

特种爆破技术

TEZHONG BAOPU JISHU

庙延钢 张智宇 栾龙发 杨 溢 编



冶金工业出版社

内 容 简 介

《特种爆破技术》共分 11 章,比较系统地介绍了特种爆破工业器材、建构(筑)物拆除爆破技术原理与设计、施工,大型块体和基础及地坪的拆除爆破,烟囱与水塔的拆除爆破,矿用火箭弹处理溜井堵塞、水下爆破、聚能爆破和金属爆炸加工等内容。

本书具有较强的知识性和实用性,不仅可以作为高等院校采矿工程专业以及相关专业的教材,也可供科研设计、施工单位和管理部门的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

特种爆破技术/庙延钢等编. —北京:冶金工业出版社,
2004.9

ISBN 7-5024-3528-X

I. 特… II. 庙… III. 爆破技术 IV. TB41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 050337 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 杨盈园 美术编辑 李 心

责任校对 杨 力 李文彦 责任印制 李玉山

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2004 年 9 月第 1 版,2004 年 9 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 12.25 印张; 292 千字; 187 页; 1—3000 册

35.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

《特种爆破技术》是采矿工程专业的一门主要选修课程。我校从采矿 93 级起开设此课程，至今已为 8 个年级讲授。本教材是在自编的《特种爆破技术讲义》基础上，结合近年来国内外出现的新型爆破器材、爆破新工艺和新方法，以及有关科研、设计、施工成果重新修改编写。

本教材是基于采矿工程专业学生已学习了《爆破工程》课程后，针对学生今后在不同行业工作中所涉及到的特种爆破技术内容编写的，尽量突出实用性。教材编写主要内容是以爆破技术应用为主，比较系统地介绍了每种爆破技术的设计原理、方法和施工，并选择了部分典型的各种爆破技术应用工程实例，介绍了其他特种爆破技术与爆破器材应用领域范围和发展动态。

参与本教材编写工作的人员还有穆大耀、李刚、张华、雷振、王国华、文雪峰、闵国清、殷林、吕庭刚、徐冬春等。在此对为本教材提供引用资料的作者表示衷心的感谢。

由于时间短，编者水平有限，教材中难免存在错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2004 年 5 月于昆明理工大学

目 录

第一章 特种爆破工业爆破器材	(1)
第一节 特种工业炸药	(1)
第二节 起爆器材及起爆系统	(7)
第三节 非电导爆管起爆网路	(15)
第二章 拆除爆破原理与设计、施工	(21)
第一节 概述	(21)
第二节 拆除爆破基本原理	(22)
第三节 拆除爆破设计方法	(24)
第四节 拆除爆破设计参数的选择	(27)
第五节 拆除爆破装药量计算	(30)
第六节 炮孔布置与分层装药	(33)
第七节 拆除爆破施工	(36)
第三章 大型块体、基础与地坪的拆除爆破	(38)
第一节 大型块体和基础的分类及特点	(38)
第二节 大型块体和基础拆除爆破	(40)
第三节 地坪拆除爆破	(42)
第四节 工程实例	(44)
第四章 建筑物拆除爆破	(49)
第一节 建筑物的分类与组成	(49)
第二节 爆破方案选择	(56)
第三节 爆破技术设计	(59)
第四节 爆破施工和安全防护	(66)
第五节 工程实例	(67)
第五章 烟囱与水塔的拆除爆破	(78)
第一节 概述	(78)
第二节 爆破方案的确定及其设计原理	(78)
第三节 爆破技术设计	(81)
第四节 工程实例	(85)

第六章 水压爆破	(90)
第一节 概述	(90)
第二节 水压爆破设计	(91)
第三节 装药量的计算	(93)
第四节 水压爆破的施工技术	(96)
第五节 工程实例	(97)
第七章 桥梁爆破.....	(102)
第一节 桥梁基本组成与分类.....	(102)
第二节 桥梁爆破.....	(107)
第三节 工程实例.....	(114)
第八章 矿用火箭弹处理溜井堵塞.....	(122)
第一节 概述.....	(122)
第二节 矿用火箭弹.....	(123)
第三节 矿用火箭弹处理溜井堵塞工艺.....	(126)
第九章 水下爆破.....	(129)
第一节 概述.....	(129)
第二节 水下裸露药包爆破.....	(131)
第三节 水下钻孔爆破.....	(133)
第四节 水下硐室爆破.....	(141)
第五节 水下爆夯.....	(145)
第六节 爆炸排淤填石处理水下淤泥软基.....	(148)
第七节 水下岩塞爆破.....	(151)
第十章 聚能爆破.....	(154)
第一节 炸药爆炸的聚能原理.....	(154)
第二节 影响聚能爆破威力的因素.....	(155)
第三节 聚能爆破的应用.....	(159)
第十一章 金属爆炸加工.....	(167)
第一节 概述.....	(167)
第二节 爆炸成形.....	(168)
第三节 爆炸复合.....	(173)
第四节 爆炸强化.....	(176)
第五节 其他加工.....	(180)
参考文献.....	(186)

第一章 特种爆破工业爆破器材

特种爆破技术是相对普通爆破技术而言。普通爆破技术讨论的是在正常环境和正常条件下爆破土岩时所涉及到的技术问题,而特种爆破技术则是讨论在特殊环境、特殊条件和特殊要求下对特殊介质进行爆破时所涉及的技术问题。

在特种爆破技术中,除了使用常规的工业炸药(如2号岩石铵梯炸药、铵油炸药、铵松蜡炸药、乳化油炸药、水胶炸药和浆状炸药等)和起爆材料(如火雷管、电雷管、导爆管雷管、导火索、导爆索等)以外,由于爆破的对象、条件、环境和要求的不同,对爆破器材的性能提出了不同的要求。例如在几千米深的油井中进行射孔爆破时,爆破器材必须具有抗压、抗水和抗高温性能;在金属爆炸加工中,除了要求炸药能产生高温、高压和高速冲击作用外,还要求炸药加工成不同形状的药包(如薄片状、带状、柱状、锥状和圆球状等)和能贴在金属加工工件的表面上,这就需要炸药具有黏性、可塑性和弹性等性质;在高温高热的冶炼炉内清除炉瘤和喷出出铁(钢)口的作业中,要求爆破器材具有耐高温和耐高热的性能。因此,为了适应各种不同的爆破工艺、爆破方法,随着科学技术的发展,一些新型爆破器材应运而生,如塑(黏)性炸药、挠性炸药、低爆速炸药、耐热炸药、液体炸药和电磁雷管、电子延期雷管、聚能切割器、二次破碎弹、矿用火箭弹、森林灭火弹等。各种新型起爆方法正在研制,有的已在一些特殊的工程中应用试验。在工程爆破常规的起爆网路中,网路的形式和连接方式也不断在改进和创新,如在导爆管起爆网路中采用四通连接管组成网格式闭合网路、非电接力式逐孔起爆网路;在导爆管与导爆索混合起爆网路中采用新型的T形连接卡,以提高网路连接质量和效率。这些方法都大大增加了网路起爆的安全可靠性。

第一节 特种工业炸药

一、塑性和黏性炸药

塑性炸药是在一定的温度范围内,具有可塑性的混合炸药。塑性炸药均匀压实成形,根据爆破的需要,加工成不同规格的药柱、药块、药饼、药条等。塑性炸药的特点是密度大,最大可达 1.7g/mL 以上;爆速高,最高达 8000m/s ;机械感度低、耐冲击、毒性小,比较安全;抗水和可塑性好,能够适应爆破对象的形状和尺寸,制成不同形状和尺寸的药包,直接粘贴在爆破对象的表面上,从而提高爆破效果。

近年来在金属爆炸加工中研制的板状炸药就是属于这类炸药,如美国杜邦公司生产的EL-506板状炸药,它以泰安为爆炸组分,以橡胶和树脂的混合物为黏结剂,这种炸药密度达到 $1.3.4\sim 1.5\text{g/mL}$,爆速为 $6500\sim 7200\text{m/s}$,已成功地用于高锰钢的爆炸硬化上。

国内为配合金属爆炸加工的应用,也成功地研制出塑性板状炸药和橡胶板状炸药。前者是以黑索金为爆炸组分,以环氧树脂作黏结剂,再加入少量的增塑剂和其他助剂。后者也是以黑索金为爆炸组分,以天然橡胶乳为黏结剂。

目前国内外已研制成功的塑性炸药的配方已达数百种之多,部分典型炸药配方的组分和性能可见表 1-1。

表 1-1 部分塑性炸药的组分和性能

炸药名称	组 分(按重量)/%	密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}$	爆 速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
C2 炸药	黑索金 78.7, 梯恩梯 5.0, 二硝基甲苯 12, 一硝基甲苯 2.7, 硝化棉 0.6, 溶剂 1.0	1.57	7660
C3 炸药	黑索金 77, 特屈儿 3.0, 梯恩梯 4.0, 二硝基甲苯 10, 一硝基甲苯 5.0, 硝化棉 1.0	1.6	7625
C4 炸药	黑索金 91, 聚异丁烯 2.1, 癸二酸二辛酯 5.3, 马达油 1.6	1.59	8040
EL-506A	泰安 85, 橡胶和树脂 15	1.4~1.5	6500~7200
LX-11	奥托金 80, 氟橡胶 20	1.8~1.87	8320
塑性板状炸药	黑索金 80, 环氧树脂和聚酯树脂 17.2, 乙二醇 1.0, 邻苯二甲酸二丁酯 1.8	1.4~1.45	6500
橡胶板状炸药	黑索金 82, 橡胶乳 18	1.35~1.37	6400~6900

黏性炸药是在塑性炸药基础上研制成功的一种混合炸药。它除具有良好的塑性以外,还具有黏性,可直接黏附在混凝土结构物、基础、桥梁和金属等被爆体表面。一般在 $0.1\sim 0.5\text{m}^2$ 的面积可产生 $300\sim 2000\text{N}$ 的黏附力,通常黏性炸药以黑索金、奥托金、泰安、特屈儿等为爆炸组分,加入高分子黏合剂(如硝化棉、氟橡胶、聚异丁烯等)及配入少量增塑剂和油类组合制成。

二、挠性炸药

挠性炸药是一种较新型的高分子混合炸药,在 20 世纪 60 年代得到广泛的应用。它的最大特点是具有良好的曲挠性、韧性、自持性和弹性。挠性炸药的延伸率达 $200\%\sim 1000\%$,曲挠性为 $50^\circ\sim 120^\circ$,折叠 90° ,可制成箔状、带状、棒状、索状、块状和各种需要的形状。挠性炸药机械感度低,爆轰感度好,可用普通雷管起爆,抗水性及贮存性能良好。

挠性炸药主要爆炸组分有黑索金、奥托金、泰安、特屈儿和梯恩梯等。粉黏剂含量占 $10\%\sim 20\%$,国产挠性炸药黏结剂主要采用天然橡胶和氟橡胶,亦称橡皮炸药。该炸药的制造工艺与橡胶制品成型工艺相似,即将主体炸药与事先溶胀的胶料在捏合机中充分捏合均匀,挤压成形,再经室温或高温硫化即成挠性炸药。

挠性炸药的配方很多,部分爆速较高的挠性炸药配方和性能可见表 1-2。

泰乳炸药是国内研制成功的中等爆速的挠性炸药,它主要用于输电线的爆炸压接,泰乳炸药两种配方的组分和性能可见表 1-3。

1 号配方是通用的泰乳炸药配方,2 号配方是在带电作业时,为防止产生电容电流引起炸药自燃而采用的配方。

挠性炸药可用于金属板、杆、管等构件的爆炸切割,如水下沉船钢板切割,人造卫星、远程导弹发动机的切割分离和自毁装置用药。也可将挠性炸药粘贴在被强化的金属表面,在炸药爆炸瞬间的高温高压作用下,金属表面发生金相变化,从而获得高强度的表面,一般可比淬火强度提高 $2\sim 3$ 倍,这种方法称为爆炸硬化。挠性炸药是爆炸合成金刚石较为理想的

表 1-2 部分高爆速挠性炸药的组分和性能

组 分(按重量)/%	密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	爆速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
泰安 80, 未硫化橡胶 20	1.35	6900
泰安 78.5, 天然橡胶 20, 硫化剂 1.5	1.45	6900
黑索金 82.5, 萘烯树脂 8.75, 丁基橡胶 8.75	1.45	7200
泰安 84, 聚甲基丙烯酸酯 11.8, 癸二酸二辛酯 4.2		8181
泰安 63, 硝化棉 8, 乙酰柠檬酸三乙酯 29	1.48	7000
黑索金 63, 硝化棉 8, 三羧甲基乙烷三硝酸酯 20.8, 乙酰柠檬酸三乙酯 8.2	1.59	7441
奥托金 56, 硝化棉 3.8, 三羧甲基乙烷三硝酸酯 40, 二苯胺 0.2	1.65	7753

表 1-3 泰乳炸药的组分和性能

序 号	组 分(按重量)/%	密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	爆速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
1 号	泰安 75, 配合胶乳 20, 四氧化三铅 5.0	0.85~0.95	3500~3900
2 号	泰安 75, 配合胶乳 20, 石墨 5.0	0.85~0.95	3500~3900

一种炸药,爆炸合成金刚石的方法是将石墨和某些添加剂混在一起,经炸药爆炸产生的高温高压作用下,晶体发生转化,这样即可得到人造金刚石。以往采用的 40:60 的黑梯炸药,因其质脆,形状不易改变,致使操作复杂化。改用挠性炸药,可加工成所需形状的药块,大大提高了合成金刚石的质量和效率。

三、低爆速炸药

低爆速炸药是一类其极限爆速较低的炸药,具有较大的极限直径。我国 20 世纪 70 年代开始研究低爆速炸药,现已出现了许多性能良好的炸药品种。低爆速炸药主要用于控制爆破,如软岩或破碎带岩体的光面爆破、预裂爆破和石材保护开采爆破,它不仅使爆裂面残留半圆炮孔壁外,而且在爆裂面上产生裂缝较少,减少超挖和超爆。此外低爆速炸药还广泛用于爆炸焊接(复合),它能把不同性能的金属良好地焊接在一起,扩大了金属材料的焊接范围。爆炸焊接不仅可以对大面积的金属平板,也可以对金属管道进行外包覆或内包覆焊接。在消除金属焊接残余应力方面,采用低爆速炸药在焊缝敷药,也可获得理想的效果。低爆速炸药就是为满足这些特殊要求而发展起来的。

低爆速炸药的特点主要表现在以下 5 个方面:

(1) 爆速低。根据爆轰理论,爆压与爆速的平方成正比,低爆速可以有效地降低波阵面的爆轰压力,改善爆破效果,提高爆破质量。低爆速炸药爆速通常在 $1600\sim 2500\text{m/s}$ 。

(2) 密度低。低密度可减少炮孔装药量,降低了单位长度炮孔的爆炸能量。在一定密度范围内,炸药的爆速是随密度的减少而降低。所以低密度也是降低爆速、威力的一种有效途径。低爆速炸药密度一般控制在 $0.4\sim 0.8\text{g/cm}^3$ 。

(3) 猛度低。低猛度可减轻炸药对围岩的过度破坏和对石材的损伤。在光面爆破中可使周边孔造成的裂缝尽可能控制在合理的范围内,获得比较平整的光面。对低爆速炸药猛度要求在 $7\sim 10\text{mm}$ 。

(4) 爆轰感度适中。由于炸药感度和爆速的降低,其爆轰感度也会降低。为了确保低

爆速炸药在控制爆破中的实际应用,应具备各类工程所需的爆轰感度。通常应具有良好的雷管敏感度。

(5) 临界直径小。临界直径小有利于增大装药的不偶合系数,减小炸药对围岩的直接破坏作用。低爆速炸药临界直径一般在 15~30mm。

目前,我国生产的低爆速炸药品种较多,根据低爆速炸药的组成大致可分为以下 4 类:

(1) 2 号岩石粉状铵梯炸药与黑火药混合

将 2 号岩石粉状铵梯炸药与黑火药按一定的比例,由机械均匀混合就可以形成低爆速炸药。

(2) 猛炸药中添加重金属或重金属化合物

猛炸药中添加的重金属或重金属化合物,可阻挡爆轰波的传播而使炸药爆速降低。如在梯恩梯或黑索金炸药中添加钨粉、碳化钨粉和红铅粉等重金属或重金属化合物,按一定的比例混合,可形成低爆速炸药。但是钨粉价格昂贵,且冲击感度高。红铅粉混合炸药中,在爆炸后还原的金属铅粉有毒,污染环境。

(3) 猛炸药中添加轻质微颗粒

轻质微颗粒的特点在于这些物质几乎不参与或参与反应但为吸热和少放热的成分,并能在炸药体系中形成均匀细小的空隙以降低炸药密度,从而降低炸药的爆速。轻质微颗粒一般使用矿物微粒、高分子树脂微粉、膨胀珍珠岩粉、酚酸树脂空心微球、硅藻土、木粉等,这类炸药是当前低爆速炸药的主要品种。

1) TY 型低爆速炸药。它是将梯恩梯(TNT)与矿物微粉或树脂微粉按一定比例混合而成。

2) RY 型低爆速炸药。黑索金(RDX)与高分子树脂微粉或膨胀珍珠岩粉按一定比例混合而成。

3) PY 型低爆速炸药。泰安(PETN)与密胺甲酸树脂空心微球混合而成的粉状型炸药;泰安与丁氧橡胶、纸浆以一定比例混合、过滤、烘干并滚压而成的纤维型炸药;泰安与可发性聚苯乙烯小球以一定配比混合加热并冷却后而成的泡沫炸药。

4) NY 型低爆速炸药。粉状硝化甘油(NG)与作为稀释剂和附加剂的轻微微粉混合而成。

5) AY 型低爆速炸药。由结晶硝酸铵(AN)、木粉、惰性附加物按一定比例混合后经造粒而成。惰性混合物采用石英砂、岩粉等。为了提高炸药的抗湿性、流散性和减小炸药密度,加黏结剂将炸药造粒。黏结剂主要以淀粉糊为主。如将硝酸铵、木粉、岩粉按一定的配比混合,外加 5% 的淀粉糊均匀造粒并干燥。混合炸药密度为 $0.65\text{g}/\text{cm}^3$,爆速 $2010\text{m}/\text{s}$ 。

(4) 乳化炸药中添加密度调节剂、敏化剂

低密度乳化炸药,以硝酸铵、硝酸钠等作为氧化剂,再添加可燃剂、水密度调节剂及少量敏化剂以及适量的高分子泡沫材料混合而成。当密度为 $0.3\sim 0.5\text{g}/\text{cm}^3$ 时,爆速 $1300\sim 1600\text{m}/\text{s}$,可用 8 号雷管引爆。

部分低爆速炸药的组分和性能可见表 1-4。

四、耐热炸药

随着地下资源的开采和宇航事业的发展,要求能有一种耐高温、高压(或低压)的炸药,简称为耐热炸药。耐热炸药又分为耐热单质炸药及耐热混合炸药。耐热单质炸药可用于装

表 1-4 部分低爆速炸药组分和性能

工业炸药	组 分(按重量)/%	密度 /g·cm ⁻³	爆速 /m·s ⁻¹	装药直径 /mm	撞击感度 /%
TY1	87%梯恩梯和 13%矿物微粉	0.632	2090	22	98
TY2	88%梯恩梯和 12%高分子树脂微粉	0.710	2370	22	50
RY1	80%黑索金和 20%矿物微粉	0.64	1820	20	100
RY2	75%黑索金和 25%高分子树脂微粉	0.34	1550	18	76
纤维炸药	70%泰安、22%丁氰橡胶和 8%纸浆	0.34	2740		
	75%泰安、17%丁氰橡胶和 8%纸浆	0.42	2900		
粉状低爆速 炸药	66.7%泰安和 33.3%树脂空心微球	0.41	2050		
	50%2 号岩石硝铵炸药和 50%黑火药	0.77	2010	32	60
	60%2 号岩石硝铵炸药和 40%黑火药	0.79	2278	32	48
液体低爆速 炸药	80%高氯酸脲水溶液和 20%硝基甲烷	1.46	2000		
	90%高氯酸脲水溶液和 10%苦味酸	1.60	1900		
低爆速膨化 硝铵炸药	膨化硝铵 82.8%、木粉 3.6%、燃料油 3.6%、珍珠岩 10%	0.65	2400	32	4
高能低爆速 膨化硝铵炸药	膨化硝铵 81%、木粉 3.6%、铝粉 2.7%、 燃料油 2.7%、珍珠岩 10%	0.63	2350	32	4

填耐热雷管及耐热导爆索,更重要的是它可作为耐热混合炸药的基础组分。工业耐热混合炸药可以制造为各种成型装药。耐热炸药爆发点较高、耐热、耐压、机械撞击感度较低、密度大、爆速高、能抗水。目前广泛应用在石油开采技术中的射孔弹装药及冶金炉除瘤等。有关国内部分工业耐热炸药配方及性能可见表 1-5。

表 1-5 国内部分工业耐热炸药的组分和性能

组 分(按重量)/%	代号	密度/g·cm ⁻³	爆速/m·s ⁻¹	耐热时间	备 注
95%黑索金,3%氟橡胶和 2%石墨	耐热 1 号	1.72~1.73	8300	180℃可耐 2h	
96.5%黑索金,1.8%黏结 剂,0.7%有机玻璃和 1%石墨	1871	1.75	8565	180℃可耐 2h	
96.5%黑索金,0.5%石 墨,3.0%耐热黏结剂	R-791	1.73~1.74	8430	180℃可耐 2h 以上	现在大量使用
96.5%三氨基三硝基苯和 4%氟橡胶	3021	1.71	8464		5s 发火点为 281℃
96%三氨基三硝基苯和 4%氟橡胶	耐热 2 号	1.86	7400	密闭条件下,250℃可 耐 2h,失重 1.06%	
80%三氨基三硝基苯和 20%添加剂	3131			250℃可耐 2h 以上	由于加入敏感剂, 故殉爆性能比三 氨基三硝基苯好
94%奥克托金,4%聚异丁 烯,1%树脂和 1%石墨	411	1.76	8633	210℃可耐 2h 以上	
95%奥克托金,1%石墨和 4%橡胶及有机硅高聚物	耐热 3 号	1.76~1.80	8500	250℃可耐 1.5h 以上	现在大量使用

五、液体炸药

液体炸药自 20 世纪 70 年代初,美国、苏联、日本等国就对其炸药及爆破工艺进行了许多研究,我国 70 年代末也开展了对液体炸药的研究。由于液体炸药具有良好的性能特性、流动特性、安全特性及使用特性,可用于石油地震勘探、露天采矿、石油开采油井层内爆炸压裂、水下爆破、金属矿溶浸开采裂隙网爆破、金属爆破及野外其他爆破作业。液体炸药的爆热及体积能量均比单体猛炸药高,炸药密度均一,爆速稳定。多数类型的液体炸药无腐蚀,不易被明火点燃,撞击和摩擦感度低,起爆及传爆性能良好,具有较小的临界直径。如含有黑索金的硝基烷类液体炸药,临界直径是 0.8mm;四硝基甲烷——煤油液体炸药在直径 0.5mm 时,仍可以 7000m/s 的稳定速度传播。液体炸药也可根据某些特殊用途需要,调整其成分和比例,也可获得低速爆轰。液体炸药根据物理性能可分为非稠化类型和稠化类型。按主爆成分可分为 4 类:硝酸类、硝基甲烷类、高氯酸胺类和硝酸胍类。

我国马鞍山矿山研究院曾于 20 世纪 70 年代末研制出 XT 系列硝酸类液体炸药,在姑山铁矿 $f=10\sim 18$ 的矿岩进行了爆破试验,共使用了 100 余吨炸药,取得了较好的效果,穿孔延米爆破量增加 60%,穿爆成本降低 20%。它的最大缺点是腐蚀性较强,所要求的设备和包装材料必须具耐腐蚀性。

1990 年南京理工大学研制的 NGY 型高爆速液体炸药,也是以硝酸胍为主体的液态混合炸药,用该炸药作为铵油炸药的起爆药包,以取代柱状的梯恩梯、黑索金药柱,在南京吉山铁矿试验取得了较好的效果。NGY 型液体炸药具有良好的爆炸性能指标,其中爆速 8000m/s,猛度在 30mm 以上,殉爆距离达到了 10cm,爆力 365mL。

液体炸药在其组成、性能及应用等方面有其独特之处,它有较大的潜力、良好的广阔发展前景。目前在应用方面,由于某些技术上的问题未解决而受到限制,随着科学技术的迅速发展,液体炸药在民用特种工程的技术开发和应用将会更深入地进一步发展。

部分液体炸药的组分和性能可见表 1-6、表 1-7、表 1-8 和表 1-9。

表 1-6 部分硝酸类液体炸药的组分和性能

组 分(按重量)/%	密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	爆速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	猛度/mm
83%的硝酸;17%的甲苯(XJ-1)	1.48(20℃)	6000~7000	22~24(半量)
77.5%的硝酸;22.5%的邻硝基苯(氯霉素副产品)	1.51(25℃)	6700~7100	23.5~24.5(半量)
73%的硝酸;27%的除焦液(XJ-2)	1.42~1.45	7000~7100	23~25(半量)

表 1-7 部分硝酸胍类液体炸药的组分和性能

组 分 和 性 能	SJY 型 液 体 炸 药	南昌陆军学院液体炸药
硝酸胍/%	80	70
水合肼/%	20	20
添加剂/%	1(外加)	10
密 度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	1.40	1.31
爆 速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	8300	7246
猛 度/mm	32(半量)	35.3(半量)
撞击密度/%	20	0
枪击密度/%	0	0

表 1-8 部分高氯酸脲液体炸药的配方和性能

组 分(按重量)/%	密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	爆速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
70%的高氯酸脲;30%的硝基甲烷	1.46(25℃)	7070
90%的高氯酸脲;10%的苦味酸	1.603(25℃)	6890
87%的高氯酸脲;90%的硝基苯;4%的梯恩梯	1.50	5720
90%高氯酸脲;10%的特屈儿	1.60	6850
90%的高氯酸脲;10%的二硝基氯苯	1.59	5680

表 1-9 部分硝基甲烷类液体炸药的配方和性能

组 分(按重量)/%	密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	爆速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
90%的硝基甲烷;10%的四氯化碳	1.17	6171
50%的硝基甲烷;50%的三氯甲烷	1.30	5298
70%的硝基甲烷;30%的硝基乙烷	1.10	6046
85%的硝基甲烷;15%的丙酮	1.08	5965

第二节 起爆器材及起爆系统

20 世纪 60 年代末期非电导爆管起爆法在瑞典诞生以后,由于这种起爆方法比电雷管起爆方法具有许多优越性,因此,在工程爆破中得到了广泛的使用。但是,非电导爆管起爆系统也并非十全十美,它的主要缺陷是无法检查起爆网路的质量,不能预先消除网路中可能产生拒爆故障的隐患。而这一方面恰恰是电雷管起爆方法的优点,所以电雷管起爆方法在很多重要的爆破工程中仍是优先选用的方法。为了克服电雷管的局限性,国内外一直在努力研制各种安全电雷管及起爆系统,如电子雷管起爆系统、电磁雷管起爆系统。除此之外,一些新型安全起爆系统许多国家已在开展这方面的研究工作,并取得了较好的试验效果,如气体导管起爆系统、超声波起爆系统、PED^R 遥控起爆系统和激光雷管起爆系统等。

一、电子雷管起爆系统

1. 电子雷管

在 20 世纪 70 年代末,美国、瑞典、德国、日本等国家开始研究电子雷管(亦称电子延期雷管)。这主要是由于电子技术的高速发展,出现了集成电路。随着生产技术的不断改进和完善,集成电路的成本和价格逐渐下降。因此,采用集成电路取代电雷管化学延期药是一种既经济又安全的新工艺。通过多年的研究,目前电子雷管已用于工程实践,并取得了良好的爆破效果和经济效益。

电子雷管主要是由电解电容器、集成电路、电引火头、起爆药、猛炸药、密封塞、管壳组成。电子雷管中的电解电容器作为电源,集成电路主要由模拟装置、数字装置和引爆装置 3 个部分组成,作为定时器。电子雷管其余部分作用与普通瞬发电雷管相同,电子雷管主要特征是采用了集成电路作为定时器来控制延期时间,电子雷管本身并不确定延期间隔时间,雷管的实际起爆时间是通过计算机化的专用发爆器来设定,间隔时间可以从 1~100ms。例如

设定的间隔时间为 10ms,第 6 段雷管的延期时间就是 60 ms。电子雷管结构如图 1-1 所示。其中图 1-1a 为日本旭化成工业公司生产的电子雷管,外径 17mm,长 110mm;图 1-1b 为德国代那迈特诺贝尔公司生产的电子雷管。

电子雷管与普通电雷管相比较,安全性更高,首先是抗杂散电流能力强、抗静电、防射频性能好;其次是雷管起爆安全,采用普通的蓄电池、交流电和发爆器是不能引爆电子雷管的,必须使用专用起爆器材才能起爆。电子雷管的延期时间范围较大,德国代那迈特诺贝尔公司生产的电子雷管最大延期时间为 6s,日本旭化成工业公司电子雷管最大延期时间为 8s。电子雷管段别多,它可以从几十段增至几百段,延期时间精度高,可以控制在 $\pm 1\text{ms}$ 以内。

2. 发爆器

电子雷管起爆网路连接方式与普通电雷管相同,采用串联或并联。但它的起爆器是一种计算机化的专业发爆器,使用普通起爆器不能起爆,其主要原因是电子雷管设有安全编码识别装置,这种编码是由一定的频率组合而成。所以引爆电子雷管除了起爆能外,还必须有信息能。如图 1-2 所示是德国代那迈特诺贝尔公司生产的计算机化专用发爆器。这种发爆器当按下起爆按钮后,仪器内的自动起爆程序开始运行,首先是检验起爆网路,当网路出现连接错误、断路或并联电阻引起的网路故障时,起爆程序停止运行,并出现故障指示。如果使

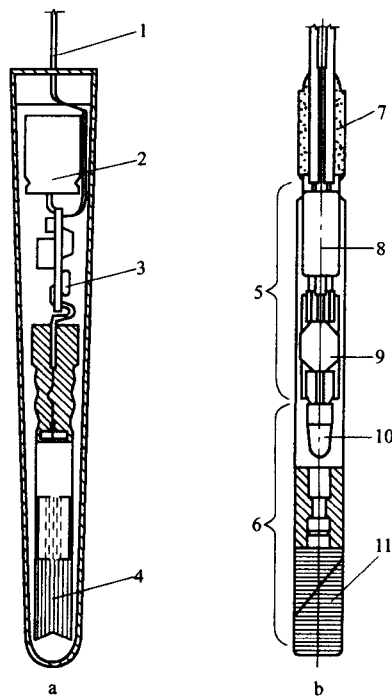


图 1-1 电子雷管结构示意图

a—日本电子雷管;b—德国电子雷管
1—脚线;2—电容器;3—IC;4—正、副起爆药;
5—延期元件;6—瞬发电雷管;7—密封塞;
8—电解电容器;9—集成电路;10—电引火头;
11—正、副起爆药

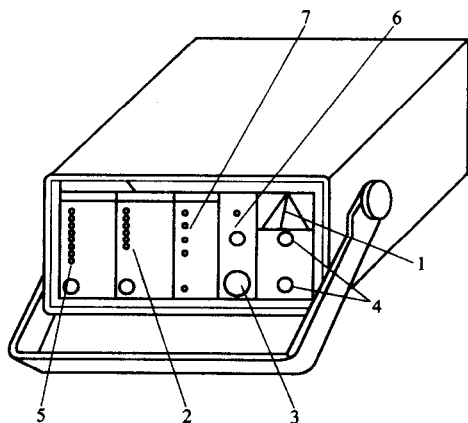


图 1-2 计算机化专用发爆器示意图

1—时间间隔显示;2—操作装置;3—按键开关;4—起爆电源输出端
5—高压指示;6—紧急制动开关;7—故障显示

用较长的延期时间,发爆器大约需要运行 10s 后发出起爆信号指令。如果在此期间需要停止起爆,只要在起爆信号指令发出前,按动发爆器的紧急制动开关,立即可以停止起爆。此时,电子雷管的电容器开始放电,大约 2s。放电后雷管又处于初始的安全状态,等待下一次引爆按钮启动。发爆器运行工作程序如图 1-3 所示。

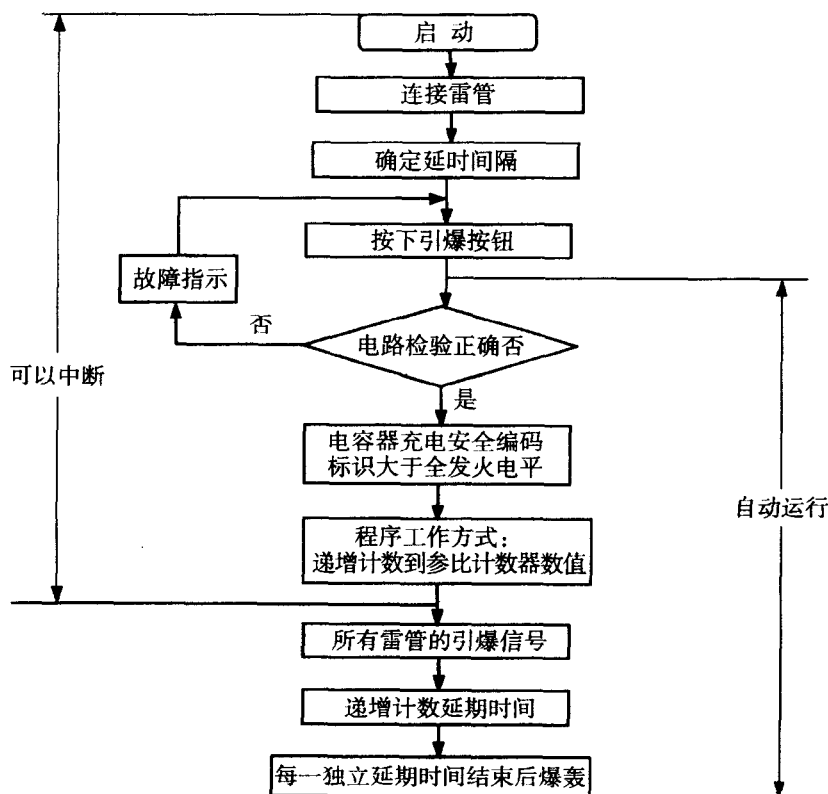


图 1-3 发爆器运行工作程序框图

电子雷管起爆系统最显著的特点是利用半导体加工技术及电子集成技术,使火工品具有逻辑功能,产品不仅具有半导体器材的高可靠性能,而且还有高安全性以及与计算机处理和操作相兼容的特性。我国的南京理工大学、云南燃料一厂等单位也开展了这方面的研究工作,并取得了一定的成效。

二、电磁雷管起爆系统

电磁雷管起爆系统(亦称电磁感应起爆方法)也是安全电雷管的另外一种新型起爆方法。20 世纪 70 年代英国、澳大利亚、苏联、日本等国家就已成功研制出了电磁雷管起爆系统。该系统特点是将起爆电源、爆破母线和雷管脚线组成为 3 个独立的闭合电路,继由磁环连接形成互感器,最后用 70~110kHz 高频电引爆。其工作原理是采用爆破母线穿过电雷管的铁氧体环的中心,母线接在专用的高频交流起爆器上,当高频电流经母线通过电雷管的磁环环芯时,磁环内产生了一定的磁通量;在磁环中的磁通再与电雷管桥丝串联的二次绕组中产生感应电势(电流),最后这种感应电流使桥丝灼热并引爆雷管。如图 1-4 所示为电磁雷管起爆系统示意图。

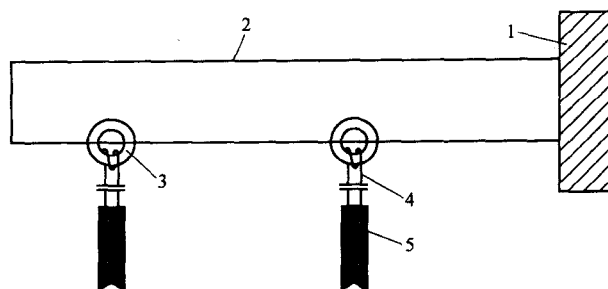


图 1-4 电磁雷管起爆系统示意图

1—高频起爆器；2—爆破母线；3—铁氧体磁环；

4—雷管脚线；5—普通电雷管

电磁雷管在管体和引火部分与普通电雷管相同，不同的是在雷管脚线端安装了一个磁环，这样就对供电方式起了根本性的改变，达到了抗杂散电流和不受工频电流及直流影响的目的，解决了电力起爆作业安全问题。

起爆电磁雷管采用一种专用的高频电流起爆器，这种起爆器可输出 70~110kHz、几十安培的脉冲高频电流流入爆破母线，通过磁芯，在电雷管串联的二次绕组中产生几伏的电压，使电雷管发火。

我国对电磁雷管的研究始于 20 世纪 80 年代初期，1981 年煤炭科学院成功研制出了电磁雷管起爆系统，后来北京矿冶研究总院也研制出了 BJ 系列安全电雷管，如图 1-5 所示，它是通过在普通电雷管的脚线和桥丝之间镶入微型安全电路（铁氧体磁环）来实现抗电磁干扰。微型电器的尺寸为 5mm×5mm×3mm，其工作原理是：电雷管脚线接收到外界电流信号后，若是静电、直流电或频率低于 100Hz 的低频交流电，安全电路不向电雷管桥丝传输，避免了电危害。只有当输入电信号符合预先设定的高频信号时，电桥丝才能引爆电雷管。

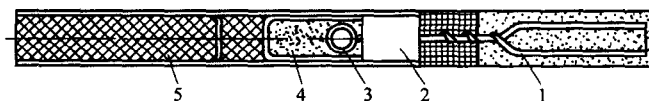


图 1-5 BJ-1 型安全电雷管结构图

1—脚线；2—微型安全电路；3—电点火头；4—正起爆药；5—副起爆药

电磁雷管起爆系统的出现是电力起爆法的一个重大进步，它的主要特点是安全可靠、使用方便，能防止杂散电流引起的意外爆炸和由于漏电引起的瞎炮。使用时，不需要连接雷管间的脚线和串并联爆破网路的计算，网路敷设简单方便，并具有电爆法可检测的优点，是一种安全、可靠的起爆方法。目前国内研制的电磁雷管起爆系统还没有实现大规模推广使用，其主要原因是电磁雷管起爆系统自身还不够完善，另一方面是电磁雷管成本过高。

三、气体导管起爆系统

气体导管起爆系统（亦称赫尔库德特起爆系统）是由美国大力神公司 20 世纪 70 年代中期开发的一种新型非电起爆系统。该起爆系统由赫尔库德特雷管、储气箱、发爆器、检测仪器、塑料管及连接元件组成，利用形态各异的连接元件组成串联或并联起爆网路。起爆前先以空气泵压入储气箱，用压力试验仪检查气体网路，若网路不漏气，用氮气置换管内的空气；

再将混合气体(由可燃气体和氧气混合而成,其组分为 $O_2 60\%$, $H_2 20\%$, $CH_4 20\%$)置换氮气,以上各步骤完成后,立刻切断储气箱与发爆器的联结,最后启动发爆器点火起爆。

1. 赫尔库德特雷管

赫尔库德特雷管在外观上与普通电雷管相似,但雷管间的连接不是脚线,而是两根内径为 1.5mm 的空心塑料管代替脚线,其作用是充气 and 排气,雷管气室部分代替电雷管引火头,底部结构与电雷管相同。雷管外径 7mm,长 65~100mm。雷管结构如图 1-6 所示。

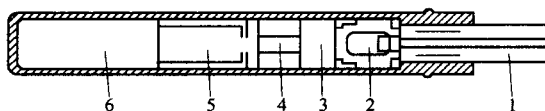


图 1-6 赫尔库德特雷管结构图

1—塑料管;2—气室;3—一点火药;4—延期药;5—起爆药;6—猛爆药

2. 贮气箱、发爆器及检测仪器

贮气箱是用作储存氧气和可燃气体,然后按比例输送到发爆器进行混合,形成爆轰性混合气体后充入起爆网路,并对充入线路中的混合气体点火。爆轰时管内气体传播速度为 2500m/s。

起爆网路检测仪器有压力检测器、网路检测器、流量计及氧气检测器。压力检测器是为了检测各孔线路导通是否正常,它是由手压泵和两个压力计组成,通过手压泵充入空气,两个压力计就可分别测出充入及排出两端的压力。线路正常时,两个压力计显示出相同压力值。若线路有问题,则通过压力计指针的摆动及显示值了解存在的问题。

使用网路检测器是为了对整个起爆网路导通检测,在网路检测器装有氮气瓶,以 0.35MPa 压力使氮气由起爆网路一端充入,通过流量计来测定另一端排出的氮气流量,以检测网路导通是否正常。

氧气检测器安装在网路末端,以检测爆轰性混合气体是否充满整个网路。若充满时,氧气检测器显示出混合气体中的氧气含量为 60%。

3. 塑料管及连接元件

组成起爆网路的塑料管有单股型塑料管、双股型塑料管。单股型塑料管内径 3mm、外径 5mm,用于孔外部分接线。双股型塑料管是平行粘结在一起的 2 根塑料管,用于孔内部分接线。

连接元件主要用于连接各塑料管,以组成起爆网路,如图 1-7 所示为连接元件的 6 种类型。

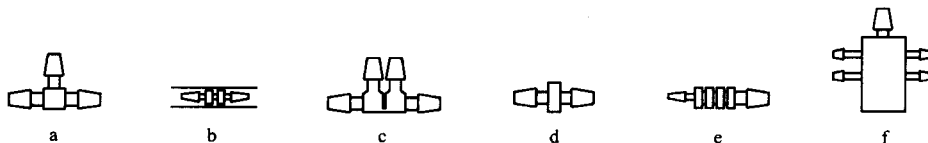


图 1-7 连接元件示意图

a—T 形接头;b—插塞形接头;c—双 L 形接头;d—专用接头;e—异径形接头;f—多支形接头

气体导管起爆系统如图 1-8 所示,其特点是无电击危险,安全性良好,无空气冲击波,不会破坏药包,延时准确,延期段别多,网路检查方便,工作可靠。但充气时需采用特殊装置,管路易被污染堵塞,操作复杂等,这些问题还有待进一步改进和完善。

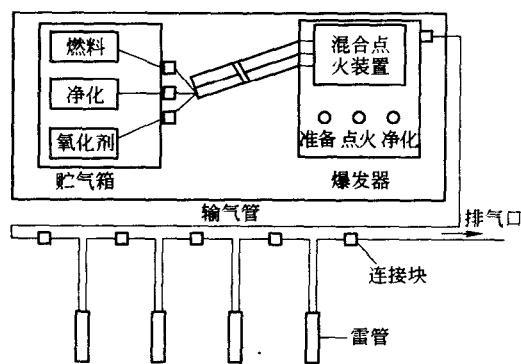


图 1-8 气体导管起爆系统示意图

由于气体导管具有较多的优点,我国目前也已开展这方面的研究工作,中国地质大学选择石油液化气加氧气作为起爆系统的混合气源,现仍处于实验室研究阶段。

四、超声波起爆系统

该系统由 A 型和 B 型起爆元件,可见表 1-10,超声波发射器和检查器构成,如图 1-9 所示。起爆元件 A 和 B 与电雷管及内藏电池连接好,装入水底炮孔内,将接收器引出孔外 0.2m 左右。超声波通过水传到 A 型元件时,受波器接收信号后接通起爆装置的电源,电雷管起爆,引爆炮孔内药包,药包爆炸产生水下冲击波,只有当其压力达到 10MPa 时,才使 B 型元件的受波器工作,引爆药包。由此可见,该系统安全性高,不会发生早爆现象。另外,由于该系统接收装置采用电子线路,所以抗干扰能力强,能避免误爆;而且接收装置内有电池,减轻了发射机的负担,便于携带,实用性强。该系统能穿透 100m 水层,遥控距离达 1~2km。

表 1-10 起爆器件的规格与性能

品 名	起爆元件 A、B
A 型	25kHzFM 变谐波 2 种(382.5Hz 和 412.5Hz)
B 型	25kHzFM 变谐波冲击波 (1MPa)
雷管起爆电流	3A 以上
耐水压	1MPa
耐冲击压	150MPa
电池寿命	30d
使用温度范围	0~40℃
质量	15kg 以下
吊钩承重	150kg 以下