



普通高等教育地矿、安全类“十一五”规划教材

爆破理论及其应用

— 费鸿禄 张立国 付天光 杨智广 编著

煤炭工业出版社

普通高等教育地矿、安全类“十一五”规划教材

爆破理论及其应用

费鸿禄 张立国 付天光 杨智广 编著

煤炭工业出版社

·北京·

前 言

工程爆破作为一项技术手段，已广泛应用于国防、交通、铁路、采矿、水利电力、土建等多领域的生产和建设之中，并取得了巨大的经济效益和社会效益。尤其是近 20 年来，随着爆破技术应用领域和范围的不断扩大，爆破环境越来越复杂，对爆破技术的应用提出了更高的要求。为解决各种工程爆破应用的实际问题，爆破工作者研究并使用了許多新理论、新方法、新技术，极大地促进了工程爆破技术的发展。近几年在我国就召开了两次国际工程爆破会议，这也标志着我国爆破理论和技术已走在国际前沿。同时，也有专业的学术杂志，并先后出版了数十部有关工程爆破和爆破科学技术的著作，国家自然科学基金资助项目每年都有十余项，从而推动了爆破学科基础研究工作的的发展和爆破技术的应用。

近几年尽管出版了不少与爆破有关的专著，然而适合大专院校爆破课程教学之用的却很少，而且现有教材主要是针对不同专业的要求来编写，所介绍的爆破基础理论和技术方法相当有限，缺少一本适合于不同专业、基础知识和实际应用都比较全面的通用教学用书。因此，作者从内容丰富、阐述简单实用的角度出发，结合多年的教学、科研成果及工程实践经验，编著了此书。

全书共 13 章，包括绪论、炸药爆炸的理论基础、爆轰波的流体力学理论、炸药的起爆与感度、工业炸药、起爆器材、起爆方法、岩石爆破作用原理、掘进爆破、深孔爆破、拆除爆破、硐室爆破、爆炸的危害及爆破安全等内容。本书编写中参考了许多国内外的资料，并在文后列出，在此向所引用的参考文献作者致以谢意。

本书由辽宁工程技术大学费鸿禄教授主编。参加编写的人员有辽宁工程技术大学张立国、付天光、杨智广。各章编写的分工如下：第 0 章～第 7 章由

费鸿禄编写；第8章由杨智广编写；第9章由付天光编写；第10章由张立国编写；第11章由费鸿禄、张立国编写；第12章由张立国、付天光、杨智广编写。

该书主要作为开设爆破相关课程的高职、本科院校教学之用，也可供相关专业的研究生、科研人员和工程技术人员选读、参考。

由于编者学识所限，书中缺点、错误在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

2008年1月

目 次

0 绪论	1
0.1 爆破器材的历史和发展	1
0.2 工程爆破的方法和技术	3
0.3 工程爆破技术的应用和发展	7
1 爆炸的理论基础	15
1.1 爆炸的基本特征	15
1.2 炸药化学变化的基本形式	17
1.3 炸药的热化学参数	23
1.4 炸药的爆轰	40
2 爆轰波的流体力学理论	65
2.1 爆轰波的基本方程	66
2.2 爆轰波定型传播的条件	71
2.3 爆轰波反应区的结构	74
2.4 凝聚炸药爆轰参数的近似计算	76
2.5 影响炸药爆轰速度的因素	79
2.6 爆速的测定	83
2.7 炸药做功形式及殉爆	84
2.8 聚能效应	92
3 炸药的起爆与感度	109
3.1 炸药起爆的基本理论	110
3.2 炸药的感度	113

4	工业炸药	122
4.1	炸药的分类	122
4.2	工业炸药的原材料	126
4.3	常用工业炸药	129
4.4	常用火药	139
5	起爆器材	142
5.1	雷管	142
5.2	导爆索	151
5.3	继爆管	154
5.4	导火索	156
5.5	导爆管	157
6	起爆方法	161
6.1	导火索起爆法	161
6.2	导爆索起爆法	162
6.3	导爆管传爆法	165
6.4	电力起爆法	171
7	岩石爆破作用原理	179
7.1	爆炸应力波的基本知识	179
7.2	应力波的反射与透射	182
7.3	岩石的动载特性	184
7.4	爆破作用原理	189
7.5	装药的内部作用和外部作用	191
7.6	利文斯顿爆破漏斗理论	195
8	井巷、隧道掘进爆破	205
8.1	井巷掘进爆破	206
8.2	隧道掘进爆破	218
8.3	光面爆破	227
8.4	预裂爆破	231

8.5	瓦斯隧道爆破技术	232
8.6	爆破说明书和爆破图表	237
9	深孔爆破	239
9.1	地下深孔爆破	239
9.2	露天深孔爆破	247
9.3	提高爆破质量的技术措施	263
10	拆除爆破	265
10.1	拆除爆破概述	265
10.2	拆除爆破的基本原理	267
10.3	拆除爆破的设计原理和方法	270
10.4	拆除爆破技术设计	272
10.5	拆除爆破的施工与安全防护	281
10.6	烟囱与水塔的拆除爆破	284
10.7	楼房、厂房的拆除爆破	288
10.8	基础类构筑物的拆除爆破	295
10.9	桥梁的拆除爆破	298
10.10	水压拆除爆破	299
10.11	拆除爆破实例	307
11	硐室爆破	316
11.1	硐室爆破抛掷作用的基本原理	316
11.2	硐室爆破设计原则及设计内容	321
11.3	爆破参数的选取	326
11.4	装药量计算	330
11.5	硐室爆破可见漏斗深度及方量堆积计算	333
11.6	硐室爆破施工设计	339
12	爆炸的危害及爆破安全	342
12.1	爆破地震	342
12.2	爆炸空气冲击波	354
12.3	爆破噪声	361

12.4 爆破破片与爆破飞石.....	363
12.5 爆破对环境的有害影响.....	368
参考文献.....	373

0 绪 论

0.1 爆破器材的历史和发展

火药是我国对世界人类文明作出重大贡献的四大发明之一。早在公元 808 年以前,我国炼丹家就发明了以硫黄、硝石和木炭为原料配制的黑火药。10 世纪,我国开始将黑火药应用于军事,而且是世界上第一个爆炸性武器——铁火炮的发明者。大约在 13 世纪,黑火药经印度、阿拉伯国家传入欧洲,并发展成为大型火炮的发射药和弹体炸药。17 世纪便有了利用黑火药开采矿石的记载,黑火药在采矿工业中的应用标志着中世纪的结束和工业革命的开始。其后,又出现了许多专家研究爆破技术的著作和设计计算公式。然而,工程爆破技术的快速发展和推广应用,却是在 19 世纪中末期随着许多新品种工业炸药的发明之后。

1778 年, L. G. 布朗哈里特发现雷汞; 1799 年, 英国人高尔瓦德制成了雷汞; 1831 年美国毕克福特 (Bickford) 发明了导火索; 1863 年 10 月, 阿尔弗雷德·诺贝尔 (Alfred Bernhard Nobel) 获得发火件 (雷管) 的发明专利权; 1867 年瑞典化学家诺贝尔用硅藻土吸收硝化甘油 (NG) 制成稳定的黄色炸药——代纳迈特 (Dynamite)。此后, 瑞典的化学家奥尔森 (Olsson) 和诺宾 (Norrbein) 1867 年首次研制成功了以硝酸铵和各种燃料制成的混合炸药 (硝酸铵类炸药), 使工程爆破应用的最基本爆破器材得以完善。同时, 也奠定了硝酸铵类炸药和硝化甘油类炸药相互竞争发展的基础。

进入 20 世纪, 随着科学技术的进步和理论研究成果的应用, 爆破器材和爆破技术也有了长足的发展。1919 年出现了以泰安为药芯的导爆索; 1927 年又在瞬发电雷管的基础上研制成功了秒延期电雷管; 1946 年研制成功了毫秒电雷管; 1950 年以后, 铵油炸药 (ANFO) 由于起爆安全性得到了推广应用; 1956 年库克 (Cook) 发明了浆状炸药, 开辟了硝酸铵类炸药应用的新领域, 解决了粒状硝酸铵类炸药不适用于水孔爆破的难题, 也就是硝酸铵类炸药的防水问题; 1967 年瑞典诺贝尔炸药公司 (Nitro Nobel AB) 取得导爆管专利; 1977 年美国的阿特拉斯炸药公司 (Atlas Power Co) 生产出工业用小直径雷管敏感的乳化炸药。高精度电子雷管是一种可精确设定并准确实现延期发火时间的新型电雷管, 具有雷管发火时刻控制精度高、延期时间可灵活设定两大技术特点。电子雷管的延期发火

时间由其内部的一只微型电子芯片控制,延时控制误差达到微秒量级。对岩石爆破工程来说,高精度电子雷管实际上已达到了起爆延时控制的零误差。更为重要的是,雷管的延期时间是在爆破现场组成起爆网路后才予以设定的。电子雷管技术的研究开发工作,大约始于20世纪80年代初,到80年代中期,电子雷管产品开始进入起爆器材市场,但总体上还处于技术与产品研究开发和应用试验阶段。1993年前后,瑞典Dynamit Nobel公司、南非AEL公司分别公布了他们的第一代电子雷管技术和相应的电子延期起爆系统。在整个20世纪90年代,新型电子雷管及其起爆技术获得了较快发展,两家公司又分别于1996年、1998年公布了他们的第二代技术。1998年之后,为了抢占技术和产品市场,Dynamit Nobel公司又在法国注册了Davey Bickford公司,开发生产Daveytronic电子雷管系统,与Orica公司合资在德国注册了精确爆破系统公司(Precision Blasting System),开发生产PBS电子雷管系统;在南非,AEL公司又开发了一种注册商标为Electrodet[®]的电子雷管起爆系统,还出现了SaSol矿用炸药公司等多家开发、生产电子雷管的新公司。与此同时,全球范围内相继出现了其他品牌的电子雷管系统,电子雷管技术逐渐趋于成熟和爆破工程实用化。

我国早在20世纪30年代的抗战时期,就发明和使用了以硝酸铵和液体可燃物组成的炸药(铵油炸药的雏形)。新中国成立后,随着国民经济的迅速发展,建立了炸药厂,才真正有了自己的工业炸药。1953年我国开始生产以硝酸铵为主要成分,含有梯恩梯、木粉等成分的粉状硝酸铵类炸药(简称粉状铵梯炸药),年产量为 2×10^4 t,以后逐年上升。1957年长沙矿山研究院等单位对粉状铵油炸药进行了比较深入的研究,1963年以来铵油炸药得到了全面的推广和应用。我国从1959年开始研制浆状炸药,20世纪60年代中期在矿山爆破工程中获得应用,20世纪70年代初期,我国浆状炸药发展十分迅速,浆状炸药装药车和可泵浆状炸药的出现,更好地满足了露天爆破作业的需要。我国从70年代后期开始研制乳化炸药,而且还独创了国外没有的粉状乳化炸药;不仅有了露天型乳化炸药混装车,而且利用水环减阻技术,发展了地下小孔径乳化装药车;乳化炸药生产技术和装药车不仅满足了国内的需要,而且出口到瑞典、蒙古、俄罗斯、越南、赞比亚等国家。

在起爆器材方面,新中国成立初期我国只能生产导火索、火雷管和瞬发电雷管,随后便可以生产和应用毫秒、秒延期电雷管。到20世纪70年代初期,阜新矿务局十二厂(现在为阜新圣诺化工有限责任公司)生产了导爆索—继爆管毫秒延期起爆系统。20世纪70年代末期我国自行研制出了塑料导爆管及其配套的非电毫秒、半秒、秒延期起爆雷管,由于该种起爆器材的优越性,使其在露天矿山爆破、部分地下矿山爆破、土石方爆破和城市拆除爆破等工程领域中得到了广泛的应用。20世纪80年代中期,根据电磁感应原理我国研制生产了磁电雷管,该产品在油、气井爆破作业中获得了应用。为了便于爆破后的检查,20世纪90年代相继出现了变色塑料导爆管(激发后导爆管可变成黑色、粉色等)。近年来,30段等间隔(25ms)毫秒延期雷管已研制成功并投入使用。高强度导爆管雷管

的开发与应用,使逐孔起爆技术得以实现。低能导爆索 (3.0g/m, 1.5g/m)、高能导爆索 (34g/m 及其以上)、普通导爆索、油井导爆索和安全导爆索等已形成了配套的系列产品。为提高深孔爆破的起爆能量还研制和应用了起爆具。我国近几年民爆产品生产量增长情况见表 0-1。

表 0-1 近几年主要民爆产品生产量增长情况

产 品 名 称	2002 年生产量	2003 年生产量	2004 年生产量	2005 年生产量	2006 年生产量
工业炸药/t	1560791	1852539	2160697	2407516	2615700
工业雷管/万发	229946	269547	302678	315238	319000
工业索类火工品/ $\times 10^4$ m	163880	191723	231864	253864	292000

注: (1) 工业炸药包括: 乳化炸药、铵油炸药、铵梯炸药。

(2) 工业雷管包括: 工业火雷管、工业电雷管、工业导爆管雷管。

(3) 工业索类火工品包括: 工业导火索、工业导爆索、塑料导爆管。

民爆器材行业被称为“能源工业的能源, 基础工业的基础”, 该行业的发展状况对基础工业、基础设施建设业等行业的依赖性较强。而基础工业、基础设施建设业又是对国民经济发展有重要影响的行业, 与宏观经济的相关性极高。随着爆破技术水平的提高和爆破器材产品性能的改进, 爆破器材在工程领域的应用不断扩大。目前, 在冶金、煤炭、水电、土建、铁道、交通、航运、石油、天然气、机械制造等工业部门, 爆破器材已广泛应用于矿山开采、岩石爆破工程开挖、油气开采等工程建设和生产领域。我国民爆器材行业经过 50 多年的努力, 特别是改革开放以来的迅速发展, 已形成产品比较齐全、能力比较充足的工业体系, 主要产品有工业炸药、工业雷管、工业导火索、工业导爆索、非电导爆系统、起爆药、爆破剂、震源器材、油气井用爆破器材和起爆具等 19 大类、110 多个品种。发展乳化炸药、粉状乳化炸药、膨化硝铵炸药, 以及电雷管、导爆管雷管及高精度、安全型雷管和新型起爆药是未来的方向, 传统民爆器材将逐渐被取代。

0.2 工程爆破的方法和技术

工程爆破与军事爆破不同, 它是以破坏的形式达到新的建设目的。定向爆破破坏原有地形可建蓄水灌溉池、水库筑坝、路堤; 一次土石方爆破炸掉一个或半个山头可建成铁路或公路路堑。向地下深处实施台阶爆破可进行采矿, 水下爆破炸除礁石或加深河道, 有利于船舶的航行; 房屋或其他建筑物的爆破, 也是为了清障立新。

工程爆破作为一项科学技术的出现, 是随着社会实践发展起来的。工程爆破的目的是在破坏中求发展和建设, 是为了特定的工程项目而进行的, 爆破的结果必须满足该工程的

设计要求,同时还必须保证其周围人和物的安全。这就意味着在爆破理论的指导下进行的爆破设计应该科学、可靠。爆破方法和爆破技术经过几百年的发展和完善,已经形成了根据不同的爆破对象、爆破目的和周围环境达到爆破要求的具体方法和技术。因此,可以说爆破是利用炸药的爆炸能量对介质做功,以达到预定的工程目标的作业。

0.2.1 工程爆破方法

工程爆破方法根据药包形状和装药方式与装药空间形式不同分为两大类。

0.2.1.1 按药包形式分类

按药包形状分类即按炸药的爆炸作用及其特性进行分类,可以分为集中药包法、延长药包法、平面药包法、形状药包法4种。

1. 集中药包法

从理论上讲,这种药包的形状是球形,起爆点从球体的中心开始,爆轰波按辐射状以球面形式向外扩张,即爆炸作用以均匀的分布状态作用到周围的介质上。然而在工程实际中几乎不可能将药包加工成这种形状,通常将药包做成正立方体和长方形体形状,长方体的最长边不超过最短边的6倍。此时的药包可以称为集中药包,通常把集中药包的爆破叫做药室法和药壶法。

2. 延长药包法—柱状药包

把药包做成长条形,可以是圆柱状也可以是方柱状,但一般的情况下均为圆柱状。炸药一旦被激发爆炸,所产生的爆轰波的波阵面形式为圆柱状,即爆炸后形成的爆轰波以柱面波的形式向四周传播,并作用到周围介质上。通常把药包长度大于最短边或直径6倍的药包叫做延长药包。在实际工程应用中,深孔法、炮眼法和药室法爆破中的条形药包爆破法都属于延长药包法。

3. 平面药包法

这种药包的爆破不同于前两种方法,它不需要钻孔也不需要挖药室,而是直接将炸药敷设在介质表面,因此爆炸作用只是在介质接触药包的表面上,大多数能量都散失到空气中去了,所产生的爆轰波应看做平面波。例如,在加工机械零部件时采用圆饼状的药包,爆破时包覆在介质的表面,这就是加工机械零部件的爆炸加工法。但是,在药室爆破中的平面药包法,则与此不同,它是以等效作用的集中药包或条形药包按一定间距布成一个装药平面,爆破时产生的爆轰波也近似于平面波。

4. 形状药包法

这是将炸药做成特定形状的药包,用以达到某种特定的爆破作用。最广泛的是聚能爆破法,这种方法是将药包外壳的一端加工成圆锥形或抛物线的凹穴,使炸药爆炸所产生的爆轰波按圆锥形或抛物线凹穴的表面聚集在它的焦点或轴线上,形成高能射流,击穿与它接触的介质的某一部位。这种药包在军事上用作穿甲弹以穿透坦克的甲板或其他军事目

标；在实际工程中应用于切割金属板材（例如，旧船体的切割、钢结构建筑物和构筑物的拆除等）、岩石大块的二次破碎以及在冻土中的穿孔等。

0.2.1.2 按装药方式与装药空间形状的不同分类

按装药方式与装药空间形状的不同可分为药室法、药壶法、炮眼法和裸露药包法 4 种爆破方法。

1. 药室法

这是大量土石方挖掘工程中常用的爆破方法。它的优点是施工机具比较简单，不受地理条件和气候限制，工程数量越大工效越高。一般说来，药室法爆破根据在岩体内开挖药室体积的大小，还可以分为大型药室法、小型药室法和条形药室法 3 种，每个药室装入的炸药的容量，小到几百公斤，大到几百吨，条形药室的容量可以达到几千吨，我国曾进行过多次千吨和万吨级的大爆破。

2. 药壶法

在普通炮孔的底部，装入小量炸药进行不堵塞爆破，使孔底经多次爆破扩大成圆壶形，以求达到装入较多药量的爆破方法。药壶爆破法属于集中药包类，适用于中硬岩石的爆破，能在工程数量不大，钻孔机具不足的施工条件下，以较少的炮孔爆破，获得较多的土石方量，目前这种爆破方法只在个别条件下使用。

3. 炮眼法

通常根据钻孔孔径和孔深的不同，把孔深不小于 5m，孔径不小于 50mm 的炮孔叫做深孔爆破，反之称为浅孔爆破和炮眼法爆破。从装药结构上看，炮眼法属于延长药包一类，是工程爆破中应用最广泛、数量最大的一种爆破方法。

4. 裸露药包法

这是一种最简单、最方便的爆破施工方法。进行裸露药包爆破作业不需钻孔，直接将炸药敷设在被爆破物体表面并加以简单覆盖。这种爆破方法往往应用于清除危险物、交通障碍、大块岩石的二次破碎、危岩的处理等。

0.2.2 工程爆破技术

整体地掌握各种爆破技术，既要有一定的数学、力学、物理、化学和工程地质知识，还要有一定的施工工艺经验的积累，作为爆破工程技术人员应熟悉各种介质的物理力学性质、爆破作用原理、爆破方法、起爆方法、爆破参数计算原理、施工工艺方面的知识。同时还要熟知爆破时所产生的地震波、空气冲击波、碎块飞散、破坏范围等爆破作用规律，以及相应的安全防护知识。

0.2.2.1 定向爆破

定向爆破简单地说就是使爆破后土石方碎块按预定的方向飞散、抛掷和堆积，或者使被爆破的建筑物按设计方向倒塌和堆积。土石方的定向抛掷要求药包的最小抵抗线的方向

或经改造的临空面而形成的最小抵抗线的方向指向所需抛掷、堆积的方向；建筑物的定向倒塌则需利用力学原理布置药包，以求达到设计目的。

定向爆破的技术关键是要准确地控制爆破时所要破坏的范围以及抛掷和堆积的方向与位置，有时还要求堆积成待建构筑物的雏形（如定向筑坝），以便大大减少工程费用和加快建设进度。通常采用药室法或条形药包（药室）法对大量土石方进行定向爆破；对建筑物拆除的定向倒塌爆破，除合理布置药包位置外，还须从力学原理上考虑爆破时各部位的起爆时差、受力状态以及对旁侧建筑物的危害程度等一系列复杂的问题。

0.2.2.2 预裂爆破、光面爆破

光面爆破是沿开挖边界布置密集炮孔，采取不耦合装药或装填低威力炸药，在主爆区之后起爆，可以形成平整轮廓面的爆破作业。预裂爆破是沿开挖边界布置密集炮孔，采取不耦合装药或装填低威力炸药，在主爆区之前起爆，从而在爆区与保留区之间形成预裂缝，以减弱主爆破对保留岩体的破坏，并形成平整轮廓面的爆破作业。两种爆破技术的最终目的和效果是一致的，都是使爆破后的岩面光洁和稳定，以保证围岩不受到破坏，二者的爆破作用机理也极其相似。二者的不同在于，预裂爆破是要在完整的岩体内，在爆破开挖前实施预先的爆破，使沿着开挖部分和不需要开挖的保留部分的分界线裂开一道裂缝，用以隔断爆破作用对保留岩体的破坏，并在工程完毕后，保留部分出现新的光滑面；光面爆破则是当爆破接近开挖边界线时，预留一定厚度的保护层（光爆层），然后对此保护层进行密集钻孔，这些炮孔在其他炮孔爆破后接续起爆，爆破后以求得到光滑平整的坡面和轮廓面。

0.2.2.3 微差爆破

微差爆破是一种巧妙地安排各炮孔起爆次序与合理起爆时差的爆破技术，由于通常爆破的时间间隔为毫秒级，所以微差爆破又可以称为毫秒爆破。正确地应用微差爆破可以减少爆破后出现的大块率，减少地震波、空气冲击波的强度和碎块的飞散距离，得到良好的爆破效果和便于清挖的堆积体。

微差爆破技术的关键是时间间隔的选择。合理的时差能保证良好的爆破效果；反之就造成不良后果，达不到设计目的，甚至出现拒爆、增大地震波的危害等事故。多段高精度非电毫秒雷管、电子雷管、磁电雷管的出现，为广泛地应用这种爆破技术提供了良好的条件。

微差爆破技术目前在露天和地下开挖及城市控制爆破中普遍应用。

0.2.2.4 控制爆破

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、施工与防护等技术措施，严格地控制爆炸能量释放过程和介质破碎过程，既要达到预期的爆破效果，又要将爆破范围、方向及爆破地震波、空气冲击波、噪声和破碎物飞散等危害控制在规定限度

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。

城市拆除爆破只是控制爆破领域内的一个组成部分。严格地讲,凡属工程爆破都是有控制的爆破。

0.2.2.5 聚能爆破

聚能装药由于其特殊的装药结构(通常是装药底部覆以金属药型罩)而具有非同寻常的定向能作用。聚能装药在爆炸时能够将爆炸产生的巨大能量在某一方向上形成具有高能量密度、高运动速度的金属弹丸或金属射流,集中向前运动,对于各种金属或非金属材料具有强烈的穿透破坏作用,因而在军事上广泛用于武器弹药设计,是设计打击各种技术兵器的武器战斗部分采用的主要方式,现有国内外的主要常规武器的弹药战斗部分几乎都无一例外地采用了聚能装药结构。可以说,聚能装药的采用使得武器的杀伤威力和效能得以大大提高。

聚能装药在和平时期的经济建设领域也得到了大量的应用,如工业爆炸切割、爆破穿孔等。据大量的资料报道,近些年来,以聚能装药为结构主体开发的爆炸切割器、爆破穿孔器、井下钻杆切断器、航天器上采用的开关解脱装置,以及高压开关爆炸开断装置等在工业建设中得到了较为广泛的应用。因此,对聚能装药本身的研究自20世纪50年代以来无论在国内还是在外国都有较大的发展。相比较来说,聚能装药在军事上的应用要更为深入和广泛。尽管如此,人们仍然在不懈地研究和探索聚能装药在武器研究和开发中的新的应用领域。

0.2.2.6 其他特殊条件下的爆破技术

爆破技术工作者有时会遇到某种不常见的特殊工程问题,采用常规的技术和方法难以解决,或因时间紧迫及条件的限制而不能正常进行施工,这就要求工程技术人员根据自己所掌握的爆破作用原理和工程爆破的基础知识,大胆采用新的爆破方案,仔细地进行设计计算。有条件时还可以进行试验研究,按照精心设计、精心施工的精神,组织工程实施,解决工程难题。这种特殊的爆破往往应用于抢险救灾、森林失火、油井灭火、抗洪堵水和泥石流、爆破注浆,以及疏通冰凌或木材堵塞的河道,水底炸礁或清除沉积的障碍物,处理软土地基或液化地基、切除桩头地基、水下压缩淤泥地基,排除悬石、危石和炸除烧结块或炉瘤等。

0.3 工程爆破技术的应用和发展

工程爆破的发展和水平的提高,始终与爆破理论的发展、爆破器材和起爆器材性能可靠性的提高、品种的多元化以及施工机具性能改善相互依赖。我国工程爆破的发展历程也证明了这一点。

0.3.1 国内工程爆破技术的应用和发展

0.3.1.1 硐室爆破

硐室爆破在我国矿山、铁道、水利水电、公路等建设中获得了广泛的应用。炸药用量从几百公斤到几百吨，而条形药包的容量可以达到几千吨，甚至上万吨。例如，1956年我国甘肃省白银厂露天矿建设的剥离硐室爆破，其炸药量达 $1.564 \times 10^4 \text{t}$ ，爆破方量为 $9.077 \times 10^6 \text{m}^3$ ，这次大爆破为我国首次万吨级硐室大爆破；1992年12月28日广东省珠海炮台山的移山填海大爆破工程中，总炸药量为 $1.2 \times 10^4 \text{t}$ ，一次性爆落破碎和抛掷方量达 $1.0852 \times 10^7 \text{m}^3$ ，有效抛掷率为 51.36%，控制方向的飞石不超过 300m，临近爆区 600m 的民房无倒塌，达到了设计要求。我国千吨级以上的硐室爆破见表 0-2。除此之外，利用硐室爆破筑坝技术在矿山尾矿库、大中型水库等工程建设中已经成功应用，全国已筑坝 60 余座，在实践工程中取得了丰富的经验。

表 0-2 我国千吨级以上的硐室爆破

序号	时间	地 点	爆 破 类 型	爆破量/ 10^4m^3	炸药总 量/t	炸药单位消耗 量/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	抛掷率/ %
1	1956	甘肃省白银厂露天矿	加强松动和抛掷	907.7	15640	1.46	25.1
2	1964	甘肃省金川镍矿	加强松动	218.4	1655	0.724	
3	1969.12	广东省南水电站	定向抛掷爆破	100	1394		
4	1971	攀枝花狮子山铁矿	分层加强松动	1140	10162	0.871	
5	1973.5	陕西省石峪水库	定向抛掷爆破	136	1575		
6	1978	江西省永平铜矿	加强松动	114.2	1001	0.69	
7	1985.9	福建省顺昌洋菇山	准平台药包抛掷 爆破	122.2	1702	1.4	84.2
8	1991	广东省惠州芝麻州	定向接力抛掷爆破	1082	3750		
9	1992	广东省珠海炮台山	加强松动和抛掷	1085.2	12000	0.817	51.36%
10	1992	广东省马鞭州第二炮	一侧抛掷，一侧 松动	118	1350	1.14	49.6
11	1993.7	广东省珠海铁头 嘴山	定向抛掷、填海抛 松结合	127	1165.5	0.88	42.8
12	1994	贵州省贵阳龙登堡 机场	松动爆破	225	3010	1.18	
13	1995.10	福建省漳州经济开 发区	松动爆破	181	1240	0.829	

表 0-2 (续)

序号	时间	地 点	爆 破 类 型	爆破量/ 10^4 m^3	炸药总 量/t	炸药单位消耗 量/ $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	抛掷率/ %
14	1997. 11	福建省上杭紫金山 金矿	抛掷爆破	125	1036		62. 6
15	2002. 12	首钢大石河铁矿	抛掷爆破	181	1301	0. 728	60
16	2007. 12	宁夏回族自治区汝箕沟 矿区		633	5500		

0. 3. 1. 2 深孔爆破

随着钻孔机具性能的改善和提高, 深孔爆破技术已经相当完善。该项爆破技术不仅广泛应用于地下矿山、铁道、公路、水利水电建设的基坑路堑开挖工程, 还应用于采石场、工业广场平整、露天矿山的剥离和采矿以及大型隧道的掘进等爆破作业中。深孔爆破根据工程要求先后发展了微差爆破、挤压爆破(压碴爆破)、预裂爆破、光面爆破等。例如, 北京矿冶研究总院、凡口铅锌矿和铜陵有色金属公司狮子山铜矿研究应用的大直径深孔球形药包爆破技术, 地下采矿多排同段爆破技术; 广西柳桂高速公路 27m 超深孔高台阶光面爆破; 三峡工程永久船闸约 $1.0 \times 10^7 \text{ m}^3$ 深闸室开挖百米高稳定边坡控制爆破技术; 京广复线大瑶山隧道 5m 深孔掘进爆破技术; 青岛市环胶州湾高速公路山角村段一次实施路堑长 470m、共 32 排、3080 孔的深孔拉槽导爆管雷管非电起爆的控制爆破; 大区多排微差爆破技术在南芬等大型露天矿的应用, 一次微差段数达 100 余段, 炮孔超过 500 个, 对孔网参数、装药结构、起爆顺序、爆破网路的可靠性等进行了深入的研究; 平朔露天煤矿已经采用逐孔起爆技术进行生产。同时, 装药车的应用使我国的深孔爆破技术达到了一个新的水平。

0. 3. 1. 3 复杂环境下的深孔爆破

在城镇进行工程爆破时, 对技术上的要求与野外的爆破作业有着很大的差别。首先, 要保证爆区周围的任何建(构)筑物及各种设备、设施的安全; 其次, 装药量不能过多, 而炮孔的数量却远远超过野外土石方爆破。目前, 我国爆破工程技术人员已经创造了许多新技术、新工艺和新经验。例如, 1982 年湖北省爆破学会在高达 221m 的武汉市电视塔基础开挖工程中, 应用控制爆破技术开挖了近 8000 m^3 的岩石, 确保了距爆源仅 3m 的发射塔、周围建筑群及百米处长江大桥的安全; 1996 年由辽宁工程技术大学施工的福(州)泉(州)高速公路福州连接段广福山公园的路堑爆破工程中, 爆破方量为 $3.0 \times 10^5 \text{ m}^3$, 最大挖深 34m, 最近的居民楼房距爆区仅 10 余米, 钻孔采用 KQ170 潜孔钻。在爆破技术