



国防特色教材·职业教育

urchase from www.A-PDF.com to remove the

火炸药生产技术

HUOZHAYAO SHENGCHAN JISHU

刘耀鹏 主编



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

北京航空航天大学出版社 哈尔滨工程大学出版社

哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社

责任编辑：王玲玲

装帧设计：OOICA 原创在线



ISBN 978-7-5640-2352-2



9 787564 023522 >

定价：50.00元



国防特色教材·职业教育

火炸药生产技术

刘耀鹏 主编

北京理工大学出版社

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

内容简介

本教材共分八章,对军、民用炸药和火药的生产技术进行了全面介绍。第1章介绍了火炸药共同具有的性质及参数;第2~4章介绍了典型军用单质炸药(梯恩梯、黑索金、太安)的生产技术;第5章介绍了工业炸药的生产技术;第6章介绍了单、双基火药(发射药)的生产技术;第7章介绍了复合火药(推进剂)的生产技术;第8章介绍了火炸药生产中的三废处理及安全通则。为开阔学生视野,对一些新型高能密度化合物也做了介绍,以反映火炸药技术的发展水平。

本教材内容丰富翔实,通俗易懂,注重生产技术和操作过程,具有军工行业特色和高职教育特点。适合作为火炸药技术和民用爆破器材专业的职业教育教材,也可用作火炸药生产、民爆器材生产及其相关企业生产一线人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

火炸药生产技术/刘耀鹏主编. —北京:北京理工大学出版社,2009.8

国防特色教材. 职业教育

ISBN 978-7-5640-2352-2

I. 火… II. 刘… III. ①发射药-生产工艺-高等学校:技术学校-教材 ②炸药-生产工艺-高等学校:技术学校-教材 IV. TQ560.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 101478 号

火炸药生产技术

刘耀鹏 主编

责任编辑 王玲玲

*

北京理工大学出版社出版发行

北京市海淀区中关村南大街5号(100081) 发行部电话:010-68944990 传真:010-68944450

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

北京地质印刷厂印刷 全国各地新华书店经销

*

开本:787毫米×960毫米 1/16 印张:23.75 字数:486千字

2009年8月第1版 2009年8月第1次印刷 印数:1~3000册

ISBN 978-7-5640-2352-2 定价:50.00元

前 言

火炸药,一种高能材料,无论在军事上和民用上都越来越被人们所重视,它也是兵器行业的代表产品之一。由于受读者范围的限制和该专业的特殊性,目前公开出版的火炸药生产技术方面的教材很少,为适应国防工业生产和职业教育的需要,特编写《火炸药生产技术》这本具有国防特色的职业教育教材。

本书的特点是兼顾高职教育的特点和军工行业特色,为适应基于工作过程的项目教学法,以产品的生产技术为项目单元,重点介绍成熟且广泛应用的生产技术。全书内容丰富翔实,通俗易懂,注重生产操作。为开阔学生视野,对一些新型高能量密度化合物也做了介绍,以反映火炸药技术的发展水平。全书内容包括火炸药的通性;各类典型单质炸药(硝基化合物、硝胺、硝酸酯类炸药)、工业炸药、单双基火药及复合火药的生产技术;火炸药生产中的三废处理及安全通则等。因篇幅有限,起爆药的生产技术未编入本教材。本教材可作为火炸药技术和民用爆破器材专业的职业教育教材,也可用作火炸药生产、民爆器材生产及其相关企业生产一线人员的培训教材。

本书由陕西国防工业职业技术学院刘耀鹏主编,其中第5章由云南国防工业职业技术学院刘丽梅和云南民爆集团有限责任公司龙德权撰写,第6章由中国北方惠安化学工业有限公司吴波撰写,其余各章均由刘耀鹏撰写,全书由刘耀鹏统一定稿。

北京理工大学陈树森教授对本书进行了精心的审定、中肯的指导和认真的修改,编者在此对他表示衷心的感谢;陕西国防工业职业技术学院杜刚同志在绘制和校核插图方面付出了很多劳动,为本书增色不少;本行业专家学者的大量文献资料的引用有助于本书如期付梓,编者对他们深表谢意。

由于时间仓促,且编者的水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请各位读者批评指正。

编 者

目 录

绪论	1
0.1 爆炸现象及基本概念	1
0.2 火炸药的分类及用途	3
0.3 火炸药技术发展趋势	6
第1章 火炸药的通性	9
1.1 能量性能	9
1.1.1 炸药的能量性能	9
1.1.2 发射药的能量性能	10
1.1.3 推进剂的能量性能	11
1.2 燃烧与爆炸性能	11
1.2.1 炸药的爆炸性能	11
1.2.2 发射药的燃烧性能	16
1.2.3 推进剂的燃烧性能	17
1.3 安定性能	18
1.3.1 火炸药的化学安定性	18
1.3.2 火炸药的物理安定性	21
1.3.3 火炸药的相容性	23
1.3.4 炸药的热爆炸	23
1.4 安全性能	24
1.4.1 热感度	24
1.4.2 机械感度	26
1.4.3 静电感度	28
1.4.4 爆轰及冲击波感度	29
1.4.5 枪击感度	30
1.4.6 影响感度的因素	31
1.5 炸药爆炸变化方程及产物组成	33
1.5.1 炸药的氧平衡	34
1.5.2 爆炸方程式的确定	35

第2章 硝基化合物炸药生产技术	37
2.1 主要原材料及其规格	37
2.1.1 甲苯	37
2.1.2 硫酸	38
2.1.3 硝酸	39
2.1.4 亚硫酸钠	40
2.2 硝化用混酸计算	40
2.2.1 配酸计算	40
2.2.2 硝化能力表示法	41
2.3 一硝基甲苯的制造	43
2.3.1 一段硝化的动力学特点及异构体分布	43
2.3.2 一段硝化易出现的问题及处理办法	48
2.3.3 一段硝化工艺条件及质量要求	50
2.4 二硝基甲苯的制造	52
2.4.1 二段硝化的动力学特点及异构体分布	53
2.4.2 二段硝化易出现的问题及处理办法	53
2.4.3 二段硝化工艺条件及质量要求	55
2.5 三硝基甲苯的制造	57
2.5.1 梯恩梯的性质	58
2.5.2 三段硝化动力学特点及影响硝化速度的因素	60
2.5.3 三段硝化易出现的问题及处理办法	61
2.5.4 三段硝化工艺条件及质量要求	63
2.6 粗制三硝基甲苯的精制	66
2.6.1 Na_2SO_3 精制的原理	66
2.6.2 精制易出现的问题及处理办法	68
2.6.3 精制工艺条件及质量要求	68
2.7 精制 TNT 的干燥、制片及包装	70
2.7.1 干燥工艺条件	70
2.7.2 干燥、制片工艺过程及主要设备	71
2.7.3 干燥、制片工房应注意事项及 TNT 的质量要求	73
2.8 TNT 生产主要工序流程及说明	73
2.8.1 原料准备	73
2.8.2 硝化工序	74

2.8.3 精制工序	75
2.9 TNT生产工艺的改进	76
2.10 TNT生产的安全与防护	77
2.10.1 安全技术	77
2.10.2 防护措施	83
2.11 其他硝基化合物类炸药简介	85
第3章 硝胺炸药生产技术	87
3.1 黑索金的性质及用途	87
3.1.1 黑索金的性质	87
3.1.2 黑索金的用途及其质量要求	89
3.2 直接硝解法生产黑索金工艺	90
3.2.1 原材料及其性质	90
3.2.2 直接硝解法原理	93
3.2.3 工艺过程及工艺条件	96
3.2.4 直接法工艺过程评价	102
3.3 直接法生产的安全与防护	103
3.3.1 乌洛托品的粉碎、干燥、输送安全技术	103
3.3.2 乌洛托品硝解、结晶的安全技术	104
3.3.3 黑索金干燥、筛选、包装的安全技术	108
3.4 黑索金的其他生产方法简介	109
3.4.1 硝酸-硝铵法	109
3.4.2 甲醛-硝酸铵法	110
3.4.3 醋酐法	111
3.5 奥克托金生产技术	112
3.5.1 奥克托金的性质	112
3.5.2 奥克托金制造方法	113
3.5.3 醋酐法制造奥克托金工艺	114
3.6 其他硝基胺类炸药简介	117
第4章 硝酸酯炸药生产技术	120
4.1 太安的性质及用途	120
4.1.1 太安的性质	120
4.1.2 太安的用途及其质量要求	121

4.2 直接酯化法生产太安工艺	122
4.2.1 原材料及其性质	122
4.2.2 制造原理	125
4.2.3 工艺过程及工艺条件	126
4.3 季戊四醇其他硝酸酯	131
4.4 太安生产的安全与防护	132
4.4.1 硝化工序	132
4.4.2 精制工序	133
4.4.3 丙酮回收工序	133
4.4.4 钝化工序	133
4.4.5 干燥工序	134
4.4.6 包装工序	134
4.5 硝化甘油生产技术	134
4.5.1 硝化甘油的性质	134
4.5.2 主要原材料及规格	136
4.5.3 生产工艺及操作	137
4.5.4 硝化甘油生产的安全技术	142
4.6 其他硝酸酯类炸药	144
第5章 工业炸药生产技术	147
5.1 工业炸药概述	147
5.1.1 工业炸药的用途、分类以及要求	147
5.1.2 工业炸药的原材料及其性质	148
5.2 铵梯类炸药	156
5.2.1 工业粉状铵梯炸药的品种及性能	156
5.2.2 工业粉状铵梯炸药的性质	160
5.2.3 工业粉状铵梯炸药的生产工艺	163
5.2.4 工业粉状铵梯炸药的制造及设备	168
5.3 铵梯油炸药	178
5.4 铵油炸药	180
5.4.1 铵油炸药的常见品种	181
5.4.2 铵油炸药的制造	182
5.4.3 改性铵油炸药	185
5.5 膨化硝铵炸药	188

5.5.1 膨化硝酸铵及膨化硝酸铵炸药的主要性能	189
5.5.2 膨化硝酸铵炸药的生产工艺	191
5.5.3 膨化硝酸铵炸药的提高和发展	195
5.6 浆状炸药	199
5.6.1 浆状炸药的组成	199
5.6.2 浆状炸药的分类与主要品种	202
5.6.3 浆状炸药的性能以及优缺点	203
5.7 水胶炸药	204
5.8 乳化炸药	206
5.8.1 乳化炸药的组成	207
5.8.2 乳化炸药的品种	211
5.8.3 乳化炸药的性能	211
5.8.4 乳化设备与技术	214
5.8.5 乳化炸药的生产工艺	215
5.8.6 乳化炸药与浆状炸药、水胶炸药的共性与区别	218
5.9 粉状乳化炸药	219
5.9.1 粉状乳化炸药的性能	220
5.9.2 粉状乳化炸药的生产工艺	221
5.9.3 粉状乳化炸药的提高与发展	222
5.10 其他工业炸药	223
5.11 现场混装炸药	226
5.12 工业炸药制造安全技术	228
5.12.1 工业炸药制造安全技术概述	228
5.12.2 工业粉状硝酸铵炸药生产中的安全技术	229
5.12.3 膨化硝酸铵炸药生产中的安全技术	233
5.12.4 乳化炸药的安全性	235
第6章 单基火药生产技术	239
6.1 单基火药	239
6.1.1 单基发射药概述	239
6.1.2 单基发射药的物理、化学性能	242
6.1.3 单基发射药组成和对原材料的质量要求	245
6.1.4 单基发射药制造工艺	250
6.1.5 单基发射药制造生产安全技术	267

6.2 双基发射药	270
6.2.1 双基发射药概述	270
6.2.2 双基发射药组成及性能	271
6.2.3 双基火药制造工艺	279
第7章 复合火药生产技术	294
7.1 复合火药的种类和组成	294
7.1.1 复合火药的种类	294
7.1.2 复合火药的配方组成	294
7.2 复合火药的原材料	295
7.2.1 氧化剂	295
7.2.2 黏合剂	299
7.2.3 金属和金属氢化物燃烧剂	301
7.2.4 燃烧催化剂	304
7.2.5 固化剂、稀释剂、增塑剂和防老剂	304
7.3 典型复合火药的制造	307
7.3.1 几种典型的复合火药	307
7.3.2 复合火药的制造工艺	311
7.4 复合火药的制造安全技术	319
7.4.1 复合火药的爆炸特性	320
7.4.2 复合火药生产的技安措施	320
第8章 三废处理及安全通则	324
8.1 梯恩梯与硝化甘油废酸处理	324
8.1.1 梯恩梯废酸处理	324
8.1.2 硝化甘油废酸处理	329
8.2 黑索金与太安废酸处理	330
8.2.1 黑索金废酸处理	330
8.2.2 太安废酸处理	333
8.3 奥克托金(醋酐法)废酸处理	334
8.3.1 醋酸的分离回收	334
8.3.2 由醋酸制备醋酸酐	338
8.4 废水处理	339
8.4.1 TNT 废水处理	339

8.4.2 硝化甘油废水	340
8.5 硝烟吸收	342
8.6 废酸处理的安全与防护	343
8.6.1 安全技术	343
8.6.2 防护措施	346
8.7 火炸药生产安全通则	347
8.7.1 火炸药安全问题的基本特征	347
8.7.2 事故原因及其安全防护措施	350
8.7.3 火炸药建厂安全技术	352
8.7.4 安全管理规范	356
参考文献	368

绪 论

火炸药是处于亚稳定状态的一类物质,现有火炸药大多数是由碳、氢、氧、氮(C、H、O、N)等元素组成的物质,具有下面几个重要特征。

(1) 化合物分子中有含能基团或含有氧化剂、可燃物的混合物。这些含能基团可能是: $\equiv\text{C}-\text{NO}_2$ 、 $=\text{N}-\text{NO}_2$ 、 $-\text{O}-\text{NO}_2$ 、 $-\text{ClO}_4$ 、 $-\text{N}_3$ 、 $-\text{N}=\text{N}-$ 等。

(2) 主要化学反应是燃烧和爆炸,具有高速、高压、高温反应特征和瞬间一次效应的特点,并释放大量的热和气体。

(3) 化学反应不需要外界供氧,可以在隔绝大气的条件下进行。

因此,火炸药是一类含有爆炸性基团或含有氧化剂和可燃物,能独立地进行化学反应并释放能量的化合物或混合物。

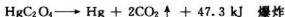
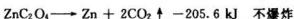
0.1 爆炸现象及基本概念

爆炸是物系进行的一种非常剧烈的物理、化学变化,在该变化过程中,物系的内能迅速转化为强大的热能并放出大量的气体,从而进一步将热能转化为压缩能或机械能,对周围物体产生不寻常的破坏作用。物系发生爆炸的能力,取决于以下三个基本要素,即反应的放热性、快速性及产物的气体性。

一、反应的放热性

物系发生爆炸变化的必要条件是反应的放热性。因为要使炸药发生分解反应,必须首先供给一定的能量,使其分子活化或破坏原来的结构,重新组合成新的产物分子,只有在爆炸反应时能释放热量,其已爆炸部分所放出的热量作为激发未爆炸部分的能源,爆炸过程(反应)才能自行传播下去。否则,如果反应不具有放热性,反应就不能自动传播下去,显然,这样的物质就不能成为炸药。

此外,爆炸反应的放热性还应当强烈,因为炸药爆炸是将化学能转化为热能,热能再转化为对周围介质所做的机械功,不放热或放热很少的反应是不能提供做功的能量的。例如:





应当特别注意的是,炸药(指固态和液态炸药)在爆炸时放出的热量并不是特别高。如按单位质量计算,并不比一般的燃料高,那为什么炸药能够发生猛烈的爆炸呢?这是因为按单位容积计算,炸药的含能量比一般的燃料要大得多,从而有很高的能量密度。因此,炸药也称高能量密度材料。表 0-1 列出了炸药和普通燃料的含能量比较。

表 0-1 炸药与普通燃料的含能量

物质	燃烧热或爆热/kJ		
	每千克物质	每千克燃料-空气混合物	每升燃料-空气混合物
木柴	18 841.5	7 955.3	19.7
无烟煤	33 496	9 211.4	18.0
梯恩梯	4 187	4 187	6 489.8
硝化甘油	6 280.5	6 280.5	10 048.8

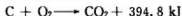
注:燃料-空气混合物是指燃料完全氧化所需的空气和燃料的混合物。

由表 0-1 可见,以单位质量物质来比较,炸药爆炸放出的热量比普通燃料燃烧的低得多,就单位质量的燃料和空气混合物来看,炸药的能量也只相当于燃料和空气混合物能量的一部分。但是由于空气的密度小,空气混合物占的体积相当大,所以,就单位体积的含能量(即含能密度)来看,炸药的含能量可以达到燃料-空气混合物的一百倍甚至几百倍。

二、反应的快速性

快速的反应也是炸药发生爆炸的必要条件,是爆炸过程区别于一般化学反应的最重要的标志。例如,每千克无烟煤与空气混合物燃烧反应的放热量为 9 211.4 kJ,而每千克硝化甘油(NG)爆炸放出热量为 6 280.5 kJ,但前者需反应数分钟到数十分钟,而后者则可以在百分之几到百万分之几秒的时间内完成。也就是说,炸药爆炸反应速度要比普通燃料燃烧快千百万倍。虽然两者都会放出大量的热,生成大量的气体,但前者由于反应缓慢,气体产物可以扩散开而不致形成高压;后者则由于反应速度极快,产物气体来不及膨胀,所放出的热量集中在炸药原来占有的容积内,而维持很高的能量密度,因此形成了高温、高压气体,使炸药具有巨大的功率和强烈的破坏作用。

以煤的燃烧为例来说明反应快速性的作用:



煤块在空气中燃烧可放出大量的热和气体,但并不爆炸,其原因是只有氧扩散到煤的表面才能起反应,而反应进行得较缓慢,反应放出的热量和气体逐渐扩散到周围大气中,不会形成高温、高压,因而也不能对外界产生激烈的机械作用,即爆炸作用。若将煤块粉碎成极细的粉末,并均匀地悬浮在空气中,则点火后就有可能产生爆炸,这是由于煤和氧气充分接触,反应十

分迅速。由此可知,面粉厂、亚麻厂等长期生产中产生的粉尘应及时清除,否则当其质量分数达到一定值时,受明火作用即可发生爆炸作用。20世纪80年代我国黑龙江省某亚麻厂发生的爆炸事件主要就是亚麻粉尘在空气中氧化反应速度的快速性所致。

三、产物的气体性

反应产物中有大量气体,是爆炸反应的热能转化为机械功的重要介质。因为爆炸产生的高温、高压气体迅速膨胀是要对外做功的。

有些物质,虽然在反应时放出大量的热,反应也很快,但不生成气体产物,没有做功的介质,就不可能自身将热能转化为功,故它不具有爆炸性。如铝热剂的反应:



此反应放出的热足以将产物加热到3000℃,反应速度快,但产物在3000℃时仍为液态,没有生成气体,所以不爆炸。

综上所述,反应的放热性、快速性及产物的气体性是决定爆炸过程的重要的三要素。放热给爆炸变化提供了能源,而快速性则是使有限的能量集中在较小容积内产生大功率的必要条件,反应生成的气体产物则是能量转换的工作介质,它们都与炸药的做功能力密切相关。三要素又是互相联系的,反应放出的热量将炸药加热到高温,从而使化学反应速度大大增加,即增大了反应的快速性。此外,由于放热可以将产物加热到很高的温度,这就能使更多的产物处于气体状态。

炸药的爆炸与火药的燃烧有许多相似的地方,如都具有反应的放热性及产生大量的气体,而不同之处主要是进行的速度不同,也就是说两者在反应时放出能量的速度上有“缓和”与“猛烈”的区别。火药的燃烧,根据武器的要求和所装药品的不同,燃烧时间可以从万分之一秒至几十秒,范围较宽,而炸药的爆炸是在几十万分之一秒或更短的时间内完成。再者火药是靠热传导导热而进行燃烧的,因而表现为有规律的一层一层地稳定燃烧,而炸药是靠爆轰波传递能量而进行爆炸的。因此,火药主要用作各种武器发射弹丸或推动火箭导弹前进的能源,而炸药则用于对特定目标的爆破。

由以上分析可知,受外界作用后,具有爆炸三要素的物系,即称为炸药。

0.2 火炸药的分类及用途

一、炸药的分类

1. 按用途分类

根据火炸药的用途,可分为以下三大类。

(1) 起爆药(Primary explosives)。起爆药是一种对外界作用十分敏感的炸药。它不但在

比较小的外界作用(机械作用或热作用等)下,就能发生爆炸变化,而且变化速度可以在很短的时间内增至最大值。因此可用来引起其他炸药(如猛炸药)发生爆炸变化,用其装填各种起爆器材,如火帽、雷管(用以点燃火药和起爆猛炸药)等。有时亦称其为初级炸药、主发炸药或第一炸药。

常见的起爆药有:叠氮化铅 $[\text{Pb}(\text{N}_3)_2]$ 、雷汞 $[\text{Hg}(\text{ONC})_2]$ 、斯蒂酚酸铅 $[\text{C}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3\text{O}_2\text{Pb}]$ 、特屈拉辛 $[\text{C}_2\text{H}_8\text{ON}_{10}]$ 等。

(2) 猛炸药(High explosives 或 Secondary explosives)。猛炸药爆炸时对周围介质有强烈的机械作用,能粉碎附近的固体介质,故猛炸药可作为爆炸装药装填各种弹丸及爆破器材。它需要较大的外界作用或一定量的起爆药作用才能引起爆炸变化。故有时称其为次发炸药、高级炸药或第二炸药。

常用的猛炸药有梯恩梯 $[\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{CH}_3]$ 、特屈儿 $[\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_4\text{NCH}_3]$ 、黑索金 $[(\text{CH}_2\text{N}-\text{NO}_2)_3]$ 、奥克托金 $[(\text{CH}_2\text{N}-\text{NO}_2)_4]$ 、太安 $[\text{C}_5\text{H}_8(\text{ONO}_2)_4]$ 等。

(3) 发射药(Propellant 或 Powder)。发射药又称为火药或推进剂。它能在无外界助燃剂参与下,进行有规律的快速燃烧,产生高温高压气体对弹丸或被发射物做抛射功。因此,火药装在炮弹的药筒、追击炮弹的尾部以及火箭发动机内作为发射药或推进剂。

常用的发射药有硝化棉火药和硝化甘油火药等。

以上三种药之间并无绝对界限,某些火药在特定条件就可作为猛炸药(如硝化棉和硝化甘油),而一些典型的猛炸药(如奥克托金、黑索金等)也能用作推进剂的组分以改善推进剂的性质。本教材主要叙述火药及猛炸药(简称炸药)的生产技术。

2. 按组分分类

按组分分类的方法很多,在此介绍一种简单方法,火炸药可分为单组分体系和混合组分体系两大类。

(1) 单组分体系。单组分体系火炸药又称爆炸化合物,它本身是一种均一的相对稳定的化合物。在一定的外界作用下,能导致它分子内键的断裂,使其发生迅速的爆炸变化,生成热力学稳定的化合物。这类炸药多数是含氧有机物,能进行分子内燃烧,放出大量的热。其中最重要的有以 $\text{C}-\text{NO}_2$ 、 $\text{N}-\text{NO}_2$ 及 $\text{O}-\text{NO}_2$ 三种基团分别构成三种类型的单质炸药:硝基化合物炸药(如梯恩梯)、硝胺炸药(如黑索金、奥克托金)、硝酸酯炸药(如硝化甘油、硝化棉、太安等)。

(2) 混合组分体系。混合组分体系又称燃爆混合物,是由两种以上化学性质不同的组分组成的能发生燃烧、爆炸反应的混合物系。如混合炸药、发射药、固体推进剂等,其中的主要组分是含有氧化元素和可燃元素的爆炸性化合物。

军用混合炸药一般按物理状态可分为固体炸药、液体炸药、气体爆炸混合物等;按形状可分为塑性炸药、挠性炸药、弹性炸药及黏性炸药等;按性能特点可分为高爆速炸药、高威力炸药、耐热炸药、特种炸药及不敏感炸药;按装药方法可分为压装型炸药、熔铸型炸药、浇铸固化

型炸药及塑态挤注型炸药等。

工业炸药按组成可分为胶质炸药、铵梯炸药、铵油炸药、浆状炸药、水胶炸药、乳化炸药等。发射药和推进剂均属于混合组分体系。

由此看来,混合组分体系种类繁多,并且组成可以依用途不同而调整,是火炸药行业中很有发展前途的一类。

3. 按照结构体系分类

按照结构体系分类,可分为单相均质体系和多相异质体系两类。如发射药可分为单基药、双基药、三基药;推进剂可分为双基推进剂和复合推进剂等。

二、火炸药的用途

由于火炸药作为能源的特殊性,它无论在军事上还是民用方面都广泛地使用,在国防建设中具有相当重要的地位,甚至可以认为武器离开了火炸药将是无用的。

1. 在军事领域的应用

火炸药是各类武器火力系统完成弹丸发射,实现火箭、导弹运载的动力能源,也是战斗部进行毁伤的能源和各种驱动、爆炸装置的动力;是武器装备实现远程发射、精确打击、高效毁伤的重要保障。因此,火炸药是海、陆、空各类武器系统不可缺少的重要组成部分,是国家的重要战略物资。火炸药直接影响并决定着武器装备的性能和军队战斗力的发挥,是赢得战争胜利的保障。

2. 在民用领域的应用

(1) 利用炸药能源进行机械加工和工程施工。

如用于爆炸拆除、爆炸包覆、爆炸切割、爆炸成型、粉末压实、爆炸铆接和焊接等。

特种炸药如塑性炸药、黏性炸药、橡皮炸药和耐热炸药等,分别适用于外形复杂的、运动中的、水中和水上的和矿井下的等多种环境的爆破。

由于工农业的需要,发展和使用了如硝铵炸药、铵油炸药、乳化油炸药等多种民用炸药品种,应用于露天、井下、水中以及高温等特殊环境的大规模的采矿和爆破。

工业炸药在地质勘探中也有重要的作用,如被应用于产生地质震动波的震源弹药。

(2) 利用火药的化学能做推进功。

如用来发射人工降雨火箭、打开或关闭宇航装置的舱盖、打开安全通道、将重要的部件或人员推送到安全位置等(如飞机上的弹射座椅)。另一种是通过抛射器远距离运送物质,如在人员受阻或者机械难以到达之处,进行山地架线、海上抛缆、森林和高层建筑灭火、发射麻醉弹等。

火药产生的高压气体可以直接做功,能把推动力作用于载荷的深处和内部,作用的范围大,特别适合对大批量物质进行分割和松动。如以火药为能源的油井岩石压裂装置,可明显地增加石油的产量。

(3) 作为气源应用于气体发生器。

火药燃烧时释放出大量的热和气体,它的反应速度非常快,是一般气体发生剂所不能代替的。用它制造的气体发生器,在出气口处不发生冻结现象,充气的时间短,适合于在紧急条件下以及人员不易接近的场所使用。如用于汽车安全气囊、海上自动充气救生装置等。

(4) 利用火炸药热能和声、光、烟效应。

火炸药化学反应的热效应是每千克数兆焦耳,其反应启动快、放热快,方便于在特殊的场所应用。如作为燃烧剂,纵火烧毁难以燃烧的废弃物料;用于电力装置的自动熔断器;作为发声剂、发光剂、发烟剂应用于运动界和影视界等。

因此,火炸药技术的发展不仅对常规兵器乃至整个国防工业和国民经济的发展都具有十分重要的作用;火炸药作为民用爆破的主要能源,应用面广、量大,无论现在和将来都会在矿业、冶金、建筑、石油等行业发挥重要作用,是一种特殊而又重要的化工产品。

0.3 火炸药技术发展趋势

一、炸药的发展趋势

1. 单质炸药

梯恩梯、黑索金、奥克托金仍然是 21 世纪初战术武器应用的三大单质炸药,是未来武器装备的基础。

据统计,梯恩梯、黑索金、奥克托金为基的炸药品种占混合炸药品种的 95%,在需要提高战斗部杀伤威力的装药中改性 B 炸药将得到推广。黑索金和奥克托金的应用日趋广泛,它们仍然是 21 世纪战术武器应用的主炸药。

2. 燃料-空气炸药

燃料-空气炸药作为一种有效的爆炸能源而引起极大的关注,并得到迅速的发展。进入 21 世纪将积极进行第三代燃料-空气炸药武器的研制,其关键技术是一次起爆技术,它不仅决定了云雾能否爆轰,而且对爆轰性能也有一定的影响。

3. 不敏感炸药

不敏感炸药主要用于机载、舰载、车载武器弹药的战斗部装药,要求它在高温和火焰中不易烤燃,不殉爆,且一旦发生意外点火时,只燃烧而不易转为爆轰,在破片冲击、枪弹冲击或其他机械冲击作用下,不易引起事故性的意外爆炸。

4. 高能量密度材料

高能量密度材料的技术发展应是 21 世纪的主攻方向,因为高能量密度材料直接影响火炸药技术的发展。如 20 世纪 80 年代末合成的六硝基六氮杂异伍尔兹烷(HNIW)能量比奥克托金高 6%~9%,作为组分加入发射药、推进剂和混合炸药中可显著提高产品的能量密度,提高

弹丸初速、火箭导弹射程和战斗部的威力。高能量密度材料的应用具有四个特点:提高武器的射程和杀伤威力;减少危险性,提高安全性;减少目标特性;提高弹药的可使用性和可靠性。

二、发射药的发展趋势

身管武器,特别是大口径榴弹火炮和坦克炮是地面武器的主炮,是 21 世纪陆军优先发展的武器,其发展目标应具有战略灵活性、精确打击能力、高杀伤威力、远射程和快速发射的能力。

1. 高能量密度材料和叠氮类化合物

21 世纪初的 20~30 年,预测发射药的主要组分仍是碳、氢、氧、氮系材料。由于身管武器要求发射药能量高、烧蚀低,要在膛内瞬间燃烧完全,不允许有固体残渣留在膛内,为了提高能量,降低烧蚀,应发展高能量密度材料和叠氮类化合物。

2. 低易损性弹药(LOVA)发射药。

低易损性弹药(LOVA)发射药又称不敏感发射药。据统计,战场上 60% 的坦克损坏是因装甲穿透后弹药舱发生爆炸造成的。因此对新研制的含能材料提出了具体的要求:对高速金属破片或空心装药射流穿透导致的引燃具有较低的易损性,一旦引燃,在低压力条件下燃速较低,从而能使发射药在药筒被击穿的情况下熄火。

3. 刚性模块组合装药技术

刚性模块组合装药技术将是未来大口径榴弹炮的发射装药。其主要优点是便于实现装药、装填和发射的自动化,从而满足未来先进野战火炮系统的高射速、远射程、具有最小的发射特征信号和对炮管的烧蚀性小等特点,它将是 21 世纪发展的主要装药。

4. 高能、低烧蚀发射装药

反坦克火炮将进一步提高动能,可能采用新型高能、低烧蚀发射装药,其点传火技术是该装药结构研究的关键技术之一,有可能采用非传统的激光点火装置和分装式弹药的连接系统。

5. 新概念火炮弹药技术

发展新概念火炮弹药技术,如液体发射药发射技术、电热化学能发射技术、冲压发射技术和电磁发射技术。21 世纪有望实现液体发射药发射技术,尤其是实现电热化学能发射技术。火炮超高速新型发射技术将会有重大进展,提高初速增加武器系统的杀伤威力和综合作战效能,满足“精确打击、高效毁伤”的作战效果始终是火炮发射追求的目标。

三、固体推进剂的发展趋势

精确打击的战略导弹、战术导弹是今后武器发展的重点。战略导弹寻求最佳推进剂性能,提高比冲和密度比冲仍将是今后研究工作的重点,同时还要致力于提高发动机质量比及弹头小型化。

1. 战略导弹用推进剂

寻求最佳推进剂性能,比冲和密度比冲仍将是今后研究工作的重点,与之同步的还要致力于提高发动机质量比(采用比强度高的复合材料壳体、喷管材料和绝热层)以及战斗部小型化,能量的提高可使设计和应用更加灵活。战略导弹用推进剂在 21 世纪仍然是向高能方向发展。

2. 战术导弹用推进剂

提高推进剂能量、降低特征信号、减小推进剂的敏感程度,必须研究适应发展的推进剂。开展含能黏合剂、含能增塑剂、高能氧化剂及高能量密度材料的合成和应用研究,探索 C_{60} 、 N_{60} 的合成及应用。

四、火炸药生产工艺发展趋势

火炸药生产工艺发展趋势应朝着提高质量和本质安全程度、降低成本方向发展。随着信息科技的发展,火炸药工艺应尽可能实现连续化、自动化、智能化、柔性化,即一条生产线可轮换生产不同的产品。如使用双螺杆成型工艺可以轮换加工单基、双基、三基发射药,也可挤压双基推进剂、复合推进剂和混合炸药。

迄今为止,研制工作的最大难点,并不在机械部件之类的问题上,而在于对原材料的连续供料的精确计量,以及推进剂性能对交联剂和催化剂用量的敏感性上。

单质炸药的合成工艺建立集成式工艺系统,在该系统内,能合成出各种不同的含能材料及民用化工产品。缩短合成工艺及降低成本的关键是催化技术的研究。

硝基和硝酸酯基化合物离不开硝化和酯化反应。自 19 世纪中期发明采用硝-硫混酸进行硝化和酯化反应,100 多年来一直沿用这种方法,该方法生产周期长,尤其是废酸处理、环境污染成为人们关注的重点。近年来人们将注意力集中到研究新的硝化技术,如: N_2O_5 的硝化技术被称为“绿色硝化”技术,采用 $HNO_3-N_2O_5-N_2O_4$ 作为硝化剂而不用硫酸的新工艺缩短了生产工艺周期,提高了产品产率和质量,减少了污染。 N_2O_5 的硝化技术的关键是如何制备合格的 N_2O_5 、 N_2O_4 ,并能稳定控制其比例及降低制备工艺的成本。

随着 21 世纪环境法规更加严格和人们对环境意识的提高,研究废旧火炸药的回收再利用技术、无公害处理技术以及“三废”治理新技术和大力开发“三废”资源的新途径将是 21 世纪人们更加关注的技术领域。如将过期的发射药、推进剂进行处置制造民用炸药,利用新型处置技术(碱水解法、熔融盐法、超临界水氧化法等)对过期火炸药处置后进行无污染排放,利用生物技术进行“三废”处理等技术将有所发展。

第1章 火炸药的通性

火炸药作为一种特殊的化工产品,有其独特的性质和用途,为了能安全地生产、运输、贮存及使用,有效地服务于国防及经济建设,我们应当熟悉各种火炸药所具有的共同特性。

1.1 能量性能

能量是火炸药最基本的性能,是表征其做功能力大小的重要特征参数,也是应用、设计、研究中的重要参数。对于发射药、推进剂和炸药,表征能量的特征参数既有共同之处,但由于它们的做功方式不同而也有不同之处。提高能量是火炸药技术发展的永恒主题,也是武器装备发展的基本要求。

1.1.1 炸药的能量性能

炸药的能量性能由炸药的爆炸特性参数来表征,主要有爆热、爆温、爆速、爆压和爆容五项。另外,炸药的密度不仅影响到其能量密度,而且对爆热、爆速、爆压和爆容都有较大的影响。

(1) 爆热:在一定条件下单位质量炸药爆炸时放出的热量。爆热分为定容爆热及定压爆热,以爆热弹测得的是定容爆热。炸药爆热一般为 $2\sim 8\text{ MJ/kg}$ 。

(2) 爆温:全部爆热用来定容加热爆轰产物所能达到的最高温度。爆温越高,气体产物的压力越高,做功能力越大。常用炸药爆温值为 $2\,000\sim 5\,000\text{ K}$ 。爆温可以理论计算,目前实验测定尚十分困难。

(3) 爆速:爆速是爆轰波在炸药中稳定传播的速度。爆速与装药密度有关,只有在一定的装药条件下,爆速才为特定值。单组分猛炸药的爆速为 $6\sim 9\text{ km/s}$,工业炸药爆速为 $2\sim 4\text{ km/s}$ 。

(4) 爆压:炸药爆轰时爆轰波阵面的压力。常用炸药爆压为 $10\sim 40\text{ GPa}$ 。工程设计中常以经验公式估算。

(5) 爆容:也称比容,是单位质量炸药爆炸时生成的气态产物在标准状态($0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 101.325 kPa)下占有的体积。爆炸产物中的水为液态时,其余爆炸产物的体积称为干爆容;水为气态时,全部爆炸产物的体积称为全爆容。爆容是衡量爆炸作用的一个重要指标,因为高温高压的气体产物是对外做功的介质。爆容越大,越易于将爆热转化为功。一般炸药的全爆容为 $300\sim 1\,100\text{ L/kg}$ 。

爆容可根据爆炸反应方程式计算:

$$V_0 = 22\,400n/m$$

式中, V_0 为爆容, L/kg ; m 为炸药质量, g ; n 为气态爆炸产物总物质的量, mol 。爆容也可以实验测定。

(6) 密度: 炸药的最大理论密度可认为是炸药的晶体密度。炸药的晶体密度越大, 则其装药密度越高, 装药的能量密度也越大。炸药密度对爆热、爆速、爆压等都有较大影响, 也是计算这些参数的必要数据。

① 密度对爆热的影响: 负氧平衡炸药的爆热随其密度的增大而增大, 并且对同一炸药而言, 爆热随装药密度的增加而近似于线性增加; 零氧及正氧平衡炸药的爆热基本上与密度无关。

② 密度对爆速的影响: 对碳氢氧氮系有机化合物类炸药, 当密度在 0.5 g/cm^3 至晶体密度范围内时, 其爆速随密度线性增长; 但对无机化合物类炸药(如起爆药中的雷汞、迭氮化铅等), 爆速并不很高, 仅为 $5\,000\text{ m/s}$ 左右。

③ 密度对爆压的影响: 爆压随密度的增长以指数关系迅速增长, 因此晶体密度大的炸药, 就可能达到高的爆压。例如, 当装药密度接近晶体密度时, 奥克托金的爆压可达 39 GPa 左右, 而梯恩梯则只能达到 $18\sim 19\text{ GPa}$ 。

1.1.2 发射药的能量性能

发射药的能量特征参数主要有: 爆热、爆温、比容、火药力和余容。目前最常用的是爆热和火药力。

(1) 定容爆热: 1 kg 温度为 298 K 的发射药在真空或惰性气体中定容绝热燃烧, 燃气产物温度升至 T_v 以后, 冷却至 298 K 时(水为液态)所放出的热量。单位为 kJ/kg 。

(2) 定容爆温: 温度为 298 K 的发射药在真空或惰性气体中定容绝热燃烧后, 气态燃烧产物所达到的最高温度。单位为 K 。

(3) 比容: 1 kg 发射药燃烧后, 生成的气体产物在标准状态(100 kPa 、 273 K)下所占的体积(水为液态)。单位为 L/kg 。在标准状态下:

$$W = n \times 22.4$$

(4) 火药力: 在绝热定容的条件下进行燃烧, 其燃烧后的产物自由膨胀到 1 个大气压下所做的功。单位为 kJ/kg 。

$$f = nRT_v$$

式中, n 为 1 kg 发射药燃烧气体产物的摩尔质量; R 为摩尔气体常数, 在 298 K 时, $R = 8.314\text{ J/mol} \cdot \text{K}$ 。

(5) 余容: 1 kg 发射药燃烧气体的分子体积在气态方程中的容积修正项, 单位为 cm^3/kg , 其物理意义是 1 kg 发射药气体分子本身不可压缩的体积。

(6) 比热比: 又称绝热指数, 为燃气平均定压比热与定容比热之比。在火药力相同的情况

下,比热比(k)值小的发射药内能大。

1.1.3 推进剂的能量性能

描述推进剂能量特性的主要参数有比冲、密度比冲和特征速度。其中,比冲是最重要的能量特征参数,对火箭飞行器的射程有直接影响。

(1) 比冲:在火箭发动机中,单位质量推进剂在火箭发动机中燃烧时产生的冲量称为推进剂的比冲,以 I_{sp} 表示,单位为 $N \cdot s/kg$ 。

推进剂比冲的大小与燃烧产物的热力学性质有关。即燃烧温度 T_c 越高、燃气平均分子质量 $\bar{M}_g$ 越低,则 I_{sp} 越大,另外还与燃气产物的比热比和喷管结构参数有关。

(2) 密度比冲:推进剂的密度高,可在体积一定的发动机燃烧室内装填更多的推进剂而获得更高的总冲量,从而提高火箭飞行器的射程或增加其有效载荷,因此在评价推进剂的能量特性时,往往将其比冲与密度关联起来,并将密度比冲定义为:

$$I_p = I_{sp} \cdot \rho_p$$

(3) 特征速度:特征速度是描述推进剂做功能力的一个参数。其定义为燃烧室的压力和喷管喉部截面积的乘积与质量流量之比:

$$C^* = P_c A_t / \dot{m}$$

虽然特征速度量纲具有速度的特征,但所反映的是燃烧室内推进剂释放的能量和做功的能力,其大小与推进剂的能量和在燃烧室内燃烧的完全程度有关,与喷管结构和流动过程无关,是衡量推进剂能量水平的一个方便有效的参数。

1.2 燃烧与爆炸性能

火炸药的能量是通过燃烧或爆炸反应而释放出来的,因此其燃烧与爆炸性能对能量释放过程有着重要的影响,不仅是需要进行调节与控制的重要性能参数,而且也是应用设计研究中的主要参数。火炸药只有按照一定的规律燃烧或爆炸才能够在武器装备上应用。

1.2.1 炸药的爆炸性能

炸药在爆炸时形成高温高压的气体产物,它直接作用于目标,能对周围介质产生强烈的冲击和压缩作用,从而使与其相接触或接近的物体产生运动、变形、破坏与飞散。除此之外,当炸药在空气和水等介质中爆炸时,由于爆轰产物的膨胀,压缩周围介质,在周围介质中形成冲击波,冲击波在这些介质中传播可以对较远距离的物体产生间接破坏作用。我们把炸药爆炸时对周围物体的各种机械作用(直接和间接的)统称为炸药的爆炸作用。衡量炸药爆炸作用的指

标(参数)常用威力和猛度。

一、威力

现在以一发杀伤爆破弹在地面爆炸时为例,它的各种爆炸作用形式有:弹体的变形和破碎;弹体破片高速度向外飞散;压缩和抛掷泥土;在空气中形成冲击波等。因此,炸药爆炸时,做功的形式是多种多样的。但是对于某一种特定的目的来说,只有某一种或某几种爆炸作用才是有效的。爆炸的总做功能力可由下式表示:

$$A_{\Sigma} = A_1 + A_2 + A_3 + \cdots + A_n$$

式中, $A_1, A_2, A_3, \cdots, A_n$ 为各项爆炸作用所做的功; A_{Σ} 为各项爆炸作用做功的总和。

我们把炸药爆炸时对周围介质所产生的各种爆炸作用的总和,即炸药所做的总功,称为炸药的做功能力,又称炸药的威力。它决定或表示炸药的整体破坏能力。

1. 威力的理论表达式

假定炸药爆轰生成的高温高压产物气体进行绝热膨胀做功,以高温高压气体产物为系统,依热力学第一定律可计算爆炸时所做的功为:

$$A = Q_v$$

若爆轰气体是按 $PV^{\kappa} = \text{常数}$ 做等熵绝热膨胀,则由气体状态方程推得:

$$A = \left(1 - \frac{P_2}{P_1}\right) Q_v = \eta Q_v$$

式中, Q_v 为炸药的爆热(kJ/kg); A 为炸药爆炸做的总功(kJ/kg); η 为做功效率; P_1, P_2 分别为爆轰产物膨胀初态、终态的压力。

2. 威力的测定

目前常用的测定方法有铅铸法和威力摆法,前者方法简单、直观,但只能间接表示威力大小,后者可直接计算出威力的数值。

(1) 铅铸法。炸药的威力常用铅铸扩张值表示,如图 1-1 所示。

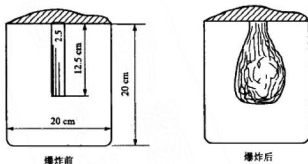


图 1-1 爆炸前后铅铸示意图

测出爆炸前后铅埭孔的体积差,该差值可间接表示炸药威力的大小。显然,体积差越大,即铅埭扩张值越大,说明炸药的威力也越大。

(2) 威力摆法。威力摆又叫弹道臼炮,其原理装置如图 1-2 所示。

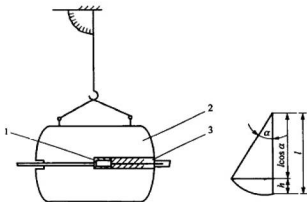


图 1-2 威力摆原理示意图

1—炸药;2—摆体;3—炮弹

炸药爆炸后,生成的高温高压气体产物在膨胀时要做功,它所做的功分为两部分:一部分把炮弹抛射出去(发射实心弹);另一部分使摆体摆动 α 角,其重心升高 h ,以这两部分所做的功之和表示炸药的威力,即:

$$A = A_1 + A_2$$

式中, A 为炸药的威力; A_1 为使摆体摆动 α 角所做的功; A_2 为发射实心弹所做的机械功。

运用机械能转换及守恒定律和动量守恒定律,推导后得:

$$A = A_1 + A_2 = Mgh + \frac{mu^2}{2} = Mgl(1 - \cos \alpha) \left(1 + \frac{M}{m} \right)$$

式中, M 为摆体的质量,kg; g 为重力加速度,值为 9.8 m/s^2 ; l 为摆长(摆体重心到回转中心的距离),m; α 为摆角; m 为炮弹的质量,kg; u 为炮弹初速度,m/s。

一般是以梯恩梯为标准,其他炸药的威力与梯恩梯威力之比称为该炸药的梯恩梯当量。炸药威力的梯恩梯当量 $= A_{\text{炸药}} / A_{\text{梯恩梯}}$,此值越大,威力就越大。

3. 提高炸药威力的途径

(1) 提高炸药的爆热能提高其威力。由威力理论表达式 $A = \eta \cdot Q_v$ 知,提高爆热 Q_v 可以提高 A 。正因为如此,在炸药中加入铝、镁、铍粉,就能增加炸药的爆热,从而可较大地提高炸药的威力。

(2) 提高炸药的比容能提高其威力。这可能是增加炸药的比容后,会提高爆炸气体产物终态的比容:

$$A = Q_v \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{t-1} \right]$$

由式知, V_2 增大, 会使 η 增大, 从而提高炸药的威力。

(3) 尽可能使炸药保持零氧平衡。由于炸药在零氧平衡时, 爆炸反应完全, 放出的热量最大, 因而炸药的威力相应较大。

二、猛度

炸药爆炸时, 爆轰产物对周围介质或与其接触的物体有猛烈的直接作用, 从而使与炸药直接接触的物体受到强烈的破坏。我们称炸药的这种直接作用为炸药的猛炸作用或爆炸直接作用, 又称作炸药的猛度。它决定炸药的局部破坏作用。

在实际应用中, 利用局部破坏作用的例子很多, 如弹丸爆炸形成破片、聚能装药破甲弹的破甲作用、利用爆炸高速抛掷物体, 以及利用炸药的直接接触爆炸切断钢板、破坏桥梁的各种结构等。

1. 猛度的理论表示法

爆炸的直接作用, 主要决定于爆轰产物的压力及其作用时间, 也就是决定于爆轰产物作用于目标的压力和冲量。在不同情况下, 压力和冲量起的作用不同, 因此表示炸药猛度的方法有以下两种。

(1) 爆轰结束瞬间产物的压力(P)。当爆轰产物对目标的作用时间大于目标本身的固有振动周期时, 对目标的破坏能力只取决于爆轰产物的压力。炸药爆轰时能破碎周围坚固介质的原因正是由于高温高压的爆轰产物能直接对介质产生强烈的冲击作用。对凝聚炸药可用下式表示其猛度:

$$p = \frac{1}{4} \rho_0 D^2$$

式中, p 为爆轰产物压力(表示猛度), Pa; ρ_0 为装药密度, kg/m^3 ; D 为爆速, m/s 。

(2) 作用在目标上的比冲量。当爆轰产物对目标的作用时间小于目标的固有振动周期时, 对目标的破坏能力不仅取决于爆轰产物的压力, 而且还取决于压力对目标的作用时间。所以, 此时用比冲量表示猛度更为合适。

我们把作用在目标上的力与该力对目标作用时间的乘积, 称为作用在目标上的冲量, 其公式为:

$$I = \int S \cdot p \cdot dt$$

而把作用在单位面积上的冲量叫比冲量 i 。若目标的受力面积 S 不随时间而改变, 则:

$$i = \frac{I}{S} = \int p \cdot dt$$

因此, 要计算比冲量 i , 首先要知道作用在目标上的压力。

上述两式中, I 为作用在目标上的冲量; i 为作用在目标上的比冲量; p 为作用在目标上的压力; S 为目标的受力面积; t 为力对目标的作用时间。

2. 猛度的测定方法

通常用铅柱压缩法和猛度摆法测定。前者方法简单, 便于测定, 但只能间接表示猛度大小, 不能测出其真实值, 而后者可直接计算出猛度的数值。

(1) 铅柱压缩法。测量装置如图 1-3 所示, 其猛度大小可用铅柱压缩值表示。测定出炸药爆炸前后铅柱的高度差, 即为铅柱压缩值, 即可表示出炸药的猛度大小。显然, 铅柱的压缩值越大, 炸药的猛度也就越大。

(2) 猛度摆法。此法可直接测定爆炸作用的比冲量, 其装置如图 1-4 所示。

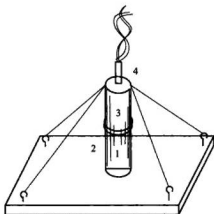


图 1-3 铅柱压缩装置图

1—铅柱; 2—铜片; 3—炸药; 4—雷管

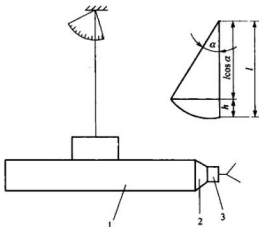


图 1-4 猛度摆测定原理示意图

1—摆体; 2—击砧; 3—装药

猛度摆是由一个挂在旋转轴上的长圆柱形实心摆体构成。实验时将一定量的炸药, 在一定压力下压成药柱, 以药柱底部贴放在图示的击砧断面处, 并正对药柱和摆体的轴线。雷管起爆炸药后, 由于爆轰产物的直接冲击, 会使摆体摆动一定角度, 再结合能量守恒定律, 即可计算出爆炸作用比冲量, 表示猛度的大小。

设弹道摆体质量为 $m(\text{kg})$, 摆的长度为 $l(\text{m})$, 摆角为 α , 摆体重心上升高度为 $h(\text{m})$, 摆断面受冲击力的受力面积为 $S(\text{m}^2)$, 经推导有:

$$i = \frac{I}{S} = \frac{mu}{S} = m \cdot 2gh = m \cdot 2gl(1 - \cos \alpha)$$

3. 提高炸药猛度的途径

(1) 提高装药密度能提高猛度。由 $p = (1/4)\rho_0 D^2$ 可知, ρ_0 增大, 即增大装药密度, 可使 p

增大,也就提高了炸药的猛度。

(2) 增大炸药颗粒粉碎程度能提高猛度。粉碎度越大,越容易混合均匀,爆炸完全,猛度就越大。

(3) 尽可能接近零氧平衡。对单体炸药,接近零氧平衡时,猛度大;而正氧平衡或负氧平衡时,猛度就小。而对于含铝或其他金属粉的炸药,虽增加了威力,但不能增加猛度,反而减小了猛度。其原因是金属粉的加入虽增大了爆热(可提高威力),但爆热的增加是由于爆炸产物的二次反应是放热的缘故。

三、聚能效应

使炸药爆炸作用的能量集中于一定方向的效应,称为聚能效应。

底部具有锥形空穴的装药,其爆轰波传播至锥孔顶部后,爆轰产物的气流沿锥孔面的法线向轴心抛散,由于各向气流都向轴心集中,因而形成能量集中的一股集聚气流。这股气流的密度和速度分布是不均匀的,而在距离装药端面某一距离处达最大值,即在焦点附近出现最强的聚能效应。该距离称为焦距或炸高。

聚能效应在军事上用于增加炮弹的破甲能力;在民用上用于供油气井开采的射孔弹、切割钢板等。

四、殉爆

炸药装药爆轰时引起位于与它相隔一定距离处的其他装药发生爆轰的现象,称为殉爆。殉爆也反映了炸药对冲击波的感度。

首先爆轰的炸药称为主发炸药或主爆炸药,被殉爆的炸药称为被发炸药或被爆炸药。主发炸药爆轰时被发炸药 100% 殉爆的两装药间的最大距离,称为殉爆距离;而被发炸药 100% 不殉爆的最小距离,称为殉爆安全距离。

1.2.2 发射药的燃烧性能

发射药的燃烧性能主要是指发射药的燃烧速度以及当温度和压力变化时燃速变化的规律。研究发射药燃烧的目的在于解决发射药稳定、规律(平行)地燃烧,并满足不同武器对不同燃速的要求。

一、几何燃烧定律

实验证明,发射药的燃烧时间与其燃烧层厚度成正比,因此可以做出下面三点基本假设:

- ① 装药中所有药粒的各个表面都在同一瞬间被点火药点燃;
- ② 每一个药粒在相同的条件下按平行层的规律燃烧;
- ③ 装药中每个药粒的几何形状与尺寸都严格一致。

几何燃烧定律只是简化问题的一个近似假设,这样就可以用单个药粒的几何尺寸的变化来处理整个装药的燃烧规律。

二、线性燃烧速度

线性燃烧速度是指沿发射药表面垂直方向燃烧推进的速度,即固相消失的速度, $u = de/dt$ 。通常所说的燃速就是指线性燃烧速度。大量研究表明,线性燃烧速度除了与发射药的组织结构有关以外,主要还与发射药的初始温度和燃烧压力有关。

目前常用燃速关系式是指数式经验公式:

$$u = u_1 p^n$$

式中, u_1 为燃速系数; p 为燃烧压力; n 为燃速压力指数。

三、质量燃烧速度

质量燃烧速度是指单位时间内发射药燃烧掉的相对质量,也称为燃气生成速率。表达式为:

$$u_m = \rho \cdot u$$

1.2.3 推进剂的燃烧性能

固体推进剂的燃烧性能是直接影响到火箭发动机弹道性能的重要因素,燃速的快慢影响发动机的工作时间和飞行速度。推进剂燃速受外界压力和温度影响的大小,也直接影响发动机工作性能的稳定性。

一、推进剂燃烧性能参数

1. 推进剂的燃烧速度

推进剂的线性燃速(u):定义与发射药相同, $u = de/dt$,单位为 mm/s;

推进剂的质量燃速(u_m):推进剂燃烧时单位时间、单位面积上固相消失的质量, $u_m = \rho \cdot u$,单位为 $g/(cm^2 \cdot s)$ 。其中 ρ 为推进剂的密度, g/cm^3 。

2. 推进剂的燃速压力指数(n)

推进剂在火箭发动机使用压力范围的燃速-压力关系式也是指数关系,表达式为:

$$u = u_1 p^n$$

式中, p 为燃烧室压力; u_1 为燃速系数; n 为燃速压力指数。

推进剂的燃速压力指数小于 1 是火箭发动机稳定工作的必要条件。

3. 推进剂的燃速温度系数

在一定的装药条件下,初温升高,燃速增大,燃烧室的压力随之升高,发动机产生的推力增

大,燃烧时间缩短;反之亦然。

燃速温度系数是指在一定压力条件下,推进剂温度 T 变化 1 K 时引起燃速的相对变化量。

二、影响推进剂燃烧速度的因素

1. 推进剂的组成与质量分数

高爆热组分质量分数增加,使推进剂的燃速增大。如增加 NG 的质量分数,双基推进剂的燃速增大。能提高燃速的组分质量分数增加,推进剂的燃速随之增大。

催化剂在推进剂配方中,因推进剂类型不同其作用也不相同。导热系数大的物质,如金属丝和石墨纤维,加入到推进剂中,使燃速大幅度增加。

同一种推进剂组分因其物理状态不同,对燃速的影响程度也不同。如高氯酸铵(AP)和提高燃速的正催化剂,当减小其粒径,提高其在推进剂中的分散度时,因增加了它们与推进剂其他组分的接触面,使作用范围增大,可进一步提高燃速。

2. 其他因素

与发射药相类似,推进剂的结构(致密性)、初温、燃烧压力、气流速度等对燃速也有较大的影响。但由于推进剂的压力指数一般要比发射药小不少,而且又是在较低的压力下燃烧,所以,影响程度要小一些;由于推进剂在发动机内的燃烧伴随着向外排气的过程,所以气流速度对燃速的影响要大一些。

1.3 安定性能

火炸药产品(如药柱、弹药装药中的炸药)是要长期存放的。由于长期存放的条件(如温度、湿度、堆放方式及通风等)的不同,火炸药会发生各种程度不同的变化。在这些变化中,有些属于化学变化,有些则属于物理变化。其中把火炸药变色、放出 NO_2 ,甚至产生自燃或自爆的变化统称为化学变化,这类变化的速度是由火炸药内发生的化学变化特性引起,并受这种特性所制约。而使火炸药变脆、结块等不适宜再存放的变化统称为物理变化。火炸药的上述两种变化均属于火炸药的安定性问题。

火炸药的安定性能是指火炸药在贮存条件下保持其物理性质和化学性质变化不超过允许范围的能力,又称为贮存性能。火炸药的安定性能是涉及弹药使用寿命和贮存寿命的重要性能参数。火炸药的安定性能可分为物理安定性和化学安定性。

1.3.1 火炸药的化学安定性

火炸药的化学安定性是指其在贮存期内由于化学原因引起的变化不超过允许范围的能

力。发生在火炸药中的化学变化一般包括热分解、水解、氧化、后固化和老化断链等。化学安定性是影响火炸药贮存性能的主要因素。

热分解是影响火炸药化学安定性的主要因素。火炸药的热分解是指在热作用下,火炸药分子发生分解的现象与过程。实践证明火炸药在任一温度下,都进行着热分解。其实热分解几乎是所有的化学物质都具有的普遍现象。

一、火炸药的热分解

火炸药热安定性的高低与其热分解速度有密切关系,一般热分解速度快的火炸药其热安定性较差,反之热安定性较好(当然也有例外的现象)。所以,可以这样认为,火炸药的热安定性问题的本质就是讨论火炸药热分解速度问题。火炸药不管种类如何,热分解时都遵循着以下规律。

首先,其分解过程是放热的,并生成气体产物。在一定温度下,炸药分子处在相对稳定的状态,这时只有少量的分子因为具有某些多余能量(活化能)而能分解。当温度低时,活化分子数少,分解速度慢,但随着温度升高,活化分子数将增多,因而分解速度也就加快。

其次,分解时是分段进行的,并不是立即形成最终分解产物。热分解第一步是分子受热后,先在分子的最薄弱处断裂,形成分子碎片,这就是热分解的初始反应。产生的碎片一般反应活性强,它与其他中间产物发生反应后,进一步形成最终产物,这一步综合叫热分解的第二反应(即第二步)。

二、热分解速度的测定方法

根据火炸药热分解的特征,测定热分解的原理及方法有以下三种。

1. 量气法

此法是基于火炸药热分解的产物是气体这一特征提出和设计的。可以通过精确的密闭装置,在一定条件下测量火炸药分解前后气体的体积变化或气相压力变化的大小,来衡量火炸药热分解的程度和速度。很显然,这种变化的程度越大,说明火炸药的热分解程度或速度就越大。

2. 失重法

此法是基于火炸药热分解时形成气体产物,而自身质量减少这一特征提出和设计的。在一定的条件下,测出火炸药热分解前后的质量,计算出质量差即可衡量火炸药热分解的程度和速度。该差值越大,说明热分解程度或速度就越大。

3. 测热法

由于火炸药热分解是放热的,所以,可以通过测定分解前后的焓变(或放出的热量)来表示热分解的程度或速度。测热最常用的方法就是测定一定量的火炸药系统分解前后的温差。若温差越大,说明热分解程度就越大。

以上只是从原理上说明各种测定方法的可行性,但在实际操作中还有诸多应注意的问题。比如火炸药在分解时能产生气体,但某些易挥发炸药在测定时也有可能挥发出炸药蒸气;炸药分解后固相质量减少,但挥发后固相质量也减少等,它们都给测定带来干扰或困难,有必要采取特殊措施,同时也说明这些方法有一定的误差性。

至于火炸药热安定性和相容性的测定,因这些现象的本质都与热分解有关,所以,原则上讲凡是测定火炸药热分解的方法都可用于热安定性和相容性的测定。

三、火炸药的热安定性

火炸药的热安定性是指在热作用条件下,火炸药保持其物理、化学及燃烧、爆炸性质不发生可觉察的变化或者发生在允许范围内变化的能力。火炸药的热安定性是由其物理、化学以及爆炸性质随时间变化的速度所决定的。这种变化的速度越小,火炸药的安定性就越高,反之,火炸药的安定性就越低。

炸药的热安定性与分子结构的关系如下。

(1) 爆炸性基团的特性。一般地,热安定性是:硝基化合物 > 硝胺化合物 > 硝酸酯化合物,主要原因是化合物中最薄弱键的解离能,硝基化合物中的 $C-NO_2$ 键 > 硝胺化合物中的 $N-NO_2$ 键 > 硝酸酯化合物中的 $O-NO_2$ 键。

(2) 爆炸性基团的数目及其排列方式。一般说来,炸药中爆炸性基团越多,安定性越低;基团在分子中并列或集中排列都可使安定性明显降低。

(3) 分子内的活泼氢原子。硝基化合物炸药分子中含有活泼氢原子时,活泼氢原子的质子化程度越大,该氢原子就越易发生转移,硝基化合物的安定性就越低。

(4) 分子内的取代基。对含硝仿基或偕二硝基的炸药,分子中引入吸电子取代基时,热安定性提高;引入推电子取代基时,热安定性降低。对硝胺类炸药,取代基对热安定性的影响正好相反,即推电子基改善热安定性,而吸电子基恶化安定性。

(5) 分子结构的对称性。在同类炸药中,具有对称结构者热安定性一般较好,这是一个具有普遍性的规律。

(6) 分子内及分子间氢键。分子内氢键可使分子体积缩小,分子本身的势能降低,因而可提高炸药的热安定性。分子间氢键可增大分子的晶格能,从而使炸药的熔点和分解点升高。总之,氢键是赋予炸药体系稳定性的重要因素,在高稳定性炸药的结构中扮演着重要角色。形成氢键的较理想途径是在炸药分子中适当引入 $-NH_2$,故耐热炸药的合成常采用此法。

(7) 晶型及晶体完整性。许多炸药是多晶型的,如 HMX 有 α 、 β 、 δ 、 γ 四种晶型,以 β -HMX 的热安定性最好。炸药晶体完整性对炸药热安定性的影响一般具有普遍性的规律。为了得到热分解速度慢的晶体,应该选用合适的重结晶方法和适宜的结晶条件,使其形成的晶体完整、表面光洁、边缘圆滑,并避免位错、裂伤等晶体缺陷。

1.3.2 火炸药的物理安定性

火炸药的物理安定性是指其在贮存期和其服役期内由物理原因引起的变化不超过允许范围的能力。火炸药物理安定性的变化,将导致其能量、燃烧或爆炸、力学等重要性能和应用性能的变化。

一、吸湿性

吸湿性是指火炸药在一定大气条件下,吸收空气中的水分和保持一定量水分的能力。

火炸药加工成成品后均残留一定量水分,贮存时要与环境中的大气条件逐步取得湿度平衡。水分质量分数变化将使能量发生变化,特别是使燃烧性能发生明显的变化,最终影响应用性能。

当大气相对湿度从40%变到90%时,双基推进剂水分质量分数的变化一般为0.4%~0.8%。复合推进剂中的氧化剂一般为吸湿性很强的高氯酸铵或硝酸铵,暴露在湿气环境下,将发生氧化剂的吸潮和表面溶解,导致填料与黏合剂界面的分离,使力学性能恶化。

二、挥发性溶剂或组分的挥发

对于溶剂法工艺制备的发射药和推进剂,虽然经驱溶、烘干将挥发性溶剂绝大部分驱除掉了,但由于这些溶剂与发射药和推进剂组分以各种化学或物理键相结合,不可能被全部去掉。这些挥发性溶剂如水分一样,在贮存期间发生变化也将引起发射药的能量和燃烧规律的变化。实验证明:溶剂质量分数变化1%,发射药燃速系数变化10%~15%,溶剂质量分数下降,燃速升高,反之亦然。

三、渗析

火炸药中某些液体组分由药体内部迁移到表面的现象,称为渗析或汗析。火炸药一般也属于聚合物的浓溶液体系,温度的变化会引起溶质和溶剂(如硝化棉-硝化甘油)之间结合力的变化,当温度升高,结合力降低时,溶剂脱离溶质的束缚,向表面扩散或渗透,凝结于表面上。对于惰性溶剂的渗析,可使燃烧或爆炸性能发生变化;对于含能爆炸性溶剂的渗析,使摩擦感度和冲击感度增大,应用性能恶化,突出表现为因表面爆炸性溶剂质量分数增多而燃速突增造成过大的一次压力峰。

防止或减少渗析的方法:① 控制溶剂溶质比,如NG的质量分数一般不能大于40%;② 加入附加组分增加硝化纤维素与溶剂间的结合力,如加入DNT;③ 贮存时保持适宜的温度并且尽可能稳定。

四、晶析

火炸药中某些固体组分由药体内部迁移到表面并呈结晶状态析出现象,称为晶析。晶析的机理可能与固体组分和其他组分的结合力及互溶度有关,当结合力下降或互溶度下降,部分固体组分就通过扩散逐步渗透到表面,附在表面上重新结晶。

配方中一些低分子固体物质(如吉纳、RDX等)超过某一质量分数时,易发生晶析现象。如在含吉纳的发射药或推进剂中,吉纳的熔点为 $49.5\sim 51.5^{\circ}\text{C}$,温度对吉纳在NC中的溶解度影响很大。在加工过程中温度升高($50\sim 90^{\circ}\text{C}$),吉纳在NC中的饱和溶解量增加;成型后冷却到室温(25°C)时,吉纳就处于过饱和状态。随着贮存时间的延长,体系要逐渐趋于平衡,吉纳与NC的结合力松弛,吉纳就沿着结晶饱和线慢慢析出。这是一个自发过程。除吉纳外,其他一些结晶物的加入(如RDX)也可能产生晶析。

晶析,特别是含能组分的晶析,不但能引起摩擦感和冲击感增大,也能引起物理结构、力学性能和燃烧性能的严重恶化。

防止晶析的办法是控制结晶物质量分数和加入附加剂提高低分子固体与NC的结合力,如在吉纳推进剂中加入适量的丁腈橡胶,可使吉纳质量分数适当增加而不产生晶析。

五、表面处理剂的迁移

对于表面钝感或涂覆的发射药,表面处理剂在发射药表层形成稳定的浓度梯度,使发射药获得所希望的燃烧渐增性。但是这种浓度梯度会推动表面处理剂发生迁移以达到平衡,当表面处理剂与发射药表层的结合力(特别当温度变化时)小于浓度梯度所产生的迁移力时,就会引起表面处理剂的迁移。

表面处理剂的重新分布改变了原来的燃烧规律,破坏了表面层燃烧的渐增性和原有的弹道性能。因此表面处理剂的选择有严格的要求。

六、增塑剂的迁移

在双基推进剂装药中,当采用高分子聚合物(如乙基纤维素和聚甲基丙烯酸甲酯等)作为包覆层时,经一定贮存期后,双基推进剂中的NG和DBP等溶剂将向包覆层内迁移,使推进剂与包覆层接触面的组分发生变化,能量和燃速降低,黏结强度改变,甚至降低包覆层的阻燃隔热效果,因而破坏火箭发动机的内弹道性能。在使用硝酸酯增塑的NEPE推进剂中也存在此问题。

增塑剂向包覆层迁移的原因是包覆层中的主要成分与NG有一定的溶解能力。当推进剂与包覆层紧密接触黏结时,在界面上存在NG的浓度差而向包覆层中迁移。随着贮存时间的延长,NG的迁移越多,直到界面两边NG达到各自的平衡浓度为止。

1.3.3 火炸药的相容性

火炸药在储存、使用过程中,必然要与其他材料(或组分)相互接触(或混合),如炸药包就存在着炸药与包装纸及材料的接触,而炮弹中就存在着炸药与金属弹壳间的接触,混合炸药存在着各组分的接触。那么在它们相互接触或混合期间就可能发生各种变化,应当予以考虑,火炸药的相容性就是讨论这些问题的。

火炸药的相容性是指火炸药与其他材料混合或接触(火炸药做成一定几何形状)后,在混合体系内或相接触物质之间发生不超过允许范围内变化的能力。衡量火炸药相容性的基本原理是用混合体系的反应速度和原有火炸药和组分的反应速度相比较,分析其改变的程度。凡混合体系的总反应速度明显增加并超过允许范围,这种体系认为是不相容的;反之,混合体系的反应速度变化小于允许范围或与原火炸药的反应速度相当,就认为该体系是相容的。由于测定火炸药热分解的方法很多,反应速度的表示方法各有不同,所以,用来判断混合体系相容性的参量、标准也不同。总的看来,可用下式表示:

$$R = R_{\text{混}} - (R_{\text{炸}} + R_{\text{材料}})$$

式中, $R_{\text{混}}$ 为混合体系的反应速度; $(R_{\text{炸}} + R_{\text{材料}})$ 为火炸药和体系其他组分单独热分解时(按一定比例)的反应速度。

火炸药的相容性按其讨论对象可分为内相容性和外相容性。把讨论主体火炸药与其他材料(组分)混合后反应速度变化情况的相容性叫内相容性,是从混合炸药、复合火药的角度研究的,主要对选择组分有参考意义。把火炸药作为整体,研究火炸药与其他材料(包括金属、非金属)接触后可能发生的反应情况,属于接触相容性,又叫外相容性,主要对选择包装材料、装弹材料等有参考意义。

1.3.4 炸药的热爆炸

凡在单纯的热作用下,炸药在几何尺寸与温度相适应的时候能发生自动的不可控的爆炸现象称为炸药的热爆炸。

炸药的热爆炸是炸药体系的一种不可控的内加热效应。这种不可控的过程,可以由外界加热,也可由内部自身的自发化学热而引起。在适宜的几何尺寸、温度、绝热等条件下,所有炸药或者能进行放热反应的物质都可以出现自行引燃,甚至爆炸的现象。

产生热爆炸现象的基础是化学反应的放热性以及化学反应速度与温度的关系。

因为炸药在任何温度下都以一定的速度进行热分解而放出热量,因此,一般地讲,炸药在热分解过程中,应有升温的趋势。随着温度的升高,反应的放热速度也增大,因此,温度升高的可能性将增大。但是,分解放出的热量还有向周围环境散失的过程。按反应动力学原理,放热

速度随温度的增加而呈指数增加,而按传热原理,散热速度随温度的变化呈线性关系。控制放热和散热两个过程,将会对炸药的热爆炸产生很重要的影响。随着条件的不同,上述两过程可能会出现下列几种情况。

(1) 散热速度大于放热速度。化学反应产生的热量很快地散失于环境,炸药的温度不但不会上升,反而可能会下降,因此,不会出现热积累,当然也就不会产生热爆炸。

(2) 放热速度大于散热速度。这时反应产生的热量不能及时地完全移走,而在炸药中有热积累,从而使炸药温度不断上升。随着炸药温度的上升,热分解速度以及放热速度又不断加快,最终结果就会突然产生意外的热爆炸。

(3) 放热速度等于散热速度。即体系的放热与散热正好平衡,在诸多的热平衡状态中存在着稳定的和不稳定的两种热平衡。对于稳定的热平衡状态,除非外界条件发生显著地或意外地大幅度变化,它是不会产生自发的热爆炸现象。而对于不稳定的热平衡状态,它不具有抵抗外界干扰的能力,哪怕是微小的外界干扰。当它受到某些干扰后可以转变为热爆炸,但受到另一些干扰后也可转为缓慢的热分解,故又称该状态为“临界”状态,意味着一种居中可变的状况。实验结果也证实,只要稍微改变一下临界状态下的温度、炸药的几何尺寸、传热条件等,就会导致处在该状态的炸药发生突然的热爆炸,或者进行平稳的热分解。因此,临界状态是一个重要的状态,只要控制好临界状态的条件,或者使炸药控制在放热速度小于散热速度的状态下,就可避免或控制炸药的热爆炸。

综上所述,产生热爆炸的直接原因是炸药的热分解,其根本的一条是体系因热分解而产生的放热速度大于体系向环境的散热速度,从而在体系内出现热积累,而放热速度等于散热速度的不稳定热平衡点对应着热爆炸的临界状态。

1.4 安全性能

火炸药的安全性是指它们在生产、贮存、运输和勤务处理等过程中对外界能量刺激的敏感程度。又称为火炸药的感度。引起炸药发生爆炸变化的外界作用称为初始冲量或起爆能,衡量炸药感度的高低常用最小初始冲量值表示。最小初始冲量小,表示炸药的感度大;反之,最小初始冲量大,则炸药的感度就小。

火炸药在生产、贮存、运输、勤务处理和使用过程中,可能受到的外界能量刺激有热、火焰、机械作用(冲击和摩擦)、静电火花、冲击波等。目前,评价火炸药安全性的主要参数有热感度、撞击感度、摩擦感度、静电火花感度和冲击波感度;对于炸药则还包括起爆感度和枪击感度。

1.4.1 热感度

试样在热作用下发生燃烧或爆炸的难易程度称为热感度。

一、热感度的测定及表示法

热感度的测定最常用的方法是爆发点实验和火焰感度实验,前者表示火炸药对均匀加热的敏感度,后者则表示火炸药对火焰点火的敏感度。

1. 爆发点实验

火炸药可以在温度足够高的热源均匀加热时分解放热而发生爆炸,从受热到爆炸经过的时间称为感应期或延滞期。在一定条件下,火炸药发生爆炸或发火时加热介质的温度称为爆发点或发火点,使火炸药发生爆炸时加热介质的最低温度称为最小爆发点。目前广泛采用一定延滞期的爆发点来表示火炸药的热感度,常用的有5 min、1 min或5 s延滞期的爆发点。常用下列方法测定:

一定量的试样,在一定条件下,测定延滞期和温度的关系,实验结果用图表示。实验装置如图1-5所示,上述方法测得爆发点低,说明火炸药热感度大,反之则热感度就小。

2. 火焰感度的表示及实验

比较简单又较粗糙的测定火焰感度的方法是用密闭的火焰感度仪。在一定条件下,黑火药燃烧时喷出的火焰或火星作用在试样表面上,观察是否发火,以火焰感度的上下限表示其火焰感度的高低。其测定装置如图1-6所示。

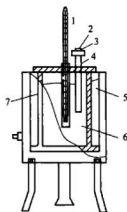


图1-5 爆发点测定仪

1—温度计;2—塞子;3—固定螺母;4—雷管壳;
5—加热浴体;6—加热用合金;7—电炉

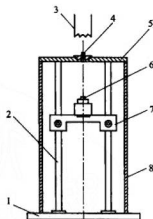


图1-6 火焰感度仪

1—底座;2—立柱;3—点火装置;4—黑药柱;
5—顶盖;6—试样;7—托盘;8—护罩

上限,指火炸药百分之百发火的最大距离,其值大,则火炸药的火焰感度就大;反之,则感度就小。下限,指火炸药百分之百不发火的最小距离,其值大,则火炸药的火焰感度就大;反之,则感度就小。

在实际应用中,上限对于使用、点燃火炸药具有一定的参考意义,而从安全角度,为防止发生意外,下限则具有一定的指导意义。

二、热作用下炸药的爆炸机理

许多火炸药在热作用下发生爆炸是单纯的热机理,而有些则是自动催化热爆炸和链锁热爆炸。其中的共性都是体系内各种原因形成了热积累,导致火炸药热分解反应的放热速度大于体系向环境的散热速度,使火炸药体系温度不断升高,形成恶性循环,当达到一定温度后,火炸药就发生了不可控的爆炸现象。

1.4.2 机械感度

机械感度表示试样在机械作用下发生爆炸的难易程度。

火炸药在生产、运输、使用时,不可避免地要发生一些机械撞击、摩擦、挤压等作用,在这些作用下,火炸药是否会发生爆炸,怎样才能保证其生产、运输和使用等过程中的安全等问题,都是研究火炸药机械感度的目的。最常见的机械作用为撞击和摩擦。

一、撞击感度

一般火炸药撞击感度试验采用立式落锤仪,如图1-7所示。

它有两个或三个平行的导轨,与地平面垂直,重锤在平时是由钢爪或磁铁固定在不同的高度上,通过解脱机构使重锤落下,并在导轨之间自由滑动,常用的锤重为0.5 kg、2 kg和10 kg等。仪器的另一种重要部件是撞击装置,如图1-8所示,主要包括击柱套、击柱及底座。仪器的导轨和钢底座以及撞击装置采用的材料、加工精度和光洁度、硬度等都有严格规定。

在测定时,对试样的粒度、质量都有明确的规定,且必须是干燥的。受撞击的试样凡是发生声、光、分解、冒烟等现象之一者,均应视为发生爆炸。用立式落锤仪测定炸药撞击感度,主要有以下几种表示法。

(1) 爆炸百分数。它是在一定锤重和一定落高下撞击试样,以发生爆炸的百分数表示。最常用的实验条件为锤重10 kg,落高25 cm,一组实验25次,计算其爆炸百分数。若在上述条件下爆炸百分数为百分之百或零,则不易

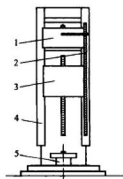


图 1-7 立式落锤仪

1—抓放装置;2—分度尺;3—落锤;
4—导轨;5—撞击装置

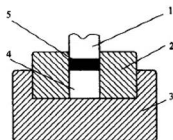


图 1-8 撞击装置

1—上击柱;2—击柱套;3—底座;
4—下击柱;5—试样

进行炸药间的比较,可选择较轻或较重的锤再行试验。显然,在实验条件下,爆炸百分数大的火炸药其撞击感度就高,否则就低。

(2) 上限或下限。上限是指炸药百分之百爆炸的最小落高,下限是指百分之百不爆炸的最大落高。测定时,采用一定锤重,改变落高,平行实验一般在10次。上限值大,则火炸药的撞击感度就小,反之撞击感度就大;下限值大,则火炸药的撞击感度就小,反之撞击感度就大。上限值对我们利用撞击作用人为起爆,或引爆炸药具有指导意义;而下限则对安全运输、生产火炸药、预防意外有一定的参考意义。

二、摩擦感度

目前,我国广泛使用的是柯兹洛夫摩擦摆,它主要由液压系统和打击部分组成。液压系统使炸药承受压力,打击部分是驱动击柱产生摩擦。打击部分如图1-9所示。

试验时,将一定量试样放在上下击柱之间,开动油压机,通过顶杆将击柱从导向套顶出,直到上下击柱的接触面离开导向套,上击柱上端顶在上顶板下面,下击柱下端顶在顶杆上端,上下击柱间的火炸药试样承受一定压力,其大小可由压力表读数,顶杆活塞和击柱横截面经计算而求得。在压力稳定的条件下,将摆锤由一定摆角处落下,打击击杆,使上击杆迅速移动1.5~2 mm,击柱间火炸药受摩擦作用,只要出现发声、光、分解、冒烟等现象之一者均视为爆炸,以爆炸百分数表示摩擦感度的高低。显然,爆炸百分数大,表示炸药的摩擦感度就大。常用的试验条件如下。

对高感度炸药:表压40 atm^①,摆角90°,试样药量20 mg。

对低感度炸药:表压50 atm,摆角96°,试样药量30 mg。

三、机械作用下炸药起爆机理

这是一个非常复杂的问题,至今尚无一种能很全面的解释各种火炸药受机械作用发生爆炸的机理。目前公认的一种比较容易理解和接受的起爆机理为热点学说。

热点学说认为,当固体或液体火炸药受到撞击或摩擦时,机械能首先转化为热能,并聚集在小的局部范围形成“热点”,在热点处发生热分解。由于分解的放热性,分解速度迅速增加,在热点内形成强烈反应,结果引起全部火炸药和部分火炸药爆炸。热点的形成和扩展是有过程的,首先是形成热点,再以热点为中心向周围扩展,以爆燃形式进行,再由燃烧转为低速爆

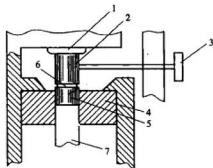


图1-9 摩擦摆打击部分略图

1—上顶板;2—上击柱;5—击杆;4—导向套;
5—下击柱;6—炸药;7—顶杆

^① 1 atm=101.325 kPa。

轰,直到稳定爆轰。

1.4.3 静电感度

常用的火炸药多属绝缘体,在生产加工过程中,如混药、压药、输送、干燥等生产环节中,不可避免地要与其他设备的材料(不同性质的物质)摩擦而带静电,当所带静电能量足够大时,在适当条件下就会放电而产生足够的电火花引起火炸药的爆炸和燃烧事故。火炸药的静电感度主要包括火炸药在摩擦时产生静电的难易程度和火炸药在静电火花作用下发生爆炸的难易程度。

一、摩擦带电的难易程度

目前,测量火炸药摩擦带电的方法和装置均很简单,其装置如图 1-10 所示。

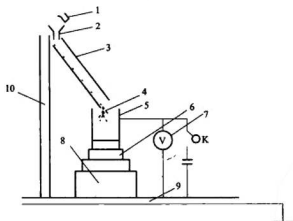


图 1-10 测量炸药摩擦带电装置

- 1—样品杯;2—漏斗;3—导槽;4—试样;5—金属容器;6—绝缘板;
7—静电电压表;8—聚四氟乙烯垫;9—导电橡皮;10—支架

测量时把一定量火炸药试样,借助漏斗从导槽顶端滑下,落入容器中,由于火炸药在下滑过程中与导槽互相摩擦而带静电,依下式可计算出所带电量:

$$Q = C_1 V_1$$

式中, Q 为摩擦所带电量; C_1 为装置的电容; V_1 为静电电压表读数(电压值)。

若测得 C_1 与 V_1 ,即可求得电量值 Q 。对一定装置 C_1 可以认为是一个常数,电量即可用静电电压表读数 V_1 来衡量。若要测量装置的电容 C_1 ,可以合上开关 K ,使已知外加电容 C_2 与 C_1 并联。此时,由于并联外加电容后,火炸药所带电量相等,即:

$$Q = C_1 V_1 = (C_1 + C_2) V_2$$

解得:

$$C_1 = \frac{C_2 V_2}{V_1 - V_2}$$

因为 C_2 已知, V_1 、 V_2 可由电压表测得,所以可求出 C_1 。

由于上述测量方法不甚精密,影响实验的因素也较多(诸如装置导槽的材质、长度、斜角;火炸药试样的数量及粒度;测定环境的湿度等),都对火炸药所带电量值有直接影响,所以很难获得准确结果,其值仅能用作各类炸药间的相互比较。

二、静电火花作用感度

静电火花作用感度的测定方法不太统一,所用的仪器不同,其实验结果亦不统一。基本原理是应用下式:

$$E = \frac{1}{2} CV^2$$

式中, E 为火花放电的能量; C 为电容; V 为电压。

其中较为简单的实验方法原理如图 1-11 所示。实验时,先将开关 K 接到 1 处,依靠高压电源给电容器充电到所需电压,然后把 K 接到 2 处,电容器就通过两个尖端电极放电,产生静电火花,火花作用在两个尖端电极间的火炸药试样上,看火炸药试样爆炸与否,以爆炸百分数表示静电火花感度高低。显然,爆炸百分数高,火炸药的静电火花感度就大,反之亦小。

从以上分析来看,静电对火炸药生产是有危害的,在火炸药生产及火工品生产中发生意外爆炸的主要原因之一就是由静电放电引起的。所以在火炸药的生产、运输、贮存乃至使用火炸药、起爆药、火工品等过程中,均应采取防止或消除静电的措施。通常采取以下几点予以防止或消除静电。

- (1) 增湿。在允许情况下,增加工房湿度使带电体表面附着水分,降低表面电阻系数,有利于把已产生的静电导入大地。
- (2) 接地。设备尽可能都接地,这样能及时把设备上的静电导走,但接地不是对所有情况都有效。
- (3) 涂层。在设备壁上涂一层和火炸药得电子或失电子能力相同的物质,使产生静电尽可能少一些,还可涂上一层防静电剂。
- (4) 包覆。火炸药包覆一层导电物质,从而使产生的静电易于移走。
- (5) 导电橡胶。在可能条件下,桌面、地面铺设导电橡胶,以使静电及时导走。

1.4.4 爆轰及冲击波感度

应用炸药时,大多数都是采用强冲击波起爆的方法。无论是由雷管、传爆药,还是另一装药通过惰性隔板来起爆炸药,基本过程都一样。不同的是,当雷管或传爆药与炸药直接接触时,除冲击波以外,还有爆炸产物及雷管碎片的直接作用。研究爆轰及冲击感度,对适当使用或引爆炸药具有一定的指导作用。

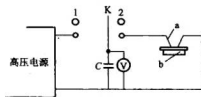


图 1-11 测量炸药静电火花感度示意图

a—尖端电极; b—炸药试样

一、爆轰感度

一般用最小起爆药量表示爆轰感度的高低。最小起爆药量是指在一定实验条件下,引起猛炸药完全爆轰所需要的最少起爆药的量。最小起爆药量越小,则表示炸药对起爆药的爆轰感度越大;反之,则说明炸药对起爆药的爆轰感度越小。

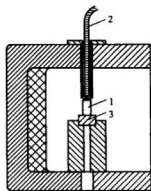


图 1-12 爆轰感度测试装置

1—雷管;2—导火索;3—铅板

实验装置如图 1-12 所示。实验时首先在 8 号雷管壳中装入 1 g 试样(猛炸药),然后以 500 kg/cm^2 的压力压药,再将一定量的起爆药装入上述雷管中,用 300 kg/cm^2 压力压紧起爆药,在压成的雷管中插入导火索,然后压紧雷管壳上的口使导火索固定。将装置好的雷管放在防护罩内,并垂直放在 $\phi 40 \times 4 \text{ mm}$ 的铅板上,点燃导火索引爆雷管。猛炸药是否完全爆轰,由铅板被击穿的情况断定。如果铅板被击穿的孔径大于雷管壳的外径,表明雷管内猛炸药完全爆轰;若铅板上留有不同长度的半爆雷管,铅板也没有穿孔,或仅有雷管的压痕,则表明猛炸药试样未完全爆轰。用试差法改变起爆药的药量,重复上述实验,则可找出猛炸药的最小起爆药量,其精度应达到 0.01 g。

二、冲击波感度

炸药在冲击波作用下,发生爆炸的难易程度称为炸药的冲击波感度。

常用隔板试验测定冲击波感度,其装置如图 1-13 所示。在一定实验条件下,由主发装药爆轰给出一定强度的冲击波,通过惰性隔板衰减,使其强度仅能引起被发装药爆轰,此时隔板的厚度称为“隔板值”,或者叫 50%点,用来表示被发装药对冲击波感度的敏感度。

隔板值等于 $(n+n')/2$, n 为被发装药能 100%爆轰时的最大隔板厚度, n' 为被发装药 100%不爆轰时的最小隔板厚度。

“隔板值”越大,则被发炸药对冲击波感度越大;反之,则被发炸药对冲击波感度就越小。

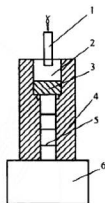


图 1-13 隔板试验装置

1—雷管;2—主发装药;3—隔板;
4—外壳;5—被发装药;6—钢底座

1.4.5 枪击感度

在枪弹的高速撞击下,炸药发生燃烧或爆炸的难易程度称为枪击感度。落锤撞击是低速

撞击,枪弹撞击是高速撞击,后者比前者更能准确评价炸药在使用过程的安全性和起爆感度。我国规定采用 7.62 mm 步枪普通枪弹,以 25 m 的射击距离射击裸露的药柱或药包,以不小于 10 发试验中发生燃烧或爆炸的概率表示试样的枪击感度。

1.4.6 影响感度的因素

影响火炸药感度的因素很多,但归纳起来主要有两大方面,即火炸药(尤其是炸药)的本身结构及其物化性质(称为影响因素中的内因)和火炸药的物理状态及装药条件(称为影响因素中的外因)。前者由火炸药本身的结构决定,一般难以改变,除非改变火炸药的品种,它对开发新品种火炸药具有一定的指导意义;而后者是外部因素,是可以根据需要人为改变或调整的,它对使用火炸药和安全生产、运输、贮存等均有实际的参考意义。

一、火炸药的结构及物理化学性质的影响

1. 火炸药分子中爆炸性基团的性质、位置及数目

实践中发现,一般地,硝酸酯类炸药要比硝基化合物类炸药感度大,硝酸类炸药的感度居中(如 NG 比 RDX 感度高,而 RDX 又比 TNT 感度高);爆炸基团数目在同一类炸药中越多,其感度也就越大(如 TNT 的感度就大于 DNT 的感度);爆炸基团的位置对感度也有影响,其原因、规律均很复杂(如 NG 的感度比 PETN 的大,其原因就是爆炸基团相对位置不同所致)。

2. 火炸药的生成热

炸药的生成热小感度就大。如大多数起爆药为吸热化合物,即生成热为负值(有的资料称作生成焓变,为正值);而大多数猛炸药是放热化合物,即生成热为正值(有的资料称作生成焓变,为负值)。实际上,起爆药就是比猛炸药的感度大。

3. 火炸药的活化能

使炸药分子激发到活化态发生分解反应所需的能量即为炸药的活化能。活化能大的炸药感度小,反之则感度大。

4. 火炸药的热容和导热率

使单位质量的炸药温度升高 1°所需的热量就是炸药的热容。热容大的炸药,其热感度小,反之则大。导热率即指单位导热长度上温差为 1°时固传导所传递热量的速度。显然,导热率小时,不利于使火炸药内部热量散失到周围介质,有利于热积累,受热时易使温度升高,易发生热爆炸,即热感度高。

火炸药的热容和导热率对机械感度实验影响不大,因为在机械作用下,火炸药发生爆炸的原因是局部形成热点,而热点形成和扩展是在极短的时间内完成的,大约为 10^{-5} s,以致导热率不可能起显著的作用。

5. 火炸药的挥发性

挥发性对热感度影响较大,而对机械感和爆轰感度影响很小,因为在机械作用或冲击波作用下,火炸药发生爆炸都是在高压下实现,在此条件下火炸药的蒸发完全受到抑制。火炸药的挥发性大,在加热时易变为蒸气,由于其蒸气的密度较低,分解自加速小,因此发火比凝聚态困难,故表现为热感度小。

6. 火炸药的爆热

爆热对机械感度影响较大,爆热越大,火炸药的机械感度就越大。原因是爆热大的火炸药只需要较少的分子反应释放出的能量就足够维持爆轰继续传播下去而不衰减。

二、火炸药的物理状态及装药条件的影响

火炸药的物理状态及装药条件对其感度影响很大,这对改善火炸药的各种感度有实际意义。

1. 火炸药的初温

火炸药的初温(即爆炸前火炸药的初始温度)越高,其各种感度均高;反之,各种感度均低。所以贮存火炸药要维持在一定温度之下。

2. 火炸药的物态

通常火炸药的液态比其固态的感度要大,其原因一是固体火炸药在较高温度下熔化为液体,在液态时分解速度要比固态大几十倍;二是固体熔化为液态要吸收熔化潜热,使内能比固态的高;三是液态时有较高的蒸气压,易于爆燃。分解速度大,内能高,蒸气压大均有利于火炸药发生爆炸,所以同一火炸药,液态要比固态感度大。

3. 火炸药的晶型

同一火炸药的固体晶型可能有几种,实践证明,晶型对其感度亦有相当的影响,如奥克托金的 β -晶型就比其 α -、 γ -、 δ -型的撞击感度低得多。

4. 火炸药的晶体尺寸和颗粒度

火炸药的晶体尺寸或颗粒度越小,其爆轰感度越大。因为火炸药的晶体或颗粒越小,比表面积就越大,所接受爆轰产物的能量也就越大,形成活化中心的数目也越多,所以就更容易引起爆炸反应,且有利于爆轰的传播。

5. 装药密度和装药的物理结构

火炸药的装药密度增大,爆轰感度就减小。在装药中,有的炸药因装药密度过大而出现的所谓“压死”现象就是一例。所谓“压死”,就是炸药的爆轰感度因装药密度增大而减小,以致失去了被引爆的能力。

装药物理结构对爆轰感度影响也很大,同一火炸药胶化状态比粉状的爆轰感度小。在装药密度相同时,压装药柱比铸装药材爆轰感度要大。其原因是胶化态比粉状结构致密,铸装比压装结构要密,爆轰产物的能量不易被致密结构吸收,所以不易引爆。

6. 附加物

火炸药中加入附加物能使其感度增大的称为敏化剂(敏感剂),使其感度减小的称为钝化剂(钝感剂)。这是改善火炸药感度的一种常用而又良好的手段。比如,由于黑索金的感度较高,为方便、安全使用,常常要求降低其自身感度,最简便的方法就是向黑索金中加入钝感剂(地蜡)即可降低其感度。而砂子混入火炸药中常使其机械感度增大(它就是敏化剂),所以为安全生产,必须避免带入砂土或其他铁屑等杂质。

一般地,硬度小、熔点低的附加物,其质量分数增大,火炸药机械感度减小(称为钝感剂);而硬度大、熔点高的附加物,其质量分数增大,火炸药的机械感度增大(称为敏化剂)。

总之,火炸药的各种感度之间无必然的相当的规律可遵循,我们决不能因火炸药的某项感度低而判定它是安全的,应当全面地分析考虑各项指标。再者,因影响火炸药的感度的因素很多,影响机理也很复杂,上面谈到的一些规律有局限性,有一些火炸药的行为与基本的规律有矛盾之处,也就是说有关解释理论存在着片面性或局限性。

火炸药在战场上的安全性通常用易损性来描述。易损性可简单地理解为武器在战场上的生存能力。可以认为:易损性是弹药中的火炸药由于事故(碰撞)、严酷环境(火灾)或敌方的攻击(冲击波或高速破片)而发生意外反应的敏感程度和所产生爆炸作用的剧烈程度的综合。低易损性弹药(或称不敏感弹药)是指弹药发生意外反应的敏感度低,一旦发生意外反应,其所产生爆炸作用的剧烈程度小。不敏感弹药也可解释为:按要求可靠地满足弹药性能、备用状态和操作要求,而当受到意外的热、冲击或电磁能危险时,将响应及其有关的间接破坏减到最小程度的弹药。

1.5 炸药爆炸变化方程及产物组成

确定炸药的爆炸变化方程是计算炸药某些参数如爆热、爆温、爆压及爆速等的重要依据,同时也是在地下矿井中和在有可燃气体和矿尘的矿山爆破时,确定对人体有害的CO和NO₂以及可以引起二次火焰的成分的重要资料,这是关系到工人身体健康和生命安全以及保护国家财富的重要问题。只有了解爆炸产物的具体组成,才能更好地通过调整炸药组分、改进爆破方法来提高爆炸性能,减少有害气体生成量,防止二次火焰。

确定爆炸方程是比较困难和复杂的工作,主要原因是除炸药的化学组成外,许多外部因素都影响炸药的爆炸变化。即使是同一种炸药,其爆炸形式(如热分解、燃烧、爆轰等)不同,产物也不同。但有一点可以肯定,那就是爆炸反应的方向是服从化学热力学定律的,一般应形成热力学最稳定的化合物,并放出最大的热量。

目前,大量使用的单质炸药是有机硝化物,其元素主要为C、H、O、N,所形成的炸药的化学式可写成C_xH_yO_zN_n的形式。其中C、H是可燃剂(还原剂),O是氧化剂。在爆炸过程中,炸药分子破裂(旧化学键打开),进行氧化还原反应,这几种元素重新组合(新键的形成)生成新

的稳定的产物,并放出大量的热。生成的产物主要可能有 H_2O 、 CO_2 、 CO 、 N_2 以及 O_2 、 C 、 H_2 、 NO 、 NO_2 等。爆炸产物的种类和数量除受爆炸条件(如压力、温度、装填密度等)影响外,还与炸药自身中的可燃剂和氧化剂的质量分数有关。常用氧平衡来表示炸药中氧及可燃元素的相对含量。

1.5.1 炸药的氧平衡

炸药中的氧将自身的可燃元素完全氧化(如 $\text{C} \rightarrow \text{CO}_2$, $\text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$, $\text{Al} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Na} \rightarrow \text{Na}_2\text{O}$ 等)后,多余或不足的氧量占炸药量的百分数即为炸药的氧平衡(代号 OB)。

对 $\text{C}_a\text{H}_b\text{O}_c\text{N}_d$ 类炸药:

$$\text{OB} = \frac{c - \left(2a + \frac{b}{2}\right) \times 16}{M} \quad (\text{g/g})$$

式中,16 为氧的相对原子质量;M 为炸药的相对分子质量。

随着炸药分子中氧的质量分数不同,可能会出现以下几种情况:

当 $c - \left(2a + \frac{b}{2}\right) > 0$: 称正氧平衡(或富氧平衡) 第 I 类炸药

当 $c - \left(2a + \frac{b}{2}\right) = 0$: 称零氧平衡 第 II 类炸药

当 $a + \frac{b}{2} < c < \left(2a + \frac{b}{2}\right)$: 称负氧平衡(或贫氧平衡) 第 III 类炸药

当 $\frac{b}{2} < c < \left(a + \frac{b}{2}\right)$: 称负氧平衡(或贫氧平衡) 第 III 类炸药

对混合炸药类,其氧平衡值是各组分的氧平衡值乘以该组分的质量分数后的代数和。即

$$\text{OB}_{\text{混合}} = \sum \text{OB}_i \cdot x_i$$

式中, $\text{OB}_{\text{混合}}$ 为混合炸药氧平衡; OB_i 为第 i 组分的氧平衡; x_i 为第 i 组分的质量分数。如梯恩梯($\text{C}_7\text{H}_5\text{O}_6\text{N}_3$)的氧平衡:

$$\text{OB} = \frac{6 - \left(2 \times 7 + \frac{5}{2}\right) \times 16}{227} = -0.74 (\text{g/g}) = -74\%$$

四硝基甲烷(CO_8N_4)的氧平衡:

$$\text{OB} = \frac{8 - \left(2 \times 1 + \frac{0}{2}\right) \times 16}{196} = -0.49 (\text{g/g}) = -49\%$$

梯黑炸药(梯恩梯:黑索金=40:60)的氧平衡:

$$OB_{\text{混合}} = (-0.74) \times 40\% + (-0.216) \times 60\% = -42.6\%$$

1.5.2 爆炸方程式的确定

一、理论确定法

该法主要根据化学平衡及质量守恒定律,可以近似地计算出在一定条件下爆炸产物的成分及其在冷却过程中的变化情况。计算时假设:

- ① 爆炸时间虽很短,但由于爆温很高,爆炸产物间进行的反应很快;
- ② 因爆炸变化速度极快,可视为一绝热等容过程,放出的热量全部用来加热爆炸产物;
- ③ 高温高压下的爆炸产物服从理想气体状态方程。

找出与未知数相同个数的独立方程式联立解之,即可计算出各产物前面的系数,进而就确定了爆炸方程式。

二、经验确定法

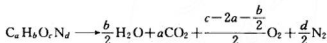
由于爆炸反应本身是一个复杂的过程,影响因素也较多,即使用实验测定也很难得到爆炸瞬间真实的产物组成和数量,往往采用经验的近似方法写出爆炸方程式。不足之处在于有一定的局限性,其确定原则还是依据爆炸三要素,只是不同的方法侧重点不同而已。

1. B-W 法

此法是由布伦克里(Brinkley)和 E·B·威尔逊(Wilson)提出的,简称为 B-W 法。其确定原则是尽可能使爆炸产物的体积最大,所以又称最大产物体积规则。写法形式为 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}-\text{CO}_2$ 型。

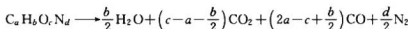
(1) 第 I 类炸药 $\left(c \geq \left(2a + \frac{b}{2}\right)\right)$ 。

将氧用以完全氧化 H_2 为 H_2O , 完全氧化 C 为 CO_2 , 多余氧为分子状态 O_2 , 并生成分子状态 N_2 。其爆炸方程式为:



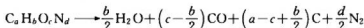
(2) 第 II 类炸药 $\left(a + \frac{b}{2} < c < 2a + \frac{b}{2}\right)$ 。

将氧用以先氧化 H_2 为 H_2O , C 氧化为 CO, 剩余氧再氧化 CO 为 CO_2 , 并生成分子状态 N_2 。其爆炸方程式为:



(3) 第Ⅲ类炸药 $\left(\frac{b}{2} < c < a + \frac{b}{2}\right)$ 。

将氧用以完全氧化 H_2 为 H_2O , 余氧将 C 氧化为 CO , 未能氧化的 C 以游离状态存在, 并生成分子状态 N_2 。其爆炸方程式为:



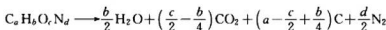
目前应用较为广泛的就是 B-W 法, 尤其对氧质量极不足的第Ⅲ类炸药大都采用此法来确定爆炸变化方程式。

2. 最大放热规则 (即 $H_2O - CO_2$ 型)

写法是将氧用以完全氧化 H_2 为 H_2O , 余氧再将 C 完全氧化为 CO_2 , 未氧化的 C 以固体析出, 并生成分子状态 N_2 , 产物中无 CO 生成。

(1) 第Ⅰ类炸药 (即零或正氧平衡类): 爆炸方程式与 B-W 的相同。

(2) 第Ⅱ、Ⅲ类炸药 (即负氧平衡类): 其爆炸方程式为:



此法对任何氧平衡炸药均适用, 但必须在装填密度较高的情况下 (即一般的 $\rho_{\text{装}} \geq 1.4 \text{ g/cm}^3$) 才能与实际更为接近。

举例: 分别按 B-W 法及最大放热规则写出三氨基三硝基苯 (TATB) 的爆炸反应方程式。TATB 的分子式为 $C_6 H_6 O_6 N_6$ 。

由分子式可看出该炸药属 $\left(\frac{b}{2} < c < a + \frac{b}{2}\right)$ 类, 即第Ⅲ类 (负氧平衡), 所以其爆炸方程式分别为:



注: 在写爆炸产物 CO_2 、 CO 或 O_2 、 C 的系数时, 应判断哪种原子的量是最少的 (或是限定组分), 其系数应以最少的原子的剩余量为基准书写产物前的系数。

第2章 硝基化合物炸药生产技术

硝基化合物炸药的典型代表是梯恩梯炸药,本章将重点学习梯恩梯的性质和生产工艺技术。

梯恩梯是一种重要的芳香族硝基化合物类炸药。在军事上主要用来和黑索金一起制成梯黑混合炸药(称B炸药),在常规武器中使用。因此,梯恩梯是目前应用最广泛、产量最高的一种重要的单体炸药。工业上是用硝硫混酸硝化甲苯来制造梯恩梯的,硝化反应实际上是分步(分段)进行的。

2.1 主要原材料及其规格

2.1.1 甲苯

纯甲苯为无色透明液体,具有挥发性,其蒸气与空气可组成爆炸性气体混合物,爆炸极限为7.0%~1.3%(体积分数)。甲苯的凝固点为-90℃,沸点110.6℃,20℃时的相对密度为0.866,甲苯不与水互溶,但可与许多有机溶剂互溶,如它与苯及其同系物、丙酮、乙醇等可互溶。甲苯蒸气有毒,生产中要注意防护。

进行亲电反应时,甲苯的活性比苯强,在强氧化剂(如稀硝酸、酸性 KMnO_4 、 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$,碱性介质中的 MnO_2 等)作用下,甲基可被氧化成羧基,产物主要是苯甲酸。根据来源不同,甲苯可分为焦油甲苯和石油甲苯。焦油甲苯是从煤焦油中分离得到的;石油甲苯是石油的芳烃馏分或是经过铂重整得到的甲苯。一般来说,焦油甲苯纯度较低;石油甲苯纯度较高。表2-1是对甲苯的规格要求。

表2-1 石油甲苯规格

项 目	质量指标	
	优级品	一级品
颜色(haznn单位铂-钴色号)不深于	20	20
密度(20℃)/(g·cm ⁻³)	0.865~0.868	0.865~0.868
苯质量分数/% ≤	0.05	0.10
C芳烃质量分数/% ≤	0.05	0.10
非芳烃质量分数/% ≤	0.20	0.25

续表

项 目	质量 指 标	
	优级品	一级品
总磷质量分数/(mg · kg ⁻¹) ≤	2	2
博士试验	通过	通过
中性试验	中性	中性
蒸发残余物(mg/100 mL) ≤	5	5
外观	透明液体,无不溶于水及机械杂质	
酸洗比色号不深于	酸层颜色不深于 1 000 mL 稀酸中含 0.2 g 重铬酸钾的标准溶液	

甲苯的质量直接影响产品质量、生产成本以及硝化过程的安全性。

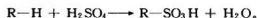
2.1.2 硫酸

根据有关硝化理论知,在硫酸存在下可提高硝酸的硝化能力,不论采取何种工艺,均应采用浓硫酸甚至发烟硫酸。硫酸除具有酸的一般通性外,还具有如下特性。

(1) 吸水性。硫酸可吸水生成稳定水化物 $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 等。

(2) 脱水性。硫酸还可从许多有机物如葡萄糖、淀粉和纸中,按水的组成比例夺走它们分子中的 H 和 O 而使其碳化,所以硫酸是一种脱水剂。

(3) 磺化作用。硫酸可将某些脂肪族和芳香族化合物中的 H 原子按下列反应式为磺酸根所取代:



生产中常用的浓 H_2SO_4 及发烟硫酸的规格要求见表 2-2 和表 2-3。

表 2-2 硫酸规格

项 目	优 级 品	一 级 品	合 格 品
硫酸质量分数/% ≥	98.0	98.0	98.0
灰分质量分数/% ≤	0.03	0.03	0.10
铁质量分数/% ≤	0.01	0.01	
砷质量分数/% ≤	0.000 1	0.005	
钼质量分数/% ≤	0.01		
透明度/mm ≥	50	50	
色度/mL ≤	2.0	2.0	