

中国矿业大学新世纪教材建设工程资助教材

控制爆破技术

China University of Mining and Technology Press

主 编 邵 鹏 东兆星
副主编 韩立军 张 勇

University of Mining and Technology Press



中国矿业大学出版社

中国矿业大学新世纪教材建设工程资助教材

控制爆破技术

主 编 邵 鹏 东兆星
副主编 韩立军 张 勇

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书是中国矿业大学新世纪教材建设工程资助教材。本书以爆破工程为背景,在系统归纳控制爆破工程基本理论和基本概念的基础上,详细阐述了近年来控制爆破工程理论在工程中应用的主要成果及其工作方法。具体内容包括:控制爆破基础知识、控制爆破安全技术、城市拆除控制爆破、水压爆破、地下控制爆破、露天控制爆破、聚能爆破、水下爆破和其他控制爆破技术等。

本书既可以作为高等院校相关专业本科生和研究生的教材,也可作为岩土工程、地下工程、交通土建工程、边坡工程、国防与人防工程、地震防护工程、水利水电工程及矿山建筑与采矿工程等科技人员的技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

控制爆破技术/邵鹏,东兆星主编. —徐州:

中国矿业大学出版社,2004.6

ISBN 7 - 81070 - 881 - 3

I. 控… II. ①邵…②东… III. 预裂爆破

IV. TB41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 042961 号

书 名 控制爆破技术

主 编 邵 鹏 东兆星

责任编辑 杨传良

责任校对 孙 景

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 中国矿业大学印刷厂

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 13.25 字数 331 千字

版次印次 2004 年 6 月第 1 版 2004 年 6 月第 1 次印刷

定 价 22.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

控制爆破技术由于生产和建设的需要而获得了飞速发展,应用领域也不断扩大,解决了很多难度很大的工程问题,取得了明显的经济效益和社会效益。尤其是近年来控制爆破技术在工程领域中的应用日臻广泛和深入,并取得长足的进展。本书以工程应用为背景,详细阐述了近年来控制爆破技术应用研究的主要成果。

本书立足工程实用角度,在阐述爆破理论的基础上,比较系统地概括了近年来控制爆破工程的研究成果,重点介绍岩土工程各领域常用的控制爆破实用技术。

本书共分9章,由邵鹏、东兆星、韩立军、张勇编写。具体编写分工如下:第1章,由邵鹏、韩立军编写;第2、3、5章,由东兆星编写;第4、7、9章,由邵鹏编写;第6章,由韩立军编写;第8章,由张勇编写。

控制爆破技术正处于不断完善和发展之中,目前仍以经验为主,加之编者水平有限,时间仓促,书中错漏之处在所难免,恳请读者批评指正,多提宝贵意见。

编者

2004年1月

目 录

绪论	1
1 控制爆破基础知识	6
1.1 炸药爆炸现象和特征	6
1.2 常用的工业炸药	8
1.3 工业炸药起爆技术	12
1.4 介质中的爆炸作用	20
1.5 控制爆破原理与类型	26
2 控制爆破安全技术	30
2.1 爆破地震效应	30
2.2 爆破冲击波与爆破噪声	36
2.3 爆破飞石	42
2.4 拒爆、早爆和迟爆	44
3 城市拆除控制爆破	47
3.1 楼房拆除爆破	47
3.2 烟囱、水塔拆除爆破	67
3.3 基础和薄板结构拆除爆破	71
3.4 桥梁拆除爆破	80
4 水压爆破	84
4.1 水压爆破机理	84
4.2 水压爆破设计	85
4.3 水压爆破施工	91
4.4 工程实例	92
5 地下控制爆破	99
5.1 光面爆破	99
5.2 微差爆破	106
5.3 预裂爆破	109

6 露天控制爆破	111
6.1 浅孔爆破	111
6.2 深孔爆破	115
6.3 硐室爆破	127
7 聚能爆破技术	146
7.1 聚能效应	146
7.2 影响聚能效应的因素	148
7.3 聚能爆破的应用	153
8 水下爆破	161
8.1 水下爆破的特点及分类	161
8.2 水下爆破设计内容和原则	164
8.3 水下裸露爆破	166
8.4 水下钻孔爆破	172
8.5 水下预裂爆破	179
8.6 水下微差爆破	180
8.7 水下钻孔爆破施工	181
9 其他控制爆破技术	183
9.1 静态破碎方法	183
9.2 金属爆炸加工	190
9.3 地基与基础爆破处理	195
主要参考文献	205

绪 论

爆破方法是工程施工中的一项特殊方法,是用于解决人力或机械力所不易完成的工程问题的一种非同寻常的施工方法。长期以来,工程爆破虽然能完成工程设计的目标,但是在炸药爆炸作用的同时,也产生某些爆破危害,致使工程爆破的应用范围受到很大限制,而控制爆破技术的出现在很大程度上解决了这一问题。利用控制爆破技术,人们不仅可以控制爆炸能源的释放过程而达到预期的爆破效果,而且可以将爆破范围、破碎程度、倒塌范围、抛掷方向、堆积形状以及爆破危害控制在允许的规定范围之内,从而大大拓展了爆破技术的应用领域。

控制爆破是一项新技术,自从出现以来已经得到了长足发展并得到了广泛应用。特别是近年来,控制爆破技术有了长足发展。硐室爆破、中深孔爆破、地下采掘爆破、城镇拆除爆破、水下工程爆破等技术,通过不断的实践与应用,积累了丰富的经验。

硐室爆破已普遍采用平面药包和条形药包相结合的设计和施工方案,其应用范围和规模不断扩大。最典型的实例是在1993年12月珠海炮台山的移山填海大爆破工程,炸药总装填量近12 000 t,运用了大量土石方爆破的科研与工程实践的经验,并采用了多时段微差爆破技术,成功地一次爆破松动、抛掷了 $9 \times 10^7 \text{ m}^3$ 的石方,抛掷率达51.36%。此次爆破为多层、大抵抗线、条形药包、毫秒延期爆破积累了宝贵经验,刷新了我国乃至世界大爆破的纪录。定向筑坝技术已得到广泛应用,全国已筑坝60余座,取得了丰富的经验。最近,对于在硐室爆破设计施工中,有遇溶洞如何处理的问题,提出了溶洞处理常用的“避、移、变、堵、托”等方式,并取得较好的爆破效果;对于城镇地区采用硐室爆破如何保护爆区附近建筑物的安全问题,提出了硐室水压爆破方法,为城市大量土石方爆破开挖提供了新的施工方法。

中深孔爆破技术已广泛应用于露天与地下矿山、铁路、公路、水利水电建设的基坑开挖和平整工业场地等。深孔爆破已根据工程的要求发展了微差爆破、挤压爆破、预裂爆破、光面爆破等,例如青岛市环胶州湾高速公路山角村段一次实施470 m、共203排、3 080孔的深孔拉槽控制爆破。露天矿大区微差爆破已获得广泛应用,对孔网参数、装药结构、填塞方法、起爆顺序、微差间隔时间等进行了深入研究,显著提高了爆破质量与技术经济指标,爆破规模最大的南芬铁矿一次微差爆破段数达100余段,炮孔超过500余个,预装药量近300 t,矿岩爆破量超过80万t。VCR法是高梯段大直径深孔采矿的主要爆破方法,多年来在国内许多矿山都在推广使用。针对采场爆破频率高、爆破作业量大、爆破作业成本高等问题,对VCR法爆破方式进行了改进,提出了VCR法切槽一分段侧向爆破,通过采场生产实践,取得了较好的效果。

随着城镇建设的迅速发展,废旧楼房、建筑物的拆除日益增多,使我国拆除控制爆破技术水平不断提高。1973年北京铁路局采用控制爆破技术拆除了旧北京饭店两千余立方米的钢筋混凝土结构物;1976年,工程兵工程学院曾用控制爆破技术安全地拆除了天安门广场附近总面积达万余平方米的三座大楼;1979年,铁道部第四勘测设计院成功地采用水压控

制爆破技术拆除了高压滤水罐。进入 20 世纪 80 年代,拆除爆破得到了更为广泛的应用,各类高层建筑、构筑物控制拆除爆破成功的例子数不胜数,拆除对象类型繁多,环境复杂程度也不尽相同,拆除楼层最高的是 1995 年 12 月 26 日在武汉市采用定向坍塌控制爆破技术成功拆除的一座正在倾斜的 56 m 高的 18 层大楼;一次性拆除建筑面积 29 400 m² 的望江亭电厂中压站大型厂房,该工程炸药用量为 1.912 t,雷管 7 806 发;另外,在上海市区西北部的上海土产进出口公司仓库的控爆拆除工程中,一次拆除面积也达到了 21 700 m²。拆除烟囱类型繁多,有超薄性钢筋混凝土烟囱,也有高达 180 m 的山东十里泉电厂分层分段切割爆破拆除的烟囱,还有广州茂名石化公司高达 120 m 的两座钢筋混凝土的烟囱;对于塔类,则有直径 46 m、高 54 m 的阜新电厂 1~4 号冷却塔的定向倒塌和原地坍塌的工程。另外,在拆除大型油罐、桥梁和地基等方面也有很大的进展,如 1993 年 7 月在青岛石油化工厂,采用垂直深孔,一次爆破拆除三座 5 000 m³ 特大型油罐工程。

近几年来,我国在爆破拆除建筑物方面具有代表性的成果,有 1999 年 1 月贵阳市工人文化宫建筑群爆破拆除,总建筑面积 20 200 m²,共钻孔 29 000 个,使用雷管 45 000 发,炸药量 658 kg,一次起爆获得成功。2001 年 4 月地处闹市区、四周环境非常复杂的广州体育馆成功地进行爆破拆除,一次爆破拆除总建筑面积为 43 000 m²,馆内共分 5 个爆区,钻孔 8 300 余个,起爆共分 8 段,每段间隔时间为 0.5 s,爆破共使用雷管 10 542 发,乳化炸药 525.6 kg。2001 年 10 月位于汉口闹市区的武汉饭店,在一声炮响后,轰然倒塌。武汉饭店呈“八”字形,楼长 183 m,宽 22.8 m,高 32.5 m,共 9 层。主楼、副楼一次起爆的总建筑面积为 19 800 m²,采用非电导爆管雷管分部位微差起爆,共钻孔 7 289 个,消耗炸药 689 kg。

国际上,从 20 世纪 70 年代以来,高层建筑、构筑物的控制拆除技术获得了巨大的成功。1975 年,美国的一家控制爆破公司在巴西圣保罗市的繁华商业区内,采用控制爆破技术成功地炸塌一座 32 层的钢筋混凝土结构大楼,而周围建筑、人员安然无恙。1981 年,英国某公司利用控制爆破技术在南非拆除了一座底部直径 24 m、36 m 以下壁厚为 0.96 m、36 m 以上壁厚为 0.36 m、高 270 m 的烟囱。1976 年,在丹麦的 Frederikshavn,爆破拆除一高 40 m、蓄水容量为 1 700 t 的水塔,总装药量为 90 kg,炮眼 1 000 个。1986 年在瑞典的 Gothenburg 采用 80 kg 炸药、钻孔 3 000 个爆破拆除了一座 10 层宿舍楼。在捷克某化工厂内极其敏感地带,采用 2 648 kg 炸药、18 830 个雷管拆除一总方量为 73 000 m³ (其中钢筋混凝土方量为 19 000 m³) 的厂房。

水下控制爆破技术主要应用于水库水下岩塞爆破、挡水围堰拆除爆破以及港湾、航道疏浚炸礁等,20 世纪 70 年代以来不断地获得发展。20 世纪 70 年代初广州黄埔大濠洲 2 km 航道 50 万 m³ 水下炸礁成功,创造了水下爆破作业的国际先进水平的施工记录。中国科学院力学所与连云港及交通部有关单位组织联合攻关,经过多年工程实践、工程性试验、模型与机理试验等,总结出一套淤泥软基爆炸处理新技术,并得到推广应用,取得了巨大的经济效益与社会效益。

此外,高能爆破加工业很快发展起来,在机械加工方面已有广泛的应用,如爆炸成型、爆炸焊接、爆炸合成金刚石、爆炸硬化、爆炸消除残余应力等等,在这方面,我国也居于世界先进国家之列。例如,利用爆炸加工技术制造球形金属容器是一种高效节能的新方法,这项新技术已在北京、天津、沈阳、洛阳、长沙、温州等地得到广泛的工业应用,现在爆炸加工最大球形容器直径已达 6 m,最大壁厚为 28 mm。利用爆炸方法合成纳米金刚石的研究工作在国内

外也已经开展。

现在,控制爆破技术已经被应用于十分精细的领域中,如西安中心医院等单位用控制爆破技术“拆除”了人体内的膀胱结石,发展了高难度、极精细的控制爆破新技术。

近年来,爆破材料的进步有力地促进了控制爆破的发展。爆破器材研制技术发展较快,如无起爆药雷管、高能电磁感应起爆雷管、高精度毫秒延期雷管、爆裂管等已经陆续问世且已投入使用;高能燃烧剂、低爆速炸药、特种炸药、快速静态破碎剂以及塑性、耐热炸药的研制都取得了进展和成果,为控制爆破的发展与进步奠定了坚实的物质基础。非电起爆技术在许多场合取代了电力起爆,在城市控制爆破、露天深孔爆破、硐室爆破等施工中大量使用,如长江水利委员会施工处在葛洲坝爆破混凝土防渗墙时,使用孔外毫秒延期和双交叉联接的非电起爆系统,成功地实现了 3 000 余孔按 324 段顺序的起爆,这是我国起爆技术方面的重大突破。高精度电子延期雷管技术及其起爆系统经南非两家公司多年的努力,已经成功开发了成套的电子雷管起爆系统,已进入试用阶段。澳大利亚 Orica 炸药技术中心,针对巴布亚新几内亚火山区金矿开采的高温硫化矿炸药自燃自爆问题,成功开发一种散装乳化型起爆弹,解决了温度高达 150℃ 极端爆破的问题。

随着爆破器材的应用、爆破量测技术的进步以及相邻学科的发展,爆破理论和数值计算的研究不断深入,逐步由经验总结向科学理论发展。现代爆破理论的最新进展,代表了当代爆破技术发展的最新水平。这一阶段爆破理论的研究,更加实用化、计算机化和科学化。例如,在国内建筑物拆除研究中已提出小型钢架失稳模型,将承重立柱爆破后裸露钢筋骨架部分视做一个小型钢结构,发展了基于结构力学的钢架失稳计算方法,以此确定立柱的最小爆破高度;用平面杆系结构有限元法和结构力学中的直接刚度法计算结构爆破前后的内力分布,并力图完成建筑物拆除爆破的辅助设计;利用非线性动力学有限元法建立了框架单元断裂模型,并对爆破后单元刚度和运动方程数值解法进行了研究;采用运动学、动力学原理,对钢筋混凝土烟囱拆除爆破全过程进行了数值模拟研究,并对实际钢筋混凝土烟囱拆除爆破进行了现场测试分析,提出了分析计算预留支撑筒受力情况的新方法,编制了相应的计算机程序。关于计算机在爆破中的应用方面,还开发出了台阶爆破智能专家系统、高耸建构筑物拆除爆破智能系统和筒形建筑物拆除爆破专家系统软件,并在相应工程中应用。

在国外,日本学者用 DDAR 研究建筑物拆除倒塌,在充分研究了钢结构爆破解体后,认为钢结构倒塌是弹塑性领域的动态大变形现象,要注意以下几方面的研究:① 对主要构件弹性阶段的静力分析,核查塑性铰预定发生部位的应力;② 对主要构件进行塑性阶段的静力分析,求出结构的极限荷载,研究倒塌的确定性;③ 研究钢结构发生大变形时力—位移关系;④ 模拟倒塌过程的各个阶段。瑞典学者利用高速摄影机对高层建筑物拆除爆破的倒塌过程进行了观测:楼房高度 10 层,在楼房不同位置上安置了若干标志点,高速摄影机以每秒 64 幅的速度记录了倒塌的全过程,共拍摄照片 500 幅,用数字化仪将摄得标志点的位置信息输入计算机,通过计算机分析绘制成时间—位移、时间—速度图,可以计算出结构的势能、动能、总能量、建筑物爆破高度上部作用力和塌落荷载。日本大学的 Tosaka 和 Kasai 等采用结构力学中直接刚度矩阵法对单层和双层钢筋混凝土楼房坍塌过程进行了计算机模拟,其结果证明,该方法广泛适用于对钢筋混凝土框架结构物坍塌过程的模拟。德国鲁尔大学的 Stangenberg 和 Friedhim 通过对实际工程中烟囱倒塌过程有关数据的分析、整理,建立了钢筋混凝土烟囱爆破拆除计算机模型,在现场进行 1:1 试验和实验室小比例试验,并准备在

此基础上发展成为能够进行烟囱爆破倒塌过程模拟的专家系统。

在爆破安全方面,随着控制爆破的发展,安全技术也越来越受到重视。一方面是由于爆破施工的环境越来越复杂以及人们对爆破安全的要求越来越高。另一方面,则是由于历史的教训,如英国在拆除 21 层的 NorthairdPoint 大厦时出现了 11 层以上不倒的严重后果,引起了欧洲拆除工业界的广泛关注;我国河南省某爆破公司采用控制爆破方法拆除郑州照相机厂大修车间 5 层高楼房的钢筋混凝土框架时,出现反倒现象,造成 1 人当场死亡、4 人重伤的严重事故;广东某铁矿进行小型硐室爆破时,当场炸死 10 人,重伤 1 人,轻伤 2 人;长沙市郊的水利爆破施工中,造成伤亡 20 多人的特大事故。

在进入 21 世纪后,我国工程爆破方面面临的将更为艰巨。按照我国制定的 2010 年远景目标纲要规定,人口控制在 14 亿以内,国民生产总值要翻一番,达到 17 万亿元。为实现这一宏伟目标,必然要大力建设更多、更大的工程,例如矿业、铁路、公路、水利、电力、石油和城市建筑等工程,我国控制爆破技术又将进入一个新的高速发展期。

控制爆破是一项新技术,由于生产和建设的需要而获得了飞速发展,解决了许多难度很大的工程问题,取得了明显的经济效益和社会效益。但是这项技术还处于发展阶段,还存在许多亟待解决的问题,今后有望在以下几个方面有所突破。

(1) 加强理论研究,发展数值模拟技术

近年来,工程爆破力学所取得的理论研究成果已被间接或直接地应用于控制爆破工程,在不同程度上定量和定性地指导工程实践。但是,控制爆破理论研究还不完善、不深入,工程中的一些力学现象迄今不能完全描述和解释。事先进行系统地理论考察与模拟,然后再设计和施工的爆破实践尚不多见。所以,应用计算机模拟技术对大型爆破工程进行预先研究是很有发展前途的。

控制爆破理论的深入研究在很大程度上受到相关学科发展水平的限制,同时也与爆破对象的多样性、介质的不均匀性有关。由于爆破的对象在结构、受力状态及破坏特征等方面的复杂性,且介质在爆破作用下的物理力学特性的测量技术还不能完全满足需要,建立爆破模型、分析几何理论、专家优化系统等方面的研究均处于探索阶段,这些都是爆破工作者今后所面临的问题和努力的方向。因此,根据实际的力学过程,创建出相对简化、能够基本正确的反映多种介质在高速动态荷载作用下的各种力学模型是控制爆破技术的新课题。目前该领域涉及的研究内容有:破碎过程的定量描述;定向断裂力学原理;爆破抛掷初速度的数值模型与计算;控制爆破飞石与防护力学原理;砖筒形结构物爆破力学原理;钢筋混凝土筒形结构物定向爆破力学原理;爆破参数和爆破方案的安全性、可靠性研究等。控制爆破的理论研究,最终是要明确爆破工程中的力学机制,向科学化、控制化的方向发展。

另外,在控制爆破的研究中,常需要考虑力学因素和化学物理因素的耦合、流体特性和固体特性的耦合、载荷和介质的耦合等,因此,多学科的渗透和结合成为控制爆破技术发展的必要条件。在这方面,国外已进行了大量的研究工作。把爆破过程视为复杂的系统工程,利用信息论、控制论、耗散结构论、突变论和非线性论,使爆破理论研究更加实用化、计算机化和科学化。

(2) 实施精密控制,拓宽控制爆破技术的应用领域

发展炸药能量转化过程的精密控制技术,提高炸药能量利用率,降低有害效应是 21 世纪的发展方向。爆炸可以产生极强的脉冲电流、脉冲磁场以及极高的压力,而这些都是现代

科学所要研究的。这里有能量转化过程,而对研究者来说,特别要求对转化过程的精密控制。爆炸所产生的高压已用于生产,如爆炸成型和爆炸合成金刚石等。

随着控制爆破技术的提高和发展,爆破技术已广泛应用于破碎、压实、松动排淤和切割物体的作业,同时应用扩大到特殊环境、特殊条件、特殊要求的各种爆破工程,从小至 0.3 mg 炸药的人体内胆结石破碎至万吨药量的大爆破,都是通过发展控制爆破技术而实现的。另外,必须注意开发新的利用领域。预计在不久的将来,可以利用爆炸加工新型材料,处理各种废料,改变气候和环境条件等,为人类社会做出新的贡献。

(3) 发展新型爆破材料,提高控制爆破水平

增加爆破器材的种类和改进其性能,适应工程爆破的需要,是今后控制爆破技术发展的基础。

传统的电力起爆和非电起爆方法仍需完善和改进。电子雷管是一种安全性好、延时精确(最小可达 1 ms)的新型雷管,已有美国、瑞典、日本等国在生产和使用,目前约有 250 个品种;国内也有试制产品,延时间隔 5 ms,有 63 个段别,还需要使整个系统高度集成化,降低成本,才便于实际应用。非电起爆系统只要连接正确,基本上能做到安全起爆,但爆前无法在现场检测。另外,现有的多段毫秒雷管和继爆管系列配套不理想,精度较差,实践中常有跳段现象发生,这也是需要解决的问题。

目前主要使用的仍是硝铵类炸药,在性能方面很难满足特种爆破的需要。而近来研制的乳化、液体、胶体、耐热、塑性等炸药,在性能方面还不稳定,成本较高,有待于进一步改进。静态膨胀剂等新型材料,虽然安全性较好,但破碎介质的能量较小。目前国内的炸药在品种、性能、生产工艺等方面,与发达国家相比有较大的差距,在一定程度上制约了控制爆破技术的提高和应用领域的扩大,尤其对诸如城市控制爆破这种对象、结构、要求等多样和复杂化的爆破类型,经济实用、品种多样、性能良好的炸药品种无疑是促进工程爆破发展的前提。正在发展中的可泵送乳化炸药技术,无论从安全性、综合成本方面,还是从炸药运输使用过程的环保方面,都成为当今民用炸药的一个主要发展方向。

(4) 发展爆破安全技术,防止爆破危害

爆破安全技术的发展,对爆破技术应用范围的扩大有着重要的意义,只有解决与爆破有关的安全技术问题,控制爆破技术才能发挥更大的作用。爆破安全技术包括爆破施工作业中的安全问题和爆破对周围建筑设施与环境安全影响两大部分。第一部分主要涉及爆破器材性能、使用条件、检测方法和起爆技术等安全性问题;第二部分即周围环境安全问题是与爆破作用机理、爆破参数与设计方法、安全准则与控制标准有关的技术问题。因此,爆破安全技术的创新与发展必须从上述两个方面开展研究。例如,爆破安全隐患一般为振动、空气冲击波、噪声和飞石,其中爆破震动效应尤为突出。我国目前采用的测试标准实质是对介质质点峰值振动参量(质点的安全振动速度)的规定。在实际应用中,除应以位移、速度、加速度等作为破坏判据外,还应考虑爆破震动的持续时间累积破坏作用、振动频率与建(构)筑物固有频率之间的关系等一系列其他因素,关于这些目前各国都没有统一的标准,因此建立科学的爆破破坏判据系统是今后测试技术发展的方向。

1 控制爆破基础知识

1.1 炸药爆炸现象和特征

爆炸是物质系统的一种极为迅速的物理或化学的能量释放和转化,它能在极短时间内,释放出大量能量,产生高温,并放出大量气体,在周围介质中造成高压。

按爆炸过程的性质,可将爆炸现象分为如下三类:

(1) 物理爆炸。凡是爆炸物质的形态发生变化而化学成分没有改变的,称为物理爆炸。例如强脉冲放电、锅炉爆炸、火山爆发等等。

(2) 化学爆炸。凡是爆炸物质的化学成分发生变化的,称为化学爆炸。例如煤尘爆炸、瓦斯爆炸、炸药爆炸等。

(3) 核爆炸。凡是由于核裂变或核聚变反应,释放出核能所形成的爆炸,称为核爆炸。例如原子弹和氢弹的爆炸。

炸药是由碳、氢、氧、氮四种元素组成的化合物或混合物。它在一定条件下能够发生快速化学反应,放出能量,生成气体产物,并显示爆炸效应。

1.1.1 炸药爆炸的基本特征

反应过程的放热性、反应过程的快速性和生成大量气体产物是炸药爆炸的三个基本特征,也是构成爆炸的必要条件,又称为炸药爆炸的三要素。

1.1.1.1 反应过程的放热性

放热是炸药爆炸的能源,爆炸反应只有在自身提供能量的条件下才能自动进行。没有这个条件,爆炸过程根本不可能发生;没有这个条件,反应也不能自行延续,因而也不可能出现爆炸过程的自动传播。显然,依赖外界供给能量来维持其分解的物质,不可能具有爆炸的性质。

1.1.1.2 反应过程的快速性

爆炸过程的快速性保证了在爆炸反应完成后,爆炸产物来不及膨胀,放出的能量集中在原来炸药所占有的容积内,维持很高的能量密度,因而形成了高温高压气体。正是这一点使炸药的爆炸具有巨大的功率和强烈的破坏作用。一些物质反应的放热量虽然大于炸药,但反应较慢,热量通过热传导、热辐射不断散失,所能达到的能量密度较低,不会发生爆炸。

1.1.1.3 生成大量气体产物

炸药在爆炸时对周围介质做功是通过高温高压气体的迅速膨胀实现的。有些物质反应的放热量大于一般炸药,反应的速度也很快,但不能生成大量的气体,所以不具有爆炸性。

炸药爆炸必须同时具备放热性、快速性、生成气体产物三种特征,否则不能称之为爆炸。

1.1.2 炸药的化学变化

炸药在不同条件下能发生三种基本形式的化学反应过程,即缓慢分解、燃烧和爆炸。

缓慢分解是炸药在通常的环境温度条件下进行的自身分解反应。这种反应的速度取决于环境温度,温度越高反应速度越快。这种化学变化影响炸药的安定性,缓慢分解严重的炸药,安定性差,不易长期储存。

燃烧是一种激烈的化学反应形式。这种化学反应以燃烧波的形式在炸药中传播,燃烧波的传播速度就是燃烧速度,一般为每秒几毫米至每秒几米。燃烧产物的运动方向与燃烧波传播方向相反。

爆炸是最激烈的一种化学反应形式。这种反应以爆炸波的形式进行,爆炸波的传播速度称为爆炸速度。爆炸与燃烧的主要区别是:燃烧靠热传导来传递能量和激起化学反应,受环境影响较大,而爆炸则靠冲击波的作用来传递能量和激起化学反应,基本不受环境影响;爆炸反应比燃烧反应更为激烈,放出的热量和形成的温度也高;燃烧产物的运动方向与反应区传播方向相反,而爆炸产物的运动方向则与反应区传播方向相同,故爆炸能产生很高的压力;燃烧速度是亚音速的,而爆炸速度是超音速的。

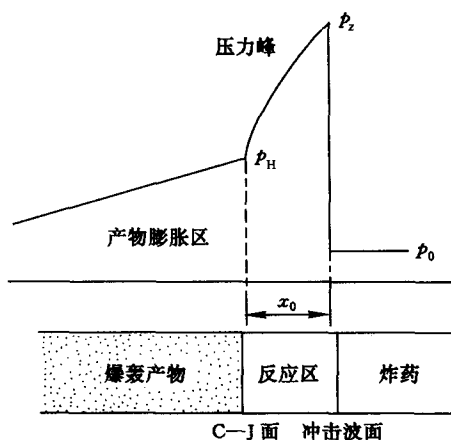


图 1-1 Z-N-D 模型

炸药的爆炸反应存在稳定爆炸和不稳定爆炸两种情况。爆炸速度恒定的稳定爆炸,一般称为爆轰。爆轰是炸药爆炸的一种最充分的形式,爆轰过程可用 Z-N-D 模型描述,如图 1-1 所示。在正常条件下,炸药爆轰产生的高温、高压和高速的气流能够在炸药中激发冲击波,冲击波的能量足以引起未爆炸部分在一定反应区内发生化学反应,而化学反应释放的部分能量又维持着冲击波的稳定传播,这就是爆轰过程。这种在炸药中传播的并伴有高速化学反应的冲击波称为爆轰波,它由前沿冲击波和紧跟其后等速传播的化学反应区组成。爆轰波的传播速度称为爆速。化学反应结束时爆轰波的压力称为爆轰压力。

炸药上述三种化学变化的形式,在一定条件下能够相互转化:缓慢分解可发展为燃烧、爆炸;反之,爆炸也可转化为燃烧和缓慢分解。

1.1.3 炸药的爆炸性能

为了定量地表示炸药爆炸的猛烈程度以及炸药对外做功的能力,经常采用爆热、爆温、爆压、爆容和爆速等指标来描述炸药的爆炸性能。

1.1.3.1 爆热

单位质量炸药爆炸时所释放出的热量称为爆热,通常以 1 kg 或 1 mol 炸药所放出的热量来表示。爆热是一个很重要的爆炸性能参数,它是炸药对外做功的能源。炸药爆热愈大,

炸药对外做功的能力就愈大。

1.1.3.2 爆温

炸药爆炸瞬间爆炸产物加热所达到的最高温度称为爆温。爆温取决于爆热和爆炸产物组成,爆温越高,爆轰产物膨胀做功能力越强。

1.1.3.3 爆容

单位质量炸药爆炸时所生成的气体产物,换算在标准状态下所占的体积,称为爆容。爆容通常以 1 kg 炸药为单位进行表示,爆容越大,炸药做功能力越强。

1.1.3.4 爆速

如前所述,爆速是爆轰波的传播速度。它反映了炸药的爆轰性能,间接表示了其他爆轰参数。爆速越高,炸药威力越大。爆速除了与炸药本身的化学性质有关外,还受装药直径、装药密度和粒度、装药外壳、起爆冲能等影响。

1.1.3.5 爆压

爆炸产物在爆炸反应完成瞬间所达到的压力,称为爆压。爆压反映了炸药爆炸瞬间的猛烈破坏程度。

除了采用上述参数之外,在实用中还经常采用爆力和猛度两个表示炸药爆炸作用性能的参数。

(1) 猛度。炸药爆炸产生冲击波和应力波的作用强度称为猛度。猛度表征了炸药动作用的强度。炸药的猛度取决于动作用阶段的压力及其作用时间,炸药的密度和爆速越高,猛度也越高。

(2) 爆力。炸药爆炸对周围介质所做机械功的总和称为爆力。爆力反映了爆炸气体产物膨胀做功的能力。炸药爆力越大,膨胀做功能力越强。

1.2 常用的工业炸药

工业炸药指用于矿山、铁道、水利、建材等部门的炸药。按组分为单质炸药和混合炸药。单质炸药是指成分为单一化合物的炸药,混合炸药是指由两种或两种以上物质组成的炸药。为满足某些特种爆破使用要求,还相继研制出多种与普通混合炸药不同的高分子混合炸药。

1.2.1 单质炸药

常用的单质猛炸药有梯恩梯、黑索今和太恩等,其技术性能如表 1-1 所示。单质炸药的特点是爆炸性能好,爆炸威力大,一般用于雷管的加强药、导爆索和导爆管的芯药,以及混合炸药的敏化剂等。

表 1-1

几种单质猛炸药的技术性能

性能参数	梯恩梯(TNT)	黑索今(RDX)	太恩(PETN)
熔点/℃	80.75	204.5	140.5
爆发点/℃	—	230	225

续表 1-1

性能参数	梯恩梯(TNT)	黑索今(RDX)	太恩(PETN)
爆力/mL	285~300	500	500
猛度/mm	19.9	16	15
爆速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	6 850	8 300	8 400
密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	1.595	—	—

1.2.2 混合炸药

混合炸药由爆炸性成分和非爆炸性成分按一定配比混合制成,在品种上有铵梯炸药、铵油炸药、水胶炸药和乳化炸药等。

1.2.2.1 铵梯炸药

铵梯炸药主要由硝酸铵、梯恩梯、木粉组成。硝酸铵是主要成分,在炸药中起氧化剂的作用,为炸药爆炸反应提供所需要的氧元素;梯恩梯为敏化剂,用以改善炸药的爆炸性能,增加炸药的起爆感度,它还兼起可燃剂的作用;木粉在炸药中起疏松作用,使硝酸铵不易结成硬块并平衡硝酸铵中多余的氧,故称松散剂和可燃剂。表 1-2 为部分国产岩石铵梯炸药的组分及技术规格。

表 1-2 部分国产岩石铵梯炸药的组分及技术规格

组分及性能		岩石铵梯炸药		露天铵梯炸药		
		1 号	2 号	1 号	2 号	3 号
组分/%	硝酸铵	82 ± 1.5	85 ± 1.5	82 ± 2	86 ± 2	88 ± 2
	梯恩梯	14 ± 1.0	11 ± 1.0	10 ± 1.0	5 ± 1.0	3 ± 0.5
	木粉	4 ± 0.5	4 ± 0.5	8 ± 1.0	9 ± 1.0	9 ± 1.0
性能	密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	$0.95 \sim 1.1$	$0.95 \sim 1.1$	$0.85 \sim 1.1$	$0.85 \sim 1.1$	$0.85 \sim 1.1$
	爆速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	—	3 600	3 600	3 525	3 455
	爆力/mL	350	320	300	250	230
	猛度/mm	13	12	11	8	5
	殉爆距离/cm	6	5	4	3	2

1.2.2.2 铵油炸药

主要由硝酸铵、柴油、木粉组成,有时也添加少量其他成分。其中硝酸铵为氧化剂,柴油既是可燃剂又是还原剂,木粉用作松散剂兼可燃剂。

铵油炸药是一种钝感和低威力炸药,多数铵油炸药需要由起爆药包起爆。但铵油炸药原料来源丰富,加工简单,使用安全,价格低廉。表 1-3 为铵油炸药的组分和性能。

由于铵油炸药一般不具有抗水能力,所以为了提高炸药的抗水能力和防止结块,可以在炸药中分别添加石蜡、沥青和松香等制成抗水的铵沥青炸药或铵松蜡炸药。

1.2.2.3 水胶炸药

水胶炸药是由氧化剂(硝酸铵为主)的水溶液、敏化剂(硝酸甲胺、铝粉等)和胶凝剂等基本成分组成的含水炸药。由于它采用了化学交联技术,故呈胶凝状态。

表 1-3 铵油炸药的成分和性能

组分及性能		92-4-4 细粉状	100-2-7 粗粉状	露天细粉状	露天粗粉状
组分 /%	硝酸铵	92	91.7	89.5±1.5	94.2
	柴油	4	1.9	2.0±0.2	5.8
	木粉	4	6.4	8.5±5.0	
性能	爆速/m·s ⁻¹	3 600	3 300	3 100	—
	爆力/mL	280~310	—	240~280	—
	猛度/mm	9~13	8~11	8~10	≥7
	殉爆距离/cm	4~7	3~6	≥3	≥2

水胶炸药爆轰感度高,且具有威力高、安全性好、抗水性强、价格低廉等优点。表 1-4 列出了几种国产水胶炸药的性能参数。

表 1-4 国产水胶炸药的性能参数

炸药性能	SHJ-K 型	101 型	CS-30 型
密度/g·cm ⁻³	1.0~1.3	1.05~1.25	1.1~1.25
药卷直径/mm	φ 32~φ 35	φ 35	φ 32
爆速/m·s ⁻¹	3 500~4 000	≤3 500	3 500~4 000
爆力/mL	350	≤300	—
猛度/mm	≤15	≤16	14.1~15.2
殉爆距离/cm	≤8	≤10	≤8
有毒气体生成量/L·kg ⁻¹	29.6	41.5	14.0

1.2.2.4 乳化炸药

乳化炸药是含水炸药的新发展,与水胶炸药不同的是,水胶炸药中氧化剂水溶液为连续相,悬浮的固体颗粒为分散相,即水包油型结构,而乳化炸药则是氧化剂水溶液被乳化成微细液滴分散地悬浮在连续的油相中,构成油包水型胶体。乳化炸药中的氧化剂为硝酸铵和硝酸钠饱和水溶液,敏化剂采用猛炸药、金属粉或空心微球,可燃剂为柴油和石蜡或凡士林或是它们的混合物,乳化剂常采用斯本-80。

乳化炸药的猛度、爆速和感度均较高,密度范围可调,具有良好的抗水性能,加工使用安全,适合于爆破现场直接混装,实现装药机械化。表 1-5 为部分乳化炸药的组分及其性能。

表 1-5 乳化炸药的组分及其性能

组分及性能		RL—2	EL—103	RJ—1	MRY—3	CLH
组分 /%	硝酸铵	65	53~63	50~70	60~65	50~70
	硝酸钠	15	10~15	5~15	10~15	15~30
	尿素	2.5	1.0~2.5	—	—	—
	水	10	9~11	8~15	10~15	4~12
	乳化剂	3	0.5~1.3	0.5~1.5	1~2.5	0.5~2.5
	石蜡	2	1.8~3.5	2~4	(蜡—油)3~6	(蜡—油)2~8
	燃料油	2.5	1~2	1~3	—	—

续表 1-5

组分及性能	RL-2	EL-103	RJ-1	MRY-3	CLH
铝粉	—	3~6	—	3~5	—
组分 亚硝酸钠	—	0.1~0.3	0.1~1.7	0.1~0.5	—
% 甲胺硝酸盐	—	—	5~20	—	—
添加剂	—	—	0.1~0.3	0.4~1.0	0~4, 3~15
爆速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	3 600~4 200	4 300~4 600	4 500~5 400	4 500~5 200	4 500~5 500
性能 爆力/mL	302~304	—	301	—	295~330
猛度/mm	12~20	16~19	16~19	16~19	15~17
殉爆距离/cm	5~23	12	9	8	—

1.2.2.5 高分子炸药

由于普通民用炸药的机械性能、加工和成型性能较差,不能满足某些特种爆破对炸药性能的要求。因此,炸药厂家就采用高级炸药作为高分子化合物的填料,用高分子及其助剂作为粘结剂和钝感剂,同时利用高分子成型和加工的方法,制成高分子混合炸药。这种新型炸药既具有高级炸药的爆炸特性,又具有高分子制品的优良的物理和机械性能,生产和使用既安全又方便。

高分子炸药有多种类型,按物理性质和成型工艺大致分为:塑(粘)性炸药、挠性炸药、泡沫炸药、压装炸药和耐热炸药。

(1) 塑(粘)性炸药

这类炸药在一定温度范围内具有可塑性,在外力作用下易于发生不可逆的变形,可以根据需要捏制成不同形状的药包,装药非常方便。由黑索今、奥克托今和太恩等高级炸药和某些高分子粘结剂与增稠剂组成。增加塑性炸药的稠度和粘性就可制成粘性炸药,它除了具有良好的塑性之外,还具有很强的粘性。塑性炸药的特点是密度大,爆速高,机械感度低,耐冲击,毒性小,较安全,能抗水和可塑性好,能够适应爆破对象的形状和尺寸。使用时,制成不同形状和尺寸的药包,直接粘贴在爆破对象的表面,从而提高爆破效果。

(2) 挠性炸药

挠性炸药具有良好的曲挠性、韧性、自持性和弹性,不怕弯曲和折叠,可制成多种形状。外观像橡胶和软质塑料制品。炸药采用黑索今、太恩、奥克托今、特屈儿、硝化甘露醇等固体炸药中的一种或几种的混合物。粘结剂有天然橡胶、合成橡胶、聚异丁烯、聚苯乙烯和硝化棉等,粘结剂含量最高达50%。增塑剂多采用三丁基乙酰柠檬酸酯、磷酸酯和羧酸酯等。附加剂有硝酸钾、硝酸铵、氧化钛、二苯胺和石蜡等。挠性炸药具有良好的曲挠性,机械感度低,耐冲击,但爆轰感度高,可以用普通雷管起爆,它的密度大、爆速高,具有良好的抗水性和储存性能。

(3) 压装炸药

压装炸药由半成品的造型粉经过模压或静液压方法压制而成,外观类似于硬橡胶或塑料制品。爆炸成分有黑索今、太恩、奥克托今和梯恩梯等高级炸药。粘结剂有热塑性塑料和热固性高分子材料。造型粉制备过程中,根据需要加入少量交联剂和催化剂。这类炸药的特点是含能高,密度大(最大为 1.7 g/mL 以上),爆速大(最高达 8900 m/s),机械感度低,耐冲击,但爆轰感度高,可以用普通工业雷管起爆,具有良好的抗水性。