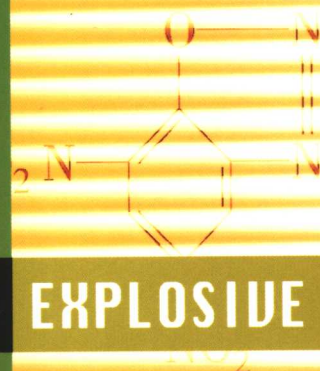
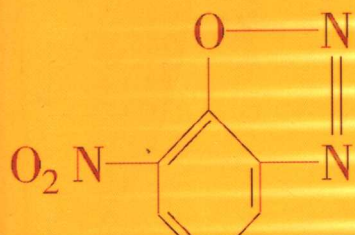


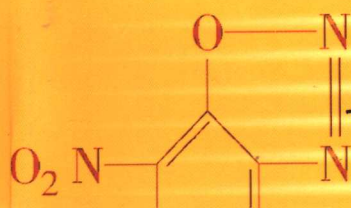
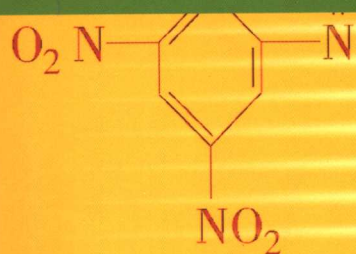
民用爆破器材系列丛书



起爆药

蒋荣光 刘自铤 编著

INITIATING EXPLOSIVE



兵器工业出版社

民用爆破器材系列丛书

起 爆 药

蒋荣光 刘自钊 编著

兵器工业出版社

内 容 简 介

本教材从生产、科研实际需要出发,理论联系实际,比较全面地叙述了当前常用和新研制的起爆药。本书共分 14 章,着重从产品性能、制造原理及工艺、质量控制、三废治理等方面,介绍起爆药的生产过程及特性。

本教材可作为民用爆破器材高级研修班和进修班的教学用书,也可供高等学校火工、烟火专业学生及从事起爆药生产、科研、检测 and 管理的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

起爆药 / 蒋荣光, 刘自钊编著. —北京: 兵器工业出版社, 2005.2

ISBN 7-80172-374-0

I. 起... II. ①蒋...②刘... III. 起爆药 IV. TQ563

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 014296 号

出版发行: 兵器工业出版社

发行电话: 010-68962596. 68962591

邮 编: 100089

社 址: 北京市海淀区车道沟 10 号

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市登峰印刷厂

版 次: 2006 年 3 月第 1 版第 2 次印刷

印 数: 1551-3050

责任编辑: 李翠兰

封面设计: 底晓娟

责任校对: 全 静

责任印制: 魏丽华

开 本: 880×1230 1/32

印 张: 12.5

字 数: 340 千字

定 价: 30.00 元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

序

我国是工业雷管生产和应用的大国，近期的统计数据表明：雷管需求量 20 多亿发/年。起爆药技术是工业雷管的关键技术之一，起爆药的年需求量约在 400~600t。

长期以来，在起爆药的生产和使用领域一直存在着许多重大技术问题，例如：品种优选、性能改进、制造工艺、生产设备、安全防护、环境污染和健康保护等。有些问题亟待解决但目前尚未解决，生产和应用中的安全事故隐患尚未消除。应该看到一场较长期的技术攻坚战还必须打下去。

本书作者从事起爆药专业技术几十年，经历了我国起爆药技术研究发展的活跃而艰难的历程，耳闻目睹了起爆药行业的许多甚至较重大的伤亡事故，发现了许多应该解决的重大技术难题。为发展提高起爆药生产和应用的技术水平，在掌握了解起爆药专业雄厚理论和丰富实践经验的基础上，写成了“起爆药”一书。书中介绍了目前国内常用起爆药的性能、用途、化学原理、制备工艺、技术标准、性能测试、适用环境、原材料规格、半成品分析以及安全技术等全部内容。本书是起爆药专业理论和实践经验的系统总结，是一部起爆药专业技术不可多得的专著。

书中文字叙述通俗易懂、图文并茂、内容详实、深入浅出。相信中等文化水平的广大起爆药专业工作者能够读懂和领会书中内容，从而减少工作中的失误和盲目性。对资深的起爆药专业教学、研究和生产的中高级水平工作者来说书中的有用数据，也能为其工作提供方便。

经考虑认为，书中极个别的观点，还可以研讨，有些文字叙述也不够简明。但总的来说，这毕竟是瑕不掩玉。

相信本书的出版，会受到专业技术人员的欢迎，有助于起爆药专业技术的发展，促进我国工业雷管技术、质量和安全环保水平的提高，更好地为工程爆破和国民经济建设服务。

吴幼成

2005 年 1 月于南京

前 言

起爆药是一类在较弱的初始冲能作用下即能发生爆炸，且爆炸速度在很短时间内能增至最大，易于由燃烧转为爆轰的炸药。它是炸药的一个类别，既具有猛炸药的某些性能，又具有与猛炸药显著不同的性能。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。但是就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、较小的起爆初始冲能作用较为敏感，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起爆药区别于猛炸药的特殊本质。

起爆药可以单独，也可以与其他炸药或非爆炸物质混合，用来装填火工品，这些火工品主要是雷管、火帽、电点火管、拉火管等。当简单的激发冲能（撞击、摩擦、火焰、针刺、电能等）作用于火工品时，其中的起爆药即迅速发火，进而引起火工品中的火药燃烧或炸药爆轰。

《起爆药》是为“南京理工大学民用爆破器材高级研修班”编写的教材，全书共分 14 章，比较全面地叙述了当前常用的和新研制的起爆药的性能、用途、制造原理与工艺、三废治理等。通篇着重理论联系实际，对工厂安全生产、产品质量控制有着重要的实际意义。每章后面列有“复习思考题”，可供学员复习、自查时参考。

本教材由蒋荣光研究员主编，刘自钊教授对教材的部分章节结构与内容进行了调整与修订。本教材是编著者在多年科研、教学实践与资料积累的基础上，参考有关专著、教材和文献编写而成的，于 2001 年 9 月首次以讲义的形式印刷试用，后经修改于 2004 年 2 月重新印

刷试用，在此基础上，经再次全面修改，正式出版。

本教材由南京理工大学吴幼成教授主审。他对本教材进行了仔细、认真的审查，提出了许多宝贵意见，并纠正了一些差错。对此我们表示衷心感谢！

本教材在编写、出版过程中，得到了南京理工大学爆炸材料检测实验室刘大斌教授等领导的大力支持、鼓励和帮助。在此对他们表示衷心感谢！

限于时间和水平，本教材的缺点、错误乃至不尽人意之处，定然不少，恳请同行专家、学者和读者不吝赐教。

编著者

2004 年 12 月

目 录

1	绪论	1
1.1	起爆药的发展简史	1
1.2	起爆药的特性	3
1.3	对起爆药的基本要求	14
1.4	起爆药的分类	15
	复习思考题	17
2	起爆药制备的结晶控制技术	18
2.1	概述	18
2.2	溶液中离子浓度（过饱和度）的控制	22
2.3	结晶介质温度的控制	25
2.4	搅拌强度的控制	28
2.5	介质 pH 值的控制	29
2.6	晶种的加入	31
2.7	晶形控制剂的应用	32
	复习思考题	34
3	叠氮化铅	35
3.1	概述	35
3.2	氮化铅的性能	36
3.3	氮化铅结晶的自爆与控制剂在结晶过程中的应用	47
3.4	氮化铅的制造原理与工艺	50
3.5	影响氮化铅质量的因素	70
3.6	氮化铅的技术要求	82

3.7 氮化铅的其他同类产品	84
复习思考题	89
4 三硝基间苯二酚铅	90
4.1 概述	90
4.2 三硝基间苯二酚铅的性能	91
4.3 三硝基间苯二酚铅的制造原理与工艺	98
4.4 影响三硝基间苯二酚铅结晶的因素	103
4.5 三硝基间苯二酚铅的技术要求	106
4.6 三硝基间苯二酚铅的其他同类产品	107
复习思考题	116
5 四氮烯	117
5.1 概述	117
5.2 四氮烯的性能	118
5.3 四氮烯的制造原理与工艺	121
5.4 影响四氮烯结晶及得率的因素	123
5.5 四氮烯的技术要求	127
5.6 四氮烯的其他同类产品	128
复习思考题	131
6 二硝基重氮酚	132
6.1 概述	132
6.2 二硝基重氮酚的性能	134
6.3 二硝基重氮酚的制造原理与工艺	144
6.4 影响二硝基重氮酚质量等的因素	155
6.5 二硝基重氮酚的技术要求	166
6.6 二硝基重氮酚的废水处理	167
6.7 二硝基重氮酚的工艺改进	173
复习思考题	178
7 K·D 复盐起爆药	179
7.1 概述	179

7.2	K·D 复盐起爆药的性能	181
7.3	K·D 复盐起爆药的制造原理与工艺	196
7.4	K·D 复盐起爆药的质量控制	210
7.5	K·D 复盐起爆药的技术要求	215
7.6	球状 K·D 复盐起爆药的制备	217
7.7	K·D 起爆药的壳内合成	218
7.8	其他复盐起爆药	220
	复习思考题	221
8	D·S 共沉淀起爆药	222
8.1	概述	222
8.2	D·S 共沉淀起爆药的性能	223
8.3	D·S 共沉淀起爆药的制造原理与工艺	228
8.4	D·S 共沉淀起爆药的技术要求	232
8.5	其他共沉淀起爆药	233
	复习思考题	239
9	GTG 起爆药	240
9.1	概述	240
9.2	GTG 起爆药的性能	241
9.3	GTG 起爆药的制造原理与工艺	259
9.4	影响 GTG 起爆药质量的因素	265
9.5	GTG 起爆药的技术要求	265
	复习思考题	266
10	硝酸胥镍	267
10.1	概述	267
10.2	硝酸胥镍的性能	268
10.3	硝酸胥镍的制造原理与工艺	273
10.4	硝酸胥镍的技术要求	275
10.5	其他配位化合物起爆药	275
	复习思考题	283
11	其他起爆药	284

11.1	乙炔化合物起爆药	284
11.2	有机过氧化物起爆药	287
11.3	硝胺盐起爆药	288
11.4	乙二胺二高氯酸盐 (YE)	290
11.5	Y·D 起爆药	296
	复习思考题	305
12	机械混合起爆药	306
12.1	概述	306
12.2	击发药	308
12.3	针刺药	313
12.4	K ₁ K 点火药	315
12.5	KBG 点火药	319
12.6	无起爆药雷管用混合药剂	320
	复习思考题	324
13	起爆药的理化分析与性能测试	325
13.1	起爆药的理化分析	325
13.2	起爆药的性能测试	338
	复习思考题	372
14	起爆药制造的安全技术	373
14.1	概述	373
14.2	起爆药制造的一般技术安全要求	374
14.3	起爆药的静电及其防止	375
14.4	起爆药的毒性及其对策	376
14.5	起爆药的三废处理安全技术	378
	复习思考题	380
	附录	381
	附录 A 起爆药技术条件简表	381
	附录 B 兵器工业水污染物排放标准 火工药剂 (GB14470.2—2002 节录)	383
	参考文献	387

1 绪 论

1.1 起爆药的发展简史

起爆药这一学科是在长期生产实践和科学实验中逐渐发展起来的。据历史记载，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^[1]，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。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^[1]。

早期的火炮是从炮口装药的，用于起爆和发射作用的都是黑火药。后来，做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。起爆药的发展是和引燃、引爆器材的发展密不可分的。纵观起爆药的发展历史，大致可分为四个阶段^[1]：

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：发现叠氮化铅及其他新起爆药，并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做引燃药。其后，又出现了击发火帽。这一阶段可以认为是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，从而促进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；1630 年德国人进而发现了雷汞。由于这种药剂受简单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。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。这一阶段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 年发现了叠氮化铅，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 年出现了四氮类起爆药。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，又出现了电雷管。

在第四阶段中，起爆药又有很大发展。雷汞雷管在炮弹装药中，已逐步为威力更大、更为安全的叠氮化铅雷管所代替。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、点火药等提出了更高的要求。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。

近 30 年来，我国研制成功了多个起爆药新品种，如 D·S 共沉淀、K·D 复盐起爆药^[2]等等，为起爆药的发展做出了新贡献。

我国工业雷管用起爆药^[3]在 20 世纪 50 年代为雷汞，由于汞对人体有害等原因，从 60 年代开始，逐步为 DDNP 所代替。DDNP 具有

成本低、生产较安全、适于大量生产等优点。但生产过程中废水量大、染色度深、成分复杂，难于处理，因而对环境的污染较为严重，加之耐压性差，存在“耐死”半爆问题，故从 70 年代中期开始，部分企业用 D·S 共沉淀起爆药代替 DDNP，以解环境保护问题。后由于 D·S 感度较高，从 80 年代中期开始，部分企业先后用 K·D 复盐起爆药或非（常规）起爆药、GTG 起爆药、硝酸胍镍等代替 DDNP 起爆药，以解决环境污染或提高生产安全性，直至形成目前的“三足鼎立”的局面。从发展趋势看，DDNP 的“地盘”将会逐步缩小，高起爆能力、较低感度和无污染起爆药的“地盘”将会逐步扩大。目前国内工业雷管常用的起爆药为：叠氮化铅、二硝基重氮酚、D·S、K·D、GTG、NHN 等。

1.2 起爆药的特性

如前所述，起爆药虽是炸药的一个类别，既具有猛炸药的某些性能，但又具有显著不同的性能。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，而太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。但是就起爆药本身具有的特性而言，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起爆药区别于猛炸药的特殊本质。

起爆药可以单独也可以与其他炸药或非爆炸物质混合，用来装填火工品，这些火工品主要是雷管、火帽、电点火管、拉火管等。当简单的激发冲能（撞击、摩擦、火焰、针刺、电能、冲击波、激光、电磁辐射等）作用于火工品时，其中的起爆药即迅速发火，进而引起火工品中的火药燃烧或炸药爆轰。

1.2.1 起爆药的敏感性^[4]

起爆药的感度大，这是它的一个重要特性。就是说它对外界作用比较敏感，在较小的、简单的初始冲能作用下即能引起爆轰。正是由于起爆药的这一特性，决定了它在生产、运输、贮存、使用中必需采取与其他炸药不同的特殊安全对策，如生产批量小、要求隔离操作、采取严格的防静电与防机械冲击措施、一般应就地生产及厂内运输等等。

不同的起爆药对外界作用的敏感程度（即感度）不同，引爆所需初始冲能愈小，则该起爆药愈敏感。例如，碘化氮，这种药剂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。起爆药在外界作用下，发生爆炸的难易程度称为起爆药的感度。

作为外界初始冲能，可以是不同类型的能量，即可以是机械的（如撞击、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）。除此以外，还有其他形式的能量可以激发起爆药的爆炸变化。如冲击波、激光、辐射、射频、静电等。与这些初始形式相对应，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、静电感度、激光感度等等。各种起爆药对不同形式的初始冲能具有一定的选择性。例如叠氮化铅比斯蒂芬酸铅对机械作用更敏感，而对热作用则较为钝感。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使用要求，选择不同的起爆药。

1. 撞击感度

利用撞击作用起爆（如药筒火帽等）是普通而简单的一种起爆方式。在起爆药的生产、火工品的装配与运输、弹药的勤务处理中，不可避免地会产生一定的撞击作用。可见起爆药撞击感度的大小，不仅关系到火工品作用的可靠性，而且关系到起爆药生产使用的安全性。起爆药撞击感度用双柱导轨落锤仪或者弧形落锤仪（维列尔落锤

仪)测定。其感度表示方法有:

① 上、下限法:上限为 100%爆炸的最小落高,用以衡量使用中确实作用的冲量。下限为 100%不爆炸的最大落高,用以表明制造及使用中的安全性;

② 爆炸百分数法:以一定质量的落锤,从一定高度落下测出爆炸百分数。用以表明各种起爆药的撞击感度的相对大小;

③ 50%发火特性高度:按升降法进行试验,找出 50%发火爆炸的特性高度。

2. 摩擦感度

起爆药的摩擦感度是测定起爆药在受到机械摩擦作用时的敏感程度。起爆药在生产过程中(如倒药、筛选及雷管装药、压合等),往往由于摩擦作用而发生事故,有的火工品(如拉火帽)则是靠摩擦作用发火的。因此,测试起爆药的摩擦感度,在实用上和研究方面都有重要的意义。摩擦感度的测定方法有多种,但基本原理大体相同,目前我国采用摆式摩擦感度测定仪测定起爆药的摩擦感度。其测定原理是:先将定量试样置于一定规格的上下两个滑柱之间,通过油压机使药剂承受一定的正压力,然后利用一定质量的摆锤从某一高度和角度落下时所具有的动能推动一滑柱滑移一定距离,使滑柱间的药剂受到一定的摩擦作用,视其发火与否,由此测得在某一规定条件(摆角、表压)下的发火百分数,用以相对比较起爆药的摩擦感度。

3. 火焰感度

火焰作用是热作用的一种特殊形式,在实际使用中利用火焰作用(如导火索、电引火头、延期药、火帽所产生的火焰等)来引燃、引爆雷管或其他火工品是较为普遍的一种方法。因此在选择起爆药时必须考虑到它对火焰的敏感程度。故了解起爆药火焰感度,对于研究、选用起爆药有着十分重要的意义。火焰感度测定原理,是将定量的起爆药按一定工艺条件压装于试样孟中(一般选用 7.62mm 枪弹火帽壳),将此试样置于火焰感度仪上,使之受到从某一高度的标准黑药柱燃烧时喷出火焰的一次作用,视其发火与否,由此测得 50%发火

的特性高度，作为该药剂的火焰感度。

4. 热感度

起爆药在加热作用下的感度即热感度，通常用爆发点（又称发火点）来表示。所谓爆发点就是指在一定试验条件下，加热起爆药到发火或爆炸所需加热介质的最低温度，它不是一个固定的物理常数。而受加热时间、加热方法、加热速度、试样质量、药剂性能及试验装置等的影响。为了便于比较各种起爆药的加热感度，常用 5s 延滞期爆发点表示。爆发点的高低，在一定程度上决定着起爆药在实际生产、使用时所能经受的环境温度的高低。因此爆发点是起爆药的一个很重要的基础数据，其测量原理是将定量的起爆药置于一定规格的雷管壳中，将其插入温度恒定的金属浴中加热，令其受热分解并自行加速到爆炸，测定起爆药受热并达到爆炸、燃烧所需要的时间（延滞期） τ 与加热介质的温度 T 的对应关系，做 $\lg \tau - 1/T$ 图，或用最小二乘法，进而求出起爆药的 5 s 延滞期爆发点。试验所用金属浴又称伍德合金浴（伍德合金的成分为 50% 的铋，25% 的铅，12.5% 的锡，12.5% 的镉）。

5. 热丝感度

桥丝式电火品的应用非常广泛，如电爆管、电点火管、爆炸螺栓、电雷管等等。这些都是靠电流通过桥丝时所产生热量的局部加热作用而发火的。实践表明，不同药剂对这种作用的敏感程度是不同的，因此研究、测定起爆药在灼热桥丝作用下的感度（即热丝感度）是十分必要的。其测定原理是将起爆药试样按照一定的工艺条件压于带电极塞的加强帽中，即成测试样品，然后将此样品接入测试线路中（见图 1-1），通以恒定直流电流，于是桥丝发热，起爆药受热后反应，用升降法测定 5s 内爆炸的 50% 发火电流值，用以表示起爆药的热丝感度。

6. 静电感度

起爆药的静电感度实际上包括两个方面：一是起爆药在摩擦时产生静电的难易程度即静电积累值；二是在静电放电火花作用下，起