

5(3)7

855671

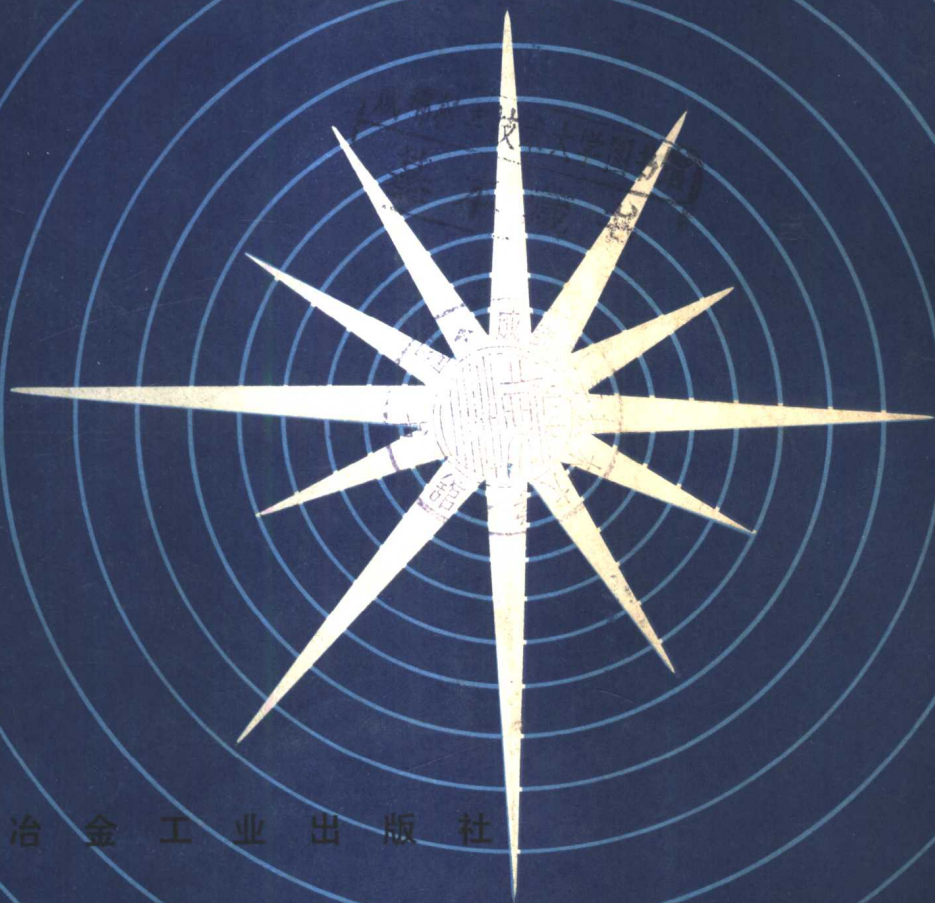
50477

2.3

# 工程爆破文集

全国工程爆破学术会议论文选

第三辑



冶金工业出版社



5(3)7

—

56477

т. 3

# 工程爆破文集

全国工程爆破学术会议论文选

## 第三辑

中国力学学会工程爆破专业委员会 编

冶金工业出版社

## 内 容 提 要

本书是第三届全国工程爆破学术会议论文选编,它反映了我国近四年来在工程爆破各个领域所取得的新成就和新经验。它的主要内容包括:爆破基础理论的研究、复杂环境下的建筑物拆除技术、硐室爆破技术、深孔爆破技术、特殊爆破技术、新型爆破器材、新型起爆网路、爆破安全技术以及爆破测试技术。

本书可供冶金矿山、煤炭、地质、石油、化工、建筑、建材、铁道、交通运输、水利电力、农田基建和国防等部门从事工程爆破的科研、设计和施工的工程技术人员以及大专院校和中等技术学校有关专业的师生参考。

## 工 程 爆 破 文 集 全国工程爆破学术会议论文选 第 三 辑 中国力学学会工程爆破专业委员会 编

冶 金 工 业 出 版 社 出 版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张 17 1/2 字数 414 千字

1988年3月第一版 1988年3月第一次印刷

印数00,001~2,200册

ISBN 7-5024-0063-X

TD·19 定价4.35元

## 编 委 会

**主编** 冯叔瑜

**副主编** 边克信 霍永基 杨振声

**编委** (以下按姓氏笔划为序)

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 马乃耀 | 马柏林 | 王中黔 | 王廷武 | 王文龙 |
| 王鸿渠 | 龙维祺 | 史家埭 | 朱忠节 | 朱瑞赓 |
| 朱德达 | 许连波 | 刘清荣 | 刘殿中 | 吴灵光 |
| 汪旭光 | 杨善元 | 张正宇 | 张建华 | 林学圣 |
| 陈宝基 | 金星男 | 庞维泰 | 徐天瑞 | 钱瑞五 |
| 钮 强 | 陶颂霖 | 周家汉 | 狄建华 | 黄元清 |
| 董振华 | 谢泰极 | 缪垂祖 |     |     |

## 前 言

1986年4月1日至5日中国力学学会工程爆破专业委员会在南京召开了第三届全国工程爆破学术会议,大会收到有关爆破理论、新的爆破技术、拆除爆破、爆破安全技术、新型爆破器材以及爆破测试技术等方面的论文121篇。参加大会的代表为308名,来自全国27个省市自治区、十几个系统和200多个单位。参加大会代表的人数是空前的,这说明随着四化建设的开展,工程爆破技术的应用已广泛深入到国民经济建设中的各个领域,工程爆破专业欣欣向荣兴旺发达。

大会交流和总结了自第二届全国土岩爆破经验交流会议以来,在工程爆破各个领域中所取得的成果和经验。在会议上交流的论文内容丰富,涉及的面广,基本反映了四年来在我国工程爆破领域中所取得的经验和成绩,这些成绩表现在:

在爆破理论研究方面,有以下两个特点,其一是把爆炸力学与岩石动力学有机地结合起来,互相渗透。使爆破理论研究的深度和广度都有了提高。同时测试技术有了新的发展,也促进了爆破理论研究的深入。另一特点是把工程实践与理论研究密切结合起来,在大会交流的工程类型的论文中,大多数都具有一定水平的理论分析,把工程实践经验上升到了理论或半理论与半经验的高度。

随着城市和厂矿的扩建和改建,拆除爆破得到了空前的发展,拆除爆破技术和理论研究都有了新的提高。城市的复杂环境和各种危害因素增加了拆除爆破的难度,对拆除爆破提出了更高的要求。为了满足复杂环境下拆除爆破的要求,不少研究报告把爆炸力学与结构力学结合起来,并通过实验观测对拆除爆破机理进行了研究,既提高了学术水平,又为拆除爆破设计方法的进一步完善提供了可靠的依据。

V.C.R采矿法在凡口铅锌矿的试验成功是近年来在地下矿山深孔爆破中又一新的成就,该科研项目荣获国家科技进步奖。

我国硐室爆破有着丰富的工程实践并广泛开展了理论研究工作。近年来由于环境和工艺对硐室爆破提出了更高的要求,促进了硐室爆破技术和理论的更深入研究,提出了一些新的设计方法。在工程设计方面,开始用电子计算机程序来进行部分设计。

在过去四年中,出现了一些新的爆破器材和起爆方法,例如低能导爆索、电雷管的磁引爆装置和网格式导爆管起爆网路等等均达到了国际先进水平。

为了及时推广大会所取得的成果和经验。工程爆破专业委员会决定成立编辑委员会,选编出版第三辑文集,在会议推选的基础上,经过全体编委的审查讨论,最后选入文集中的论文为32篇。这些选入的论文基本上反映了近四年来我国工程爆破各个领域的成就。同时必须说明,由于《文集》篇幅有限,不可能将大会交流的论文都收入《文集》中,同时在编审过程中由于受到编委的水平限制,难免有遗漏和错误的地方,编委会在此表示歉意。

附带说明,由于工程爆破应用的领域越来越广阔,工程爆破的对象不只局限于土岩介质。为了名实相符,从本届起,原《土岩爆破文集》更名为《工程爆破文集》。

编委会

1987年2月10日

# 目 录

## 前言

1. 我国工程爆破的进展与前景——第三届全国工程爆破学术会议综合报告——  
.....冯叔瑜 霍永基 边克信 (1)
2. 定向爆破筑高坝的成就和任务.....霍永基 (8)
3. 国内拆除爆破综述.....林学圣 沈贤玘 阎家良 (15)
4. 工程爆破CAD程序的研究.....刘运通 (21)
5. 论岩石爆破性及其分级.....钮强 等 (31)
6. VCR采矿法凿岩爆破计算机模拟和优化.....宋晓天 (39)
7. 微差爆破技术的研究.....鲍光谟 (48)
8. 爆破空气冲击波沿井巷传播的特性和危害作用的研究.....李玉民 胡 峰 (56)
9. 构件在冲击载荷作用下的解体判据问题.....庞维泰 金宝堂 (66)
10. 土中爆炸空腔周围裂缝的形成机理.....许连坡 (75)
11. 直眼掏槽中空孔作用的试验研究.....杨善元 刘殿书 (88)
12. 延长药包水压爆破特性的试验研究.....冯叔瑜 张志毅 (96)
13. 爆破震动对龙门石窟的影响测试研究报告.....  
.....杨振声 周家汉 周丰俊 李柏松 等 (104)
14. 爆破拆除建筑物时震动安全距离的确定.....周家汉 陈善良 杨业敏 戴铭荣 (112)
15. 钢筋混凝土柱的爆破试验研究.....金星男 (120)
16. 不偶合直列装药封闭爆破的压缩效应.....沈贤玘 林学圣 (127)
17. 爆破拆除高耸建筑的几个力学问题.....姚 尧 赵福兴 (135)
18. 球形药包漏斗爆破的应用研究和 VCR 采矿法.....孙忠铭 (142)
19. 爆破器材仓库的内、外部距离问题.....徐天瑞 (152)
20. 混凝土实体构筑物切割爆破的设计及工程实例.....杜建科 (158)
21. 黄土硐室爆破的变形位移测量及分析.....林颂恩 (164)
22. 分段折叠爆破.....蒋 锐 (171)
23. 厂房设备基础拆除爆破的研究.....胡 峰 李玉民 (177)
24. 五层大楼的倾斜坍塌爆破拆除.....冯叔瑜 马乃耀 洪德君 (184)
25. 厦门宾馆五号楼的爆破拆除.....柯吉悬 陈大弼 金骥良 王中黔 (190)
26. 工程爆破对铁路隧道破坏效应的调查与分析.....边克信 刘殿中 贾浚川 (199)
27. 顺昌洋菇山石灰石矿平面药包定向抛掷爆破.....史家增 (206)
28. 沙岭子隧道软弱围岩光面爆破.....刘汉丞 武继华 (214)
29. 石材成型低压切割爆破机理初步研究.....蒋进军 刘清荣 (226)
30. 多排同段爆破技术在铜陵狮子山矿的应用.....温世恂 (231)
31. 高密度乳化炸药的研制及在 VCR 方法中的应用.....钟荫庭 周大明 汪旭光 (237)
32. 露天梯段爆破孔网参数设计及施爆.....谢泰极 (248)

# 1. 我国工程爆破的进展与前景

## ——第三届全国工程爆破学术会议

### 综合报告——

冯叔瑜 (铁道部科学研究院)

霍永基 (水利水电科学研究院)

边克信 (有色冶金设计总院)

#### 摘 要

本文综合阐述了我国从第二届全国土岩爆破经验交流会至第三届工程爆破学术会议期间工程爆破的科学技术成就, 分别就爆破器材、爆破理论和技术进展、爆破安全技术和今后发展前景作了概括性的论述, 以便读者能对上述问题有比较全面的了解。

#### 一、第二届年会以来的概况

1982年10月在福州召开第二届全国土岩爆破学术经验交流会议到现在快四年了, 在中国力学学会的领导下和同行同志们的积极支持下, 在此期间学会工作有很大的发展, 取得了很多好的成果, 这是我们值得快慰的事情。

首先, 我们在原土岩爆破专业组的基础上, 经力学学会理事会批准, 升级为工程爆破专业委员会, 这是全国性的二级学术组织, 并在1983年4月在广州召开了全体专业委员的会议, 正式成立了工程爆破专业委员会, 会上讨论确定了将要开展工作的方向和具体工作项目, 同时还增聘了几位委员, 委员会扩大到了24人, 使我们委员会具有广泛的代表性, 团结更多同行业的同志, 共同为促进我国工程爆破的科学技术发展作出贡献。

为了配合正在制定的《中华人民共和国爆破安全规程》的颁布和贯彻执行广州会议决定筹办爆破技术学习班。为此, 委员会指定专人, 组织编写爆破技术人员学习班讲义和爆破员学习班讲义的两个写作班子。经过两年多的努力, 讲义初稿已经写成, 并于1985年8、9两个月和11、12两个月在北京先后举办了两期学习班, 学员来自全国各地各工矿企业。

举办学习班得到了公安部和劳动人事部的积极支持, 这次会后还将立即举办第三期爆破技术学习班, 经三期试讲后, 准备组织修改定稿, 然后向全国发行, 作为全国统一的培训教材。学习班的举办, 不但扩大了我们爆破行业的技术队伍, 同时也扩大了爆破技术的社会影响, 收到了一定的社会效果。

举办学习班提高了爆破作业人员的技术水平, 可以更好地贯彻执行全国爆破规程, 保证爆破作业的安全, 减少和避免生命财产遭受不应有的损失, 还有利于爆破学术和技术经验交流工作的开展。

专业委员会在筹备第三届年会期间, 还努力和国外同行学会取得联系, 以便打开我们长期的闭关自守状态, 为此学会鼓励了同志们向1987年6月即将在我国召开的“强冲击荷载

及其效应”的国际学术会议报送稿件,现已被选定了10篇稿件。今后我们还准备邀请国外有关学者来我国讲学,交流经验,或派出适当人员去国外考察学习,甚至考虑与国外联合召开国际性的爆破学术会议,扩大我们的眼界,增强信息联系。

在这期间,专业委员会还组织了编辑委员会,将第二届福州会议上的论文,选出48篇文章,编辑出版了《土岩爆破文集》(第二辑),深受读者欢迎。

四年来,爆破事业从理论研究到科学技术的实践经验都有了较大的发展,并取得了相应的成果。

作为国家重点科研项目的“七七工程”爆破安全技术试验,已经胜利完成,并在1985年通过了成果鉴定。这项几乎集中了全国爆破科研力量,经过七年努力完成的科研项目所收集的科研观测数据非常丰富,为今后进一步深入研究消化吸收提供了宝贵资料,通过成果鉴定,在许多方面有了新的发现和明确的认识。“七七工程”的另一重大收获是大量培养提高了我国爆破专业的科研人才;建立并加强了我国许多科研单位的科学试验手段,为今后爆破事业的发展打下了比较坚实的基础。

建国三十多年来,关于爆破作业安全技术的有关规定,一直由各部门自行制定,某些规定条例很不完善,安全事故时有发生,一项国家标准的统一安全规程亟待制定。为此,1983年起,冶金部接受了劳动人事部的委托,组织各方面和各部门的专业同志,编写制定全国统一的爆破作业安全规程,专业委员会的大部分同志都积极参加了这项工作,经过三年多的努力,已经完成了我国第一部爆破安全国家标准的编写工作,待最后审定颁发执行。

几年来全国各地爆破界的同志十分活跃,这是过去多年从未见过的,以前互不往来,甚至互相保密的现象有了大的改进,许多爆破专业同志比较多的地区和城市,开始了多方的接触和联系,有些还成立了地区性的专业学会。如湖北省爆破学会、云南爆破学会、陕西爆破学会以及太原、成都等地的爆破学会都已相继成立,还有一些地区也正在筹备酝酿之中,这是很好的事情,我们专业委员会表示热烈的赞成,并将尽力支持和加强和他们之间的联系。

另一个可喜的现象是全国许多大中城市都成立了爆破公司,有的城市还同时成立了几家公司。无疑,这对于国家建设和扩大、锻炼爆破技术队伍是有益的,但也有个别公司和人员掌握爆破技术不够,致使有的工程受到损失。建议公司之间加强联系,互相合作和支持,共同推进爆破事业的进步,同时也有利于当地公安部门的管理。

总之,这几年爆破事业有了比过去任何时期都快的发展,下面将分别按爆破学科领域内的各项情况作简略的介绍,以使大家能有较多的了解。

## 二、爆 破 器 材

我国每年采煤6~7亿吨,开采各种矿石4~5亿吨,开挖土石方工程上亿立方米,总的炸药耗用量约80~100万吨(未统计广大农村的用量),数量十分巨大。我国属于世界上几个生产炸药量最大的国家之一。但是,长期以来,炸药的品种单一,工程上常用的品种无非是硝铵、铵油、胶质等几种有限的炸药,爆破工作者几乎没有根据工程需要选择的余地。这种状况近年来有了较大的改变,特别是最近几年,油包水型的乳化炸药的出现和推广,正在逐渐取代传统的胶质炸药。从美国出版的“爆破工程师手册”上可以看到,在美国80年代已经不生产胶质炸药,而由乳化和其他抗水型炸药所代替,不难预见,我国EL系列和

RJ系列乳化炸药以及可以用在大直径袋装的EL-106和CLH系列乳化炸药的推广,即将取代使用和保管均有较大危险,而且价格昂贵的硝化甘油类胶质炸药。

近几年来,我国炸药生产正在向着适用于各种工程爆破的系列化方向发展,除了以前露天岩石炸药和煤矿开采的安全炸药外,多孔粒状铵油炸药有了正规化的工厂产品;有抗水硝铵、水胶、乳化等品种的防水、抗水炸药;有用于光面、预裂爆破的小直径低爆速炸药,还有不同威力直至无声破碎剂系列产品。初步形成了与工程爆破相适应的、配套的工业炸药系列。

作为起爆材料的工业雷管,近几年来有了较大的发展,毫秒管,包括电和非电的毫秒和半秒雷管的生产,不但从时间的准确度上有了大的进步。段数上也增加到了30段,延迟时间可以达到2秒以上,这对于矿山和其他石方工程采用微差爆破技术起了重要的推动作用。

无起爆药雷管的科研成果,是我国最近工业雷管的重大成就,现已作为专利向国外出口,推广使用后,将使爆破作业的安全性提到新的高度。还有抗杂散电流的雷管和电磁感应电起爆系统的研究成功,也都增加了爆破作业,特别在矿山地下开挖中的安全性,从而避免了许多因杂散电流而引起的爆破事故。

非电塑料导爆管在七十年代末试制成功以后,在我国爆破技术上有了重要的推动作用,由于它操作方便,安全可靠,很快地受到了广大的爆破作业人员的欢迎。据了解,许多生产单位,因为采用了非电塑料导爆管代替了长期习用的导火索、导爆索和电力起爆方法,使爆破事故由原来占各种安全事故的首位,降低到最末的或次要的地位。应该承认,这是爆破工程界同志们的一大福音,值得更加大力的推广应用。

目前我国生产塑料导爆管的厂家,已遍布全国各地,年产非电导爆管数以亿米计,在爆破技术上也起了重要的革新作用。对于非电导爆管的起爆技术,我们不仅学习了国外的先进方法,还自行研制了一系列的电脉冲起爆和代替雷管接力的连接块的传爆和分流元件,使非电导爆管网路的连接和起爆方法进入世界的先进行列。

近年来电力起爆器的发展很快,几个生产厂家都生产出不同起爆能力的系列产品,这些产品的起爆可靠,重量轻携带方便,使用操作简单都是它们的特点。一台可以携带的强力起爆器足以引爆上千发电雷管,与过去进行大量爆破作业要用笨重的移动式发电机供电相比,这是很大的进步,也是技术上的一大成就。

至于检查爆破安全的仪表,如爆破电桥、杂散电流检测仪雷电预警仪和爆速测量仪等电子仪器都在努力赶上世界先进产品并取得了可喜的成就。

### 三、爆破理论和技术进展

(1) 拆除爆破技术是工程爆破界近十年来在我国兴起的爆破技术的一个重要分支。这是因为大量工业、民用建筑物需要拆迁、改建这种客观条件发展起来的。

本届年会在早先收到并装订成册的94篇论文中就有有关采用控制爆破拆除建筑物的论文16篇,占了17%的比重。这些文章中分别介绍了拆除不同类型建筑物的爆破方法和经验,其中有的文章还从理论上作了探讨。令人感到兴趣的是16篇文章中有4篇专门探索了水压爆破的技术问题,说明同志们面向新的技术领域前进的可贵精神。

毫无疑问,在我国社会主义建设的新形势下,城市改造和工业改造中,还将有许多

多需要我们采用新的控制爆破技术去加以解决，许多新的问题还需要我们继续加以研究和探索，例如特高烟囱的定向倾倒的爆破方法就是一个急待解决的问题之一。

(2) 光面、预裂爆破也是近年来取得了重大成就的爆破技术的一个项目。葛洲坝、东江水电站等基坑开挖工程中，由于成功地采用了预裂爆破，数万平方米坑底和坑壁面免遭爆破作用的强力破坏，减少了清基工程量，不但保证水电工程质量要求，而且在经济上也取得很大的效益。

第二届全国年会以来，光面、预裂爆破在技术上又有了新的进展，这就是东江、紧水滩等水电站，在大坝基坑开挖工程中，首先试验成功了水平预裂爆破的方法，这应该使我们感到高兴和鼓舞。

在送交年会的94篇文章中，有关光面、预裂爆破的文章仍有7篇之多，说明这些同志对这项工作是感兴趣的。他们对预裂爆破的成缝机理从理论计算到具体的参数选择和工艺方法都做了许多工作。

(3) 深孔爆破在国外一向是应用范围最广，所占比重也是最大的，我国在深孔爆破技术的应用上，不但在露天爆破中数量巨大，在地下开挖中也占有很大的比重。

利用深孔爆破孔径大、孔眼深和装药量大的特点，结合新型潜孔钻机、液压钻机及独立回转式钻车和牙轮钻机的进步，与新型爆破器材如导爆管、微差雷管的发展，大大改善了起爆技术。因此，深孔爆破得到了相当良好的发展条件，无论在矿山或露天石方开挖工作中，已占有了主导地位，深孔爆破的理论和设计方法也日趋完善，随着机械化施工程度的提高，正逐步取代硐室药包法在过去所占的地位。

微差爆破、微差挤压爆破以及地下掘进的深孔爆破等技术，最近几年都有了新的进展，特别是深孔掏槽爆破，在隧道掘进中克服了沟槽效应，孔深5m的掏槽爆破，能够达到不留炮根或只留少量炮根的水平。

在有色矿山应用了球形药包漏斗爆破技术(VCR)和我国制造的柱状药包同段爆破(ZT)，这都是新近而又令人感到兴趣的经验。

(4) 硐室药包爆破法的应用，在发展中出现了一些新进展，在地形地质条件有利的情况下，采用条形药包代替过去力求集中的药室法爆破，初次显出了良好的爆破效果，无论在破碎块度或堆积形状均表现了它的优点。例如1985年12月初在四川石棉矿定向爆破筑的拦尾矿泥石流坝中一次爆破堆高40余米而单位有效上坝石方的炸药耗量仅0.7kg，坝体成形良好。通过试验，发现属于延长药包性质的条形硐室药包爆破时有一种侧向效应，使得爆破的方量和堆积的集中程度都有比较明显的不同，在实际工程应用中也得到了证实，当然还需要进一步地做深入的试验研究工作。

此外，按平面药包原理设计的硐室和条形药包在1985年9月某非金属矿山进行了1700t级的揭开覆盖层的大爆破，效果是良好的；多边界条件和综合爆破技术，在第三届全国爆破会议论文中都有了新的反映，经验是令人感到兴趣的。

(5) 水下爆破方面取得了新的进展。首先是水下围堰爆破拆除工作有新的突破，今年年初在长江葛洲坝水电站大江围堰拆除爆破时，采用了深孔(最大孔深30余米)间隔耦合内部作用药包的设计方法和孔口微差双交叉梯子形连接的爆破网路起爆系统，成功地解决了三千多孔、324段，总炸药量达47.76t、总延续时间达8.1s，全长为800多米的大规模水下围堰混凝土截水墙拆除爆破的难题。达到了安全准爆的要求，爆破效果良好，保证了

大江机组按期投产发电的计划,经济效益十分显著。

其次,在水底软基爆破处理工作中,随着我国港口建设的迫切需要,提出了厚层淤泥质软弱覆盖层的爆破清除换基的课题。为此,对水下软基中爆破作用机理和处理技术组织了较系统的试验研究和分析,取得了初步的成效。

(6) 在岩石爆破破碎效应方面,主要结合定向爆破筑坝的坝体工程特性(密实度、块度级配、渗透特性变形特性和稳定性)的研究和冶金、矿山剥离和矿石开采的要求,对岩石爆破破碎及块度级配进行了有益的探索。主要是从岩性和岩体地质构造(主要通过岩体的平均裂隙率、裂隙频率和冲填性质等特性)的野外调查,描述和分析统计等方法,并与某些爆破工程和爆破试验的实测资料的抽样检查和统计分析相比较,找出岩石爆破块度级配与爆破岩体特性和爆破参数之间的内在联系。初步提出了一些预报的方法。

影响爆破岩块大小和颗粒级配的因素很多,除了介质因素(如岩性、地质构造和地形地貌条件)外还与炸药的性质,装药结构和爆破的炮孔参数、药包布置形式以及爆破规模有着密切的关系,因此必须在对各种因素分别进行研究的基础上进行综合分析判断,找出其综合控制指标,以供参考使用。

(7) 在爆破地震效应的研究工作方面,结合工程安全和监测继续进行了广泛的试验观测,在搜集和累积资料的基础上,近年来不少单位已经从经验分析法逐步向动力理论分析法过渡作了许多准备工作和初步尝试。首先是对各种条件下爆破地震波进行频谱分析,给出了近区和远区爆破地震标准反应谱曲线和深入研究了爆破地震荷载特性。结合结构的动力特性,为采用动力分析法计算爆破对各种建筑结构的影响提供了地面运动特性和爆破地震荷载的基础资料。这个方向无疑是正确的。

(8) 在定向爆破筑坝方面,近年来在各工业部门的蓄水坝、尾矿坝和拦泥石流坝的建设中得到了推广应用。累积并总结了许多宝贵经验,同时随着我国在西南西北地区着手大量开发丰富的水利水电资源时,由于受到当地地理条件、水文条件和交通条件的限制,用常规的筑坝技术遇到许多困难,因此对定向爆破筑高坝技术提出了新的任务和要求。通过技术论证,定向爆破筑高坝技术已正式列为国家“七五”期间重大科技攻关课题。

由于定向爆破筑百米以上的高坝中存在着若干技术难关。在爆破方面,由于爆破工程规模很大,需要研究巨型药包的爆破设计新理论。同时大量装药爆破对库岸、基岩以及地面、地下建筑物的安全影响问题也比较尖锐,需要有正确的安全控制准则、判据和精确可靠的预报方法。

与此同时,对于100m以下的堆石坝,虽然有了许多成功的经验,由于整个定向爆破筑坝的全部工序,如导流、防渗、基岩破坏等问题的处理,都还须进一步作工作,特别是因为这样的工程,今后若干年内将是数量多,应用地区广,经济效益大的,带有普遍意义的中低坝的考虑对象,是我们应该注意的一个领域。

可以预料,随着这一工作的深入开展,必将对爆破基本理论的发展给予有力的推动。同样,只有爆破理论和爆破技术取得长足的进展才能保证在重大的筑坝工程中大胆使用。

苏联巨型爆破修建康巴拉金坝的设计和试验研究工作已有十年之久,据了解他们目前仍存在许多困难有待研究解决,因此,如果我们的工作能够及时取得确有成效的进展,将有

可能使我国在某些方面取得继续领先的地位。

(9) 计算机辅助工程爆破设计工作正在逐步开展。特别是在优化设计, 岩石块度预报, 以及爆破破坏影响分析估计方面都作了计划安排, 并初步取得了一些进展。这显然是爆破设计的发展方向。

(10) 岩土爆破作用物理模型的探讨, 对改善爆破设计有重要指导意义。近年来, 分别采用脉冲 $x$ 光机和高速相机对室内外土岩爆破空腔发展过程及鼓包破裂发展规律进行了大量实验和野外观测, 取得了大量实测资料并发现了新的现象和规律。同时用动力光弹试验技术研究爆破对基岩和隧洞周边应力分布及变化过程亦已取得可喜的进展, 现在可以进入实用阶段。

#### 四、爆破安全技术

多年来, 我国各部门结合爆破生产实践在爆破安全技术方面做了不少的工作, 积累了宝贵的经验。不仅可以进一步防止在爆破操作过程中发生早爆或拒爆事故, 同时也可以复杂条件下控制爆破有害效应对周围环境的安全影响。如郑州铝厂黄河岸边巨型泵站引水爆破, 总炸药量近4t, 邻近系房闸墩仅4m, 最远离泵房15m, 是国内罕见的, 设计中采取了有效的安全技术措施, 确保泵站安全无恙, 又如葛州坝大江围堰混凝土防渗墙拆除爆破必须保证附近水工构筑物和二江电厂运行机组的绝对安全, 在总炸药量为47.8t的条件下, 采用控制一次允许爆破装药量的方法, 将起爆段数分成324段, 实测表明, 各建筑物、构筑物所受爆破振动影响都远小于安全允许值。特别是近年来发展迅速的城市建筑物拆除爆破经常位于繁华闹市或交通要道、临近易燃易爆管道、市政工程管道、电力电讯等设施附近, 从而增加了爆破技术难度和对爆破安全的要求, 国内大量工程实践表明, 只要精心设计与施工, 采取有效的防护措施, 均安全地完成了高难度拆除任务。因此, 在当前已达到的爆破安全技术水平, 实现工程爆破的安全是有保证的。

爆破器材的改进, 对提高爆破安全性起着重要作用。尤其是80年代广泛应用非电导爆管系统, 极大地降低了由火法引爆所造成的早爆、迟爆事故, 该系统创造了许多新的联结方式更增加了起爆的可靠性。特别是值得指出的, 我国已研制成功QB-1型高能电磁感应起爆系统, 该系统由特殊的起爆器、电磁转换器和电雷管组成, 不仅抗杂散电流、静电和射频电, 而且操作简便, 易于控制。目前已在部分矿山应用, 深受欢迎。它填补了我国这一系统的空白, 并超过国外同类系统的水平。

爆破安全仪表的研制是保证爆破工艺安全和提高准爆性的必要手段。在这方面已有较多改进与发展。如各种类型的起爆器、杂散电流测定仪、网路检测仪、硫化矿高温爆破对药包的安全监测以及爆破效应监测仪表等。最近, 北京矿冶研究总院研制一种无触点电爆网路检测仪, 不需拆动爆破网路任何地方, 即可以安全迅速的检测网路参数及故障点。

对各种类型爆破所产生的有害效应的研究也进一步深化。对各项爆破有害效应的安全距离与安全标准进行了研究。特别是国家计委组织的“七七工程”对爆破有害效应方面的大规模系统的观测研究取得了非常丰富和宝贵的科学数据与结论。这对了解爆破有害效应产生的规律性和安全控制极为重要。

不久《中华人民共和国爆破安全规程》即将正式批准为国家标准。它广泛地吸取了国内外爆破安全技术成果和爆破工程实践中的经验与教训。内容全面、条条明确, 是一部适合

我国国情并体现我国爆破安全技术水平的全国统一爆破规程，认真学习全面贯彻执行这一规程，对保障人民生命财产的安全，促进生产建设发展具有重要意义。今后将有计划地组织培训，以提高全国爆破专业队伍的安全素质。

在爆破安全事故分析中，运用了安全系统工程学，能较准确地计算出事故出现的途径数和几率，实现分析定量化，使人们更科学地采取相应的事故预防措施和控制爆破事故的发生。

## 五、前景与展望

从上面所谈到的一些情况证明，过去四年我们取得了长足的进展，在一些领域内我们已进入或接近世界先进的行列。但是随着我国经济建设的发展，有许多工作还需要我们广大的爆破工作者去做，下面提出几条供大家参考。

(1) 爆破技术的发展与爆破器材是密切相关的，我国近几年来爆破器材虽然发展较快，但与先进的国家比较差距还是较大的，主要表现在爆破器材品种较少，许多单位仍然停留在岩石硝铵炸药加火雷管的时代，因此如何加强研制和推广新型爆破器材，加强与爆破材料制造业的横向联系，加强各种器材的配套和合理的应用（按不同的爆破对象选用不同的器材）是要做大量工作的，从而使我国爆破技术能在短期内达到更高的水平，更好的经济效益。

(2) 随着我国爆破队伍的扩大，爆破技术的不断发展，如何进一步的将已有的成果应用到生产中去也是我们当前急待解决的问题，而培养人材则是实现这个目标的一项有力手段，去年以来，工程爆破专业委员会以及一些地区已相继举办了短期训练班，取得了较好的效果，目前统一教材也即将出版，因此我们希望各个有条件的地区，大力开展培训工作，这对加强爆破新技术的应用以及贯彻全国统一爆破安全规程均有重要意义。

(3) 近年来我国在爆炸理论以及应用技术上做了许多工作，但从综合劳动生产率看与国外比较差距仍然很大，其主要原因是我们的钻爆机械化水平低，以钻孔机械为例，国外一台液压钻机在坚硬岩石中一年钻孔可达3万米，而我国同类机械只及其1/5左右，而装药机械差距也就更大，从而是很难与国外竞争的。因此今后应进一步与机械制造行业加强横向联系，大力发展新型高速钻爆机械，从而大幅度提高我们的竞争能力，并把工人从沉重的劳动中解放出来，这也是我们每个爆破工作者的责任。

(4) 当今世界科学技术发展一日千里，我们虽然已取得了可喜的进步，但这还是不够的，因此在理论研究和测试技术，特别是将电子计算机用于爆破研究与设计方面还需要进一步的加强。在一些领域，如水压爆破等方面我们在应用方面发展很快，但从理论到设计还有许多问题有待解决。

总之回顾过去展望未来，我们充满了信心，应进一步认真总结各方面的经验教训，力争在短期内把我国爆破事业推向一个新的高度，为我国的建设事业作出新的贡献。

## 2. 定向爆破筑高坝的成就和任务

霍永基

(水利水电科学研究院)

### 摘 要

本文全面概括了国内外定向爆破筑坝的历史发展经验, 将其划分为三个发展阶段, 即试验阶段、实用阶段和提高阶段加以阐述。同时文章分析了我国水利资源大部分集中于丛山峻岭、交通不便和气候恶劣的西南和西北地区以及洪水流量较大的特点。联系当前水利水电事业在新时期发展的需要和常规法筑坝在上述地区所遇到的现实困难, 阐明定向爆破筑高坝技术在我国水利水电建设中的特殊作用和发展趋势, 并提出今后着重需要研究的课题任务。

### 一、历史发展阶段与成就

自1935年苏联首次在契尔卡河上用定向爆破法截流筑坝起, 五十多年来在苏联和中国先后修建了一大批类型不同、用途各异的大坝工程。实践表明这种筑坝技术有强大的生命力, 在适宜的地形、地质和水文条件下, 不失为一种快速高效省工省料的筑坝方法。因此近年来日本、印度和朝鲜等国也相继引用了这项技术。回顾整个历史进程, 定向爆破筑坝可以划分为三个历史发展阶段。

(1) 试验阶段。即三十年代初至五十年代末期, 苏联首先进行了探索和实践, 但对此技术始终抱着十分慎重的态度。仅作为临时施工措施加以利用, 其技术特点为: 第一, 对控制定向抛掷爆破的基本原理和方法作了开拓性的初步探讨, 同时累积了一些技术数据和工程经验。但设计方法基本上沿用矿山开挖爆破的经验; 第二, 一次爆破的炸药用量从早期的十数吨发展到后期的数百吨级的规模; 第三, 应用范围均属中、小型水利项目的围堰工程和应急抢险的临时堤坝爆破工程等。直到五十年代初期, 苏联国家标准ГОСТ-3315-46才规定: 可以利用定向爆破法建造Ⅲ-V级的水工建筑物, 而且在取得满足同类建筑物的管理补充资料之前, 坝高应当不超过10m; 但在山区河道上, 可以在峡谷中建造高度超过10m的坝、堤防和围堰。由此可见, 此项技术至五十年代初期尚处于试验性探索阶段。

(2) 实用阶段。我国于五十年代末期开始定向爆破筑坝技术的研究和应用。初期虽然借鉴于苏联的基本经验, 但却有自己的特点。第一, 从革新筑坝技术的研究出发, 探索及直接用于修建了一批永久性的大、中型蓄水坝工程。随后并推广到尾矿坝、贮灰坝、拦泥石流坝、围堰工程和透水路基坝等。修建大型主体工程较之于临时性的中、小型工程在技术上要求严格得多, 难度也大得多。它不但要求定向抛掷堆筑范围与成型要准确, 坝体填筑质量要密实, 高水头长期渗流要稳定, 而且要确保整个水利枢纽相邻建筑物(特别是泄洪洞、引水洞、地下厂房、调压井、闸门井等)在爆破作用下要确保安全, 坝肩两岸基岩要保持完整以及爆破漏斗高边坡长期运用要稳定。第二, 爆破规模有新的突破, 即一次爆破的炸药用量从百吨级跨入到千吨级的新阶段, 而药包的最小抵抗线从十余米提高到40m; 单个药包装药量从数十吨提高到340t以上, 而最大抛掷堆积距离达350m。第三, 对定

向爆破设计系统,包括药包布置、漏斗绘制、参数选择、装药计算、爆破顺序、抛掷堆积和安全校核等进行了较深入的分析研究,初步形成了一套半理论、半经验的设计计算方法,大大提高了爆破设计水平。第四,系统地研究和总结了定向爆破筑坝的各个技术环节,包括勘测、设计、施工和运用管理经验。从而全面地发展了定向爆破筑高坝的应用技术。到目前为止我国已成功地修建了数十项工程。其中以南水水电站的规模最大、经济效益最好、经验最多。该水利枢纽工程坝高81.8m,总库容达12.18亿 $\text{m}^3$ ,电站装机容量75000kW。自1969年建成正式投产发电以来,经受过多次千年一遇校核水位的考验。工程质量好,至今已累计发电达50多亿度,成为目前世界上用定向爆破法建成的工程中规模最大、经济效益最显著的工程。我国南水大坝爆破成功标志着定向爆破法筑坝真正进入了实际应用阶段。

(3) 提高阶段。定向爆破筑坝经历了五十多年和近百座工程的实践,作为一种新方法、新工艺已逐渐为人们所重视,正式作为一种新坝型写入1980年出版的苏联著名水工专家格里辛院士所著“水工结构”教科书中。同时鉴于这一筑坝新技术对于开发水力资源比较集中而气候条件恶劣、交通不便的边远山区具有它的优越性和适应性,因此目前我国和苏联都正在拟订规划,研究用巨型爆破修建特大型水电站。此阶段的特征是:第一,一次炸药用量从千吨级过渡到万吨级的爆破规模,修建百米以上的高坝,而药包的最小抵抗线需要进一步加大至近百米的量级;第二,爆破设计建立在全新的科学理论基础之上,充分吸收当代科学的最新成就,使用计算机辅助设计的方法,运用最优化设计理论,将爆破设计与整个枢纽工程的规划设计作为统一的系统工程进行。第三,爆破结果的预知性和可检验性。拥有可供使用的数学模型和物理模型的方法和手段,对设计方案加以检验、验证和选择。为工程项目的宏观决策提供可靠的依据。第四,爆破技术与水工结构密切配合,有效控制爆破危害性影响,适应水工防渗和稳定安全要求,简化爆后完建工序,达到缩短工期,提高效益,安全可靠的目的。

## 二、当前任务与存在问题

苏联在70年代后期为了开发远东地区丰富的水力资源,将廉价的电力送往欧洲地区,实现其“东电西送”的宏伟计划。为此拟用定向爆破法修筑高达305m的康巴拉金坝,并于1975年以布尔雷克坝(最大坝高50m)作为前期试验坝,较深入系统地观测研究了坝体的颗粒组成、密实度、渗流特性和探索不修造专门防渗体的可能性。据悉由于问题的复杂性远远超出了原来的预计以及其他原因,该项工程已研究了十余年之久,预计要到90年代才有可能提到正式兴建的日程。

我国水利资源大部分集中于丛山峻岭,交通不便、气候恶劣的西南和西北地区。同时我国河流的水文特性大都属于暴雨洪水型河流,即汛期洪水比较集中,洪峰流量较大,一般可达每秒几千至上万立方米以上。这就导致在水电站建设中,施工导流特别困难,导流工程往往占整个枢纽工程很大的份额。尤其是不少坝址地质条件不好或有深厚覆盖层时,不宜修建高混凝土坝。而对于修建高土石坝,则往往由于受施工导流条件和坝体堆筑强度困难的限制,在一个枯水期内难于填筑至施工安全水位以上。且因泄洪建筑物难以布置而忍痛放弃。但是,如果采用定向大爆破筑坝,在较短时间内迅速填筑至相应的高度,使坝前有相当的库容和调蓄洪水的能力,则兴建水电站的任务便可迎刃而解。这对加快我国水电

建设的步伐有着积极的战略意义。因此,定向爆破堆石坝研究正式列入“七五”国家重点科技攻关项目。我们在近期的目标是结合水利水电工程建设,通过仔细的现场勘测,深入的分析论证和系统的实验研究,争取爆破成功一座近百米的高坝。再经过全面总结提高,为以后修建二、三百米的高坝累积经验,作好技术准备。

目前修建百米爆破坝的主要技术难点:

(1) 用爆破法修建百米高坝所需炸药量,对于一般坝址地形条件而论,估计约一万吨左右。药包的最小抵抗线一般亦有可能达到70~80m以上。相应的爆破设计理论尚不成熟。首先是装药计算公式,众所周知,就集中药包而言,当最小抵抗线 $W \leq 25\text{m}$ 时,一般认为采用鲍列斯科夫公式是适宜的。即

$$Q = KW^3(0.4 + 0.6n^3) \quad (1)$$

但是当 $W \geq 25 \sim 40\text{m}$ 时,苏联波科罗夫斯基教授根据能量平衡理论提出的药量计算公式为:

$$Q = \frac{\gamma}{30000} W^{3.5} (1 + n^2)^2 \quad (2)$$

或者在鲍氏公式基础上加以修正:

$$Q = KW^3(0.4 + 0.6n^3) \sqrt{\frac{W}{25}} \quad (3)$$

根据我国的实践经验,认为在斜坡地面重力影响条件下,由于 $W$ 增大与重力影响减小这两种因素相抵消,鲍氏公式仍基本适用。然而当 $W > 40\text{m}$ 时,波科罗夫斯基提出的理论式为:

$$Q = \frac{\gamma^2}{625 \times 10^6} W^4 (1 + n^2)^{5/2} \quad (4)$$

上式  $Q$ ——计算炸药量, kg;

$W$ ——最小抵抗线, m;

$n$ ——爆破作用指数;

$K$ ——单位耗药量, kg/m<sup>3</sup>;

$\gamma$ ——爆破介质容重, kg/m<sup>3</sup>。

也就是说,不同埋深的爆破规模,炸药量与最小抵抗线的关系从 $Q = f(W^3)$ 增加到 $Q = f(W^{3.5})$ 和 $Q = f(W^4)$ 的程度。这主要由于重力因素所引起的。采用上述不同公式的计算结果相差很大。研究哪种公式比较正确,无论集中药包或是条形药包,我们对巨型药包爆破尚无经验,理论研究尚待安排,因此正式设计时如何考虑这些问题,目前仍有一定困难。

(2) 爆破堆积范围和体形尺寸的计算。我国在前一时期结合工程设计做了许多工作,并先后提出了爆破抛掷堆积的弹道理论法、体积平衡法、整体弹道法以及经验估算法等。各种计算方法都有其适用性和局限性,主要是许多系数的确定受计算者的经验和爆破条件及规模所限,并非所有情况都能完全适用。尽管爆破方量、坝体平均堆高、抛体质心距离等与设计要求基本相符也不等于满足了设计要求,还需确保坝体具备安全挡水的高程、堆积体的范围是否符合后期续建的需要以及是否危及泄水和引水建筑物的运行安全,等等,目前技术对上述要求还不能事前精确预报,对各个爆破设计方案的优劣也只能凭经验来评定,尚无一套数值方法和实验方法加以验证和优选,这给方案的审定以及计算工作带来困难。

(3) 爆破安全影响的估算虽然有过一些方法,但都比较粗略,甚至缺乏理论根据,比如,爆破对地面、地下建筑物的影响估计,通常习惯用振速作为控制标准,而振速的计

算则以萨道夫斯基公式为依据, 即

$$v = K \left( \frac{Q^{1/3}}{R} \right)^\alpha \quad (5)$$

式中  $v$  ——振速, cm/s;

$Q$  ——起爆炸药量, kg;

$R$  ——爆源投影点至目标的距离, m;

$K$ 、 $\alpha$  ——与介质和炸药有关的常数。

而安全振速的标准则以经验统计资料的分析来确定。因此实际上是一种经验的方法, 其缺点是既不反映结构物的类型、动力特性、所采用的建筑材料强度, 也没反映地基条件以及地震波谱特性, 所以是缺乏理论根据的。

为了从经验估计法过渡到动力分析法, 我们首先从爆破地震波谱特性入手, 根据20多年实测的近200个爆破地震记录, 通过波谱分析, 分别获得了爆破近区和远区的爆破地震标准加速度反应谱曲线, 为沿用地震工程反应谱理论进行结构抗爆震动力反应分析计算奠定了基础。如果按照《水工建筑物抗震设计规程》规定的拟静力法进行抗震设计时, 则爆破地震惯性力可用下式计算:

$$P_i = k_s K_H C_z a_i W_i \quad (6)$$

式中  $K_H$  ——水平向地震系数。为地面水平向最大加速度与重力加速度之比;

$C_z$  ——综合影响系数, 取1/4;

$a_i$  ——地震加速度分布系数, 按水工抗震设计规程选取;

$W_i$  ——集中在质心  $i$  的重量;

$k_s$  ——爆破地震荷载修正系数, 根据爆破地震波波速  $c$  (m/s)、卓越频率  $f$  (次/s)、

建筑物的特征尺寸  $D$  (m) 有关的尺度效应判据  $F = \frac{2fD}{c}$  而定。按下列数据

选取。

|       |     |       |       |       |       |       |       |
|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $F$   | 0.5 | 1.0   | 2.0   | 3.0   | 4.0   | 5.0   | 6.0   |
| $k_s$ | 0.9 | 0.637 | 0.319 | 0.212 | 0.160 | 0.123 | 0.106 |

对于一些半约束型和全约束型的地下结构, 从其爆破破坏作用机制分析, 振速判据不一定是控制指标, 其破坏和失稳条件有可能由应力或位移所决定。同时用单向振速判据 (通常观测多用垂直分量) 很难用于地下结构, 因为爆源与地下结构的相对位置不同, 结构的破坏部位亦各不相同, 其垂直分量的振速自然不同。因此我们后来设想, 既然爆源与结构物均处于连续的同岩体之中, 那么根据固体内爆破应力和破坏范围的基本量纲关系亦可用相对比例距离参数来衡量, 即:

$$\bar{R}_s = \frac{R_s}{Q^{1/3}} \quad (7)$$

$$R_s = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i^{1/3} R_i}{\sum_{i=1}^n Q_i^{1/3}};$$