

525491

水电站工程爆破

第一届水电站工程爆破会议

资料选编



1984

水 电 站 工 程 爆 破

(第一屆水電站工程爆破會議文選)

水利電力部科技司、一九八四年
水利水電建設總局

《水电站工程爆破》编辑委员会

主 编：张盛京 副主编：董振华
顾 问：霍永基 马乃耀 黄元清
编 委：杨运祥 李 丰 张永哲 费骥鸣 黄 涛 刘汉丞
 周祖仁 赖世骧 邹仪萱 王燕生 刘宏根 佟锦岳
 张正宇 尹旅超 曹稼良 蒋迺民
责任编辑：黄 涛 赖世骧 蒋迺民

前 言

在水利水电建设中，爆破工程技术是一个十分重要的环节，它对提高工程质量、缩短建设工期、降低工程造价有着显著的影响。建国三十五年来，水电站工程爆破技术有了不少发展和提高。尤其是近年来，随着大型水利枢纽不断兴建，爆破技术又有了新的发展。在定向爆破筑坝、水下岩塞爆破、预裂及光面爆破、大规模深孔梯段爆破、大断面地下工程的爆破、混凝土拆除爆破等方面都取得了可喜的成果；新型钻孔机具和爆破器材的应用日益广泛；对爆破震动影响的研究及量测技术也有了很大的进步。数十个爆破工程的现场观测及模型试验的资料，大大加深了对爆破效果及其影响的认识，推动了爆破理论研究的开展。

一九八三年十二月，水电部科技司和水电建设总局在浙江紧水滩工地召开了“水电站工程爆破会议”，总结了近年来水电站工程爆破各个方面的经验，并决定将会上交流的论文资料汇编成册。编辑工作由长江流域规划办公室施工设计处和武汉水利电力学院负责，参加编辑工作的还有东北勘测设计院、北京水利水电科学研究院、长江水利水电科学研究所和葛洲坝工程局等单位的同志。

本书共选编爆破现状及发展、露天爆破、地下爆破、爆破测试成果及方法、爆破器材等方面的文章36篇。预裂、光面、岩塞爆破等方面的资料已另成专集，本书不再汇入。因水平所限时间匆促，选编中难免有考虑欠周之处，请作者和同志们提出宝贵意见。水电站工程爆破技术在迅速发展，我们期待着有更多的新技术好经验出现，也期待着新的专集的产生。

《水电站工程爆破》编辑委员会

一九八四年十月

目 录

一、水利水电系统工程爆破的现状和任务	水电部科技司 水电总局	联合调查组 (1)
二、工程爆破的现状与展望		
三、冶金矿山露天深孔爆破概况与展望	铁道部科学研究院	冯叔瑜 (7)
四、深孔微差挤压爆破在引滦 (南线) 工程中的应用	北京有色冶金设计研究总院	边克信 (12)
五、官厅水库溢洪道岩石开挖中的爆破工作	水电部五局一分局引滦入还工程处	(19)
六、亭下水库大坝基础开挖的经验和体会	水电部第二工程局 北京水电一公司	苏 众 (26) 王毓桂
七、白山水电站尾水渠水下导洞扇形深孔爆破	浙江省水电工程局第三工程处	邢耀宗 (38)
八、恶滩水电站厂房尾水围堰水下一次爆破拆除	水电部第一工程局	王音辉 (44)
九、松山围垦工程石埭围堰的爆破拆除	广西省电力研究所	吴胜光 朱光荣 (50)
十、乌江渡水电站小黄崖洞室大爆破	福建省宁德地区水电工程局	陈荣耀 (59)
十一、防震洞与深孔钻爆开挖陡边坡坝段	水电部第九工程局	柳克勤 (62)
十二、梯段爆破中多分段控制单响药量的几种方法	水电部第八工程局	(71)
十三、紧水滩水电站导流隧洞开挖	00639部队	王青屏 (78)
十四、西洱河三级电站新奥法施工爆破试验研究	水电部第十二工程局	唐惠钧 (82)
	水电部第十四工程局	蒋 健 (89)
	长江水利水电科学研究院	王胜洪 (89)
	长办施工设计处	刘 宁 (89)
十五、葛洲坝水利枢纽大江厂房基岩开挖爆破对二江泄水闸右导墙振动影响的控制	长办施工设计处 长江水利水电科学研究院	张盛京 (97) 刘宏根
十六、拉槽失稳斜面定向控制爆破拆除混凝土栈桥墩	水电部第一工程局	孙景林 (108)

十七、工程爆破地震效应分析中应注意的几个问题	.....	武汉水利电力学院	周祖仁(113)
十八、群孔爆破振动速度计算方法初步探讨	.....	水电部第三工程局	李培元(121)
十九、水工建筑物基础保护有关问题	.....	长办施工设计处	何梦麟(128)
二十、水电站基岩保护层开挖的探讨	.....	水电部第三工程局	张学贤(139)
二十一、万安水利枢纽基岩保护层爆破试验研究	.....	长江水利水电科学研究院	刘宏根(146)
	.....	长办施工设计处	蒋通明(146)
二十二、工程爆破震动的破坏标准	.....	长江水利水电科学研究院	张正宇(154)
二十三、水电站地下工程的爆破振动	.....	东北勘测设计院科研所	黄涛(169)
二十四、饱和粉细砂中爆破影响的试验研究	.....	水利水电科学研究院	钱瑞五 张永哲 王葆沂(179)
二十五、爆破振动对土坝的安全影响	.....	水利水电科学研究院	费骥鸣 王湘钧 付海峰(184)
二十六、水利水电工程爆破现场试验观测方法	.....	长江水利水电科学研究院	佟锦秋 张正宇 刘宏根(193)
二十七、声波测量中几个问题的探讨	.....	00639部队科研所	梅锦煌 戴国家 苏琳琳(212)
二十八、大寨电站厂房续建工程控制爆破及对电厂影响的测试	.....	长江水利水电科学研究院	王胜洪(219)
二十九、白山电站进水口栈桥墩拆除控制爆破与振动效应	.....	东北勘测设计院科研所	武继华(224)
三十、水电工程基坑开挖爆破中动应变测量的初步试验研究	.....	00639部队科研所	梅锦煌 苏琳琳 戴国家(233)
三十一、低阻输出压电晶体传感器研制与应用	.....	长江水利水电科学研究院	熊长汉(239)
三十二、PC-1500袖珍计算机在处理爆破振动数据中的应用	.....	长江水利水电科学研究院	陈玲玲(248)
三十三、我国民用爆破器材现有产品品种及其主要性能	.....	兵器工业部	孙绩珍(264)
三十四、乳化油炸药的试制与应用	.....	水电部葛洲坝工程局	田仲文 饶辉灿(280)
三十五、破碎剂在葛洲坝拆除混凝土构件中的应用	.....	水电部葛洲坝工程局	王晓和 刘忠保(288)
三十六、铝热燃烧剂及其试验	.....	浙江省水电工程局第三工程处	徐志平(294)

水利水电系统工程爆破的现状和任务

水电部科技司、水电总局联合调查组

一、总的情况

土石方开挖在大、中型水利水电工程中占有相当比重,据不完全统计,土石方年开挖量大约在500万方到1000万方之间。在巨大的开挖工程量中,爆破技术对加快开挖速度起着重要作用,是一般机械无法代替的。

建国以来,水利水电爆破工程取得了不少成就。特别是通过葛洲坝、刘家峡、白山、东江、乌江渡、大化、龙羊峡、安康和引滦等大型工程的实践,推进了爆破技术的新发展。南水、石砭峪的定向爆破筑坝技术;葛洲坝、东江的预裂爆破技术;白山的扇形孔和地下厂房开挖爆破技术,引滦工程的八一林隧洞光面爆破技术;丰满岩塞爆破技术;葛洲坝工程中爆破影响的测试技术和三门峡改建中坝体控制爆破技术等,都是有一定成就的代表性实例。

最近几年,部科技司和水电总局对开挖爆破做了许多工作。

1980年和1981年举办的爆破技术和爆破测试技术训练班,培训本系统爆破专业人员151人次。他们中有许多人都已成为爆破开挖和测试技术方面的骨干。

在施工、设计和科研单位的努力下,重新制定了明挖和洞挖规范。其中对爆破方面的内容做了重大修改和补充。与老规范相比,更为科学、具体和符合实际。

组织制定爆破技术的科研计划,并进行协调分工,使爆破技术的应用和研究得到进一步的发展。

部属19个工程施工单位三分之二以上都配置了震动测试和声波检测等爆破测量仪器,并陆续建立测试班子。有些已经开展试验研究并指导了生产。

为了更充分地调动和集中使用现有的爆破技术力量,提高装备利用率,目前正研究建立全系统的爆破专业组织。

总之,目前爆破专业已成为水利水电系统中一支比较活跃的力量。

水利水电爆破专业的技术水平,在全国各系统中尚处于中间状态。其中定向爆破、预裂爆破、岩塞爆破和水下爆破等较有特色;地下开挖爆破、深孔梯段爆破,以及火工品的研究等则比较落后;保护层开挖至今没有新的突破。

与世界发达国家相比,差距更大。主要是技术和管理水平低,生产效率低,施工机械、火工品、科学研究和仪器设备落后。以单位立方米岩石所费钻爆投资来看,我们在明挖中较先进的为1.59元/米³(大化),较高的为4.18元/米³(葛洲坝)。洞挖中较先进的是12.04元/米³(一局),较高的为46.46元/米³(四局),(包括出碴运输费用)。这些指标与国内较先进的冶金等系统相比,具有一定差距;与国外先进水平相比,差距就更大一些。

在开挖队伍方面,工程技术人员缺少专业训练,工人缺乏专门培训。致使施工中出現乱开挖、乱放炮、不讲效果,不求质量,开挖轮廓犬牙交错,破坏严重,大量超挖等现象。

综上所述,我国爆破技术虽然有很快发展,取得了许多成就,但仍不能适应水利水电建

发展的需要。总结经验,展望未来,我们必须加倍努力,尽快提高技术水平。

二、水利水电爆破中的几个主要技术问题

(一)定向爆破筑坝

自从1958年开始试用定向爆破筑坝以来,已筑成的水坝有五十余座。70年代初石砭峪定向爆破筑坝上坝率达到60.7%,爆破堆筑高度达51米,70年代末,云南省接连爆成近10座水坝。

定向爆破尚不能普及,主要是只重视爆破成坝,忽视与之配套的水工建筑物的建设。从而损害了定向爆破筑坝的声誉,使许多人对它存在忧虑。

今后要选择一个坝高百米的工程,针对定向爆破筑坝中的整体枢纽问题,以及药包岸的边坡稳定、坝体防渗和坝肩绕流、远抛距、大约量药包条形化和坝工设计方法等课题进行研究。

(二)深孔梯段爆破

深孔梯段爆破,已为各工地广泛应用,但由于使用潜孔钻机起步较晚,与国内冶金等系统相比尚有差距。如就单位长钻孔爆破效率看,以直径150毫米为例,冶金系统为 $15 \sim 18$ 米³/米,乌江渡工程较好,达 14 米³/米,官厅溢洪道爆破为 $6 \sim 10$ 米³/米,龙羊峡、大化为 $5 \sim 7$ 米³/米,效果明显偏低。

为减少基岩破坏和提高钻爆效率,近几年国外出现的大孔距爆破法、A·B·S法、D·S·B法等,都很受重视。大孔距爆破法,主要是充分利用炸药能量,使岩石得到充分的破碎。A·B·S法是以水为介质达到既有效传递爆炸能量又产生较小振动的一种方法。D·S·B法,又称杜邦顺序爆破法,是一种孔内、孔间微差顺序起爆的方法,美国水电系统多采用此法进行基础开挖爆破,特点是将现有的毫秒爆破的一段药量减为只是单孔或比单孔还要小的药量。长办和葛洲坝工程局、00639部队,都曾利用塑料导爆管的固有延时和毫秒雷管的时差,组合成多达几十个不同的段差。不过只是为了增加毫秒段数,而未用于孔间微差。孔内微差时间间隔每段只差几个毫秒,国内尚无这种系列雷管。应当努力创造新的安全高效的爆破方法。

矿山和采石部门,现用的深孔梯段爆破参数不应一律照搬。

各单位应注意积累资料,总结出适合水电工程特点的深孔梯段爆破参数,特别是接近设计开挖线附近的爆破参数。

基岩开挖侧向采用预裂爆破,一般不再预留保护层。但是,必须以预裂缝的质量好(应有一定宽度)和预裂缝前面附近区域采取特殊的安全爆破方法为前提。否则不能保证保留岩体不受破坏。至于底部的破坏问题,目前主要采用减缓爆炸冲击的办法,并已取得了一些有意义的资料,但还不能解决千差万别的地质条件下岩石破坏的计算办法。应当从多种途径加以研究。同时要研究炸药性能、装药结构和起爆方法等问题。

(三)预裂爆破和光面爆破

深孔梯段爆破与预裂、光面爆破组成当今世界上水利水电基础开挖最先进的施工方法。在我国预裂爆破多用于明挖,光面爆破多用于洞挖。

葛洲坝水电站开创了在软岩中大面积使用预裂爆破的先例。第一期工程预裂孔的总钻进长度达10多万米,节省投资近千万元。东江水电站在坚硬花岗岩采用预裂爆破,成功地挖出带有扇形钻孔的扭曲形建基面,这些成果的取得,使水电系统在全国具有一定的影响。

但是，在预裂爆破施工中，还存在三个主要问题：

1. 钻孔质量不高。没有好的钻孔设备，缺乏高水平的钻眼技术力量。许多单位虽然获得了预裂壁面，但壁面平整度差，参差不齐，产生超、欠挖。国外预裂钻孔直径多为60~80毫米，我们有的采用150毫米大孔，超欠挖较多。美国水电站建设中主张使用不超过24英尺（7.3米）的台阶高度，预裂孔深度大体与之相当，以防止偏斜过大。苏联以铺设导轨控制钻孔质量。我们有的单位不提高钻孔技术，片面强调打深孔，结果造成质量很差的钻孔面，这是不适当的。

钻孔间距，国外提倡密钻孔，孔距一般为钻孔直径的8~10倍，我们常取10倍，其中超过者甚多。为了适应水电工程要求壁面质量高这一特点，目前采用深度小于12米，间距为8倍左右钻孔直径为宜。

2. 缺乏专用炸药。发达国家都有预裂和光面爆破专用炸药，既有利于裂缝形成，又可减轻对保留岩体的破坏。我们过去主要采用2号硝酸铵、胶质、乳胶等炸药，破坏作用大，不太适合预裂和光爆。现在少数厂家已经生产上述专用炸药，可以推广采用。

3. 近几年来有少数单位在小范围内采用水平预裂爆破作为加速保护层开挖的措施取得成功，东江水电站在基坑底部拉槽后进行水平预裂获得成功，在2000米²范围内所留的保护层20多天就挖完了，基础质量基本上合乎设计要求。但是，用预裂方法开挖技术经验不充分，有待今后继续进行研究和实践，使之更加成熟，以利于推广应用。

预裂爆破逐渐受到重视，许多单位已采用。但有些单位仍未认识到它的优越性，或者持怀疑态度，不愿采用。今后一方面要宣传它的优点，另一方面要在不同岩石里进行试验，扩大应用范围。尽管不少经验证明，在特别破碎的岩石里，预裂的效果不太好，壁面不够整齐、孔眼保存率低，但是对于保护基岩，用它比不用它还是好得多。

关于预裂爆破自身对岩体的破坏，预裂爆破机理和参数等均需研究，以提高预裂爆破的质量。

（四）保护层及其开挖

预留保护层开挖岩基，在水电工程规范中定为必须采用的施工方法。用小孔径钻眼逐层爆除保护层，费时费事，费用也较高。解决的途径有两条：不留保护层；减少它的厚度并寻找高速开挖法。

基岩侧向预裂可使保护层的总方量减少 $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ ，这是一个很大的进步。但垂直向保护层数量仍然不少，解决这一问题的方法是多种多样的。水平预裂后保护层一次爆除只是其中一种，应鼓励各单位结合工程具体特点，创造更适于本工程的爆破方法。

（五）高边坡开挖爆破技术

三峡、鲁布革、天生桥等工程，都有100米以上高边坡开挖问题。如何确定在爆破产生的动力作用下，不破坏或基本不破坏边坡稳定的各种参数和条件，是至关重要的。过去的大爆破，没有很好解决这一问题，致使很多地方塌方，把预裂爆破和深孔爆破引用到边坡开挖中来。还没有成熟的经验，必须尽快加以研究。

（六）地下工程开挖爆破

水利水电系统地下工程的特点是洞径大，规模大。近几年地下工程施工中，逐渐采用了预裂与光面爆破、喷锚支护、深孔梯段爆破、非电引爆等较先进的技术，取得一些较有成效的经验。“新奥法”施工也正在试点，并取得一定的经验和教训。

隧道开挖方面，在引滦工程的“八·一·林”隧道施工中，连续创造67米²全断面手风钻月进尺101.1米，110.1米和130.7米的好成绩。

总的说来，我们与国外先进水平比，差距很大。大致可参见表1。

表1

比较项目	我国水电系统	国外先进水平
钻孔	以手风钻为主，一般钻孔直径40毫米左右	液压多臂钻架台车，钻径50毫米左右，钻进速度1.6~2.0米/分
装药	曾试验过机械装药，目前主要为人工装药	装药机
炸药品种	一个工程可供选择的2~3种	近20种
毫秒段数	10~15段，一般10段以内	80段左右
断面100米 ² 左右隧洞的进尺	50~60米/月（白山、水电系统较好的水平）	200米/月（平均）
断面20米 ² 左右隧洞的进尺	60米/月左右	300~400米/月（平均）
地下厂房开挖量	10000米 ³ /月（白山最高月强度）	30000~50000米 ³ /月（平均）

这些差距集中表现在效率和机械水平上。

目前还需要解决以下问题：

1. 钻孔质量不高。无论是斜眼或直眼掏槽都差，光爆孔偏差大、超挖大。
2. 毫秒雷管段数少，致使一段药量有时过大，影响围岩质量。
3. “新奥法”施工开展较慢，应鼓励更多的单位进行试验。
4. 地下厂房和大直径隧洞开挖中，施工机械不配套。要加强开挖程序、安全高效开挖措施和边坡壁稳定的研究。
5. 在爆破技术上，要抓住掏槽和光爆两个主要环节，探求合理的爆破顺序。在洞室较为集中的地区，应注意爆破时相互影响的问题，并加强爆破对衬砌体影响的研究。
6. 组织力量对地下工程的成功经验进行总结。

（七）水下爆破

水下爆破在水工建设中过去主要用于引水建筑物的进出口、围堰拆除、引水通道的疏导及爆炸加密地基等。广东省爆破公司在某些方面取得较为成功的经验。

水下岩塞爆破技术是取得相当成就的项目，除了在爆破技术上比较成功外，对岩塞爆破引起的隧洞水力学、爆破对水工建筑物的影响问题，也有所研究。丰满和密云水库的岩塞爆破都是突出的成功事例。

目前水下爆破缺少专门的钻孔、装药和出碴机械。因此，提高动水条件下的爆破效果和施工效率是主要解决的课题。

（八）爆破的危害

爆破的应力波、空气冲击波、飞石等，对被保护的岩体、建筑物和结构物、人员、设备等造成的危害，一直受到人们的重视。

一般只要注意爆破设计和炮孔堵塞，空气冲击波就不会造成太大的危害。但是大量抛掷

爆破、堵塞不好或抵抗线太小（梯段的第一排）的爆破，以及裸露药色和数量较大的裸露导爆索，都会产生较强的空气冲击波。当存在适宜的地形和气候条件时，会加大它的强度，以至造成严重破坏。过去几乎没有开展这方面的研究。国外研究多年，并规定了人体和建筑物等不允许超过的空气冲击波超压值。因此，应尽快将这项工作开展起来。

爆破应力波在岩体中传播造成的破坏是较为突出的问题。

国内通常采取测量爆破对岩体应力或应变的手段以判断破坏程度，也用压水、声波、钻取岩心等手段，检查爆破影响范围的大小。当前应力、应变测量技术也还存在问题，压水、声波等也存在确定判别破坏标准的问题。用影响范围代替破坏范围的比较保守。因此完善测试方法和制定符合实际的破坏标准，成为最迫切的任务。

水工建筑物中的大坝、厂房、电器设备、水轮机等，以及新浇混凝土、灌浆基础和衬砌物、喷锚支护体及相邻洞室等，震动破坏临界值的资料都很少，有的根本没有。须结合工程实际，逐步积累各种结构物破坏的临界值。

爆破震动测量资料的整理、分析是一项很重要的工作，需要采用先进的数据处理和计算设备，以提高资料分析研究水平。

（九）爆破试验与监测

一个重要工程大量开挖前，应首先进行爆破试验。以最终选定爆破方案与与此有关的参数以及岩体可能破坏范围，确定各种控制标准。爆破试验是施行科学开挖方法必不可少的步骤，今后应当列入工程必须进行的项目。

爆破试验之后，在正常施工中，必须利用监测手段，检查和控制爆破的方式与规模，以保证被保护物的安全。监测作为一个卓有成效的手段，既能控制爆破规模，使其产生的震动量不超过允许值，又能在取得数据后反馈到设计，进而指导施工。它简单易行，可以减少大量现场施测时间。这一手段应推广应用。

三、钻孔机械和爆破材料

（一）钻孔机械

以前石方爆破主要靠风钻或人工打眼，70年代开始使用潜孔钻等大型设备。孔径从30几毫米增加到150~170毫米，孔深由1~2米增到7~8米，直至20~30米。洞挖已开始使用多臂钻架台车。随着工程建设的发展，爆破规模的增大，钻孔机械也起了很大变化。据不完全统计，部属工程局钻孔机械类型多达二、三十种，但是这些机械，多不是针对水利水电工作特点研制的，使用起来问题较多，突出的是：

1. 粉尘较重。
2. 钻孔精度不能满足打轮廊孔的要求。
3. 适用范围小，不能打各种角度的孔，效率也不理想。
4. 机动性差，行走不便，搬运困难，难以适应山坡地形。

要提高预裂、光面爆破的质量，钻孔机械起着关键作用。要加强研制适合水利水电特点的钻孔机械。

（二）爆破材料

爆破器材近几年来也有不少进步。起爆材料由火雷管和即发电雷管发展到毫秒电雷管、导爆索、继爆管和塑料导爆管等。炸药由过去的2号岩石硝铵炸药、铵油炸药，增加到胶质、

水胶、乳胶等炸药。还有用于拆除建筑物及采石的燃烧剂、胀裂剂等。

新的起爆材料和炸药的出现，促进了爆破技术的发展。那些效果好的爆破都与采用这些新材料有关。不过在应用上各单位还不平衡。

爆破器材方面存在以下问题：

1. 毫秒雷管的段数少，并有串段现象，没有小毫秒量和等毫秒差的雷管。
2. 炸药品种少，瑞典近20种，差距甚大。希望增加炸药和起爆材料品种，提高质量，以提高爆破效果。

四、爆破队伍现状

（一）施工队伍的状况

据不完全统计，部属施工单位从事钻爆工作的人员计有7900余人，其中钻孔6400人，炮工1200人，科技人员228人。科技人员中专职人员很少，且大多数原学水工专业，没有接受爆破专业训练，工作起来困难不少。

钻工和炮工的比例，大约是2：1到10：1，前者机械化程度较高，后者与之相反。那一种比例更适当，需要继续作些统计分析。实际上钻孔和爆破是一个整体，炮工与钻工分开，使许多情况下爆破效果不好，甚至失败。谁钻孔，谁放炮似乎更有利于提高爆破效果，这种分工体制值得研究改革。

技术人员、钻工和炮工普遍存在不安心本工种的情况，把这些工种视为“最差”的“苦差使”。有些单位把部分开挖爆破包给民工，回到手风钻或人工打眼的老路上去。这些都需要有一个行之有效的办法去解决。

近几年来新招收的钻爆工人中，文化水平和技术素质仍然较低，不能适应现代化的钻爆施工要求，需加强专业培训。

（二）科研队伍

水利水电系统目前从事爆破科研，设计和教学的专职人员约有70~80人，这批人员是发展水利水电爆破技术和科研工作的骨干力量，这支科研力量，是可贵的，也是有限的，必须集中力量，协作攻关。

为了充分发挥现有队伍的积极性，进一步加强各单位间的相互联系，为了交流经验和解决施工、设计和科研工作中的疑难问题，有必要成立统一的爆破专业组织。

五、主要任务

爆破专业，存在许多急待解决的问题。比较突出的有：

（一）在爆破技术的发展中，许多新成果将不间断地应用到建设中去。这些新技术有一个共同的特点，要求严格的钻孔技术和高水平的爆破技术。爆破的工序很复杂，各道工序必须按一定程序进行，实施人员必须具有灵活的应变能力。这些都要求建立一支高水平的队伍。因此，应当加强对钻爆队伍的思想建设，加强对施工、设计和科研人员的技术培训，加强对技术工人的训练，提高开挖爆破的管理水平。

（二）抓好钻孔和放炮工作中的机械化。组织力量加紧研制适于本系统工作特点的各种施工机械，同时加强对现有机械的配套、改进和挖潜工作。

（执笔人 张正宇 曹稼良）

工程爆破的现状和展望

冯叔瑜（铁道部科学研究院）

建国以来，随着国民经济建设的发展，爆破事业有了很大进步，应用的范围深入到国家建设的各个领域，积累了相当丰富的经验，技术上的成就更是解放前无可比拟的。据了解，全国每年生产和耗用工业炸药80万吨，其中煤炭开采20万吨左右，冶金矿山约耗15万吨。曾有两次万吨级的大规模爆破，这在其它国家是少有的，足以说明我国工程爆破在工业建设中的地位和作用是重要的。

现就个人所了解的不完全的情况和对今后的前景提出一些看法，供参考。

一、工程爆破的现状

从爆破技术的现状来看，由于我国是正在建设的社会主义大国，无论是应用面的广度和技术进展的深度，与世界上其它国家相比都是较为全面的，兹分述如下：

（一）药室法大爆破

大爆破技术是建国以来发展和推广最早的土石方开挖方法。五十年代和六十、七十年代都曾出现过几次高潮。一次起爆万吨以上的大规模爆破有两次，千吨以上的约十次，几百吨、几十吨级的大爆破，仅在交通建筑方面就有500~600次之多。

如果按药室法爆破的技术分类，用于建筑水坝、尾矿坝、路堤等的定向爆破已有70~80次的经验，其中南水和石砭峪的定向爆破筑坝，每次装药量都在千吨以上，最大药室的装药量达275吨。经过20多年的考验，南水水库发电运转正常，并且从中总结了一套比较完整的我国自己的定向爆破设计理论，药包布置方法，爆破参数的选择计算方法。

用于平坦或缓坡地形条件开挖路堑，基坑和沟渠的扬弃爆破，可以一次作到堑、沟成形，并将其中土石方的80~90%甚至全部抛掷到设计界限以外，起到和机械开挖同样的作用。只是消耗的炸药量较多，而且要求附近没有重要的建筑物。这在铁路、公路和水道沟渠等工程上已有相当多的应用，还可以用来开挖水池或建筑物的基坑。

为了揭开露天矿山覆盖层以便于露天开采有用矿石，或在陡峻的斜坡地形上开拓半挖半填的路堑，常常采用松动爆破法来完成工程任务，这也是药室法大爆破的主要用途之一。这种方法有时也可用在地下崩落大量矿石。狮子山揭开覆盖层的露天松动大爆破，松动了1100多万立方米岩石，是世界少有的大规模爆破。

药室法大爆破的好处是使用的机械简单，特别适用于交通不便的深山地带，既省劳动力又可节约工程费用，缩短有效工期，所以铁路交通部门多次应用这种爆破方法。但受到地形、地质条件的限制，设计要求也比较严格，由此带动并发展了我国的工程爆破地质学。

（二）深孔爆破

通常将凡是钻孔直径大于50毫米，钻孔深度大于4米的炮孔法爆破都叫深孔爆破。其实

用钻孔机械来分划更合理些，例如把用手持式风钻打孔的爆破叫做浅孔爆破，把与之相对的机械钻孔法叫深孔爆破，似乎更合适一些。

近年来由于高效率钻孔机械，如潜孔钻机、牙轮钻机、高频液压钻机等新型钻孔机械的出现，大大提高了炮孔的钻进速度，因此深孔爆破的应用范围不断扩大，爆破的技术水平也不断提高，相应地提高了我国石方机械化施工的水平。

深孔爆破的好处很多，首先是能根据各种工程目的满足不同的要求；控制爆破后岩石的块度大小，充分发挥各种机械的效能，实现石方工程挖、装、运、散等工序的机械化；以及节省劳动力、节约工程费用、提高劳动生产率等等。国外在七十年代就已经达到了每工日产50立方米的高效率，我国也达到20立方米/工日以上，比起过去用人工打眼放炮每工日到不了1立方米的情况就高得多了。

从技术上去分，深孔爆破有：大孔距小抵抗线、微差挤压、光面、予裂等众多的爆破名称，这些在国内各种金属和非金属矿山已经用得很多，水利水电和铁道交通等部门，也用了不少，创造了许多先进的经验，受到有关方面的重视并逐渐认识到爆破是一种应用科学和专业技术。葛洲坝水电站的施工中，由于应用了深孔爆破，实现了施工机械化，日产量达到3万立方米，这在过去是不可想象的。更大的效益是采用予裂和光面爆破技术，大量地减少了基坑保护层开挖的方量和清底工程量。大瑶山隧道用深孔爆破结合予裂爆破，每循环进尺达到5米，在节约工程费用和提高工程质量方面都有十分显著的效益。最近水电部门在东江和紧水滩水电站试验采用水平予裂爆破，成功后将会进一步发挥深孔爆破在水电建设中的作用。

（三）控制爆破

七十年代后期随着国民经济的调整，大量的工厂厂房、工程设施和旧的机械设备需要拆除、改建和改装，这些建筑物大都处于人口稠密的城市地区。采用常规的爆破方法，直接影响到周围居民建筑物和其它设施的安全。许多工作被迫采用人工凿除，既费劳力又增加了工人的劳动强度，工期也拖得很长。例如拆除一座废烟囱，光是搭脚手架就要花费不少材料，花去一个月左右的时间，如果用控制爆破方法，使烟囱倒向空旷一侧，时间只需2~3天就可完成；又如一座旧机器的机床基础，用人工凿除混凝土基础，往往要花20~30个工日才能完成1立方米的工作量，而用控制爆破很快就炸除了。特别是钢筋混凝土的构筑物，用人工拆除就更困难了，不但劳动强度大，费用也很高。

这些年来控制爆破技术发展很快，在北京、上海、天津、南京以及武汉、广州等许多大中城市，先后用控制爆破法拆除了许多厂房、水塔、烟囱等建筑物，拆换安装了许多新机器，受到各方面的注意和重视。应运而生专搞控制爆破的组织和个人，在这方面作出了重要的贡献。

一些可以密封的构筑物，如水箱、钢筋混凝土的管道和废旧碉堡等，在里面装上药包，封闭后充水爆炸，利用水来传播压力，使这些构筑物破碎，既省力又安全，是另一种有效的控制爆破方法。

在控制爆破技术发展的同时，由于城市条件的限制，还发展了更加安全的导爆管非电起爆方法，在起爆技术上是一种创新的成果；同样地，出于安全的需要，还试验研究了许多配方的铝热燃烧剂和膨胀破碎剂，从而大大丰富了控制爆破的内容，扩大了它的应用范围。

（四）水下爆破

建国以来水下爆破技术上的成就也是很大的。川江航道的整治共炸除300多万立方米的礁

石，大大改善了川江的航行条件；广州黄埔港大石二石段航道扩建工程中，在两公里长的航道内炸除礁石50多万立方米；还有许多河流、码头都因为成功地采用水下爆破技术，而发挥了巨大的经济效益。

过去水下炸礁的方法多由潜水员在水下礁石上放置药包，或者将药包悬挂在筏上随急流冲至礁石处沉下，这种方法爆破效果很差，费用也很高，有的高达100元/立方米，对于工程量巨大的水下开挖工程更是无能为力。黄埔港的水下爆破采用钻孔船双套管法的施工工艺，完全改变了水下作业的旧方法，钻机爆破作业全部在水面工作船上进行，还可克服潮水涨落对钻孔精度的不利影响，也不影响航道定期通航，这项工程在三年内顺利完成50多万立方米的水下炸礁任务，大大降低了工程成本，单价只有14元/立方米，差不多与陆上的爆破作业相当，为水下爆破开辟了新的途径。

水下爆破的另一项创新成就是八十年代试验成功的水下挤压爆破法。利用水作为传播压力的介质，挤压含饱和水的淤泥，使承压力极低的软土加固到工程基础的要求，这对海港码头、堤坝的兴建非常有利，目前已用这种方法建成了4~5座海军码头，建成了长2公里多的防浪堤，质量良好，推广这种技术将会创造很大的经济价值。

此外，还有高温、高压下的特种爆破技术和金属加工成形的爆炸加工、爆炸焊接等新技术，这些都已达到或接近世界先进水平。所有这些都是我国爆破工作者在各条战线上对社会主义建设作出的重大贡献。

二、我国工程爆破发展的前景

工程爆破技术是随着我国国民经济建设的需要而发展的，爆破技术的进步和施工机械、爆破器材、测试手段等因素密切相关，展望未来，前景十分令人鼓舞。

(一) 爆破技术方面

一九七〇年苏联全苏爆破工业公司发表一项统计资料表明，该公司当年用各种爆破方法完成的工作总量为1.5亿立方米。其中深孔爆破方法所占的比重达81.10%，是绝对优势，但其它爆破方法也并没有被淘汰，结合我们现在的任务和工业水平，我国爆破技术在今后也应有所侧重的发展。

1. 深孔爆破

六十年代我国制成潜孔钻机和牙轮钻机，为深孔爆破技术的发展开辟了广阔的前景。十多年来无论在露天、地下和 underwater 爆破工程中，深孔爆破技术都得到了广泛的应用。深孔爆破具有下列几个优点：

(1) 有利于提高机械化施工水平，减轻工人的劳动强度。以苏联为例，五十年代石方施工机械化程度还只占30%左右，六十年代末就提高到90%以上，完成的工作量，迅速地占了领先地位。我国在矿山、水利水电、铁路交通和建筑材料等部门也逐步占有重要地位。

(2) 深孔爆破能有效地改善爆破质量，提高边坡稳定程度，由于爆破后的岩石块度破碎均匀，使得与之配套的挖掘机械能充分发挥作用，增加机械的使用效率。

(3) 发展了光面、予裂和微差等爆破新技术。长期以来由于受到钻孔速度的限制，光面、予裂爆破技术难以推广应用。然而随着高速多方向等新型钻机的出现，许多爆破技术在生产实践中不断地得到了更新和发展。

2. 药室法大爆破和定向爆破在我国已经有了三十年的历史，矿山、水利水电和铁道交通

部门都曾多次应用，特别是在冶金矿山和定向爆破筑坝方面，千吨级、万吨级的大爆破有了十多次的成熟经验，更大规模的爆破还将继续发展，原有的药室法，无论那种药室形式，都不能适应装药几百吨上千吨的要求，发展装药量大的条形药包成了势在必行。

试验表明，条形药包比常规的集中药包，除了装药量大的优点外，还有侧向效应这种质的变化。因此，条形药包在定向爆破筑坝中，可使堆积体更为集中，有利于坝的形成，而且岩石的抛掷距离也较远；对基岩和边坡的破坏范围也较小；而爆破方量还有所增加，这些都是条形药包将会得到发展的有利因素。

应用条形药包的爆破技术，在理论和计算方法上都有许多没有解决的问题。今后，在实践中，随着生产发展的需要，一定能创造新的经验，得到新的成果。

3. 控制爆破

作为一种新的爆破技术，它要求严格控制建筑物的倒塌方向和堆积范围；要求控制爆破的破坏范围和飞石距离；还要求控制爆破时所产生的地震效应和空气冲击波的强度与噪声影响。控制爆破不仅在城市和工厂人口稠密地区应用，在郊外和铁路复线施工、码头改建等工程中也将广泛地被采用。

近年来一些地方为了适应国家建设需要，已经成立了专门的设计施工组织，在工作中取得了很多成绩，今后其应用领域将进一步扩大，设计理论和计算方法也将在生产实践中得到发展。

4. 其他特殊的爆破技术

四个现代化的建设中，各行各业都有一些特殊情况要求采用爆破方法以加快工程进度，减少劳动强度，增加安全度和节约工程费用。已经有在油井、高温、高压和冻土、软土等特殊条件下进行爆破的经验，今后将有更多应用机会，积累更多的经验。

(二) 爆破器材方面

科学技术的进步，促进了许多爆破器材新品种的出现，这些新的成就很快被我国科技工作者引进并创新、改革，从而促进了国内爆破技术的进步，在爆破器材方面有两个值得注意的地方：

1. 炸药

目前我国生产八个系列的炸药品种，其中绝大部分是硝酸类炸药。比起六十年代炸药单一品种的状态，有了很大的变化。硝酸类炸药还在不断地发展着，进展的速度将越来越快。

以美国为例，1969年市场供应的炸药品种为：粒状铵油74%，浆状硝酸10%；高能炸药13%；其它允许的炸药3%；1978年美国市场供应炸药总量35.07亿磅（约合160万吨），其中粒状硝酸为28.71亿磅，占供应总量的82.0%。说明硝酸类炸药占了重要优势，加拿大和日本的工业炸药也有着相同趋势。

硝酸类炸药之所以能占优势，是因为它具有安全性能好，操作使用方便，更重要的是价格低，这一点从下列表中可以看到：

各种炸药单价比较表

炸药名称	美国 (美分/磅)	中国 (元/公斤)
粒状硝酸铵	2~4	0.2~0.4
铵油炸药	3~6	0.5~0.6
浆状炸药	5~25	0.8~1.0
硝化甘油炸药	17~34	3.2~3.5

上表说明,无论国内国外,硝酸类炸药的价格都比硝化甘油类炸药低得多,虽在威力上不如后者高,但安全性能却要好得多,特别是近年来试制成功的水胶和乳化油炸药,其主要原料都是硝酸铵,除了仍然保持硝酸铵炸药的特点外,炸药威力也能接近硝化甘油类炸药。因此,可以认为今后一段时期,铵油炸药将在露天和地下的干燥地区占主导地位,而对于潮湿和水下的爆破,水胶和乳化油炸药将逐步代替价格高昂的硝化甘油类炸药。

2. 起爆器材

塑料导爆管的出现,在非电起爆领域里开辟了新的前景。由于导爆管安全性能良好,不仅在运输,贮存方面增加了很大的便利,在操作使用方面也增加了人们的安全感,价格上也要比其它起爆器材,如导爆索、导火索或电线便宜。

近几年我国爆破工作者发展了导爆管的联接技术和起爆方法,改变了导爆管连接分流、传爆必须用联接块或雷管的传统工艺;采用电火花的冲击波代替击发枪或雷管起爆导爆管网络,从而改善了非电起爆系统,使塑料导爆管成了既安全又经济的重要起爆手段,因此普及推广得非常快,很可能在今后的短时期内跃居起爆器材的主导地位。

三、理论研究

多年来在工程爆破的设计和计算中,对于参数的选择一向是以经验为主,其原因就在于爆破的理论与实践始终存在着相当的距离,爆破工作者不能对自己的工程设计在没有充分把握的情况下提心吊胆地进行施工。

随着电子技术的发展,作为爆破测试手段的电子仪器也越来越先进,正确掌握和使用这些电子仪器,就能测到与爆破有关的各种物理量和力学参数。以现在的水平来看,测量爆破点远区的压力、冲击波、地震波的作用和传播规律已经有了相当可靠的把握,爆破近区的高压、高温、高速度的测量技术也不断有所突破,展现了可望解决的乐观前景。

不难想象,一旦掌握了这些测试手段,获得了可靠的物理、力学数据,就能弄清爆破的作用机理,建立计算的状态方程,运用先进的电子计算机解决长期未能解决的工程爆破设计问题。

几年来在爆破理论研究工作中,也已取得了一些可喜进展,开始把爆破的工程问题与力学问题结合起来。在用控制爆破拆除建筑物时计算结构的失稳问题;应用数学模型研究土岩爆破中鼓包运动,利用电子计算机有限元法解析结构物的受力状态;以及爆破设计方案的优选问题等方面,都取得较好的成果,进一步利用测试数据用电子计算机作爆破的模拟试验的研究也将很快地开展起来。

爆破理论与工程实际紧密结合,必将使工程爆破这门古老而又年轻的学科面目一新。不久的将来我们就可以听到胜利的捷报。