

火工药剂的性能与制造

Performance and Manufacturing for Initiating Explosive Materials

■ 韦爱勇 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

火工药剂的性能与制造

韦爱勇 著



国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书全面而系统地介绍了各类火工药剂的性能和制造,并结合钝感弹药、新型火工药剂和高技术火工品的发展,以及钝感火工药剂、绿色火工药剂、纳米含能材料等国内外最新研究成果,介绍了各类火工药剂的发展和应用。

本书可供从事军用火工品、民用火工品、弹药引信和民用爆破器材相关工作的技术人员参考,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本科生和硕士生的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

火工药剂的性能与制造/韦爱勇著. —北京:国防工业出版社, 2019.1

ISBN 978-7-118-11062-3

I. ①火… II. ①韦… III. ①火工品—药剂学 IV. ①TQ560.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 280851 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 100048)

北京虎彩文化传播有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 20¼ 字数 502 千字

2019 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—500 册 定价 168.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

前 言

火工药剂是火工品和弹药系统的始发能源,也是火工品和弹药系统的关键技术和核心,是实现火工品和弹药系统的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和作用可靠性以及效能具有直接的影响。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、做功以及烟火效应等。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。

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,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盂中制成了铜盂火帽;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。至 20 世纪初,雷汞成为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,GF.赖特和 W.E.巴克曼发明了以醋酐法制造 RDX,并在其副产物中发现了奥克托今。第二次世界大战以后,随着武器弹药和空间技术进步,出现了各种不同的火工药剂;20 世纪 70 年代以来,各种新型火工药剂不断涌现。例如,P.F.Pagoria 等于 1995 年合成了 LLM-105,美国 Los Alamos 国家实验室研制了含有硝基四唑配体的铁基络合物“绿色起爆药”,等等。

虽然火工药剂种类很多,用途广泛;新的火工药剂不断涌现,但目前国内外现有的有关火工药剂的知识远远不能满足相关科研和教学的需要。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》;1981 年,刘伟钦出版了《火工品》;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》;2005 年,蒋荣光、刘自铎出版了《起爆药》。他们在火工药剂方面所做的工作和贡献,赢得了人们的尊敬。

随着武器弹药的发展和航空航天、宇宙空间技术的进步,相关行业对火工药剂和火工品技术的要求日益提高,也迫切需要出版一部独立的、系统完整的、科学和先进的火工药剂专著。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。书中对起爆和传爆、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、纳米含能材料、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。在本书写作过程中,作者结合了自身的科研生产和教学研究经历,并查阅了大量文献。国营华川机械厂王成、徐运全、吕伯寿提出了宝贵的修改意见;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、西南科技大学裴重华教授,以及装备发展部某研究所的王凯民研究员、中国工程物理研究院的博士生导师刘彤研究员、李德晃研究员和李海文研究员审阅了全稿。在编写过程中,还得到了兵器工业北方特种能源集团盛涤伦研究员、中国工程物理研究院化工材料研究所陈婕研

究员等大力支持和帮助。南京理工大学博士生导师彭金华教授、宋洪昌教授、黄寅生教授等对全书编写提出了宝贵意见；何俊蓉、王欣、周小波、杨小双、陈碧峰、李海清、谭雄、何治臻在图形绘制和文字整理方面做了大量工作。本书在“参考文献”中仅列出了主要的参阅文献。本书的出版，得到西南科技大学科技处支持，四川省新型含能材料军民融合协同创新中心提供了帮助。在此，向他们及有关文献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：weiaiyong278@126.com.

作 者
2018年10月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 火工药剂和火工品及其作用	1
1.2 火工药剂的特点和分类	2
1.2.1 火工药剂的特点	2
1.2.2 火工药剂的分类	3
1.3 火工药剂的感度特征	7
1.4 对火工药剂的基本要求	8
1.5 火工药剂的发展简史	9
1.6 火工药剂的发展趋势	13
1.6.1 新型火工药剂和新技术方法	14
1.6.2 我国火工药剂的发展趋势	15
1.6.3 绿色环保型火工药剂	17
1.6.4 纳米含能材料技术	18
第 2 章 火工药剂的感度和安定性	19
2.1 火工药剂的感度及测试方法	19
2.1.1 热感度	19
2.1.2 机械感度	22
2.1.3 冲击波感度	26
2.1.4 起爆感度和起爆能力	27
2.1.5 静电感度	29
2.1.6 激光感度	30
2.2 影响药剂感度的因素	30
2.2.1 分子结构和物理化学性质的影响	30
2.2.2 物理状态和装药条件的影响	31
2.3 火工药剂的安定性和相容性	33
2.3.1 火工药剂的安定性	33
2.3.2 火工药剂的相容性	36
2.3.3 安定性和相容性的试验方法	36
第 3 章 传爆序列和传爆药	46
3.1 弹药引信的传爆序列	46
3.1.1 传爆序列的分类	46
3.1.2 传爆序列的组成和作用方式	47

3.1.3	直列式传爆序列	48
3.1.4	对爆炸序列的要求	48
3.2	传爆药	49
3.2.1	传爆药的作用及其安全可靠	49
3.2.2	对传爆药的要求	50
3.3	几种单质猛炸药	52
3.3.1	太安[Pentaerythrite Tetranitrate, 代号 PETN]	52
3.3.2	黑索今(Hexogen, Research Department Explosive, 缩写 RDX)	55
3.3.3	奥克托今(Octogen, High Melting Point Explosive, 代号 HMX)	59
3.3.4	氧化呋咱系衍生物	61
3.3.5	六硝基芪(2,2',4,4',6,6'-六硝基均二苯基乙烯, hexanitrostibene, 代号 HNS)	63
3.4	耐热炸药	66
3.4.1	典型的耐热单质炸药	68
3.4.2	耐热混合炸药	75
3.5	高能钝感炸药	76
3.5.1	钝感弹药和钝感炸药	76
3.5.2	典型的钝感炸药	78
3.6	传爆药的品种及其发展	87
3.6.1	传爆药的品种发展简史	87
3.6.2	以 RDX 为基的传爆药	91
3.6.3	西方国家曾经使用过的传爆药	92
3.6.4	美军的许用传爆药	93
3.7	传爆药传爆性能的影响因素	94
3.7.1	主体炸药的性能和装药结构	94
3.7.2	主体炸药的颗粒度及粒度分布	95
3.7.3	黏结剂及其黏结机理	98
3.8	传爆药加工	100
3.8.1	造型粉的制造工艺	100
3.8.2	挠性炸药	101
3.8.3	浇铸炸药	102
3.9	钝感传爆药和钝感弹药	102
3.9.1	钝感传爆药	102
3.9.2	钝感弹药的起爆	103
3.9.3	钝感火工品及其爆炸序列	104
3.10	直列式爆炸序列与起爆炸药	104
3.10.1	直列式传爆序列(in-line)	104
3.10.2	起爆炸药	105
3.11	我国传爆药的品种及发展	106
3.11.1	我国传爆药的发展历程	106
3.11.2	我国传爆药的品种	107

第4章 起爆药	111
4.1 起爆药的特性和要求	111
4.1.1 起爆药的感度	112
4.1.2 起爆药感度的影响因素	112
4.1.3 降低起爆药感度的措施	113
4.1.4 对起爆药的基本要求	113
4.2 起爆药的分类	114
4.3 常用单质起爆药	116
4.3.1 叠氮化铅(简称氮化铅,分子式 $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$,代号 LA)	116
4.3.2 斯蒂芬酸铅[分子式 $\text{C}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3\text{O}_2\text{Pb} \cdot \text{H}_2\text{O}$,代号为 LTNR、PbTNR 或俄 THPC]	123
4.3.3 二硝基重氮酚[分子式 $\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_2\text{N}_2\text{O}$,Diazo-dinitrophenol,简称 DDNP]	129
4.3.4 四唑类起爆药	134
4.3.5 高氮含能化合物和四唑化合物中间体	140
4.3.6 苦味酸钾(三硝基酚钾,代号 KP)	146
4.3.7 其他单质起爆药	147
4.4 混合起爆药	149
4.5 共沉淀起爆药	151
4.5.1 常见共沉淀起爆药	152
4.5.2 其他共沉淀起爆药	154
4.6 配位络合物起爆药	158
4.6.1 硝酸胥镍	158
4.6.2 其他配位化合物起爆药	159
4.6.3 配位化合物起爆药的结构和性能特征	160
4.7 耐热起爆药	162
4.7.1 斯蒂芬酸钡(也称三硝基间苯二酚钡,分子式 $\text{BaC}_6\text{HN}_3\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$,代号 BaTNR)	162
4.7.2 含氧化呋咱基的化合物	164
4.7.3 2,2',4,4',6,6'-六硝基二苯胺钾(代号 KHND 或 HNDK)	165
4.7.4 3,3'-二氨基-2',2,4,4',6,6'-六硝基二苯胺钾(代号 DNKHND)	166
4.7.5 四硝基呋唑(分子式: $\text{C}_{12}\text{H}_5\text{N}_5\text{O}_8$,代号 TNC)	167
4.7.6 草酰替苯胺硝化物及其盐	168
4.7.7 有机叠氮化物——六叠氮甲基苯(简称 HAB)	170
4.7.8 双(2,4,6-三硝基苯甲酰)胥铅(代号 LTBH)	170
4.7.9 多硝基苯类耐热起爆药	171
4.7.10 杂环类起爆药	172
4.8 高能钝感起爆药	174
4.8.1 常用传爆药和耐热炸药的细化	175
4.8.2 典型的高能钝感起爆药	176
4.9 激光敏感起爆药	179
4.9.1 BNCP 起爆药	180
4.9.2 高氯酸·5-胥基四唑汞(代号 HTMP)	181
4.9.3 其他激光敏感起爆药	182

4.10 绿色起爆药	183
4.10.1 5-硝基四唑亚铜(代号 CuNT)	184
4.10.2 硝基四唑的配位化合物	185
4.10.3 四唑类绿色起爆药	186
4.10.4 其他绿色起爆药	190
第5章 击发药、针刺药和摩擦药	192
5.1 击发药	192
5.1.1 击发药的基本要求	192
5.1.2 击发药的组分及其作用	193
5.1.3 击发药的分类	195
5.1.4 无腐蚀性击发药	196
5.1.5 特种击发药	199
5.1.6 “伊雷”击发药	201
5.1.7 无铅击发药和无毒击发药	204
5.2 针刺药	206
5.2.1 针刺药的组分及其作用	207
5.2.2 针刺药的组成、性能及影响因素	208
5.3 摩擦药	210
第6章 延期药	212
6.1 延期药的组成、分类和技术要求	212
6.1.1 延期药的组成	212
6.1.2 延期药的分类	213
6.1.3 延期药的技术要求	214
6.2 延期药的燃烧性能及影响因素	214
6.2.1 延期药的燃烧机理	214
6.2.2 影响延期药燃烧性能的因素	217
6.2.3 延期药质量的评定	219
6.3 延期药的原材料	220
6.3.1 氧化剂的选择	220
6.3.2 可燃剂的选择	221
6.3.3 黏结剂及其他附加物	222
6.4 延期药的设计与制造	223
6.4.1 成分组成设计	223
6.4.2 延期药的氧平衡和燃速曲线	223
6.4.3 延期药的制造工艺	225
6.5 常用延期药	226
6.5.1 有气体延期药	226
6.5.2 无气体延期药	232
6.5.3 常用的其他延期药	247

6.6	典型延期元件简介	249
6.6.1	保险药柱	249
6.6.2	短延期药柱	249
6.6.3	时间药盘	249
6.6.4	工业雷管用延期体	250
第7章	点火药	251
7.1	点火药的品种分类及组成和用途	251
7.1.1	点火药的品种分类和组成	251
7.1.2	点火药的用途和发展	255
7.2	点火药的特点和要求	257
7.2.1	点火药的特点	257
7.2.2	对点火药的要求	257
7.3	药剂的燃烧与点火过程	258
7.3.1	点火药柱的燃烧过程	258
7.3.2	三种燃烧形态	259
7.3.3	燃烧与爆炸的区别	259
7.3.4	药剂燃烧理论基础	260
7.3.5	点火过程的理论模型	264
7.4	点火药点火性能的影响因素	269
7.4.1	点火延迟期	270
7.4.2	点火准则	271
7.4.3	燃烧产物和火焰温度	271
7.4.4	点火压力	271
7.4.5	点火药量	272
7.5	点火药燃烧性能参数的计算	273
7.5.1	燃烧热与绝热火焰温度	273
7.5.2	气、固相产物的含量计算	273
7.6	点火药的配方设计	274
7.6.1	混合药剂的氧平衡计算	274
7.6.2	配比计算	275
7.7	点火药的制备	276
7.7.1	原料准备	276
7.7.2	点火药剂制备方法	278
7.8	典型点火药	281
7.8.1	黑火药	281
7.8.2	黑火药的改进	284
7.8.3	高能点火药	285
7.9	其他点火药	295
第8章	其他火工药剂	297
8.1	动力源火工药剂	297

8.2 烟火效应火工药剂..... 298

8.2.1 火工烟火药剂的分类.....298

8.2.2 火工烟火药剂的用途.....300

8.3 气体发生剂..... 301

8.3.1 对气体发生剂的技术要求.....301

8.3.2 气体发生剂配方.....303

8.3.3 气体发生器.....304

8.4 汽车安全气囊..... 305

8.5 点火具用火工药剂..... 308

参考文献..... 309

第1章 绪 论

火工药剂又称火工品药剂,是指那些仅用于或主要用于装填火工品,用以产生点火、燃烧或爆炸作用的药剂,包括点火药、击发药、延期药、烟火药、起爆药、传爆药等。它们是各类引燃和引爆火工品的始发能源,是火工品技术的关键和核心。火工药剂对火工品及其弹药系统的敏感性、输出威力、勤务处理和储存安全性及作用可靠性等,都有直接影响。

1.1 火工药剂和火工品及其作用

火工药剂是火工品和弹药系统的始发能源和能量载体,是实现火工品的功能和技术要求的物质基础和根本保证。火工药剂是火工品的核心基础和技术关键,直接影响到火工品及弹药系统的安全性、作用可靠性和效能等。

火工药剂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、起爆和传爆等作用。火工药剂在火工品中的装药量虽然很少,通常在数十至数百毫克,有时甚至只有几毫克,但具有不可替代的关键效能和作用。一切燃烧和爆炸装置,以及火工品在弹药系统中的作用功能,都靠火工药剂的燃烧或爆炸化学反应来实现。随着科学技术的不断进步,火工药剂与火工品的关系更加紧密,不可分离,它们同生存、共发展。

火工药剂接受外界的初始冲能或某种刺激,或指令,促使其本身发生快速反应,进行能量转换,产生足够的能量输出,以引燃传火对象或引爆猛炸药。它是各种引燃和引爆火工品的基本装药,也是其能量来源。

火工品是各种点火、起爆控制元件和装置及系统的总称,是武器装备系统不可缺少的核心组成部分,广泛用于武器装备系统的点火、起爆与传爆,发射与推进系统的点火、传火与延期,以及火箭、导弹、各种航空航天飞行器的姿态控制、分离与解锁等动力源装置等。

火工品通常主要由外壳、火工药剂和发火件等组成。根据不同的用途和功能,火工品中可以装填一种或多种火工药剂。例如,几种火帽的结构如图 1-1 所示;几种军用雷管的结构如图 1-2 所示。火工品和火工药剂不仅在弹药系统中应用广泛,在矿山爆破、交通和水利建设中的岩土爆破、深井石油开采及工农业生产中同样也有广泛应用。

火工品技术本质上是研究采用火工药剂和装药结构来完成特定功能的技术。火工品中的换能机构接收武器装备控制系统发出的指令信息或外界刺激能量后,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传递和放大,实现点(传)火、延期、起(传)爆、做功等功能。

火工药剂的作用是:接受火工品换能元件或外界给予的微小刺激能量,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、做功以及烟火效应等。

火工品的技术和功能设计,正是根据其不同的感度和输出性能特点,通过选择不同的火工药剂,采用不同的装药和结构设计,产生不同形式的能量流,以满足火工品的点火、传火或起爆、传爆等功能需要,最终实现弹药爆炸序列的技术和战术要求。

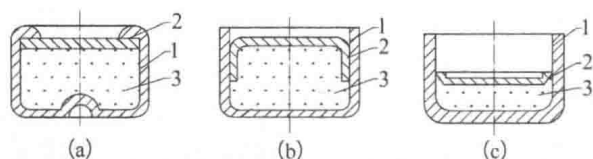


图 1-1 几种火帽的结构

(a), (b) 针刺火帽; (c) 撞击火帽。

1—火帽壳; 2—盖片或加强帽; 3—火工药剂。

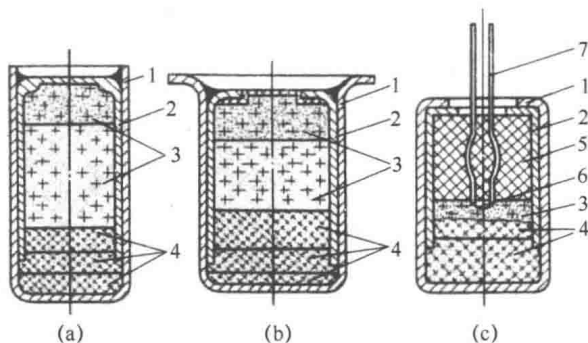


图 1-2 几种军用雷管的结构

(a) 针刺雷管; (b) 火焰雷管; (c) 电雷管。

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。

1.2 火工药剂的特点和分类

火工药剂在性能和应用上属于火炸药的范畴。但火炸药中, 只有部分品种适宜用作火工药剂, 用于装填火工品。

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. 用量少, 作用可靠性高

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, 对火工药剂有极严格的要求。通常, 火工品元件的体积较小, 其中的火工药剂装量较少, 但要求其作用可靠性高。安全、可靠的火工药剂, 是保证战争胜利的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。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。

2. 功能首发、感度较高

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。火工药剂是火工品的核心, 是常规兵器、战术战略武器发射系统及终点毁伤系统的最初始、最敏感、效费比极高的首发能源, 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和能量密度及足够的安全性。火工药剂的性能、感度和数量、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其整体战术和技术效能的发挥。

3. 良好的安定性和相容性

通常, 军用弹药的储存期为 20 年左右, 民爆器材储存期为 2 年左右。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。

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。

4. 种类繁多, 用途广泛

火工药剂品种很多, 用途各异。兵器弹药多种多样, 发射方式各不相同, 需要不同性能的击发药、点火药、延期药等。战斗部的终点毁伤作用方式也是多种多样的, 其引爆方式也各有特点,

需要不同性能的起爆药、点火药、延期药等。不同的火工药剂具有不同的理化性能、爆炸性能和感度，在火工品和传爆序列中起着不同的作用。工业和民用火工品也需要火工药剂。烟火药、鞭炮药也属于火工药剂。为了完成不同的做功及烟火效应，对火工药剂的要求也各不相同。可见，各种不同用途的火工品，需要各种不同的、品种繁多的火工药剂。

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。通常，火工药剂输出的能量分为三种形式，即爆轰型、燃烧型和气动力做功型。

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。

1.2.2 火工药剂的分类

火工药剂的种类很多、用途广泛，至今还没有明确统一的分类和命名方法。

通常，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组成的混合炸药）、起爆药、点火药、击发药、针刺药、摩擦药、延期药、烟火药等；按输入的刺激能量形式不同，可分为击发药、针刺药、摩擦药、点火药等；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、引爆型药剂一般具有高感度特点；扩爆型传爆药一般具有低感度、高能量的特点。

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火工药剂。有些单质起爆药也可用作点火药、延期药等。

按其输出能量形式不同，火工药剂可分为输出爆轰波、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，以满足不同的技术和战术要求；按用途不同，火工药剂可分为军用火工药剂和民用火工药剂；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特性改造，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和战术要求，以及火工药剂的性能特点，进行药剂选择或进行组成配方的专门设计。例如，不同的药剂，包括单质起爆药和混合起爆药，性能不同，用途也不同。点火药、击发药、延期药等各有不同的功效。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；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

传爆药在火工品中用于传递、扩大爆轰波能量。火工品中实际使用的传爆药大多是以某些猛炸药为主体成分，加入其他钝感剂或黏结剂组成的混合炸药。猛炸药的种类很多，但适宜用作传爆药、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其他引爆类火工品的输出装药，或作为传爆序列的传爆药（柱）或导引传爆药。

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，猛炸药主要用于装填武器系统中的引爆类火工品及其传爆序列的传爆药、扩爆药，或作为雷管、导爆索、电爆管等引爆类火工品的输出装药及弹药战斗部的爆破装药；工业上也用于装填工程雷管等爆破器材。

传爆药柱一般由优质的、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，已经被淘汰。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结剂等组成混合炸药。应用军用混合炸药技术，以这些优质的单质猛炸药为主要组分而制成的高聚物黏结炸药（PBX），常用于火工品及弹药引信传爆序列中的传爆药，用以传递和扩大爆轰能量，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% Exon461）等。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。

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。研究表明，它们可用于新型的先进火工品。

2. 起爆药

起爆药是能在较弱的外界激发能量（如热、火焰、撞击或摩擦、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。起爆药作为火工品的始发装药，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。

起爆药是所有引爆类火工品的主装药。它们在微小的外界能量刺激下，能够在极短的时间内实现燃烧转爆轰，并输出爆炸能量，引爆下一级炸药。

起爆药也是弹药爆炸序列的初始能源，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始发药剂。

火工品及火工药剂的技术发展与起爆药的发展密切相关。起爆药的发展也经历了漫长的历程。如今，起爆药的品种很多、用途各异，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，起爆药输出的能量有火焰和爆轰波两种形式。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单质起爆药——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。

火工品中常用的单质起爆药有氮化铅[分子式 $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$ ，代号 LA]、四氮烯[或特屈拉辛，分子式 $\text{C}_2\text{H}_8\text{ON}_{10}$]、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]等。混合起爆药是以这些单质起爆药为组分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

起爆药和猛炸药都属于高级炸药，但二者之间区别明显。虽然有些起爆药如 DDNP 本身就是一种猛炸药；PETN 又是一种比较敏感的猛炸药；而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。有时，甚至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感度差异，见表 1-1 所列。

表 1-1 猛炸药与起爆药的感度差异

品 名	撞击感度/cm	热感度（5s 延滞期爆发点）/℃	火焰感度 cm	
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 20mg，落锤 2kg；起爆药的感度测定采用双柱导轨落锤仪，0.02g 药剂以 40MPa 压力压入火帽壳，锤重 400g			

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，用以引燃烟火药或起爆猛炸药。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，通常需要起爆药或其他起爆器材产生的爆轰波才能起爆。

猛炸药可在松散的状态下远距离运送。而起爆药、击发药、点火药等比较敏感，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（DDT）过程。通常，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；其爆炸变化加速度大或者爆速增长期短。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，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。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的时间。例如，叠氮化铅在很短的距离内即可完成 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。

猛炸药由燃烧转爆轰较为困难，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，起爆药的爆速较低、爆炸威力较小；而猛炸药的爆速较高，一旦发生爆轰，爆速较高，威力巨大。起爆药与猛炸药爆炸变化速度的增长曲线如图 1-3（a）所示。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 2000~5000 m/s，而用作火工品传爆药的猛炸药的爆速通常在 7000m/s 以上。

此外，不同起爆药的爆炸变化加速度也各不相同，如图 1-3（b）所示。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。

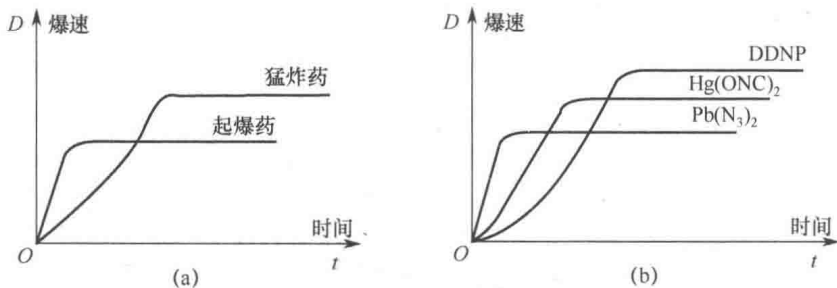


图 1-3 起爆药与猛炸药的爆轰速度变化曲线

(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也很多。如击发药、针刺药、摩擦药等混合起爆药、点火药、延期药及曳光剂等烟火药等，都是混合药剂。它们主要的爆炸变化形式是燃烧、爆燃。其中，有些混合火工药剂的组分中还含有单质起爆药或猛炸药成分，如击发药、针刺药等；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，如某些混合延期药、点火药等。有些火工品中还装填有功效型火工烟火药剂（包括照明剂、信号剂、曳光剂、燃烧剂、发烟剂）等，起到点火、激发、照明、信号、烟幕遮蔽等作用。

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，都起功能首发的作用。击发药是一类在撞击、针刺、摩擦等外界能量作用下，能够快速形成爆燃，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。几种针刺药的组成见表 1-2 所列。

表 1-2 美国的几种针刺药组成成分

(单位：%)

品种 组分	NOL-60	NOL-130	PA-101	品种 组分	NOL-60	NOL-130	PA-101
四氮烯	5	5	5	硝酸钡	25	20	22
碱式斯蒂芬酸铅	60	40	53	硫化锑	10	15	10
氮化铅	—	20	—	铝粉	—	—	10

点火药也称引燃药，其特点是热感度较高，点火能力强，主要作用是点火，是用以点燃延期药、烟火药、推进剂、发射药和起爆药的药剂。我国常用的点火药有：斯蒂芬酸铅（用于军用火焰雷管，也用于军用点火药头的主要成分）、有气体点火药（以黑火药为代表，用于各种点火具）、微气体点火药（适用于端面燃烧和不允许产生大量气体的点火药）、无气体点火药（具有耐高温、耐低温、燃温高、防静电、防射频、使用安全等特点，用于要求不产生气体的特殊点火器材中，如点燃液体能源、延期或保险元件、电路闭合装置的药剂，以及电路断开装置的药剂）、钝感点火药（适用于航天、航空和武器发射系统）。还有高能点火药，耐高温、缓燃、暗燃点火药等。

延期药是控制爆炸和传火时间的药剂，主要用于时间引信、自爆装置、解脱机构、保险、自毁机构等。另外，在点火具及其他做功元件中也有应用。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；一般通过装填延期元件起延时点火作用，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。其主要技术要求是：时间精确、作用可靠、工艺性能好等。

延期药的种类也很多。按燃烧后有无气体，可分为有气体、无气体（微气体）延期药；按组成成分，可分为钨系延期药（国内外常用的长秒量延期药）、硼系延期药（国外常用的短秒量延期