

军事化学系列图书



单质与混合火工药剂

DAN ZHI YU HUN HE HUO GONG YAO JI

韦爱勇
编著



HEUP 哈尔滨工程大学出版社

单质与混合火工药剂

韦爱勇 编著



内 容 简 介

本书全面系统地介绍了各类单质和混合火工药剂的发展、应用及其相关理论,并结合钝感弹药、新型火工药剂和高技术火工品的发展,介绍了钝感火工药剂、绿色火工药剂、纳米含能材料等国内外最新研究成果。

本书适合作为火工品及弹药引信设计、研究及生产的工程技术人员的参考书,也可作为高等院校特种能源技术与工程、军事化学、弹药工程与爆炸技术、火工品、弹药引信和武器系统工程、航空航天和深井石油开采等相关专业的本科生和硕士生的教材。

图书在版编目(CIP)数据

单质与混合火工药剂/韦爱勇编著. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社,2014.2
ISBN 978-7-5661-0750-3

I. ①单… II. ①韦… III. ①单质炸药-火工品-药剂学②混合炸药-火工品-药剂学 IV. ①TJ450.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 016960 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 肇东市一兴印刷有限公司
开 本 787mm×1 092mm 1/16
印 张 21.75
字 数 540 千字
版 次 2014 年 3 月第 1 版
印 次 2014 年 3 月第 1 次印刷
定 价 46.00 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

火工药剂是火工品和弹药系统的起始能源和能量载体,也是火工品和武器弹药的关键技术和核心基础;是实现火工品和弹药系统功能和技术战术要求的物质基础和根本保证,同时也对火工品及其弹药系统的安全性、作用可靠性及效能具有直接的影响。

火工品的作用功能是靠火工药剂的燃烧或爆炸化学反应来实现的。火工药剂的作用是接受火工品换能元件给出的微弱刺激能量,发生快速化学反应,释放燃烧、爆燃或爆炸能量,使火工品实现点火、传火、起爆、传爆、延期、做功以及烟火效应。如果没有火工药剂,火工品和弹药系统将无法实现预定的功能。如果没有性能良好的火工药剂,就很难设计出先进的火工品。现代火工药剂包括单质和混合物,火工药剂种类很多,用途很广,新的火工药剂不断涌现。目前国内外已有的相关文献、著作和教材中,零散分布或部分涉及的某些火工药剂的有关知识,远远不能满足相关科研和教学的需要。随着武器弹药的科技进步,对火工药剂和火工品技术的要求日益提高,迫切需要独立的、系统完整的、科学和先进的火工药剂科学文献或著述。

18 世纪以前,黑火药是唯一的火工药剂。后来随着化学工业的发展,人们打破了黑火药一统天下的局面,先后研制出许多性能优良的火工药剂。1800 年,英国人 Edward Howard 合成了雷汞并发明了霍华德击发药;1817 年,美国人艾格将雷汞击发药压入铜孟中制成了铜孟火帽;1864 年,诺贝尔将雷汞装入铜管制成了雷汞雷管用于起爆工业炸药,直至 20 世纪初,雷汞都是装填火帽和雷管的唯一火工药剂;1907 年,Hyronimus 取得了在工业中使用叠氮化铅的专利;1910 年,Hoffman 发明了四氮烯;1916 年 DDNP 被用作起爆药;1920 年德国人将斯蒂芬酸铅用作起爆药,并随后将其用于无雷汞击发药;1940 年,布勃诺夫出版了《起爆药》;1945 年,卡尔博夫出版了《火工品》;1941 年,G. F. 赖特和 W. E. 巴克曼发明了以醋酐法制造的 RDX,并在其副产物中发现了奥克托金;P. F. Pagoria 等 1995 年首次合成了 LLM-105 等。

1976 年,我国学者孙荣康、欧育湘等翻译出版了乌尔班斯基的《火炸药的化学与工艺学》;1979 年,劳允亮、黄浩川出版了《起爆药学》;1981 年,刘伟钦出版了《火工品》;1983 年,张世胜、史成军出版了《起爆药与火工品》;1995 年,孙业斌、惠君明、曹欣茂出版了《军用混合炸药》;1997 年,劳允亮出版了《起爆药化学与工艺学》,潘功配出版了《烟火学》;2000 年,吕春绪出版了《耐热硝基芳烃化学》;2005 年蒋荣光、刘自翎出版了《起爆药》;2011 年,劳允亮、盛涤伦出版了《火工药剂学》。他们在火工药剂方面所作出的贡献,赢得了人们的尊敬。

本书全面、系统地介绍了各类火工药剂的性能、制造和应用及其相关理论,对起爆和传爆、延期药燃烧、点火药点火的机理等进行了比较系统的阐述;并结合钝感弹药、高技术火工品及其传爆序列、冲击片雷管等的发展和应用,对近年来国际上出现的新型高能起爆药、安全钝感起爆药和传爆药、高能钝感炸药、耐热炸药和耐热起爆药、HNS 及其他起爆炸药、纳米含能材料、高能点火药、绿色起爆药和环保型火工药剂等,进行了比较详细的介绍。

本书作者在写作过程中,结合自身的科研生产和教学研究经历,并查阅了大量文献,归

纳了最新的科研和技术进步成果。在知识内容结构上,立足军工,兼顾民用,并注重理论联系实际。本书可供从事军用火工品及弹药引信设计、研究及生产的工程技术人员,及从事民用爆破器材和民用火工品的科研及生产的工程技术人员参考;也可作为高等院校特种能源技术与工程、军事化学、弹药工程与爆炸技术、火工品、弹药引信和武器系统工程、航空航天和深井石油开采等相关专业的高校教师、硕士生和本科生的教材或参考用书。

北京理工大学刘伟钦教授,南京理工大学博士生导师潘功配教授和刘荣海教授,兵器工业北方特种能源集团公司盛涤伦研究员,总装备部某研究所王凯民研究员,中国工程物理研究院的博士生导师刘彤研究员和舒远杰研究员、王晓川研究员、李德晃研究员、李海文研究员,以及西南科技大学裴重华教授审阅了全稿。编写过程中,得到中国工程物理研究院化工材料研究所陈捷研究员、华川机械厂高级工程师王成的大力帮助。南京理工大学的博士生导师彭金华教授、宋洪昌教授、黄寅生教授等对全书的编写提出了宝贵意见;何俊蓉、王欣、周小波在图形绘制和文字整理方面做了大量工作。本书参考文献中仅列出了主要的参阅文献,在此向他们及有关文献的作者一并致以诚挚的感谢!

由于作者水平有限,疏漏之处在所难免。书中的缺点和错误,敬请读者批评指正。作者联系邮箱:weiaiyoung278@163.com。

编著者
2013年9月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 火工药剂的作用	1
1.2 火工药剂的特点和分类	2
1.3 火工药剂的感度特征	8
1.4 对火工药剂的基本要求	9
1.5 火工药剂的发展简史	10
1.6 火工药剂的发展趋势	15
第 2 章 传爆序列和传爆药	24
2.1 弹药引信的爆炸序列	24
2.2 传爆药	27
2.3 传爆药用单质猛炸药	31
2.4 耐热炸药	46
2.5 高能钝感炸药	58
2.6 传爆药的品种及其发展	69
2.7 传爆药传爆性能的影响因素	78
2.8 传爆药加工	83
2.9 钝感传爆药和钝感弹药	86
2.10 直列式爆炸序列与起爆炸药	88
2.11 我国传爆药的品种及发展	90
第 3 章 起爆药	96
3.1 起爆药的特性和要求	96
3.2 起爆药的分类	100
3.3 常用单质起爆药	102
3.4 混合起爆药	142
3.5 共沉淀起爆药	143
3.6 配位络合物起爆药	152
3.7 耐热起爆药	157
3.8 高能钝感起爆药	171
3.9 激光敏感起爆药	177
3.10 绿色起爆药	182

第4章 击发药、针刺药和摩擦药	191
4.1 击发药	191
4.2 针刺药	208
4.3 摩擦药	213
第5章 延期药	215
5.1 延期药的组成、分类和技术要求	215
5.2 延期药的燃烧性能及影响因素	218
5.3 延期药的原材料	225
5.4 延期药的设计与制造	229
5.5 常用延期药	233
5.6 典型延期元件简介	263
第6章 点火药	267
6.1 点火药的品种分类及组成和用途	267
6.2 点火药的特点和要求	274
6.3 药剂的燃烧与点火过程	276
6.4 影响点火药点火性能的因素	289
6.5 点火药燃烧性能参数的计算	293
6.6 点火药的配方设计	294
6.7 点火药的制备	300
6.8 典型点火药	303
第7章 其他火工药剂	323
7.1 动力源火工药剂	323
7.2 烟火效应火工药剂	324
7.3 气体发生剂	327
7.4 汽车安全气囊	331
7.5 点火具用火工药剂	334
参考文献	335

第1章 绪 论

火工药剂是火工品用药剂的简称,是指那些仅用于或主要用于装填火工品(如火帽、底火、雷管、传爆管等),用以产生点火、燃烧或爆燃、起爆或爆炸、爆轰等作用的药剂,火工药剂主要包括:点火药、击发药、针刺药、延期药、起爆药、猛炸药、耐热猛炸药及钝感猛炸药等。它们可能是单质,但更多情况下是混合物。

火工药剂是敏感的化学能源,也是各种引燃和引爆火工品的基本装药。火工药剂是火工品技术的关键。火工品的作用功能是靠火工药剂的燃烧或爆炸化学反应来实现的。如果没有性能良好的火工药剂,就没有先进或合格的火工品。

一般来说,火工药剂是高敏感性、高可靠性、高反应速度的亚稳态材料。火工药剂的知识涉及众多学科知识及交叉,主要内容涉及:以物理化学理论为基础的化合物结构、组成与火工药剂性能关系;以无机与有机合成理论为基础的含能化合物的分子设计与合成;以固体化学理论为基础的固相反应、氧化还原反应效应,及以粒子混合分散成型技术为基础的混合药剂配方设计与制备,以及单质和混合药剂的应用等。

1.1 火工药剂的作用

火工药剂的作用是:接受外界的初始冲能而激发,通过自身的快速化学反应,实现能量转换,释放出燃烧、爆燃或爆炸能量;并根据火工品的不同输出性能要求,输出不同形式的能量,使火工品实现点火、传火、起爆、传爆、延期、做功或烟火效应等功能。

火工药剂是火工品和弹药系统的核心,是常规兵器、战略武器发射系统和终点毁伤系统的最初始、最敏感、效费比极高的首发能源。火工药剂在火工品中装药量虽然很少,但却具有不可替代的关键效能和作用。它们对火工品及其弹药系统或燃烧爆炸装置的敏感性、输出威力、储存安定性、勤务处理安全性及作用可靠性等,都具有直接的影响。

火工品是由换能机构、火工药剂和火工序列构成的一次性使用的元器件、装置或系统的总称。换能机构接收武器装备控制系统发出的指令信息或刺激能量,并转换为火工药剂可接受的发火能量,激发火工药剂发生快速化学反应,释放燃烧火焰、爆炸冲击波、高压燃气动力等能量,通过火工序列逐级将其能量传递和放大,实现点火传火、延期、起爆传爆和做功等功能。随着科学技术的不断进步,火工药剂和火工品技术的关系会更加紧密、相辅相成、共同发展。火工品也是点火或引爆控制系统的总称,是武器装备的重要组成部分,广泛用于武器弹药系统的起爆与传爆,发射与推进系统的点火、传火与延期;各种火箭、导弹、飞行器的姿态控制、分离与解锁等动力源装置等。

火工品的技术和功能设计,正是通过选择不同的火工药剂(包括品种、性能、成分和配方组成等),根据其不同的感度和输出性能特点,通过不同的装药和结构设计(包括粒度、药量、密度等),产生不同形式的能量流,以满足火工品的点火、传火、起爆、传爆等功能需要,最终实现弹药序列的技术和战术要求。

根据不同的用途和功能,火工品中可以装填一种或多种不同的火工药剂。例如,几种

军用雷管的结构如图 1-1;中、大口径弹用底火的结构见图 1-2。

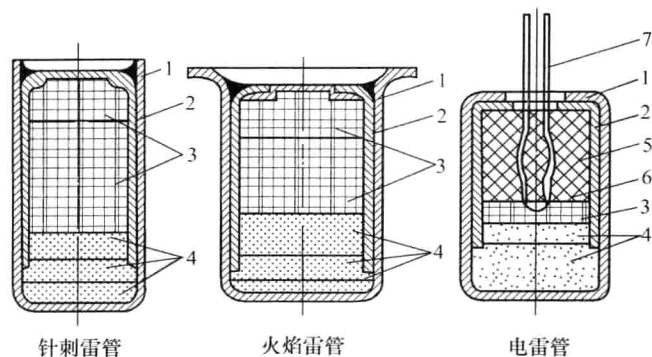


图 1-1 几种军用雷管的结构示意图

1—雷管壳;2—加强帽;3—起爆药;4—猛炸药(钝化 RDX);
5—电极塞;6—桥丝;7—导线

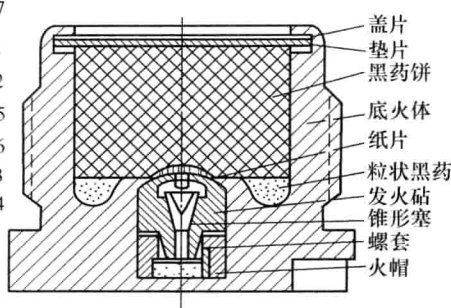


图 1-2 “底-4”底火的结构示意图

1.2 火工药剂的特点和分类

火工药剂包括单质和混合药剂,种类很多、用途广泛,至今还没有明确统一的分类和命名方法。一般包括点火药、击发药、针刺药、延期药、烟火药、起爆药、传爆药等。火工药剂在性能和应用上属于火炸药的范畴。火炸药中,只有部分药剂品种及其混合物适宜用作火工药剂,用于装填火工品。

单质火工药剂通常是一些单质起爆药或猛炸药,它们是混合火工药剂发展的物质基础和核心。混合火工药剂的配方设计必须保证其使用性能。同时,还必须考虑各组分之间的相容性、混合均匀性、药剂的成形性和安全性等。通常,设计者需要借助于优化设计、氧平衡计算、混合药剂的反应机理、热力学机理等知识,设计出符合要求的最佳混合药剂的配方。此外,还有一些由非爆炸性物质如氧化剂、还原剂和添加剂组成的混合火工药剂,大多用作引燃药、点火药和延期药等火工和烟火药剂。鞭炮药和花炮药剂也属于火工药剂。

1.2.1 火工药剂的特点

一般来说,火工药剂具有以下特点:

1. 火工药剂的品种繁多、用途广泛

通常,火工药剂化学反应能量有三种输出形式,即爆轰型、燃烧型和气动力做功型。火工药剂的功能作用具有多样性,包括起爆、传爆、点火、传火、延期、动力做功、特种效应等。火工药剂品种很多,用途各异。不同的火工药剂具有不同的理化性能、爆轰性能和感度,在火工品及爆炸序列中起着不同的作用。

各种不同用途的火工品,需要各种不同的火工药剂。各种兵器的发射和作用方式各不相同,需要不同性能的火工药剂,例如击发药、点火药、延期药等。各种兵器战斗部的终点毁伤作用方式和引爆方式也各有特点,需要装填不同性能的起爆药、点火药、延期药等。不同用途的火工品要完成不同的做功方式,或产生不同的动力或者烟火效应,对其药剂的要求也不相同。火工药剂有时具有多种作用,例如黑火药,可作点火药、发射药、延期药,也可

作低能炸药用;有的药剂既是起爆药也是点火药;有的击发药组分稍加变动就会变成针刺药。

除军用火工品外,各种民用火工品,例如各种工业雷管、民用起爆器材和烟花爆竹等燃烧爆炸装置,也需要使用不同的火工药剂。

此外,不同的火工药剂在分子结构及组成成分上也存在很大的差异。人们对有些火工药剂性质的认识是在实践中逐渐完善的。实际应用时,应根据火工品具体的使用要求,选择不同的火工药剂,通过结构设计和装药设计等技术手段,实现火工品的具体技术和战术要求。

2. 火工药剂的感度较高、功能首发

火工品在弹药系统中的作用功能靠火工药剂的燃烧或爆炸化学反应来实现。火工药剂是火工品的初始能源和能量载体。火工药剂在弹药系统中一般具有首发的功能作用,是弹药爆炸序列的始发装药。火工药剂必须具有很高的作用可靠性、高能量密度和一定的安全性。火工药剂的感度、药剂性能和数量、装填条件等,直接关系到火工品及弹药系统的安全性和可靠性及整体战术技术效能的发挥。

一般来说,火工药剂具有较高的敏感度,容易被外界较小的热、火焰、针刺或撞击、电等能量形式激发而产生燃烧或爆炸。火工品和引信的传爆序列和传火序列中,各种火工药剂是按感度由高到低、能量从小到大逐级放大的顺序排列的,如图1-3所示。

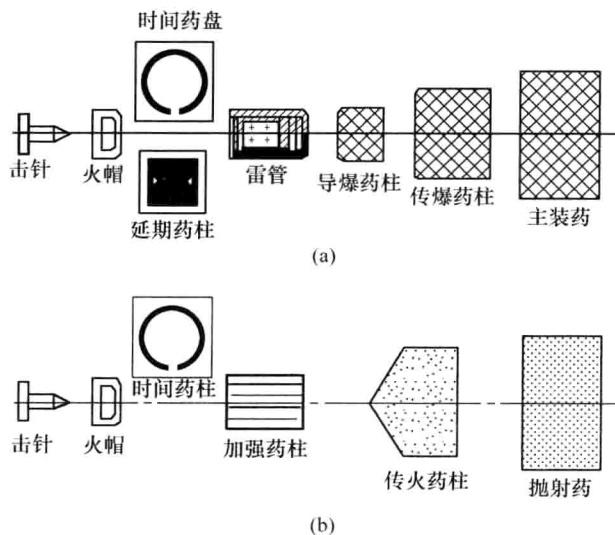


图1-3 弹药系统爆炸序列示意图

(a) 传爆序列;(b) 传火序列

3. 用量少、质量要求严格、作用可靠性高

火工品中的火工药剂装量较少,通常在数十至数百毫克,有时甚至只有几毫克。然而其作用和地位却十分关键,弹药系统的安全性和可靠性,就是由这些少量的火工药剂来保证的。火工品是一次性使用的。为了保证火工品的安全性和作用可靠性,对火工药剂的质量有极严格的要求。在现代战争中,安全、可靠的火工药剂是保证胜利的必要条件和保存自己的首要条件。由于火工药剂的失效变质,造成贻误战机和意外事故的案例不胜枚举。

按照标准,一种火工药剂通常要有 30 种以上的性能指标要求。例如,有的要求瞬发度极高;有的要求钝感;有的要求数十发产品同时作用,即同步性严格;有的要求在高温、高压或低温、低压、潮湿的环境中不发生变质;有的要求作用时间长短不一,但很准时……

战场上,既是敌我双方高技术的较量,也是弹药消耗的较量,成本低、功效高、用量少的火工药剂是支撑战争的物质保障之一。

此外,火工品的小型化,也要求火工药剂的功效高、用量少、作用可靠性高。

4. 良好的安定性和相容性

火工药剂应具有良好的物理化学安定性和相容性,必须经受长期储存不变质,长期与金属壳体接触而无变化,不受阳光照射而分解等。

一般说来,军品弹药储存期限为 20 年左右,民爆器材储存期为 2 年左右。不同的火工药剂装填在火工品中,各种药剂之间以及药剂与盛装壳体和火工零件之间,应该具有良好的相容性,以保证火工品和弹药储存期间的安全性和作用可靠性。

1.2.2 火工药剂的分类

火工药剂的品种繁多、用途很广,迄今为止还没有统一的分类方法。

通常,按组成成分特点不同,火工药剂可分为单质和混合药剂。除某些单质起爆药和单质猛炸药外,实际使用的火工药剂大多属于混合药剂。击发药、针刺药、摩擦药、点火药、延期药、烟火药、某些混合起爆药都属于混合药剂。有些单质起爆药也可用作点火药、延期药等。

根据其作用形式不同,火工药剂可分为传爆药(一般是以某些单质猛炸药为主体的混合炸药,包括耐热猛炸药或钝感猛炸药)、起爆药、点火药、击发药、针刺药、摩擦药、延期药、烟火药、发射药等;按作用效能不同,可分为引燃型、引爆型(起爆药)、传爆型(传爆药)、传火型(扩燃、扩焰型)、照明型(照明剂)、延时型(延期药)、产气型(气体发生剂)等。引燃型药剂一般具有高感度、低能量的特点;扩爆型药剂一般具有低感度、高能量的特点。按输入的刺激能量形式不同,又有击发药、针刺药、摩擦药、点火药等分类。按用途不同,火工药剂还可分为军用火工药剂和民用火工药剂。

按其输出能量形式不同,火工药剂还可分为输出爆轰波、火焰、热量、压力、气体等不同类型。某些功能效应型火工药剂或烟火药剂可以释放出光(照明、曳光等)、热或燃烧波、声(笛音、啸声等)、烟(烟幕等)、气(抛撒、抛射等)、颜色(烟雾信号等)不同形式的能量,以满足不同的技术战术要求;按照出现的时期早晚不同,可分为传统型或常规型,以及新型、特殊火工药剂等。某些新型火工药剂是经过对传统常规火工药剂的改性改造,突出其某种特定感度,而降低其他感度,以满足特定需要,同时增加安全性;或者变换初始激发能量形式、改变换能方式,以改善其安全性。为了满足环境保护要求,近年还研发了绿色、环保型火工药剂等。

实际应用时,需要根据火工品的技术战术要求以及火工药剂的性能特点,进行组成配方的专门设计和选用。例如,火工药剂中的起爆药包括单质起爆药和混合起爆药,它们的性能各有不同,用途也不同。有时,在点火药或击发药中加入少量的起爆药或猛炸药组分以提高其输出能量。有的火工药剂具有多种用途。例如,黑火药,既可作为点火药、发射药,也可作为延期药、烟火药及低能炸药使用;有些短延期药也可作为点火药使用。下面,分别对传爆药、起爆药和混合药剂等几类火工药剂进行简要介绍。

1. 传爆药和猛炸药

传爆药是一个总称,在弹药引信传爆序列中使用的传爆药,还包括导爆药、扩爆药和继爆药等。火工品和爆炸序列中的传爆药是起传递和扩大爆轰能量作用的。实际使用的传爆药大多是以某些猛炸药为基本成分,加入其他钝感剂或黏结剂组成的混合猛炸药。

猛炸药也称高爆炸药、高能炸药、次发炸药,是指在较大的外界激发能量作用下才能发生爆炸作用,并利用其爆轰释放出来的能量对周围介质做破碎和抛掷功的炸药。猛炸药主要的爆炸形式是爆轰,且爆轰能量较大、爆速较高,具有较大的做功能力。通常,猛炸药具有相当的稳定性,不易被热能、机械撞击和摩擦或静电放电等激发;即使点燃少量无约束的猛炸药,也不会轻易地由燃烧或爆燃转化为爆轰。一般来说,猛炸药的各种感度较低,需较强的激发冲量(例如,借助起爆药的爆炸冲击)才能激起爆轰反应。但猛炸药一旦爆轰,释放的能量较大,爆速很高,能对周围介质做猛烈的破坏功,可对人员造成强烈的杀伤,对建筑物或设施造成强烈的破坏,故而得名。

军事上,猛炸药主要用作装填武器系统中的引爆火工品及其传爆序列的传爆药、扩爆药等,或作为传爆序列的输出装药及战斗部的爆破装药;工业上也用于装填工程雷管等爆破器材。雷管、导爆索、传爆药柱等引爆类火工品,必须装填足量的猛炸药,用以传递或输出爆轰波能量。例如,太安(PETN)常用于装填工业雷管和导爆索;RDX 经过钝化、造粒后也用于装填军用雷管和工业雷管。

猛炸药的种类很多,但适宜于用作传爆药、装填火工品的猛炸药却很少,目前常用的只有几种。它们在火工品中作为雷管或引爆火工品的输出装药,或作为传爆序列的传爆药(柱)或导引传爆药等。传爆药柱一般由较敏感的混合猛炸药压制而成。过去常用特屈儿,因其毒性大,已经淘汰。现在多用黑索今(RDX)、奥克托今(HMX)、六硝基芪(HNS)等单质猛炸药作为主体组分,加入少量钝感剂或黏合剂等组成的混合炸药。应用军用混合炸药技术,以这些单质猛炸药为主要组分而制成的高聚物黏结炸药(PBX),常用于火工品、弹药引信传爆序列中的传爆药,用以传递和扩大雷管的爆轰能量,引爆较钝感的主装药,例如PBXN-5(95% HMX + 5% Viton A)、PBXN-6(95% RDX + 5% Viton A)、PBX-9407(94% RDX + 6% Exon 461)等。

随着弹药钝感化需要,近年还发展了一些新型钝感猛炸药,如1-氧-2,6-二氨基-3,5-二硝基吡嗪(LLM-105)、3-硝基-1,2,4-三唑-5-酮(NTO)、2,5-二苦基-1,3,4-噁二唑(DPO)等。

2. 起爆药

起爆药是能在较弱的外界激发能量(如热、火焰、撞击、摩擦、电、光等)作用下产生爆炸变化的一类敏感炸药,包括单质起爆药和混合起爆药。作为火工品的始发装药,也是所有引爆火工品的主装药之一。起爆药能直接在外界简单而较弱的激发能量作用下发生爆炸变化(即感度很高),并用于引发其他炸药装药的爆炸变化,因而也称为初级炸药、主发炸药,参见图1-1。例如,某些起爆药能在微小的外界能量(大约0.01 J机械能,或100 mA电流,或0.2 mJ的静电能)刺激下,在极短的时间内(纳秒或微秒级)实现燃烧转爆轰,并输出爆炸能量,引爆下一级炸药。

起爆药是弹药爆炸的初始能源,在弹药系统中的地位和作用十分关键,决定着弹药是否能够适时作用并达到预定的击发和毁伤及其他爆炸效果。在宇航飞行器中,起爆药也是用作航天火工品做功的初始药剂。

火工品及火工药剂的技术发展与起爆药的发展密切相关。起爆药也经历了漫长的发展历程。如今,起爆药的品种很多、用途各异,至今也没有统一的分类、命名方法。通常,按起爆药的组分特点不同,可将其分为两大类:单质起爆药和混合起爆药。

一般来说,起爆药输出的能量形式有火焰和爆轰波两种。输出火焰的起爆药多是混合起爆药,如点火药、击发药、针刺药、摩擦药等,主要用于装填各种引燃类火工品,如火帽、底火、拉火管、点火具等;输出爆轰波的起爆药主要是某些单质起爆药——例如氮化铅、DDNP等,虽然其爆炸威力和猛度比猛炸药要弱一些,但感度高、易于激发,且爆轰成长期短,能很快由爆燃转变成爆轰,主要用于装填引爆类火工品,如起爆雷管、传爆序列等起爆器材,用于起爆较敏感的传爆药或猛炸药,也用于配制某些混合起爆药。单质起爆药在火工品中装药量很少,但是,有些混合起爆药起爆力大,也输出爆轰波,可以代替单质起爆药用于雷管单独装药,例如 D·S、K·D 等共晶起爆药。

常用的单质起爆药有氮化铅[分子式 $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$,代号 LA,或称叠氮化铅]、四氮烯[分子式 $\text{C}_2\text{H}_8\text{ON}_{10}$,代号 T4]、斯蒂芬酸铅[分子式 $\text{C}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3\text{O}_2\text{Pb}$,代号 LTNR 或 THPC(俄)]、二硝基重氮酚[分子式 $\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_2\text{ON}_2$,代号 DDNP]、苦味酸盐等。值得注意的是,有些单质起爆药并不能单独装填雷管或某些火工品。

混合起爆药是以这些单质起爆药为主体,所形成的共沉淀药剂或机械混合药剂。

近年来,随着钝感弹药和高技术火工品的发展需要,还发展了许多新型钝感起爆药,如 CP、DPO 和 BNCP 等。

3. 猛炸药与起爆药的区别

起爆药和猛炸药虽然都属于高级炸药,但二者之间区别明显。尽管有些起爆药如 DDNP 本身就是一种猛炸药,PETN 又是一种比较敏感的猛炸药,精细颗粒的耐高温炸药六硝基芪(HNS)同时也具有起爆炸药的感度特性,甚至有时,确实难以在起爆药与猛炸药之间划分严格的界限……但是,起爆药与猛炸药仍有明显的差别。

首先,它们对外界能量的刺激作用存在明显的敏感度差异,见表 1-1。

表 1-1 猛炸药与起爆药的敏感度差异

品 名	撞击感度/cm	热感度(5 s 延滞期爆发点)/℃	火焰感度	
太安 (PETN)	17	225	—	标准黑药柱下的 全发火最大高 度/cm
黑索今 (RDX)	32	260	—	
六硝基芪 (HNS - II)	63	350	—	
氮化铅	10	340	—	
LTNR	11.5	270	54	
DDNP	17.5	170	17	
备注	猛炸药的撞击感度测定常温下的发火下限,采用美国矿务局落锤仪,样品 20 mg,落锤 2 kg 起爆药的感度测定采用双柱导轨落锤仪;0.02 g 药剂以40 MPa压力压入火帽壳;锤重 400 g			

一般来说,起爆药对外界激发能量的作用比较敏感,即易受外界能量(如热、针刺、撞

击、摩擦、电能和火焰等)激发而发生燃烧或爆炸,并能输出足够的能量,用以引燃或起爆下一级装药。而猛炸药则比较钝感,一般需要较大的外界能量作用才能发生爆炸变化,通常需起爆药或其他起爆器材产生的爆轰波才能起爆,因而猛炸药也称为次发炸药。

通常,猛炸药和火药比较钝感,可在松散的状态下远距离运送,而起爆药、击发药等则比较敏感,不能在疏松的状态下远距离大量运输。因此,生产火工品的工厂必须自行、就地生产制造这类火工药剂,以便用于装填火工品。

其次,起爆药与猛炸药的“爆炸变化”过程有显著的区别。此处的“爆炸变化”包括爆燃、不稳定爆轰或燃烧转爆轰(Deflagration to Detonation Transition,缩写DDT)过程。起爆药的爆炸变化可以分为相互联系而又相互区别的两个过程:燃烧和爆炸。通常,起爆药的爆炸变化加速度很大,或者爆速增长期很短。对于燃烧转爆轰型的起爆药而言,其燃烧阶段是极短的:通常初始点火后,其燃烧即接近于爆燃,并在极短的时间内迅速转变为爆轰。这一过程,比猛炸药由起始爆燃转变为稳定爆轰所需时间或所需药柱长度短得多。这是由起爆药的起爆作用机理决定的。一般来说,起爆药的燃烧转爆轰的时间为几微秒或几纳秒,而猛炸药则需要更长时间。例如:叠氮化铅在很短距离内即可完成DDT过程;而同样条件下,即使是较敏感的太安炸药,也需要较长距离才能完成其DDT过程。而猛炸药由燃烧转爆轰却较为困难,其爆轰成长期较长,其起爆临界压力常需数十至数百兆帕。一般猛炸药在被点燃后,只能燃烧,不能立即爆轰;当然,在密闭条件下,猛炸药的燃烧也容易转变为爆轰。

第三,虽然起爆药由爆燃转爆轰(DDT)很快,但起爆药的爆速一般低于猛炸药。起爆药的爆速一般在 $2\,000 \sim 6\,000\text{ m/s}$,而火工品中装填的猛炸药的爆速通常在 $7\,000\text{ m/s}$ 以上。起爆药与猛炸药爆炸变化速度的增长曲线如图1-4(a)所示。

此外,不同起爆药的爆炸变化加速度也各不相同,如图1-4(b)。例如,氮化铅的爆燃转爆轰的能力较其他起爆药强得多,其爆炸变化加速度也比其他起爆药更快,因而起爆力大。

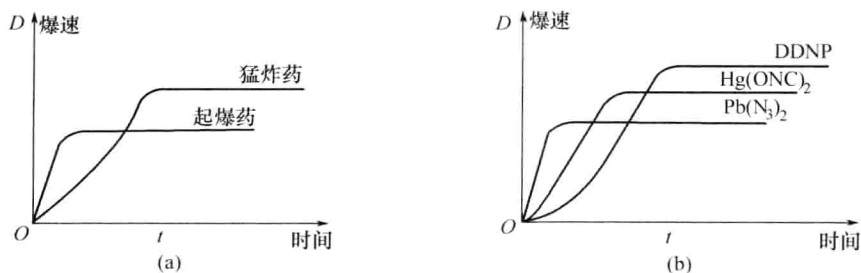


图1-4 起爆药与猛炸药的爆轰速度变化曲线

(a) 起爆药与猛炸药的爆炸变化速度增长曲线;(b) 几种起爆药的爆轰速度增长曲线

4. 混合药剂

火工品中装填的混合药剂种类很多,除混合猛炸药外,还有混合起爆药、点火药、击发药、针刺药、摩擦药、混合延期药和烟火药等都是混合药剂。它们主要的爆炸变化形式是燃烧、爆燃或爆轰。其中,有些混合火工药剂的组分中还含有起爆药或猛炸药成分;有些却仅是以氧化剂和可燃剂为主体,加上其他添加剂所组成的混合物。

击发药、点火药、针刺药、摩擦药等火工药剂在火工品及其传火和传爆序列中,起功能

首发的作用。从组成成分上看,它们也属于混合起爆药。击发药是一类在撞击、针刺、摩擦等外界能量作用下,能够快速爆燃,输出灼热粒子、高温气体等产物,点燃下一级装药的混合药剂。针刺药是一种以针刺为输入能源,引起爆燃或爆炸的混合药剂。点火药也称引燃药,是用以点燃延期药、烟火药、推进剂、发射药和起爆药的单一化合物或混合药剂。其特点是热感度较高,点火能力强,主要作用是点火。

延期药一般用于装填延期元件起延时点火作用。延期药经火焰点燃后,通过稳定的燃烧来控制作用时间,并引燃或引爆下一个火工元件,在军用火工品、弹药引信和民用延期雷管中都有广泛的应用。

有些火工品中还装填有功效型烟火药(包括延期药、照明剂、信号剂、曳光剂、燃烧剂、发烟剂)等,起到点火、激发、延期、照明、信号、烟幕遮蔽等作用。

1.3 火工药剂的感度特征

火工药剂受外界能量作用而发生爆炸变化的难易程度称为火工药剂的感度。火工药剂发生爆炸变化所需的外界激发能量越小,则其感度越高;反之,若所需外界激发能量大,则说明其感度低,即越“钝感”,其安全性越高。

外界初始冲能作用的类型很多,除了机械能(如撞击、摩擦、针刺等)、热能、电能(如电热桥丝、放电火花等)形式外,爆炸能(冲击波、爆轰波、破片等)、激光、静电、辐射、射频等,也能激起火工药剂的爆炸变化。根据外界初始冲能形式的不同,火工药剂感度分为热感度、机械感度、火焰或明火感度、冲击波感度、电感度等类别,并有若干具体的测试方法。常用的火工药剂的感度主要包括撞击感度、摩擦感度、针刺感度、冲击波感度、热感度、火焰感度、热丝感度、静电感度、激光感度等。

火工药剂一般都具有独特的爆炸、燃烧特性。火工药剂的感度即火工药剂对刺激能量的敏感程度具有选择性和相对性。正是火工药剂感度的这种选择性和相对性,使得药剂对于外界给予的能量刺激的形式具有“识别和选择的功能”。因此,可通过选择不同的火工药剂,实现火工品的各种战术和技术要求,同时提高火工品的安全性和作用可靠性。例如,针刺雷管应装填对针刺能量敏感的击发药;而火焰雷管应装填对火焰敏感的药剂。

火工药剂具有以下感度特征:

(1) 对不同的外界作用能量形式,火工药剂的感度存在着很大的差异,即火工药剂对刺激能量的敏感程度具有选择性。同一种药剂可能对某种外界作用能量形式敏感,而对另一种外界作用不敏感。比如,叠氮化铅对机械作用比较敏感,但其火焰感度却很低,尤其耐热——其爆发点高达 $340\text{ }^{\circ}\text{C}$;DDNP 的火焰感度虽高,但其撞击感度却较低。

(2) 不同的火工药剂对同一种外界能量的刺激,敏感度不同。即同一种外界刺激能量形式,对不同的药剂作用效果不同。例如,斯蒂芬酸铅的火焰和静电感度比叠氮化铅和四氮烯都高;四氮烯的针刺感度比斯蒂芬酸铅和氮化铅都高出许多;而 BNCP 的激光感度比这三者都高。

(3) 药剂的感度仅表示药剂的相对危险程度。火工药剂的各种感度不是一个严格的固定值,而是一个条件参数——随着药剂的理化性能和试验条件不同而变化,而且其各种感度之间也无当量的关系。比如:在相同条件下,四氮烯的机械感度高于斯蒂芬酸铅,其火焰感度高于斯蒂芬酸铅;而斯蒂芬酸铅的爆发点($282\text{ }^{\circ}\text{C}$, 5 s)却低于四氮烯($160\text{ }^{\circ}\text{C}$, 5 s)。

造成火工药剂的感度特征或差异的原因,包括内因和外因两方面,即药剂的感度特征或差异是由其本身的结构和性质,及外界刺激能量的形式和作用不同造成的。亦即,除药剂本身的结构和性质差异外,不同的外界初始冲能,引起药剂的爆炸变化机理不同。例如,起爆药经点燃后,会很快由燃烧转变为爆轰,不会中途熄灭;而传爆药经点燃后,可能要经过较长时间或在密闭的情况下才能转化为爆轰,也有可能中途熄灭;但是,爆炸冲击波却能使其被激发并很快达到高速爆轰。也正因为如此,人们可以通过对不同的分子和结构设计,获得不同性质和感度的含能材料。

1.4 对火工药剂的基本要求

火工药剂是火工品的核心和初始能源,直接影响火工品及弹药系统的安全性、可靠性和功能实现。它们在火工品中的装药量虽然很少,但对火工品的技术性能,包括火工品的敏感度、输出性能及生产、储存和勤务处理安全性以及作用可靠性和作用效能等,却具有直接的、决定性的影响。因此,武器弹药系统的战术、技术要求对火工药剂提出了极为严格的要求。

一般来说,火工品药剂必须满足如下基本要求:

(1)应具有可靠的、特定的输出性能,包括起爆能力、点火能力、做功能力、延期时间及精度等。比如,起爆药的起爆能力愈大,装填火工品所需的起爆药量就愈小。这样就为缩小火工品的体积,为火工品的“小型化”提供了条件(随着起爆药装药量的减小,同时也能提高各种火工品在使用、运输过程中的安全性);而点火药要有足够的点火能力,并可对其输出的热气体、热粒子、火焰、热辐射等性能进行调节;动力源火工药剂需要一定的气体压力和产气量;延期药需要具有稳定的燃烧过程,保证一定的燃烧时间和时间精度。

(2)应具有适当的感度和某种特定感度,既要易于被较小的、简单的外界初始冲能所引爆或激发,又必须保证在制造、装配、运输、使用及弹药发射过程中的安全。

火工药剂感度研究是其性能研究的重点内容之一。对火工药剂感度的基本要求是:对特定刺激能量敏感,而对其他的环境影响因素(其他的刺激能量)安全。既要易于被系统给出的某种特定的较小初始刺激能起爆点火,又必须保证药剂、火工品和弹药在制造、压装、运输、勤务处理及使用和弹药发射过程中的安全。火工药剂的感度研究就是要解决药剂的安全性、可靠性矛盾,进行火工药剂的感度裕度设计,或者寻找环境中稀有的能量形式,作为火工系统中的发火刺激能,设计具有特征感度的火工药剂。

(3)具有良好的装药工艺性能,具有良好的流散性、均匀性和耐压性。一般要求药剂保持在颗粒均匀、表面光滑的球形状态。火工品药剂都是压装到管壳中使用的,而且要用定容计量法装到管壳中去、用群模装压操作。每一个管壳中装填的药量都不大,即使是微小的误差也会影响到药剂和火工品的安全性和作用可靠性。为保证压药安全和装药均匀,保证火工药剂顺利压装到火工品的管壳中,保证装药量的精度,并顺利实现规模化生产和生产线安全,火工药剂必须有良好的流散性和耐压性。

(4)物理化学性能要求稳定,并要求具有一定的耐温、耐湿性能。武器弹药操作温度为 $-40\sim 63\text{ }^{\circ}\text{C}$,储存温度为 $-54\sim 71\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。我国地面极端高温达 $82.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,极端低温达 $-57\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。火工药剂必须经受高低温的热冲击。钝感弹药用的火工药剂还应耐高温烤爆等。

常规武器弹药在海洋、高原气候环境中储存,环境湿度可达90%以上;而舰载武器的储

存环境湿度可达 80% ~ 100% ; 陆射导弹的发射井内温湿度条件也相当恶劣。

非密闭状态下,火工药剂必须经受湿热、盐雾等试验。

(5)应具有优异的安定性和相容性,并符合国家有关环保方面的技术要求。火工药剂的安定性就是指在一定时期内,药剂对热、光、水分和空气中的 CO_2 等外界因素,以及装药对火工品壳体等接触的长期作用后,不改变药剂本身的物理化学性能和爆炸性能的能力。药剂的安定性能对于药剂的生产制造、储存、使用,以及火工品和弹药的勤务处理等各方面均具有十分重要的意义。

火工药剂的安定性分为物理安定性和化学安定性。物理安定性是取决于各种环境因素可能使药剂产生物理变化的趋势大小,如吸湿性、挥发性等物理性能;化学安定性则取决于药剂发生化学变化的速度,如受热、光等产生分解的数量或速度;与金属壳体长期接触不发生化学变化等。药剂安定性的推定,是根据实际储存温度条件下,通过试验或热分解理论的加速模拟实验判断。

火工药剂的相容性是指药剂与不同物质混合或接触发生反应的能力,分为内相容性(混合药剂)和外相容性。组成火工药剂本身的各成分之间需要具有良好的内相容性;而且药剂在装药状态下,要与火工品壳体及次级装药等涉及的所有接触材料间保持良好的外相容性。

此外,对于火工药剂的生产制造,要求原料资源广泛易得;在生产工艺上要求简便、安全,质量重现性好,以及“三废”尽可能少等。同时,因为火工品的体积微小,为满足火工品通用化、系列化、组合化的发展需要,一般要求火工药剂的成本低、功率高、用量少。

1.5 火工药剂的发展简史

火工药剂的发展经历了漫长的过程,下面介绍不同历史时期的几类典型的火工药剂。

1. 黑火药

作为中国古代四大发明之一的黑火药,就是最早的火工药剂。公元 9 至 10 世纪,黑火药已用于军事并装填各种火器。当时作战双方利用软纸包住黑火药粉做成纸捻,形成火信或火线,点燃古代火器中的黑火药,用以发射火器中的铁砂。公元 13 世纪,通过商人和蒙古军西征,黑火药先后传入阿拉伯国家和欧洲。18 世纪,欧洲人把细黑火药粉装入纸壳、木壳或铁壳内,制成传火管,制成一种古代火工品。19 世纪以前,中国发明的黑火药既是点火药,又是发射药和爆炸装药。

由于黑火药的引燃作用不可靠,人们开始改进黑火药,并致力于寻找用于引燃和引爆作用的新型药剂。1786 年,法国化学家伯瑟莱特(Berthollet)发现氯酸盐与可燃物混合,受撞击时容易发生爆炸,研制出了以氯酸盐、木炭和硫黄混合物代替黑火药作为点火药,克服了黑火药的缺点,同时改进了火炮和轻武器的传火孔结构。

2. 雷汞

1799 年英国化学家霍华德阐述了雷汞的性质和制备方法,并把雷汞与硝酸钾混合制成击发药,称为霍华德击发药。1807 年苏格兰人发明了以氯酸钾、硫、木炭混合的击发药,为火工品的发展历史翻开了新的一页。1814 年,美国首先试验将击发药装于铁孟中用于枪械。1817 年,美国人艾格把击发药压入铜孟中,制成了火帽,主要用于金属子弹药壳的底部中心,由枪机撞击发火。现代自动武器的弹药仍采用这种结构。火帽用于枪弹和炮弹中,