

高 等 院 校 教 材

起 爆 药 学

劳允亮、黄浩川 编著

国 防 工 业 出 版 社

起爆药学

劳允亮、黄浩川 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书比较全面地叙述常用的和近年来新研制的起爆药及其物理化学性质, 爆炸性能, 化学原理和制造工艺。主要内容包括: 起爆药的感度与安定性; 起爆药的结晶学基础; 单质起爆药; 混合起爆药; 复盐类起爆药和不属于上述各类的其它起爆药以及起爆药的理化分析与安全技术等。同时, 对国外起爆药科研方面的发展和生产技术方面的成就, 书中也做了论述。

本书可做为高等院校有关专业的教科书。也可供从事引燃和引爆器材、起爆药生产和科研的工程技术人员参考。

起 爆 药 学

劳允亮、黄浩川 编著

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张17³/₄ 412千字

1980年6月第一版 1980年6月第一次印刷 印数: 0,001—1,300册

统一书号: 15034·2043 定价: 1.85元

前 言

起爆药是炸药的一个分支，它是各种引燃和引爆器材的能源。起爆药最主要的特征是对外界作用比较敏感，可以用较小的、简单的初始冲能，如火焰、撞击、针刺、摩擦、电能、热能和光能等即能引起爆轰。当它被引爆以后，能够输出足够的能量以引爆猛炸药，使猛炸药迅速转为稳定的爆轰实现爆炸过程。因此，在军事上和各种工程中，都离不开起爆药，它们都需要借助于起爆药完成其爆炸过程，发挥出巨大威力。

由于起爆药具有直接在外力作用下起爆的能力，故又称为引爆剂或初级炸药。

解放后，我国起爆药的生产有了飞跃地发展，在科学研究领域中也出现了不少的新成果。同时，近年来国外起爆药的基础理论和新产品的研制也有很大的进展。我们收集和综合了上述生产和科研的成就，在1974年编写《起爆药》教材的基础上，经过试用后，又进行了修改和重新整理编写成此书。

书中的叙述本着加强基础理论教学的精神，努力体现理论联系实际的原则，注意实践和实验数据的应用，力求能为研制和生产性能好、威力大、作用可靠和使用安全的优质起爆药提供基本理论和实践知识。

在编写过程中，得到有关厂和研究所的大力支持。吴喜初、赵同旌、何群生、温书荣、杨玉良、王有贵、万玉壁等同志曾对本书提过不少宝贵意见。马文彪、于峰、陈福梅、朱玉、刘伟钦等同志给以指导和鼓励，文利文同志为本书描绘全部图纸。最后，陈福梅同志对原稿进行了认真地审阅和修改。对于上述各位同志的热情帮助，表示衷心感谢。

限于编者的水平，本书中缺点和错误在所难免，希望批评指正。

编 者

1979年元月

目 录

绪 论	1	§ 6-2 迭氮化物的物理化学性质	72
§ 1 起爆药发展历史的简述	1	§ 6-3 迭氮化钠的性质与制造	80
§ 2 起爆药的特性	2	§ 6-4 水合肼法制造迭氮化钠的原 理及其工艺	84
§ 3 对起爆药的基本要求	9	§ 6-5 迭氮化铅的概述	87
§ 4 起爆药的分类	9	§ 6-6 氮化铅的理化性质和爆炸性能	88
第一篇 起爆药的感度与安定性	17	§ 6-7 氮化铅结晶的自爆与控制剂在 结晶过程的作用	98
第一章 起爆药的感度	17	§ 6-8 氮化铅品种系列的发展及其 主要特征	101
§ 1-1 起爆药的热感度	17	§ 6-9 氮化铅的制造原理	107
§ 1-2 起爆药的火焰感度	20	§ 6-10 糊精氮化铅的制造	117
§ 1-3 起爆药的冲击感度	21	§ 6-11 聚乙烯醇氮化铅的制造	119
§ 1-4 起爆药的摩擦感度	22	§ 6-12 羧甲基纤维素氮化铅的制造	120
§ 1-5 起爆药对静电和电火花感度	23	§ 6-13 导电氮化铅的制造	123
第二章 起爆药的热分解与安定性	30	§ 6-14 其它迭氮化物起爆药	123
§ 2-1 起爆药的热分解机理	30	第七章 硝基酚类重金属盐起爆药	127
§ 2-2 起爆药热分解的试验方法	33	§ 7-1 概述	127
§ 2-3 起爆药的安定性	41	§ 7-2 三硝基间苯二酚的性质	129
§ 2-4 起爆药的相容性	43	§ 7-3 三硝基间苯二酚的制备工艺	130
第二篇 起爆药的结晶学基础	46	§ 7-4 三硝基间苯二酚铅的理化性质	132
第三章 结晶过程的基本原理	46	§ 7-5 三硝基间苯二酚铅的爆炸性能	136
§ 3-1 溶解度与超溶解度曲线	47	§ 7-6 三硝基间苯二酚铅工艺条件 的论证	138
§ 3-2 晶核的生成	49	§ 7-7 三硝基间苯二酚铅的几种改 性产品	142
§ 3-3 加晶种的诱发结晶	51	§ 7-8 二硝基间苯二酚的合成及其 铅盐的制备	143
§ 3-4 晶体的成长	52	§ 7-9 三硝基间苯二酚的钡盐	147
§ 3-5 晶体的生长形态与习性	53	第八章 硝基重氮化物起爆药	148
§ 3-6 影响晶体生长形态的外部因素	55	§ 8-1 二硝基重氮酚的概述	148
第四章 晶体的内部构造与实际 晶体的不完整性	58	§ 8-2 二硝基重氮酚的性质	149
§ 4-1 空间点阵	58	§ 8-3 二硝基重氮酚生产方法的分析	158
§ 4-2 晶体的分类	59	§ 8-4 制备二硝基重氮酚的重氮化 反应机理	160
§ 4-3 晶体的不完整性——缺陷与位错	62	§ 8-5 二硝基重氮酚的生产流程	165
第五章 晶体化学概述	65	§ 8-6 二硝基重氮酚生产废水的处理	168
§ 5-1 化学键与晶格类型	65		
§ 5-2 原子半径和离子半径	65		
§ 5-3 同质多晶与类质同晶	66		
第三篇 单质起爆药	70		
第六章 迭氮化物起爆药	70		
§ 6-1 迭氮酸的性质	71		

第九章 四氮起爆药	171	§ 13-6 氮化铅与硝基间苯二酚类“共晶” 起爆药	231
§ 9-1 四氮烯起爆药的概述	171	第十四章 络合物起爆药	237
§ 9-2 四氮烯的理化性质	172	§ 14-1 络合物起爆药的概述	237
§ 9-3 四氮烯的爆炸性能	173	§ 14-2 几种络盐起爆药	242
§ 9-4 四氮烯的制造原理与工艺	175	第十五章 其它起爆药	246
§ 9-5 四氮茂或四唑类起爆药	180	§ 15-1 乙炔化合物起爆药	246
§ 9-6 四唑基双铅盐类起爆药	189	§ 15-2 有机过氧化物起爆药	250
第十章 雷酸盐类起爆药	193	§ 15-3 肼氨及硝基肼氨盐起爆药	253
§ 10-1 雷汞的概述	193	§ 15-4 氮的卤化物、硫化物、硒化 物以及连氮二硫化碳类起 爆药	254
§ 10-2 雷汞的物理化学性质	193	§ 15-5 硝胺盐起爆药	256
§ 10-3 雷汞的爆炸性能	196	§ 15-6 中棕酸盐起爆药	257
§ 10-4 雷汞制造的工艺原理	200	§ 15-7 草酸盐	257
§ 10-5 雷汞制造的工艺过程	205	§ 15-8 耐热起爆药及点火药	257
§ 10-6 雷汞生产中“三废”的治理	207	§ 15-9 含硼及氟起爆药	258
§ 10-7 其它无机雷酸盐	210	§ 15-10 二硝基苯并呋咱 1- 氧基金属盐起爆药	259
第四篇 混合起爆药	212	第六篇 起爆药的理化分析与 安全技术	260
第十一章 击发药	212	第十六章 常用起爆药的理化分析	260
§ 11-1 击发药的概述	212	§ 16-1 氮化铅的纯度分析	260
§ 11-2 击发药的一般组成及其作用	213	§ 16-2 三硝基间苯二酚铅的纯度分析	265
§ 11-3 含雷汞击发药	216	§ 16-3 二硝基重氮酚的氮量分析	268
§ 11-4 无雷汞和无锈蚀击发药	217	§ 16-4 四氮烯的化学分析	269
§ 11-5 几种混合起爆药	220	§ 16-5 雷汞的化学分析	269
§ 11-6 击发药和混合起爆药 的混制方法	220	第十七章 起爆药的安全技术	271
第十二章 针刺药	222	§ 17-1 工房建筑方面的安全要求	271
§ 12-1 针刺药的概述	222	§ 17-2 工房结构方面的安全要求	274
§ 12-2 针刺药的组成	222	§ 17-3 静电的聚集与防静电措施	275
第五篇 复盐类起爆药	224	§ 17-4 起爆药生产的职业中毒及其 预防	276
第十三章 包结化合物起爆药	224	参考资料	277
§ 13-1 包结化合物起爆药的概述	224		
§ 13-2 包结化合物的特性及分类	225		
§ 13-3 包结化合物的生成条件及其 生成过程	227		
§ 13-4 包结化合物起爆药的实例	227		
§ 13-5 斯蒂芬酸铅与斯蒂芬酸钾 的复盐起爆药	231		

绪 论

§ 1 起爆药发展历史的简述

起爆药这门学科是劳动人民在长期生产实践和科学实验中逐渐发展起来的。

我们伟大的祖国对起爆药的发展作出了极其重要的贡献。根据历史的记载，最早的起爆药就是黑火药。众所周知，黑火药是我国四大发明之一。远在公元前，我国劳动人民就对黑火药的三种主要成分，硝石、硫磺和木炭积累了丰富的知识，为黑火药的发明奠定了基础。公元7世纪盛唐时代，炼丹家孙思邈和清虚子等在他们各自的炼丹术著作中，就写有火药的燃烧性及其应用。10世纪后，宋太祖时就有“飞火”即“火炮”、“火箭”等用于兵事的记载。1040年宋真宗时，在宋都开封建立了制备火药的工厂“火药窑子作”。其后，又相继发明了“火枪”、“霹雳炮”等。可见那时我国劳动人民不仅掌握了火药的性能，而且还掌握了它的应用。在12~13世纪，黑火药传入了欧洲。公元1242年黑火药第一次在国外才有专门记载。1331年在国外黑火药才开始应用于火炮。其后又逐步改进，出现了其它的起爆药。

大家知道，早期的火炮是从炮口装药，用作起爆和发射作用的都是黑火药。后来，为了提高火炮的射击速度，作发射药用的黑火药从后膛填入，另在火炮和轻武器上设有传火孔，外装少量传火药以引燃发射药。由于黑火药引燃作用不可靠，因此，有人开始改进黑火药，并致力于寻找作为引燃和引爆的新起爆药。

起爆药的发展与引燃和引爆器材的发展是分不开的。大致可分为四个阶段：

第一阶段 从黑火药应用到18世纪出现氯酸盐药剂。

第二阶段 从发现雷汞到19世纪出现雷汞雷管。

第三阶段 发现迭氮化铅及其它新起爆药，并广泛用于引燃和引爆器材的装药。

第四阶段 第二次世界大战后迄今的发展。

1786年，在法国发现了氯酸盐与易燃物混合，易受撞击而爆炸。从而出现了氯酸盐、木炭和硫磺的混合物代替黑火药作引燃药，改进了火炮和轻武器的传火孔结构。其后，又出现将起爆药单独装入一个金属孟中，称为击发火帽。这一阶段可以认为由原始的黑火药发展到击发发火的氯酸盐起爆药阶段。

击发火帽的出现，促进了起爆药的研究。由于氯酸盐起爆药很不安全，且有易吸潮等缺点，促使研究者寻找更为有效的起爆药。1600年发现雷金和雷银具有敏感的特性；1660年（有的说1630年）德国人进而发现了雷汞。由于这种药剂受简便的冲击力即能发火引燃发射药，故而发明了装雷汞的击发火帽。这一时期的枪炮结构已完全脱离传火孔的落后结构，基本上采用了击发火帽引燃发射药的方法。击发药的配方又进一步发展为雷汞、硫化锑、氯酸钾、玻璃粉以及粘合剂的混合成分。

19世纪基础化学的发展，促进了炸药化学的研究。1846年发现了硝化甘油和硝化棉。1864年诺贝尔发明了雷汞雷管。由于引爆敏感度小而新炸药的威力大，又出现了复式雷

管。这种复式雷管已与现代的雷管相似。起爆药由击发药发展到引爆炸药的领域，扩大了它的使用范围。

1890年发现了迭氮化铅，德国、美国和苏联等国于20世纪初相继使用了这种起爆药，使引爆器材进入了一个新的阶段。此外，1910年出现四氮类起爆药。19世纪后期又研究出二硝基重氮酚、斯蒂芬酸铅等。使雷管的发展除火雷管外，又出现了电（引燃）雷管。继续燃导火索后又出现了异爆索等。

在第四阶段中，起爆药还有很大发展。雷汞雷管在炮弹装药中，已逐步为威力更大、更为安全的迭氮化铅雷管所代替。随着火箭、导弹新式武器的发展，相应地对各种引燃引爆器材的起爆药、点火药、击发药等提出更高的要求。因此，不难看出，随着火药、猛炸药以及火工品的发展，“起爆药”已逐步形成具有实际和理论意义的学科。

§2 起爆药的特性

起爆药虽是炸药的一个类别，既具有猛炸药的某些性质，但又具有显著不同的性质。因此，要在猛炸药和起爆药之间划一明确的界线是不容易的。有些起爆药如二硝基重氮酚本来就是一种猛炸药，而泰安又是一种比较敏感的猛炸药，在特定的条件下，也就是一种具有起爆药特性的物质。但是，起爆药本身具有的特性则可以认为：起爆药爆炸变化具有较快的加速度，具有较高的起爆能力，对于简单的、较小的起爆初始能量较为敏感以及大多数起爆药属于生成热为负值的吸热化合物。这四个方面的特殊性就构成区别于猛炸药的特殊本质。

一、起爆药爆炸变化的加速度

起爆药的爆炸变化过程，可以分成相互联系，而又相互区别的两种不同过程，即燃烧与爆炸。爆炸变化在起爆药中扩展的过程，在一定条件下可以转变为稳定爆轰。因此，起爆药在受某种初始冲能引爆时的变化过程，可以用爆炸变化速度来表明。爆炸变化速度的快慢，可以用单位重量起爆药爆炸所经的时间表示，或以爆炸变化过程在单位时间内沿药柱传播所经的长度来表示。爆炸变化速度的增长即爆炸变化的加速度，在一定的条件下可以达到的爆速最大值即稳定的爆轰速度。

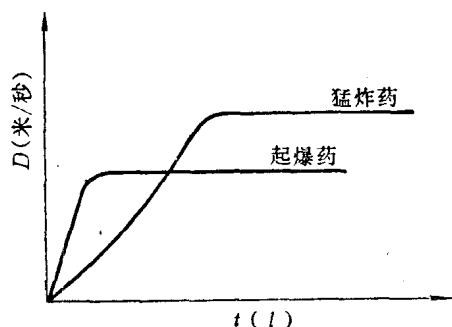
由于起爆药和炸药的性质，初始冲能的引爆条件以及其它因素的差异，爆炸变化的加速度过程，有着显著的区别。在一定条件下，起爆药受初始冲能引爆，由开始燃烧转变为稳定爆轰，其所需的时间或药柱长度，较之炸药由开始燃烧转变为爆轰所需的时间或药柱长度要短的多。也就是说，起爆药的爆炸变化速度的增长比炸药的爆炸变化速度的增长要快得多。现将二者的特点示意如图绪-1。

有人曾做过这样的试验，在一个透明的有机玻璃管中，按照复式雷管装药的方式，把三硝基间苯二酚铅、氮化铅和泰安分层压入，在底部（即装三硝基间苯二酚铅处），以热丝起爆。用高速照像进行扫描记录，可以得到如图绪-2所示的曲线。

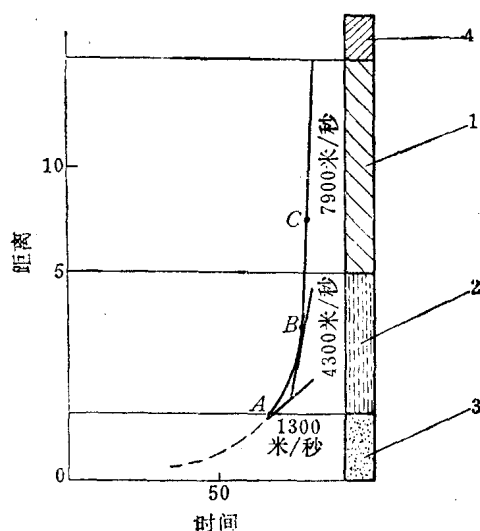
图绪-2的横坐标是时间 t ，纵坐标是爆轰波走的距离 s ，曲线任一点的斜率 $\frac{ds}{dt}$ 是该点的爆速。曲线下方的虚线，由于感光不足，扫描记录不明显是推测的。

A点：1300米/秒；B点：4300米/秒；C点：7900米/秒。因此，这条曲线说明了爆轰的成长过程，在三硝基间苯二酚铅接近2毫米的长度内，爆速从接近于0增长到1300米/秒，

平均加速度为每毫米 650 米/秒。在氯化铅接近 2 毫米的长度内, 爆速从 1300 米/秒 增长到 4300 米/秒, 平均增加速度为每毫米 1500 米/秒。而泰安中平均加速度则小的多。所以, 起爆药的爆炸变化速度的增长比起猛炸药爆炸变化速度的增长要快的多。



图绪-1 起爆药与猛炸药爆炸变化速度的增长曲线

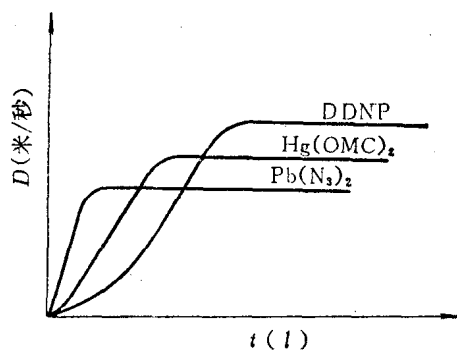


图绪-2 雷管中爆速增长曲线

1—泰安；2—迭氯化铅；3—三硝基间苯二酚铅；4—惰性塞子。

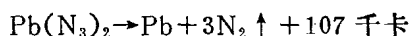
上述特点乃是起爆药与猛炸药之间的主要区别。当然, 影响爆炸变化速度增长快慢的因素是很多的, 如药剂本身的性质、物理状态、装药条件、外界起爆能力的强弱、药柱直径的大小以及外壳的坚固程度等。但是, 就起爆药与猛炸药相比较, 前者本身就具备着易于使爆炸变化速度迅速增长的条件。如起爆药对外界能量的感度大, 所需的起爆能量小, 它们的密度较大, 爆炸后在单位体积和时间内放出能量多。并且能量的逐层传播的情况, 也较密度小的炸药要快等。

在各种起爆药中, 它们的爆炸变化加速度的增长情况也各不相同。由图绪-3 可见, 氯化铅的爆炸变化加速度较之其它起爆药要大的多。试验研究证明, 细结晶氯化铅在空气中以灼热金属丝引燃, 认为其燃烧阶段小于 10^{-7} 秒。即细结晶氯化铅一经激发就能极快地从燃烧转变成爆轰, 达到稳定的爆速。这一过程以至目前还较难得准确测定。



图绪-3 几种起爆药爆炸变化速度的增长曲线

有人认为, 氯化铅爆炸变化加速度比较快, 其主要原因在于氯化铅分解步骤简单, 分解初期所形成的产物往往对反应产生自动催化加速作用, 热量释放较为迅速。因而在发火后能很快的转为爆轰。氯化铅的分解反应为:



故其爆炸变化加速度大。其它起爆药如雷汞、三硝基间苯二酚铅等, 当引爆时燃烧阶段较氯化铅长, 但较猛炸药短的多。

二、起爆药的起爆力

某些炸药虽然具有上述特点——爆炸变化加速度大, 易由燃烧转变为爆轰, 但能否用

作起爆药，还决定于它的起爆力是否足够强。所谓起爆力，就是指炸药在爆炸后，能够引起其它猛炸药达到稳定爆轰的能力。如果它的起爆力弱，即爆炸后不足以引起猛炸药达到稳定爆轰，则该炸药装药必定爆炸不完全，甚至完全不爆，这样当然不能完成应有的效用。所以这样的炸药就不能用作起爆药。另外，起爆药的起爆力越大，炸药达到稳定爆轰所需的爆速增长期就越短。也就是说，炸药处在低爆速的时间越短，消耗在增长爆速的药量越少，因而可以更好的发挥炸药的效能。同时，起爆力大的起爆药可制成体积较小的火工品。

根据许多研究结果看来，影响起爆药起爆力的主要因素有：

起爆药的爆炸加速度越高，它的起爆力越大。例如，氮化铅 $[Pb(N_3)_2]$ 的爆炸变化加速度比雷汞大，所以它的起爆力比雷汞也大。根据试验得知，爆炸变化速度增长最快的是雷(酸)镉 $[Cd(ONC)_2]$ ，只用0.008克雷镉(于8*雷管中)即足以起爆特屈儿。而雷汞的爆炸变化速度增长较慢，所以在同样条件下，要0.29克才能引起特屈儿爆轰。曾有人试验，在雷汞上面加0.5毫克氮化铅，则起爆力增加约一倍。这主要是氮化铅的爆炸变化加速度较大，受初始起爆能引爆时，即以很大速度冲击而使雷汞起爆，加速了雷汞达到爆轰过程。

起爆药的猛度，也是影响起爆力的因素。起爆药的爆炸，所以能引起猛炸药爆轰，是由于起爆药爆炸后形成爆轰波向猛炸药进行冲击的结果。而爆轰波的强弱却与起爆药猛度大小有关，因而猛度越大，则它的起爆力亦越大。

在一定的条件下，起爆药的比重大，假密度大(相对而言)起爆力亦大；起爆药的爆速大，爆温高，起爆力亦大；起爆药所装填金属壳之坚固性对起爆力亦有一定影响。一般说来，金属壳坚固性高，则起爆力大。故同样的起爆药，如用纸壳装填起爆药，则在起爆同样的猛炸药时，所需之起爆药量就比用金属壳装填的大得多。其它因素如起爆药结晶颗粒形状、大小等都能影响起爆力。

用来衡量起爆药起爆力最简单的标志是极限起爆药量。即以能引爆0.5克猛炸药装药达到稳定爆轰时的最小起爆药量表示。通常是将起爆药以500公斤/厘米²压药压力装入8*雷管中，猛炸药以1000公斤/厘米²压药压力。装有起爆药的雷管爆炸后能穿透4毫米厚的铅板，且其炸孔之孔径不小于雷管之外径，为爆轰完全。此时，起爆药的最小装药量称为极限装药量。以极限装药量表示之常用起爆药的起爆威力如表绪-1。

表绪-1 起爆药的极限起爆药量

起 爆 药	特屈儿(克)	苦味酸(克)	梯恩梯(克)
雷 汞	0.29	0.30	0.36
雷 银	0.02	0.05	0.095
迭氮化汞	0.045	0.075	0.145
迭氮化银	0.02	0.035	0.07
迭氮化铅	0.025	0.025	0.09
二硝基重氮酚	0.075	—	0.163
三迭氮化三聚氰	0.06	0.06	0.13
六次甲基三过氧化二胺	0.06	0.06	0.08
过氧酸硝基氮苯	—	0.15	—
三硝基间苯二酚铅	一克药量仍不能起爆猛炸药		
四氮烯	一克药量仍不能起爆猛炸药		

从表绪-1可以看出, 氯化铅的爆炸变化加速度大, 故其起爆力最大, 使用时极限装药量亦最少。故目前氯化铅已被广泛用来装填各种火工品, 特别适用于小尺寸的火工品。而雷汞的爆炸变化加速度小于氯化铅, 故起爆力小, 目前只用在混合起爆药和部分火雷管中。

除了上述极限药量以外, 测定起爆药起爆力的方法还有很多种, 如铅铸试验、弯钉试验、沙试验、凹痕试验等。在国外, 凹痕试验已被列入标准方法。

三、起爆药的敏感性

起爆药的另一重要特性, 就是对外界作用比较敏感, 可以用较小的、简单的初始冲能, 如火焰、撞击、摩擦、针刺或电能等即能引起爆轰。起爆药对外界作用的敏感程度即感度是有很大差别的。不难看出, 引爆所需初始冲能愈小, 则该起爆药愈敏感。例如, 碘化氮, 这种起爆药若用羽毛轻轻触动就能引起爆炸。有的起爆药则需要较大的外界能量才能起爆, 这是由于起爆药对外界作用有不同的敏感度所致。因此我们说, 起爆药在外界作用下, 发生爆炸的难易程度就称起爆药的感度。

作为外界初始冲能来看, 可以利用不同类型的能量, 可以是机械的(如冲击、针刺、摩擦等)。热的(如加热、火焰等), 电的(如电阻丝发热、放电火花等)。除此而外, 还有很多形式可以激发起爆药的爆炸变化, 如激光、辐射、射频、静电等。与这些初始形式相对应的, 起爆药对各种外界作用有着各种不同的感度。如撞击感度、针刺感度、摩擦感度、热感度、火焰感度、电感度和激光感度等。

各种起爆药对各种不同形式的初始冲能具有一定的选择性。例如, 迭氮化铅比斯蒂芬酸铅对机械作用更敏感, 而对热作用则较之钝感。正是由于这一特性, 我们在生产和使用中, 需要根据不同火工品的战术技术要求, 选择不同的起爆药。因此, 研究起爆药的敏感度, 对于确定使用它们的可能性, 以及选择最便于为某种初始冲能与一定能量数值引爆的药剂, 则是极其重要的任务。

起爆药的感度是由许多因素决定的。这些因素可以归纳为内在因素和外在因素。起爆药的内因是决定起爆药敏感程度的根本因素, 内在因素即指起爆药本身的物理化学性质。诸如:

(1) 键能: 起爆药发生爆炸反应首先必须破坏分子中原子间的键, 若键能愈小, 破坏它就愈容易, 所以感度亦就愈大。反之, 则感度愈小。例如, 含有 N_3 基团的起爆药, 由于 N_3 基团易于展开, 其键能较小, 所以其化学活泼性比较大, CNO^- 基团也是比较活泼。一O—O—O—基团, 四唑基团等, 其键能都较小, 容易破坏。故表现出比较敏感的特性。键能大小对起爆药感度的影响, 仅仅是指单个分子。实际上, 我们接触的不是单个分子, 是以装药形式的大量分子。而起爆药发生爆炸, 又是以能量层层传递的方式, 爆炸沿整个装药自行传播。因此, 起爆药的感度由一系列物理化学的因素而定, 键能的大小, 仅仅是这些因素之中的一个。

(2) 分子结构与成分: 起爆药的感度首先决定于键能之大小, 而键能的大小又由起爆药的分子结构和成分而定, 所以它和键能是有联系的。

大家知道, 单质起爆药的分子中都含有各种不稳定的原子团或基团, 这些原子团亦可称为爆炸原子团。起爆药分子中所含不稳定原子团的性质、所在位置和数量, 影响着起爆药的感度。一般情况下, 所含原子团稳定性愈小, 数量愈多, 则感度愈大。如含有一 $C \equiv C$ — (乙炔衍生物); $N-N$ 结合 (重氮化物、迭氮化物、四氮化物); 一O— $N \equiv C$

(硝酸盐); $-\text{N} \begin{array}{c} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{O} \end{array}$ (硝基化合物) 等。这些不稳定的原子团分解时, 放出大量热能很快

转为爆轰。在一般情况下, 起爆药分子中含有相同的不稳定的原子团时, 感度随键能的减小而增高。故重金属的迭氮化物比碱金属的迭氮化物敏感。即重金属的迭氮化物较之碱金属迭氮化物更易于快速分解。

(3) 活化能: 炸药的活化能实际上就是炸药爆炸的一个能栅。这个能栅越高, 越不易跨过这个能栅而爆炸, 也就是感度越小。相反, 活化能越小, 感度就越高。应该指出, 活化能受外界条件影响很大, 所以不是所有情况都严格遵守这个规律的。

(4) 其它因素: 如起爆药的爆热、生成热、热容量与导热性等都对感度有所影响。

决定起爆药感度的内在因素, 即它的物理化学性质都是不可以人为的给以改变的。但是决定起爆药感度的外在因素, 则可根据实际需要人为的改变某些因素, 使起爆药感度增大或降低, 因此, 它在实际应用上有着很大意义, 这些因素有:

(1) 结晶的形状与颗粒的大小: 关于起爆药的结晶结构与感度的关系, 近代各国都有所研究, 但都没有做出一定的结论。总的看来, 结晶形状的不同, 其感度不同。这主要是由于它们晶格能量的不同而决定的。例如, 氮化铅有 α 型与 β 型。 α 型为棱柱状, β 型为针状, 由于 β 型氮化铅具有的晶格能量较低, 所以它比 α 型氮化铅的机械感度敏感的多。在其晶粒破碎时可发生自爆现象。各种氮化物由于晶格能不同, 它们的冲击感度也有较大差别, 表绪-2 为几种迭氮化物的冲击感度:

关于起爆药的结晶结构与感度的关系, 随着近代固体物理学的发展, 提出了很多论证, 诸如晶格的缺陷, 晶体的位错等, 这些因素可以使起爆药处于一种“介稳状态”。所以对机械或外界能量表现其敏感性。

表绪-2 各种迭氮化物的冲击感度

迭氮化物	落锤重量(克)	锤面直径(厘米)	感 度 上 限	
			落药(毫米)	爆炸(%)
$\text{Pb}(\text{N}_3)_2$	1.52	1.55	225	100
$\text{Cd}(\text{N}_3)_2$	1.52	1.55	195	100
$\text{Ca}(\text{N}_3)_2$	1.52	1.40	119	100
$\text{Ba}(\text{N}_3)_2$	1.52	1.35	65	100

关于结晶颗粒的大小与感度的关系。一般认为, 起爆药的大粒结晶是比较敏感的, 即起爆药的感度随结晶颗粒的加大而提高, 反之, 随颗粒的减小而降低。此看法被一些试验结果所证实。但亦有某些试验数据与此完全相反, 如在某些情况下, 可将迭氮化铅个别大的颗粒增长至 3 厘米。这样大的结晶用刮刀可以任意刮成粉状。故可认为, 感度随颗粒的增大而减小和随颗粒减小而感度提高。其原因是小颗粒结晶能够很好的吸收能量, 小颗粒的结晶有较大的装药比表面。各个结晶皆由表面开始反应。因此, 结晶颗粒愈小, 开始反应的速度就愈大。

至于不同的研究者得到各种起爆药的实验数据存在着矛盾的现象, 我们认为, 这主要是由于结晶过程不同之故, 因为不同情况下, 可能产生不同的结晶过程, 其所得结晶是

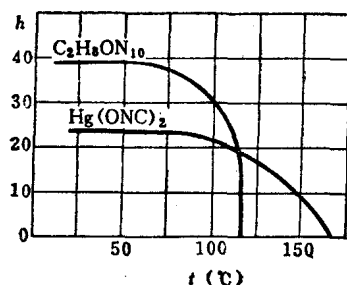
千差万别的。关于结晶颗粒大小与感度关系，应该视晶体颗粒上的棱角多少、锋利程度、晶体表面上存在的缺陷和位错等因素联系起来分析。如果晶体表面上的棱角较少，晶体表面缺陷和位错不显著，则对机械感度就可能表现钝感。反之，小结晶也会表现出敏感。一般说来，较大结晶容易出现表面缺陷和位错，或可能出现较尖锐的棱角，故多数表现出比较敏感。这就是说，起爆药结晶过程不同，可能结晶为不同的晶形，而晶形不同明显的会影响着起爆药的感度。因此，某些研究者可获得一些关系，而其它研究者又可获得相反的关系。另一方面，在不同的结晶过程中，以不同杂质形式留在物质中，对起爆药的感度也有不同的影响。

(2) 装药时的压药压力即装药密度对起爆药的感度亦有一定影响：一般说来，压药压力增高即装药密度的增大，会使某些起爆药的撞击和摩擦感度降低。它主要是因为装药密度的增大，在受外力的条件下，使药粒之间的相对摩擦减少或是使结晶之间的相对位移减小而使感度降低，反之，则感度增加。因此，在一般情况下，起爆药是不允许在松装状态下进行运输，必须把它压装成火工品，这样才能保证运输过程中的安全。同时装药密度的增大，亦可加强起爆药的起爆力。但另一方面，装药密度的增大，亦会使起爆药的火焰感度下降。因为密度大时，表面被压得比较紧密，空隙较少，高温的燃烧产物不能深入至内部，所以不易点燃，若表面疏松则火焰感度即会大大增加。所以压力过高时，常会引起拒爆现象。这一点，尤其是对雷汞更加重要，当装填雷汞时，稍微过压即会出现瞎火或只燃烧而不爆炸的现象。压装雷汞当压力超过 500 公斤/厘米² 时，对火焰会产生“压死”现象。

(3) 药温和感度也有很大关系：温度的增高会使起爆药的感度加大，当药温近于爆发点时，则给以很小能量即爆炸。因温度升高即接受外界热量，使起爆药中原子间的键能减弱，故易分解而爆炸。例如，温度对雷汞和四氮烯冲击感度的影响如图绪-4 中曲线所示。

相反的，温度下降感度也下降，据试验，雷汞在 -110℃ 时，则出现拒爆现象。

温度对起爆药感度的影响，在实际生产过程和使用以及贮存中都有重大意义。如在生产中严格控制烘药，倒药的温度即可保证生产的安全。考虑到我国南北方夏季冬季气温相差悬殊，温度差别大，若某种起爆药对温度变化有特殊的感受，则不宜使用。



图绪-4 雷汞和四氮烯的冲击感度与温度的关系曲线

(4) 起爆药中的附加物或杂质的存在，可以大大改变起爆药的感度：一般说来，所有的惰性杂质都有降低起爆药感度的作用。例如，对热的作用，由于惰性杂质的存在吸收一部分热能，使其本身温度升高，但它不参加反应，故起爆药的起爆就需要更大的热能，使得起爆药的感度下降。至于机械感度，则有两种不同的情况，某些杂质可升高起爆药的感度，而另一些杂质又可降低起爆药的感度。因此，可以把凡是能使感度提高的杂质或附加物称为增感剂，反之，则称为钝感剂。增感剂通常是一些硬度较高、熔点较高、带有尖锐的棱角的物质。如石英砂、细玻璃、各种金属粉末及颗粒，具有尖锐棱角的固体物质等。这些物质对起爆药的感度影响，主要因为，引起爆炸作用的能量集中在这些物质颗粒的个别尖锐棱角上，容易形成“热点”，因此容易起爆。例如，混合起爆药，在雷汞中加入硫化

铋颗粒，这样就增加了雷汞的机械感度，同时硫化铋的颗粒越大，则混合的击发药越敏感。就是说，当击发药在火帽中受击发时，硫化铋的尖锐棱角容易形成摩擦中心，形成热点而引起爆炸。故硫化铋在击发药中起了增感作用。钝感剂，通常是一些油脂物质、热容量及导热性大，发火点高的一些物质。如石蜡、沥青、糊精等高分子化合物，它们能够降低起爆药感度。因为它能在起爆药的结晶表面形成一层可塑性的柔软薄膜，将结晶包围起来，这样当装药受到机械作用时，减少结晶颗粒之间摩擦使得冲击的作用变得较弱，故使起爆药钝感。为了降低起爆药的感度，将这些杂质（或附加物）加入起爆药的过程叫做钝感化。附加物对起爆药的感度影响见表绪-3。

表绪-3 附加物对起爆药的感度影响

起爆药	敏感剂	钝感剂	冲击感度(下限)(厘米)	摩擦感度(发火%)
雷汞	—	—	3.5	25
雷汞	硫化铋	—	1.5~2.5	90~95
结晶三硝基间苯二酚铅			11.5	70
结晶三硝基间苯二酚铅		沥青	26.5	20

说明：冲击感度的试验条件为400克落锤，压药压力为400公斤/厘米²；摩擦感度为摩擦摆重1500克，压药压力为6公斤/厘米²。试验雷汞的摆角为50°；试验结晶三硝基间苯二酚铅的摆角为80°。

不难看出，人们可以根据实际需要，将增感剂或钝感剂加入起爆药中，就可以控制和改变起爆药的感度或某些性能。因此，在某些情况下，该过程将是一项很重要的技术课题。各种常用起爆药的性能数据，列在本章最后的表绪-6中。

四、大多数起爆药为吸热化合物

大多数起爆药是生成热为负值的吸热化合物，这是起爆药的一个特性，但它不是唯一不可缺少的特性。

根据热化学理论，所有的物质都可划分为吸热性化合物和放热性化合物两种。物质由化学元素形成分子时，所放出或吸收的热量称为生成热。放热化合物的生成热为正，而吸热化合物的生成热为负。一般说来，吸热性炸药的特点是爆炸变化所放出的热比放热性炸药所放的热更强烈。因为在形成分子时，所吸收的能量愈大，则在它们分解时所放出的能量也愈大。与其它爆炸化合物不同处，是大多数起爆药为吸热性化合物。

爆热是炸药的物理常数之一。其值可用下式表示：

$$Q = Q_1 - Q_2$$

式中 Q ——爆热； Q_1 ——爆炸生成物的生成热； Q_2 ——炸药的生成热。所以爆热即爆炸生成物的生成热与炸药生成热之差。因此，我们总是希望炸药的生成热为负值。但就一般炸药来看，其生成热多为正值，起爆药则绝大多数为负值。兹将某些起爆药和猛炸药的生成热列在表绪-4中，以供参考。

由表绪-4看出，虽然有些起爆药是生成热为正值的放热化合物，如果我们再研究猛炸药的生成热，其中也有生成热为负值的吸热化合物。因此，不能以生成热来严格的划分炸药与起爆药的界限，但就大多数来看，起爆药是生成热为负值的吸热化合物。

表绪-4 起爆药的生成热

起 爆 药	猛 炸 药	分 子 式	生成热(千卡/克分子)
雷 汞		$\text{Hg}(\text{ONC})_2$	-62.6
迭氮化铅		$\text{Pb}(\text{N}_3)_2$	-110.8
三硝基间苯二酚铅		$\text{C}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3\text{O}_2\text{Pb}\cdot\text{H}_2\text{O}$	-107.0
三迭氮三聚氰		$\text{C}_3\text{N}_3(\text{N}_3)_3$	-219
过氧化三环丙酮		$\text{C}_6\text{H}_{18}\text{O}_8$	+21.7
	特屈儿	$\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_2\text{N} \begin{matrix} \text{CH}_3 \\ \text{NO}_2 \end{matrix}$	-9.9
	黑索金	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_6\text{N}_6$	-21.3

§ 3 对起爆药的基本要求

在军事上采用某一种起爆药时，必须满足如下基本要求：

要求起爆药要有足够的起爆力。如前所述，起爆药的起爆力愈大，则对被引起爆轰的炸药所作的功就愈大。同时，所需的起爆药量愈小，这样为缩小火工品的体积，为火工品的“小型化”提供条件。随着起爆药量的减少，就能提高各种火工品在使用，运输过程的安全性。

要求起爆药要有适当的感度。起爆药必须具有适当的感度，它即要易于被较小的，简单的初始冲能所引爆，又必须保证在制造、压装、运输、使用及弹药发射过程中的安全。

要求起爆药要有高度的安定性。所谓起爆药的安定性，就是指在一定时期内，对热、对光、对水分和空气中的二氧化碳等外界因素以及装药时对金属壳体等接触后，不改变其本身的物理化学性质和爆炸性能的能力。起爆药的安定性可分为物理安定性和化学安定性。物理安定性是决定于各种因素可能产生物理变化的趋势。如起爆药的吸湿性，挥发性等物理性质。化学安定性则决定于起爆药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产生化学变化等。总之，起爆药必须经受住在 $\pm 40\sim 50^\circ\text{C}$ 长期贮存而不变质，长期与金属壳体接触而没有变化，不因受阳光照射而分解等。起爆药的安定性能，对于起爆药的制造、储存、使用等各方面均具有十分重要的意义。

要求起爆药具有良好的流散性和压药性。因为起爆药都是压装到管壳中使用，而且压药前要用容量法计量装到管壳中，由于每一个管壳中装填的药量都不大，所以微小的误差也会影响起爆药作用的可靠性。因此，为保证压药安全和装药均匀，起爆药应力求纯度高颗粒均匀，假密度大，有良好的流散性和压药性。

此外，在起爆药的制备方面，要求原料资源广泛易得，国内可以供应，生产工艺简便，安全，重现性好以及“三废”尽可能少等。

§ 4 起爆药的分类

起爆药依其组分可以分为单质起爆药、混合起爆药、复盐或包结化合物和络合物起爆药三类。由于近代武器弹药的发展，起爆药中的各类又发展成独自的系列。

单质起爆药系指单一成分的起爆药，它们多数都是内部含有爆炸性基团。依其爆炸基

团类别及化学成分，可列举以下几种：

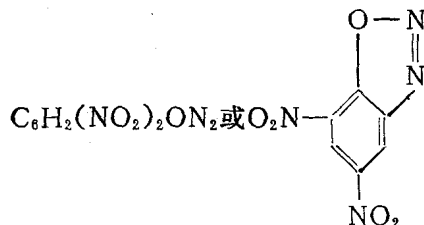
一、N—N 结合

属于这类的爆炸物是很多的，在起爆药中主要有如下三类：

1. 重氮化合物类

这类化合物的基团特征是一 $\text{C}=\text{N}_2$ 或 $-\text{C}-\text{N}\equiv\text{N}^+\text{x}^-$ 。如硝基重氮苯 $(\text{C}_6\text{H}_5\text{N}=\text{N}\cdot\text{N}_2)$ ；

二硝基重氮酚即 DDNP 其分子式和结构式为：



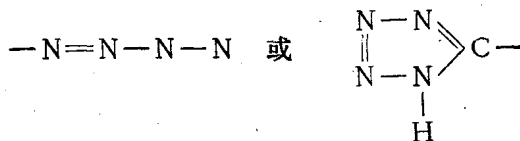
又如，硝基重氮苯过氯酸盐 $[\text{C}_6\text{H}_4(\text{NO}_2)_2-\text{N}\equiv\text{N}^+\cdot\text{ClO}_4^-]$ 等。

2. 迭氮化物类

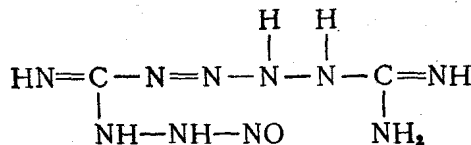
这类化合物的基团特征是一 $\text{N}=\text{N}\equiv\text{N}$ 的无机或有机衍生物。如迭氮化铅 $[\text{Pb}(\text{N}_3)_2]$ 、迭氮化银 $[\text{AgN}_3]$ 、三迭氮三聚氰 $[\text{C}_3\text{N}_3(\text{N}_3)_3]$ 、三硝基三迭氮苯 $[\text{C}_6(\text{NO}_2)_3(\text{N}_3)_3]$ 等。

3. 长链或环状多氮化物类

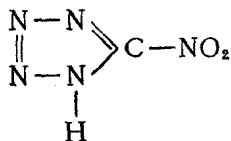
这类化合物的基团特征是含有不饱和四氮或四唑的直链或环状结构。



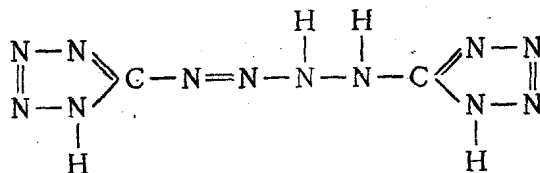
如四氮烯：



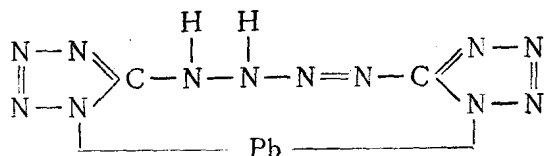
硝基四唑：



5, 5'-重氮氨基四唑：



以及它们的重金属盐：



二、N—C 结合

属于这类的爆炸物也是很多的。在起爆药中主要有：

1. 含有雷酸 $[C \equiv N-O]$ 基团的重金属盐

它的通式可写成 $[MONC]$ 。如雷汞 $[Hg(ONC)_2]$ 、雷银 $[AgONC]$ 等。

2. 含有氰胺 $[N \equiv C-N]$ 基的重金属盐

如硝基氰胺银其结构式为：

$$\begin{array}{c} N \equiv C - N - NO_2 \\ | \\ Ag \end{array}$$

三、O—H 结合

属于这类的起爆药主要是硝基酚类的重金属盐。如三硝基间苯二酚铅 $[C_6H(NO_2)_3O_2 \cdot Pb \cdot H_2O]$ ；三硝基间苯三酚铅 $[(C_6(NO_2)_3O_3)_2 - Pb_2]$ ；苦味酸铅 $[(C_6H_2(NO_2)_3O)_2 - Pb]$ 等。

四、C—C 结合

属于此类的起爆药主要是乙炔 $[C \equiv C]$ 的金属衍生物。如乙炔银 $[Ag_2C_2]$ ；乙炔铜 $[Cu_2C_2]$ 等。

五、O—O 结合

属于此类的起爆药主要是有机过氧化物。如过氧化丙酮 $[(CH_3)_2C=(O-O)_2=C-(CH_3)_2]$ ；六次甲基二胺过氧化物 $[N \equiv (CH_2-O-O-CH_2)_3 \equiv N]$ 等。

六、O—x 结合 (x 为卤素)

属于此类的起爆药主要是重金属氯酸盐或过氯酸盐以及它们与胍络合的络合物等。如 $MClO_3$ ； $MClO_4$ (M为金属) 以及 $Ni(ClO_3)_2 \cdot 3N_2H_4$ ； $Cu(ClO_4)_2 \cdot 4NH_3$ 。

七、N—x 结合 (x 为卤素)

如氯化氮 $[N \equiv Cl_3]$ ；碘化氮 $[N \equiv I_3]$ 等。

其它，如含有 $C-N-NO_2$ 基团的硝胺化合物有些也是起爆药。

混合起爆药

混合起爆药是由几种成分混合在一起而制成的，它们有的是由两种以上单质起爆药或单质起爆药与非爆炸性物质组成，有的是由几种非爆炸性物质组成。所以，根据它们的组成成分，又可分成两种类型：

1. 成分中含有一种或几种爆炸物的混合起爆药

通常都用作击发药和针刺药。常用的有如表绪-5的几种配方。

2. 由非爆炸成分组成

通常用作引燃火药的混合起爆药，如最初的火帽药。

氯酸钾	70.6%
硫	17.6%
碳	11.8%

复盐或包结化合物和络合物起爆药

复盐起爆药又称重盐起爆药，系指由两种或两种以上的单质盐类起爆药所组成的晶体化合物。在适当选择两种不同阴离子成分的条件下，有可能生成一种单一类型的双铅盐起爆药。例如，硝基胺基四唑铅与斯蒂芬酸铅的复盐起爆药，其结构为：