

77

IB41  
Z32

# 工 程 控 制 爆 破

张继春 主编



A0966106

西南交通大学出版社  
· 成 都 ·

## 内 容 提 要

本书全面、系统地介绍了工程控制爆破的基本概念、基础理论、设计原理和施工方法。全书共分九章,包括绪论、控制爆破基础理论、拆除控制爆破、掘进控制爆破、露天台阶深孔控制爆破、峒室控制爆破、水下控制爆破、特殊控制爆破和爆破安全技术等内容。各章附有复习思考题。

本书可作为高等学校土建、交通、水利水电、采矿和矿井建设等专业的爆破工程课程的教材,也可供从事爆破工作的技术人员参考。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

工程控制爆破/张继春主编. —成都:西南交通大学出版社, 2001.9  
ISBN 7-81057-569-4

I. 工... II. 张... III. 预裂爆破 IV. TB41

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第048771号

---

## 工程控制爆破

张继春 主编

\*

出版人 宋绍南

责任编辑 任继英

封面设计 肖 勤

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段111号 邮政编码: 610031 发行科电话: 7600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail: cbs@center2.swjtu.edu.cn

成都飞机工业公司印刷厂印刷

\*

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 12.875

字数: 297千字 印数: 1—2000册

2001年9月第1版 2001年9月第1次印刷

ISBN 7-81057-569-4/TB·259

定价: 20.00元

## 前 言

控制爆破作为一种科学技术手段,已广泛应用于土建、交通、水利水电、采矿和国防等生产和工程建设之中,取得了巨大的经济效益和社会效益。尤其是近10年来,为解决各种控制爆破应用中的实际问题,提出了许多新理论和新方法,国内先后出版了数十部有关工程爆破和爆破科学技术的著作,极大地促进了控制爆破技术的发展。

然而,目前可用于高等学校本科生有关控制爆破课程的教材却很少,而且现有教材多根据不同专业的要求编写,所介绍的控制爆破基础理论和技术方法十分有限,缺少一本适合于多专业、较统一的控制爆破课程教学用书。为此,作者从全面、系统、简洁、实用的原则出发,结合多年的教学实践与科研成果,编写了工程控制爆破一书。

本书按54个教学学时编写,可根据课程要求酌情增减部分内容。全书共分九章,包括绪论、控制爆破基础理论、拆除控制爆破、掘进控制爆破、露天台阶深孔控制爆破、峒室控制爆破、水下控制爆破、特殊控制爆破和爆破安全技术等内容。并且从实用角度出发,重点介绍基本原理、技术设计和施工设计。各章都附有复习思考题,以便于自学。

本书由西南交通大学张继春教授主编,参加编写的人员有西南科技大学郭学彬教授、西南交通大学曹孝君博士。各章编写的分工如下:第一章、第二章、第五章、第七章、第八章由张继春编写;第四章、第六章由郭学彬编写;第三章、第九章由曹孝君编写。

作为本科生教材,本书引用了许多国内外的有关参考资料,并已列于书后。在此,编者向所引用的参考文献的作者致以谢意。

由于编者水平有限,书中缺点、错误在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2001年5月

# 目 录

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 第一章 绪 论              | 1   |
| 第一节 控制爆破的发展简况        | 1   |
| 第二节 控制爆破的特点及其分类      | 5   |
| 第三节 控制爆破作业的组织与管理     | 8   |
| 复习思考题                | 9   |
| 第二章 控制爆破基础理论         | 10  |
| 第一节 爆炸和炸药的基本知识       | 10  |
| 第二节 常用工业炸药           | 25  |
| 第三节 起爆器材             | 33  |
| 第四节 起爆方法             | 42  |
| 第五节 岩石爆破的基本原理        | 54  |
| 复习思考题                | 69  |
| 第三章 拆除控制爆破           | 71  |
| 第一节 拆除控制爆破的基本原理与方法   | 71  |
| 第二节 拆除控制爆破的设计原理      | 77  |
| 第三节 拆除控制爆破参数的设计计算    | 86  |
| 第四节 拆除控制爆破的施工与安全防护   | 90  |
| 复习思考题                | 92  |
| 第四章 掘进控制爆破           | 93  |
| 第一节 巷道掘进爆破的炮孔布置与起爆顺序 | 93  |
| 第二节 巷道掘进爆破参数的确定      | 98  |
| 第三节 隧道掘进的基本方法        | 101 |
| 第四节 光面爆破             | 103 |
| 复习思考题                | 108 |
| 第五章 露天台阶深孔控制爆破       | 109 |
| 第一节 台阶深孔控制爆破的基本原理    | 109 |
| 第二节 台阶深孔爆破参数的设计计算    | 112 |
| 第三节 微差与挤压控制爆破        | 117 |
| 第四节 露天台阶深孔预裂爆破       | 123 |
| 复习思考题                | 126 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| <b>第六章 峒室控制爆破</b> ..... | 127 |
| 第一节 峒室控制爆破的特点及类型.....   | 127 |
| 第二节 定向爆破的抛掷方向控制原理.....  | 129 |
| 第三节 峒室控制爆破的设计方法.....    | 132 |
| 复习思考题.....              | 142 |
| <b>第七章 水下控制爆破</b> ..... | 143 |
| 第一节 水下控制爆破的基本类型.....    | 143 |
| 第二节 爆破材料的水下应用.....      | 149 |
| 第三节 水下岩塞控制爆破.....       | 155 |
| 复习思考题.....              | 164 |
| <b>第八章 特殊控制爆破</b> ..... | 165 |
| 第一节 聚能控制爆破.....         | 165 |
| 第二节 压缩控制爆破.....         | 167 |
| 第三节 爆炸加工技术.....         | 172 |
| 第四节 其他特殊控制爆破.....       | 176 |
| 复习思考题.....              | 182 |
| <b>第九章 爆破安全技术</b> ..... | 183 |
| 第一节 爆破材料的安全管理.....      | 183 |
| 第二节 早爆的预防.....          | 187 |
| 第三节 盲炮的预防与处理.....       | 191 |
| 第四节 爆破危害的控制.....        | 194 |
| 复习思考题.....              | 198 |
| <b>参考文献</b> .....       | 199 |

# 第一章 绪 论

## 第一节 控制爆破的发展简况

作为工程控制爆破能源的工业炸药，其前身是黑火药，我国早在公元 803 年的唐代就出现了比较完整的黑火药配方。因此，黑火药是世界公认的我国对人类文明做出了重大贡献的四大发明之一。虽然 13 世纪火药经印度、阿拉伯等国传入欧洲，且于 1627 年匈牙利将黑火药用于开采矿石，其后又有了许多专家学者研究爆破技术的著作和成果，但是，工程爆破技术的迅猛发展和推广应用却是在 19 世纪末随着许多新品种工业炸药和新型起爆器材的发明才兴旺起来。

1799 年，英国人高瓦尔德制成了雷汞；1831 年出现毕氏导火索；1867 年瑞典人诺贝尔发明了火雷管，同年又制成以硅藻土为吸收剂的硝化甘油炸药，并由瑞典化学家德里森和诺尔宾首次研制成功硝铵炸药。至此，工程爆破所用的最基本的爆破器材已经齐全。

进入 20 世纪后，爆破器材和爆破技术有了新的进展。1919 年，出现了以太安为药芯的导爆索，1927 年又在瞬发电雷管基础上制成秒延期电雷管；1946 年制成毫秒延期电雷管；1950 年以后，铵油炸药得到了推广应用；1956 年，库克发明了浆状炸药，解决了硝铵炸药的防水问题；1977 年美国阿特拉斯炸药公司（Atlas Powder Co）生产出工业用小直径雷管敏感的乳化炸药。

我国只是在新中国成立以后，才有了自己的工业炸药。产量从 1953 年的两万多吨，到 1980 年已增加约  $8 \times 10^5$  t，30 年来增长了近 40 倍。据初步统计，2000 年我国工程爆破消耗的炸药总量已达到  $1.2 \times 10^6 \sim 1.3 \times 10^6$  t。目前，我国工业炸药已有了一个比较完整的生产体系，建立了一百多个炸药加工厂，品种达数十种之多，诸如铵油炸药（包括铵松蜡炸药、铵沥蜡炸药、多孔粒状铵油炸药）、浆状炸药、水胶炸药和乳化炸药等。其中，1981 年我国研制生产的乳化炸药为工程控制爆破提供了一种新型的工业抗水炸药，这类炸药具有良好的爆炸性能和低廉的生产成本等一系列优点，已在国内二十多个省市推广应用，除了向国外出口产品外，还转让了生产专利技术。

近 20 年来，国内外还研制和推广了导爆管起爆系统（包括精确非电延时起爆器）和抗静电、耐高温、耐高压、高精度、高段别电雷管等新型起爆器材。随着爆破作业机械化程度的提高，预裂爆破、光面爆破、定向抛掷爆破、拆除爆破、岩塞爆破等各种控制爆破新技术相继得到发展应用。

### 一、国内爆破技术的发展与应用

我国工程控制爆破技术发展与国家经济建设的发展和需要密不可分。建国初期，国家为

了恢复经济、发展生产,突出抓了铁路、交通、矿山和水利工程设施的修复与建设工作。爆破技术在成渝铁路施工、大批矿山复产与开工以及治淮工程和荆江分洪水利工程建设中发挥了巨大作用。然而,当时我国爆破技术十分落后,基本上处于以手风钻和用钢钎人工打眼、装药放炮为主的阶段,而且爆破器材品种单一、性能低劣,使得工程爆破作业的工作效率低、劳动强度大、安全可靠差。

自1955年起,我国工程爆破技术开始步入新的阶段。主要体现在:中深孔爆破技术逐渐推广使用;峒室大爆破技术的引进和应用。例如,在矿山建设方面聘请苏联专家于1956年在甘肃省白银厂铜矿试验采用大抵抗线集中药包实施万吨级的爆破剥离任务;铁路建设方面峒室爆破则用于宝成线、广厦线等路堑开挖工程;在水利建设方面,1958年起定向爆破筑坝技术在东川口水库、石郭溪一级水电站和南水水电站相继成功应用等。这些都充分体现了工程爆破技术的蓬勃发展景象,为国家经济建设做出了重大贡献,为峒室爆破技术与推广应用奠定了坚实的基础。但是,由于理论研究和普及工作跟不上形势发展的需要,爆破效果和工程质量不够理想,对峒室爆破技术的声誉也造成了一些不利的影响。

1970年以后,随着预裂爆破、光面爆破、水下爆破和城市建筑物拆除爆破的研究与应用,以及大爆破技术的日益成熟,工程控制爆破技术得到了进一步的发展。1971年,四川狮子山矿区露天大爆破是继白银厂大爆破后又一次达到世界水平的万吨级大爆破,总装药量10 162.22 t,爆破量 $114 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。1971年7月,我国首次在辽宁省清河热电厂供水隧洞进水口进行了岩塞爆破;1979年5月在丰满进行了国内规模最大的水下岩塞爆破工程,岩塞直径11 m,装药量4 075.6 kg,爆破土石方4 419  $\text{m}^3$ 。

航道疏浚是水下爆破的主要工程项目,早在建国初期,为了开通水上运输,对长江三峡航道进行了大量水下炸礁工作,经过十多年的努力,终于使三峡航道达到了夜航上水的程度。20世纪70年代初广州黄埔大濠洲2 km航道 $5 \times 10^5 \text{ m}^3$ 水下炸礁的成功,创造了水下爆破水面作业国际先进水平的施工方法。

自1958年东北工学院(现为东北大学)井巷爆破教研室在国内首次应用定向控制爆破技术拆除钢筋混凝土烟囱之后,拆除控制爆破技术引起了普遍重视和全面推广。1973年,北京铁路局采用控制爆破拆除了旧北京饭店约2 200  $\text{m}^2$ 钢筋混凝土结构的地下室,并且保证了周围建筑群、交通和人员的安全。1976年,中国人民解放军工程兵工程学院运用控制爆破技术安全地拆除了天安门广场两侧总面积达 $1.2 \times 10^4 \text{ m}^2$ 的三座大楼,这标志着城市控制爆破拆除工程已进入一个新的阶段。1979年,铁道部第四勘测设计院应用水压控制爆破安全拆除了一个长5.7 m、宽3.6 m、高2.7 m和壁厚0.5 m的钢筋混凝土高压滤水罐。

近20年来,工程控制爆破技术水平有了很大提高,通过各类控制爆破工程的实践,积累了丰富的经验。1990年广东惠州港采用定向爆破方法成功地进行了移山填海浸淤修筑码头,在这次爆破中采用小平面条形药包达到缓坡地形的远距离抛掷,使岸岛之间230 m海域实现抛石回填,有效抛掷率为63%。1992年12月28日广东珠海炮台山的移山填海大爆破工程,炸药装填总量近 $1.2 \times 10^4 \text{ t}$ ,一次性爆落破碎和抛掷总方量达 $1.085 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,抛掷率为51.36%,控制方向的飞石不超过300 m,邻近600 m的民房无倒塌,达到了安全要求,并在90个有效工作日内完成设计施工任务,按计划提前30天完成大爆破工程任务。迄今为止,采用定向抛掷控制爆破已修筑了六十余座堆石坝,取得了巨大的社会效益和经济效益。

此外,国内许多重要的位处复杂环境的高大建筑结构爆破拆除也获得了成功。如原北京

科技馆（现国际饭店）3座钢筋混凝土大楼、万余平方米的北京华侨大厦、王府井中国美术工艺楼、广州凯旋大酒店11层的员工宿舍楼以及武汉市18层危楼局部拆除；1999年，上海运用控制爆破技术成功地拆除了一座16层大楼，该楼高达67m，这是迄今为止，我国运用控制爆破技术拆除的最高楼房。随着爆破拆除技术的不断完善，在高烟囱和高塔方面，比较成功的拆除范例有：各类高烟囱和高塔，如广东茂名石化公司的两座120m钢筋混凝土高烟囱整体定向爆破倒塌；山东十里泉电厂180m高烟囱分层分段切割控制爆破；辽宁阜新电厂直径46m、高54m的1<sup>#</sup>~4<sup>#</sup>冷却塔原地坍塌和定向倒塌的拆除爆破以及大量厂房建筑群同时拆除爆破成功。这些拆除爆破工程各具特色，积累了丰富的经验，促进了拆除控制爆破技术的发展，也为工程控制爆破技术增添了光彩。

另一方面，随着凿岩机具的改进和优质安全的爆破器材产品系列化和配套日臻完善，给中、深孔控制爆破技术的推广应用也带来了蓬勃生机，使原有的光面爆破、预裂爆破和微差爆破等控制爆破技术更为精湛，更为安全可靠，并且得到了更为广泛的推广应用。例如，广西柳桂高速公路超深孔高台阶光面爆破（台阶高达27m）；青岛市环胶州湾高速公路山角村段一次实施长470m，共203排、3080孔的深孔拉槽控制爆破；大区多排微差爆破技术在大冶、南芬和水厂铁矿的应用，一次微差爆破段数达一百余段，炮孔数超过500个的规模；港深公路梧桐山运营隧道二期工程超小断面掘进控制爆破施工经验以及葛洲坝工程二江电厂基础大面积开挖（19000m<sup>2</sup>）深孔预裂爆破成缝防震的应用，体现了该技术的最新进展和广阔的应用前景。

1980年4月，我国将控制爆破技术应用于人体疾病治疗，成功地施行了世界首例微爆炸碎石法治疗人体膀胱结石的临床手术。之后，又成功地施行了微爆炸破碎人体在肝胆管内结石临床手术。

在机电工程中，爆炸加工技术发展迅速。例如，爆炸成形、爆炸焊接、爆炸复合、爆炸切割等。利用爆炸能可以人工合成金刚石。在石油地质部门，爆破用于坑探、掘进、地震勘探、油井和气井爆破等。采用高温爆破法可清除高炉、平炉和炼焦炉中的炉瘤或破碎金属炽热物等。

控制爆破还在平整土地、造田、伐木、驱雹、深耕及森林灭火等方面推广应用。在军事工程方面，控制爆破的应用就更加广泛了。

近10年来，随着计算机技术的广泛应用，国内一些露天矿山已开始采用计算机进行爆破设计和爆破质量管理，先后经历了爆破设计计算机辅助系统、爆破设计专家系统和爆破设计智能专家系统三个发展阶段，其中主要以西南交通大学研制的台阶爆破设计智能专家系统（IESBBD）、马鞍山矿山研究院开发的计算机辅助设计BDP系统和鞍山钢铁学院开发的OMBES专家系统为代表。IESBBD系统实现了爆破参数选取智能化、爆破设计成图自动化、设计图表规范化、数据管理系统化，该系统在攀钢集团兰尖铁矿得到了初步应用，大大提高了生产爆破的设计质量与设计速度。

## 二、国外爆破技术的发展现状

矿山开采的爆破规模由采场几何形状、年产矿石量、爆破技术和装备水平来综合确定。国外爆破规模普遍较大，爆破量一般为 $35 \times 10^4 \sim 70 \times 10^4$  t。大型露天矿均采用高台阶大孔

径爆破，台阶高度为 14 ~ 29 m，孔径为 310 ~ 414 mm。中小型矿山的台阶高度为 6 ~ 12 m，孔径 150 ~ 172 mm。

尽管国外不同矿山的爆破设计程序有所不同，但是一些主要矿山均采用计算机辅助设计。通常由爆破技术人员根据地测人员提供的爆区地质平面图、现场孔位标志、炮孔和爆堆的品位标志来进行爆破设计。通常是根据本矿的实践经验或试验的统计分析资料，考虑了矿岩性质、地质构造、爆区形状和炸药类型来确定爆破方案，选定孔网参数、装药量等参数。多数矿山采用宽孔距小抵抗线的孔网布置。

美国奥斯汀炸药公司 (Austin Powder Company) 编制的 QET 计算机程序，可以根据地形地质情况、爆破参数、装药结构、要求的爆破块度和爆破有害效应等内容，确定出不同的爆破方案供用户选择。同时也可对各方案进行单价分析，作为投标的依据。

在控制爆破技术中，虽然仍以预裂爆破和光面爆破为主，但在具体工艺上有不少的变化。露天矿由于固定边帮二个台阶并段，台阶高度增加，必须钻凿超长预裂孔。例如，美国桑·胡安煤矿 (San Juan)，台阶高度 12 m，孔径 270 mm，钻凿倾斜预裂孔，倾角 75°，孔深 30 m。在装药结构方面，由于采用自充气胶囊袋使轴向空气间隔装药更为便利。胶囊袋采用多层双金属挤压尼龙薄膜制成，袋内置有可膨胀气体的小瓶，小瓶受压后瓶内压缩空气充入袋内使之膨胀，支撑在孔壁上起到间隔作用。在一个炮孔内装填三种以上炸药，采用孔内多段装药结构。装填三个品种炸药时，底部装高威力乳化炸药，中部装重铵油炸药，上部装多孔粒状铵油炸药。起爆顺序为：孔内分为二段时，先爆下后爆上；分为三段时，先爆中间，再爆下部，最后爆上部。

近年来，国外注意研究开发油、气地震勘探和油、气井开发中的特种爆破技术，发展迅速。例如，将小型高能震源器材应用于三维地震勘探，可大大提高地震勘探质量和安全，降低成本费用；新近发展起来的井下套管爆炸补贴和整形等特种爆破技术，解决了那些用传统和常规方法难以解决的井下问题；稠油地层、高致密低渗透地层等特殊地层的射孔爆破技术的开发等等。与此同时，对于聚能射流对岩石的侵彻机理和规律、金属粉末罩所形成的射流特性和影响稳定性的因素等基础研究课题，国外均取得了可以用于指导生产实践的研究成果。

### 三、问题与展望

虽然我国的爆破技术有了很大发展，但爆破理论远落后于工程实际。一方面由于对爆破理论研究工作投入人力、物力和财力太少；另一方面正如钱学森院士所指示的：“由于爆炸力学要处理的问题比经典的固体力学或流体力学要复杂，似乎不宜一下子想从力学基本原理出发，构筑爆炸力学理论。近期还是靠小尺寸模型试验，但要用比较严格的无量纲分析，从实验总结找出经验规律。这也是过去半个多世纪行之有效的力学研究方法。”我国爆破科技人员应该继续沿着这一方向，结合工程，开展小型爆破试验，并对大爆破和其他重要爆破工作组织科研观测，搜集数据资料、综合分析、找出规律，以利爆破理论的提高。

展望 21 世纪中国经济建设持续发展战略的实施，经济建设主战场不仅继续遍及东部和沿海地区，而且已向中西部地区扩展。一方面大批交通、能源、矿产资源开发利用和基础设施建筑项目不可避免会在丘陵地区和半山区兴建，土石方工程规模之大可能会超过以往，爆

破工程任务势必更加繁重、更加艰巨。另一方面，由于强调资源开发的有效利用和环境保护并重，对爆破负面效应的限制和有效率的要求将越来越严格。目前一些粗放型的陈旧爆破技术定将被淘汰。因此，应该加强低耗高效无害的控制爆破技术研究，以适应今后在各地修筑铁路、高等级公路、大型厂矿、电站、长距离引（调）水工程以及大批基础设施和老厂矿改扩建工程提出的各种爆破技术的要求。比如，深埋长隧洞及群洞快速爆破掘进问题；恶劣地形地质条件下深路堑开挖爆破技术问题；大量筑坝石料大小级配可控开采爆破问题；特殊复杂环境爆破低噪音弱震无损伤控制爆破技术以及炸药高效能利用问题等等。所有这些经济建设中迫切需要解决的实际问题都对工程爆破技术提出新挑战，也为我国爆破技术发展提供新机遇。

## 第二节 控制爆破的特点及其分类

根据工程要求和爆破环境、规模、对象等具体条件，通过精心设计，采用各种施工与防护等技术措施，严格地控制爆炸能的释放过程和介质的破碎过程，既要达到预期的爆破效果，又要将爆破范围、方向以及爆破地震波、空气冲击波、噪音和破碎物飞散等的危害控制在规定的限度之内，这种对爆破效果和爆破危害进行双重控制的爆破，称为控制爆破。

控制爆破除满足一般常规爆破的《爆破安全规程》的各项规定外，还应全部或部分地达到下列几点要求：

### 1. 控制被爆体的破碎程度

对于大多数的被爆体，通常要求爆后“碎而不抛”或“碎而不散”，甚至要求“宁裂勿飞”，即形成龟裂型松动爆破。尤其在开采建筑石材和饰面石材时，要求切割成缝，成形后与原岩脱离。

### 2. 控制爆破的破坏范围

控制爆破的破坏范围必须严格地与设计尺寸相符，其误差不得超过设计规定值，做到准确定位。换言之，控制爆破应有高水平的爆破设计和施工工艺，做到准确整齐有效地爆破该爆部位，同时保证保留部位完整无损。

### 3. 控制被爆体的坍塌方向

对于高大建筑物或构筑物（高层框架结构、烟囱、水塔等），爆破后要求被爆体原地坍塌或倒向指定的方向，避免在坍塌过程中危及附近建筑群或管、线网设施。在铁路或公路旁边坡进行爆破时，还必须控制爆堆的堆积形状和范围，以免影响车辆正常运行。

### 4. 控制爆破的危害作用

通过合理选用爆破参数、起爆工艺与加强防护等技术措施，将爆破地震波、空气冲击波、噪音和飞石等的危害作用严格地控制在允许范围之内，确保爆区周围的人和物的安全。

对于控制爆破的分类，过去多狭义地理解为城市拆除爆破、光面爆破、预裂爆破等几种方法。然而，就一般的民用爆破工程而言，都须进行爆破效果和爆破危害的双重控制。例如，井巷掘进须控制断面形状、围岩稳定性和超欠挖；采场落矿须控制最大块度和爆堆松散程度；露天台阶爆破须控制爆堆块度、形状和爆破飞石、地震波危害；洞室爆破须控制抛掷方向、堆体形状、松裂程度；水下岩塞爆破须控制破坏范围、爆破块度和围岩稳定性等。所

以, 常规民用爆破均属于控制爆破范畴。按爆破环境条件可将控制爆破划分为: 地下爆破、露天爆破、水下爆破、拆除爆破和特殊爆破等五大类。各大类又可按爆破目的和装药类型等细分为多种爆破类别和方法。如露天爆破可分为台阶爆破、峒室爆破、药壶爆破、浅孔爆破、深孔爆破等。

若根据工程爆破的主要控制目标和要求, 基本上可将冶金、交通、水利电力、建材、城市建设、地质勘探和国防工程等部门中常用的控制爆破归纳为以下七种类型:

### 1. 三定控制爆破

三定控制爆破是指定向、定距和定量的控制爆破。如以控制爆堆抛散方向为主要目的, 则可简称为定向爆破。

三定控制爆破常用于水利电力工程中的定向爆破筑坝。此时, 不仅对爆破方向应严加控制, 而且对爆堆质心的抛掷距离和抛至坝体范围内的爆方量 (即上坝土石方量) 亦须要控制。聚能切割爆破、穿甲爆破以及建筑物、构筑物定向、定位拆除爆破等, 均属于三定控制爆破。

### 2. 四减控制爆破

四减控制爆破是指爆破过程中减少爆破地震波、空气冲击波、飞石和噪音的控制爆破。当主控目的为降低爆破地震波的破坏作用时, 可简称为减震爆破; 同时, 当主控目的分别为减少空气冲击波、飞石和噪音的危害作用时, 可分别称为减冲爆破、减飞爆破和减音爆破。

在城市构筑物、建筑物等拆除爆破工程、路基开挖工程、露天矿永久边坡的爆破工程中, 常用四减控制爆破或减震控制爆破。

四减控制爆破的最终目标是四无爆破 (即无震动、无冲击波、无飞石和无噪音)。在使用工业炸药和高能燃烧剂爆破的条件下, 四无爆破难以实现。因而在爆破器材和爆破方法方面, 应独辟蹊径。武汉理工大学 (原武汉建材学院)、北京建材科学研究院等单位研制成功的静态破碎剂 (亦称胀裂剂), 可以实现四无爆破。同时, 静态破碎剂可以和工业炸药联合使用, 取长补短, 充分发挥动、静态的破碎作用。

### 3. 光稳控制爆破

光面和稳定控制爆破是指爆破后沿岩体的切割面 (或称爆裂面) 具有一定的平整度以及能保持原岩体本身稳定性的控制爆破。此种爆破类型在露天矿永久边坡爆破, 铁路和公路的路堑及边坡爆破, 井下巷道、峒室、隧道爆破及城市建筑基坑开挖爆破等工程中有着很大的推广价值。国内外所采用的光面爆破、预裂爆破、缓冲爆破等, 均属于这一类型的控制爆破。

### 4. 碎裂控制爆破

碎裂控制爆破是指对岩体的破碎程度、碎块块度进行控制的爆破。这种类型的爆破在地下矿场开采、台阶爆破、水下岩塞爆破等工程中应用较多, 特别是在爆破筑坝工程和堆石坝的坝料开采工程中, 对爆破块度的控制更为严格, 各块度级的岩块含量必须满足坝料设计要求。

### 5. 成形控制爆破

成形控制爆破是指爆破后被爆介质的分离体或金属等形成一定的几何形状和尺寸的控制爆破。建筑石材和饰面石材的开采、某些金属板材的加工、航天工程特殊形状壳体的加工以及光学萤石、冰洲石、水晶、宝石等保护晶体的开采时, 均可采用成形控制爆破。

## 6. 联合控制爆破

上述几种爆破类型中，成形控爆、光稳控爆和碎裂控爆以及定向、定距、定量控爆均属于提高和改善爆破质量方面的控制爆破，而减震、减冲、减飞和减音控爆，则属于减小爆破危害方面的控制爆破。在实际爆破工程中，经常会遇到既要求控制爆破质量，同时在安全上又有严格要求，即要求减小乃至基本上消除爆破危害的情况。因此，不仅有单一型的控制爆破，而且联合控制爆破更为多见。例如，在露天矿二次破碎工程中的定距减飞控制爆破；石材开采工程中的成形减震控制爆破；城市建筑物、构筑物等拆除工程中的定向四减控制爆破；爆破筑坝工程中的三定碎裂控制爆破等。

## 7. 特殊控制爆破

在日益复杂的爆破工程实践中，根据爆破环境、对象、规模、目的等具体条件的不同，有时必须满足某一项或几项特殊要求，此类控制爆破称为特殊控制爆破。现列举如下几例：

(1) 微量控制爆破 微量控制爆破是指用微量炸药独立地对被作用对象实施爆炸作用以破碎介质的爆破。迄今，国内外研究微量控制爆破的主要目的是配合医疗部门进行人体尿路和胆道系统结石的破碎。

(2) 高温控制爆破 在被爆体温度高于常温下，采取一定的控制措施所进行的爆破称为高温控制爆破。

高温控制爆破可用于高硫矿床的开采、石油井的爆破、高温凝结物的爆破，以及高炉、平炉和炼焦炉的修炉及处理炉瘤等。

高温控制爆破在安全上要求很严格，每次控制爆破必须做到“安全、隔热、准爆”。

(3) 急救控制爆破 应用于紧急情况下的急救、救生和救灾等方面的控制爆破，称为急救控制爆破。

近几年来，急救控制爆破技术的发展非常迅速。例如，在地震救灾时，采用定向穿孔（洞）药包或穿孔弹爆开已坍塌的墙壁或梁柱等，安全而迅速地救出被困人员。又例如，在海上遇难时，可将平时叠放保存的控爆救生圈（衣、筏）迅速投入水中，并启动起爆拉索，使该救生圈（衣、筏）内某些易产生大量气体的化合物（如碳酸盐类可产生大量  $\text{CO}_2$ ，金属氢化合物产生大量的  $\text{H}_2$  等）瞬时释放出大量气体充满救生圈（衣、筏），急救落水人员。

在救火紧急情况下，可采用控爆方法瞬时爆开墙、梁、柱、板以及必要时瞬时打开保险柜锁及门锁等或用爆炸法在森林火灾救护中开辟出隔火带。控爆气体发生装置灭火器和控爆干粉灭火器使用灵便，应急性强，在交通不便及水源不足处更为有用。

(4) 疏松控制爆破 应用于疏通管道、溜井或漏斗口堵塞、疏松粉体结块物以及疏浚河道等方面的控制爆破，称为疏松控制爆破。

在采矿工程中，经常会出现放矿溜井或放矿漏斗堵塞事故，运用控爆技术可以安全而有效地处理堵塞溜井的事故。在航道工程中，可用控爆法疏浚河道、炸除暗礁及冰排等。当化工原料散体氯化钠堆结成块时，疏松控爆能使它迅速地疏松开来。

此外，还有用于人工爆炸合成金刚石等方面的合成控制爆破，以及用于军事和国防工程中的军工控制爆破和特工控制爆破等等。

控制爆破的类型不止限于以上几种，有许多控制爆破技术尚在不断完善之中。此外，即使是现有的控制爆破方法，也可以有多种划分形式。

### 第三节 控制爆破作业的组织与管理

由于控制爆破施工作业的特殊性，为确保整个施工过程的安全，必须严格遵守国家颁布的各种法规和安全规程。同时，还必须分工明确，责任到人，加强施工作业的组织管理。

我国现已颁发了多项有关爆破安全的法规，其中主要有：①《中华人民共和国民用爆炸物品管理条例》；②《爆破安全规程》；③《大爆破安全规程》；④《乡镇露天矿场爆破安全规程》；⑤《拆除爆破安全规程》。从事爆破作业的所有人员都必须按全国统一执行的《爆破作业人员安全技术考核标准》在公安机关或有关部门组织下进行考核，取得公安部门签发的安全作业证后才能上岗作业。

在实施大规模或高难度控制爆破工程以及正常的生产爆破之前，应成立爆破作业的组织管理机构，明确各种爆破作业人员在爆破工作中的作用和职责范围。在《爆破安全规程》中把爆破作业人员分为：爆破工作领导人；爆破工程技术人员；爆破班（段）长；爆破员；爆破器材库主任；爆破器材保管员、安全员、押运员和试验员。进行爆破作业的企业必须设有爆破工作领导人、爆破工程技术人员、爆破班（段）长和爆破器材库主任。各类爆破作业人员之间的相互关系如图 1-1 所示。

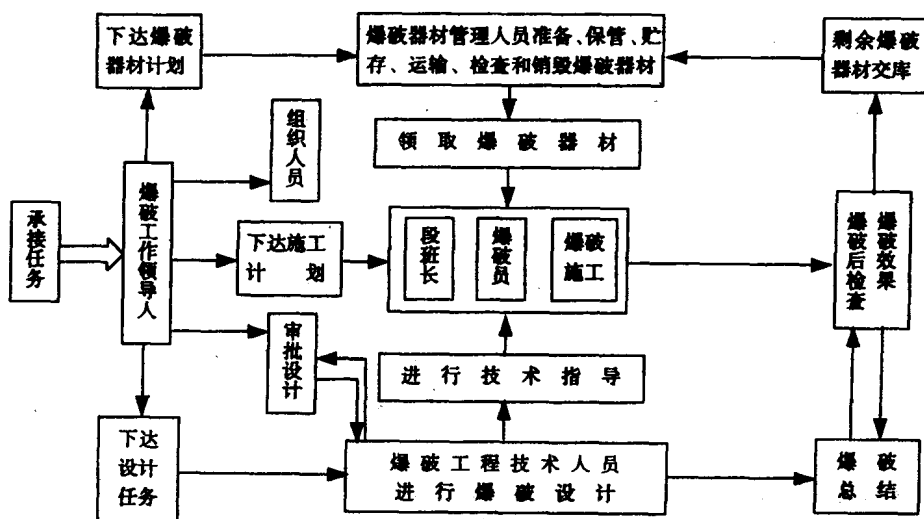


图 1-1 各类爆破作业人员之间的关系

在进行临时性的大爆破工程时，为了保证安全施工和按期完成任务，应建立组织指挥机构，其组成与任务如下：

#### 1. 爆破指挥部

爆破指挥部由总指挥、副总指挥和各组组长组成。指挥部的主要任务是：

- (1) 全面领导和指挥控制爆破期间的各项工作。
- (2) 根据设计要求，确定控爆施工方案、检查施工质量、及时解决施工中出现的问題。
- (3) 对全体施工人员进行安全教育，组织学习安全规程及进行定期安全检查。
- (4) 在严格检查爆前各项条件已确实达到设计规定后，指挥起爆站发出爆破信号和下达起爆命令。

(5) 检查控爆效果，进行施工总结。

## 2. 控爆技术组

技术组长由参加爆破设计单位的领导或技术人员担任。本组的任务是：进行爆破设计；向施工人员进行技术交底及讲解施工要点；标定孔位；检查爆破器材；指导施工及解决施工中的技术问题。

## 3. 控爆施工组

施工组长由施工单位指派的领导担任。该组的任务是：按设计要求进行钻孔；导通电雷管、导线及检测电阻；制作起爆药包、装药、填塞；进行防护覆盖；检查电源，在总指挥命令下合闸起爆；进行爆后的检查和危石处理；如遇到拒爆的情况，应按安全规程进行处理。

## 4. 器材供应组

器材供应组组长由供应部门有关人员担任。该组的任务是：负责控爆所需爆破器材的购买与运输工作；保管各种非爆破器材、机具及供应各种油料；供应各种防护材料与施工中所需材料。

## 5. 安全保卫组

安全保卫组长由熟悉爆破安全规程、责任心强的人员担任。本组的任务是：负责爆破器材的保管、发放工作；组织实施安全防护作业；起爆前，负责派出警戒人员；爆破后负责组织拆除险情工作；负责向爆破区附近的单位、居民区和人员进行宣传和解释工作。

# 复 习 思 考 题

1. 控制爆破的含义是什么？有什么特点？
2. 全国现行有关爆破安全的主要法规有哪些？
3. 爆破作业人员是如何划分的？

## 第二章 控制爆破基础理论

### 第一节 爆炸和炸药的基本知识

#### 一、爆炸现象

爆炸现象是物质系统在瞬间的物理反应和化学反应中，系统本身的能量借助于气体的急剧膨胀而对周围介质做功，同时伴随着发生强烈的声、光、热等效应。

##### (一) 爆炸类型

自然界中存在的各种爆炸现象，根据其产生原因和特征可分为三类：

##### 1. 物理爆炸

物质形态发生急剧变化而其性质和化学成分没有改变的爆炸现象称为物理爆炸。如轮胎、锅炉、高压气瓶等的爆炸。

##### 2. 化学爆炸

不仅物质形态发生急剧变化，而且产生极迅速的化学反应，使物质性质和化学成分发生改变的爆炸现象称为化学爆炸。如炸药、瓦斯、煤尘、鞭炮等的爆炸。

##### 3. 核爆炸

由物质的原子核发生裂变或聚变的链式反应释放出巨大能量所引起的爆炸现象称为核爆炸。如原子弹、氢弹的爆炸。

##### (二) 化学爆炸的三要素

工程爆破中应用最广泛的是化学爆炸。物质产生化学爆炸必须同时具备如下三个基本条件，即化学爆炸的三要素：

##### 1. 化学反应中释放大量的热能

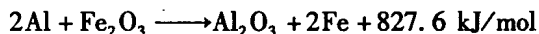
热是化学反应能独立、持续进行到底的因素，又是一种做功的能源。如果反应过程中不放热或放热很少，则不具备爆炸的特征。

##### 2. 化学反应过程必须高速度

仅有反应过程大量放热的条件还不足以形成爆炸。例如，1 kg 的煤在空气中燃烧可放出 8 960 kJ 热，这比 1 kg 炸药爆炸时放出的热量 (2 900 ~ 6 300 kJ/kg) 多得多，然而却不能形成爆炸。爆炸反应必须具备另一个条件，即反应速度极高，使有限的能量集中在较小容积内产生很大的功率。在十几到几十微秒时间内气体产物被加热到 2 000°C ~ 3 000°C，达到数千甚至数万兆帕的高压。

##### 3. 化学反应中必须产生大量气体

气体的可压缩性大，膨胀系数也大，是膨胀做功的理想媒介。如果化学反应中不产生大量气体，即使放热多，反应速度快，也不能形成爆炸。例如，铝热剂反应：



上述三方面构成了化学爆炸不同于一般化学反应的重要特点，这三个条件是相辅相成的，缺一不可，只有它们的综合效果才能使化学反应过程具有爆炸的性质。

## 二、炸药分类及其化学反应形式

### (一) 炸药分类

炸药是一种能够在外部能量作用下发生化学爆炸的物质。炸药的分类方法有多种，通常可根据炸药的组成和用途划分。

#### 1. 按炸药的组成成分

(1) 单质炸药 是指碳、氢、氧、氮等元素以一定的化学结构存在于同一分子中，并能自身发生迅速氧化还原反应的物质（化合物）。这类炸药有：梯恩梯（TNT）、黑索金（RDX）、太安（PETN）和硝化甘油（NG）炸药等。

(2) 混合炸药 是指由两种或两种以上的成分所组成的混合物，既可以仅由单质炸药组成，也可以含有非爆炸性物质，但应含有氧化剂和可燃剂两部分，而且二者是以一定的比例均匀混合在一起的，当受到外界能量激发时，能发生爆炸反应。混合炸药是目前工程爆破中应用最广、品种最多的一类炸药。

#### 2. 按炸药的用途和性能特点分

(1) 起爆药 起爆药主要用于起爆其他工业炸药，可作为雷管的装药。这类炸药的主要特点是：敏感度较高，在很小的外界热或机械能作用下就能迅速爆轰；与其他类型炸药相比，起爆药从燃烧到爆轰的时间极短。

最常用的起爆药有雷汞、叠氮化铅、二硝基重氮酚、斯蒂酚酸铅等。

(2) 猛炸药 与起爆药不同，这类炸药具有相当大的稳定性。也就是说，它们比较钝感，需要较大的能量作用才能引起爆炸。猛炸药威力大、破岩效果好，是工程爆破的主装药，在工程爆破中多数是用雷管或其他起爆器材起爆。常用的梯恩梯、乳化炸药、浆状炸药、铵油炸药和铵梯炸药等都是猛炸药。

(3) 发射药 发射药又称火药。主要用作枪炮或火箭的推进剂，在民用爆破器材中，主要利用黑火药制造导火索和秒延期雷管的延期元件。它的特点是燃烧性能好。

(4) 烟火剂 烟火剂也是由氧化剂和可燃剂组成的混合物。其主要反应过程是燃烧，在极个别的情况下也能爆轰。一般用来装填照明弹、信号弹、燃烧弹等。

### (二) 炸药化学反应的基本形式

根据化学反应激发条件、炸药的性质和其他因素的不同，炸药化学反应过程可能以不同的速度进行反应，同时在传播性质上也具有重大的区别。按照其传播性质和速度的不同，可将炸药化学反应的基本形式分为四种：热分解、燃烧、爆炸和爆轰。

#### 1. 热分解

炸药和其他物质一样，在常温下也能进行分解，放出热量，但分解速度很慢，不会形成

爆炸。当温度升高时，分解速度加快，温度继续升高到某一定值（爆发点）时，热分解就能转化为爆炸。

## 2. 燃烧

炸药不仅能爆炸，而且在一定的条件下，绝大多数炸药都能够稳定地燃烧而不爆炸。例如，人们利用燃烧法销毁炸药时就是利用炸药的燃烧性质。

值得注意的是，随着温度和压力的增加，燃速也显著增加，并且当外界压力、温度超过某一极限值时，燃烧的稳定性就被破坏，炸药很快地由燃烧变成爆轰。例如，炸药（量较小）在空气中燃烧时比较缓慢，且不伴随有声效应；而在容器内（特别是密闭时）燃烧时，由于产生的气体不易排出，热量不易散发，温度、压力就会急剧上升，燃烧变得相当强烈，此时极易转化为爆轰。

## 3. 爆炸

与燃烧相比，炸药爆炸在传播的形态上有着重大的本质区别。当受到足够大的外能作用时，炸药会发生猛烈的化学反应，该反应以一种冲击波的形式高速传播，这就是炸药的爆炸。

炸药爆炸的特点是在爆炸点的压力急剧发生突变时，传播速度很快且可变，通常每秒达数千米，但是这种速度与外界条件的关系不大，即使是在敞开容器中也能发生爆炸反应。爆炸过程一般是很不稳定的，不是过渡到更大爆速的爆轰，就是衰减到很小爆速的爆燃直至熄灭。因此，爆炸只是炸药化学反应过程中的一种过渡状态。

## 4. 爆轰

炸药以稳定的爆速进行传爆的过程叫做爆轰。它是炸药所特有的一种化学反应形式，并且与外界的压力、温度等条件无关。不同炸药的爆轰速度不同，一般为每秒数千米。例如，梯恩梯的爆速为6 800 m/s，是指梯恩梯在该条件下能达到的最大的稳定爆轰速度。对于任一种炸药来说，在给定条件下，爆轰速度均为常数。在爆轰条件下，爆炸具有最大的破坏作用。

爆炸和爆轰并无本质区别，只不过传播速度不同而已。爆轰的传播速度是恒定的，爆炸的传播速度是可变的，所以一般人们习惯将爆炸和爆轰统称为爆炸。

应当指出，炸药化学反应的上述四种基本形式在性质上虽不同，但它们之间却有着非常密切的联系，在一定条件下可以互相转化。炸药的热分解在一定条件下可以转变为燃烧，而炸药的燃烧随温度和压力的增加可能发展转变为爆炸，直至过渡到爆轰。值得注意的是，炸药在不同的反应形式下能量的释放速度和释放形式不同，对环境的破坏程度不同，一旦炸药由热分解意外地转化为燃烧，甚至爆炸或爆轰时，极易造成重大事故。

# 三、炸药的爆轰产物及氧平衡

## （一）炸药的爆轰产物

尽管民用炸药品种多种多样，但大多数炸药主要是由碳、氢、氧、氮四种元素组成，其中碳、氢是可燃元素，氧是助燃元素，炸药是一种载氧体。炸药的爆轰过程实质上是可燃元素与助燃元素发生极其迅猛的氧化还原反应的过程。由于反应的温度很高，有少量的不活泼的氮原子也被氧化成 NO 或 NO<sub>2</sub>。炸药化学反应区反应终了瞬间的化学反应产物叫爆轰产