO 惯导系统也可在常规炮弹上使用,高精度的弹道修正将成为现实。海军多选择引信 EX437 就是一种多种功能引信。

根据我国现装备的技术状态、应用技术储备、研制和发展能力,以及国际上武器装备的发展趋势和未来现代化战争的需要,远程压制武器弹药的未来发展方向应该是:口径射程系列化,品种多样化,无控与精确化弹药共存。

第3章　穿甲弹

穿甲弹是以其动能碰击硬或半硬目标(如坦克、装甲车辆、自行火炮、舰艇及混凝土工事等),从而毁伤目标的弹药。由于穿甲弹是靠动能来穿透目标,所以也称动能弹。一般穿甲弹穿透目标,以其灼热的高速破片杀伤(毁伤)目标内的有生力量,引爆弹药、引燃燃料、破坏设施等。穿甲弹是目前装备的重要弹药之一,已广泛配用于各种火炮。

随着现代战场上各种活动兵器数量的增加及其防护装甲的增强,一般弹药难以对付,而穿甲弹因动能大、不易受屏蔽装甲的影响,因而越来越受到各国的重视。目前有攻击飞机、导弹的穿甲弹,攻击舰艇的穿甲弹及半穿甲弹,摧毁坦克及装甲输送车等目标的穿甲弹。攻击坦克顶甲、飞机装甲、导弹和各种轻型装甲目标时主要利用小口径穿甲弹;从正面和侧面攻击坦克目标及混凝土工事则利用大、中口径穿甲弹。

在装甲与反装甲相互抗衡的发展过程中,穿甲弹的发展已经历了4代:第一代是适口径的普通穿甲弹;第二代是次口径超速穿甲弹;第三代是旋转稳定脱壳穿甲弹;第四代是尾翼稳定脱壳穿甲弹(也称为杆式穿甲弹)。目前由于采用高密度钨(贫铀)合金制作弹体,使穿甲弹的穿甲威力和后效作用大幅度提高。在大、中口径火炮上主要发展钨(贫铀)合金杆式穿甲弹。在小口径线膛炮上除保留普通穿甲弹外,主要发展钨、贫铀合金旋转稳定脱壳穿甲弹,而且正向着威力更大的尾翼稳定杆式穿甲弹发展。目前还发展了高速动能导弹,其穿甲威力大,作战距离远,命中概率高,代表了穿甲弹又一新的发展方向。

3.1　装甲目标分析

贫铀、钨合金在脱壳穿甲弹上的应用,使得脱壳穿甲弹的穿甲性能跃上了一个新的台阶。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,装甲技术也取得了快速发展,相继出现了各种各样的装甲目标,如多层装甲、复合装甲、陶瓷装甲、贫铀装甲、反应装甲、主动装甲和模块式装甲等,其抗穿甲弹的能力大幅度地提高,例如第三代改进型坦克和第四代坦克正面防护装甲的抗穿甲弹能力可达到相当于700mm以上厚度的均质装甲钢板的水平。下面将介绍现代坦克的概况,分析装甲的性能和结构,研究其发展方向。

3.1.1　坦克概况

坦克是陆军的主要战斗车辆。现代坦克都加强了防护能力,配有夜视、夜瞄、激光测距、电子弹道计算机、双向稳定器(实施行进间射击)和自动装填装置,从而提高了射击精度和射速,成为陆军的主要突击力量。

坦克的操作驾驶装置一般位于车体前部,动力部件在后部,因此正面防护能力较强。图3-1所示是一般坦克的防护结构示意图。炮塔前部最厚,车体前装甲较厚,装甲法线

角 β 大(装甲法线与水平面夹角称为法线角,装甲板与水平面的二面夹角称为倾角,二者为互余),而坦克顶部、后部、侧面及车体底部的防护较为薄弱。

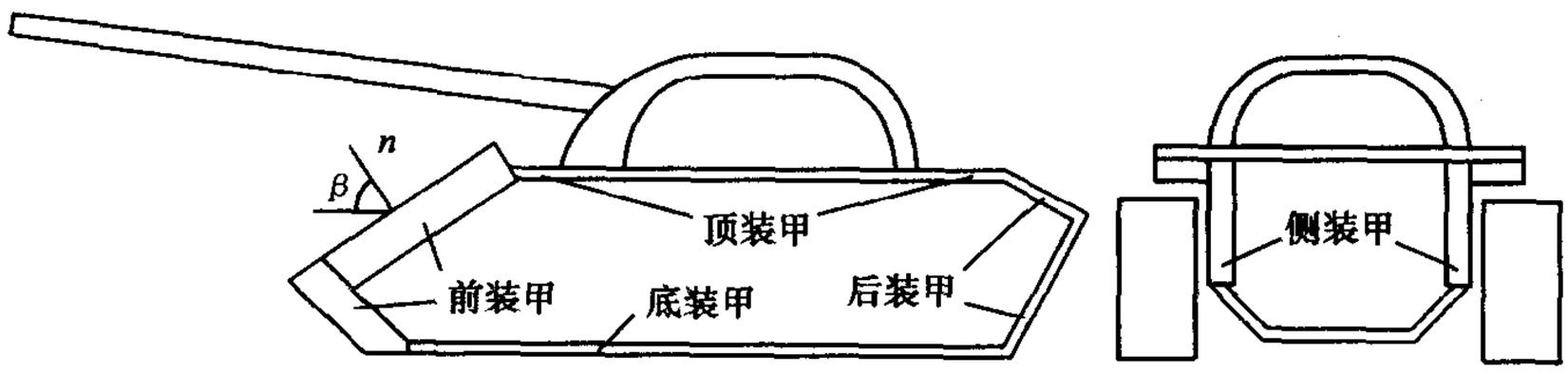


图 3-1　坦克的装甲结构示意图

表 3-1 列出了国外一些坦克的主要性能和结构参数,仅供参考。由此可以看出,坦克的装甲防护正在不断地改用新材料和新结构,普遍采用了多层间隔装甲、复合装甲、反应装甲、贫铀装甲等,同时,还改进了车体结构,增大了发动机的功率。这样不仅增大了坦克的防护能力,也增强了其机动性能。

表 3-1　国外坦克的主要性能

	苏 T80	俄 T-90	美 M1A1	美 M1A2	英挑战者Ⅱ	法 AMX 勒克莱尔	德豹Ⅱ	日本 90 式	以色列 MK3
装备时间	约 1984 年	约 1993 年	1985 年	约 1991 年	1990 年	约 1995 年	约 1979 年	1990 年	约 1986 年
乘员/人	3	3	4	4	4	3	4	3	
战斗质量/t	42~43	46.5±2%	57.2	63	62.5	50~53	55.2	48~50	61
车体长/m	7.4		7.958	9.828	8.327	6.88	7.72	9.76	8.78
车高(到炮塔顶)/m	2.2		2.438	2.438	2.49	2.46	2.46	2.34	2.65
火炮口径/mm(类型)	125(滑膛)	125(滑膛)	120(滑膛)	120(滑膛)	120(线)	120(滑)	120(滑膛)	120(滑)	120(滑膛)
装填方式	自动	自动	人工		人工	自动	人工	自动	
战斗射速/发·min^{-1}	6~8		4~6		12		4~7		
高低射界	-5°~18°		-10°~20°		-8°~15°			-6°~9°	-8°~20°
弹药基数/发	40	43	40		64	40			50
穿甲弹初速/($m·s^{-1}$)	1615	1700	1650	1470	1750		1500		
穿甲威力/mm(距离/m)		500 铀、460 钨(2000)	540(1000)				540(1000)		

（续）

	苏 T80	俄 T－90	美 M1A1	美 M1A2	英挑战者Ⅱ	法 AMX 勒克莱尔	德豹Ⅱ	日本 90 式	以色列 MK3
远距离反直升机能力	有炮射导　弹	有炮射导　弹	无						
装甲类型	复合/反应式	复合/反应/主动防护系统	复合、贫铀	贫铀	“乔巴姆”装甲	复合		复合/间隔	模块式特种装甲
正面抗穿甲弹能力/mm	500		450						
正面抗破甲弹能力/mm	650		700						
炮塔装甲/mm	复合装甲 400～500			贫铀			“乔巴姆”装甲		
车体前上甲板/mm	200(22°)						70(60°)		
车体前下甲板/mm	100(30°)						70(55°)		
两侧甲板/mm	60～80 加裙板						35		
发动机类型	燃气轮		AGT－1500 燃气轮		柴油机	带增压器柴油机		二冲程 10GZ 型柴油机	AV1790—9AR 柴
功率/kW	721	618	1103.25	1103.25	880	1185.5	1118.55	1100	882.6
最大速度/km·h^{-1}	65～75	60	66.7	67	56	71	72	70	55
越野平均速度/km·h^{-1}	45		46			50	55		
最大行程/km	400	470～550	465	460			520	300	

3.1.2　装甲钢板简介

装甲钢板结构可分为整体钢甲和间隔钢甲两种。整体装甲板按制造方法分铸造钢甲和轧制钢甲。轧制钢甲又可分为均质钢甲和非均质钢甲。非均质钢甲的表面层经渗碳或表面淬火，具有较高的硬度，而钢甲内部保持较高的韧性。坚硬的表面层易使穿甲弹弹头破碎或产生跳弹，能降低穿甲作用。高韧性的内层使变形的传播速度降低而减小了着靶处的应力，起着吸收弹丸动能的作用，使弹丸侵彻能力下降。均质钢甲则在整个厚度上具有相同的机械性能和化学成分(合金钢)。均质钢甲按硬度的不同又可分为 3 种：

① 高硬度钢，$d_{HB}=2.7mm\sim3.1mm$，如2Π板，板厚 $b\leqslant20mm$。这种钢板坚硬，但韧性不高，较脆。抗小口径穿甲弹的能力较强，当碰击速度较高时，靶板背面容易产生崩落。

② 中硬度钢，$d_{HB}=3.4mm\sim3.6mm$，如603板、43ΠCM板。这种钢板的综合机械性能较好，硬度较高，有足够的冲击韧性和强度极限，常用作中型或重型坦克的前部和两侧装甲。

③ 低硬度钢，$d_{HB}=3.7mm\sim4.0mm$，这种钢板的冲击韧性较高，但强度极限较低，通常用于厚度大于120mm的厚钢甲。增大装甲的厚度、法线角和提高装甲板的机械性能，可大幅度提高装甲的抗弹性能。

间隔装甲是指装甲钢板间具有间隙或装有其它部件的双层或多层钢甲。其作用是使破甲弹提前起爆、穿甲弹弹体遭到破坏并消耗弹丸的动能、改变弹丸的侵彻姿态和运行路径、提高防护能力。间隙装甲结构一般是在距主装甲之上的一定距离处再加一层较薄的防护装甲。

3.1.3　新型装甲简介

火力、机动、防护是坦克的3大性能指标，它们是相互依存、相互制约的。近年来防护技术有了很大发展，不断出现新型装甲。除均质装甲外，装甲类型还有：复合装甲(含间隙装甲)，反应装甲、贫铀装甲和主动防护。均质装甲是一种传统的装甲，通过提高装甲材料的力学性能、增加装甲厚度与法线角来提高抗弹能力。虽然单一均质装甲难以防御现代反坦克弹药的攻击，但它仍然是坦克防护的最基本的装甲，而且其它类型的装甲多是在此基础上改进而成的。其它类型的装甲防护性能，通常也是以均质装甲为基础来评定的。

3.1.3.1　复合装甲

20世纪70年代后期，苏联T－72坦克首上复合装甲和英国挑战者坦克的乔巴姆(Chobham)装甲问世，并得到迅速发展。进入20世纪80年代以后，复合装甲已成为现代主战坦克的主要装甲结构形式，也是改造现有老坦克、强化装甲防护的主要技术措施。这种新型装甲结构大大提高了坦克装甲防护能力，与均质装甲相比，对动能弹的抗弹能力提高了2倍。现在以复合装甲为主要内容的特种技术，已成为未来坦克加强装甲防护的关键技术。

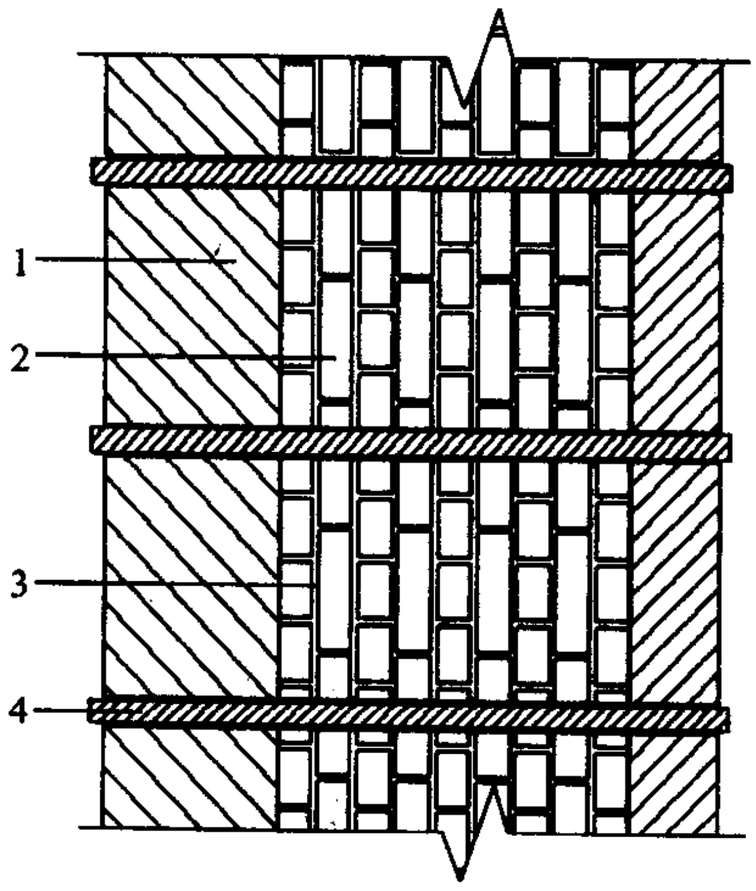


图3－2　乔巴姆装甲示意图

1—外层钢装甲；2—陶瓷组件；3—铝或塑料外壳；4—固定螺栓。

图3－2所示是英国乔巴姆装甲示意图，由内、外装甲和中间填充陶瓷薄板组成，该薄板在铝、塑料或尼龙壳体中。

复合装甲一般由两层或多层装甲板之间放置夹层材料结构组成。夹层可为玻璃纤维板、碳纤维板、尼龙、陶瓷、铬刚玉等。

(1) 纤维增强复合材料

表3－2列出了坦克和装甲车辆复合装甲用纤维

增强复合材料夹层及内衬的情况。

所用纤维可以是非金属材料,也可以是金属材料。不同类型的纤维以及纤维含量、纤维表面处理技术、纤维纺织方式,不同类型的树脂、树脂含量,不同的复合技术(包括层叠数量、叠层方式及叠合固化工艺等),都会对纤维复合材料的抗弹能力产生影响。

表 3-2 坦克和装甲车辆复合装甲用纤维增强复合材料夹层及内衬

序号	类型	复合装甲夹层及内衬构成	应 用
1	抗弹型	玻璃纤维布—酚醛树脂—聚乙烯醋缩丁醛树脂	T-72 坦克
2	抗弹型	玻璃纤维布—环氧树脂	主战坦克
3	抗弹型	多向排列玻璃毡—环氧树脂	主战坦克
4	抗弹型	玻璃纤维布—环氧树脂—酚醛树脂	主战坦克
5	抗弹型	凯夫拉网(与贫铀元件复合)	M1A1 坦克
6	防辐射型	短玻璃纤维—磷苯二甲聚酯树脂—双酚基聚酯树脂(含铅)	衬
7	抗崩落型	凯夫拉 29/49 纤维—酚醛树脂	M113 装甲车

(2) 抗弹陶瓷

陶瓷成为现代复合装甲重要材料的原因,在于现代坦克需要轻质防弹材料。它能在质量增加不大或不增加的条件下,大幅度地提高抗弹能力。

对钨合金长杆弹侵彻钢—陶瓷—钢(垂直侵彻,速度 800m/s ~ 1400m/s)的研究表明,陶瓷受碰撞后,抗弹作用大致如图 3-3 所示。

首先,由于陶瓷的高压缩强度或高硬度,使长杆弹体变形、断裂或偏转。在长杆深入侵彻的过程中,细碎状陶瓷粉向杆体运动的相反方向流动,对长杆弹侵彻产生较大的摩擦阻力;同时在陶瓷材料内形成许多锥形裂纹,并且在拉应力作用下形成许多碎片,这些碎片对弹杆具有良好的磨蚀作用,使弹杆减短及终止侵彻。

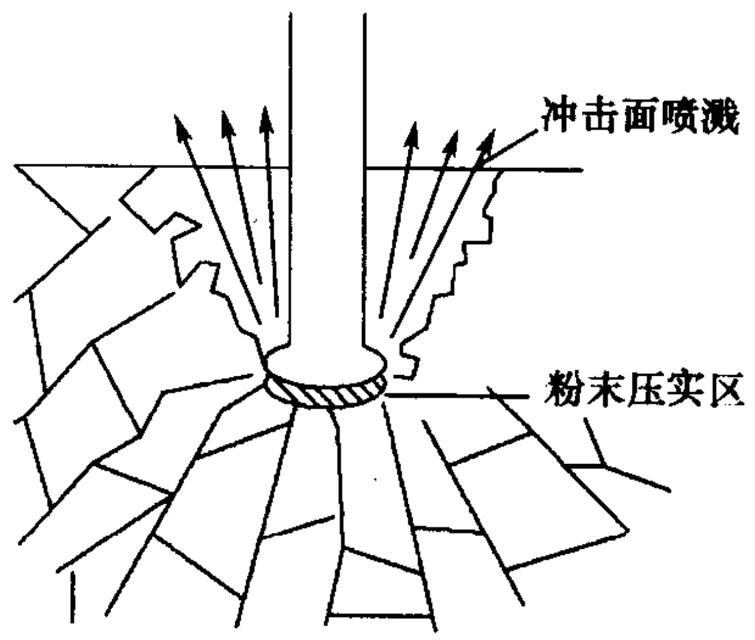


图 3-3 陶瓷板遭受长杆弹体破坏示意图

俄罗斯 PT-5 式坦克,四周都装有先进的复合装甲,在铸钢炮塔内外两层装甲之间放置陶瓷层。这种装甲可防御来自任何方向的攻击。坦克首上装甲是一种“弹簧锁(滑动)式装甲”,它由 6 层组成,外面两层为钢板,中间两层为陶瓷板,内部两层也为钢板。中间两层陶瓷板像两扇可滑动的门,嵌在上、下两条导轨上。当被穿甲弹击中时,外面两层钢板先使弹体减速,待弹体碰到中间两层陶瓷板时,因陶瓷板可以滑动而使弹体改变侵彻方向及侵彻姿态,大量吸收弹体能量,从而可有效地防御穿甲弹的攻击。

3.1.3.2 反应装甲

目前所说的“反应装甲”指的是炸药爆炸式反应装甲。反应式装甲块的基本结构如图 3-4 所示,由前、后板(钢板)和中间夹层(钝感炸药)构成。

反应式装甲块大致由2mm厚的炸药层夹在1mm厚的钢板盒中间构成爆炸块。该爆炸块又装在1.5mm厚钢板盒内，盒高100mm，宽250mm，长度根据安装部位而定。

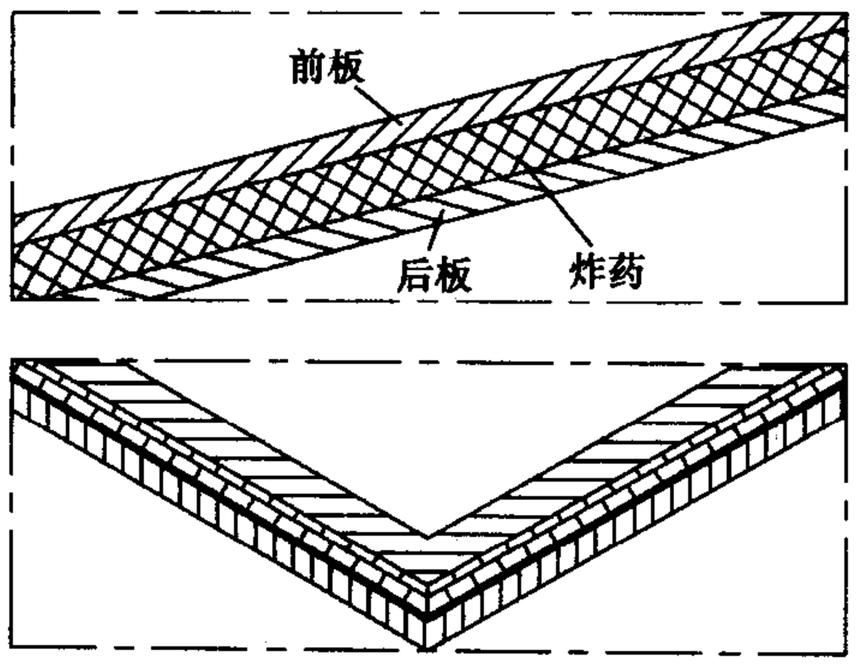


图3-4　反应式装甲块

第一代反应装甲可使破甲弹的破甲深度损失30%～40%。但对杆式穿甲弹基本上没有作用。

第二代反应装甲兼有防护杆式穿甲弹和破甲弹的能力。其外形尺寸和内部结构大致与第一代相当，只是炸药性能有所变化。第二代反应装甲使杆式穿甲弹穿深损失达16%～67%。这是对杆式穿甲弹的挑战，也是穿甲弹研制者面临的课题。

反应装甲防护原理简述如下：

当弹体或射流撞击在反应装甲上时，炸药起爆，爆炸生成物推动前、后钢板相背运动。运动中的钢板以及爆炸生成物，对弹体或射流产生横向作用，使弹体发生偏转甚至会使弹体或射流断裂，从而降低对主甲板的侵彻能力。

尽管反应装甲还存在诸如爆炸可能使车体主装甲变形、可能损坏观瞄器材、战场上难于及时更换、战场上遭轻武器射击虽不会被引爆但却会受到不同程度的损坏，而影响防护的可靠性等问题需要解决，但由于它的良好防御性能，特别是对杆式弹的有效防护，因此，反应装甲仍将是坦克采取的主要防护措施之一。

3.1.3.3　贫铀装甲

贫铀装甲也是一种复合装甲。提高靶板材料密度可降低杆式穿甲弹的侵彻能力。贫铀合金的密度约为钢的2.5倍，且贫铀合金可获得高强度、高韧性，有利于提高靶板的抗弹能力。1991年在海湾战争中美国首次在M1A1坦克上使用了贫铀装甲。

贫铀装甲由钢—贫铀夹层—钢3层组成，有关贫铀夹层成分、工艺和结构都严格保密，据推测贫铀夹层可能是碳化铀晶须嵌在纤维纺织网内构成的网状结构夹层，放在复合装甲中间起骨架作用，中间再嵌入陶瓷装甲块。网状贫铀夹层一方面抵御穿甲弹的攻击，另一方面又限制陶瓷粉末飞散，充分吸收穿甲弹或金属射流的能量。采用贫铀装甲后，M1A1坦克可防穿深达600mm均质装甲板的动能穿甲弹，可防穿深达1000mm～1300mm均质装甲板的破甲弹。

3.1.3.4　主动防护

美陆军正在发展一种新型主动防护系统，由传感器网、计算机和反击弹组成。当来袭弹丸被传感器网感知时，计算机能计算出来袭弹丸情况，并指令相应的反击弹作用，使弹丸偏转、折断或失效。这种灵巧装甲系统可装在装甲车外部约30cm处。

俄罗斯PT-5式坦克的主动防御系统(ARENA)装有一部可探测来袭目标的雷达，一旦探测到来袭目标，装在炮塔上的榴弹发射器一齐射出大量弹丸，将来袭目标击毁于坦克之前。

3.2 对穿甲弹的性能要求和穿甲作用

3.2.1 对穿甲弹的主要性能要求

3.2.1.1 威力

对穿甲弹的威力要求是指能在规定射程内从正面击穿装甲目标,并具有一定的后效作用——有效毁伤目标(即在目标内部有一定的杀伤、爆破和燃烧作用)。

(1) 威力考核靶

在穿甲弹的生产与科研过程中,为考核穿甲弹的穿甲威力,一般把穿甲弹要对付的实际目标转化为一定厚度和一定倾斜角的均质靶板,这样便于考核和评价穿甲弹的穿甲威力。如对付的目标是某坦克的复合装甲板,要考核穿甲弹的穿甲威力,就需要这样的装甲板。以往的经验表明,这种抗弹能力较高的装甲板价格很高并且重复抗弹的性能较差,也就是说,一块很贵重的板,只能打一两发穿甲弹,不仅不经济,同时又难以取得稳定的穿甲威力数据。但是对于这种复合装甲板,进行少量的摸底试验,以确定与其具有相同抗弹能力的均质装甲靶板,仍然是不可缺少的。大量的科研及生产验收威力试验应当使用这种具有相同抗弹能力的均质装甲靶板,因为它完全克服了实际装甲靶板不耐重复打击和价格昂贵的缺点。

随着装甲技术的快速发展,如前所述,出现了各种各样的装甲,其抗穿甲弹的能力大幅度地提高,例如一些国家目前装备的第三代改进型坦克及正在研制的第四代坦克正面防护装甲,抗穿甲弹的能力达到相当于 650mm ~ 750mm 厚的均质装甲靶板的水平。700mm 厚的均质装甲靶板的制造、使用仍然不够方便和经济,大量的试验结果表明,长杆侵彻体的穿甲深度与均质装甲靶板的厚度、弹丸的着靶速度矢量与靶板法线之间的夹角 α(称为弹丸着靶角),存在如下的关系(见图 3 - 5 所示的穿甲威力示意图)

$$S = \delta/\cos\alpha$$

式中,这一关系在 $\alpha = 0° \sim 70°$的范围内误差不大。因此进行穿甲威力试验可以采用 220mm ~ 450mm 厚的均质装甲靶板,再选取不同的法向角即可得到不同厚度的均质装甲靶板目标。

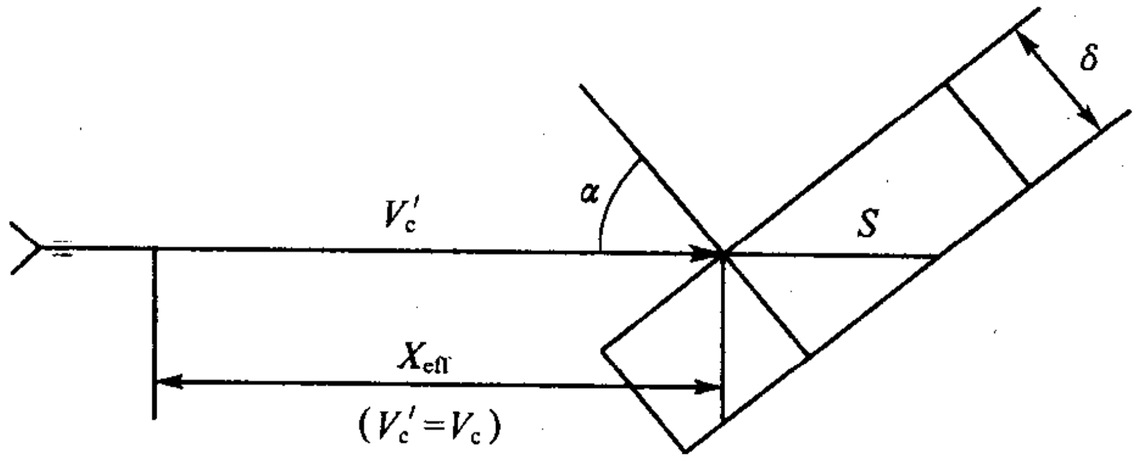


图 3 - 5 穿甲威力示意图

(2) 对靶板的穿透率

目前多使用50%或90%穿透率的概念。穿透或穿不透是一个随机事件,对于一定结构的弹丸和装甲目标,弹丸的着靶速度越高,穿透的概率越大;反之,着靶速度越低,穿透的概率越小。对于穿甲弹结构与目标都确定的情况,在某着靶速度段内,影响穿甲的随机因素还很多,通常认为弹丸穿透装甲事件服从正态分布。

对于一定的装甲目标,每种弹丸都有着各自的50%穿透率的速度,记为 V_{50}, V_{50}的标准方差记为 $\sigma_{V_{50}}$。V_{50}和 $\sigma_{V_{50}}$可以使用多种试验方法求得,通常使用升降法或兰利法(Lanplie)。V_{50}越小表示穿甲能力越大,$\sigma_{V_{50}}$越小表示穿甲越稳定。目前我国对穿甲威力的评价指标都使用90%穿透率的速度 V_{90}。V_{90}与 V_{50}的关系为

$$V_{90} = V_{50} + 1.28\sigma_{V_{50}}$$

一种传统的评价方法为:对于一定的装甲目标,每种弹丸都有着各自的最小穿透速度,即弹丸着速低于该值(或范围)时就不能穿透,此速度称为极限速度 V_c。V_c的大小标志着弹丸穿甲的能力,对于相同的装甲目标,V_c越小,穿甲能力越大;V_c越大,穿甲能力越小。V_c可近似认为与 V_{90}相等。

(3) 穿甲威力的典型表示方法

① 在2000m(或 X)距离处穿透均质靶板的厚度为 δ,穿透率不小于90%。

② 在2000m(或 X)距离处穿透 δ/α 均质靶板,穿透率不小于90% 。其中 δ 为靶板厚度,α 为靶板法向角,如150mm/60°、150mm/71°、220mm/68.5°等。

③ 对北约重型装甲板150mm/60°的穿甲距离为5000m(或 X),穿透率不小于50%。

④ 对北约重型三层靶板(参见图3-30)的穿甲距离8000m(或 X),穿透率不小于50%。

3.2.1.2　密集度

坦克、自行火炮和装甲车等现代装甲目标的机动性好,体积小,而穿甲弹必须直接命中,才可能毁伤目标。因此要求武器系统具有很高的射击精度——包括火控系统的精度和射弹密集度,而很好的射弹密集度正是对穿甲弹的重要要求。

对穿甲弹的密集度,用高低和方向中间误差 $E_Y \times E_Z$ 的大小来评定,目前穿甲弹的指标一般不大于0.30m×0.30m。

(1) 表示穿甲弹密集度的种类

中间误差,一般用 E 表示;

标准偏差,一般用 σ 表示。

(2) E 与 σ 的关系

$$E = 0.6745\sigma$$

(3) 密集度表示方法

1000m 立靶密集度 $E_Y \times E_Z \leqslant 0.30\text{m} \times 0.30\text{m}$;

密集度 $E_Y \times E_Z \leqslant 0.30\text{mil} \times 0.30\text{mil}$。

(4) 习惯用法

我国与俄罗斯用 E;

北约国家用 σ。

3.2.1.3 直射距离

直射距离是指弹道顶点高度等于给定目标高时的射程。根据装甲目标实际高度，通常取为 2m。为此射击中，当目标位于直射距离内时，可快速直接瞄准射击。

穿甲弹必须具有高初速、低伸弹道，才能及时、有效地摧毁机动灵活的装甲目标。直射距离越远，表明弹道越低伸，穿甲弹的性能越好。初速越高，弹道系数越小，弹道越低伸。

3.2.1.4 武器系统的机动性

要满足穿甲弹的威力性能越来越高的要求，必然导致炮口动能增大，这将直接影响火炮及武器系统的机动性能。但在战争中，武器系统的机动性是非常重要的。炮口动能的大小，直接影响着武器系统的质量，炮口动能越大，质量越大，其机动性能越差。因此，在确定弹丸的初速和弹丸质量时，必须综合考虑，以解决威力和机动性的矛盾。而脱壳穿甲弹虽然初速很高(可达 1800m/s 以上)，但是弹丸的质量轻而威力大，这在一定程度上是解决上述矛盾的良好途径。

3.2.2 穿甲作用

穿甲弹靠弹丸的碰击侵彻作用穿透装甲，并利用残余弹体、弹体破片和钢甲破片的动能或炸药的爆炸作用毁伤装甲后面的有生力量和设施。因此整个作用过程包含碰撞侵彻作用、杀伤作用或爆破作用。下面简述碰撞侵彻作用——穿甲作用。

3.2.2.1 弹丸与装甲钢板的基本破坏形态

不同弹丸对不同强度和厚度钢甲射击时，钢甲将产生以下几种基本破坏形态。

(1) 韧性穿甲

当尖头穿甲弹垂直碰击机械强度不高的韧性钢甲时出现如图 3－6 所示韧性穿甲情况。钢甲金属向表面流动，然后沿穿孔方向由前向后挤开，钢甲上形成圆形穿孔，孔径不小于弹体直径。出口有破裂的凸缘。当钢板厚度增加、强度提高，或法向角增大时，尖头穿甲弹将不能穿透钢甲，或产生跳弹。

(2) 冲塞式穿甲

钝头穿甲弹和被帽穿甲弹碰击中等厚度的均质钢甲以及渗碳钢甲时，由于力矩的方向与尖头弹不同，出现转正力矩，弹丸不易跳飞，如图 3－7 所示。碰击时弹丸首先将钢甲表面破坏，形成弹坑，然后产生剪切，靶后出现塞块，如图 3－8 所示，称冲塞式穿甲。

(3) 花瓣型穿甲

当锥角较小的尖头弹和卵形头部弹丸侵彻薄装甲时，弹头很快戳穿薄板。随着弹头部向前运动，靶板材料顺着弹头表面扩孔而被挤向四周，穿孔逐步扩大，同时产生径向裂纹，并逐渐向外扩展，形成靶背表面的花瓣型破口。如图 3－9 所示。

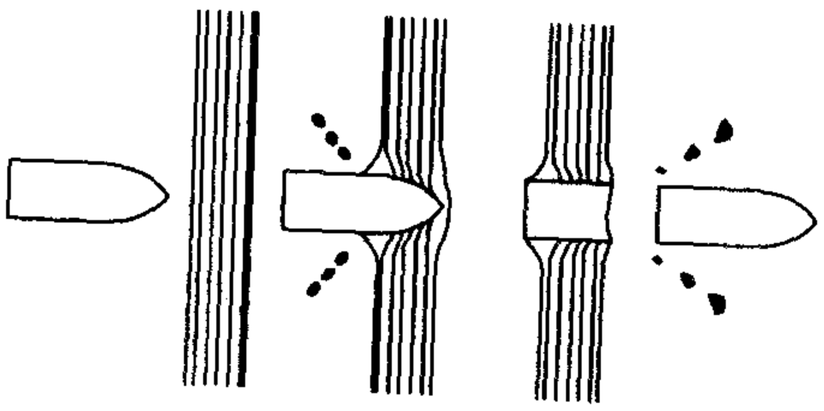


图3-6　尖头弹的韧性穿甲

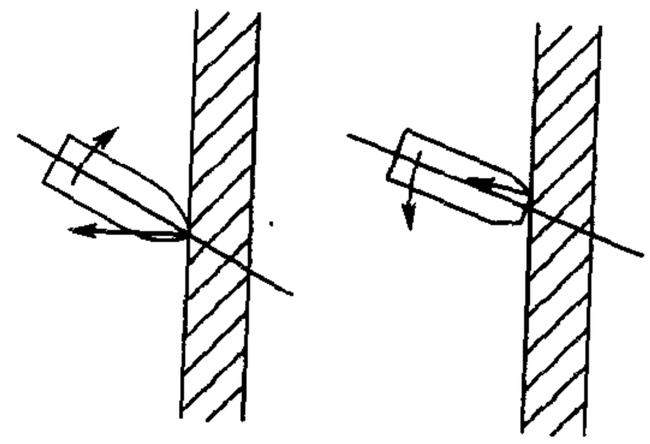


图3-7　尖头弹和钝头弹对倾斜钢甲的碰击

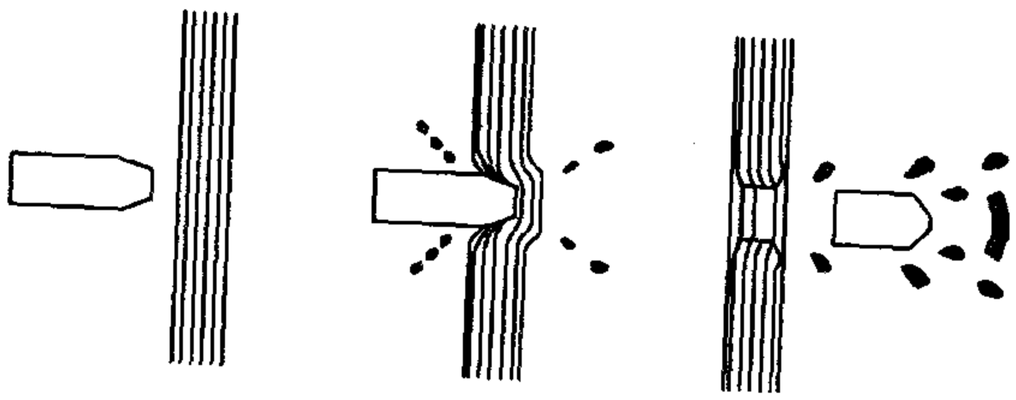


图3-8　钝头弹的冲塞式穿甲

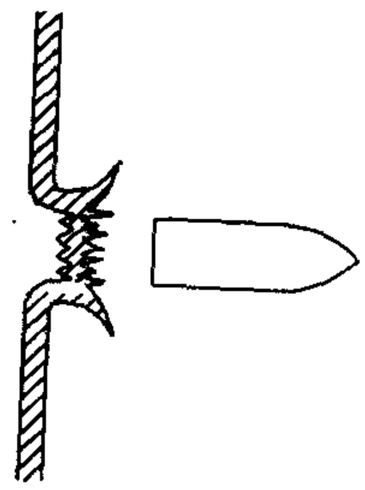


图3-9　花瓣型穿甲

(4) 破碎型穿甲

弹丸以高着速穿透中等硬度或高硬度钢板时，弹丸产生塑性变形和破碎，靶板产生破碎并崩落，大量碎片从靶后喷溅出来，如图3-10所示。



图3-10　破碎型穿甲

上述是基本穿甲形态，而真实穿甲过程一般呈综合型穿甲形态。如杆式穿甲弹在大法向角下对钢甲的破坏形态，除了碰击表面出现破坏弹坑之外，弹、靶产生边破碎边穿甲，最后产生冲塞型穿甲。这种穿甲作用详见图3-33。

3.2.2.2　影响穿甲作用的因素

(1) 侵彻体的着靶比动能

穿孔的直径、穿透的靶板厚度、冲塞和崩落块的质量取决于侵彻体着靶比动能 $e_c = 4E_c/(\pi d^2)$（d 为飞行弹体直径）。这是由于穿透钢甲所消耗的能量是随穿孔容积的大小而改变的（即单位容积穿孔所需能量基本相同）。因此要提高穿甲威力，除应提高侵彻体的着速外，同时还需适量缩小侵彻体直径。

(2) 弹丸的结构与形状

弹丸的形状不仅影响弹道性能，也影响穿甲作用。对于旋转稳定的普通穿甲弹，虽然希望弹丸的质量大，但其长径比不宜大于5.5，这样既可保证其在外弹道上的飞行稳定性，又可防止着靶时跳弹；在穿甲爆破弹弹体的弹头部适当位置预制一个或两个断裂槽或配制被帽，在穿甲过程中可有效防止暴露药室，从而提高威力。对长杆式穿甲弹，则希望尽量增大长径比，因为可以较大幅度地提高比动能，从而大幅度地提高穿甲威力，还可增

加弹丸相对质量,减小弹道系数,从而减少外弹道上的速度下降量。

(3) 着靶角的影响

着靶角对弹丸的穿甲作用有明显的影响。当弹丸垂直碰击钢甲时(着靶角为0°),弹丸侵彻行程最小,极限穿透速度最小。当着靶角增大时,极限穿透速度增加,因为弹丸侵彻行程增加,无论均质、非均质钢甲都有相同的规律,但对非均质钢甲影响大些。

(4) 装甲机械性能、结构和相对厚度

弹丸穿甲作用的大小在很大程度上取决于钢甲的抗力。而钢甲的抗力取决于其物理性能和机械性能。钢甲的机械性能提高、相对厚度(靶板厚度与侵彻体直径之比)增大、非均质性增大、密度增大、有间隙的多层结构等都会使穿深下降。

(5) 弹丸的着靶姿态

弹丸轴线和着靶速度矢量的夹角称为章动角,也称攻角。章动角越大,在靶板上的开坑越大,因而穿甲深度越小。对长径比大的弹丸和大法向角穿甲时,章动角对穿甲作用的影响更大。

3.3 普通穿甲弹

普通穿甲弹是早期出现的适于口径的旋转稳定穿甲弹,目前除在小口径火炮上还有应用外,大部分都已被淘汰。但其结构及其穿甲作用对于研制对付一些特殊目标的特殊弹种仍具有参考意义。普通穿甲弹直径不大于37mm时,通常采用实心结构,并配有曳光管;为了提高对付薄装甲车辆的后效,一些小口径穿甲弹也装填少量炸药。弹体直径大于37mm时都有装填炸药的药室,并配有延期或自动调整延期弹底引信,弹丸穿透钢甲后爆炸。为了提高爆炸威力,大部分海军用穿甲弹都适当地增加了炸药装药量,这种穿甲弹常称为半穿甲弹。根据头部形状的不同,普通穿甲弹可分为尖头穿甲弹、钝头穿甲弹和被帽穿甲弹。

普通穿甲弹的结构特点是弹壁较厚($\lambda_\delta = (1/5 \sim 1/3)\,d$),装填系数较小($\alpha = 0 \sim 3.0\%$),弹体采用高强度合金钢。图3-11所示为普通穿甲弹的典型结构,由风帽1、弹体2、炸药3、弹带4、引信5、曳光管6、引信缓冲垫和密封件等组成。

3.3.1 尖头穿甲弹

尖头穿甲弹侵彻钢甲时头部阻力较小,对硬度较低的韧性钢甲有较高的穿甲能力,但对硬度较高的厚钢甲侵彻时,头部易破碎,对倾斜的钢甲易跳飞。图3-12所示为老式尖头穿甲弹,其弹头弧形部母线半径约为$(1.5 \sim 2)\,d$,穿甲威力低,气动外形不好。37mm高射炮穿甲弹为尖头穿甲弹,由于弹头部辊压结合风帽后,弹头部尖长,改善了气动外形,如图3-13所示。

3.3.2 钝头穿甲弹

钝头穿甲弹(参见图3-11)碰击钢甲时,由于接触面积大,弹头部不易破碎;钝头部改善了着靶时的受力状态,在一定程度上可防止跳弹;钝头部便于破坏钢甲表面,易产生

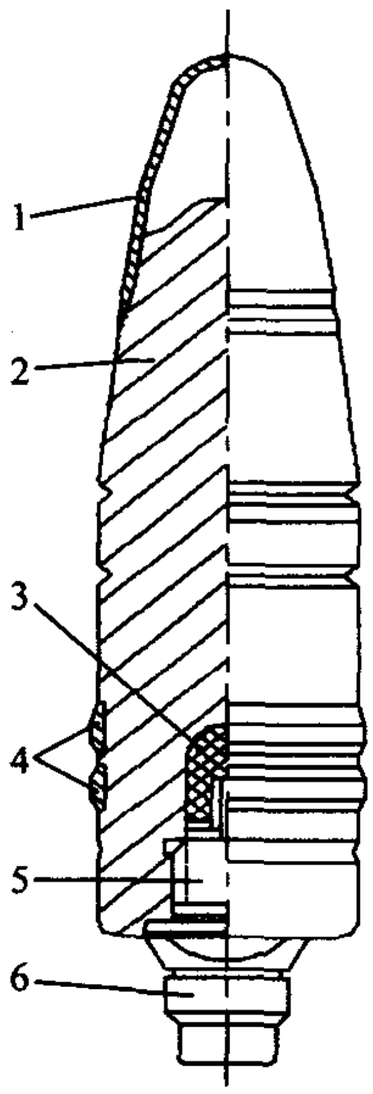


图 3－11 普通穿甲弹的结构
1—风帽；2—弹体；3—炸药；
4—弹带；5—引信；6—曳光管。

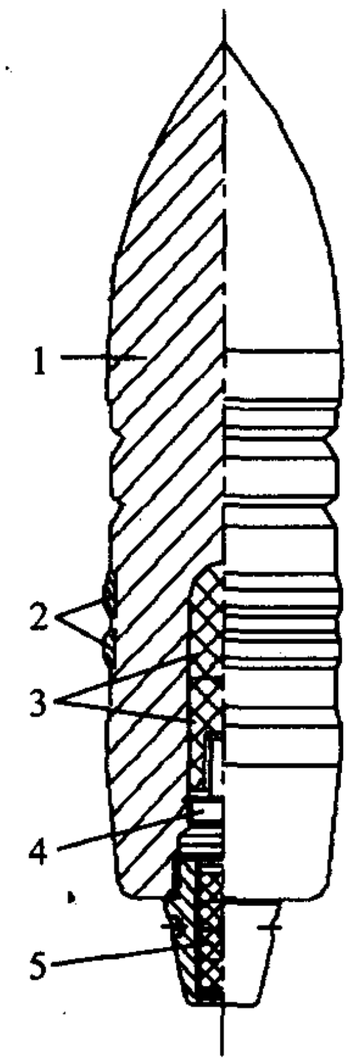


图 3－12 尖头穿甲弹
1—弹体；2—弹带；3—炸药；
4—引信；5—曳光管。

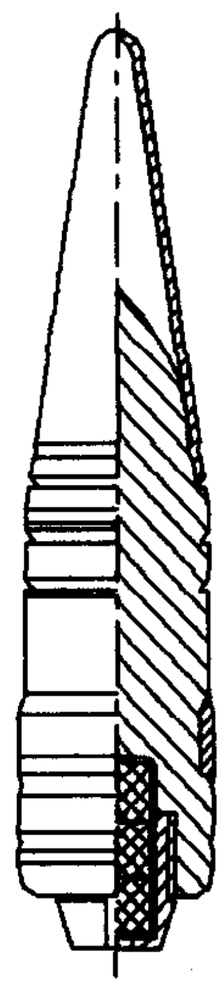


图 3－13 37mm 高射
炮尖头穿甲弹

剪切冲塞破坏，其穿甲能力高于尖头穿甲弹，可用来对付硬度较高的均质钢甲和非均质钢甲。钝头部直径约为$(0.6\sim0.7)d$，其形状有球面、平面和蘑菇形等多种，如图 3－14 所示。

从结构和材料上看，尖、钝头穿甲弹之间有共同之处：

在尖头穿甲弹和钝头穿甲弹的上定心部和药室顶部之间，制有 1 条～2 条环形沟槽，称为断裂槽。这是由于穿甲弹在碰击钢甲时的应力很大，大大高于弹材强度，弹头部不可避免地要破碎。为了防止弹体的破裂扩展到药室，确保弹丸的爆炸威力，在弹头部的适当位置车制断裂槽，控制头部破坏状态（见图 3－15）。断裂槽的位置、深度和形状，对弹体破裂形状都有影响，通常位于上定心部上方附近，距药室顶部位置一定距离，断裂槽槽深

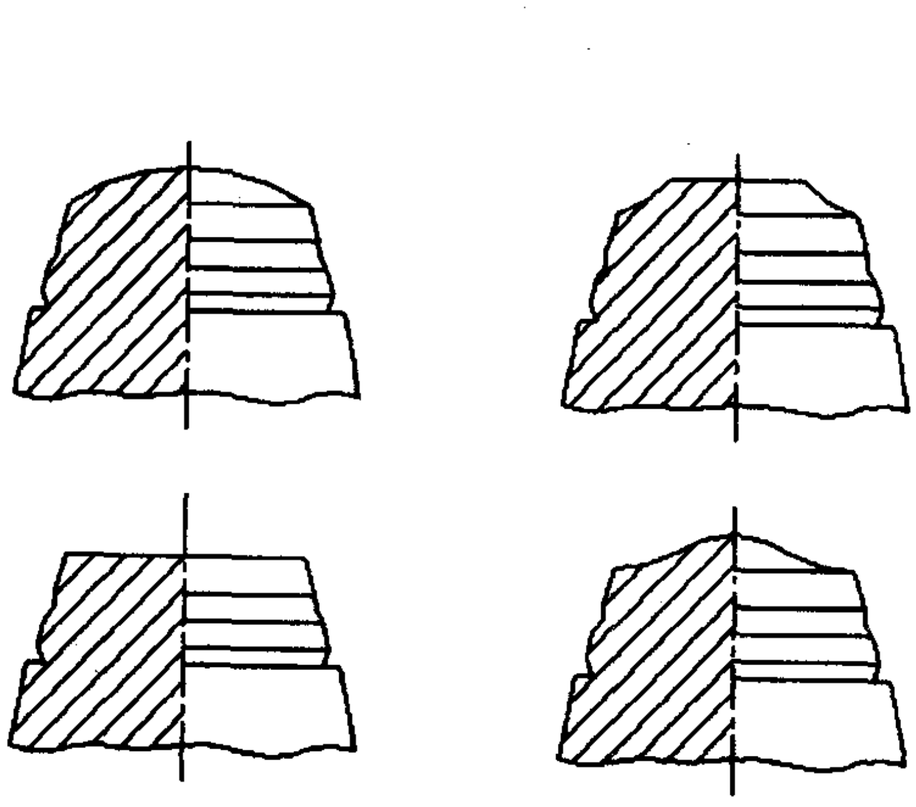


图 3－14 钝头部形状

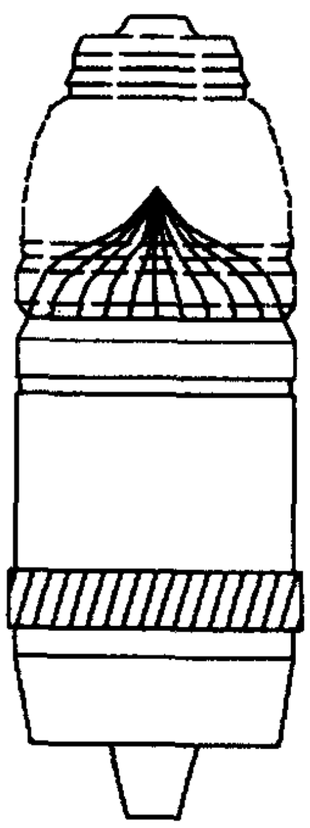


图 3－15 有断裂槽的弹头部破坏情况

约(0.04~0.05)d,断面形状有3种,如图3-16所示,一般采用(b)和(c)两种为好。

普通穿甲弹弹体材料为高强度、高硬度合金钢,如35CrMnSiA、Cr_3NiMo、$60Cr_2MoA$或$60SiMn_2MoVA$等,并采用一定规范的热处理。小口径穿甲弹弹体一般作等硬度热处理,大中口径穿甲弹采用头部(局部)淬火和尾部高温回火热处理工艺,使其头部具有较高的硬度,而尾部有较好的韧性。弹体硬度曲线如图3-17所示。这样处理后,不仅穿甲能力得到提高,弹带槽等部位的机械加工性能也得到了改善。

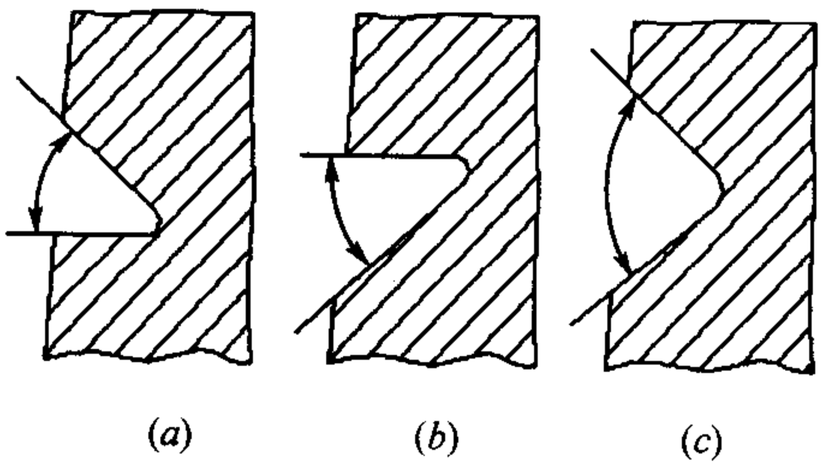


图3-16 断裂槽断面形状

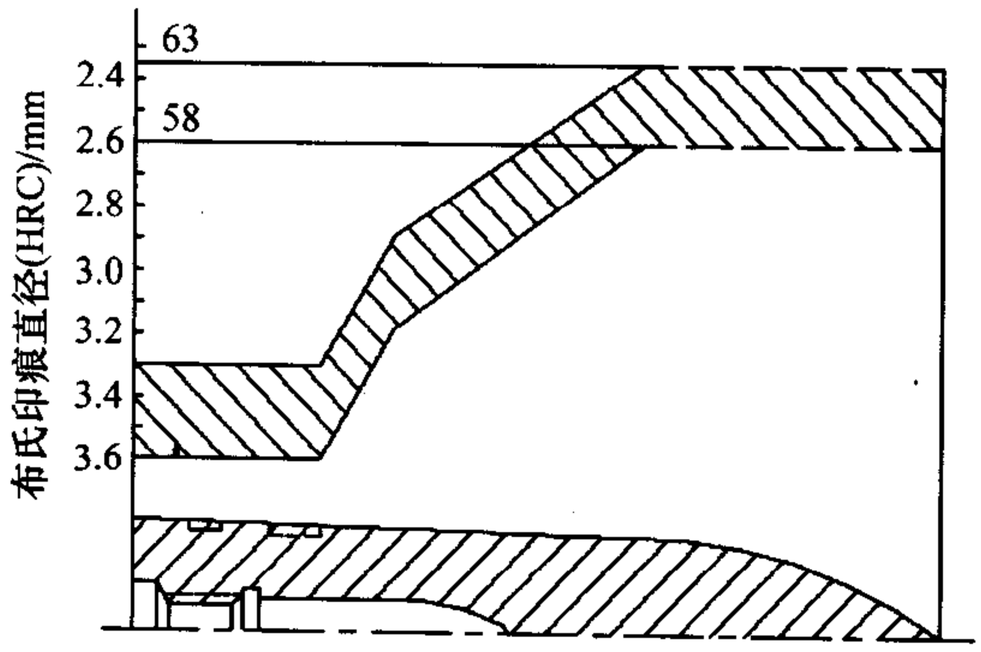


图3-17 100mm被帽穿甲弹弹体硬度分布曲线

3.3.3 被帽穿甲弹

被帽穿甲弹的结构(见图3-18)与钝头曳光穿甲弹大致相同,主要差别是被帽穿甲弹在尖锐的头部钎焊了钝形被帽。

被帽作用是尽可能避免倾斜穿甲时产生跳弹和保护弹头部使其碰击目标时不破碎。被帽较弹体的硬度低而韧性较好,为了利于开坑,被帽顶端采用表面淬火,以提高其硬度。碰击钢甲时,通过被帽传到弹体头部的应力大为减小,且为三向受压状态(见图3-19),从而保护了弹头部。碰击时被帽和钢甲表面被破坏,而后尖头弹体受较小的阻力继续侵彻,而且在倾斜碰击时不易跳飞,因此穿甲能力得到提高。

被帽通常采用与弹体相同的材料(如合金钢或D60炮弹钢)制成。被帽的钝头直径约为(0.4~0.6)d,适当增大钝头直径有利于防止跳弹。被帽顶厚约为(0.2~0.4)d,被帽包容弹体头部的高度应尽量大些,一般为(0.7~0.8)d。被帽与风帽采用辊压结合,与弹体的连接采用钎焊(锡焊),两者结合部位的弧形要贴合适当,钎焊后需经落锤试验抽样检验。

钝头穿甲弹和被帽穿甲弹均装有风帽,使弹头部呈流线形,从而改善了弹形,提高了弹丸保存速度的能力。

风帽一般为薄钢板冲压而成,用滚压的方法连接在弹体(或被帽)头部的辊口槽内;图3-21(c)所示130mm/50倍口径半穿甲弹的风帽是热冲压毛坯机加成形,采用内柱面与弹体(蘑菇)头部圆柱面压配合连接。

普通穿甲弹常用的炸药有钝化黑索今(A-Ⅸ-Ⅰ)、钝黑铝(A-Ⅸ-Ⅱ)和A-32等炸药。一般都采用块装法装填:把压制的药柱(一节或几节)用石蜡、地蜡混合物粘固于药室中。

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。自动调整延期引信用于穿甲弹比较理想,这种引信对于不同厚度

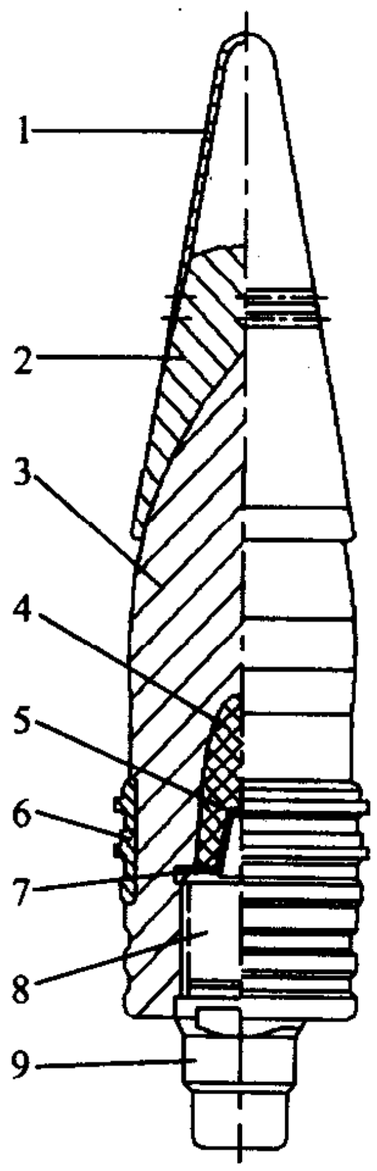


图 3－18　被帽穿甲弹

1—风帽；2—被帽；3—弹体；4—炸药；5—缓冲垫；6—弹带；7—密封垫；8—引信；9—曳光管。

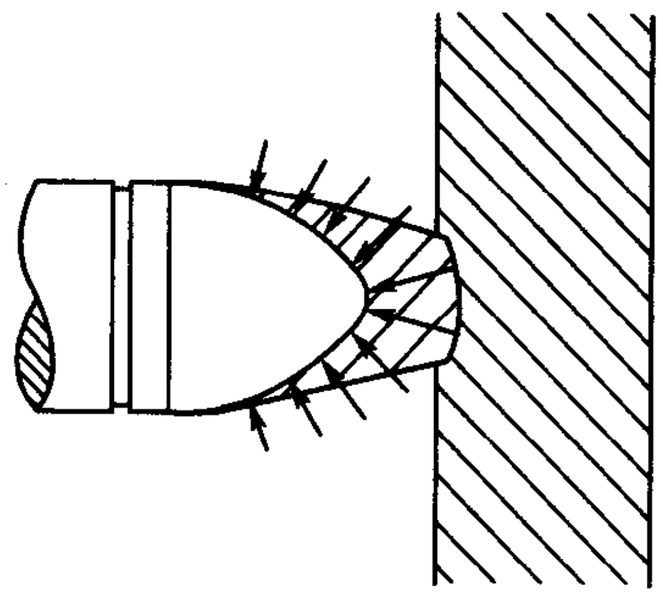


图 3－19　被帽的作用

的钢甲都能保证在穿透钢甲后一定距离处爆炸。引信的尺寸要小，以免占去有限药室的容积。为了防止火药燃气钻入药室，必须有弹底闭气结构确保安全，如在弹底和引信螺纹处涂以铅丹油灰；在螺纹台阶端面垫以铅环或其它密封垫圈（紫铜片）等，在旋紧螺纹时使其变形并填满密封凹槽。为使炸药隔热和确实压紧炸药，引信和底螺之间用若干纸垫圈或白铁皮垫圈来调整厚度消除间隙（见图 3－20）。为避免发射时由于弹体（主动件）的右旋而使底螺、引信等弹底零件的螺纹旋松，均采用左旋螺纹连接，且在弹体底部加上适当的冲铆点。

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，一般装在引信的下部或弹底部。

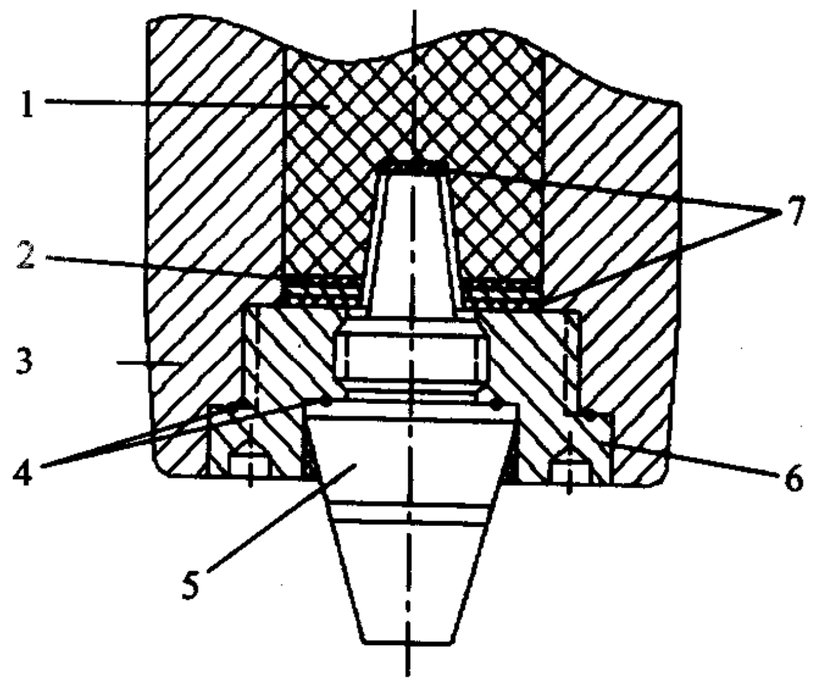


图 3－20　穿甲弹底部结构

1—炸药；2—厚纸垫；3—弹体；4—铅环；5—引信；6—底螺；7—垫圈。

3.3.4 半穿甲弹

半穿甲弹又称穿甲爆破弹，其结构特点是有较大的药室，装填炸药量较多，装填系数 $\alpha=(4\sim5)\%$，头部大多是钝头或带有被帽。

小口径穿甲弹主要用在高射炮或航炮上，如航 30－1 穿甲爆破/自炸弹和 37mm 高射炮爆破穿甲弹(见图 3－21(a)、(b))用来击毁空中及地面带有轻型装甲防护的目标。

大中口径半穿甲弹主要配用在舰炮或岸舰炮上，用于对敌舰艇射击。虽然舰艇的装甲较薄，但舱室空间较大，各舱室间的密封性较好，因此必须加强穿甲后效作用。在弹丸上一般采取增大药室、多装炸药的办法。由于弹体壁厚减薄，强度削弱，弹丸的穿甲能力会有所下降。130mm/50 倍口径岸舰炮用半穿甲弹(见图 3－21(c))的药室内装有 6 节黑铝药柱，装填系数 $\alpha=5.15\%$，其穿甲威力为 60mm/30°均质钢甲。

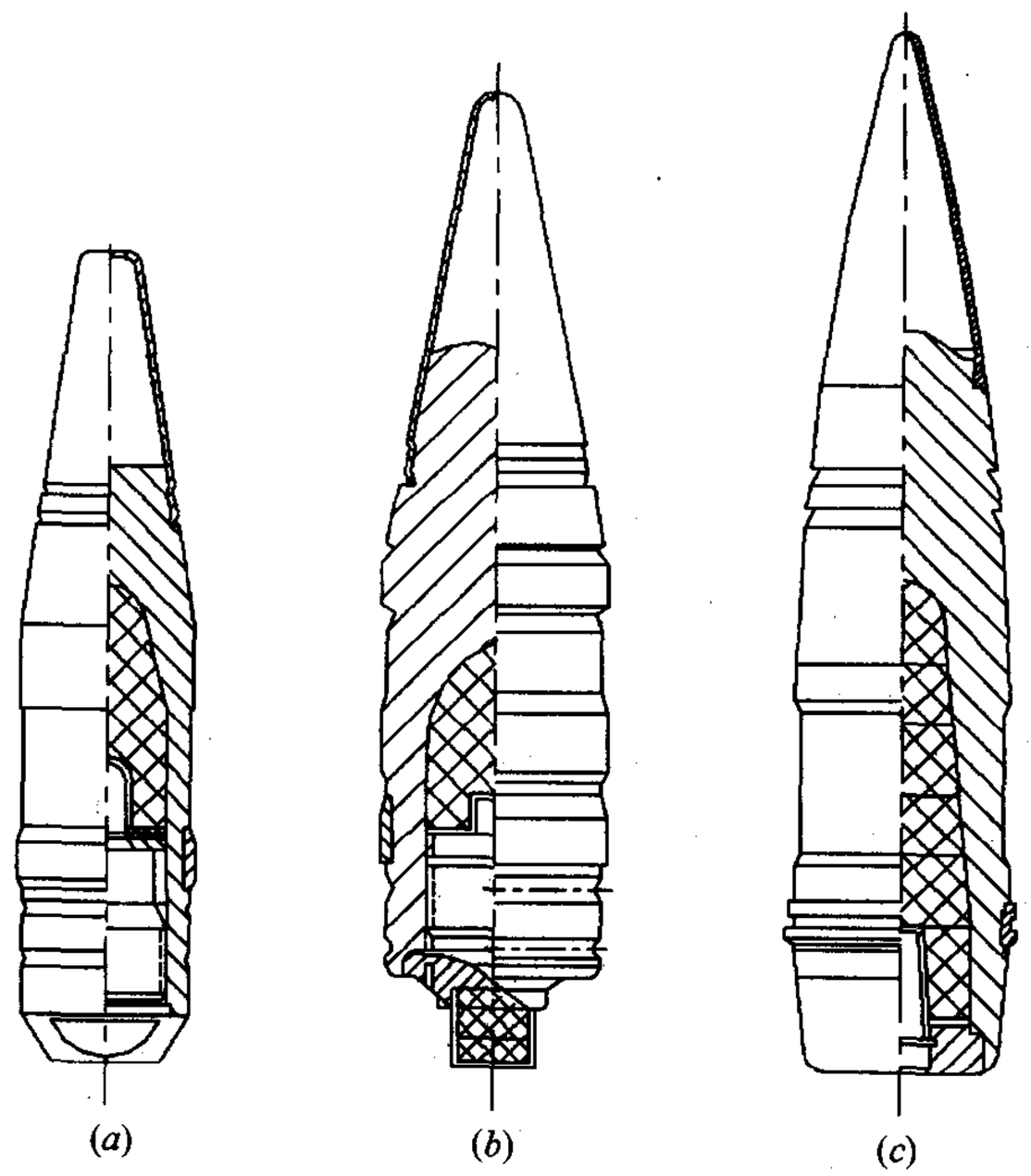


图 3－21 半穿甲弹

(a)航 30－1 穿甲爆破自炸弹；(b)37mm 爆破穿甲弹；(c)130mm/50 倍口径岸舰炮用半穿甲弹。

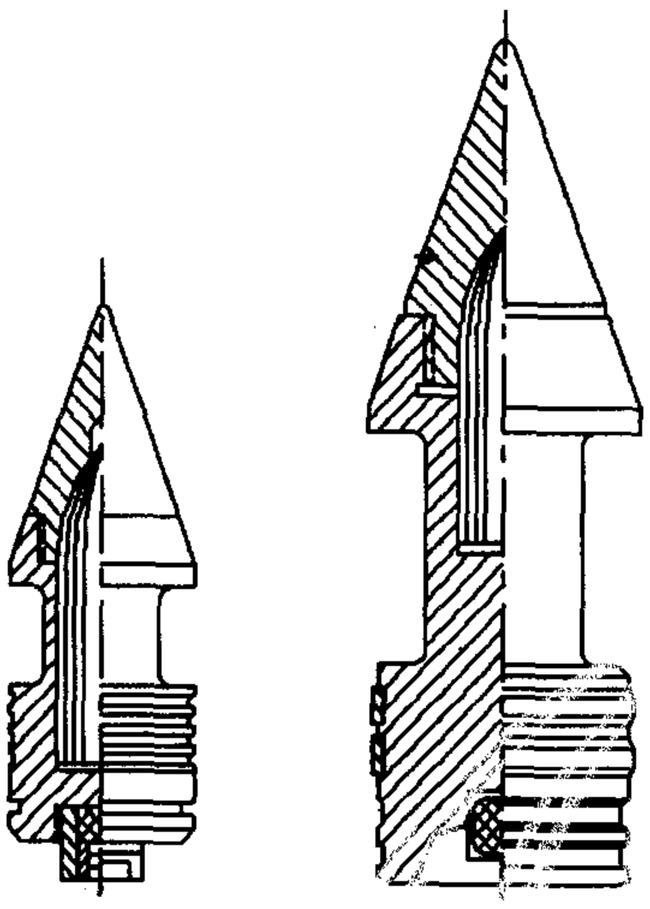
3.4 次口径超速穿甲弹

在第二次世界大战中出现了重型坦克，钢甲厚度达 150mm～200mm，普通穿甲弹已无能为力。为了击穿这类厚钢甲目标，反坦克火炮增大了口径和初速，并发展了一种装有高密度碳化钨弹芯的次口径穿甲弹。膛内和飞行时弹丸是适于口径的，命中着靶后起穿甲作用的是直径小于口径的碳化钨弹芯(或硬质钢芯)，弹丸质量轻于适于口径穿甲弹，一般 $C_m=3.5\sim6.0(kg/dm^3)$，通过显著减轻弹丸质量来获得 1000m/s 以上的高初速，当时

称为超速穿甲弹或硬芯穿甲弹。由于碳化钨弹芯密度大、硬度高且直径小，故比动能大，提高了穿甲威力。

3.4.1　结构特点

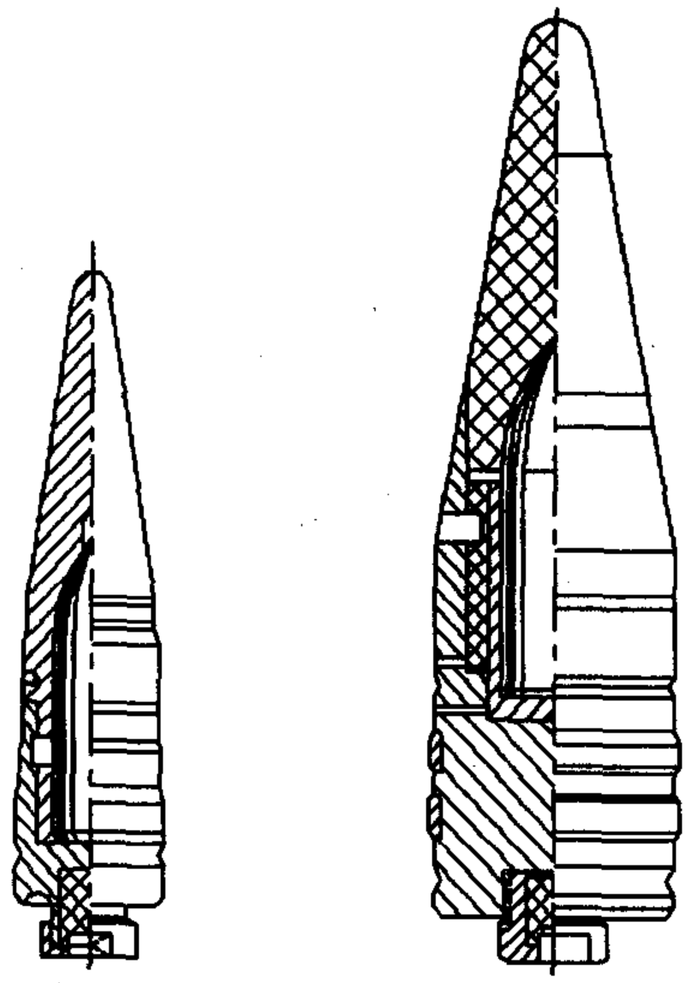
其结构与普通穿甲弹有较大区别。按外形可分为线轴形(见图 3－22)和流线形(见图 3－23)两种。线轴形质量轻，流线形弹形较好。



(a)　(b)

图 3－22　线轴形次口径超速穿甲弹

(a)57/25 次口径穿甲弹；(b)85/28 次口径穿甲弹。



(a)　(b)

图 3－23　流线形次口径超速穿甲弹

(a)37mm 次口径穿甲弹；(b)57mm 次口径穿甲弹。

次口径超速穿甲弹主要由弹芯、弹体、风帽(或被帽)、弹带和曳光管组成。

3.4.1.1　弹芯

弹芯是穿甲弹的主体部分，由碳化钨制成，并含少量镍、钴或铁等金属。制造弹芯时，先把粉状的碳化钨与镍、铁粉混合，压入模内，压制成的毛坯，经高温(1500℃)加热，碳化钨的熔点(2850℃)高而不熔化，其颗粒渗入到溶化的镍、铁金属中，并粘接在一起。密度为(14～17)g/cm^3，含钨量大，弹芯密度高。碳化钨弹芯的硬度略低于金刚石，洛氏硬度为(80～92)HRC，具有很高的耐热性，即高温下能保持原有物理性能。

由于弹芯直径只有(1/3～1/2)d，因此着靶比动能高，而且碳化钨芯很硬，在穿甲过程中几乎不变形，可认为能量都用在侵彻钢甲上。弹芯在穿透钢甲后，在突然卸载下产生拉应力，由于碳化钨弹芯抗压而不抗拉，因而破碎成很多碎块，如图 3－24 所示。这些碎片可达到 900℃左右的高温，在坦克内部具有杀伤和燃烧作用。弹芯形状均为尖头，其穿甲阻力小。圆弧母线半径约为 1.5 倍～2 倍弹芯直径，并与圆柱部相切。

弹芯材料除碳化钨之外，还可采用高碳工具钢和贫铀合金等。

图 3－25 所示为航 23－1 次口径穿甲弹。由于该弹用来对付飞机上的薄装甲，故其弹芯采用高碳工具钢制成。由于不是高密度材料，穿甲作用较碳化钨弹芯差。为了提高

后效作用,在风帽内放置一块形似被帽的燃烧剂。燃烧剂的组分是:硝酸钡 40%;铝粉 15%;细铝粉 30%;梯恩梯 12%;提纯地蜡 3%。在穿甲过程中,燃烧剂受钢芯的猛烈撞击和摩擦而燃烧,高温燃气流随钢芯进入目标,起纵燃作用。

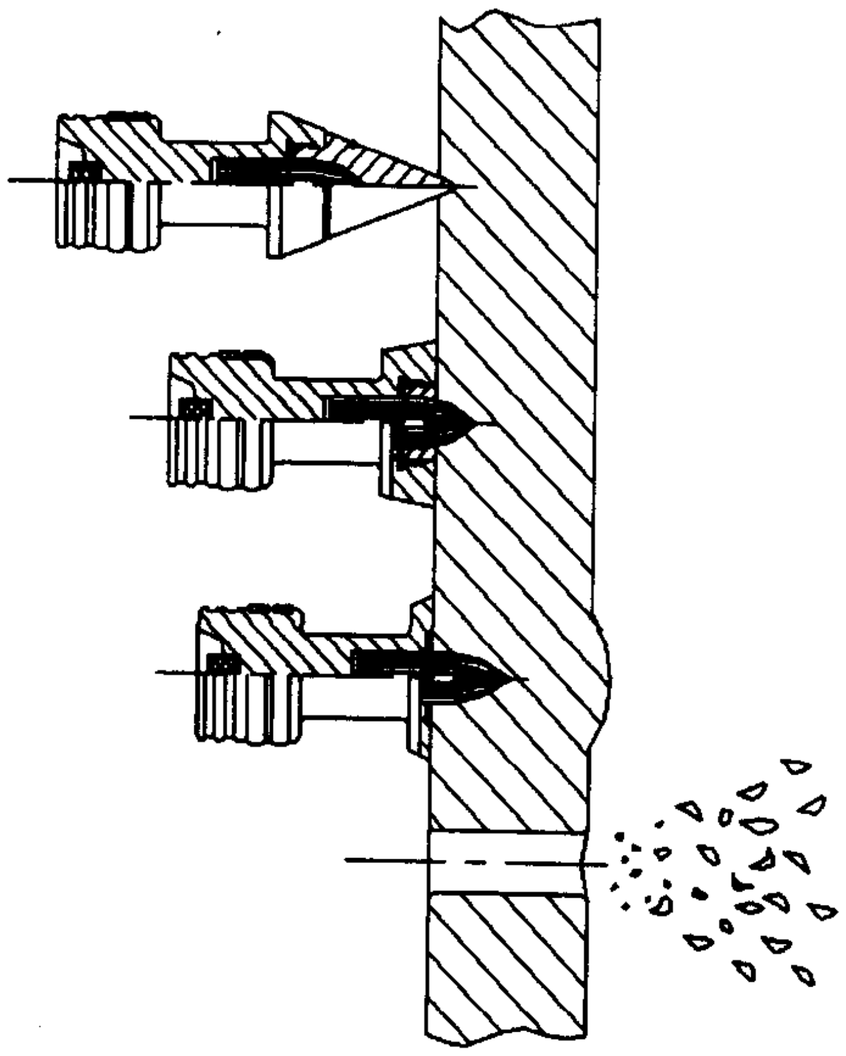


图 3-24 次口径超速穿甲弹的穿甲过程

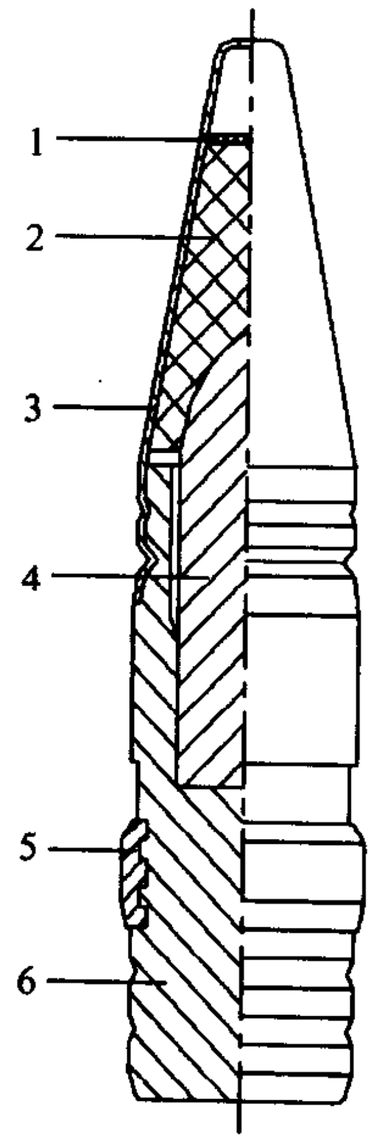


图 3-25 航 23-1 次口径穿甲弹

1—纸垫;2—燃烧剂;3—风帽;4—钢芯;5—弹带;6—弹体。

图 3-26 所示是美国 A-10 飞机 7 管旋转式 GAU—8/430mm 航炮配用的次口径穿甲燃烧弹示意图。初速 988m/s,采用贫铀合金弹体,材料强度高、易于切削,由于弹芯密度大(18.6g/cm^3),弹体长径比较大,使比动能增大。贫铀合金在穿甲过程中燃烧放热而产生高温,有灼热碎块飞向靶后,后效作用显著提高。该弹可穿透坦克的顶装甲。

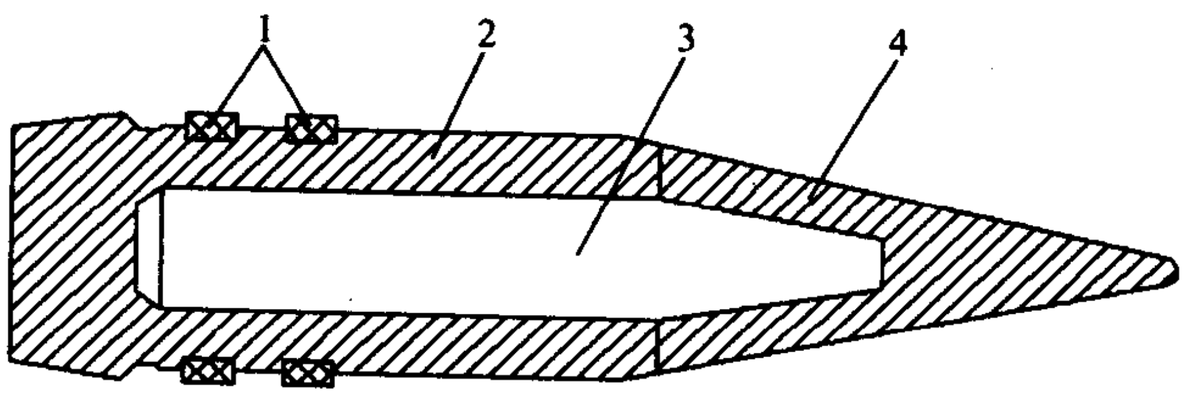


图 3-26 航 30mm 次口径穿甲燃烧弹示意图

1—塑料弹带;2—铝弹体;3—弹芯;4—铝风帽。

3.4.1.2 弹体

弹体起支承弹芯、固定弹带并使弹丸获得旋转稳定的作用。通常把弹芯用氧化铅或干性油配成的油灰固定在弹体的弹芯室中。弹体头部连接风帽;尾部连接曳光管。弹体材料为软钢或铝合金。当弹丸碰击钢甲时,风帽和弹体碰坏而留在钢甲外面。但在碰击

瞬间，弹体的部分动能传给弹芯，使其穿甲能力提高。但是只有在着靶角不大时（$\alpha < 25°$）才如此。随着靶角增大，不再是弹体首先碰击钢甲，而是弹体与弹芯一起碰击钢甲，弹体的能量首先消耗在自身破坏和破坏钢甲的表面上。

弹体外部压有弹带，或车制一些环形突起带（见图 3－22（a））。为减轻弹重，采用铝质风帽，并把弹体的上、下定心部之间的金属部分尽量挖去，这种弹体形如线轴，它的弹形较差，速度衰减很快，只能近距离（约 500m ~ 600m）上使用才能显示穿甲能力较高的优点。为改善弹形而设计出流线形次口径超速穿甲弹，虽然弹形有所改善，但终因弹丸的断面质量密度不大，而存速能力仍不能满足实战需要。为此流线形结构目前只用在对付轻型装甲的小口径炮弹上，一般采用轻金属（铝）和塑料作弹体来减轻弹重。

3.4.2　存在问题

次口径超速穿甲弹尚存在下述问题：

① 弹形不好，断面质量密度太小，弹丸速度衰减很快，在远距离处穿甲无优越性。垂直或小法向角穿甲时，弹丸威力较好，但大法向角时，弹芯易受弯矩而折断或跳飞。

② 因弹芯穿出钢甲后要破碎，故不能对付屏蔽装甲或间隔装甲。

③ 碳化钨弹芯烧结成形后不易切削加工，工艺性较差。

④ 初速高，且有的弹丸使用软钢弹带，射击时对炮膛磨损严重。

由于上述缺点，次口径超速穿甲弹不能有效地对付现代坦克，为此又发展了“脱壳”穿甲弹。

3.5　脱壳穿甲弹

3.5.1　概述

3.5.1.1　理论根据

为说明问题，以圆柱杆代表弹体，其对均质装甲靶板的穿深 P 的公式可简化成如下形式（根据弹坑容积与着靶动能成正比的关系导出）：

$$P = KL_p\rho_p V_c^2 \propto Ke_c \tag{3.1}$$

式中　K——考虑其它多种因素的符合系数；

L_p——弹体长度；

ρ_p——弹体材料的密度；

V_c——弹体的着速；

e_c——比动能，即弹体的单位横截面积所具有的动能。

由此式可以看出，为了提高穿甲威力，要求穿甲弹体具有较高的着靶比动能。要提高比动能应增加弹体长度（或者说减小弹体直径、增大弹体的长径比）、提高弹体材料密度和提高着速。提高着速的途径有两条：一是提高初速 v_0；二是减小在外弹道上的速度下降量，即减小弹道系数。脱壳穿甲弹正是沿着这些技术途径不断改进的。在膛内使弹丸的

质量尽量轻,以获得高初速;出炮口后弹托、弹带等零件脱落,称“脱壳”,脱壳后飞行部分高速飞向目标,由于其弹体直径小,断面质量密度大,所以存速能力强,速度下降量小。

3.5.1.2 结构类型和特点

按稳定方式可将脱壳穿甲弹分为旋转稳定脱壳穿甲弹(见图 3-28)和尾翼稳定脱壳穿甲弹(见图 3-29)。尾翼稳定脱壳穿甲弹的弹体为长杆形,故又称为杆式穿甲弹。由于该类穿甲弹威力大,因此不仅在滑膛炮上配用,而且也配用于线膛炮。

脱壳穿甲弹弹丸由飞行部分和脱落部分(弹托、弹带等)组成。

飞行部分的直径远小于弹丸的直径,当弹丸在炮口脱壳之后,飞行部分应独自具有飞行稳定性,所以应尽量提高有效质量比(飞行部分质量与弹丸质量之比)。

弹托的外径即弹丸的直径。弹托的作用是:在膛内对飞行部分起定心导引作用,并传递火药燃气压力和火炮膛线对弹丸的导转侧力(若使用滑膛炮发射则无此力),使飞行部分获得高初速和一定的炮口转速;弹丸出炮口后,弹托立即脱离飞行部分,使飞行部分具有良好的起始外弹道性能。弹带安装在弹托上,以密封弹膛间隙,防止火药燃气泄漏。由于弹托和弹带自身的动能无助于穿甲作用,也称消极质量,因而应使其质量尽可能小,并要尽量缩小脱落部分的飞散范围。

产生脱壳的基本动力是:火药燃气的作用力;弹丸旋转的离心力;空气动力。

弹丸出炮口后,迅速顺利脱壳是提高弹丸密集度的关键技术之一,脱落部分对飞行部分产生的挤压、摩擦、碰撞及空气动力的干扰越小越好,图 3-27 所示是某尾翼稳定脱壳穿甲弹在距炮口分别为 1.5m、3.3m、4.5m、13m 处的狭缝摄影照片,显示了脱壳过程。

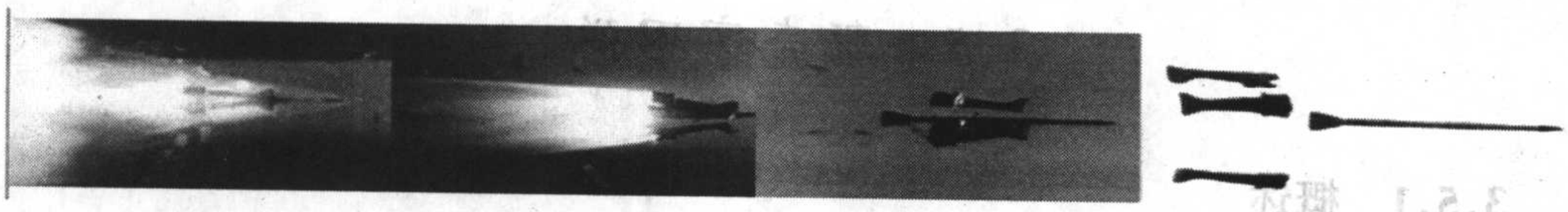


图 3-27 某脱壳穿甲弹的脱壳过程

3.5.2 旋转稳定脱壳穿甲弹

线膛炮发射的旋转稳定脱壳穿甲弹装备于 20 世纪 70 年代。与次口径穿甲弹相比,穿甲威力有较大幅度的提高,但是,由于其弹芯的长径比受旋转稳定方式的限制,一般不大于 5,穿甲威力难以进一步提高。20 世纪 70 年代末,由于使用相对滑动的双层塑料弹带,解决了降低线膛炮发射尾翼稳定脱壳穿甲弹的炮口转速问题,所以研制成功了线膛炮发射尾翼稳定脱壳穿甲弹,使穿甲威力得到了大幅度提高,因而大中口径线膛炮发射的旋转稳定脱壳穿甲弹被淘汰。小口径线膛炮发射的旋转稳定脱壳穿甲弹具有射频高(每分钟可发射 3000 发 ~ 5000 发,甚至更多),可有效毁伤一些轻型装甲目标和掠海、近地导弹,所以尚有保留和发展。

100mm 旋转稳定脱壳穿甲弹(见图 3-28)是中大口径旋转稳定脱壳穿甲弹的典型结构,下面重点介绍该弹的结构及脱壳过程。

100mm 旋转稳定脱壳穿甲弹弹芯尺寸为 $\varphi 40.6 \times 135(\text{mm})$,采用密度为 14.2g/cm^3

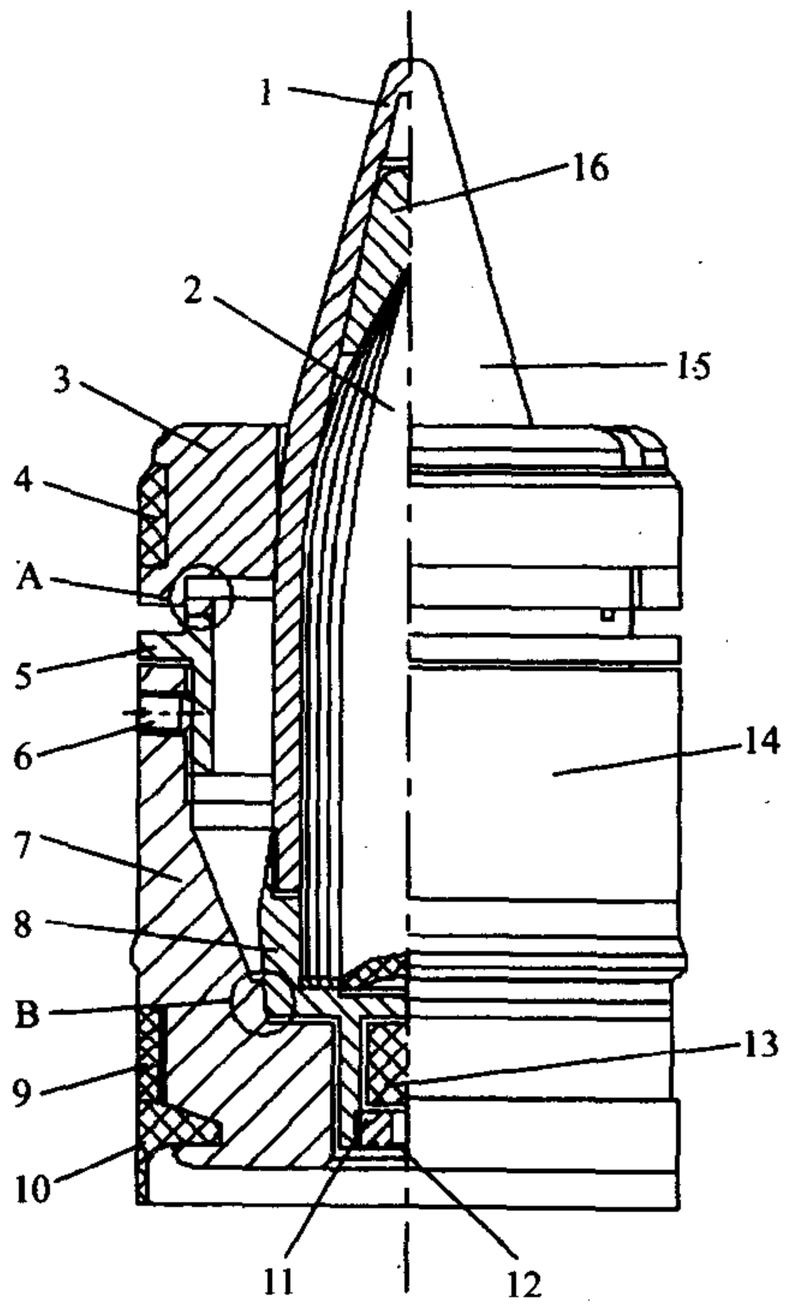


图 3－28　1959 年式 100mm 坦克炮用脱壳穿甲弹

1—外套；2—弹芯(钨钴合金)；3—铝定心瓣(3 块)；4—尼龙定心环；5—铝前托；
6—定位钉；7—铝底托；8—底座；9—尼龙弹带；10—橡胶圈；11—底螺；
12—铜片；13—曳光管；14—弹托部分；15—飞行穿甲部分；16—被帽。

的钨钴合金(碳化钨加 12%钴)，为提高倾斜穿甲时的防跳能力，弹体头部装有 40CrNiMo 钢被帽，外部有相同钢材的外套和底座。飞行部分的弹形较好($i_{43}=0.88$)，直射距离为 1667m，穿甲威力为 1000m 处穿透 312mm/0°。该弹弹托是由底托和具有 3 块定心瓣的前托组成，均由硬铝合金制成，并以螺纹连接，通过前托和底托上的锥面将飞行部分固定。由于前托上有内、外两个环形削弱槽(参见图中 A)，发射时，定心瓣在惯性力作用下，剪断前托上的薄弱部位，3 个定心瓣相互分离，与此同时，飞行部分沿锥面下滑(参见图中 B)，底座的底面即与底托的内底接触。由于炮膛的限制，尼龙定心环仍将 3 个卡瓣箍住，并对弹丸起定心作用。铝底托外部有一环形凸起部，它和尼龙弹带 9 一起嵌入膛线使底托旋转，由摩擦力带动飞行部分一起旋转。为防止铝材受火药燃气的烧蚀冲刷，在底托后部还嵌装了一个丁腈橡胶闭气环，它与可燃药筒口部相结合，在平时保护药筒装药不受潮，发射时密封火药燃气。出炮口后，3 个卡瓣在离心力的作用下，撕裂尼龙定心环向外飞散，底托和前托的根部连在一起，在空气阻力作用下与飞行部分分离。该弹托的脱壳性能较好，对弹体的固定以及闭气性能都比较理想，但结构较复杂，零件较多，消极质量较重。

从上述中口径脱壳穿甲弹可以看出，由于采用脱壳结构减少了空气阻力，使飞行部分在外弹道上的速度下降量减少，又由于使用密度小的铝合金弹托减轻了弹丸质量而使弹丸初速提高，提高了远距离的穿甲能力。但是由于弹体长径比受飞行稳定性的限制，威力难以进一步提高，不能对付现代坦克的大法向角大厚度装甲、复合装甲等现代装甲。因此

大中口径线膛炮上不再装备这类脱壳穿甲弹,而发展和装备了尾翼稳定脱壳穿甲弹。

3.5.3 尾翼稳定脱壳穿甲弹

3.5.3.1 尾翼稳定脱壳穿甲弹的发展概况

尾翼稳定脱壳穿甲弹通常称为杆式穿甲弹,其特点是穿甲部分的弹体细长,直径较小,长径比目前可达到30左右,仍有向更大长径比发展的趋势,如加刚性套筒的高密度合金弹芯的长径比可达到40甚至60以上。弹丸初速约为1500m/s~2000m/s。杆式穿甲弹的存速能力强,着靶比动能大。与旋转稳定脱壳穿甲弹相比,其穿甲威力大幅度提高。杆式穿甲弹可分为滑膛炮用杆式穿甲弹和线膛炮用杆式穿甲弹两种,这两种弹丸除弹带部分不同外,其余部分的结构基本相同。

自20世纪60年代苏联在115mm滑膛炮上装备了长杆式尾翼稳定脱壳穿甲弹以来,杆式穿甲弹得到了长足的发展。就其材料与结构而言可划分为5个阶段:

第一阶段从20世纪60年代中期至70年代初,弹体与弹托一般采用合金结构钢,长弹体短弹托,同口径的钢尾翼,代表产品为苏联115mm滑膛炮尾翼稳定脱壳穿甲弹。

第二阶段从20世纪70年代初至70年代末,弹体采用带钢套的高密度烧结钨合金或贫铀合金弹芯,多采用钢套内装一节或多节钨芯,长径比在10以下,弹体直径大于30mm,采用高强度铝合金马鞍型弹托。对付的目标是法向角较大的中厚度均质装甲板,如150mm/60°。代表产品如美国的105mm M735、德国的120mm DM13、我国的73式100mm滑膛炮钨芯穿甲弹和100mm线膛坦克炮钨头穿甲弹等。

第三阶段从20世纪70年代末至80年代中期,采用整体式高强度、高密度变形钨合金、贫铀合金弹体,长径比为10~16,弹体直径为33mm~25mm,仍采用高强度铝合金马鞍型弹托。对付的目标是法向角较大的中厚度均质钢板、多层间隔板及具有非金属夹层的复合板。代表产品如美国的105mm M833贫铀合金穿甲弹、以色列的105mm M111、英国的105mm PPL64、德国的120mm DM23、DM33及我国的100mm滑贫铀及钨穿甲弹、100mm贫铀及钨穿甲弹等。

第四阶段从20世纪80年代中期至90年代中期,多采用小弹体直径、大长径比的钨或贫铀合金弹体,弹体直径一般小于28mm,长径比达到18~25,多采用突出牙形结构,即弹体与弹托啮合的牙形结构处采用较大的直径,而非啮合的弹体部分采用较小的直径。弹托材料仍以高强度的铝合金马鞍型弹托为主,也采用了非金属材料弹托。对付的目标是法向角较大的大厚度均质钢板、多层间隔板及复合板。代表产品如美国的105mm M900及120mm M829E2贫铀合金穿甲弹,德国的DM43、DM53及我国的DTW2-105mm、DTW-125mm和PZL-120mm穿甲弹等。

第五阶段从20世纪90年代中期以来,为对付新出现的多种装甲目标,长杆式穿甲弹的速度更高,结构呈现出多样化;弹体采用的高密度材料也呈现出多样化,如高强度高韧性大变形钨合金、钨钽合金、纳米钨合金、贫铀钛钨合金、贫铀钨复合材料、贫铀或钨与其它金属或非金属的复合材料、同一弹体的不同部位材料机械性能各异等;弹托材料由高强度铝合金向强度更高的金属或非金属复合材料变化;弹体的长度与长径比进一步加大,长径比达到30以上,其穿甲威力将能穿透700mm~850mm以上厚度的均质装甲靶板及现

代装备的多种形式的装甲。它能对付主动装甲、贫铀装甲及反应装甲等。

杆式穿甲弹的出现，是穿甲弹设计思想的一次飞跃，与传统的穿甲弹相比，其显著特点是大幅度地提高了断面能量密度(即比动能)。由于高密度材料钨、贫铀合金用于弹体及高强度、低密度的超硬铝合金用于弹托，又使得比动能大幅度提高。为追求更大的比动能，通常采用如下技术途径：提高弹体材料的强度及其综合性能；改进弹体结构增大长径比；改进弹托结构减轻重量；采用高强度、低密度的复合材料弹托以减轻重量；提高火药能量改进装药结构提高初速；加大火炮口径、增加火炮身管长度、提高火炮膛压等以提高初速。

但随着装甲技术的快速发展，出现了各种各样的装甲目标，其抗穿甲弹的能力大幅度地提高，例如第三代改进型、第四代坦克正面防护装甲的抗长杆穿甲弹能力可能达到相当于700mm以上厚度的均质装甲钢板的水平。为此需要进一步提高杆式穿甲弹的穿甲性能，那么就需要探讨更多的技术途径来提高穿甲弹的穿甲威力。

3.5.3.2　尾翼稳定脱壳穿甲弹的一般结构及作用原理

尾翼稳定脱壳穿甲弹的典型结构如图3－29所示。

全弹由弹丸和装药部分组成；弹丸由飞行部分和脱落部分组成；飞行部分一般由风帽、穿甲头部、弹体、尾翼、曳光管等组成；脱落部分一般由弹托、弹带、密封件、紧固件等组成；装药部分一般由发射药、药筒、点传火管、尾翼药包(筒)、缓蚀衬里、紧塞具等组成。

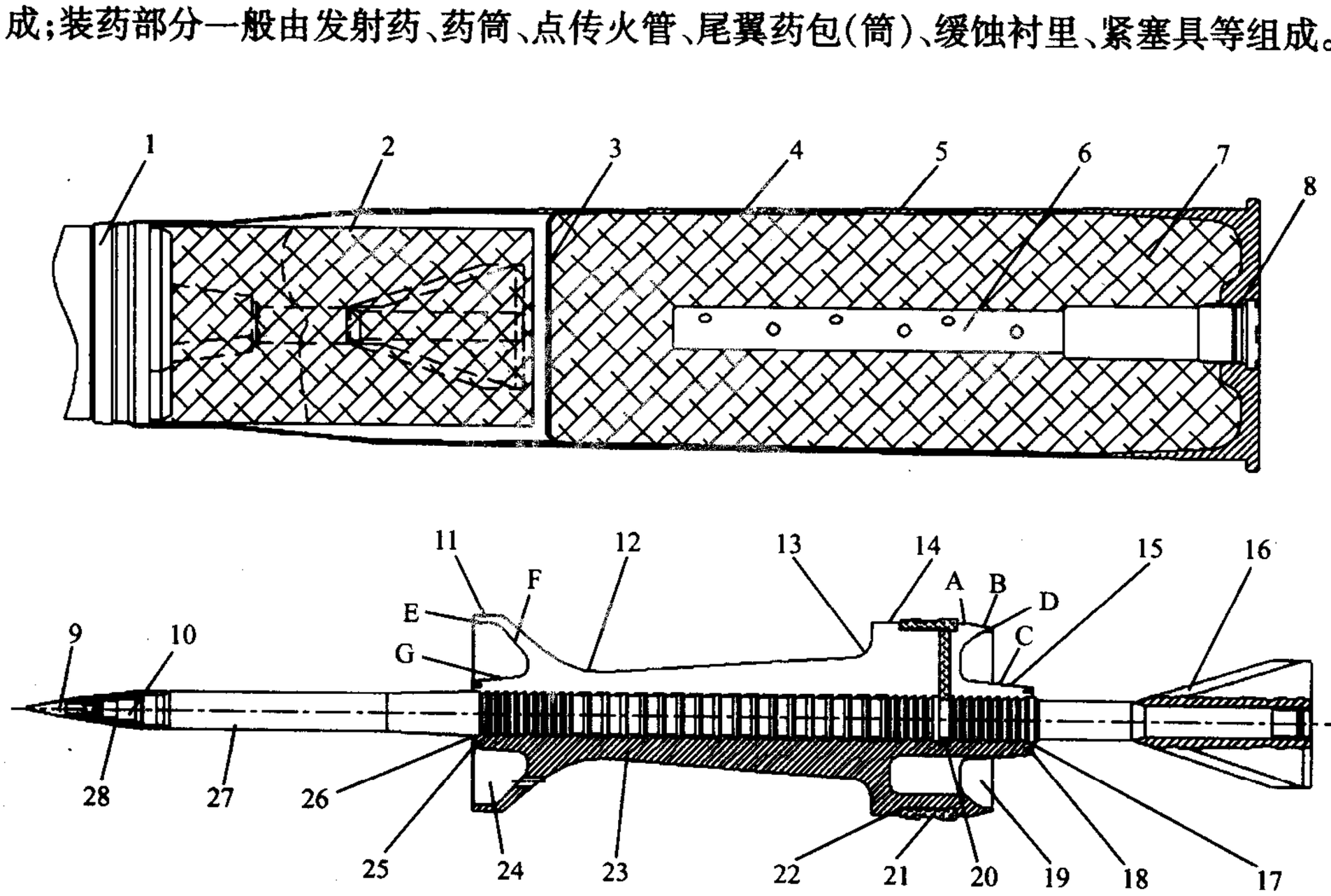


图3－29　尾翼稳定脱壳穿甲弹的典型结构

1—弹丸；2—尾翼药包；3—紧塞具；4—药筒；5—缓蚀衬里；6—点传火管；7—发射药；8—密封圈；9—风帽尖；10—穿甲块；11—前定心部；12—马鞍部小径；13—马鞍部大径；14—后定心部；15—尾锥；16—尾翼；17—后内定心部；18—后紧固环；19—后腔；20—密封件；21—外弹带；22—内弹带；23—马鞍形弹托；24—前腔；25—前紧固环；26—前内定心部；27—弹体；28—风帽体。

(1) 飞行部分

弹丸出炮口后,飞行部分与脱落部分分离,即脱壳,飞行部分飞向目标。

① 弹体:弹体是穿甲作用的主体,是一个关键零件。其材料的性能及结构决定了穿甲弹的穿甲能力。目前常使用穿甲能力强的高密度、高强度钨合金或贫铀合金材料,其长径比的大小决定其穿甲能力。弹体中间的环形槽或锯齿形螺纹是与弹托啮合的部分,通过环形槽将弹托在炮膛内所受火药燃气的推力传递给飞行部分。为了使传递的推力均匀分布,环形槽的加工精度要求非常高,如要求任意两个环形槽间的距离公差为±0.045mm,只有使用高精度的数控车床或加工中心才能完成。弹体两端的螺纹分别连接风帽和尾翼,螺纹尾端的锥体部分起定心作用,保证风帽、尾翼和弹体的同轴度。弹体的前端和尾部的几个环形槽处是在炮膛内发射时经常发生破坏的部位,在正常情况下前端受压应力,尾部受拉应力,但是在弹体直径较小时,前端往往由于压杆失稳而破坏,尾部往往由于产生横向摆动而折断,所以整个弹体的刚度设计是非常重要的。

② 风帽和穿甲头部:位于弹体前端和风帽内的穿甲块是穿甲头部,在穿甲过程中穿甲块有防止弹体过早碎裂的作用。穿甲块头部对付间隙装甲,如图 3 - 30 所示的北约重型三层靶板,复合装甲是有利的。穿甲块的大小和个数,可根据弹体的直径和对付的目标来确定,穿甲块的材料多采用与弹体相同的材料。目前也经常使用半球形头部,即在弹体的前端车制成半球形,其对付均质装甲板是有利的。还有锥形、截锥形等多种形式的头部。这些不同的头部虽然说对付一些特定的目标最有利,但在穿甲弹的威力足够大时,仍然可有效对付其它的装甲目标。

风帽的作用是优化弹体头部的气动外形,减小飞行阻力。风帽的外形多采用锥形、3/4指数形或抛物线形等。为减少风帽对穿甲的干扰,多采用铝合金材料。

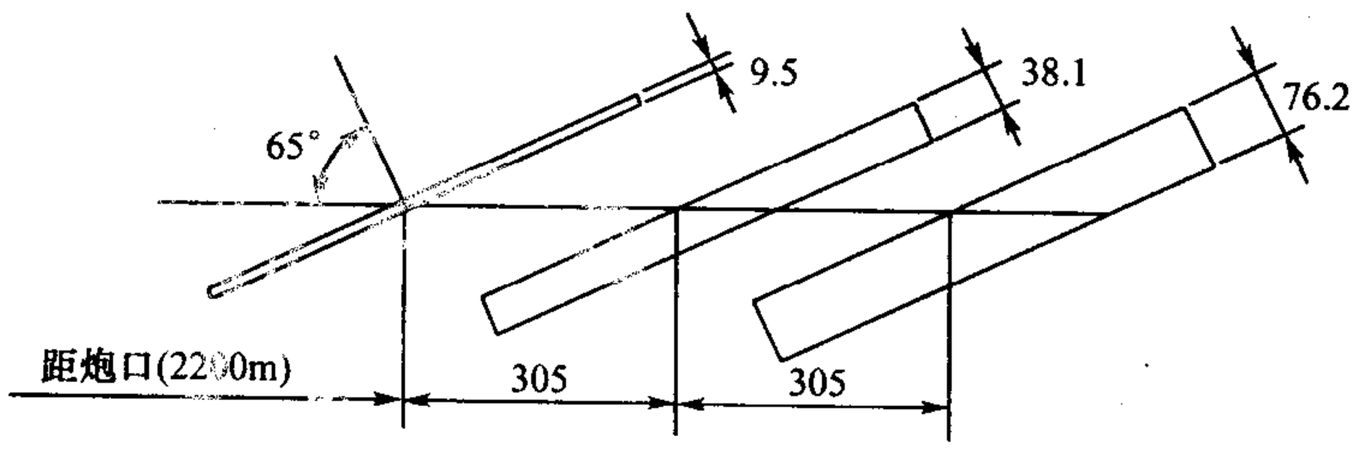


图 3 - 30 北约三层靶板(模拟重型坦克)

③ 尾翼:尾翼起飞行稳定作用,在穿甲过程中其对穿甲的贡献甚小,所以目前一般使用铝合金材料,而早期使用钢尾翼。尾翼是决定全弹气动外形好坏的关键零件,为了减少空气阻力,一般采用大后掠角、小展弦比、削尖翼型的 6 个或 5 个薄翼片。随弹丸速度的增加,后掠角也增大,一般取 65° ~ 75°。设计的翼片厚度为 2mm 左右,展弦比为 0.75 左右。削尖的翼型结构,一是为了减少激波阻力;二是使用不对称的斜切角,在外弹道上为飞行部分提供导转力矩,使飞行部分在全外弹道上都具有最佳的平衡转速。

在弹丸飞行过程中,气流在风帽尖端和尾翼片的前缘处将形成驻点,经实测,当 $Ma=4$和 $Ma=6$ 时,温度分别达到 1200K 和 2300K。表面未经耐热处理的铝合金尾翼在膛内就会烧蚀 1mm ~ 2mm,在飞至 2000m 处竟会烧掉 75%。由此可见,裸露的铝合金必将产生严重的烧蚀。若气动加热使铝风帽或铝尾翼严重烧蚀,则将使空气阻力增大和

稳定力矩减小,甚至失去稳定性,使密集度变差。为避免气动加热烧蚀铝风帽和铝尾翼,在铝合金风帽的前端一般加装一个耐热的不锈钢尖;铝风帽和铝尾翼表面均采用了硬质阳极氧化处理,在其表面形成一层耐热的致密氧化膜,也可以在表面涂覆一层致密的耐热涂料。而耐热的不锈钢尖的熔点比铝合金要高得多,又由于穿甲弹的作战距离一般为2500m左右,飞行时间仅约1.5s,所以即使有烧蚀,也是在可接受的范围内。105mm及120 mm钨合金脱壳穿甲弹都使用了加装耐热不锈钢尖的铝风帽,并进行了高初速、远距离的飞行试验,取得了很好的效果。

铝尾翼翼片前缘硬质阳极氧化膜若有损伤,则气动加热烧蚀不可避免,由于飞行时间短,所以产生的烧蚀面积是有限的。烧蚀使尾翼片的面积减少,则稳定力矩将减少,由于设计的稳定储备较大,有限的烧蚀不会使弹丸丧失稳定性。在外弹道上提供导转力矩的斜切角设计在翼片的后缘上是合理的。由于翼片的后缘处于背风面,不会产生气流的高温驻点,再则气流经过内转折产生膨胀使温度降低,因此后缘处不会产生烧蚀,这样平衡转速不会产生大的变化,弹丸的飞行稳定性就不会受到影响。铝尾翼片前缘若设计成双面对称切角,烧蚀只会使阻力增加,若设计成单面或非对称斜切角,导转力矩由前缘提供,当前缘被烧蚀后导转力矩丧失,合适的平衡转速将被破坏,新的平衡转速只能靠飞行部分的气动外形不对称随机产生,这一转速往往与大长径比的飞行部分的俯仰频率很接近,很容易产生共振,使弹丸章动变大并丧失稳定性,致使密集度变坏或丧失穿甲能力。

铝尾翼较钢尾翼具有优越性:尾翼质量大幅度减少,有利于解决弹丸尾部的发射强度;由于尾翼质量减少飞行部分的质心前移,有助于提高飞行稳定性,或者说在稳定储备量不变的情况下可减小翼片的面积,从而减小飞行阻力;便于机械或压力加工,提高加工效率;有利于提高穿甲威力,在穿甲过程中,尾翼所占有的动能只有一小部分得到利用,在弹坑的口部被捋掉,在捋掉时不仅损失了尾翼本身的动能,而且为克服连接强度也消耗了弹体的动能,而铝尾翼重量轻,连接强度低使得这两种能耗降低,所以有利于穿甲。

右旋线膛炮发射的尾翼稳定脱壳穿甲弹,在炮口具有一定的右旋转速,在外弹道上也应当设计成右旋平衡转速。在膛内尾翼由弹体带动旋转,而在膛外,则由尾翼提供导转力矩带动弹体旋转。传统上尾翼螺纹一般设计成左螺纹,在膛内越旋越紧,而在膛外则越旋越松,所以时而出现在外弹道上掉尾翼的现象。实际上,在膛内尾翼的轴向惯性力在螺纹斜面上产生一个很大的正压力,这一正压力将产生一个比弹体对尾翼的导转力矩大得多的摩擦力矩,所以设计成右旋螺纹,尾翼在膛内不会松动,而在外弹道上则有越旋越紧的趋势。100mm及105mm线膛坦克炮发射的尾翼稳定脱壳穿甲弹均设计成右螺纹,大批量生产与使用表明,完全避免了在外弹道上旋掉尾翼的现象。

(2) 脱落部分

脱落部分在炮口附近与飞行部分分离,在一定的区域内落地。脱落部分所具有的动能无助于穿甲,所以其质量称为消极质量。尽量减少脱落部分的质量有助于提高穿甲威力。

① 弹托——弹托是尾翼稳定脱壳穿甲弹的又一个关键零件,它占脱落部分95%以上的质量。所以尽量减少其质量是结构改进和优化的目标。

广泛应用的弹托是沿其纵轴均分为3个卡瓣的马鞍型结构,使用超硬铝合金材料,如图3-32所示。目前新研制成功的密度小、强度高、质量更轻的复合材料弹托一般采用尾

锥更长的马鞍型4个卡瓣的结构。

在膛内发射时,弹托应具有可靠的强度;各卡瓣在火药燃气的作用下应彼此抱紧成为一个整体;能很好地支撑并导引飞行部分;弹托与密封件及弹带应配合恰当,可靠地密封火药气体。在膛外应脱壳迅速、顺利,对飞行部分的干扰小。

a) 弹托的发射强度:弹托在膛内的破坏常见于环形槽处的齿发生剪切破坏,马鞍部小径处折断,尾锥部折断。

环形齿处受剪切应力与压应力,其应力的大小与环形齿的结构尺寸、个数、加工精度、弹托与弹体材料的机械性能、弹托形状与尺寸等因素有关。若弹托两端的刚度太大,则两端就会产生应力集中。为消除应力集中现象,使应力均匀分布,如图3-29所示,环形槽设计成了不等槽距并加长了前后锥体的长度。

马鞍部小径及马鞍部锥体角度的选取至关重要,选得大使弹托的质量增大,选得太小强度不够可能出现折断现象。马鞍部小径、大径及锥体应当遵守等应力设计的原则。若锥体部分较长,设计时还应当着重考虑刚度问题。当为了增加刚度必须增大尺寸时,可以在应力不增加的情况下采取挖槽的方法减小质量。

尾锥部受拉应力和弹丸在膛内的摆动产生的横向冲击载荷。尾锥部受拉应力与材料的抗拉强度相比往往较小,所以抗拉强度容易满足,而抗横向冲击则需要一定的刚度和韧性,而且要避免共振现象。

b) 弹托的定心作用:飞行部分的发射强度及密集度与弹托的膛内定心作用密切相关。弹托的定心作用由内外定心部来实现。外定心部对弹丸定心,内外定心部对飞行部分定心。内外定心部之间的同轴度有着合理的要求。弹托定心的效果可用飞行部分的纵轴线相对于炮管轴线可能产生的最大倾角来度量。倾角越小,表明定心效果越好。

c) 膛内完整性:弹托的3个卡瓣在膛内应当牢固地结合为一个整体,不应当发生分离(或有发生分离的趋势)。在膛内火药燃气的压力作用于弹托的尾部,在 D 锥面上的作用力有使3瓣发生分离的趋势,而 A、B、C 锥面上的作用力有使3瓣抱紧的趋势,若抱紧力大于分离的力,弹托将在膛内保持完整性;反之,将丧失完整性而出现断弹和横弹现象。

d) 脱壳过程:能否实现迅速和顺利脱壳,取决于对弹托的设计。脱壳方式一般分为单纯空气动力脱壳型,多用于滑膛炮发射的尾翼稳定脱壳穿甲弹,弹托为双锥型,弹托质量较小,脱壳干扰大,密集度不好;火药燃气后效与空气动力共同脱壳型,多用于线膛炮发射的尾翼稳定脱壳穿甲弹,弹托为马鞍型,如图3-29所示,目前滑膛炮发射的尾翼稳定脱壳穿甲弹也使用该结构,弹托质量较大,脱壳迅速而顺利,脱壳干扰小,密集度好。前者由弹托的前腔结构来实现脱壳;后者由弹托的后腔及前腔结构的共同作用来实现脱壳,具有炮口转速(如线膛炮发射)的尾翼稳定脱壳穿甲弹的脱壳还有离心力的作用。

如图3-29所示的弹托结构的脱壳过程简单描述如下:

起膛内密封作用的弹带一出炮口,大量的火药燃气沿着 A、B 面与炮膛壁间的间隙高速流出,A、B 面上的火药燃气压力骤然下降,这样作用于 D 面和各瓣横截面上的使弹托各瓣发生分离的火药燃气压力就大于 A、B、C 面上使弹托各瓣抱紧的力,弹托各瓣将从弹托后部张断后紧固环,开始径向分离。当弹托底端面出炮口后膛内火药燃气从炮口冲出,迅速膨胀,其速度超过了弹丸的速度,所以弹丸所"感受"的气流来自后方。在这个

后效膨胀气流的作用下，弹托的后腔形成了气流的高压区，弹托各瓣在高压气流的作用下从后部继续分离。随着弹丸与炮口间距离的增加和时间的增长，火药燃气后效气流在弹托底部的压力和相对流速迅速下降，大约在距炮口8倍～10倍口径的距离处可以认为后效脱壳作用结束。随后，弹丸迎面而来的高速空气流在弹托前面形成很强的部分斜激波和正激波，在弹托的前腔内形成气流的高压区，在前腔 E、F 面上产生径向分离力，而 G 面上产生抱紧力，但很小，各瓣的横截面上产生轴向分离力和绕其质心的力矩。弹托各瓣在这一高压的作用下与弹丸发生轴向和径向分离。弹托各卡瓣在脱壳力的作用下获得了相对于飞行部分的径向和轴向的分离线和角的加速度和速度，然后各卡瓣沿着不同的弹道飞行并落地(见图3－27所示的某脱壳穿甲弹的脱壳过程)。这种脱壳方式的优点是脱壳迅速而顺利，脱壳干扰小；其缺点是，前后脱壳作用力的大小要匹配，若后部脱壳力太大会使卡瓣前面的环形槽发生对飞行部分的挤压干扰，相反会使卡瓣后面的环形槽发生对飞行部分的挤压干扰，这将给密集度带来不利影响。只由弹托的前腔结构来实现脱壳，必然发生卡瓣后面的环形槽对飞行部分的挤压干扰，但若控制各卡瓣对飞行部分的挤压干扰力大小的一致性和对称性，即各卡瓣对飞行部分的挤压干扰力可以相互抵消，则总的干扰力的合力为零或很小，脱壳穿甲弹的密集度仍可取得满意的结果。

② 密封件——如图3－31所示的密封件称为三爪密封件，它密封了弹托与飞行部分及弹托各瓣间的间隙。其材料为橡胶，要求能可靠密封火药燃气，耐长储并具有一定的硬度和耐高(50℃)、低(－40℃)温的性能。该结构设计轻巧，密封效果可靠。还有一些别的密封结构，如图3－32所示的底碗式，即扣在弹托底部密封弹托与飞行部分及弹托各瓣间的间隙的碗式构件，其材料为橡胶或塑料，设计有断裂槽，其密封效果也很可靠，但其重量重，约是三爪密封件的10倍以上，而且脱壳时产生的碎片多，可能会对飞行部分产生脱壳干扰。另外，这种结构对于滑膛炮发射的尾翼稳定脱壳穿甲弹更合适，若将其接触炮膛的外缘部分设计得更厚实一些，则可对弹膛的密封起到补偿作用。由于弹带在膛内不断的磨损，在弹膛之间会产生漏气，其厚实的外缘部分虽然也会磨损，但在火药燃气压力的作用下使厚实的外缘材料发生塑性流动填补被磨损的空间而起到补偿密封的作用。

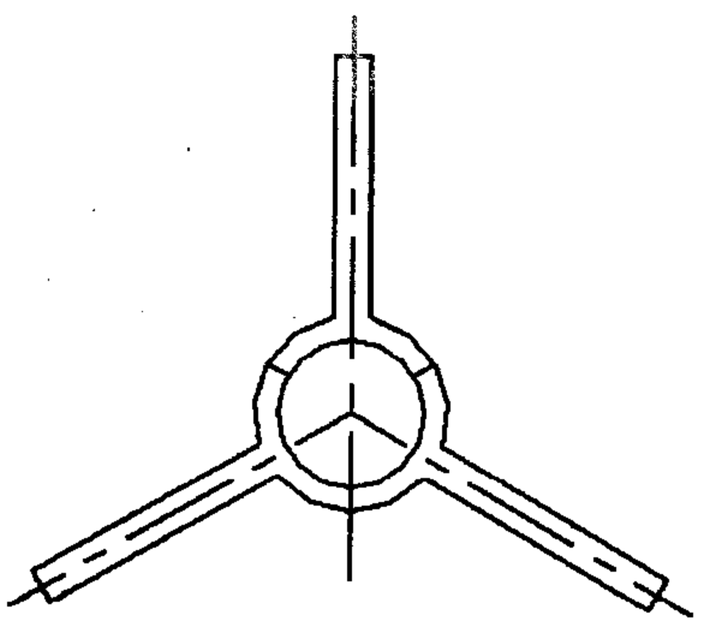


图3－31　密封件

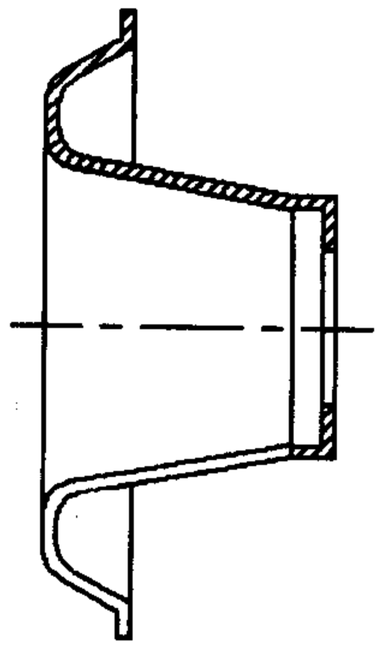


图3－32　底密封碗

③ 弹带——弹带的作用是密封弹丸与炮膛之间的间隙，防止火药燃气逸出。弹带密封效果的好坏对弹丸的密集度及发射强度有着至关重要的影响。若密封不好，火药燃气

从一边高速逸出,致使该边火药燃气的压力大幅度下降(流速高压力低),而另一边的压力高,致使弹丸产生向压力低的一边摆动,则弹带在横向摆动的作用下逐渐密封漏气的一边,而另一边开始漏气,压力降低,因此,弹丸又摆回来,如此反复,弹带磨损加大,漏气更为严重,摆动幅度更大,这样将使弹丸的起始扰动增大而使密集度变坏,甚至由于横向摆动的增大,致使横向冲击力加大而使弹体或弹托尾部折断。

弹带目前多使用尼龙系列材料,不同的火炮对材料有着不同的要求。一般要求:在高温 50℃至低温 – 40℃的温度范围内在炮膛内能可靠密封火药燃气;高温 50℃抗压强度高于 80MPa 以上;在膛内耐火药燃气的高温烧蚀。

线膛炮发射的尾翼稳定脱壳穿甲弹的弹带结构如图 3 – 29 所示,为双层滑动弹带,分别称为内弹带和外弹带,而滑膛炮发射的尾翼稳定脱壳穿甲弹只使用单层弹带,即去掉内弹带。

线膛炮发射的尾翼稳定脱壳穿甲弹使用双层滑动弹带是为了降低弹丸的炮口转速。线膛炮发射的尾翼稳定脱壳穿甲弹较滑膛炮大约晚 10 年时间,其主要原因是尾翼稳定脱壳穿甲弹弹丸的炮口转速太高,高转速的尾翼弹由于马格努斯效应而使其丧失飞行稳定性。双层滑动弹带的使用,使弹丸的炮口转速下降了 80% 以上,这样不仅解决了飞行稳定性的问题,而且由于弹丸还具有一定的炮口转速,在离心力的作用下使其脱壳更加顺利,脱壳干扰更小,密集度更好。内弹带一般使用聚丙烯材料粘敷于弹托的弹带槽内,其厚度通常为 1mm 左右。内外弹带之间涂有滑润脂以减少摩擦力。内外弹带的结构及配合参见图 3 – 29。滑动弹带降低炮口转速的措施有:减少内外弹带之间的滑动摩擦系数、减少外弹带直接受火药燃气的推力面积、适当选择外弹带的重量、增大弹丸的重量及其极转动惯量、适当选择外弹带材料的抗压强度及减小弹丸的初速等。适当调整如上参数就可以优化弹丸的炮口转速。另外,弹丸的炮口转速与弹丸的炮口速度成正比,最佳的弹丸炮口转速应与所设计的飞行部分的外弹道平衡转速相接近。炮口转速太高,致使弹丸的起始扰动和马格奴斯力矩增大;炮口转速太低,降低了离心力脱壳的作用,都会使密集度变差。

④ 紧固环——紧固环的作用是将弹托的各瓣紧固在弹体上,使之成为一个整体,当弹丸出炮膛后,在其预先设计的断裂槽处应尽快断裂并留在弹托各瓣的紧固环槽内,以保证脱壳顺利和减少干扰。

如图 3 – 29 所示,一般设计前后两个紧固环,有些滑膛炮发射的尾翼稳定脱壳穿甲弹只要一个前紧固环,而弹带能起到后紧固环的作用。紧固环一般使用铝合金材料,与弹托紧固环槽采用过盈配合,装配时紧固环上的断裂槽对准弹托各瓣的接缝处压紧,紧固环将弹托各瓣箍紧,并在相应的点铆槽处进行点铆。

(3) 穿甲作用特点

由于杆式弹弹体细长,着速高,因此穿甲过程与其它类型穿甲弹不同,其特点是弹体边破碎、边穿甲,称“破碎穿甲”。图 3 – 33 所示为侵彻过程示意图。均质钢甲具有较大的法向角,首先穿甲头部高速碰击钢甲,碰击处的压力很高(达上万兆帕),大大超过弹体材料的强度极限,穿甲头部破碎,破碎的弹体金属要向阻力最小的方向飞散,在飞散的同时也将钢甲表面碎片带走,这样碰击处出现弹坑,并使口部出现翻边,称为开坑阶段。弹体与钢甲作用的界面称为侵彻界面。在开坑阶段,侵彻界面与弹体的速度方向线呈倾斜状

态，后续弹体若动能不足则出现跳飞现象，在倾斜的钢甲表面挖出一个长弹坑而不能穿透钢甲；后续弹体若有足够的动能，在穿甲头部作用力及力矩的作用下，侵彻界面与弹体的速度方向逐渐转向垂直，而不出现跳飞，边破碎边侵彻，弹体碎片反挤在弹体周围使穿孔扩大出现反挤侵彻，称为反挤侵彻阶段。尾翼在弹坑入口处被捋掉并碰碎，在钢甲表面上留有尾翼片的划痕。当弹体侵彻的深度超过钢甲总厚度的 1/2 时，剩余弹体将向抗力最小的钢甲法向（最薄厚度方向）侵彻，于是弹孔出现向内折转，随之钢甲背面出现凸起，最后剪切下一个钢塞，称为冲塞阶段。随之钢甲后面飞出残余弹体及许多灼热的弹体与钢甲碎块，起杀伤和燃烧作用。杆式弹（钢弹芯）的穿甲特点是：

① 弹体在穿甲过程中几乎全部破碎，最后只剩下一小段尾部弹体，长度约为 1 倍～1.5 倍直径。

② 弹坑直径大于弹体直径，约为 1.5 倍直径。坑壁不光滑。

③ 大法向角穿甲时，弹孔有明显的向内折转现象；法向角越大沿着速方向的入口尺寸越大。

④ 穿透钢甲的着速越大，钢甲出口越大，弹孔越平直；着速越低钢甲出口越小，弹孔越弯曲。

⑤ 整个穿甲过程可分为开坑、反挤侵彻和冲塞 3 个阶段。

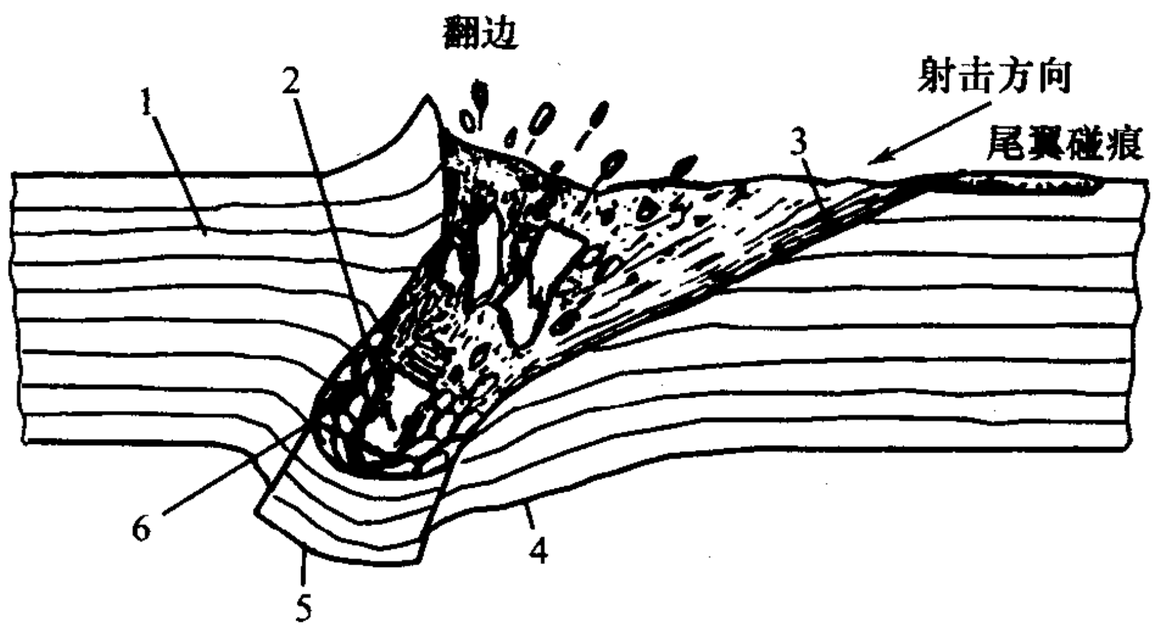


图 3－33　杆式穿甲弹的大法向角穿甲（刚穿透）情况

1—钢甲；2—弹体残部；3—滑坡；4—鼓包；5—塞子；6—破碎弹体。

3.6　穿甲弹的发展方向

3.6.1　当前杆式穿甲弹的水平

由于穿甲弹在反坦克、反装甲目标作战中的特殊重要地位，许多国家对它的发展都十分关注。从 20 世纪 60 年代第一个用于 T－62 坦克的 115mm 滑膛炮尾翼稳定脱壳穿甲弹出现至今 40 多年的时间里，尾翼稳定脱壳穿甲弹有了长足的发展，它的发展有以下几个特点：

① 弹体使用的材料由合金钢发展到高密度的钨、贫铀合金，使穿甲威力不断提高，同时也满足了使用高膛压火炮的发射强度要求。

② 弹体由整体钢结构，经历了钢套钨(铀)芯(为满足发射强度要求)又过渡到整体锻造钨、贫铀合金结构。为了提高穿甲威力，避免跳弹，并兼顾各种靶板抗弹特性，除加断裂槽、被帽弹头部结构外，又出现了半球形和穿甲块式的头部。根据发射强度和穿甲的不同要求，对弹体材料的机械、物理性能还可以沿弹体的轴线有不同的变化。

③ 尾翼的外径由起初的与炮管内膛同尺寸并起膛内定心作用，发展到小尾翼，因而尾翼材料也由钢改为铝合金。这样的变化，再加上对弹形的优化，使飞行阻力大大降低，对提高穿甲性能起到了良好的作用。

④ 随着材料、加工工艺的改善，为了满足日益提高的穿甲威力要求，弹体长径比不断加大，由 10 发展到 30 以上。

⑤ 发射穿甲弹的火炮口径不断增大。现在北约国家使用的火炮口径为 105mm、120mm，俄罗斯为 115mm、125mm。口径可能还会加大。火炮的初速、膛压也在提高，炮口动能有了大幅度的提高。

⑥ 由于弹丸初速的提高及新技术的应用，射弹立靶密集度一般都能达到概率误差不大于 0.2mil 的指标。

表 3－3、表 3－4 分别列出了 105mm、120mm 及 125mm 穿甲弹的某些性能参数。数据表明穿甲弹穿深有了大幅度的提高，贫铀合金穿甲弹所占比例较大，法国、英国也相继使用了贫铀合金材料。

表 3－3　美国 105mm 尾翼稳定脱壳穿甲弹主要性能

型号	初速 /(m·s^{-1})	弹体材料	弹体直径 /mm	弹丸长 /mm	弹体长 /mm	弹体长径比	威力(2000m)穿透均质靶板厚/mm	定型时间
M735	1500～1600	钨或贫铀合金	31.68	484	305	9.6	340	1978 年
M774	1524	贫铀合金	25	475	350	14	350	1979 年
M833	1510	贫铀合金	24	551	420	17.5	430	1992 年
M900	1500	贫铀合金				～30	对付新式坦克	20 世纪 90 年代末

M900 及 M900A1 型穿甲弹代表 105mm 穿甲弹当前的世界水平，估计其垂直穿深为 500mm～600mm；M829E2 型穿甲弹垂直穿深可达 700mm，可认为代表了现在 120mm 穿甲弹的世界水平。

3.6.2　当前穿甲弹面临的问题

表 3－5 给出了对几种坦克的装甲抗弹能力的估计，由此可以看出，坦克的防护能力发展很快，目前新研制的第四代坦克的防护能力将有更大幅度的提高，抗穿甲弹能力将达到 700mm 以上厚度均质靶板的水平，尤其是第二代反应装甲的出现使穿甲弹更加难以对付。另外，目前广泛采取的战术是远距离、高精度、大威力打击点目标，而目前的穿甲弹作战距离仅 2000m 左右，而且随距离的增加，威力及命中概率都大幅度下降。这些就是当前穿甲弹面临的主要问题。

表 3-4　120mm、125mm 坦克炮用穿甲弹主要技术性能

国家	弹体直径/mm	弹　型	初速/(m·s⁻¹)	射程/m	全弹长/弹丸长/mm	全弹重量/弹丸重/kg	长径比	弹体材料/直径/mm 质量/kg	威力 距离/m 厚度/mm 角度/(°)
德国	120	DM13 APFSDS DM23 APFSDS DM33 APFSDS DM43 APFSDS	1650 1650 1650 2000(估)		890/490.2 910/518.8 978/643 /782.5	18.7/7.22 18.8/7.3 19/7.3	12.6 14 19~20 >30	钨/38 钨/32 钨/24/24.6 钨/22	3000/北约三层 /65°
美国	120	M827 APFSDS-T M828 APFSDS M829 APFSDS-T M829A1 APFSDS-F M829A2 APFSDS-T GD120 APFSDS-T KE-T 120+APFSDS-T	1675 1675 1575 1700 1712 1690 1590	1700 3000(有效) >3000(有效) 3000(有效) 3000(有效)	889/476 935/615 984/ /634 930/658 980/778	19.73/7.2 18.7/7.16 20.9/9 /4.3 18.7/7.16 20.5/8.2	12 14 20 29	贫铀/38 贫铀/15~20 贫铀/24 贫铀/24 贫铀合金 钨合金 钨合金 钨合金/4.32	 2000/550 2000/600 2000/700 2000/520 2000/600
英国	120	L23 APFSDS L26 APFSDS L15 APFSDS	>1500 1370	1700(直射)		19.9/7.89 /10.36	>12	钨合金/27 贫铀 钨合金	
法国	120	OFL120F1 APFSDS-T 120F1 APFSDS-T 120E2 APFSDS-T	1650 1780 1740	2175(有效) 2400(有效)	977/	18.75/6.3 20/7.3	22	钨 钨合金/27 贫铀	2175/550 2000/640
俄罗斯	125	3BM-31 APFSDS 3BM-42 APFSDS	1700 1700	3000	/571 /572	/7.05 20.5/7.05	29.4 20.55	贫铀/4.5 钨合金/20/4.5	2000/500 2000/400
比利时	120	M1080TK-APFSDS-T	1652		995/625	20/7		钨合金	2000/540

表 3-5 几种主要坦克的装甲抗弹能力

型号		抗破甲能力/mm	抗穿甲弹能力/mm
二代坦克	美国 M60	300	300
	西德豹Ⅰ	250	250
	苏联 T-62	300	300
三代坦克	美国 M1	750	350
	美国 M1A1(复合装甲)	1000	400
	美国 M1A2(贫铀装甲)	1300	600
	德国豹Ⅱ	700	400
	英国挑战者	800	500
	苏联 T-72M	900	450
	苏联 T-80	1050	500

3.6.3 杆式穿甲弹发展方向

随着各种新型装甲的不断出现,且日益完善,特别是第二代反应装甲的出现,迫使穿甲弹必须更加广泛地采用高新技术,以期在与装甲的对抗中处于主动地位。

新型穿甲弹除了应继续提高对付均质装甲、复合装甲的能力外,还必须能有效地对付反应装甲和主动防护,同时提高有效射程与首发命中率。

杆式穿甲弹的穿甲能力主要取决于着靶比动能、弹体结构、弹体材料特性、着靶姿态。杆式穿甲弹的改进与发展一般是围绕这几个方面进行的,其发展方向可归于如下几个方面:

① 提高弹丸着靶比动能;
② 减少弹丸消极质量;
③ 采用新的高性能弹体材料与工艺;
④ 研究对抗第二代反应装甲并兼顾其它装甲目标的穿甲弹结构;
⑤ 提高有效射程与命中概率;
⑥ 将制导技术与火箭增速技术引入穿甲弹,发展动能导弹等。

3.6.3.1 提高弹丸着靶比动能

着靶比动能决定穿甲弹的侵彻能力。提高弹丸初速、减少外弹道上的速度下降量、增大弹体的长径比是提高着靶比动能的重要技术途径。

(1) 提高弹丸初速

① 改进火炮——增大火炮口径、加长炮管、提高膛压是提高弹丸初速的有效方法。目前坦克炮口径已由 85mm、100mm、105mm、115mm 发展到 120mm、125mm,还有可能出现 135mm、140mm 甚至 145mm;身管长度由 50 倍口径增大到 58 倍或更长;膛压由 370MPa 增大到 680MPa。相应初速得到了大幅度提高,由 1100m/s 提高到 1800m/s 甚至可达到 2000m/s。但是武器系统的机动性能受到很大影响。

② 提高火药能量——由硝化棉火药、硝基胍火药、太根火药发展到硝胺火药,其能量由 932kJ/kg、1128kJ/kg 提高到 1226kJ/kg。火药能量的提高,有效地提高了弹丸的初速。

③ 使用涂覆火药降低温度系数——传统的火药装药，在常温15℃情况下发射其膛压与初速是标准状态，在高温50℃情况下发射，其膛压增量较大，一般增高15%左右(有些装药可达到20%甚至30%)；而在低温－40℃情况下其膛压降得很低，初速也大幅度下降。由于火炮允许的最大膛压是限定条件，高于该值就可能出现安全问题，所以为了使高温膛压不超过最大膛压，势必要把常温膛压降低，因此也就降低了常温初速。若能降低温度系数，即若能使高温膛压增量不大于5%或者更低，则相应常温膛压可提高10%或者更高，因此可较大幅度地提高常温和低温初速。为了降低火药的温度系数，发展了涂覆火药。其原理是，将装药的一部分制成一定形状并使用钝感物质将其包覆起来，以达到在不同的温度下控制其参与增面燃烧的时间，从而在各种温度情况下都得到较丰满的内弹道 $p-t$ 曲线。在整发弹的装药中按一定比例加入涂覆火药。调整涂覆药的使用比例和涂覆层的厚度，以达到降低温度系数的目的，在理想的情况下，甚至可以实现“零梯度”，即常、高、低温的初速相等，膛压都不高于火炮允许的最大膛压，这样在各种温度下都能充分利用火炮的潜能，最大限度地提高初速。

④ 随行装药技术——从穿甲弹的内弹道看，膛底压力与弹底压力间存在较大的压力梯度，弹底压力大约仅是膛底压力的2/3，若能有效提高弹底压力，就能较大幅度地提高穿甲弹初速。可以考虑使用发射药随行装药技术来大幅度提高弹丸初速。发射药随行装药技术是一种和现有火炮结构相容的新型发射技术，其工作原理是在弹底装一部分火药，称随行装药，控制它在最大膛压后点燃，随行药从运动的弹丸中向弹后空间释放能量，以保持较高的弹底压力，有效改善膛压压力分布，利用“压力平台”优势大幅度提高推进效率，从而提高弹丸初速。

⑤ 密实装药技术——目前研究的密实装药技术多种多样，采用大弧厚单基(扁)球形药是其中之一种，它是利用(扁)球形药的堆积密度大，经过钝感处理的(扁)球形药，燃烧具有较好的渐增性。(扁)球形药是粒装药中装药密度最高的一种，由于其流动阻力小，其装填密度可超过 $1kg/dm^3$，应用与高装填密度装药结构相匹配的点传火技术，可获得较高的炮口速度。

⑥ 发射药钝感技术——采用新型高能发射药钝感技术可提高弹丸的初速，其原理是将一种钝感剂渗透到发射药中，使膛压缓慢增长且当膛压到达波峰后缓慢下降，使 $p-t$ 曲线下面的面积更大，提高做功效率从而提高弹丸初速。

⑦ 采用轻质材料弹托——采用轻质材料弹托减轻弹丸的消极质量是一条提高弹丸初速的重要途径。由于主战坦克炮口径和杆式弹丸的长径比的不断增大，消极质量同时增大，消耗的动能也相应地增大，而弹托是最大的消极质量来源，所以采用轻质材料制造弹托，减轻消极质量，可有效降低动能损失，提高穿甲威力。

减少弹托质量可开发利用一些密度小、强度高的新材料：

a) 采用非金属或非金属复合材料，如增强尼龙、树脂基玻璃纤维或碳纤维材料。这些材料已广泛用于小口径脱壳穿甲弹上，某些大口径脱壳穿甲弹也使用了非金属复合材料。如美国的120mm M829E2式穿甲弹的弹托已经使用了树脂基碳纤维复合材料，使其重量减轻了30%。

b) 采用轻金属或轻金属复合材料，如已广泛使用的超硬铝合金，目前也正在研究使用其它的更加轻质的合金及其复合材料。

c) 使用金属与非金属的复合,达到减轻弹托重量的目的。

(2) 增加弹体长度及长径比

由式(3.1)可以看出,弹体长度越大,侵深越大,这在一定的速度范围内是正确的。实际试验结果表明,当着速一定时,弹体长度大到一定程度反而对穿甲不利,会出现弹体折断和跳弹现象。另一方面,弹体长度一定,着速有最佳的匹配范围。当基本满足这种最佳的匹配范围时,试验表明侵深与弹体长度大致相等。着速与弹体长度及弹径有着密切的关系,弹体长度与弹径越大,弹丸的质量就越大,弹丸的初速就越小,则着速就越小。在弹体长度不变时,为提高初速以得到最佳的着速,就需要减少弹径,也就是说增大长径比。

增大弹体的长径比是提高着靶比动能非常有效的技术途径,但这受到长杆材料综合性能的限制,因此要增大长径比,就要不断改善材料的综合性能,如提高强度、韧性、抗弯性等。另外,还应当设计出新的结构以实现最大限度地加大弹体的长径比。例如,在能够大幅度提高着速的情况下,若将长径比提高到 40 或更大,将能更大幅度地提高穿甲威力,但弹体在膛内高过载发射或在外弹道上高速飞行中易发生较大的弯曲变形,这将影响弹体的发射强度及飞行稳定性。若采用低密度、高模量的材料(如钢)做成较大直径的护套,可大大地提高其刚度,避免大长径比的高密度材料弹体发生弯曲变形。初步穿甲试验表明,在穿甲过程中钢护套熔化对高密度材料的反溅排渣可起到润滑作用,而有利于穿甲。

3.6.3.2 提高弹体材料的密度及机械性能

由式(3.1)可以看出,提高弹体材料的密度 ρ_p 可以提高穿深。试验表明,由钢改用高密度的钨合金、贫铀合金后,大幅度提高了穿甲威力。通常所用的 93W 合金密度为 17.6g/cm^3、贫铀合金(0.75Ti)密度为 18.6g/cm^3。

具有较高机械性能的弹体材料能够承受更高的膛内发射应力,因而可以减短弹托长度,从而减少消极质量以提高弹丸的初速;同时,在火炮速度范围内具有较高机械性能的弹体材料可以提高穿甲威力。

国际上钨合金逐年发展的情况列于表 3-6,由此可以看出钨合金的发展和目前的水平。

表 3-6 穿甲弹弹体用钨合金机械性能逐年增长表

机械性能 \ 年份	1972	1978	1984	1990	1996	2000
σ_b/MPa	800	1150	1200	1400	1600	1800
σ_s/MPa	600	950	1000	1300	1500	1700
δ/(%)	3	7	20	10	10	10

贫铀合金在杆式穿甲弹上得到了更加广泛的应用,这是因为,贫铀合金具有比钨合金更好的穿甲性能。但贫铀合金的弹性模量小,约为钨合金的 1/2,钨合金在刚度方面优于贫铀合金。为保证贫铀合金弹体在膛内不发生弯曲,就需要增加弹托的长度,这样就增加了消极重量,降低了初速。另外,在外弹道上高速飞行时,在气动力的作用下会发生弯曲变形,将影响弹体的飞行稳定性及穿甲效果。

贫铀合金正向着贫铀钨复合的方向发展,以提高其弹性模量及强度。目前研制的贫铀钛合金及贫铀钛钨合金性能列于表3-7。可以看出,随钨含量的增加,材料强度提高而韧性下降。贫铀钨复合的另一些形式是将钨丝镶嵌在贫铀合金内或用钨粉对贫铀合金弥散强化,使贫铀合金的强度和弹性模量都有所提高。贫铀钨合金的性能列于表3-8。

表3-7　固溶+时效处理后U-Ti与U-Ti-W合金机械性能

机械性能 / 合金成分	σ_s/MPa	σ_b/MPa	δ/(%)	ψ/(%)
U-0.75Ti	841	1432	22	24
U-0.75Ti-0.5W	998	1560	23	48
U-0.75Ti-0.75W	1176	1568	15	24
U-0.75Ti-1.0W	1325	1596	2	2

表3-8　贫铀钨合金的性能

材　料	密度/kg·m^{-3}	拉　伸		压　缩	
		$\sigma_{0.2}$/MPa	E/GPa	$\sigma_{0.2}$/MPa	E/GPa
U-20W	19.06	697	188.9	620	195
U-70W	19.21	982	288.2	—	—
U-72W	19.22	—	—	1309	299
U-72W(温加工)	19.22	—	—	1517	299

由于复合材料具有优良的性能,有人研究了一些用于穿甲弹弹体的贫铀基复合材料,列于表3-9。用其中一部分制成模拟弹体,侵彻3层模拟靶结果表明,标准的U-0.75Ti合金弹体在侵彻时,不仅喷溅,而且弯曲并偏离原来的飞行路线;复合材料不弯曲,也不偏离原来飞行方向,具有较好的穿透多层靶板的性能。

表3-9　用于穿甲弹弹体的贫铀基复合材料

纤维增强	非纤维增强
U-0.75Ti/W丝(熔渗) U-5Cr/W(熔渗) U-0.75Ti/W丝(共挤) U-5Cr/W丝(共挤) U/Al_2O_3纤维(熔渗) U/石墨纤维(熔渗)	W合金芯部,U-0.75Ti外套 WC芯部,U-0.75Ti外套 织构U-0.75Ti合金

研究发现,着速度在2000m/s以下时贫铀合金的侵彻能力高于钨合金。当着速超过2000m/s时,两种材料的侵彻性能随着着靶速度的增加逐渐趋向一致,这是因为惯性效应在侵彻中开始居支配地位,而材料之间行为差别的影响逐渐减少。而着速在2000m/s以下时,贫铀合金与钨合金弹体在侵彻能力方面的差别,是由于贫铀合金的临界绝热剪切应变率较钨合金低,易发生绝热剪切破坏,所以在穿甲过程中其头部不断被削尖,产生“自动锐化”现象,有利于穿甲;而钨合金的临界绝热剪切应变率较高,在穿甲过程中其头部产生

较大的蘑菇形头部,不利于穿甲。因为目前的杆式穿甲弹仍然由火炮发射,其初速,尤其是2000m或更远距离处的着速仍然小于2000m/s,故贫铀合金比钨合金仍具有优越性。

3.6.3.3 复合弹技术

如何对付目前出现的反应装甲是杆式穿甲弹发展的方向。进一步提高其穿甲威力是其中一个方面,而在结构设计方面取得新的突破是另一个方面,如采用两级穿甲的结构,其设计思想是:先由第一级小弹丸将反应装甲或主动装甲引爆或穿出一通道,再由第二级主弹丸顺利穿透主装甲,这种结构可称为穿—穿复合弹。另外还可以设计成穿甲弹与破甲弹的复合形式,先由穿甲弹破坏掉反应装甲或主动装甲的爆炸装置,再由破甲弹破透主装甲,这种结构可称为穿—破复合弹。

3.6.3.4 动能导弹

实际射击结果表明,杆式穿甲弹具有很强的穿甲能力,它仍然是对付未来出现的第四代坦克的主要武器。要进一步提高火炮射击的杆式弹的穿甲威力,一是要提高弹丸的速度,二是要增大弹体的长径比。提高速度,就要增加火炮口径和提高火炮膛压,这样将使反坦克武器变得非常笨重,严重影响了武器的机动性能。要增大长径比,就要解决高膛压下的发射强度和大长径比弹的加工工艺问题。另外炮射穿甲弹随着射击距离的增加,其速度将下降,其穿甲威力降低、目标命中率变差,这也将影响其在较大射程上的使用。空心装药聚能破甲的反坦克导弹,虽然能实现机动灵活和在较远射程上以很高精度攻击装甲目标,但由于第四代坦克防护能力的加强,将使其毁伤概率大大降低。为解决以上矛盾,动能导弹应运而生。

动能导弹已成为目前杆式穿甲弹发展的最活跃的方向之一。因为它不仅具有杆式穿甲弹的巨大穿甲威力,而且具有与一般导弹相同的命中率;由于它有增速和续航发动机,所以可增大射程和得到高的着速,一般能在2000m~6000m的距离上对付未来战场上出现的坦克及对付距离为10000m的空中目标,如直升机、飞机等;又由于它的发射装置很轻,故可用多种发射平台发射,如直升机、车辆、坦克等,其机动性能较好。

3.6.3.5 超高速杆式穿甲弹

随着火药、液体火药、装药技术、动能导弹、电磁炮、电热轻气炮及火箭增速技术的发展与应用,杆式穿甲弹的速度将越来越高,有可能超过2000m/s,其穿甲机理发生了变化,随着着速的增加,在穿甲过程中,由材料的机械性能起主导作用逐渐变成了惯性起主导作用,因此,弹体长杆的结构由连续杆变为分段间断杆,其穿甲性能更好。所谓连续杆即整体式的钨或贫铀合金穿甲弹弹体;所谓分段间断杆式即弹体分为多个小段,每一小段之间都存在着一定的间隙,这将能充分利用惯性效应而达到提高穿深的目的。所以在使用相同侵彻体材料、相同杆径、相同质量时,分段间断杆较连续杆的穿甲深度更深。分段间断杆在较高速度范围内虽能提高穿甲威力,但对于高过载发射其结构设计非常困难,而用于低过载发射的动能导弹和有火箭助推的自主杆式弹将很容易。对于不同的着靶速度,分段间断杆存在着最佳的分段及段间间隙。

第4章　破甲弹

破甲弹是利用成型装药的聚能效应来完成作战任务的弹药。这种弹药是靠炸药爆炸释放的能量挤压药型罩，形成一束高速的金属射流来击穿钢甲的。因此，它与穿甲弹不同，不要求弹丸必须具有很高的速度，这就为它的广泛应用创造了条件。

成型装药破甲弹也称空心装药破甲弹或聚能装药破甲弹。

4.1　破甲作用基本原理及影响破甲作用的因素

4.1.1　破甲弹作用原理

4.1.1.1　聚能效应

首先观察图 4－1 所示几种装药结构爆炸后对钢甲的作用。

(1) 圆柱形装药(图 4－1(*a*))

爆炸后在靶板上只炸出很浅的凹坑。高温、高压的爆轰产物近似沿装药表面法线方向飞散，如图 4－2 所示。不同方向飞散的爆轰产物的质量可在装药上按照爆炸后各方向稀疏波传播的交界(即角平分线)来划分。

由图 4－2 可以看出，柱状炸药向靶板方向飞散的药量(常称为有效装药量)不多，而对靶板的作用面积较大，所以能量密度小，炸坑很浅。

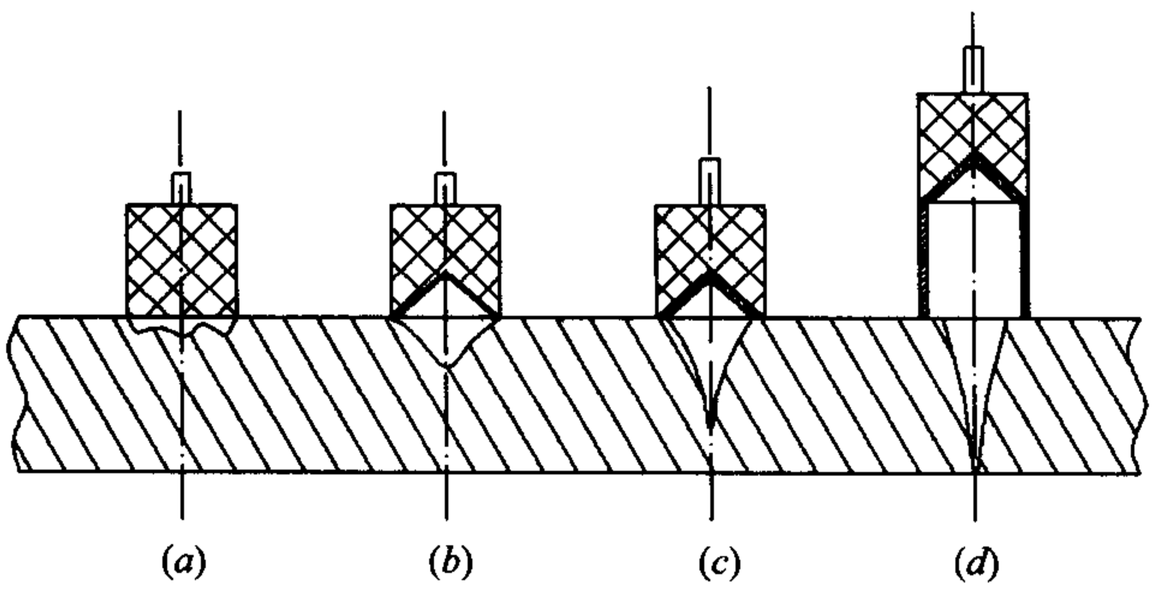


图 4－1　聚能效应实验

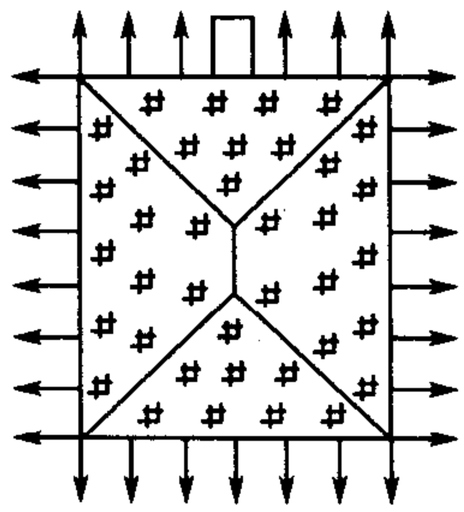


图 4－2　柱状装药爆轰生成物的飞散

(2) 装药带有锥形凹槽(图 4－1(*b*))

爆炸后靶板上的凹坑加深。凹槽附近的爆轰产物向外飞散时将在装药轴线处汇聚，形成一股高速、高温、高密度的气流，如图 4－3 所示。它作用在靶板较小的区域内，形成较高的能量密度，致使炸坑较深。这种利用装药一端的空穴来提高爆炸后局部破坏作用的效应，称聚能效应。

(3) 装药凹槽内衬金属药型罩(图 4-1(c))

装药爆炸时,汇聚的爆轰产物驱动金属药型罩,使药型罩在轴线上闭合并形成能量密度更高的金属流,使侵彻加深。如果将此装药离开靶板一定距离爆炸(见图 4-1(d))时,金属流在冲击靶板前将进一步拉长,靶板上形成的穿孔更深。

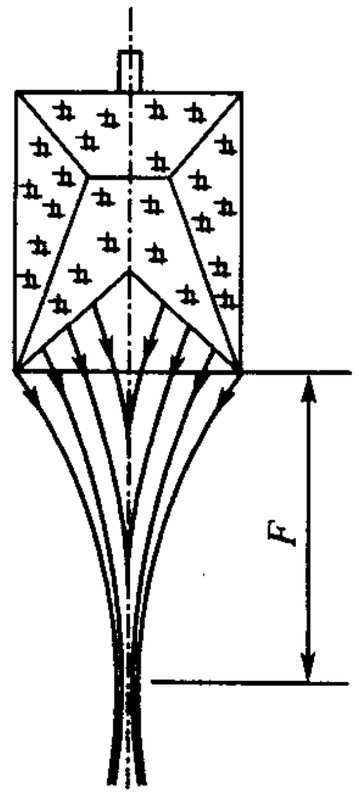


图 4-3 聚能效应

4.1.1.2 金属流

装药从底部引爆后,爆轰波不断向前传播,爆轰的压力冲量使药型罩近似地沿其法线方向依次向轴线塑性流动,其速度可达 1000 m/s ~ 3000m/s,称为压垮速度。药型罩随之依次在轴线上闭合。从 X 光照片可以看到,闭合后前面一部分金属具有很高的轴向速度(高达 8000m/s ~ 10000m/s),成细长杆状,称为金属流或射流。如图 4-4 所示,在其后边的另一部分金属,速度较低(一般不到 1000m/s),直径较粗,称为杵体。射流直径一般只有几毫米,其温度在 900℃ ~ 1000℃左右,但尚未达到铜的熔点(1083℃)。因此,射流并不是熔化状态的流体。

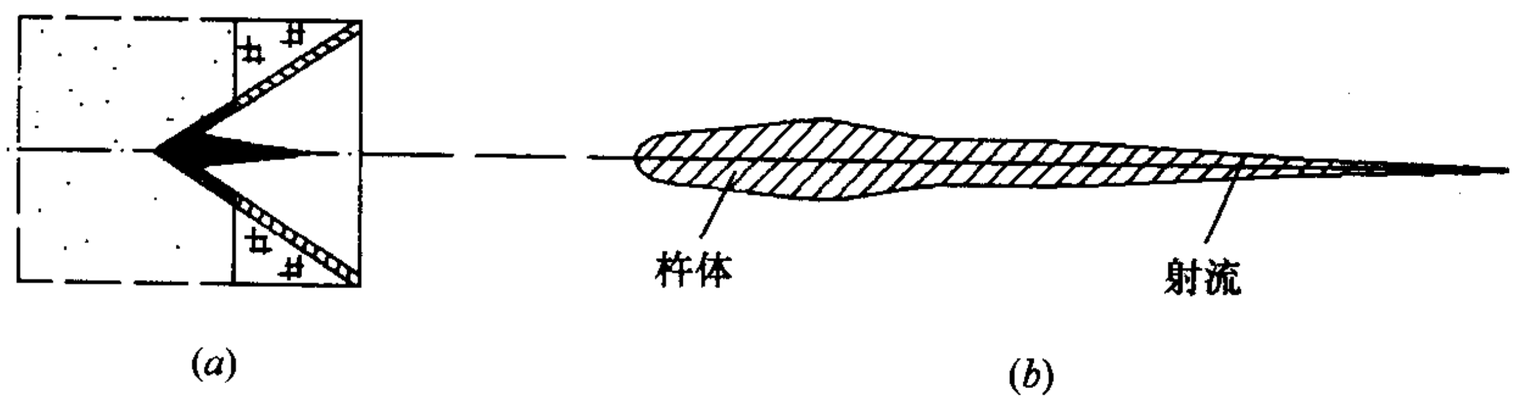


图 4-4 射流与杵体

(a)装药爆轰后某一瞬间;(b)射流形成。

锥形药型罩,由顶部到口部金属质量是逐渐增大的,而与其对应的有效药量则是由多到少。因此,药型罩在闭合过程中,其压垮速度是顶部大、口部小。形成的金属射流也是头部速度高,尾部速度低。所以,当装药距离靶板一定距离时,射流在向前运动的过程中,不断被拉长,致使侵彻深度加大。但当药型罩口部距离靶板的距离(简称炸高)过远时,射流冲击靶板前因不断拉伸,断裂成颗粒而离散,影响穿孔的深度。所以,装药有一个最佳炸高(或称有利炸高)。

4.1.2 影响破甲作用的因素

为了有效地摧毁敌人的坦克,要求破甲弹具有良好的破甲作用,其中包括破甲深度、后效作用及破甲的稳定性等。后效作用是指金属射流穿透坦克装甲后,杀伤坦克内部人员及破坏器材装置的能力;稳定性主要指穿深的跳动范围,通常穿深的跳动量(即最大侵彻深度与最小侵彻深度之差)越小越好。

影响破甲作用的因素是多方面的,如药型罩、装药、弹丸或战斗部的结构以及靶板等,而且这些因素又能相互影响,因而,它是一个比较复杂的问题。为了对影响破甲作用的因素有一初步了解,将一些主要的影响因素分述如下。

4.1.2.1　药型罩

药型罩是形成射流的主要零件,罩的结构及质量好坏直接影响射流的质量优劣,从而影响破甲威力。

目前常用的药型罩有锥形、喇叭形、半球形3种,如图4-5所示。喇叭形药型罩形成射流的头部速度最高,破甲深度最大;锥形罩次之;半球形罩最小。此外,根据性能需要,可由这3种形状中任意组合而成,如双锥罩、曲线组合罩等。目前炮兵装备的成型装药弹药中,大多采用锥形罩,因为它的威力和破甲稳定性都较好,生产工艺也比较简单。

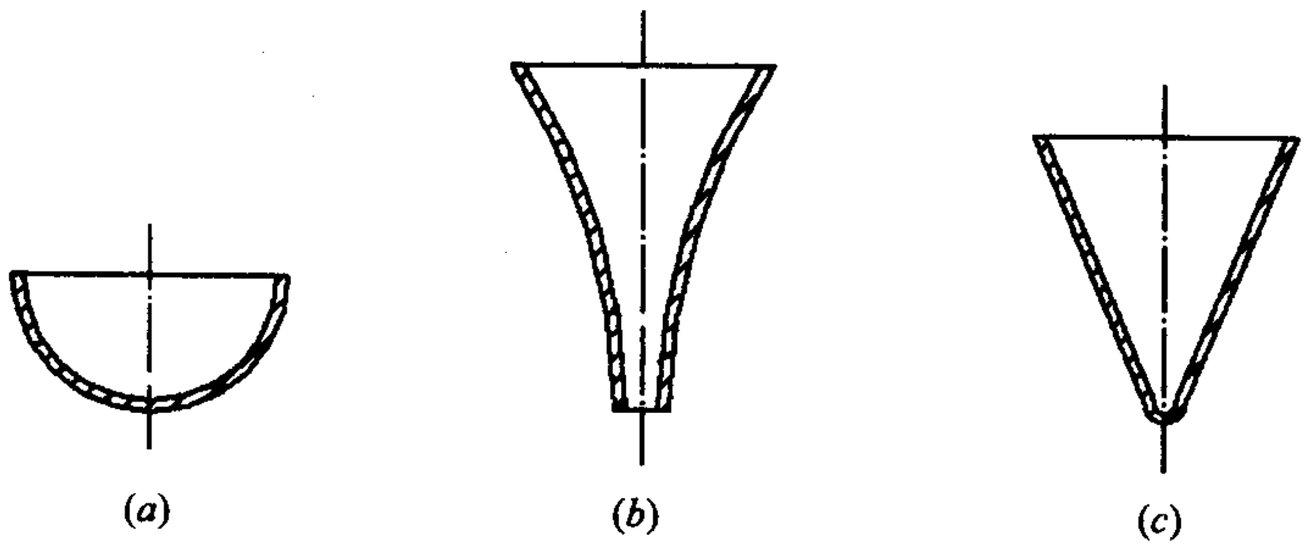


图4-5　常用药型罩形状

(a)半球罩;(b)喇叭罩;(c)锥罩。

锥形药型罩常用锥角$2\alpha = 30° \sim 70°$,一般采用$40° \sim 60°$。锥角过小时虽然射流速度可提高,破甲深度增加,但是破甲稳定性较差;锥角过大则破甲深度下降。目前常用的药型罩材料是紫铜,这是因为铜的密度较大,并具有一定的强度,超动载下塑性较好。但紫铜材料昂贵,从经济性方面考虑,应寻求其它代用材料。

当爆轰产生的压力冲量足够大时,药型罩的壁厚增加对提高破甲威力有利,但壁厚过厚会使压垮速度减小,甚至药型罩被炸成碎块而不能形成正常射流,从而影响破甲效果。

目前炮兵弹药中常用的药型罩壁厚$\delta = (2\% \sim 3\%)$倍药型罩口部直径。中口径破甲弹铜质药型罩壁厚一般在2mm左右。

现在大多采用变壁厚药型罩,罩顶部壁厚小一些,罩口部壁厚大一些,以提高射流的速度梯度,对射流的拉长有利,可提高破甲深度。

壁厚差对破甲性能有影响,壁厚差太大时形成的射流将发生弯曲,所以生产中要控制药型罩的壁厚差,一般应小于0.05mm。

4.1.2.2　装药及结构

炸药装药是压缩药型罩使之闭合形成射流的能源,因此装药的性质和结构对破甲弹的影响很大。

聚能效应属于炸药的爆炸作用(或称直接接触爆炸作用)范围,故其威力取决于炸药的猛度。在结构合理的条件下,炸药的猛度越高,破甲效应越好。炸药的猛度是由它的密度及爆速决定的。

为了提高破甲威力,希望装药的密度和爆速高,作用于药型罩上的压力冲量大一些,以

提高压垮速度与射流速度。

目前在破甲弹中大量使用的是以黑索今为主体的混合炸药，如铸装梯黑 50/50、黑梯 60/40 炸药，密度为 1.65g/cm^3 左右，爆速在 7600m/s 左右；压装的钝化黑索今，密度为 1.65g/cm^3 时，爆速可达 8300m/s；8321 及 8701 炸药，密度在 1.7g/cm^3 左右，爆速可达 8350m/s；压装的奥克托今炸药，密度在 1.8g/cm^3 时，爆速达 9000m/s。

在装药中加入隔板，可以改变爆轰波形，从而改变药型罩的受载情况，提高破甲威力。图 4－6 所示，左半部为无隔板情况，O 为起爆波源，爆轰波以球面波的形式传播，经过 Δt 时间到达药型罩上的 A 点，爆轰产物对罩 A 微元的压力冲量方向即为矢径 $\boldsymbol{OA}$，与罩表面成 φ 角。根据研究，爆轰产物的压力与 φ 有关，φ 角越大（当 $\varphi \leqslant \pi/2$ 时）则爆轰产物对罩的压力越大。右半部为有隔板情况，经过 $\Delta t'$ 时间到达同一截面 B 处之爆轰波所走的路径是 $ODCB$，而爆轰波通过隔板内部的速度大大减慢，所以爆轰产物对罩 B 微元的压力冲量方向为其矢径 $\boldsymbol{CB}$，与罩表面成 φ' 角。因为 $\varphi < \varphi'$，故有隔板时爆轰产物对罩的压力大于无隔板时的情况，因而有利于提高射流速度与射流质量。

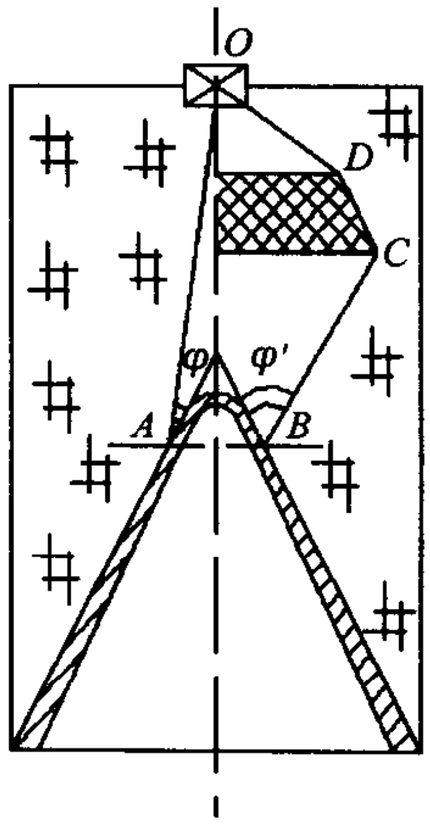


图 4－6　隔板的作用

这里需要指出的是：当药型罩锥度较小时，采用隔板结构效果不明显，而且采用隔板也使装药结构复杂，破甲不稳定。所以口径较大的破甲弹，当威力能满足战术技术要求时，不一定再采用隔板结构。

对装药来说，装药结构形状、高度、罩顶药厚及起爆方式等都直接影响有效装药，故对破甲也有影响。另外，在弹丸口径确定后，装药口径尽可能大一些，对破甲威力有利。在生产过程中，药柱的质量、与罩的结合以及药柱的装配等都容易引起破甲深度的跳动。

4.1.2.3　弹丸结构

弹丸结构中影响破甲作用的因素主要包括弹丸的旋转、弹头部结构及起爆条件等。

旋转对破甲的影响：旋转稳定式弹丸为了达到飞行稳定，在弹道上始终保持高速旋转；即使是尾翼稳定的破甲弹，为了减少气动力偏心和火箭推力偏心（火箭增程弹）的影响，以保证射击精度，飞行中一般也要求低速旋转。因此必须研究旋转对破甲的影响。

根据目前的理论与试验研究，有如下的结论：

① 弹丸的旋转对破甲有不利的影响，转速越高破甲深度下降越大；

② 弹丸的口径（或装药直径）越大，旋转对破甲的影响也越大；

③ 药型罩的锥角越小，旋转对破甲的影响越大；

④ 炸高越高，旋转的影响也越大。

对于中口径破甲弹，当弹丸转速较高时（如旋转稳定弹丸），小锥角（$2\alpha < 30°$）破甲深度下降 60%，大锥角（$2\alpha > 60°$）破甲深度下降 30%左右；当弹丸低速旋转时（$n = 3000$r/min），小锥角下降约 20%，大锥角下降 10%左右；当弹丸转速 $n < 2000$r/min 时，对中、大锥角的罩来说，破甲深度下降 5%左右，一般可不考虑其影响。

由于弹丸的旋转，装药与药型罩也获得一定转速，当药型罩闭合时，射流将获得更高的转速。在运动过程中，射流不断被拉长变细，转速还将增大。在旋转离心力的作用下，

射流可能发生径向离散，也可能使初始射流的扭曲现象变得更加严重，从而使射流分散、紊乱，造成破甲深度的下降。

弹头部风帽结构的影响：弹头部的形状、强度、刚度和高度以及是否采用防滑帽，都将影响到大着角情况下弹丸是否跳弹及作用是否可靠，从而影响破甲性能。

起爆系统的影响：对弹丸来说，起爆系统对破甲的影响也就是引信对破甲的影响。引信的作用时间对炸高有影响，引信雷管的起爆能量、导引传爆药、传爆药等也直接影响到破甲威力和破甲的稳定性。研制破甲弹时，应根据具体的装药结构选择合适的引信，以保证破甲威力。

4.1.2.4　炸高

炸高就是弹丸爆炸瞬间，药型罩口部到靶板表面的距离。

对于一定结构的弹丸，有一最有利炸高，对应的破甲深度最大。炸高过小，金属射流没有充分拉长，因而破甲性能不佳；炸高过大可引起射流质量分散，射流速度降低，使破甲威力下降。

最有利炸高一般通过实验方法来确定，例如可用优选法确定。目前最有利炸高为药型罩口部直径的6倍左右，但在设计中实际所取的炸高为1倍～3倍药型罩口部直径，此时破甲深度为最佳炸高时的80%～90%。应当注意，用静止试验确定的炸高一般称为静止炸高，而设计弹丸时还应考虑到弹丸着速和引信作用时间的影响，通常由于破甲弹风帽的强度较低，其变形对弹丸速度影响较小，故弹丸顶面至药型罩口部的距离 H 可由下式近似表示：

$$H = L + v_0 t$$

式中　L——静炸高(m)；

v_0——弹丸碰击目标时的速度(m/s)；

t——引信的起爆时间(s)。

4.1.2.5　靶板

靶板对破甲作用的影响主要是靶板材料性能和靶板结构形式的影响。

靶板材料性能方面的影响，包括材料的强度和密度。强度高、密度大的靶板，射流的破甲深度较浅。

靶板的结构形式，如靶板倾斜角的大小、多层间隔靶板、钢与非金属材料的复合靶板等，对破甲作用的影响目前还在研究。总的来说，倾斜角大，易产生跳弹。试验证明，多层间隔靶板、钢与非金属材料组合而成的复合靶板的抗射流侵彻能力高于单层钢质靶板。

总之，破甲过程是一个比较复杂的过程，除了上面介绍的这些因素对破甲有影响外，其它诸如弹丸碰击目标时的状态(着角、着速、着靶姿态)等，也对破甲有影响。对于破甲机理的研究，至今仍不很完善，有待今后进一步研究。

还应指出，上面介绍这些影响因素时是分别叙述的，而实际上它们是相互联系的。从本质上讲，这些因素是影响了射流速度、质量、密度、有效长度和稳定性而造成破甲深度的变化。

4.2 尾翼稳定的破甲弹

4.2.1 82mm 无后坐力炮破甲弹

82mm 无后坐力炮破甲弹是我国设计制造的一种反坦克炮弹，配用于 1965 年式 82mm 无后坐力炮。这种火炮的特点是质量轻，威力大，机动性好，是配备于连一级的反坦克武器之一。其主要任务是击毁敌人的坦克、自行火炮和装甲车辆，必要时也用于摧毁碉堡和火力点。

在一般榴弹炮和加农炮中，由于药室是密闭的，弹丸在发射时，火药气体给予弹丸一个较大的初速；同时也给火炮一个很大的后坐能量，火炮为了消耗这部分后坐能量，就要有一套较复杂的反后坐装置，因此火炮较重（如 85mm 加农炮全部质量为 1725kg），其优点是初速高，可达 800m/s。而无后坐力炮的药室是不密闭的，发射时，火药气体推动弹丸向前运动，同时部分气体向后喷出，这样就抵消了火炮后坐的力量。由于火炮不再受很大的后坐力，就可以做得很轻。如 82mm 无后坐力炮全部质量只有 29kg，所以，人们往往称其为轻 82。这类无后坐力炮的缺点是初速比较低，如轻 82 为 247m/s，直射距离比较近。

1965 式 82mm 无后坐力炮破甲弹如图 4－7 所示。

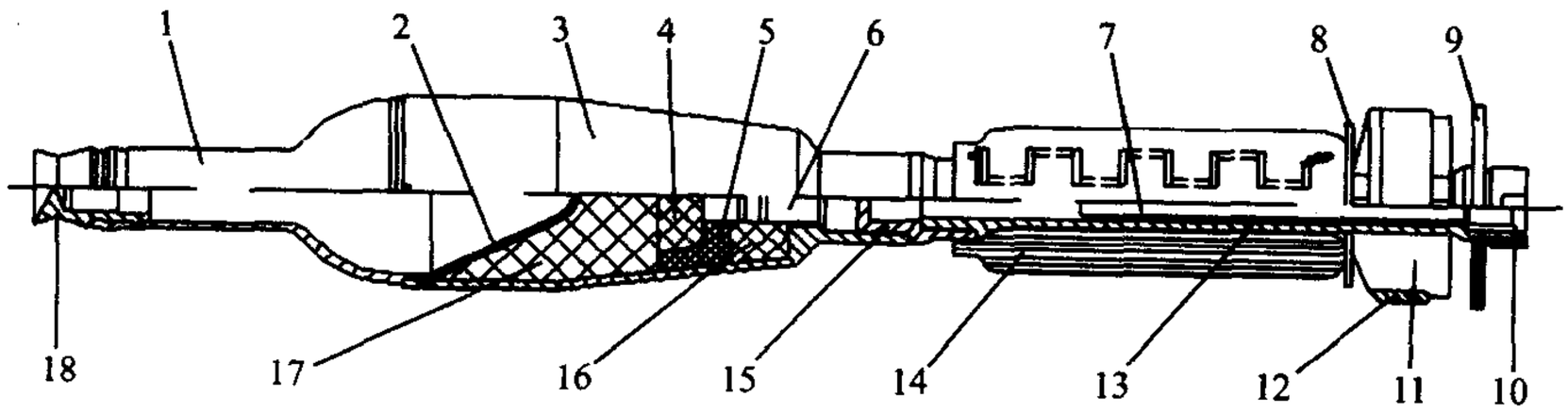


图 4－7 1965 年式 82mm 无后坐力炮破甲弹

1—头螺；2—药型罩；3—弹体；4—隔板；5—副药柱；6—引信；7—基本药管；8—纸板；9—定位板；10—底螺；11—尾翼；12—稳定环；13—尾管；14—发射装药；15—连接螺；16—衬块；17—主药柱；18—防滑帽。

主要诸元：

全弹质量/kg	3.925
弹丸质量/kg	2.885
炸药质量/kg	0.473
初速/($m \cdot s^{-1}$)	247
常温平均膛压/MPa	30.4
直射距离/m	300
破甲威力	120mm/65°
精度（在 300m 处）	0.45m × 0.45m
引信	破－4 引信

轻82破甲弹由弹体3、头螺1、防滑帽18、主药柱17、副药柱5、药型罩2、隔板4、引信6、发射装药14等零部件组成。

4.2.1.1　弹体和头螺

弹体由16Mn钢管冷缩成形。其外表面进行机械加工，两端制有内螺纹，弹体药室不再加工。弹体前端螺纹与头螺连接，后端螺纹则与尾管连接。弹体壁比较薄，以便多装炸药和减轻弹丸质量、提高初速、增加直射距离。

头螺由钢板或圆钢冲压而成，后端制有外螺纹与弹体连接，头螺前部为一细长圆管，以保证必要的炸高，圆管前端滚压防滑帽。

4.2.1.2　防滑帽

老式的82mm无后坐力炮破甲弹采用弹头触发引信，经中心管传火使弹底起爆。这样整个起爆时间较长，对倾角大的装甲射击时，弹丸破甲穿透率下降，甚至产生跳弹而失去破甲作用。采用弹头压电、弹底起爆的压电引信可避免上述缺点。但压电引信比较复杂，并且在炸药处要有导线通过，造成工艺上的复杂性。如果在弹丸头部加一个防滑帽，便可采用简单的机械引信，同样可达到大着角发火、性能良好的目的。防滑帽顶部有一圆锥形的凹窝，材料是60钢并经热处理，使其具有很高的硬度。在碰击钢甲时，防滑帽的侧棱卡住钢甲使弹丸不跳飞，如图4－8所示，则弹底引信因惯性而起爆。这样的起爆方式，结构比较简单，并能做到在65°大着角下可靠作用。

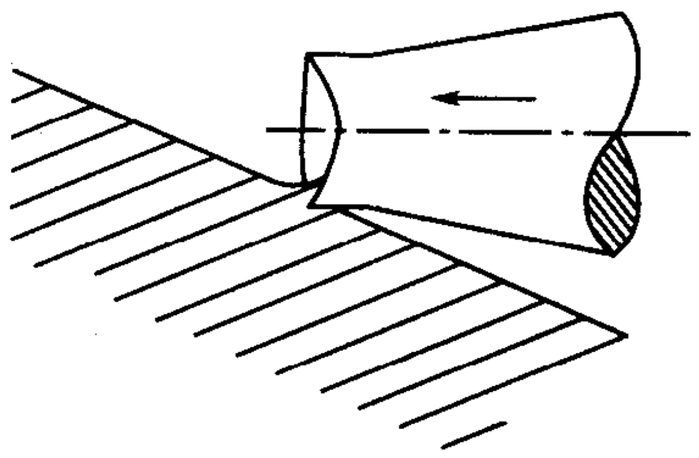


图4－8　防滑帽的作用

4.2.1.3　炸药

该弹的炸药分为主药柱和副药柱两部分，主药柱为钝化黑索今炸药0.41kg，副药柱为高能8321炸药，质量为0.063kg，主药柱和副药柱之间放有塑料隔板。

副药柱需预先单独压制成形，装上隔板放入弹体中，再直接在弹体内压入钝化黑索今主装药。

采用直接压装法，药型罩与炸药贴合紧密并可使炸药密度增加，对提高破甲威力有较好的效果。

4.2.1.4　药型罩

药型罩是破甲弹的重要零件，它的结构、形状及材料都直接影响金属流的破甲性能。

轻82破甲弹的药型罩是用紫铜板冲盂后旋压而成，形状为圆锥形，壁厚从罩顶至罩底是变化的。外表面锥角为49°32′。内表面锥角为48°10′，锥顶部的厚度约为1mm，口部附近为1.84mm。旋压药型罩的成形是由模具尺寸保证的，旋压药型罩的工艺性能较稳定，壁厚差较小，一般可控制在0.05mm以内，故破甲性能较稳定。此外，由于旋压加工时

形成织构,致使药型罩在形成射流时产生自旋运动,从而使旋压药型罩能抗低速旋转,即有旋转补偿效应。

4.2.1.5 隔板

隔板的作用是改变爆轰波的传播方向(波形),增大作用在药型罩上的爆轰压力,以提高药型罩的压垮速度,从而增大射流的速度,达到提高破甲深度的目的。隔板是采用酚醛塑料(FS—501)压制而成,有人曾用石墨或木质材料做隔板,但性能均不如前者。

4.2.1.6 弹底引信

轻82破甲弹采用我国自己研制的破—4弹底机械引信。轻82破甲弹采用了弹头防滑帽与弹底机械引信相配合的措施,基本上解决了大着角(65°)的发火问题,并且保证了弹丸的破甲威力(120mm/65°)。

对于高初速的破甲弹,采用这种办法不能满足要求。因为弹底引信的作用时间长,而头螺的强度难以保证高速碰撞时不破裂,因此,还需采用压电引信来解决大着角的发火问题。

4.2.1.7 稳定装置

稳定装置由尾管、尾翼和稳定环组成。尾管用钢管制成,尾翼和稳定环是用铝合金压铸在尾管上而制成的。稳定环套在尾翼外缘,可以提高飞行时的稳定力矩,同时稳定环在膛内也起导引作用,和定心部一起保证弹丸在膛内的正确运动。

尾管由40Mn无缝钢管制成,壁厚较薄,以便减轻弹尾质量,使全弹质心前移。尾管内放置点火药管,尾管上钻有 ϕ6mm 的传火孔4排,共24个,用于引燃附加药包。尾管末端车有螺纹,用于旋装螺盖、固定定位板和点火药管。

4.2.1.8 发射装药

82mm无后坐力炮用发射装药的结构由点火药管和附加药包组成。

点火药管内装填大粒黑药,目的是增大点火药的引燃能力和增长引燃时间,使附加药包能迅速且均匀一致地点燃。

附加药包用双基带状火药,药包呈袋状,围缝在尾管上。为了可靠地固定药包,防止药包窜离传火孔而影响引燃,在药包下面尾管上套一挡药纸板。

82mm无后坐力炮发射装药是在大药室容积、有大量火药气体流出的情况下燃烧的。为了保证装药正常燃烧和射击时无后坐力,设置了定位板。定位板由酚醛夹层布压制而成,外径大于炮膛内径,装药后它挡在炮尾药室的后端,起轴向定位作用。在发射时,当膛内火药气体压力达到一定值后,定位板压碎喷出,弹丸开始运动。有一定的起始压力,对保证内弹道性能的稳定性是非常必要的。为了使定位板破碎均匀,在定位板上钻有许多小孔。

轻82破甲弹的优点是威力较大,精度较高,火炮机动性较好。但该弹直射距离仅有300m(配备在连一级),已被78式82mm破甲弹(装备在连一级或营一级的营82破甲弹)

代替。

4.2.2　苏联100mm坦克炮用破甲弹

加农炮初速高、直射距离远、射击精度高，这是其优点。为了避免高速旋转对破甲威力的影响，破甲弹大多采用尾翼稳定方式。由于在超声速情况下，同口径尾翼难以保证弹丸的飞行稳定性，故一般均采用张开式尾翼。

该弹配用于1953年式100mm线膛加农炮及坦克炮上，用于对付坦克及装甲车辆，结构如图4-9所示。

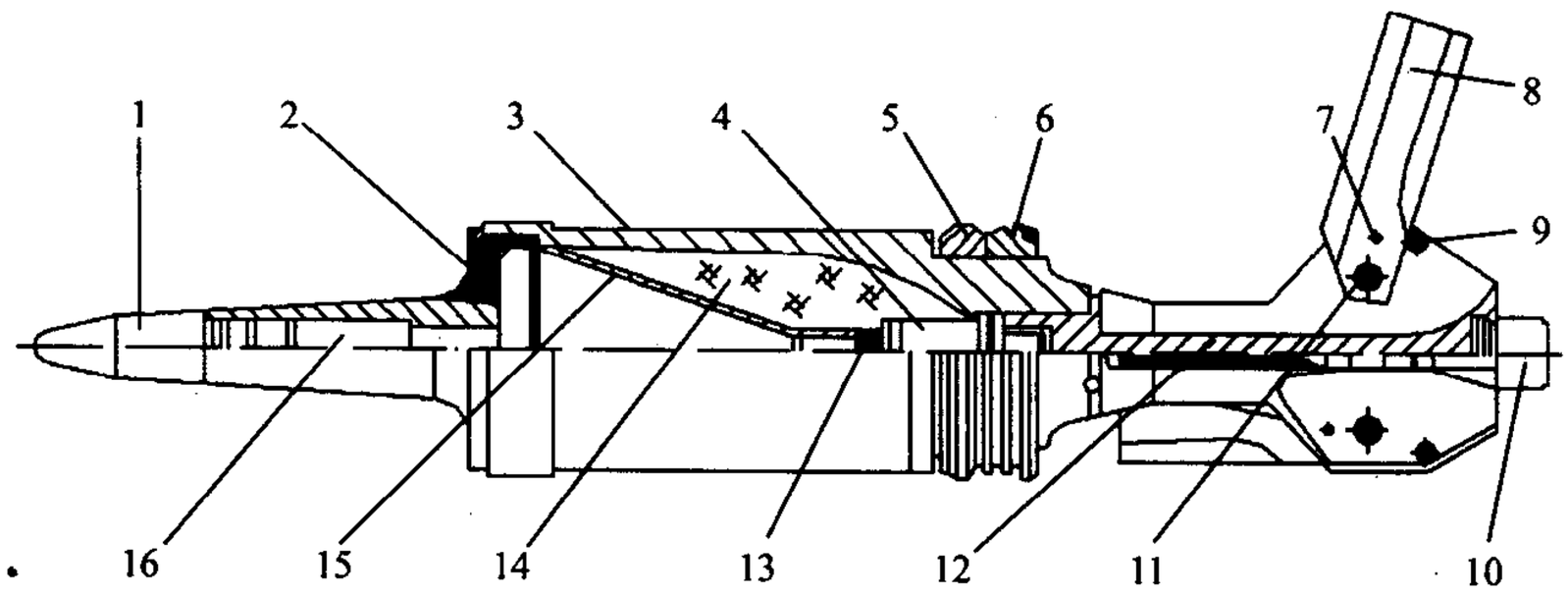


图4-9　苏联100mm坦克炮用破甲弹

1—引信；2—头螺；3—弹体；4—起爆机构；5—活动弹带；6—压环；7—切断销；8—尾翼；9—定位销；10—曳光管；11—销轴；12—尾杆；13—后传火管；14—炸药；15—药型罩；16—前传火管。

主要诸元：

弹丸质量/kg	9.45
弹丸长/mm	609
翼展/mm	280
炸药质量(梯黑45/55，密度1.68g/cm^3)	0.967
初速/(m·s^{-1})	1013
膛压/MPa	224.7
破甲威力	400mm/0°

该弹主要特点：选用了特殊的气动力外形，头部为瓶形结构，肩部很平，且可减小头部升力，提高了飞行稳定性，因而可以提高弹丸精度。另外，采用活动弹带环结构，使弹体产生低速旋转，同时可保证膛内闭气性良好。尾翼为前张式，靠离心惯性力张开，弹带为陶铁弹带，弹丸头部和尾部都是由铝合金制成。弹体材料为优质高碳钢，壁厚较大，引信为机械引信，头部触发，爆轰波通过中心管使弹底雷管起爆，从而使弹丸爆炸。

此弹优点是弹丸飞行稳定性好，精度较高；采用活动弹带保证了闭气，同时使弹丸低速旋转；机械式传火起爆引信简单可靠，虽作用时间较长，但头部为铝杆，强度很低，不会引起跳弹；弹体壁较厚，具有较大的杀伤作用。

4.2.3　85mm汽缸式尾翼稳定破甲弹

加农炮破甲弹采用的张开式尾翼有从后面向前张开的后张式(利用火药气体压力)和

从前面向后张开的前张式(利用气体动力或离心惯性力)两种。下面以85mm汽缸式尾翼破甲弹和100mm滑膛炮用的尾翼破甲弹为例来说明其特点。

85mm破甲弹是为56式85mm加农炮配备的弹种,由于用线膛火炮发射尾翼式破甲弹,在结构上要采取一些措施,本弹是利用汽缸内的压力推动活塞使尾翼张开,故称汽缸式尾翼破甲弹。其结构如图4-10所示。

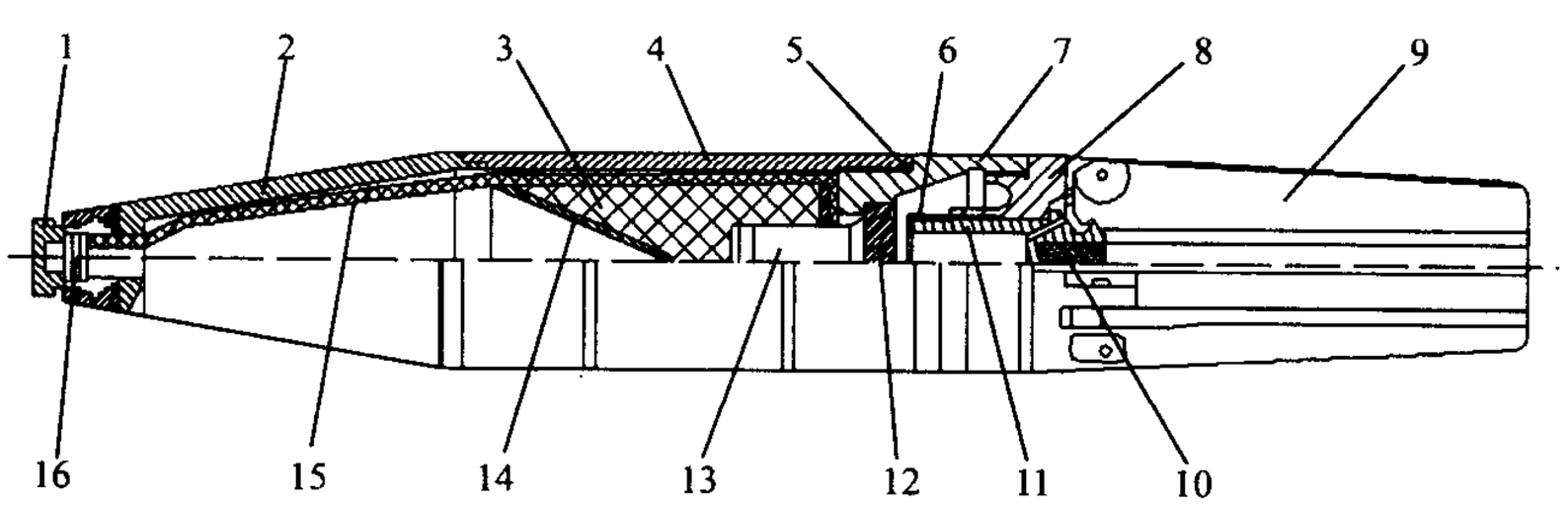


图4-10 85mm加农炮用汽缸式尾翼稳定破甲弹

1—引信头部;2—头螺;3—炸药;4—弹体;5—橡胶垫圈;6—螺圈;7—弹底;8—尾翼座;9—尾翼片;10—曳光管;11—活塞;12—螺塞;13—引信底部;14—药型罩;15—导线;16—压电晶体。

主要诸元:

口径/mm	85
弹丸质量/kg	7.0
初速/($m \cdot s^{-1}$)	845
直射距离/m	945
立靶精度(在800m处)	0.4m×0.4m
破甲威力	100mm/65°
引信	电-1引信

85mm破甲弹丸是由弹体4、头螺2、弹底7、稳定装置、成型装药、引信等零部件组成,现分述如下。

① 弹体——由于膛压较高,弹体必须具备足够的强度,所以弹体采用30CrMnSi合金钢并经热处理制成。

弹体的形状为圆筒形。为提高圆柱部强度和减少火药气体对圆柱部的压力,应尽量减少圆柱部和定心部之间的差值。这种结构的炮弹由于没有闭气装置,火药气体沿弹壁和炮膛间隙冲出,对炮膛冲刷、烧蚀比较严重,在射击400发以上时就可能引起精度下降,在射击600发以上时,由于炮管直径的增大,火药气体大量前冲,增大了对弹体的径向压力,弹体变形量将可能超过允许值。

② 头螺——头螺为稀土球墨铸铁制成,其外形为一圆锥形,铸造质量对金属密度影响大。为保证头螺质量大体一致,头螺下圆柱部为一调整尺寸,根据头螺质量来确定该部尺寸。

③ 弹底——弹底为一带中心孔的盂状体。中心孔处有一定位台,用以和引信配合。该部位尺寸应严格控制,因为当此定位台过浅时压螺不能压紧引信,会使引信在其内部串动;如果过深则引信凸出,压螺被引信顶住,又不能压紧橡胶密封垫,这有可能使火药气体

窜入而不安全。

④ 汽缸式张开尾翼的稳定装置——由于85mm破甲弹的初速很高，是超声速飞行，必须采用超口径尾翼才能保证飞行稳定。尾翼片以销轴与尾翼座相连接，翼片上的齿形与活塞的齿形相啮合，活塞要装在尾翼座的中心孔内，并以其突缘抵住翼座底平面，其上部用螺圈固定。活塞上有两个直径为2.25mm的进气孔。螺圈旋在活塞的螺纹上并紧压在尾翼座的剪切圈上，构成平时的固定状态。为了密闭和缓冲，在活塞上有一橡胶密封圈，发射时，火药气体从活塞的气孔进入活塞内腔，当弹丸出炮口后，外界压力突然下降，气室内压力将迫使活塞向后运动，活塞带动螺圈将剪切圈剪断。活塞齿条推动翼片齿形运动，使翼片绕销轴旋转张开。当活塞运动一定距离后，螺圈的突缘与翼座上端相接触，使活塞不能再前进，翼片张开到位。与此同时，内腔的火药气体也泄漏完毕，内部压力降低，也不再推动活塞运动。翼片在飞行中的固定是依靠螺圈根部与翼座活塞孔的摩擦阻力和剪切圈的残留毛刺将螺圈和活塞固定，使翼片固定在张开位置。尾翼张开的后掠角为61°32′。

为使弹丸在飞行时作低速旋转，翼片的一面对弹轴成一倾角，倾角一般为2°～6°。后张式的尾翼结构作用可靠，同步性好，在线膛炮和滑膛炮上均可采用，对弹丸的精度有利，其弹形系数也较小(一般 $i_{43}=1.6$)左右。其缺点是构造复杂，加工质量对性能的影响较大。

⑤ 装药与药型罩——炸药采用铸装梯黑50/50混合炸药。在底部有硬纸垫以压紧药柱，其上有导线槽。药柱必须压紧，否则药型罩和炸药间出现间隙会影响破甲效应。

药型罩为铜板冲压制成，锥角为40°。在靠近药型罩的口部钻有3mm的孔，引信头部的导线即通过此孔至引信底部。

⑥ 引信——为电－1式压电引信，头部为压电晶体，底部起爆，中间用导线连接。

此弹由于没有膛内闭气装置，火药气体对炮膛的冲刷较大，影响火炮寿命，这是较大的缺点。

4.2.4　100mm滑膛炮用尾翼稳定破甲弹

100mm滑膛炮用尾翼稳定破甲弹采用前张式的张开式尾翼，结构比较简单，作用可靠。该弹的结构如图4－11所示。

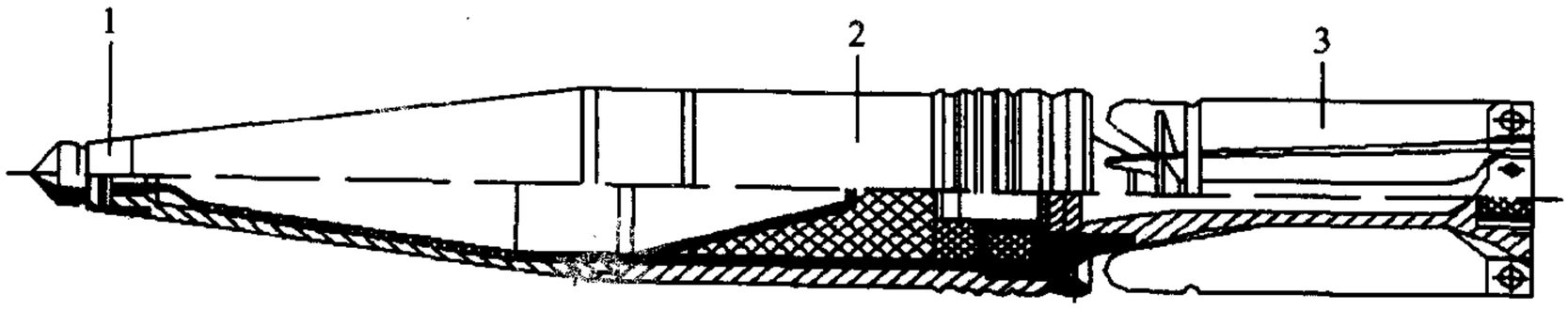


图4－11　100mm滑膛炮用尾翼式破甲弹

1—压电引信；2—战斗部；3—尾翼片。

主要诸元：

弹丸质量/kg	9.9
初速/(m·s^{-1})	1070
直射距离/m	1000

立靶精度(1000m 处)	0.4m×0.4m
破甲威力	120mm/65°
引信	电-1 引信

此弹战斗部结构与 85mm 破甲弹相似,采用电-1 式引信,头部压电,底部起爆,中间用导线连接。此弹由于口径较大,故不带隔板也可保证威力。弹体外部刻有环状槽,迫使气体在环形槽内多次膨胀产生涡流,以减小火药气体在间隙中的冲刷作用。6 片尾翼为前张式结构。在尾杆前部有一挡板,上面铣有 6 个缺槽,以放置尾翼。尾翼面积较大,质心位置靠近弹轴,因此在膛内直线惯性力的作用下,尾翼向里合拢不会张开。当弹丸出炮口时,高速前冲的火药气流被挡板所阻,被迫向外扩散;弹底空腔内的高压火药气体也向外流动,使尾翼张开。只要尾翼张开一定角度,在迎面空气阻力的作用下就会继续张开到位。由于尾翼面积大,张开后翼展又很大,故弹的稳定性很好。

挡板的存在对尾翼张开十分有利,尾翼在离炮口 5m 内就开始张开,10m 内已基本张开到位。若无挡板时,弹丸在飞离炮口 30m 处翼片尚不能完全张开。

这种尾翼结构在通过炮口制退器时尾翼可能弯曲,这是由于炮口制退器排出了部分气体使尾翼片之间的压力不均匀之故。改进办法是增加尾翼的强度和刚度以及改进炮口制退器。

这种尾翼结构的空气阻力较大,尾翼张开到位时的冲击比较严重,可能引起某些故障,其优点是尾翼结构比较简单可靠。

4.3 旋转稳定的破甲弹

4.3.1 美 152mm XM409E5 式多用途破甲弹

美 152mm XM409E5 式多用途破甲弹是美国 20 世纪 60 年代末期的产品,用于 152mm 线膛坦克炮上。由于其在药型罩抗旋方面的独特结构,有必要加以介绍。

所谓多用途破甲弹就是指该弹以破甲为主,同时还具有杀伤弹的作用。其结构如图 4-12 所示。

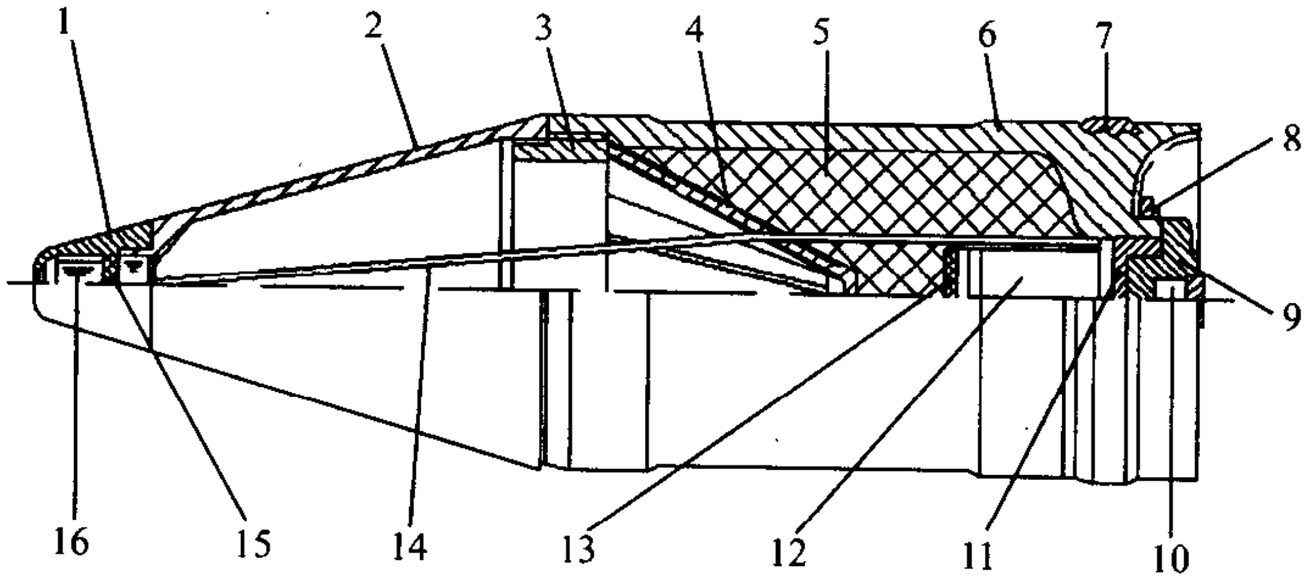


图 4-12 美 152mm 多用途破甲弹

1—引信帽;2—头螺;3—连接螺圈;4—药型罩;5—炸药;6—弹体;7—陶铁弹带;8—药筒压紧螺;9—底螺;10—曳光管;11—压紧螺;12—引信底部;13—毡垫;14—导线;15—垫片;16—引信头部。

基本诸元：

炮弹质量/kg	22.52
弹丸长/mm	488.6
弹丸质量/kg	19.37
初速/($m \cdot s^{-1}$)	687
最大射程/m	8830
直射距离/m	800
弹丸最大转速/($r \cdot min^{-1}$)	6800
最大膛压/MPa	272.44
破甲威力	500mm/0°

该弹主要特点是：为了克服弹丸旋转给破甲带来的不利影响，采用了错位抗旋药型罩，这样既可提高射击精度，又不影响破甲威力。弹带为陶铁弹带，不但能够节约铜材，而且还可使火炮寿命相对提高。药筒为半可燃药筒，除了节省金属材料和简化工艺过程外，对坦克炮是十分有利的。该弹采用压电引信。

药型罩结构：该弹药型罩是采用先冲压后挤压的方法制成，其材料为紫铜，含铜量在99.9%以上。该罩由16个圆锥扇形块错位而成，每块对应圆心角 φ 平均值为21°16′，如图4－13所示。

当破甲弹在高速旋转时爆炸，穿孔直径略有增加，靶后射流分散面积增大，而破甲深度大幅度下降。这是由于旋转导致射流在运动过程中发生扭转、断裂以致分散。实验证明，在同一转速条件下，旋转的有害影响随着装药直径的增大而增大。扇形错位药型罩能减小旋转的影响，当炸药爆炸时，每一扇形块由于错位原因，压垮速度的方向不再通过轴线，而偏离轴线与半径为 ss 的圆相切。这样各块扇形块的共同作用将产生旋转的金属流，其方向正好与弹丸旋转的方向相反，因此可减小弹丸旋转带来的不利影响，如图4－14所示。

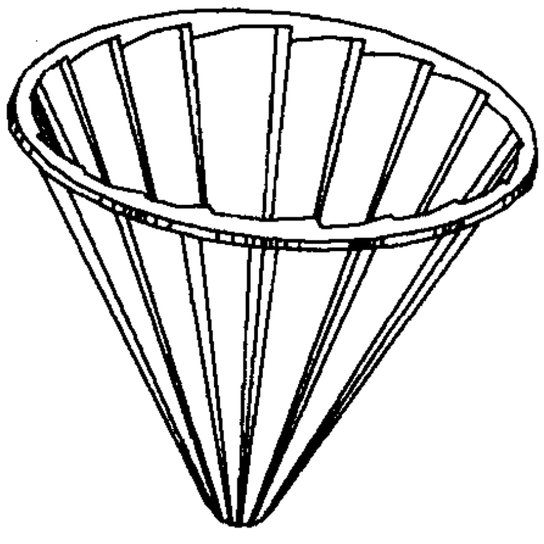


图4－13　错位抗旋药型罩

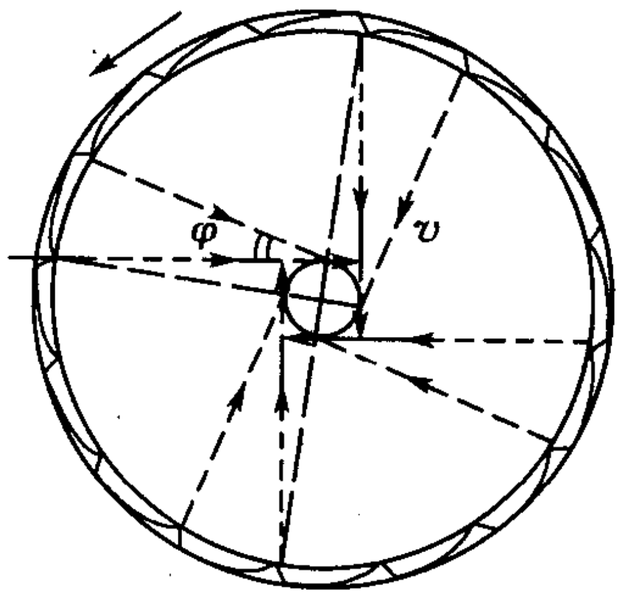


图4－14　错位抗旋原理示意图

炸药装药：弹丸内装B炸药2.88kg，其成分：黑索今约占60%，梯恩梯约占40%，外加1%地蜡和(0.1～0.5)%表面活性剂。表面活性剂可以提高装药的工艺性。据分析，其破甲威力可达到210mm/65°。

优缺点：

① 错位式抗旋药型罩是降低旋转对破甲影响的一种途径，采用类似结构可以解决精度与威力之间的矛盾。以前，线膛炮发射的破甲弹大多从改变稳定方式着手，如带尾翼的

滑膛弹和微旋弹,但是改变稳定方式使弹丸结构复杂,精度不如旋转弹好。如果从改变破甲弹的内部结构着手(例如抗旋转药型罩),则使线膛炮配备破甲弹有了新的技术途径,这会加强团以上火炮的反坦克能力。

② 所谓多用途破甲弹是指该弹除了反坦克外还能起到榴弹的作用,但其杀伤爆破威力不如同口径的榴弹,而且没有侵彻爆破作用,其成本也比榴弹高。但因坦克携弹量有限,要求弹种少,一弹多用,总的来说是经济的。

③ 弹丸底部凹窝对提高稳定性、改善精度有利,同时也便于与可燃药筒相结合。

4.3.2 法 105mm 坦克炮用 G 型破甲弹

法制 G 型破甲弹主要配用于其主战坦克的 105mm 加农炮上。该弹为解决弹丸旋转对破甲作用的不利影响,把成型装药部分与弹体分开,两端有滚珠轴承,发射时使弹体高速旋转而空心装药部分低速旋转,达到抗旋的目的。平时由一脆弱件锁住不转,弹体后端的通气孔可减小发射时轴承部分的受力。内体在炮口时只有每秒几转的转速,终点也不过 1200r/min ~ 1800r/min。此弹由于采用旋转稳定,精度较高。采用压电引信,由弹丸内体的内外表面构成起爆回路。炸药为 0.78kg 钝化黑索今,由特曲儿起爆。药型罩为喇叭形。弹尾装有曳光管。其结构如图 4 – 15 所示。

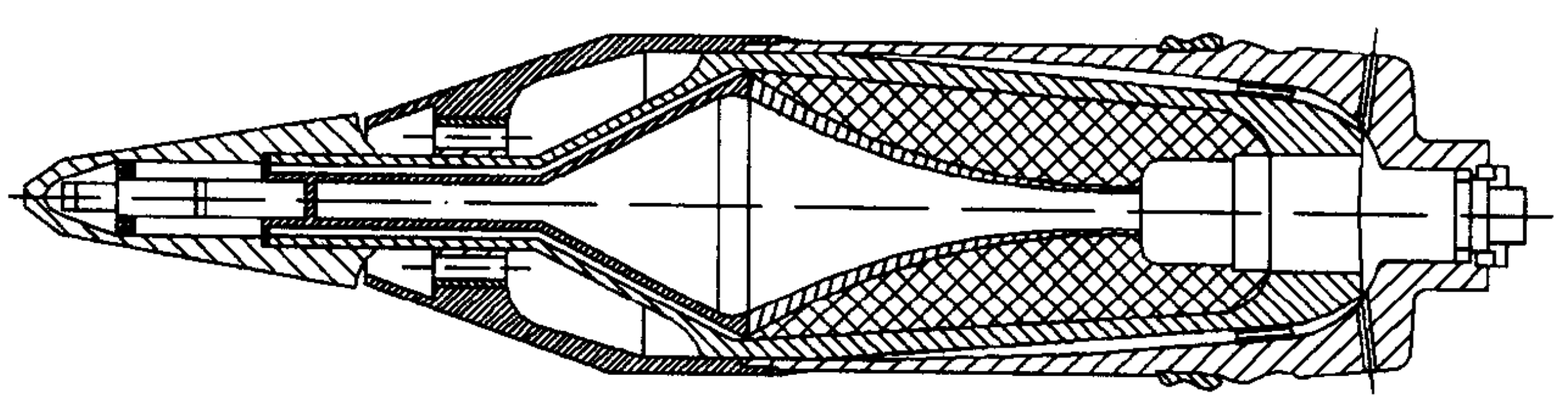


图 4 – 15 法 105mm G 型破甲弹

此弹在 105mm 口径的各种加农炮和榴弹炮上可以通用。由于弹体壁较厚,故杀伤作用较大,所以在坦克炮上就不再配用榴弹。由于此弹的多用性和通用性好,虽弹丸本身结构比较复杂,但对战斗使用却带来很多方便。

G 型弹有关诸元:

弹丸质量/kg	10.95
初速/($m \cdot s^{-1}$)	1000
膛压/MPa	234.22
破甲威力	360mm/0°或 150mm/65°
引信	在着角 70° ~ 75°时仍有效
精度	在 1000m ~ 1500m 处散布小于 1.5mil

4.4 火箭增程破甲弹

4.4.1 40mm 火箭增程破甲弹

1969 年式 40mm 火箭增程破甲弹一般称为 69 式 40mm 火箭弹,简称 J—203 或新

40。新40是一种性能较好的近程反坦克武器，适合于步兵作战使用，能在较大距离（直射距离300m）上迅速准确消灭敌人的活动目标；威力也较大，配用的压电引信能在大着角（70°）的情况下可靠作用。新40破甲弹的结构如图4－16和图4－17所示。

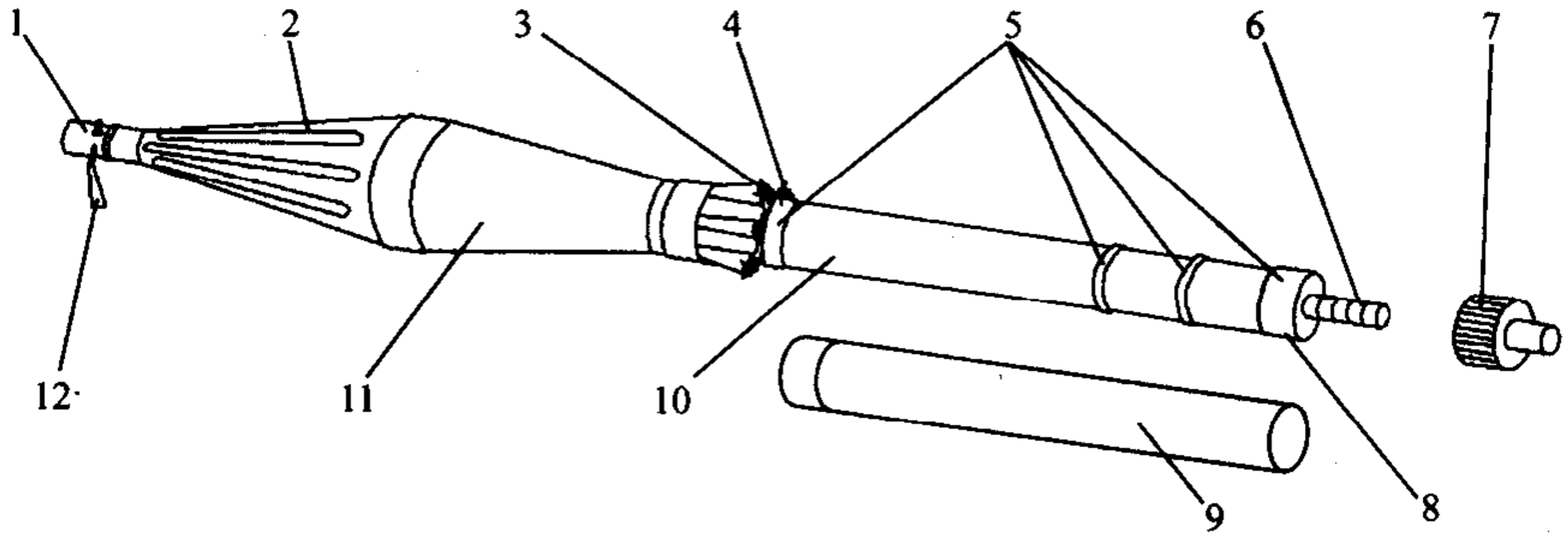


图4－16　新40火箭增程破甲弹外形

1—保护帽；2—风帽；3—防潮塞；4—定位凸起；5—定心部；6—防潮塞；7—保护盖；8—火帽；9—弹尾；10—发动机；11—弹体；12—插销。

主要诸元：

口径/mm	40
战斗部直径/mm	85
火炮质量/kg	5.2
全弹质量/kg	2.2
电－2式引信质量/kg	0.13
增程弹起始段质量/kg	2.05
炸药质量(8321)/kg	0.4
发射药质量(双38－6×230)/kg	0.125
火箭药质量(双石－2)/kg	0.22
初速/(m·s^{-1})	120
增程弹主动段终点速度/(m·s^{-1})	295
点火延期时间/s	0.08～0.11
直射距离/m	300
精度(在300m处)	0.45m×0.45m
威力	100mm/65°

4.4.1.1　新40火箭增程破甲弹的结构特点

新40火箭筒（实际上是无后坐力炮）是配用于步兵连的轻型反坦克武器，这就要求它机动性好、轻便。为了有效地消灭敌人的坦克，要求弹丸的密集度好，直射距离远、威力大。这些要求有些是相互矛盾的。因此，要综合考虑战术指标的要求。新40与轻82破甲弹相比，有如下特点：

① 超口径的战斗部——为了保证威力，战斗部直径大于火炮口径，一般称其为超口径弹或大头弹。

战斗部直径为85mm，只能采用从炮口往后装的方法，而直径为85mm的战斗部位于

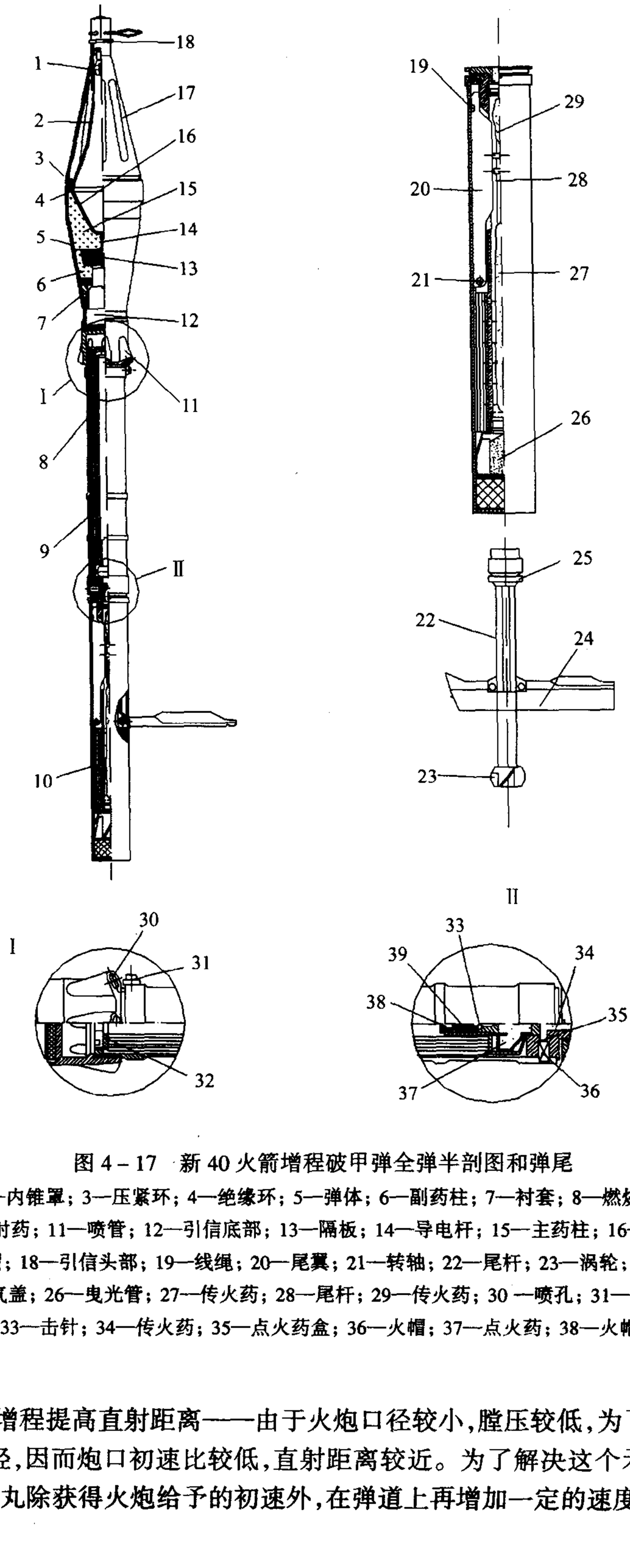


图 4－17 新 40 火箭增程破甲弹全弹半剖图和弹尾

1—绝缘套；2—内锥罩；3—压紧环；4—绝缘环；5—弹体；6—副药柱；7—衬套；8—燃烧室；9—火箭药；10—发射药；11—喷管；12—引信底部；13—隔板；14—导电杆；15—主药柱；16—药型罩；17—风帽；18—引信头部；19—线绳；20—尾翼；21—转轴；22—尾杆；23—涡轮；24—尾翼；25—闭气盖；26—曳光管；27—传火药；28—尾杆；29—传火药；30 —喷孔；31—定位凸起；32—挡药板；33—击针；34—传火药；35—点火药盒；36—火帽；37—点火药；38—火帽；39—击针簧。

炮口外面。

② 用火箭增程提高直射距离——由于火炮口径较小，膛压较低，为了保证威力，弹丸不可能做得很轻，因而炮口初速比较低，直射距离较近。为了解决这个矛盾，采用了火箭增程的办法，弹丸除获得火炮给予的初速外，在弹道上再增加一定的速度，新 40 炮口初速

为 120m/s,火箭增速后最大速度为 295m/s,这样便可使直射距离增大。

③ 采用张开式尾翼结构——增程火箭发动机使全弹长增加,这样,弹丸在弹道上可能出现飞行不稳定。为了使弹丸飞行稳定,同口径尾翼已不能满足要求,此时,尾翼的翼展必须加大。因而采用张开式尾翼结构,在膛内尾翼收拢,出炮口后尾翼张开。

④ 采用涡轮使弹丸旋转——这是提高密集度的一个措施。后喷的火药气体作用在涡轮的倾斜面上,使全弹旋转,这样,弹丸出炮口后尾翼就比较容易张开,使之稳定。此外,由于翼片上具有 10°40′的倾斜面,飞行中使弹丸转速增加,这样可减小火箭推力偏心对密集度带来的不利影响。

⑤ 采用铝合金以减轻弹重提高初速——新 40 弹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,有利于提高初速和箭速。

4.4.1.2　新 40 火箭增程破甲弹的构造及作用

新 40 火箭增程破甲弹共分 3 大部分:战斗部、火箭发动机、稳定装置与发射装药。下面分别叙述其构造及作用。

(1) 战斗部

它是击毁敌人坦克、完成战斗任务的主要部件。与轻 82 比较其特点是:新 40 的风帽、弹体在保证强度的条件下都做得比较薄,而且采用了铝合金材料,目的是减轻弹重。风帽的高度是为了保证有利炸高,根据试验,新 40 战斗部静止状态的最有利炸高是 160mm 左右,风帽的高度为 164mm,加上前面引信头部的高度(约 20mm),可以满足射击条件下最有利炸高的要求。为了加强风帽的强度和刚度,在其上面冲压出 8 条凹槽。

该弹原采用 8321 炸药,威力较大。但该炸药在长期储存中对药型罩有腐蚀,并出现点火具延期药瞎火现象,因而将改用 8701 或钝化黑索今炸药。为了便于装药,做成主副两个药柱,主药柱质量 0.335kg,副药柱质量 0.065kg。

药型罩采用紫铜板冲盂后旋压而成。为了提高破甲威力采用了变壁厚结构,顶部壁厚为 1.2mm,口部壁厚为 1.8mm。为了提高破甲稳定性,锥角比较大,外锥角为 61°38′,内锥角为 60°。新 40 也采用了隔板结构,隔板是用 FS—501 塑料压制而成。

新 40 火箭增程破甲弹配用电 - 2 式压电引信,可保证在 70°大着角情况下可靠发火。它由头部机构与底部机构组成。头部有压电晶体,尾部有电雷管和保险装置。压电晶体受压(或受到冲击)后,产生电荷,使电雷管引爆。起爆电路如图 4 - 18 所示。在药型罩前有一内锥罩,内锥罩的一端与引信头部机构中压电晶体的一极相连。在药型罩的顶端有

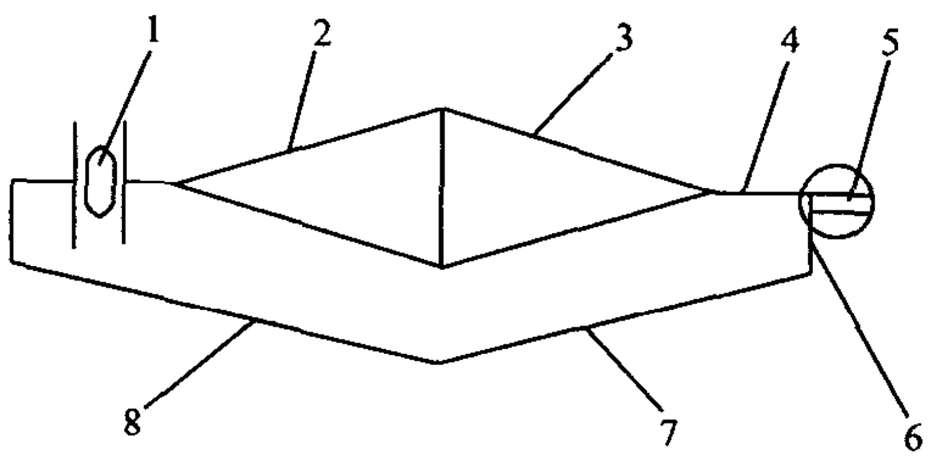


图 4 - 18　新 40 起爆电路图

1—压电晶体;2—内锥罩;3—药型罩;4—导电杆;5—电雷管;6—衬套;7—弹壳;8—风帽。

一导电杆,导电杆与引信的电雷管相连,成为一个通路,它与另一条通路(风帽、弹体、衬套、引信)一起构成了回路。电流通过这条回路引爆电雷管。

电-2式引信的优点是:作用时间短(约几十微秒),作用可靠,采用内锥罩导电,不需要导线通过炸药,使装药装配比较方便。缺点是结构比较复杂。

(2) 火箭发动机

它是使弹丸在飞行中增加速度的部件,由燃烧室、火箭药、喷管、挡药板、点火具、燃烧室底等组成。

燃烧室是火箭药燃烧的容器,工作时温度和压力均比较高,所以采用30CrMnSiA合金钢管车制或旋压加工而成。为了减小弹丸出炮口时的初始扰动,在燃烧室外部制有4个定心部,其直径为39.8mm。

火箭药是使弹丸获得增速的能源,新40火箭药柱为双石-2单根管状药,质量为0.22kg。其外表面上带有3条凸棱,使药柱在燃烧室内径向定位。

喷管也是用30CrMnSi合金钢锻造或精密铸造毛坯经机械加工而成。新40火箭增程发动机喷管位于燃烧室的前面,是倒流式喷管。同向均匀分布6个喷孔,喷孔中心线与弹轴夹角18°,这是为了防止喷出的火药气体冲刷弹尾,而影响全弹的稳定。

为了保证新40弹必要的射程和破甲威力,转速控制在1500r/min~2500r/min。因尾翼斜面的作用,弹的旋转速度随弹速的增大而增大。为了避免转速增大过多,在喷管上采用了控制转速增加的措施,即将各喷管沿切向倾斜3°角,如图4-19所示。这样,便可赋予火箭弹一个向左的旋转力矩,以抵消一部分尾翼右旋的作用。由于尾翼斜面的作用仍起主要作用,故火箭弹在整个飞行过程中,始终是右旋的。

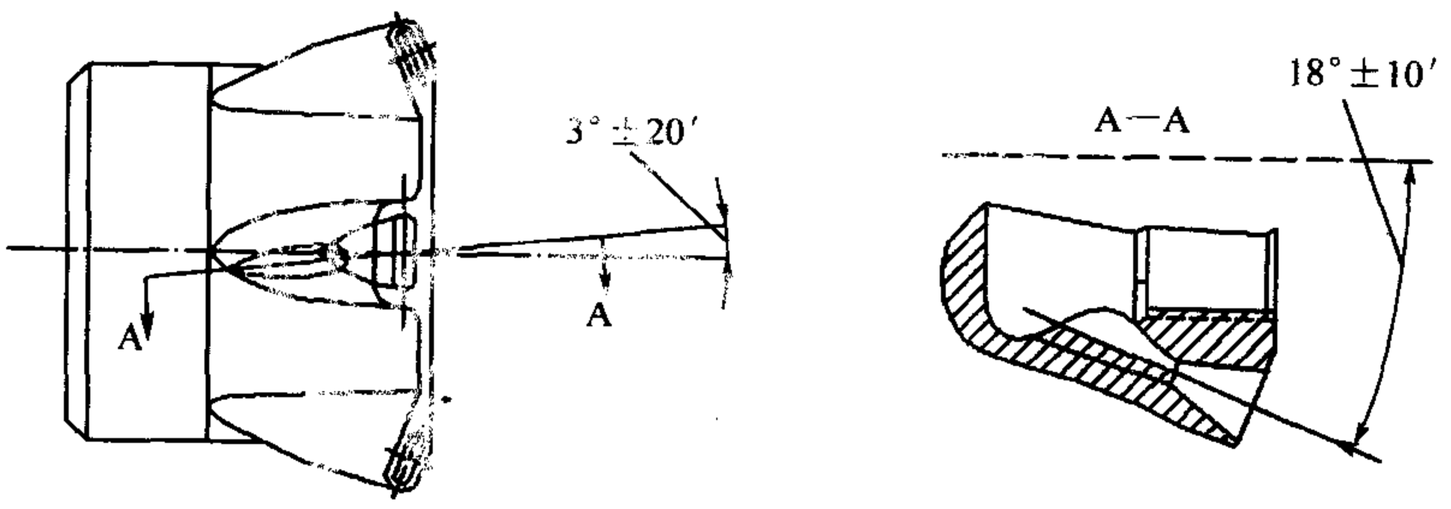


图4-19 新40喷管

由于新40发动机的喷管与战斗部相连接,除要求有足够的连接强度外,在引信底部还有一个绝热垫片,以防止燃烧室的高温传给战斗部而导致在弹道上早炸。

挡药板固定在喷管与火箭药之间,防止火箭药在燃烧过程中堵塞喷孔,保证发动机正常工作。

为了提高弹丸的密集度,希望弹丸起始段摆动减小后,火箭发动机再开始工作,因而采用点火具来控制发动机的起始工作时间。点火具的构造如图4-20所示。它主要是由惯性发火机构、延期药和扩燃药组成。

惯性发火机构主要由击针、弹簧和火帽体组成。装于点火具上部,靠发射时的惯性力使火帽体后坐与击针相碰而发火。

延期机构主要由耐水延期药和延期管组成。延期时间约0.08s~0.11s,此时弹丸飞

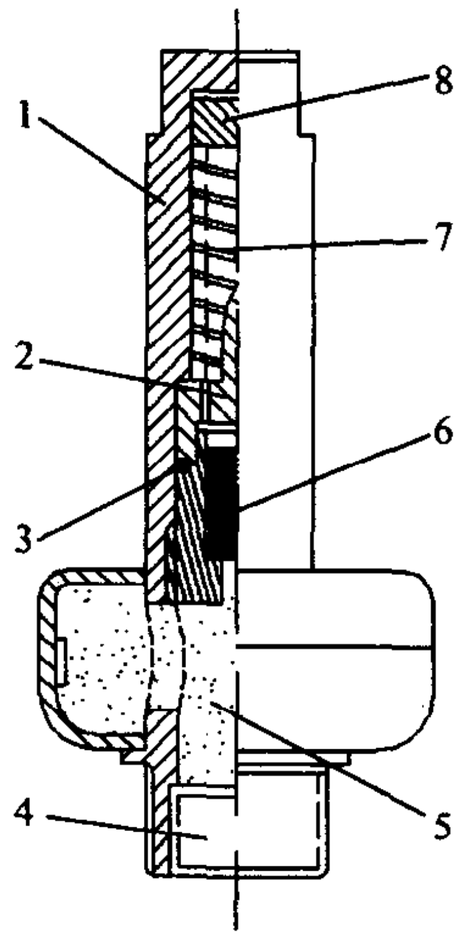


图 4-20　新 40 点火具

1—点火具体；2—击针体；3—密封圈；4—螺堵；5—黑药；6—延期药；7—保险簧；8—火帽体。

离炮口 12m ~ 14m。

扩燃药为 3 号小粒黑药，3.4g 左右，用透明赛璐珞压制成的薄片包装于点火具的下部。点火具上有 4 个传火孔，使黑药点燃。点火具底部用螺堵密封，以免火药气体泄出并起防潮作用。

板簧片固定在点火支架与燃烧室底之间。使用板簧片，可使装配时力量不直接作用在药柱上而将药柱拧坏，同时还可防止点火具和燃烧室底在运输和勤务处理中发生松动脱落现象。在发射过程中，板簧片可缓冲火药柱的惯性力，不致造成药柱的破裂，从而保证火箭发动机正常工作。

燃烧室底的作用是：密封燃烧室、固定点火具、连接弹尾装药、装配底火等。

一般炮弹的火帽都是在药筒底部，而新 40 破甲弹的火帽是安装在弹丸的侧面。对于侧击的弹丸来说，保证安全发火是非常重要的问题，否则就会贻误战机。新 40 的燃烧室外表面装有一个定位凸起，在装弹入膛时，定位凸起卡在炮口的缺口内，这样可保证底火对准击针。

为使火帽在射击过程中，不致因膛内压力过高而造成脱落，火帽孔制有螺纹，借助火药气体的压力，将底火压入螺纹槽内，从而防止底火在射击过程中的脱落现象。燃烧室底内有一 Γ 形孔，内放黑药，使火帽的火焰转向后方，点燃尾杆中的点火药，从而点燃整个装药。

(3) 稳定装置与发射装药

主要由尾杆、尾翼片、发射药、闭气盖、涡轮、点火药等零部件组成。

尾杆的作用与轻 82 弹的作用相似，尾杆内装主、副两个点火药包，各装 1 号小粒黑药 12g 和 3g，外部装有发射药。杆的中部有 4 个尾翼座以固定尾翼，杆的上部有两个互成 90°的通槽，以放置尾翼。为了提高刚度，尾杆在通槽处用销钉加强，尾杆下部有对称分布的传火孔 22 个，两端有螺纹。

尾翼片制有 10°40′的斜面，使弹向右旋转，以提高精度。翼片用销轴装于尾杆上，平时呈折叠合拢状态。弹丸出炮口后，各翼片在离心惯性力作用下同时张开，与弹轴成 90°，其翼展直径为 282mm，使弹稳定飞行。

新 40 的发射药是带状双基药，它的厚度为 0.38mm，宽度为 6mm，长为 230mm，总质量约 120g。为了使膛内压力均匀，将 120g 药分成 4 等份，每份均匀地放在两片尾翼之间，用棉线捆紧，然后套上纸制药筒。发射时，常温膛压在 78.4MPa 左右。

新 40 发射药的前面有一个钢制的闭气盖，闭气盖的作用是密封火药气体，防止火药气体从弹的前面流出。这样，一方面可使火炮的内弹道性能稳定，另一方面对发动机的强度也有好处。闭气盖的边缘很薄，在火药气体作用下膨胀而贴紧炮膛，起闭气作用。

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，火药气体后喷时作用在这些斜面上，使弹丸在膛内旋转。涡轮后面还粘有一个泡沫塑料塞子，以保证一定的起始压力，可使发射装药燃烧完全，弹道性能稳定。

4.4.1.3 新 40 弹的发射过程

射击前，拧上装药尾管，再去掉引信保护帽。装入炮膛时，使定位销对准炮管上的缺口，装填到位后，底火即与击针对准，射手即可瞄准目标。

射击时，火帽被击针戳击发火，将 Γ 形孔内的黑药引燃，火药气体冲破盖帽和装药尾管的防潮膜，引燃副点火药包和主点火药包。点火药气体冲出传火孔使双基发射药点燃，膛内压力迅速上升。由于泡沫塑料塞暂时堵住无后坐力炮的喷喉，从而保证当达到一定的起动压力(此压力约为 4.9MPa)时，火药气体才从喷管中喷出，同时推动弹丸前进，这样，实现了火炮无后坐。弹丸出炮口时的初速可达 120m/s，由于涡轮的作用，弹丸出炮口时的转速可达 380r/min。尾翼在离心惯性力的作用下迅速张开。

弹丸出炮口约 12m ~ 14m 处延期药使火箭发动机点火，弹丸不断增速，弹丸出炮口约 117m，增速段(主动段)结束，弹丸速度达到最大值(约 295m/s)。弹丸在被动段速度逐渐下降，直到碰击目标。其直射距离为 300m。

弹丸碰到目标时，头部的压电晶体在撞击时受压产生高电压。电流通过弹体和内锥罩两条电路使引信底部机构中的电雷管起爆。进而使传爆药、炸药装药爆炸。聚能装药爆炸后使药型罩产生侵彻钢甲的高速金属射流。其破甲威力可达 100mm/65°。

4.4.1.4 新 40 弹存在的问题

前面已提到新 40 弹的优点是：火炮质量轻、机动性好、威力较大。但是还存在一些问题，主要是：

① 精度受横向阵风的影响较大；
② 零部件数量多，生产工艺比较复杂；
③ 弹丸较长，炮口装填不便，影响发射速度；
④ 装药纸管可能留膛，影响下一发装填；
⑤ 威力有时还不够稳定。

目前这些问题已有较大程度的改进。

4.4.2 苏联 ПГ－9 式 73mm 火箭增程破甲弹

苏联 ПГ－9 式破甲弹是苏联 20 世纪 60 年代生产的一种反坦克火箭增程破甲弹，配

用于团级，它是ПГ－2、ПГ－7式反坦克火箭弹的一种改进型，如图4－21所示。它的主要特点是直射距离大(约800m)。

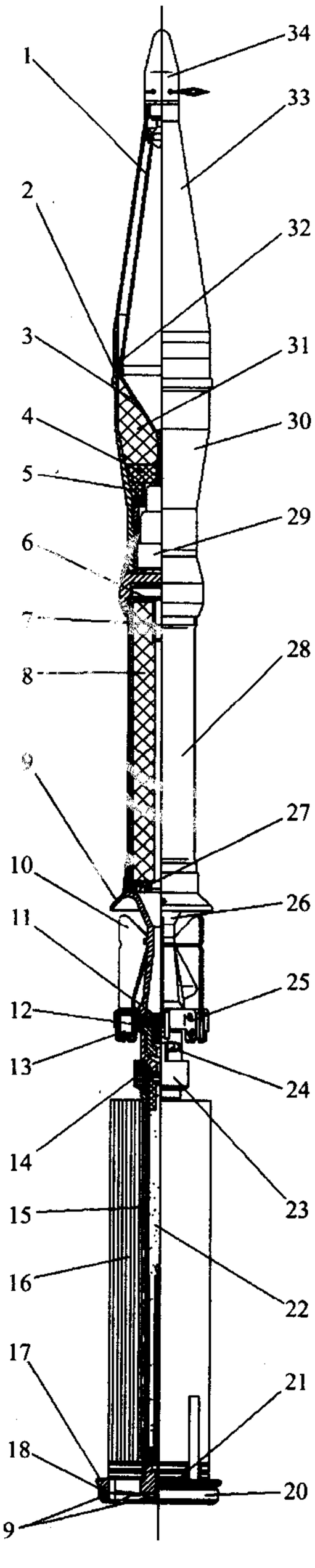


图4－21　苏联ПГ－9式73mm反坦克增程破甲弹

1—内锥罩；2—绝缘环；3—药型罩；4—隔板；5—副药柱；6—锥形弹簧；7—点火具；8—火箭药；9—切向喷孔；10—尾翼；11—挡板；12—切断塑料片；13—曳光管；14—连接内套；15—传火管；16—发射装药；17—挡药轮；18—绝缘环；19—导线接点；20—导电箍；21—板簧；22—点火黑药；23—连接外套；24—连接螺柱；25—尾翼座；26—喷管；27—挡药板；28—发动机；29—引信底部；30—弹体；31—主药柱；32—压紧环；33—风帽；34—引信头部。

主要诸元：

火炮口径 mm	73
全炮质量(包括轮胎)/kg	75
火箭弹起始段质量/kg	2.53
发射药质量/kg	0.838
火箭药质量/kg	0.4794
初速/($m \cdot s^{-1}$)	435
最大速度/($m \cdot s^{-1}$)	约 780
直射距离/m	800
战斗部质量/kg	1.06
主药柱质量(A－Ⅸ－Ⅰ)/kg	0.274
副药柱质量(A－Ⅸ－Ⅰ)/kg	0.046
药型罩锥角/(°)	60
破甲威力	150mm/30°
火炮高温(＋50℃)最大膛压/MPa	64.7～66.6
发动机高温(＋50℃)最大压力/MPa	29.4
发动机工作时间/s	0.3

该弹设计特点是：适当地降低破甲威力而较大地提高直射距离，同时也充分考虑了弹丸的精度，以适合团属火炮的需要。采用的主要措施如下：

① 为了减轻弹丸质量提高初速和增加射程，采用同口径弹丸，用长身管无后坐力炮发射，增大了发射装药和火箭装药量；缩小了发动机外径；点火尾管留在膛内，减轻了飞行重量。

② 为了提高精度，一方面使弹丸在膛内和弹道上低速旋转，另一方面提高了炮速与箭速的比值。

③ 采用电发火，后装式结构，使装填方便，击发机构简化。

具体结构特点：

① 战斗部——成型装药战斗部的结构虽与新 40 弹相似，但某些结构参数有所改进，如增大了药型罩顶至隔板的距离等。主药柱直接压入弹体，破甲威力较大。因初速高，故风帽锐长。零件大多采用铝合金。

② 发动机——采用单根装药，单喷管结构，喷管带有尾裙，作为后定心部，尾裙上有 4 个切向喷孔，在膛内部分火药气体通过小孔向前运动使弹丸产生旋转，以提高弹丸的精度。燃烧室前部有一点火具，使火箭发动机出炮口一定距离时点燃。喷管口平时被一钢垫片堵塞。

③ 尾翼——为前张式，共 6 片，靠离心惯性力张开，平时用绳固定。尾翼座固定在喷管末端。在尾翼座的对称位置上，固定有两个曳光管。

④ 装药尾管——用卡口方式(类似卡口灯泡的连接方法)与弹体连接。尾管中有一点火管，内放点火黑药，外面包有双基袋状发射药；后部有一挡药板，起挡药作用。采用电发火。电点火头放在尾管黑药内，导线一端与挡药板连接，另一端与挡药轮外缘的导电箍相连，导电箍与挡药板之间有绝缘环使之绝缘。装填后，火炮上的两极一端接触导电箍，

一端接触挡药板上的板簧使电路接通。

发射时,装药燃烧,在一定压力时将尾部塑料密封垫喷出,同时也将增程发动机喷口处的塑料片剪断,弹丸运动,尾管留在膛内。少量火药气体经喷管裙部的切向孔向前喷出,使弹丸在膛内低速旋转。出炮口后,尾翼在离心惯性力作用下张开,使弹丸稳定飞行。出炮口一定距离,火箭发动机点燃工作,弹丸增速。碰击目标时,压电引信使成型装药起爆。

此弹优点是直射距离大,弹形及精度较好。缺点是威力稍小。火炮质量较大,整个弹丸零件较多,结构比较复杂。

4.5 爆炸成型弹丸战斗部

聚能装药战斗部中,一般当药型罩的锥角大于90°时,在爆轰载荷作用下药型罩便不能形成正常的射流,而形成一个短粗的高速侵彻体。试验表明,锥角范围为120°~160°的药型罩形成高速杵体弹丸的形状较理想,因此把采用大锥角罩(120°~160°)、球缺罩及回转双曲线罩等的聚能装药,在装药爆炸后,药型罩被爆炸载荷压垮、闭合形成的一个高速杵体弹丸,称之为爆炸成型弹丸(Explosively Formed Projectile,简称EFP),早期曾被称为自锻破片(Self-Forging Fragment,简称SFF),有时也称米斯内—沙汀战斗部(Misznay—Schardin Warhead)、弹道盘(Ballistic Disk)、P型装药(P Charge)等。典型EFP装药结构如图4-22所示。

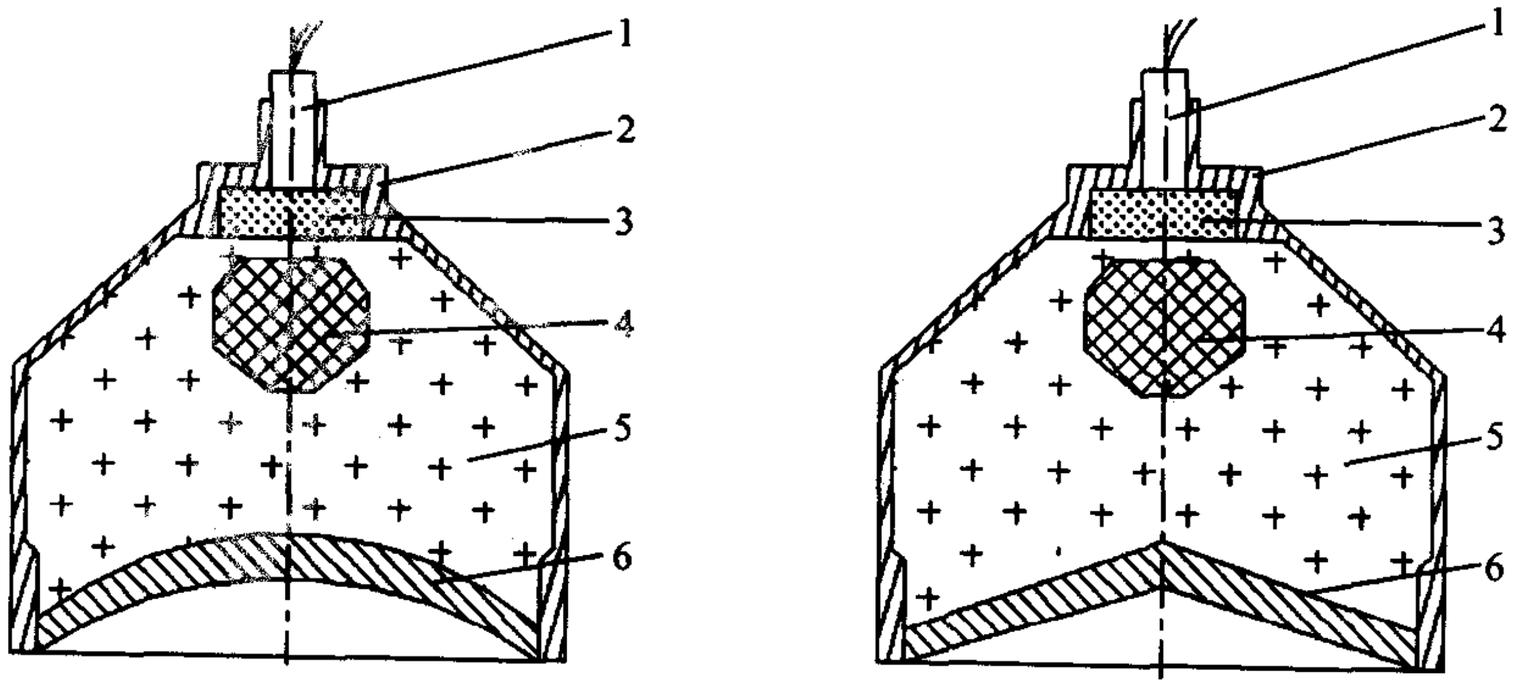


图4-22 典型EFP装药结构

1—雷管;2—壳体;3—扩爆药;4—隔板;5—炸药;6—药型罩。

EFP战斗部是利用聚能原理,通过炸药装药的爆轰作用,使高温高压的爆轰产物作用于大锥角金属药型罩、球缺形金属药型罩或双曲线形金属药型罩上,使罩材发生极大的塑性变形而被压垮、闭合形成的一个具有较高质心速度(1500m/s~3000m/s)和一定结构形状的弹丸,从而可以以动能侵彻目标,如图4-23所示。回收得到的典型EFP照片如图4-24所示。与普通破甲弹相比,它有以下特点:

① 炸高不敏感——普通破甲弹对炸高敏感,炸高在2倍~3倍弹径时的破甲效果较好,而大炸高(10倍弹径以上)条件下,破甲效果明显下降。而EFP可以在800倍~1000

倍弹径距离上有效作用。

② 反应装甲对其干扰小——反应装甲对普通破甲弹有致命威胁,反应盒爆炸后能切割掉大部分的射流,从而使破甲效果大幅度降低。而 EFP 由于长度较短,弹径较粗,实验表明反应盒对其侵彻效果干扰小。

③ 侵彻后效大——普通破甲射流在穿透装甲后,只剩有少量金属流入装甲目标内部,因而毁伤后效有限。而 EFP 不仅弹丸大部分进入装甲目标内部,同时,它还会引起装甲背面崩落,产生大量有效毁伤破片,使后效增大。

正是由于 EFP 战斗部的诸多独特优点,使 EFP 战斗部技术在近一二十年来得到飞速发展,并逐渐在诸多军事领域内获得应用。目前 EFP 战斗部主要用于末敏弹、末制导炮弹或反坦克导弹战斗部上攻击坦克防护较薄弱的顶装甲,以及用于反坦克智能雷和反直升机智能雷战斗部上实现区域防御,这些战斗部都要求其作战单元能在距离目标较远处起作用。

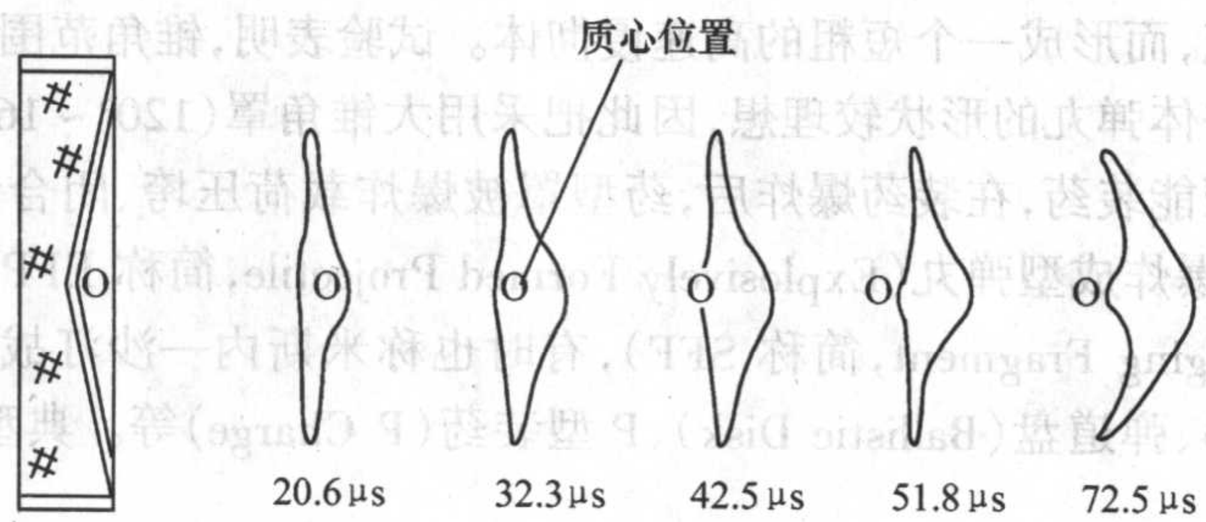


图 4 – 23 EFP 的成型过程

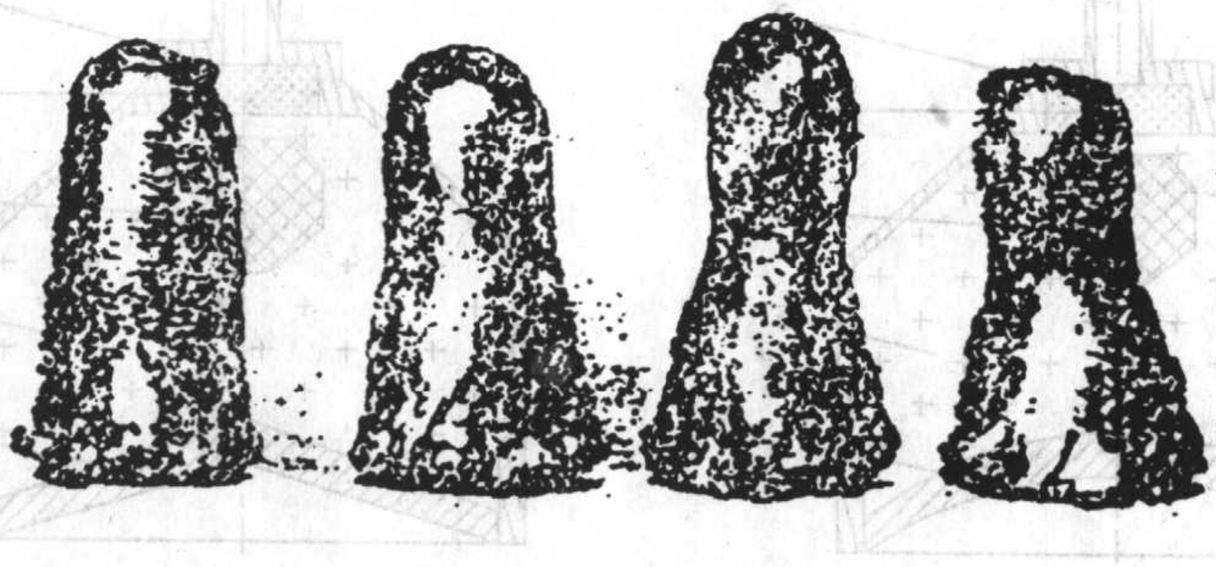


图 4 – 24 典型爆炸成型弹丸(回收的 EFP 照片)

4.5.1 末敏弹子弹药

前面讲过,爆炸成型弹丸战斗部的一个最主要应用就是末敏弹子弹药。下面简单介绍末敏弹这一攻顶反坦克新弹种。

4.5.1.1 末敏弹简介

对于地面炮兵来说,除要求完成传统的火力压制和支援任务外,还要求它具有对装甲目标实施远距离间瞄射击的能力。为了使常规火炮能在远距离用一至两发弹就能命中并摧毁一辆装甲车辆,就要求炮弹能自动探测、搜索装甲目标,末敏弹就具有这种功能。末

敏弹是灵巧弹药的一种，它是一种敏感器引爆弹药，故最初末敏弹被称为目标定向末端激活弹。

末敏弹武器系统综合应用了爆炸成型弹丸技术、红外和毫米波探测技术以及信号处理技术，形成了一种将先进的敏感器技术和爆炸成形弹丸技术引用于子母弹的新型弹药，把子母弹的面杀伤特点发展到攻击点目标，使之适用于间瞄射击，能有效攻击远距离自行火炮和其它装甲目标。它利用常规火炮把母弹发射到目标区上空，时间引信作用抛出敏感子弹，敏感子弹在一定范围内搜索装甲目标。当敏感子弹敏感到目标后，便引爆爆炸成形弹丸战斗部，摧毁装甲目标。末敏弹不需要另外输入信号和外部指示就能寻找目标。利用远程火炮发射，具有作战距离远的特点；它借助火炮的高精度以及自身能在150m左右的范围内搜索目标，因而命中精度高；采用爆炸成型弹丸战斗部攻击顶装甲，具有很好的毁伤效果；不需要复杂的检测设备，勤务处理方便；不用控制，没有精密复杂的制导系统，比导弹结构简单，技术上难度小；成本低，适宜大量装备部队。由于末敏弹具有上述优点，因此引起世界各国的广泛重视。

末敏弹与末制导炮弹相比，其相同点是都用火炮发射，都可以远距离对付装甲目标。其不同点是末敏弹没有制导系统，对点目标的命中概率比末制导炮弹低，特别是对付运动中的目标。但与第一代末制导炮弹(如“铜斑蛇”、“红土地”等)相比，末敏弹又有其优点，这主要是末敏弹以多制多，适于对付集群目标；末敏弹实现了“打了后不用管”，无需用目标指示器同步照射目标等，使用起来更为方便灵活。

美国是最早研究末敏弹的国家，在20世纪60年代后期，美国的几家大公司就同时进行过间瞄武器末制导的研究，完成了末敏弹的概念研究。在美国国防远景研究计划局的支持下，美国陆军和海军着手进行末敏弹的探索研究及可行性研究，提出了“萨达姆”(SADARM)和“斯达夫”(STAFF)两种类型的末敏弹，前者弹径为147.3mm，用155mm榴弹炮发射，每枚母弹装两枚子弹；后者弹径为175.26mm，用于多管火箭，每个火箭战斗部内装6枚子弹，这两种子弹药的零部件可通用，通用率达90%以上。而后以“萨达姆”为主继续发展。到1990年，“萨达姆”的技术发展已处在子弹药部件最后设计与试验阶段，完成了子弹部件试验、155mm薄壁弹体试验、多管火箭战斗部开舱抛撒试验、子弹两级降落伞试验、复合敏感器试验和爆炸成形弹丸战斗部试验。

继美国之后，德国、中国、法国、瑞典、俄罗斯等国也相继进行了末敏弹的研制。火炮发射的末敏弹研究项目尽管很多，但是有代表性的产品主要有3种，即美国的“萨达姆”、德国的“斯马特-155”(SMART-155)、瑞典的“博纳斯”(BONUS)，这3种末敏弹都配用于155mm榴弹炮，其战术性能与工作过程也大致相似。但这些弹在解决抛撒、扫描、探测、击毁目标等技术上，既相互借鉴，又各具特色。

国外几种末敏弹主要结构参数及威力指标如表4-1所列。

表4-1　国外几种末敏弹主要结构参数及威力指标

国　别	美　国	瑞　典	德　国	法　国
弹　名	SADARM	BONUS	SMART	ACED
母弹弹径/mm	155	155	155	155
子弹个数/个	2	2	2	3

（续）

国　别	美　国	瑞　典	德　国	法　国
弹　名	SADARM	BONUS	SMART	ACED
子弹直径/mm	147.31		147	130
子弹质量/kg	11.6	6.5	12.5	6.5
敏感体制	毫米波/红外	主被动毫米波	毫米波/红外	毫米波/双色红外
EFP 威力	穿透 100mm 装甲钢板	穿透 102mm 装甲钢板	穿透 108mm 装甲钢板	穿透 100mm 装甲钢板

4.5.1.2　末敏弹子弹药的结构特点及作用原理

下面以“萨达姆－155”为例，分析末敏弹的结构特点及作用原理。其主要技术指标和性能参数为：

子弹长度/mm	200
战斗部类型	EFP(钽药型罩)
战斗部威力	100mm 厚装甲钢板
子弹有效作用距离/m	＞150
敏感器类型	主、被动毫米波，双色红外探测器，磁力计
毫米波雷达波长/mm	3
双色红外敏感器波长/μm	3～5、8～14
减速减旋装置	充气式空气减速器
稳定扫描装置	涡旋式旋转伞
稳态扫描落速/($m \cdot s^{-1}$)	10
稳态扫描转速/($r \cdot s^{-1}$)	4
稳态扫描倾角/(°)	30

如图 4－25 所示，“萨达姆”末敏弹弹丸由底螺 1、弹带 2、弹体 11、头螺 10、时间引信 9、抛射装置 3 和抛射药盒 8、推板 7、分离装置 6、末敏子弹等组成。

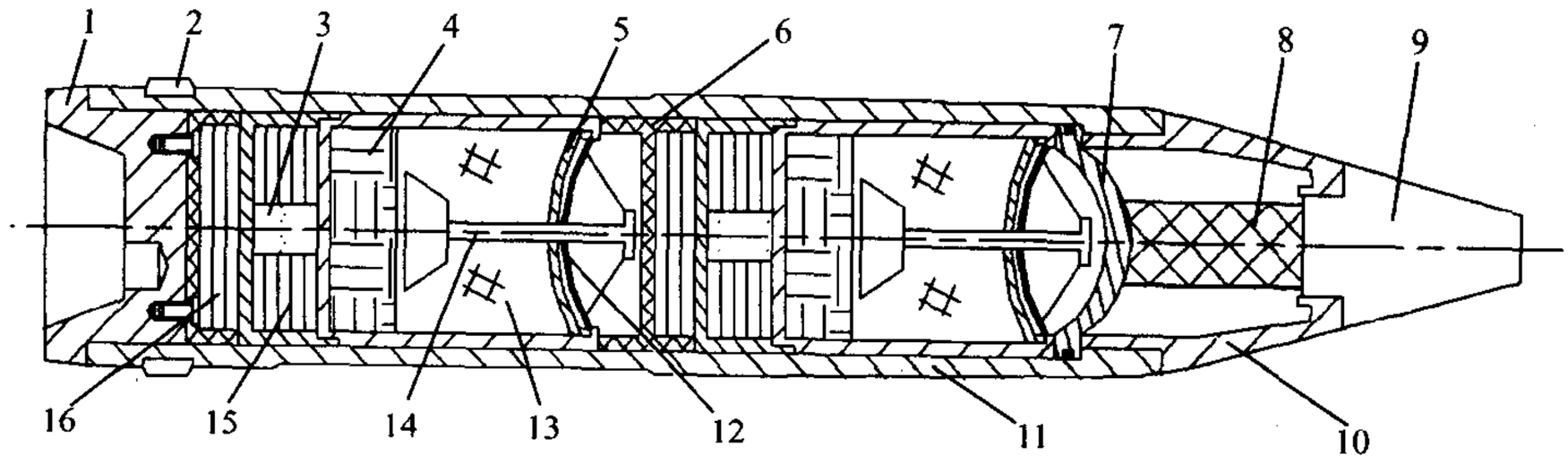


图 4－25　“萨达姆”155mm 炮射末敏弹

1—底螺；2—弹带；3—抛射装置；4—电子舱；5—药型罩；6—分离装置；7—推板；8—抛射药盒；9—时间引信；10—头螺；11—弹体；12—天线；13—炸药；14—中馈；15—稳态扫描伞；16—减速减旋伞。

末敏子弹由 EFP 战斗部、复合敏感器系统、中央控制器、减速减旋与稳态扫描系统、子弹体、电源和子弹引信等组成。EFP 战斗部由炸药装药、起爆装置、保险机构和自毁机

构等组成。复合敏感器系统由毫米波雷达、毫米波辐射计、红外敏感器、磁力计组成。减速减旋与稳态扫描系统由减速减旋伞、抛舱开伞装置和涡旋式旋转伞组成。中央控制器由火力决策器、驱动舱、控制舱等组成。

底螺由高强度合金钢制成，用螺纹与弹体连接。为了使底螺被抛出后迅速离开弹道，不至于追上和撞坏吊伞系统，在其底部一侧钻有两个较深的偏心孔，使底螺具有质量偏心，空抛时很快偏离弹道，不至于干扰吊伞的作用。

分离装置为钢质三瓣式结构，保证被抛出后很快分离，脱离弹道并释放前级减速器，使其及时充气。推板为钢质拱形结构，侧面有石棉密封圈以防止火药气体损伤天线。

母弹引信为钟表时间引信。

“萨达姆”炮射末敏弹作用过程示意图如图4－26所示。

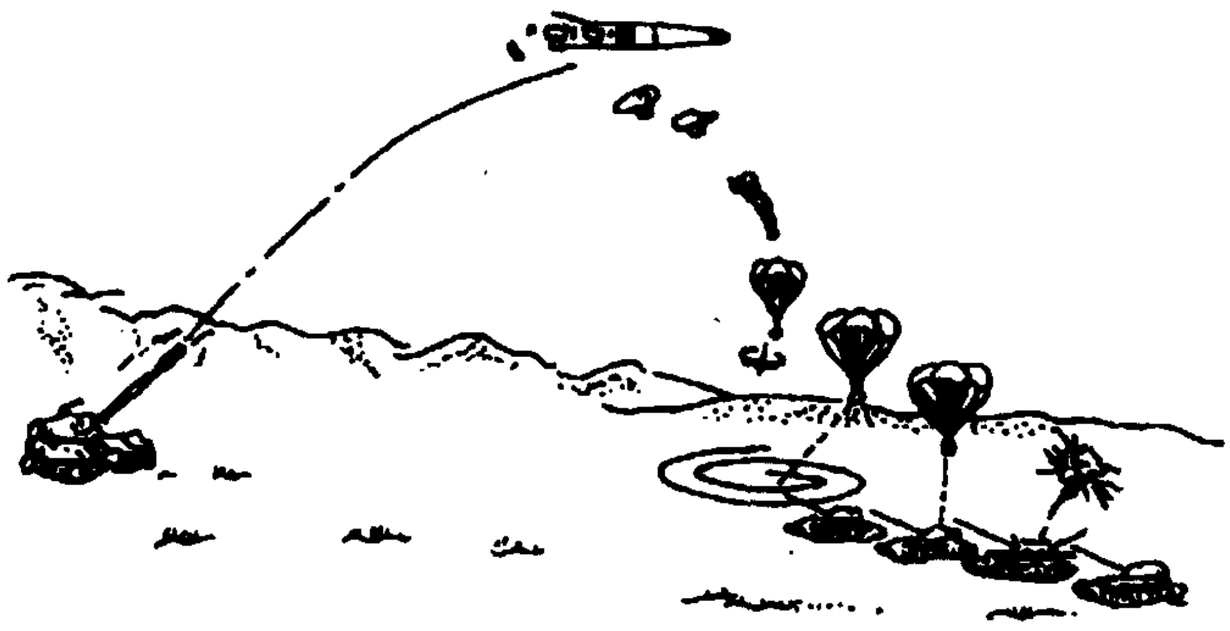


图4－26　末敏弹工作过程示意图

当末敏弹丸经无控弹道飞抵目标上空时，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，子弹抛出后，冲压式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。与此同时，组件中的电池激活装置激活热电池，使热电池开始工作。当热电池电压达到规定值时开始对电子系统(微处理器、多模传感器、中央控制器等电器部件)充电。

当子弹以大着角下落时，在中央控制器的控制下，毫米波雷达开始第一期测距，测定子弹距离地面的距离；当测定结果达到预定高度时，在中央控制器的控制下，启动抛射装置，抛掉减速器，涡旋式旋转伞在气动力作用下展开并开始工作，带动子弹旋转。

同时，在中央控制器的控制下，在子弹圆柱体外侧打开红外探测器窗口并锁定到位，同时启动“红外焦平面阵列”开始制冷。在旋转伞带动子弹稳态下落的过程中，在中央控制器的控制下，毫米波雷达进行第二期测距。此时，中央控制器中的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。这时，子弹虽已进入稳态扫描过程，但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。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。此时子弹已进入了威力有效高度。在中央控制器控制下，子弹引信解除最后一道保险。

对目标的探测，采用相邻的两次扫描后判断的方式，即第一次扫描过目标后，向火力决策处理器报告目标信息；第二次扫描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。

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，抛射出爆炸成型弹丸(EFP)。EFP 以约 2000m/s 的速度高速射向目标，在目标来不及机动的瞬间，命中并毁伤目标。

若第二次扫描结果判定为非目标时，可以改换对象，继续探测其它潜在的目标。如果一直未探测到目标，子弹战斗部将在距离地面数英尺之内自毁。

4.5.1.3 减速减旋与稳态扫描

当载有末敏子弹的中大口径炮弹飞抵目标上空时，时间引信作用，启动抛射装置，打开底螺，依次向后抛出子弹。此时子弹仍以较高的速度飞行，并且高速旋转，这时如立即打开稳态扫描主伞，将产生巨大的开伞动载，为满足开伞强度要求，必须使伞衣加厚，伞绳加粗，从而使伞的体积加大并增大伞的设计制造成本，为此，目前大多数国家研制的末敏弹采用制动伞(减速伞)达到减速效果，采用减旋翼终止子弹由母弹稳定旋转而引起的自转。减速减旋需要在合适的时间内完成。这样子弹从母弹内抛出后，先打开减速伞，使子弹的速度减到 50m/s 以下，再打开稳态扫描主伞。这样二次开伞对旋转伞的强度要求比一次开伞的小得多，与一次开伞方案相比，伞舱总体积可大大缩小。

根据时序控制，由中央控制器下达指令，抛筒开伞机构作用，子弹抛掉减速减旋装置，旋转伞在气动力作用下展开，如图 4－27 所示。由旋转伞的稳定旋转带动子弹稳定旋转，由于子弹悬挂具有一定的倾角，这一倾角被称为静态悬挂角。当子弹轴线与下降垂线成一定的夹角并绕其下降垂线旋转时，这一夹角被称为动态平衡角，即扫描角。伞弹系统边下降边旋转。理想情况是子弹以匀速垂直地面降落，扫描角及转速保持恒定。此时，子弹在地面上的扫描轨迹为一反向的(极径从大到小的)阿基米德螺线(见图 4－28)。由于存在诸多误差和弹道风的影响，转速、落速、扫描角这 3 个扫描参数与理想情况都存在着误差。为了满足总体性能要求，这 3 个扫描参数只允许在规定的范围内变化。

旋转伞的设计既有稳定性要求，又有转速、落速和体积的要求。

现有的稳态扫描技术主要为有伞扫描和无伞扫描两种，大多数国家研制的末敏弹采用有伞扫描。有伞扫描的落速在 10m/s 左右，转速在 4r/s 左右，扫描角在 30°左右；无伞扫描的落速、转速比有伞扫描大得多。法国和瑞典联合研制的“博纳斯”末敏弹采用无伞扫描(见图 4－29)。

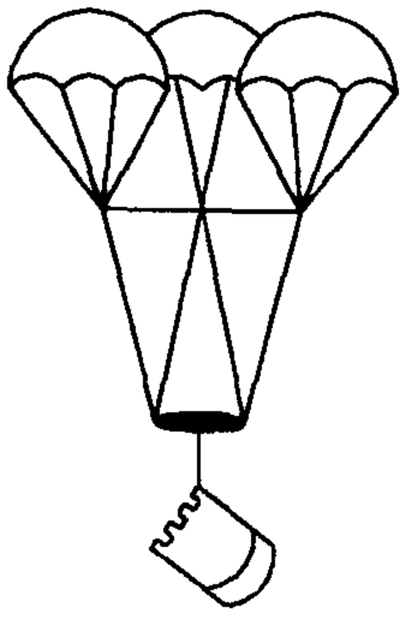


图 4－27 涡环式降落伞

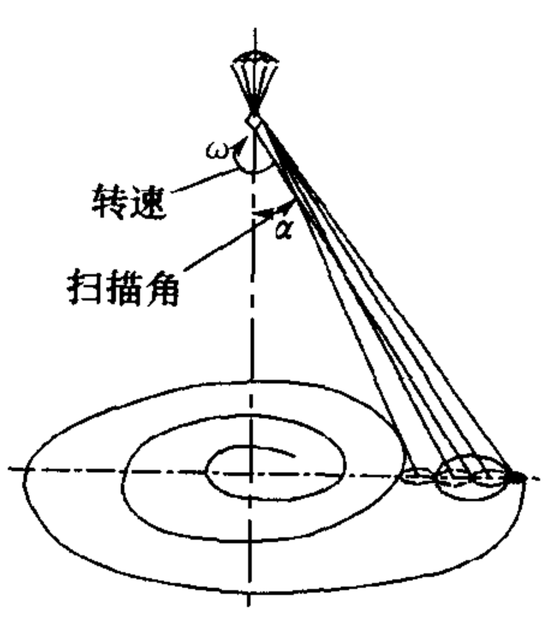


图 4－28 末敏子弹扫描示意图

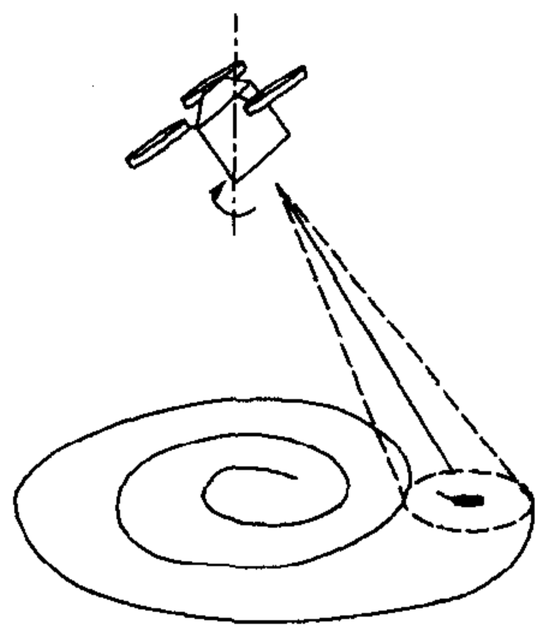


图 4－29 “博纳斯”末敏子弹扫描示意图

4.5.1.4　中央控制器

中央控制器是敏感子弹的核心部件，具有全时程时序控制、电源分配与管理、驱动控制、数据采集、复合信号处理和火力决策等功能。由于受体积的限制，在中央控制器的电路设计中，采用可靠度高、集成度高、体积小的元器件，采用了微处理器。

中央控制器根据总体工作流程提出的供电时序要求、弹上能源节约和安全的原则，采用程控供电方式。它不仅能够保证准确无误的弹上供电时序，而且可以按工作流程要求及时关闭任何一路电源，并使之处于待机状态。这样既提高了弹上能源的利用效率，又满足了弹上安全的要求。

敏感子弹从母弹中抛出后，电源激活机构作用，激活热电池，给中央控制器供电后，中央控制器就开始工作。对敏感子弹工作全时程进行时序控制：

① 控制抛筒开伞机构，使之作用，完成抛筒开旋转伞动作；

② 控制红外展开机构，使之作用，展开红外窗口；

③ 控制电子安全开关闭合，使升压器升压，使储能电容器充电，电容器充电完毕后将该信息传输给中央控制器；

④ 控制毫米波雷达，开始测距；

⑤ 当子弹进入威力有效高度时，中央控制器控制毫米波雷达关机，控制毫米波辐射计、双色红外探测器、复合信号处理器工作；

⑥ 复合信号处理器经过信号处理识别，将有关目标信息报告给火力决策处理器，由火力决策处理器下达指令起爆爆炸成型弹丸战斗部；

⑦ 在敏感子弹落地前，如果没有发现目标，由中央控制器控制自毁机构，完成自毁动作。

中央控制器采用单片机端口直接控制驱动方式，在地线的布局处理上采用了单点接地的方法，这样既简化了电路设计，又提高了系统可靠性。中央控制器在进行数据采集时，将采集结果送到快擦写存储器中。

在整个末敏弹工作过程中，中央控制器对毫米波雷达、毫米波辐射计和双色红外探测器进行全面控制，进行多模式信息的关联和互补，从而保证复合敏感器的探测性能和末敏弹对目标的攻击性能。通过毫米波雷达的探测报告，确定子弹与地面的距离，并根据此高度信息，启动相应的工作程序。

通过磁力计的测量报告，解出子弹的旋转信息和确定打算攻击目标的角位置。将主、被动毫米波和双色红外3个探测器测定的目标信息进行复合信号处理。多敏感器目标识别系统的关键技术是信息融合，复合信号处理器对红外信号处理器和毫米波信号处理器前端处理结果进行融合和决策，主要解决如下问题：如何校准来自不同传感器的数据（它们往往不是同步的，因此存在着传感器场景匹配问题）；不同敏感器电磁信号应该如何融合，是在信号级融合，还是在特征级或决策级融合，从而既能保证稳定、可靠地识别目标、提高目标探测概率、降低假目标虚警率，又能尽可能减少信息处理机硬件的规模；当多个敏感器所判断的结果相互抵触时，如何利用信息融合处理作出更可信的判决等。复合敏感器信息融合处理是利用组织逻辑功能在处理机中进行的。它通过对每个敏感器算法的输入分别作加权处理，再以数据融合算法对逻辑结果作出表决性的判断。

目前,各国的末敏弹大都处在研制阶段,各分系统的结构正在不断完善,各种新原理、新结构、新技术不断地被用于末敏弹。部队列装的末敏弹以及改进型的末敏弹性能将不断提高。

4.5.2 改进 EFP 战斗部性能的技术措施

目前 EFP 战斗部的应用场合都要求 EFP 对目标具有远距离攻击能力,因而,必须保证 EFP 在这段空气弹道段飞行稳定。同时,为了使其能在着靶时有效穿透目标,EFP 还应有尽可能小的弹道速度降。决定上述两性能的关键因素是 EFP 的结构形状。一般情况下获得的是带截锥状尾裙结构的 EFP,这种 EFP 通常是轴对称回转体,弹尾中空有底凹,靠截锥状尾裙提供飞行稳定所需的稳定力矩,如图 4 - 30 所示。这种结构 EFP 的性能特点如下:

① 侵彻能力不高——侵彻性能要求 EFP 弹丸应具有尽可能长的弹长及尽可能大的断面密度,而截锥状尾裙结构的 EFP 虽然解决了空气弹道段的气动力稳定性问题,但是由于这种弹形是通过缩小弹长为代价获得的(这种结构 EFP 的长细比一般为 2 ~ 3),这就极大地限制了获得长弹的可能性;同时由于尾裙部分断面密度较小,基本没有侵彻能力,使 EFP 的有效长度降低。(这种结构 EFP 在 1000 倍装药口径距离上对均质靶板的侵彻能力一般不超过 0.6 倍装药口径的厚度)。

② 弹道速度降较大——由于在超声速飞行条件下截锥状尾裙突缘会产生很大的激波阻力,使 EFP 的弹道速度降增大(一般为 6m/s ~ 8m/s),着靶速度低。

为了解决 EFP 的飞行稳定性和穿甲威力之间的矛盾,EFP 的研制朝着高威力、低阻、低弹道速度降、大长细比方向发展,其主要技术途径是通过使 EFP 产生星形尾翼取代截锥状尾裙来解决截锥状尾裙结构 EFP 的缺陷,如图 4 - 31 所示。



图 4 - 30 截锥状尾裙结构的 EFP



图 4 - 31 带星形尾翼的 EFP

除了上述可通过改进 EFP 的稳定结构来提高 EFP 性能外,在相同稳定结构条件下,改进 EFP 性能的技术措施还包括以下几个主要方面。

① 罩材的选择——罩材特性对 EFP 成型及穿甲威力有直接影响。结构相同的药型罩,由于材料不同,形成 EFP 的形态、性能参数就不同。这是因为罩材密度、强度和延展性等参数有别而造成的。采用高密度、高延展性和晶粒细化的材料作药型罩,则可改善 EFP 的形态,增强 EFP 的侵彻能力。

② 高能炸药的选择——药型罩的压垮、翻转(罩顶微元在压垮过程中运动到其它罩微元的前面,使得药型罩的内表面成为 EFP 的外表面)、闭合形成 EFP 的能源来自高能炸药的能量突然释放。炸药能量越高,则可增加 EFP 的最终长度和提高 EFP 的速度,这对 EFP 穿甲威力的提高非常有益。选用炸药时其猛度要适中,否则罩的成型率低,部分

罩材易形成破片。大量试验表明，以黑索今为主体的炸药较好。

③ 壳体——随着 EFP 战斗部金属壳体厚度的增加（如钢壳体厚度≥6mm），可以改善炸药装药的约束条件，提高炸药能量的利用率，有利于 EFP 密实和速度的提高。特别是装药前端罩口外边有无一定厚度的壳体，对 EFP 的性能有显著影响。壳体厚度变化对 EFP 成型性能的影响如图 4－32 和图 4－33 所示。

壳体厚度对 EFP 成型性能的影响规律是：随着壳体厚度的增加，特别是罩口部附近壳体厚度的增加，EFP 质心速度逐渐增大、EFP 内部结构密实程度逐渐增大。

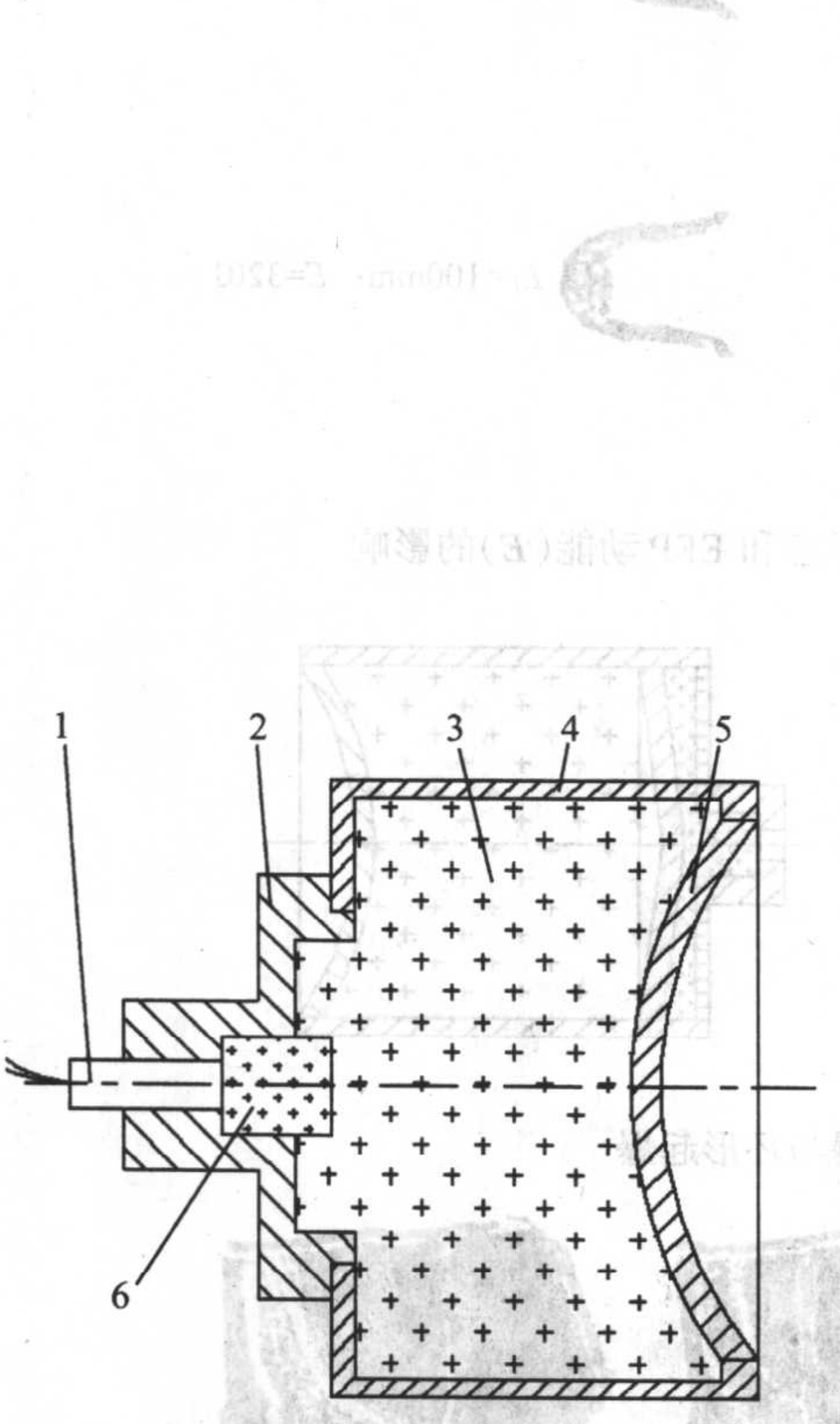


图 4－32　EFP 战斗部试验方案

1—雷管；2—后盖；3—炸药；4—壳体；5—药型罩；6—扩爆药。

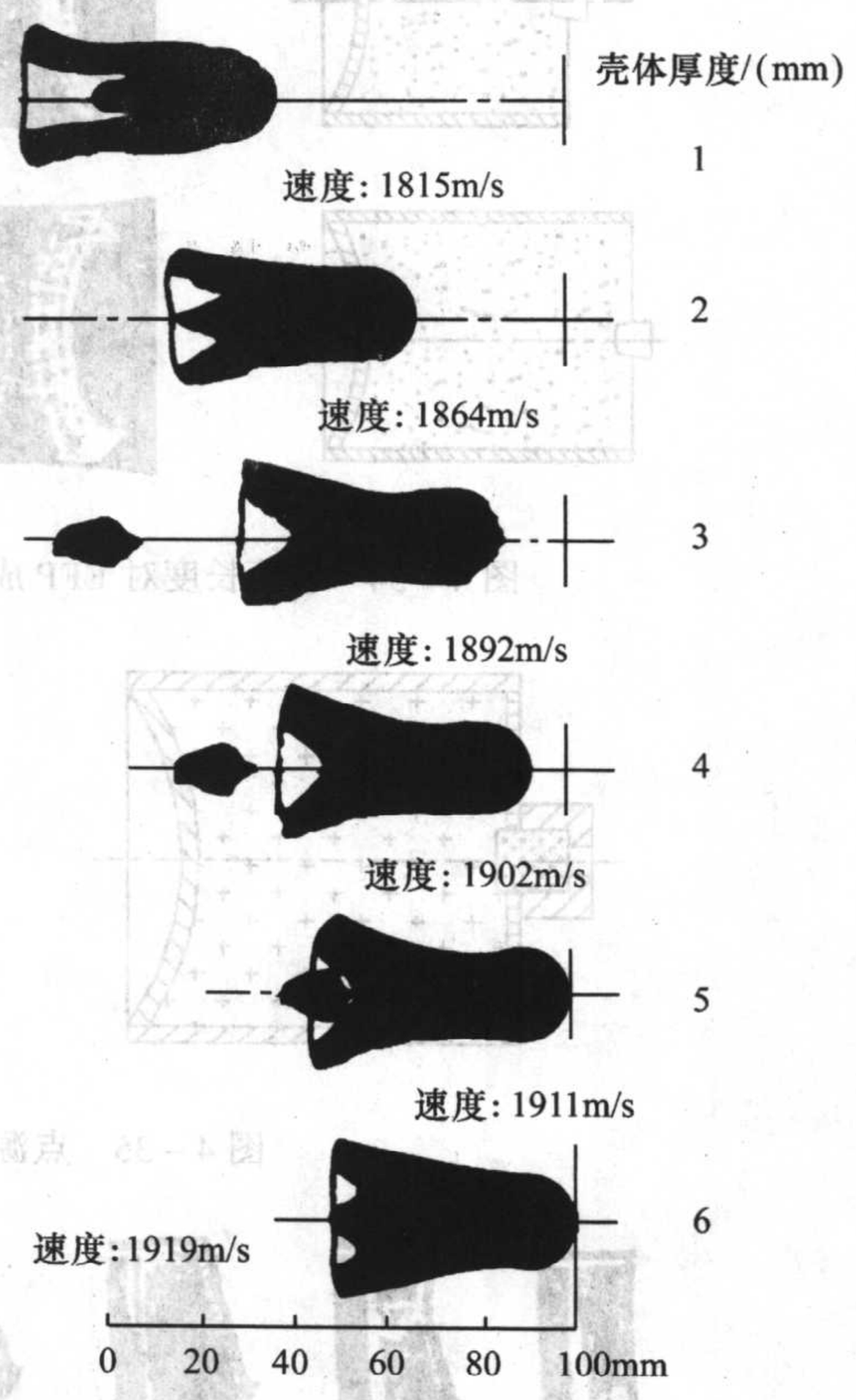


图 4－33　X 光机拍摄到的 EFP 形状

④ 装药长度、起爆方式对 EFP 的性能的影响——研究表明，同样的 B 炸药装药，装药口径及密度相同，仅改变装药长度 L_C，EFP 的成型形态有显著变化，如图 4－34 所示。

在一定装药高度范围内（≤2 倍装药口径），装药高度越大，EFP 越密实、长度越长、动能越大。

起爆方式不同，将改变爆轰波的传播波形，从而改变药型罩微元的承载状态，因而会直接影响 EFP 的形成及性态。两种不同起爆方式如图 4－35 所示。

环形起爆的爆轰波形及两种起爆方式下 EFP 的成型形态分别如图 4－36 和图 4－37 所示。

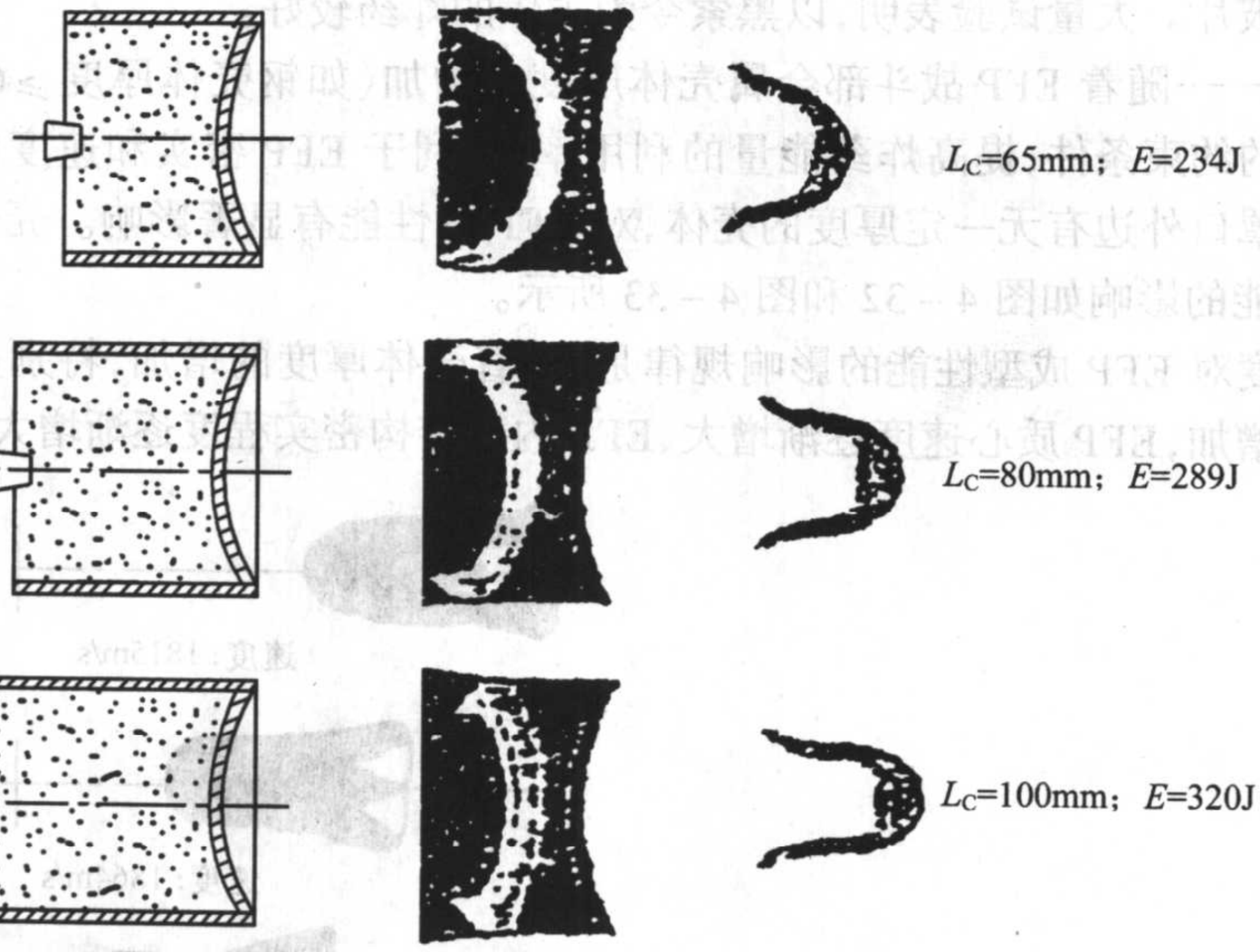


图 4－34　装药长度对 EFP 成型形态和 EFP 动能(E)的影响

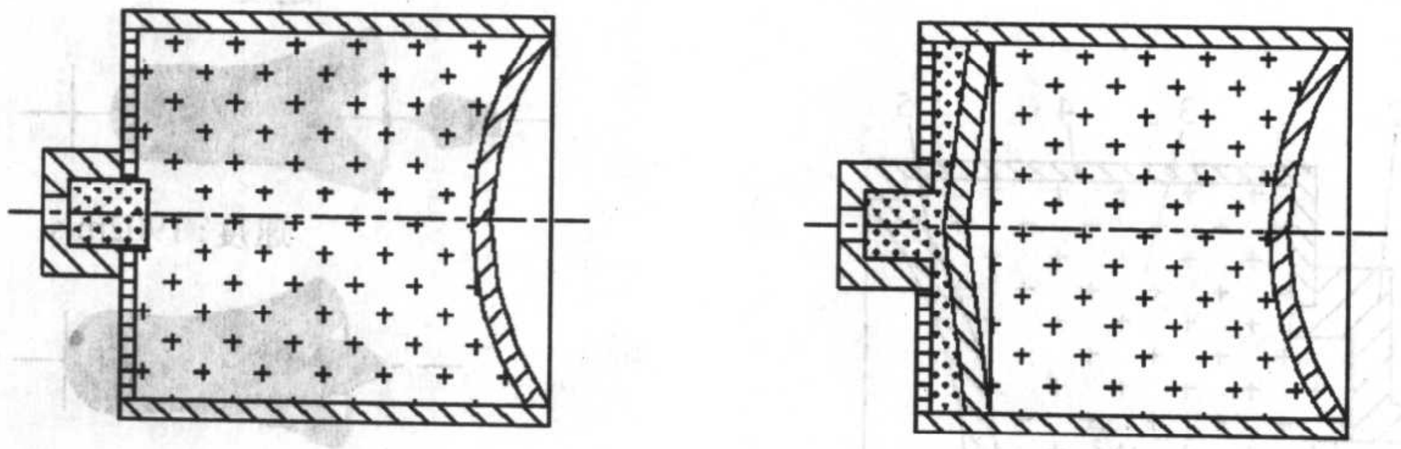


图 4－35　点源起爆与环形起爆

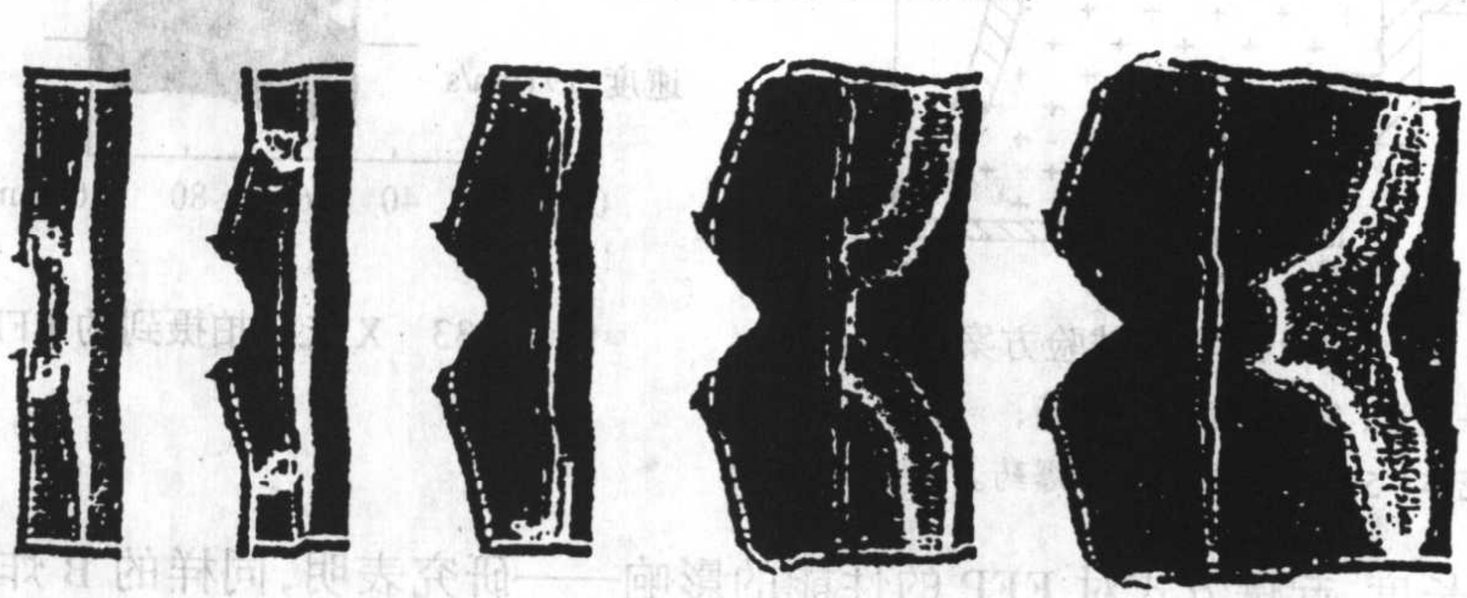


图 4－36　环形起爆条件下爆轰波形变化图像

在相同条件下，环形起爆比点源起爆有利于 EFP 的增长和获得高的能量，与点源起爆方式相比，环形起爆的装药长度可减短约 25%。

总的来说，性能良好 EFP 的获得，不仅仅是某单一因素的作用结果，而需要相关多种因素的优化协调与匹配。

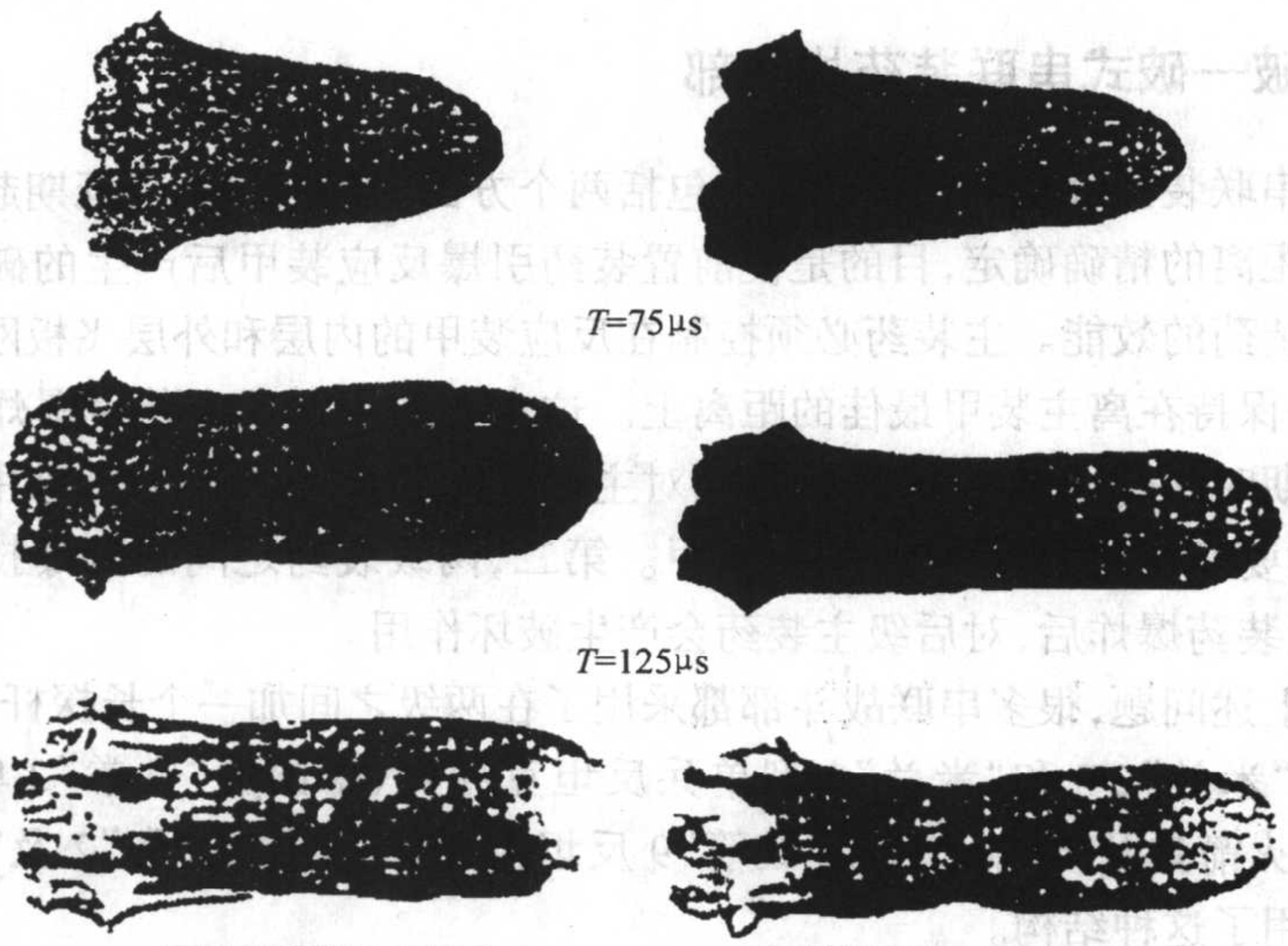


图 4－37 两种不同起爆方式下 EFP 成型形态和 EFP 能(E)

(a)点起爆所获得的 EFP;(b)环形起爆所获得的 EFP。

4.6 串联式破甲弹

爆炸反应装甲的出现及装备对聚能破甲弹或破甲战斗部构成了严重威胁,反应装甲爆炸后其飞板能在射流到达主装甲表面之前,快速、连续地堵截并消耗大部分射流,同时爆炸反应装甲爆炸后生成的破片和爆轰产物在射流通道上作用也会严重干扰射流对靶板的正常侵彻,可使普通破甲弹的穿深降低 50% ~ 70%甚至更多。坦克防护技术的发展,促进了弹药技术的发展。为了对付爆炸反应装甲,发展了串联战斗部装药结构。目前大多数串联战斗部为两级串联战斗部,它采用两级引信和两级装药的结构。两级装药沿战斗部轴线前后布置,前面的称为第一级装药(或称前置装药,战斗部口径通常为 20mm ~ 50mm),主要用以引爆或击穿反应装甲,以消除其对主装药射流的干扰。第二级装药为主装药(战斗部口径通常为 100mm ~ 175mm),以侵彻装甲。两级串联战斗部根据其对反应装甲的作用原理大致可分为两类:

① 一类为破—破式串联装药战斗部,其前装药产生的射流用于击爆反应装甲,经一定延期时间,待反应装甲前后板飞离装药轴线后,主装药的主射流在没有干扰的情况下侵彻主装甲。

② 另一类为穿—破式串联装药战斗部,其第一级装药(前置装药)形成的射流或 EFP 用于击穿反应装甲,而不引爆它,为二级主装药射流开辟通道以便二级主装药射流通过贯穿孔侵彻主装甲。由于对反应装甲是穿而不爆,故防止了反应装甲对射流的干扰。

目前串联装药战斗部采用破—破式结构的比较普遍,而且两种串联装药战斗部的结构和工作原理基本相同,因此这里着重介绍破—破式串联装药战斗部。

4.6.1 破—破式串联装药战斗部

破—破式串联装药战斗部的关键技术包括两个方面:第一,主装药延期起爆时间及前后级装药间隔距离的精确确定,目的是使前置装药引爆反应装甲后产生的破片和冲击波不至于影响主装药的效能。主装药必须控制在反应装甲的内层和外层飞板刚刚飞离射流通道后引爆,并保持在离主装甲最佳的距离上。这主要取决于反应装甲爆炸场对弹的干扰时间。若延期时间过短,反应装甲的作用对主射流仍有干扰,从而降低破甲效果。延期时间过长,弹的姿态变化大,同样不利于破甲。第二,两级装药之间的隔爆技术。若隔爆结构不当,前置装药爆炸后,对后级主装药会产生破坏作用。

为了解决上述问题,很多串联战斗部都采用了在两级之间加一个长探杆的方案,如法德联合研制的“米兰”2T 和“米兰”3 型单兵反坦克导弹、德国的“铁拳”3 单兵火箭弹、120mm 反坦克火箭弹及“红箭”8E 及“红箭”9 反坦克导弹、美国的“陶”2 及“陶”2A 反坦克导弹等都采用了这种结构。

120mm 反坦克火箭弹串联战斗部结构示意图如图 4 – 38 所示。

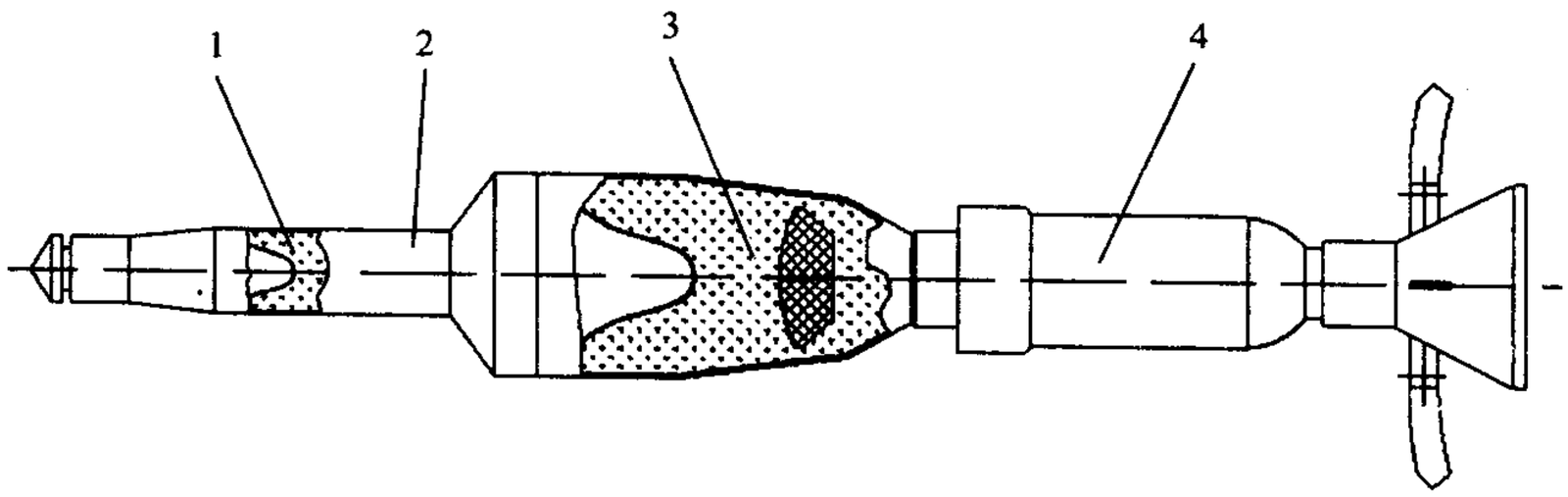


图 4 – 38 120mm 反坦克火箭弹串联战斗部

1—前置装药;2—引信体;3—主装药;4—发动机。

主要诸元:

口径/mm	120
全弹质量/kg	6.2
发射筒质量/kg	< 10
战斗部类型	破—破式串联装药战斗部
初速/($m \cdot s^{-1}$)	246
威力	230mm/68°
直射距离/m	400(连用型)、800(营用型)

引信:采用电子延时机电引信,在火箭弹碰击目标后,前级战斗部击爆反应装甲,经过引信精确延时,引爆主装药。

战斗部结构特点:

战斗部由前置装药 1、引信体 2、主装药 3 和火箭发动机 4 组成。前置小口径一级装药用于引爆反应装甲,在两级装药之间没有设置专门的隔爆体,因为单兵破甲弹大炸高下的破甲余量不大,在两级装药间加装隔爆体会“吃掉”一部分主装药射流,因此主要通过结构本身保证一、二级之间的隔爆。在一、二级之间设置引信体,当一级装药作用后,引信体

一方面起到隔离爆轰产物的作用,同时本身又在爆轰波作用下向后飞,而起到隔爆体的作用。其向后飞离的速度与引信体质量和前级装药作用到引信体上的有效质量有关。实际中,引信体向后飞离的速度约为 140m/s,在 300μs 延期时间内,引信体向后飞离的距离约为 42mm,实验值为 48mm,因此只要保证引信体与主装药之间的距离 $L \gg 48$mm,引信体便不会对主装药产生破坏作用。

主装药药型罩采用双锥等壁厚紫铜罩,采用聚胺酯发泡塑料小隔板结构以增大罩顶有效装药。

采用薄金属内衬、玻璃纤维复合材料缠绕成的空心发射筒,不仅强度高,并且有效地减轻了武器质量,还可使发射筒重复使用,降低了资源消耗。营用反坦克火箭筒还配备了性能先进的简易火控系统,大大提高了射击反应速度,从发现目标到发射完毕在 10s 内即可完成。三脚架由脚爪、架杆、立轴等组成,方向射界为 360°;营用三脚架还配有高低机和方向机,可在瞄准后固定筒射,以提高射击稳固性,降低瞄准误差。为便于射手在瞄准时及时测距和发射,还在高低机手轮上装有激光测距按钮,方向手轮上装有发射按钮,使操作变得极为方便。连用三脚架在卧姿射击时可起支撑筒的作用,方向射界 360°,高低射界 -6° ~ +30°,反应时间不大于 10s。

发射时,将带后筒的破甲火箭弹或多用途弹装入发射筒,闭锁装置将其锁紧,发火电路自动接通,射手瞄准目标后即可击发。击发时,点火机产生电流,点燃点火器,从而点燃火箭发动机。当火药气体压力足够大时,剪断火箭弹固定锁,火箭弹启动飞出。退出后筒后,即可再次装填发射。

4.6.2 穿—破式串联装药战斗部

穿—破式串联装药战斗部,在总体结构上和破—破式串联装药战斗部基本相同,所不同的只是其前置战斗部采用低密度射流或爆炸成型弹丸,使反应装甲只穿不爆,这样无需等反应盒破片飞离轴线,主战斗部射流可立即跟进侵彻,大大缩短了延时和炸高,使串联战斗部既可采用单引信、简化结构,又可减轻重量、降低成本。尽管如此,由于使反应盒只穿不爆技术难度大,所以,采用穿—破式串联装药战斗部的不多,比较典型的有“红箭”73D 及德国的“铁拳”-3 等。

由德国诺贝尔公司研制的“铁拳”-3 串联战斗部采用超口径弹方案,发射筒径为 60mm,主战斗部直径为 110mm,装药质量 1.5kg,破甲厚度为 700mm(改进型主战斗部口径 125mm,破甲厚度增至 900mm)。主战斗部底端为压电触发引信,顶端有一根细长的伸缩式探杆,探杆顶端装一口径为 40mm 的低密度罩材破甲弹。前端小破甲弹也采用弹底压电触发引信,经过精心设计两弹底引信之间的延期作用时间,控制两个战斗部在最佳距离上引爆,保证小战斗部在爆炸反应装甲上穿透一个小孔后,主战斗部形成的射流经过这个小孔侵彻主装甲,这样就避免了爆炸反应装甲对主战斗部射流的干扰和破坏。

“铁拳”-3 为火箭增程弹,发射前瓶状战斗部伸在发射筒的外面,发射方式采用戴维斯原理,火箭筒后部装有大量极细微的铁粉作为配重物,配重物约占发射筒长度的 1/3。发射时火药气体推动火箭向前飞出筒口,同时推动铁粉向后喷射。由于铁粉的颗粒十分微小,喷出很短距离便飘落到地面,因而大大减小了后坐力和后喷焰,便于特种部队在建筑物、地下室、隐蔽壕等狭小空间内使用。“铁拳”-3 火箭弹战斗全重 12kg,全长 1.2m,

炮口速度 165m/s,火箭发动机工作结束时速度 250m/s,射程 400m。

4.7 破甲弹的发展历程及发展方向

破甲弹总是在与坦克防护装甲的矛盾斗争中互相促进互相发展的。在 20 世纪 70 年代以前,坦克的装甲主要采用均质装甲,用增加装甲厚度的办法来提高其防护能力。当时,破甲弹的发展方向是提高其破甲深度,追求穿透坦克首上装甲并具有一定的后效。这个时期破甲水平为:平均破甲深度为 5 倍装药口径,最佳炸高为 2 倍~3 倍装药口径。

进入 20 世纪 70 年代后,出现了复合装甲。由于复合装甲有非金属夹层,所以与均质装甲等重的复合装甲就要厚得多,而且非金属材料对射流尤其是断裂射流干扰很大。对破甲弹不仅要求破甲深度大,而且要求大炸高性能好。也就是说要求在大炸高下射流要保持稳定性与较好的直线度,且射流断裂时间要长。这一时期的发展主要是精密战斗部技术,以满足上述要求。所谓精密战斗部,就是精密炸药装药、精密药型罩和精密装配组合的战斗部。在 20 世纪 80 年代对精密战斗部进行了深入研究,并得到了广泛应用,使得破甲弹的破甲水平大幅度提高,且大炸高性能也较好。此时中大口径战斗部的平均破甲深度为 8 倍装药直径左右(实验室已达到 10 倍),最佳炸高为 5 倍~7 倍装药直径。当炸高为 15 倍~20 倍装药直径时,破甲深度仅下降 30%左右。

精密装药除了炸药装药的优化设计外,还要考虑药柱的成型方法与工艺,因为它直接关系到装药药柱的精密程度,影响到破甲性能。装药对破甲性能的影响主要是炸药的性能和密度、装药尺寸和形状,尤其是装药的对称性、均匀性和一致性。目前药柱成型主要有注装法和压装法两种方法。成型方法与工艺关系到药柱的制造质量、装药与罩的结合以及药柱的装配等,直接影响到破甲性能。

对注装装药来说,应保证装药密度均匀,无缩孔、裂纹等疵病。由于注装装药容易出现疵病,故在裸装药条件下,与压装药相比破甲威力差一些,破甲跳动量大一些。但当采用注装法时,装药与弹体的贴合性好。特别是当采用精密压注装药时,不但可避免上述注装疵病,而且装药密度及均匀性也会超过压装药,动破甲稳定性和破甲威力都会大幅度提高。如法国的"啊皮拉"破甲战斗部。

对压装药来说,如果主、副药柱是分开压制然后合装再装入弹体的话,除了应使压药密度均匀和使罩与装药贴紧外,还应保证主、副药柱之间及装药与药型罩之间的同轴性,带罩压药时应避免使药型罩在压药过程中有较大的变形;直接往弹体中压药时,应特别注意隔板位置及药型罩与装药的同轴性。

采用精密装药的目的就是要制造出对称性、均匀性和一致性好的聚能装药。国外在精密装药研究方面起步不算太早,但发展很快,效果也较好。在注装药方面,如德国在 Milan 和 Hot 等反坦克导弹上采用了筛网式压力注装法或筛网式真空振动压力注装法,这种方法得到的药柱 RDX 含量达 75%~90%,密度达 1.73g/cm^3~1.78g/cm^3,空隙率 <2%,轴向最大密度差 $\Delta\rho \leqslant 0.001$g/cm^3。在压装药方面,除了采用直接压药法外,又在自动加药方面作了大量工作。如美国在 TOW 及 TOW2 等反坦克导弹上采用了精密压装法压装高能塑性炸药 LX-14,使破甲水平及大炸高下破甲性能均有较大提高。

国内在压力注装法及真空振动法等方面也做了大量工作,并取得了较好的进展。在

精密压装工艺方面，国内结合产品进行了较广泛与深入的研究，成绩比较显著，压药密度差已提高到 $0.01g/cm^3$ 以内。

精密药型罩除了在结构上优化设计外，还要考虑其成型方法及工艺，即不仅考虑如何满足其外在的质量要求(几何尺寸及精度和表面质量)，还要考虑其内在的性能参数(如晶粒尺寸及取向、结构等)也应满足要求。

近年来，国内外对药型罩材料的内部组织、药型罩的制造方法及工艺与破甲性能之间的关系做了深入的研究。研究结果表明，不仅罩的几何尺寸、精度以及表面质量对破甲性能有影响，其晶粒的大小、晶粒的取向以及结构等内部冶金学指标对破甲性能也有很大影响。因此，现代的药型罩制造技术既要满足其外在的质量要求，也要满足其内在的性能要求，目的就是使药型罩能形成符合要求的射流。在此研究的基础上，相继开发出一些药型罩加工的新技术和新工艺，以满足破甲威力对药型罩越来越高的要求。这些新技术的特点是：高精度、高质量，尤其是改善了罩的内部组织结构；高效率和低消耗。主要包括：电铸工艺、冷挤压成型工艺、摆碾成型工艺。这些工艺加工出的药型罩壁厚差在 0.01mm～0.03mm，表面粗糙度 $<0.4\mu m$，晶粒尺寸在 0.015mm～0.04mm，且对称均匀。

当药型罩与装药的精密制造技术解决之后，下面就要解决精密起、传爆和精密装配技术问题，以及起爆的一致性和对称性问题。

对有主、副药柱的装药来说，在装配时要使主、副药柱的纵轴重合，以保证爆轰波形轴对称；主药柱与药型罩应保证同轴性。这要在装配条件上给予保证。

采取措施使起爆中心在装药的对称轴线上很重要。为了使引信的传爆药起爆后爆轰波在装药中的传播轴对称，采用称为起爆中心调整器的装置是一条有效措施，如法国的“啊皮拉”破甲战斗部。

采用精密制造技术的 Milan－2 反坦克导弹战斗部，其口径为 115mm，装填 Octol 炸药 1.8kg，炸高 280mm 时破甲深度 970mm，炸高 1100mm 时破甲深度 1100mm，炸高 2000mm 时破甲深度 850mm。可见采用精密制造技术后，破甲威力、大炸高性能及破甲稳定性都达到较高的水平。

20 世纪 80 年代初，出现了反应装甲，而且成为当代主战坦克广泛采用的新型特种装甲。国内外的试验表明，第一代反应装甲可使破甲弹的破甲威力下降 50%以上。反应装甲的出现给破甲弹带来巨大的冲击，有的人甚至对破甲弹的作用及发展提出了疑问。但是，装甲的发展也必然促使反装甲弹药的发展，目前比较成熟并得到推广应用的就是串联战斗部。目前国外已研制成功第二代反应装甲并装备部队(既能防破甲弹，也能防穿甲弹)，正在研究反串联战斗部的第三代反应装甲。这就给破甲弹提出了新使命——对付新型反应装甲。

坦克的防护重点是正面首上部位。正面装甲不易打，就在打顶甲、底甲、侧甲上想办法，侧甲雷、底甲雷和广域地雷以及攻击坦克顶甲的末敏弹爆炸成型弹丸战斗部是聚能装药弹药发展的重点方向之一。

随着战场上坦克严重威胁的发展，为了解决首发命中以及全天候自主作战能力，采用破甲战斗部的反坦克导弹仍是发展的重点。通过加大战斗部直径、加大炸高、采用近炸引信、精密制造技术和先进的导引、控制技术，大幅度提高破甲战斗部的命中精度和威力。

总之，破甲弹药今后的发展方向除了要进一步提高破甲威力与大炸高性能外，主要将

集中在下面几个方面：

① 采用新型装药结构和药型罩结构——随着反应装甲技术的发展，聚能装药战斗部在原理、结构与工艺上应不断发展，如采用 K 型装药结构及 W 型药型罩、多级串联破甲战斗部、新型精密装药技术等。

② 多用途化、多功能化——为了对付多样化的战场目标，聚能装药战斗部向着多用途、多功能化方向发展。除了能穿透装甲目标及坚固工事外，还应兼有杀伤、爆破、燃烧等功能，以便能对付直升机、轻型技术兵器和有生力量等。如破/杀/燃战斗部、随进二次爆炸攻坚战斗部等。

③ 智能化——为了实现弹药的自主攻击性能、提高首发命中概率和效费比，破甲战斗部向着智能化、灵巧化方向发展，以便根据目标的变化，可以选择不同攻击方式攻击目标，并且在某种攻击方式下，可选择目标的薄弱部位进行攻击，从而达到高效毁伤目标的目的。

第5章　碎甲弹

碎甲弹也称碎头榴弹(HESH)、塑性榴弹(HEP)和粘着碎甲弹。碎甲弹是20世纪60年代发展起来的一种新型反坦克弹种。它一经出现,当即受到世界许多国家的重视。

从作用原理上讲,碎甲弹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,利用弹丸着靶时的动能穿甲(有炸药的穿甲弹穿过靶板后爆炸,从而提高靶后的破坏作用),一般需配用在具有高初速的火炮上;破甲弹是通过聚能装药结构将炸药的化学能转化为金属射流的动能来穿透装甲的。而碎甲弹则是将高猛度的塑性(或半塑性)炸药直接贴附在装甲表面爆炸,使炸药能量通过波的形式向装甲板内部传播,即向装甲板内传入高强度冲击(压缩)波,使装甲板背面产生局部崩落。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作用。

目前,由于坦克目标广泛采用复合装甲,使这种弹药的作用效果大大降低,因此世界各国已将这种弹药从反坦克弹药中撤装。但是由于这种弹药的作用机理独特,在对付单层钢甲和混凝土目标时效果显著,所以有必要进行介绍。

5.1　碎甲作用原理及影响因素

5.1.1　碎甲作用的基本原理

5.1.1.1　层裂(崩落)效应

人们早就注意到,当爆破榴弹命中混凝土碉堡时,虽然没有将其击穿,但内壁崩落出许多碎块,这种破坏效应称为层裂或崩落效应。

通过静碎甲试验(见图5-1)可清楚地看到钢甲的层裂效应。取一块一定厚度的钢板,把一个一定尺寸的圆柱形炸药装药直接贴放于钢板表面,用一个雷管从药柱上端起爆(相当于弹丸垂直命中钢板)。当药柱爆轰后可以看到,钢板上原来放药柱的地方发生了

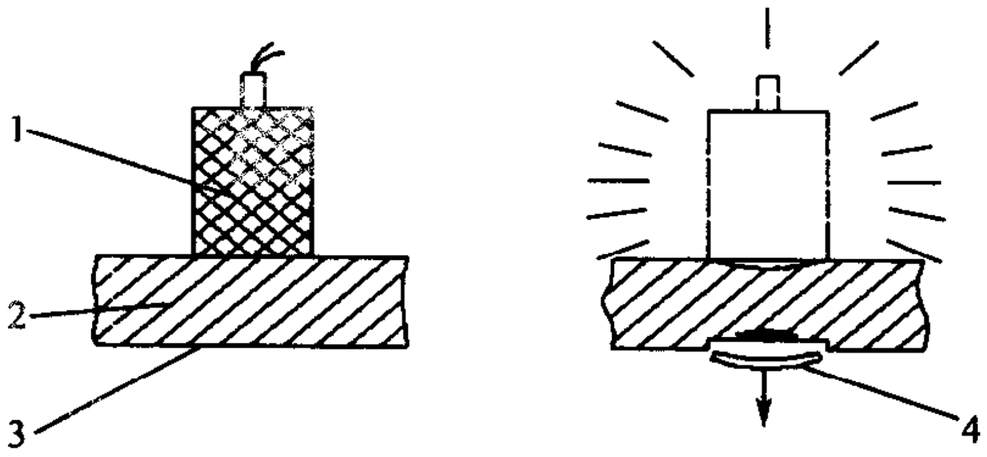


图5-1　静碎甲试验示意图

1—炸药柱;2—钢板;3—靶背面;4—碟片。

剧烈的塑性变形,形成了一个表面光滑的凹坑(靶前坑),坑口直径一般略大于药柱直径。

除了在炸药与靶板的接触面上出现上述塑性变形外,同时,在靶板的背面与药柱的相对应位置也将产生严重破坏,从靶板上剥落出一大块碟形破片(也有的是数块碎块)。碟片厚度一般约为 10mm ~ 20mm,直径比药柱略大。该破片外表面光滑(即原来的自由表面),内表面非常粗糙。这种破片具有一定的质量和较大的速度(速度为 10m/s ~ 300m/s),因而具有强大的杀伤和破坏作用。例如,我国设计的 85mm 碎甲弹,其破片质量达 3kg ~ 5kg,速度达 100m/s ~ 250m/s。

崩落现象出现后,靶板崩落处中心比两侧深,有较多撕裂锐棱,侧面带有约 45°的剪切角。

5.1.1.2 层裂现象的物理解释与应力波的相互作用

如图 5 - 1 所示,当炸药起爆后,炸药爆轰波将以恒定的速度在药柱中沿轴线方向从药柱底部向钢板表面传播,波阵面上的峰值压力可达约 25GPa 以上。由于爆轰产物的向外飞散,因而紧跟在爆轰波后的是稀疏波。当爆轰波阵面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冲击波进入爆轰产物,同时有一个强冲击压缩波透射进靶板内部并以弹塑性应力波的形式传播。由于在接触面处反射的是冲击波,因此接触面上的峰值压力远远大于爆轰波阵面上的压力,此压力可达 40GPa 以上,远远超过钢材的屈服应力。实际上,应力波是以一个压力脉冲的形式在靶板中传播的,其波形如图 5 - 2 所示(波头是陡峭的冲击波,由于稀疏波的作用,其波尾是曲线变化的卸载波)。

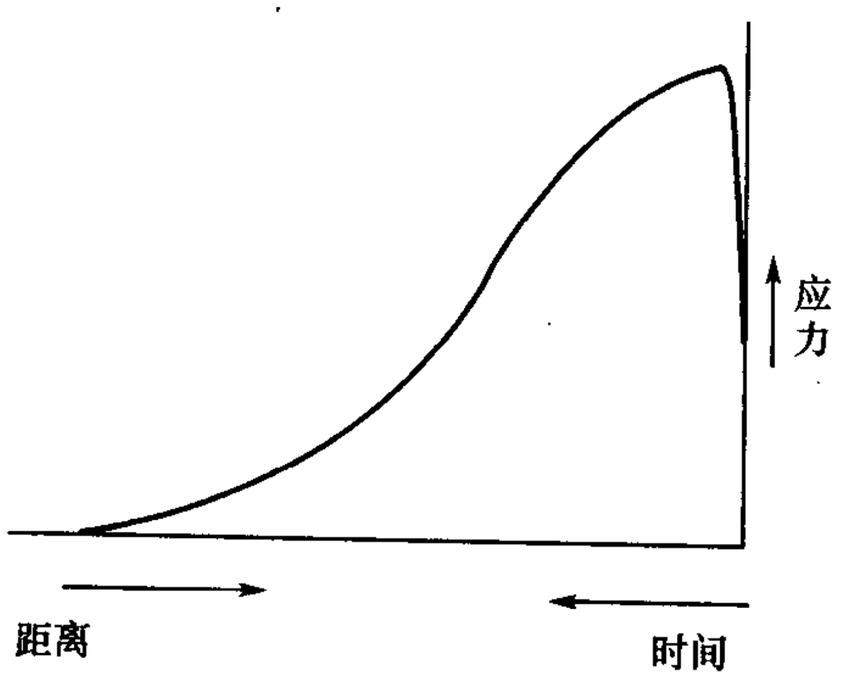


图 5 - 2 应力波形示意图

与其它机械波一样,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。也正是稀疏波的作用使得药柱中心部分冲量大于两侧,故钢甲表面被挤压变形,中心下凹。

假设起爆点离靶面较远,爆轰波是平面波,因此靶板内传播的应力波也是平面波。当靶板受冲击部分的尺寸比靶板的平面尺寸小得多时,可以近似认为,实际的靶板平面是无

限大的、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以近似认为是以单向应变平面波的形式对靶板入射的，即认为仅在应力波的传播方向上有变形，故可把这种应力波称为一维应变平面波。此时受应力波扰动的材料质点运动方向也是在应力波的传播方向上（或同向或反向），所以也称为一维平面应变纵波，简称纵波（即膨胀波或压缩波），以区别于质点运动方向与应力波传播方向垂直的横波（剪切波）。

在应力波传播过程中，由于稀疏波的传入与追赶、靶板的塑性变形与内摩擦，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，波形变得越来越平坦，如图 5－3 所示。

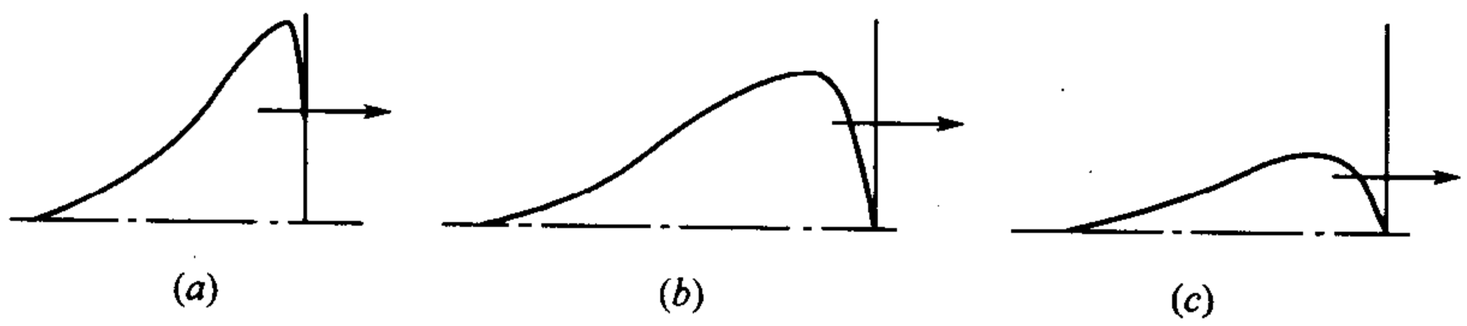


图 5－3　应力波在传播过程中的衰减

为了便于讨论，近似地用一个三角形脉冲来代替应力波，并忽略它的衰减。从靶面传入的高强度压缩应力波头到达靶背自由表面时，由于背面（即自由表面）边界上应力必为零，它的反射波必然为拉伸波。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，两者以相同的速度相向而行，并发生相互作用。两波相互作用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，所以两波相互作用的结果使靶背面附近靶材产生拉应力区。

当某一截面上的拉应力（合应力）达到靶板材料的临界断裂应力时，在该截面上就会产生拉伸破裂，出现裂纹，此裂纹随即沿径向向四周扩展，并逐渐形成一定厚度的层裂。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以后，以一定的速度从靶板上飞出。破片从中心部分最先裂开，在裂纹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。碟形破片裂掉后，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，还可能发生二次、三次层裂等，直到叠加所得的拉应力低于材料的破坏应力为止，层裂才会停止。

（1）垂直入射的层裂过程

图 5－4 所示一维应变纵波从垂直方向入射到靶板自由表面 EF 时为三角形波 ABC，峰值压力 $-\sigma_m(=BC)$，波长 $\lambda(=AC)$。图 5－4（a）以虚线表示反射纵波起始波形 CFG，峰值压力 σ_m，波长 λ，波速都是 c。图 5－4（b）上示出的反射过程中，入射波传播 KC 距离的同时发射波也向靶内传播 $DK=KC$ 的距离，于是在靠近自由表面附近的 DK 段截面上将同时受压应力和拉应力的作用，按应力波叠加原理，这部分靶板各截面所承受的应力为该截面上应力的代数和。因此取 $\Delta Df'g=\Delta Dfg'$，得到 $f'd'$ 的大小就是反射波头所在截面上拉应力 σ 的大小，再取 $dD=f'd'=\sigma$，则 ΔDdk 表示反射波波头到达的截面，DK 段上各截面的拉应力呈线性分布，而 $\Delta A'd'D$ 为未受反射波干扰的压缩波波尾部

分，表示 $A'D$ 段各截面仍受压应力作用。随反射波不断进入靶内，则压缩波段减短，拉伸波段加长，截面上的拉应力也不断增大，直到某一截面（在反射波头截面上）出现的拉应力超过材料的动态断裂应力时，便产生层裂。从该截面到自由表面的距离就是层裂厚度，即碟片厚度。而存在于层裂厚度内的应力波冲量，将使碟片脱离靶板并以一定速度 $\bar{v}$ 飞离靶板。

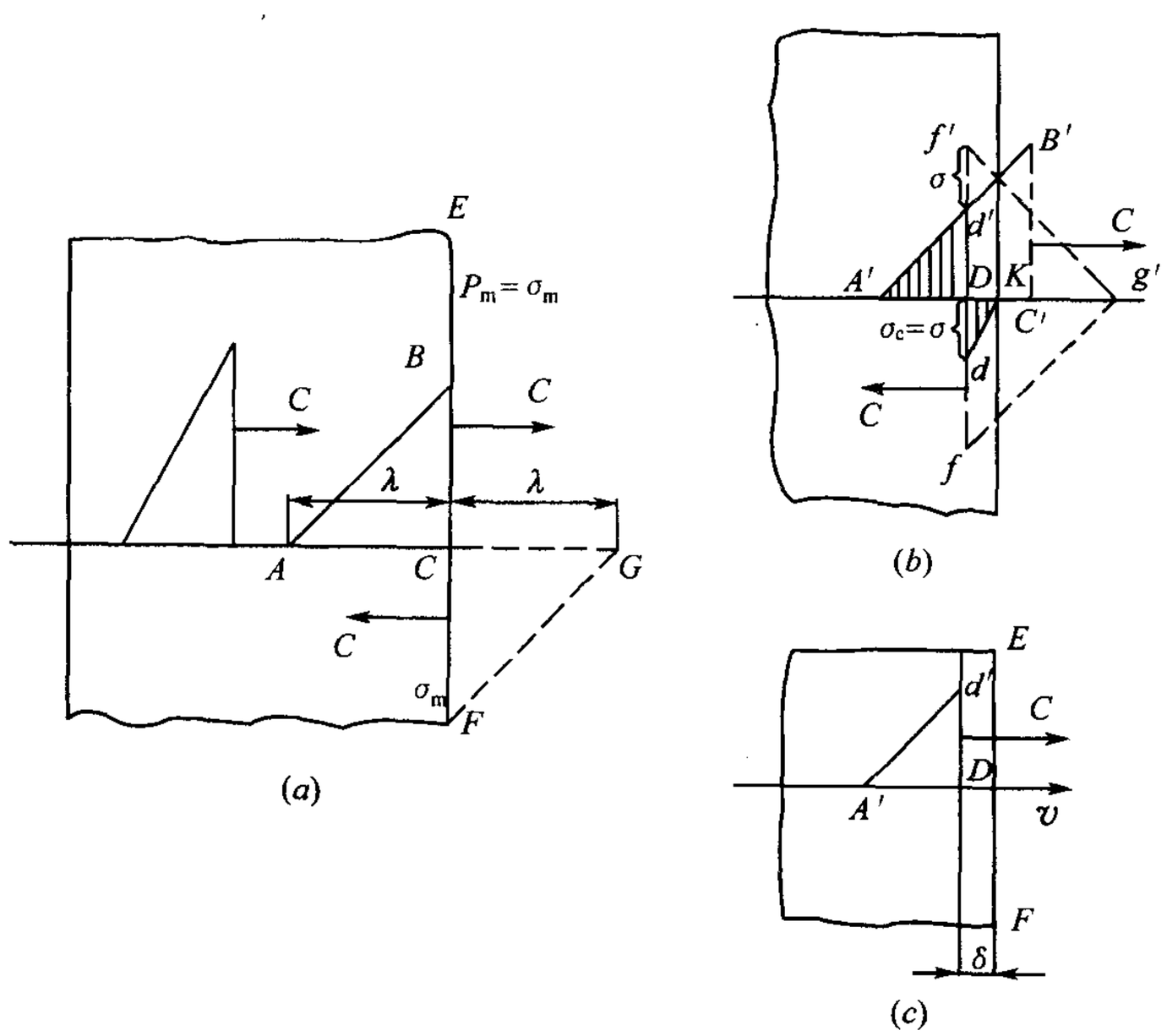


图 5-4 碎甲作用基本原理

根据“瞬时断裂准则”，当材料瞬时拉应力达到并超过材料的临界断裂应力 σ_c（材料常数），即 $\sigma > \sigma_c$ 时，便产生层裂，对于锯齿形应力波的层裂厚度 δ：

$$\delta = \frac{\sigma_c}{2\sigma_m}\lambda \tag{5.1}$$

然而，材料并非瞬时断裂，根据“损伤积累准则”，材料受一定的拉应力（材料开始受破坏）而且需要积累一定的时间后才能产生层裂。

若有较强的冲击波传到靶的背面，则反射的拉应力也较强，那么产生第一次层裂后，剩余的压缩波尾还能按同样的反射过程使靶板再次产生层裂，然而第二、三次以上的多次层裂的厚度越来越薄，越来越向中心缩小，形成小碎片。

（2）斜入射的层裂过程

从图 5-5 可看出，斜入射时靶背面附近将出现入射纵波、反射纵波和反射横波 3 种波的相互作用，考虑横波波速 c_t 比纵波波速小得多，当靶材的泊桑系数 $\nu = 1/3$ 时，$c_t = 0.5c$。因此反射过程产生层裂的主要原因还是入射纵波与反射纵波的相互作用，而忽略横波的影响。由于反射纵波的应力随 α 角（$<65°$）的增大而减小，因此产生层裂时反射波传入靶内的距离必然要大于垂直入射时的传入距离。斜入射时的层裂厚度随 α 角的增大而增大，同时碟片的飞离速度也随之降低。

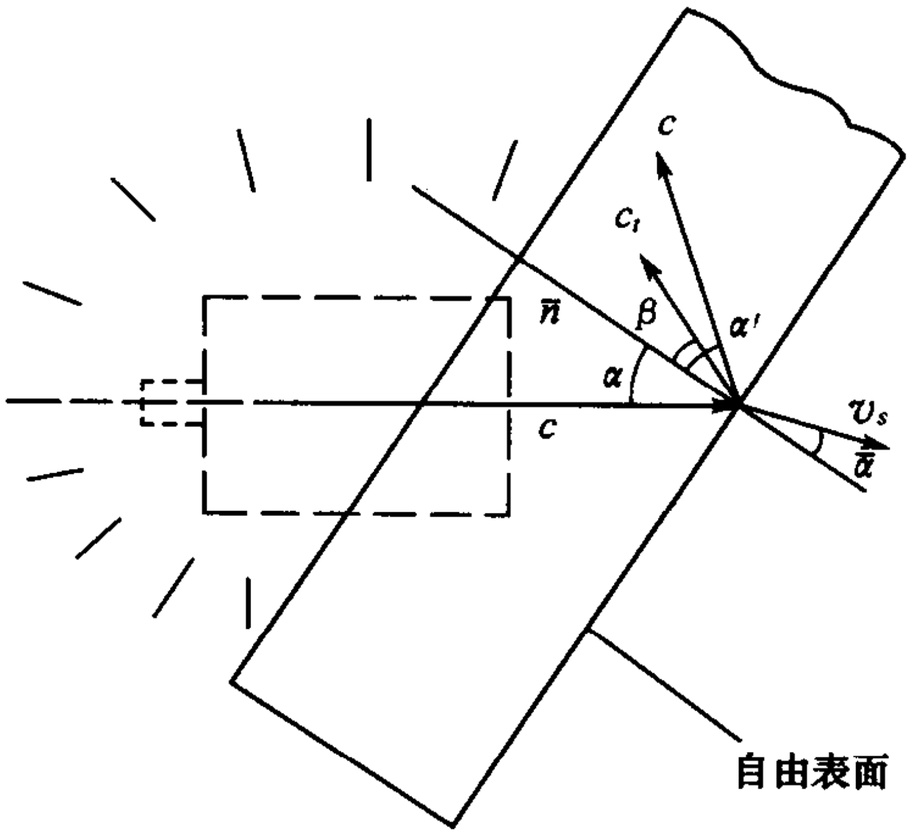


图 5-5　斜入射

图 5-6 所示为斜入射时入射纵波与反射纵波的相互作用，在 A 层截面出现拉(主)应力 σ_1 达到材料的层裂应力时开始出现与自由表面呈一定角度的微裂纹，随后微裂纹贯通而形成层裂。若靶板背面只产生材料破裂而无碎片飞出则认为“碎甲失效”。

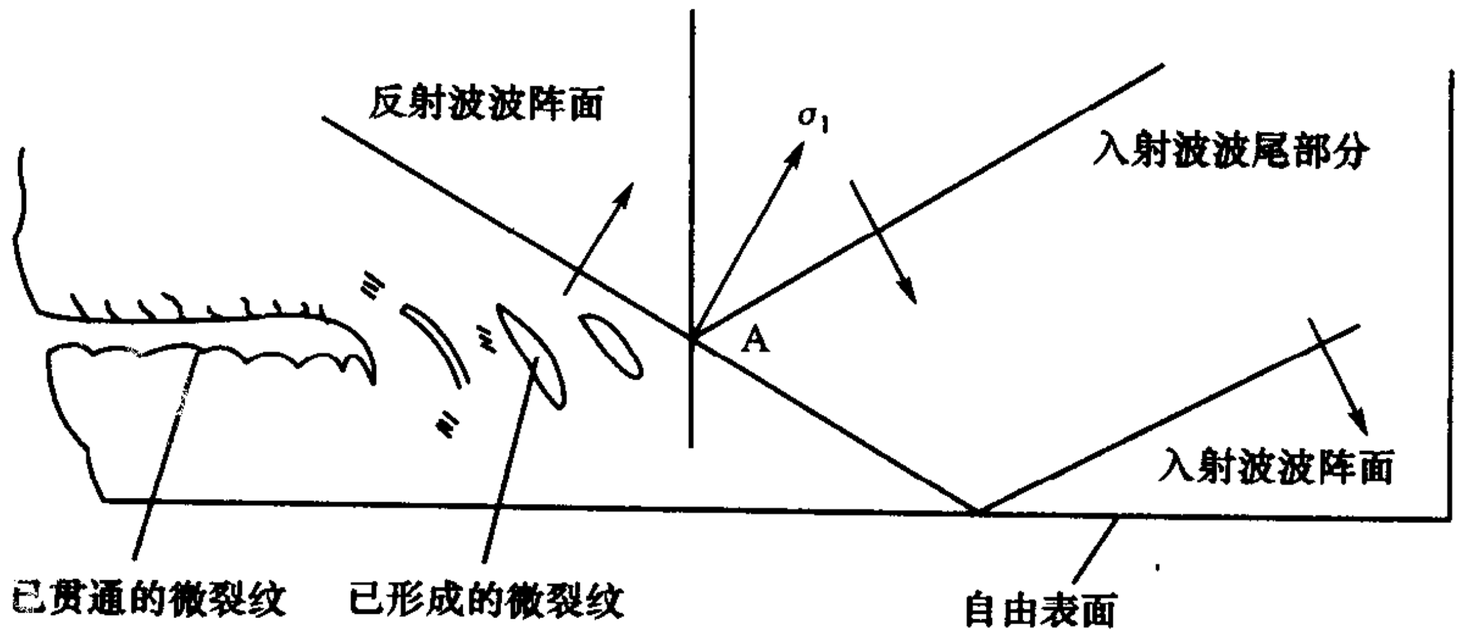


图 5-6　斜入射碎甲

5.1.2　碎甲弹的作用

碎甲弹就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 5-7 所示。

当碎甲弹弹丸以一定着速和着角碰击目标时，在弹底引信起爆前，由于惯性作用，弹丸头部受压变形而镦粗，弹体向外膨胀，随后薄壁弹体头部破裂，炸药直接堆积在钢板表面。堆积面积随着角和着速的增大而增大，经过短暂的延期后，弹底引信起爆，从而引爆炸药装药。由于爆轰产物对靶板的强烈冲击压缩，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。

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，因而还可作为爆破弹使

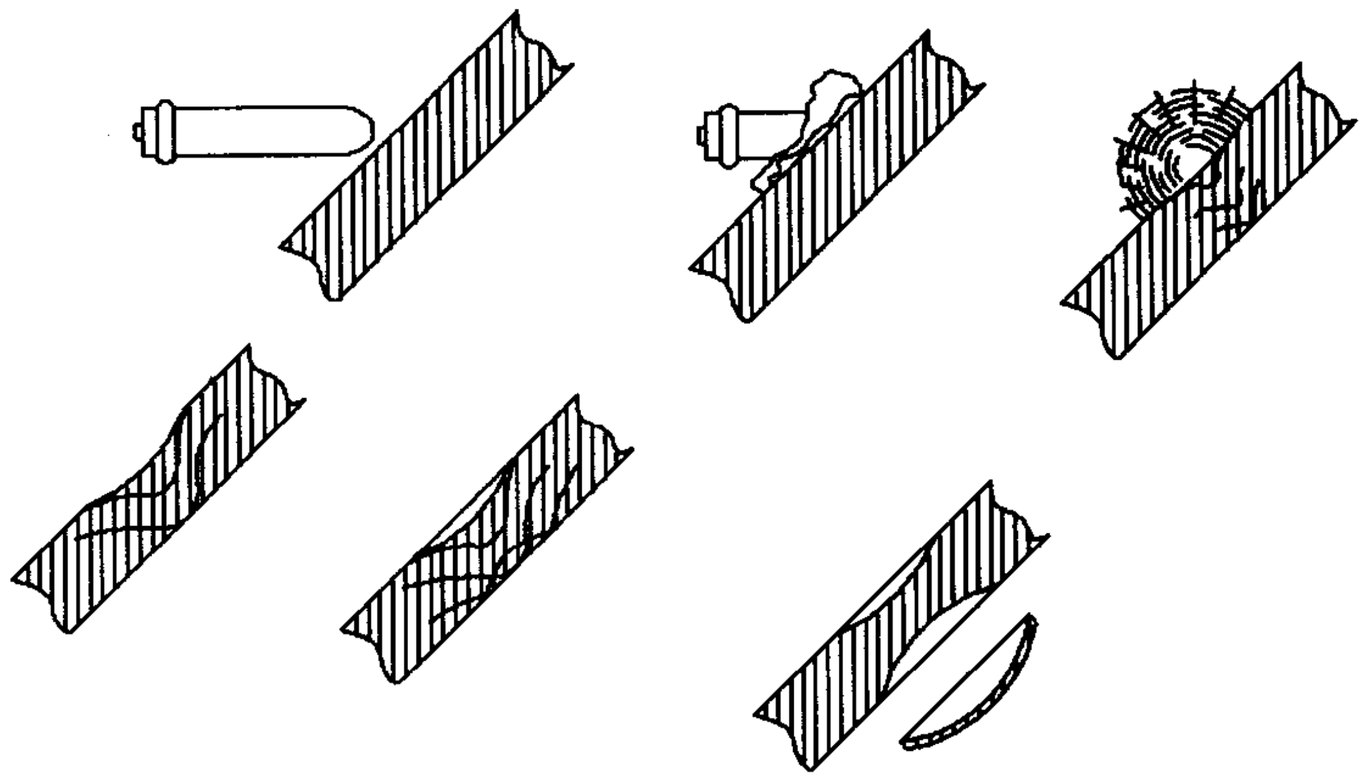


图 5-7 碎甲弹的作用过程

用;又由于它在爆炸时,弹丸破片具有较大的动能(虽然破片质量较小,但飞行速度高,一般可达 1500m/s ~ 2000m/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。

5.1.3 影响碎甲作用的因素

一定尺寸的炸药装药在靶板表面爆炸时,是否能够在靶板背面产生层裂破片,这与许多因素有关。在此,仅对以下几个主要因素作一简要说明。

5.1.3.1 入射波波形

入射波的波形对层裂破片的产生具有决定性的影响,这里起作用的主要是入射卸载波的形状。现以 3 种入射波波形来说明波形对层裂的影响。

如图 5-8 所示,在 3 种入射波形中,加载波部分均为间断波(冲击波),卸载波部分形状各不相同:(a)为指数曲线,(b)为三角形波,(c)为长方形波。当这 3 种波入射到靶板自由表面时,反射波与入射波相互作用。假如这 3 种波形肯定会出现层裂的话,那么,碟形破片的厚度应以(a)最薄、(b)次之,而(c)所产生的碟形破片最厚,甚至大于 1/2 个波长。

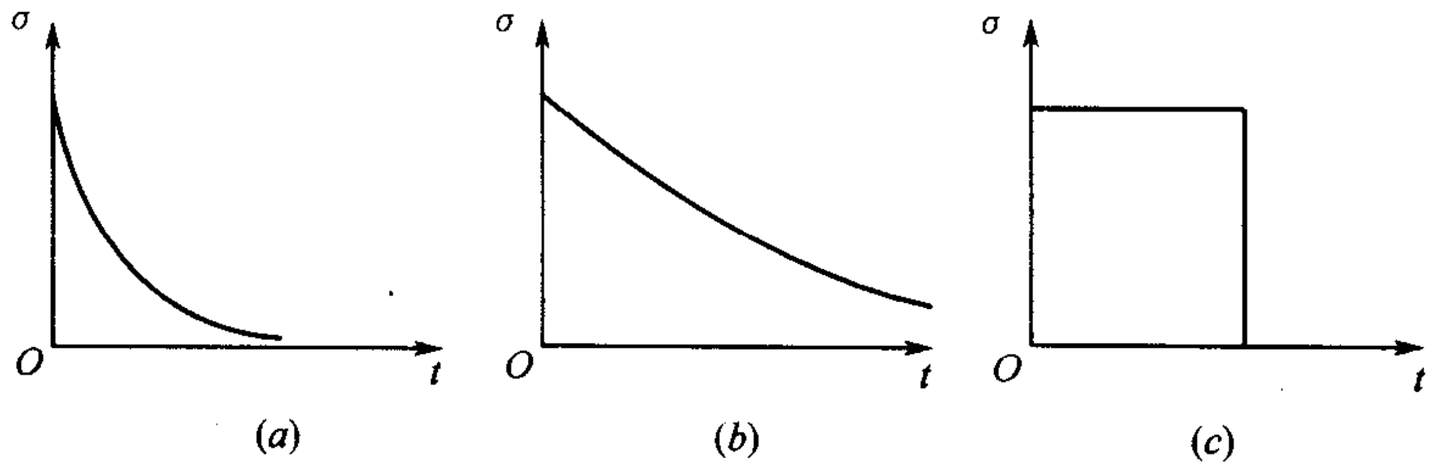


图 5-8 入射波波形

需要指出的是,应力波的峰值压力是在靶板材料中引起层裂的基本条件。如果峰值压力低于靶板材料的临界破坏应力,那么,在任何条件下也不会出现层裂。实验表明,当峰值压力大于靶板材料的临界破坏应力时,可能发生层裂;而当峰值压力大于材料临界破

坏应力的2倍以上时,可能发生二次或多次层裂。

5.1.3.2 炸药猛度的影响

由上述可知,层裂效应与入射波波形和峰值压力有很大关系,但是入射波波形和峰值压力又取决于炸药的性能、装药尺寸和靶板的机械性能。

炸药爆炸直接作用(即局部破坏作用)的能力称为炸药的猛度。一般来说,炸药的爆速和装填密度越大,炸药的猛度就越大,爆炸后作用在靶板上的冲击波就越强,在靶板材料内形成的冲击压缩应力波峰值也越高,由此引起的碎甲作用也就越大。因而猛度较高的炸药可以提高碎甲效果。

所以,碎甲弹应装填高猛度炸药,并且尽可能地提高装填密度,提高爆速,以确保弹丸有较好的碎甲作用。

5.1.3.3 炸药堆积面积和药柱高度的影响

要使一定厚度的靶板产生碟片,并且具有足够大的动能,除要求高猛度炸药外,还需有合理的药柱形状。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,随长径比的增大,靶板所受的冲击波强度提高,碟形破片的厚度一般要减小(有时不明显),但碟形破片的速度则明显增大。反之,随长径比的减小,碟形破片明显地增厚,而其飞行速度则减小。

这就是说,在碎甲弹设计中,应当考虑弹丸碰击目标时需要形成一个良好的堆积条件,即需要有一定的堆积面积和堆积厚度。一般堆积面积越大,碟片面积和厚度也越大,于是碟片的总动能提高,有利于提高碎甲威力。但因炸药量一定,所以堆积面积不宜过大,否则碟片速度太低,碎甲威力下降。对于一定的炸药和钢板,炸药的堆积面积也不能低于某个临界堆积面积(或临界堆积直径),否则会出现只有内部层裂而无碎甲的情况。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。在考虑堆积面积的基础上还要考虑药柱的高度,一般来说,随着药柱高度的增加,靶板所受的冲击波强度增大,碟片的速度也增大。若因增加高度而减小堆积面积,那么碟片的速度虽高,但其形状尺寸小且薄。

5.1.3.4 着角的影响

随着弹丸着角的增大,引信作用时间增大,炸药与钢板的接触面积增大,有利于提高碎甲威力。但着角太大时,药柱太扁,碟片速度太低,影响碎甲效果,另外还可能使引信作用不可靠。

5.1.3.5 靶板的厚度和机械性能的影响

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,随板厚度的增加,由于应力波在靶板内传播的过程中,其强度要衰减,波长要拉长,靶板越厚衰减越严重,必然降低靶板背面自由表面上的冲击波强度,因此碟片厚度增加,速度降低。当

板厚增加到4倍以上的波长时，由于应力波衰减过甚，入射冲击波在自由表面反射后产生的拉应力过低，将不足以产生碎甲效应，尤其对于大着角碎甲的情况更是如此。

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，抗拉强度越低而脆性越大的靶板越容易产生层裂。一般钢材的强度越高、脆性越大，层裂次数越多，但碟片速度降低。具体试验条件及结果见表5-1。

表5-1 碟片速度与靶板强度的关系

炸药	装药密度 /(g·cm^{-3})	药柱高 /(口径倍数)	钢壳厚 /(mm)	钢板强度极限/(MPa)	靶厚 /(mm)	碟片速度 /(m·s^{-1})
塑-4	1.5	2.25	3	980	100	319
塑-4	1.5	2.25	3	980	100	308
塑-4	1.5	2.25	3	441	100	461
塑-4	1.5	2.25	3	441	100	514

5.1.3.6 屏蔽物

当入射的压缩波传到钢板自由面之前，如果受到反射和干扰，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部的压缩波减弱，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5-9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减弱，减小了发生层裂的可能性。

假若是如图5-10所示的复合板(在80mm厚钢质面板和20mm厚钢质底板之间夹装一层104mm玻璃纤维板)，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大幅度自行衰减(因玻璃钢对应力波的衰减能力远大于均质钢板对应力波的衰减能力)。当应力波到达底层的自由表面时，应力波的强度已不足以造成层裂。用122mm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235mm×372mm，深度为75mm，而在底层钢板的自由表面上仅仅落下几块氧化皮。

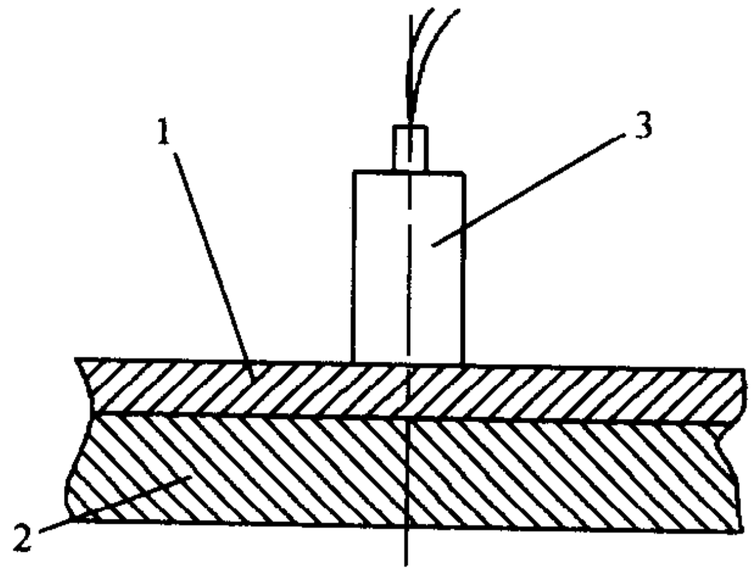


图5-9 炸药爆炸对屏蔽装甲的作用

1—面板；2—底板；3—炸药。

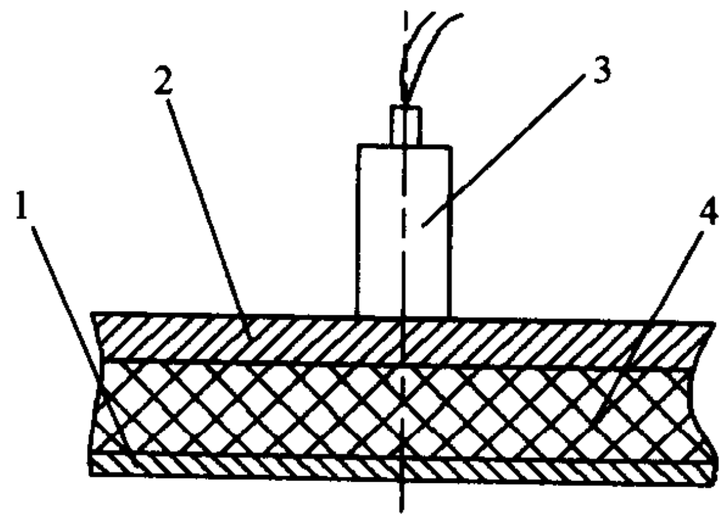


图5-10 炸药装药对复合装甲的作用

1—底板；2—面板；3—炸药；4—非金属夹层。

5.2　碎甲弹的结构特点及性能评价

5.2.1　碎甲弹的结构特点

碎甲弹的结构比较简单，通常由弹体、炸药装药、底螺和引信等组成。但由于碎甲弹的作用特点，在外形与结构上也与其它弹丸有许多不同之处。

5.2.1.1　外形特点

由图5－11可看出，碎甲弹的外形不同于榴弹。整个弹丸较短，一般仅为3.5倍～4.5倍弹径，弹体圆柱部特别长，以便多装炸药，但弹头部很短，一般不超过1倍弹径。为了尽量减少飞行时的空气阻力，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。就气动力而言，碎甲弹的外形并不好，空气阻力较大，因此弹丸的直射距离较近，如初速为730m/s的1956年式85mm碎甲弹的直射距离为800m，主要在近距离内对付装甲目标。美M346型106mm无后坐力炮碎甲弹（见图5－11）的初速为467m/s，最大飞行距离为6800m。

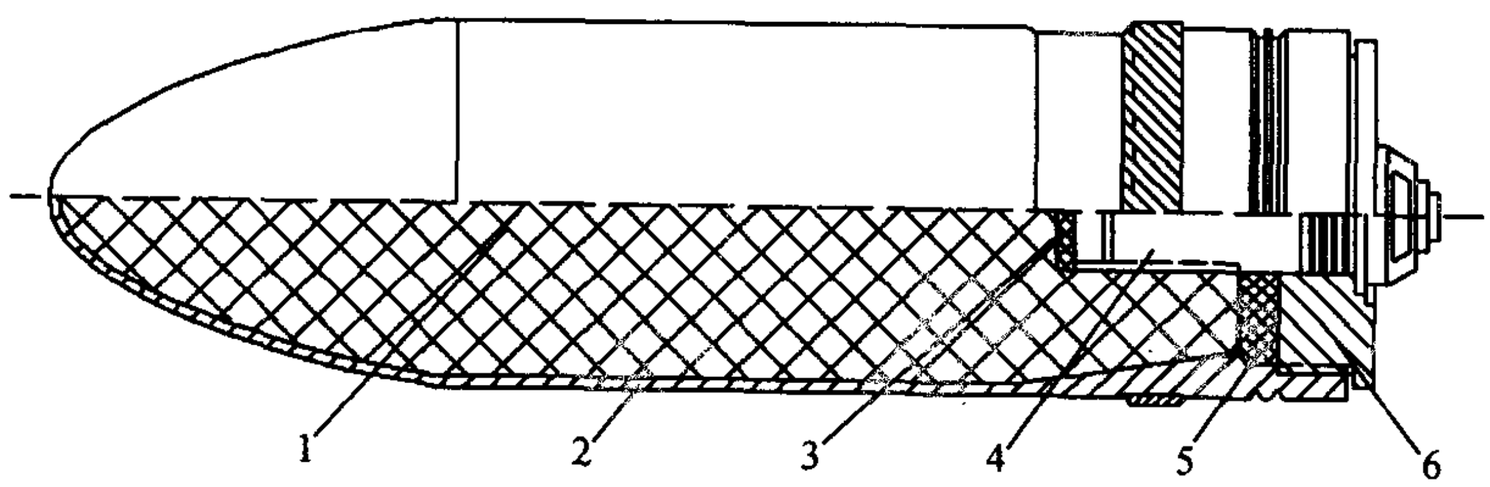


图5－11　美M346型106mm无后坐力炮曳光碎甲弹

1—A－3炸药；2—弹体；3—毡垫；4—引信；5—毡垫圈；6—底螺。

5.2.1.2　弹体材料和结构

(1) 弹体材料

为了使弹丸着靶后，炸药能在靶板表面尽快形成堆积面积，要求弹头着靶墩粗后能很快破裂，因此弹材必须是强度不高而韧性较好的低碳钢，如S15A等，弹头部热旋压收口。也可用30轧制钢，但热收口后弹体需退火。

(2) 壁厚

碎甲弹的壁厚较薄，弹头部最薄，一般为2mm～3mm，这样能在碰击靶板时很快破碎，保证弹丸具有正常的碎甲作用。为保证弹丸的发射强度，弹壁从圆柱部到尾部逐渐加厚，如图5－11所示，壁厚从3mm加厚到10mm。

(3) 弹尾

弹丸着靶后，弹头部和圆柱部将变形并破碎。为了确保着靶后具有较大的炸药堆积面积，适当增加弹尾部的质量以增加后部前冲动能，有利于增加碎甲威力。

(4) 弹顶形状

碎甲弹的顶部结构基本有两类:一类如图 5 - 12 所示,弹体顶部旋接一个螺塞进行封口;一类是如图 5 - 11 所示的整体闭合式弹顶。结构不同,选取的加工工艺不同,前者为热收口,内外形冷加工,加工精度高,着靶时利于膨胀破裂;后者采用热旋收口,外形好。

5.2.1.3 导引部

(1) "全定心"结构

一般弹丸有上、下两个定心部,但碎甲弹不同。因弹体壁很薄,发射时已经处于弹塑性变形阶段,如果还沿用上、下定心部的结构,必然使圆柱部壁厚减薄,发射时就会产生更大的塑性变形,而侧面又无炮膛壁制约,弹体则可能在此膨胀破裂而出现膛炸。所以碎甲弹通常采用"全定心"结构,即将整个圆柱部都作为定心部(见图 5 - 11、图 5 - 12、图 5 - 13)。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,但这种结构必须选择合适的弹、炮间隙,既便于装填入膛又能确保弹丸在膛内的正确运动,同时也可提高射击精度。

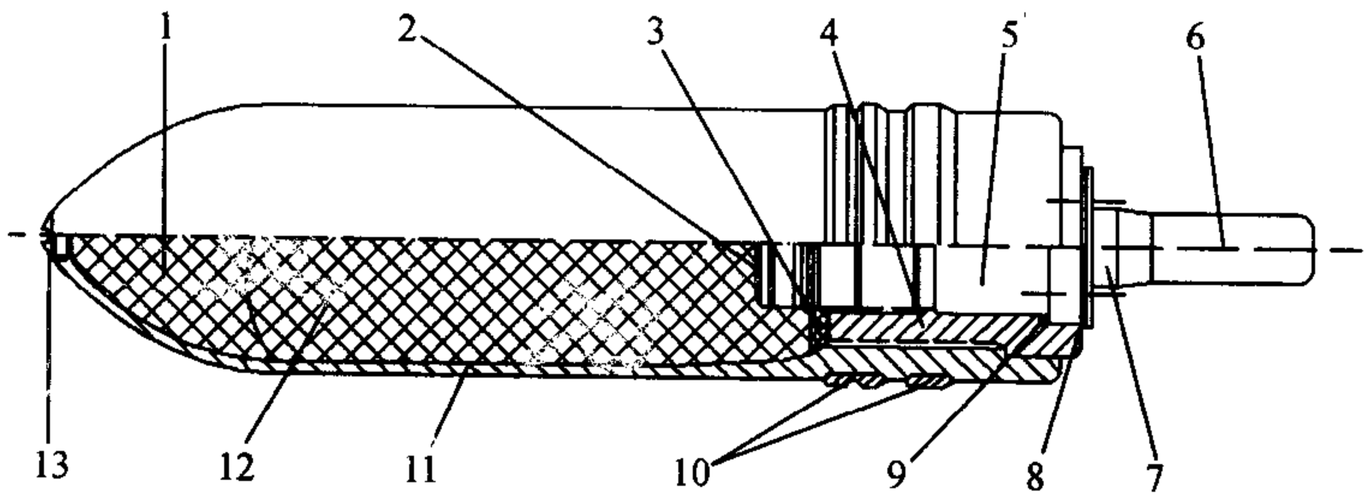


图 5 - 12 105mm 加农炮碎甲弹

1—惰性填料;2—钝垫;3—软衬垫(毡);4—底螺;5—弹底引信;6—曳光管;7—接螺;8—铜垫片;9—密封垫(紫铜);10—弹带;11—弹体;12—A - 3 炸药;13—螺塞。

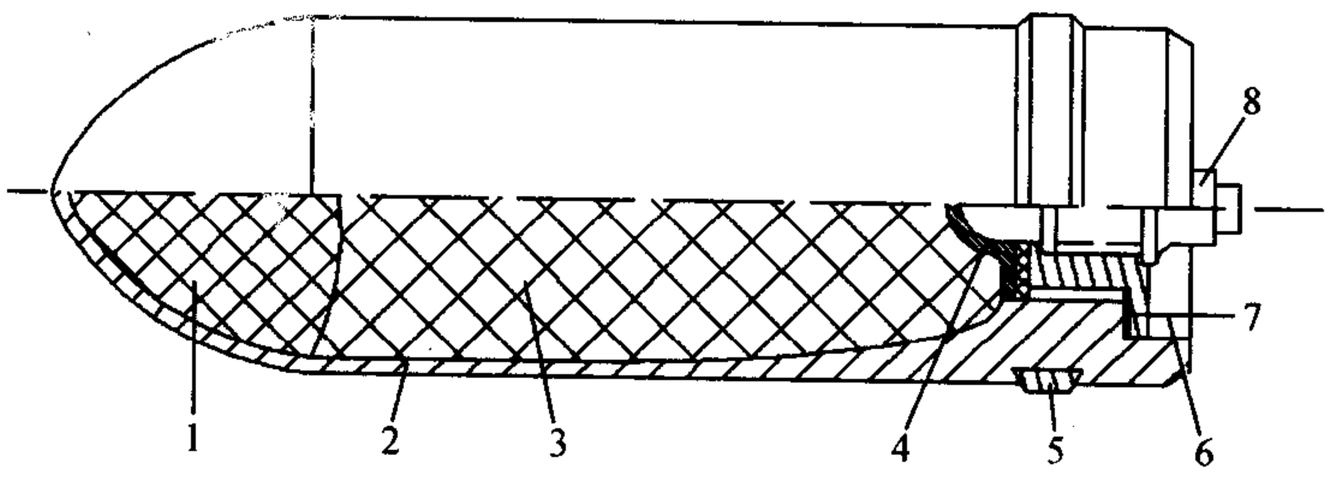


图 5 - 13 85mm 加农炮碎甲弹

1—弹性炸药;2—弹体;3—塑性炸药;4—引信隔离罩;5—弹带;6—弹底;7—铅垫圈;8—引信。

(2) 弹带位置

由于弹体壁由前向后逐渐加厚,为了保证弹丸在膛内的安全和弹带的可靠作用,弹带位置应尽量后移,一般将弹带安置在弹壁较厚的弹底部,如图 5 - 12 所示两条弹带,这样就可避免因弹体变形,弹带下凹而使其不能嵌入膛线或减少嵌入量,从而确保弹带在膛内的正确作用。此外,弹带的位置应确保定装式炮弹弹丸的弹尾具有足够的长度,以保证与

药筒的牢固结合，否则同样会影响弹丸装填入膛的正确性。

5.2.1.4　碎甲弹的炸药装药

(1) 炸药装填系数

表5-2列出了不同火炮配用的碎甲弹结构参数。

表5-2　碎甲弹结构参数

弹丸类别	弹丸相对质量 C_m/(kg·dm^{-3})	炸药相对质量 C_ω/(kg·dm^{-3})	炸药装填系数 α/(%)
加农炮碎甲弹	9~12	1.8~3.2	19~28
榴弹碎甲弹	7~10	2~3	25~33
无后坐力炮碎甲弹	6~10	2.5~3	30~44

与榴弹相比，碎甲弹的质量较轻，弹形较差，为确保飞行稳定，必须缩短弹长。但为了多装填炸药，所以炸药装填系数比爆破榴弹还大。尤其对初速较低的无后坐力炮碎甲弹 $\alpha>30\%$。如美M346-105mm碎甲弹装填A-3炸药3.5kg，$\alpha=44\%$。

(2) 炸药

碎甲弹要求炸药爆速高、猛度大、塑性好，能在钢板表面尽快堆积成形。一般需采用塑性炸药(或半塑性炸药)。此外，要求炸药的感度低，能在每秒几百米的速度下着靶时不自炸、不爆燃、在引信起爆后能正常作用。

塑性炸药具有良好的可塑性。它是一种混合炸药，其主体成分是黑索今(占90%以上)，其它成分是具有橡胶性质的有机高分子粘合剂、增塑剂和软化剂。国内采用的塑-4和塑-5炸药，在-40℃~+50℃温度范围内塑性不变，可捏成任意形状。国外采用C-4炸药(威力大、易装填)和半塑性的A-3炸药(其冲击感度很低)。

(3) 装药结构

由于塑性炸药的可塑性大，装填方便，一般采用从弹底向弹头挤入的方法。炸药装填后，再旋入带引信的底螺。

对于着速不高的火箭炮用碎甲弹和无后坐力炮用碎甲弹，一般都装填同一种炸药，如图5-11所示。然而对着速较高的碎甲弹采用这种结构时，往往出现小着角碰靶自炸的现象。目前解决这个问题有两种途径：一种是设法降低头部炸药的感度、提高弹性，使炸药着靶时有缓冲作用，如85mm碎甲弹头部装填塑-4炸药。这种炸药不能用雷管起爆，冲击感度低，具有一定的弹性，可承受小着角下的强烈冲击作用，但它的猛度低，多装时影响碎甲威力，一般只装在头部。另一种途径就是如图5-12所示，在弹头部装填惰性装填物(沥青混合物)，它具有良好的塑性，能缓和炸药的冲击。但是这种结构减少了炸药量，多装则不利于大着角下的碎甲威力。

5.2.1.5　引信

碎甲弹在不同的作战距离上命中目标时，着速不同。距离近着速高，距离远着速低。而着速的高低影响着炸药堆积成一定形状所需要的时间，该时间要与引信起爆时间相适应，也就是引信要适时起爆，能随着速的高低自动调整起爆时间。目前常用的是弹底着发惯性引信。这种引信有一段短延期时间，可保证炸药的有利堆积，实践证明该时间为

100μs ~ 200μs 较好。这种惯性引信,着靶时利用惯性击针刺发雷管,起爆时间取决于惯性击针的前冲速度,而惯性击针的前冲速度又取决于弹丸的着靶速度,所以具有自动调整起爆时间的作用。

5.2.1.6 弹底部闭气结构

碎甲弹炸药由弹底装入,采用弹底引信,所以必须具有相应的密封闭气措施,防止火药气体侵入弹体,确保膛内安全。闭气结构与穿甲弹相似,采用闭气槽和垫圈,垫圈材料主要用铅(见图 5 - 13)或紫铜(见图 5 - 12)。另外如图 5 - 11 和图 5 - 12 所示,在底螺上面都放置了毡垫圈,当弹丸在膛内运动时,可缓冲炸药的后坐,同时也能起到对底螺螺纹的闭气作用。

5.2.2 碎甲弹的性能评价

5.2.2.1 碎甲弹的优点

① 对均质靶板的碎甲威力大、后效好——碎甲弹对均质钢板的破坏,一般不产生通孔,其破坏威力主要体现在碟片(以及其它碎片)的动能上,它能有效杀伤乘员并破坏仪器设备和兵器。

通常碎甲弹垂直入射时,可产生碎甲效应的钢甲厚度较大,如英 120mm 坦克炮碎甲弹,可产生碎甲效应的钢甲厚度达 400mm。碎甲弹在大着角情况下能可靠作用而不失效。如 85mm 加农炮碎甲弹可对 100mm 钢甲在 60°着角下可靠碎甲,产生碎片 3.5kg ~ 5kg,而 105mm 碎甲弹可使 120mm/60°钢甲产生碟片质量 > 5kg。新的碎甲弹着角可达 65°,威力也有所提高。

② 对混凝土目标的碎甲威力大——碎甲弹除用来破坏装甲目标外,主要用来破坏钢筋混凝土目标,其破坏形式为大片崩落面,多条长裂纹。122mm 碎甲弹的破坏厚度相当于 152mm 混凝土破坏弹。

③ 爆破威力强——碎甲弹也是一种极好的爆破榴弹。它对坦克行动部位的破坏效果较好,能将履带炸断,将负重轮、诱导轮炸毁,导致坦克失去活动能力。

④ 具有一定的杀伤作用——碎甲弹除了靶后的碎片具有杀伤能力外,其本身爆炸时形成的破片也有一定的杀伤作用,如 122mm 碎甲弹爆炸后可形成 1000 块有效破片。此外,碎甲弹的炸药猛度和威力都比较大,破片的速度高于榴弹破片,因此必要时可作为杀伤弹使用。可见,碎甲弹可以一弹多用,战术上适用范围较广。

⑤ 有效距离远——由于碎甲效应主要靠炸药的接触爆炸,并不像穿甲弹那样受着靶动能的影响,因此只要能命中目标,就能有效碎甲,一般碎甲弹的有效距离可在 2000m 以上。

⑥ 不需要大威力火炮——由于碎甲效应不受弹丸转速和动能影响,碎甲弹可以配用在各种不同的火炮上。

⑦ 结构简单,易于生产——碎甲弹零件少,结构简单。除弹体制造较特殊,需旋压收口或热收口外,其它零件加工都比较简单,造价较低,适于大量生产。

5.2.2.2　碎甲弹的缺点

① 由于碎甲弹的弹壁较薄，机械强度较低，装有较多的塑性炸药，致使弹丸不可能采用高初速。此外，碎甲弹的弹形不好，因此直射距离较近。

② 易受屏蔽装置的影响，对复合装甲和间隙装甲不能产生碎甲效应。由于碎甲效应是炸药接触爆炸后向靶板内传入高强度的冲击波而引起的。若靶板表面有屏蔽板则会减弱冲击波强度，碎甲作用下降，甚至丧失碎甲能力。对于复合装甲，由于非金属夹层较厚，会使强冲击波严重衰减，从而失去碎甲作用。对于多层间隔装甲，由于强冲击波不能传递给第二层靶板，因而不能实现碎甲作用。如果钢甲表面做成高低不平，也可使弹丸作用失效。由此可见，使用碎甲弹时应扬长避短，才能充分发挥其作用。

第 6 章　迫击炮弹

迫击炮弹有尾翼稳定的，也有旋转稳定的。除某些大口径迫击炮弹是由后膛装填外，多数迫击炮弹是由炮口装填，依靠自身重力下滑，以一定的速度撞击炮膛底部击针而使弹上的底火发火，迫击二字即源于此。

迫击炮是一种常用的伴随步兵的火炮，用来完成消灭敌方有生力量和摧毁敌方工事的任务，在过去的战争中发挥了很大的作用，在未来的战争中仍然是一种十分重要的武器。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 质量小，结构简单，易拆卸，机动性好，可以抵近射击；

③ 发射速度高，一次装填，省去了退壳、关闩和击发动作；

④ 炮弹经济性好，弹体材料及装药价格较低廉。

迫击炮的上述优点，给了它存在和发展的生命力。但是，由于破击炮的初速低、射程近、散布大，且难以平射，因而也限制着迫击炮弹的使用和发展。

6.1　迫击炮弹的构造特点

和一般后膛火炮弹丸一样，迫击炮弹按用途可分为主用弹和辅用弹；按稳定方式迫击炮弹可分为尾翼稳定迫击炮弹和旋转稳定迫击炮弹两种。

6.1.1　尾翼稳定迫击炮弹的构造

典型的迫击炮弹通常由弹体、稳定装置、装填物、发射装药和引信等 5 个主要部分组成，如图 6－1 所示。

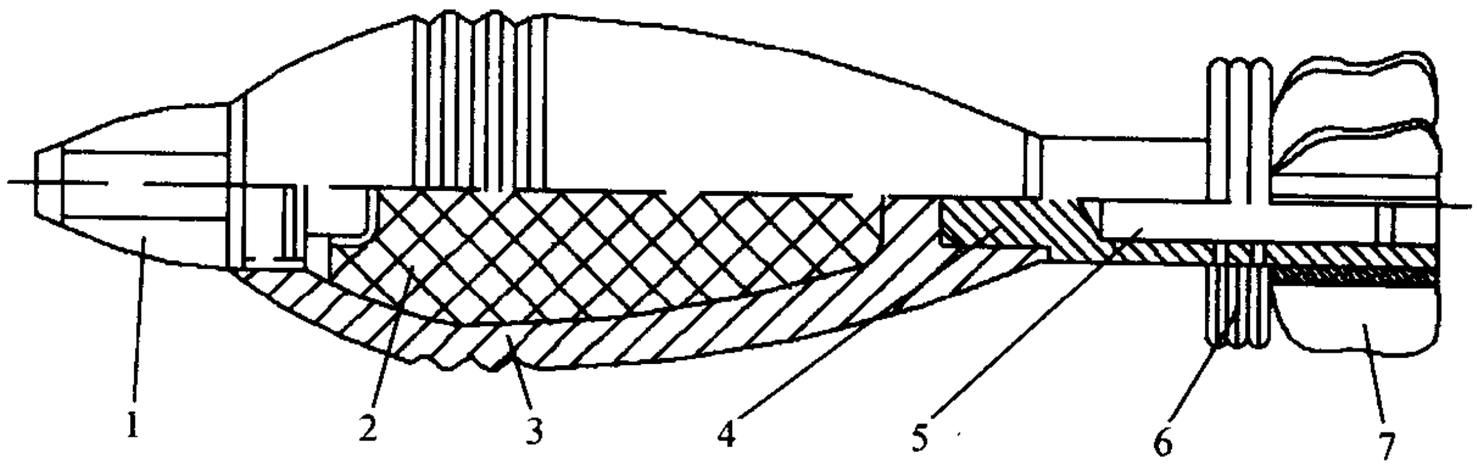


图 6－1　82mm 迫击炮弹

1—引信；2—炸药；3—弹体；4—尾管；5—基本药管；6—附加药包；7—尾翼。

6.1.1.1　迫击炮弹的弹体

弹体是构成迫击炮弹的主要零件，上接头螺和引信，下接稳定装置，内装炸药或其它

装填物，其结构直接影响迫击炮弹的实用性能。

(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，在发射和碰击目标时都具有良好的强度。另外，由于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小。因此，在可能的条件下，迫击炮弹的弹体应尽可能采用整体式结构。非整体式结构一般由两个或两个以上的零件组成，这是根据生产工艺性、炸药(或其它装填物)装填和迫击炮弹的特殊要求而采用的。通常，非整体式结构多采用传爆管结构，即将传爆管螺接在弹体上，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。对于大口径铸造弹体，因弹体口部直径与弹径相差较大，容易出现铸造疵病，故使用传爆管结构。采用传爆管结构，必然使弹体结构复杂，且质量偏心增加。除 120mm 以上口径迫击炮弹外，应尽量避免使用传爆管结构。

(2) 弹体外形

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。迫击炮弹初速小，通常为亚声速飞行，其阻力主要是由涡流阻力和摩擦阻力构成。为了减小空气阻力，其外形通常为流线形。小口径迫击炮弹纵剖面类似水滴状(见图 6－1、图 6－2)，而大中口径迫击炮弹纵剖面形状如图 6－3 所示，即头部短而圆钝，圆柱部也较短，弹尾部较长且逐渐变细。这种流线形不仅有利于减小空气阻力，而且因质心靠前对飞行稳定性有利。因此，一般的杀伤迫击炮弹和杀伤爆破迫击炮弹均采用流线形。

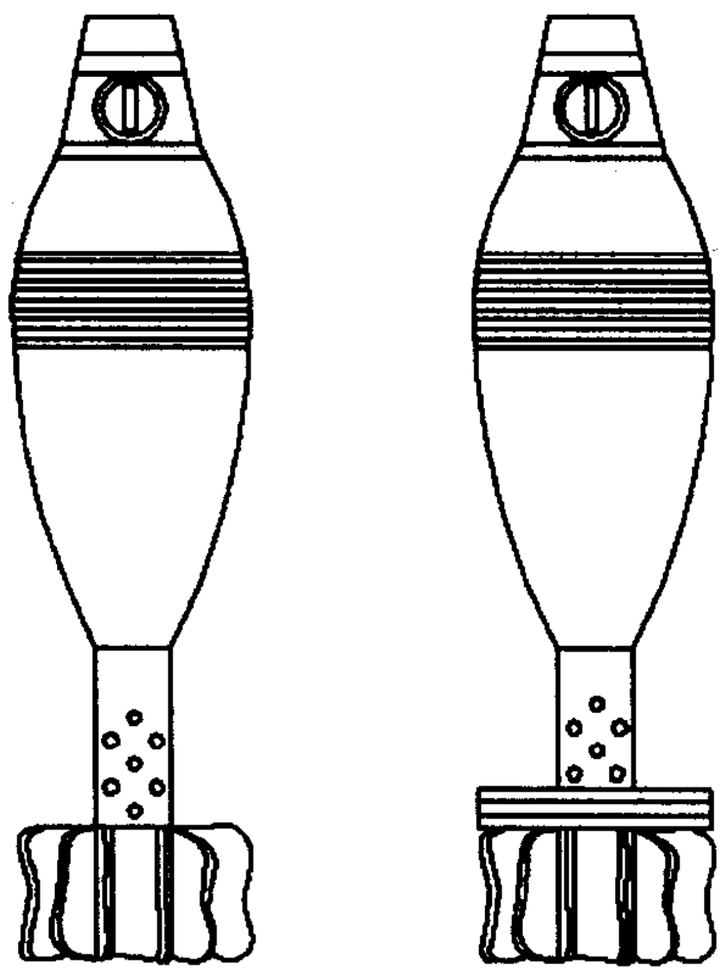


图 6－2　1963 年式 60mm 迫击炮弹

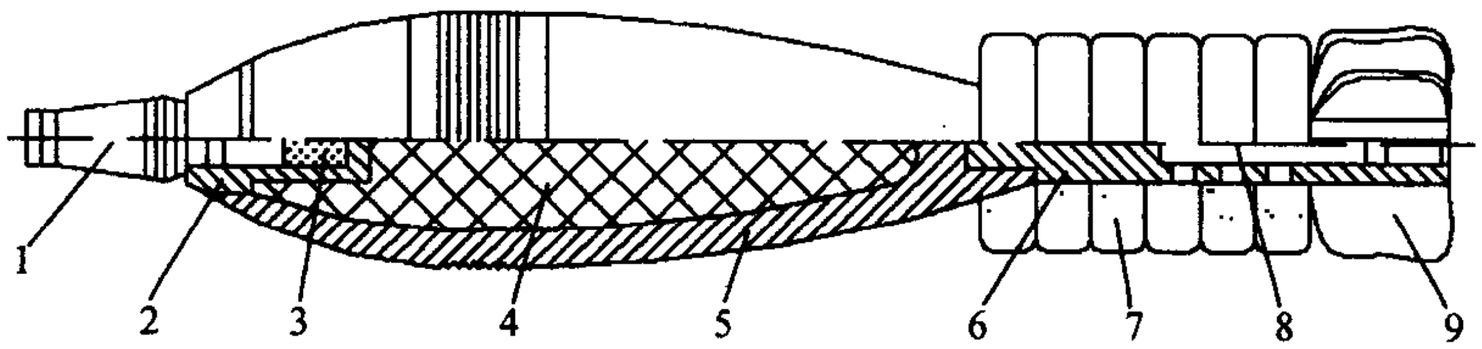


图 6－3　1955 年式 120mm 迫击炮弹

1—引信；2—头螺；3—传爆药；4—炸药；5—弹体；6—尾管；7—附加药包；8—基本药管；9—尾翼。

有时为了增大弹丸威力或者增加弹腔容积(照明弹、宣传弹),迫击炮弹的外形不做成流线形,而采用长圆柱部的外形,此时弹形差、射程较近。因此,在中、小口径的迫击炮弹上很少采用大容积圆柱形弹体。

(3) 弹头部

弹头部母线一般为圆弧,且圆弧半径通常比较小,弹头部是比较圆钝的圆弧形旋成体。

① 弹头部长度——弹头部长度主要影响空气阻力、质心位置和对目标的侵彻能力。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度。弹头部增长,弹形尖锐,空气阻力小。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加。在一般情况下,初速低,弹头部宜短;初速高,弹头部宜长。

就飞行稳定性而言,弹头部应短些。弹头部越短,弹丸的质心越靠前,从而阻力中心距离质心的距离相对增加,稳定性增强。就对目标的侵彻而言,头部越尖锐,侵彻深度越大。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,侵彻过深,大量杀伤破片则不能发挥作用。对于大容积迫击炮弹来说,由于其断面比重较大,具有足够的碰击作用,所以弹头部的锐化就不太重要了。

② 弹顶的形状——迫击炮弹飞行时,由于飞行摆动可能使空气的边界层同弹的尖头弹顶分离,造成涡流,增大空气阻力。空气边界层被分离的可能性将随着迫击炮弹弹头部长度的增加而增加。为了防止空气边界层被分离,迫击炮弹通常使弹顶钝化。弹顶钝化决定于引信头部的钝化直径,通常为 10mm ~ 15mm。

(4) 弹体圆柱部

弹体圆柱部,也称定心部。圆柱部的长度会影响威力和空气阻力,圆柱部增大可增大威力,但过大会降低稳定性和增加阻力。火炮弹丸的圆柱部长度不能太短,否则会影响导引部长度。由于典型迫击炮弹导引部的长度取决于圆柱部前端与尾翼片上的定心凸起部之间的距离,因此典型迫击炮弹圆柱部较短。一般情况下,滴状迫击炮弹的圆柱部长度通常在 0.3 倍 ~ 0.4 倍口径范围内。但是对于大容积迫击炮弹,为了增加有效装填量采用了较长的圆柱部长度,如 82mm 迫击炮弹宣传弹(见图 6 - 4)。

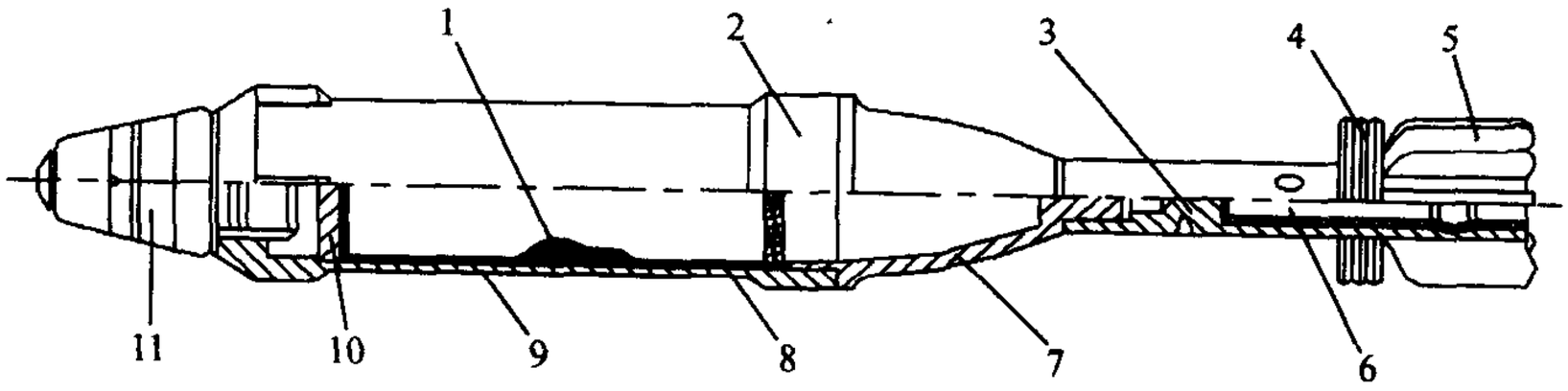


图 6 - 4 82mm 迫击炮宣传弹

1—宣传品; 2—定心部; 3—尾管; 4—附加药包; 5—尾翼; 6—基本药管; 7—下弹体; 8—瓦形板; 9—弹壳体; 10—推板; 11—引信。

由于迫击炮弹一般都是由炮口装填,依靠本身重力下滑,以一定的速度撞击炮膛底部击针而使弹上的底火发火的,所以迫击炮弹定心部与炮膛壁之间就有一定的间隙以保证足够的下滑速度和发射速度。但在另一方面,它造成了发射时大量气体从间隙中泄出,降低了初速,增加了初速散布,所以间隙又不能过大。另外,过大的间隙势必影响迫击炮弹

在膛内的正确导引而影响精度，因此，一般迫击炮弹的定心部与炮膛的间隙为 0.7mm～0.85mm。为了减少火药气体从间隙处外泄，在弹体定心部设置闭气环或车制数个环形沟槽(见图 6－5)。沟槽形状多为三角形，也有矩形、半圆形和梯形。发射时，当高压火药气体经过沟槽时，由于膨胀，形成涡流，速度减慢，使火药气体的泄出量减少。即使这样，通常仍有(10～15)%的火药气体从间隙处泄漏。在大容积迫击炮弹上有两个定心部(不宜将整个圆柱部都做成定心部)，起闭气作用的环形槽应开在下定心部上。为了减少火药气体对圆柱部的压力，在上定心部开有纵向排气槽，以减小火药气体对圆柱部的压力，如图 6－4 所示。

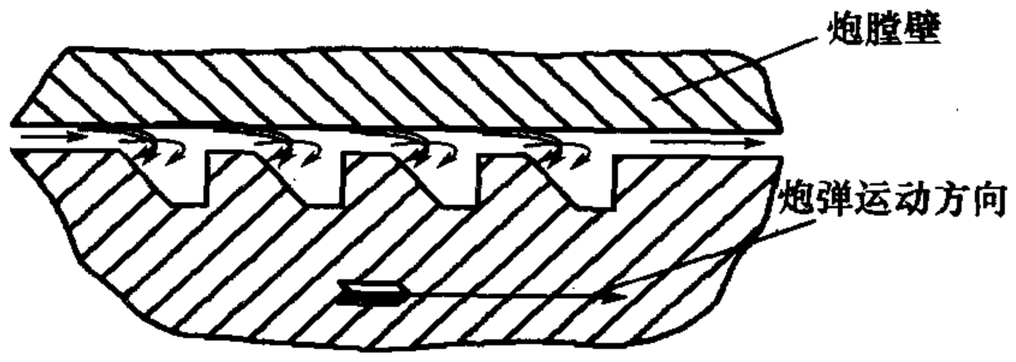


图 6－5　闭气槽的作用

(5) 下弹体(也称弹尾部)

和火炮弹丸不同，迫击炮弹尾部形状对空气阻力的影响比火炮弹丸大得多。迫击炮弹的空气阻力主要是摩擦阻力和涡流阻力。弹尾部的形状应尽量减少涡流阻力。迫击炮弹弹尾部外形通常是以圆弧为母线的旋成体，一般比火炮弹丸的弹尾部长得多，这是由于迫击炮弹有一尾管，气体从断面直径较大的圆柱部流至断面直径较小的尾管时，为了使气流不过早与弹尾表面分离而产生低压涡流区，断面直径应缓慢变化，因此迫击炮弹的弹尾部必须加长。速度越高，气流越易从弹尾表面分离，因此弹尾更应加长。目前迫击炮弹弹尾部范围是：初速较低的小口径迫击炮弹为 1.2 倍～2.0 倍口径；初速居中的中口径迫击炮弹为 1.7 倍～2.3 倍口径；初速较高的大口径迫击炮弹为 1.7 倍～2.7 倍口径。大容积迫击炮弹，主要侧重于增大内腔容积而对射程要求不高，可增大圆柱部减少弹尾部，弹尾长一般为 1.4 倍～2.0 倍口径。

(6) 弹体内腔形状与壁厚

典型迫击炮弹弹体内腔母线是由直线和弧线组成的，如图 6－3 所示。迫击炮弹弹体通常是铸造的，内腔一般不加工，以减少成本。对于迫击炮榴弹，其形状与外部形状相似。内腔尺寸取决于对弹体壁厚的考虑，壁厚与材料、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，弹体头部壁厚一般远比普通火炮弹丸大，且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。

(7) 弹体材料

由于迫击炮弹在战争中使用量很大，从经济上考虑尽量使用材料性能较差的铸铁材料，这样虽然迫击炮弹膛压较普通火炮弹丸低，但壁厚不比普通火炮弹丸薄甚至更厚些，这并不一定是为了满足弹体强度，而主要是为了获得最有利的杀伤破片，否则过薄的壁厚

容易在弹体爆炸时炸得过碎。从工艺上考虑希望尽量做成等壁厚,且厚度大一些,这样浇铸时流动性好,冷却时定心部不易出现金相组织疏松现象。

过去迫击炮弹多用钢性铸铁制成。由于钢性铸铁(所谓钢性铸铁就是在优质原生铁中加入大量废钢而得到低碳、低硅的优质灰口铸铁)机械性能差、强度低,因此破片性能差,破片往往过碎,有效杀伤破片很少,现在已逐渐用稀土球墨铸铁代替。我国稀土资源丰富,对稀土球墨铸铁的研究与使用很有成就,因此稀土球墨铸铁将是迫击炮弹弹体的主要材料。稀土球墨铸铁强度与破碎性较钢性铸铁好,但比钢略差。也有使用钢质弹体的,尤其是特种弹弹体更是如此。

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。

(8) 迫击炮弹的长度

尾翼稳定迫击炮弹的长度取决于弹头部长度(包括引信和头螺)、圆柱部长度、弹尾部长度和尾杆长度。与旋转稳定弹丸不同,典型迫击炮弹的全长一般不受限制,这一点可使其威力大大提高。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。

6.1.1.2 炸药装药

迫击炮弹装填的炸药来源广泛,战时可用硝胺炸药,甚至可用马粪加硝化氨化肥,现在一般采用与弹体材料相匹配的混合炸药,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材料,其机械性能较差,因而不能采用高能炸药(如TNT等高能炸药)。这不仅是考虑经济性,也是由于弹体材料采用铸铁的缘故,如装填TNT炸药,会使破片过碎,影响杀伤威力。

梯萘炸药是由梯恩梯和二硝基萘混合制成的。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,然后放入蒸气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,装药密度均匀、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。

6.1.1.3 配用的引信

大多数迫击炮弹由于在膛内不旋转,并且膛压较低,因此需使用专门的迫击炮弹引信。通常为着发引信,特种弹或子母弹上使用时间引信。杀伤弹主要是为发挥杀伤作用,故配用瞬发引信;杀伤爆破弹和爆破弹为了提高爆破威力,所以配用瞬发和延期两种引信。为满足引信设计准则,迫击炮弹引信的安全保险通常采用拔销加惯性保险或惯性保险加风轮。时间引信也曾采用拔销加钟表机构的办法。

6.1.1.4 稳定装置

迫击炮弹的飞行稳定也分尾翼稳定和旋转稳定两种方式。大多数迫击炮弹是尾翼稳

定的。迫击炮弹的尾翼稳定装置是由尾管和翼片组成。除保证飞行稳定性外，翼片上的突起还起着弹丸在膛内的定心作用，并与弹体定心部一起构成导引部。此外，稳定装置还被用来放置和固定发射药和基本药管，保证实现发射药的阶段燃烧。

尾管是稳定装置的主体，材料为硬铝或钢。尾管内腔用以放置基本药管，尾管上钻有传火孔，传火孔个数一般为 12 个 ~ 24 个，孔径为 4mm ~ 11mm。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与弹体材料有关。尾管用螺纹与弹体连接，对于钢质弹体，弹体底部加工成阳螺纹，尾管为阴螺纹；对于铸铁类弹体，弹体底部加工成阴螺纹，尾管为阳螺纹。这样作的目的是保证强度。尾管的长度与稳定性有关，一般为 1 倍 ~ 2 倍口径。

尾翼片一般由 1.0mm ~ 2.5mm 厚的低碳钢板冲制而成，或硬铝制成。尾翼片数目一般为 8 片 ~ 12 片，连接在尾管上，并成辐射状沿尾管圆周对称分布。尾翼片下缘直径与弹体定心部直径相当，与弹体的定心部共同构成导引部。翼片高度和翼片数量，影响翼片承受空气动力作用的面积。面积大，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。通常翼片弦长不大于 1.2 倍口径。

为便于迫击炮弹装填和保证底火与击针对正，起定心作用的翼片下缘直径应略小于弹体定心部直径。翼片下缘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密集度，要求弹尾的结构具有良好的对称性，并使弹尾与弹体尽可能同心。

6.1.2　典型迫击炮弹的特点

与火炮榴弹相比，典型迫击炮弹具有如下特点。

① 特殊的发射药装药结构和点火方式。火药受到一定的外来能量才能引起燃烧。火炮射击都是利用点火具产生热冲量来点燃发射装药的，具有足够的点火热量和点火压力时，发射装药才接近于全面点火和按平行层燃烧，这是保证内弹道性能稳定所必需的。而点火是有一个过程的，在火炮弹药的装药中，由于装填密度较大（即发射装药以外的自由空间很小），点火压力和点火热量在空间中的损失较小，容易均匀一致点火，这样就能保证内弹道性能的一致性，初速散布小。由于一般迫击炮弹的发射装药配置在弹尾部后面的稳定装置上，如图 6 - 6 所示，因此，药室容积的大小取决于弹尾部留下的空间。而一般

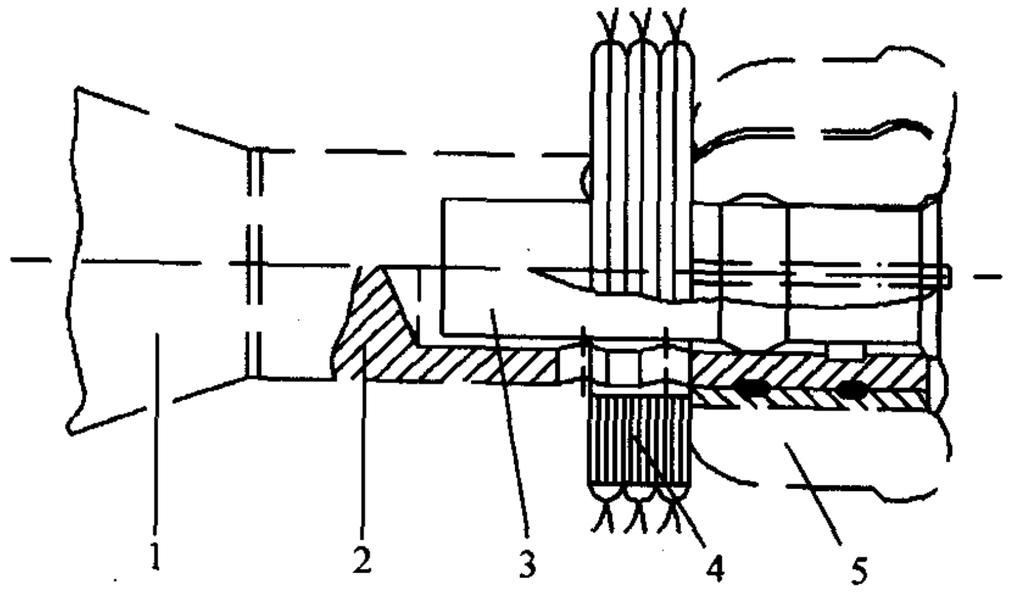


图 6 - 6　60mm 迫击炮弹的发射装药结构

1—弹体；2—尾管；3—基本药管；4—附加药包；5—尾翼。

迫击炮弹的弹尾部很长并有尾翼装置,从定心部到尾管底有较大的空间。此外,根据战术技术要求,一般迫击炮弹的初速和膛压均很低,发射装药量少,而装填容积大,因此迫击炮的装填密度值很小。通常迫击炮的装填密度在 $0.04g/cm^3 \sim 0.15g/cm^3$ 之间,而一般线膛火炮的装填密度约在 $0.65g/cm^3 \sim 0.8g/cm^3$ 的范围内。在此情况下,如果采用火炮弹药的点火方式,点火热量和点火压力损失均较大,不能保证火药的正常燃烧。另外,迫击炮弹没有弹带亦即无挤进压力,一有膛压,弹丸立即启动,所以点火时往往不能保证发射药立刻均匀全面地点燃和燃烧,造成射击精度地降低。对于射程很近的迫击炮弹来说,即使是较小的命中误差,也是应当极力避免的。

为了解决在小装填密度下的内弹道性能稳定性问题,迫击炮弹采用特殊的装药结构和点火方式,即将迫击炮弹的发射装药分为两部分,一部分称为基本装药,放在由纸筒做成的基本药管内,装填密度一般为 $0.65g/cm^3 \sim 0.80g/cm^3$,基本药管则放在尾管内,基本药管的底部装有底火。另一部分称为辅助装药,它是由几个附加药包组成,附加药包包围在尾管周围,或分别对称地配置在迫击炮弹相邻两尾翼片之间。

发射时,迫击炮弹沿膛壁下滑,基本药管下端的底火撞击迫击炮上的固定击针而首先点燃尾管内的基本装药。由于基本装药装填密度较大,其压力上升很快,待此压力增至一定值后,一般可高达 78.4MPa~98MPa,高温高压的火药气体冲破基本药管纸筒壁,通过尾管上均匀分布的传火孔冲出,直接喷射在附加装药各处,点燃尾管外面的附加药包。由于喷出的火药气体压力高、热量大,可使附加药包中的火药均匀一致地点燃并正常燃烧,从而保证了内弹道性能的稳定。由于一部分发射药(基本装药)先行在密闭的基本药管内燃烧,然后再冲出传火孔,这样就使弹丸在一定压力下启动(如 82 迫击炮弹在膛压为 7.8MPa左右时启动),这对保证初速稳定和充分利用火药能量是很有益的。

② 采用炮口装填、弹径略小于炮管口径。为了适应迫击炮结构简单、轻便灵活和射速快的特点,大部分迫击炮使用最简单的装填方法——炮口装填。

为了保证所要求的射速及撞击发火能量,在迫击炮弹和膛壁之间要有一定的间隙,当炮弹下滑时,能使膛内被挤压的气体顺利地通过缝隙流出,而不过分地影响下滑速度。

③ 采用闭气槽或闭气环结构。

④ 弹尾部壁厚较大。当迫击炮弹沿炮膛运动时,火药气体压力作用在迫击炮弹的尾部、稳定装置和圆柱部上。由于迫击炮弹弹尾通常为圆弧形旋成体,垂直作用于此表面的火药气体压力在弹体径向产生的压力分量很大,造成迫击炮弹火药气体压力尽管比线膛炮的要小 1/3 多,也没有导带的反作用力,但迫击炮弹弹尾的壁厚仍然等于甚至大于火炮弹丸的壁厚。当然,迫击炮弹所用金属材料强度较差也是一主要原因。

增大迫击炮弹弹尾部的壁厚将导致整个迫击炮弹质心后移,这对于尾翼稳定方式来说是不利的。

6.1.3 旋转稳定的迫击炮弹

迫击炮弹通常都是用尾翼稳定的,但随着迫击炮弹的发展,也出现了靠旋转稳定的迫击炮弹,尤其在迫击炮车载化之后,出现了后膛自动装填的旋转稳定迫击炮弹。下面介绍

两种旋转稳定的迫击炮弹。

6.1.3.1　美 106.7mm 化学迫击炮弹

美国 106.7mm 迫击炮为线膛炮，弹由炮口装填，由于仍使用座钣来吸收后坐能量故仍属于迫击炮。此炮配用烟幕弹、多种化学弹和榴弹，称化学迫击炮。

106.7mm 迫击炮榴弹由引信 8、弹体 7、炸药 6、可胀弹带 5、压力板 4、尾管、基本药管 1 和附加药包 2 等组成，结构如图 6－7 所示。

弹体最初用可锻铸铁后用钢制，其外形既异于火炮弹丸，也不同于普通迫击炮弹，外形近似为圆柱形，有上、下定心部(无尾翼定心突起部)以保证在膛内的正确导引。由于可胀弹带和压力板安装在弹体底部，故无船尾部，圆柱部一直延伸到弹底。

弹丸旋转是靠可胀弹带和压力板实现的。可胀弹带外径略小于火炮口径，以便炮口装填时顺利下滑。可胀弹带与钢制的压力板构成一组件，用尾管上的一台阶固定在弹体底面上。铜带外侧厚约 3mm，转角处有一削弱槽，使其易变形。压力板剖面为弓形，外缘与弹带的斜端面相配合(以使弹带外胀)。装填时弹带直径较炮口径小，自由下滑。发射时火药气体压力作用在压力板上，压力板前移迫使弹带外胀而嵌入膛线，为了保证弹体与弹带一起旋转，在弹底部有一 37mm 宽、1mm 高的凸台与弹带上相应的凹槽相配合。

此弹的发射装药结构与一般迫击炮弹相似，采用尾管结构，尾管螺接在弹体底部的螺栓上，尾管内装有基本药管，尾管上有传火孔，附加发射药为方片状药，放在尾管外。迫击炮上无击针，击针固定在尾管底部一簧片上。

若装填液体化学物质时，在弹体内焊有 4 片轴向安放的带孔隔板，使液体在发射时随弹体一起旋转，以免出炮口后影响弹丸转速。

6.1.3.2　日 50mm 掷弹筒榴弹

日本口径为 50mm 的掷弹筒榴弹是旋转稳定的前装式迫击炮弹。此筒十分轻便，无炮架及瞄准装置，手持概略瞄准射击，供单兵使用。

该弹由引信 8、弹体、底螺、可胀弹带 5、发射装药 3、炸药 7 等部件构成，如图 6－8 所示。

特点是底螺还可用于装发射药，在其外表面安装可胀弹带，其外形较像普通火炮弹丸。底螺螺接在弹体底部。在底螺的空腔内装有发射药，底火也装在底螺上。发射药外包有防潮的铜盒。当弹沿筒下滑射击时，底火发火点燃发射药，当火药气体压力上升到一定值时，气体冲破装药底部铜皮从底螺底部四周的孔中喷出，弹丸开始前进，火药气体通过侧面的孔压向铜带，迫使铜带膨胀嵌入膛线，赋予弹丸转速。铜带是通过制转销来带动弹丸一起旋转的。

以上介绍的两种弹都是旋转稳定的迫击炮弹，均由炮口装填，且都使用可胀弹带，它们的优点是可以改善火药气体的泄漏现象，膛内的导引条件也比较好，因此精度较高，此外弹丸结构也较紧凑。缺点是不能用于高射角($>60°$)射击，因弹丸可能在弹道顶点不稳定。

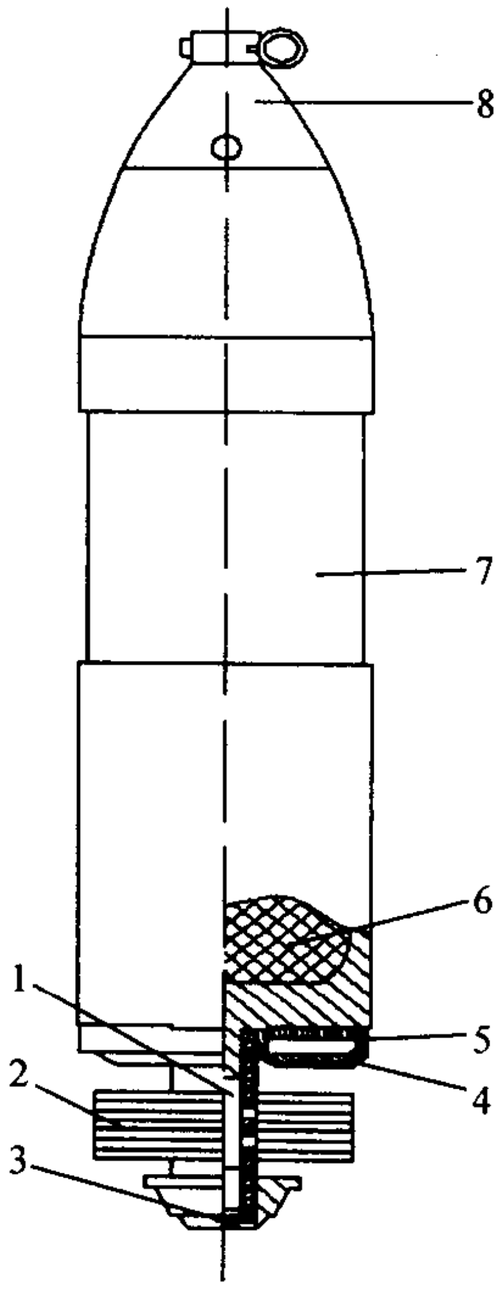


图 6-7 美 106.7mm 化学迫击炮弹

1—基本药管；2—附加药包；3—带击针的簧片；4—压力板；5—可胀弹带；6—炸药；7—弹体；8—引信。

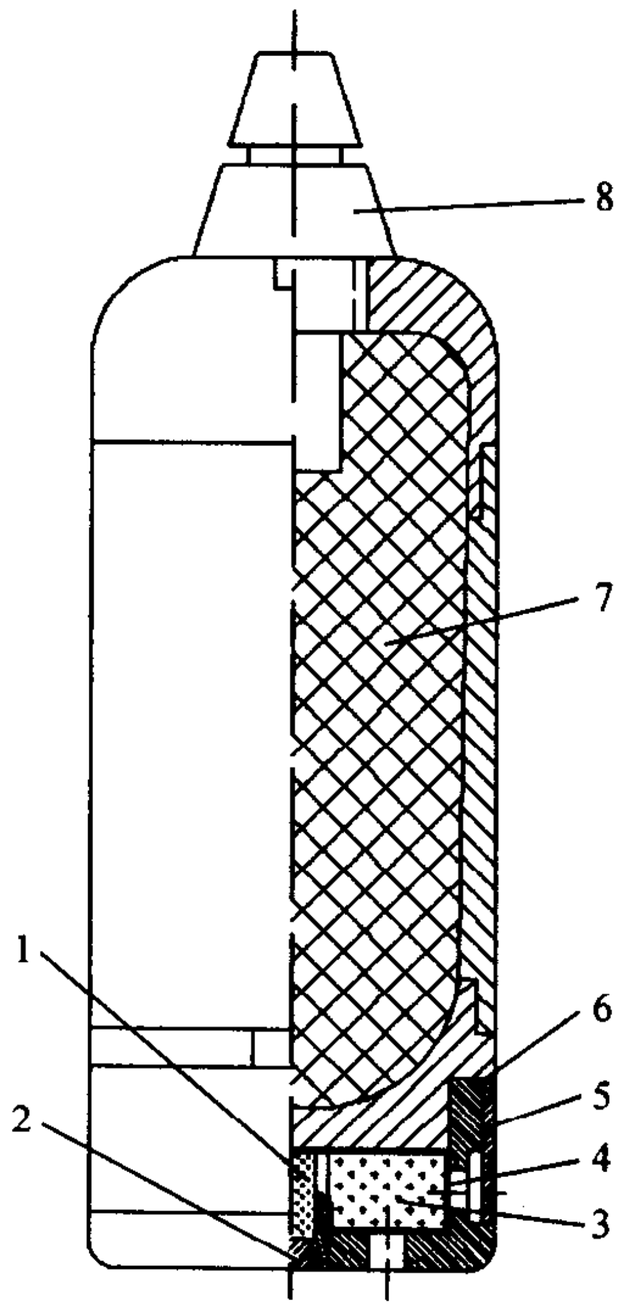


图 6-8 日 50 mm 掷弹筒榴弹

1—点火药；2—底火；3—发射装药；4—铜盒；5—可胀弹带；6—制转销；7—炸药；8—引信。

6.2 典型迫击炮弹的发射装药

6.2.1 基本装药

基本装药由基本发射药、底火 6、点火药 4、火药隔片 5、封口垫 1 和纸管壳 2 等零部件组成(见图 6-9)。一般采用整体式结构,称基本药管。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。

基本药管的作用过程:当击针与底火相撞后底火发火,点燃点火药,产生的火焰沿基本发射药表面传播并点燃之。基本装药的燃烧是在密闭容器中定容进行的,并且由于装填密度大(达到 $0.65g/cm^3 \sim 0.80g/cm^3$),药肉厚较薄,故燃烧进行迅速,管内压力上升很快,当达到足够压力时,火药气体即沿尾管各孔冲破纸管而点燃附加发射药。故基本药管的打开压力可以通过改变纸管厚薄、强度、传火孔大小和位置来加以调整。

基本药管可以看作一个强力的点火具,单独构成迫击炮弹的最小号装药。

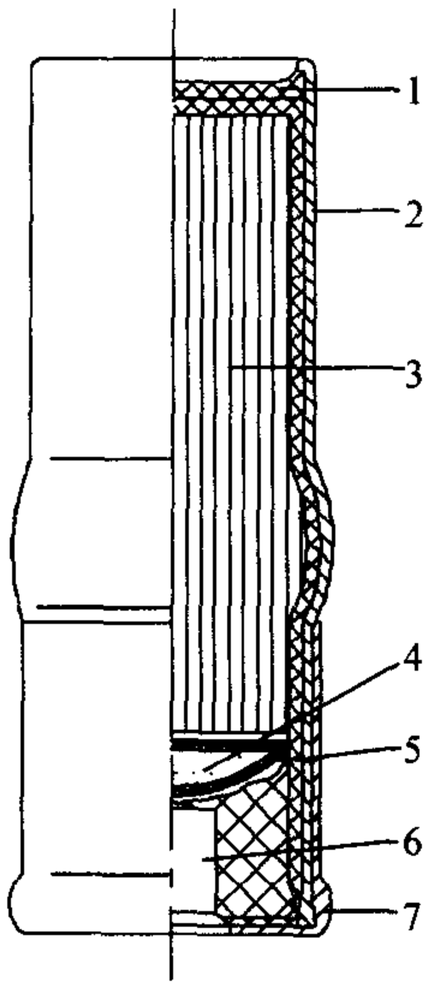


图 6－9　60mm 迫击炮弹基本药管

1—封口垫；2—纸管壳；3—发射药；4—点火药；5—火药隔片；6—底火；7—铜壳。

6.2.1.1　基本发射药

基本发射药是迫击炮弹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(即为零号装药)。基本发射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发射装药是十分重要的。

迫击炮的膛压低、热量散失大、身管短，通常采用燃速大、能量高的双基药，其肉厚较薄，形状多为简单的片状、带状和环状，目前正在研究使用球形药或新型粒状药。基本发射药大多数采用带状药以改善火焰的传播，减少管内压力的跳动。而附加发射药的品种、肉厚、形状可以与基本发射药不同或相同，可根据对弹道性能的要求来确定。为了保证基本发射药能充分点燃附加发射药，其质量应在发射药总质量中占足够的比例，但也不能太大，否则不能满足最小射程的要求。

6.2.1.2　管壳

由纸管、铜座、塞垫 3 部分组成，纸管与铜座均是双层，如图 6－10 所示。纸管为纸质，以便于在基本药管达到一定压力时打开传火。纸管有一胀包，其直径较尾管内径稍大，以确保基本药管插入尾管后，在发射前不致松动脱落。为了避免基本药管在火药气体压力下从尾部喷出、留膛而影响下一发的发射，在尾管孔内壁开有一环形驻退槽，发射时，铜座壁在高压气体作用下压入驻退槽，保证基本药管发射时不会脱落留膛，这就是基本药管壳下端选用铜质的理由。塞垫的作用是连接纸管、铜座和装入底火。

6.2.1.3　底火

目前我国各种口径的迫击炮弹一般均采用底－6 式底火(见图 6－11)。底－6 式底

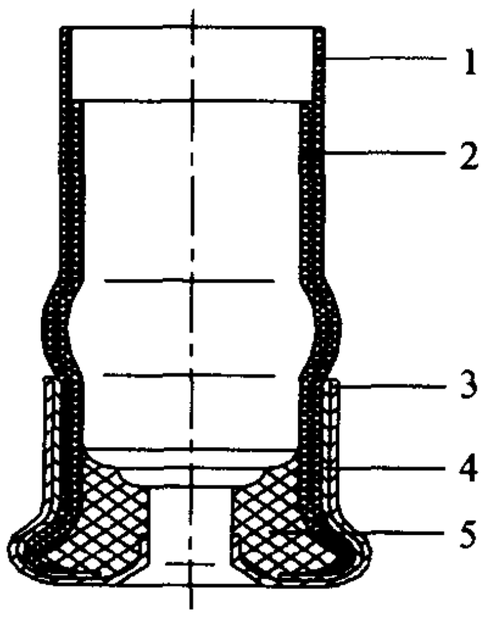


图 6-10 基本药管管壳图

1—外纸壳；2—内纸壳；3—外铜座；4—内铜座；5—塞垫。

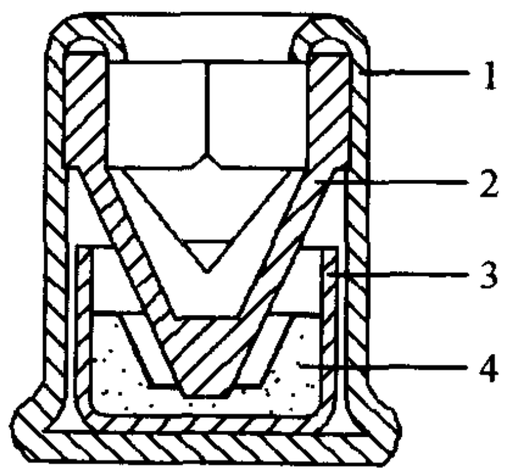


图 6-11 底-6式底火

1—底火体；2—发火砧；3—火帽壳；4—击发剂。

火的冲击感度较大，点燃能力较强。

6.2.1.4 点火药

常用的底-6式底火虽然点火能力强，但仍感不足，故在底火与基本发射药之间装有点火药(2号或3号黑药)，以加强底火的点火作用。不同口径的迫击炮弹所需点火药量不同，口径越大，基本发射药量越多，则需点火药量越多。

点火药的装填有散装、盒装和圆饼状绸布袋装3种方式。散装时，其上下用火药隔片与底火和发射药隔开，如60mm和80mm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120mm迫击炮弹基本药管的点火药就是这种装填方式。圆饼状绸布袋装填方式，是把黑药装入袋内缝合后再装入管内，82mm长弹专用点火药即采用这种形式。

6.2.2 附加装药

附加发射药是由双基片状或单基粒状无烟药和药包袋组成的。一般都是分装成若干药包套装在尾管周围，通常希望附加药包能充分对正传火孔，使其能在从传火孔中冲出的火药气体的直接作用下点燃，使基本发射药气体的热量与压力损失小，便于迅速而又均匀一致地点火。

药包系采用易燃、残渣少的丝绸或棉制品制成，也曾采用硝化棉药盒。根据附加发射药的形状，药包可制成环形药包、船形药包、条袋形药包和环袋形药包，如图6-12所示。

6.2.2.1 环形药包

当发射药采用双基无烟环形片状药时，即采用这种形式的药包。其形状为有开口的片状圆环，如图6-12(*a*)所示，药包很容易套在尾管上。其优点是射击时调整药包快速方便，因此射速要求高的中、小口径迫击炮弹均用此种药包。缺点是环形药片叠在一起，高温时易粘连，从而影响内弹道性能；另外药包在尾管上的位置难固定，可能上下窜动，不能对正传火孔而影响弹道性能。

6.2.2.2　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 6 – 12(*c*)所示。药包平时呈条状，药包袋的长度恰好等于紧绕尾管一周的长度。发射前将药包围在尾管上成环形并用绳子固定。优点是由于比环形药包紧固，药包在尾管上的定位较好且能对正传火孔，故不易发生药包的窜动，并能可靠引燃。缺点是射击前调整药包不便，影响射速，故不宜用于要求射速较高的迫击炮弹上。

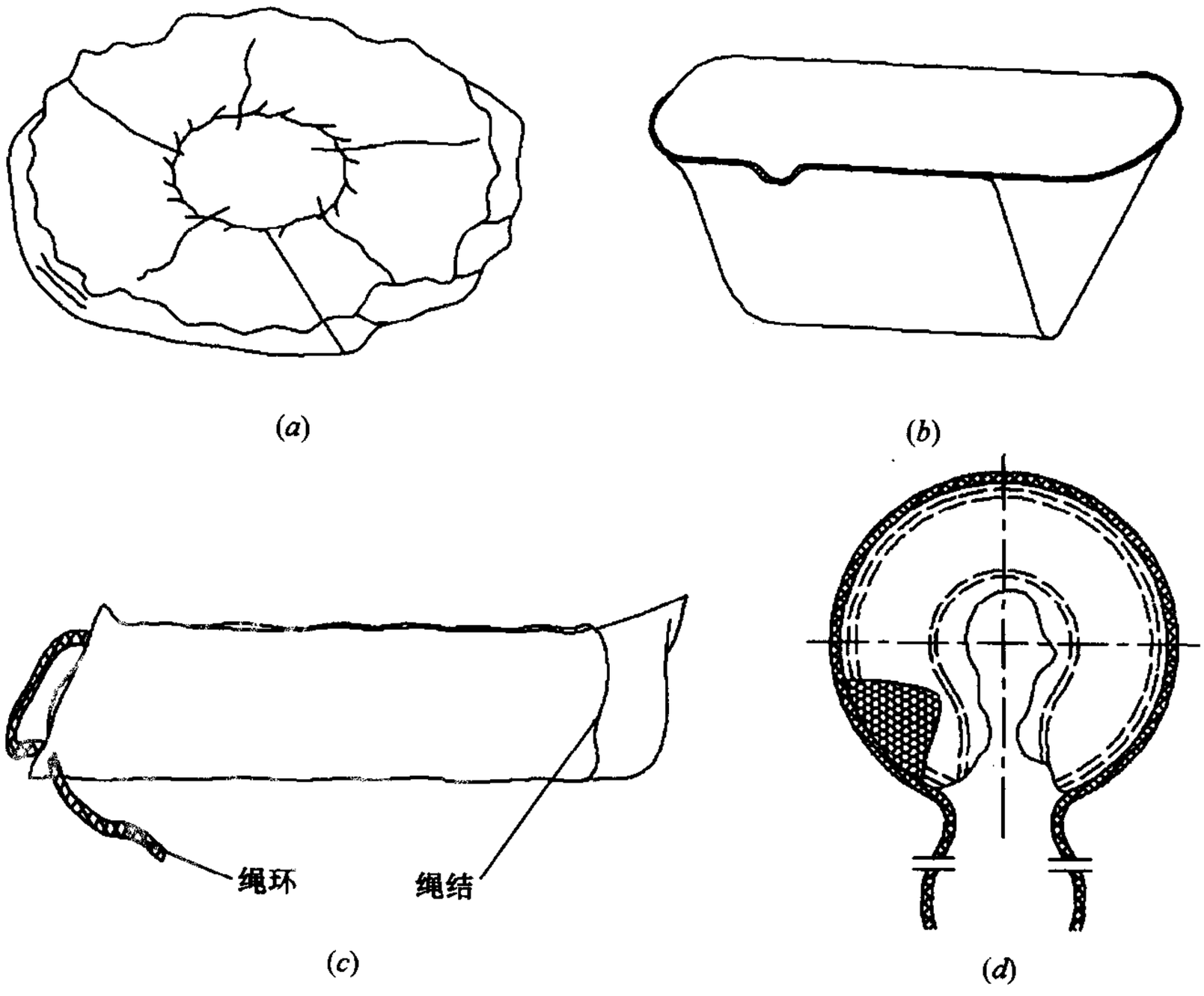


图 6 – 12　附加药包

(*a*)环形药包；(*b*)船形药包；(*c*)条袋形药包；(*d*)环袋形药包。

6.2.2.3　环袋形药包

环袋形药包是把小片状或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。与条袋形药包相似，不同的是平时呈开口环形，如图 6 – 12(*d*)所示。这种药包介于环形药包和袋形药包之间，也是用绳子扣起来固定在尾管上。

6.2.2.4　船形药包

药包为硝化棉制成的船形胶质盒，药包夹在尾翼之间，如图 6 – 12(*b*)所示。缺点是尾翼片受火药气体压力不均匀时易发生变形，点火一致性也不好，现在已不采用。

射击时调整药包的数量可以获得不同的装药号，0 号仅用基本药管，1 号加一个附加药包，2 号加两个药包，其余类推。为了调整药包，通常附加药包应做成等重。弹道性能

有特殊要求时,才做成不等重的药包,但勤务处理时容易弄错。

一般情况下,迫击炮弹的发射装药都是药包装药,但也有药筒装药。160mm 迫击炮弹质量 40kg 左右,炮管又长,炮口装填不便,因而采用后膛装填。后装就有一个发射时的闭气问题,老式 160mm 迫击炮采用短药筒闭气,药筒很短,还没有尾翼片高,此时药筒仅起闭气作用而不起装药容器的作用。新 160mm 迫击炮采用橡皮垫闭气,此时迫击炮弹就没有短药筒了。

6.3 特殊结构的迫击炮弹

为了提高 60mm 和 82mm 迫击炮弹的威力,发展了长弹与长炮榴弹。在解放战争时期,我军指战员曾创造出用迫击炮弹带送炸药包的方法,长炮榴弹就是在此基础上发展来的。

6.3.1 长弹

长弹的装填系数 $\alpha=(17\sim45)\%$,属于爆破弹类型。图 6-13(a)给出了 82 mm 长弹结构。长弹由引信、头螺、炸药、弹体(弹身)、定心翼、尾翼装置和专用发射药组成。尾翼装置与典型的迫击炮弹相似。由于全弹较长,为了保证稳定性,尾管较长,尾翼片也较宽。

弹身是长弹的主体,它的外径较炮的口径小,约为(2/3~1/2)口径。弹身用冷拔无缝钢管制成,在满足发射强度的条件下尽量做得较薄,以多装炸药。弹身前端有外螺纹,在单独作为长弹使用时与头螺连接,亦可与长炮榴弹弹头连接构成长炮榴弹。头螺的作用是调整质心位置,使质心靠前,以及便于螺接引信。

由于弹身小于口径,需要使用专门的定心装置,因此在弹身下部设置定心部,上部采用定心翼。定心部由钢或钢性铸铁制成,其外表面有闭气槽。定心部通常形成不了多少破片,基本上是消极质量,因此应尽量减轻其质量(82 mm 长弹定心部为中空结构),与弹体的连接可采用螺接或焊接。定心翼有点像尾翼,但它仅起辅助定心作用,最大膛压时弹体承受载荷最大。由于定心翼的支撑作用可以防止长弹弹身的弯曲,因此定心翼的位置要保证最大膛压时定心翼仍在膛内。

为了尽量提高威力,将 TNT 压成药柱后装入炸药室。由于药柱长,引信传爆药起爆威力已显不足,因此在炸药柱上部装有特曲儿药柱。

6.3.2 长炮榴弹

超口径的长炮榴弹是在长弹的基础上,将长弹的头螺取下,另连接一个大于口径的弹头构成的,如图 6-13(d)所示。60mm 迫击炮只有一种弹头,而 82mm 迫击炮则有质量相同的杀伤与爆破两种弹头。杀伤弹头外径为 110mm,如图 6-13(b)所示,弹体为钢性铸铁或稀土球墨铸铁制成。该弹头壁较厚,可获得较多的杀伤破片。炸药为梯萘-42,由 TNT 传爆药柱起爆。配用时间引信可实施空炸,在有利炸高 10m 左右杀伤半径可达 100m,威力较大;配用迫-4 引信可以瞬发或装定延期进行侵彻爆破;还可以使用拉火引信当作滚雷使用。爆破弹头外径为 150 mm,弹体为薄钢板制成,内装 TNT 或梯黑-50/

50 炸药，爆破威力大，如图 6 – 13(*c*)所示。由于弹壁薄不能用于侵彻爆破，其外径大于杀伤弹头，故射程较之稍小。由于这种弹的质量大、速度低、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(如开辟通路)才使用。

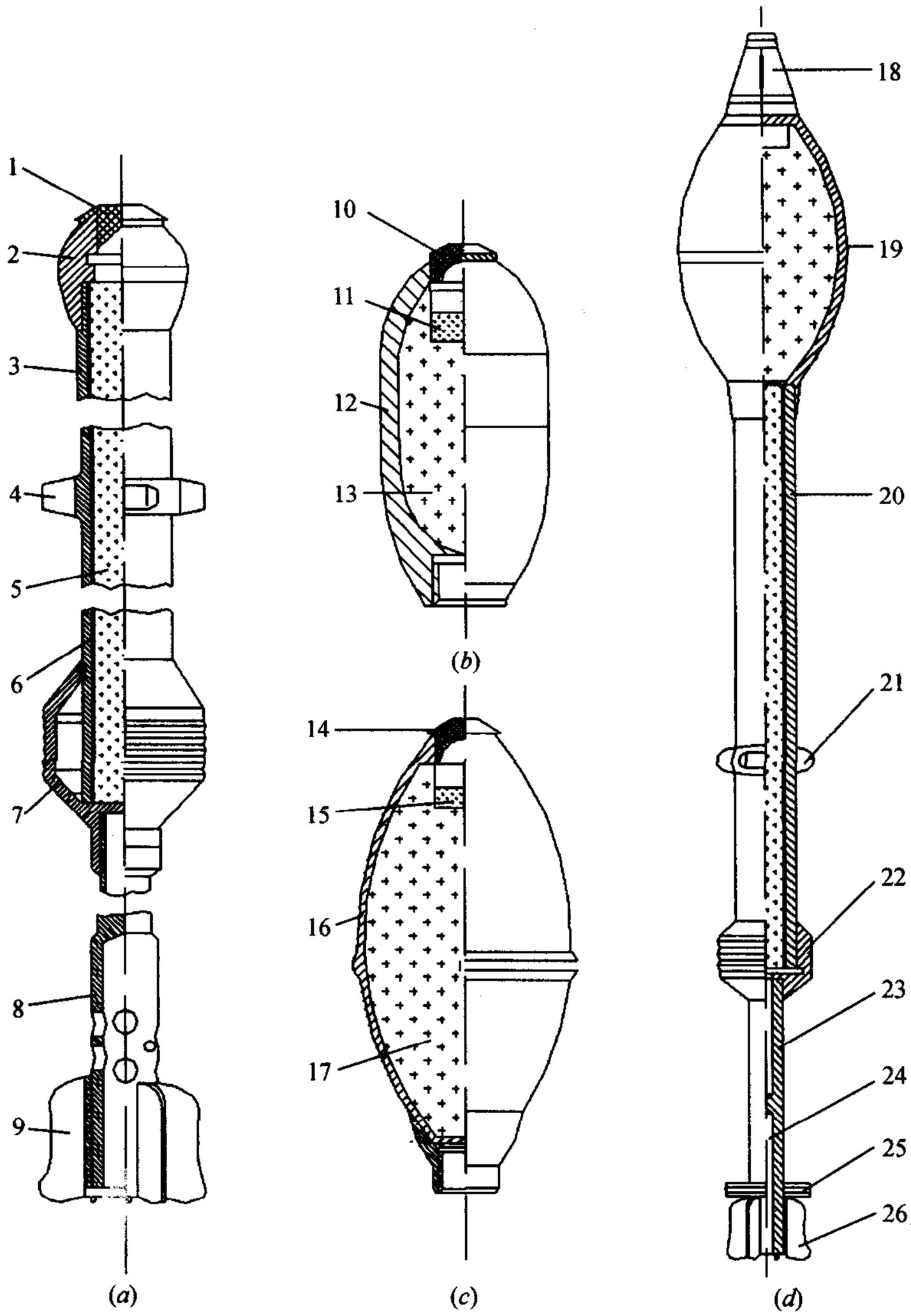


图 6 – 13　长弹及长炮榴弹

(*a*)长弹；(*b*)110mm 弹头；(*c*)150mm 弹头；(*d*)长炮榴弹。

1—防潮塞；2—头螺；3—弹身；4—定心翼；5—炸药；6—纸衬管；7—定心部；8—尾管；9—尾翼；10—防潮塞；11—传爆药柱；12—弹体；13—炸药；14—防潮塞；15—传爆药柱；16—弹体；17—炸药；18—引信；19—弹头；20—弹身；21—定心翼；22—定心部；23—尾管；24—基本药管；25—附加药包；26—尾翼。

长炮榴弹的优点是可以单独使用弹身，也可与弹头配合使用；可根据不同用途配用不同引信；还可作为爆破筒使用；弹头威力大，可使步兵连和营一级拥有较强的火力。缺点是弹丸质量大，发射时后坐动量大，因此对火炮阵地的要求较高，一般应选择中等硬度土

壤,并应采取一定的措施。该弹射程近(它的威力大是牺牲射程获得的)、精度差。精度差是由于火炮稳定性差、弹丸飞行摆动较严重等原因所致。

6.4 迫击炮弹的发展方向

迫击炮弹的主要优点是廉价、使用操作方便、高射角射击、弹道弯曲、是伴随武器使用的弹药。但是它也存在着一些严重缺点,随着武器发展技术水平的提高,其缺点需要不断克服。迫击炮弹的发展正是针对迫击炮弹的缺点而进行的,下面简单地介绍一下迫击炮弹的缺点及其改进措施。

① 射程近——过去由于迫击炮弹使用铸铁材料,所能承受的膛压低,因此初速较低,加之火药气体的泄漏使初速更低。提高射程的措施之一是提高初速,其方法是增大膛压,加长炮管,减少火药气体泄漏,使用新型火药改善膛压曲线使之平缓等。为了承受更大膛压,应提高铸造质量、减少铸造疵病或使用钢质弹体。此外可采用增大断面比重、改善弹形及采用火箭增程等方法来提高射程。如 120mm 火箭增程迫击炮弹,最大射程大于 14km。

② 隐蔽性差——过去人们曾认为迫击炮为曲射武器,可以躲在隐蔽物后发射,因此隐蔽性好。但是,迫击炮弹飞行速度慢,飞行时间长,很易被敌人现代化的观测器材发现跟踪,并用计算机解算出阵地位置,因此迫击炮弹的隐蔽性差。提高初速,缩短飞行时间会使其得到一定的改善,但目前还未找到根本的解决办法。

③ 密集度差——迫击炮弹的密集度比普通火炮弹丸差,其原因是:

(a) 火药气体泄漏,每发弹的泄漏不一致,造成初速散布。现在趋于使用塑料闭气环来代替环向闭气槽,以起到更好的紧塞气体的作用。

(b) 由于要求迫击炮弹价廉,所以其制造精度较低,甚至弹体内腔不加工,如果允许提高成本可以提高制造精度来改善射击精度。迫击炮弹零件较多,装配同心度差。尾翼片采用焊接法连接在尾管上难以保证安装精度,为此现代迫击炮弹尾翼与尾管多为一体。

(c) 附加药包在尾管上位置的窜动易带来点火不均匀和各发之间的差异,为此应采取良好的固定附加发射装药的办法。

④ 迫击炮弹比相应口径的普通火炮弹丸威力小——这不仅是由于迫击炮弹的尾管很少有杀伤作用,而且在于弹体材料性能与炸药性能匹配不好,弹体机械性能差,往往使破片过碎,有效破片甚少。所以应提高弹体材料性能,装填高能炸药。

美 M374 式 81mm 迫击炮弹是近年装备的产品,是一种典型的现代迫击炮弹。其结构如图 6-14 所示,主要由引信 1、弹体 2、闭气环 3、尾管、尾翼 9、底火 10、基本装药和附加药包组成。弹丸质量 4.2 kg;初速 64m/s ~ 264m/s,最大射程约 4500 m;装 B 炸药 0.95kg;膛压≤63MPa。其主要结构特点是:

(a) 流线形的外形。比老式迫击炮弹更佳的流线形,特别是弹体与引信、弹体与尾管的光滑过渡,尤其是弹体与尾管外形的光滑流线形能够大大减少阻力。为此目的尾管做成倒锥形,但这种结构的缺点是增加了消极质量。流线形外形再加上断面比重增加、初速提高,故比老式 81mm 弹射程提高不少。

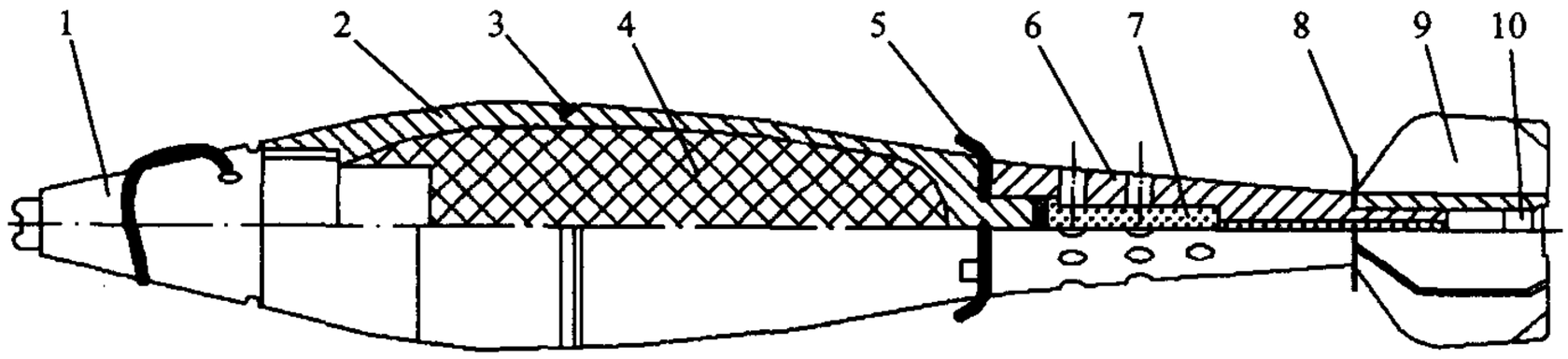


图 6－14　美 M374 式 81mm 迫击炮弹

1—引信；2—弹体；3—闭气环；4—炸药；5—药包挂；6—尾管；7—基本装药；8—药包挂；9—尾翼；10—底火。

(b) 采用塑料闭气环闭气。在弹体定心部下方有一环形凹槽，内放一塑料环。发射时，在火药气体压力作用下塑料环外胀而贴紧炮膛壁，这样就减少了火药气体的外泄，提高初速，减少初速散布。闭气环开有缺口，出炮口时被火药气体吹脱。由于有了闭气环，就不再需要闭气槽了。

(c) 低速旋转。尾翼片下缘的一角向左扭转 5°的倾角。出炮口后，在空气动力作用下使弹丸低速旋转，最大转速可达 3600r/min，有利于消除质量偏心和外形不对称造成的不利影响，使精度提高。

(d) 基本药管与底火分开。底火放在尾管下部内腔，基本药管放在上部内腔中，其火焰经传火通道点燃基本装药，再点燃附加装药。附加装药为条袋状，挂在药包挂钩上。

(e) 铝合金弹尾。尾管与尾翼装置均用铝合金制成，尾翼装置为一整体。铝合金弹尾轻，有助于质心前移，增大稳定性。

(f) 装填量增大。弹体薄，炸药装填量增多。

上述措施明显改善了迫击炮弹的射程和射击精度。

为了更有效的提高射程，采用了火箭增程，如弹重为 20.7kg 的 120mm 迫击炮弹采用火箭增程后射程由原来的 7km 提高到了 15km。

随着电子技术的发展及器件小型化和抗高过载能力的不断提高，对迫击炮弹进行末制导是提高其射击精度的根本途径。如俄罗斯的 120mm 半主动激光制导迫击炮弹，弹长 1200mm，弹重 27kg，射程 7.5km～9km，对静止目标的命中概率为 0.8～0.9，对运动目标的命中概率为 0.75；120mm 子母式末敏迫击炮弹，重 16kg，射程 8km，内装一枚带毫米波敏感器的 EFP 子弹药，单发迫击炮弹对装甲目标的命中概率达 0.5，毁伤概率达 0.9。

解决精度差的另一项有效措施是采用子母弹结构，如 120mm 子母式迫击炮弹，飞行重量 14.4kg，弹长(含引信)827mm，最大射程 7.2km，内装 ϕ42mm×41.6mm 破甲杀伤子弹 16 枚，飘带稳定。采用后抛式，子弹散布半径 60m～100m，形成有效破片总数达 14500 枚，其聚能射流对均质装甲最小破甲深度为 70mm，有效作用率大于 98%，其结构如图 6－15所示。当炮弹飞行至目标区上空预设高度时，时间引信作用，点燃抛射药。抛射药燃烧形成的高压气体作用在推板上，通过推板推动子弹串向后运动，剪断弹尾与弹体的连接螺纹并抛出子弹。由于迫击炮弹不旋转或转速较低，子弹难以充分散开，因此设置了锥形导向块。当子弹串以 70m/s 左右的相对速度向后撞上锥形导向块时，便能获得足够的径向分速而实现充分散开。

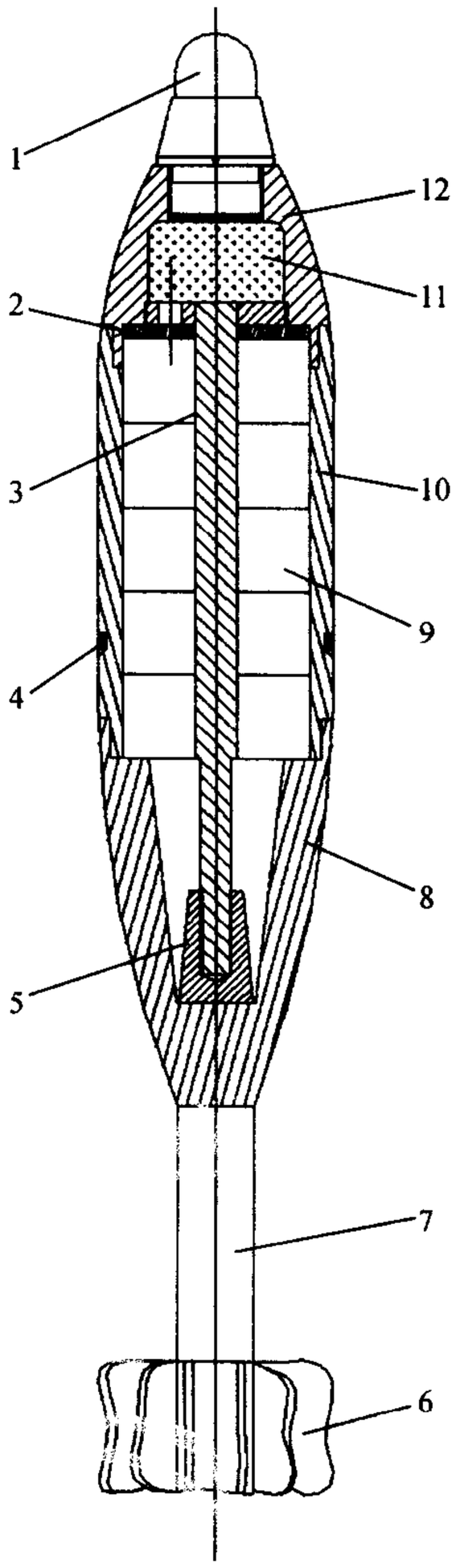


图 6－15　120 迫子母弹

1—引信；2—推板；3—拉杆；4—闭气环；5—导向块；6—尾翼；7—尾杆；8—弹尾；9—子弹；10—弹体；11—抛射药；12—头螺。

第 7 章　防空高炮弹药

随着空中目标(如飞机、导弹)的大量出现,以及性能的不断改进和发展,目前世界各国的防空武器都确立或正在过渡到以防空导弹为主、高射炮为辅的野战防空战备体系。导弹攻击范围大,可自动寻的,命中毁伤概率高,即使射程(或飞行时间)增大,也并不降低命中概率。但是导弹的技术难度大,价格昂贵,在其射击死区内不能发挥作用,所以只用于对付中空(3km ~ 6km)、高空(6km ~ 10km)、超高空(> 10km)的中远程距离的空中目标。从发展趋势看,各国不再发展大口径高射炮系统,重点发展双管连发和多管转膛的小口径高射炮系统,因为小高炮可以覆盖防空导弹的射击死区。从实战情况看,航空兵都重视低空(3000m 以下)与超低空(150m 以下)战术,这正是小高炮发挥作用的有效范围。它机动方便,操作简单,反应快,死界小,火力猛,尤其对附近突然出现的快速目标作战效果显著。此外,小口径炮还可和导弹结合构成弹炮一体化系统。因此小口径高炮弹药受到各国的重视。

7.1　空中目标特性分析及高炮弹药的特点

7.1.1　空中目标特性分析

现代战争中,空中目标主要有 3 大类,即固定翼飞机、武装直升机和精确制导弹药。下面分别介绍之。

7.1.1.1　固定翼飞机

固定翼飞机包括战斗机、攻击机、轰炸机等,近期发展的无人驾驶军用飞机也可作为固定翼飞机的一种。固定翼飞机主要用于空中格斗、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。目前各国的主要作战飞机正向着高速(喷气式)、高机动性、超高空或超低空方向发展,同时不断地改进武器装备,使其具有多种攻击地面目标的能力。歼击机虽然主要用于空战,但也可用来摧毁地面(海上)目标和进行空中侦察,它具有较高的速度、良好的机动性和火力。强击机用于从低空和超低空袭击地面(海上)小型目标,一般都有装甲防护,至 20 世纪 70 年代其任务是由战斗轰炸机承担。现代战斗轰炸机为超声速飞行,升限高,航程远,其机动性和生存性都有所提高,一般是金属机翼,要害部位(如发动机、油箱和空勤组座舱等部位)装有装甲板或硬铝板,如美 A40 飞机装有防弹玻璃和 38mm 厚的钛合金装甲板。某些飞机的主要性能见表 7 - 1。

表 7-1 某些战斗机的主要性能表

机型	苏-27	F-15E	F-16A	幻影 2000	旋风	苏-24C
国别	俄	美	美	法	意,英,德	俄
翼展/m	14.69	13.05	9.45	9.13	13.91	18
机长/m	21.92	19.43	14.52	14.36	16.72	21.7
机高/m	5.5	5.67	5.01	5.2	5.95	5.6
最大起飞质量/kg	30000	36742	11094	11500	27215	41000
机内燃油质量/kg	10000	5952	3162	3145		
最大平飞速度 *Ma*	2.35	2.5	2.0	2.2	2.2	2.2
最大爬升率($m \cdot s^{-1}$)	330	275	360	250		180
实用升限/m		15000	15240	20000	15000	16500
作战半径/km	1020	1295	925	700	1390	950
最大航程/km	4000	4800	3890	3335	3890	5000
航炮口径/mm	6 管 30		6 管 20			30

7.1.1.2 武装直升机

武装直升机是近期发展较快的空中目标,它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,因而被广泛应用于反坦克作战以及空中支援、反舰反潜、侦察、运输、指挥通信等。

武装直升机的主要部位都有装甲防护,如苏联米—24D 武装直生机在驾驶室、发动机、油箱外均有 4mm~6mm 钛合金板防护,在驾驶员前方用 50mm 厚的钢化防弹有机玻璃防护,一般能抗 12.7mm 机枪的攻击。某些武装直升机的性能见表 7-2。

表 7-2 几种武装直升机主要性能表

机型	AH-1T	AH-64	米-24	米-28	SA-365M	PAH-1
国别	美	美	俄	俄	法	德
主旋翼直径/m	14.63	14.63	17.0	17.0	13.74	9.84
机长/m	13.87	17.76	21.5	17.0	12.07	11.84
机高/m	4.16	4.3	4.25	3.9	4.07	3.0
发动机功率/kW	2×1074	2×1055	2×1620	2×1620	2×558	2×298
最大飞行速度/($km \cdot h^{-1}$)	272	365	330	300	296	242
最大爬升率/($m \cdot s^{-1}$)	4.37	12.7	15	18	7.8	10.5
实用升限/m	5913	6400	4500	6000	6000	
作战半径/km	285	295	200	240	280	296
作战飞行时间/h	3.3	3.35			2.66	2.25
航程/km	572	610	750	480	740	800
携带导弹型号	TOM	海尔法	AT—6	SA—14	HOT	海尔法
携带导弹数量/枚	8	16	4~8	8~16	4~8	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	30

7.1.1.3　精确制导弹药

精确制导弹药主要包括各类导弹、精确制导炸弹和末制导炮弹等，其中尤以导弹种类最多，它们应用广泛，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，这些导弹目标速度和飞机差不多(巡航导弹速度较小)，雷达反射面积较小，飞行高度较低，因此反导比反机有更大的难度。导弹一般由导引系统、控制系统、战斗部系统和动力系统等组成，结构上除有一层蒙皮外，各系统均有较厚的壳体。某些巡航导弹性能见表 7－3。

表 7－3　几种巡航导弹性能表

型号	TASM BGM－109C	ALCM AGM－86A	GLCM BGM－109G	SS－N－3C	FCM
国别	美	美	美	俄	法
发射平台	舰艇发射	空中发射	陆上发射	海上发射	空中发射
射程/km	556	1300	2500	800	2000
巡航速度 *Ma*	0.72	0.77	0.72	0.9	0.7
巡航高度/m	7.5～20	50～100	50～100	1000	
弹长/m	5.56	4.27	5.56	12.81	7.0
弹径/mm	527	650	527	1000	700
翼展/m	2.65	2.9	2.65	2.1	4.0
发射质量/kg	1430	860	1450	5400	1800
战斗部质量/kg	454	122.5	122.5		

综上所述，空中目标的基本特征可以归纳如下：

① 空间特性——空中目标是点目标，入侵高度和作战高度从几十米到几十公里，作战空域大。

② 运动特性——空中目标运动速度高，机动性好，可以作不同方向的机动飞行。

③ 易损性特性——相对而言，空中目标的防护不算很强，但某些飞机的主要部位有装甲防护，导弹的主要部位壁厚也较厚。

④ 目标对抗特性——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。

这些基本特性，在研究防空反导弹药中，应给予足够的重视。面临对方大量采用高新技术武器装备时，防空反导弹药也应采用高新技术进行改进，才能有效对付敌人。

7.1.2　高射炮弹药的特点

7.1.2.1　相关概念

(1) 最大射击范围和射击死区

由于高射炮都可作 360°回转，高低射角的变化范围大(如瑞典波菲 40mm 高射炮为

$-4° \sim +90°$),因此,在一定初速下,射弹弹道包络面包围的空间就构成了高炮的最大射击范围,如图 7-1 所示,该空间也称之为最大射击空域。但是因高低角 $<90°$,中间出现一个弹丸无法达到的喇叭形区域,称之为射击死区。最大射击空域最高点对应的高度,称为最大射高 Y_{max}。

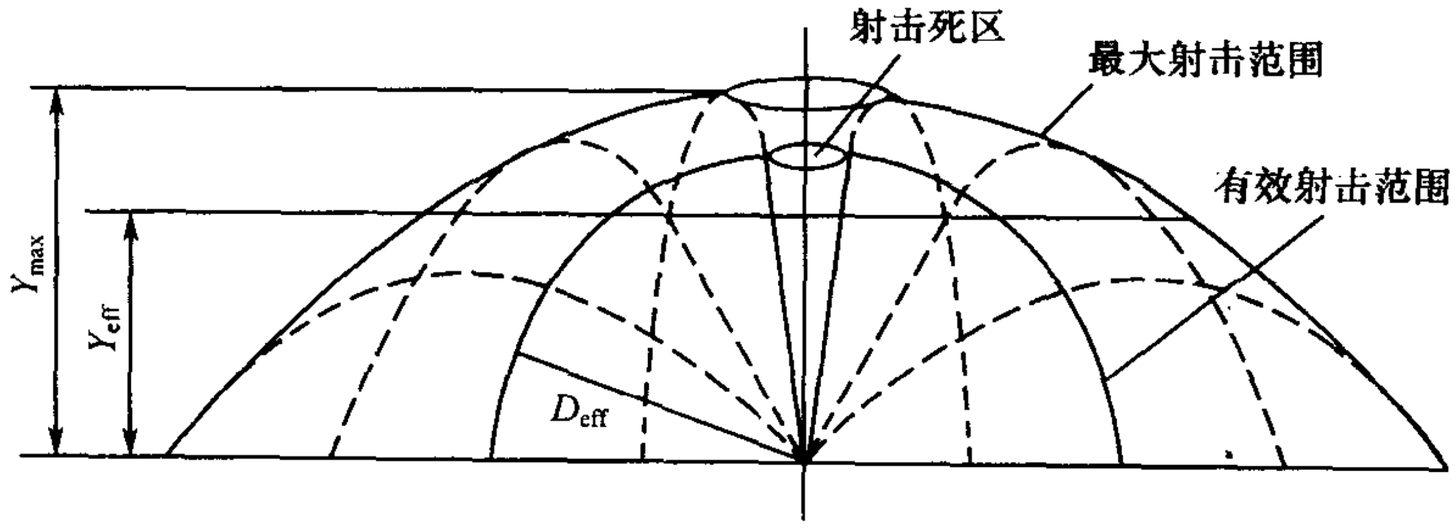


图 7-1 高射炮对空射击范围

(2) 有效射击范围和有效斜距离

由于弹丸在弹道顶点附近弹速低,散布大,对于航速高、机动性好的空中目标来说,此时弹丸对目标的命中及毁伤概率都将急剧下降,所以弹丸的有效射击范围仅为最大射击空域内的一个半球,在此半球范围内弹丸可有效毁伤目标,此半球称为火力空域,所对应的半径称为有效斜距离 D_{eff},也称为火力空域半径。一般来说,随弹丸口径不同,有效斜距约为最大射高的 1/2 ~ 3/4。

(3) 有效射高

当目标从高空飞过时,高度越高,目标在火力空域内的时间就短,高炮射击的机会就少;当高度较低时,目标穿越火力空域的时间较长,被击中的概率增大。因而,从实用价值的角度出发,必须在火力区域内确定一个适当的高度,在此高度内,高炮可以对目标进行有效的射击,该高度称之为有效射高 Y_{eff},有效射高约为有效斜距的 5/6 ~ 5/7。

7.1.2.2 高射炮弹药的特点

(1) 高射速

目前对高炮系统要求从目标搜索到射击都实现自动化,包括瞄准自动化和射击装填自动化,在此基础上小高炮可实施连续射击,射速不断提高,如 65 - 双 37mm 高射炮,射速为 160 发/min ~ 180 发/min;苏 3y - 23 式 23mm 双管牵引高射炮射速为 1600 发/min ~ 2000 发/min。近年来出现的自行高射炮,可作行进间射击,是一种从搜索到射击实现自动化的自行综合体,如西德“猎豹”35mm 双联自动火炮,射速可达 2 × 550 发/min。AK - 630 舰用六管 30mm 高炮射速可达 4000 发/min ~ 5000 发/min,如俄罗斯的“通古斯卡”30mm 高炮射速达 5000 发/min。

(2) 高初速

为了射击高速飞行的目标,弹丸必须具备高初速(一般约为 1000m/s)。这不仅能增加有效射高和有效射击区域,更重要的是缩短飞行时间,减小射击提前量,增加对目标的命中概率。

初速高,射速高,可以在短时间内形成密集的火力网。因为小口径高炮防空弹药要求

以密集的火力进行防空，如双 35mm 弹药的初速为 1175m/s，射速为 2×550 发/min，飞行至 1000m 处的时间为 0.95s，此时存速 950m/s，仍有较大动能，使弹丸能够侵入目标内部爆炸。

(3) 定装式

高射炮要求射速快，所以都是定装式，利于装填自动化。一般弹尾部都有紧口槽(1圈～2圈)，以与药筒辊口结合。

(4) 榴弹都配有自毁装置

为了避免弹丸落地触发爆炸危及我方阵地安全，引信上往往配有自炸机构，当弹丸未击中目标时能在空中自炸。

(5) 弹尾装有曳光管

高炮弹丸的尾部大都装有曳光管，其作用是显示弹道以修正射击诸元。

7.2　高射炮榴弹

高射炮榴弹配用于陆军高射炮或高射、平射两用舰炮，主要用于攻击来犯的各种飞机、巡航导弹、战术空对地导弹和空降兵等空中目标，也可用来歼灭水上舰船、地面轻型装甲车辆和有生力量。

高射炮榴弹主要采用两种机制毁伤目标：一是直接命中的方法，因为小口径高射炮榴弹的爆炸威力较小，如果使弹丸侵入机体内爆炸，并带有一定的燃烧作用，就能够取得更好的毁伤效果；二是采用近炸的方法，利用近炸引信控制弹丸在目标附近爆炸，利用爆炸后产生的大量高速破片和冲击波毁伤目标。前者适宜于小口径弹药，后者在大、中口径高炮弹药中用的较多。

在众多的小口径高炮弹药中，瑞士“厄利空”公司研制的双 35mm 高炮系列弹药是比较成功的一种，主要用来对付空中目标、轻型装甲或无装甲的地面和海上目标。图 7－2 所示为“厄利空”的系列榴弹，其中(*a*)为弹头机械引信的无曳光榴弹，(*b*)为弹头机械引信的曳光榴弹，(*c*)为弹底电子引信榴弹。

其主要性能如下：

弹重/g	1580/1550/1572
弹总长/mm	387
弹丸质量/g	550/535/550
炸药质量/g	112
弹丸初速/($m \cdot s^{-1}$)	1175

35mm 榴弹有如下几方面的特点：

① 弹壁较薄，最大限度地提高装药量，并进行了壳体材料和炸药匹配的优化设计，同时兼顾了弹丸的冲击波和破片的杀伤效应。

② 采用以 RDX 为基体加铝粉及钝感物的高能炸药(HexalP30)，其爆速为 7500m/s，爆热达 1600kJ/L，在获得较高的冲击波超压的基础上，增加了燃烧效应。

③ 弹丸初速高，并且具有较好的流线形外形，阻力系数小，飞行时间短(1000m 飞行时间 0.96s，2000m 飞行时间 2.18s)，密集度好，大大提高了对活动目标的命中概率。

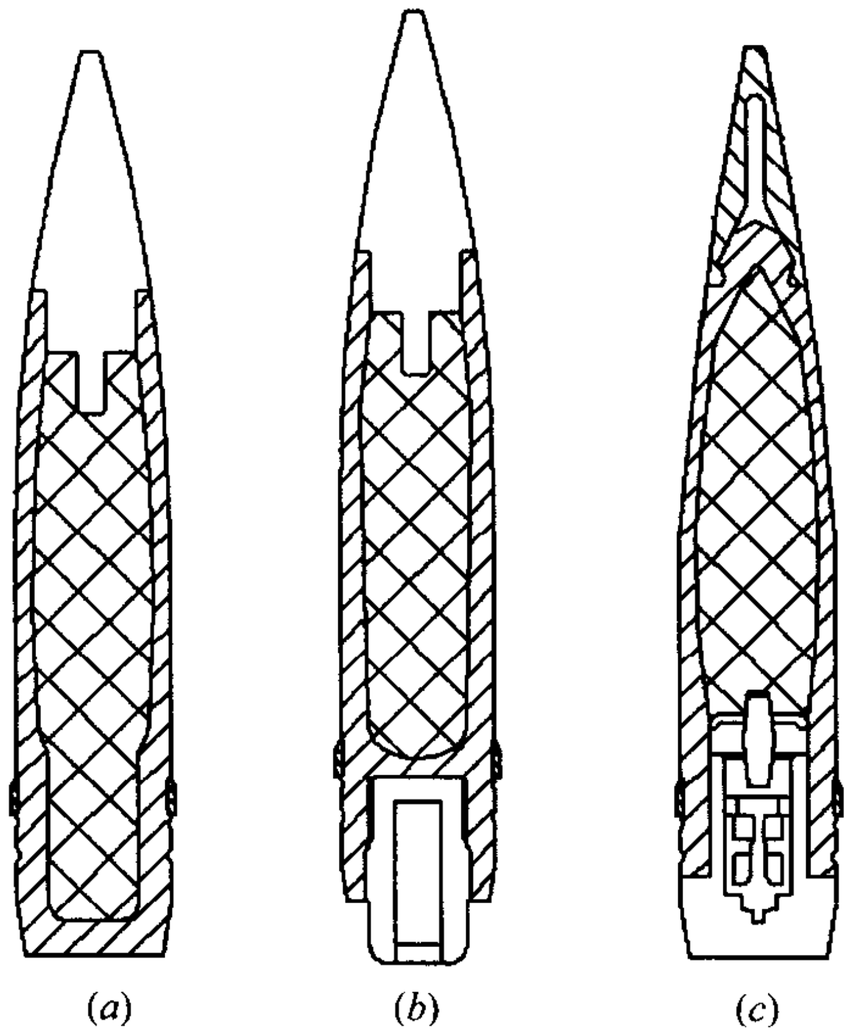


图 7-2 “厄利空”35mm 榴弹示意图

(a) 弹头机械引信无曳光榴弹；(b) 弹头机械引信曳光榴弹；(c) 弹底电子引信榴弹。

④ 引信具有一定的延时功能，保证弹丸能够进入目标内部爆炸，增加对目标内部的毁伤效应。

随着目标防护能力的增强，“厄利空”公司又发展了弹底机械引信的杀爆燃榴弹，增加了弹头部的厚度，采用钝头加风帽的结构，在不改变气动外形的条件下，增加对硬目标的侵彻能力，并在炸药前部加入铝锆燃烧剂，进一步增强了引燃功能。它的引信增加了起爆延迟时间，以便弹丸侵入目标一定深度爆炸，达到最好的毁伤效果。弹底引信榴弹 1000m 处能穿透 15mm/60°厚的均质装甲，2000m 处能穿透 10mm/60°厚的均质装甲。

图 7-3 所示为瑞典“博福斯”40mm 可编程近炸引信预制破片弹，该弹质量 2.5kg，总长 534.4mm，弹丸质量 0.975kg，炸药(PBX)0.12kg，钨球数目 1100 枚，弹丸初速 1012m/s。

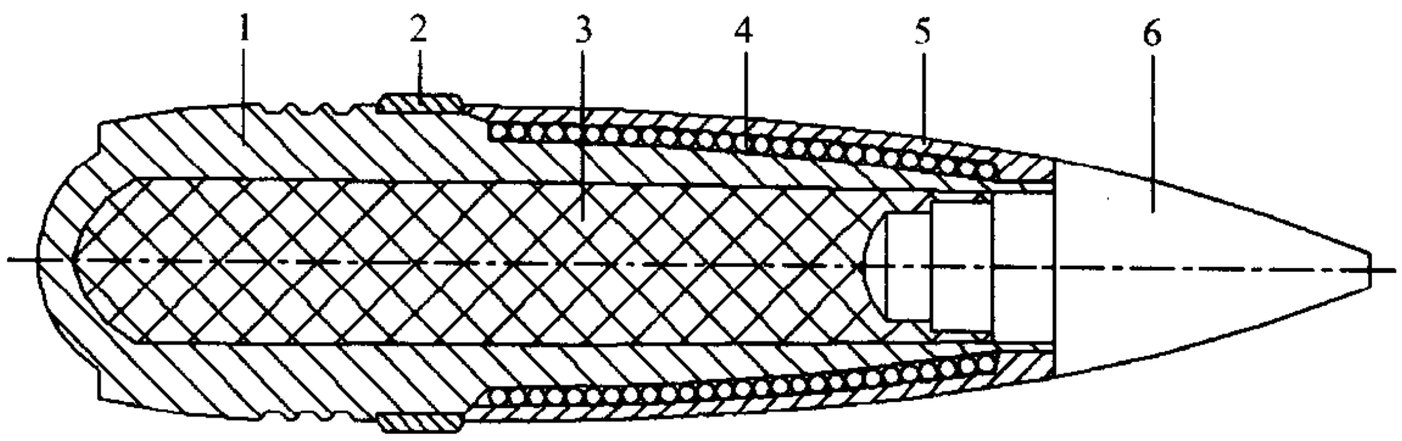


图 7-3 40mm 3P 弹结构示意图

1—弹体；2—弹带；3—炸药；4—预制破片；5—约束套筒；6—引信。

该弹主要由弹体 1、弹带 2、钨球 4、钨球约束套筒 5、高能炸药 3 和引信 6 等部分构成。弹丸圆柱部较长，弹底呈外凸形，可使弹尾形成较多的杀伤破片，其中大部分弹底的破片可以横向飞散，打击侧面和前方的飞行目标；尾部有紧口槽(3 圈～4 圈)，以与药筒辊口结合；弹带前面壳体外放置 1100 枚直径为 3mm 的碳化钨球(作用时，和壳体一起能产生 3000 多枚有效破片)，用塑料粘合成筒形，约占弹体长度的 1/3；碳化钨球的外面有优

质钢套以固定杀伤元件,防止在离心力作用下被抛出;弹丸装填钝化黑索今、梯恩梯和铝粉混合炸药 0.12kg,炸药威力较大,并具有燃烧作用。引信为可编程电子引信,有可控近炸模式、碰炸优先的可控近炸模式、近炸模式、时间模式、碰炸模式和装甲侵彻模式等 6 种模式,使用时可根据战场环境和目标的不同进行编程设置,如可控近炸模式,适宜于来袭的飞机、直升机和超低空飞行的导弹;时间模式以空爆的形式作用,适宜于障碍物和斜坡后面的目标(如建筑物后面盘旋的直升机);碰炸模式适宜于对付卡车和装甲输送车等目标;装甲侵彻模式适宜于对付轻型装甲车辆和城市内作战。

优点:先进的引信工作模式,使其具有较强的目标适应能力,能够有效地对付各种类型的目标,提高了对目标的毁伤能力,减小了弹药的使用量;缩短了和目标的交会时间;增加了对目标的拦截范围,对地面目标拦截范围大于 3km,空中目标小于 6km。

7.3　小口径 AHEAD 弹

7.3.1　AHEAD 弹概述

AHEAD 弹也是由“厄利空”公司首先研制的,配用于 35mm 小口径双管自行高炮。其主要任务是以高密集火力对付小型、低空、快速目标,如空地导弹、无人驾驶机等。由于该弹命中效率高,性能先进,而以 Advanced Hit Efficiency And Destruction(高命中效率与毁伤)的缩写 AHEAD 进行命名。目前该弹尚未装备部队。

AHEAD 弹打破了一般弹丸依靠炸药起爆将弹体炸成破片或将预制破片高速抛出的原理,而是利用弹丸的弹道存速,将预制破片向前抛出。弹体舱内装填重金属柱形子弹,电子时间引信装于弹尾部,其数据接收线圈镶于尾锥部外侧。该弹所配用的火炮独特之处,在于其炮口装有 3 个线圈,一对线圈准确测量弹丸的瞬时炮口速度,火炮计算机根据弹丸初速及目标现有航向数据及时解算出弹丸相对于目标的最佳作用时刻,并在弹丸通过炮口第 3 个线圈时将数据赋予弹丸的引信装定线圈,随之完成电子时间引信的时间装定。弹丸将在目标前方的最佳位置起爆,炸开弹体,其内 152 颗重金属子弹在离心力作用下飞散,形成一片子弹云。火炮系统对目标完成一个点射,通常连续射出 9 发 ~ 25 发不等的弹丸,即可在目标的航迹上构成一个弹幕,如图 7 - 4 所示,以达到对目标的高命中率与毁伤作用。

AHEAD 弹发射时的工作原理如图 7 - 5 所示,共分为 5 个阶段。1 为雷达发现和探测来袭目标,并对目标进行跟踪;2 为雷达向火炮的火控系统发出指令;3 为火炮发射弹丸;4 为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 为弹丸到目标前方某一位置开始作用,向前方抛出 152 个柱形子弹。

和一般小口径高炮武器相比,该武器系统具有如下特点:一般小口径高炮对空射击,主要基于弹丸直接命中而起作用,当目标几何尺寸小、飞行速度高(如小型导弹)时,直接命中的概率显著降低,故一般小口径高炮主要适于对付低空飞行的各类飞机目标。而 35mm 小口径双管自行高炮 AHEAD 弹系统,是基于弹丸近炸、开舱、释放子弹而对目标起作用,从而大大提高了命中概率,更适于对付小型快速目标。

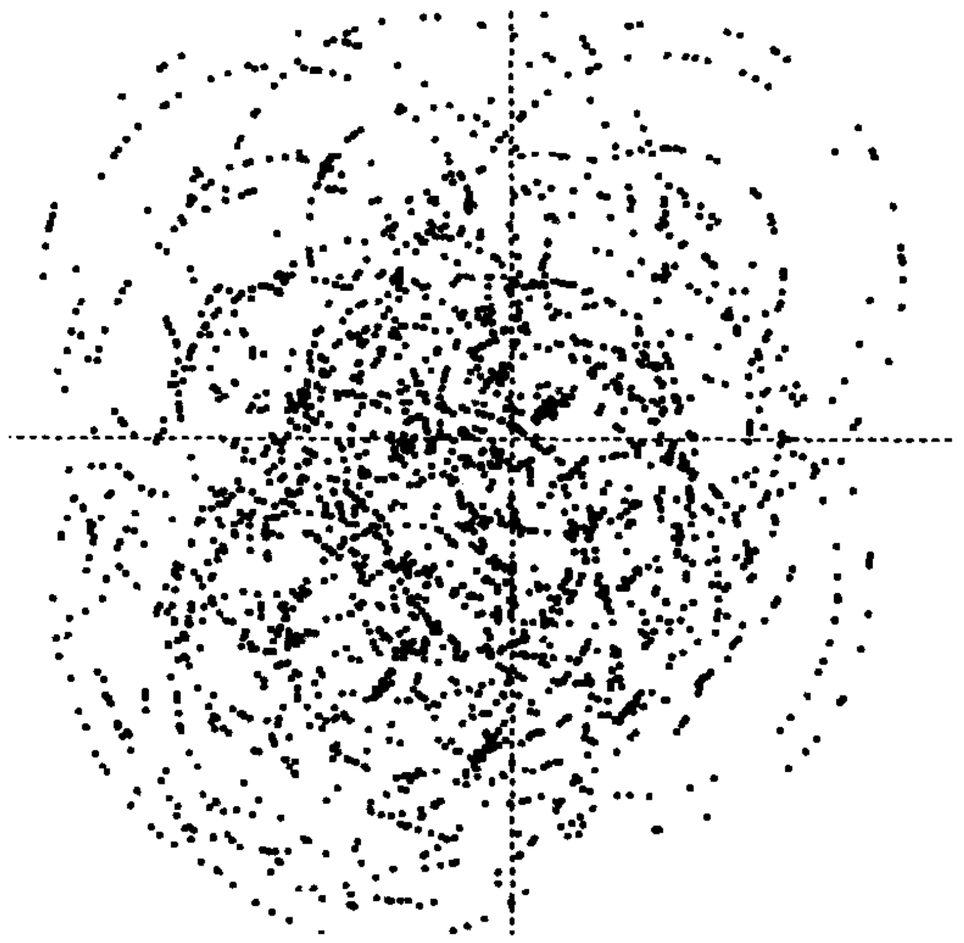


图 7-4 多发弹丸开舱后形成的弹幕

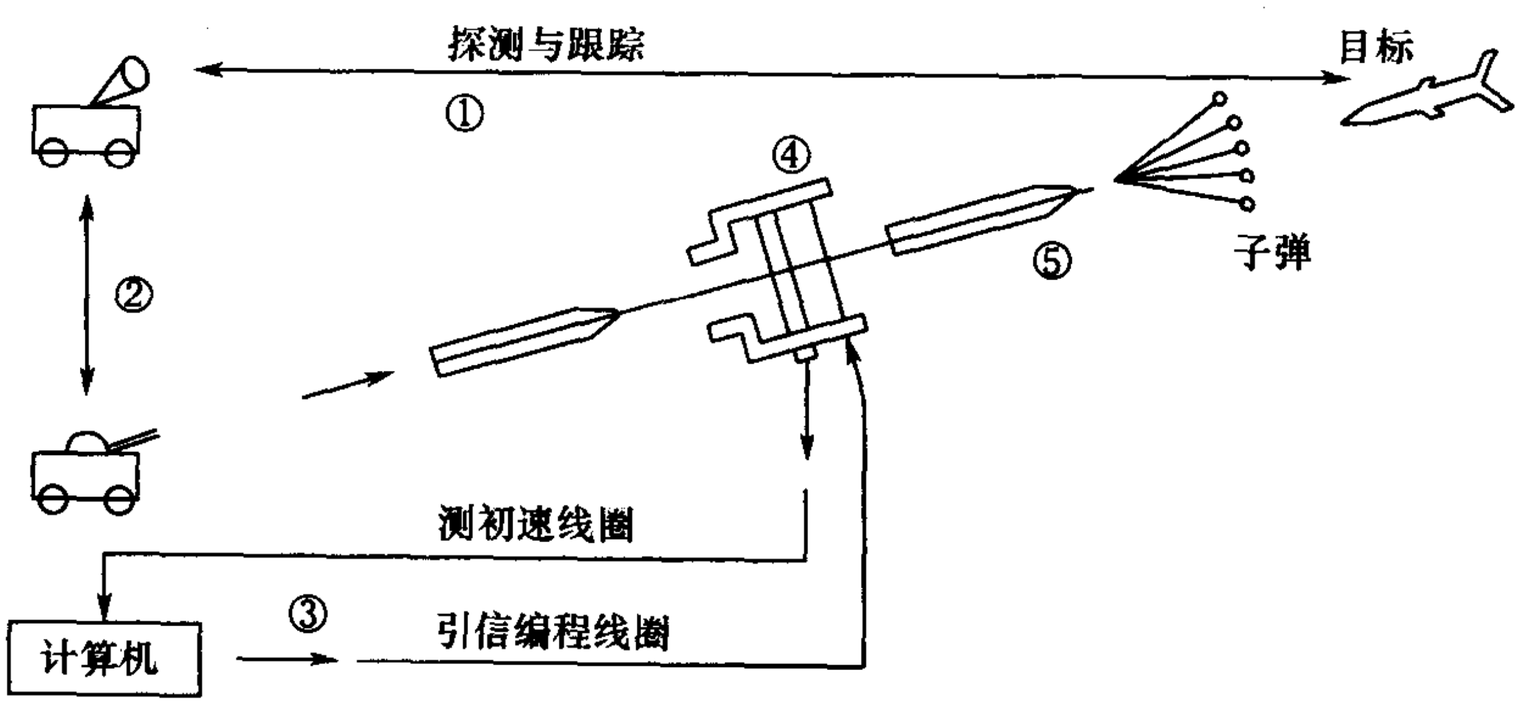


图 7-5 AHEAD 弹发射时的工作原理图

7.3.2 AHEAD 弹的主要技术指标

弹丸口径/mm	35
弹丸质量/g	750
全弹质量/g	1780
杀伤元素总质量/g	500
子弹单个质量/g	3.3
初速/($m \cdot s^{-1}$)	1050
引信时间装定间隔/ms	1
引信作用距离/m	70 ~ 4600
炮口安全距离/m	60

7.3.3 AHEAD 弹的结构特点

该弹丸是靠旋转稳定的,整个弹丸由风帽 1、弹体 3、杀伤元素(子弹)系 4、弹底 8 和

引信等部件组成，如图 7－6 所示。

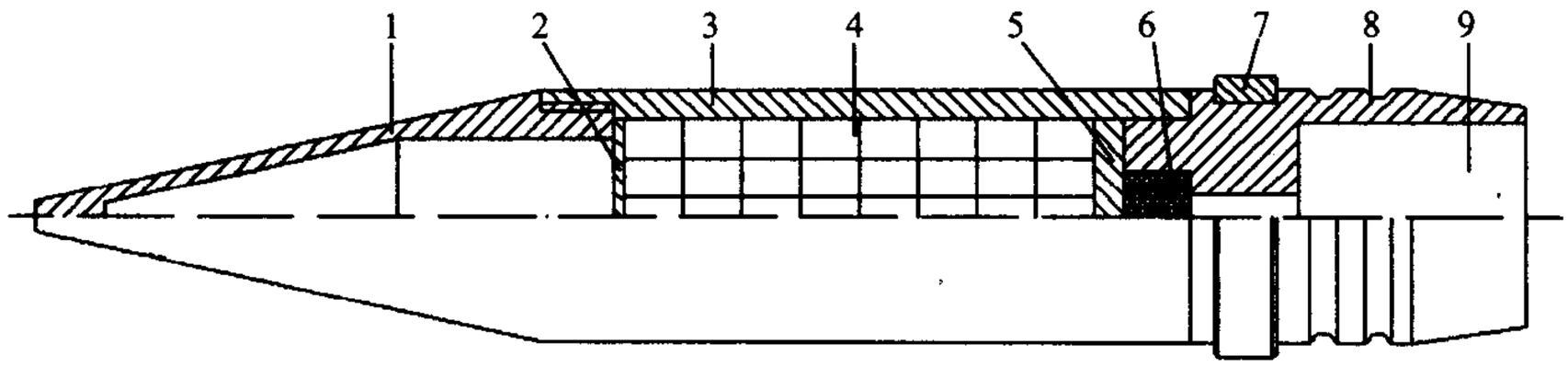


图 7－6　AHEAD 弹结构示意图

1—风帽；2—上垫片；3—弹体；4—杀伤元素；5—下垫片；6—抛射药；7—弹带；8—弹底；9—引信安装孔。

7.3.3.1　杀伤元素(子弹)系

AHEAD 弹共装有 152 个子弹，单个子弹质量为 3.3g。为了提高单个子弹的杀伤力，减少飞行时的空气阻力，子弹采用高密度的重金属材料。此外，在保持单个子弹质量相同的条件下，重金属材料还有利于缩短子弹的长径比，在外弹道上更具良好的飞行稳定性。

子弹外形可有两种选择：圆柱形和六角柱形。

六角柱形的优点是装填密实，节省空间，有利于增加弹体舱室的壁厚，保证其发射强度；易于装填，排列稳定，不易产生晃动；对毁伤目标亦相对有利。六角柱形子弹的缺点是工艺性较圆柱形稍差，适于大量生产的定型产品上采用。圆柱形子弹工艺性好，但装填后中间有空隙，图 7－7 所示为圆柱形子弹在弹体内的装填示意图。

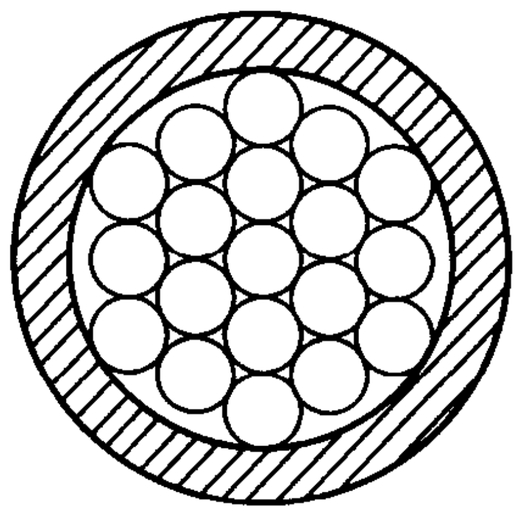


图 7－7　子弹在弹体内的排列

7.3.3.2　风帽

风帽的主要作用是减少弹丸在飞行中的头部阻力，质量不应太大，所以风帽采用截锥形薄壳结构，下部采用螺纹和弹体连接。材料采用高强度铝合金。

7.3.3.3　弹体

弹体是弹丸的主要构件，其主要作用是装填杀伤元素，上连风帽，下连弹底。弹体的内腔为柱形，有利于柱形子弹的装填。弹体的外部设有上下定心突起，保证发射时的定心作用，利于弹丸在膛内的正确运动。在目标前方，在开舱药作用下，弹体撕裂成 6 瓣，释放内部的杀伤元素。

7.3.3.4　上下垫片

为了均化发射时作用在弹底上的惯性力，同时固紧子弹系在弹体内的轴向位置，在子弹的上下端设计了上、下垫片。

7.3.3.5　弹底

弹底的主要作用是连接弹体、引信等部件，外部装有弹带，弹带下部刻有 2 个环形槽，

分别用于安装测速及引信装定线圈。

7.3.3.6 引信

AHEAD弹采用的是可编程电子时间引信,引信通过螺纹和弹底连接。当弹丸通过炮口时,通过装定线圈将时间信号传给引信,引信根据该时间控制弹丸内的开舱药作用,从而实现弹丸的适时开舱。

根据该弹的作用原理及结构特点,可以看出该弹的优点是:适时的时间引信装定,可使点射中的每发弹丸均在目标前方的最佳位置起爆,使弹幕的大小正好覆盖目标的位置散布,避免弹丸提前爆炸或错过目标,从而对目标具有较高的命中率;云中子弹质量大,速度高,并且高速自旋,飞行中能保持急螺稳定性,对目标具有较强的侵彻能力;子弹分布在小角度的锥面内,大大提高了弹目交汇处的子弹密度,对目标具有较强的毁伤能力。缺点是子弹的速度主要来自母弹的终点牵连速度,因此弹丸开舱时的终点速度不能太小,和普通高炮榴弹相比拦截目标的距离较小。

7.4 高射炮用穿甲弹

高射炮用穿甲弹主要用来对付空中的各种飞机、导弹等目标,为了增强穿甲后效,高炮用穿甲弹常采用在穿甲弹芯前面放置易燃金属(或燃烧剂)、采用易碎材料作弹芯等技术提高对目标的毁伤能力,典型的弹药有穿甲燃烧弹、易碎弹。下面介绍这两类穿甲弹的原理及结构特点。

7.4.1 脱壳穿甲燃烧弹

图7-8所示为美国30mm脱壳穿甲燃烧弹,这是小口径脱壳穿甲弹的典型结构。该弹配用于瑞士HS-831-L型30mm机关炮和英雷登30mm车载炮。该弹由飞行部分、上弹托和下弹托3部分组成。弹丸质量为0.298kg。飞行部分由钨合金或贫铀合金制成的弹体以及锆合金制成的弹头组成。曳光管装于弹体底部。由于所使用的钨合金或贫铀合金两种弹体材料的密度相同,都是18g/cm^3,所以两种材料弹体的弹丸质量和尺寸相同,内、外弹道也一致。弹体头部嵌入的锆合金是一种易燃金属,可增加燃烧效应。塑料弹带比金属弹带有更好的闭气性,能提高炮管寿命。塑料上弹托有预制分瓣槽,平时弹托将飞行部分完全密封。当弹丸出炮口时,上弹托在离心力、气动力综合作用下而撕裂,并

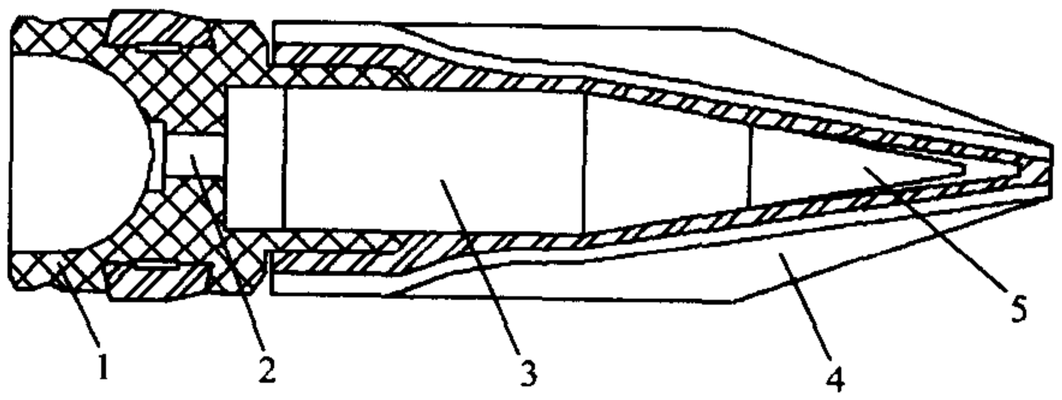


图7-8 30mm脱壳穿甲燃烧弹

1—下弹托;2—曳光管;3—穿甲弹芯;4—上弹托;5—锆合金。

与飞行部分分离，下弹托在空气阻力作用下也顺利脱壳。弹托的分离是在离炮口 1.5m 处完成的。该弹 1000m 速度下降量为 110m/s，密集度高，对均质钢甲的穿甲威力见表 7－4。贫铀合金弹体的穿甲能力及后效作用均优于钨合金弹体。该类弹的缺点是：底托脱壳后不能及时偏离弹道，在高射频发射时可能对后续弹丸造成干扰；另外由于它所对付的目标不断改进装甲，渐显其穿甲威力不够，所以目前也逐渐向尾翼稳定脱壳穿甲弹方向发展。

表 7－4　美 30mm 曳光脱壳穿甲弹威力

靶距/m	靶板法向角/(°)	靶板硬度/HRB	最大靶板厚度/mm	
			钨合金弹体	贫铀合金弹体
1000	60	300	32	34
	45	295	45	48
	0	285	59	60
2000	60	330	27	29
	45	295	38	43
	0	295	48	58

7.4.2　易碎穿甲弹

易碎穿甲弹(FAPDS)是一种拥有穿甲弹和榴弹特点的新型防空弹药。该弹的弹芯材料(易碎性重金属液相烧结材料制成)独特，它不仅可以像常规穿甲弹那样穿透飞机和直升机的装甲，而且弹芯在与目标撞击过程中碎裂，产生巨大的破片效应，在目标内部产生二次杀伤效果，特别适宜于对付间隔结构的目标。当弹丸与多层间隔目标作用时，每穿透一层目标，都要碎成许多碎块，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的下一层装甲。图 7－9 和图 7－10 所示分别是易碎弹穿甲效果及试验照片图。

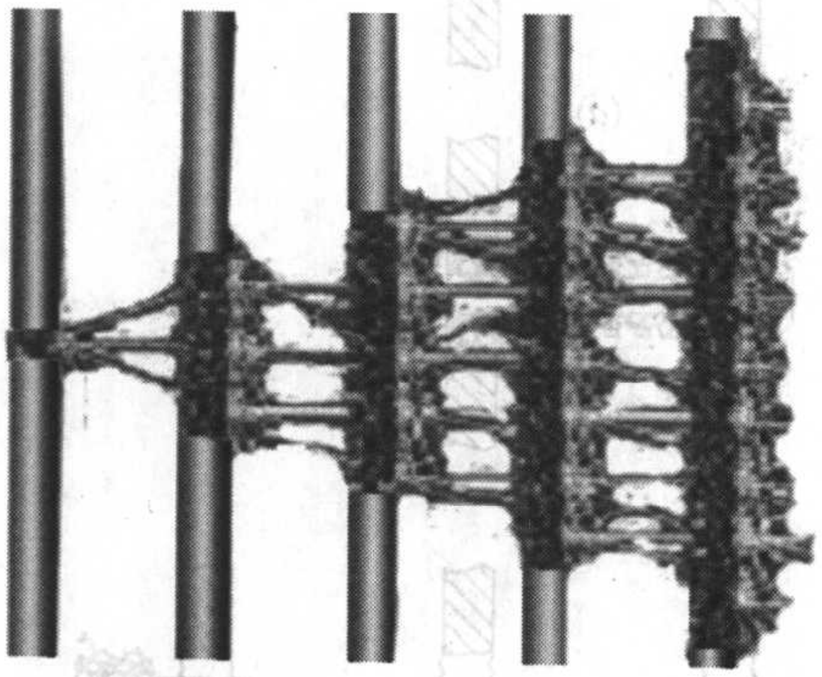


图 7－9　易碎穿甲弹穿甲效果示意图

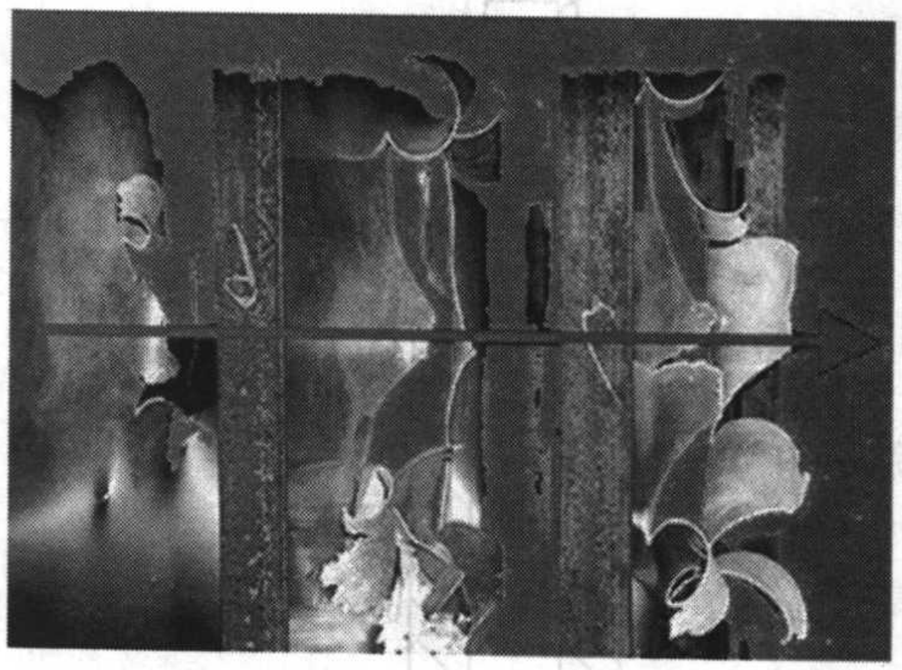


图 7－10　易碎弹穿甲试验照片

易碎穿甲弹有旋转稳定的易碎穿甲弹(FAP)和易碎脱壳穿甲弹(FAPDS) 两种。如图 7－11 所示为瑞士 20mm 全口径旋转稳定的易碎穿甲弹，该弹全长 168mm，质量 259g，弹丸质量 102g，初速 1040m/s，可以单发射击，也可以连射。

整个弹丸由弹体3、弹芯2、弹带4和塑料材料等组成，通过注塑方法将弹芯和弹体连结在一起，并赋予弹丸有利的气动外形。弹体采用钢质材料，保证膛内发射强度。弹体的内部车有环形凸台和环形沟槽，保证注塑材料与弹体的连接强度；弹体外刻有弹带槽，装配铜质弹带，赋予弹丸高速旋转，使其飞行稳定。弹芯采用钨合金材料，周向刻有4条环形槽，控制弹芯碰撞目标的破碎。

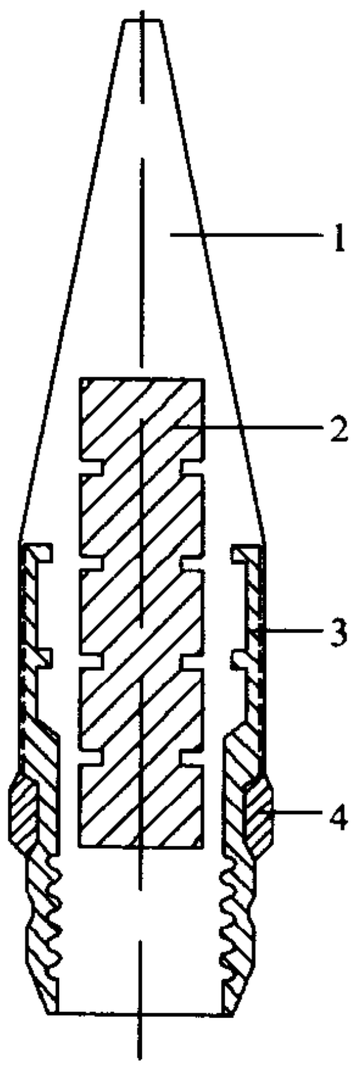


图7-11 瑞士20mm易碎穿甲结构示意图
1—塑料；2—弹芯；3—弹体；4—弹带。

对目标的作用过程：撞击目标时，易碎的钨合金弹芯首先穿透目标的外蒙皮，然后逐渐破碎，以辐射形式穿透后续的目标结构，高能量的破片云在目标内部造成严重毁伤，保证较高的毁伤概率。

该弹的特点是弹形好，弹丸飞行时间短，对目标的命中概率高；弹丸没有传统的高能炸药和引信，安全可靠；既可以对付硬目标，又可以对付软目标；撞到目标时，弹芯立即破碎，不易跳飞。

如图7-12所示为一个适宜于脱壳穿甲弹的易碎弹芯。该弹芯结构的特点是结构简单、容易制造，在完全破碎之前能够穿透多层目标结构。该弹芯由弹芯头1、弹芯体3、弹芯杆2和弹芯尾4等4部分构成。弹芯头采用延展性较好的穿甲材料，如钢、锆、钛、铝、钨合金等，主要是为了避免穿透目标第一层结构时弹芯体完全破碎。弹芯体由相对易碎和脆性钨加工而成；弹芯尾采用延展性好的钨、硬金属、钢、钨合金等；弹芯杆采用足够延展性的钨，其压缩强度与拉伸强度之比超过10～20。

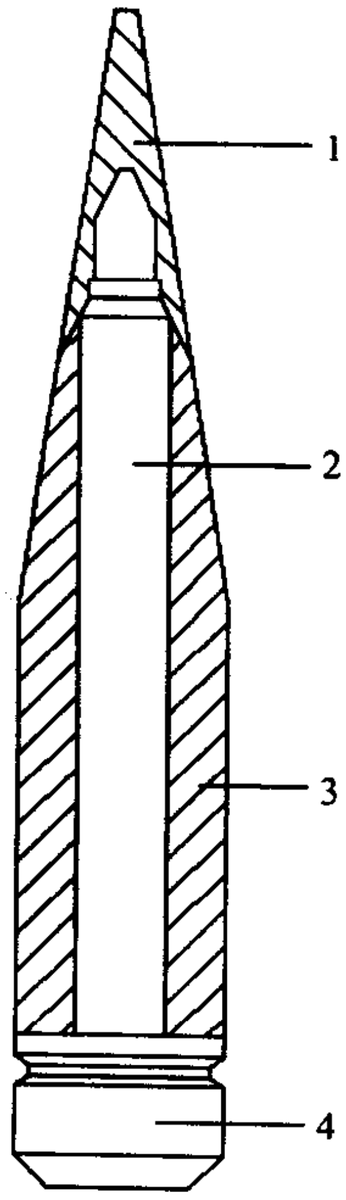


图7-12 脱壳穿甲弹弹芯
1—弹芯头；2—弹芯杆；3—弹芯体；4—弹芯尾。

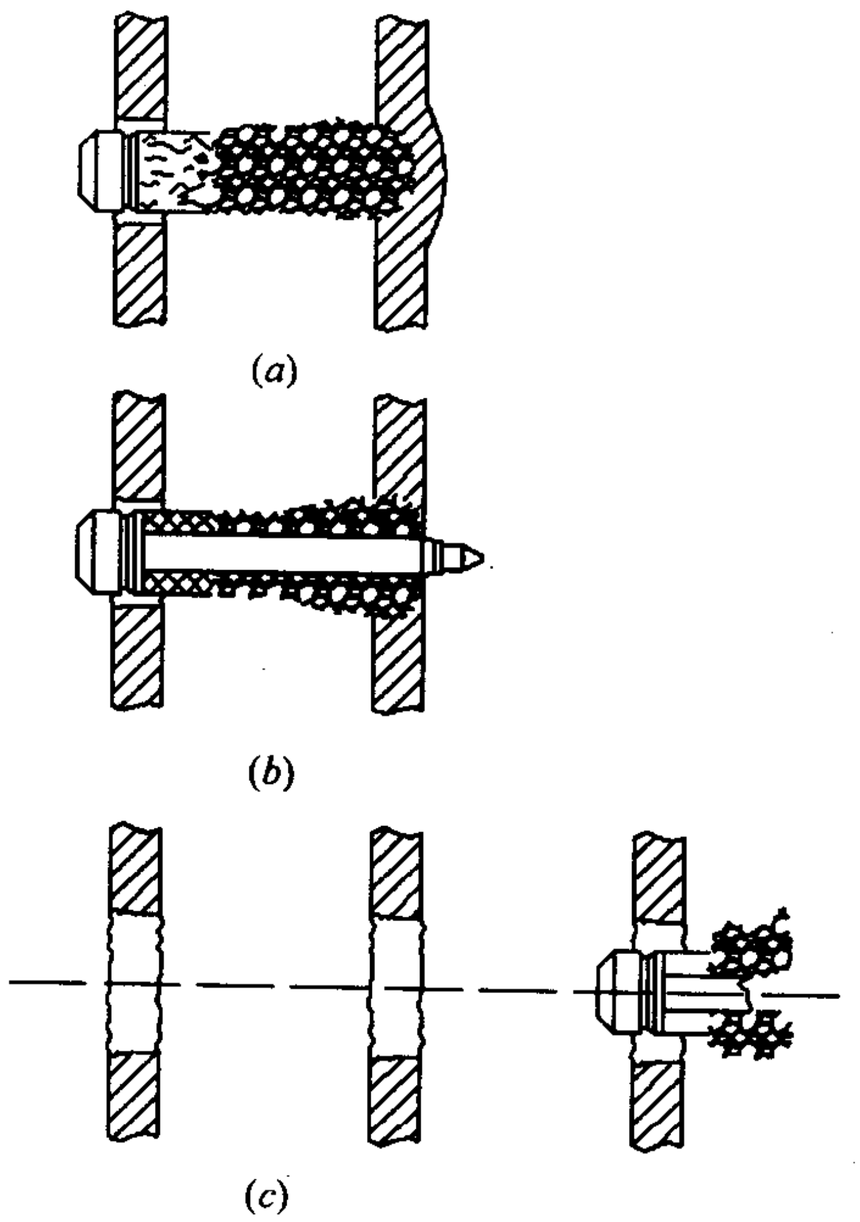


图7-13 易碎弹芯侵彻多层靶过程示意图

如图 7 – 13 所示，如果采用常规的易碎弹芯，弹芯撞击目标的第一层结构板时，完全破碎，对后续目标结构板的侵彻能力降低。如果采用这种弹芯结构，撞击目标第一层结构时，弹芯体破碎，能够继续侵彻下一层结构，如图 7 – 13(*a*)所示；图 7 – 13(*b*)、(*c*)为弹芯侵彻第二层结构后的情况，弹芯长度减小，但仍能继续向后侵彻。

7.5　多 功 能 弹

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，因而出现了前面所述的榴弹、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。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。这种思路下发展了多用途弹药，它可以大大简化装备体制。

多功能弹就是一弹同时具有多种功能，例如杀伤燃烧爆破弹、杀伤燃烧破甲弹、杀伤燃烧穿甲弹等。如图 7 – 14 所示是尼梦(NAMMO)公司开发的一种 30mm 口径多用途弹，该弹具有侵彻、破片杀伤、冲击波和燃烧等多种效应，质量 363g，炮口初速 1070m/s 。主要由弹体 4、弹带 2、风帽 5、炸药装药、燃烧装药、曳光管 1 和自毁装置 9 等组成。风帽为铝质材料。弹体为经过热处理的钢质材料，弹体内前面装填燃烧药，后面装填高能炸药。此外在铝质风帽内也装有燃烧剂，在风帽的燃烧剂和高能炸药之间有传燃序列。

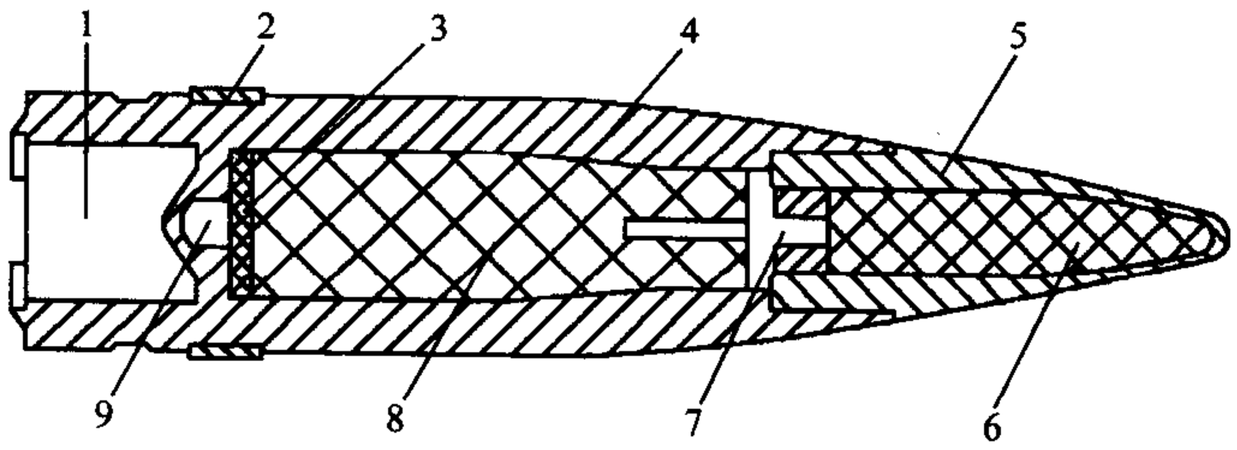


图 7 – 14　多用途弹结构示意图

1—曳光管；2—弹带；3—燃烧剂；4—弹体；5—风帽；6—燃烧剂；7—传燃药剂；8—炸药；9—自毁装置。

该弹的作用过程为：弹丸撞击目标时，装满燃烧剂的风帽快速变形，当燃烧剂达到引燃条件时开始燃烧，随后点燃高能炸药，使弹丸壳体破碎，形成大量的杀伤破片。弹丸的敏感性依赖于弹丸风帽的变形速度。

该弹的主要特点是：采用了不同的终点毁伤机理，可对付更多类型的目标，如固定翼飞机、直升机、舰船、无装甲车辆、轻型装甲车辆和建筑物，其费效比高。具有较强的侵彻能力(见图 7 – 15)和延期功能，冲击波、破片杀伤和燃烧等效应能够在目标内部发生，大大提高了对目标的毁伤能力。采用了无引信设计，没有采用传统的机械引信，而是采用燃烧序列提供对目标侵彻过程的延时，因此安全性较好。

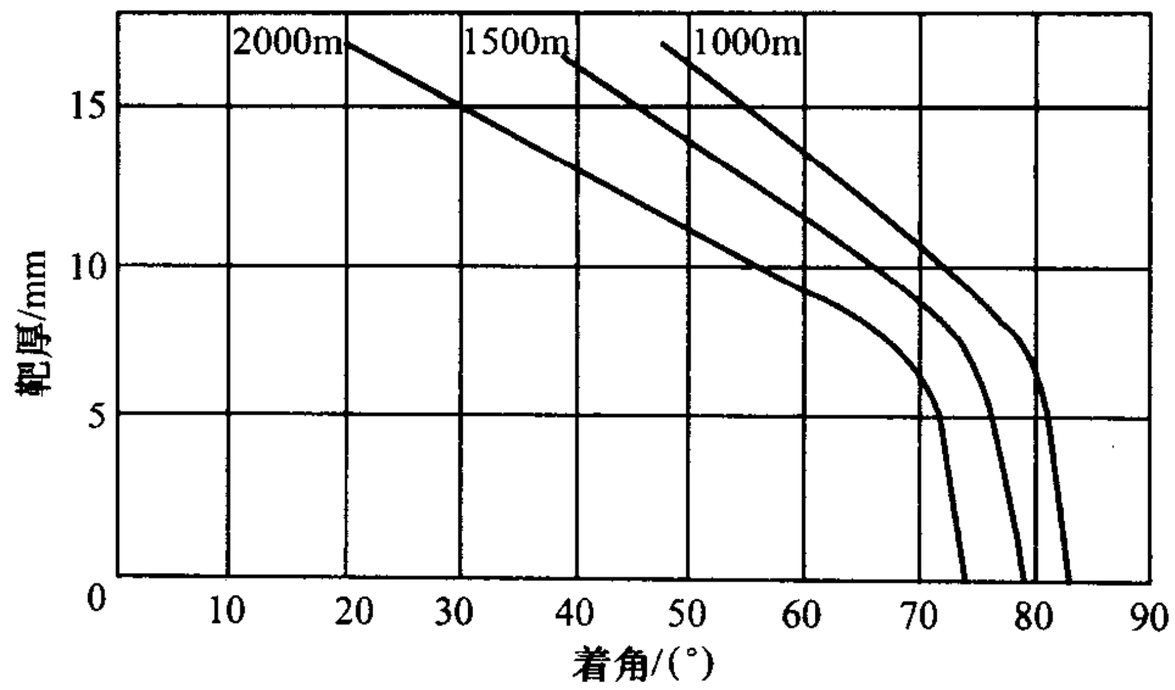


图 7－15　多功能弹对靶板侵彻能力曲线

还有一种小口径多功能弹药，结构比较新颖，将破甲技术应用于小口径弹药上，基本结构特点如下：

① 弹丸前部采用大锥角药型罩结构，命中目标时在炸药作用下形成爆炸成型弹丸(EFP)，穿透目标装甲防护。如以 35mm 弹药为背景的多用途弹，其爆炸成型弹丸可以穿透 40mm 钢板，对于一般空中目标的防护钢板是足够的。对于导弹目标，如果命中，战斗部还能引爆目标战斗部内的炸药装药。

② 采用了新颖的随进技术，在穿甲的同时，从穿孔内随进燃烧元素或杀伤元素，提高了目标内部的毁伤能力，同时也可提高对导弹战斗部装药的起爆能力。

③ 弹丸后部采用预制破片或预控破片结构，对周围目标起杀伤和爆破作用。

④ 弹丸炸药周围放有燃烧合金预制筒，提高该多用途弹对易燃目标的纵火能力。

⑤ 应用弹底机械引信或弹底电子引信，以保证弹头 EFP 的作用。

该弹的优点是穿甲威力不受弹丸速度的限制，依靠炸药爆炸的能量形成 EFP，保证了全射程上威力基本不变；实验表明，该弹种对混凝土目标也具有较大的威力，可以穿透一定厚度的混凝土墙，并能引起工事内部燃烧。

7.6　弹道修正弹

弹道修正弹是一种介于普通炮弹与导弹之间的弹丸。普通弹丸一旦发射后，其弹道由发射诸元决定，弹道不能再改变，这段时间内如目标飞行轨迹发生变化，就很难命中目标。而导弹是发射后全程进行控制的，但由于导弹结构复杂，价格昂贵，无法大量装备。弹道修正弹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，以减少弹着点误差，达到提高弹丸对目标的命中精度的一种低成本弹药。

弹道修正弹大都在常规弹丸的基础上改造而成，如图 7－16 所示为瑞典“崔尼提”40mm 弹道修正弹。该弹全称为“喷气控制弹道修正近炸引信预制破片弹”。弹的前部装有钨球预制破片，中间部分设有数个用于弹道修正的小喷孔，气源由小型燃气发生器产生；底部装有折叠式尾翼，用来降低弹丸的转速，弹底装有指令信号接收机。

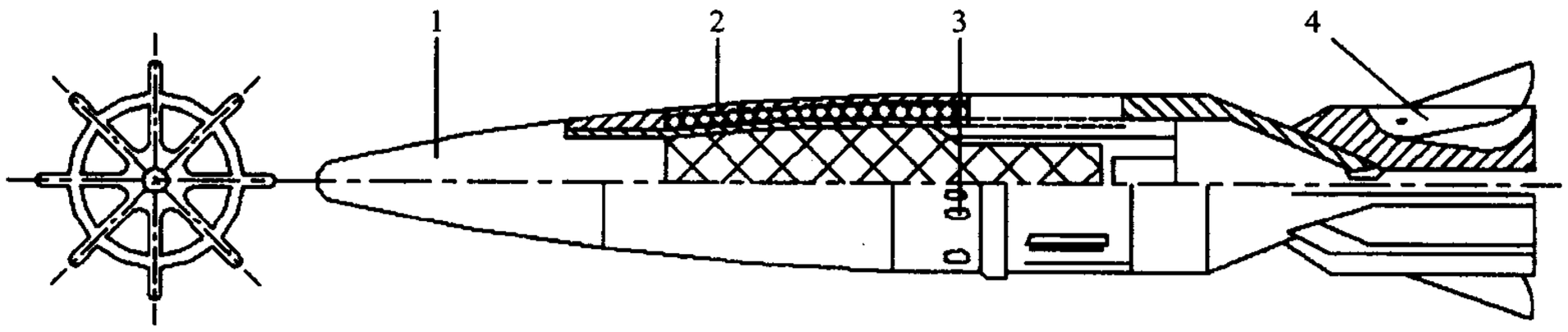


图 7－16　瑞典“崔尼提”40mm 弹道修正弹

1—引信；2—预制破片；3—小喷孔；4—尾翼。

工作原理如图 7－17 所示。弹丸发射后，火控系统的探测装置——雷达(或激光、电视、红外跟踪等系统)系统继续跟踪目标，不断测出目标飞行参数的变化值。火控计算机根据上述参数的变化，计算目标参数变化后的目标未来点，通过无线电发射机向弹丸发出修正指令信号。位于弹尾部的信号接收装置收到指令信号后，控制相应的燃气发生器喷气，产生的推力对原先弹道进行修正。该弹的修正速度为 15m/s，经过 5 次～6 次修正，总共可使弹丸横向位移 30m～50m。

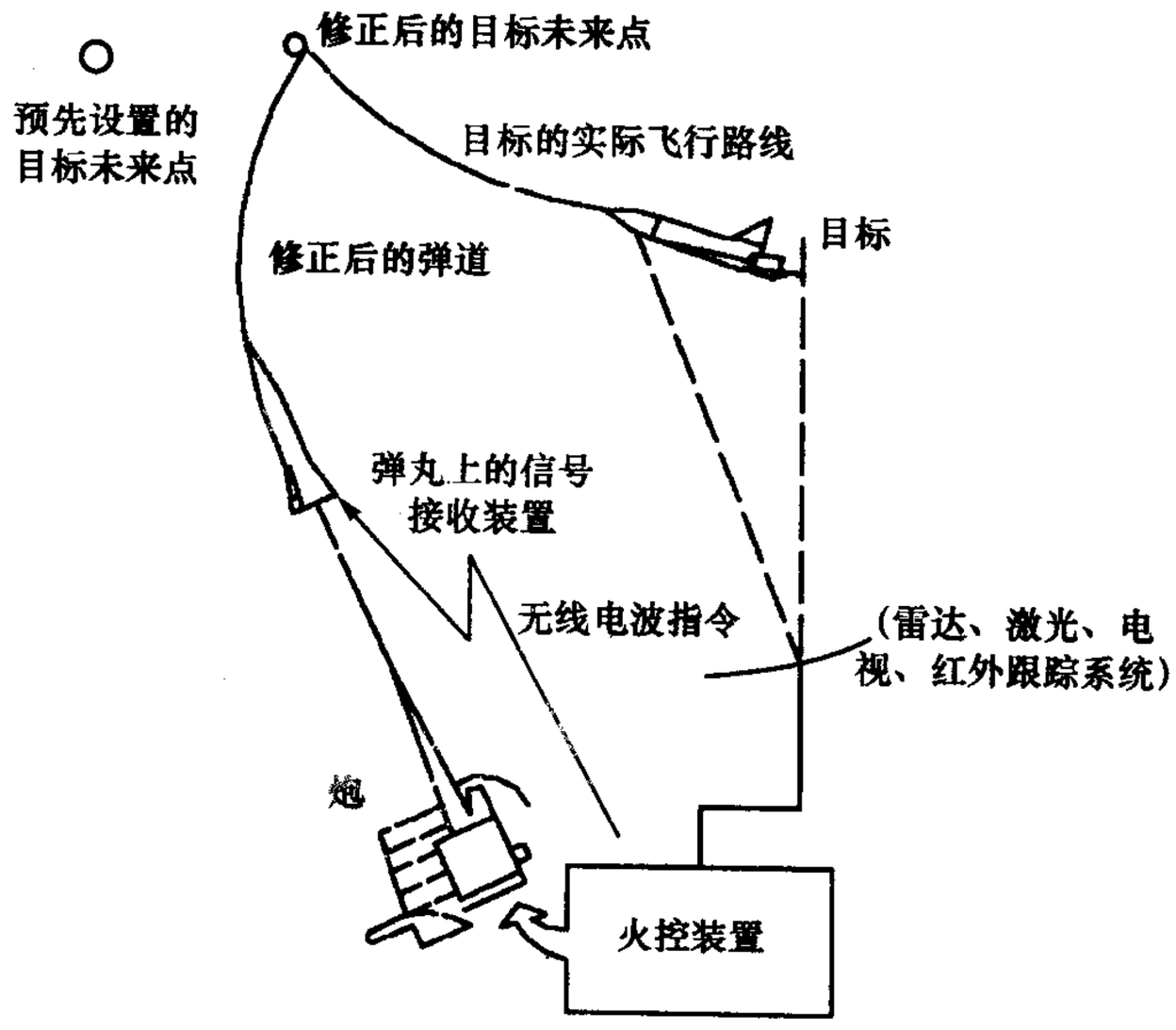


图 7－17　弹道修正弹的工作原理示意图

弹道修正执行机构是弹道修正弹的重要组成部分，通常采用脉冲矢量和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，是通过在弹丸质心附近呈环状分布的横向喷流机构实现修正的，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，在弹丸飞行过程中该装置能进行多次修正。这种修正执行机构的特点是体积和质量小，启动时间短，产生的能量大，结构简单，成本低。

(2) 气体修正执行机构

这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、活动围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。

弹道修正弹只是在弹道某一段作较小的修正,有些装置也只能一次使用,如小型发动机只能作用一次,而且精度也是有限的,这方面与导弹或者末制导炮弹是有区别的,但因为这种弹道修正弹结构相对比较简单,技术难度也小,因此容易在弹药上实现。

7.7 防空高炮弹药的发展

各国军事专家对地面防空体系的基本观点是:对高、中空目标,主要依靠地空导弹;对中、低空目标,以近程地空导弹和高射炮混合配备;对低空和超低空目标,则以高射炮为主,近程地空导弹为辅。

目前国外在防空反导弹药的发展中采取的主要措施有:

① 采用弹道修正技术提高高炮弹药的性能。弹道修正技术可以大幅度提高高炮弹药的命中精度和毁伤效能,是近年来各国弹药技术的发展重点之一。另外,国外正在开发小口径的制导弹药,如美国空军正在资助一项"管射适应性弹药"的研究计划,其目标是给空军的机载 20mm 航炮研制一种全新的制导弹药。主要思想是在导引头内部均匀地设置几根压电陶瓷杆,当受到外来的压力时,这些压电陶瓷杆的长度会发生细微变化,这样便能够驱动弹头改变飞行方向。试验表明,该导引头最多可在各个方向上实现 0.12°的偏转,其频率可达 198Hz。

② 利用近炸引信和预制破片弹药来提高小口径弹药的作战效能。这种技术观点认为高炮弹药应利用其高射速性能,迅速在空中目标的周围形成一个弹幕,再利用可编程的近炸引信和大量预制破片对目标实施有效攻击。如瑞典的博福斯公司为特里尼蒂武器系统研制的 40mm 可编程近炸引信预制破片弹(简称 3P—HV 弹),可以在发射前对每发弹的引信进行预编程,引信有 6 种方式可供选择,据称这种弹药的毁伤概率比原来 40mmL/70 预制破片弹提高了 50%。

③ 研制新概念弹药。为提高小口径高炮系统的综合作战效能,发达国家一直在进行各种新概念弹药的研究和开发工作,除了前面介绍的几种弹药外,美国格鲁门宇航公司正在研制 25mm 液体发射药炮弹;美国赫尔库列斯公司正在研制 30mm 嵌入式炮弹(埋头弹)。

④ 走弹炮一体化道路。小口径高炮弹药的突出优点是射程高,弹丸密度大;其不足之处是弹丸威力较小,单发毁伤概率较低,对 3000m 以上的空中目标无能为力。而防空导弹则相反,其优点是射程远,射高较大,弹丸单发命中概率与毁伤概率都较高;缺点是对超低空目标有一定死区,尤其对灵活飞行的武装直升机只好望空兴叹。因此,将小口径高炮与防空导弹结合起来使用,组成弹炮合一的防空系统是十分有效的。目前,这种武器系统不仅在西方发达国家(如美国、瑞士、法国、俄罗斯等)装备,也在发展中国家(如埃及、印度等)装备。表 7-5 为国外 4 种弹炮合一武器系统简介。

表 7-5　国外弹炮合一武器系统介绍

型　号		防空卫士/麻雀	尼罗河-23	阿达茨	2C6M
国别		瑞士	埃及	美国/瑞士	俄罗斯
类型		牵引式	自行式 三位一体	自行式 四位一体	自行式 四位一体
导弹	型号	麻雀	仿苏“箭-2M”	阿达茨	SA-19
	数量	4 联装 8 枚	6 枚	4 联装 8 枚	4 联装 8 枚
	有效射程/m	12000	500~4400	1000~8000	2400~8000
	有效射高/m	5000	50~2400	5000	15~3500
火炮	型号	厄利空	仿苏“3y-23-2”	M242	2A38M
	口径/mm	35	23	25	30
	管数	2	2	1	2×2
	有效射程/m	4000	2500	3000	4000
	有效射高/m	100~2500	1500		3000
	最大射速/发·min^{-1}	2×550	2×(850~1000)	500	4000~5000

第 8 章　特种弹和软杀伤弹药

为了完成各种战斗任务，在各种火炮上除了配备主用弹外，还配备了不同功能的特种弹。主用弹是用于直接杀伤和摧毁目标，而特种弹则是靠其所产生的特种效应来完成特殊战斗任务。它包括形成烟幕、指示目标、战场照明、政治攻势、空中侦察、电子干扰等任务。照明弹、发烟弹、宣传弹、信号弹、诱饵弹、空中电视摄像、侦察用弹、实施电子干扰用弹、航空座椅弹射弹等都属于特种弹。燃烧弹属于主用弹，但其结构上和特种弹相似，所以将燃烧弹列入本章加以介绍。

与主用弹相比，特种弹在配备上、结构上以及性能上均有其特点，主要表现在：

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小。

② 结构复杂，制造工艺特殊，成本高——除烟幕弹外，其它传统的特种弹都采用抛射药和推板等结构，以便将弹丸内的药剂或宣传品推出。为了使推出时不致损坏，一般采用底螺和瓦形板等。这样使弹丸结构复杂，装填物制备工艺繁琐，要求严格。

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都是烟火混合物、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。

为了在勤务处理和使用时便于识别，在特种弹的弹头部涂有颜色识别带，以示区别，如照明弹为白色；燃烧弹为红色；发烟弹为黑色；宣传弹为黄色。

此外，随着军事技术的发展及军事理论的变革，战场上出现了一类软杀伤弹药，它们针对目标最脆弱的环节实施特殊的手段，使之失效或瘫痪，如碳纤维弹，强光致盲弹。本章最后对此类弹药进行简单介绍。

8.1　照 明 弹

8.1.1　用途和要求

照明弹主要用于夜间作战时照明敌方区域或交战区域，以便观察敌情和射击效果。

照明弹作为战场上的一种照明手段，对于夜间各种进攻和防御战术的实施都起着重要的作用。当前虽然出现了各种红外、微光等夜视器材，但由于它们在战场上的使用还受

技术、成本等的限制，而不能取代照明弹。相反，目前国内外的各种照明弹仍在不断地改进并装备部队。

照明弹是在弹体中装有照明炬和吊伞等部件，在空中按预定时间将其抛出，点燃后的照明炬利用其燃烧发光照亮地面，并靠吊伞来减小照明炬下降的速度，以保证在一定范围内保持一定的照明时间。对照明弹有下列要求：

① 发光强度要大，有合理的光谱范围——具有较大的发光强度（简称光强度），才能在更大的范围内识别各种目标（光照度一般需要 1lx ~ 11 lx）。目前国外照明弹的光强度范围一般为 $(1.8\times10^5 \sim 2\times10^6)$cd。

对于人眼观察来说，不仅要求必要的照度，而且还要有合适的光谱。一般来说白光要好些，但由于黄光的透射率高，因此，在同样的光度下使用黄光照明弹，地面上的照度明显地高于白光照明弹。再加上目前的黄光药剂在等重的条件下要比白光药剂的光强度大，燃烧时间长，所以目前国外已普遍选用黄光。

② 要求足够长的发光时间——为了使观察者有足够的时间，去搜索并发现和识别目标，一般照明弹的有效照明时间不得少于 20s ~ 25s。目前国外照明弹照明时间一般在 30s ~ 120s。

③ 下降速度要小——吊伞、照明炬系统在空中的下降速度，不但直接影响照明时间，而且还影响着对地面目标照明效果的稳定性，下降速度越小，照明效果越好。目前国外一般在 3m/s ~ 5m/s。

④ 作用可靠——要求照明弹空中点火后，弹体内的装填物能可靠地抛出；吊伞张开要适时、可靠；照明炬可靠燃烧；药剂不脱落等。这些都是保证照明效果的主要环节。

8.1.2　结构特点

我国在 82mm、100mm、120mm 迫击炮和中口径以上主要火炮上几乎均装备有照明弹。下面以 122mm 榴弹炮、120mm 迫击炮照明弹为例，说明前膛炮及后膛炮照明弹的主要结构特点。

8.1.2.1　122mm 榴弹炮照明弹

我国 54 式 122mm 榴弹炮用照明弹结构如图 8 – 1 所示。它是由引信 1、弹体 4、底螺 10、照明炬 5、吊伞系统和抛射系统等组成。

弹丸出炮口后，到预定时间，引信作用，点燃抛射药。抛射药的火焰通过小孔，点燃照明剂。同时，抛射药燃烧生成的高温、高压气体，通过推板、照明炬和支承瓦，切断底螺螺纹，将底螺、吊伞、照明炬、支承瓦和推板等零件从弹体抛出，后抛相对速度约为 80m/s。被抛出的照明炬，由于吊伞的张开，以一定的速度均匀缓慢地下降。122mm 榴弹炮照明弹弹丸质量为 21.9kg，初速 496m/s。这种照明弹在飞离炮口 8000m 以外、高度为 500m 左右时开始作用，照明直径约为 1000m。照明时间约为 25s 左右，吊伞的下降速度约为 10m/s，照明炬发光强度约 40×10^4cd。

照明弹的各部分构造如下：

① 时 – 1 式引信为钟表时间点火引信，最长作用时间为 80s 。

② 弹体的外形基本上与 122mm 榴弹相似，这样可以使其与榴弹的弹道性能相近。

在生产时也可采用与榴弹相似的工艺设备，但内腔与榴弹差别很大。首先是增大了内膛体积，以利于多装照明剂。其次，为了便于照明炬系统从腔内推出，内腔应当做成圆锥形。内腔前面有一小圆锥部作为抛射药室，内腔底部为开口的，并制有数扣左旋的细牙螺纹，与底螺相连接。

螺纹扣数的多少，对抛射压力有很大的影响。扣数多时，抛射压力过高，会影响推板、照明炬、支承瓦的抛射强度；扣数太少，则无法保证结合强度和密封性。螺纹扣数要根据抛射药的成分、质量等通过试验决定，一般为 3 扣 ~ 4 扣左右。

因弹体壁比较薄，为了保证弹带部分的发射强度，弹带尽量靠近弹底，这样弹底可以起一定的支撑作用，可改善弹体的强度。另外，为了保证弹体的发射强度，弹体材料选用优质 60 钢。

③ 底螺由 60 号钢制成，用螺纹与弹体连接。照明弹在抛射时，由于弹丸存速较大，而后抛速度较小，所以吊伞系统及底螺等零件抛出后，仍具有向前的速度。底螺因质量大，保持速度的能力高，会很快赶上吊伞系统，而将照明系统撞坏。为了使底螺迅速离开弹道，不致出现上述现象，在其底部的一侧钻有两个比较深的偏心盲孔，使弹底具有质量偏心。空抛时，很快偏离弹道，不致干扰吊伞的作用。

④ 照明炬由照明炬壳、照明药剂、护药板等组成，如图 8 - 2 所示。照明炬壳为一圆柱形钢壳，用 20 号钢冷冲压而成，底部较厚，侧面壁较薄，底部中央有一螺孔，用螺栓与吊伞系统连接。照明炬在装配时，外面缠上纸条，以防在弹腔中松动。

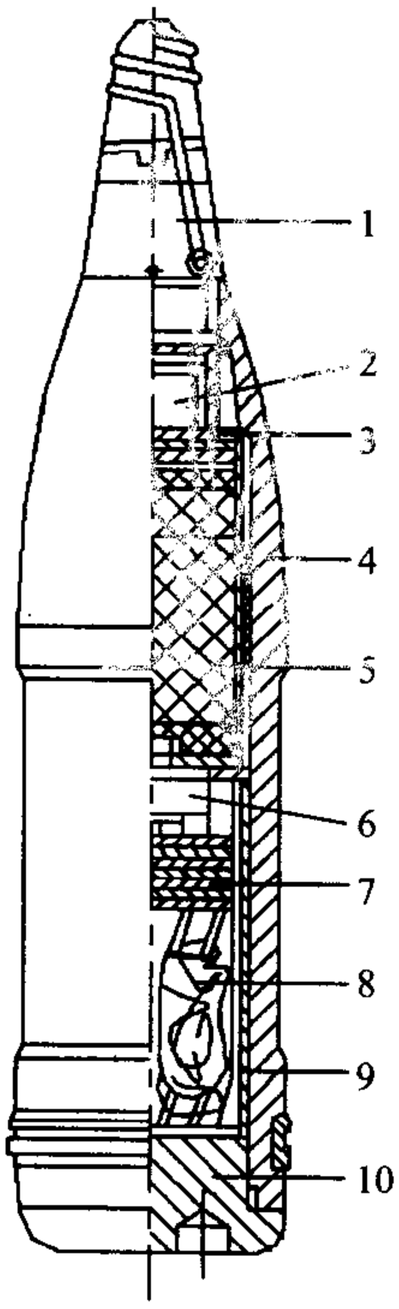


图 8 - 1　54 式 122mm 榴弹炮用照明弹

1—引信；2—抛射药；3—推板；4—弹体；5—照明炬；6—轴承合件；7—钢丝绳；8—吊伞；9—支撑瓦；10—底螺。

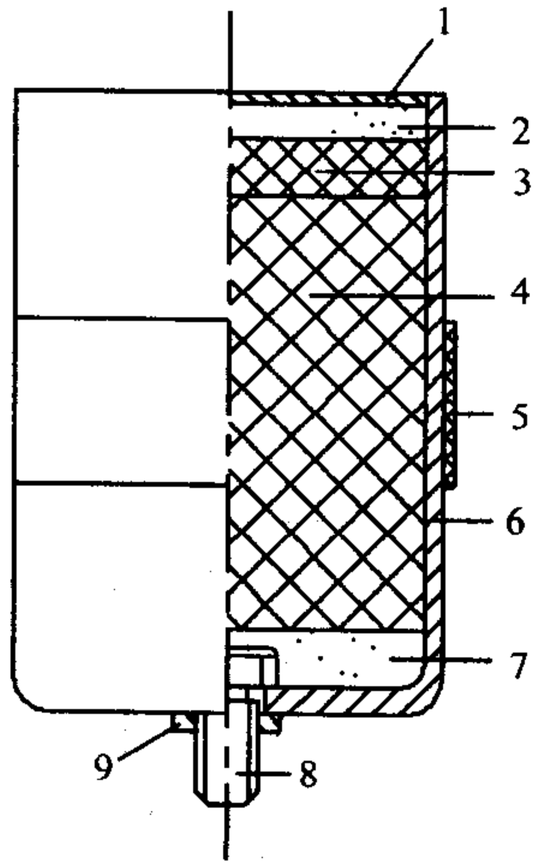


图 8 - 2　照明炬结构

1—护药板；2—引燃药；3—过渡药；4—基本药；5—缠纸；6—壳体；7—中性药；8—螺栓；9—螺帽。

照明炬壳内压有照明剂。为了使照明剂可靠点燃，在照明剂上部装有引燃药和过渡药。为了压药和发射时起缓冲作用及照明炬燃烧时起隔热作用，在照明剂底部还压有中性药，中性药是石棉、松香、锭子油等的机械混合物，不起燃烧作用。为了避免药剂在点燃压力作用下破裂，在引燃药的表面，有的还压有铝制护药板。

照明剂是由金属可燃物、氧化剂和粘合剂组成。目前，我国的照明弹金属可燃物一般都采用镁粉，因为镁粉燃烧时的发光强度大。氧化物主要用以供给燃烧时所需要的氧，同时控制光谱特性，常用硝酸钡(白色)和硝酸钠(黄色)两种。药剂中还要加入一定数量的粘合剂，一方面是使药剂容易混合均匀并保证药剂的强度；另一方面起缓燃作用，保证照明炬的燃烧时间。常用的粘合剂有天然干性油、松香、虫胶、酚醛树脂等。应当指出，药剂中加入粘合剂，将影响发光强度，所以粘合剂一般应少于 5%。

为了改善照明剂性能，需要在照明剂中加入少量的附加物。在常用的附加物中有能够改善火焰光谱能量分布的氟硅酸钠、氟铝酸钠；有增加气相产物并由此增大火焰面积的六次甲基四胺；还有增长燃烧时间的氯化聚醚等。照明炬成分及性能可参看表 8－1 所列。

表 8－1　照明剂成分

照明剂成分及配比/(%)						照明炬性能	
硝酸钡	镁粉	清油	石墨	氯化聚醚	氟铝酸钠	平均光强度 /10^4cd	平均燃烧时间/s
55	39	4	2			67.1	48.4
47	43	4	2	2	2	75.3	50.7
54	40	4	2			72.5	54.6
51	38	4	2		5	65.9	58.6

照明剂因不易被抛射药气体直接点燃，所以在照明剂上还压有少量的引燃药和过渡药。引燃药(或称点火药)为硝酸钾 82%、镁粉 3%和酚醛树脂 15%的混合物。过渡药为引燃药和基本药按 1:1 混合而成。

⑤ 为了降低照明炬抛出后的下降速度，以保证一定的照明时间，采用吊伞系统，使照明炬缓慢下降。

吊伞系统由伞衣、伞绳、钢丝绳和轴承合件等组成。伞衣由丝织品或尼龙织品制成，在上面缝有布条或尼龙带作为加强带，空中张开后成半球形。为了减小开伞时的空气动力负荷，提高其下降的稳定性，在吊伞中央开有一通气孔。

开伞动载约有 1000N～2000N。所以，伞绳是用高强度丝绳或尼龙绳制作，一端与伞衣上的加强带相缝合；另一端通过衬环与钢丝绳相连。钢丝绳的长度应保证伞衣充分张开。如钢丝绳太短，伞衣张开不充分，下降速度加快，同时伞衣受照明炬熏烤严重。钢丝绳数量过少时，会使吊伞强度降低，伞开不圆，下降不稳定；过多则使吊伞系统质量和体积增加，折叠和装填困难。一般取 10 根或 12 根为宜。

由于照明弹在空中抛出时仍在高速旋转(1000r/min 以上)，所以抛出的照明炬也是高速旋转的。为了防止由于高速旋转使钢丝绳和伞衣互相缠绕，在照明炬和钢丝绳的连接处有一轴承合件，保证它们之间可以相对转动。轴承合件由止推轴承 3、螺套 2、弹簧和螺栓 6 等组成，其结构形式如图 8－3 所示。

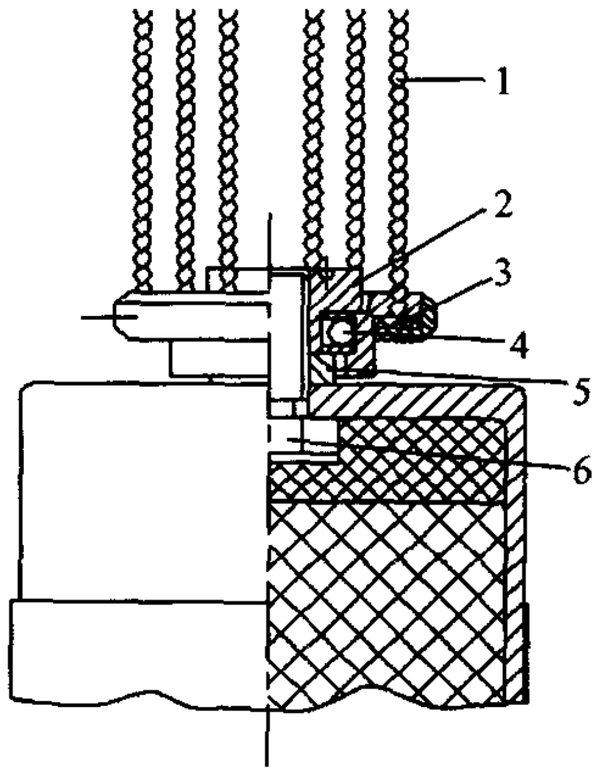


图 8-3 轴承合件

1—钢绳；2—螺套；3—毡垫；4—止推轴承；5—螺帽；6—螺栓。

⑥ 弹体内腔中除吊伞、照明炬系统外，其余均为抛射系统，包括抛射药、推板、支承瓦等。其作用是将吊伞、照明炬系统可靠地抛出，不被损坏，并且把照明炬点燃。

抛射药为 2 号黑药，其燃烧后的气体压力推动推板和点燃照明炬，并通过支承瓦作用在弹底上，将弹底螺纹剪断，把弹体内装填物抛出。抛射药量的多少对弹体内部零件的强度等有影响，所以不宜过多，可使抛射压力在 30MPa ~ 50MPa 的范围内。122mm 榴弹炮照明弹内装黑火药 60g。

推板和支承瓦均用优质钢制成。发射时，照明炬的惯性力作用在支承瓦上，保护吊伞系统发射时不损坏；空抛时，抛射药的压力也作用于支承瓦上，保护吊伞系统不致破坏。推板上钻有 3 个 ~ 4 个直径约 1mm 的小孔，作为传火孔，以便使黑火药火焰通过小孔点燃照明炬。但孔径不宜过大，否则对药面的冲击过大，会引起药剂的崩裂。推板直径一般要比弹体内膛直径小 0.1mm ~ 0.3mm，以保证推板能顺利地抛出。推板下面要粘上毡垫和纸圈，以免火药气体窜入吊伞处将伞烧坏，同时使整个装填物压紧不动。

8.1.2.2 120mm 迫击炮照明弹

迫击炮照明弹外形和大容积迫击炮弹相似。内部装填物则与线膛火炮照明弹相似，也是由引信、弹体、稳定装置、吊伞和照明炬系统以及抛射系统等组成，如图 8-4 所示。

下面介绍其特点：

① 迫击炮照明弹采用药盘式时间点火引信，我国都采用时 -3 式引信。

② 迫击炮照明弹的吊伞系统仅有一根钢丝绳，故体积比较小，容易装填。其吊伞折叠后，先装入一个筒状伞袋内，再装入弹体。伞袋底部有一连接绳与下弹身内的驻螺相连，抛射时，下弹身和吊伞、照明炬一同抛出，但由于吊伞的阻力加速度大，故下弹身越过伞包向前飞行，直到将伞袋连接绳拉紧，把伞袋拉脱，使吊伞充气张开。

③ 迫击炮照明弹不旋转，抛出后各零件的分离是靠各零件的质量、形状不一致、飞行中空气阻力不同和空气动力偏心实现的。另外，抛射弹体的振动，也有助于各零件的分离。

④ 迫击炮照明弹照明炬的发光强度约 42×10^4cd，照明时间约 33s。

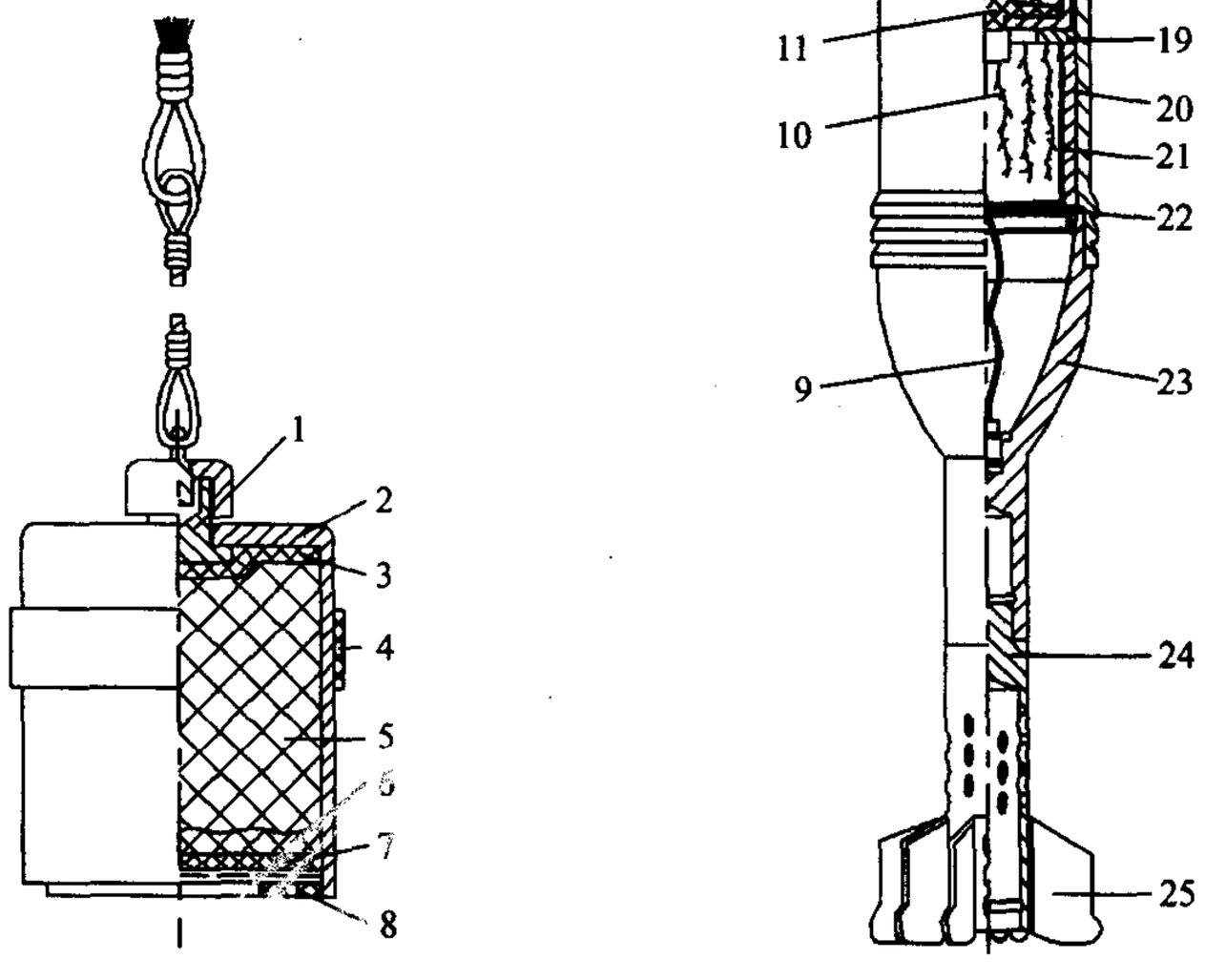


图 8－4　120mm 迫击炮照明弹

1—连接螺；2—照明炬壳体；3—中性药；4—纸筒；5—照明剂；6—过渡药 ；7—引燃药；8—封口纸圈；9—伞袋连接绳；10—吊伞；11—中性药；12—基本药；13—纸垫；14—防潮螺塞；15—抛射药；16—推板；17—上弹体；18—照明炬壳体；19—等份圆环；20—支掌瓦；21—伞袋；22—挡板；23—下弹体；24—尾管；25—尾翼。

8.1.3　照明弹使用中应注意的问题

照明弹在使用时，应当注意下列问题：

① 用照明弹射击时，应当用该射程的最小号装药，也就是尽量使初速小，进而减小终点速度。另外，对于一定弹丸有一个最小爆距的限制，如 122mm 榴弹炮照明弹的最小爆距应为 3000m，即不得在这个射程以内使用，这也是为了使终点存速不致过大。因为当终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地张开，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。一般应使终点的存速不大于 230m/s。

② 照明弹的爆点高度也应考虑。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着地，减少了照明时间，有的甚至吊伞未张开就已落地。所以对每一种照明弹都有一最有利的爆高，此时照明效果最好。如 122mm 榴照明弹约在 500m 高空作用最为有利。

爆高受射弹的散布与引信作用时间的散布的影响。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时使用。

③ 照明弹的作用好坏，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，而视距往往和气象条件、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应用照明弹。风速太大，会使吊伞很快飞离目标区，起不到应有的照明效果。所以，当风速大于 10m/s 时，也不宜使用照明弹。

8.1.4 存在的问题及发展方向

目前我国照明弹存在的主要问题是，吊伞照明炬系统下降速度快、光度低、燃烧时间短、线膛炮照明弹失效率偏高等。从目前国际上的发展趋势看当前的发展方向应当是：

① 采用黄光照明剂——其优点前面已经讲到，主要问题是燃烧时间和光度随转速的增大均有明显下降，因此必须采取相应的减旋措施。

② 降低伞、炬系统下降速度——为了使照明炬在有利高度（照度足够、区域最大）附近滞留时间延长，降低伞、炬系统下降速度是很有益的。为此，需要采用高强度、低密度的各种零件材料，尽可能增大伞室容积。

③ 充分利用迫击炮照明弹的下弹体内腔容积——迫击炮弹下弹体内腔容积约占整个内腔容积的 1/4，如利用起来对提高照明效应、减小下降速度等都是很有利的。

④ 采用二次开伞、二次抛射结构——二次开伞是使开伞的过程分为两个阶段，先将伞打开到一定程度，使伞炬系统减速、减旋，间隔一定时间后再让伞充分张开。这样可以减小开伞动载。

二次抛射结构是在弹体内再增加一层抛射筒。弹丸在空中点火后，首先将抛射筒向后抛出。悬挂抛射筒的副伞打开，待其经过一段减速、减旋后，伞炬系统再从抛射筒中向后抛出（第二次抛射）。这对减小下降速度以及采用黄光照明剂都是有利的。目前国外已经用得较多，如美 155mm 榴弹炮照明弹 M485A、瑞典 105mm 榴弹炮照明弹 MONA 等，均属此类结构。

⑤ 与榴弹通用射表——照明弹与榴弹射表能够通用对勤务处理、部队使用等都会提供很大的方便，这就要求照明弹与榴弹的质量相等，并且它们的外弹道特性也相同。

上述是针对可见光照明弹而言的，由于隐身技术及夜视装备的应用，照明的范畴已大大拓宽，比如红外照明弹。夜视技术在夜间作战中，已被广泛地应用。在双方的交战中，谁能首先发现对方，谁就能掌握主动权。提高夜视器材的可视距离是首先发现目标的有效途径。提高夜视器材的可视距离有两条途径：一是不断改进红外热像仪的性能，以提高可视距离；二是通过增大目标的辐照度来提高夜视器材的可视距离。红外照明弹是增大目标辐照度的最有效途径。目前国外研制的红外照明弹，在没有红外矩的情况下，可使主动红外热像仪的可视距离提高 4 倍以上，可使微光夜视仪的可视距离提高 3 倍以上。另外，装备红外热像仪的主战坦克上一般都配有红外探照灯，以提高可视距离。但是这种方法容易暴露自己，易遭红外寻的导弹的攻击，同时提高的可视距离也有限。

红外照明弹可由专用的发射装置或火炮、火箭发射，可以在地面发射，也可在直升机上发射。当红外照明弹飞至目标地域上空时，点燃红外照明剂，增大被观测目标的辐照度，不但可提高夜视器材的可视距离，而且可提高观察效果、确定目标位置、进行射击或修正射击。小口径或手持发射的红外照明弹，射程几百米，燃烧时间 1min 左右，空投的红外照明弹，燃烧时间可达 6min。

8.2　发 烟 弹

8.2.1　用途和要求

发烟弹也称烟幕弹，是特种弹中应用较多的一种，主要配用于中口径以上的火炮和迫击炮上。其用途是在敌阵地上施放烟幕，用以迷盲敌人的观察所、指挥所、炮兵阵地和火力点等，以影响其战斗力。发烟弹也可用于试射、指示目标、发信号以及确定目标区的风速、风向等。黄磷发烟弹也有一定的纵火作用。

发烟弹在爆炸后，能迅速形成大量的固体和液体微粒，悬浮在空气中，形成一团烟云（一般是白色）。它能使从目标反射出来的光线在通过雾团时发生反射，致使景物模糊，以致无法辨认，起到遮蔽作用。

可以作为发烟剂的物质比较多，在发烟弹中应用过的有黄磷、四氯化锡、三氧化硫、氯磺酸等。而目前我国实际应用中，均装填黄磷。这是因为黄磷成烟速度快，烟云浓密，遮蔽能力强，原料比较丰富，并有燃烧能力。

从战术要求出发，发烟弹应当满足下列要求：

① 射程和射击精度应与榴弹接近——为了在整个战术纵深内都能够使用，要求发烟弹有足够的射程，弹形也应是远射型的。发烟弹的单发发烟能力是很有限的。因此，为了用较少数量的弹药构成具有一定遮蔽能力的烟幕，以及为了准确地指示目标，发烟弹的散布不能太大，最好和榴弹一致，或者接近于榴弹。

② 发烟能力强，有较大的遮蔽能力——发烟弹应在目标区迅速形成烟幕，烟云应浓密、稳定，烟云要有一定的持续时间，也就是悬浮于空气中的微粒不要很快飞散、下沉或上升。

③ 密封可靠，长期储存和勤务处理安全——黄磷具有自燃性，而且有毒，熔点又比较低，在高温下成为液体，如从弹体的缝隙处漏出，轻者冒烟，重者起火。所以对黄磷发烟弹应特别注意其密封性，在接合部分应有严密的密封装置，在生产中要逐发检查在高温下（70℃～80℃）的密封情况。

8.2.2　结构特点

8.2.2.1　85mm 加农炮发烟弹

我国目前各种口径后膛炮所配用的发烟弹，其结构基本一致，均由弹体 4、发烟剂（黄磷）5、扩爆管 2、炸药柱和引信 1 等组成。下面介绍 85mm 加农炮发烟弹（见图 8－5）的构造特点。

85mm 加农炮发烟弹的主要技术诸元为：

弹丸质量/kg	8.87
初速/$m \cdot s^{-1}$	645
扩爆药质量/kg	0.102
发烟剂（黄磷）质量/kg	0.562

产生烟幕尺寸

正面/m	12～15
高度/m	18～22
烟幕保持时间/s	0～25

(1) 弹体

其外形基本上和榴弹一致,以保证发烟弹和榴弹的外弹道性能相近。弹体口部螺纹是和扩爆管相配合的。发烟弹的密封很重要,因此其螺纹加工精度要求高一些,中心线的偏差要求严,弹体口部要车一凹槽,以便容纳密封铅圈。

(2) 发烟剂

一般都采用黄磷作为发烟剂。黄磷是一种蜡状固体,密度为1730kg/m^3,其熔点为44℃。黄磷在空气中会慢慢地氧化,以致自燃,因此平时必须保存在水中。将黄磷装入弹体,一般是用液态注装,即将黄磷熔化,再装入弹体,装填时不能与空气接触。目前工厂均采用装磷机完全密封装填,因而操作条件好,安全可靠。

炸药爆炸时黄磷被粉碎成许多细小微粒,分散在空气中。这些微粒很快在空气中发生自燃,生成磷酸酐 P_2O_5,其中一部分磷酸酐在空气中迅速聚成白色的烟雾,另一部分则与空气中的水分反应生成偏磷酸 HPO_3、焦磷酸 $H_4P_2O_7$ 或正磷酸 H_3PO_4,它们同样也迅速形成白色烟云。其化学反应式如下:

$$4P + 5O_2 \rightarrow 2P_2O_5$$

$$P_2O_5 + 3H_2O \rightarrow 2H_3PO_4$$

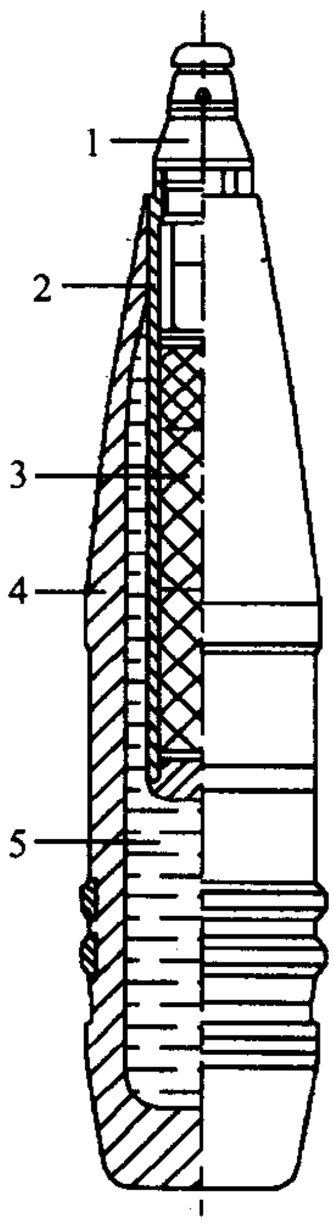


图 8-5 85mm 加农炮发烟弹

1—引信;2—扩爆管;3—炸药;4—弹体;5—发烟剂(黄磷)。

黄磷作为发烟剂、其优点除了成烟迅速、遮蔽能力强外,还因为黄磷在空气中燃烧时会产生火焰,因此具有一定的引燃作用。所以,有些国家将黄磷发烟弹兼作燃烧弹使用。另外,黄磷有毒,对人的皮肤有强烈的烧伤作用,并且伤口不易治愈,因此黄磷发烟弹还兼有燃烧和杀伤作用。

发烟弹中黄磷的装填量直接影响其烟云大小与密度,通常装填量大,烟云就大且密。实际上其装填系数一般在15%以下,主要是考虑到黄磷较多时生成热也多,使烟云迅速上升,反而使烟云的利用率下降。

为了防止高温时黄磷膨胀而从缝隙中漏出,在装填黄磷时,不应装满,应留出弹体容积3%～5%的空间。

(3) 扩爆管

扩爆管内装有炸药,用以将弹体炸开。扩爆管一般用钢材车制而成,其长度视装填药量和弹体炸开情况而定,一般为药室全长的1/2～1/3,最长不超过弹带部分。扩爆管内炸药是两节梯恩梯药柱和一节特屈儿药柱,特屈儿药柱放在上面,以确保可靠地传爆。

扩爆管和弹体装配时,在弹体口部放入铅质密封垫圈,拧紧后要作高温密封性检验,以保证密封可靠。

(4) 引信

我国后膛炮发烟弹均配用烟-1式引信,这是一种只有瞬发作用的弹头着发引信。

8.2.2.2　120mm 迫击炮发烟弹

迫击炮发烟弹的结构，从外形上看和迫击炮榴弹差不多，从装填物看与后膛炮装填的发烟弹相同，如 120mm 迫击炮发烟弹(见图 8－6)即如此。

其主要诸元为

弹丸质量/kg	16.7
初速/($m \cdot s^{-1}$)	265.3
最大射程/m	5800
发烟剂(黄磷)质量/kg	1.55
炸药质量/kg	0.13
产生烟幕尺寸	
正面/m	25～30
高度/m	23～28
烟幕保持时间/s	35～40

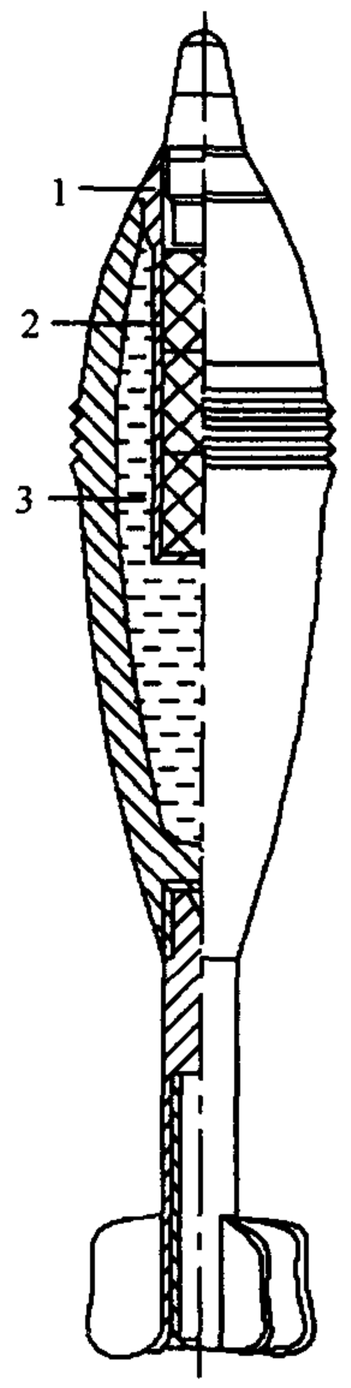


图 8－6　120mm 迫击炮发烟弹
1—头螺；2—炸药柱；3—发烟剂。

120mm 发烟弹的弹体与榴弹弹体通用，仅在口部端面制一凹槽，以便装铅垫圈。弹体材料是钢性铸铁，不宜采用稀土球墨铸铁，因强度高的材料发烟效果不好。迫击炮弹弹体口部直径较大，对于密封不利，一般可采用细牙螺纹与扩爆管相连接，以提高其密封性。

扩爆管与迫击炮榴弹中的扩爆管相似(稍长)，也是用钢性铸铁制成，因此要防止出现砂眼、气孔等，加工后需经液压检验，以防黄磷渗透到扩爆管内。

迫击炮发烟弹所采用的引信往往和迫击炮榴弹引信通用，只是不准使用延期装定。

8.2.3　发烟弹的作用及影响作用的因素

8.2.3.1　发烟弹的作用

发烟弹的作用效果，主要根据烟幕正面宽度、烟幕高度和迷盲时间这 3 个特征数来衡量。

烟幕正面宽度：是指弹丸爆炸后所形成的烟幕，当其能遮蔽住背后目标时的宽度。烟幕在其形成至消散过程中，宽度是不断变化的，所以其正面宽度应取过程中的平均值。

烟幕高度：是指在烟幕扩散过程中，能起到遮蔽作用的烟幕高度的平均值。

迷盲时间：是指从烟幕遮住背景到烟幕中出现背景的时间间隔。

因为发烟弹的作用受地形、气象条件等因素的影响比较大，即使在同样射击条件下，其效力也有很大差别，所以应多次试验，取其平均值。我国一些发烟弹的效力如表 8－2 所列。

表 8-2 发烟弹效力表

名称	烟幕尺寸		烟幕持续时间/s
	正面宽/m	高度/m	
82mm 迫击炮发烟弹	14~18	15~20	15~20
120mm 迫击炮发烟弹	25~30	23~28	35~40
85mm 加农炮发烟弹	12~15	18~22	20~25
122mm 加农炮发烟弹	25~30	37~42	40~50
152mm 加农炮发烟弹	30~45	40~50	50~60

8.2.3.2 影响发烟弹作用的因素

(1) 弹丸结构、扩爆管内炸药量的影响

弹体材料的强度不宜过高,爆管内炸药量也不宜过多。这样,用少量的炸药将弹体炸开(或炸裂),就可以避免爆炸时生成的热量过大,使烟云迅速上升而形成蘑菇状烟柱而起不到遮蔽作用。但对于加农炮发烟弹,由于其着速大,炸药可适当增加,防止较多黄磷留在弹坑内不起作用。

(2) 气象条件对于发烟弹的性能有很大的影响

风速大于 10m/s 时烟云会迅速消失,不能构成烟幕。风向与阵地正面相垂直时,烟云不能充分拉开,因此不能有效地遮蔽目标;气温较高时,由于上升气流的影响,烟云也会迅速上升,对遮蔽地面目标不利;下雨时雨滴会加大烟云的凝聚作用,而使烟云很快消失等。这些都是不利因素,在射击时应加以注意。但有时气象条件对于施放烟幕较为有利,如风向和阵地正面相平行时,有利于烟幕拉开;气压较低、空气湿度较大时,对烟幕形成有利;早晨和傍晚气流流动较弱,烟云会弥漫地面,保持较长时间等,这些有利条件在射击时应加以利用。

(3) 目标处的地形地物也会对发烟弹的效果有所影响

如目标区的土质较软或水网地区,黄磷留坑较多,甚至会落入水中失效。因此,一般很少对水网地区使用发烟弹。目标区的地形平坦,土质较硬,对于形成烟幕是有利的。

除了炮兵可用发烟弹来施放烟幕以外,装甲兵、工程兵、航空兵还可以用其它方式施放烟幕,如发烟罐、发烟手榴弹、发烟航弹等。在用烟幕来指示目标、信号联络时,为了和战场上榴弹爆炸的爆烟相区别,有的国家曾研究使用有色发烟剂,烟幕的颜色可以有红、黄、绿、紫 4 种,其方法是在发烟剂中加入一定数量的有机燃料,以使烟云呈某种颜色。

8.2.4 存在的问题与发展方向

当前黄磷发烟弹主要存在以下问题:

① 形成蘑菇状烟云——由于扩爆管爆炸产生的热量以及弹丸爆开后,分散得很细的黄磷很快氧化,同时释放出大量热量,这都会使烟云迅速上升,从而形成蘑菇状烟云,使得烟幕变狭、过高,遮蔽效果变差。

② 黄磷留坑——由于弹丸落速较大,弹丸侵入土壤一定深度,致使一些烟幕剂(约占总磷量的 30%左右)留在弹坑内,影响烟幕效果。

今后的发展方向主要是如何克服蘑菇云问题。为此，一方面从药剂上研究如何使发烟过程中产生的热量减少，另一方面采取措施使黄磷抛开时不致过碎。再者就是发展多品种烟幕弹，如作为信号用的彩色烟幕弹、水网地带用的烟幕弹以及用来干扰或削弱红外、雷达、激光和电视探测的烟幕弹等。

8.3　燃 烧 弹

8.3.1　用途、要求及纵火剂种类

燃烧弹主要用于对易燃的建筑（房屋、仓库）、装备（各种车辆）和阵地（干草、丛林）进行纵火，以破坏其设施、杀伤其人员，所以从用途来看它属于主用弹。

燃烧弹的纵火作用是通过弹体内的纵火体（火种）抛落在目标上引起燃烧来实现的，因此要求纵火体：

① 有足够的温度，一般不应低于 800℃ ~ 1000℃；

② 燃烧时间长；

③ 火焰大；

④ 容易点燃，不易熄灭；

⑤ 火种有一定的粘附力，有一定的灼热熔渣。

目前世界各国所用燃烧剂基本上有 3 种：

① 金属燃烧剂——能做纵火剂的有镁、铅、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。

② 油基纵火剂——主要是纳帮（也称凝固汽油）一类。其主要成分是汽油、苯和聚苯乙烯。此类纵火剂温度最低，只有 790℃。但它火焰大（长 1m 以上），燃烧时间长，因此纵火效果好。

③ 烟火纵火剂——主要是用铝热剂，其特点是温度高（2400℃以上），有灼热熔渣，但火焰区小（不足 0.3m）。

以上一些纵火剂也可以混合使用。

8.3.2　燃烧弹的构造

现以 122mm 加农炮燃烧弹为例说明燃烧弹的构造。我国 60 式 122mm 加农炮用燃烧弹的构造如图 8 - 7 所示。它由引信 1、弹体 2、弹底 10、纵火体 5、中心管和抛射系统等组成。

主要诸元为：

弹丸质量/kg	25.7
初速/($m \cdot s^{-1}$)	896
纵火剂质量/kg	2.36
燃烧温度不低于/℃	800
静止燃烧时间不少于/s	75
单炬燃烧时间不少于/s	70

① 引信——配用时-1式钟表时间点火引信。

② 弹体——弹体材料为60号优质钢。弹头部比较尖锐,具有远射形特点,其最大射程在22000m左右。具有两条弹带。其内腔较长,可提高装填容积。为了将纵火体抛射出来,内腔也做成圆筒形。由于122mm加农炮膛压高,弹体壁相应厚一些。弹带尽量靠近弹底,可以增加弹带部位弹体的强度。

③ 弹底——也是用60号优质钢做成。弹底较厚,主要为了支撑弹体的弹带部位,保证弹体的强度。弹底和弹体仅用2扣~3扣左旋螺纹连接,便于将螺纹剪断,使纵火体抛出。为了防止火药气体从弹底接合处窜入弹体内,引起燃烧药剂的早燃,在弹底和弹体的接合处用0.4mm厚的铅质密封圈加以密封。

④ 纵火体——122mm加农炮燃烧弹共有5个纵火体,每个纵火体的结构如图8-8所示。在钢质的壳体内压装有燃烧药剂,为了点燃这部分纵火剂,在其上下两端压有两块点燃药饼。纵火剂的成分与配比如下:

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%

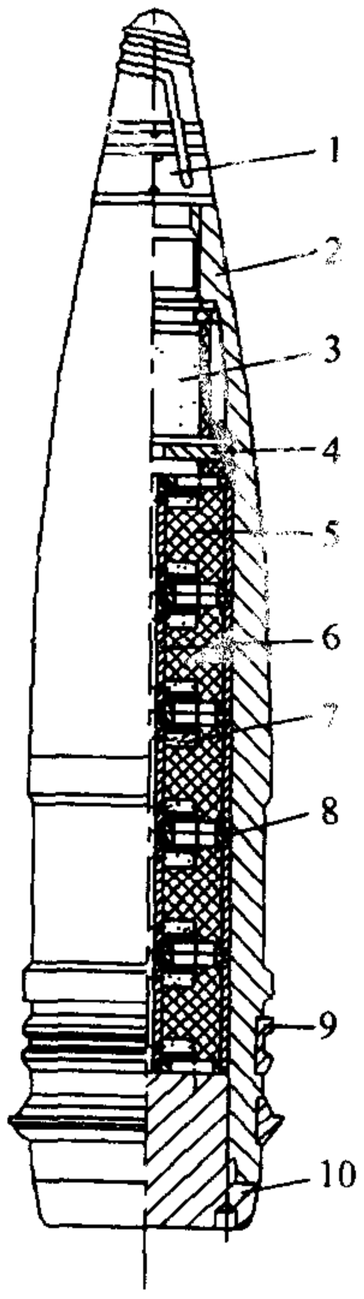


图8-7 122mm加农炮用燃烧弹

1—引信;2—弹体;3—抛射药;4—推板;5—纵火体;6—中心管;7—点燃药饼;8—压板;9—弹带;10—弹底。

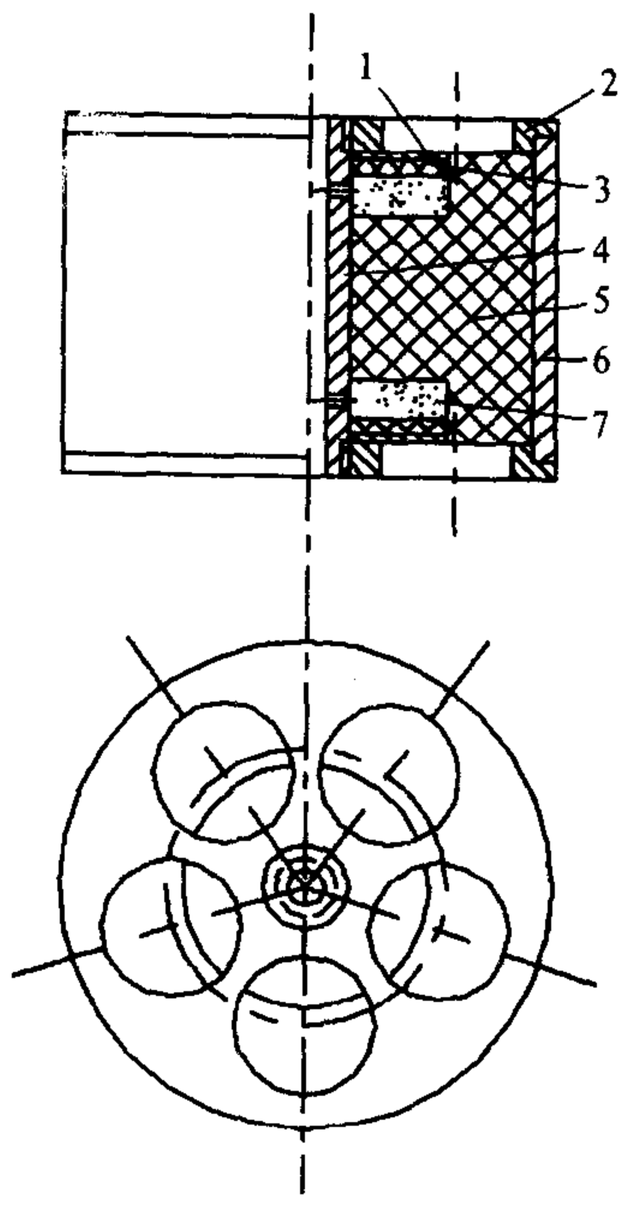


图8-8 纵火体

1—药饼挡板;2—压板;3—药饼毡垫;4—中心管;5—燃烧药剂;6—壳体;7—点燃药饼。

其制作方法是，除天然橡胶外，其余成分按配比混合均匀后，在加热的碾药机中与橡胶碾成橡胶药片，再将药片放置在壳中加热压制成形。这种纵火剂的燃烧温度达 800℃以上，燃烧时间也比较长。点燃这种纵火剂还需专门的点燃药饼。

⑤ 点燃药饼——分为基本药和引燃药两部分，靠近中心管小孔的为引燃药，其外部为基本药，它们的成分与配比列于表 8－3。

表 8－3　点燃药饼成分与配比

基本药成分/%		引燃药成分/%	
硝酸钡	66	硝酸钾	75
镁粉	10	镁粉	10
铝粉	20	酚醛树脂	15
天然干性油	4	精馏酒精	外加 5～8

每个纵火体中装有纵火药剂 0.4kg，点火药饼为 36g，整个弹体内纵火剂(5 个)和点火药饼(10 个)的总质量为 2.36kg。

每个纵火体上下两面均有一压板，其作用是固定点燃药饼和纵火剂。压板平面上有 5 个直径为 25mm 的孔，以便喷吐火焰起到纵火作用。所以这种纵火体落在目标上后，两面都喷火焰，可提高其纵火能力。

⑥ 中心管——为了在纵火体被抛出以前，每个纵火体都被点燃，在纵火体的中心有一钢质中心管，5 个中心管对准后，形成一条直径为 5.5mm 的传火管。中心管的两端侧面上，紧靠点燃药饼处，各有 3 个均布的直径为 3mm 的小孔，这样以保证药饼可靠点燃。中心管两端用螺纹连接上下压板，在碰击目标时，使压板不掉，以免纵火药剂破碎。

⑦ 抛射系统——122mm 加农炮燃烧弹的抛射系统由高压聚乙烯药盒(内装 80g 2 号黑药的抛射药包)和推板所组成。燃烧弹作用时，引信火焰点燃抛射药，抛射药的火焰一方面通过推板中间小孔和中心管内孔，把每个纵火体的点燃药饼点燃，另一方面抛射药产生一定压力，通过推板和 5 个纵火体壳体，将弹底螺纹剪断，从而将已点燃的纵火体抛出，落到目标区，起到纵火作用。

由于加农炮初速大，相应落速也大，纵火体的壳体又是钢质，所以它具有一定的贯穿能力。射击试验表明，122mm 加农炮燃烧弹的纵火体能贯穿 4 层～6 层炮弹箱的木板和一般结构仓库的屋顶，或 2 个汽油桶(4 层铁皮)。这样可以提高其纵火能力。

8.3.3　作用原理与使用要求

燃烧弹的纵火作用是利用其燃烧的火种分散在被燃目标上，将目标引燃并通过燃烧的扩展和蔓延来实现最终烧毁整个目标。其作用是由纵火剂的性能和被燃目标的性质状态这两方面决定的。纵火剂前面已经讲述。被燃目标的性质、状态包括：目标的可燃性(油料种类、草木的温、湿度等)、几何形状(结构、堆放等情况)和目标数量。

燃烧过程一般分为点燃、传火、燃烧和大火蔓延 4 个阶段。点燃过程以常见目标木材来看，也要经过烘干、变黄、挥发成分分解，碳化(230℃～300℃)并最终开始燃烧(大于 300℃)。由此可见，燃烧除了需要有一定的温度以外，还需要有一定的加热过程。而火势的传播与蔓延就要求已点燃的部分在存在一定热散失的条件下仍能继续对其周围的被燃

目标完成上述点燃过程。由于燃烧弹中所装火种有限,要利用它来达到纵火的目的,在使用中就必须注意:

① 合理地选择纵火目标。一般应选择在一定范围内集中堆放的油类、干柴草、帐篷、军需、粮食、弹药箱及车辆等易燃目标。对于轻型土木工事、土木结构建筑物、仓库、营房以及停放的飞机等,一般应利用前面各种点燃目标的大火将其烧毁。

② 燃烧弹使用要相对集中,以保证在一定范围内有足够的火种密度,这样可以减少热散失,有利于形成大火。

③ 应考虑与温度、湿度等有关的地区、季节、风速以及风向等气候条件。

燃烧弹一般仅配用于 122mm ~ 152mm 大口径火炮上。

目前燃烧弹存在的问题是纵火能力差,并且在碰击目标时,纵火体常发生碎裂现象,实际效果不理想。关键还是纵火剂不易同时做到燃烧温度高、火焰大和燃烧时间长;同时,弹腔容积小,只能装数量有限的纵火体,这样就限制了燃烧弹的广泛使用。这都有待进一步解决。

总之,燃烧弹目前主要用于航空炸弹上,在炮兵弹药中应用不多,只有小口径对付薄装甲的弹药中应用较多,而且往往都是一些穿甲燃烧弹、燃烧榴弹等联合作用形式的弹药。燃烧榴弹是在炸药装药中加入一些铝粉、锆片等纵火剂。

8.4 视频侦察用弹

空中视频侦察用弹,用于野战侦察。它将一个电视摄像机和发射系统装在弹体内,其它结构类似于照明弹。在目标上空将吊伞——摄像系统抛出。摄像机拍摄的图像通过发射机送回。指挥所通过接收机可将拍摄的图像直接显示在荧光屏上。其主要用途有:

① 将对方战术纵深的活动情况进行及时的侦察,不需要前沿侦察部队和设备,就可得到目标的准确信息,适时确定目标位置。

② 直接观察我方火炮射击的效果,对作战效果进行评估。

③ 提高目标位置的测量精度,可以改进火炮射击的精度和有效性,减少用弹量。

8.4.1 视频侦察弹系统的基本组成

视频侦察弹系统由 3 大部分组成:视频成像弹(VIP)、全球定位系统(GPS)引信、视频成像地面接收站。

8.4.1.1 视频成像弹

视频侦察弹是一个旋转稳定的、发射后不用管的 155mm 弹丸。它由 155mm 弹体以及机械的、光学的、电子等部件组成,将收集到的图像发送回地面接收站。通过安装在弹体侧面窗口的光学系统拍摄图像。弹丸的向前和旋转运动扫描弹丸飞行过的地面图像,扫描区域轨迹是弹丸的高度、落角、终点速度和敏感能力的函数。通过无线电频率链将图像信息发送到地面接收站。

8.4.1.2　VIP 地面接收站

VIP 地面接收站接收从弹丸上发回的模拟无线电信号，然后数字化，提取原始的图像数据，消除所有面向空中的画面，校正由于弹丸运动引起的周期性畸变，并进行存储和显示。先进野战火炮战术数据系统和全部信号源的分析系统将处理这些数据，使之适合于情报分析和瞄准目标。

8.4.1.3　GPS 引信

安装 GPS 脉冲收发装置的引信从 3 颗或 4 颗卫星上接收信号，以确定飞行中的弹丸位置，并发送到地面接收站，提供一个弹丸飞行的精确轨迹。那么，GPS 位置信息与 VIP 动力学相结合就可提供弹丸位置和窗口观察角的准确描述。然后，这些信息可用于确定目标位置和其它感兴趣物体的位置，并在屏幕上显示。为了完成这些任务，GPS 引信包括脉冲收发装置、天线、将 GPS 信号转换成另一频率的转换器和弹上电源。视频成像弹的工作原理示意图如图 8－9 所示。



图 8－9　视频成像侦察弹工作原理示意图

8.4.2　目标辨认/战场毁伤评估(TV/BDA)系统

该系统装有无线电控制的降落伞、视频摄像机、视频信号发送器、弹上电源和控制系统。为了精确确定目标位置坐标，需要一个 GPS 收发装置。TV/BDA 从弹体抛撒出去后，接通电源并开始工作，展开降落伞，漂浮的摄像机开始搜索目标区域，并将彩色视频图像发送到地面接收站。降落伞可以按预先计划的路径飞行，或由地面站进行遥控。摄像机装有变焦距镜头，操作人员可以从高空辨认目标，并确定目标位置，根据这个信息火炮可以继续射击，还可以得到弹丸飞抵目标和攻击目标的适时视频图像。

TV/BDA 系统能够在空中漂浮 5s，当漂浮到低空时可对目标的毁伤情况进行评估。视频信号可传输 60km。TV/BDA 系统不仅可将视频信号传给火炮的火控系统，也可传给司令部的战术分析中心。总之，当弹丸飞行到需要侦察的战场上空，由引信控制时机，将 TV/BDA 系统从弹体中弹出，打开降落伞，电视摄像机对地面进行扫描，获得战场适时图像，输送到地面站，在地面站经过处理，在显示屏幕上可直接观察战场情况。目标辨认/战场毁伤评估系统作战使用情况如图 8－10 所示。

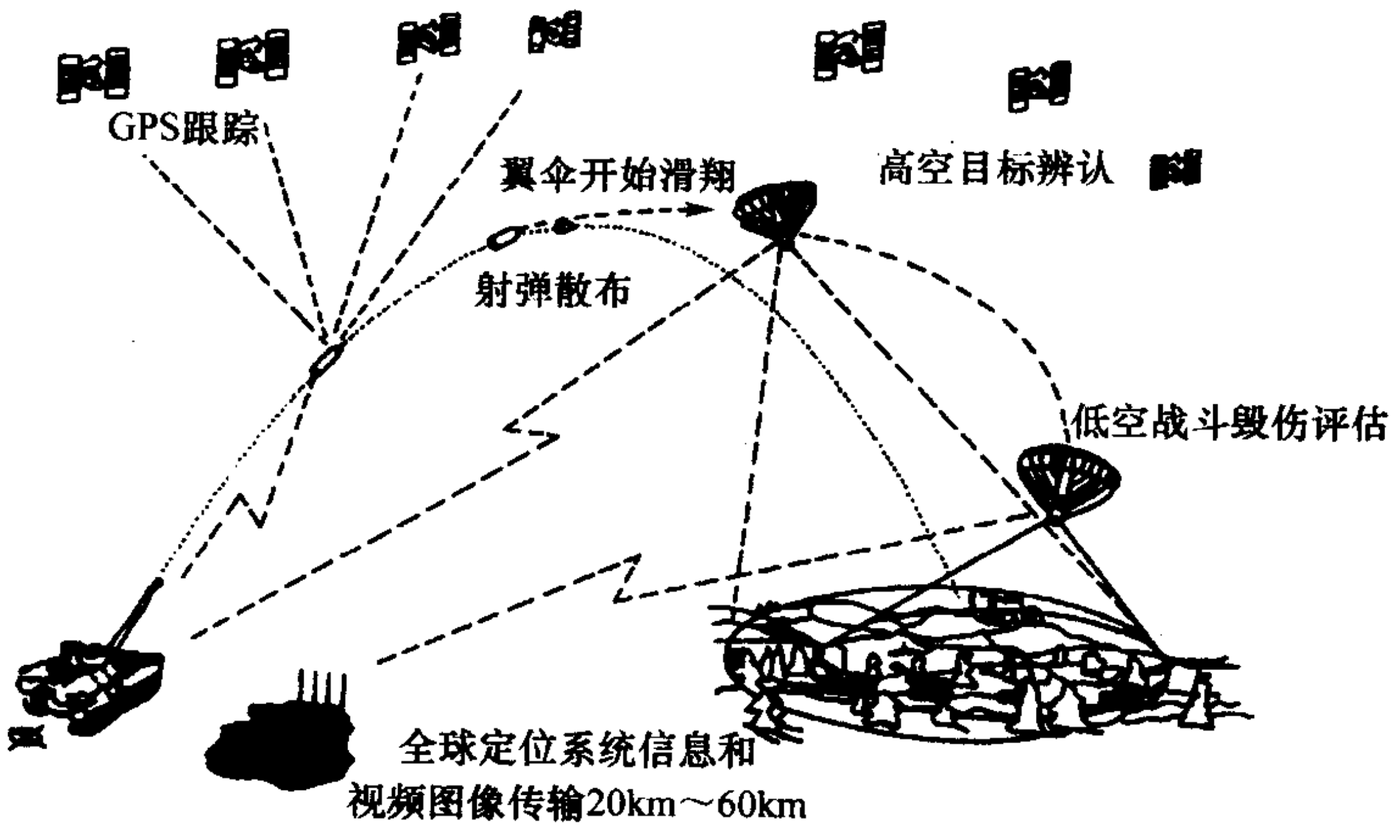


图 8－10　目标辨认/战场毁伤评估系统工作原理示意图

8.5　软杀伤弹药

8.5.1　激光弹

激光武器可分为强激光武器和弱激光武器。强激光武器属于定向能武器，有天基和地基激光武器，以及战术激光武器。主要用于摧毁空间飞行器(卫星和导弹)和空中目标。战术激光武器可以由车载、机载或舰载。弱激光武器主要用于激光致盲、激光眩目，属于非致命性技术范畴。可以破坏精确制导武器或 C^3I 系统的传感器，使其不起作用，也可造成敌方士兵暂时降低或失去视力，从而失去战斗力。激光弹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，再由电能激发发光工质产生激光。

8.5.1.1　炸药爆炸冲击压缩气体激光弹

炸药爆炸冲击压缩气体激光弹是利用高能炸药形成高温高压，冲击加热惰性混合气体，使气体进行热泵浦，激励到高能态，从而发射出一束或多束激光，破坏武器装备的传感器、各种光学窗口、光学瞄准镜、激光与雷达测距机、自动武器的探测系统等。其原理如图 8－11 所示。

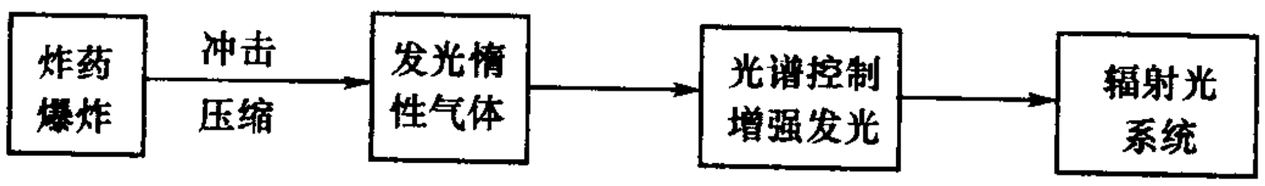


图 8－11　炸药爆炸直接转换成光能

8.5.1.2　炸药爆炸冲击压缩固体激光弹

在弹丸、战斗部内装有高能炸药和塑料染料激光棒，靠炸药爆炸冲击加热激发能发出

足以致盲人眼和传感器的激光。塑料染料激光棒是一种亚稳能态的固体工质。这种弹的原理类似于气体激光弹，如图 8－12 所示。

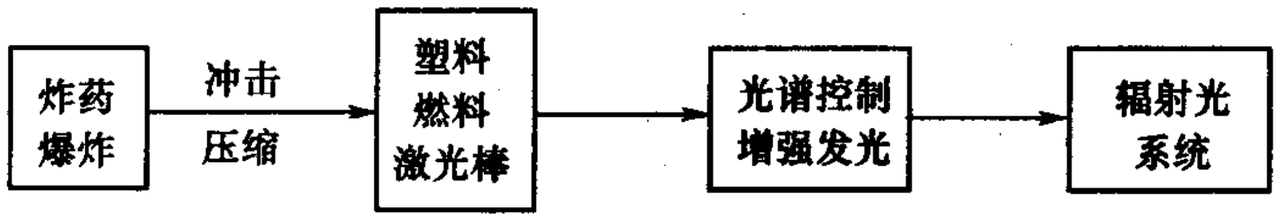


图 8－12　固体激光弹原理

8.5.2　碳纤维弹

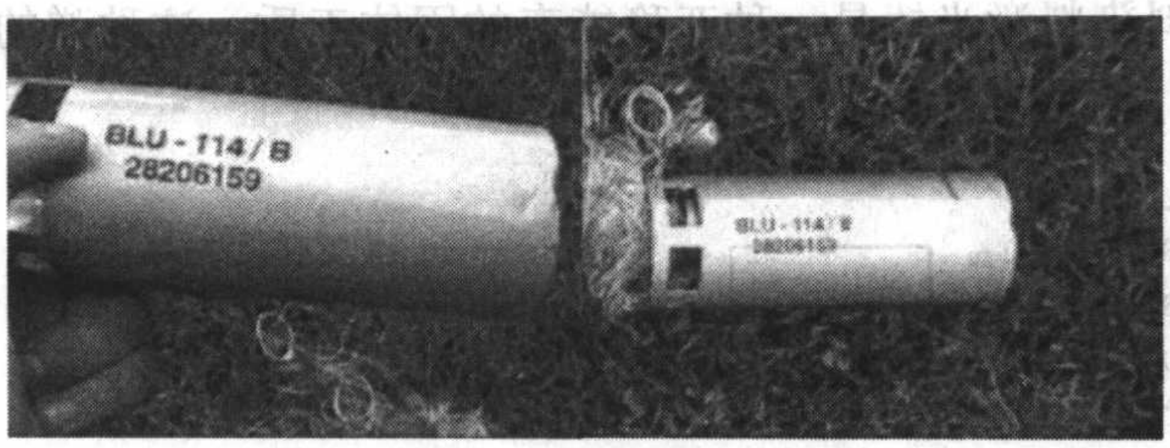
碳纤维材料是高弹性、高强度、耐高温的新型工程材料。碳纤维的密度小(不到钢的 1/4)、柔软并且具有良好的导电、导热性能，单丝直径可以做到几微米，易于飘散。在缺氧的情况下，能受 3000℃～4000℃的高温。用碳纤维和塑料的复合材料，不但机械性能超过了钢，而且耐高温性能是任何金属无法比拟的，它能在 12000℃的高温下耐受 10s 之久，单丝或带的抗拉强度可达到 30MPa～40MPa。因此，碳纤维材料是理想的破坏电网的材料。

在航弹、导弹及远程火箭弹的战斗部内装大量的碳纤维，就构成碳纤维弹。这些碳纤维成丝条状，并卷曲成团。当战斗部到达发电厂、配点站、输电网上空时，战斗部内的炸药或火药将碳纤维丝团抛出，这些碳纤维在空中飘落，落到发电厂和配电站高压电网上，在高压相线之间形成导电空间，能引起高压线的空气击穿放电。碳纤维落到高压线上，有可能引起任意相线之间或与大地的短路行为。当短路时间大于电网跳闸时间阈值，立刻造成电网断电。任何短路行为引起的电火花都有可能使周围的物质引燃造成火灾。高压电网短路行为是短时间完成的，碳纤维飘落时间相对较长，飘落到高压线上的碳纤维在已造成高压线短路停电后，在没有被清除的情况下仍能继续发挥短路效应，难于恢复供电。

在海湾战争中，美军使用了战斗部内装有碳纤维的“战斧”导弹对伊拉克电力设施进行破坏，使伊拉克 85%的供电能力丧失。在 1999 年，美军对南联盟的轰炸中，使用了内装石墨细丝的 BLU－114/B 型子弹药(图 8－13 所示为 BLU－114/B 子弹残骸)，攻击南联盟的输电网，石墨细丝的直径只有几百分之一英寸，比碳纤维细得多。对南联盟输电网的两次攻击，造成南联盟全境 70%的电力供应瘫痪。

BLU－114/B 型子弹药长约 20cm，直径约 6cm，内有充气伞。它被释放后，放出充气伞，稳定下降。经过预定时间后，它释放出经过化学处理的石墨细丝，如图 8－14 所示。这些石墨细丝像团乌云一样随风飘动，附着到变压器、输电线等高压设备上，造成短路，从而造成供电中断。由于石墨是良导体，当电流流经石墨细丝时，该点的场强增大，电流流动加快，开始放电，形成一个电弧，导致电力设备局部熔化。如果电流进一步增强，可以烧断输电线，甚至由于过热或电流过强而引起大火。有时电弧产生的电能极高，能够引起爆炸，爆炸产生的金属片又引发更大的灾难，所以这种子弹药对电力设施的破坏能力极强。

碳纤维弹研制的主要关键技术是碳纤维的选择及其制造工艺、战斗部的开舱和碳纤维丝团抛撒展开技术。



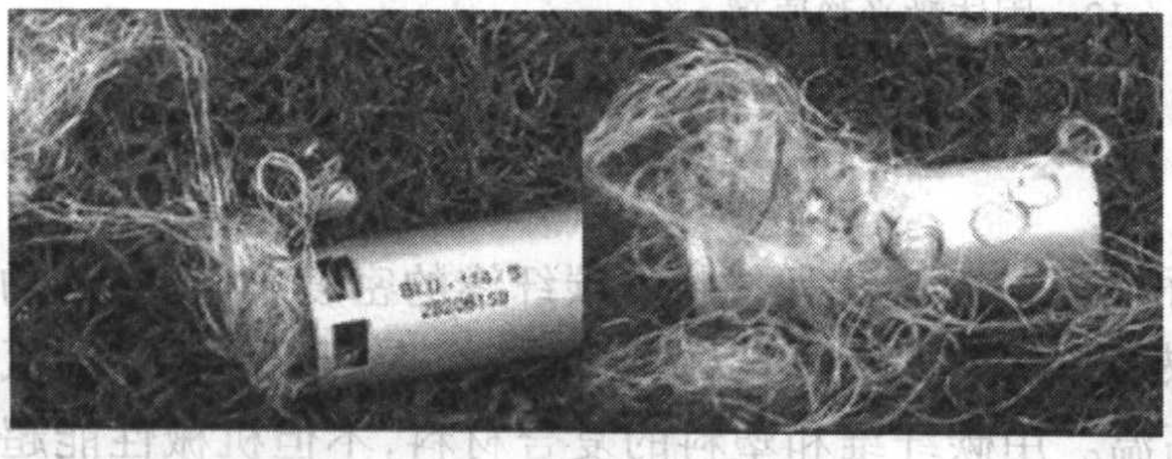


图 8-13 BLU-114/B 子弹残骸



图 8-14 石墨细丝的释放过程

8.5.3 强光辐射致盲弹

(1) 用途和要求

现代高科技战场装备了大量现代光电观瞄探测器材和精确制导兵器,如主动红外夜视仪、微光夜视仪、红外热像仪、激光测距定位仪和红外、cm 波、mm 波制导、激光制导、双模复合制导兵器等。它们使得战场无论是白天还是黑夜一片透明,且只要发现目标就能跟踪直至击毁目标。欲打赢这种战场格局的战争,克敌制胜的首要条件是压制敌前沿战场各类光电观瞄探测器材和控制该器材的战斗人员,使之光电器材的光敏元件致盲、失灵、溢出直至烧毁,人眼迷盲、无法正常工作、失去作战能力,瘫痪敌观瞄、指挥、控制和通信系统。

强光致盲弹的作用就在于此。

对强光辐射致盲弹的要求有以下几个方面:

① 干扰频段在可见光到红外之间,一般对光强度及辐射强度均有要求,相应指标与弹的结构、形状有关。

② 干扰反应时间指形成有效光、辐射强度源的时间。

③ 干扰持续时间要长,一般要求≥0.1s。

(2) 强光辐射致盲弹的发展状况

强光辐射干扰技术用于现代高科技的光电观瞄探测器和制导兵器以及战场人员实施致盲或软杀伤干扰,近年来受到西方军事强国的高度重视。它是美国国防部制定的 21 世纪新战略计划——非致命武器技术发展计划内容之一。非致命武器的技术特点是不用火力直接摧毁武器装备,而是采用先进的电磁、化学和定向能等新技术装备来致盲、干扰敌方各种光电仪器,瘫痪观瞄、指挥、控制和通信系统,使其作战系统失效,参战人员迷盲,丧失战斗意识和作战能力。据报道,英国研制了一种利用迫击炮发射的强光辐射干扰弹,其光谱是从紫外到红外的整个波段,可以使人致盲 1 小时。美国研制的一种强光辐射弹是

用 155mm 火炮发射的，产生极强的各向同性闪光辐射，破坏敌导弹光电传感器，也可致盲人眼。美国海军研制了用 127mm 火炮发射对付反舰导弹光电传感器的光弹。俄、德、法、以色列也拟定了研究强光辐射干扰弹计划。武警系统研制有 35mm 的 DFG91 - 35 防暴闪光弹，它是对人眼起瞬时迷盲、致盲的可见光闪光弹，闪光时间 10ms，可见光光强为(4 ~ 4.5) × 10^6cd，最大射程 300m。

国内在隐身干扰烟幕弹技术专题中，从烟火技术角度研究战场使用的强光致盲干扰技术，开展的“可见光、红外光区致盲烟火技术”课题研究虽取得了较好的研究成果，但与国外相比技术仍然落后。

(3) 结构特点

总体来讲，该弹的结构较为简单，作用方式分为爆炸式和燃烧式。从效果上来衡量，爆炸式产生瞬态的强脉冲，燃烧式产生有一定的持续性，但也十分短促。

无论是爆炸式还是燃烧式，弹丸的壳体强度、材质对作用效果影响极大，是该类弹丸设计的关键。

该类弹丸一般由引信、弹体、传爆系列、药剂等部分组成。

其基本作用过程为：弹丸出炮口后，到预定距离、高度，引信作用，点燃传爆系列。随后传爆系列炸散药剂，并同时点燃药剂产生强光和强辐射。

8.5.4　失能弹

失能弹内装人员失能剂，发射到敌方阵地进行抛撒。人员失能剂主要是指使人员失去作战能力的化学失能剂，它与通常的化学武器所使用的化学毒剂有严格的区别。失能剂不能使人员死亡，也不留下后遗症，但能够造成人员精神障碍、躯体功能失调或使人昏昏欲睡，从而使人员暂时丧失战斗力。

第9章　火箭弹

9.1　火箭弹概述

9.1.1　火箭弹的发展简况

中国是火箭的发源地。据史料记载,公元969年(宋开宝元年)冯义升和岳义方两人发明了火箭并试验成功。公元1161年宋军就有了初期的火箭武器—“霹雳炮”,并应用于军事。大约于13世纪~14世纪中国的火药及火箭技术传入阿拉伯国家,以后又传入欧洲。19世纪初,英国人W·康格里夫研制了射程为2.5km的火箭弹。20世纪20~40年代,德国、美国、苏联等国都研制并发展了各自的火箭武器,其中,苏联制造的БМ-13式火箭炮,可联装16发132mm口径的尾翼式火箭弹,最大射程达8.5km,在第二次世界大战中发挥了重要的作用,俗称“卡秋莎”。二次大战后,苏联先后研制成了M—14、M—21、M—24和夫劳克火箭弹及其火箭炮,至20世纪70~80年代先后研制了220mm多管炮与300mm多管火箭炮及火箭弹,其中300mm火箭弹最大射程已达到70km。美国沃特公司研制生产的M270式多管火箭炮系统,于1983年正式装备美国陆军。M270式多管火箭弹系统是一种全天候、间瞄、面射击武器,能对敌纵深的集群目标和面目标实施突然的密集火力袭击,具有很高的火力密度,其战斗部采用双用途子弹子母战斗部。

20世纪50年代,火箭弹的最大射程约为10km,60~70年代大多数火箭弹的最大射程为20km,80年代研制的火箭弹的射程已超过30km~40km,90年代以后美国等在MLRS(Multiple Launch Rocket System)系统上研制开发的227mm火箭弹射程达到了70km,俄罗斯研制的300mm火箭弹射程也将达到70km,中国研制的WM—80型273mm火箭弹其最大射程超过80km。20世纪末许多国家开始了100km以上的超远程火箭弹的研制。

9.1.2　火箭弹的基本组成

火箭弹是一种依靠火箭发动机所产生的推力为动力,完成规定作战任务的无控或有控弹药。火箭弹由于要完成各种不同的战斗任务,因而种类繁多。然而不论什么火箭弹,其基本组成部分以及各组成部分的作用大致是一样的。

火箭弹一般由引信、战斗部、火箭发动机、稳定装置和导向装置等几部分组成。

① 引信——激活战斗部、在弹道终点发挥作战效能的机械或机电部件。为了使战斗部适时可靠地发挥毁伤或干扰等作用,战斗部上都配有引信装置。战斗部类型及作战目标不同,配用的引信类型也不同,目前火箭弹研制中常用的引信有触发引信、电子时间引信以及无线电近炸引信等。

② 战斗部——在弹道终点发挥作战效能的部件。根据作战目的及对象的不同，在火箭弹上可以采用不同类型的战斗部。目前在火箭弹研制中常用的战斗部类型包括：杀伤战斗部、爆破战斗部、杀伤爆破战斗部、子母战斗部、破甲战斗部、半穿甲战斗部、干扰战斗部以及云爆战斗部等。

③ 火箭发动机——使火箭弹能够飞行的推进动力装置。目前装备及在研的火箭弹主要采用固体火箭发动机。固体火箭发动机通常由连接底、燃烧室、固体推进剂装药、装药支撑装置、喷管及点火具等组成。火箭发动机使火箭弹在弹道主动段末端达到最大飞行速度后结束工作。

④ 稳定装置——使火箭弹能够按预定的姿态及弹道在空中稳定飞行的装置。按照飞行稳定原理的不同，稳定装置可分为涡轮式稳定装置和尾翼式稳定装置两类。涡轮式稳定装置是利用火箭发动机的多个倾斜喷管产生的导转力矩使火箭弹绕纵轴高速旋转，高速旋转产生的陀螺效应使火箭弹稳定飞行；尾翼式稳定装置是在火箭弹的尾部安装尾翼，安装尾翼后的火箭弹使全弹气动力压心(阻心)移到质心之后，飞行时空气动力产生稳定力矩，从而使火箭弹能够稳定飞行。

⑤ 导向装置——导向钮或定向钮是尾翼式火箭弹经常采用的导向装置。导向装置的作用是引导火箭弹在定向器上沿着一定的方向运动，使火箭弹在定向器上作直线运动或螺旋运动，并在带弹行军时固定火箭弹。导向装置可能是定向钮，也可能是导向钮或其它装置。当需要火箭弹在定向器上作直线运动时，可采用定向钮来实现；当需要尾翼式火箭弹在定向器内低速旋转时，可采用导向钮来实现。涡轮式火箭弹本身高速旋转，无需另外设置导转装置，但为了带弹行军和提供一定的闭锁力，常采用在发动机尾部开挡弹槽的办法来加以解决。

9.1.3　火箭弹的分类

目前世界各国研制或装备的各种火箭弹种类很多，为了科研、设计、生产、存储及使用的方便，火箭弹通常按用途和稳定方式来分类。

9.1.3.1　按用途分类

① 主用火箭弹——对敌方人员、坦克、装甲车辆、土木工事、铁丝网、车辆、建筑物、雷场、各类地堡或地下军事设施等敌人有生力量或非生命目标起直接毁伤作用的火箭弹统称主用火箭弹。这类火箭弹包括杀伤火箭弹、杀伤爆破火箭弹、爆破火箭弹、聚能装药破甲火箭弹及燃烧火箭弹等。

② 特种火箭弹——用于完成某些特殊战斗任务的火箭弹统称为特种火箭弹。这类火箭弹包括照明火箭弹、烟幕火箭弹、干扰火箭弹、宣传火箭弹、电视侦察/战场效能评估火箭弹。

③ 辅助火箭弹——用于完成学校教学和部队训练使用任务的火箭弹统称为辅助火箭弹。这类火箭弹包括各种火箭教练弹。

④ 民用火箭弹——诸如民船上装备的抛绳救生火箭、气象部门采用的高空气象研究火箭与人工降雨火箭弹、海军舰船用的火箭锚等均属民用火箭弹。

9.1.3.2 按稳定方式分类

① 尾翼式火箭弹——依靠弹尾部的尾翼装置来保持飞行稳定的火箭弹。尾翼装置将火箭弹在飞行中的压力中心移至弹体质心之后,产生一个稳定力矩来克服外界扰动力矩的作用,使火箭弹稳定地飞行。

② 涡轮式(旋转式稳定)火箭弹——依靠弹体绕自身纵轴高速旋转来保持飞行稳定的火箭弹。涡轮式(旋转式稳定)火箭弹通过高速旋转,弹丸自身能产生一个陀螺力矩来抗衡外界力矩的作用,使火箭弹稳定地飞行。

9.1.4 火箭弹的工作原理

火炮弹丸是依靠发射时炮膛内的发射药燃烧后生成的高温高压气体推动前进,使弹丸在离炮口时获得最大速度,即弹丸的炮口初速。

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的。火箭发射装置只赋予火箭弹一定的射角、射向和提供点火机构,创造火箭发动机开始工作的条件,但对火箭弹不提供任何飞行动力。

火箭弹的发射装置有管筒式和导轨式两种,前者叫火箭炮或火箭筒,后者叫发射架或发射器。为了使火箭发动机可靠适时点火,在发射装置上设有专用的电器控制系统,该系统通过控制台连到火箭弹的发火装置(点火具)上。

火箭发动机是火箭弹的动力推进装置,其工作原理即为火箭弹的推进原理。火箭发动机所采用的推进剂有固体类和液体类之分。采用固体推进剂的火箭发动机称为固体火箭发动机,又称固体火箭。

在火箭弹发射时,发火控制系统使点火具发火,点火具中药剂燃烧时产生的燃气流经固体推进剂装药表面时将其点燃。主装药燃烧产生的高温高压燃气流经固体火箭发动机中拉瓦尔喷管时,燃气的压强、温度及密度下降,流速增大,在喷管出口截面上形成高速气流向后喷出。当大量的燃气高速从喷管喷出时,火箭弹在燃气流反作用力的推动下获得与空气流反向运动的加速度。由于从火箭发动机高速喷出的气流物质是火箭发动机所携带的固体推进剂装药燃烧产生的,所以火箭发动机的质量不断地减小,表明火箭弹的运动属于变质量物体运动。显然,火箭弹运动时其相互作用的物体一个是火箭弹本身,另一个是从火箭发动机喷出的高速燃气流。由此可见,火箭弹的这种反作用运动为直接反作用运动。高速燃气流作用在火箭弹上的反作用力为直接反作用力,使火箭弹获得向前运动的推力。而固体火箭发动机结束工作时,火箭弹在弹道主动段末端达到最大速度。固体火箭发动机的工作原理如图 9 – 1 所示。

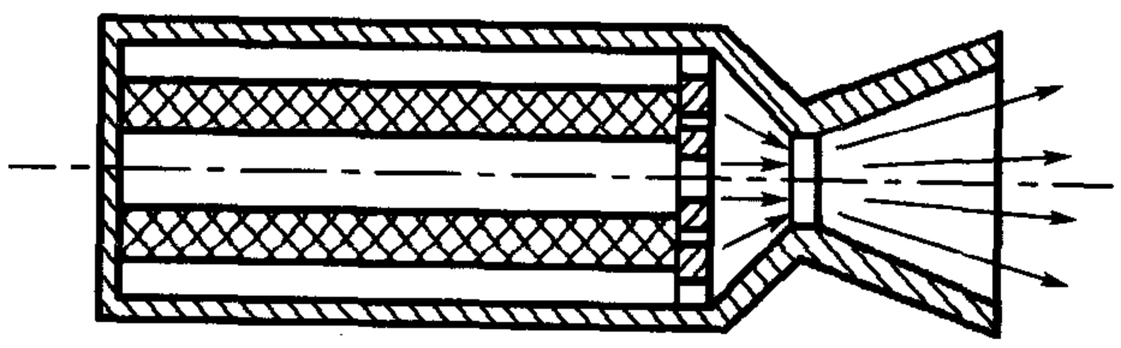


图 9 – 1 固体火箭发动机工作原图

9.1.5　火箭弹的特点

与身管火炮发射的弹药相比，火箭弹的优点与不足都十分显著。

9.1.5.1　优点

① 飞行速度高——受火炮使用寿命及机动性的限制，火炮发射的弹药很难达到很高的炮口速度，使射程受到较大限制。按照经验推断，初速提高1倍，火炮寿命降至原来的1/128。另外，初速提高会使火炮质量增加，也会引发一系列问题。现役中大口径火炮弹药的炮口速度大约为800m/s～1000m/s，小口径炮弹大约为1100m/s。大口径火炮弹药在采用底排减阻技术后，底排增程弹的最大射程也难以超过40km，即使采用底排—火箭复合增程技术，复合增程弹的最大射程也只在50km左右。

火箭弹是利用喷射推进原理获得飞行速度的，飞行速度的大小主要取决于推进剂的比冲量和质量比。而质量比并没有受到很大限制，可以按需要的速度确定。火箭弹可以得到较大的飞行速度，因而也就具有更好的远射性。对尾翼式火箭弹，弹径、弹长和全弹质量受限制小，合理的全弹及火箭发动机设计，可以使火箭弹达到较高的速度和较远的射程。

② 发射过载系数小——火炮发射的弹药在发射时过载较大，无后坐力炮及迫击炮发射的弹药其过载多数在5000g左右，榴弹炮发射的弹药其过载都在10000g以上。由于过载大，对零部件材料性能及结构设计要求较高，部分零件的消极质量较大。

和炮弹相比，火箭弹起飞时加速度相差2个数量级。大多数炮兵火箭的发射过载都在100g以下，即使是推力较大、工作时间很短的反坦克火箭弹，其发射过载多数在3000g以下。由于发射过载系数小，对材料性能及结构设计的要求可以低一些，发动机的消极质量较小，有利于减小结构尺寸和质量，有利于安装制导元件及装填特种战斗剂，例如烟幕剂、云爆剂、电子干扰物等。

③ 发射时无后坐力——身管火炮发射弹丸时，推动弹丸向前的气体压力，同时推动身管向后运动。由于火炮发射弹药时膛压高，作用在炮架上的后坐力很大，不但使得火炮身管壁厚大，而且炮架的结构笨重、质量很大，其机动性也较差。

火箭弹靠喷气推进原理获得飞行速度，全弹飞离发射架管口或轨道末端前，发射架基本不受力的作用，发射管内壁受到的压强较小。之后较短的距离内，火箭发动机高速喷出的燃气流有一部分喷射在发射架上并产生一定的作用力，但该力远小于身管火炮承受的后坐力。因此，火箭发射装置就可制成轻便、简单、尺寸紧凑和多管的发射装置。火箭发射装置可以安装在拖车、汽车、履带车、飞机、直升机和舰艇上，也特别适合于步兵携带。

④ 火力密集，完成作战任务的突袭时间较短——中大口径野战火炮在作战中一次只能在炮膛内装填1发炮弹，而且装填炮弹的时间较长，完成一次作战任务需要的时间较长。

对火箭武器来说，由于没有后坐力，可以制成多管火箭炮，这是火箭武器的突出特点。除单兵反坦克火箭以外，其它火箭武器系统的发射装置都有多根发射管。例如，122mm火箭炮为40管，美MLRS 227mm为12管。防空火炮虽然也有4联炮、10联炮，但其弹丸直径在40mm以下。发射前在每个发射管中都已装填好火箭弹，发射时可以用很短的

时间间隔顺序发射火箭弹。因此,在作战中使用多管火箭武器系统不但火力非常密集,而且在较短的时间内可以完成作战任务,从而有效地提高生存能力。例如一门火箭炮发射的弹数相当于1个~2个炮兵营在相同时间内发射的弹丸数。

9.1.5.2 缺点

① 生产成本比相同威力的炮弹高。火炮弹药的加速过程是在火炮膛内完成的,发射一发炮弹需消耗1只药筒和一定数量的发射药。火箭弹是依靠自身携带的火箭发动机推进加速的,发射一发火箭弹要消耗1发火箭发动机壳体和一定数量的固体推进剂。在具有相同有效载荷战斗部并达到相同最大速度的情况下,不但火箭发动机壳体的生产成本高于药筒的成本,而且由于火箭发动机的能量利用率远低于火炮发射药的能量利用率,其固体推进剂的用量及生产成本都高于火炮发射药。例如,122mm 榴弹炮杀爆弹与122mm 火箭杀爆弹的威力相当,但后者的生产成本价格高出10倍以上。

② 密集度较差。火炮发射的弹药不但炮口速度高,而且在外弹道上除受重力和空气动力作用外,不受其它力的作用,即使受到一定的扰动因素作用,也不会产生大的散布。而火箭弹由于发射管或轨道较短,不但弹丸出发射架管口或离开轨道末端时速度低,而且在外弹道加速过程中仍受到较大的推力作用,这些扰动因素将会使弹轴偏离速度矢量方向,产生较大的落点散布。因此,无控火箭弹的密集度比身管炮弹的密集度差,特别是方向密集度更差,不宜用于对点目标射击。

因为无控火箭弹密集度较差,限制了其应用与发展。但用制导的办法提高精度所付出的代价太大,同时控制系统结构复杂,其可靠性较差,且地面设备庞大,使用操作不便。这也是无控火箭弹未被导弹(有控火箭弹)完全取代的原因。

③ 易暴露发射阵地。用火炮发射弹药时,虽然也会产生较大的噪声,但炮口火焰的信号较小。发射火箭弹时,火箭发动机工作将从喷管中向后喷出大量的高温高速气流,高速气流与空气摩擦会产生很大的噪声,高温气流将产生很强的光和红外信号,声、光、红外信号以及扬起的尘土很容易使发射阵地暴露在敌方的雷达等探测装置的侦察范围内。

9.2 涡轮式火箭弹

涡轮式火箭弹一般由战斗部、火箭发动机和稳定装置3大部分组成。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,如中国的107mm 杀伤爆破火箭弹、苏联的 M-24 240mm 爆破火箭弹、以色列的240mm 爆破火箭弹等,但也有将战斗部设置在发动机之后的,如德国的158.5mm 火箭弹。

9.2.1 涡轮式火箭弹的特点

9.2.1.1 稳定飞行转速与最大速度和弹长有关

最大速度和相对弹长大,要求的稳定转速高。高转速引起的离心惯性力对装药正常燃烧和装药、燃烧室壳体强度会产生不利影响,从飞行稳定性与射击密集度的要求出发,

全弹长一般小于7倍~8倍弹径,相应发动机长度受到限制。

9.2.1.2　发动机可提供高速旋转力矩

采用多喷管发动机结构,喷管轴线倾斜,以提供较大的旋转力矩。喷管数量一般是6个~8个。早期德国涡轮火箭发动机有22个~26个喷管,喷管倾角为15°~25°。

由多喷管发动机提供高速旋转力矩的结构形式主要有以下两种:

① 独立旋转发动机形式——这种形式是在弹体合适位置上,安装一个独立的多喷管发动机,喷管的出口在弹体表面上均布,各喷管的轴线近似与喷管中心所在的圆周相切。所产生的推力作用于弹体切向,从而为全弹提供所需要的旋转力矩,使火箭旋转。

② 斜切喷管形式——这种形式是各喷管安装在发动机壳体后端面上,在其扩张段上斜切。这种斜切喷管的扩张段,由于气流膨胀不对称,推力方向产生偏转。当各喷管斜切方向在它所在的圆周上按一定顺序排列时,推力偏转后在切向产生推力分量,提供旋转力矩,并使火箭弹旋转。

9.2.1.3　推力偏心和气动偏心的影响基本消除

高速旋转飞行的涡轮式火箭弹可以消除推力偏心和气动偏心的影响,使火箭弹的密集度有所提高。

① 推力偏心的消除——所谓推力偏心包括推力作用线偏离质心的线推力偏心和与弹的轴线构成偏角的角推力偏心两部分。由这两部分组成的偏心力矩作用在火箭上,将使火箭弹散布增大。提高火箭弹制造和装配精度可以部分消除推力偏心,但制造和装配的误差是客观存在的,因而偏心不可避免。而涡轮式火箭弹虽然有推力偏心存在,可由于转动引起推力偏心矢量的方向也在转动,使推力偏心效应不固定作用在同一方向,每时每刻都在改变方向,所以也就不会引起弹道的偏离。

② 气动力偏心的消除——所谓气动力偏心是指由制造装配误差所引起的火箭弹气动外形不对称。飞行时作用在火箭弹上的气动力不对称,有一定的偏心,同样会引起火箭弹的弹道偏离。而通过高速旋转也可以消除这种偏心的影响。

为此,射程较近的炮兵火箭弹通常设计成涡轮式火箭弹。而对于射程较远的火箭弹,例如射程大于15km的火箭弹,不宜再采用旋转稳定的涡轮火箭弹。因为射程增大后,飞行速度相应增大,引起翻转力矩增大,与之相对应的火箭弹稳定转速也要随之增大,使离心惯性力增大,从而带来发动机质量增加等一系列不易解决的问题。

1963年式130mm杀伤爆破火箭弹(简称130mm火箭弹)具有涡轮式火箭弹典型的结构形式。下面就以该火箭弹为例分析涡轮式火箭弹的结构及其作用。

9.2.2　1963年式130mm杀伤爆破火箭弹

9.2.2.1　概述

1963年式130mm火箭弹由19管的130mm火箭炮发射,在9.5s~11.5s内可发射出19发弹。由于该弹没有尾翼装置,所以采用管式定向器来发射。130mm火箭弹通常装备于炮兵师,主要用来歼灭或压制敌人暴露或隐蔽的有生力量及火力点,破坏敌轻型工

事,压制敌炮兵连、迫击炮连等。

在1963年式130mm杀伤爆破弹基础上,1986年设计定型了1982年式130mm杀伤爆破燃烧火箭弹。该弹的发动机与1963年式130mm杀伤爆破火箭弹相同,战斗部装药由原梯恩梯改用梯黑铝炸药,并增加了两层光筒和约400g燃烧合金,使破片数和有效杀伤半径比1963年式提高了30%以上,同时增加了燃烧纵火功能。正因为如此,该弹的战斗任务进一步扩大了,除完成原130mm火箭弹的战斗任务外,还可对目标区的易燃物进行纵火,杀伤、烧伤敌有生力量。

与1982年式130mm杀伤爆破燃烧火箭弹同时定型的还有1982年式130mm 30管火箭炮。1963年式130mm杀伤爆破火箭弹和1982年式的130mm杀伤爆破燃烧火箭弹,既可用老的19管火箭炮发射,也可用新的30管火箭炮发射。

1963年式130mm杀伤爆破火箭弹射程为10km,难以适应现代战争的需要,迫切要求把原1963年式130mm杀伤爆破火箭弹的射程提高到14km以上。为此有关研制单位通过采取提高推进剂装药的比冲量、选择装填密度大的星孔药型增加装药量、减小弹体的质量和减小弹体的气动阻力等多项有效措施,成功研制了射程达到14.5km的新130mm杀伤爆破火箭弹。新130mm火箭弹既可用1963年式130mm自行火箭炮发射,也可用1982年式130mm自行火箭炮发射;最大射程地面密集度($E_X/X=1/270$, $E_Z/X=1/166$)超过了1963年式130mm火箭弹的密集度指标($E_X/X=1/194$, $E_Z/X=1/120$)。

9.2.2.2 主要诸元

1963年式130mm杀伤爆破火箭弹的主要诸元如下:

弹径/mm	130.45	全弹长(带引信)/mm	1052
炮口速度/($m\cdot s^{-1}$)	25.1	最大速度/$m\cdot s^{-1}$	436.8
全弹质量/kg	32.996	战斗部质量/kg	14.712
炸药质量/kg	3.05	推进剂质量/kg	6.74
最大转速/($r\cdot min^{-1}$)	3200	最大射程/m	10100

9.2.2.3 零部件结构及其作用

1963年式130mm杀伤爆破火箭弹的结构示意图如图9-2所示,主要由战斗部、火箭发动机和稳定装置3大部分组成。

(1) 战斗部

战斗部包括引信1、战斗部壳体2、炸药装药、驻螺钉5、石棉垫4、盖片6等零部件。战斗部壳体、炸药装药、引信、隔热层是战斗部的主要部件。

① 战斗部壳体——外形采用圆弧曲线做母线,其目的是为了减小空气阻力,以提高初速。由于涡轮式火箭弹的长度受到稳定性的限制,其战斗部长径比不大。其壳体材料采用60炮弹钢,壳体经热冲后收口而成,壳体底部最小厚度为13.5mm。战斗部壳体的作用是:在平时储存炸药装药,战时在炸药爆炸后,形成大量的杀伤元素,以杀伤敌人的有生力量,破坏各种武器装备。

② 炸药装药——战斗部内装3.05kg的梯恩梯炸药,用螺旋压装法把炸药压入战斗

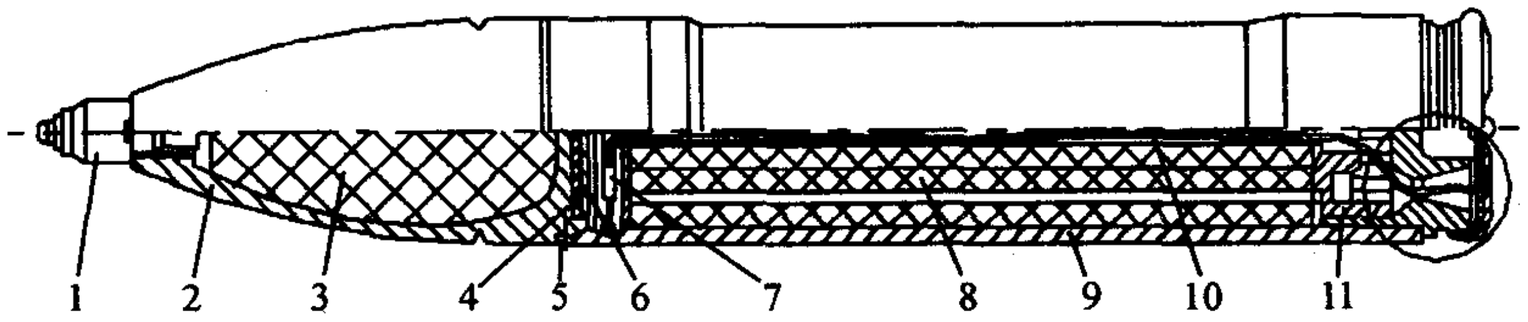


图 9-2 130mm 杀伤爆破火箭弹

1—引信；2—战斗部壳体；3—炸药；4—石棉垫；5—驻螺钉；6—盖片；7—点火药盒；8—推进剂装药；9—燃烧室；10—导线；11—挡药板；12—铝铆钉；13—导电盖；14—橡皮碗；15—喷管。

部壳体内。炸药装药的作用是使战斗部壳体破碎，并形成许多具有一定速度的杀伤破片，爆炸形成的冲击波也可以直接杀伤敌人的有生力量，摧毁各种轻型工事。

③ 引信——战斗部头部装有箭—1 引信。在火箭弹飞离炮口 30m 后，引信解除保险。箭—1 引信有 3 种装定：

a) 瞬　发——引信碰击目标后立即引爆炸药，一般不得超过 1 ms；

b) 短延期——引信碰击地面后大约经过 1ms～5ms 左右才能引爆炸药；

c) 延　期——引信碰击地面后大约要延滞 5 ms 以上才引爆炸药。

引信的作用是适时引爆炸药。在平时储存和运输中，引信要绝对安全；在战时，引信要准时、可靠地引爆炸药。

④ 隔热层——隔热层的作用是防止火箭发动机工作时火箭推进剂燃烧后生成的高温高压气体的热量传递给战斗部，避免引起战斗部内炸药熔化甚至早炸。通常在战斗部底部附加石棉垫和盖片作为隔热层，以改善战斗部内炸药装药的受热状况，确保战斗部中炸药装药的安全。

(2) 火箭发动机

火箭发动机包括点火药盒 7、推进剂装药 8、燃烧室 9、喷管 15、挡药饭 11、导电盖 13 等零部件。

① 燃烧室——燃烧室是火箭发动机的主要部分，以燃烧室为主与其它零件连接而构成火箭发动机。燃烧室是两端都有内螺纹的柱形圆筒，材料为 40Mn2 钢。燃烧室的作用是平时作为储存火箭推进剂装药的容器，发动机工作时火箭推进剂装药在燃烧室内燃烧。

由于燃烧室要承受高温高压气体的作用，一般都用高强度的合金钢制成。燃烧室两端外径稍大的部分称为定心部。定心部的基本作用与炮弹的一样，另外还起到以下3方面的作用：

a）补偿燃烧室内表面加工螺纹引起的强度削弱；

b）使定心部加工精度和粗糙度较其它部分要高，有利于火箭弹和定向器之间的配合，减小火箭弹与定向器之间在发射时所产生的动力负荷，减小起始扰动；

c）通过定心部和定向器接触形成点火线路中的导电通路。

② 推进剂装药——火箭发动机内装6.74kg的7根单孔管状双石－2推进剂。推进剂装药是发动机产生推力的能源。火箭发动机是一个能量转化机构，即从点火开始，推进剂装药燃烧，生成高温高压燃气，经喷管向后喷出而形成推力推动火箭前进，这一全过程是把推进剂的化学能转变为推进剂燃气的热能，继而转化为燃气定向流动的动能，最后转化为火箭弹的飞行动能。因此火箭推进剂能量的高低、装药量的多少直接影响到火箭弹的射程。为了提高射程，应选用高能量的推进剂，在保证正常燃烧的条件下，应尽量多装药。

推进剂装药选用多少根，主要由涡轮式火箭弹的总体方案确定。对某一种火箭推进剂来说，在某一压力下，装药的总燃烧面积与喷管喉部面积之比存在一个确定的值，即所谓面喉比存在一个定值。而在一定的弹径条件下，喷喉面积大小是受到限制的，喷喉面积大小的变化不会很大，即装药燃烧面积的大小大致也是一个定值。显然，若选用装药根数少，为了保证燃烧面的需要，装药药柱就会长一些，装药量也多一些，射程就远一些；反之，装药根数多，药柱长度就短，装药量也随之减少，射程也减小。所以装药根数必须由总体方案确定。

管状药有足够的燃烧表面积，一般呈等面燃烧，发动机的工作压力比较稳定；另外，管状药的形状简单，容易制造，因而被广泛应用。涡轮式火箭发动机装药根数除经常选用7根装药外，也有选用5根和19根的。

③ 喷管——130mm火箭弹喷管是倾斜多喷管形式，由喷管体上8个切向倾角为17°的小喷管组成，每个喷管又由收敛段、圆柱段（又称喷喉）、扩张段组成，其喷喉直径为13.5mm，长度不小于3.9mm。喷管的结构示意图如图9－3所示。

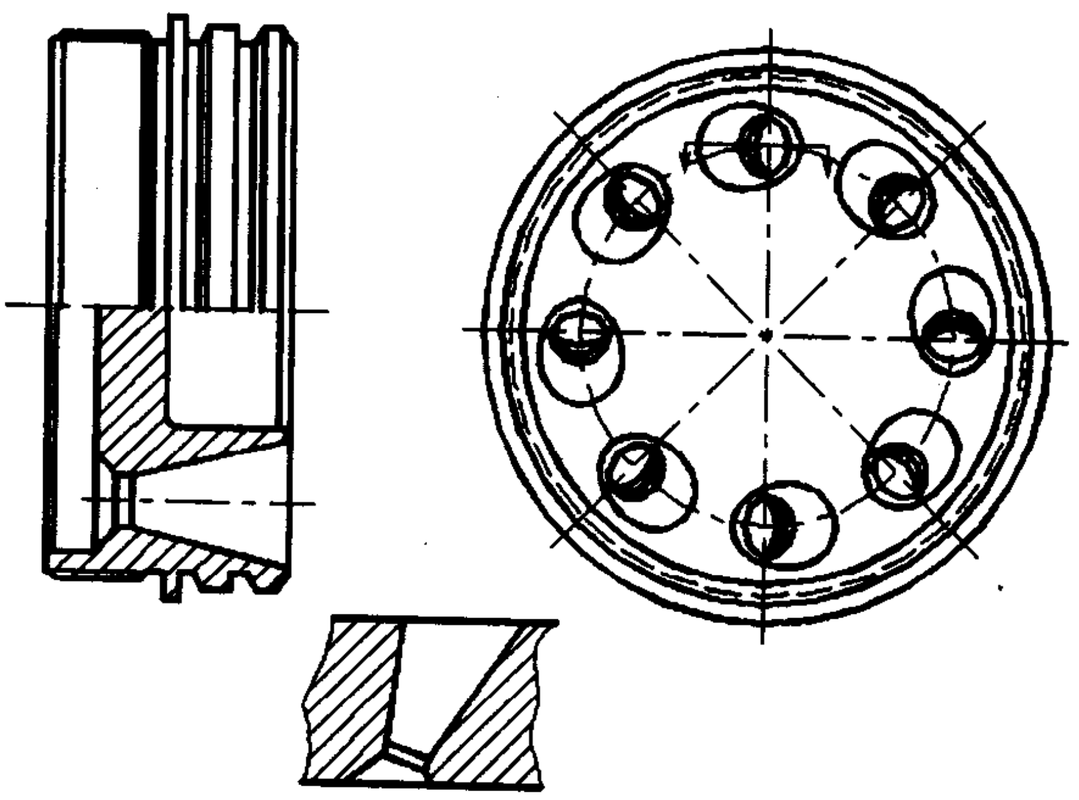


图9－3 喷管结构图

130mm 火箭弹喷管作用主要有以下 3 点：

a) 利用喷喉面积的大小控制燃烧室内的压强。在推进剂装药尺寸等条件一定时，喷喉面积越大，则燃烧室内压力越低，低到一定程度发动机则不能正常工作；喷喉面积越小，则燃气压力越高，高到一定程度将导致燃烧室破裂。因此，喷喉面积大小直接影响着燃烧室内的压力，是火箭发动机性能设计的重要参数。

b) 利用喷管特殊的几何形状提高燃气的流动速度。喷管通道的横截面积沿气流方向的变化是从大到小在喷喉处面积最小，后又由小到大在喷管出口处面积最大。这种形状的喷管称为拉瓦尔喷管。推进剂装药燃气在收敛段的速度为亚声速，在喷喉处的速度为声速，在扩张段的速度为超声速。

c) 提供旋转力矩以保证火箭飞行稳定。

④ 挡药板——又称支架，其材料为低碳硅锰铸钢。为了改善受力状态，以便承受离心惯性力的作用，挡药板的最外圈设计为 8 瓣带拱形的圆弧，而最内圈采用圆筒是为了加强挡药板刚度，使挡药板在装药的轴向压力下不至压垮。挡药板的结构如图 9－4 所示。

挡药板的作用主要就是挡药，平时限制推进剂装药沿弹轴方向前后移动，发动机工作时，推进剂装药越烧越细，挡药板可防止装药喷出或堵塞喷喉。挡药板既要可靠地挡药，又要保证燃气能平顺地经过挡药板进入喷管，故挡药板要有足够大的通气面积。

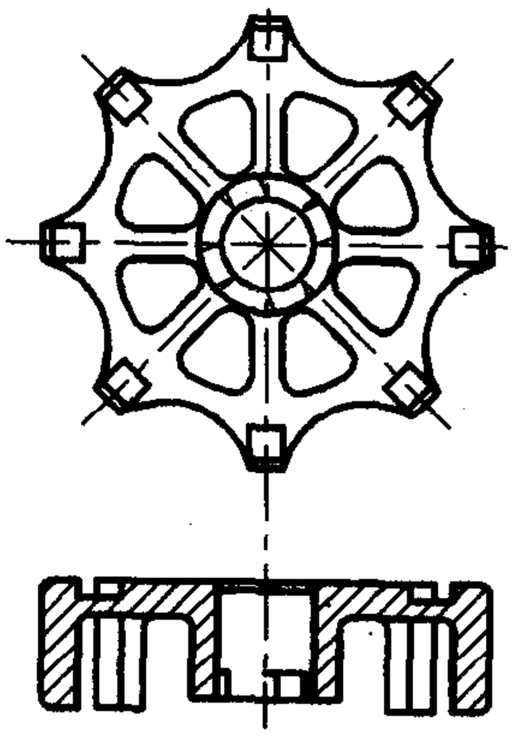


图 9－4 挡药板结构图

挡药板既要受到高温燃气的包围和冲刷，又要承受因高速旋转而产生的离心惯性力的作用，工作条件十分恶劣，故挡药板要有足够的强度，通常采用精密铸造技术加工而成。

⑤ 点火装置——点火装置的作用是在发射时能可靠地、全面地点燃燃烧室内的推进剂装药。不同火箭弹的点火方式不同，点火装置也不一样。130mm 火箭弹的点火装置是由点火药盒、导电盖组成。

赛璐珞的点火药盒内放有两个 F－1 型电发火管，管外有 35g 黑药，点火药盒固定在药包夹上，组成一体，放在燃烧室的前端。电发火管引出两条导线，短导线连在药包夹上，长导线穿过中间药柱内孔铆在导电盖上，导电盖与喷管座之间用橡皮碗绝缘。

(3) 稳定装置

130mm 火箭弹的稳定装置由喷管座上的 8 个切向倾角为 17°的小喷管组成。8 个小喷管既是火箭发动机的重要零件，又是火箭弹的飞行稳定装置，它们所提供的切向推力形成火箭弹体旋转的稳定力矩，保证火箭弹能按预定的弹道稳定地飞向目标。当火箭发动机工作结束时，130mm 火箭弹的转速可达到 3200r/min。

9.3 尾翼式火箭弹

尾翼式火箭弹是依靠尾翼稳定装置来实现飞行稳定的火箭弹，由战斗部、火箭发动机和稳定装置等 3 大部分组成，总体布局形式为战斗部在发动机之前。尾翼式稳定装置在火箭弹中的应用最为广泛。

9.3.1 尾翼式火箭弹的特点

9.3.1.1 弹径、弹长、全弹质量和最大飞行速度受限制小

由于尾翼式火箭弹的飞行是靠尾翼稳定的,其长度不受稳定性的限制,而飞行速度的大小主要取决于推进剂的比冲量和质量比,而质量比可以按需要的速度确定。由此表明尾翼式火箭弹的弹径、弹长和全弹质量受限制小,在对全弹及火箭发动机进行优化设计的情况下,可以使尾翼式火箭弹达到较高的速度和较远的射程。因此,尾翼式火箭弹可以做得细长一些。如俄罗斯 БМ-21 式 122mm 杀伤爆破火箭弹(俗称"冰雹"火箭弹)是尾翼式低速旋转火箭弹,其全长(含引信)为 2.87m,长径比达到 23.52。而旋转稳定的 1963 年式 130mm 杀伤爆破火箭弹的全长(含引信)为 1.052m,长径比仅为 8.09。由于尾翼火箭弹的长度受限制较少,所以尾翼式火箭弹的射程和威力均比涡轮式火箭弹高。如"冰雹"火箭弹的射程为 20.1 km,且战斗部装药量达到为 6.4kg。

9.3.1.2 火箭发动机提供低速旋转力矩

目前装备或在研的各种尾翼式火箭弹为减小发动机推力偏心和外形气动偏心对火箭密集度的影响,大多采用低速旋转飞行措施。

实现低速旋转的措施较多,除了采用发射管内表面带螺旋导槽和斜置尾翼片等方式外,也可由发动机提供低速旋转力矩。

① 切向斜置喷管形式——这种形式在多喷管发动机上容易实现,各喷管装在发动机后端,喷管的轴线有较小的切向斜置角,推力的切向分量产生旋转力矩,使弹丸低速旋转。

② 燃气导流装置——目前火箭弹上使用的燃气导流装置有两种:一种是在喷管扩张出口段,安装相对扩张段锥面母线斜置的燃气导流片,这些导流片与扩张段高速气流相互作用,在扩张段内表面产生推力切向分量,由此产生旋转力矩并使弹旋转;另一种是在欠膨胀时喷管扩张段出口处,装一个内表面带螺旋槽的导流环。当欠膨胀的燃气流经螺旋槽后,被导流的部分燃气仍被膨胀加速,从而产生推力切向分量,为弹丸提供低速旋转力矩,使弹丸低速旋转。

9.3.1.3 尾翼装置形式多样

尾翼式火箭弹的稳定装置由尾翼、尾翼座等零件组成,最常见的是在弹体尾部沿圆周均匀设置 4 片实心尾翼,有的火箭弹采用 6 片或 8 片尾翼。尾翼的固定方法可采用焊接、铆接、螺栓连接、轴与轴孔连接或粘接等。多数情况下,要求尾翼相对于弹体中心轴有一个很小的安装角,以使火箭弹在飞行过程中产生微旋运动。

尾翼的种类很多:

① 根据尾翼本身的刚度,可将尾翼分为刚性尾翼和弹性尾翼。在飞行中,只允许翼片有微小变形的尾翼称为刚性尾翼,允许发生较大弹性变形的尾翼称为弹性尾翼。

弹性尾翼的优点是结构简单,制造方便,火箭弹能够采用和发动机同口径的发射筒发射。但由于翼片弹性变形大,只适用于飞行速度较小的反坦克火箭弹。当最大飞行速度大于 120m/s 时,不宜采用弹性尾翼。

② 根据尾翼尺寸与弹径的关系,可将尾翼分为同口径尾翼和超口径尾翼。尾翼展开尺寸与火箭弹最大直径相同称为同口径尾翼,大于弹体最大直径时称为超口径尾翼。

同口径尾翼主要用在战斗部直径大于发动机直径且低速飞行的反坦克火箭弹上。火箭弹能够用筒式发射装置发射,可以保证在亚声速时稳定飞行。但当最大速度达到跨声速或超声速时,尾翼可能处于最大弹径后面的紊流区内,使尾翼工作效率降低,无法提供足够的升力来确保火箭弹稳定飞行。因此,具有较大飞行速度的火箭弹,不宜采用环状同口径尾翼。

③ 根据翼片与弹体的连接方式,可将尾翼分为固定式尾翼和张开式尾翼。翼片与弹体固连的尾翼称为固定式尾翼,平时折叠而发射时火箭弹出炮口后在某种力的作用下张开的尾翼称为张开式尾翼。

在中、大口径火箭弹上,固定式直尾翼是一种使用较多的尾翼。固定式直尾翼的展向尺寸受限制小,能够提供较大的升力,在飞行过程中安全、可靠。但由于外廓尺寸比弹径大,只能采用笼式或滑轨式定向器,从而使得定向器的外廓尺寸较大,一部发射装置上定向器数量受到限制,同时也给勤务处理带来不便。

为了使火箭弹能够采用筒式定向器发射,在一些火箭弹上采用了弧形张开式尾翼。由于弧形张开式尾翼平时合拢在弹体上,最大外径不超过弹径,使得发射装置结构紧凑,发射筒数量增多,同时在勤务处理中安全、方便。但由于翼片弧长最大不超过弹体圆周长的1/4,从而使展向尺寸受到限制。为了提供足够的升力,必须加大弦向尺寸。另外,翼片是通过根部的两个铰链座与连接轴连接,因此翼片根部强度必须给予足够的重视。

从筒式定向器发射的反坦克火箭弹、空—空火箭弹以及用各类火炮发射的尾翼式火箭增程弹,都广泛采用刀形张开式尾翼。这类尾翼能够充分利用弹体上的空间,可采用同口径发射筒发射,从而使弹体和发射架结构紧凑。但由于展向尺寸大,为满足强度、刚度的要求,翼片厚度较大,导致空气阻力增大。

④ 根据按尾翼平面形状,可将尾翼分为矩形、梯形、三角形和刀形尾翼等。

在火箭弹设计过程中,选择哪种类型的尾翼,主要根据飞行稳定性、弹体结构、发射装置以及弹道特性等设计要求来决定。对飞行速度较低、弹径较小的反坦克火箭弹、航空火箭弹,主要采用弹性同口径刀形张开式尾翼。而对于飞行速度较大的中大口径野战火箭弹,主要采用固定式直尾翼、弧形或刀形张开式尾翼等。

俄罗斯БМ-21式122mm杀伤爆破火箭弹具有尾翼式火箭弹的典型结构。下面就以此火箭弹为例分析尾翼式火箭弹的结构及其作用。

9.3.2 俄罗斯БМ-21式122mm杀伤爆破火箭弹

9.3.2.1 概述

俄罗斯БМ-21式122mm火箭弹系统是20世纪60年代研制、70年代初装备部队的,为当时世界先进的火箭武器系统之一。目前,全世界已经有80多个国家购买并装备了俄罗斯研制的БМ-21式122mm火箭弹系统,而捷克、朝鲜、印度、伊朗和中国等都已经制造或正在制造该武器系统。

近几年来为了进一步发挥该武器系统作战效能,首先对火箭弹进行了大量的改进。

主要技术手段一是增大射程;二是研制多种类型的战斗部以适应不同作战任务的需要;三是着手研制新型 122mm 多管火箭炮的火控系统。该火控系统将从飞机、直升机、战场雷达等传来的数据进行解算后适时地传输给多管火箭炮系统。配用这种新型火控系统后,使得火箭系统从进入阵地到开始射击由原来的 25min ~ 35min 缩短为 6min,而且乘员从原来的 3 人减少到 2 人。

俄罗斯 БМ—21 式 122mm 火箭弹是尾翼式低速旋转杀伤爆破火箭弹,用苏联 БМ - 21 火箭炮发射,40 管螺旋定向器一次齐射可发射 40 发火箭弹。

9.3.2.2 主要诸元

俄罗斯 БМ—21 式 122mm 火箭弹的主要诸元如下:

弹径/mm	122	弹长/mm	2870
全弹质量/kg	66	战斗部质量/kg	18.4
炸药装药质量/kg	6.4	推进剂质量/kg	20.6
最大飞行速度/($m \cdot s^{-1}$)	690	最大射程/km	20.75
比冲量/($N \cdot s \cdot kg^{-1}$)	1984	燃烧时间/s	1.82

最大地面密集度　　距离 $\frac{E_X}{X} = \frac{1}{224}$　　方向 $\frac{E_Z}{X} = \frac{1}{126}$

9.3.2.3 总体结构特点

俄罗斯 БМ - 21 式 122mm 火箭弹的结构示意图如图 9 - 5 所示,主要由战斗部、火箭发动机和稳定装置 3 大部分组成。

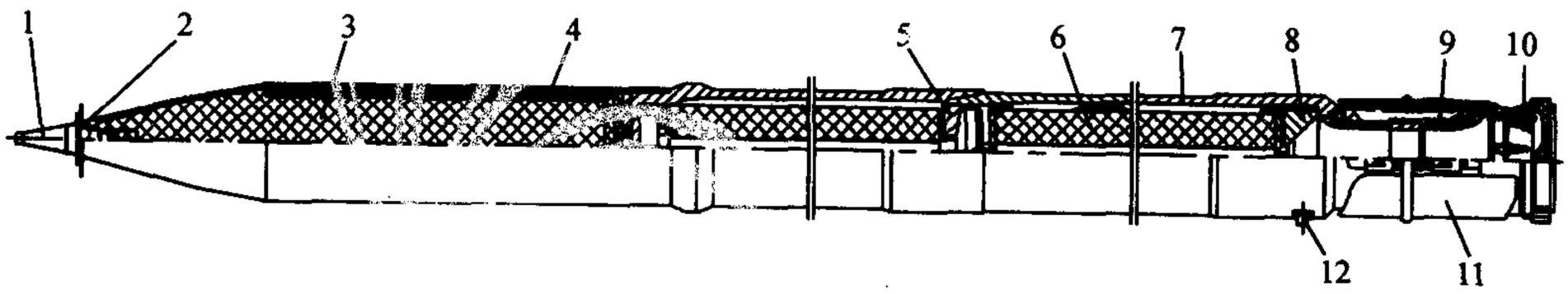


图 9 - 5　БМ - 21 式 122mm 火箭弹

1—引信;2—阻力环;3—炸药装药;4—战斗部壳体;5—点火具;6—推进剂装药;7—燃烧室;8—挡药板;9—尾管;10—喷管;11—尾翼片;12—导向钮。

俄罗斯 БМ - 21 火箭弹总体结构特点是:

① 在战斗部上增加了一个阻力环,打击近距离目标时在战斗部与引信之间加上这个阻力环,并用最大射程角来发射火箭弹,可减小距离散布。

② 火箭发动机采用多喷管,有助于减小推力偏心;发动机内两节推进剂装药径向固定,有助于减小燃气流偏心。两者均有利于减小方向散布。

③ 采用管式螺旋定向器发射,通过弹上导向钮和弧形折叠尾翼使火箭弹在飞行过程中低速旋转并保持一定转速,有利于克服推力偏心和气动偏心,以减小方向散布。

④ 首次采用单孔管状药两节式装药设计方法,使燃烧室的空间得到充分利用,推进剂装药量有较大提高,并且使燃烧室容易加工。

⑤ 首次采用大长细比方案，使其使用性能得到很大提高，因而受到了世界各国火箭武器研制者的重视。

9.3.2.4　俄罗斯БМ－21火箭弹的结构及其作用

(1) 战斗部结构

БМ－21火箭弹战斗部质量18.4kg，炸药装药质量6.4kg，战斗部结构如图9－6所示。

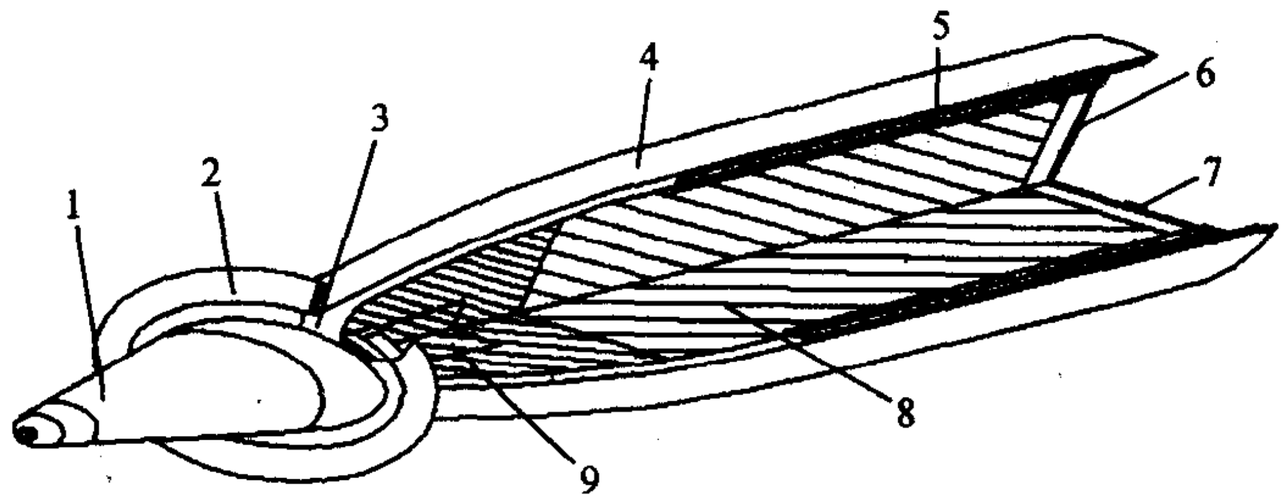


图9－6　战斗部结构图

1—引信；2—阻力环；3—弹簧；4—战斗部壳体；5—预制破片筒；6—厚纸垫；7—塞盖；8—炸药药柱；9—起爆药柱。

БМ－21火箭弹在战斗部设计上采用了3项提高威力和密集度的技术措施：

① 战斗部壳体内装填的炸药种类有所不同。在战斗部壳体弧形部内装梯恩梯炸药，而在圆柱部内装一种由梯恩梯、黑索今、铝粉混合制成的混合炸药(梯恩梯35%、黑索今43%、铝粉19%、钝感剂3%)，而传爆药为A－Ⅸ—Ⅰ炸药。

② 战斗部圆柱部内壁放置两个预制破片筒。战斗部圆柱部内壁放置了两个预制破片筒，分为内筒和外筒两层，由低碳钢板压制成棱形沟槽后卷制并焊接而成。

③ 战斗部前端加装一个阻力环。战斗部前端加装一个阻力环，即所谓“马兰德林圆盘”(马兰德林圆盘19世纪末期法国在75mm炮弹上首先采用)。

前两条措施是为了提高战斗部爆炸时战斗部壳体金属的利用率，使质量过大的破片数目减少，而使有效破片数目大幅度地增加。БМ－21战斗部爆炸后，每个破片重大约4.5g。最后一条措施是为了提高对近距离目标射击密集度和杀伤威力。如果不采用阻力环，这就与普通的火箭弹一样，打近距离目标一定要采用小射角来射击，由于射角小，所以落角也小，就会使得战斗部壳体生成的许多破片打到地底下去，起不到杀伤作用。若用大射角发射带有阻力环的火箭弹来打近距离目标，因为落角大，就可以减少破片的损失，增加战斗部的杀伤作用。此外，用大射角来发射带有阻力环的火箭弹，打近距离目标，还可以减少距离散布。射击实践证明，用大射角来射击近距离目标，距离散布大大减少，但不能改善方向散布。

(2) 发动机结构

火箭发动机由前燃烧室、后燃烧室、前装药、后装药、中挡药板、后挡药板、前支架和支架、导向钮、导电盖及喷管组合件等几大部分组成。发动机外表面设置了前、中、后3个定心部。后定心部上装有一个直径为10mm、高为8mm的导向钮。

БМ－21 火箭发动机前燃烧室是带底的，而后燃烧室是两端开口的圆筒。在前燃烧室的后端与后燃烧室的前后两端均车制有细牙螺纹，而且在螺纹连接部位都设置了圆柱定位面。前后燃烧室壁厚不相等，前燃烧室壁厚为 3.2mm，后燃烧室壁厚为 3.75mm。在燃烧室内壁处均涂有 0.1mm～0.3mm 的隔热涂层。燃烧室材料为低碳合金钢 14MnNi。燃烧室的总长度约为弹径的 16 倍，绝对长度接近 2m。

发动机燃烧室的设计在与各零部件连接的同轴性、工艺性、密封性和减轻壳体质量、提高壳体强度等方面比较有特色。具体表现在：

① 燃烧室分成前、后两个燃烧室——把一个长度约 2m 的细长燃烧室拆成前、后两个壁厚不等燃烧室来设计。其设计依据：一是从推进剂装药来考虑，若把燃烧室设计成单节燃烧室，那么推进剂装药也得采用单节装药，这样会使得单根药柱变得过于细长，以致使药柱弯曲度大，增大发动机的几何偏心；二是从工艺上考虑，若按单节燃烧室来加工，由于燃烧室过于细长，在加工设备和加工工艺上都会增加难度；三是从减轻火箭弹全重来考虑，若设计成单节燃烧室，燃烧室的壁厚就必须按受热大处的壳体壁厚来设计，这样就会增加燃烧室的消极质量。

② 前燃烧室带底——在燃烧室连接的同轴性和密封性问题上采取了一些措施，把前燃烧室设计成带底的燃烧室，使前燃烧室与战斗部直接连接，不需要中间底，因而减少了火箭弹的连接部位，有利于减小几何偏心和减轻消极质量。

③ 高精度螺纹连接——将燃烧室壳体上的连接螺纹都设计成密封性能较好的高精度螺纹，而且在螺纹端头均设计成带有圆柱部的定位面，以提高连接的同轴性，做到既提高同轴性又提高密封性。

④ 冷挤冷拔工艺——采用先进的冷挤冷拔加工工艺方法可以减小壁厚差，降低燃烧室内、外表面粗糙度，提高燃烧室的加工精度。由于冷挤冷拔加工工艺，金属在加工过程中冷作硬化，还可以提高金属机械性能，这样就可以相应地使燃烧室质量减轻，如 14MnNi 冶炼锻造毛坯，$\sigma_b \geqslant 539.6$MPa，用冷挤冷拔成型工艺后，$\sigma_b \geqslant 706.3$MPa。

⑤ 燃烧室内壁涂隔热涂料——为减轻燃烧室质量提高燃烧室强度，发动机前、后燃烧室内壁均涂以有机硅树脂为基料，三氧化二铬、云母粉做填料的隔热涂料，涂层厚度 0.1mm～0.3mm。试验证明，БМ－21 火箭发动机工作结束后 3s～7s 时间，后燃烧室前部表面的壁温因燃气流受前挡药板滞阻达到 600℃以上。这样高的温度，若不涂隔热涂料，除非把燃绕室壁厚加厚，否则燃烧室将不能满足热强度的要求。

(3) 喷管结构

喷管组合件如图 9－7 所示，它由尾管前段、尾管后段和喷管组成。

尾管前段和尾管后段由 40Cr 合金钢管加工制成后，由螺纹连接成一件。在尾管的前后锥体上分别模压上热固性塑料。尾管内腔是一个先略微收缩，然后平直，再呈略微扩张的形状。

喷管是多喷孔结构，共有 7 个小喷孔，其中 6 个小喷孔沿喷管座圆周方向均匀分布，1 个小喷孔放在喷管座的中心位置。7 个小喷孔由喷管座通过螺纹连接在尾管后段上，然后通过尾管前段用螺纹连接到燃烧室上。各小喷孔的收敛段和喉部用 15 号低碳钢制成。

为减小发动机的热损失，减轻尾管的质量，降低尾管本身的受热影响，在尾管前后段的内壁和喷管扩张段模压上热固性塑料。喷管座内 7 个小喷孔扩张段一次模压成形，使

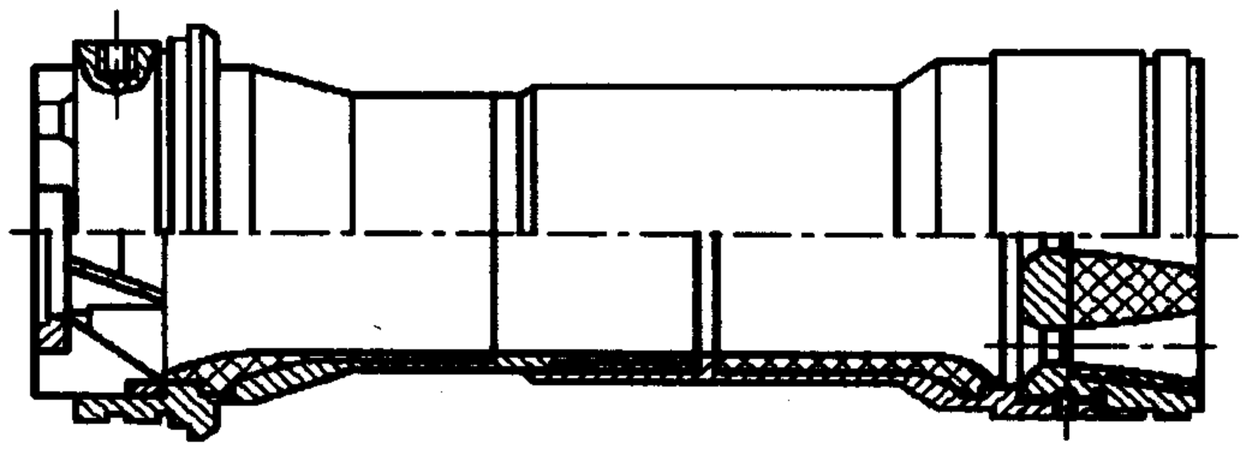


图 9-7　喷管组合件

喷管孔具有较好的同心性。

尾管的作用：一是为安装弧形尾翼留出必要的空间；二是燃气流通过尾管可得到整流，使得燃气流的压力、速度、温度分布趋向均匀，减小燃气流的不对称性，以利于减小推力偏心，同时也可提高推进剂的利用率。

(4) 固药结构

火箭发动机有前、后两个挡药板和前、后两个支架。靠近战斗部的前药柱由前挡药板和前支架固定，后药柱由后挡药板和后支架固定。前支架置于前燃烧室的前端，由于它受到热的作用较小，所以采用热固性塑料模压而成，其形状为中空圆锥台再加一个带有 6 条筋的圆环，如图 9-8 所示。

前挡药板位于前药柱的后端，是一个由内外环和连接筋组成的整体式结构，如图9-9所示。为了连接后支架，外环的内侧车制螺纹，通过螺纹和后支架连接起来，并使发动机的点火药盒固定于前挡药板与后支架之间。

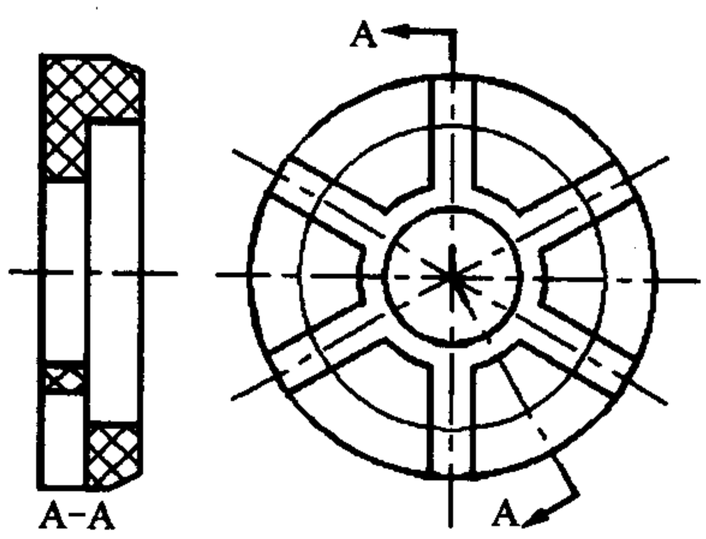


图 9-8　前支架图

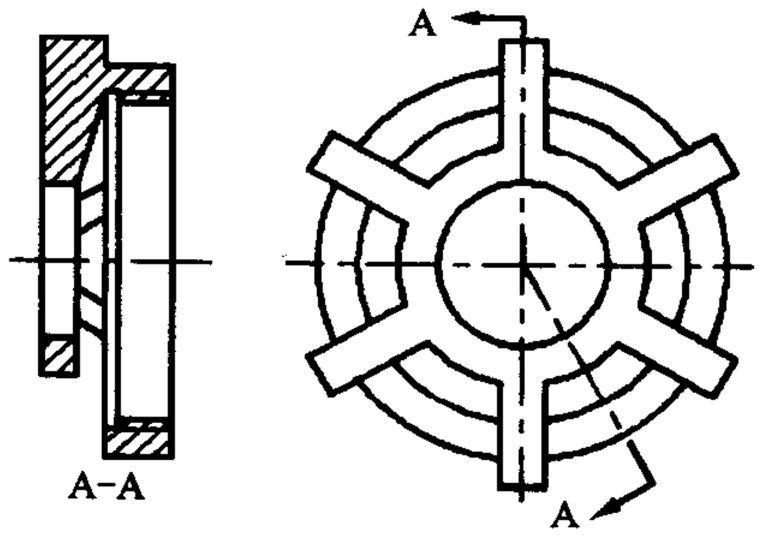


图 9-9　前挡药板

后支架由内环和外环及 4 条筋连接而成为一个整体结构。后支架与前挡药板一起构成一个点火药盒支架。该支撑架有 3 大作用：

① 作为前一根药柱的挡药板；

② 固定并保护点火药盒，使点火药盒在勤务处理过程中不致损坏；

③ 起支撑固定后一根药柱的作用。

后挡药板结构与前挡药板不同之处在于连接筋的数目，前挡药板是 6 片连接筋，后挡药板为 4 片连接筋。把连接筋由 6 片改成 4 片的原因是后挡药板处比前挡药板处燃气流量大，流速也大，要求后挡药板有更大的通气面积。但这 4 片筋的强度和刚度需要比前挡药板的 6 片筋的强度、刚度更大。

前挡药板、后支架和后挡药板均用45号铸钢精密铸造而成，它们均用驻螺钉固定在燃烧室壁或喷管上。

(5) 推进剂装药

БМ－21火箭发动机的推进剂为PCII－12，类似于国产的双铅－2单孔管状药。前一根装药外径为103.5mm，内径为24mm，长度为895mm。后一根装药外径为92.5mm，内径为13.5mm，长度为896mm。为使装药药柱在发动机内得到径向固定和等面燃烧，两节装药的4个端面被包覆。端面包覆片采用乙基纤维素模压成草帽形，然后使用15号胶粘结到药柱的端面上。为了适应装药轴向长度因温度变化而引起的变化以及缓冲作用，在包覆片和挡药板之间放置了一个海绵橡胶垫圈。为了便于将装药放入发动机中，防止运输、勤务处理过程中装药径向变形，以及克服发动机工作过程中燃气流不对称，每节装药的外表面均按120°均布并沿长度螺旋配置6块同类垫块。

(6) 点火装置

点火装置由点火具、支架、导线等组成。而点火具由点火药盒、环形布袋、小布袋、电点火头和黑药等组成。

点火药盒是用0.5mm的铝板冲压制成的，为有利于点火药产生的燃烧产物将推进剂装药点燃，盒盖中央开有直径为Φ25mm的孔(盒盖孔直接对准前装药内孔)，而在点火药盒的底面上，开有4个对称分布的Φ10mm的底孔，面对后装药药柱一边。为保证点火药不致因受潮而降低性能，点火药盒盖与盒底以卷边结合，边缘涂以251号密封胶。在盒盖与盒底的开孔处，均在内表面贴上铝箔(用251号胶做粘贴剂)，边缘用胶加以密封。

电点火头的两根导线接在固定于盒底中心的两根铜制接线柱上，由铜制接线柱另一端的两根导线将其引出。两根导线通过支架、后装药药柱中心孔、后挡药板中心孔和喷管中间喷孔，分别利用螺钉连接在导电盖和喷管上。为防止松动，确保电路导电可靠，螺钉端面用垫圈和弹簧垫圈压紧导线端头。

点火药采用易点燃、燃速较快、化学安定性较好的黑火药，其中2g的2号小粒黑药作为扩焰药，与电点火头同装在一个小布袋内，80g的1号大粒黑药作为点火药装在一个环形布袋内，然后把小布袋放置在环形布袋的中央，再将环形布袋放入点火药盒中，组成一个完整的点火具。

因为推进剂装药细长，为了更好地同时点燃前、后两节装药，发动机点火具安置在前、后两节装药中间，由前挡药板和支架组成的点火具支架内，并由前挡药板和支架连接螺端面压紧点火药盒外沿卷边而固定。这种连接方法既简单，作用又可靠。

点火具用镍铬不锈钢的半环形导电片做骨架，用Fx—50l热固性塑料模压而成，并用螺纹固定在喷管出口端面上。点火具的作用是：

① 导电点火，产生的一定压力和温度的燃烧产物将推进剂装药可靠点燃；

② 改善发动机的点火性能，尤其是低温下的点火性能；

③ 通过导电盖把整个火箭发动机完全密封起来。发动机工作时，打开导电盖的压力为1.96MPa～3.43MPa。

(7) 稳定装置

稳定装置由4片弧形尾翼组成。尾翼沿弦向和展向均为等壁厚，用合金铝板冲压制成。每片约占1/4圆弧，安装角为1°20′，覆盖在整流管的外表面，相接成圆形，其直径等

于弹径。翼片根部卷压成轴孔，通过一小轴和整流管连接，翼片可以绕平行于弹轴的小轴旋转。在小轴上套有压缩扭簧，其作用是既使翼片能向外张开，又使翼片在张开过程中，能够沿着弹轴方向移动，使翼片卡在整流管的缺口内而得到固定。整流管是用薄钢板卷压而成，套压缩扭簧用的转轴小孔座是焊接在整流管上的，而整流管则通过尾管后段连接到喷管组件上。

为使4片尾翼同时张开，在整流管与尾管前段之间套有一个同步环，当任何一片尾翼向外张开的时候，都可以带动同步环，推动其余翼片同步张开。

БМ－21火箭弹稳定装置的创新设计表现在最先采用弧形折叠翼来实现用管式发射架发射的尾翼弹。由于尾翼所占空间缩小，从而实现了一次齐射40发的设计目标，大大增强了一次齐射的威力。但是这种张开式圆弧形折叠尾翼，也存在一些不足，主要是受到自身结构的限制，尾翼片弧形尺寸最大也就是等于弹体圆弧弧长1/4，这就缩小了这种圆弧折叠翼的使用范围。此外，尾翼根部因通过卷成的轴孔用小轴与整流管连接，尾翼根部的强度也不易保证。前者使尾翼升力和稳定力矩受到限制，后者容易引起尾翼根部的损坏。

(8) 导向钮

导向钮的作用是使火箭弹沿着具有一定缠角的螺旋导轨低速转动，以减小火箭弹因推力偏心引起的散布。要求低速旋转速度在6r/s～10r/s变化。

9.4 火箭弹的发展趋势分析

火箭弹具有无后坐、射程覆盖范围大、使用方便等优点，二次世界大战以来备受许多军事强国的重视。特别是近十几年来，中远程火箭弹在局部战争中更是发挥了重大的作用。随着一些高新技术、新材料、新原理、新工艺在火箭弹武器系统研制中的应用，火箭弹在射程、威力、密集度等综合性能指标方面有了较大幅度的提高，呈现出射程远程化、打击精确化、大威力及多用途化、动力推进装置多样化地发展趋势。

9.4.1 射程远程化

推进剂的比冲大小和装载质量的多少是决定火箭弹射程远近的重要参数。

近年来高能材料在固体推进剂制造中的应用，使得推进剂能量有了大幅度提高。目前，改性双基推进剂添加黑索今、铝粉以后，其比冲已达到240s以上，而复合推进剂的比冲达到了250s以上。

近年来高强度合金钢、轻质复合材料等高强度材料通常用作火箭壳体材料，同时采用强力旋压、精密制造等制造工艺技术，不仅减轻了壳体重量，提高了材料利用率，降低了生产成本，而且火箭弹的消极质量大幅度下降，同时推进剂的有效装载质量提高。

在总体及结构设计方面，采用现代优化设计技术、新型装药结构、特型喷管等，有效地提高了推进剂装填密度和发动机比冲。

这些新材料、新技术、新工艺的应用使得火箭弹的射程不断提高。目前，火箭弹在射程方面的发展主要有两个方面：

① 现有火箭弹改造，提高其射程——如目前大多数国家已装备的122mm火箭弹，经

过改造以后,其射程已达到 30km ~ 40km;

② 大力开发研制大口径远程火箭弹——目前,已装备或正在研制的远程火箭弹有埃及 310mm 口径 80km 火箭弹、意大利 315mm 口径 75km 火箭弹、俄罗斯 300mm 口径 70km 火箭弹、美国 227mm 口径 45km 火箭弹、巴西 300mm 口径 60km 火箭弹、印度的 214mm 口径 45km 火箭弹等。

从目前火箭弹的发展趋势来看,最近几年内火箭弹的射程有望达到 150km 以上。

9.4.2 打击精确化

落点散布较大是早期火箭弹最大的弱点之一。随着射程的不断提高,在相对密集度指标不变的情况下,其散布的绝对值越来越大,这将会大大影响火箭弹的作战效能。

近几十年来为了提高火箭弹的射击密集度,已开展了大量的研究工作。在常规技术方面,进行了高低压发射、同时离轨、尾翼延张、被动控制、减小动静不平衡度以及微推偏喷管设计等技术的研究。有些研究成果应用在型号研制或装备产品改造中,已取得了明显的效果。如微推偏喷管设计技术在 122mm 口径 20km 火箭弹改造中应用之后,其纵向密集度已从 1/100 提高到 1/200 以上。在非常规技术方面进行了简易修正、简易制导等先进技术的研究。俄罗斯的 300mm 口径 70km 火箭弹采用简易修正技术,对飞行姿态和开舱时间进行修正以后,使得其密集度指标达到 1/310。美国和德国在 MLRS 多管火箭上采用惯性制导加 GPS 技术,研制出了制导火箭弹。

未来的火箭弹将会采用多模弹道修正、简易制导、灵巧智能子弹药等先进技术,实现对大纵深范围内多类目标的精确打击。

9.4.3 大威力及多用途化

早期的野战火箭弹主要用于对付大面积集群目标,所配备的战斗部仅有杀爆、燃烧、照明、烟幕、宣传等作战用途,单兵使用的反坦克火箭弹也只有破甲和碎甲的作战用途。

现代野战火箭弹在兼顾对付大面积集群目标作战任务的同时,已开始具备高效毁伤点目标的能力,并且战斗部的作战功能多极化。目前,为了消灭敌方有生力量及装甲车辆等目标,大多数火箭弹都配有杀伤/破甲两用子弹子母战斗部;为了能快速布设防御雷场,已研制了布雷火箭弹;为了提高对装甲车辆的毁伤概率,许多国家在中大口径火箭弹上配备了末敏子弹和末制导子弹药;为了高效毁伤坦克目标,除研究新型破甲战斗部,提高破甲深度外,也开展了多级串联、多用途以及高速动能穿甲等火箭弹战斗部的研制;为了使火箭弹在战场上发挥更大的作用,许多国家正在研制侦察、诱饵、新型干扰等高技术火箭弹,如澳大利亚和美国正在研制一种空中悬浮的火箭诱饵弹,主要用于对抗舰上导弹系统。

随着现代战争战场纵深的加大、所需对付目标类型的增多以及目标综合防护性能的提高,要求火箭弹的设计与研制不仅要大幅度提高战斗部的威力,其作战用途也要进一步的拓宽。

9.4.4 动力推进装置多样化

固体火箭发动机结构简单、工作可靠、使用方便等特点,使其成为目前大多数自带动

力武器的动力装置。但由于固体火箭发动机同时具有工作时间短、比冲小、推力不易调节等缺点，从而限制了该种动力推进装置的应用范围。

目前许多国家已开始应用或研究多种新型动力推进装置，主要有以下几类：

① 固体或液体冲压发动机——固体或液体冲压发动机充分利用大气中的氧气，采用贫氧推进剂，其比冲可达600s以上。由于冲压发动机在一定飞行速度下才能启动，因此它一般作为增程增速发动机使用。

② 凝胶推进剂发动机——凝胶推进剂发动机所采用的推进剂是一种凝胶状物质，根据不同推力大小的需要，通过控制装置可以往燃烧室输入不同质量的推进剂。一般作为可变推力发动机使用。

③ 脉冲爆轰发动机——目前，美国、俄罗斯、法国、英国等国家正在研制脉冲爆轰发动机。这种发动机类似于冲压发动机，以空气中的氧气作为氧化剂，燃料采用汽油、丙烷气或氢气，具备能量利用率高、结构简单、使用方便等特点，并能在静止或不同飞行速度下启动。但就目前的研究状况看，脉冲爆轰发动机所产生的推力较小，还只能作为续航发动机使用。

第 10 章　航 空 炸 弹

航空弹药(简称航弹)是从飞机上发射和投掷的各种爆炸物的统称,根据其作用原理和使用方法的不同,可分为航空炸弹、航空炮弹、航空火箭弹、航空导弹和航空特种弹药。航空弹药是空军作战的主要弹药,用于破坏和摧毁敌人的政治、经济、军事等目标,杀伤敌方有生力量,配合其它军兵种对敌实施进攻。本章重点介绍航空炸弹。

10.1　航空炸弹的一般知识

10.1.1　航空炸弹的发展

航空炸弹是出现最早的航空弹药。1911 年意大利军队与土耳其军队作战中,首次从飞机上投放了 4 枚由手榴弹改制、重量只有 2.4kg 的炸弹,从此揭开了航空炸弹的发展序幕。

航空炸弹自首次出现至今,其发展大致可分为 3 个阶段。

10.1.1.1　第一阶段:传统的航空炸弹

传统的航空炸弹是伴随着军用飞机的发展而发展起来的,最初完全采用了炮弹、鱼雷、水雷等弹药的技术,只是从飞机上投掷而已。之后,随着军用飞机的发展,炸弹无论从圆径、结构还是种类上都出现了很大的变化和发展,圆径范围从 50kg 发展到 2000kg,出现了带有预制破片壳体的杀伤爆破弹、利用聚能效应的破甲炸弹、可大面积布撒的航空子母炸弹、航空穿甲弹、航空烟幕弹等诸多品种。

20 世纪 60 年代以后,传统的航空弹药技术又有了很大的发展,先后出现了低阻低空炸弹、燃料空气炸弹、远距离投放炸弹、反跑道炸弹、串联式破甲炸弹和自锻破片炸弹。例如,美国和苏联 20 世纪 60 年代研制并装备的燃料空气炸弹,威力十分巨大,是开辟战场通道、清扫雷区、杀伤有生力量、舰艇和坦克群的有力武器,被称为是介于常规弹药和核弹药之间的一类弹药;法国的“飞马通用子母炸弹”Ⅲ型的最大投掷距离可达 60km,可从火力圈外发射攻击目标;美军装备的“GUB－97/B”子母弹箱,内装 10 枚炸弹,每个炸弹又由 4 枚称为“奔驰”的小弹头构成,小弹头利用红外传感器搜索目标,一旦发现目标,小弹头立即爆炸产生自锻破片对目标进行攻击。

10.1.1.2　第二阶段:航空制导炸弹

为了克服传统航空弹药命中精度低的缺点,早在第二次世界大战期间就开始研制制导炸弹,当时德国研制了 9 种制导炸弹,美国也研制出了 5 种制导炸弹,均采用无线电遥控制导,但尚未来得及使用,战争就结束了。

从 20 世纪 60 年代起，世界上许多国家重新开始研制制导炸弹。美国从 1962 年开始研制激光制导炸弹，1968 年美军装备了第一代激光制导炸弹“宝石路Ⅰ”，并首次在越南战场上使用，该弹的命中圆概率误差（CEP）为 7.5m，比普通炸弹命中精度高出近百倍。此后，美国对第一代激光制导炸弹进行了改进，进一步提高了命中精度，20 世纪 70 年代后期和 80 年代中期相继装备了第二代激光制导炸弹（宝石路Ⅱ）和第三代激光制导炸弹（宝石路Ⅲ）（CEP 为 0.3m～0.6m）。与此同时，苏联、英国、法国等国家也研制成功并装备了激光制导炸弹。

10.1.1.3　第三阶段：智能化精确制导炸弹

进入 20 世纪 90 年代以后，以信息技术为基础和先导的高技术，使航空弹药技术发生了质的变化，智能化精确制导弹药已现端倪。1992 年，美国空军和海军开始联合研制在恶劣条件下全天候使用的具有主动寻的、发射后不管、高空远距离攻击目标的复合精确制导炸弹“联合直接攻击弹药（JDAM）”和“联合防区外投射武器（JSOW）”。

从战争实践来看，航空弹药在战争中占着极其重要的地位，尤其现代战争，通过飞机轰炸重点军事目标，从而夺取制空权和战争的主动权，已经成为新的战争模式。

10.1.2　弹道性能

同样投弹条件下，形状、直径和质量不同的炸弹，受空气阻力影响的程度不一样。炸弹从空中落下时，空气阻力影响炸弹运动的性能叫作弹道性能。所谓弹道性能的好坏，就是指炸弹降落时受到空气阻力影响的大小，弹道性能越好，受空气阻力影响越小；反之，受空气阻力影响越大。

目前常采用弹道系数、炸弹标准下落时间和极限速度来表示弹道性能，用的最多的是标准下落时间。

10.1.2.1　弹道系数

炸弹在空气中运动时，由于受空气阻力的作用而产生的加速度，其表达式为

$$a = \frac{R}{m} = \frac{id^2}{m} \times 10^3 \times \frac{\pi}{8}\rho v^2 C_{\text{xon}}(M) \times 10^{-3} \tag{10.1}$$

式中　i——弹形系数；

d——炸弹直径；

m——炸弹质量；

$C = \frac{id^2}{m} \times 10^3$，反映炸弹本身条件与空气阻力加速度的关系，称为弹道系数。

从弹道系数的大小可以看出炸弹受空气阻力影响程度。

弹道系数的大小同炸弹的外形、直径和质量有关，外形呈流线形、断面比重大，其弹道系数就小。弹道系数越小，受空气阻力影响越小，弹道性能就越好；反之，受空气阻力影响越大，弹道性能越坏。

10.1.2.2　炸弹标准下落时间

在相同条件下投放各种炸弹，落下的时间不同。所谓炸弹的标准下落时间，是指在标准

大气条件下(地面气压为760mm水银柱高,地面气温为15℃,地面大气密度为1.225kg/m^3,气温递增率为0.0065℃/m)从2000m高度、航速为40m/s作水平飞行的飞机上投下的炸弹的下落时间。标准下落时间越短,说明炸弹受空气阻力的影响越小,弹道性能越好。在真空中,所有炸弹从2000m高度落下的时间等于20.197s,因此,标准下落时间越接近这个数值,弹道性能就越好。航空炸弹的标准下落时间一般在20.25s~22.00s。

炸弹标准下落时间 Θ 与弹道系数的关系可用下面经验公式表示:

$$\Theta = 20.197 + bC \tag{10.2}$$

式中 b——根据预先求出的炸弹标准下落时间和弹道系数推算出来的系数。

计算表明,当确定炸弹标准下落时间和弹道系数所采用的阻力定律不同时,b 的大小不同。

我国1970年制定颁发的高阻弹阻力定律就是选用250-2航爆弹作为标准炸弹;低阻弹阻力定律则选用250-3航爆弹作为标准炸弹。在炸弹标准下落时间不大于25s的情况下,b 为1.87。即

$$\Theta = 20.197 + 1.87C \tag{10.3}$$

由上式可看出,炸弹标准下落时间是弹道系数的单值函数,其大小与弹道系数 C 有关。根据弹道系数的概念,弹形较好的炸弹(头部尖锐,尾部锥角小,表面粗糙度好),其迎面阻力系数小,弹道系数小,则标准下落时间短。

10.1.2.3 极限速度

炸弹在下落过程中,由于重力作用,弹速不断地增大,同时受到的空气阻力也不断地增加,当炸弹所受空气阻力增大到等于它的重力时,炸弹的下落速度就保持不变,不再增大,此时炸弹的速度就叫极限速度。

由上述可知,受空气阻力影响大的炸弹,在速度比较小的时候,空气阻力和重力达到平衡,因而极限速度较小;受空气阻力影响小的炸弹,速度较大时空气阻力和重力才达到平衡,因而极限速度较大。可见,炸弹的极限速度越小,说明炸弹受空气阻力影响越大,弹道性能就越坏;反之,炸弹的极限速度越大,说明炸弹受空气阻力影响越小,弹道性能越好。

弹道系数、炸弹标准下落时间和极限速度是从不同的角度反映空气阻力对炸弹的影响程度。弹道系数反映炸弹本身条件与空气阻力的关系;炸弹标准下落时间反映炸弹在标准条件下的落下时间与空气阻力的关系;而极限速度则反映炸弹在下落过程中速度变化快慢情况与空气阻力的关系。它们三者之间有着密切的联系,可以相互换算。常用炸弹的弹道系数、标准下落时间和极限速度的数值情况列于表10-1。

表10-1 弹道系数、标准下落时间和极限速度

弹道系数	标准下落时间/s	极限速度/(m·s^{-1})
0.071	20.25	644
0.379	20.50	330
0.684	20.75	296
0.998	21.00	271
1.300	21.25	244
1.601	21.50	222

10.1.3　炸弹的分类

航空炸弹品种型号繁多，有许多种分类方法。

① 按照用途可分为主用航空炸弹、辅助炸弹和特种炸弹。

主用航空炸弹包括爆破、杀伤、杀伤爆破、穿甲、半穿甲(反跑道炸弹)、反坦克、燃烧、爆破燃烧、航空燃料空气炸弹等。

辅助炸弹包括航空训练炸弹和航空标志炸弹等。

特种炸弹包括航空照相炸弹、航空照明炸弹、烟幕炸弹、宣传炸弹等。

② 按照所受空气阻力高低分为高阻炸弹和低阻炸弹。

高阻炸弹的特点是：外形短粗，长细比小，流线形差，空气阻力系数大，只适用于跨声速以下的飞机内挂使用；低阻炸弹的外形细长，长细比大，流线形好，阻力系数小，适用于高速飞机外挂使用。

③ 按炸弹使用高度可分为中、高空炸弹和低空炸弹，中、高空炸弹没有减速装置，低空炸弹有减速装置。

④ 按照有无制导装置可分为非制导炸弹和制导炸弹两类。

非制导炸弹是指从载机投放的靠惯性自由下落或依靠火箭增程的炸弹，此类炸弹命中概率低。制导炸弹是指载机投放后，利用制导装置能自动导向目标的炸弹，命中精度高，比普通炸弹命中精度提高了上百倍。目前已装备部队的制导炸弹的制导方式主要有激光制导、电视制导和红外制导。

⑤ 按照结构可分为整体炸弹、集束炸弹和子母炸弹。

整体炸弹是指整个炸弹的各零部件连接成一个整体，挂弹使用时可将炸弹整体悬挂在载机挂弹架上，投弹后直至命中目标爆炸之前炸弹始终保持一个整体。集束炸弹是指将多颗炸弹通过集束机构连接为一体，投弹后，在空中一定高度上集束机构打开，多颗小炸弹分散下落。子母炸弹是将许多小炸弹装填在一个母弹箱内，挂弹时，母弹挂在载机挂弹架上，投弹后，母弹箱离开载机一定时间后，母弹体开箱，子炸弹自由散落或靠动力弹射出去分散下落。集束炸弹是子母炸弹的前身。

⑥ 按圆径分为小圆径炸弹、中圆径炸弹和大圆径炸弹。

炸弹圆径与炮弹的口径不同，所谓炸弹的圆径是化成简单整数后以 kg 计的炸弹质量(名义质量)。中国和苏联有 0.5kg、1kg、2.5kg、5kg、10kg、15kg、25kg、50kg、100kg、250kg、500kg、1000kg、1500kg、5000kg、9000kg 等圆径系列。我国通常将 100kg 以下的叫小圆径炸弹，将 250kg ~ 500kg 的叫中圆径炸弹；将 1000kg 以上的称为大圆径炸弹。我国圆径最小的炸弹是 1kg，最大圆径炸弹是 3000kg，美国库存最大圆径炸弹 T_{12}重为 20t。

10.1.4　对炸弹的基本要求

航空炸弹除应满足弹药的装药安定性、长储性、构造简单、成本低廉、适宜大量生产等基本要求外，还应满足如下要求：

① 攻击目标广泛性。航空炸弹可对敌前方和后方的指挥所、通信交通枢纽、飞机场、雷达、火炮和导弹阵地、坦克群、水面舰艇、水下潜艇、工厂、经济中心、政治中心、仓库、地下掩蔽所等任何目标和有生力量进行广泛性、摧毁性打击。

② 与载机具有良好的相容性。航空炸弹的品种、型号应该广泛适用于强击机、轰炸机和歼击轰炸机挂载炸弹的需求,具有作战和训练使用的灵活性。

③ 载机安全,弹道稳定。必须保证挂载飞行、投弹时载机的安全性。炸弹在下落过程中的稳定性是十分重要的,如果炸弹落下时不稳定,炸弹碰击地面时将出现不稳定力矩,严重降低炸弹的侵彻能力,同时使跳弹的可能性增大,危及载机安全。另一方面,弹道不稳将会造成较大的散布。

10.2 航空爆破炸弹

爆破炸弹与爆破榴弹的作用相同,靠弹体内装填的炸药爆炸后形成的冲击波破坏目标,同时也有一定的侵彻作用、燃烧作用和破片的杀伤作用。爆破炸弹主要用来破坏敌方的军事建筑、铁路、桥梁、舰船、港口、机场、仓库和各种防御设施,是目前使用最广泛的一种主用炸弹。

由于炸弹是挂在飞机上,可不受发射管和发射筒的限制,特别是外挂炸弹,不受弹舱容积的限制,可以做得很大,因此对目标的破坏能力比一般的爆破榴弹大得多。

下面分别以典型的高阻爆破炸弹、低阻爆破炸弹和低阻低空爆破炸弹为例,讲述此类弹药的性能、结构及使用特点。

10.2.1 高阻爆破炸弹

高阻爆破炸弹主要是供飞机在弹舱内悬挂使用的。由于飞机弹舱内部空间有限,为了在有限的空间内能悬挂尽可能多的炸弹,必须尽量合理地限定各种不同炸弹的长度,所以高阻航爆弹的构造特点是外形短粗、长细比小、头部短而厚、流线形差、阻力系数大。

虽然高阻爆破弹阻力系数大,但到达目的地之前的航行过程中,炸弹不直接受空气阻力作用,不影响飞机航速。下面以 3000 - 1 为例来分析高阻爆破炸弹的结构特点。

10.2.1.1 主要性能数据

炸弹全长(未装引信)/mm	3220 ~ 3333
炸弹质量(未装引信)/kg	2982
弹体直径/mm	820
装填系数/%	47
弹头端面至质心距离/mm	1235
标准落下时间/s	20.56
爆炸威力(轰炸高度为 6000m ~ 8000m,飞行速度为 167m/s ~ 195m/s,对普通土壤)	
侵彻深度/m	8.7
弹坑容积/m^3	1060
配用引信通常配用两枚航引 - 1 引信,头、尾各 1 枚	

10.2.1.2 构造

3000 - 1 型航空爆破炸弹(简称 3000 - 1 航爆弹)的结构如图 10 - 1 所示,由弹体、安

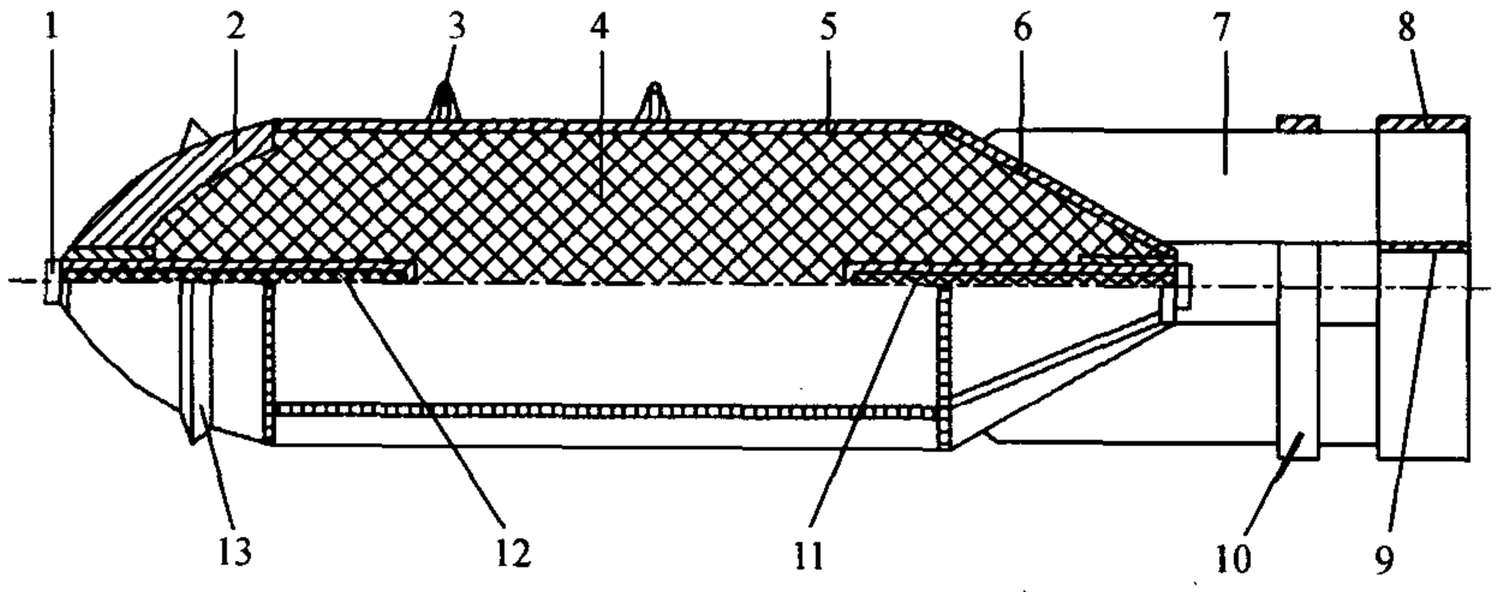


图 10－1　3000－1 航爆弹

1—防潮塞；2—弹头；3—弹耳；4—炸药；5—圆柱部；6—尾锥体；7—安定器；8—外圈；9—内圈；10—加强圈；11—尾部传爆管；12—头部传爆管；13—弹道环。

定器 7、传爆管、弹耳 3、装药和引信等组成。

(1) 弹体

包括弹头、圆柱部、尾锥体和弹道环等。弹头由铸钢制成，外形呈卵形，前端中央留有直径 85mm 的传爆管安装孔，外面焊有弹道环，弹道环外径与圆柱部外径相同。圆柱部用厚度为 20mm 的钢板制成，外径 820mm，前后端分别与弹头和尾锥体焊成整体；尾锥体由厚度为 10mm 钢板制成，锥度 26°。

弹头部做的厚重，这样可以增大炸弹的赤道转动惯量，并使炸弹质心前移，提高飞行稳定性。

弹道环的作用是在炸弹飞行速度接近声速时，改善弹道性能。炸弹下落时，通常以正迎角 α（即弹轴线偏于弹道切线之上）飞行，如果没有弹道环，在炸弹速度接近声速时，炸弹上表面气流速度快，首先在弹头附近出现局部超声速气流区和局部激波。而在炸弹下表面气流速度慢，要到接近弹尾部才出现局部超声速气流区和局部激波。因此，在炸弹表面上产生的局部激波相对弹轴是不对称的，偏于弹体的后上方。由于气流通过局部激波后面压力急剧增加，在弹体表面会受到一定的附加压力，附加压力大部分作用在弹体上部，而且主要作用在质量中心的后面，因而产生一个使炸弹轴线偏离弹道切线方向的附加力矩 ΔM，如图 10－2 所示，该力矩使 α 角增大，降低了炸弹的飞行稳定性。

如果在炸弹头部装有弹道环，当炸弹飞行速度接近声速时，气流流过弹道环时，虽然改变方向而形成局部激波，这时局部激波面与炸弹纵轴是对称的，激波后弹体所受的附加压力也是对称的，这样就不会产生降低炸弹稳定性的附加力矩，从而改善炸弹的弹道性能，如图 10－3 所示。

弹道环不是在各种情况下都能起积极作用的，只有在跨声速情况下，才能改善弹道性能。当炸弹飞行速度显著超过声速（$Ma > 1.5$）时，会形成头部激波，这时弹头部越钝，对炸弹运动的阻力就越大。在这种情况下，弹道环不但起不到稳定弹道的作用，反而会增大阻力而降低炸弹的弹道性能，破坏稳定性，所以新型高阻炸弹都没有弹道环，并且弹头部都比较尖锐。对于降落速度远小于声速的炸弹，弹道环只会破坏气流的流线，增大头部阻力，造成炸弹运动不稳定，故有的炸弹弹道环做成可拆卸式，以便根据不同条件选择使用。

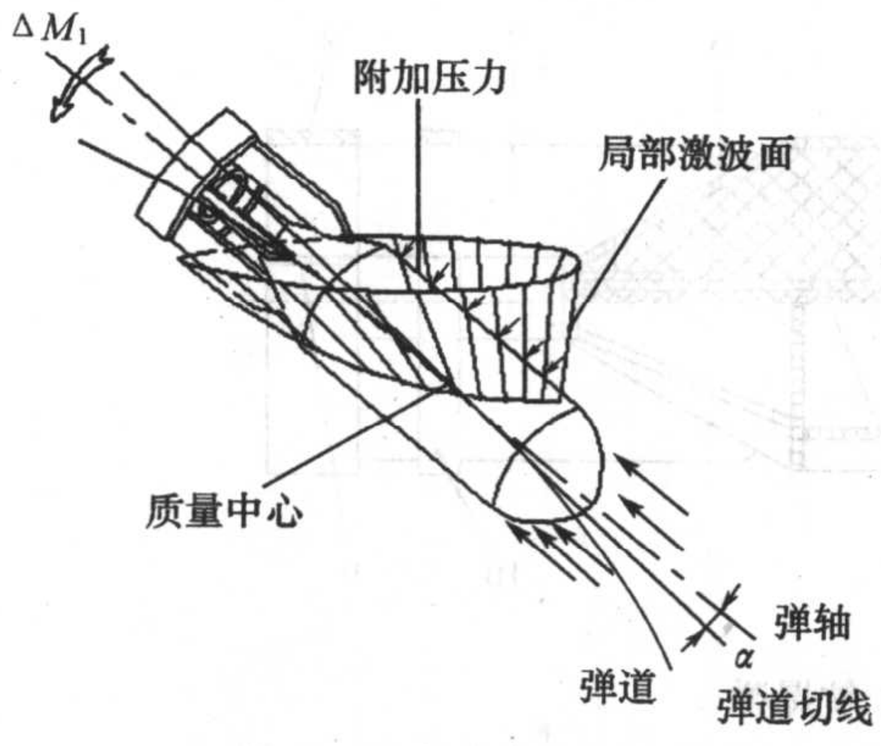


图 10-2 炸弹上的局部激波

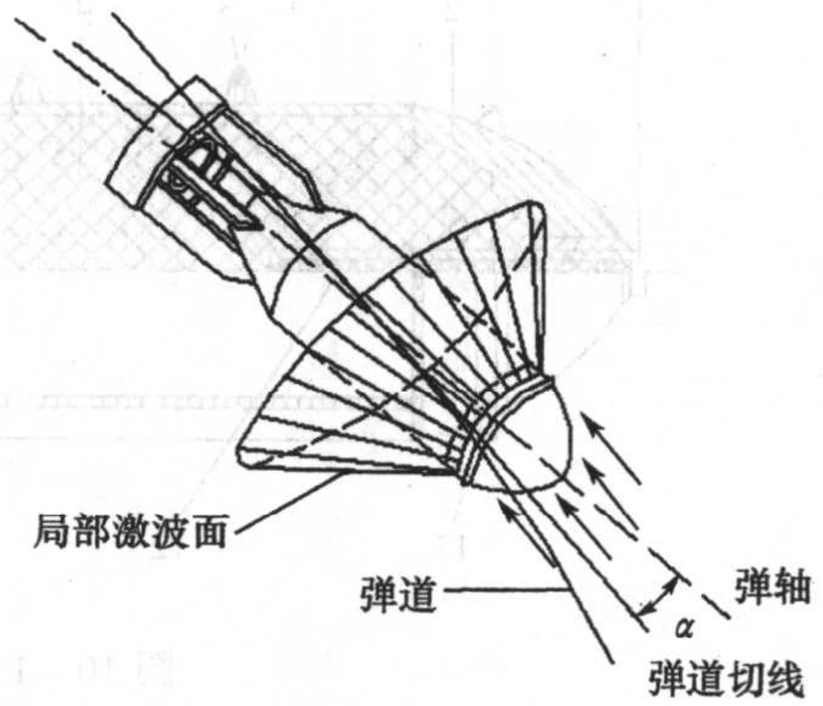


图 10-3 弹道环形成的局部激波

(2) 安定器

由厚度为 5.5mm 的钢板制成,焊在尾锥体上,包括 4 个翼片、1 个外圈、1 个内圈和 1 个加强圈。

安定器的作用与炮弹的尾翼相同,是一个稳定装置,确保炸弹沿一定的弹道稳定下落,安定器设计不好会影响侵彻能力,增大发生跳弹的可能性,造成较大的地面散布,影响命中精度。

目前常用的安定器有尾阻盘式、双圆筒式、方框圆筒式、方框式、圆筒式和箭羽式 6 种,如图 10-4 所示。

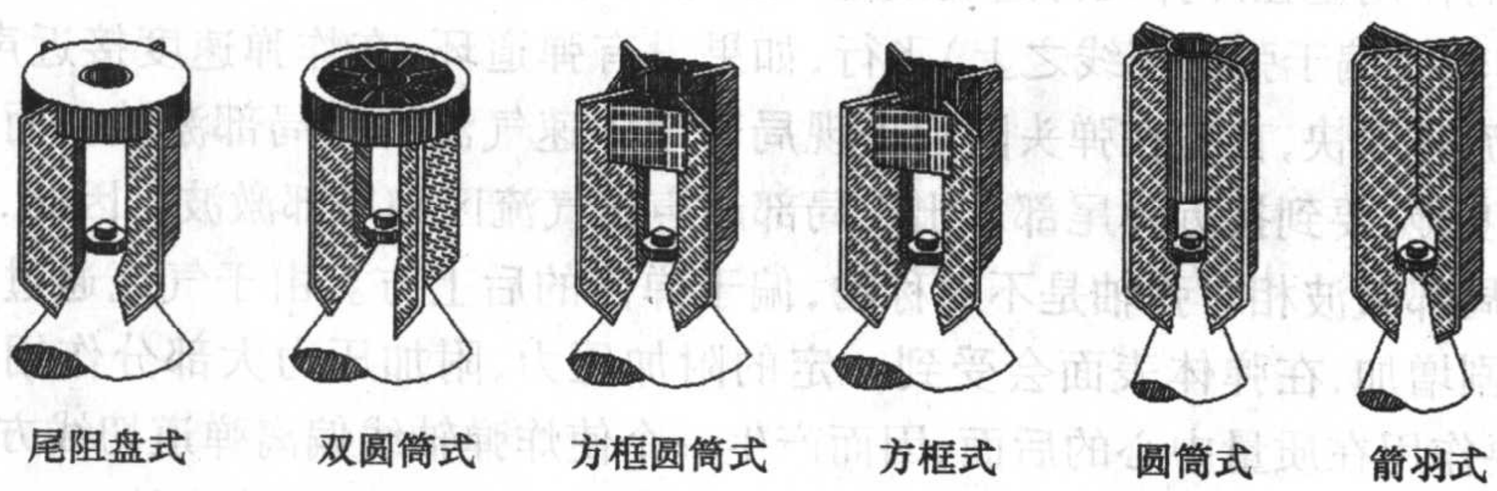


图 10-4 各种安定器的形状

实验证明,箭羽式安定器稳定性较好,但它的尺寸过长,不适于舱内挂弹。而方框式和圆筒式安定器,由于同时有两个气流作用面,因此长度可以做得较短,适宜于舱内挂弹。目前使用最多的是双圆筒式、圆筒式和方框式。

(3) 传爆管

包括头部传爆管和尾部传爆管。头部传爆管旋在弹体内,尾部传爆管焊在尾锥体后端。头部和尾部传爆管均由螺套、传爆管壳、连接螺套、止旋螺钉、纸衬筒和传爆药柱等组成。螺套与传爆管壳焊在一起,端面上有一止旋螺钉,螺套内径为 52mm,其上旋有连接螺套,连接螺套内径为 36mm,用以安装引信,平时旋有防潮塞;连接螺套外缘有止旋缺口,用止旋螺钉将其固定。头部和尾部传爆管内各装有 3 节特屈儿传爆药柱,每节质量 0.167kg,传爆药柱装在布袋里,塞入传爆管内,被纸衬筒和连接螺套压紧。

(4) 弹耳

共有两个弹耳,焊在圆柱部上,弹耳内孔高 35mm,前后弹耳间距为 480mm,前弹耳距离弹头端面 1014mm。

炸弹通过弹耳悬挂在飞机上,弹耳在使用过程中承受大而集中的载荷,因此它的强度十分重要。对于弹体较厚的炸弹,弹耳直接焊在弹身上。对于弹身较薄的炸弹,不能焊弹耳,则在弹身上放置环形箍,叫作弹箍,将弹耳焊在弹箍上。

圆径很小的炸弹没有弹耳(如 5 - 1 航杀弹),中等圆径的炸弹只有一个弹耳(或弹箍),位于炸弹质心处,大圆径炸弹有两耳式、三耳式和五耳式几种。

(5) 装药

弹体注装 1400kg TNT 炸药,从弹头螺孔注入。

(6) 引信

可配用航引 - 1、航引 - 2 和航引 - 7 等引信。

当炸弹投下后,经 6.5s ~ 7.8s,引信的旋翼解除了控制,在气流作用下迅速旋出(但不旋下),引信处于待发状态。当炸弹撞击目标时,头部和尾部的引信同时作用,此时炸弹靠本身动能穿入目标一定深度。引信(航引 - 1)经 0.1s 延期后起爆,引爆传爆管内传爆药柱,进而引爆炸弹。

10.2.2　低阻爆破炸弹

现代高速强击机、歼击机、歼击轰炸机为了在投弹时获得良好的机动性,同时也为了增大航程,在机身内加大油箱,所以绝大部分采用炸弹外挂形式,即将炸弹挂在机身外部或机翼下方。为了减小外挂炸弹的阻力,尽可能提高飞机的速度,航空炸弹须采用长细比大的低阻气动外形。由于外形呈流线形,阻力系数小,故将此类炸弹称为低阻爆破炸弹。低阻爆破炸弹由于外形细长,装药量减少,威力降低,因此在满足载机航程的基础上,应尽量增大装填系数,以提高爆破威力。下面以 500 - 3 为例分析此类炸弹的结构特点。

10.2.2.1　主要性能数据

未装引信质量/kg	469
装药质量/kg	218.7
全弹长度/mm	2865
弹径/mm	377
质心距弹头端面距离/mm	1021
装填系数/%	46.7
配用引信(两枚)	
头部引信	航引 - 13
尾部引信	航引 - 17

10.2.2.2　构造

500 - 3 航爆弹由装药弹体 4、弹尾部、吊耳 5、引信和爆控拉杆组成,如图 10 - 5 所示。

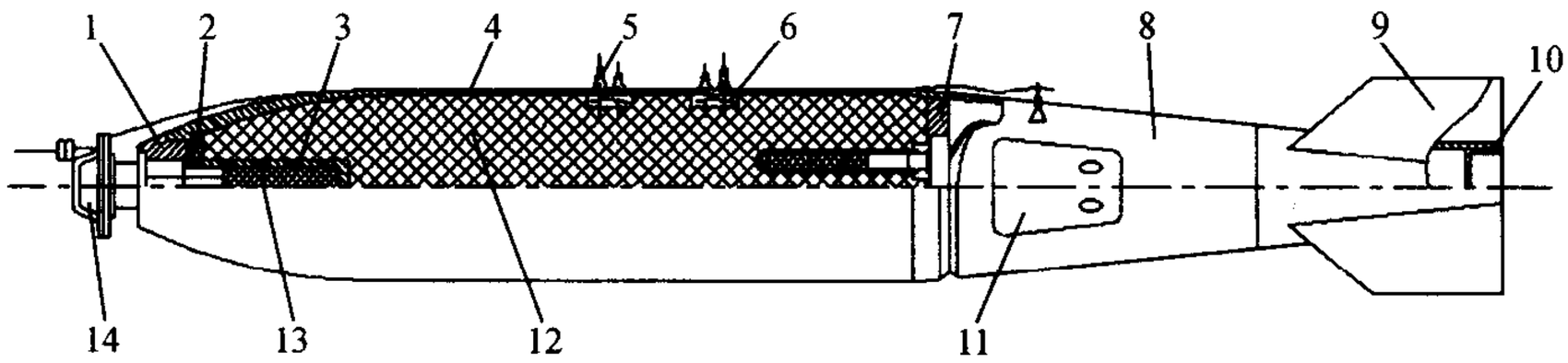


图 10-5 500-3 航爆弹

1—头螺；2—石地蜡；3—传爆管；4—弹体；5—吊耳；6—吊耳座；7—体接套；8—尾锥；9—尾翼；10—尾锥盖；11—盖板；12—炸药；13—传爆药柱；14—头部引信。

(1) 装药弹体

由弹头、弹身、体接套、尾螺、尾部传爆管、传爆药柱、TNT 装药等组成。弹头由伞形头螺和传爆管组成，焊接于弹身头部收口处，伞形头螺为钢铸件，底部点铆有头部传爆管，传爆管壁厚 3.2mm，长 340mm，内装钝化泰安传爆药柱 3 节，传爆管的口螺为 52mm，供安装航引-13 引信，平时旋有防潮塞。弹身由 35 号无缝钢管制成，壁厚 12mm，弹身部焊有 2 个吊耳座，每个座上有 2 个吊耳孔。弹身底部与体接套相连。体接套既是装药弹体的底部，又是与弹尾部的连接件，体接套由铸钢制成焊于弹体底部，其上有 2 个孔，前者为装药孔，装药后旋有螺盖；后者为底部传爆管螺孔，上旋有尾螺盖。体接套上有定位销，用于安装弹尾部时起定位作用，尾螺和尾盖均由圆钢制成，尾螺上焊有尾部传爆管，内装 3 节钝化泰安传爆药柱，平时旋有尾螺盖起防潮作用。弹体内装 TNT 炸药 218.7kg，炸弹前端装有石蜡和地蜡的混合剂并加有毡垫，可减少炸弹碰击目标时炸药内部应力，保证装药安定性，防止炸弹早炸。

(2) 弹尾部

弹尾部由尾锥体、尾接套组件、尾翼和盖板等组成。尾锥体用 1.5mm 厚的钢板制成，大端内部焊有尾接套，尾部焊有尾翼，端部焊有尾锥盖。尾锥体的前部开有 2 个供安装引信用的窗口，窗口上装有盖板，靠 2 个扁圆头螺钉将盖板锁紧。尾接套组件的作用是实现弹尾部与装药弹体的连接。为了保证弹尾部与装药弹体的正确对接，在尾接套上钻有定位销孔，与体接套上的定位销相配合。

(3) 吊耳

该弹配用 B 级吊耳和专用吊耳各 2 个，通过螺纹旋入弹身上的吊耳座内，B 级吊耳间距为 355.6mm，专用吊耳间距为 250mm。

(4) 引信与爆控拉杆

500-3 航爆弹头部配用航引-13、尾部配用航引-17 电引信，同时配用 2 根一次性抽脱式爆控拉杆，长的一根与航引-13 配用，短的一根与航引-17 配用，安装如图 10-6 所示。

抽脱式爆控拉杆由 A 型挂机锁、安全夹、保险钢条、垫圈和螺钉等组成，如图 10-7 所示。挂弹时，挂机锁挂入挂弹架上的爆控挂钩内，并将保险钢条穿入引信顶部固定器的孔内锁定旋翼，实现挂弹前的保险。投弹时，挂机锁拉动保险钢条，当拉力超过卡在保险钢条前端的安全夹的抽脱力时，将保险钢条从安全夹内抽出，解除引信的保险。

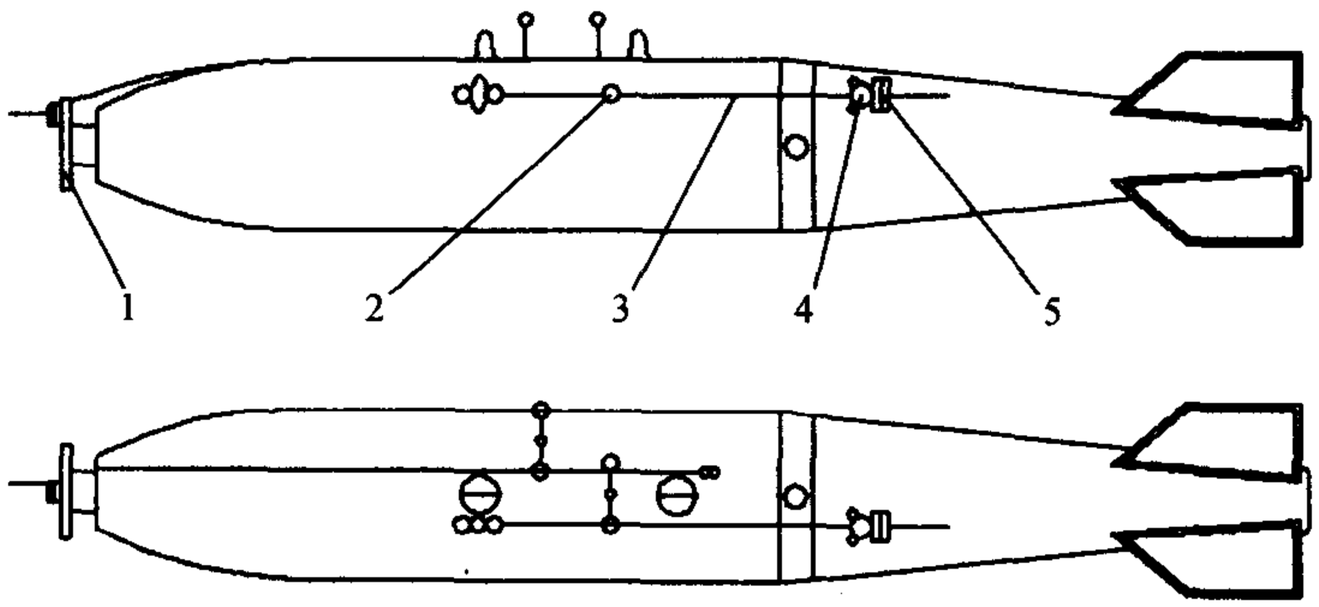


图 10－6　抽脱式爆控拉杆安装示意图

1—螺钉；2—安全夹；3—保险钢条；4—垫圈；5—A 型挂机索。

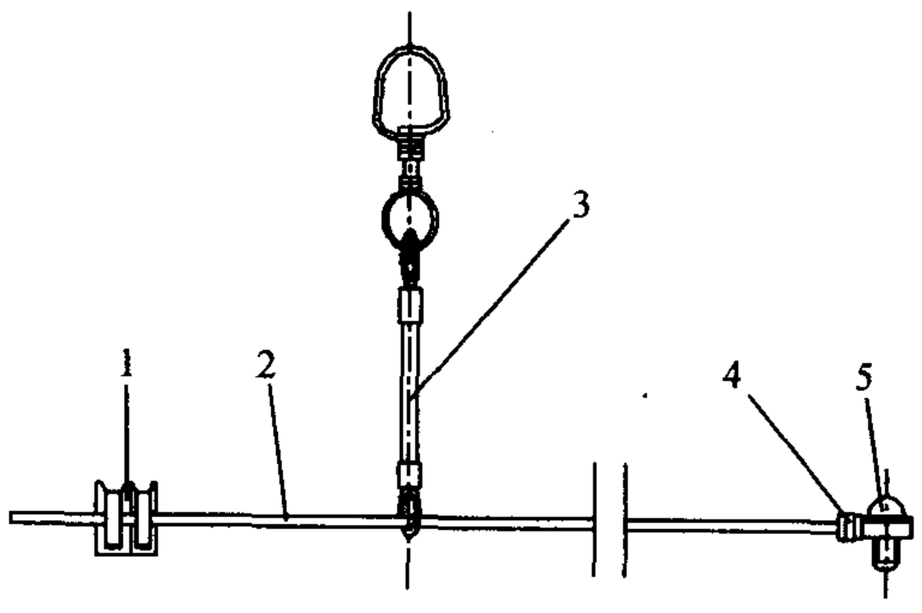


图 10－7　抽脱式爆控拉杆

1—安全夹；2—保险钢条；3—A 型挂机索；4—垫圈；5—螺钉。

10.2.2.3　动作原理

投弹后，炸弹靠本身重力或被弹射离开飞机，飞机上的爆炸控制挂钩拉脱一次性使用抽脱式爆控拉杆的保险钢条，航引－13 的旋翼开始旋转，航引－17 接通电源。

在弹道上，航引－13 和航引－17 从保险状态转入待发状态。

炸弹碰击目标时，航引－13、航引－17 根据事先装定的时间引爆炸弹装药，爆炸时产生的强大冲击波摧毁目标。同时，弹体产生的破片对目标也有一定的毁伤作用。

10.2.3　低阻低空爆破炸弹

由于现代防空技术的发展，如果作战飞机从中高空突防，则会有较长时间暴露在敌人有效探测和攻击范围之内，这样被击毁的概率高；而采用超低空、高速度突防，使雷达难以发现，高射炮也来不及瞄准射击，从而可大大提高飞机的生存率。另一方面，由于超低空投弹距离目标很近，所以命中率很高。

但是作战飞机在超低空（50m、30m）水平投弹时，如果采用一般低阻炸弹，会产生两方面的问题：一是容易产生跳弹，如果跳弹高度超过载机高度，可能损伤载机；二是水平投弹时载机来不及脱离危险区域，炸弹爆炸时产生的冲击波和破片可能毁伤载机。如图 10－8所示。

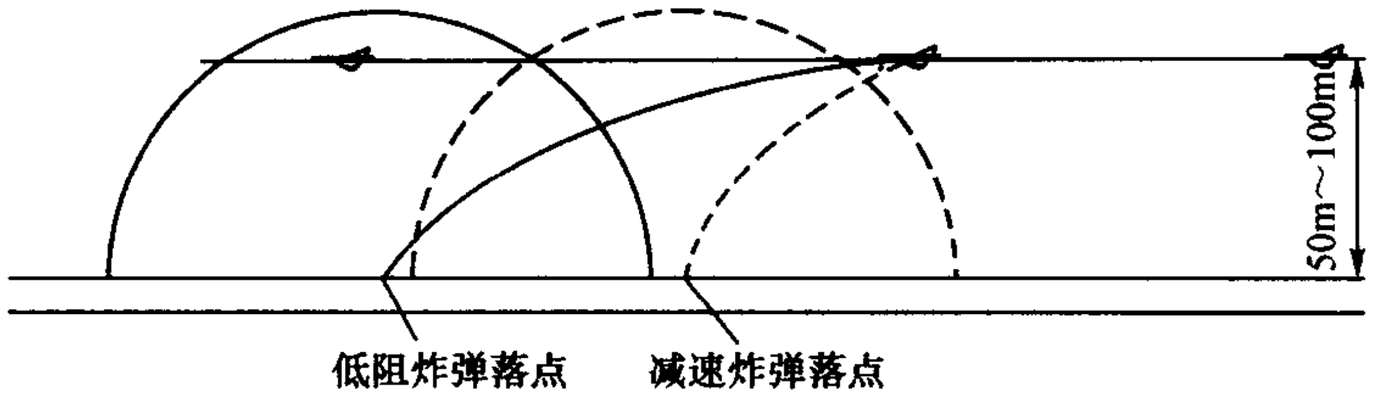


图 10－8 低空投弹时载机和炸弹毁伤区域关系示意图

为了保证超低空投弹飞机的安全，通常采用减小炸弹落速的措施来增大着角和安全斜距离，因此常把低空炸弹称为减速炸弹。普遍采用在普通炸弹上安装减速装置的方法，使其适应于低空轰炸。下面以 250－4 为例分析低阻低空爆破弹的结构特点。

10.2.3.1 主要性能数据

未装引信质量/kg	240
装药质量/kg	90
全弹长度(未装引信)/mm	2135
弹径/mm	299
质心距弹头端面距离/mm	820
装填系数/%	37.5
投弹高度/m	50～200
配用引信(两枚)	航引－14

10.2.3.2 构造

250－4 航爆弹由装药弹体 1、弹尾部、悬挂装置、引信和爆控拉杆组成，如图 10－9 所示。

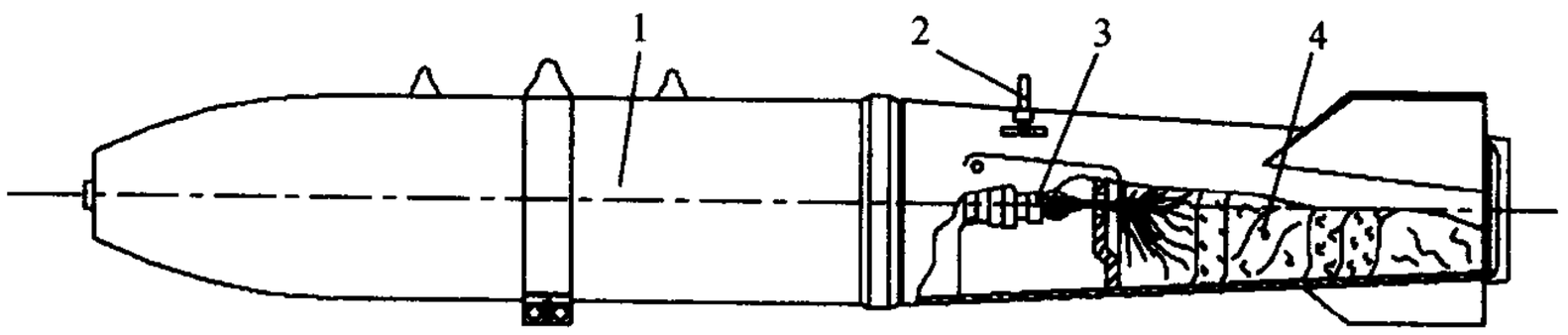


图 10－9 250－4 航爆弹示意图

1—装药弹体；2—保险针；3—伞弹连接器；4—柔性减速伞。

(1) 装药弹体

由弹头、弹身、体接套、传爆管和装药组成。弹头和弹身用壁厚为 10mm 的无缝钢管通过热压而成，在热压中使弹头壁相对增厚。弹头前端焊有头部传爆管，传爆管中央旋有连接螺套，平时连接螺套上旋有防潮塞，安装引信时，旋下该连接螺套。在弹身圆柱部上焊接 2 个吊耳座，其上可旋装吊耳。弹身尾端焊有体接套，体接套上装配一个定位销，在体接套中央旋装有尾部传爆管，并在两侧留有装药孔(后来，取消了装药孔，直接将炸药从

尾部传爆管螺口注入)。头尾传爆管内均装有 3 节钝化泰安传爆药柱。弹体内装填 TNT 炸药,弹头前端注装 1kg 石蜡并垫一层毡垫,用于防止炸弹撞击目标瞬间在弹头内腔尖角处造成应力集中,使炸弹早炸。

(2) 弹尾部

由尾接套、尾锥体、锁定圈、尾翼、托伞盘、伞弹连接器、柔性减速伞(含引导伞)和环形固定锁等组成。

尾锥体用薄钢板卷焊而成,内腔有托伞盘,用于安装柔性减速伞。尾锥体大端与尾接套滚接,尾接套用来和装药弹体连接并安装伞弹连接器。尾接套上均布的 6 个螺钉,用于调整嵌入尾接套环槽内的楔铁,并通过楔铁将弹尾部和装药弹体连接。

尾锥体小端焊有 4 片尾翼和锁定圈(供安装环形固定锁用)。尾锥体上的工作窗口供安装和检查伞弹连接器用。在工作窗口上方有一长方孔,通过此孔插入保险针。

伞弹连接器的作用:一是载机挂弹飞行时防止减速伞意外张开,影响飞机操纵造成飞行事故;二是载机正常投弹时,使伞和弹体可靠连接,确保炸弹减速下落。其结构如图 10 - 10 所示。

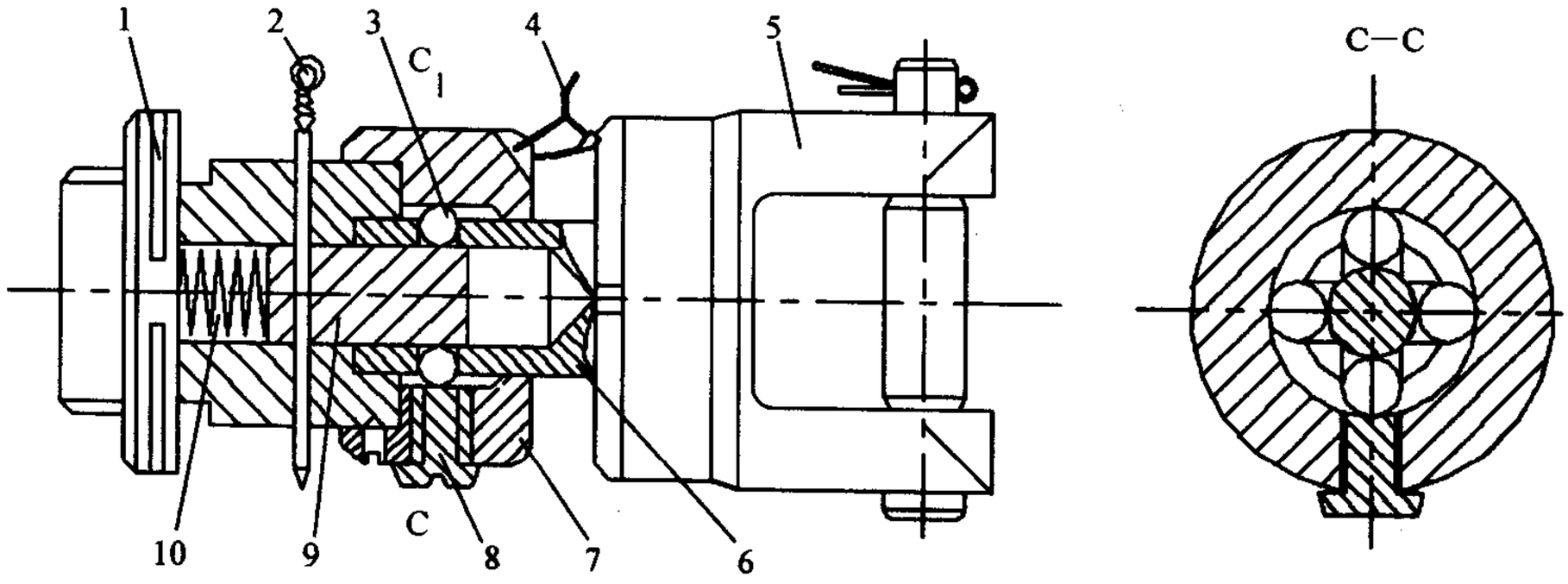


图 10 - 10　伞弹连接器

1—紧固螺母;2—保险针;3—钢珠;4—牵连钢丝;5—连伞转座;6—连接套筒;
7—连接座;8—螺堵;9—滑柱;10—弹簧。

平时,被保险针限制的滑柱位于连接套筒内腔挡住钢珠(4 个),弹簧受压缩。

当炸弹挂机飞行时,伞弹之间主要通过牵连钢丝连接,而牵连钢丝仅能承受 25kg 的拉力。

正常投弹时,保险针被拔出,滑柱在弹簧推力作用下进入连接套筒的空腔内。减速伞开伞后,连接钢丝被拉断,连接套筒带动钢珠和滑柱一起向后运动,当钢珠与连接座内斜面接触时,滑柱仍然挡住钢珠,使之不能进入连接套筒空腔内,于是连接套筒通过钢珠与连接座内斜面卡住,使弹体与减速伞紧固相连不能分离,炸弹得以减速下落。

万一在载机挂弹飞行中减速伞意外开伞,减速伞受到空气阻力作用拉断牵连钢丝,连接套筒带动钢珠向后运动,此时保险针仍在原处限制滑柱,使其不能阻挡钢珠。在连接座内斜面作用下,钢珠掉入连接套筒的空腔内不再限制连接套筒向后运动,伞可以立即被气流吹掉,不至于危及载机安全。

柔性减速伞由主伞和引导伞组成。主伞用棉丝绸制成,呈十字形,伞顶连接装有塔形

弹簧的引导伞,装配时为压缩状态。当开伞释放时,塔形弹簧伸张,迅速将引导伞弹出,在气流作用下,引导伞拉直并将主伞拉出,如图 10-11 所示。

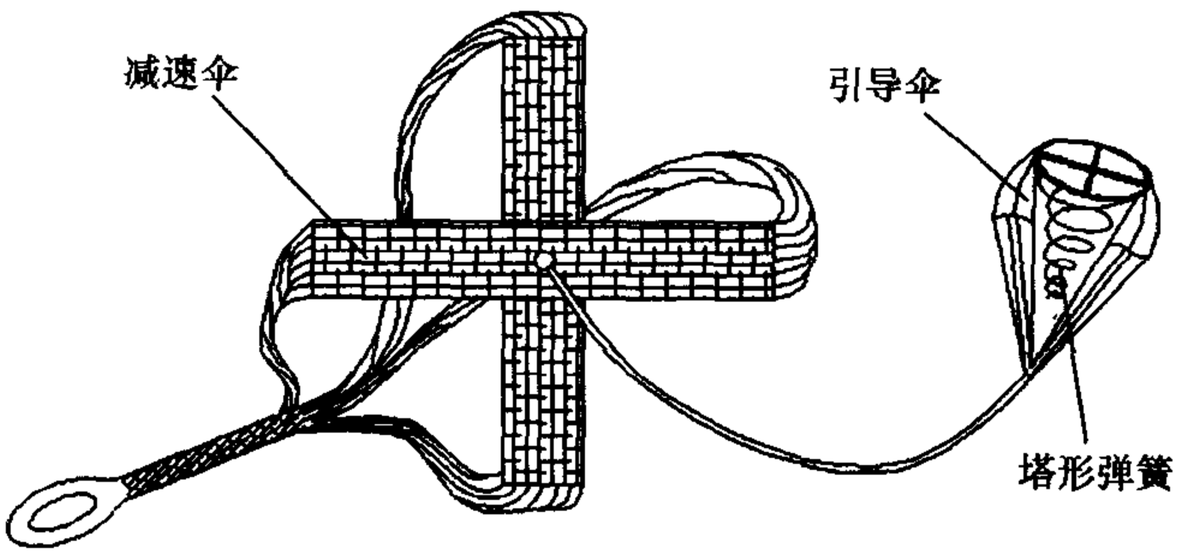


图 10-11 减速伞和导引伞

当主伞装入伞室后,靠引导伞盖住伞室的后端,并用穿在引导伞内的环形固定索将引导伞的外缘箍紧在尾锥体后端锁定圈的沟槽内。

同时,爆控拉杆穿过尾锥体后端的固定销孔将环形固定索锁住,爆控拉杆端部有安全夹,可防止爆控拉杆自然抽脱。

(3) 悬挂系统

包括吊耳和弹箍,分别用于不同挂机的挂弹要求。

(4) 引信

250-4 航爆弹头部配用航引-14 引信,尾部不配引信。

(5) 爆控拉杆

250-4 航爆弹配用一根一次性使用抽脱式爆控拉杆和一根一次性使用剪断式爆控拉杆。前者用以解脱航引-14 的旋翼保险,后者用来解除伞弹连接器的安全保险并释放引导伞。抽脱式爆控拉杆的原理同 500-3 航爆弹。剪断式爆控拉杆由 B 型挂机索、辅助钢条、保险钢条、连接索 A、B 以及螺钉、垫圈、连接体和安全夹等组成,如图 10-12 所示。

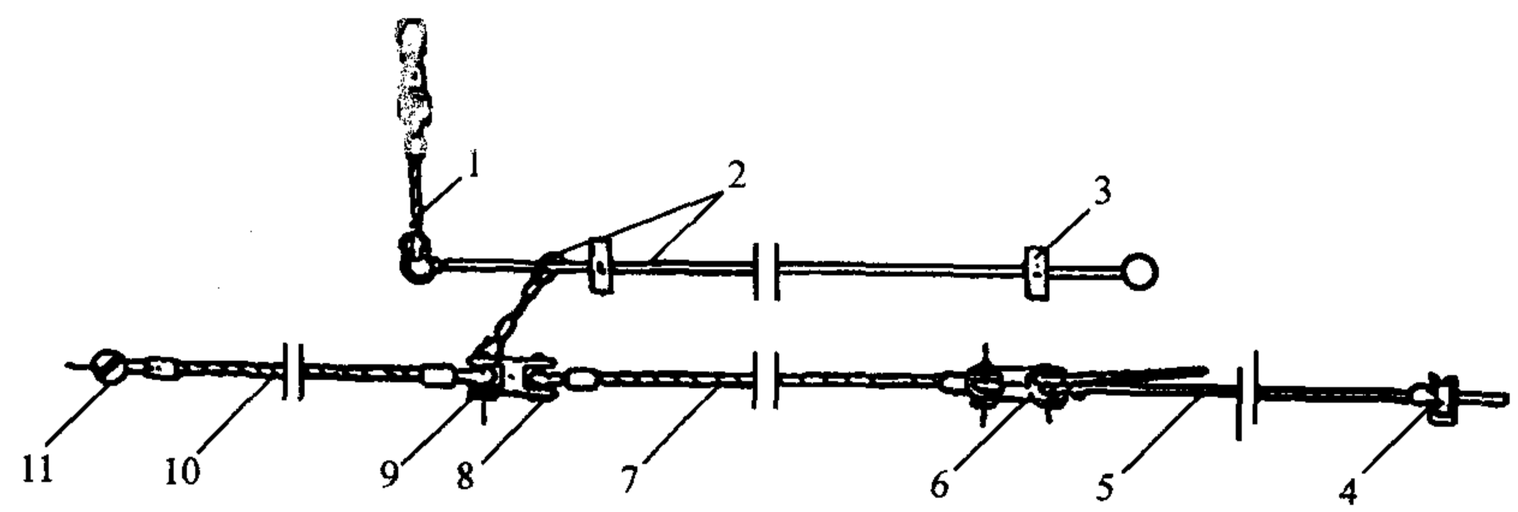


图 10-12 剪断式爆控拉杆

1—B 型挂机索;2—辅助钢条;3—限位块;4—安全夹;5—保险钢条;6—伞弹连接器的保险针;7—连接索;8—连接体;9—开口销;10—连接索;11—垫圈和螺钉。

10.2.3.3 动作原理

投弹时,飞机上的挂弹钩将爆控拉杆的挂机索锁定,投弹后抽脱式爆控拉杆上的 A 型挂机索拉动保险钢丝,当拉力超过卡在保险钢条前端的安全夹的抽脱力时,便将保险钢

条从安全夹内抽出，解除对航引 - 14 的保险。气流作用使旋翼旋转，当转速达到 1800r/min 左右时，打开离心保险机构，等待负过载解除保险。

剪断式爆控拉杆上的 B 型挂机索拉动辅助钢条，随之带动保险钢条，当拉力超过安全夹的抽脱力时，便将保险钢条从安全夹中抽出，随即拔出伞弹连接器的保险针，使减速伞与弹体固连，然后连接索将保险钢条从安全夹中抽出，使环形固定锁散开，柔性开伞器工作，被压缩的塔形弹簧伸张，弹出引导伞，引导伞拉出主伞，主伞在气流作用下张满，使炸弹迅速减速，缓慢下降，增大飞机与炸弹之间的距离，保证载机安全；同时增大落角确保引信发火可靠。

主伞张开后，产生较大的负过载使航引 - 14 负过载机构工作，解除保险，使引信处于待发状态。碰击目标时，引信作用，按照事先装定的时间，引爆炸弹。

10.2.3.4　常用减速装置

为了增大炸点和飞机之间的距离，并确保低空投弹飞机的安全，在炸弹尾部安装了各种各样的减速装置。归纳起来可分为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和火箭减速装置。下面简单介绍这几种减速装置。

(1) 十字板式机械减速尾翼

减速尾翼由 4 个既可闭合又可张开的尾翼片、支撑杆、联杆和套筒组成。飞机挂弹飞行时，减速伞处于闭合状态；炸弹投下时，4 片减速翼片张开，如图 10 - 13 所示，在迎面气流作用下起减速作用。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

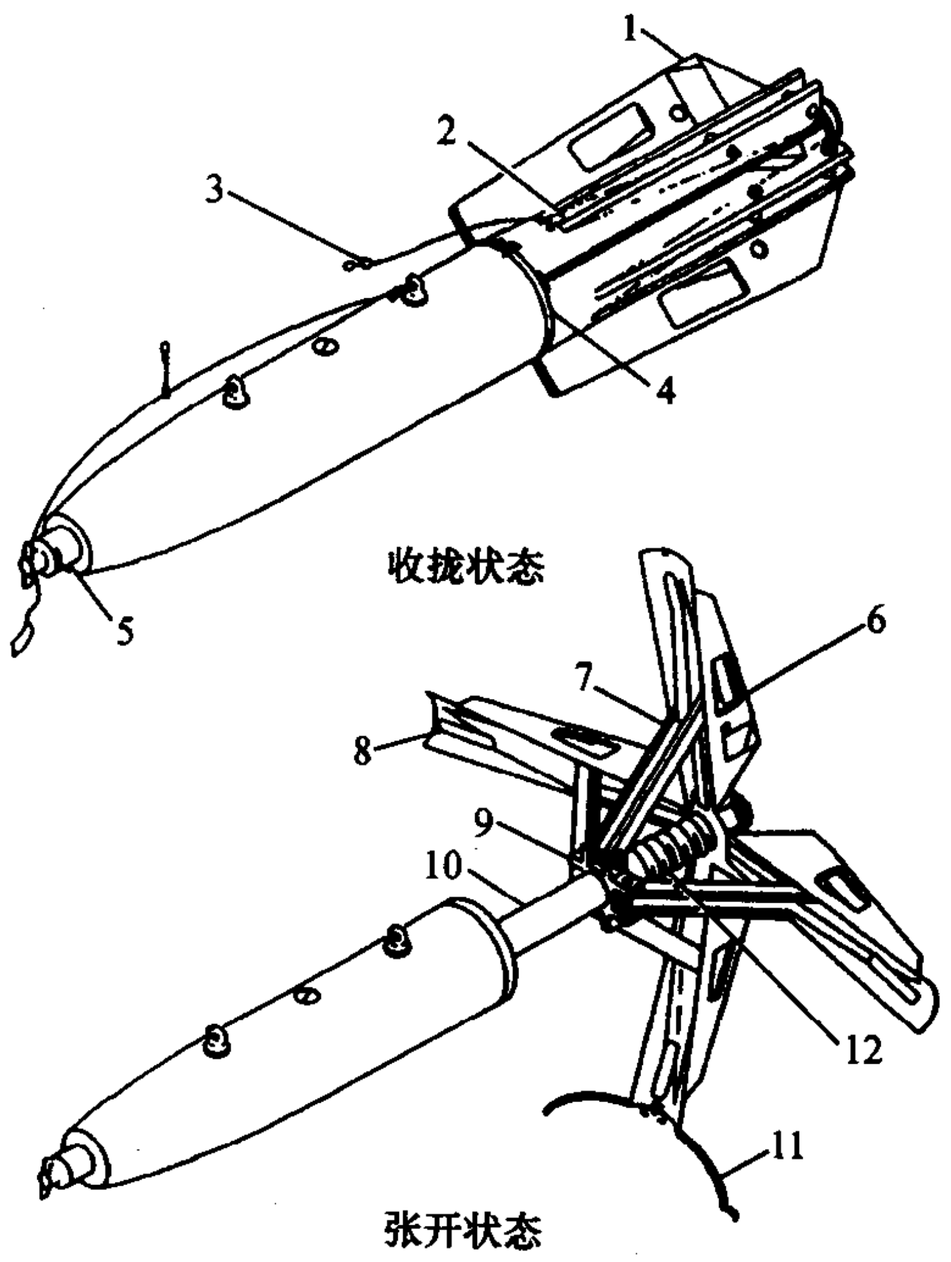


图 10 - 13　227kgMK82“蛇眼”减速炸弹尾翼合拢和张开状态

1—翼片；2—弹簧；3—保险销；4—尾翼释放带；5—引信；6—翼片；7—连杆；8—片簧；9—轴环；10—支撑杆；11—尾翼释放带；12—减振器。

距小;刚性尾翼易受空气动力干扰,使弹道不稳定,命中精度低;投弹高度受到一定的限制。美国 113kg MK81MODI“蛇眼”Ⅰ减速炸弹和 227kg MK82MODI“蛇眼”减速炸弹的减速装置都采用这种形式。

(2) 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。其优点是开伞充气快,阻力比十字板尾翼大,弹道稳定,连投间隔短;缺点是结构复杂,质量大,造价高。英国 454kg MK Ⅰ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

用高强度棉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。其优点是阻力大,弹道稳定,结构简单,造价低。其缺点是伞带长,伞衣大,冲气时间长,必须有投弹间隔,齐投时可能相互缠绕。本节介绍的 250-4 航爆弹、法国 250kg 和 500kg“玛特拉”减速炸弹、西班牙 BRP-250 和 BRP-500kg 减速炸弹、瑞典 120kg“威尔哥”减速炸弹的减速尾翼都采用这种形式。

(4) 火箭减速装置

法国 400kg 火箭减速炸弹(见图 10-14)是在法国 400kg 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 160m/s),提高侵彻能力。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,这种减速装置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。

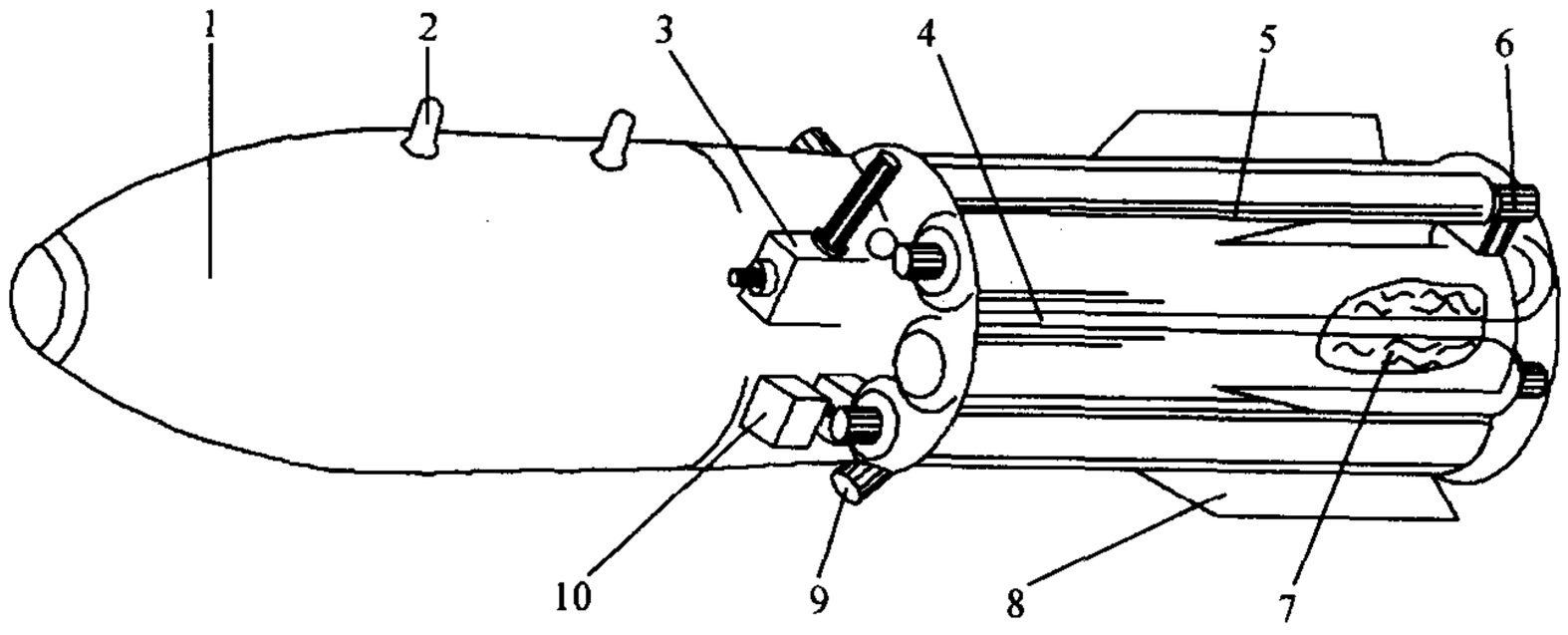


图 10-14 法国 400kg 火箭减速炸弹

1—弹体;2—吊耳;3—程序控制机构;4—逆推力火箭发动机;5—正推力火箭发动机;6—喷管;7—减速伞;8—安定器;9—喷管;10—点火电池组。

10.3 航空杀伤炸弹

航空杀伤炸弹是利用爆炸时产生的大量杀伤破片以杀伤敌方各种有生力量,破坏汽车、火炮、飞机等兵器以及轻型装甲目标。航空炸弹壁较厚,且广泛采用预制破片技术增加破片数目,采用大威力炸药提高破片初速,增加破片侵彻动能,增大杀伤面积。

航杀弹的特点是重量轻，圆径从 5kg ~ 100kg；弹体壁较厚，且多采用脆性材料，装药量较少。下面介绍几种航杀弹的性能及构造。

10.3.1　100 - 1 型航空杀伤炸弹

10.3.1.1　主要性能数据

全弹质量(未装引信)/kg	99.16
装药质量/kg	10.86
装填系数/%	11
弹长(未装引信)/mm	1047 ~ 1063
弹体直径/mm	203
安定器翼展/mm	280
弹头端面至质心距离/mm	344
破片密集杀伤半径/m	59.52
3g 以上破片数/块	4729
标准下落时间/s	20.93

10.3.1.2　构造

100 - 1 型航杀弹由弹体、稳定器、弹箍、装药和引信组成。如图 10 - 15 所示。

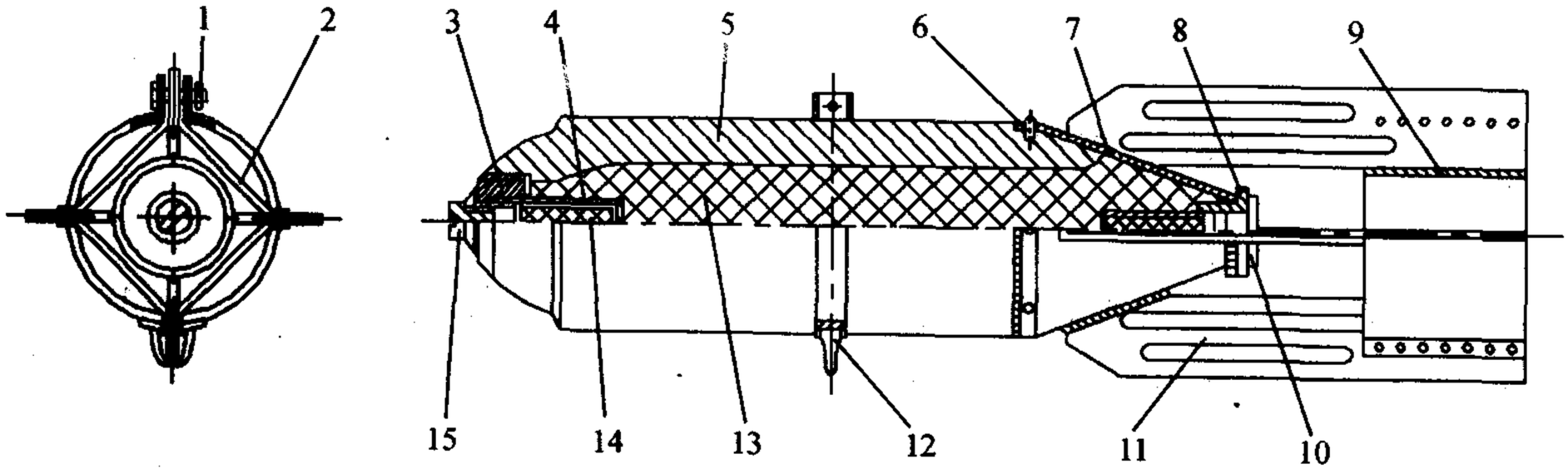


图 10 - 15　100 - 1 航空杀伤炸弹

1—螺栓；2—支板；3—连接螺套；4—传爆管壳；5—弹身；6—销钉；7—尾锥体；8—螺套；9—内圈；10—防潮塞；11—翼片；12—弹耳；13—装药；14—传爆药柱；15—防潮塞。

(1) 弹体

弹体包括弹头、弹身、尾锥体和传爆管。弹头呈卵圆形，前端有一直径为 85mm 的螺孔，弹身和弹头用钢性铸铁铸成一体，弹身前端有一圈凸部，起弹道环作用。弹身和弹头比较厚，最厚处达 40mm。尾锥体用厚度为 3mm 的钢板制成，由于弹身为钢性铸铁，可焊性较差，因此，尾锥体用 8 个销钉固定并焊接在弹身后端。头尾各有一个传爆管，头部传爆管由螺套、传爆管壳、连接螺套和传爆药柱组成，螺套和传爆管焊在一起，旋在弹头端面螺孔内。螺孔内径为 36mm，其上旋有连接螺套，连接螺套内径为 26mm，平时旋有防潮塞；头部传爆管内装有 2 节特屈儿传爆药柱，由连接螺套压紧。尾部传爆管由螺套和传爆管壳组成，焊接在尾锥体后端，螺套内径为 36mm，平时旋有防潮塞。尾部传爆管内无传

爆药柱。

(2) 稳定器

稳定器为方框圆筒式,焊在尾锥体上,它由翼片、支板和内圈焊接在一起,每个翼片上有 2 个纵向加强槽,4 个翼片相互对称呈十字形分布。

(3) 弹箍

弹箍由弹耳、箍圈和螺栓组成。弹耳焊接在箍圈上,箍圈用螺栓固定在炸弹质心位置上,弹耳中心线与稳定器的一个翼片对正。

(4) 装药

装药为梯萘 70/30 混合炸药。

(5) 引信

100 - 1 航杀弹配用航引 - 1 和航引 - 3 引信,头尾各一枚;或者头部配用航引 - 3,尾部配用航引 - 1,或者头、尾均配用航引 - 1。配用航引 - 1 时,只许装定成瞬发状态。

10.3.1.3 动作原理

以头部配用航引 - 3,尾部配用航引 - 1 为例。

当炸弹投下后,经 4s ~ 6s,航引 - 3 的旋翼失去控制,在气流作用下迅速旋掉,打火机构处于待发状态。经 6.5s ~ 7.8s,航引 - 1 的旋翼解除控制,在气流作用下迅速旋出,航引 - 1 处于待发状态。当炸弹碰击目标时,在目标的反作用力和引信惯性力作用下,头尾引信打火起爆,头部引信首先引爆传爆药柱,进而引爆炸弹装药。与此同时,尾部引信直接引爆炸弹装药,使整个航杀弹爆炸,产生破片,杀伤敌人的有生力量和破坏武器装备。

10.3.2 小型杀伤炸弹

美国在小型杀伤炸弹的结构设计上有许多新的发展和提高,新型小口径杀伤炸弹去掉了传统的箭羽式或箱盒式的固定安定器,普遍采用了可伸缩安定器(如美国 M83 蝴蝶弹、BLU - 3/B 菠萝弹、BLU - 24 柚子弹)或不用尾翼(如美 BLU - 26/B 石榴或珠子弹),从而大大缩小了杀伤弹的几何尺寸,增大了子母弹的子弹装填数量。

10.3.2.1 美 1.8kg M83 杀伤炸弹(蝴蝶弹)

主要结构性能数据:

全弹质量/kg	1.72 ~ 1.73
全弹长/mm	283
弹体直径/mm	79
装填炸药(B 炸药)质量/kg	0.23
尾翼装置	
形式	蝶形(张开时)
翼展/mm	241
翼片长/mm	76.2
引信装置	M129、M129A1、M130、M130A1

其结构如图 10 - 16 所示。该弹装在 M15A2 子母弹箱内，共 24 颗，构成一枚 45kg M28A2 子母炸弹。也可装在 M16A1 子母弹内，构成 227kg 子母炸弹。小弹的引信位于弹体中心，引信的机械延时和反排引爆时间在工厂制造时已装定好，可选用不同的引信，以满足所需的延时和反排引爆要求。子弹投放后转入备炸状态，弹簧铰接的 2 个半圆柱面（蝴蝶翼）和 2 个圆盘（桨叶）均张开，使小弹稳定下落。小弹装填系数约为 12%。

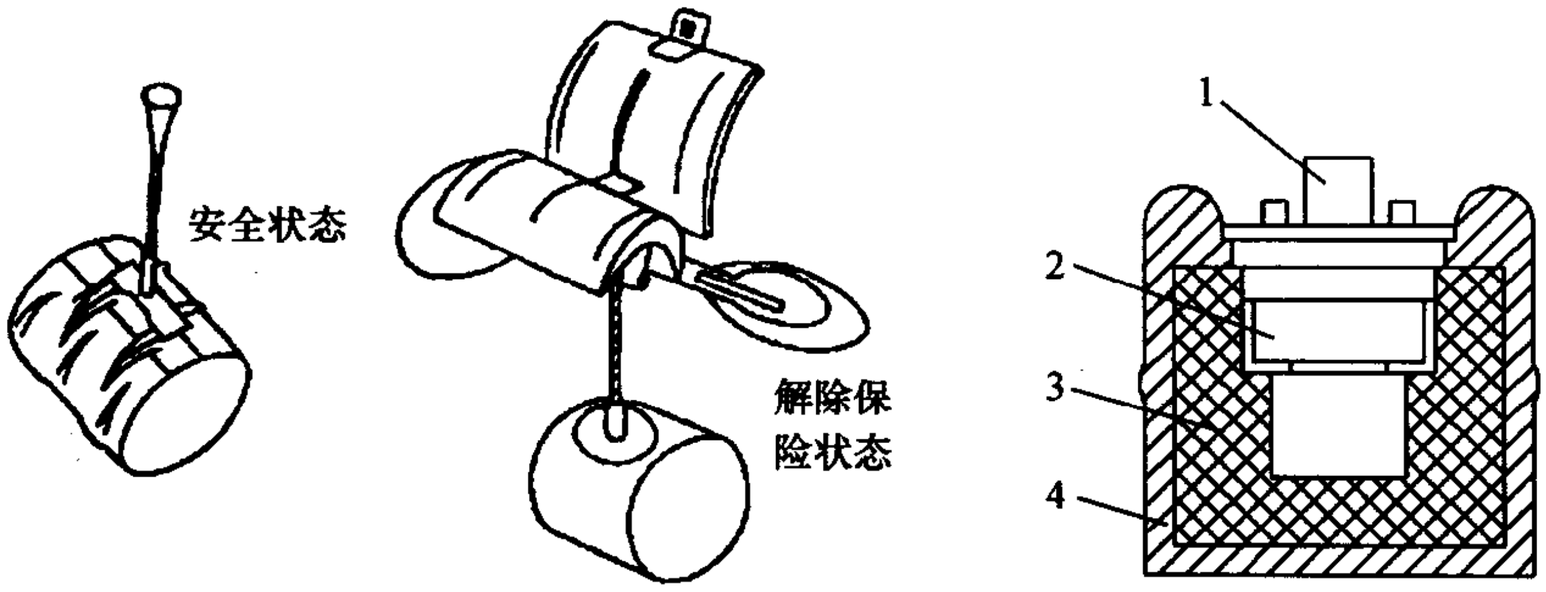


图 10 - 16　美 1.8kg M83 杀伤炸弹（蝴蝶弹）

1—缆索；2—引信；3—装药；4—弹体。

10.3.2.2　美 BLU - 3/B 杀伤炸弹（菠萝弹）

主要结构性能数据：

全弹质量/kg	0.785
全弹长/mm	95
弹体直径/mm	75
装填炸药质量/kg	0.162
装填杀伤体（ϕ6.35mm 钢珠）/枚	240 ~ 250
尾翼装置	折叠式
引信装置	同弹体构成一体

该弹称为菠萝弹，用于杀伤人员，破坏车辆、停放的飞机、弹药、雷达设施等。这种杀伤子弹可装在 SUU - 14/A 或 SUU - 14A/A 子母弹箱内，共 114 颗，构成 CBU - 14/A 或 CBU - 14A/A 子母弹。小弹从弹箱抛射出来之后，在空气压力作用下使簧片升起，释放尾翼安全箍，翼片张开，使子弹稳定下落。同时，引信的钟表机构使子弹下落一定距离后即解除保险，命中目标时炸药爆炸，弹体破裂，使小钢珠高速散开。其结构如图 10 - 17 所示。

10.3.2.3　美 BLU - 26/B 杀伤炸弹

主要结构性能数据：

全弹质量/kg	0.434
弹体直径/mm	71
装填炸药（TNT40%，黑索今 60%）质量/kg	0.084
引信装置	同弹体构成一体

该弹也称珠子弹,如图 10-18 所示,用于杀伤人员,破坏车辆、油箱、停放的飞机、弹药、雷达设施等。这种杀伤子弹装在 SUU-30 系列子母弹箱内,共 640 颗或 670 颗构成一枚 CBU-24 系列子母炸弹。子弹从弹箱内散开后,在空气动力作用下高速旋转,当转速达到 2800r/min 时,在离心力作用下引信解除保险,命中目标时,子弹爆炸,钢珠飞散,杀伤目标。由于子弹下落时高速旋转,可保证具有一定的布撒范围。

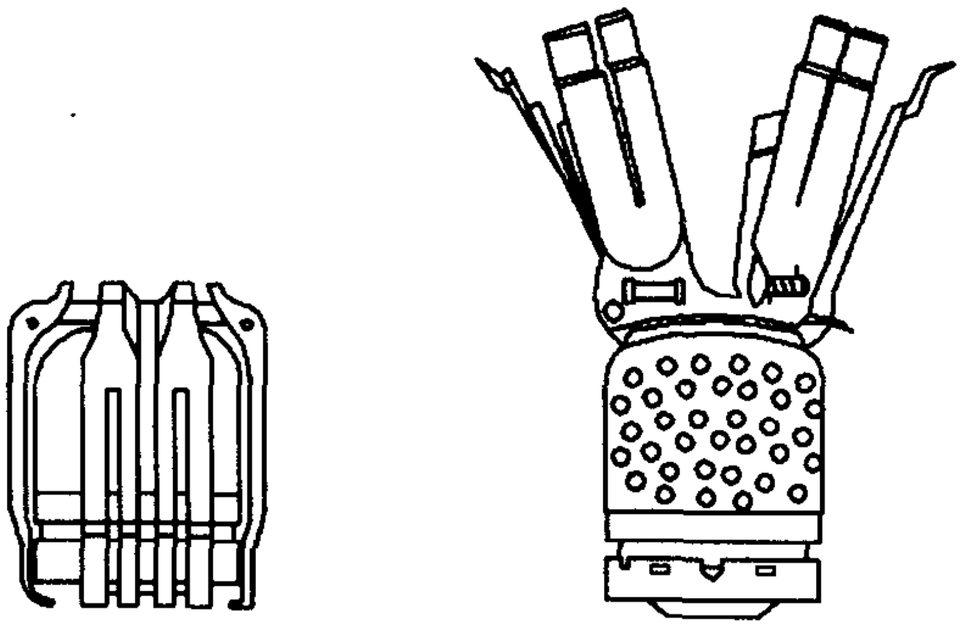


图 10-17 美 BLU-3/B 杀伤炸弹(菠萝弹)

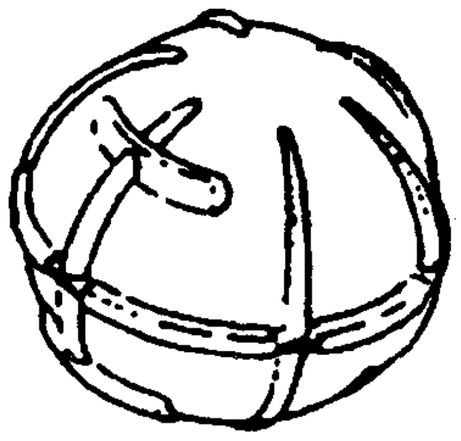


图 10-18 美 BLU-26/B 杀伤炸弹

10.4 航空杀伤爆破弹

航空杀伤爆破弹是具有杀伤和爆破综合作用的炸弹,用以杀伤和摧毁敌方在阵地上、行军中和集结地域的有生力量,以及火炮、火箭、导弹发射场、汽车、装甲运输车和轻、中型掩蔽所内的兵器。下面以 100-2 航空杀伤爆破弹为例分析其结构和性能。

10.4.1 主要性能数据

全弹质量(未装引信)/kg	140
装药质量/kg	39.8
装填系数/%	28.4
弹长(未装引信)/mm	1055~1080
弹体直径/mm	280
安定器翼展/mm	307~311
弹头端面至质心距离/mm	365
地面静爆杀伤威力:	
破片密集杀伤半径/m	46.7
破片有效杀伤半径/m	53.9
破片飞散平均初速/($m \cdot s^{-1}$)	1168
4g 以上破片数/片	2867
距爆心 10m 处冲击波超压/Pa	59290
距爆心 20m 处冲击波超压/Pa	18228
标准下落时间/s	22.29

10.4.2　构造特点

该弹由弹体、装药、弹耳 3、安定器和引信等组成，如图 10 - 19 所示。

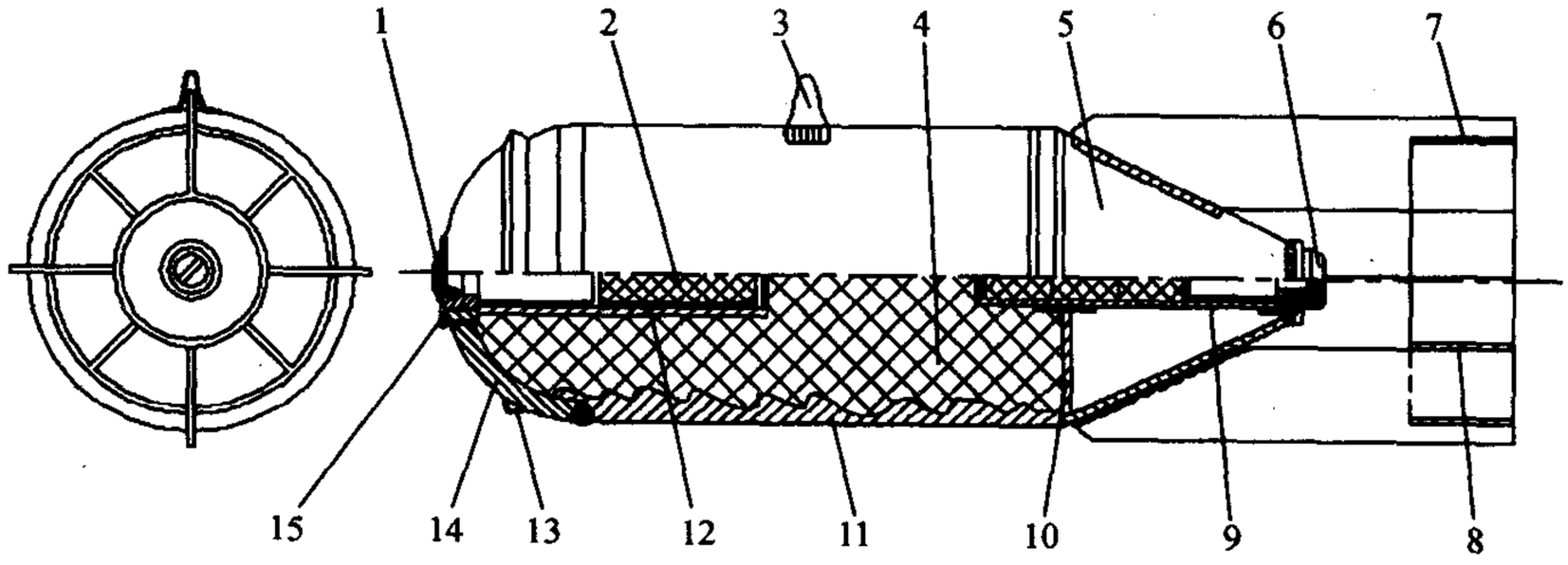


图 10 - 19　100 - 2 航空杀伤爆破弹

1—防潮塞；2—传爆药柱；3—弹耳；4—炸药；5—尾锥体；6—防潮塞；7—外圈；8—内圈；9—尾部传爆管；10—隔板；11—圆柱部；12—头部传爆管；13—弹道环；14—弹头；15—连接螺套。

① 弹体：弹头由厚度为 22mm 的钢板制成，呈半球形，前端有螺孔，弧面上焊有弹道环，弹道环外径与弹体直径相等。弹身由铸钢制成，内壁铸有 10 条环形锯齿形沟槽；最大壁厚 28mm，最小壁厚 18mm，槽距 40mm；其前、后端分别与弹头和尾锥体隔板焊成整体。尾锥体由厚 2.5mm 钢板制成，锥度 26°，前端与尾锥体隔板焊接，尾端与尾部螺套焊接。有 2 个传爆管，头尾各一个。头部螺套和传爆管壳体焊成一体。头部传爆管内装 2 节特屈儿药柱，每节为 0.168kg，药柱装在布袋里，塞入传爆管内，并被衬纸筒压紧。尾部传爆管焊在尾锥体后端，由尾部螺套、传爆管壳和传爆药柱组成。

② 装药：装 TNT 炸药。尾锥体内不装药，使质心前移，有利于弹道稳定。

③ 弹耳：有一个弹耳，由 30 号钢模锻制成，焊在炸弹质心处。

④ 安定器：为双圆筒式，由厚 2.5mm 钢板制成，焊在尾锥体上，它包括 4 个翼片、4 个支板、1 个内圈和 1 个外圈。

⑤ 引信：可配用航引 - 1、航引 - 2、航引 - 7、航引 - 8 引信。通常头部配用航引 - 8，尾部不装引信；或者头尾均为航引 - 1，头尾为航引 - 7，并且使用状态应相同。

10.4.3　作用过程

以头部配用航引 - 8、尾部不配引信为例。当炸弹投下后，经 13s ~ 17s（引信延时器延期时间和旋翼控制器延期时间之和），旋翼失去控制，在气流作用下迅速旋掉。此时，引信的无线电装置开始工作。当炸弹落到距目标较近时，利用多普勒效应，使引信点火起爆，进而使炸弹在距目标较近的上方爆炸，产生杀伤破片和冲击波，以此来杀伤敌方有生力量和武器装备。

10.5　集束炸弹和航空子母炸弹

集束炸弹通过集束机构将多枚炸弹捆绑在一起，航空子母弹箱是用来装填各种小型

炸弹的一次性使用的投弹箱，集束炸弹是子母炸弹的前身。投弹后根据定距引信所控制的工作时间，它们可在空中预定高度散开或抛出子弹，当子弹撞击目标时击发引爆，形成一定的散布面积，杀伤敌方有生力量和破坏各种技术兵器。

使用子母弹箱和集束弹架，使子弹运输更合理，大大提高了轰炸效率。目前西欧和美国都把集束技术列为重点发展，尤其是用来提高压制火力的杀伤弹、燃烧弹等集束技术发展更快。

10.5.1 集束炸弹

10.5.1.1 作用与构造

如图 10－20 所示为 100－1 航杀弹束，它是由 3 枚 25kg 航杀弹用集束机构组合在一起的。投弹后可在空中散开，以增大杀伤面积。25kg 航杀弹是以破片杀伤作用来破坏目标的炸弹，用以杀伤敌方有生力量，破坏汽车、火炮、飞机等技术兵器。

图 10－20 100－1 航杀弹束

1—防潮塞；2—锁紧片；3—连接套筒；4—弹耳；5—扇形板；6—连接杆；7—夹持器；8—轴向紧固螺帽；9—安定翼片；10—支承板；11—头部套筒；12—保险器；13—防潮塞；14—头螺；15—垫片；16—传爆管；17—炸药；18—弹身；19—尾锥体；20—翼片；21—外圈；22—内圈。

25kg 航杀弹由弹体、装药、安定器和引信组成。

弹体包括弹身、头螺、尾锥体和传爆管。弹身由铸钢制成，内壁呈锯齿形，为半预制破片。头螺拧在弹身前端螺孔内。引信与头螺螺纹连接。尾锥由厚度为 2mm 的钢板制成，锥度为15°，与弹身焊接。传爆管壳和头螺焊在一起，管壳内装特屈儿传爆药柱。

装药为 TNT 炸药，采用块铸法从头部铸入。尾锥体内不装药。

安定器为双圆筒式，由厚度为 2mm 钢板制成，焊在尾锥体上。它包括 6 片翼片、内圈和外圈，每个翼片上有 2 条纵向加强槽，6 个翼片对称分布。

10.5.1.2　集束机构

集束机构的作用是将 3 枚 25kg 航杀弹集结成弹束，使其从飞机上投下后到达预定时间再散开。它包括连接杆、头部套筒、连接销、保险片、保险器、夹持器、弹耳和扇形板等。连接杆是集束机构的主体，其前端焊有连接套管。连接套管内腔是装黑火药盒的药室，侧面有一连接销的安装孔。连接杆中部焊有支撑板和带弹耳的扇形板，后部焊有 3 个安定器翼片，翼片尾端焊有 1 个外圈，每个翼片上有 3 条加强槽，各翼片间互成 120° 夹角。连接杆尾端焊有带螺纹的尾杆。

头部套筒套在连接套筒上，侧壁上的径向孔中安装有连接销，将头部套筒和连接套管相连接，平时由保险片将连接销挡住，使其不能掉出来。头部套筒前端有一直径为 26mm 的引信安装螺孔，后部内壁有 3 个固定 25kg 航杀弹的固定销孔。侧面有定位销，它使保险器套在头部套筒上后不能旋转。

保险器套在头部套筒上，其上面有 3 个互成 120° 的定位片，平时通过防潮塞将其固定。当安装好引信后，保险器上的 3 个定位片分别将 3 枚 25kg 航杀弹上的航引 - 3 旋翼限制住，起旋翼控制器的作用。

夹持器套在连接杆尾端的尾杆上，它的 3 个固定块分别卡入 3 个 25kg 航杀弹安定器的内圈里，利用旋在尾杆后面的轴向压紧螺帽将夹持器固定紧，使航杀弹不能轴向移动，并通过 3 个径向调整螺帽将固定块压紧，使航杀弹不能径向移动。

弹耳(只有 1 个)由 35 号钢模锻而成，焊在扇形板上。

黑火药盒(又称黑火药柱)是 100 - 1 航杀弹束在空气中散开的动力源，药盒内装 7g ~ 8g 2号小粒黑药，用来产生火药气体，抛出连接销和头部套筒，使弹束散开。黑火药盒用塑料盒密封包装后放于大包装筒内存放。平时，它与航杀弹束分开保管，供应时配套发放。

引信用来点燃黑火药盒，一般配用定距式引信航引 - 4 乙(装有控 - 4)1 枚。

使用时须在连接套管的药室内配装黑火药盒，在头部套筒内配装引信。

10.5.1.3　动作原理

当 100 - 1 航杀弹束从飞机上投下后，航引 - 4 乙解除保险，经一定时间在预定的高度上引信作用，将连接套筒药室内的黑火药盒点燃，产生火药气体，将连接销、头部套筒、保险器连同航引 - 4 乙一起抛掉，解除了保险器对航引 - 3 旋翼的控制，并使 3 枚 25kg 航杀弹失掉了前集束点，于是航杀弹在空中散开，3 枚子弹各自下落。在气流作用下，航引 - 3 的旋翼旋脱，解除保险，当子弹撞击目标时，在目标的反作用力作用下，引信作用，进而引爆炸弹。

10.5.2　航空子母弹

航空子母弹和集束炸弹相比，不同点是子炸弹装填在弹体内，装填数目多，可有几枚

到几百枚。外形和普通航空炸弹相似，由弹体、弹箍、安定器、引信等组成。根据所装炸弹的类型不同，航空子母弹可分为杀伤子母弹、燃烧子母弹和反坦克子母弹等，下面以反坦克子母弹为例介绍子母弹的特点。

航空反坦克子母炸弹，内装大量反坦克子弹药，主要用来对付坦克群、步兵战车、装甲运输车、自行火炮以及其它带装甲的目标，如图 10 - 21 所示是 РБК - 500 型反坦克子母弹。

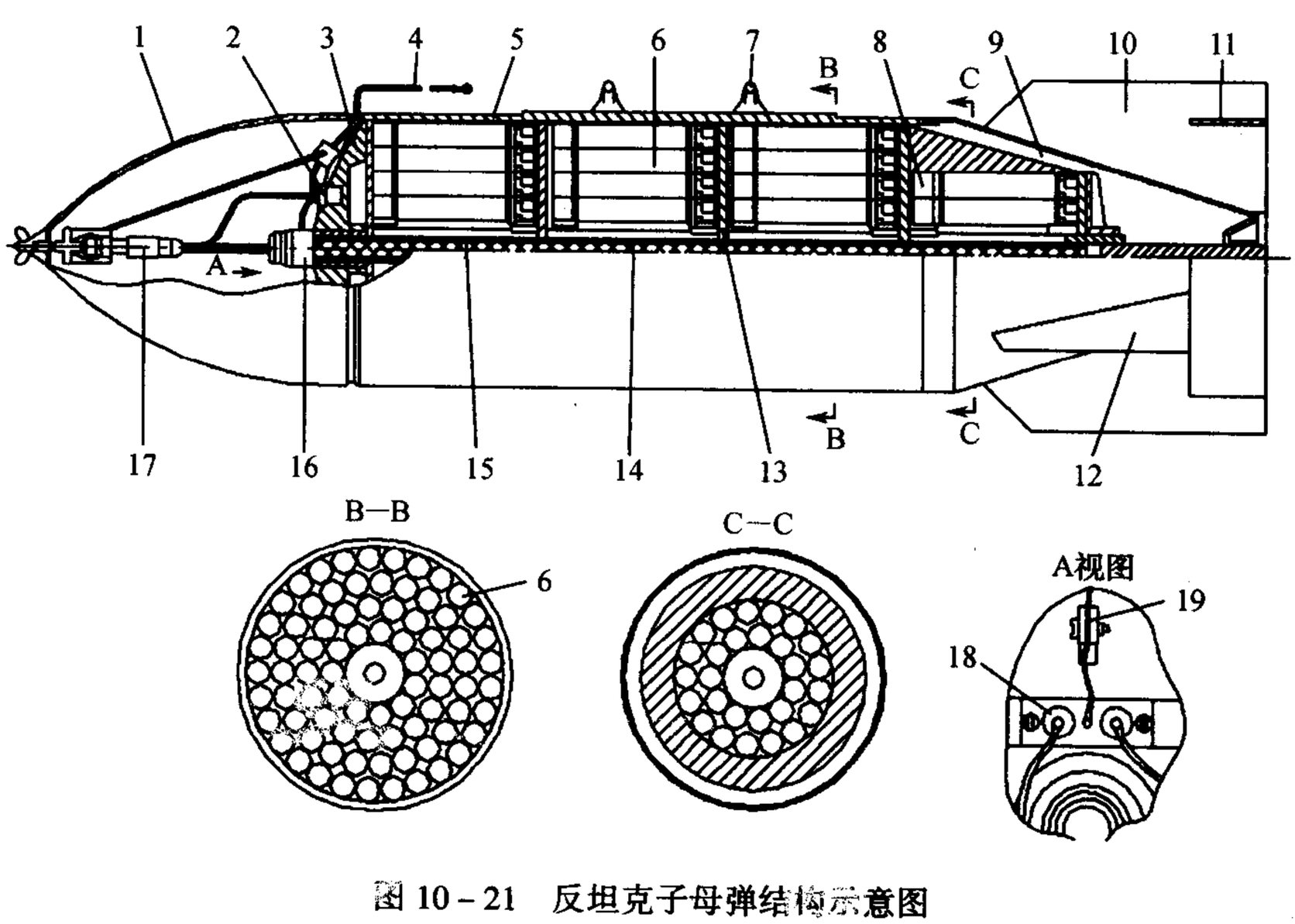


图 10 - 21 反坦克子母弹结构示意图

1—整流罩；2—操纵器；3—头部；4—电缆；5—圆柱部；6—子炸弹；7—弹耳；8—月牙轮；9—尾锥体；10—主翼片；11—环圈；12—副翼片；13—圆盘；14—中心管；15—抛射药；16—引信；17—释放机构；18—接线板；19—挂钩。

10.5.2.1 主要性能数据

弹重/kg	约 420
弹径/mm	450
弹长(带整流罩时)/mm	954
翼展/mm	570
子炸弹数据：	
质量/kg	0.934
弹径/mm	42.15
弹长/mm	260
翼展/mm	75

10.5.2.2 构造

该子母弹由弹体、整流罩、释放机构、操纵器、接线板、安定器、引信、抛射药和子炸弹、

附件等部分组成。

弹体主要由头部、圆柱部、尾锥体、中心管组成。圆柱体上焊有 2 个弹耳。在头部边缘上，有一与吊耳对正的凹槽，用来引出电缆。在头部表面，有一中心孔、2 个螺纹孔和 2 个焊接的挂钩。挂钩用于连接释放机构的挂环，2 个螺纹孔用来安装接线板。在头部中心孔中安装中心管，中心管后端和安定器相连，前端安装抛射药筒和母弹引信。

整流罩的作用是当子弹外挂时，使其具有良好的气动外形，以减小所受的空气阻力。释放机构是用来将整流罩固定在弹体头部，并保证在投弹后抛掉整流罩。操纵器的作用是提供抛掉整流罩的动力，控制抛掉整流罩的时机。接线板的作用是将来自挂弹架上的电脉冲分别送给母弹引信和操纵器。在机内挂弹时，不需要使用整流罩、释放机构、操纵器和接线板。

安定器由主翼片、副翼片和环圈组成，它们相互焊接成整体，其作用是保证母弹在开舱之前稳定下落。

抛射药的作用是点燃后形成高压气体，打开弹体，抛掉安定器，抛撒子炸弹。

引信的作用是适时地点燃抛射药筒内的抛射药。

附件由圆盘、铝铸的月牙轮和橡胶衬垫等组成，其作用是固定母弹体中的子炸弹。

该子母弹内装 268 枚破甲型子炸弹，子炸弹由弹体、装药结构、压电引信和安定器等组成，如图 10 - 22 所示。

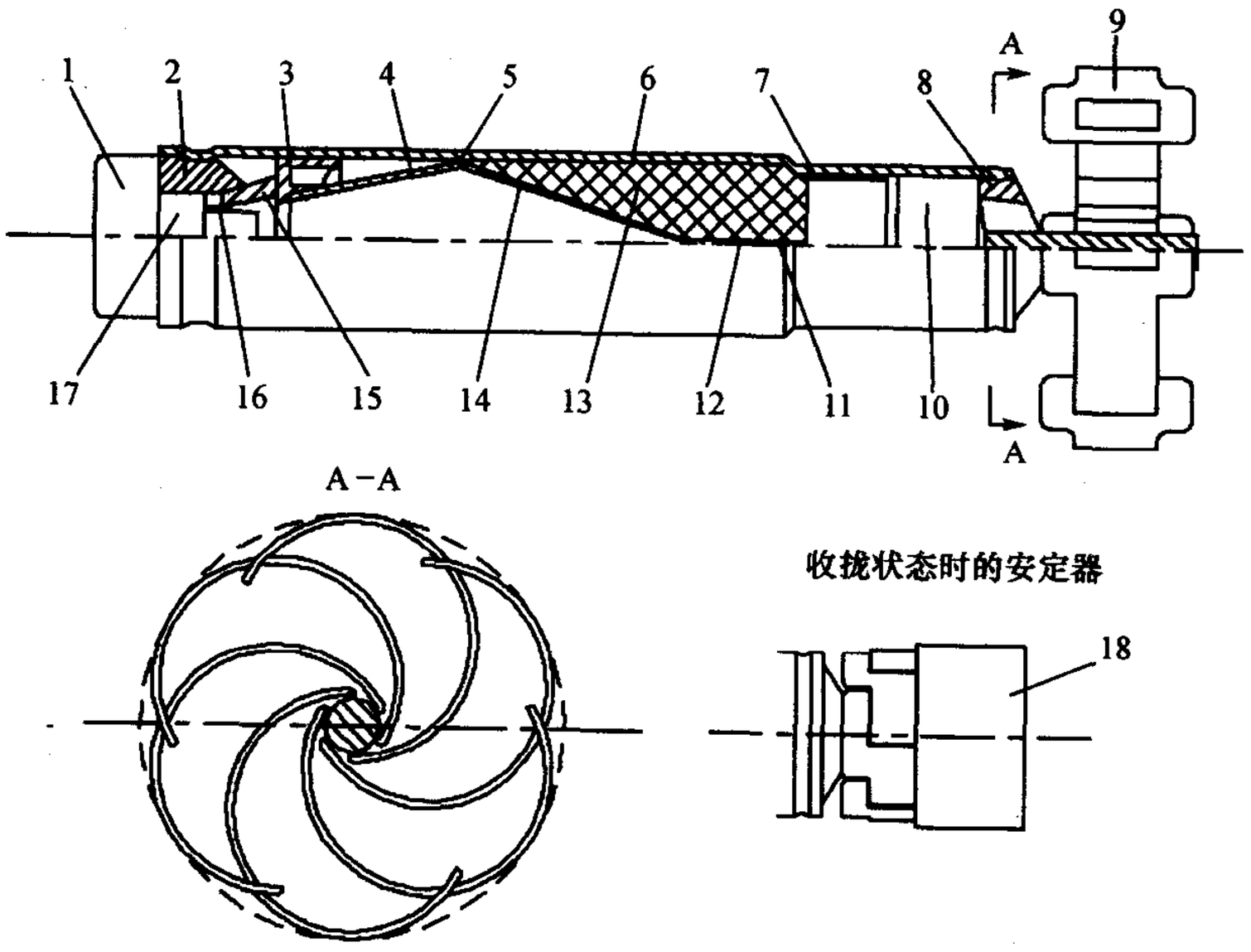


图 10 - 22　反坦克子炸弹示意图

1—罩；2—法兰盘；3—套筒；4—锥体；5—绝缘体；6—壳体；7—绝缘体；8—法兰盘；9—安定器；10—下罩；11—弹簧；12—导电杆；13—炸药；14—药型罩；15—弹塞；16—弹簧；17—头部机构；18—尾盖。

弹体为无螺纹连接的不可拆卸结构，主要由壳体、锥体和 2 个法兰盘组成。锥体用以保证破甲的有利炸高，其一端抵在套筒上，另一端与药型罩相连。法兰盘的作用是固定引

信和安定器。

装药结构主要由药型罩、聚能装药组成，作用是形成高速金属射流，对目标实施破甲作用。

压电引信包括头部机构(压电机构)、底部机构(保险执行机构)以及电路连接部件。头部机构由法兰盘固定在弹体上，底部机构被固定在聚能装药和法兰盘之间。头部机构(或称目标传感器)用来当子弹与目标相遇时，将冲击机械能转化为电能。底部机构(或称保险执行机构)接收头部机构产生的电能，引爆子炸弹装药。

头部机构和尾部机构的电路连接通过下列结构元件实现，内部电路：弹簧—锥体—带有杆的药型罩—弹簧；外部线路：罩—法兰盘—外壳—法兰盘—下罩。在两条线路的可能接触部位用塑料绝缘体绝缘。

安定器为整体结构，由 6 片钢制弧形翼片组成，该翼片富有弹性，平时卷缩成弹体直径大小，并用底盖罩住，飞行时伸展开，保证子炸弹稳定下落。翼片根部铸成整体，并固定在法兰盘上。

10.5.2.3 动作原理

机外挂弹时，投弹瞬间，来自飞机的电脉冲传送到接线板上，并由接线板分别送到引信和操纵器。从供给电脉冲开始，经过 0.9s 的延期时间，操纵器的抛射药燃烧，产生火药气体，在火药气体作用下，整流罩和弹体分离。

母弹引信经过装定的作用时间之后，点燃抛射药。在密封的母弹体内，抛射药燃烧产生大量的高温高压气体，一部分高压气体冲开挡板，使弹体在空中解体并抛出子炸弹，子炸弹的弧形尾翼展开，使其稳定下落；另一部分气体在母弹打开之前，使子炸弹引信的高温传感器启动，使引信处于待发状态。

当子炸弹碰击目标时，压电晶体受压变形，产生足够的电脉冲传输到电雷管，从而使电雷管、传爆药和装药依次发生爆炸，形成金属射流，侵彻目标。

机内挂弹时，不需要使用整流罩、释放机构、操纵器和接线板。投弹时，来自飞机的电脉冲直接供给引信，经过装定的作用时间之后，引信工作，接下来的动作和机外挂弹时的动作相同。

10.6 航空反跑道炸弹

在现代战争中，能够迅速地压制敌空中进攻能力，在敌机起飞之前就将机场跑道破坏，进而攻击敌人战机的战术，已普遍受到各国空军的重视，认为“用进攻和摧毁敌方飞机来压制敌方战斗力是很重要的战略问题，甚至比取得空中优势更为重要”。例如 1967 年中东战争，以色列出动 150 架飞机装挂反跑道炸弹，同时对埃及十几个军用机场进行突然袭击，首先破坏跑道，使埃及大批飞机不能起飞，而后轰炸扫射，将其飞机击毁在地面上。此后反跑道炸弹便引起各国空军的重视。

低空反跑道炸弹要求超低空、高速度和大着角，但这三者是相互矛盾的，解决这一矛盾的常用措施是：炸弹投下以后，在飞行弹道上先减速而后增速，减速的目的是使超低空

投弹的飞机脱离炸弹爆炸形成的危险区，同时增大落角，利于侵彻目标，避免跳弹；增速的作用是炸弹在有限的高度内获得高速，便于侵彻坚硬目标。

反跑道炸弹主要用于摧毁机场跑道、滑行道、机库、钢筋混凝土掩体及其它类似的目标。下面以 БЕТАБ－500ШП 型反跑道炸弹为例，介绍此类弹药的性能及结构特点。

10.6.1　主要性能数据

全弹质量(无包装)/kg	379
弹长/mm	2509
弹径/mm	325
翼展/mm	445
弹头部端面距质心距离/mm	900
发动机质量/kg	60
发动机推进剂质量/kg	22
含减速伞系统的伞舱质量/kg	52.6

10.6.2　结构特点

炸弹由战斗部 1、火箭发动机 5、带减速伞的伞舱 6、引信装置 3 等几部分构成，如图 10－23 所示。

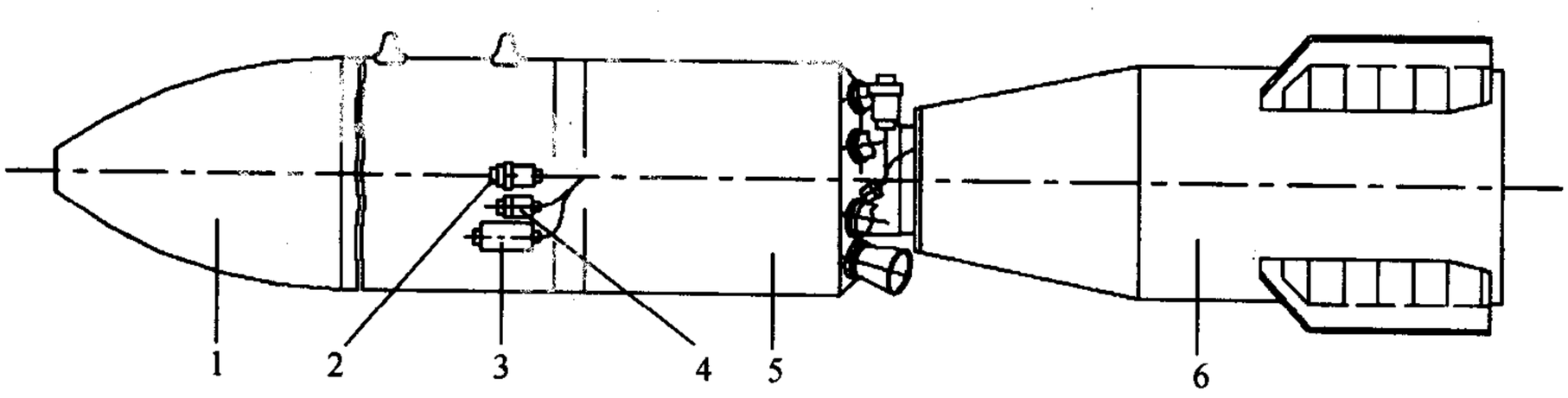


图 10－23　反跑道炸弹构成简图

1—战斗部；2—转换机构；3—引信；4—电源组件；5—发动机；6—伞舱。

10.6.2.1　战斗部

如图 10－24 所示，战斗部壳体为钢，头部为截头拱形体，弹壁较厚，向后逐渐变薄，内装高能炸药。壳体上焊有 2 个间距 250mm 的弹耳，用于悬挂炸弹。弹体底部焊有 3 个杯状体和衬筒，3 个杯状体分别用来放置引信、电源组件和转换机构；衬筒为一装药口，通过此口将炸药装填到壳体内，装药后用垫圈和盖板密封，并在炸药上留一补偿空间，当炸弹受气动加热时，炸药膨胀的溢流可流到这里。

通过由上下两个半环构成的固定环将发动机固定在战斗部的底部。

10.6.2.2　火箭发动机

发动机的作用是在减速伞系统脱离后使炸弹加速运动，以得到侵彻目标所需的速度。

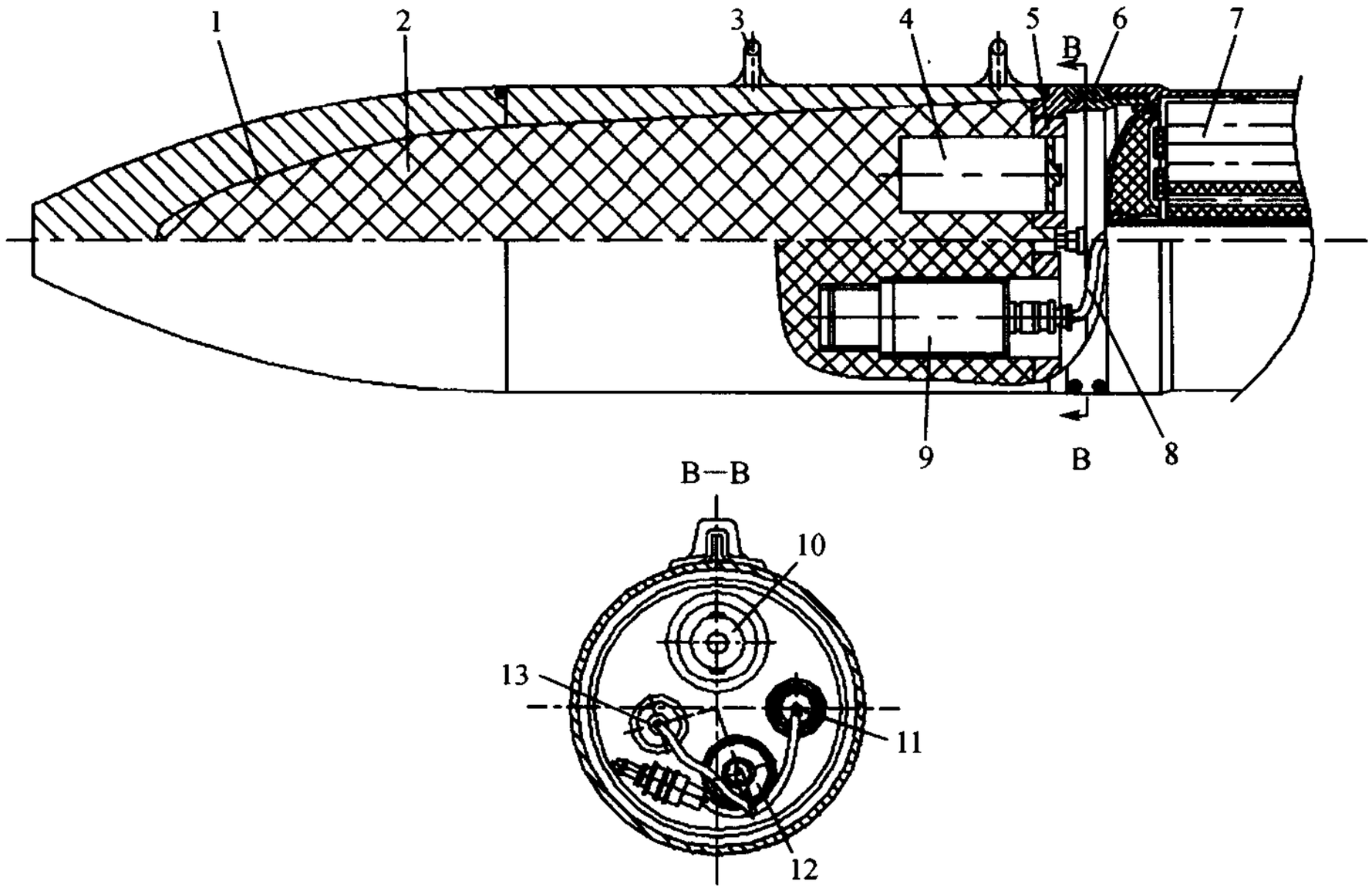


图 10－24　反跑道炸弹战斗部示意图

1—壳体；2—炸药；3—弹耳；4—衬筒；5—弹底部；6—固定环；7—发动机；8—电缆；9—引信；10—装药孔；11—转换机构；12—引信；13—电源组件。

如图 10－25 所示，发动机由壳体、推进剂、引燃剂、电发火管和衬圈等组成。壳体为钢结构，由筒体、前盖板和后盖板等部分焊接而成。后盖板上焊有 10 个喷管衬筒、中心衬筒、侧衬筒和安装盘。喷管衬筒周向分布，内孔有螺纹用于安装喷管。中心衬管用于安装中心管。侧衬管用于安装电发火管。安装盘用于将伞舱固定在发动机上，在安装盘的衬筒内固定有电启动装置。衬圈的作用是固定前盖板，并保证发动机和战斗部的连接。

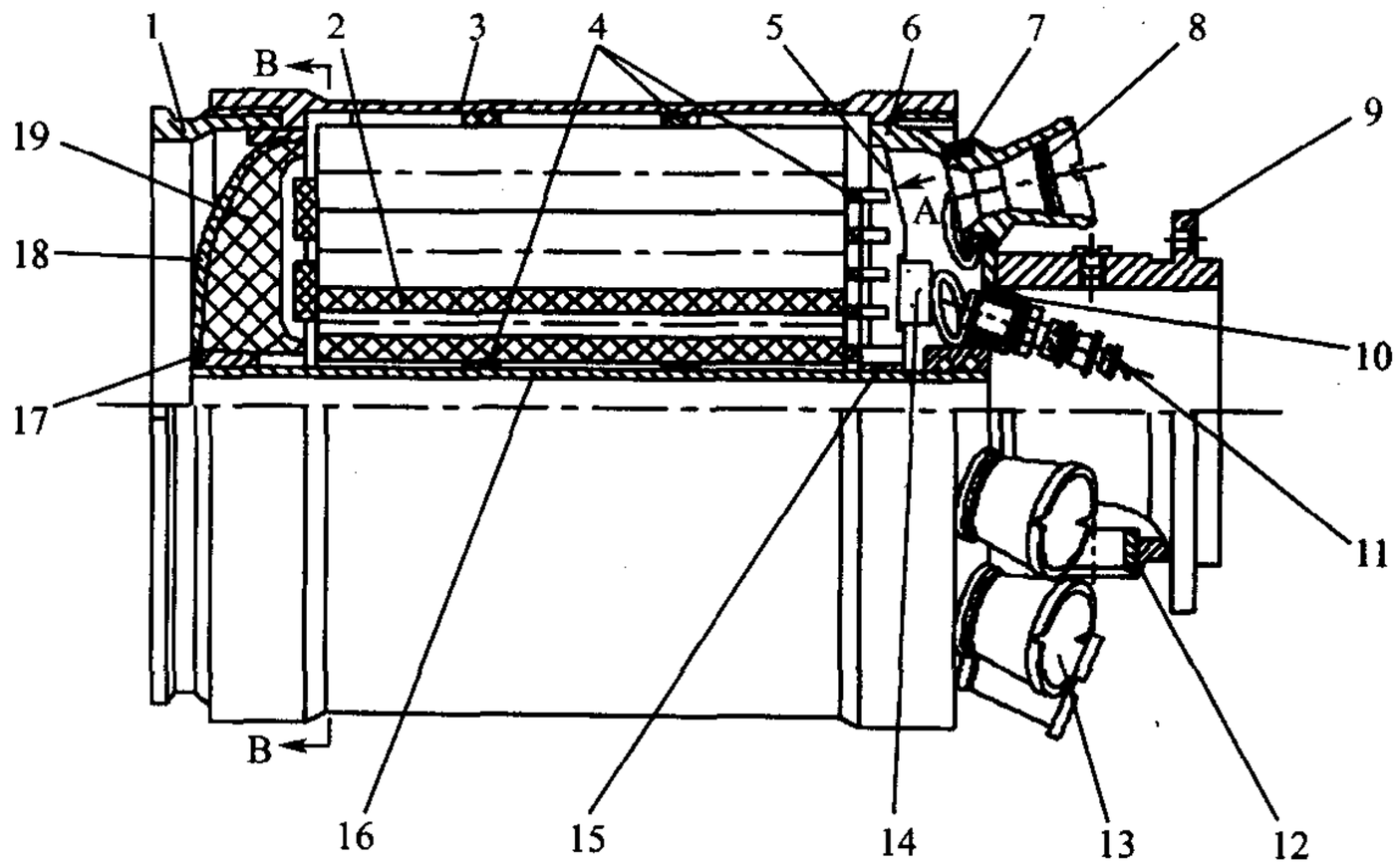
壳体内部放置推进剂，工作时充当推进剂的燃烧室。在燃烧室的底部有一个栅格形的钢铸隔板，平时用于放置和固定推进剂，发动机工作时，起到过滤的作用，防止推进剂燃烧碎块堵塞喷管。在隔板的肋和同心环上粘有减振胶圈，防止推进剂在运输或发射过程中破碎。此外在隔板上还安装一个环形槽，用于放置引燃剂。隔板通过轴键固定在中心管上，以防止其转动。

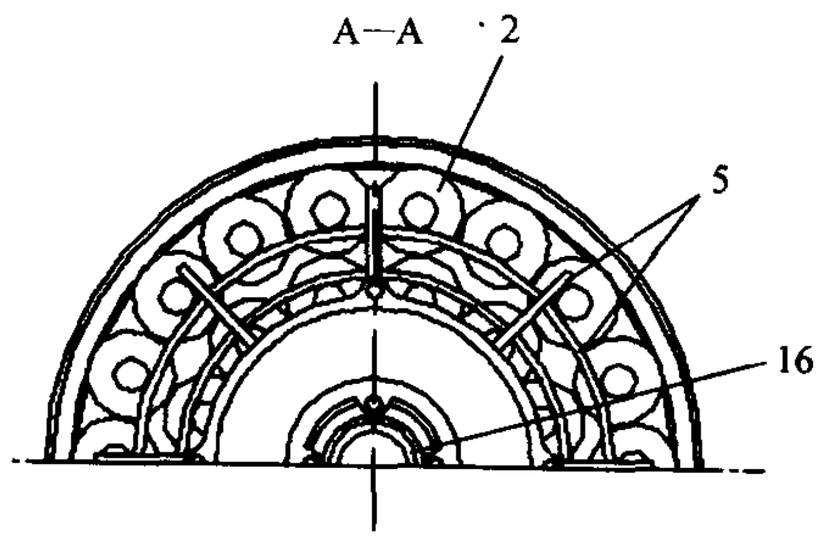
在前盖板的底部放有嵌块，起隔热作用，防止燃烧室产生的高温传到战斗部。在嵌块的同心环形槽内，粘接 2 个减振胶圈，用于支撑推进剂和减弱其轴向过载，在径向留有通气槽，保证推进剂燃烧时火药气体的流通。

发动机的推进剂由 36 根单管药柱组成。推进剂的两端分别抵在嵌块和隔板的减振胶圈上，在径向方向，推进剂和中心管及筒体之间也放有减振胶圈。

在中心管内放置电缆，用于连接引信装置与炸弹头部、发动机、伞舱内电发火管和电起爆管之间的电路。

作用过程：引信装置发出的电脉冲点燃电发火管，电发火管点燃引燃剂，引燃剂再点燃推进剂，推进剂燃烧生成高温高压的气体经喷管喷出，使炸弹加速。





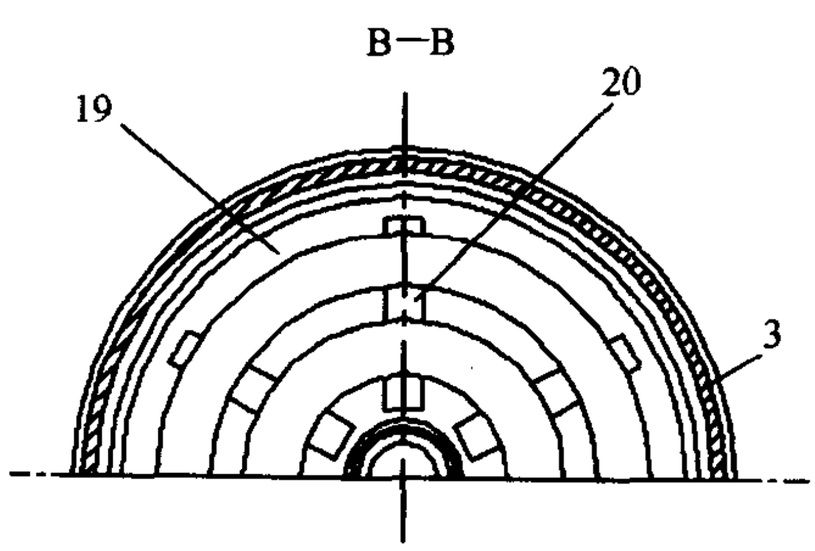


图 10－25　火箭发动机结构示意图

1—衬圈；2—火箭药；3—筒体；4—减振胶圈；5—隔板；6—后盖板；7—喷管衬筒；8—堵盖；9—安装盘；10—侧衬筒；11—电发火管；12—电启动装置衬筒；13—喷管；14—引燃剂；15—轴键；16—中心管；17—中心衬筒；18—前盖板；19—嵌块；20—通气槽。

10.6.2.3　伞舱

伞舱用于安放减速伞系统、十字接头、传感器和解脱机构，如图 10－26 所示。

伞舱壳体为铝合金焊接体，尾部焊有 4 个相互垂直的稳定翼片，壳体前部盖有十字接头碗座，后部盖有带衬筒的盖板。通过螺纹将伞舱壳体和十字接头碗座一起固定在发动机的壳体上。

减速伞系统由减速伞、连接环和解脱环组成，为了隔热和避免与伞舱金属部件接触，将减速伞系统放在一个纸板匣内，纸板匣放在伞舱内。

十字接头的主要作用是固定解脱机构、减速伞的分离装置和电缆；连接减速伞系统。十字接头为钢质焊接结构，由碗座、中央衬筒和 6 个板片组成。通过螺钉将碗座、伞舱壳体和发动连接在一起，碗座内固定着减速伞的分离装置；中央衬筒内焊有中心管，管内装有解脱机构；板片上装有销轴，销轴上固定着连接伞绳环套的衬筒。

(1) 解脱机构

解脱机构的作用是实施锁定和释放减速伞系统，如图 10－26Ⅱ所示，它是由中心管、导管、芯轴、滚珠和销钉组成，焊接在中心管外壁上的衬环限制导管前移，卡入导管纵向槽内的滚珠限制导管后移，滚珠一部分嵌在中心管的孔内，并由芯轴抵住，使其不能从孔中

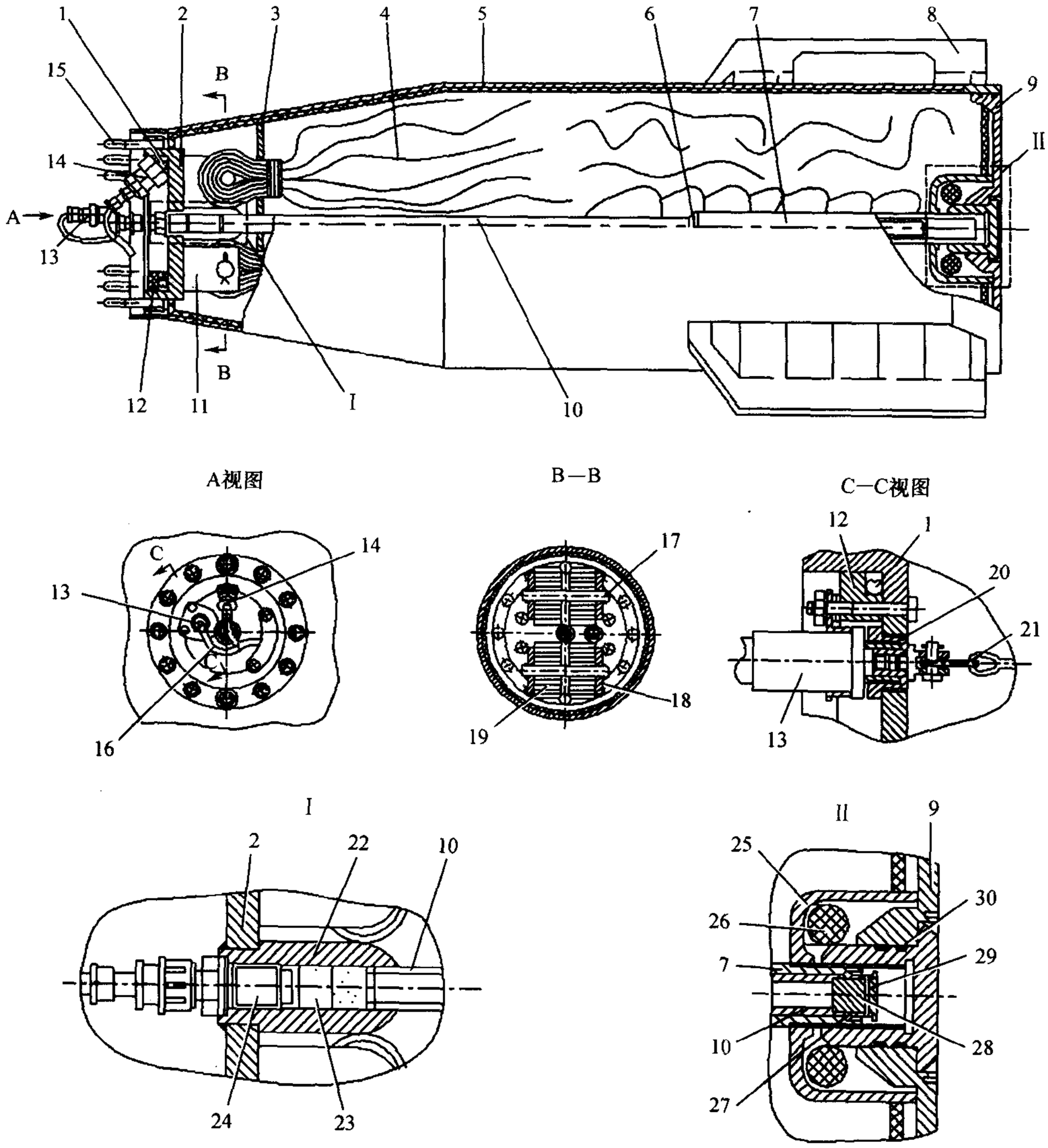


图 10－26　伞舱结构示意图

1—环形装药；2—碗座；3—纸衬板；4—减速伞系统；5—壳体；6—衬环；7—导管；8—安定器翼片；9—盖板；10—中心管；11—十字接头；12—衬圈；13—传感器；14—电起爆管；15—螺钉；16—传感器；17—电起爆管；16—电缆；17—销轴；18—板片；19—衬筒；20—保险衬筒；21—解税环；22—中心衬筒；23—药盒；24—电发火管；25—后端碗座；26—连接环；27—滚珠；28—芯轴；29—销钉；30—密封圈。

脱出，芯轴由销钉固定。电发火管和药盒固定在中央衬筒的孔内，提供解脱机构工作、释放减速伞系统的动力。

工作时，引信装置传来电脉冲，电发火管点燃药盒内的抛射药，抛射药燃烧生成高温高压气体，推动芯轴向后运动，剪断销钉，芯轴向后运动，释放滚珠，解脱导管和中心管之间的约束，芯轴继续向后运动将盖板等部件一起抛出，释放减速伞。

(2) 减速伞分离装置

减速伞分离装置的作用是断开减速伞与炸弹的固定连接,抛弃减速伞。

减速伞分离装置主要由环形空心装药和电起爆管组成。环形装药装在衬圈的环形槽内,电起爆管旋装在衬圈的螺纹孔内。当接收到引信装置输送来的电脉冲时,电起爆管起爆环形装药,定向切割十字接头碗座的壁板,断开减速伞与炸弹的固定连接。

(3) 减速伞系统

减速伞系统由减速伞、连接环和解脱环组成,如图 10 - 27 所示。

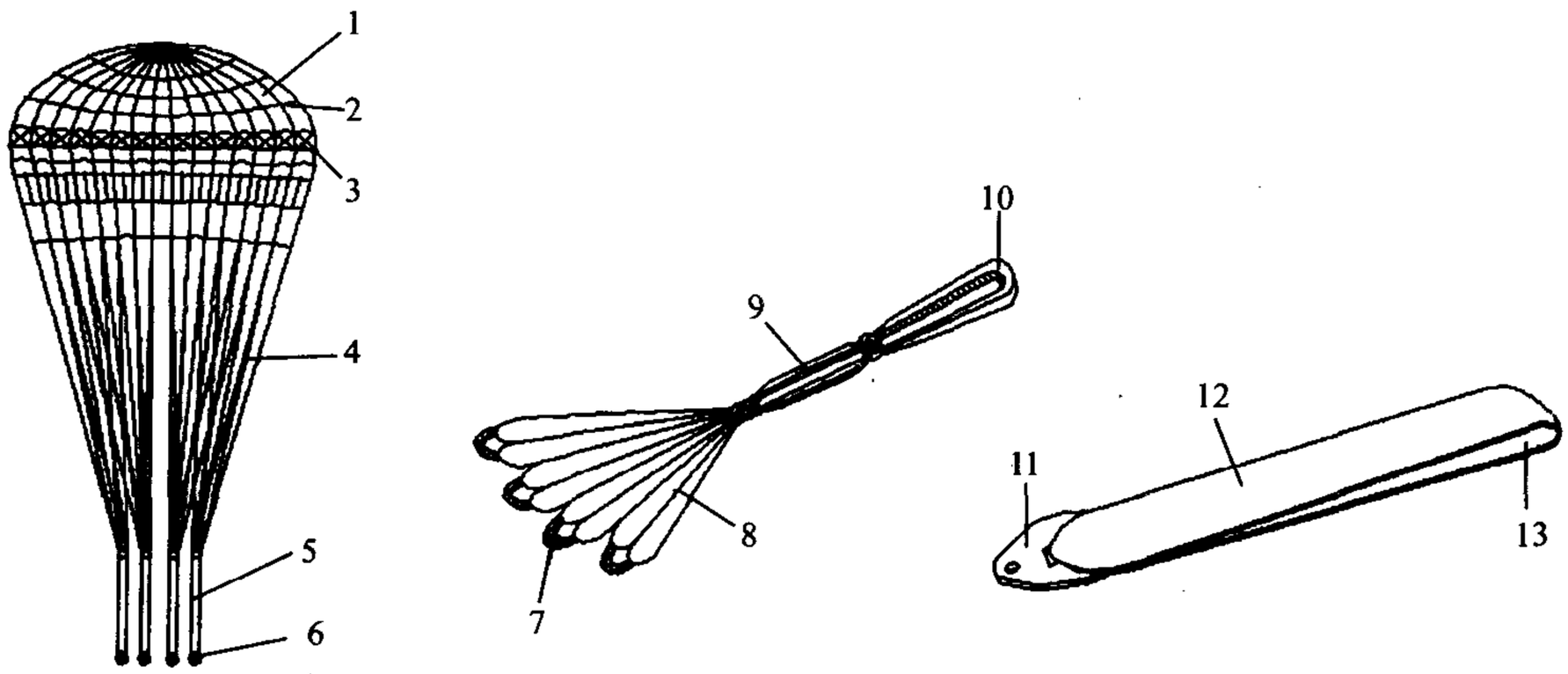


图 10 - 27　减速伞、连接环和解脱环示意图

1—伞衣;2—环状加强带;3—伞衣透气孔;4—吊伞绳;5—布套;6—环套;7—带环;8—保护套;9—卡普隆带;10—带环;11—金属环;12—卡普隆带;13—环套。

减速伞由伞衣 1、加强带 2、吊伞绳 4 组成。吊伞绳的顶部编制成 4 条链带,外面包以布套,末端留有环套,用来将伞固定在伞舱的十字接头上。在一条链带的中部有一套环,用来固定解脱环。在伞衣布面上开有小孔,以提高伞衣的透气性。

连接环将减速伞和解脱机构连在一起,由卡普隆带制成,一端为带环,用于连接伞衣上部;另一端为 4 个带环,与解脱机构的螺帽固定器连接。保护套可使带环在解脱机构工作时不受火药气体的影响。

解脱环的作用是将伞的一条链带连接到传感器上,它由卡普隆带 12 和金属环 11 组成。环套 13 连接在减速伞绳的环套上。金属环通过插件和开口销与传感器相连接。当减速伞彻底张开时,解脱环从传感器套筒里拔出保险销,使传感器触点接通,闭合引信装置的电路。

10.6.2.4　引信装置

所用引信装置是触发式保险型引信装置,具有两级保险和独立的电源,启动方式为电启动。其用途是向炸弹起爆和执行机构输送电脉冲指令,以实施开伞、发动机点火和抛伞,当炸弹碰到目标后输送起爆脉冲,使炸弹经过一定的延期后爆炸。引信装置由电启动装置、电源组件、转换机构、传感器、引信和电路连接电缆等部分组成。

电启动装置的作用是当炸弹离开挂弹架时,接收从载机上发出的电脉冲,以启动电源

组件和转换机构。

电源组件的作用是给引信装置的电路提供电源。

转换机构的作用是按固定的间隔时间转换引信装置的电路,从而按相应的时间发出电脉冲指令。

传感器的作用是当减速伞打开时接通引信装置的总电路,解除二级保险。

引信为保险型,其作用是强击延期起爆炸弹。它有两条发火线路:主发火线路在炸弹投下后经过 4.2s ± 0.2s 启动,延期 20s ~ 32s 起爆;辅助发火线路保证炸弹碰击目标后延期 20s ~ 32s 起爆。

电缆的作用是连接电启动装置、电源组件、转换机构、传感器和引信之间的电路,传输电脉冲信号。

10.6.3 作用过程

炸弹在脱离挂弹架时,飞机将电脉冲同时输给转换机构和电源组件,第一级保险解除。此时转换机构启动,引信的电路按规定程序转换;电源组件的电池进入工作状态,给电路供电。

经过 1.2s ± 0.2s,转换机构将电脉冲输送给电发火管,使解脱机构工作,抛出减速伞。减速伞伞衣张开时,拉动解脱环,拔出传感器的保险销,微动开关接通引信装置的电路,第二级保险解除。

在减速伞的作用下,炸弹减速,保证载机有一定的安全距离,同时使炸弹着角增大到 50° ~ 60°,提高发火可靠性。

经过 4.2s ± 0.2s,主发火线路启动。

经过 7.2s ± 0.3s,电脉冲输送给发动机的电发火管和减速伞系统的分离装置的电起爆管。电起爆管起爆环形装药使减速伞分离装置工作,使十字接头和减速伞系统一起脱离伞舱。电发火管工作时,点燃发动机内的推进剂,当推进剂燃烧形成的气体达到一定压力时,将堵盖从发动机喷管中抛出,燃气从喷管中喷出,使炸弹沿弹道加速到 160m/s ~ 170m/s 的速度。

炸弹撞到目标时,引信的惯性闭合器接通,引信辅助发火线路工作,经过延期[20 ~ 32] - [$T_{落下}$ - (4.2 ± 0.2)]s 后,由主发火线路控制起爆炸弹。如果主发火线路发生故障,经过 20s ~ 32s 由辅助线路控制起爆炸弹。

10.7 燃料空气炸弹

燃料空气炸弹是一种新颖而特殊的炸弹,它以炸弹本身携带的燃料和目标上空的空气混合形成的云雾团作为爆炸能源。它的爆炸威力巨大,是同当量炸药炸弹的几倍,同时具有爆破、杀伤、燃烧、扫雷、窒息等多种综合效应,因此,这种炸弹又称为云爆弹、高爆强击弹、窒息弹等,主要用来杀伤敌人的有生力量,破坏布雷区地雷(水雷)和摧毁武器装备。目前燃料空气炸弹有子母型和整体型两种类型。下面以苏 ОДАБ - 500П 整体型航空燃料空气炸弹为例讲述此类弹药的性能、构造及结构特点。

10.7.1　结构

如图 10－28 所示，炸弹主要由战斗部 2、带有减速伞系统的伞舱 5、解脱机构 4 和引信装置 1 等部分组成。

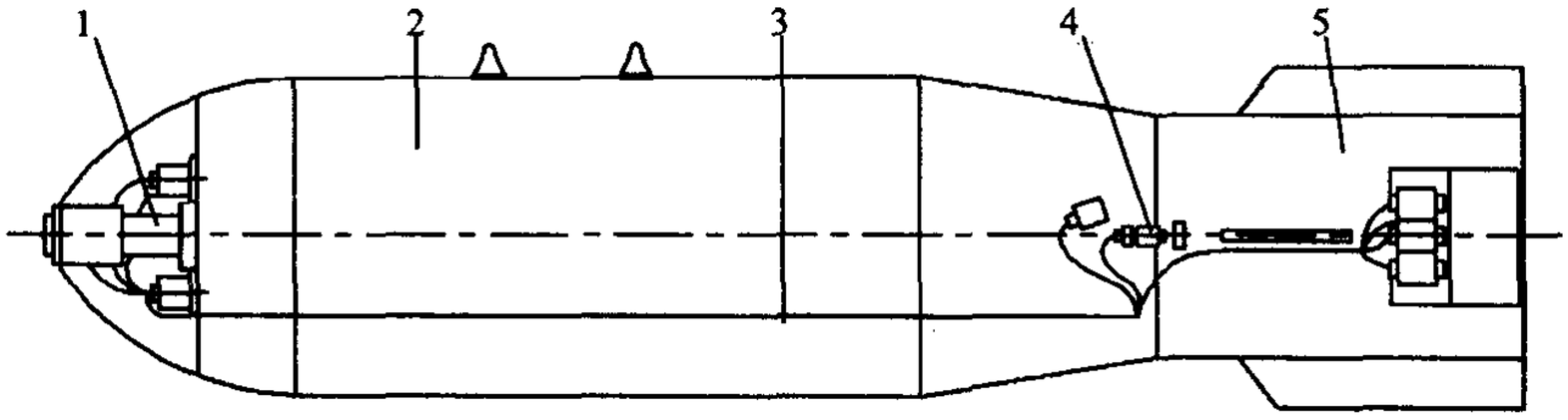


图 10－28　炸弹构成简图

1—引信装置；2—战斗部；3—电缆；4—解脱机构；5—伞舱。

10.7.1.1　战斗部

战斗部由弹体、液体燃料、收集器、6 个周边装药、中心装药和次级装药等组成，如图 10－29 所示。

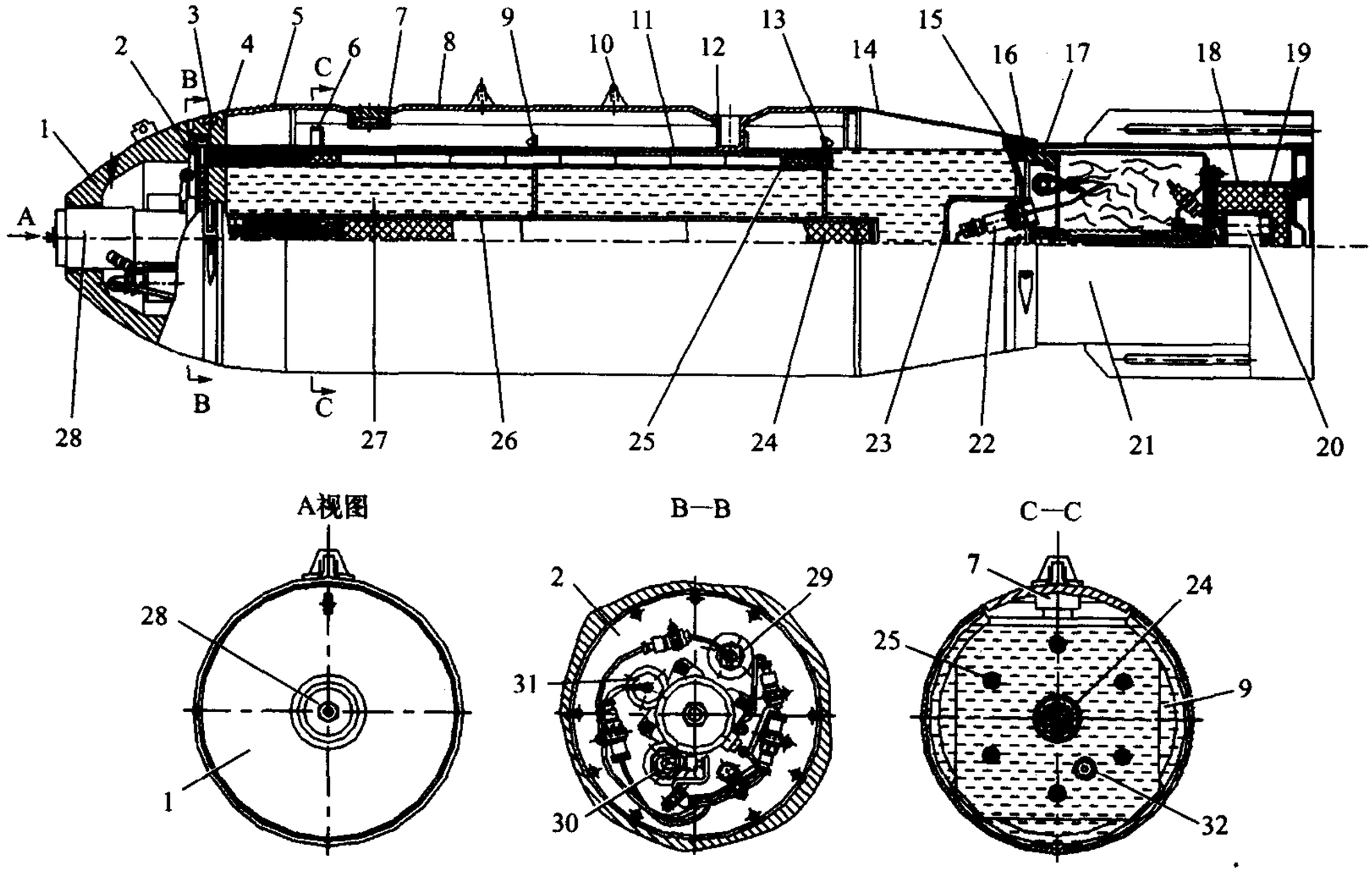


图 10－29　燃料空气炸弹结构示意图

1—头部弹体；2—收集器；3—开口杯；4—前端圆盘；5—拱形体；6—内置圆环；7—衬套；8—圆柱体；9—隔板；10—弹耳；11—周边圆管；12—衬套；13—内置圆环；14—锥体；15—弹底；16—开口环；17—伞舱圆环；18—二级装药壳体；19—次级装药；20—二级引信；21—伞舱；22—传感器；23—杯形体；24—中心装药；25—周边装药；26—中心圆管；27—燃料；28—提前器；29—电源组件；30—转换机构；31—引信；32—电缆管。

弹体包括头部弹体和中部弹体两部分。头部弹体为铸钢件,其外表面为拱形,前面的中央通孔和分段式内腔用于安装和放置引信装置的组件。在弹头部的上方的吊耳平面上焊有挡板,挡板上有纵向孔,当炸弹挂上挂弹架时,用于调整电缆,该电缆用于传输来自载机上的电脉冲。中部弹体是由前端圆盘、拱形体、圆柱体、锥体、带有杯形体的弹底、中心圆管、6 个周边圆管、电缆管、内置圆环和 2 个薄板焊接起来的钢质结构。弹体的头部和中部通过开口环紧紧连接在一起。

前端圆盘是弹体的前控制板,用于固定引信装置、收集器和所有的内置圆管,并起到和头部弹体的连接作用。

在圆柱体内填放有 3mm 厚的薄片和 6mm 厚的嵌入加强筋,在嵌入物上焊有 2 个吊耳、2 个衬套。2 个吊耳间距为 250mm。前面的衬套用于向弹体内灌装燃料;后面衬套用于放进挂弹架上的固定支柱或包装笼里的运输销,以保证炸弹的固定。

弹底是弹体结构的承力部件,用于固定连接伞舱,固定连接方法同弹体头部和中部的连接方法。杯形体用来放置传感器和电点火管的插销式接头及电缆。

中心圆管里放置有传爆药、导爆索和 3 块中心装药。周边圆管里安放有导爆索、传爆药和 9 块周边装药。周边装药和中心装药的作用是爆炸时打开战斗部壳体,将燃料撒入空气中,形成由燃料液滴、水蒸气和空气混合成的气溶胶云雾团。电缆管里放置电缆,用于连接头部与吊伞里引信装置之间的电路。

内置的圆环和薄板的主要作用是保证结构的强度,此外,薄板还可减小炸弹在改变空间位置时液体燃料的晃动。

收集器用来安装导爆索和引信装置。

炸弹所装燃料为戊二烯。

次级装药装在铝合金壳体内,壳体固定在伞舱里。次级装药的作用是引爆云雾团以摧毁目标。

10.7.1.2 伞舱和减速伞系统

(1) 伞舱

伞舱用来放置减速伞系统、十字接头、传感器、解脱机构、带有次级装药的壳体和 4 个二级引信,如图 10 – 30 所示。

伞舱的壳体由铝合金焊接而成,其中包括伞舱圆环、圆筒和稳定器。稳定器由 4 个翼片和环箍组成。伞舱的壳体被顶盖和次级装药的壳体盖住。

十字接头为钢制件,用 4 个螺钉固定在圆环上。减速伞的环套通过带开口销的 4 个轴与十字接头连接。传感器固定在十字接头的衬套上,并和减速伞系统解脱环的拉环相连。在十字接头的中央轴套里固定着解脱机构的导向管。

为保证隔热和避免与伞舱的金属部件摩擦,减速伞系统固定在由硬纸板制成的套筒里,并用衬垫把两端封闭。

次级装药和二级引信放置在次级装药的壳体里,减速伞伞衣的顶部连接在壳体上,杯形体通过 6 个螺钉固定在壳体上,位于伞衣顶部的下面。

电缆连接传感器、电点火管和二级引信之间的电路。电缆被夹子夹住,用螺钉固定在十字接头上,与二级引信相连的 2 根电缆支线用条带系在两根相对的吊伞绳上。

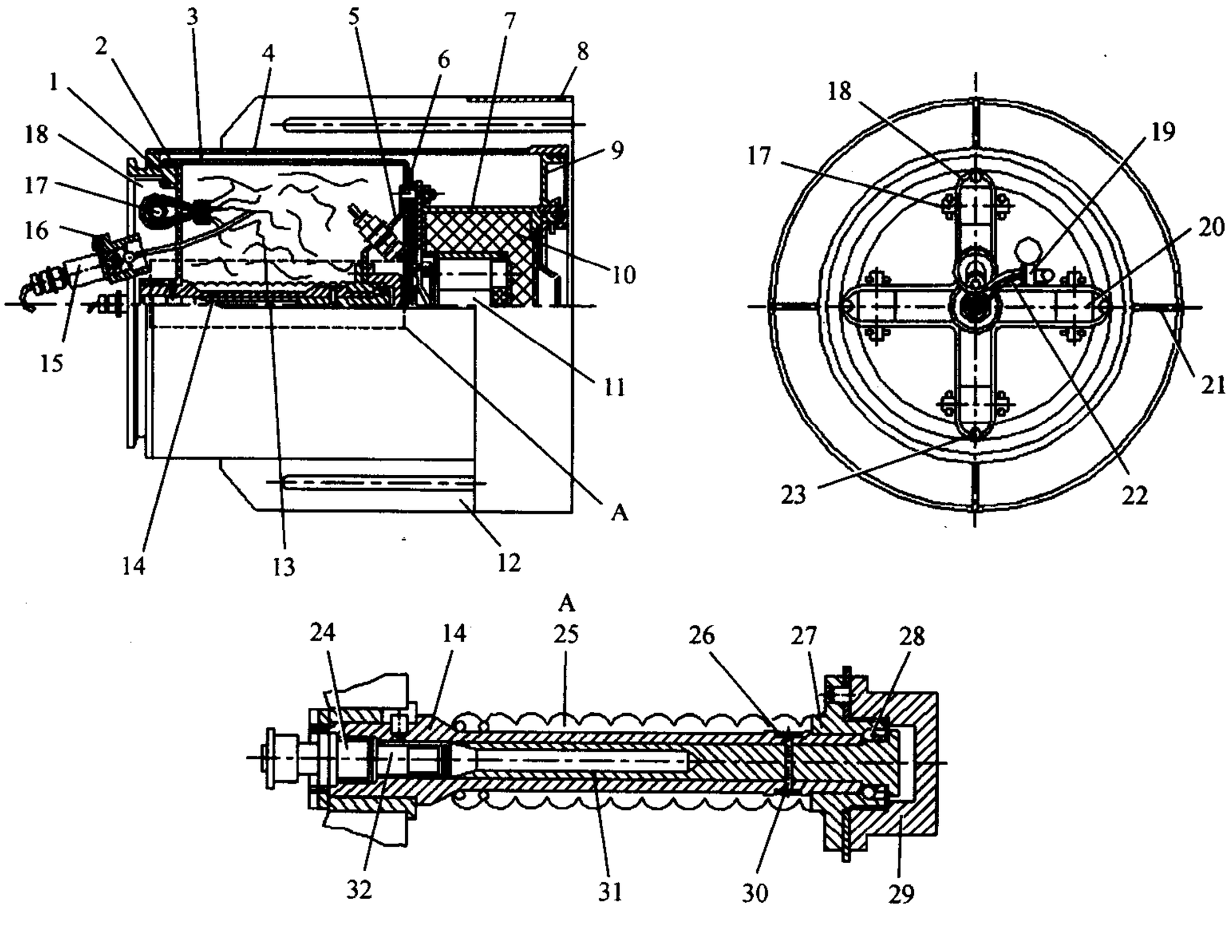


图 10 - 30　伞舱结构示意图

1—伞舱圆环；2—纸垫；3—硬纸套筒；4—圆筒；5—杯形体；6—衬垫；7—次级装药壳体；8—环箍；9—顶盖；10—炸药；11—二级引信；12—翼片；13—减速伞系统；14—导向管；15—传感器；16—衬筒；17—轴；18—十字接头；19—电缆夹子；20—吊伞环套；21—环箍；22—电缆；23—螺钉；24—电点火管；25—保护管；26—弹性环；27—衬套；28—圆球；29—螺帽；30—销子；31—活塞；32—抛射药盒。

(2) 减速伞系统

减速伞系统主要保证炸弹与载机有一定的安全距离，保证炸弹在弹道上稳定下降和具备一定的弹着角。减速伞系统包括减速伞和解脱环，其结构和工作原理同反跑道炸弹。

10.7.1.3　解脱机构

解脱机构是固定和打开减速伞系统的一个组件，如图 10 - 30 的 A 所示，它由电点火管、装有抛射药的药盒、导向管、活塞、衬套和 4 个圆球组成。导向管与活塞之间用销子连接，弹性环用于防止销子脱落。圆球可防止衬套沿管纵向移动，它被活塞挡在管孔里。螺帽拧在解脱机构的衬套上，用来固定杯形体。解脱机构的工作动力由药盒里的抛射药提供。为防止减速伞系统在抛射药燃烧时被灼热的燃气烤燃，在导向管四周固定有高强度的双层衬布制成的保护套。

当引信装置发出电脉冲时，电发火管点燃药盒里的抛射药，抛射药燃烧产生的高压气体推动活塞向后运动，活塞切断销子后顶到底部螺帽上，释放圆球，底部螺帽在活塞的推动下，连同衬套、环形体以及次级装药一起向外推出，减速伞打开。

10.7.1.4 引信装置

燃料空气炸弹采用的是一种触发式保险型引信装置,启动方式为电启动,具有两级保险。其用途是以电脉冲形式向电发火管发出时间指令,使减速伞打开和提前器的先导体抛出,当先导体或炸弹与目标相遇时,瞬发引爆炸弹的中心装药和周边装药,经 130ms ~ 200ms 的延期后,引爆次级装药。

整个引信装置由提前器、转换机构、传感器、电源组件、一级引信和二级引信等组成。

提前器的作用是在投弹时将载机上的电脉冲传到引信装置的启动电路,在 4.2s ± 0.2s时将先导体从提前器中抛出,在接近目标时给出使炸弹爆炸的信号。

电源组件的作用是提供电能,并分配引信装置的电路。

转换机构的作用是按给定的时间转换引信装置的电路,从而按相应的时间发出电脉冲指令。

传感器的作用是在减速伞打开时接通引信装置的总电路。

一级引信的作用是:当先导体或炸弹遇到目标时,瞬时引爆战斗部的周边和中心装药。

引信装置内共含有 4 个并联的二级引信,结构和作用均相同,成花瓣状安装在次级装药内,当先导体或炸弹碰到目标时,接到一个电脉冲信号,此时点燃延期药,经 130ms ~ 200ms 延期后引爆次级装药。

10.7.2 作用过程

投弹时,在炸弹离开挂弹架瞬间,将载机上的电脉冲同时传到电源组件和转换机构,启动电源组件和转换机构,转换机构按规定时间转换电路,电源组件向电路供电,第一级保险解除。转换机构中的定时机构开始等速转动滑动触点,滑动触点和转换机构中的固定触点逐一接触,按相应的时间发出电脉冲指令。

在 1.2s ± 0.2s 时,电脉冲传到电点火管,使解脱机构开始工作,抛出减速伞,当减速伞伞衣充满气时,解脱环的拉环拉出传感器的保险销,传感器的微动开关接通引信装置的总电路,解除第二级保险。

在 4.2s ± 0.2s 时,电脉冲传到提前器,使先导体从提前器中抛出。

在 5.7s ± 0.3s 时,引信装置解除保险,处于待发状态。

当先导体或炸弹遇到目标时,先导体或一级引信的惯性闭合器闭合,使一级引信起爆线路工作,其起爆脉冲经过导爆索和传爆药,起爆周边装药和中心装药。周边和中心装药的爆炸破坏战斗部壳体和抛撒液体燃料,形成由蒸气、细散的燃料质点与空气混合在一起的气溶胶云状雾团。经过 130ms ~ 200ms 的延期时间,二级引信作用,引爆次级装药。次级装药位于减速伞伞衣的顶部,此时减速伞已落入气溶胶雾团中,次级装药引爆气溶胶雾团,形成强冲击波摧毁目标。

当炸弹以应急不爆状态投放时,载机不给提前器提供电脉冲,引信装置不工作,炸弹不爆炸。

10.8 电磁炸弹

1958 年,美国在太平洋上空进行氢弹实验。核爆炸产生伽马射线,当射线击中大气

层中的氧和氮时，释放出的电子象海啸一样波及数百公里，夏威夷群岛的街灯全部熄灭，无线电导航系统中断了 18h。澳大利亚也遭到一定破坏。因此，美国开始研制可抵御电磁脉冲(EMP)的电子设备，结果却使电磁炸弹的研究拉开了序幕。

电磁脉冲炸弹是通过一种非核爆炸形式，把普通炸弹的机械能转化成高强度的电磁脉冲能量的一种炸弹，其杀伤破坏力介于常规武器和核武器之间，这种炸弹在目标上方爆炸后，会辐射出高强度的电磁脉冲，能够使半径数十公里内的飞机、雷达、电子计算机、电视机、电话、手机等几乎所有的电子设备无法正常工作，甚至造成难以修复的物理损伤。特别是使用 CMOS 和 NMOS 的高密数字电子元器件是最易损的，因为它们的晶体管很小，需要很少的能量就可以毁伤。

现代战场不需要造成重大伤亡，各种级别的电磁袭击都能完成大量战斗任务，例如，电磁炸弹能够有效地使车辆的控制系统、地面、导弹或者炸弹上的瞄准系统、通信系统、导航系统、探测系统等失效。对于传统炸弹和导弹很难对付的坚硬的地下掩体，电磁脉冲能够通过地面使掩体的照明、通风和通信系统失效，使地下掩体无法使用。因此，电磁炸弹在未来战场上将扮演重要角色。下面以高功率微波炸弹和电磁脉冲炸弹为例分析电磁炸弹的工作原理。

10.8.1　高功率微波炸弹

高功率微波炸弹由初级电源、爆炸磁压缩器、高功率微波发生器和发射天线 4 大部分组成，如图 10－31 所示。当战斗部达到预定的起爆位置，引信启动第一个同步开关，由电容器组成的初级电源放电，脉冲电流通过爆炸磁压缩器的线圈时，第二个同步开关工作，起爆炸药，形成更强的脉冲电流，脉冲电流输送给微波发生器，转换成高功率微波，再由天线发射出去毁伤目标。

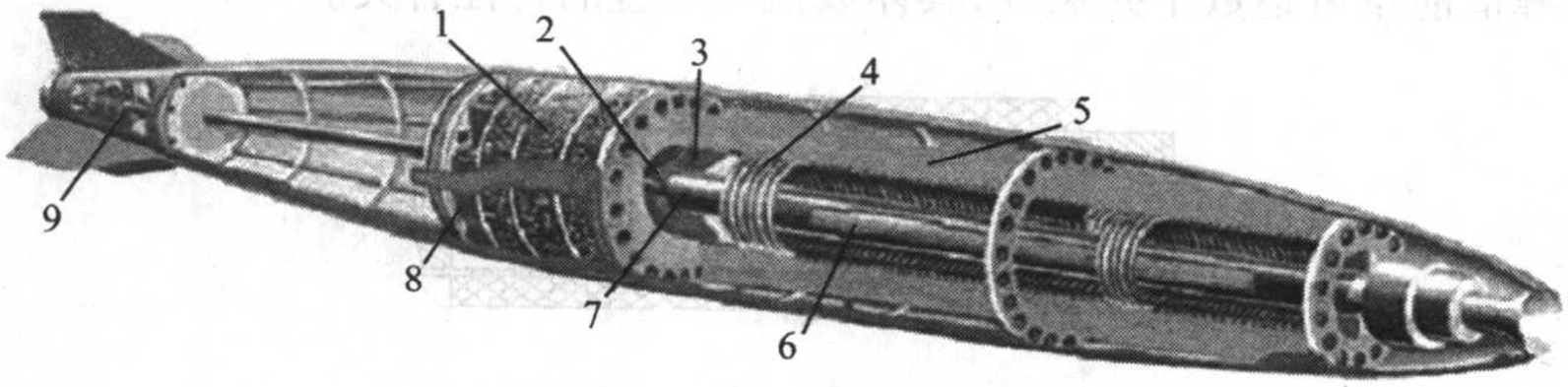


图 10－31　微波炸弹组成示意图

1—电容组件；2—起爆药；3—绝缘体；4—启动线圈；5—绝缘层；6—炸药；7—电枢管；8—电池；9—GPS 制导系统。

10.8.1.1　爆炸磁通压缩器(FCG)

爆炸驱动的磁通压缩器是电磁炸弹的重要组成部分，其技术也是最成熟的，FCG 是一种可在几十到几百微秒时间内产生数十兆焦耳电能的装置，峰值功率可以达到太瓦到几十太瓦级。既可以直接使用，又可以用来为微波管提供脉冲电流。

这种装置的主要工作原理是：利用炸药爆炸快速压缩磁场，将炸药中的大量能量传递给磁场。这种装置的结构类型很多，如圆筒形、圆锥形、平板形、条状形、螺旋形、球形等，其中圆柱形和螺旋形更适宜于战斗部的设计。下面以螺旋形磁通压缩器为例介绍其结构

及工作过程。

如图 10 – 32 所示,磁通压缩器主要由电枢管、启动线圈和高能炸药组成。电枢管是一个铜质筒形管,内部装填高能炸药。圆筒外面环绕重金属(如铜)线圈,构成磁通压缩器的启动线圈,启动线圈和圆筒之间留有一定的空隙,两端放置绝缘块使电枢管和启动线圈之间绝缘。为了防止磁通压缩器在强大的爆炸载荷和磁力作用下提前解体,整个装置外面套有坚固的非导磁材料壳体,材料可以选用混凝土、玻璃纤维、环氧树脂复合材料等。

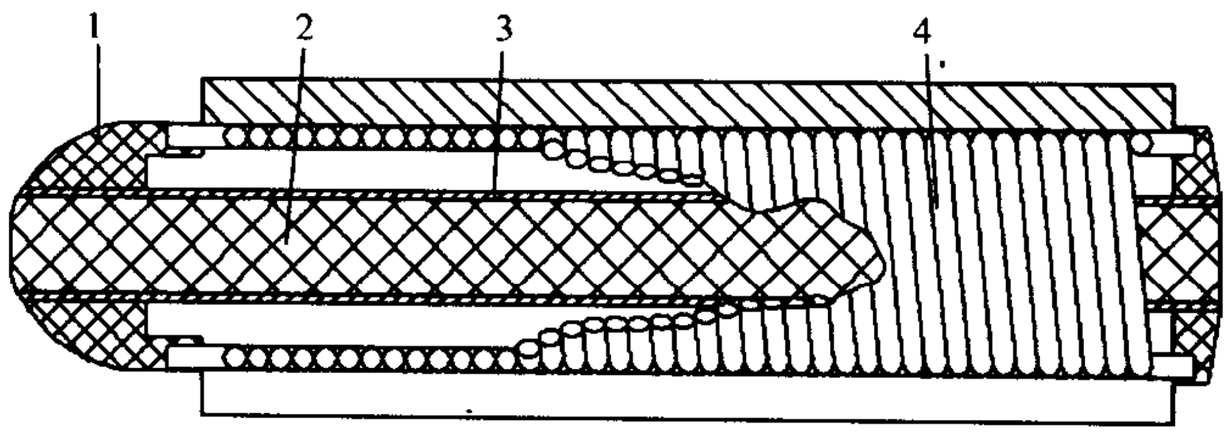


图 10 – 32 磁通压缩器原理示意图

1—绝缘体; 2—高能炸药; 3—电枢管; 4—启动线圈。

有一外部电源(例如电容器组)和启动线圈相连。炸药爆炸前,该电源为 FCG 的启动线圈提供启动电流,在 FCG 内部形成一个初始的磁场。当启动电流达到峰值时,通过平面波发生器起爆炸药,爆炸阵面在电枢管内的炸药中传播,使电枢管变形成为一锥形(锥角一般为 12° ~ 14°),当向外膨胀到和启动线圈相接触时,在启动线圈两端之间构成短路,切断启动器电源的供电,短路向前推移具有压缩磁场的效应,同时使启动线圈的电感减小,作用过程如图 10 – 33 所示。由于磁场压缩,形成斜坡形电流脉冲,整个装置解体之前电流脉冲达到峰值。有关文献报道,脉冲电流的周期为几十到几百微秒,峰值电流可达数十兆安培,峰值能量可达数十兆焦耳,具体数值与装置的特性有关。

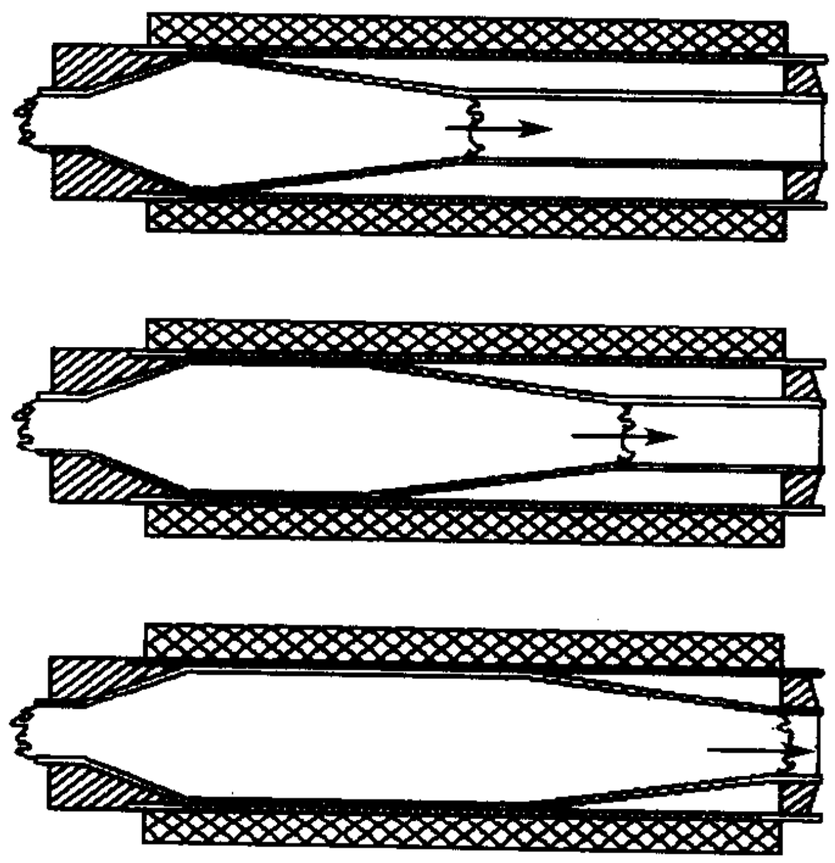


图 10 – 33 FCG 作用过程示意图

FCG 装置的电流放大倍数(输出电流和输入电流之比)可以根据设计变化,目前已得到实验验证的最大值为 60。在弹药应用中,由于受空间和质量的限制,希望输入的电流

越小越好,所以就开发了多级的 FCG 串联形式,用一个小的 FCG 为一个大的 FCG 提供初始电流。

10.8.1.2　高功率微波发生器

FCG 能够有效地产生强的电磁脉冲,但是由于其基本原理的约束,其输出频率低于 1MHz,以这样的频率即使很高的功率攻击很多目标也是很难以毁伤的;另一方面,利用 FCG 装置很难使能量集中输出。高功率微波装置能够解决上述两个问题,因为它的输出功率可以大大地聚集,能够很好地将能量耦合到很多目标中去。所以高功率微波炸弹是将 FCG 和高功率微波发生器结合起来使用。

产生高功率微波的原理很多,如相对论调速管、磁控管、慢波振荡器、反复式三极管、火花隙装置、虚拟阴极振荡器等。近期内可用于战斗部设计的有虚拟阴极振荡器和火花隙装置,最佳的选择是虚拟阴极振荡器,因为它能够产生很强的单脉冲辐射,并且结构简单、体积小、可靠性好,产生微波频率的范围宽。

虚拟阴极振荡器的工作原理是:向网状的阳极发射强的电子束流,大量电子穿过阳极,在阳极的后面形成一个带电的穴泡,在适当的条件下,带电的空间区域将以微波频率振荡,如果将此带电区域放进一个共鸣管中,可以获得较高的峰值,如图 10 - 34 所示。

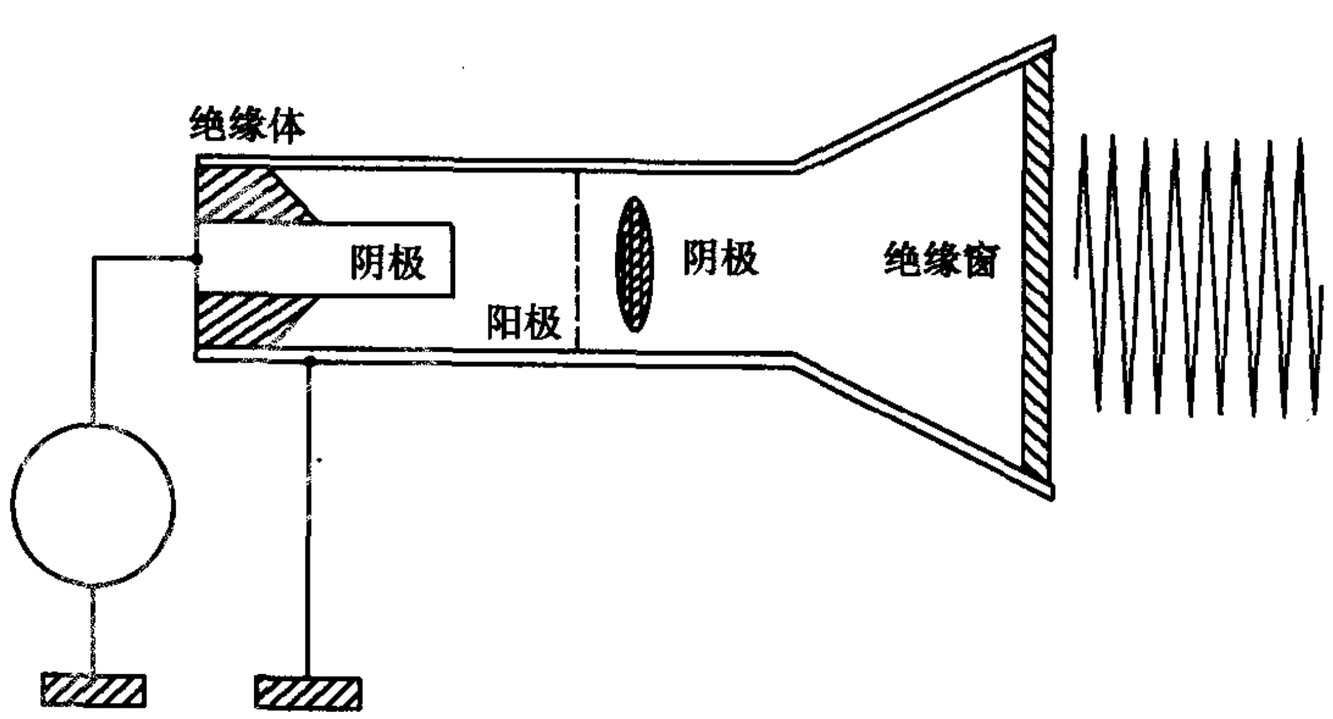


图 10 - 34　虚拟阴极振荡器

虚拟阴极振荡器有轴向的和横向的。轴向虚拟振荡器实验中输出功率最高,常常作成柱形波导管。

10.8.1.3　发射天线

发射天线的作用是将微波发生器所产生的微波以一定的频率和方向发射出去。

10.8.2　电磁脉冲炸弹

电磁脉冲炸弹和高功率微波炸弹的原理、功能相近,主要区别是能量波长,微波炸弹的周期短,含能级别高;电磁脉冲炸弹发射的不是微波脉冲,而是一种混频单脉冲,频率低,因此不需要微波发生器,只需要一个脉冲调制电路,将 FCG 输出的脉冲锐化压缩后直接发射。这样可以避免解决微波发生器中的许多难题,同时可使电磁脉冲炸弹的整体装

置体积小质量轻,更适合常规武器发射和运载。如图 10 – 35 所示为电磁脉冲炸弹的布局图,使用了两级的 FCG。

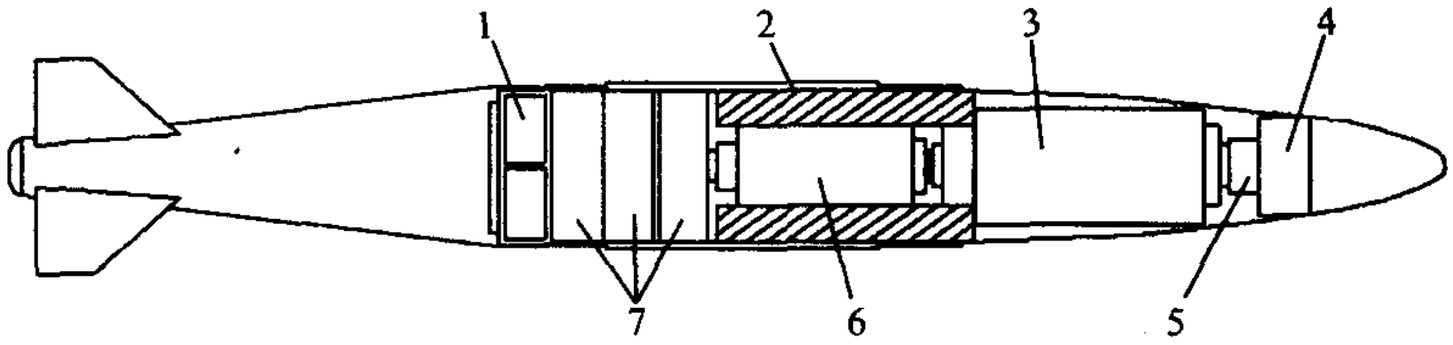


图 10 – 35 电磁脉冲炸弹布局示意图

1—电池; 2—质量平衡环; 3—第二级 FCG; 4—脉冲调制器; 5—爆炸开关;
6—第一级 FCG; 7—电容组件。

10.8.3 高功率微波炸弹和电磁脉冲炸弹的毁伤能力

微波辐射和电磁脉冲对目标的毁伤作用主要有电效应、热效应和生物效应 3 种形式。

① 干扰和烧毁武器系统中的电子设备——干扰和烧毁武器系统中的电子设备是高功率微波战斗部和电磁脉冲炸弹的主要目的。当能量密度为$0.01\mu W/cm^2 \sim 1\mu W/cm^2$时,可使工作在相应波段上的雷达和通信设备受干扰而不能正常工作;当能量密度为$0.01mW/cm^2 \sim 1mW/cm^2$时,可使雷达、通信、导航等设备的微波器件性能降低或失效,尤其是小型计算机的芯片更容易被烧毁;当能量密度为 $10W/cm^2 \sim 100W/cm^2$ 时,可使工作在任何波段的电子元器件完全失效。

② 杀伤人员——对人员的杀伤主要是生物效应和热效应。生物效应是由较弱的微波能量照射后引起的,它能使人员神经混乱、行为错误、烦躁、致盲或心肺功能衰竭等,实验证明,当飞机驾驶员受到能量密度为 $3mW/cm^2 \sim 10mW/cm^2$ 的微波束照射时,就不能正常工作,甚至可能造成飞机失事。热效应是由强微波能量照射后引起的,当微波能量密度为 $0.5W/cm^2$ 时,可造成人员皮肤轻度烧伤,当微波能量密度为 $20W/cm^2 \sim 80W/cm^2$ 时,照射 1s 后可造成人员死亡。

10.9 制导炸弹

制导炸弹大都是在制式炸弹上安装制导导引头等组件构成的炸弹,其结构简单,命中精度高。目前主要有以下 4 类制导炸弹:激光制导炸弹、电视制导炸弹、红外制导炸弹和“罗兰”制导炸弹。制导炸弹的关键技术是导引头技术,不同制导原理之间差异相当大。一般制导系统的导引信号是由对目标或环境敏感的元件来获得目标信息和特征的。

10.9.1 激光制导炸弹

激光制导炸弹是利用地面或飞机上的激光照射器照射目标,当炸弹投放后,炸弹上的激光导引头接收目标反射的激光束,转换为电信号后输入控制舱的计算机,计算出炸弹在飞行中与目标的方向偏差,控制舱控制舵机作出相应偏转,使炸弹飞向照射的目标。

10.9.1.1　激光制导的分类

激光制导可分为半主动式激光制导、驾束式激光制导和主动式激光制导。

(1) 半主动式激光制导

这种制导方式是制导炸弹本身不带激光照射器，只装激光能量接收装置，激光光源来自外部，可以设置在地面，也可设置在飞机上。装在炸弹上的激光导引头能够探测和接收到地面或飞机上照射到目标后反射的激光能量，并能对目标进行跟踪，从而将炸弹导向目标。目前这种激光制导方式应用最普遍。美国在海湾战争中使用的激光制导炸弹多属于这一类。

(2) 驾束式激光制导

这种制导方式是飞机瞄准目标后，投放激光制导炸弹。飞机上的激光束同时照射目标和炸弹尾部装置的十字形阵列光探测器，一旦炸弹偏离激光波束，则弹尾部的探测器便能敏感地感知，通过弹上的计算机计算出偏差，然后向执行机构发出修正指令，这样激光束构成了炸弹跟踪的弹道，将炸弹导向目标。

(3) 主动式激光制导

这种制导方式是将激光目标照射器与激光能量接收装置同时装在制导炸弹上，目前在技术上还未得到实现。

10.9.1.2　激光制导炸弹的组成

激光制导炸弹主要由导引头、控制舱、舵机、战斗部、弹翼和引信等构成，布局如图 10－36 所示。

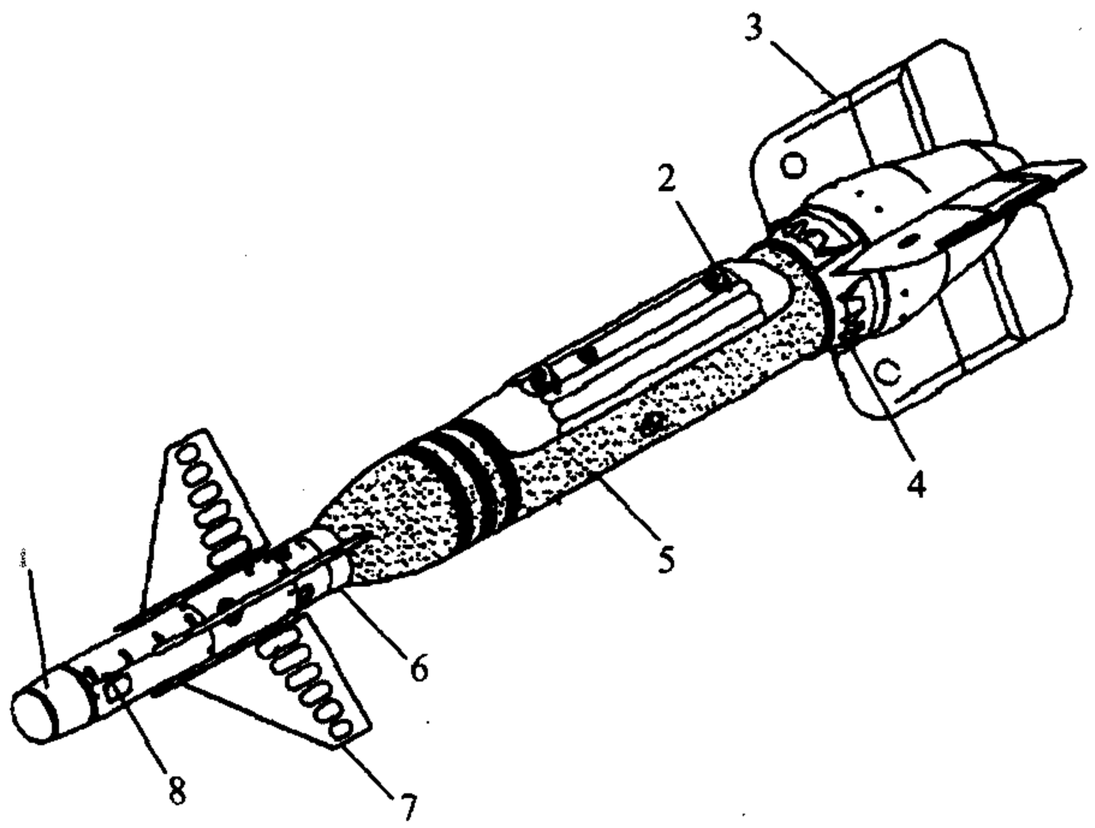


图 10－36　激光制导炸弹的组成

1—导引头；2—吊耳；3—安定器；4—引信；5—战斗部；6—结合部；7—控制翼；8—控制舱。

(1) 导引头

导引头是装在炸弹前端的激光寻的器，实际上是一个激光接收机。根据接收到的目标反射的激光信号可显示炸弹的飞行误差，误差信息经计算机处理后，变成控制信号，传输给执行机构控制舱。

(2) 控制舱

控制舱是制导炸弹的执行机构,由计算机、控制部件、随动系统和电源组成。制导炸弹投放后先是按无控弹道飞行,当炸弹距离目标 2000m 左右时,控制舱的燃气发生器点火,舵机开始工作,航弹才能进入可控飞行阶段,由导引头传输过来的误差信息,经计算机处理后,由控制舱的控制部件、随动系统控制舵机,使炸弹追踪目标。

(3) 舵机

激光制导炸弹的舵机是燃气舵机,它由电磁阀、点火器、汽缸、阻尼器、舵轴、调压阀和加温装置等构成。

电磁阀主要控制对应的汽缸压力差,产生转动舵面偏转的力矩;燃器发生器由缓燃药柱构成,药柱燃气工作时间一般要大于 25s。这种高压燃气压力约为 7.0×10^5Pa,它是舵机转动的驱动力;调压阀使燃气发生器的燃气压力保持额定值;阻尼器用于阻止舵面可能出现的振动;点火器用来点燃缓燃药柱;加温装置是为药柱加温,使其正常燃烧。

(4) 战斗部

激光制导炸弹的战斗部与普通炸弹相同,由结合部、弹头、弹身、弹尾、尾翼、吊耳等构成。结合部是将控制舱与弹头连接的部件。

(5) 引信

激光制导炸弹一般采用头、尾部两个引信,通常头部配用电引信,尾部配置机械引信。

激光制导炸弹的优点是命中精度高;缺点是易受雨、雾、烟幕和灰尘影响。

10.9.2 “杰达姆”精确制导炸弹

“杰达姆”是 JDAM (Joint Direct Attack Munitions 联合直接攻击弹药)的音译,是美国空、海军联合研制的全天候精确制导炸弹系列,在 20 世纪末、本世纪初的几场局部战争中出尽了风头,可谓武器中的“明星”。在阿富汗进行的“持久自由”行动中,美军共投放了 7000 多枚“杰达姆”,占美军使用的精确制导武器的 25%。在伊拉克的战场上,美军使用“杰达姆”的数量达 6529 枚,占美英联军在战场上使用的精确制导弹药的 1/3 多。

迄今,“杰达姆”系列共有 6 个成员,它们的编号是 GBU - 29、GBU - 30、GBU - 31、GBU - 32、GBU - 35 和 GBU - 38,都是利用在普通炸弹上加上制导组件改装而成,这些常规炸弹包括:2000 磅级的 MK - 84 低阻爆破炸弹和 BLU - 109/B 穿甲炸弹、1000 磅级的 MK - 83 低阻爆破炸弹和 BLU - 110 穿甲炸弹、500 磅级的 MK - 82 和 250 磅级的 MK - 81 低阻爆破炸弹等。因此,“杰达姆”的类型若按圆径划分,有 2000 磅、1000 磅、500 磅、250 磅等 4 个级别;若按弹药种类划分,有通用爆破型和专用侵彻型等两型。

10.9.2.1 性能及结构数据

“杰达姆”制导炸弹由于采用了自主式的全球定位/惯性导航组合制导,因而具有昼夜、全天候、防区外、投放后不用管、多目标攻击能力。这是“杰达姆”制导炸弹区别于第三代激光制导炸弹的显著特点。

“杰达姆”除可由作战飞机从低、中、高空实施水平轰炸外,还可实施俯冲和上仰轰炸,既可实施定轴轰炸,又可实施离轴轰炸;既可同时攻击单个目标的不同部位,又可同时攻击多个目标;既可攻击预先计划的固定目标,又可攻击载飞过程中发现的新目标。现有型

号“杰达姆”制导炸弹在高空投弹时的最大射程为 28km,改进型的最大射程将增加到 75km ~ 110km,命中目标精度(CEP)设计值为 13m。

主要结构数据如表 10 - 2 所列。

表 10 - 2　JDAM 炸弹系列主要结构数据

	GBU - 29	GBU - 30	GBU - 31	GBU - 32	GBU - 35	GBU - 38
弹长/m	1.88	2.21	3.276	3.04	3.04	
弹径/mm	228	273	460	357		
全弹重/kg	113.6	241	936	460/466(海)	467	225
战斗部重/kg		89		202		

10.9.2.2　结构特点

结构上同第一、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装置而成的。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,并在弹体上加装稳定弹翼。

(1) 制导控制尾翼装置

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 3 部分。为防止电磁干扰和起保护作用,各集成电路装在圆锥体内,外部装上锥形保护罩。

① GPS 接收机——2 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、遮挡或无法跟踪卫星时,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的目标。

(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。

10.9.2.3 作用过程

飞机挂载 JDAM 炸弹后,沿预定航线飞行。到达预定航路点时,通过机载军械总线接口和炸弹上的投射电缆,将机载 28V 直流电加到 JDAM 炸弹上,提供投弹前的空中准备和瞄准计算以及投弹操作所需的电源。接通电源之后,JDAM 炸弹处于预热状态,再次进行自检测,然后通过机载悬挂物管理系统,将预先计划的任务数据传输给 JDAM 炸弹尾部制导控制部件的任务计算机。

由于 B-2A 轰炸机采用武器舱内挂方式,在投射之前 JDAM 炸弹不可能跟踪卫星,因此必须在装弹时将所需要的几类关键任务数据加载在炸弹上,以保证炸弹从飞机武器舱内投射之后,弹载 GPS 接收机能快速截获由机载 GPS 接收机跟踪的 4 颗卫星。在飞机的飞行中,飞行员还可以根据战场形势变化重新选定攻击目标。

当飞机飞到预定的投弹准备距离时,机身下的武器舱门打开,投射架处于弹射投放准备状态;当飞机飞到发射位置时,将开始投射 JDAM 炸弹。炸弹与飞机安全分离后,一旦弹载 GPS 接收机截获到机载 GPS 接收机所跟踪的 4 颗选定卫星,炸弹便进入自主攻击预定目标阶段,各自沿预定弹道飞向各自目标或同一目标的不同部位。

10.10 航空炸弹的发展趋势

航空炸弹尤其是制导炸弹在几次局部战争中的出色表现,使得各国都非常重视航空炸弹的发展,新原理、新技术的炸弹不断出现,原有炸弹的功能不断地完善,发展呈现如下趋势。

① 提高航弹射程,强调防区外攻击——为了提高航弹的射程,实现对纵深目标的有效打击,通过加装火箭发动机或涡轮发动机等动力装置可使航弹的射程大幅度地提高。例如,美国的增程型 AGM-130 型制导航弹,装有 BFR-830 战斗部,采用了一台 PB300 涡轮风扇发动机,在 610m 高度投放时射程最远达 230km。

采用滑翔技术。波音公司已经开始研制的增程型"杰达姆"是在现有基础上增加一个弹翼部件,通过滑翔飞行使最大射程增加到 110km 以上。

② 提高航弹命中精度,实现对点目标的精确打击——在发展远程弹药的同时,还需要具有极高的精度,这就需要发展相应的制导技术。尽管激光制导炸弹在战场上显示出卓越的功能,但这种制导方式易受气候和战场环境条件的影响,从而不能全天候作战。因此,开发新的制导技术,使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。

光电制导炸弹是利用装在弹体前端的电视寻的器和红外成像寻的器探测目标。电视寻的器主要用于白天攻击,红外成像寻的器适宜于不良气候条件下和夜间攻击,通过数据链路将图像传到载机驾驶舱,然后由飞行员锁定目标,使炸弹攻击指定的目标。

利用末端敏感技术提高航弹命中精度。在海湾战争中,虽然美国空军利用机载精确制导弹药在打击指挥中心、掩体和桥梁等高价值目标的过程中立下了不可磨灭的功劳,但在反坦克和装甲目标中却暴露出缺陷,为此着手研制传感器引爆弹药。其中最具有代表

性的就是“斯基特”子弹药，它既可以作为子弹药布撒，也可以作为战斗部单独使用。其特点是将双色红外传感器、逻辑识别、微电子电路和爆炸成型弹丸战斗部技术综合到一起，构成一种可摧毁坦克的灵巧弹药。作战使用时，首先由飞机将布撒器抛出，然后在目标区上空抛撒出子弹药，随后子弹药利用弹簧将“斯基特”战斗部再抛出。每个“斯基特”战斗部离开子弹药后便展开降落伞，以一定的速度旋转，并利用红外传感器搜索地面坦克和装甲车辆等目标，当目标被确认后起爆成型弹丸战斗部，此战斗部爆炸时可形成一枚 2700m/s 速度飞行的弹丸，对目标顶部装甲实施攻击。若该战斗部在下降过程中红外传感器未发现目标，那么可在固定的较低的高度自毁，从而可在较大的区域内形成杀伤人员和破坏器材的作用。

利用惯性导航和全球定位系统与末制导技术相结合提高航弹命中精度。前面已介绍的 JDAM 的性能特点，现在美国正在开发新一代 JDAM 炸弹，将在第一代 JDAM 炸弹的基础上加装末制导导引头进一步提高命中精度，可能采用的技术有以下几种：合成孔径雷达、毫米波主动雷达、激光雷达、主动毫米波/激光雷达、电子光学导引头、双模寻的头，从而使其圆概率误差为 3.05m。JSOW 的后继产品也将采用精确的末制导导引头。

除了进一步提高对点目标的打击精度外，已开始研究提高对移动目标的精确打击能力，打击运动目标。“杰达姆”目前还不能攻击移动的地面目标，成为其使用中的缺憾。美国防部高级研究计划局开始实施“低成本地面运动目标交战”研制计划，2002 年，该计划首次演示了同时用多枚改进型“杰达姆”对地面运动目标进行精确打击。9 月 30 日，在加利福尼亚洲中国湖海军空战中心武器部的试验场，一架 F－14 战斗机从 7000m 高度，约 6mile 距离，向行驶速度为 29km/h 的 2 个不同目标进行攻击。

③ 提高对坚硬目标的侵彻和毁伤能力——为了防止空中打击，很多重要的目标，如现代指挥中心、掩体等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，而且增加了很厚的钢筋混凝土结构保护层，从而使一般的炸弹无法将其摧毁，因此发展对硬目标的具有强侵彻能力的炸弹是航空弹药的一个重要发展方向。提高对坚硬目标的技术措施主要有：

- 使用新材料、新结构提高弹体强度；
- 利用串联战斗部技术提高侵彻深度；
- 利用火箭助推提高侵彻深度；
- 开发抗高过载的引信。

④ 探索开发新原理航弹技术——弹药和目标永远是一对矛盾，它们在对抗中发展，随着战场上新目标的出现，必将出现对付此类目标的弹药。海湾战争中使用的用于摧毁电力系统的碳纤维战斗部、阿富汗战场中出现的对付地下掩体的温压弹、伊拉克战争中使用的对付电子设备的电磁炸弹，完全说明了这一点。因此，应根据未来战场目标特点，不断探索开发新原理的航弹技术。

第 11 章　枪榴弹和榴弹发射器用弹药

枪榴弹和榴弹发射器用弹药均是现代步兵携带使用的一种近距离弹药，主要用于杀伤有生力量、无装甲和轻型装甲车辆、永久火力点等野战工事。不仅可对敌实施点杀伤，还可对敌实施面杀伤，必要时又可执行特种作战任务。枪榴弹的装备使用填补了手榴弹和迫击炮弹之间的火力空白，大大提高了步兵在现代战场的防御和进攻能力。

11.1　枪 榴 弹

枪榴弹起源于 20 世纪初，当时利用手榴弹加尾杆，直接插入枪口，用空包弹发射，后来发展了在枪口安装发射筒发射的专用枪榴弹。20 世纪 50 年代后，枪榴弹不断得到改进，能以枪口兼作发射具，弹上带瞄准具，弹体尾管内装有弹头收集器，使用实弹就可发射。60 年代初，随着装甲目标的发展，各种破甲枪榴弹以及杀伤、照明、烟幕、信号和对付直升飞机进行射击的弹药也相继出现。70 年代初，枪榴弹在结构、发射方式、使用材料等各方面都有了重大改进。尤其是战斗部结构的改进、引信的更新、火箭增程技术以及新材料与非金属材料在枪弹上的应用，更使枪榴弹在提高威力、扩大用途、增大射程、简化操作和降低成本等诸多方面都有了显著提高。

枪榴弹是用枪和枪弹或空包弹发射的一种超口径弹药，初速是靠枪内火药气体的作用和子弹的动能得到的，主要用于对付有生目标、装甲目标和非装甲目标等。枪榴弹在结构上与尾翼稳定式炮弹基本相似，所不同的是多了一个用于发射的尾管装置，尾管内装有缓冲器和子弹收集器，如图 11 - 1 所示。射击前将枪榴弹套在枪管上，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。

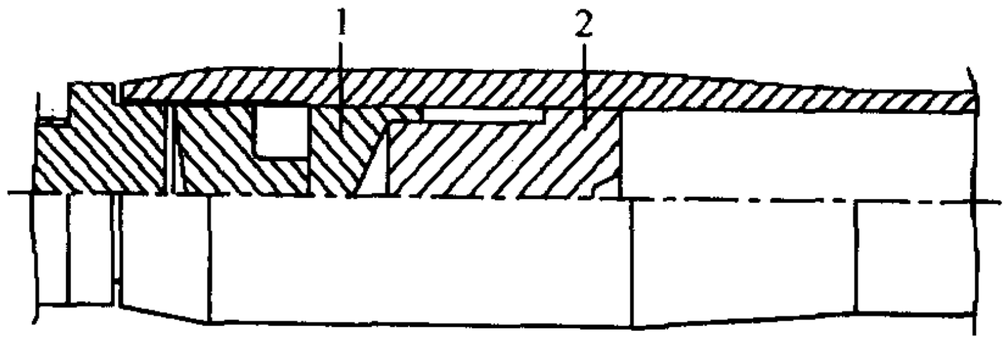


图 11 - 1　子弹收集器

1—缓冲器；2—子弹收集器。

枪榴弹的类型很多，按用途可分为杀伤枪榴弹、反坦克枪榴弹、杀伤破甲枪榴弹、燃烧枪榴弹、发烟枪榴弹、照明枪榴弹、防暴枪榴弹等；按枪榴弹与发射装置匹配的不同，它又可分为尾管式枪榴弹、尾杆式枪榴弹、全人式枪榴弹、环翼式枪榴弹、弹筒合一式枪榴弹；按获得速度的方法分为普通枪榴弹和火箭增程枪榴弹。

现代枪榴弹的主要特点是：

① 体积小、质量小。有利于携行使用，提高射程，减小后坐力。杀伤枪榴弹一般弹径为 35mm ~ 65mm，弹质量为 200g ~ 600g；反坦克枪榴弹一般弹径为 40mm ~ 75mm，弹质量 500g ~ 700g。

② 外插式发射。绝大多数枪榴弹都采用这种外插式发射方式，弹体是外露的，因此弹径可根据战术需要和弹质量、威力要求而定。

③ 杀伤枪榴弹弹体多采用球形或柱形预制破片结构，配瞬发引信或跳炸引信；反坦克枪榴弹多为铝制壳体，空心装药，配机械引信或压电瞬发引信。

④ 操作简便。由于枪榴弹是用步枪和冲锋枪发射，而不需要另外的发射装置，并且弹上装有简易的瞄准具，所以使用简单方便。在步兵内配备步枪和冲锋枪的战士都可携带 4 发 ~ 6 发枪榴弹，步枪手人人可用，可随时利用战机，充分发挥武器的最大战斗效能。

⑤ 结构简单、造价低廉，标准化、通用化程度高。当前世界各国(个别国家除外)生产的枪榴弹，绝大多数尾管内径都为 22mm，尾管孔深为 120mm 左右。这为作战和后勤供应、生产配套等带来极大便利。

目前世界上许多国家都装备使用了枪榴弹。美国自 20 世纪 50 年代装备使用 M31 式 66mm 破甲枪榴弹之后，再没有发展新型枪榴弹，取而代之的是枪挂 M203 式榴弹发射器；苏联未发展和使用枪榴弹，但装备了类似美国 M203 式的枪挂式 GP - 25 式 40mm 榴弹发射器；西欧一些国家是发展和装备使用枪榴弹最多最广的国家，其中以比利时、法国最为突出，现装备使用的主要是 40mm 枪榴弹系列。各国枪榴弹的主要性能数据见表 11 - 1所列。

表 11 - 1　各国枪榴弹性能数据

国　别	比利时	比利时	法　国	法　国	以色列	奥地利	巴　西
型号名称	FN 伸缩式	M260 式	吕歇尔反坦克	吕歇尔火箭增程	MA/AT52 式	T - 74 式	M2 - CEV 式
弹径/mm	37	40	40	58	50	57	40
全弹长/mm	290(尾管伸出) 190(尾管缩回)	330	383	450	380	210	323
全弹质量/g	295	390	412	980	450	480	550
初速/($m \cdot s^{-1}$)	65 ~ 85	65	68	50 ~ 120			70
直射距离/m		50 ~ 200	100				
最大射程/m	300 ~ 400	300 ~ 400	360	1000	275 ~ 380	200	380
引信类型	触发		触发	触发	弹底引信		触发
装药量/g	约 55		92				85
有效杀伤半径/m	10	6		15		5	
破甲厚度/mm		160	200	60	150		50
发射用弹	7.62mm 或 5.56mm 普通枪弹	普通枪弹	普通枪弹	普通枪弹	5.56mm 各种枪弹	空包弹	空包弹

11.1.1 杀伤枪榴弹

杀伤枪榴弹是靠弹丸爆炸后形成的破片和冲击波毁伤目标的，主要用来对付敌有生目标、无装甲车辆和武器装备，也可对付轻型装甲车辆。枪榴弹在发射时加速度较小，所以战斗部过载小，为了增大战斗部威力，常采用预控和预制破片技术。配用瞬发或着发延期引信，可装在弹头或者弹底部。下面分析几种杀伤枪榴弹的结构。

11.1.1.1 35mm 杀伤枪榴弹

35mm 杀伤枪榴弹结构如图 11－2 所示，主要由战斗部、子弹收集器和稳定装置组成。战斗部直径 35mm，头部装有高灵敏度的机械引信，底部和子弹收集器相连。为防止破片形成时沿轴向的尺寸过大，战斗部内表面车有环形槽，对破片大小进行控制；同时，为了增加破片数量，底部放置一些直径为 3mm 的钢珠。战斗部内部铸装 B 炸药，中间有扩爆管，内装扩爆药柱。扩爆管由泡沫塑料衬垫和尼龙塞支撑。

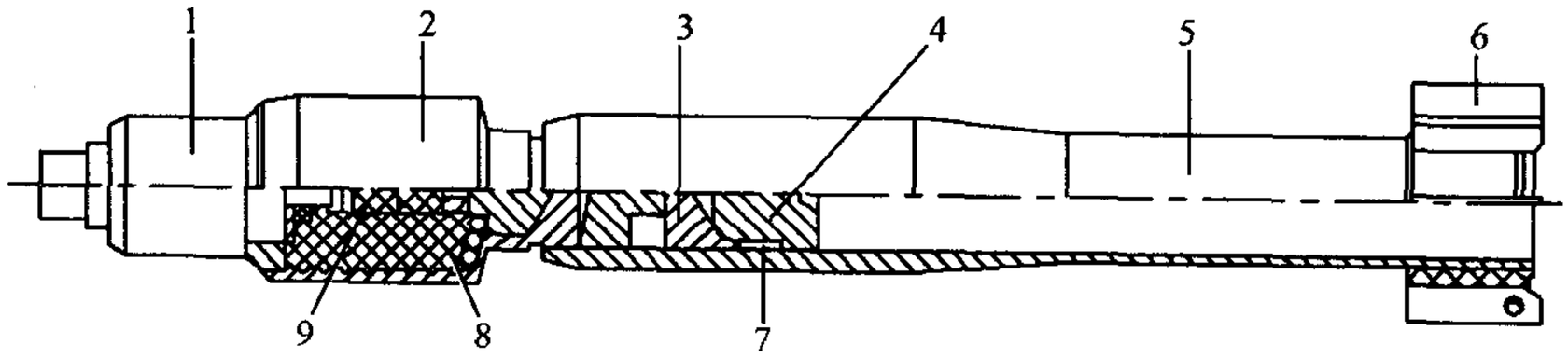


图 11－2 35mm 杀伤枪榴弹

1—引信；2—弹体；3—缓冲器；4—子弹收集器；5—尾管；6—尾翼；7—密封圈；8—炸药；9—扩爆管。

稳定装置由尾管和尾翼两部分组成。尾管的主要作用是固定子弹收集器和尾翼，发射时套在枪管上，起到导向作用；为了减小弹丸质量，增加弹丸的飞行稳定性，6 片尾翼用塑料制成，固定在尾管后部，飞行中起稳定作用。其中 2 片尾翼片上钻有直径为 3.5mm 的小孔，用来安放瞄准用标尺。

尾管内装有子弹收集装置，由收集器、橡胶密封圈和缓冲器等 3 个零部件组成。收集器由铝合金制成，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初速。子弹的旋转能量通过收集器橡胶圈和缓冲器传递给尾管，使其低速旋转，从而改善射击精度。

作用过程：发射前取下引信的运输保险销，发射后弹丸飞离枪口 15m 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 枚破片，杀伤直径为 5m。

主要诸元：

全弹质量/g	385
全弹长/mm	约为 290
初速/($m \cdot s^{-1}$)	63 或 79
最大射程/m	300～400

11.1.1.2　高射反直升机杀伤枪榴弹

该枪榴弹全长 240mm，质量 335g。主要由战斗部、子弹收集器和稳定装置 3 部分组成，如图 11－3 所示。战斗部口径 35mm，壳体由钢制成，内壁车有环形槽，爆炸时形成半预制破片；内部装有炸药、火帽、延期药和雷管。稳定装置由尾管和尾翼两部分构成，塑料尾翼固定在尾管的后部。子弹收集器装在尾管之内。

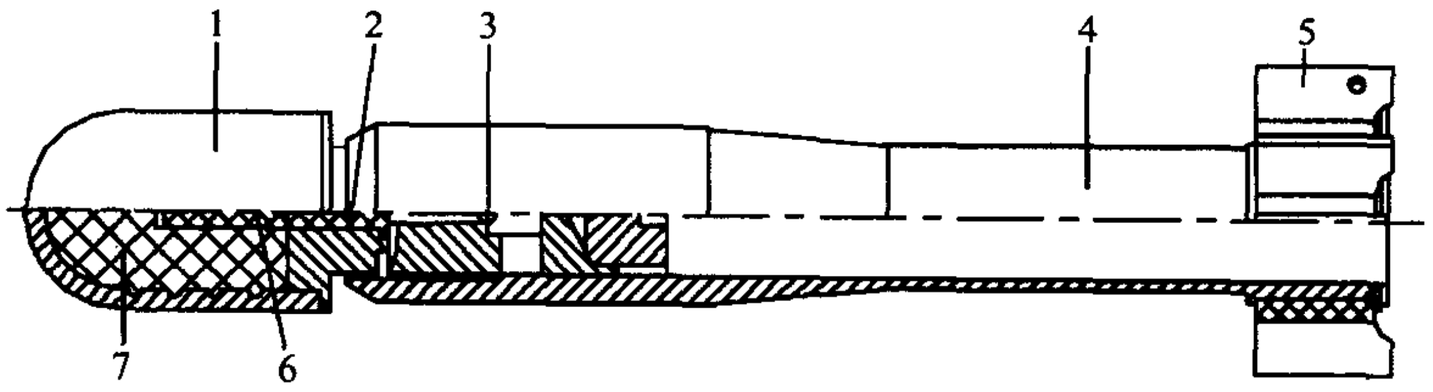


图 11－3　反直升机枪榴弹

1—弹体；2—延期药；3—冲击钢珠；4—尾管；5—尾翼；6—雷管；7—炸药。

该枪榴弹的一个主要特点是没有引信，在战斗部内装有一个特别的起爆系统，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子弹收集器，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 4s 后，火焰雷管起爆，炸药爆炸。由于冲击钢球的直径稍大于螺塞中间的孔径，在平时的运输和勤务处理时，不可能受到很大的冲击力或惯性力，钢珠不可能冲击火帽，所以是安全的。

由于该弹没有引信，所以可以用来对直升机射击，也可用于丛林战争，杀伤敌有生力量，而不会在碰击树枝时引起早炸。

11.1.2　40mm 多用途枪榴弹

40mm 多用途枪榴弹同时具有破甲、杀伤和燃烧等多种用途。该弹主要由战斗部、子弹收集器和稳定装置等 3 部分组成，聚能装药战斗部由弹底惯性着发引信 2、药型罩 1、成型装药 9、燃烧剂和传爆管等组成，如图 11－4 所示。

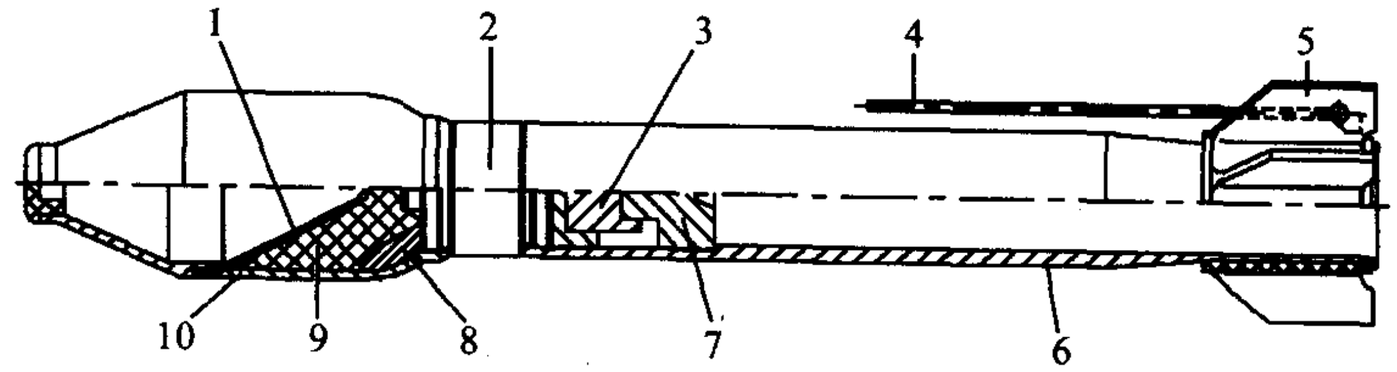


图 11－4　40mm 多用途枪榴弹

1—药型罩；2—引信；3—缓冲器；4—标尺；5—尾翼；
6—尾管；7—子弹收集器；8—锆环；9—成型装药；10—弹体。

在成型装药的底部压有金属锆环，炸药爆炸后形成锆破片，起纵火作用。弹体内壁刻有预控槽，其作用是控制壳体的破碎，形成有利的杀伤破片。

主要诸元：

弹径/mm　　40

弹长/mm	210
全弹重/g	<400
初速/(m·s^{-1})	65~75
最大射程/m	250~300
有效杀伤半径/m	10
破甲深度/mm	100
纵火距离/m	7
引信类型	碰炸、自毁

作用原理:枪榴弹套到枪管发射时,解脱引信保险装置,弹丸在枪弹动能和火药气体的共同作用下,获得一定初速,飞离枪口,稳定地飞向目标。在碰击目标瞬间,惯性着发引信作用,引爆装药,形成射流、破片对目标进行攻击,同时具有一定的纵火能力,可将7m范围内的汽油、干草以及其它可燃物点燃。

11.1.3 照明枪榴弹

该弹弹体为薄的铝管制成,内装吊伞1、照明剂2和抛射药3。弹体与尾管7用连接螺连接,中间装有火帽10、延期药4、点火黑药等。尾管后部装有尾翼8。尾管中间装有子弹收集器6和冲击钢珠5,如图11-5所示。

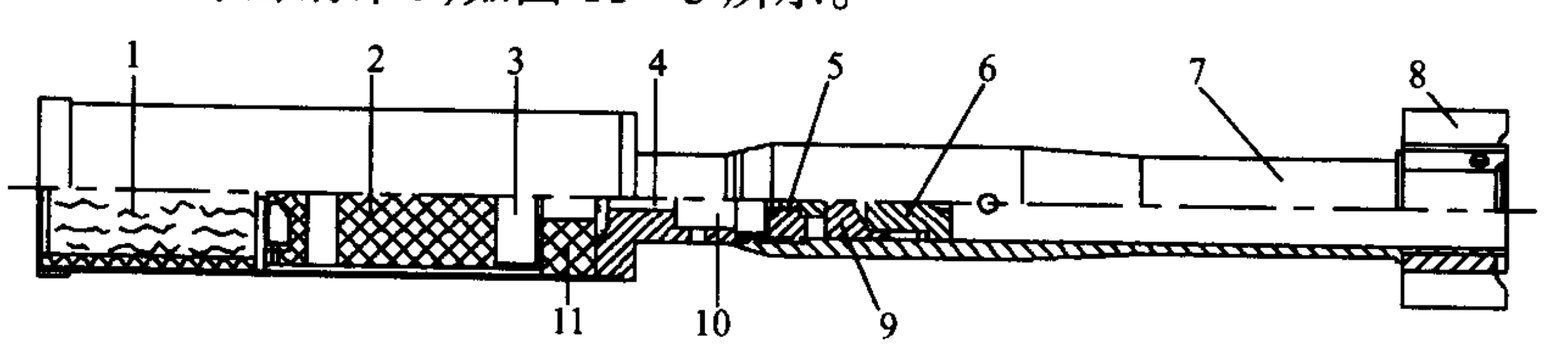


图11-5 照明枪榴弹

1—吊伞;2—照明剂;3—抛射药;4—延期药;5—冲击钢珠;6—子弹收集器;7—尾管;8—尾翼;9—缓冲器;10—火帽;11—引燃药。

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。

主要诸元:

使用范围(距发射点)/m	300
照明强度/cd	61140
照明时间/s	30~35
弹径/mm	40
全长/mm	370
质量/g	420

11.1.4 火箭增程杀伤枪榴弹

该弹由战斗部2、增程火箭发动机、子弹收集器7和稳定装置4部分组成,结构如图11-6所示。

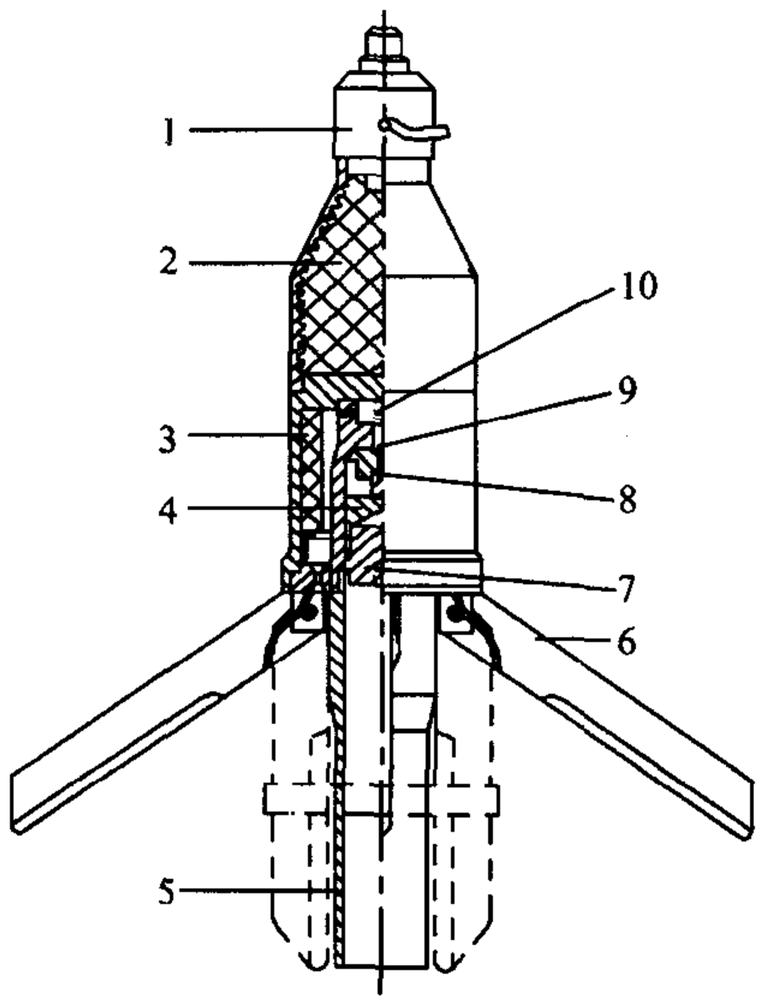


图 11－6　火箭增程杀伤枪榴弹

1—引信；2—战斗部；3—火箭药；4—缓冲器；5—尾管；6—尾翼；7—子弹收集器；8—冲击钢珠；9—火帽及延期体；10—点火药。

战斗部直径 55mm，头部装配机械触发引信，尾部和火箭发动机相连。战斗部采用钢壳体，内表面刻环形槽，控制爆炸时形成的破片大小。内部铸装 B 炸药。

增程发动机和战斗部直径相同，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，使喷管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。挡药板放在支撑环上，使燃气整流均匀后再流入喷管。

稳定装置为 4 片后张式超口径尾翼，平时用塑料环套住，靠在尾管上，射击前去掉塑料环，尾翼在弹簧力的作用下向前张开到位。

尾翼前部和发动机中间装有子弹收集器 7、冲击钢珠 8、火帽等。射击前将尾管套在枪管上，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。经一定时间后，延期药点燃火箭药，使火箭药燃烧，枪榴弹速度增加。碰击目标时引信作用，起爆炸药装药，形成破片，杀伤目标。

主要诸元：

口径/mm	55
质量/g	770
全长/mm	300
初速/($m \cdot s^{-1}$)	39
最大速度/($m \cdot s^{-1}$)	105
炸药/g	158
扇形靶密集杀伤半径/m	8

引信解除保险距离/m	25

11.2 榴弹发射器用弹药

榴弹发射器是一种以枪炮原理发射小型榴弹的武器,因其外形和结构酷似步枪或机枪,故人们常称之为“榴弹枪”或“榴弹机枪”。榴弹发射器有独立式和枪挂式两种;按发射方式,榴弹发射器分为单发和连发两种;按操持方式,榴弹发射器分为单人肩射和多人架射两种。在现代战争中,榴弹发射器的使用可提高步兵分队的独立作战能力,增大步兵杀伤火力密度及控制地带,赋予步兵与多种目标作战的手段。

小口径榴弹发射器的主要特点是:口径小(通常为 30mm ~ 40mm),重量轻,有单发和自动连发两种结构。可连发的自动榴弹发射器,通常配有三角架,可在地面使用,也可在直升机或装甲车上使用,发射速度可达 300 发/min ~ 400 发/min。可直接瞄准或间接瞄准,最大射角可达 70°,最大射程通常为 1000m ~ 2200m,配用的弹丸有榴弹、破甲弹、照明弹等。

11.2.1 榴弹

榴弹发射器用榴弹也是靠弹丸爆炸后形成的破片和冲击波毁伤目标的,其主要特点是口径小,重量轻,膛压低,战斗部通常为全预制或半预制破片,扇形靶密集杀伤半径大约为 5m ~ 15m,杀伤威力比重机枪大得多,与手榴弹相当。主要用于杀伤敌有生力量、武器装备和各种无装甲车辆及轻型装甲车辆。另外由于射角大(可达 70°),所以能从遮蔽的发射阵地上间接瞄准射击,摧毁遮蔽物后面和反斜坡上的有生目标。

11.2.1.1 美 M684 杀伤弹

该弹口径 40mm,配用无线电近炸引信,为空炸杀伤榴弹。用 M75 和 M129 榴弹发射器发射。用弹链供弹,每条弹链装弹 50 发。其结构如图 11 - 7 所示。

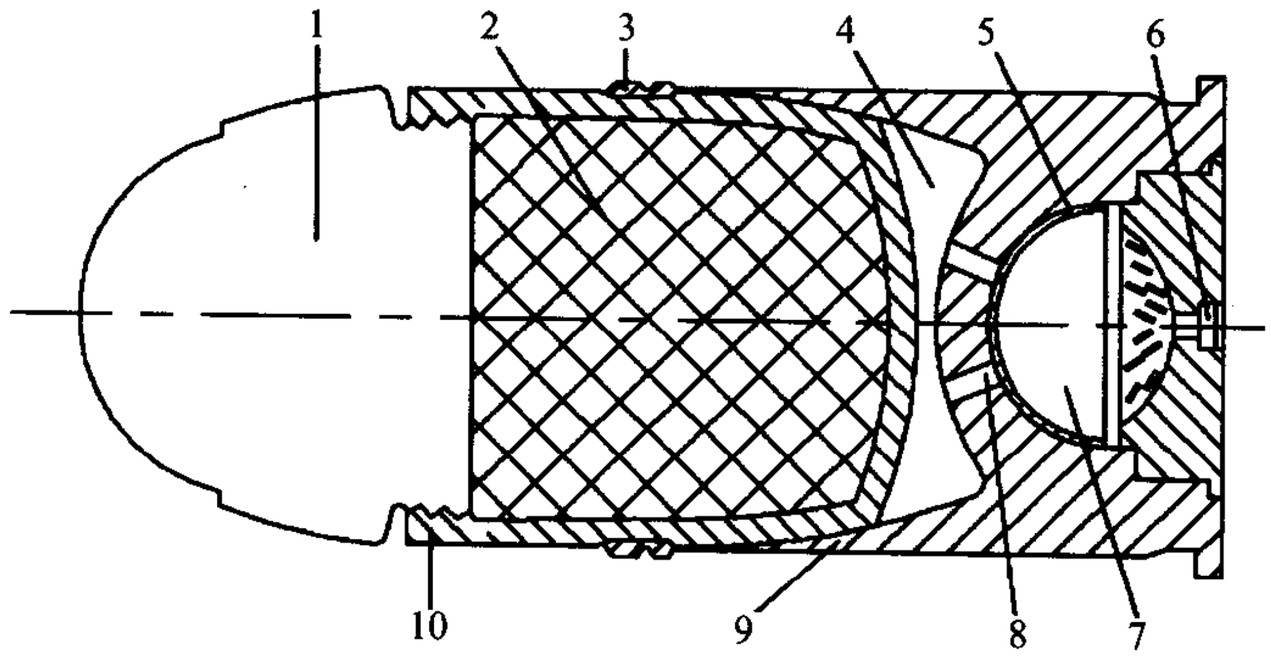


图 11 - 7 M684 杀伤弹

1—引信;2—炸药;3—弹带;4—低压室;5—密封盖箔;6—底火;7—高压室;8—传火孔;9—药筒;10—弹体。

该弹为钢弹体,压有紫铜弹带,内装 A5 混合炸药(主要成分为黑索今)。弹丸前端为无线电近炸引信,它含有线路、液体电源、电雷管、机械安全保险机构和一个独立的碰炸机构。弹丸压配合在铝制药筒内,药筒为高低压药室结构,发射药放在高压室内,高压药室的前部放有铜制密封盖箔,高压室后部为带有底火的密封螺塞。

主要诸元:

口径/mm	40
质量(含药筒)/g	335
长度(含药筒)/mm	112
初速/($m \cdot s^{-1}$)	244
最大射程/m	2200

作用过程:发射时,榴弹发射器击针击发底火,点燃高压室内的火药,火药气体压力达到一定值时,火药气体冲破小孔处密封盖箔,进入低压室,使弹丸向前运动。与此同时,弹带嵌入膛线,使弹丸旋转,保证弹丸稳定飞行,出炮口获得 244m/s 的初速,弹丸飞离炮口 18m ~ 36m 时,引信解除保险,离炮口 125m 时电路保险解除。当弹丸接近目标时,引信发射的电磁波由目标返回,经检测后使点火电路接通,电雷管起爆,弹丸离地面一定高度爆炸。爆炸高度随目标反射无线电电波的能力和接近时的角度而变化。当电路系统产生故障而未能起作用时,引信碰击目标或地面,则引信的触发机构起作用,使弹丸起爆。

11.2.1.2　苏 30mm 杀伤弹

该弹用于苏制 30mm AGS17 榴弹发射器,结构如图 11 - 8 所示,弹体和药筒都是用钢制成。弹体内装有截面为六角形的弹簧,弹簧的外表面刻有轴向预制槽,爆炸时形成质量为 0.2g ~ 0.3g 的破片。弹丸内装有 A - Ⅸ - Ⅰ(钝化黑索今)炸药。该弹配用的引信是带有时间药盘自炸机构的触发引信。引信底部的传爆管插入弹体炸药的中间孔内,用来起爆炸药。因该引信带有药盘自炸机构,所以可对直升机射击。

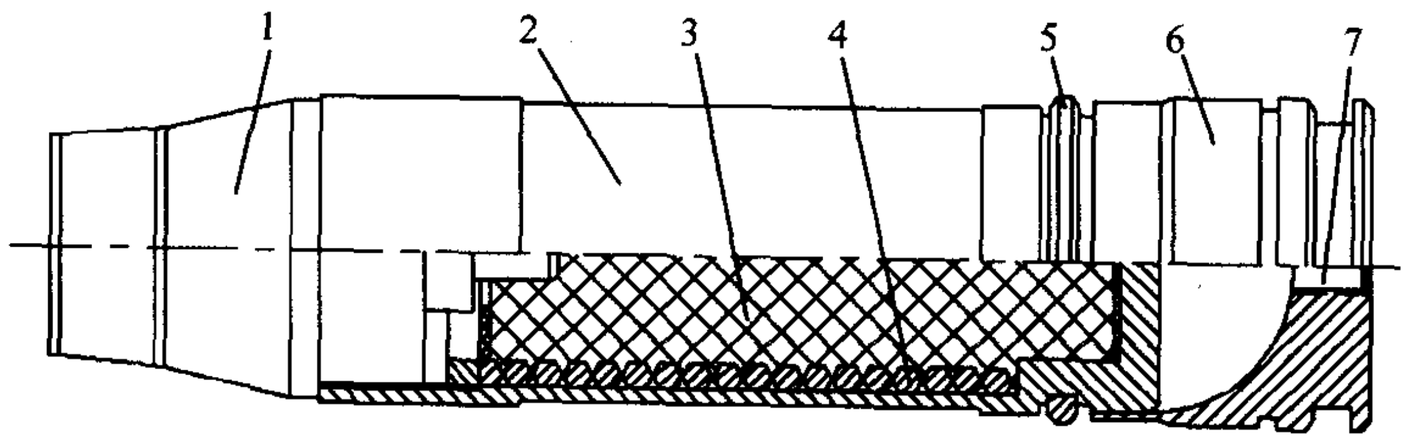


图 11 - 8　苏 30mm 自动榴弹发射器用杀伤榴弹

1—引信;2—弹体;3—炸药;4—弹簧;5—弹带;6—药筒;7—底火。

主要诸元:

全弹质量(含药筒)/g	350
弹丸全长(含引信)/mm	112
弹丸质量(含引信)/g	275

引信质量/g	48.5
初速/(m·s^{-1})	182
最大射程/m	1730

11.2.1.3 瑞士 40mm 预制破片弹

该弹是瑞士“厄利空”公司研制的系列空爆弹药之一,口径 40mm,适宜于目前装备的大多数自动榴弹发射器,如 CIS 40AGL、MK19 Saco Defence 等。可有效对付轻型和步兵战车,也可对付隐蔽物后面的有生力量。该弹采用类似于 AHEAD 弹的可编程引信的设计思想,当弹丸通过炮口的装定线圈时,根据攻击目标类型以及目标的信息,装定引信的功能模式或者起爆时间。

如图 11 – 9 所示,该弹为预制破片式杀伤榴弹,主要由底座 1、弹体 4、弹带、预制破片 5、炸药和引信 2 等部分组成。底座外部刻有弹带槽,用于装配弹带,内部旋装弹底引信,前部和弹体相连。弹体为轻质材料,头部为圆拱形,内部放置高能炸药和预制破片。破片为质量 0.25g 的钨球,共 330 枚。引信为可编程的电子时间引信,由电源、电子时间模块、安全保险装置和传爆序列等部分构成。引信的作用距离为 40m ~ 1600m,自毁距离为 1600m,可以编程控制引信是碰炸模式或者是定时起爆模式,如果没有装定起爆时间,能自动激活碰炸和自毁功能。当引信无能源供给的情况下,将处于碰炸模式。

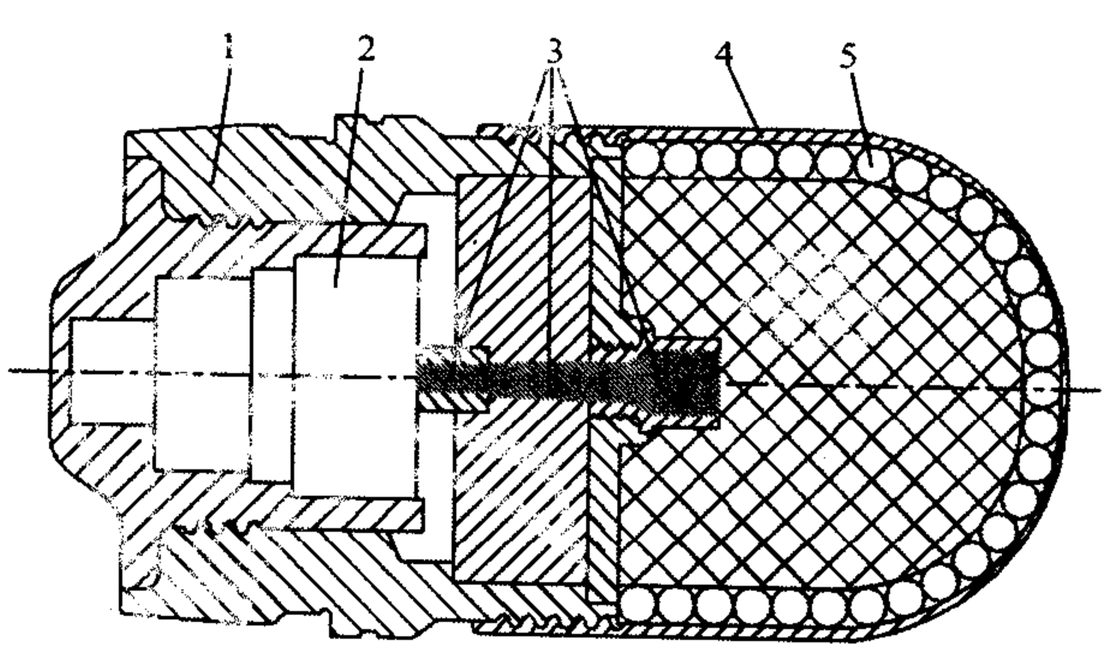


图 11 – 9 瑞士 40mm 预制破片弹

1—底座;2—引信;3—传爆序列;4—弹体;5—预制破片。

主要优点:

① 头部放置了预制破片,增大了破片的飞散范围(破片飞散 X 光照片如图 11 – 10 所示),增大了杀伤面积和对目标的命中概率;

② 采用弹底引信,炸药由底部起爆,附加了一定的破片速度,相应地增大了对目标的杀伤能力;

③ 向后飞散的低能量破片很少,近程射击时具有较高的安全性。

主要诸元:

弹总长/mm	112
弹重/g	350
弹丸质量/g	248

初速/($m \cdot s^{-1}$)	242
炸药质量/g	30
预制破片/g	80
炮口安全距离/m	40
自毁时间/s	11.3
射程/飞行时间	500m/2.3s,1000m/5.3s,1500m/9.3s

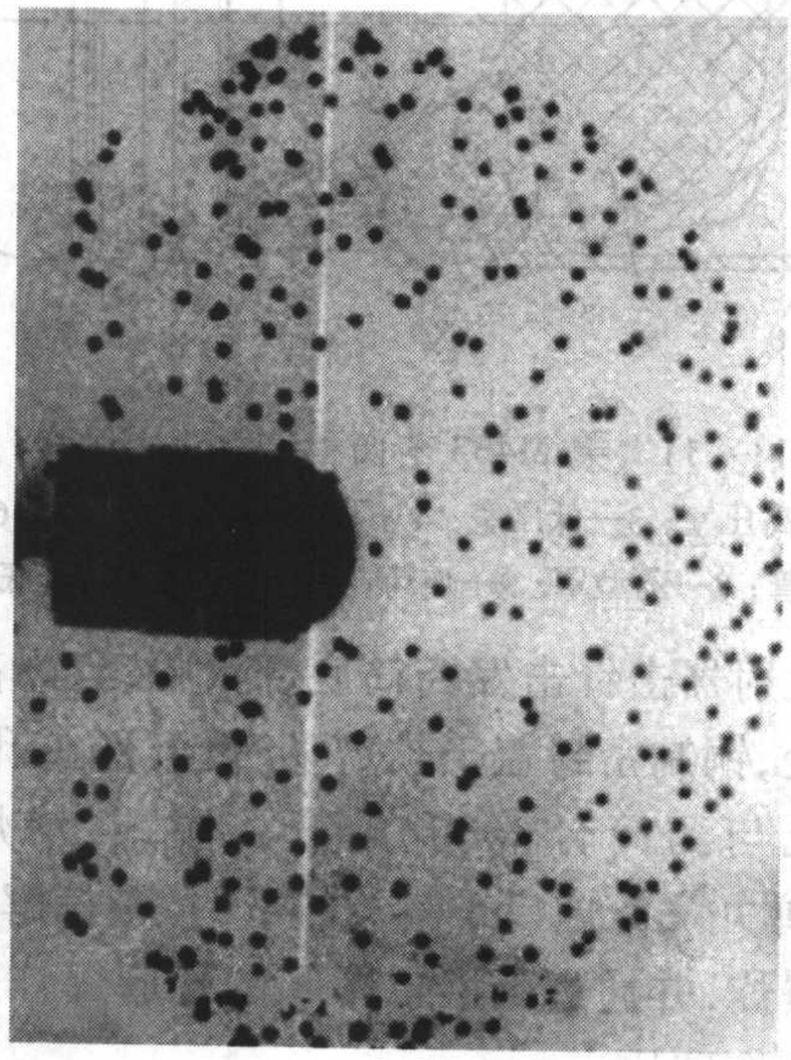


图 11-10　40mm 杀伤枪榴弹破片飞散 X 光照片

11.2.2　破甲和杀伤双用途弹

榴弹发射器用破甲弹主要用来摧毁敌人的步兵战车、非装甲车辆和混凝土工事,必要时也可对坦克的侧甲和顶甲射击。

11.2.2.1　美 M433 杀伤和破甲双用途弹

该弹口径为 40mm,用 M79、M203 40mm 榴弹发射器发射。它是成型装药破甲弹,弹丸爆炸时除药型罩形成金属射流外,弹体和弹底还形成大量破片,所以它同时具有杀伤和破甲两种作用。该弹材料为铝合金,但弹底用钢制成。药型罩材料为紫铜。高低压药室结构由铝合金制成,高压室内装有 M9 火药 0.33g。该弹配用 M550 高灵敏度弹头触发引信。其结构如图 11-11 所示。

主要诸元:

全弹质量(含药筒)/g	230
全弹长(含药筒)/mm	103
弹丸质量/g	179
弹丸长/mm	82
初速/($m \cdot s^{-1}$)	76

破甲威力(着角 0°时,可穿透装甲钢板)/mm 50

最大射程/m 400

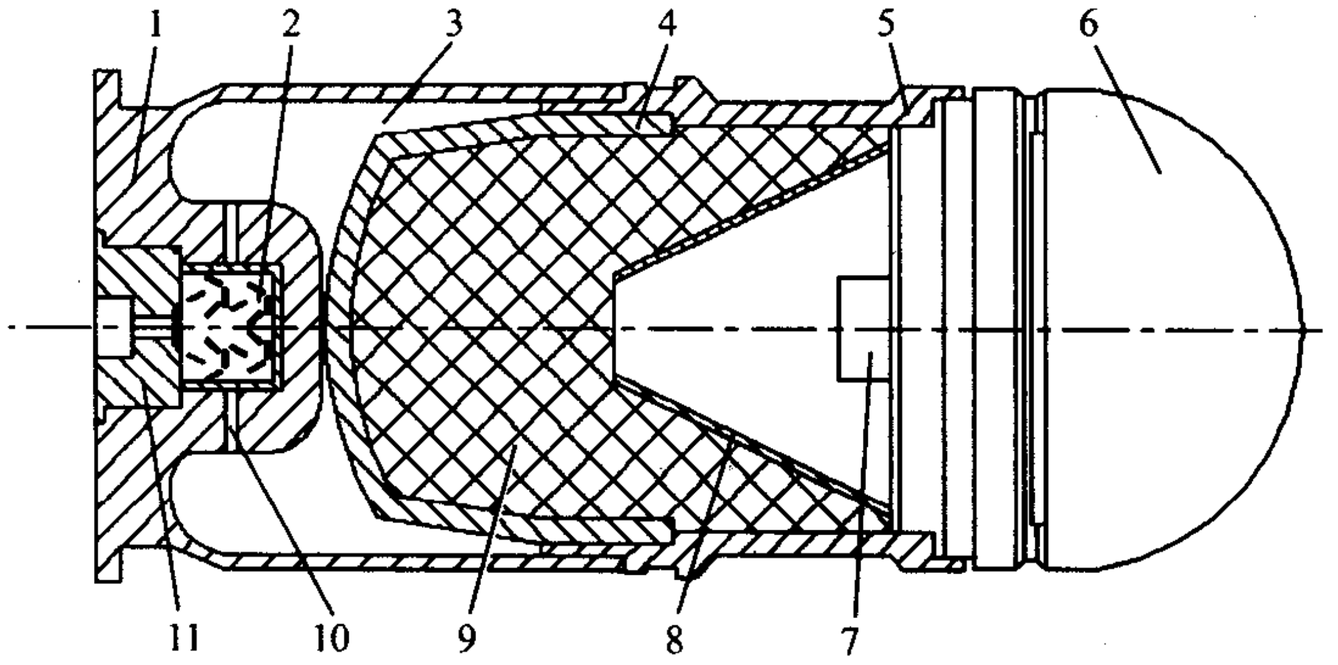


图 11 - 11 美 M433 杀伤和破甲双用途弹

1—药筒；2—高压室；3—低压室；4—下弹体；5—上弹体；6—引信；7—传爆管；8—药型罩；9—炸药；10—传火孔；11—底火。

作用过程:发射时榴弹发射器击针击发药筒底部火帽,点燃高压室火药,当压力增至一定高度时,在高压室小孔处,铜制密封盖箔被剪切,燃气经小孔进入低压室。当低压室压力约为 1.47MPa 时,弹丸与药筒分离,开始嵌入膛线,沿炮膛运动。弹丸初速为 76m/s,转速为 3750r/min。弹丸飞离炮口 14m ~ 27m 时,引信解除保险。撞击目标后,引信作用,引信底部的传爆管爆炸,并通过药型罩中间的孔起爆炸药,使药型罩闭合形成金属射流,同时弹体破碎形成杀伤破片。

11.2.2.2 美 XM430 杀伤和破甲双用途弹

该成型装药破甲弹与 M433 相比,最大特点是初速高(244m/s),射程远(最大射程 2200m);转速高;药型罩采用了抗旋错位药型罩;钢制弹体内壁刻有预制槽,炸药爆炸时药型罩形成金属射流,弹体形成大量半预制破片。所以该弹同时具有破甲和杀伤两种作用。药筒采用高低压药室,作用过程与 M433 相似。其结构如图 11 - 12 所示。

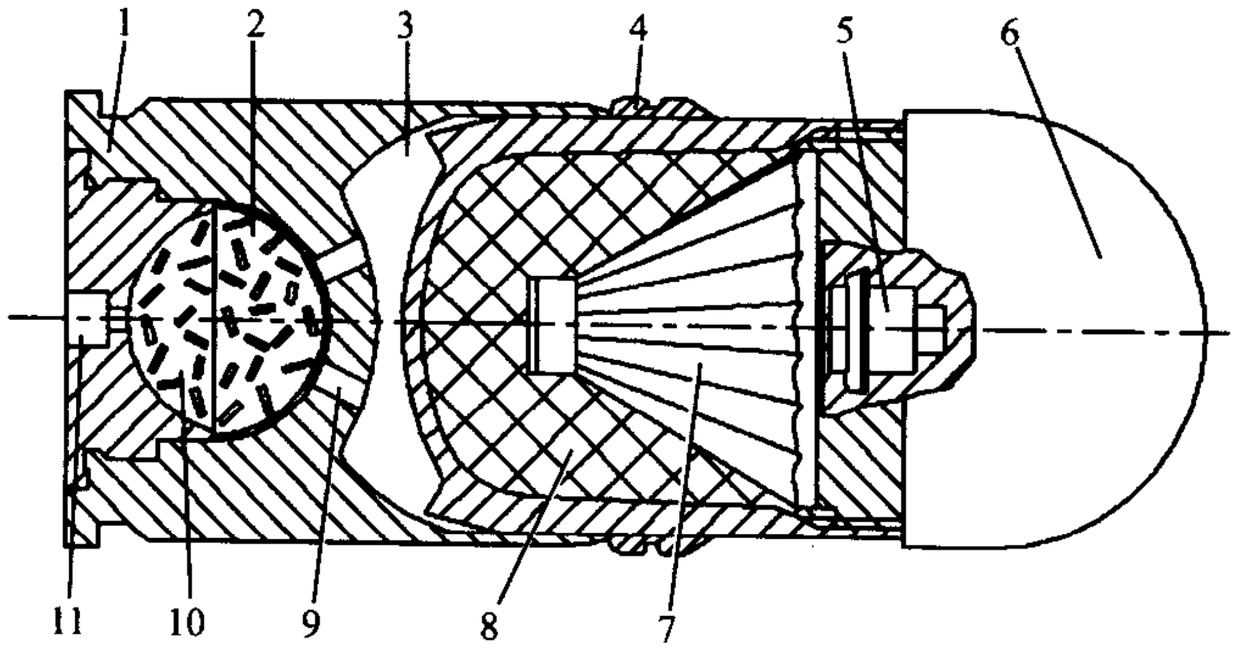


图 11 - 12 美 M430 杀伤和破甲双用途弹

1—药筒；2—高压室；3—低压室；4—弹带；5—传爆管；6—引信；7—药型罩；8—炸药；9—传火孔；10—发射药；11—底火。

主要诸元：

全弹质量(含药筒)/g	340
全弹长(含药筒)/mm	112
初速/($m \cdot s^{-1}$)	244
破甲威力(着角 0°时,可穿透装甲钢板)/mm	50
最大射程/m	2200

11.2.3　照明榴弹

该弹为照明和信号两用弹,其弹丸主要由底座、弹体 4、拱形风帽 6、延期药 9、抛射药 3、5 个照明体 8 和推板 5 组成,如图 11 – 13 所示。底座外部装配弹带,内部放置延期单元和抛射药,前端和弹体相连。弹体为轻质材料,前端和拱形风帽相连。风帽上有一“W”形突起,便于夜间识别;弹体内放置 5 个照明体,照明体的主要成分为镁,中心留有中心孔,为了在照明体被抛出之前,点燃 5 个照明体。推板的作用是平时固定压紧照明体,抛射时传递抛射药所产生的推力,推开风帽。装药药筒采用了类似于前面介绍的高低压药室结构。

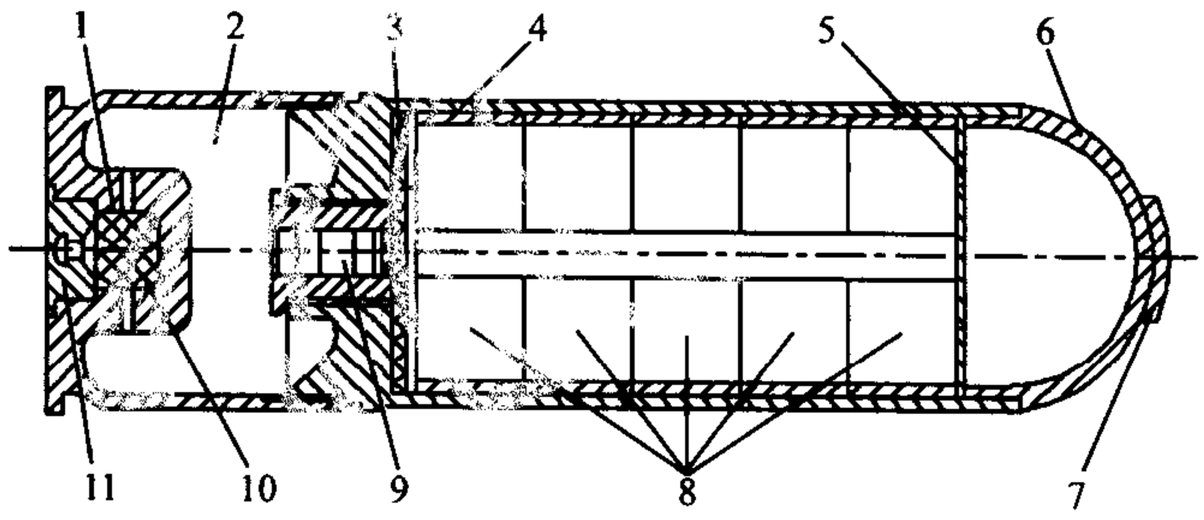


图 11 – 13　榴弹发射器用照明榴弹

1—高压室；2—低压室；3—抛射药；4—弹体；5—推板；6—风帽；7—W 形突起；8—照明体；9—延期药；10—发射药；11—底火。

发射时,发射药点燃弹丸底部的延期单元,弹丸在飞行过程中,延期药逐渐燃烧,当到达预期位置时,点燃抛射药,形成高压产生推力,使照明体向前运动,推开弹体前面的拱形体。同时,抛射药燃烧产生的火焰通过照明体中心的传火孔,点燃每一个照明体,另一方面将 5 个照明体抛向空中,燃烧的照明体在空中自由降落,起到照明或信号作用。燃烧时间 7s ~ 11s。

照明剂为镁,燃烧时发出强烈的白光。降落之前的高度大约为 150m。

主要诸元：

弹长/mm	134
弹重/g	190
单个照明体质量/g	17
初速/($m \cdot s^{-1}$)	76.2
燃烧时间/s	7 ~ 11

该弹的缺点是发射高度低,照明时间短,照明体重量轻,抗风能力差。

11.3 发展趋势

11.3.1 枪榴弹的主要发展趋势

① 减小弹药质量,弹种系列化——减小弹质量、增大威力是枪榴弹改进设计的主要目的。关键在于战斗部结构的改进和新材料的应用,通过合理调配弹质量、威力与后坐力三者之间的关系,使枪榴弹达到最佳作战效果。另外,为了满足步兵在未来战场上对付各种目标的需要,枪榴弹正在向着弹种系列化的方向发展。弹种系列化不仅为步兵完成各种不同战斗任务创造了条件,而且给生产、使用、储存、后勤供应带来极大方便。

② 采用实弹发射,简化操作程序——枪榴弹采用空包弹发射不仅操作程序复杂,容易贻误战机,而且一旦误装实弹必将造成严重后果。因此,通过捕弹器采用实弹发射是枪榴弹发展的必由之路。目前捕弹器除了朝通用化、绝对安全型方向发展外,还发展了弹丸偏转器与其相结合的结构。

③ 改进发射方式,增大有效射程——枪榴弹采用实弹发射固然有许多优点,但由于各种枪榴弹的发射装药是一定的,当枪榴弹弹形和弹质量确定后,其射程即为定值。因此,如何改进枪榴弹发射方式,提高枪榴弹的有效射程和射击精度是枪榴弹发展的又一重大课题。利用火箭增程虽可提高枪榴弹射程(可达 800m),但仍需解决后坐力大、弹质量大和精度差的问题。

④ 应用新技术,探索新结构——枪榴弹由于受到体积和质量的限制,故新材料、新原理、新结构、新技术在枪榴弹上的应用显得格外重要。当前,尽管高强度、高韧性的非金属材料已在枪榴弹上普遍采用,压电引信、电磁引信与其它电子引信正在逐步配置,钢丝缠绕预制破片弹体、高能炸药、新的破甲战斗部结构等已在枪榴弹上应用,但一些传统的概念和结构仍未打破。为全面改善枪榴弹结构,大幅度提高其性能,还有许多技术问题,特别是在发射原理和战斗效能上,需要进一步探索和解决。

11.3.2 榴弹发射器用弹药的发展方向

① 提高初速。

② 大幅度减小体积,减轻重量。

③ 提高小型弹威力,当弹径为 20mm ~ 30mm 时威力不低于 40mm 弹。

④ 开发新弹种。根据未来战场目标多变的需要,除了现已装备的杀伤、破甲、杀伤/破甲、信号、发烟等榴弹外,还要大力开发研制集声、光、电、磁等于一体的高新技术弹药,从而扩大榴弹发射器的系统功能并能执行多种战术任务。

⑤ 提高引信性能。提高引信性能主要包括以下几个方面:提高小着角发火率;引入自炸机构;提高弹药引信的勤务性能;逐步引入可控编程引信,实现定时空炸、碰炸和自炸。

⑥ 金属风暴技术。利用金属风暴技术,将很多弹丸放置在一个发射管内,并采用多管发射技术,提高弹丸的发射速度,进而提高对目标的命中和毁伤能力。

第 12 章　常规导弹战斗部

导弹是依靠自身推进能控制其飞行弹道，将弹头（战斗部）导向并毁伤目标的武器。它通常是由推进系统、制导系统、弹头、弹体结构系统等 4 部分组成，其任务是将战斗部导向目标或其附近，加以引爆并杀伤目标。导弹已在战争中起着举足轻重的作用，被公认为是一个国家国防现代化的标志之一。

导弹战斗部是导弹上用于直接毁伤目标的部件，按装填物可分为常规战斗部、核战斗部和特种战斗部等。本章主要介绍常规导弹战斗部的类型、组成、作用原理及结构特征。

12.1　常规导弹战斗部类型及组成

12.1.1　常规战斗部的分类

常规导弹战斗部是常规导弹的重要组成部分，是用以摧毁、破坏目标，杀伤有生力量，完成战斗使命的部件。

现代战场上的目标种类繁多，为了对付这些目标，相应地出现了各种各样的导弹战斗部。常规导弹战斗部根据形成毁伤元素的特点及对目标的毁伤机理可分为杀伤战斗部、爆破战斗部、侵彻战斗部、聚能战斗部、子母战斗部、云爆战斗部等。

杀伤战斗部根据杀伤破片形状的不同又可分为破片杀伤战斗部和杆条破片战斗部。杆条战斗部又分为离散杆战斗部和连续杆战斗部 2 种。破片杀伤战斗部根据破片的形成机理又分为自然破片战斗部、预制破片战斗部和预控破片战斗部 3 种；根据破片的飞散特性可分为均强型杀伤战斗部、定向战斗部和聚焦战斗部等几种。

聚能战斗部根据形成杀伤元素不同可分为聚能射流战斗部和爆炸成型战斗部 2 种；根据结构又可分为单级聚能、串联式聚能战斗部等。

如果战斗部对目标的破坏作用是多种作用的综合效应时，也可按其效应的组合来命名。如攻击空中目标的战斗部，爆炸后具有杀伤、爆破、燃烧多种效应，其战斗部命名为杀爆燃战斗部；攻击地下目标的侵彻战斗部，具有侵彻、爆炸和燃烧等多种功能，命名为侵爆燃战斗部等。

12.1.2　常规战斗部的组成

虽然常规导弹战斗部的类型很多，但其组成部分基本相同，国外较广泛地采用广义的战斗部概念，认为战斗部系统由战斗部、引信和保险及解除保险机构组成的。国内将战斗部与引信分为两部分，战斗部是由壳体、装填物、传爆系列等部分组成，如图 12 - 1 所示。

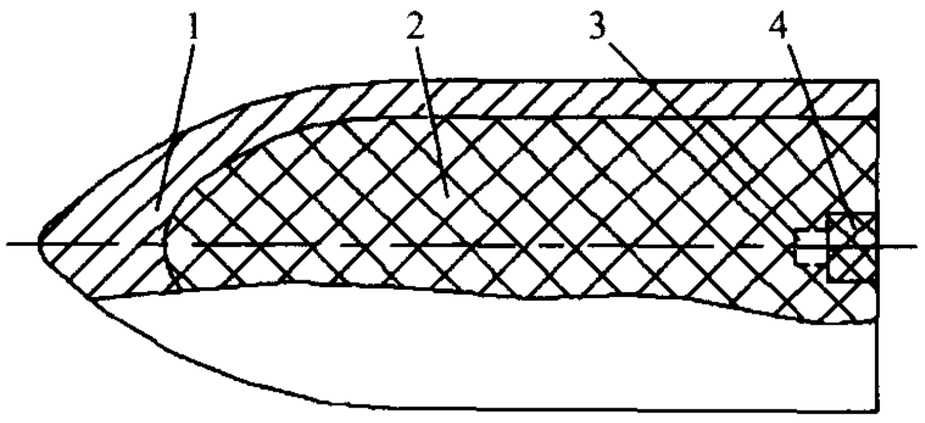


图 12-1 常规导弹战斗部组成示意图

1—壳体；2—装填物；3—传爆系列；4—引信。

① 壳体——壳体是战斗部的基体，其作用是盛放装填物的容器，起支撑和连接作用，对于杀伤战斗部，壳体还形成杀伤元素。战斗部壳体可作为导弹弹体的组成部分，也可直接放置于导弹的战斗部舱内。

② 装填物——战斗部类型不同，其内部的装填物也不同，如子母式战斗部的装填物是子弹药，云爆战斗部的装填物是液体燃料。大多数战斗部的装填物是高能炸药和预制毁伤元。

③ 传爆系列——传爆系列是由火工元件组成的能量逐级放大、感度逐级降低的装置。其作用是把微弱的激发冲量传递并放大到能引爆主装药。通常由雷管、传爆药柱(或传爆管)组成，有时还加入延期药、导爆药柱或扩爆药柱。

12.2 破片杀伤战斗部

破片杀伤战斗部是战斗部的主要类型之一，主要是在高能炸药爆炸作用下，形成大量高速破片，利用破片的高速碰击、引燃和引爆作用毁伤目标。可以用于杀伤有生力量(人、畜)、无装甲或轻型装甲车辆、飞机、雷达以及导弹等武器装备。

根据破片的生成途径，破片杀伤战斗部可分为自然、预控和预制破片战斗部 3 种类型。自然破片战斗部的破片是在爆轰产物作用下，壳体膨胀、断裂破碎而成，该类战斗部的特点是壳体既充当了容器又形成杀伤元素，材料的利用率较高，壳体较厚，爆轰产物泄漏之前，驱动加速时间长，形成的破片初速高，但破片的大小不均匀，形状不规则，在空气中飞行时速度衰减快。

预控破片战斗部采用壳体刻槽、炸药刻槽或增加内衬等技术措施，使壳体局部强度减弱，控制爆炸时的破裂部位，从而形成破片。这类战斗部的特点是形成的破片大小均匀，形状基本规则。

预制破片战斗部的破片预先加工成型，嵌埋在壳体基体材料中或粘接在炸药周围的薄蒙皮上，炸药爆炸将其抛射出去，破片的形状有瓦片形、立方体、球形、短杆等。这类战斗部的特点是杀伤破片大小和形状规则，而且炸药的爆炸能量不用于分裂形成破片，能量利用率高，杀伤效果较好。

早期的战斗部主要是无控的自然破片杀伤战斗部，但由于其形成的破片形状、数量和大小很不均匀，有效杀伤破片数量较少，杀伤效果不好，目前已很少使用，而是大量采用预控或预制破片杀伤战斗部，以获得更多的有效杀伤破片。

12.2.1　预控破片杀伤战斗部

预控破片又称为半预制破片，是通过特殊的技术措施控制或引导壳体的破碎，从而控制所形成破片的大小。常用的预控技术有壳体刻槽、装药表面刻槽、壳体区域脆化、圆环叠加点焊等。采取控制破片的方式不同，其结构形式也有所区别，以下将分别讲述其结构特点。

12.2.1.1　壳体刻槽式杀伤战斗部

壳体刻槽式杀伤战斗部应用应力集中的原理，在战斗部壳体内壁或外壁上刻有许多交错的沟槽，将壳体壁分成许多事先设定的小块，当炸药爆炸时，由于刻槽处存在应力集中，因而壳体沿刻槽处破裂，形成有规则的破片，破片的大小、形状和数量由沟槽的多少和位置来控制。

如图 12－2 所示，沟槽的形状有 V 形、方形和锯齿形。沟槽的形状不同，壳体破裂时断裂迹线的走向不同。实践和理论证明，菱形槽的效果优于方格槽。沟槽相互交错构成网格，网格有矩形网格和菱形网格等，如图 12－3 所示。为了保证在炸药爆炸作用下沿槽破裂，一般设计槽深为壁厚的 1/3。

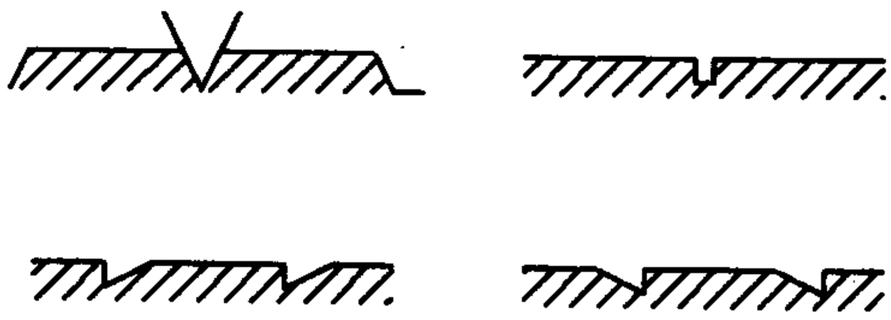


图 12－2　刻槽截面形状

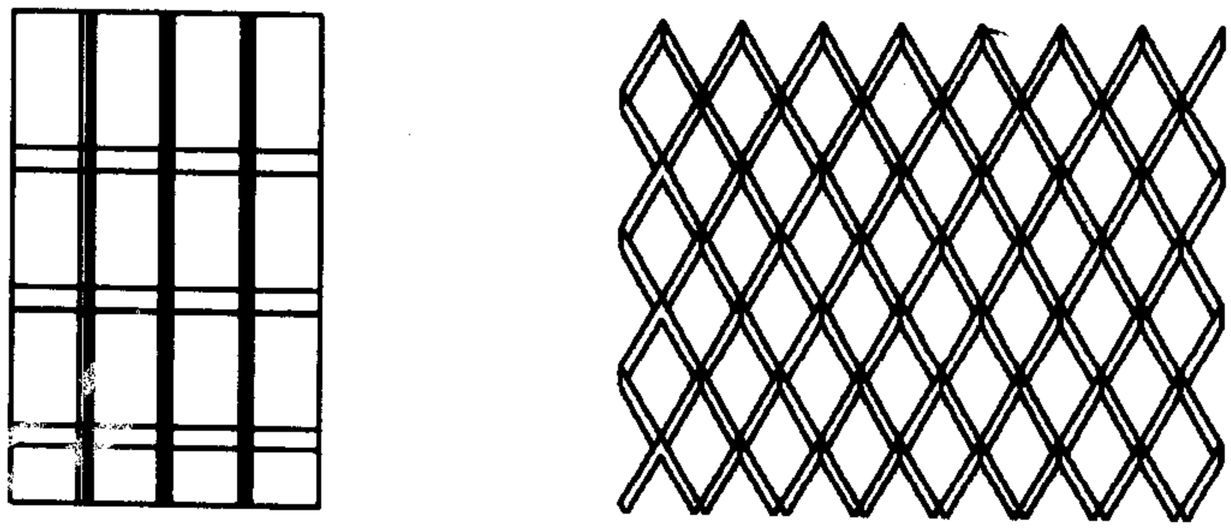


图 12－3　刻槽网格形状

图 12－4 所示为一种地对空导弹内壁刻槽的杀伤战斗部，爆炸后可形成数千块破片。该战斗部壳体采用厚 7mm、10 号普通碳钢板卷焊而成，其内壁刻槽，槽深为 3mm，V 形槽角度为 168°，为加强应力集中，槽底部较尖，为 45°。爆炸后，形成的每一菱形破片重 12g。选用较重破片的原因在于提高对飞机的毁伤能力。在圆筒壳体两端焊有 10 号钢的圆环，与前、后底之间各用 16 个螺栓连接，前、后底用铝合金制成。

战斗部壳体内铸装梯恩梯、黑索今混合炸药，其成分为梯恩梯(40%)和黑索今(60%)。在壳体两端均铸有梯恩梯封口层，这样做除考虑工艺性较好外，还可增加装药的

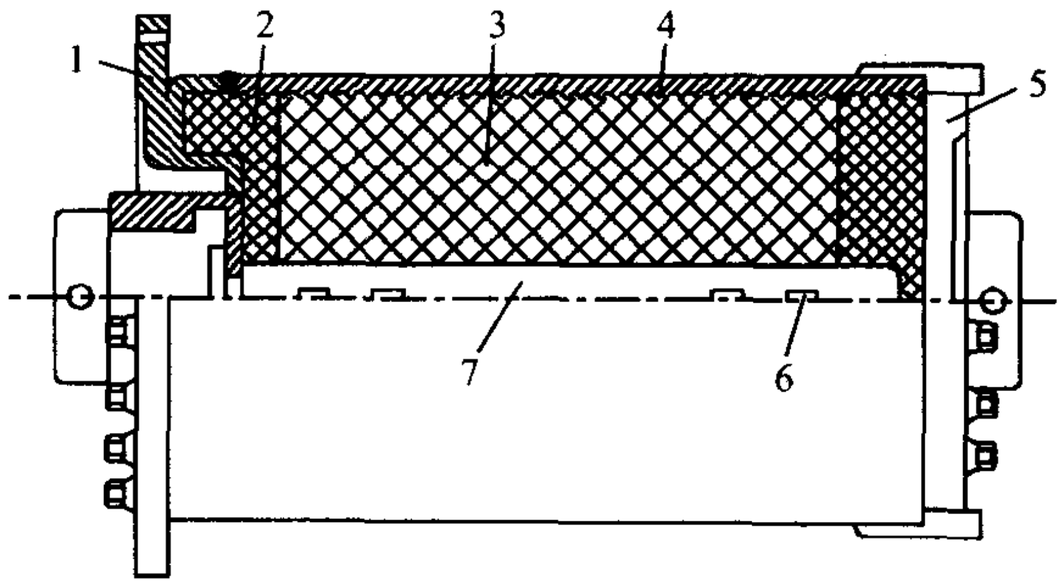


图 12-4 壳体内壁刻槽杀伤战斗部结构示意图

1—前底；2—TNT 药塞；3—主装药；4—V 形槽；5—后底；6—电雷管；7—传爆管。

密封防潮性能。

战斗部传爆系列是在装药中心设置传爆管，用 4 个并联的微秒级电雷管成对安装于前后两端，以提高起爆的瞬时性。在传爆管内还装有 17 节钝化黑索今药柱(共 570g)，以起爆主装药。传爆管外壳为铝合金制成，引出导线用酚醛塑料封口。

12.2.1.2 装药表面刻槽式杀伤战斗部

装药表面刻槽式杀伤战斗部是在炸药装药的表面上预先制成沟槽，炸药爆炸时，在凹槽处形成聚能效应，将壳体切割成预设形状的规则破片。采用这种结构可以很好地控制破片的形状及尺寸，且不易出现连片现象。

图 12-5 所示是“响尾蛇”空对空导弹的装药刻槽式杀伤战斗部。该战斗部为圆柱形，是由壳体 2、前底 1、后底、塑料衬 3、炸药装药和传爆管 5 等组成。战斗部壳体为整体式圆筒(导弹壳体的一段)，爆炸时形成杀伤破片，其材料为 10 号普通碳钢。

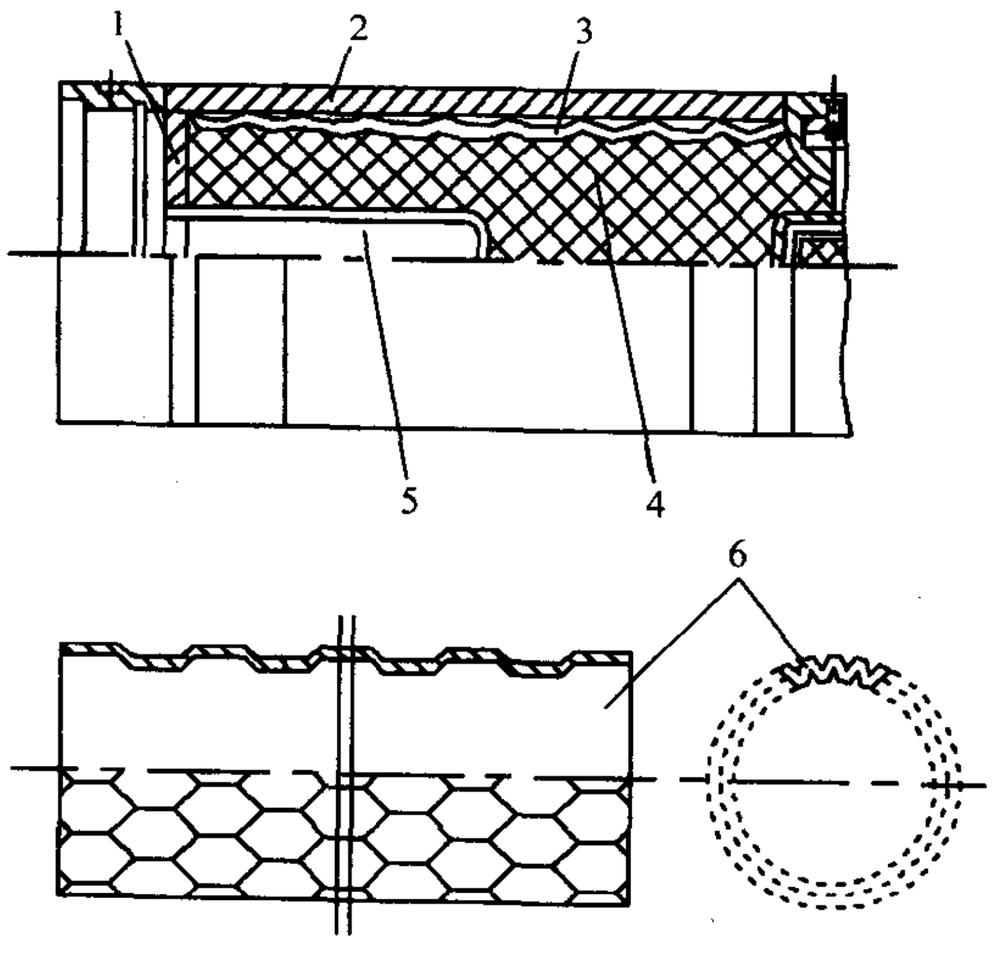


图 12-5 药柱表面刻槽式杀伤战斗部

1—前底；2—壳体；3—聚能塑料衬；4—炸药；5—传爆管；6—塑料罩。

炸药装药上的沟槽是铸成的，其方法是战斗部壳体内表面设置一层塑料衬，在塑料衬上压有 V 形槽，炸药铸装在塑料衬内凝固，从而在药柱表面上形成了 V 形槽。

塑料衬是用厚度为 0.24mm ~ 0.35mm 的中性醋酸纤维压制而成。V 形槽形成六角形网格,长度方向为 42 个,圆周方向为 31 个,爆炸后可形成 1302 个破片。

炸药采用混合炸药,其成分为梯恩梯、黑索今、铝粉和卤蜡(外加)。该炸药适于铸装,加铝粉后,爆速降低(只有 7140m/s),但爆热增加,还可提高破片温度,在击中飞机时可增大引燃作用。

传爆药柱用特屈儿压制而成,其直径为 53mm,高 54mm,质量 408g,并装在 10 号钢制成的传爆管内。

12.2.1.3　叠环式破片战斗部

叠环式破片战斗部由钢环叠加而成,环与环之间点焊以形成整体。爆炸时,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的聚能衬套,则可控制钢环的断裂。如果外壳是非圆柱体,则形成的破片长度是不等的。钢环可以是单层或双层,视所需破片数而定。图 12 - 6 所示是“玛特拉”R530 空对空导弹战斗部的结构示意图,该战斗部就采用了此类结构。

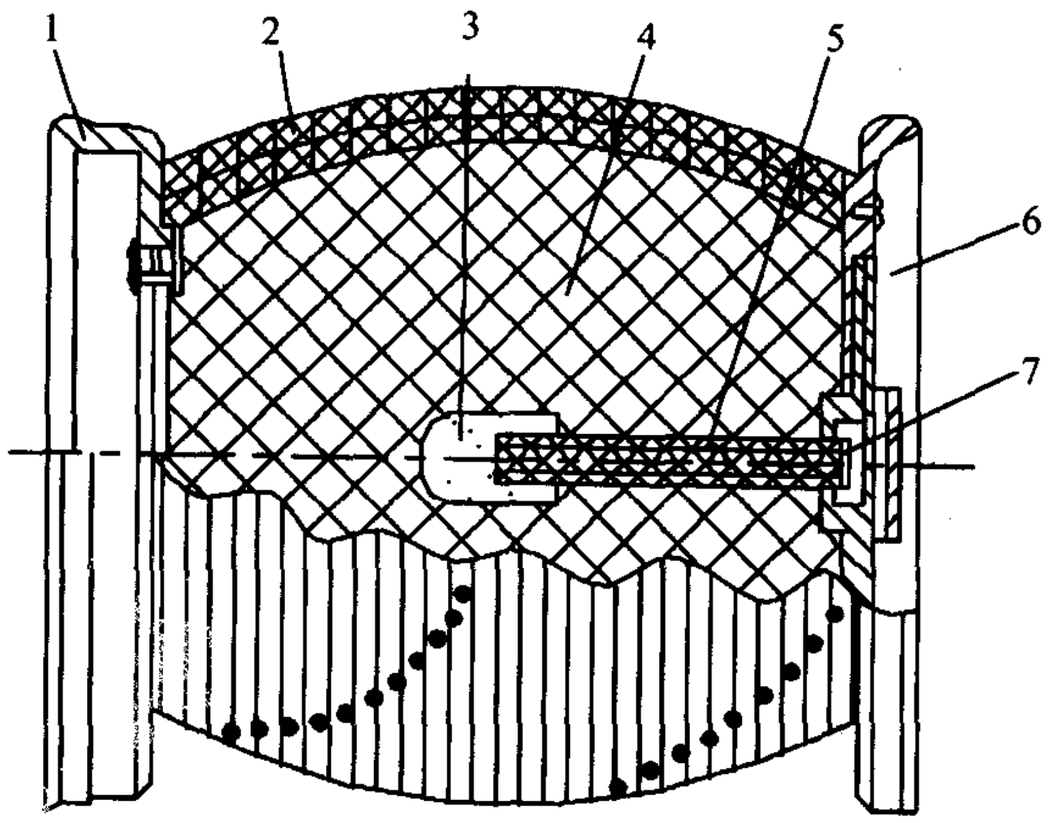


图 12 - 6　圆环叠加点焊式杀伤战斗部

1—后法兰盘;2—本体(圆环);3—传爆药柱;4—炸药;5—传爆管;6—前法兰盘;7—垫片。

战斗部的外形为腰鼓形,由 52 个圆环重叠两层组成。圆环之间用点焊连接,焊点 3 个,形成 120°均匀分布,各圆环的焊点彼此错开,并在整个壳体上成螺旋线。这样做的目的是使爆炸后的破片在圆周方向上均匀飞散。

破片是在爆炸载荷作用下钢制圆环径向膨胀并断裂形成的。由于各个圆环的宽度及厚度相同,因而可拉断成大小比较一致的破片,每个破片重约 6g,破片初速 1700m/s,总数为 2256 块。战斗部采用腰鼓形的原因是为了增大破片的飞散角度,以获得较大的杀伤区域(静态飞散角为 50°),其有效杀伤半径为 25m ~ 30m。

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。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,使爆炸能量的利用率下降。

与叠环式结构相似的还有一种钢带(或钢丝)缠绕结构,把带有刻槽的钢带螺旋地缠绕在特定形状的芯体上,两端对齐,像叠环式一样用电焊连接使之成形,就成为所需的战斗部壳体。破片尺寸由钢带的宽、厚和刻槽间距决定。

12.2.2 预制破片杀伤战斗部

预制破片杀伤战斗部是将已制造好的破片用树脂粘接在战斗部壳体的内腔或装药外的内衬上,炸药爆炸后,驱动破片高速飞散毁伤目标。内衬可以是薄铝板、薄钢板或玻璃钢。预制破片形状有圆柱形、立方形、瓦片形和球形。球形破片可直接装入装药外的两层金属板之间,其间隙可用环氧树脂或其它适当材料填充。预制破片形状选择要考虑破片的弹道性能要好,易于加工,破片间的间隙小,且便于连接。根据所需要的破片数和飞散要求,破片可以排列一层、两层或多层形式。多层结构中采用瓦片形的较多,一层结构中采用瓦片形、球形、圆柱形或半圆柱形皆有。如图 12 - 7 所示分别为球形和瓦片形破片单层排列的示意图。在装填系数相同情况下,预制式战斗部的破片初速是最低的,比整体式或半预制破片式的破片飞散初速要低 10% ~ 15%。这是因为装药爆炸后,产物较早逸出,破片被抛出前膨胀加速时间短。

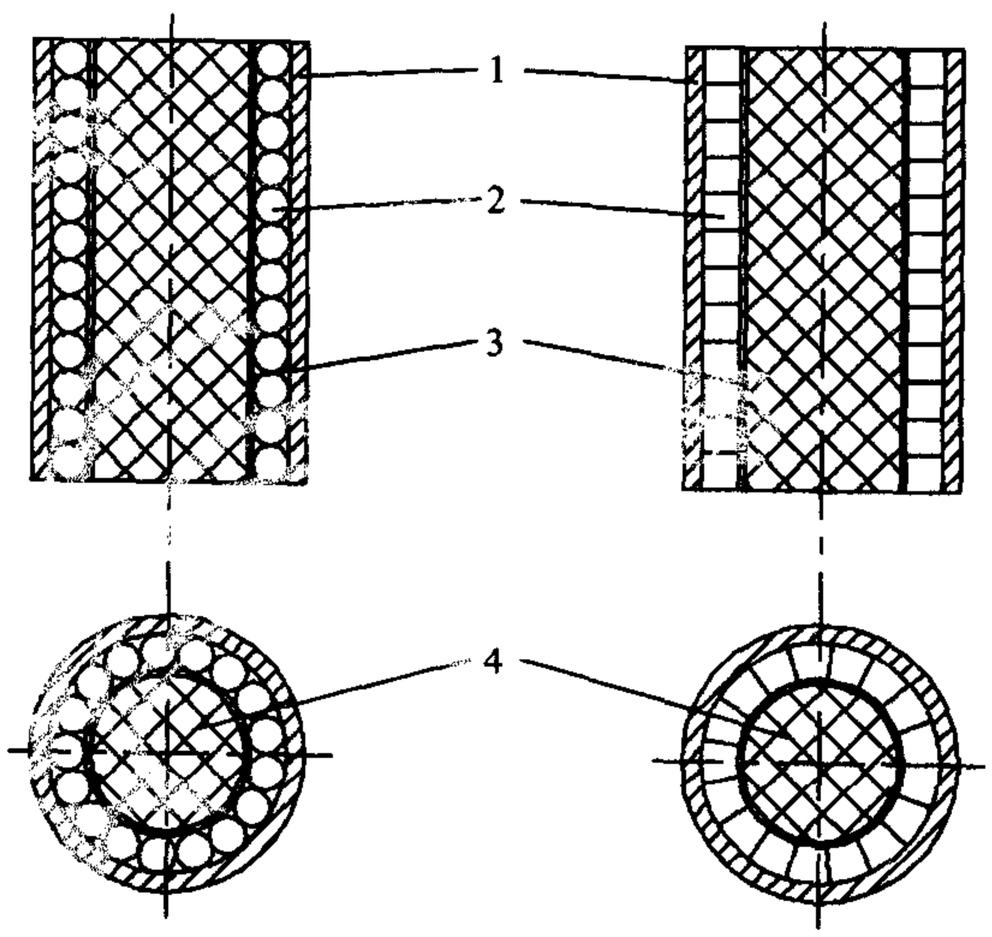


图 12 - 7 预制破片排列示意图

1—壳体; 2—预制破片; 3—内衬; 4—炸药。

预制破片通常采用钢质或钨质材料,也有的在破片内填充铅、锡等软金属材料,在击中目标时,填料破碎飞散以增加杀伤效果。

图 12 - 8 所示是"百舌鸟"(AGM - 45)空对地导弹的预制破片杀伤战斗部,其攻击目标主要是地对空导弹雷达阵地、高射炮瞄准雷达和雷达站。

战斗部外壳的圆柱形内装有一万多个预制的小钢块,破片尺寸为 4.8mm × 4.8mm × 4.8mm 的立方体,每块重量为 0.85g,这些预制破片预先用有机胶粘结成块。为了使爆炸后破片形成合理的杀伤区域,在预制破片的排列上进行了精心设计,后部为一层或 2 层破片,头部为 4 层破片。同时,前部制成蛋形以保证破片向前方飞散。

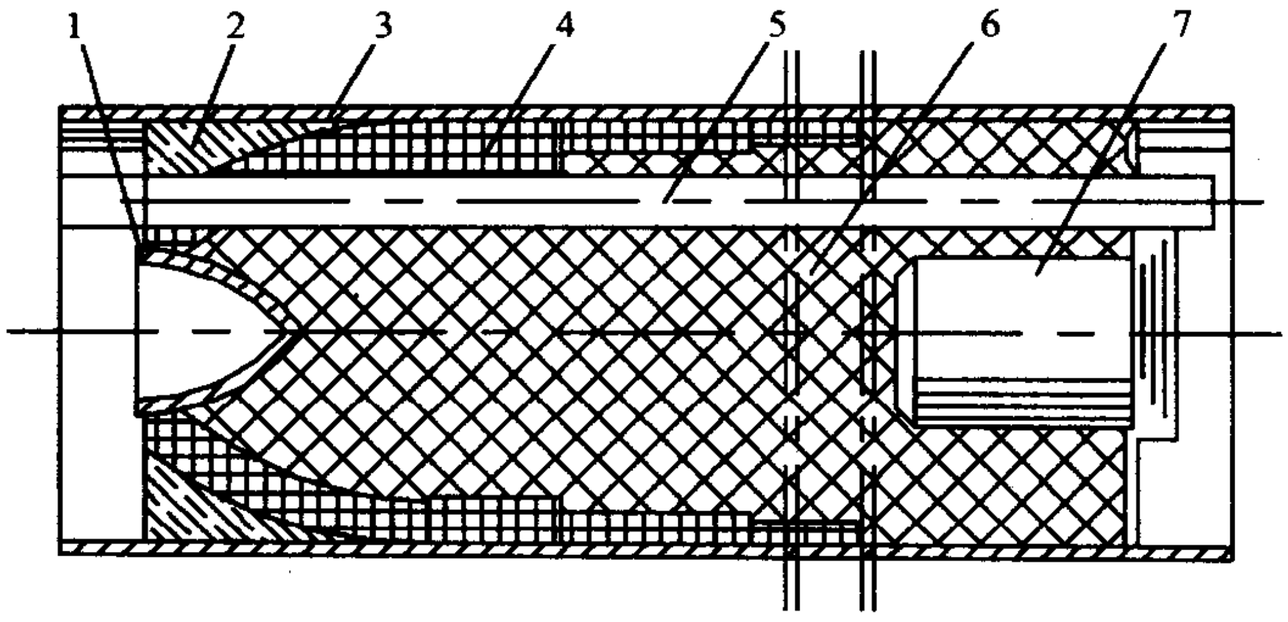


图 12－8　预制破片式杀伤战斗部

1—药型罩；2—填料；3—壳体；4—预制破片；5—电缆管；6—炸药；7—传爆管。

炸药采用高能的奥克托金塑料粘结炸药(密度为 1.78g/cm^3,爆速为 7900m/s),其目的是得到高的破片飞行速度,以提高杀伤力。

战斗部爆炸时,其破片可穿透雷达、破坏机器和杀伤人员,有效杀伤半径为 50m～60m。在战斗部前端设置了一个聚能药型罩,用来销毁位于战斗部舱前面的制导舱。该战斗部的破片尺寸和质量小,而数量多,适于对付地面的软目标和半硬目标。

预制破片战斗部有如下几方面的优点:

① 具有优越的成形特性,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;

② 破片的存速能力强;

③ 可以任意调整破片的形状和大小,并可进行任意搭配,以满足设计需要;

④ 破片可以采用各种材料,或在内部放置含能材料,以提高破片的杀伤效能。

12.3　杆条杀伤战斗部

杆条杀伤战斗部是以杆条形破片作为杀伤元素,属于预制破片类型,但这类战斗部有其自身的特殊性,所以本节专门讲解。典型的杆条杀伤战斗部有离散杆战斗部和连续杆战斗部两种。

12.3.1　离散杆杀伤战斗部

离散杆杀伤战斗部的杀伤元素是许多金属杆条,它们紧密地排列在炸药装药的周围,当战斗部装药爆炸后,驱动金属杆条向外高速飞行,在飞行过程中杆条绕长轴中心低速旋转,在某一半径处,杆条首尾相连,构成一个杆环,此时可对命中的目标造成结构毁伤,从而实现高效毁伤的目的。此类战斗部常常用来对付空中的飞机类目标。

整个战斗部结构示意图如图 12－9 所示,由壳体 4、内衬 7、炸药 6、杆条 5、起爆装置和端环 3 等部件组成。壳体为圆筒形,为战斗部提供所需的强度和气动外形;内衬的作用是均化杆条的受力,避免杆条断裂;炸药是抛射杆条的能源;起爆装置的作用是适时引爆炸药装药,放置于战斗部的一端;杆条是战斗部的杀伤元素,排列在炸药装药的周围,端部通过点焊和端环连接;端环的主要作用就是固定杆条,有的离散杆战斗部没有此部件,可

以用胶将杆条固定在壳体或内衬上。

此类战斗部与普通杀伤战斗部的主要区别是破片采用了长的杆条形，杆的长度和战斗部长度差不多；战斗部爆炸后，杆条按预控姿态向外飞行，即杆条的长轴始终垂直于其飞行方向，同时绕长轴的中心慢慢地旋转，如图 12－10 所示，最终在某一半径处首尾相连，靠形成连续的切口来提高对目标的杀伤能力。和立方形或片状破片相比，离散杆战斗部装填的杆条较少，所以为了提高整个战斗部的毁伤效率，必须使每根杆的效率发挥到极至。如果杆条在飞到目标的过程中允许自由旋转，在目标上将不能形成连续的切口，仅仅是大破片的侵彻效应，就丧失了对目标致命的结构毁伤。因此离散杆战斗部的关键技术就是控制杆条飞行的初始状态，从而使其按预定的姿态和轨迹飞行。

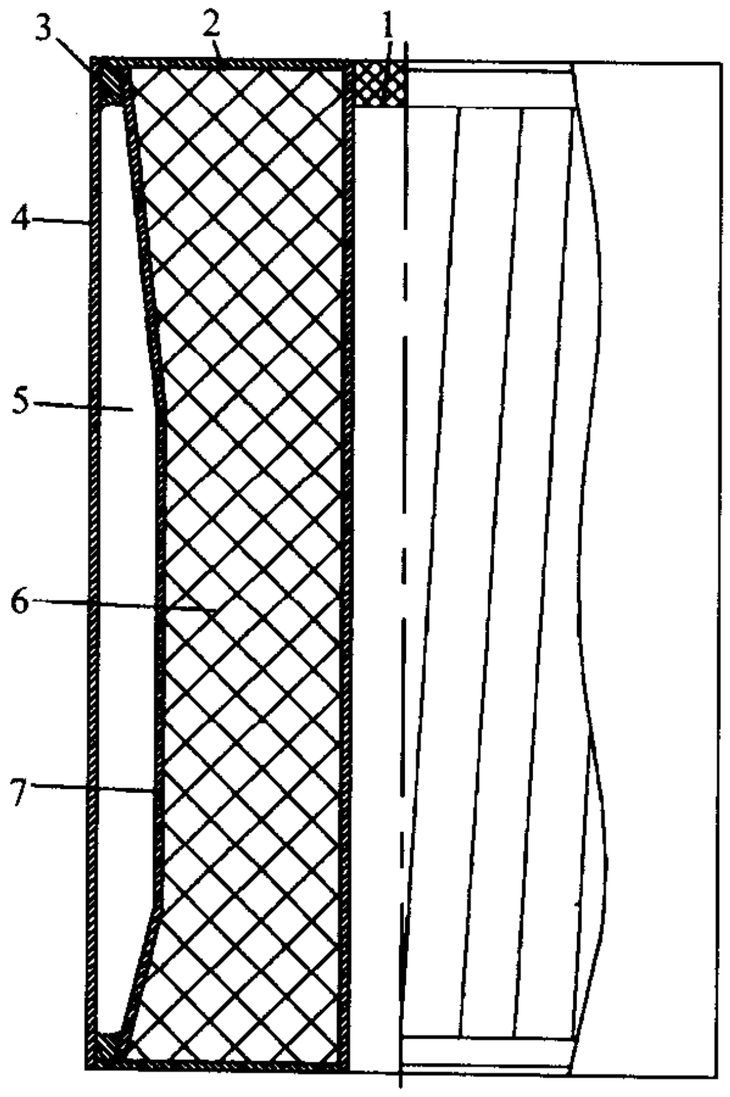


图 12－9　离散杆战斗部结构示意图

1—起爆器；2—端盖；3—端环；4—壳体；5—杆条；6—炸药；7—内衬。

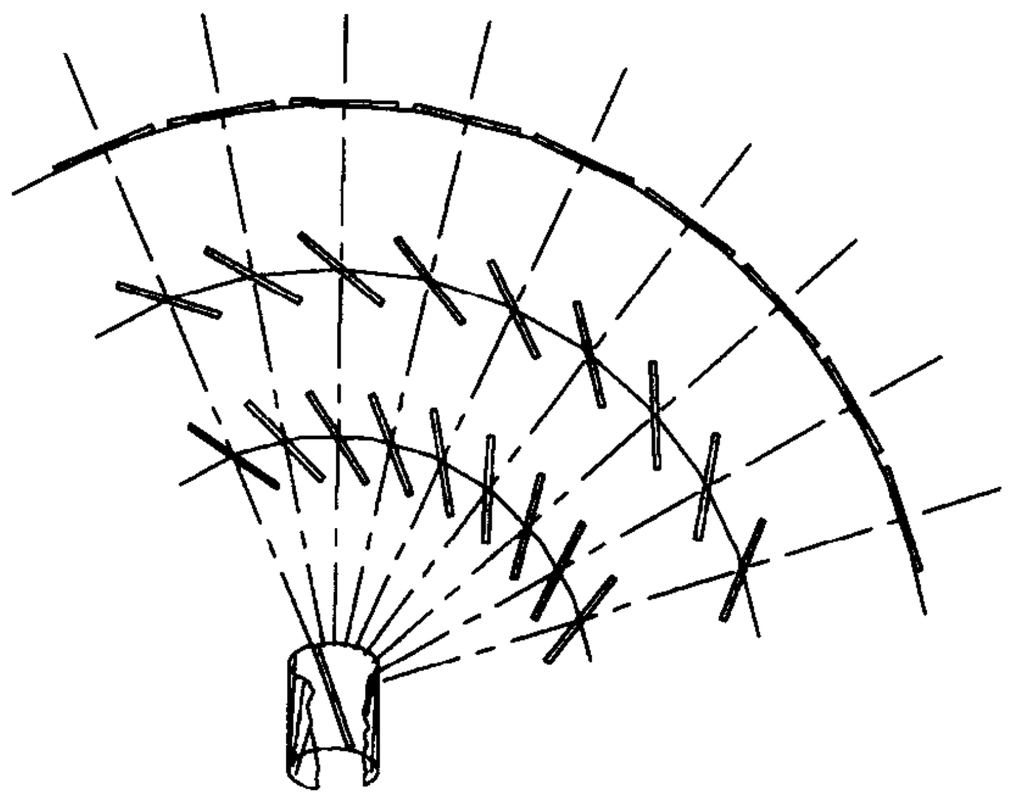


图 12－10　离散杆飞散示意图

杆条的运动控制是通过以下两方面的技术措施实现的：一是使整个杆条长度方向上获得相同的抛射初速，也就是说，使杆条获得速度的驱动力在长度方向上处处相同，这样才能保证飞行过程中轴线垂直飞行轨迹。为了实现杆条轴线和飞行轨迹垂直，分别将杆条的两端斜削一部分，斜削的角度和长度可通过计算或试验的方法得到。二是杆条放置时，每根杆的轴线和战斗部的轴线保持一个相同的倾角，这个倾角可以使杆以相同的规律低速旋转，通过预置倾角可以控制杆条的旋转速度，从而实现在不同的半径首尾相连。

12.3.2　连续杆战斗部

连续杆式战斗部又称链条式战斗部，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等目标碰撞时，可以切割机翼或机身，对飞机造成严重的结构损伤，对目标的破坏属于线切割型杀伤作用。连续杆式战斗部由破片式战斗部和离散杆战斗部发展而来，是破片式战斗部的一种

变异。连续杆式战斗部是目前空对空、地对空、舰对空导弹上常用战斗部类型之一。

12.3.2.1　连续杆式战斗部结构

连续杆式战斗部的典型结构如图 12 - 11 所示，整个战斗部由壳体、波形控制器 4、切断环 6、传爆管及前后端盖组成。战斗部的壳体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，杆条可以是单层或双层。单层时，每根杆条的两端分别与相邻两根杆条的一端焊接；双层时，每层的一根杆条的两端分别与另一层相邻的两根杆条的一端焊接，如图 12 - 12 所示。这样，整个壳体就是一个压缩和折叠的链，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 10mm 左右，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。波形控制器采用的材料有镁铝合金、尼龙或与装药相容的惰性材料。传爆管内装有传爆药柱，用于起爆炸药。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，使杆逐渐膨胀，形成直径不断扩大的圆环，直到断裂成离散的杆。

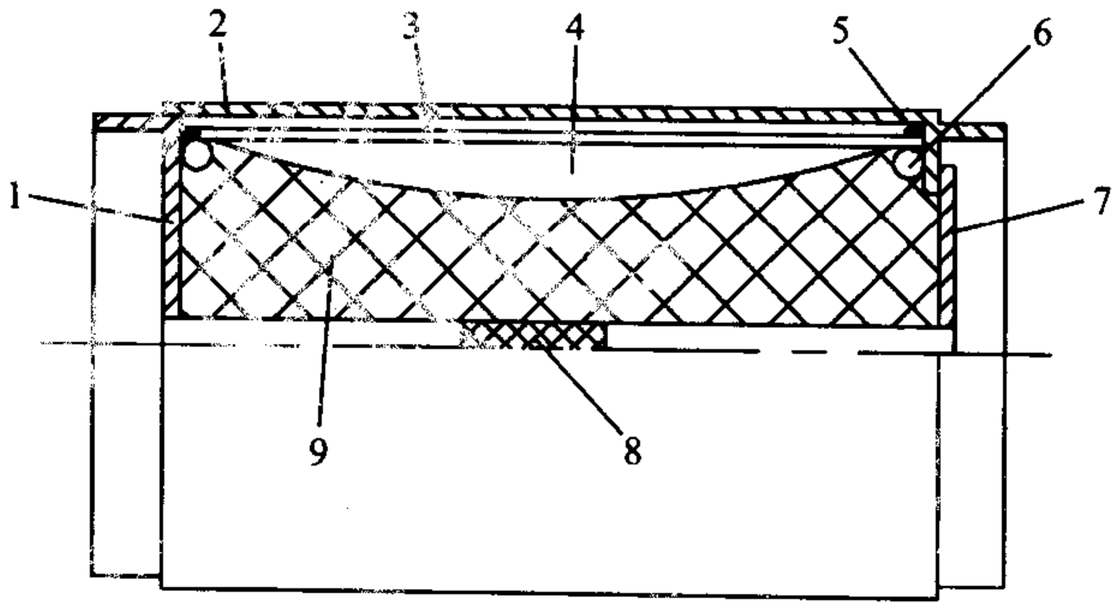


图 12 - 11　连续杆式战斗部构造图

1—前端盖；2—蒙皮；3—杆；4—波形控制器；5—杆的焊缝；6——切断环；7—后端盖；8—传爆药；9—炸药。

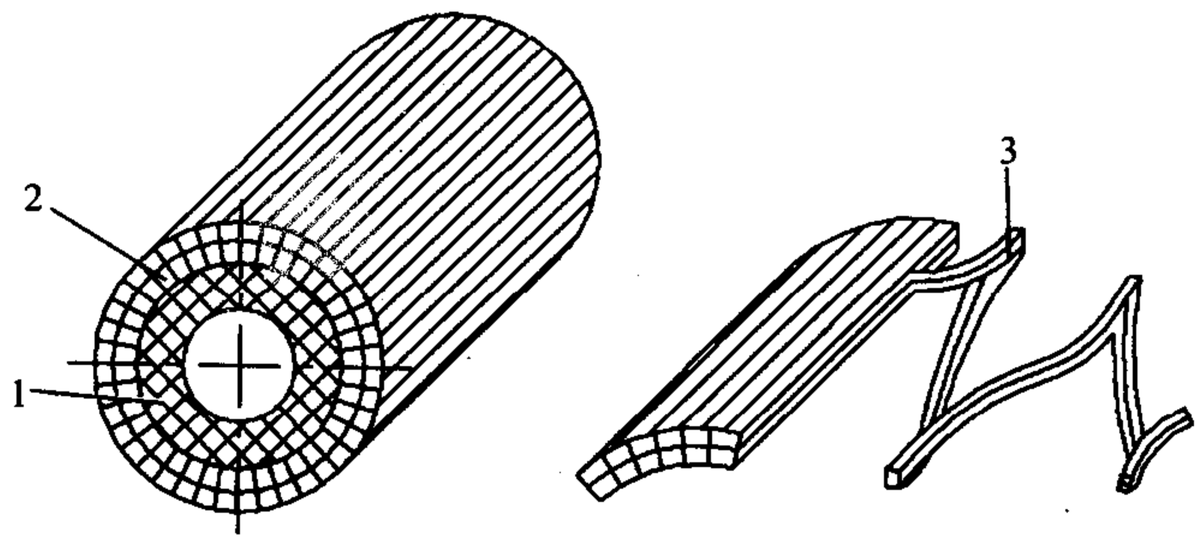


图 12 - 12　杆束结合示意图

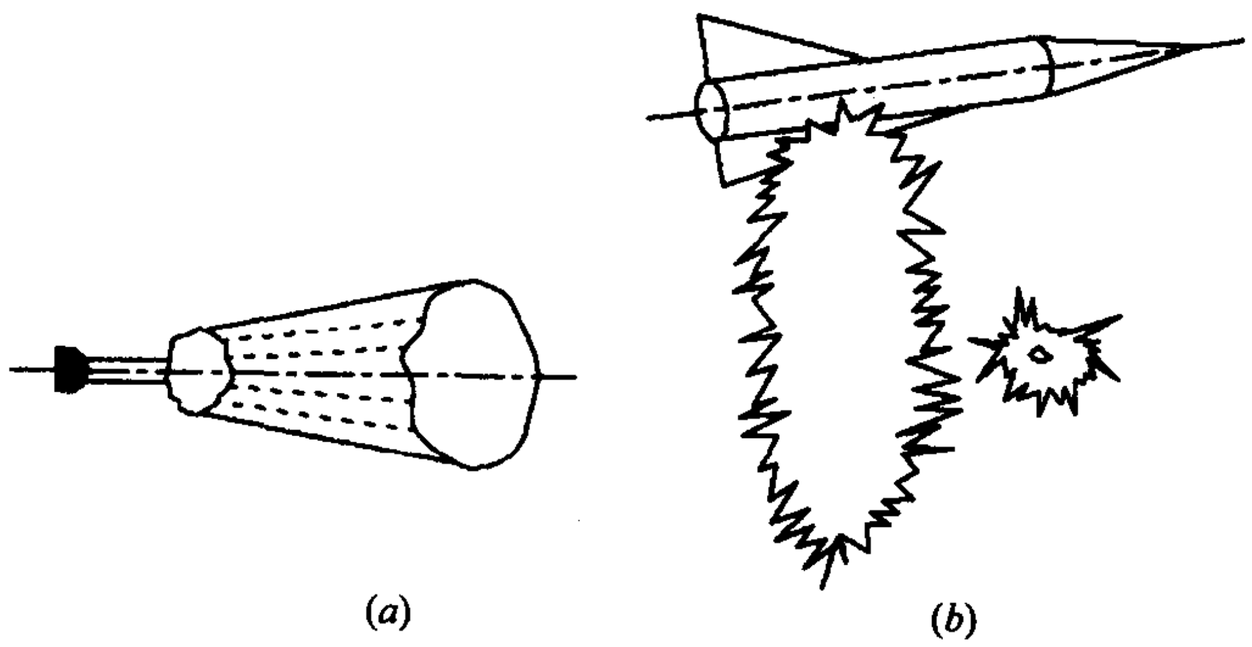
1—杆束组件；2—炸药装药；3—内外层杆连接方式。

在战斗部壳体两端有前后端盖，用于连接前后舱段。在战斗部的外表面覆盖导弹蒙皮，其作用是为了与其它舱段外形协调一致，保证全弹良好的气动外形。

12.3.2.2 连续杆战斗部作用原理

当战斗部装药由中心管内的传爆药柱和扩爆药引爆时，在战斗部中心处产生球面爆轰波传播，遇上波形控制器，使爆炸作用力线发生偏转，得到一个力作用线互相平行的作用场，并垂直于杆条束的内壁，波形控制器起到了使球面波转化为柱面波的作用。杆束组件在爆炸冲力作用下，向外抛射，靠近杆端部的焊缝处发生弯曲，展开成为一个扩张的圆环。环在周长达到总杆长度之前，环不被破坏。经验指出，这个环直径至理论最大圆周长度的 80%还不会被拉断。扩张半径继续增大时，至最后焊点断裂，圆环被分裂成若干段。

连续杆战斗部杆的扩张速度可达 1200m/s ~ 1600m/s，和较重的杆条扩张圆环配合，就像一把轮形的切刀，用于切割与其遭遇的飞机结构，使飞机的主要组件遭到毁伤。毁伤程度不仅与杆速有关，而且与飞机的航速、导弹的速度和制导精度等有关。战斗部对飞机的作用原理如图 12 - 13 所示。



(a) (b)

图 12 - 13 杆式战斗部对飞机的作用原理

(a)杆束扩张过程；(b)杀伤效果。

试验表明，连续杆的速度衰减和飞行距离成正比关系。杆条速度的下降主要由空气阻力引起，而杆束扩张焊缝弯曲剪切所吸收的能量对其影响很小。杆环直径增大，断裂后，杆条将发生向不同方向转动和翻滚，这时，连续杆环的杀伤能力就会大幅度下降，连续杆效应就转变成破片效应。因连续杆断裂生成破片数量相当少所以对目标毁伤效率会急速下降。由此可知，这种结构形式的战斗部，对于脱靶量小的弹、目交会条件，才能最好地发挥其效应。

12.4 爆破式战斗部

爆破战斗部利用炸药在不同介质中爆炸，产生的大量高温、高压和高密度气体产物以及压缩周围介质形成的冲击波，产生超压毁伤目标，此外有一定的破片杀伤能力。

爆破战斗部可在各种介质(如空气、水、土壤、岩石和金属等)中爆炸，从而达到破坏地面、水面、地下或水下目标的目的。在海湾战争初期，美军曾发射了近 300 枚战斧巡航导弹，多数配置 BGM - 109C 型爆破战斗部，摧毁了伊拉克严密设防的指挥中心、防空导弹阵地等战略目标，为多国部队的大规模进攻扫清了障碍。由于爆破战斗部具有作战使用

灵活、对付目标广泛的特点，因此，在现代化战争中起着举足轻重的作用。

12.4.1　组成及结构

爆破战斗部的外形一般有圆锥形、抛物线形、圆弧形和球形。其壳体一般由薄钢板冲压焊接而成。远程导弹战斗部为了防止气动加热，还在壳体外面加防热材料，如玻璃钢，以避免气动热流向壳体内传递而使炸药升温发生爆炸；同时在顶部增设半球的钝形弹头帽防热结构。爆破战斗部的壳体内腔一般注装高能混合炸药，并且在战斗部壳体的后端设有空腔，用以安装引信，如图 12－14 所示。

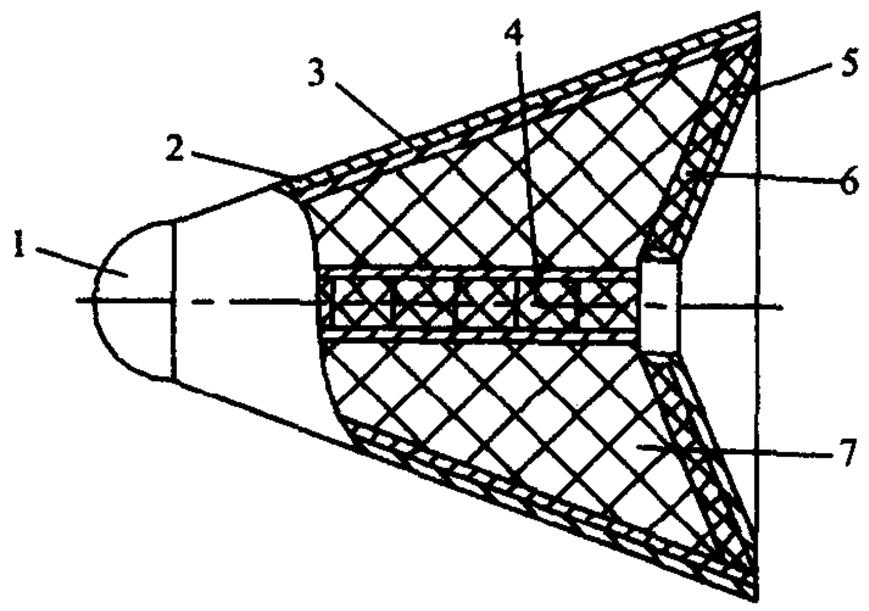


图 12－14　爆破战斗部结构示意图

1—头帽；2—蒙皮；3—壳体；4—传爆管；5—盖板；6—TNT 药塞；7—炸药。

爆破战斗部结构的特点是壳体壁很薄，形状较长，容积很大，装填系数高。

12.4.2　爆破机理

爆破战斗部装药爆炸时产生大量的高温、高压气体，并迅速向四周膨胀，在爆炸点周围的介质中形成强烈的冲击波，冲击波以一定的速度向前传播。爆破战斗部就是靠爆炸气体产物和冲击波毁伤目标的。

爆破战斗部在不同介质中爆炸，其破坏作用是不同的。

12.4.2.1　爆破战斗部在空气中爆炸

战斗部在空气中爆炸后，产生的高温高压爆轰产物压缩周围空气，形成空气冲击波，主要靠爆炸后形成的冲击波和爆轰产物的直接作用毁伤目标。

其爆炸作用场可分为 3 个区：一区指离爆炸中心距离等于(7～14)倍装药半径的范围，在此范围内的目标主要受爆炸产物的直接作用；二区指离爆炸中心距离等于(14～20)倍装药半径的范围，在此范围内的目标，受爆炸气体和冲击波的共同作用；三区指离爆炸中心距离大于 20 倍装药半径的范围，在此范围内的目标主要受冲击波作用。

对目标引起破坏作用的主要因素是冲击波超压和比冲量。超压就是超出大气压的那部分压力，目标不同，破坏它所需的超压值也不同。比冲量是指单位面积所受波阵面的作用力和此力作用时间的乘积($N \cdot s/m^2$)。某些目标的破坏超压和破坏比冲量见表 12－1 所列。

表 12-1 部分目标破坏的冲击波超压和比冲量值

目标名称		峰值超压/MPa	比冲量/(kN·s·m^{-2})
人员	基本无伤害	<0.02	/
	中等程度伤害	0.03~0.05	/
	致　死	>0.1	/
工事	1.5层砖的砖墙	0.015	1.9
	2层砖的砖墙	0.025	2
	钢筋混泥土墙0.2m	0.3	/
	坚固建筑物	/	2~3
飞机	严重破坏	0.05~0.1	/
	完全破坏	>0.1	/
舰艇	中等程度破坏	0.03~0.04	/
	严重破坏	0.07~0.078	/
装甲车辆	严重破坏	0.4~0.5	/
	完全破坏	1~1.5	/
地雷	引爆	>0.05	/

12.4.2.2 在水中爆炸

战斗部在水中爆炸时,同样在水中形成冲击波。由于水的密度比空气大,可压缩性很小,因此在水中形成的冲击波阵面初始压力可达10GPa,远远大于空气冲击波的初始压力(80MPa~130MPa),而且传播距离远。此外,爆炸产物在水中还可以气泡的形式高速膨胀,排挤周围的水向四周运动,当气泡膨胀到内压低于外压且惯性作用消失时,周围的水就反压气泡使之缩小;当气泡缩小到内压高于外压,而且压差克服了惯性作用之后,气泡又重新开始膨胀。气泡这种由小变大,再由大变小的脉动式涨缩要循环数次,在较深的水中甚至可达10次以上。同时,在脉动过程中,气泡还受到浮力的作用而逐渐上升。因此,在离爆炸点一定距离,如超过气泡膨胀的最大半径处,目标不仅受到冲击波作用,而且受到由于气泡涨缩脉动所引起的周围水流的作用。由于水流惯性大,所以水流和气泡也都能起到破坏作用。但对于远离爆炸点的目标,主要起破坏作用的还是冲击波,水流和气泡的破坏作用效果很小。

12.4.2.3 在土壤中爆炸

战斗部在土壤中爆炸后,形成强烈压缩、破坏和振动3个区域。直接与炸药接触的土层受到爆轰产物极高压力的作用(几万兆帕)被强烈压缩,结构完全被破坏,颗粒被粉碎,爆轰产物挤压周围土壤形成一个空腔,其体积约为装药体积的几百倍。与空腔相接的就是强烈压缩区;离开爆心较远处,由于爆轰产物的能量传给了更多的介质,因此压缩应力波的强度不断下降并向外传播,在一定范围内形成向外辐射状的裂缝,该区域称为破坏区。在破坏区以外,由于应力波强度进一步减弱已不能引起土层结构的破坏,只产生振动,振动的强度也越来越弱,最后应力波衰减为声波,这一区域称为振动区。

当爆炸中心距离地表面以下一定深度时，爆炸生成物使土壤介质向四周抛开，形成爆破漏斗弹坑；当爆炸中心距离地表面以下很深时，爆炸就不能将厚土翻开，而出现所谓地洞爆炸，或称盲炸。这种爆炸情况其冲击波的破坏作用很小，破片几乎不起作用，但是其地震效果最大，对破坏地下建筑物和工事特别有效。

爆破战斗部的威力主要体现在冲击波超压和比冲量的大小，而这些参数又与战斗部主装药的性质和药量有关。为提高战斗部破坏效力，在设计爆破战斗部时，希望使用威力大、猛度高的炸药，并尽量提高炸药的装填比。

12.5　聚能装药战斗部

现代坦克、装甲车是攻、防兼备的武器，有很强的装甲防护能力和强大的火力。要击毁这类带各种装甲防护的目标，首先要穿透装甲，目前的反装甲导弹大量地采用了聚能战斗部，或称成型装药战斗部，利用炸药爆炸时的聚能效应生成一股高速、连续、密实的金属射流或成型弹丸，去侵彻毁伤装甲目标。此外，聚能战斗部也可用于攻击混凝土、地下工事等坚固目标。

基于聚能效应的战斗部有射流式聚能装药战斗部、爆炸成型战斗部、多聚能射流战斗部、多 P 装药战斗部、片形射流战斗部等多种结构形式，其原理和前面介绍的破甲炮弹相同，这里不再赘述。下面主要介绍这几类战斗部的典型结构。

12.5.1　射流式聚能装药战斗部

“霍特”反坦克导弹战斗部是射流式聚能装药战斗部，爆炸后形成高速射流毁伤坦克目标。该战斗部质量 6.08kg，直径 136mm，炸药质量 3kg。结构如图 12 - 15 所示，主要由风帽(壳体的前半部)、战斗部壳体 3、药型罩 12、爆炸装药、传爆药柱 9、引信和底盖 8 等组成。

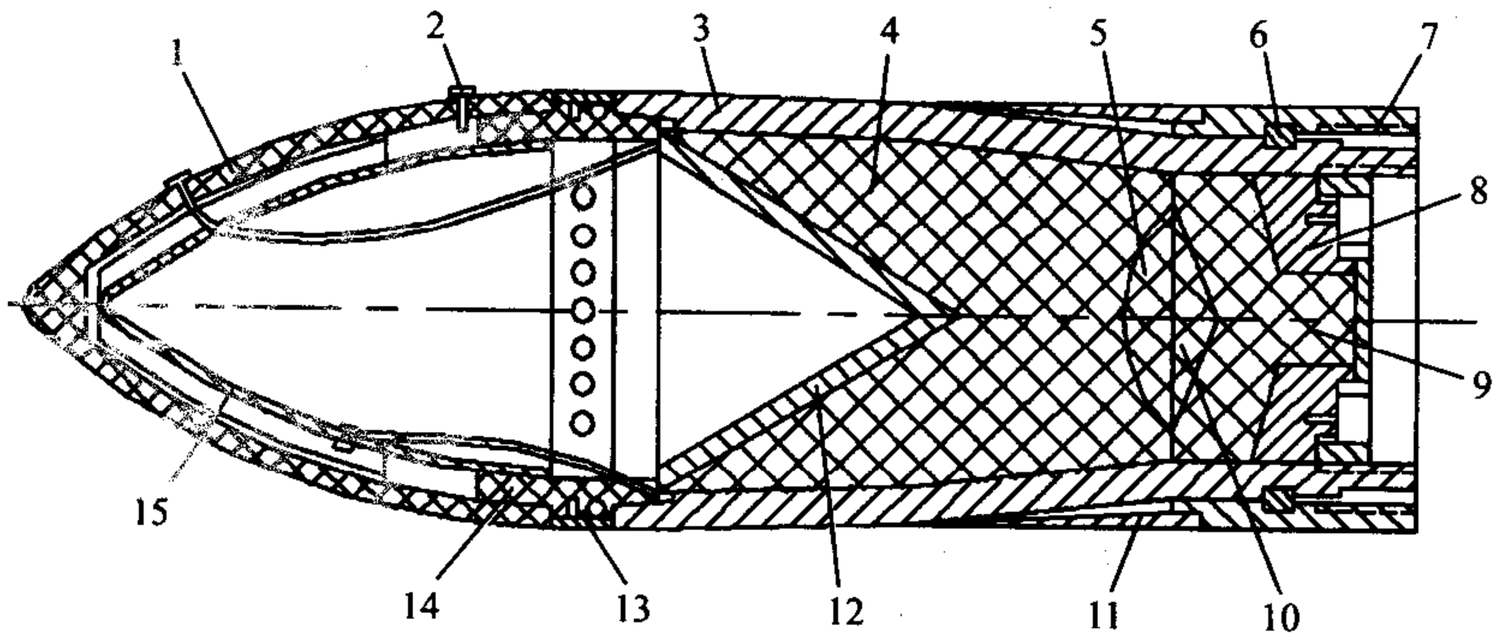


图 12 - 15　“霍特”导弹战斗部结构示意图

1—外风帽；2—塞销；3—壳体；4—主药柱；5—上隔板；6—弹性卡环；7—连接螺环；8—底盖；9—传爆药柱；10—下隔板；11—整流环；12—药型罩；13—整形环；14—连接调整环；15—内风帽。

头部风帽分为外风帽和内风帽两层，内外风帽用连接调整环固定并与壳体连接，装配后与壳体外表面形成的间隙用整形环填充。外风帽的内层与内风帽是 2 个电极，构成电

引信的碰撞开关。当导弹命中目标时,头部风帽变形,内外风帽接触,从而接通引信的点火电路,使雷管起爆,并引爆成型装药。

外风帽是蛋形壳体,外层由塑料热压成型,内层附有一层用黄铜(含铜 58%)板冲成的铜壳,且内表面镀银(银层厚 5μm ~ 9μm)。内风帽同样是蛋形壳体,也是用黄铜板冲成的,其内外表面均镀银(银层厚 5μm ~ 9μm)。

战斗部壳体为铝合金铸件,经机械加工成型,内装空心装药。药型罩是用紫铜板经旋压而成的圆锥形罩。药型罩口部直径 132mm,高度 118mm,壁厚 3mm,锥角为 60°。

装药的主装药采用梯黑混合炸药,其成分为:梯恩梯(25%),黑索今(75%)。隔板后面的辅助装药的成分为:梯恩梯(15%),黑索今(85%)。隔板分前后两块叠在一起,均用硅橡胶制成。传爆药柱装于战斗部底部。

战斗部用螺纹和弹性卡环与发动机连接。

12.5.2 爆炸成型战斗部

爆炸成型战斗部是反坦克弹药的一个分支,它是利用聚能效应爆炸成型,在药型罩压垮过程中不形成射流而是翻转并最终锻造成一个高速弹丸。

爆炸成型弹丸应用比较广,如反坦克、反飞机、反军舰和破坏特殊的硬目标。

如图 12 - 16 所示为一种末敏弹配置的爆炸成型战斗部的结构示意图。该战斗部主要由金属壳体、高能炸药 2 和金属药型罩 1、引信 3 等组成,和聚能射流战斗部的主要区别是药型罩的锥角较大。

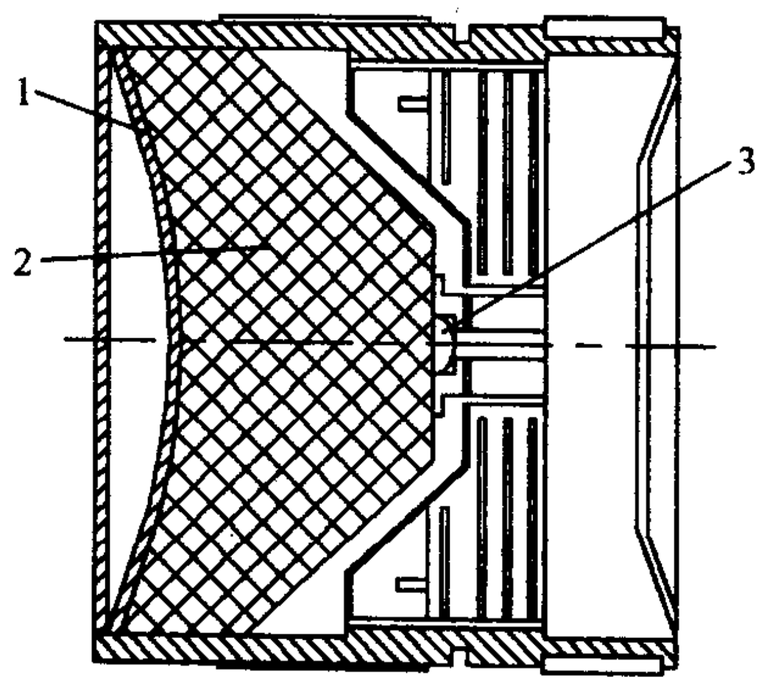


图 12 - 16 爆炸成型战斗部结构示意图

1—药型罩;2—炸药;3—引信。

12.5.3 多聚能射流战斗部

多聚能射流战斗部有两种类型:一种是组合式多聚能装药战斗部,它以小聚能战斗部为基本构件,按照一定的方式组合而成;另一种叫整体式多聚能装药战斗部,它是在整体的战斗部外壳上,镶嵌若干个交错排列的聚能罩。本节主要介绍一种整体式聚能射流战斗部。

这种战斗部具有多个聚能罩,沿壳体的周向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,在壳体结构上可采取如下措施:上一圈药型罩和下一圈药型罩

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可逐圈增大。药型罩的具体直径和数目要根据对付目标、战斗部的尺寸以及制导精度等情况来确定。

药型罩的形状可以是半球形、锥形、球缺形等。锥形药型罩形成的射流速度较半球形药型罩的高，但高度要比底径相同的半球形罩大，相应地形成最佳射流的装药长度也大。有时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经常采用半球形药型罩。

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，前端速度高，后端速度小，再加上战斗部终点速度的影响，随着距离的增加，射流逐步断裂并略有发散地成为金属粒子或破片。这样的粒子和破片具有很高的速度，能够穿透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、通信设备和人员等都具有很强的毁伤能力，另外对油箱具有较强的引燃能力。

“罗兰特”导弹战斗部就是采用此类结构，如图 12 - 17 所示。该战斗部质量 6.5kg，装药量 3.5kg，杀伤半径为 6m。战斗部呈截锥形，其上分布有 50 个半球形药型罩，共分 5 圈，每圈 10 个，圈与圈之间互相交错，药型罩从小端至大端逐圈增大，从轴向观察爆炸后形成的高速离子流，在空间呈菊花状分布。

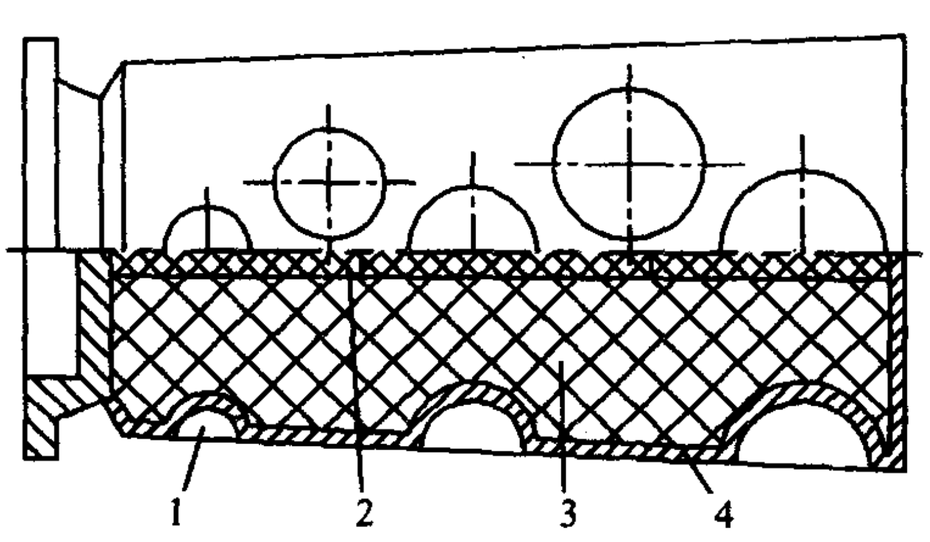


图 12 - 17　“罗兰特”导弹战斗部的结构示意图

1—药型罩；2—传爆管；3—主装药；4—壳体。

对付小脱靶量的空中目标，这种战斗部比破片式战斗部的效果要好一些，在杀伤半径相同时，战斗部的质量小。距离较大时，由于微粒速度衰减快，杀伤效果将迅速下降。

12.5.4　多 P 装药战斗部

又称多自锻破片战斗部，这种战斗部的结构形式与整体式多聚能射流战斗部相似，主要区别是多 P 装药战斗部的浅碟形或厚壁的大锥角罩，爆炸作用下不是形成射流，而是使碟形的底部向外翻转，最后被压合成射弹，即自锻破片。其速度可以达到 1600m/s ~ 2200m/s 甚至更高。药型罩在形成自锻破片的过程中，质量损失很小，所以对目标具有很强的侵彻能力，能穿透(1/2 ~ 1)倍药型罩直径厚的钢板。

药型罩可以由壳体用冲压的方法直接形成，也可以用不同于壳体的材料制成，然后与壳体压合。药型罩可以放置在四周，也可放置在战斗部的端面，如图 12 - 18 所示。

“鸬鹚”空对舰导弹战斗部采用了此型结构，如图 12 - 19 所示。该战斗部质量为 160kg，头部形状为厚壁蛋形，在战斗部壳体内沿圆周分两层设置了 16 个大锥角药型罩。

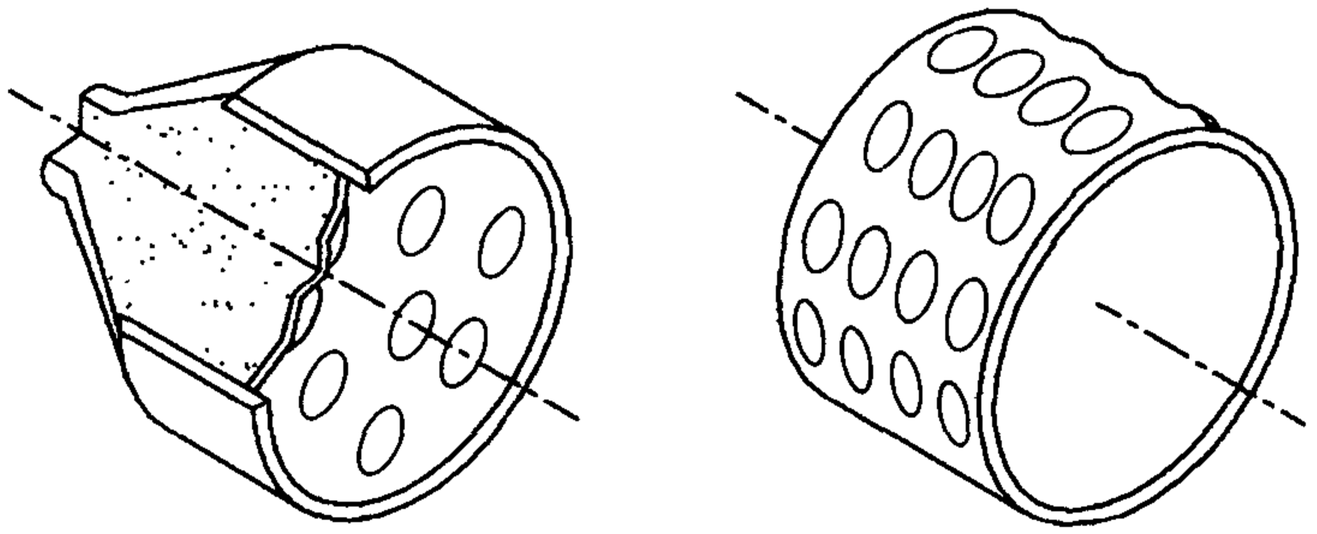


图 12-18 药型罩放置位置示意图

配用延期引信。装药爆炸后可形成速度为 2000m/s 的自锻破片。导弹击中军舰后,依靠其动能可击穿 120mm 厚的钢板,然后侵入船舱内 3m~4m 深处爆炸。实验表明,该战斗部爆炸后可以摧毁舱体约 25 个,比其它战斗部威力要大。

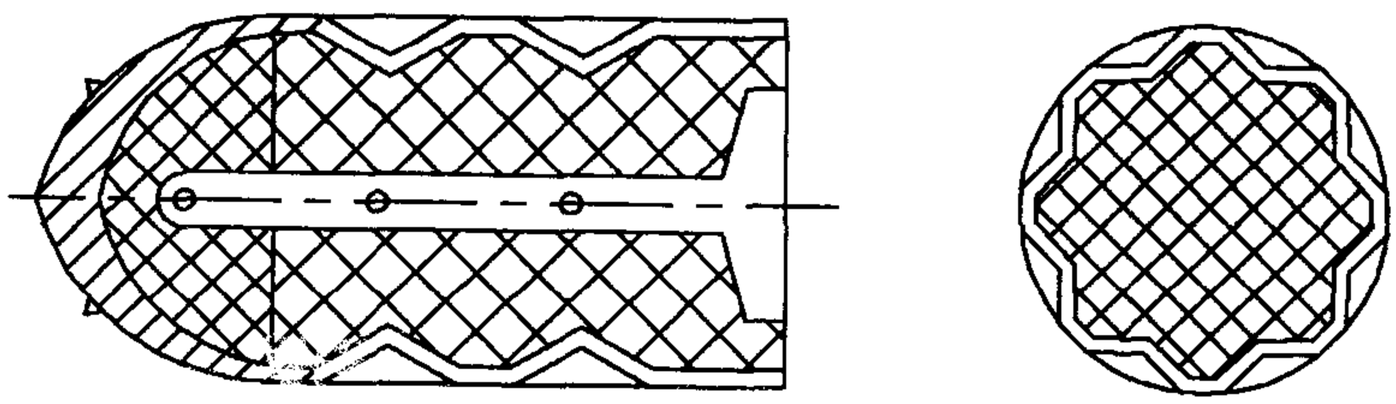


图 12-19 "鸬鹚"战斗部结构示意图

多 P 装药杀伤战斗部的优点是形成的"破片"侵彻能力强,对导弹的战斗部也具有一定的引燃和引爆能力;缺点是药型罩只能沿战斗部壳体放置一层,因此其数量是有限的。

12.5.5 片形射流战斗部

如图 12-20 所示,片形射流战斗部仍然利用聚能效应形成高速金属射流,只是该类型战斗部的药型罩不是轴向对称,而是线形的,因此在爆轰产物作用下形成刀刃形的射流,靠此切割目标。

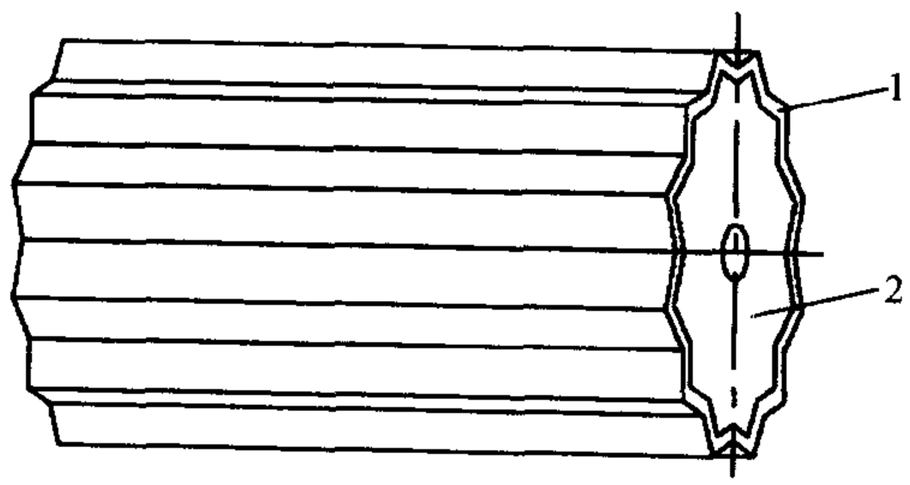


图 12-20 线形聚能装药结构示意图

1—金属罩; 2—炸药。

"白星眼"空对地导弹战斗部就采用了此类结构,如图 12-21 所示。该战斗部直径为 382mm,在装药的圆周上有 8 个同样尺寸的 V 形槽,其上装有低碳钢制成的 V 形药型罩

(锥角 120°,壁厚 6.5mm),并焊接在壳体上。空心装药长 1.8m,炸药质量 200kg(B 炸药)。壳体是 0.85mm 厚的薄钢板焊接成型,构成弹身的蒙皮,以保证导弹具有良好的气动外形。

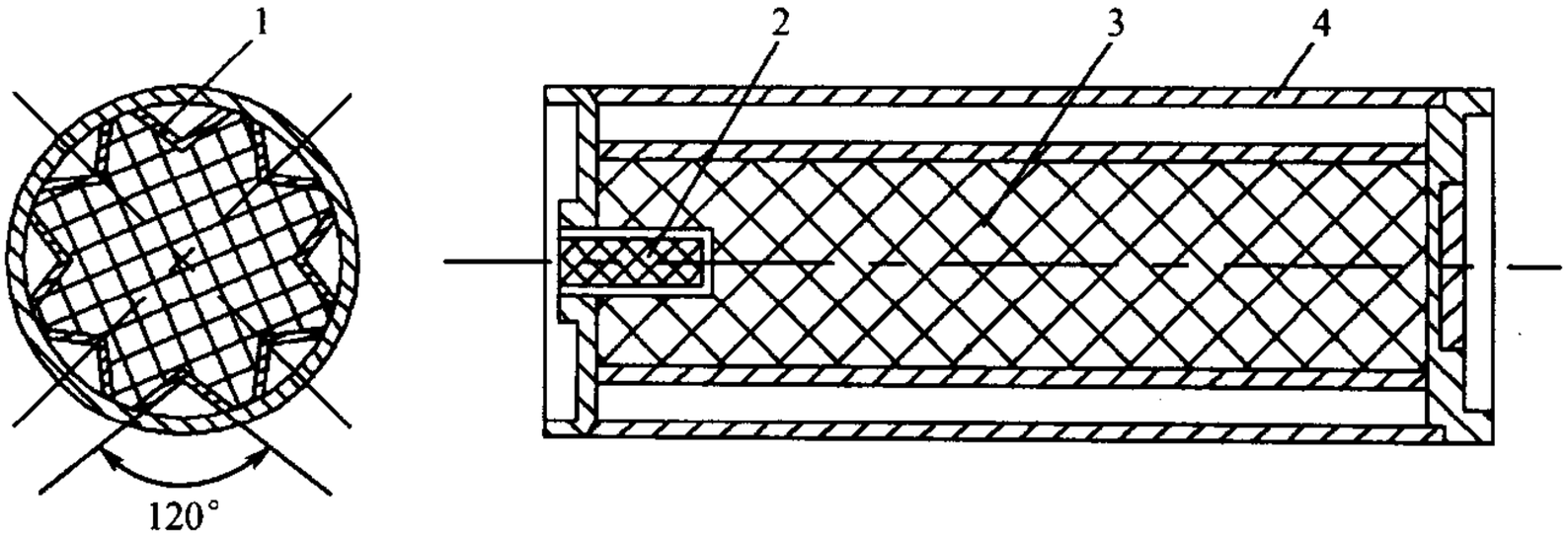


图 12-21　“白星眼”空对地导弹战斗部结构示意图

1—V 形药型罩;2—起爆药;3—炸药;4—壳体。

战斗部爆炸后,在圆周上形成 8 股刀刃状金属射流,每股射流的切割长度为 1.7m。另外,此类战斗部具有很强的爆破威力,可用来攻击海上舰艇、地面桥梁,也可用于对付坦克和装甲车辆。

12.6　侵彻战斗部

侵彻战斗部属于内爆战斗部,靠战斗部壳体的结构强度和引信的延迟作用,进入目标以后爆炸。最初此类战斗部主要用来对付坦克、水面舰艇等带有装甲的目标,因此也称之为半穿甲弹,近年来,在反机场跑道、机库及混凝土工事等方面得到了广泛的应用。

12.6.1　作用原理

半穿甲战斗部是基于穿甲弹和爆破弹发展而来的,所以同时兼具侵彻和爆破功能,是目前对付水面舰船和地下深层目标较为理想的战斗部,得到了国内外普遍的重视和应用,如国外的“企鹅”、“飞鱼”、“奥托马特”、“捕鲸叉”、“白蛉”等都采用了此类战斗部。侵彻战斗部的作用原理是首先穿透几十毫米厚的船舷或几米深的混凝土工事,进入舰体或地下工事内爆炸,犹如在密闭的容器中爆炸,爆炸能的无用消耗很少,获得比外爆式爆破战斗部更大的破坏效果。同时,冲击波超压在刚性结构上的反射增压,将使冲击波超压提高(2~5)倍,最大可达 8 倍,进一步增强了破坏效果。

12.6.2　结构及组成

由于半穿甲战斗部实质上就是内爆式爆破战斗部,因此其结构和组成与爆破战斗部基本相同,由壳体、炸药、引信等组成。主要区别有如下几点:

① 半穿甲战斗部要求侵入目标后再爆炸,所以壳体壁较厚,即结构强度更高;

② 半穿甲战斗部普遍采用的是延迟时间引信,而爆破战斗部则大部分采用的是触发引信或近炸引信;

③ 为了防止炸药在侵彻过程中早炸,大多数战斗部在主装药前装有惰性装填物或弹性炸药。

侵彻战斗部的结构形状有两种:尖卵形头部结构和平板形头部结构。

12.6.2.1 尖卵形头部结构

“飞鱼”系列导弹战斗部、“鸬鹚”导弹战斗部、“小斗犬”导弹以及“战斧”巡航导弹等都是尖卵形头部结构,如图 12-22 所示。

该类型战斗部结构特点是弹体头部尖锐,壁较厚,向后逐渐减薄,以保证侵彻时弹体的强度,炸药的前部装填惰性材料,避免侵彻时炸药早炸。

尖卵形头部结构的优点是战斗部在穿甲过程中受力状态较好。缺点是稳定性差,斜撞击时容易跳弹,因此,头部必须采取防跳弹措施。

12.6.2.2 平板形头部结构

“鱼叉”式反舰导弹战斗部就是这种结构,如图 12-23 所示。这种头部结构的优点是战斗部与目标撞击时稳定性好,具有良好的防跳弹性能。缺点是战斗部在穿甲过程中受力状态较差。因此,在战斗部头部壳体和炸药之间设有惰性材料缓冲垫,缓冲垫的材料成分为:与干固水泥相类似的石膏混合物 65%,蓖麻蜡 35%,外加树脂。

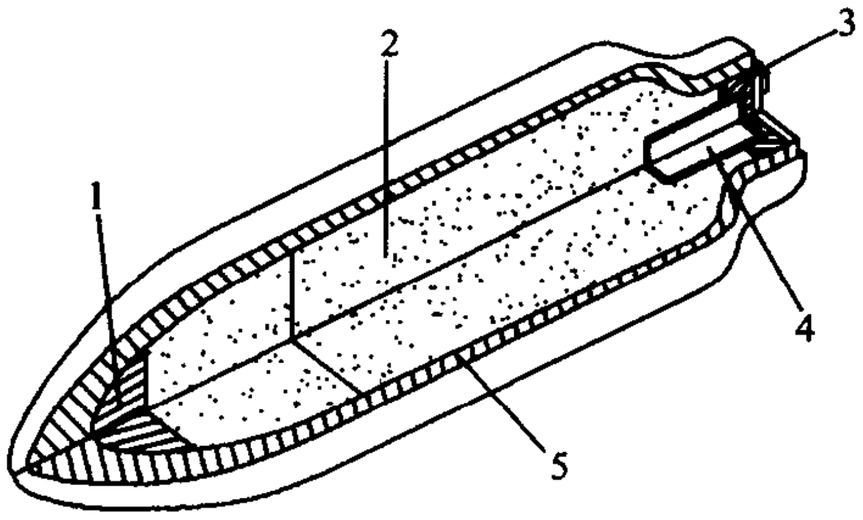


图 12-22 尖卵形侵彻战斗部结构示意图

1—惰性填充物;2—炸药;3—底螺;4—引信;5—弹体。

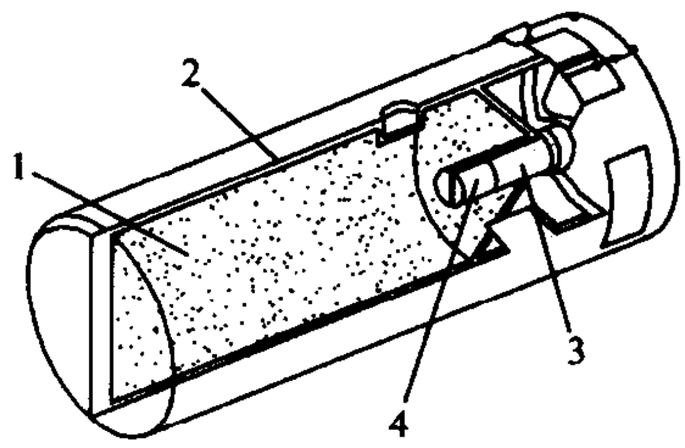


图 12-23 平板形头部结构战斗部示意图

1—炸药;2—壳体;3—保险/解脱装置及触发引信;4—传爆药。

12.7 串联战斗部

串联战斗部是把两种以上的单一功能的战斗部串联起来组成的复合战斗部系统。串联战斗部最初主要用于对付反应装甲,近年来,在反机场跑道、反地下工事等硬目标战斗部中得到广泛应用。

12.7.1 反击反应装甲的串联战斗部

反击反应装甲的串联战斗部通常采用破—破式两级串联战斗部,当命中目标时,第一级装药形成的射流碰击反应装甲,引爆其炸药,炸药爆轰使反应装甲金属板沿其法线方向向外运动和破碎,经过一定延迟时间,待反应装甲板破片飞离弹轴线后,第二级装药形成

的主射流在没有干扰的情况下，顺利侵彻主装甲。

我国“红箭”9 反坦克导弹的战斗部就是采用了破—破两级串联结构，如图 12 - 24 所示，主要由前置装药 8 和主装药 4 组成。主装药采用双锥形紫铜药型罩。在战斗部前端采用可伸缩式双节炸高棒，平时受发射筒的束缚而叠套在一起，发射后内炸高棒在弹簧力推动下弹出并锁定。当前置装药撞击反应装甲爆炸时，两炸高棒在连接处成为薄弱环节，在前级装药爆轰载荷作用下断裂，从而减弱前级爆炸对后级的影响并保证了后级装药的有利炸高和提供反应装甲面板的飞散通道，使后级装药射流沿反应装甲让开位置侵彻主装甲。另外，在前后级装药之间加装非金属材料隔爆体，进一步保护后级装药免受前级装药爆炸的影响。前置装药采用弹顶压电弹底起爆方式，后级主装药采用电子延时非接触引信。

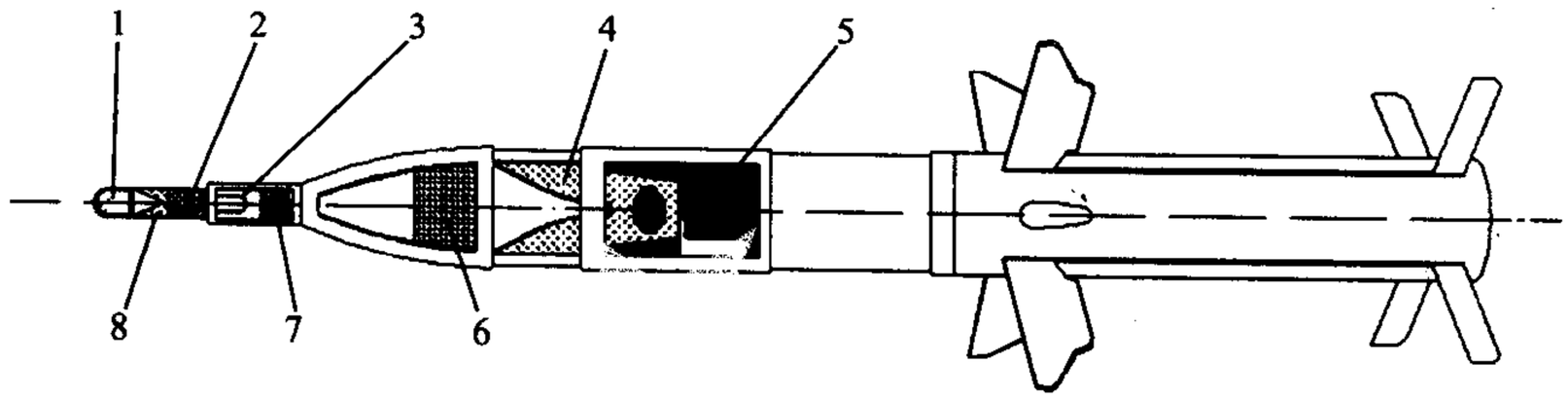


图 12 - 24　“红箭”9 反坦克导弹战斗部结构示意图

1—撞击开关；2—压电引信；3—伸缩杆；4—主装药；5—引信；6—隔爆体；7—压缩弹簧；8—前置装药。

12.7.2　反击混凝土目标的串联战斗部

反击混凝土坚固目标(机场跑道、混凝土工事等)的串联战斗部通常采用破—爆型战斗部，即前级为空心装药或大锥角自锻破片装药，后级为爆破战斗部。图 12 - 25 所示为一破短线爆型反跑道及反硬目标串联战斗部结构示意图。

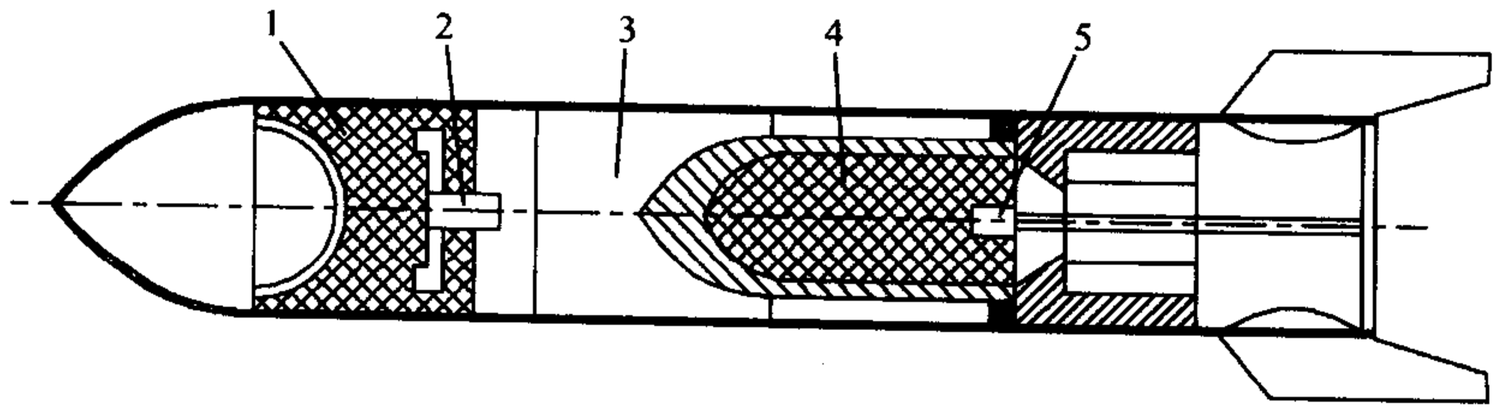


图 12 - 25　破—短线爆型串联战斗部结构示意图

1—前级；2—前级引信；3—隔爆体；4—后级；5—后级引信。

如图 12 - 25 所示，该战斗部主要由前、后两级装药和隔爆体 3 部分组成。其中前级是聚能装药，起开坑作用；后级为直径小于前级的侵彻战斗部，利于随进侵彻；隔爆体的作用是防止前级爆炸引起后级殉爆。前、后两级分别设有引信，控制战斗部的起爆时间。

该类战斗部的工作特点是：前置的聚能装药在跑道路面打开一个大于随进战斗部直径的通道，随进战斗部在增速装药的作用下，通过该通道进入目标内部，从而实现高效毁伤。

由于串联战斗部利用了不同类型战斗部的作用特点，通过合理的组合达到对一些典型目标的最佳破坏效果，因此，与单一战斗部相比，在达到相同毁伤效果时，往往战斗部质

量可大大减轻。特别是在低空投放、战斗部着速较低时，对地下深埋目标及机场跑道、机库等硬目标，串联战斗部更具有独特的优势，因而近几年来受到各国普遍重视。除上面介绍的两种典型结构（破—破式，破—爆式）外，还有穿—爆式、破—穿式以及三级破—穿—爆式等多种类型。

12.8 定向杀伤战斗部

传统破片杀伤战斗部的杀伤元素的静态分布沿径向基本是均匀分布的（通常称之为“径向均强型战斗部”），当导弹与目标遭遇时，不管目标位于导弹的哪一个方位，在战斗部爆炸瞬间，目标在战斗部杀伤区域内只占很小一部分。也就是说，战斗部杀伤元素的大部分不能得到利用。因此，人们想到能否增加目标方向的杀伤元素（或能量），甚至把杀伤元素全部集中到目标方向上去。这种能把能量在某一方位相对集中的战斗部就是定向杀伤战斗部。

定向杀伤战斗部是近年来发展起来的一类新型结构战斗部，它的应用将大大提高对目标的杀伤能力，或者在保持一定杀伤能力的条件下，减少战斗部的质量。在使用定向战斗部时，导弹应通过引信或弹上其它设备提供目标脱靶方位的信息并选择最佳起爆位置。下面介绍几种典型的定向杀伤战斗部结构。

12.8.1 偏心起爆式定向杀伤战斗部

这一类结构的壳体与径向均强型战斗部没有大的区别，但其内部结构不同。主装药由互相隔开的 4 部分（位于Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，Ⅳ4 个象限）组成，4 个起爆装置（1，2，3，4）偏置于相邻两装药之间靠近弹壁的地方，弹轴部位安装安全执行机构，结构的横截面示意图如图 12－26 所示。

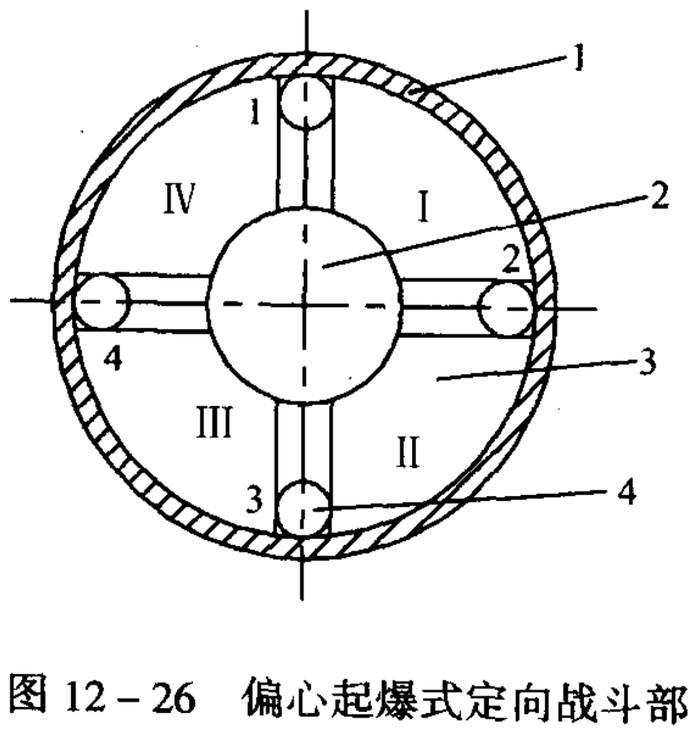


图 12－26 偏心起爆式定向战斗部

1—破片层；2—安全执行机构；3—主装药；4—起爆装置。

当导弹与目标遭遇时，弹上的目标方位探测设备测知目标位于导弹径向的某一象限内，于是通过安全执行机构，同时起爆与之相对的那个象限两侧的起爆装置，如果目标位于两个象限之间，则起爆与之相对的那个起爆装置。此时，起爆点不在战斗部轴线上而有径向偏置，叫偏心起爆或不对称起爆。由于偏心起爆的作用，改变了战斗部杀伤能量在径向均匀分布的局面，而使能量向目标方向相对集中。起爆装置的偏置程度对径向能量的

分布有很大影响，越靠近弹壁，目标方向的能量增量越大。

此类战斗部的特点是：可提高指向目标方向的破片初速，但破片数目增加不明显。

12.8.2　破片芯式定向杀伤战斗部

破片芯式定向战斗部的杀伤元素放置于战斗部中心，在主装药推动破片飞向目标之前，首先通过辅助装药将正对目标的那部分战斗部壳体炸开，并推动临近装药向外翻转，有的甚至将正对目标的一部分弧形部炸开。

典型结构如图 12－27(*a*)所示。战斗部主装药由 6 部分扇形装药组成，各扇形装药之间以隔离炸药片隔开，后者与战斗部等长，其端部有聚能槽，用以切开装药外面的金属壳体(此壳体仅作为装药的容器，而不是为了产生破片)。战斗部的中心部位为预制破片芯。当目标方位确定后，导弹给定的信号使离目标最近的隔离炸药片起爆系统引爆隔离炸药片，在战斗部全长度上切开外壳，使之向两侧翻卷，并使该部分的扇形主装药被抛撒开而爆炸，为破片飞向目标方向让开道路，如图 12－27(*b*)和(*c*)所示。随后，与目标方位相对的主装药起爆系统起爆，使其余的扇形体主装药爆炸，推动破片芯中的破片无阻碍地飞向目标，如图 12－27(*d*)所示。

此类战斗部的特点是：指向目标方向的破片密度和速度均较高。

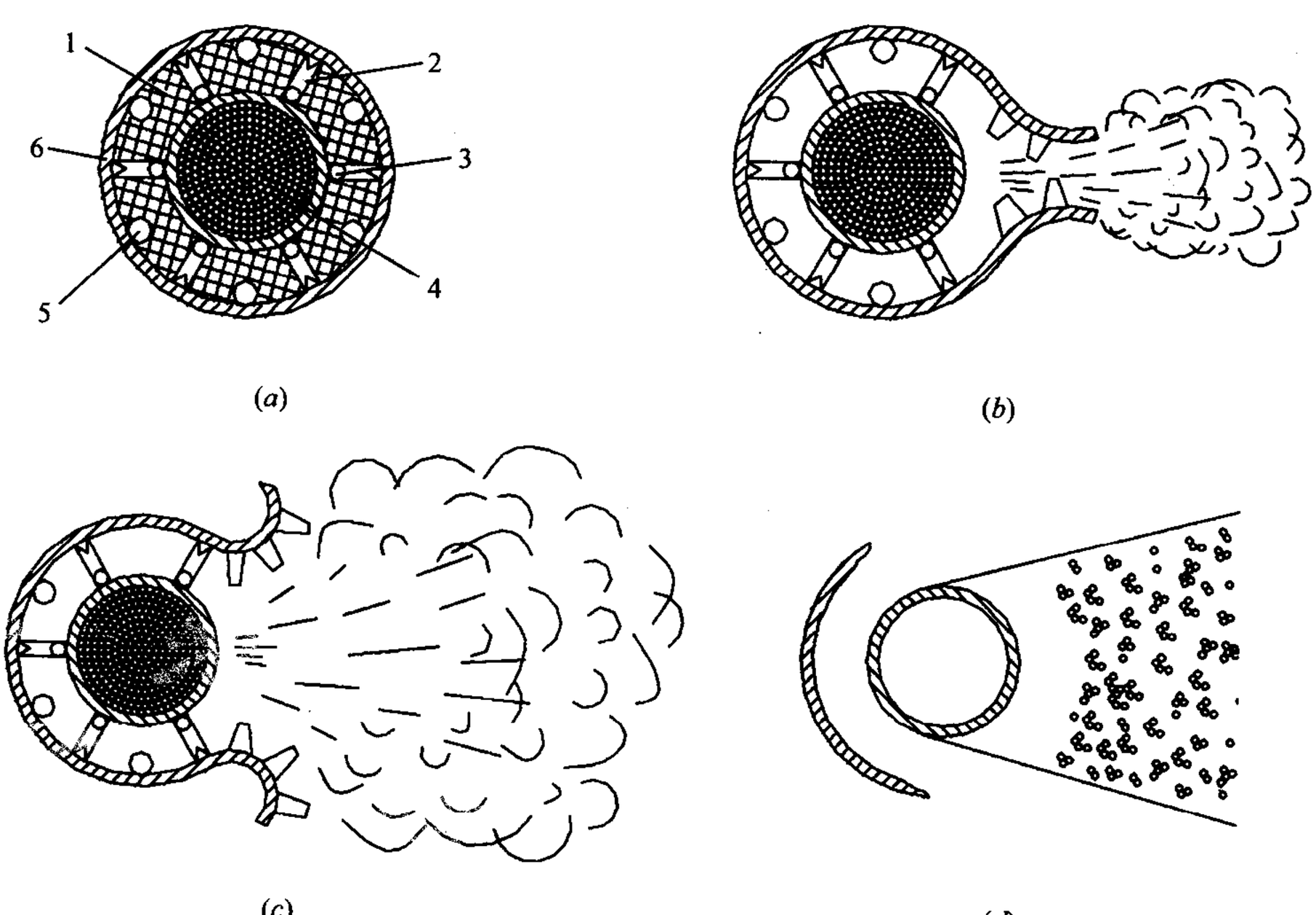


图 12－27　破片芯式定向杀伤战斗部结构及作用过程示意图

1—主装药；2—隔离炸药片；3—隔离炸药片起爆系统；4—预制破片芯；5—主装药起爆系统；6—壳体。

12.8.3　可变形定向杀伤战斗部

可变形定向杀伤战斗部是指在起爆主装药前，通过起爆辅助装药，从而改变战斗部的

几何形状,使战斗部的破片尽可能多地对准目标,达到破片在目标方向上的高密度,从而实现定向杀伤。

此种定向战斗部是通过采用燃烧快、爆速低,又具有炸药特性的烟火剂或推进剂作为辅助装药,实现对战斗部及其主装药(液态或塑性炸药)的二次成型。首先起爆辅助装药,实现对战斗部及其主装药的迅速成型,使得战斗部及其主装药变形后的形状,有利于在起爆主装药后,使飞散的破片聚集在一个狭窄的与目标相交的锥带面内,从而使战斗部的大部分能量作用在目标上,实现对目标的有效杀伤,但辅助装药又不致于引爆主装药。

如图 12-28(*a*)所示,这种战斗部的结构主要由外层圆筒 5、内层圆筒 2、炸药 1、多个块状辅助装药 3 和起爆管 4 组成。外层的圆筒上加工预制槽来获得破片。主装炸药装填于内、外层圆筒之间,炸药可以是液态或经过改制的低密度的塑性炸药;块状辅助装药是一种用作推进的低爆速推进剂,均匀放置于外层圆筒外面。如果需要可以直接用战斗部壳体和块炸药取代导弹外壳。用于起爆主装药的起爆管放置在战斗部内部主装药中,如果需要可以采用 2 个起爆管同时起爆,它们位于战斗部的相反两端。用于选择块状辅助装药起爆所需的起爆器,与用于适时起爆战斗部主装药的起爆选择器是匹配相连的。

作用时,例如选择 A 处的块状辅助装药起爆,具有炸药特性的块状辅助装药迅速燃烧而爆炸,使战斗部破片筒变形为凹向目标的弧形,如图 12-28(*b*)所示,但又不使其破裂,然后通过位于与块状辅助装药径向反向的 B 处起爆装置起爆,从而使朝向目标方向的破片汇聚,并指向目标,由此实现定向。

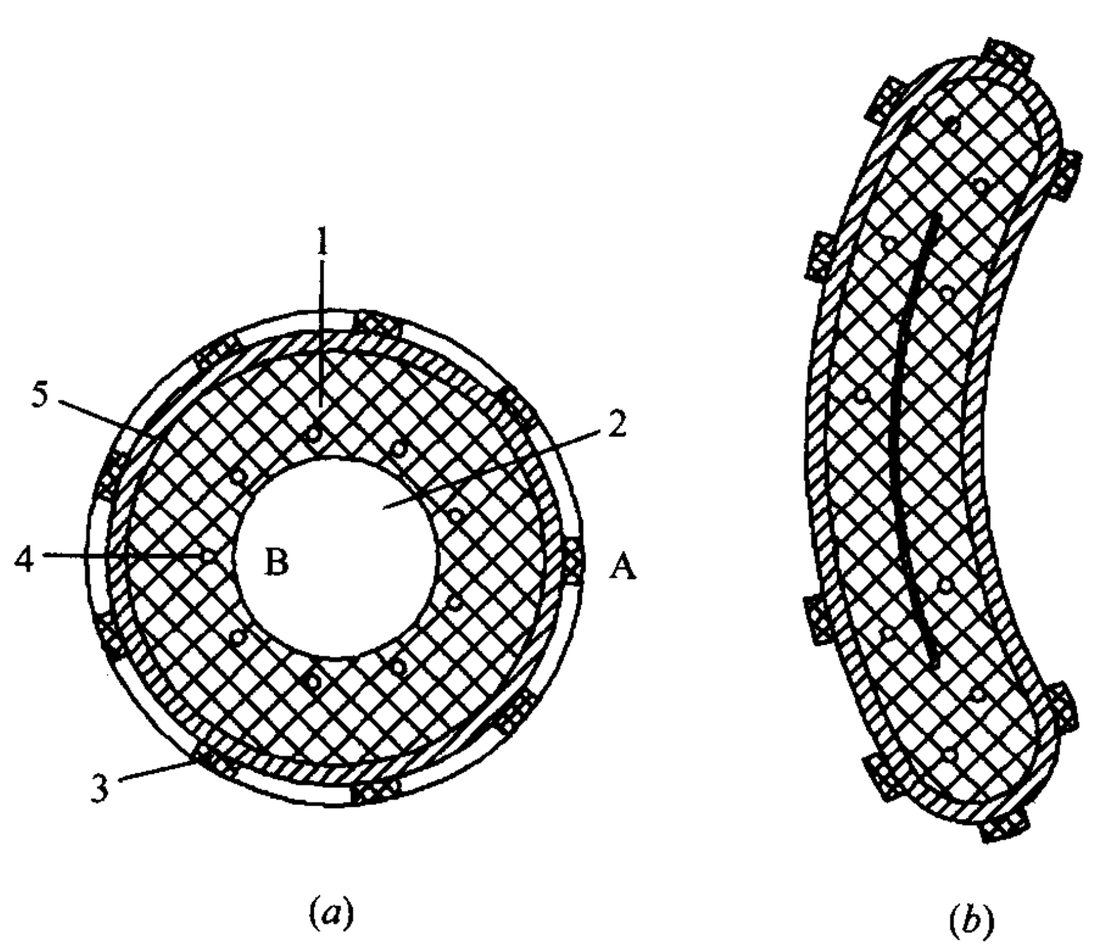


图 12-28 可变形壳体定向战斗部

(*a*)变形前;(*b*)变形后。

1—炸药;2—内层圆筒;3—辅助装药块;4—起爆管;5—外层圆筒。

12.8.4 展开型定向杀伤战斗部

展开型定向杀伤战斗部在弹道末段能够将轴向对称的战斗部一侧剪开并展开,使所有的破片都面向目标,在主装药的驱动下,飞向目标,从而起到定向杀伤的作用。

如图 12-29 所示,圆柱形战斗部分成 4 个互相连接的扇形体,预制破片排列在各扇

形体的圆弧面上，各扇形体之间用隔离层分隔，隔离层中紧靠 2 个铰链处各有一个小型聚能装药，靠中心有与战斗部等长的片状装药。2 个铰链之间有一压电晶体，扇形体 2 个平面部分的中心各有一个起爆该扇形体主装药的传爆管。当确知目标方位后远离目标一侧的小聚能装药起爆，切开相应的 2 个铰链，与此同时，此处的片状装药起爆（由于隔离层的保护，小聚能装药和片状装药的起爆都不会引起主装药的爆炸），使 4 个扇形体以剩下的 3 对铰链为轴展开，破片即全部朝向目标，在扇形体展开过程中，压电晶体受压，产生大电流、高电压脉冲并输送给传爆管，传爆管引爆主装药，全部破片飞向目标。

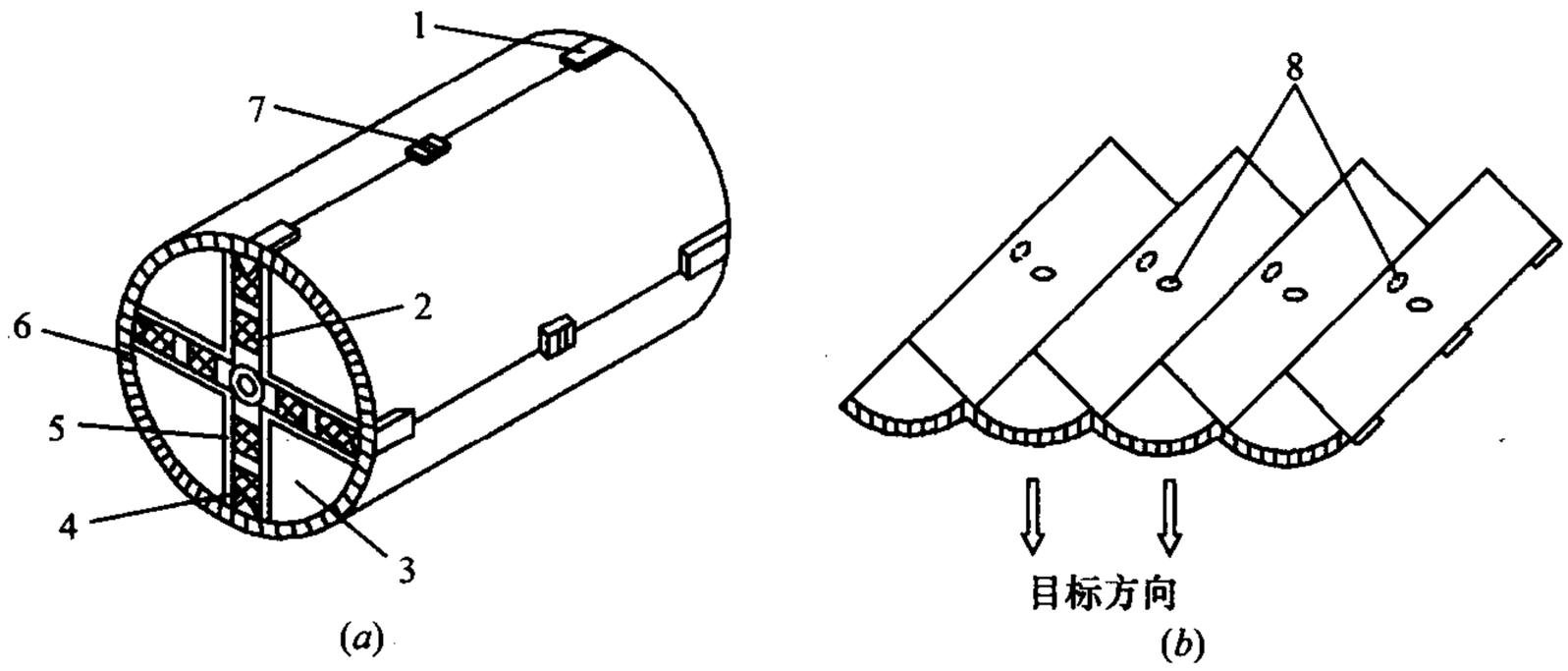


图 12－29　展开式定向战斗部

(a)展开前；(b)展开后。

1—铰链；2—隔离层；3—主装药；4—小聚能装药；5—片状装药；6—破片层；7—压电晶体；8—传爆管。

12.8.5　聚焦战斗部

前面介绍的定向战斗部是通过特定的结构或起爆方式，使战斗部周向的能量在某一方向汇聚并指向目标，而聚焦战斗部是一种使轴向的能量在某一方向汇聚的战斗部，它通过特殊的战斗部结构使能量汇聚。如图 12－30 所示。

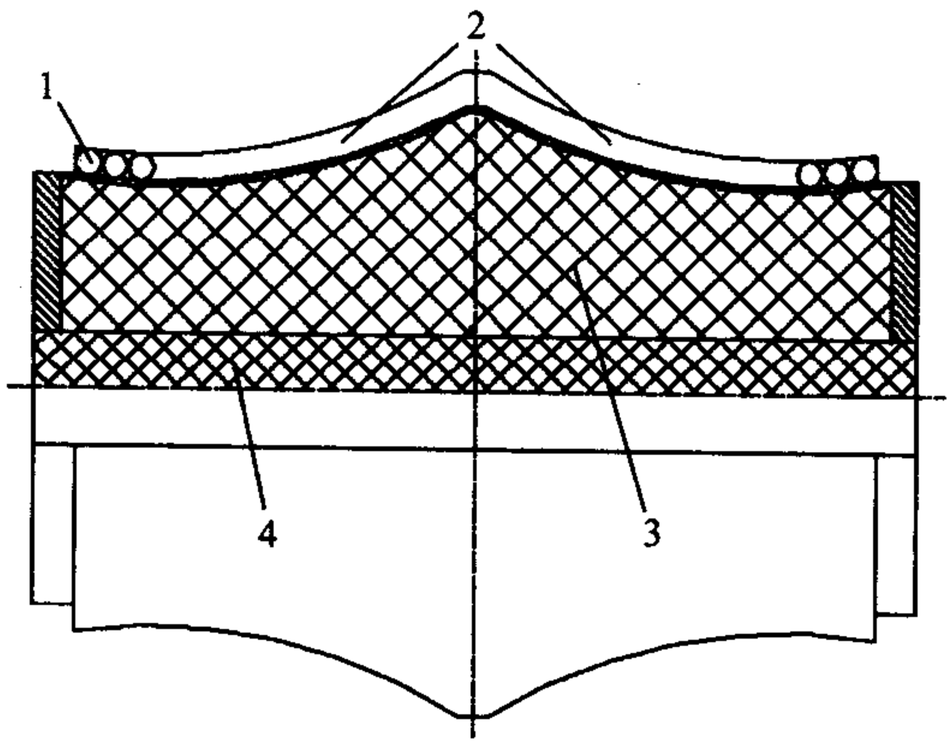


图 12－30　聚焦战斗部结构示意图

1—预制破片；2—聚焦带；3—炸药；4—起爆装置。

这类战斗部的组成与预制破片杀伤战斗部相同,其主要特点是壳体母线采用了向内凹的结构,通过控制战斗部爆炸后破片所受的驱动力的方向,从而控制轴向上不同位置处的破片向某处汇聚,形成破片聚焦带。聚焦带处的破片密度大幅度增加,若聚焦带能命中目标,将大大提高对目标的毁伤能力。聚焦带的宽度、方向以及破片密度由弹体母线的曲率、炸药的起爆方式、起爆位置等因素决定,可根据战斗部的设计要求来确定。聚焦带可以设计为一个或多个,图中的战斗部结构有 2 个弧段,因此可形成 2 个聚焦带。

对于聚焦型战斗部,虽然聚焦带处破片密度增加了,但破片带的宽度减小了,对目标的命中概率会降低,所以该型战斗部适宜于制导精度较高的导弹,并且通过引战配合的最佳设计使聚焦带命中目标的关键舱段。

除以上介绍的几种定向战斗部结构类型外,还有很多类似的结构。实际上,不论具体结构如何,最终都是达到一个目的,即增加目标方向的杀伤元素,提高对目标的毁伤能力。

从前面介绍的几种典型结构可以看出,定向战斗部结构比普通的径向均强型战斗部要复杂得多,技术问题也较多,其中涉及到起爆系统的设计、装药设计、破片飞散状态的控制等。

12.9 子母式战斗部

子母式战斗部又称集束式战斗部,由子弹、子弹抛射系统、障碍物排除装置、母体等组成。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、射流、破片等手段毁伤目标。

子母战斗部的使用增大了战斗部的杀伤面积,提高了战斗部的效率,在反机场跑道、反装甲集群等目标方面得到了广泛的应用。

12.9.1 子弹

子弹是子母式战斗部毁伤目标的基本单元,根据毁伤机理,子弹有爆破式、破片杀伤式和聚能式等多种类型;根据飞行性能,子弹可分为稳定型和非稳定型两种。

12.9.1.1 非稳定子弹

非稳定子弹有梯形(见图 12 - 31)、球形(见图 12 - 32)、立方体等。

典型的非稳定型子弹由壳体、抛射管、引信和装药口盖(或塞子)组成。梯形壳体上有 2 个带内螺纹的卡环,引信和装药口盖拧在卡环上。壳体的厚度主要由结构要求来确定,应能经受得住抛射力,一般由金属材料(如铝)轧制焊接而成。引信和装药口盖的安装环通常由铝合金制成,并焊在壳体的表面上。引信口盖和装药口盖也由铝合金制成。

抛射管通常由钢制成,一端封闭,另一端装法兰盘,抛射管装在子弹里面。非稳定型子弹撞击目标时方位不定,为了确保子弹起爆,要求使用万向引信,不管以何种方位击中目标都能可靠起爆。此外,万向引信还提供远解和自毁功能。子弹的装药通过装药口装入。

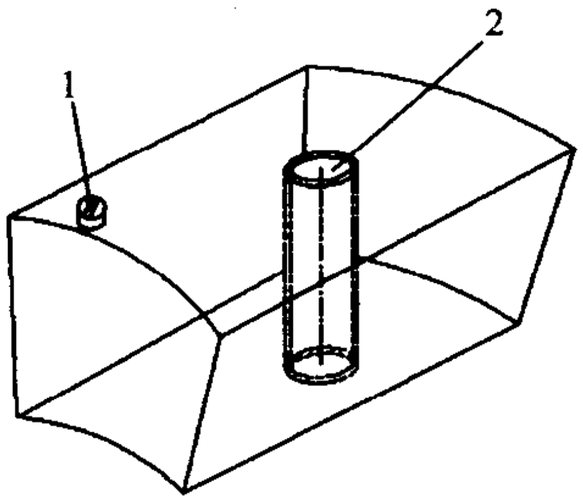


图 12－31　梯形壳体子弹

1—填料盖；2—抛射管。

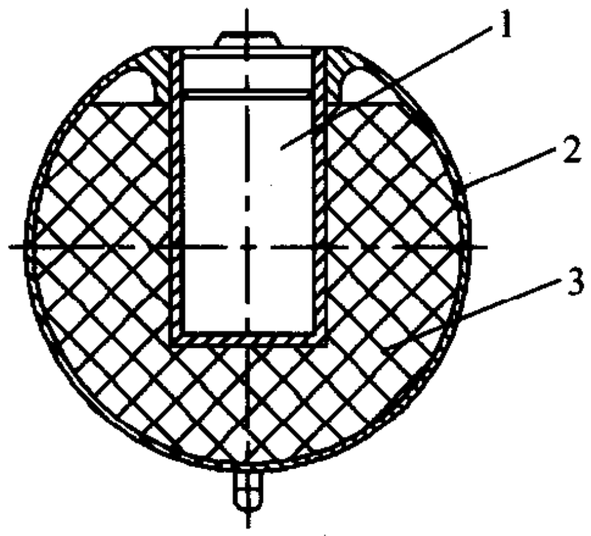


图 12－32　球形子弹

1—引信；2—子弹壳体；3—炸药。

抛射时，点火头点燃抛射管中的抛射药，抛射药燃烧产生的压力作用在抛射管上，通过法兰盘把爆发力传给子弹。

非稳定式子弹的优点是没有专门的稳定装置，因而体积小，加工和组装容易，在给定的战斗部容积内可容纳较多的子弹。缺点是要使用万向引信，并且在飞行过程中受到的阻力较大。

12.9.1.2　稳定型子弹

稳定型子弹带有尾翼或其它产生阻力的装置。稳定型子弹是在万向引信不适用的情况下采用，常采用阻力管、阻力板、阻尼伞、固定翼和折叠翼来实现子弹的稳定。

固定尾翼对子弹稳定来说是比较理想的，但难于排装，因而考虑使用折叠翼。如图 12－33 所示为“麻雀Ⅰ”战斗部所使用的折叠翼。该设计使用了单轴旋转的折叠式尾翼，有如下的性质：

① 折叠时，尾翼平贴在子弹的表面上，张开时，尾翼形成常规外形的部分，即各个翼面相交在公共线上；

② 抛射力借助旋转轴以极快的速度打开尾翼，不需要弹簧或其它装置。

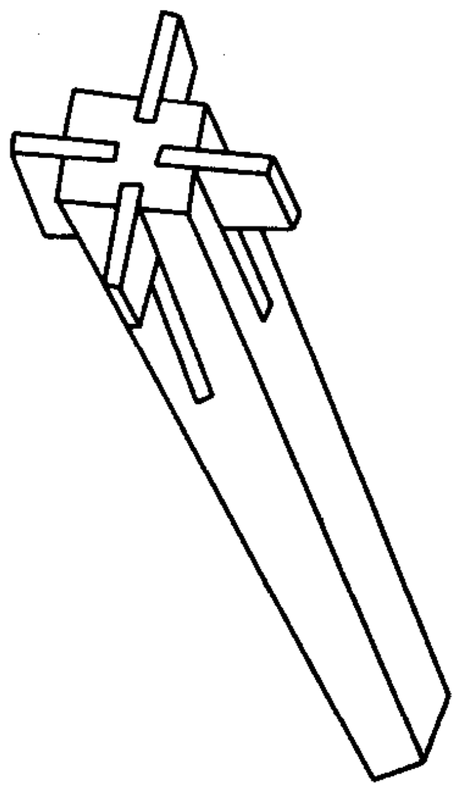


图 12－33　折叠翼示意图

在设计时究竟采用那一种稳定形式的子弹，主要取决于子弹对目标的破坏形式、子弹的形状和子弹的性能。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。

12.9.2　子弹抛射系统

子弹抛射系统的作用是利用火药或炸药的能量，将子弹以一定的方向和速度抛射出去，使子弹获得理想的散布，从而提高子弹命中并杀伤目标的概率。在此过程中，还必须保证子弹及其引信的全部功能不被破坏，这样抛射速度将受到很大限制。一般情况下，保证子弹不受破坏的实际安全抛射速度为 200m/s 以内。子弹抛射系统的类型有很多，下面介绍 3 种比较典型的子弹抛射系统。

12.9.2.1 整体式中心装药子弹抛射系统

在此抛射系统中,抛射药装在位于纵轴的铝管内,球形子弹沿着纵轴逐圈交错排列,装药与子弹间留有一定的空气间隙,如图 12-34 所示。若间隙小,子弹的速度就大,但子弹较易受到损坏;反之,若间隙大,子弹的速度就小,但子弹不易受损。

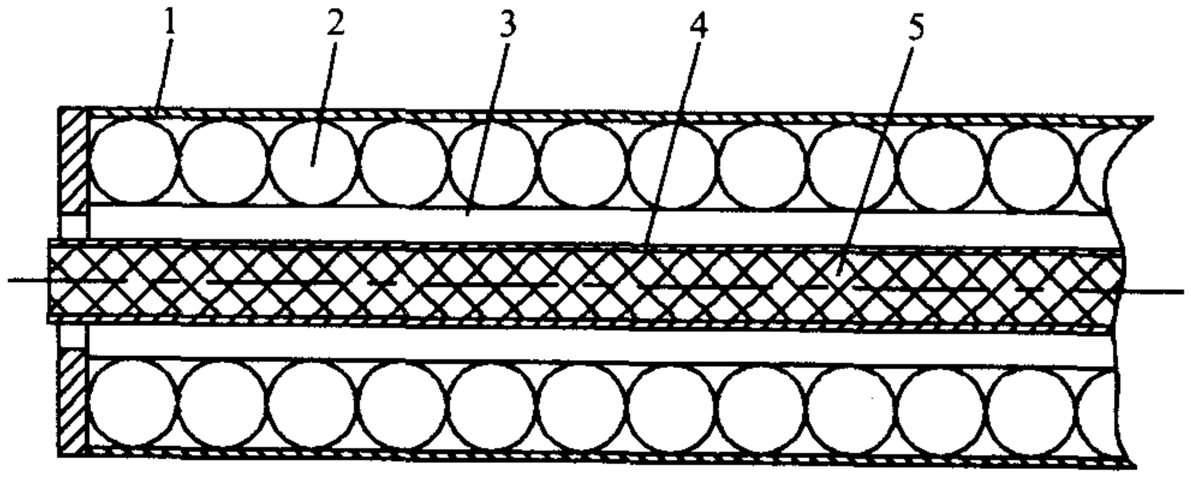


图 12-34 中心装药抛射系统示意图

1—蒙皮;2—子弹;3—支撑结构;4—铝管;5—抛射药。

装药可选用火药或炸药。前者,子弹的速度低,但受到的冲击小;后者,子弹的速度高,但易受到破坏。

沿战斗部轴向装药型状有 3 种形式:一是轴向均匀的装药,子弹获得的速度大致相等;二是沿轴向阶梯形装药,子弹的速度按装药的阶梯数分成几组;三是装药量沿轴向连续变化,子弹的速度沿轴向成线性分布。

这种抛射方法采用了中心爆室,子弹加速的行程小,因此为了达到足够的抛射速度,需要有很大的加速力。

12.9.2.2 枪管式抛射系统

枪管式抛射系统结构如图 12-35(*a*)所示,钢制的枪管是子弹结构的组成部分,位于子弹的中心,与子弹的支撑管严密配合,抛射火药装于支撑管内。火药点燃后,高压燃气作用于枪管并把子弹推出。

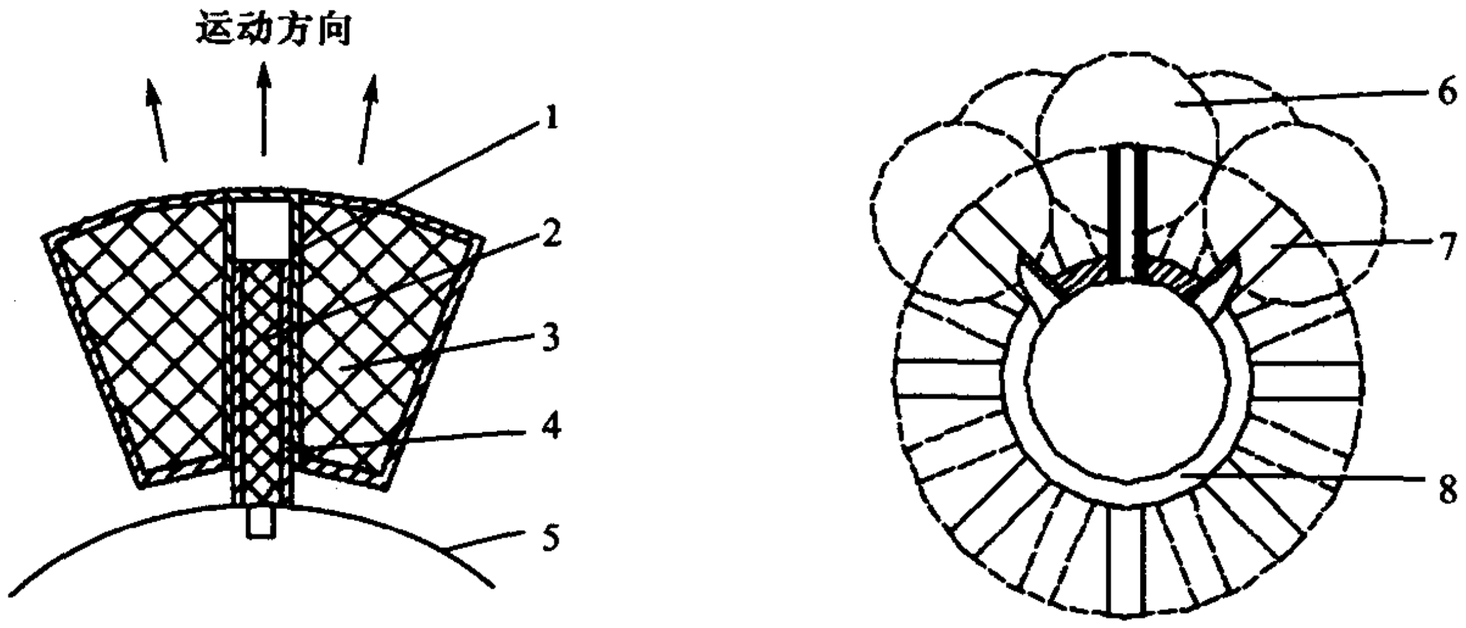
径向抛射速度取决于发射药装药产生的压力、抛射管内膛面积、子弹的质量以及行程长度。由于枪管的长度都较短,必使火药非常快地建立最大膛压,但相当缓慢地下降。

子弹在最大压力建立之前被锁定,便于利用抛射管的行程全长,充分发挥其优点。

另一种结构如图 12-35(*b*)所示,整个战斗部只有一个共用的火药燃烧室,燃烧室壁装有若干枪管,每个枪管上安装一个子弹,燃气压力通过各个枪管传送给子弹,把子弹抛射出去。这种结构,子弹获得的速度基本一致。要使子弹具有不同的速度,可使枪管具有不同的口径,同时,子弹与枪管相配的零件也要有不同的尺寸。

12.9.2.3 膨胀式抛射系统

膨胀式抛射系统是通过抛射药产生的高温高压气体使可膨胀衬套快速膨胀,使其周



(a)　(b)

图 12－35　枪管抛射结构示意图

1—枪管；2—燃烧室；3—子弹装药；4—支撑管；5—导弹舱内支架；6—子弹；7—枪管；8—战斗部中心管。

围的子弹获得一定的抛射速度。膨胀式抛射装置的具体结构也很多，下面以星形框式和橡胶管式为例进行介绍。

(1) 星形框式抛射系统

如图 12－36 所示，星形框式的可膨胀衬套是星形，它把弹舱和子弹在径向分成若干个间隔(图中为 6 个)。衬套中间为柱形燃烧室，燃烧室壁上有与间隔数相应的排气孔。抛射药点燃后，燃气经排气孔向密闭的衬套内腔充气，衬套膨胀并最终把子弹抛射出去。由于衬套膨胀和子弹抛射的过程很快，为了充分利用火药能量，与枪管抛射的情况类似，也要求从火药的性能和药型上保证火药的快速和完全燃烧，以及在峰值压力建立前对子弹进行约束。

(2) 橡胶管式抛射装置

该抛射装置利用橡胶管作为膨胀衬套，如图 12－37 所示，主要由抛射药 7、燃烧室、橡胶管 3、支撑梁 6 等组成。燃烧室产生的燃气经小孔排出，使橡胶管逐渐膨胀，最后把子弹和支撑梁推出。

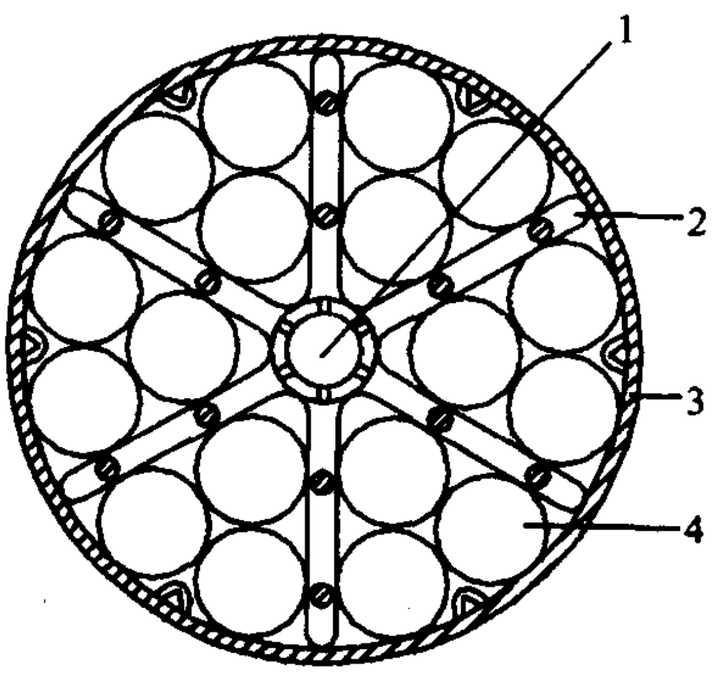


图 12－36　星形框式子母战斗部示意图

1—燃气发生器；2—衬套；3—壳体；4—子弹。

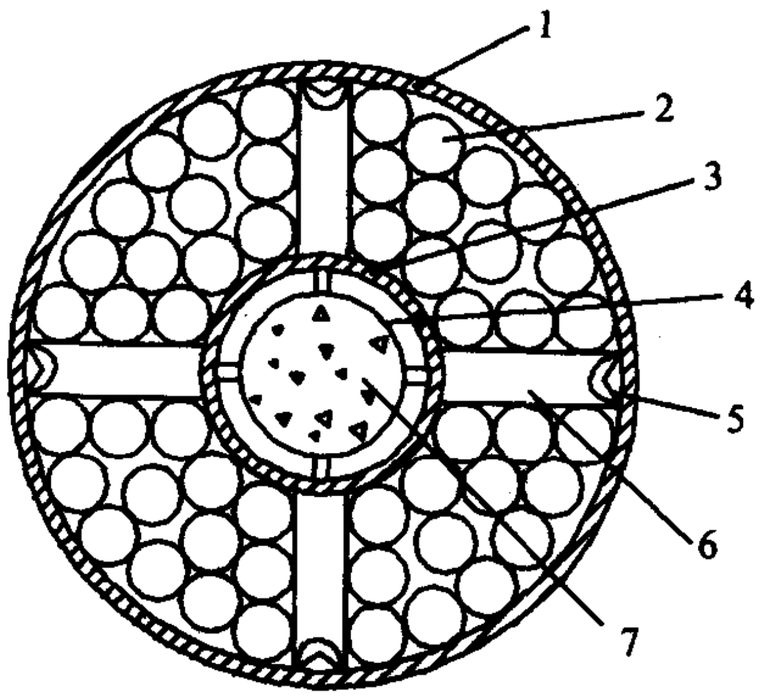


图 12－37　橡胶管抛射装置示意图

1—蒙皮；2—子弹；3—橡胶管；4—燃气发生器；5—切割装药；6—支撑梁；7—抛射药。

本装置较星形框式抛射装置简单,工艺性好,但在膨胀过程中很快就破裂,燃气从中泄漏,能量利用率低,子弹抛掷初速较低。一般适用于球形、对付地面目标的杀伤聚能子弹,母弹装填量大,在高空中抛射时,形成一个较大的散布场,有较好的杀伤效果。

12.9.3 障碍排除装置

导弹的蒙皮,在某些情况下(如不受力的蒙皮)能被抛射气体直接排除,而子弹的抛射速度下降不大,但这种情况并不十分可靠,而且障碍物并非如此单一(还有纵梁、纵肋或翼片、电线或管路等),因此子母战斗部一般都配有障碍物排除装置。

常用的障碍物排除装置是线形聚能装药,即切割索。它是把炸药装在聚乙烯塑料或其它材料制成的管子内,并使装药截面具有 V 形或半圆形聚能槽,如图 12 - 38 所示。

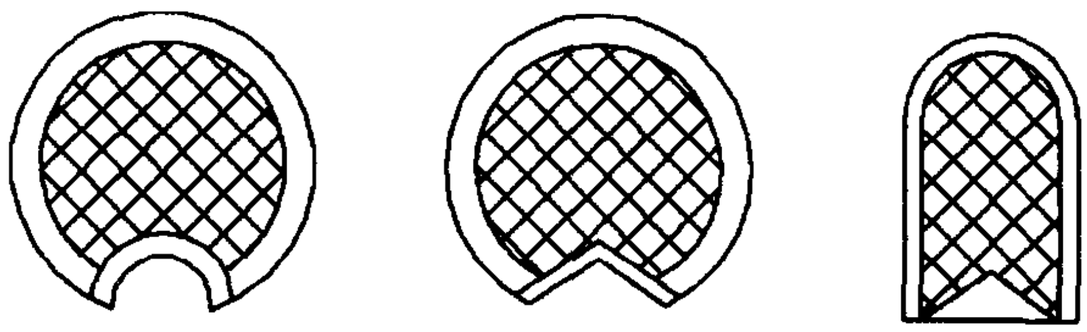


图 12 - 38 切割索截面图

线形成型装药的方法是实现蒙皮拆除最有效的方法。该法将线形成型装药装在黄铜槽内并用胶带固定在其中,雷管和传爆药布置在铜槽各端的结合处,并与子弹抛射同步激发。既可周向地切割蒙皮,又可纵向上切割。

线形成型装药方法虽然是较好的障碍物排除装置,但它在爆炸时存在反向作用和侧向飞溅,使子弹等部件容易受到损伤,需要采用特殊的防护技术措施,如在切割索的外面包覆泡沫塑料、泡沫橡胶或实心橡胶等。

此外还有导爆索法和爆炸螺栓等方法。

12.9.4 母体

母体的主要作用是和导弹其它舱段连接,装填子弹和固定子弹,控制子弹的抛撒等,主要包括壳体、支撑结构、固定系统等部分,这里不再赘述。

12.9.5 子弹的抛射过程

下面以橡胶管式抛射装置为例说明子弹的抛射过程。当战斗部接近目标时,通过引信的作用使安装在支撑梁与蒙皮之间的切割装药点燃,依靠聚能效应将母弹蒙皮切割成大小相等的 4 块,并在爆炸力的作用下抛离母体,完成障碍物的排除。同时,燃气发生器中的推进剂被点燃,燃气从排气孔逸出,使套在整个中心管上的橡皮管膨胀,从而给子弹一个径向作用力,使之沿径向抛射出去,形成一个较大的散布场。子弹抛射过程如图 12 - 39 所示。

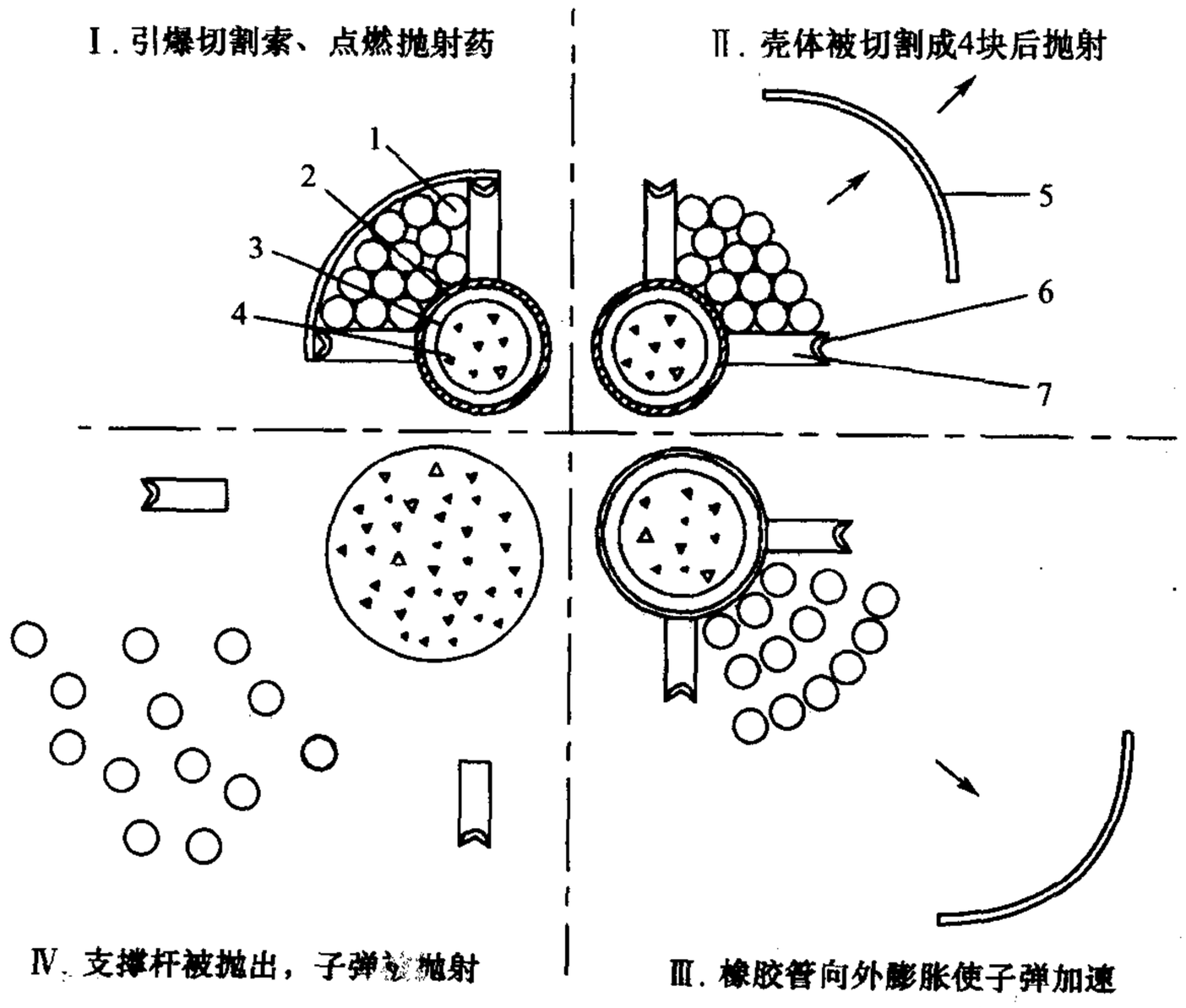


图 12－39　子弹被抛射过程示意图

1—子弹；2—橡胶管；3—燃气发生器；4—抛射药；5—蒙皮；6—切割装药；7—支撑架。

参 考 文 献

1 于骐.弹药学.北京:国防工业出版社,1987

2 王颂康,朱鹤松.高新技术弹药.北京:兵器工业出版社,1997

3 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

4 曹柏桢.飞航导弹战斗部与引信.北京:宇航出版社.1995.9

5 王儒策.弹药工程.北京:北京理工大学出版社,2002.12

6 赵国志等编译.常规战斗部系统工程设计.南京:南京理工大学,2000.9

7 赵国志编译.战术导弹战斗部概论.南京:南京理工大学,1999.8

8 赵国志,张运法编译.战术导弹战斗部毁伤作用机理.南京:南京理工大学,2000.9

9 王儒策,刘荣忠等编著.灵巧弹药的构造及作用.北京:兵器工业出版社,2001.6

10 黄强,诸德放.航空弹药构造与作用.北京:中国人民解放军空军装备部.1999.3

11 防空反导与远程弹药技术论文集.中国兵工学会弹药专业委员会第29届学术年会.2001.9

12 中国兵工学会第27届弹药学术年会论文集.1998.4

13 Goad K J W, Halsey D H J. Ammunition (Including Grenades Mines). Brassey Publishers, 1982

14 魏惠之等.弹丸设计理论.北京:国防工业出版社,1985

15 浦发,芮筱亭.外弹道学.北京:国防工业出版社,1989

16 陆军装备部编(美).终点弹道学原理.王维和等译.北京:国防工业出版社,1988

17 王尔林,张德智.现代兵器概论.北京:兵器工业出版社,1995.7

18 郭锡福.底部排气弹外弹道学.北京:国防工业出版社,1995.3

19 柯金友,韩树楷.火箭弹构造与作用.北京:北京理工大学出版社,1994.4

20 姜春兰等编.弹药学.北京:兵器工业出版社,2000.12

21 王礼立编.应力波基础.北京:国防工业出版社,1985.5

22 破甲文集(3).中国兵工学会弹药学会.1982

23 破甲文集(4).中国兵工学会弹药学会.1984

24 破甲文集(5).中国兵工学会弹药学会.1987

25 破甲文集(6).中国兵工学会弹药学会.1992

26 中国军事百科全书编审委员会.中国军事百科全书,军事技术Ⅰ.北京:军事科学出版社,1997.7

27 房立中,徐建军.世界兵器博览词典.北京:学苑出版社,1990.6

28 弹药技术丛书编辑部.小口径炮弹技术实践.北京:北京理工大学出版社,1996.12

29 翁佩英等.弹药靶场试验.北京:兵器工业出版社,1995.12

30 赵国志.穿甲工程力学.北京:兵器工业出版社,1992.4

31 John M. Allred. Aimed quadrant warhead. United States Patent, 3565009, 1969.3

32 Leland L. Parker. Directed warhead. United States Patent, 3714897, 1973.2

33 David D. Abernathy. Variable geometry warhead. United States Patent, 3960085, 1976.6

34 Richard M. Lloyd. Conventional warhead systems physics and engineering design. Progress in Astronautics and Aeronautics, 1998

[General Information]
书名=弹药概论
作者=李向东　钱建平　曹兵　沈培辉编著
页数=290
SS号=11348145
DX号=000005128490
出版日期=2004年12月第1版
出版社=国防工业出版社

封面
书名
版权
前言
目录
目录
第１章　　弹药概述
１．１　　弹药的组成
１．１．１　　战斗部
１．１．２　　引信
１．１．３　　投射部
１．１．４　　导引部
１．１．５　　稳定部
１．２　　弹药的分类
１．２．１　　按用途分类
１．２．２　　按投射运载方式分类
１．２．３　　按装填物类型分类
１．２．４　　按配属分类
１．２．５　　按控制程度分类
１．３　　炮弹的一般知识
１．３．１　　炮弹及其发射过程
１．３．２　　弹丸所受空气阻力及影响
１．３．３　　弹丸的结构特征参数
１．３．４　　炮弹的分类
１．３．５　　对炮弹的要求
１．４　　弹药发展趋势
１．４．１　　远程化
１．４．２　　精确化
１．４．３　　高效能
１．４．４　　多用途
１．４．５　　小型化和微型化
第２章　　榴弹
２．１　　榴弹概述
２．１．１　　榴弹的发展简况
２．１．２　　榴弹的外形特征
２．１．３　　榴弹的基本组成
２．１．４　　榴弹的分类
２．１．５　　榴弹的结构特征数
２．１．６　　榴弹的精度指标描述
２．１．７　　榴弹的作用
２．２　　旋转稳定榴弹
２．２．１　　概述
２．２．２　　主要诸元
２．２．３　　外形特点
２．２．４　　结构特点
２．３　　尾翼稳定榴弹
２．３．１　　概述
２．３．２　　ＰＴ７３式１００mm滑膛反坦克炮Ⅰ型榴弹
２．４　　远程榴弹
２．４．１　　概述
２．４．２　　底凹榴弹
２．４．３　　低阻远程榴弹
２．４．４　　底排减阻增程榴弹
２．４．５　　底排—火箭复合增程榴弹
２．５　　榴弹的发展演变与发展趋势分析
２．５．１　　发展演变
２．５．２　　发展趋势分析
第３章　　穿甲弹
３．１　　装甲目标分析

３．１．１　坦克概况
３．１．２　装甲钢板简介
３．１．３　新型装甲简介
３．２　对穿甲弹的性能要求和穿甲作用
３．２．１　对穿甲弹的主要性能要求
３．２．２　穿甲作用
３．３　普通穿甲弹
３．３．１　尖头穿甲弹
３．３．２　钝头穿甲弹
３．３．３　被帽穿甲弹
３．３．４　半穿甲弹
３．４　次口径超速穿甲弹
３．４．１　结构特点
３．４．２　存在问题
３．５　脱壳穿甲弹
３．５．１　概述
３．５．２　旋转稳定脱壳穿甲弹
３．５．３　尾翼稳定脱壳穿甲弹
３．６　穿甲弹的发展方向
３．６．１　当前杆式穿甲弹的水平
３．６．２　当前穿甲弹面临的问题
３．６．３　杆式穿甲弹发展方向
第４章　破甲弹
４．１　破甲作用基本原理及影响破甲作用的因素
４．１．１　破甲弹作用原理
４．１．２　影响破甲作用的因素
４．２　尾翼稳定的破甲弹
４．２．１　８２mm无后坐力炮破甲弹
４．２．２　苏联１００mm坦克炮用破甲弹
４．２．３　８５mm汽缸式尾翼稳定破甲弹
４．２．４　１００mm滑膛炮用尾翼稳定破甲弹
４．３　旋转稳定的破甲弹
４．３．１　美１５２mm　XM４０９E５式多用途破甲弹
４．３．２　法１０５mm坦克炮用G型破甲弹
４．４　火箭增程破甲弹
４．４．１　４０mm火箭增程破甲弹
４．４．２　苏联ПГ－９式７３mm火箭增程破甲弹
４．５　爆炸成型弹丸战斗部
４．５．１　末敏弹子弹药
４．５．２　改进ＥＦＰ战斗部性能的技术措施
４．６　串联式破甲弹
４．６．１　破—破式串联装药战斗部
４．６．２　穿—破式串联装药战斗部
４．７　破甲弹的发展历程及发展方向
第５章　碎甲弹
５．１　碎甲作用原理及影响因素
５．１．１　碎甲作用的基本原理
５．１．２　碎甲弹的作用
５．１．３　影响碎甲作用的因素
５．２　碎甲弹的结构特点及性能评价
５．２．１　碎甲弹的结构特点
５．２．２　碎甲弹的性能评价
第６章　迫击炮弹
６．１　迫击炮弹的构造特点
６．１．１　尾翼稳定迫击炮弹的构造
６．１．２　典型迫击炮弹的特点
６．１．３　旋转稳定的迫击炮弹
６．２　典型迫击炮弹的发射装药
６．２．１　基本装药

6．2．2　附加装药
6．3　特殊结构的迫击炮弹
6．3．1　长弹
6．3．2　长炮榴弹
6．4　迫击炮弹的发展方向
第7章　防空高炮弹药
7．1　空中目标特性分析及高炮弹药的特点
7．1．1　空中目标特性分析
7．1．2　高射炮弹药的特点
7．2　高射炮榴弹
7．3　小口径AHEAD弹
7．3．1　AHEAD弹概述
7．3．2　AHEAD弹的主要技术指标
7．3．3　AHEAD弹的结构特点
7．4　高射炮用穿甲弹
7．4．1　脱壳穿甲燃烧弹
7．4．2　易碎穿甲弹
7．5　多功能弹
7．6　弹道修正弹
7．7　防空高炮弹药的发展
第8章　特种弹和软杀伤弹药
8．1　照明弹
8．1．1　用途和要求
8．1．2　结构特点
8．1．3　照明弹使用中应注意的问题
8．1．4　存在的问题及发展方向
8．2　发烟弹
8．2．1　用途和要求
8．2．2　结构特点
8．2．3　发烟弹的作用及影响作用的因素
8．2．4　存在的问题与发展方向
8．3　燃烧弹
8．3．1　用途、要求及纵火剂种类
8．3．2　燃烧弹的构造
8．3．3　作用原理与使用要求
8．4　视频侦察用弹
8．4．1　视频侦察弹系统的基本组成
8．4．2　目标辨认／战场毁伤评估（TV/BDA）系统
8．5　软杀伤弹药
8．5．1　激光弹
8．5．2　碳纤维弹
8．5．3　强光辐射致盲弹
8．5．4　失能弹
第9章　火箭弹
9．1　火箭弹概述
9．1．1　火箭弹的发展简况
9．1．2　火箭弹的基本组成
9．1．3　火箭弹的分类
9．1．4　火箭弹的工作原理
9．1．5　火箭弹的特点
9．2　涡轮式火箭弹
9．2．1　涡轮式火箭弹的特点
9．2．2　1963年式130mm杀伤爆破火箭弹
9．3　尾翼式火箭弹
9．3．1　尾翼式火箭弹的特点
9．3．2　俄罗斯БМ-21式122mm杀伤爆破火箭弹
9．4　火箭弹的发展趋势分析
9．4．1　射程远程化
9．4．2　打击精确化

９．４．３　大威力及多用途化
９．４．４　动力推进装置多样化
第１０章　航空炸弹
１０．１　航空炸弹的一般知识
１０．１．１　航空炸弹的发展
１０．１．２　弹道性能
１０．１．３　炸弹的分类
１０．１．４　对炸弹的基本要求
１０．２　航空爆破炸弹
１０．２．１　高阻爆破炸弹
１０．２．２　低阻爆破炸弹
１０．２．３　低阻低空爆破炸弹
１０．３　航空杀伤炸弹
１０．３．１　１００－１型航空杀伤炸弹
１０．３．２　小型杀伤炸弹
１０．４　航空杀伤爆破弹
１０．４．１　主要性能数据
１０．４．２　构造特点
１０．４．３　作用过程
１０．５　集束炸弹和航空子母炸弹
１０．５．１　集束炸弹
１０．５．２　航空子母弹
１０．６　航空反跑道炸弹
１０．６．１　主要性能数据
１０．６．２　结构特点
１０．６．３　作用过程
１０．７　燃料空气炸弹
１０．７．１　结构
１０．７．２　作用过程
１０．８　电磁炸弹
１０．８．１　高功率微波炸弹
１０．８．２　电磁脉冲炸弹
１０．８．３　高功率微波炸弹和电磁脉冲炸弹的毁伤能力
１０．９　制导炸弹
１０．９．１　激光制导炸弹
１０．９．２　“杰达姆”精确制导炸弹
１０．１０　航空炸弹的发展趋势
第１１章　枪榴弹和榴弹发射器用弹药
１１．１　枪榴弹
１１．１．１　杀伤枪榴弹
１１．１．２　４０mm多用途枪榴弹
１１．１．３　照明枪榴弹
１１．１．４　火箭增程杀伤枪榴弹
１１．２　榴弹发射器用弹药
１１．２．１　榴弹
１１．２．２　破甲和杀伤双用途弹
１１．２．３　照明榴弹
１１．３　发展趋势
１１．３．１　枪榴弹的主要发展趋势
１１．３．２　榴弹发射器用弹药的发展方向
第１２章　常规导弹战斗部
１２．１　常规导弹战斗部类型及组成
１２．１．１　常规战斗部的分类
１２．１．２　常规战斗部的组成
１２．２　破片杀伤战斗部
１２．２．１　预控破片杀伤战斗部
１２．２．２　预制破片杀伤战斗部
１２．３　杆条杀伤战斗部
１２．３．１　离散杆杀伤战斗部

12.3.2 连续杆战斗部
12.4 爆破式战斗部
12.4.1 组成及结构
12.4.2 爆破机理
12.5 聚能装药战斗部
12.5.1 射流式聚能装药战斗部
12.5.2 爆炸成型战斗部
12.5.3 多聚能射流战斗部
12.5.4 多P装药战斗部
12.5.5 片形射流战斗部
12.6 侵彻战斗部
12.6.1 作用原理
12.6.2 结构及组成
12.7 串联战斗部
12.7.1 反击反应装甲的串联战斗部
12.7.2 反击混凝土目标的串联战斗部
12.8 定向杀伤战斗部
12.8.1 偏心起爆式定向杀伤战斗部
12.8.2 破片芯式定向杀伤战斗部
12.8.3 可变形定向杀伤战斗部
12.8.4 展开型定向杀伤战斗部
12.8.5 聚焦战斗部
12.9 子母式战斗部
12.9.1 子弹
12.9.2 子弹抛射系统
12.9.3 障碍排除装置
12.9.4 母体
12.9.5 子弹的抛射过程
参考文献