

中国

ZHONGGUO DIANXING BAOPO
GONGCHENG YU JISHU

典型爆破工程与技术

中国工程爆破协会 编
汪旭光 主编

1950~2000



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

中国典型爆破工程与技术

中国工程爆破协会 编

汪旭光 主编

北 京

冶金工业出版社

2006

内 容 简 介

本书收录了新中国成立五十多年来,特别是改革开放以来,我国工程爆破领域重大的、有代表性的典型爆破工程与技术,共245篇。内容涉及工程爆破各主要领域,包括露天爆破、地下爆破、水下爆破、拆除爆破、特种爆破典型工程和爆破设计理论与技术、炸药与起爆技术、爆破测试与安全技术。所收录的项目有的是具有开创性、实用性和重要影响的典型工程;有的是属于全国或世界之重的重大爆破工程和爆破器材项目;有的是获得国家发明奖和科技进步奖的科学研究成果,整体上反映了我国工程爆破事业的发展历程。本书内容广泛,文字简洁,图文并茂,不仅是从事爆破工作的科研、设计、施工、管理、教学人员的重要参考书,也是一部珍贵的极具收藏价值的历史文献资料。

图书在版编目(CIP)数据

中国典型爆破工程与技术/汪旭光主编. —北京:冶金
工业出版社, 2006. 9
ISBN 7-5024-3918-8

I. 中… II. 汪… III. 爆破技术—中国 IV. TB41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 037013 号

出 版 人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 郭富志 美术编辑 李 心

责任校对 刘 倩 李文彦 责任印制 丁小晶

北京百善印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2006 年 9 月第 1 版, 2006 年 9 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 72.5 印张; 1758 千字; 1116 页; 1-2000 册

260.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号 (100711) 电话: (010)65289081

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

编委会

名誉主任 冯叔瑜 康 义

主 任 汪旭光

委 员 (按姓氏笔画排序)

丁邦勤	于立志	于亚伦	马柏令	王中黔	王东光
王圣平	王自力	王明林	王树仁	王霞明	王耀华
亓希国	龙 源	卢文波	史雅语	边克信	曲广建
刘宏刚	刘运通	刘殿中	刘殿书	闫正斌	杜方贤
杜云鹤	李开文	李永池	杨年华	杨旭升	杨国顺
杨 富	肖 纯	吴子骏	吴新霞	何广沂	汪 浩
汪旭光	沈兆武	宋 领	宋锦泉	陈寿如	陈绍潘
陈积松	陈敦科	张可玉	张正宇	张正忠	张永哲
张志毅	张嘉浩	范小雄	林学圣	周家汉	庙延钢
郑长青	郑炳旭	赵明特	费鸿禄	秦明武	顾毅成
徐 沪	徐天桂	徐天瑞	梅锦煜	崔允武	章士逊
续立人	蒋 键	焦永斌	谢 源	谢先启	赖志诚
廖增亮	谭学余	熊代余	颜事龙	薛培兴	霍永基

执行编审组组长 郑炳旭 顾毅成

成 员 (按姓氏笔画排序)

于亚伦	王中黔	王耀华	刘宏刚	汪旭光
张正宇	周家汉	郑炳旭	顾毅成	章士逊

序 言

新中国成立五十余年来，特别是改革开放以来，我国工程爆破事业取得了举世瞩目的成就，为经济建设和社会发展做出了重大贡献。在中深孔爆破、硐室爆破、地下爆破、水下爆破、建（构）筑物拆除爆破、特种爆破等工程与技术方面，不仅完成了一批重大的工程爆破项目，而且通过不断实践和应用，积累了丰富的经验；在爆破设计理论与技术、炸药与起爆技术、爆破测试与安全技术等领域，也开展了大量科学研究和试验，取得了丰硕的成果。回顾、记录和展示新中国成立以来，特别是改革开放以来，我国工程爆破所取得的辉煌成就，已成为我国广大爆破工作者的共同愿望和心声。

在“全面建设小康社会，开创中国特色社会主义事业新局面”的宏伟目标指引下，我国政治经济形势大好。工程爆破界在自己的行业组织——中国工程爆破协会的组织下，也呈现出欣欣向荣、团结奋进的局面。盛世修典，编辑出版一本高质量的、能反映建国以来重大的、有代表性的《中国典型爆破工程与技术》，不仅可以反映我国工程爆破事业的发展历程，对爆破事业今后的发展也有促进作用，而且可以在国际上宣传我国工程爆破所取得的巨大成就。这是中国工程爆破协会应当承担的一项重要工作。

自2003年3月首次发出征集出版《中国典型爆破工程与技术》一书的通知以来，我们在全中国范围内广泛开展了征集活动，并数次邀请老专家及有关人员座谈讨论并予以推荐，得到了工程爆破企事业单位和广大爆破工作者的大力支持，至2005年9月，共收到300余篇稿件，内容涉及工程爆破的各主要领域，时间跨度达50年，基本上涵盖、反映了新中国成立以来完成的主要爆破工程和爆破器材项目，包括设计、科研和施工。凡是具有开创性、实用性和重要影响的典型工程，属于全国之最或世界之最的重大爆破工程和爆破器材项目，获得国家发明奖和科技进步奖的科学研究成果，其他在国内外有重要影响的科研成果或有代表性的工程和成果，都尽量收录进来，这是我国工程爆破界的宝贵财富。我相信，编辑出版《中国典型爆破工程与技术》一

书,对总结和推动我国工程爆破技术的发展,展示工程爆破在我国经济建设和社会发展中的重要地位和作用,不仅很有必要,而且具有重要的指导意义。

2005年9月2~4日,中国工程爆破协会在北京召开了《中国典型爆破工程与技术》审稿会,到会的60余位专家认真地进行审稿。在会审过程中,专家们一致认为,应考虑到历史、地域、单位和专业等因素,对早期的典型爆破工程与技术,要历史地看问题,不能拿现在的技术水平来衡量,要本着抢救历史资料的精神加以采用;对来自边远地区和基层生产单位的稿件,要在保证基本质量的前提下优先采用。专家们还对部分稿件提出了具体的修改意见,并最后确定本书收录245篇,由冶金工业出版社出版发行。会后,又由于亚伦、王中黔、王耀华、刘宏刚、汪旭光、张正宇、周家汉、郑炳旭、顾毅成、章士逊(按姓氏笔画排序)组成执行编审组,负责本书后期编审工作。

鉴于征集收到的稿件,内容十分广泛,本书设工程篇、技术篇两部分,工程篇按照露天爆破、地下爆破、水下爆破、拆除爆破、特种爆破进行分类;技术篇按照爆破设计理论与技术、炸药与起爆器材、爆破测试与安全技术进行分类。由于露天爆破、拆除爆破方面的稿件较多,又按其工程特征将露天爆破分为中深孔爆破、硐室爆破两个子目,将拆除爆破分为建筑物拆除爆破、构筑物拆除爆破、桥梁拆除爆破三个子目。对于典型爆破工程实例,要求具体阐明工程概况或背景,技术或施工方案,工程效果及主要技术成果,做到内容真实、文字简洁、图文并茂,每篇文稿的篇幅控制在5000字左右。此外,还要求每项工程与技术实例,都要写明工程的名称、完成时间、工程地点、完成单位、项目主持人及参加人员、撰稿人,并由撰稿人承担文责。上述六项内容,自2006年2月10日至4月30日,在中国工程爆破协会网站上公示,并根据收到的补充和修改信息,进行了核对和补充修改。为便于对外交流,本书提供了英文目录。

毋庸置疑,征集、编辑出版《中国典型爆破工程与技术》一书,其本身就是一项巨大的综合工程。应当指出,尽管我们做了很大的努力,但仍然存在不少遗憾、疏漏和不足:由于一些工程承担单位的变迁、当事人的离去或资料的遗失,致使某些典型爆破工程未能编入;由于本书在征集阶段侧重典型工程,对有关爆破理论、爆破器材、爆破技术方面的重大成果,可能有较多的疏漏;书中的某些内容,特别是项目完成单位、项目主持人及参加人员

等，可能会有遗漏，甚至出现差错。鉴于在半个多世纪的历史长河中，部分爆破专业术语有所变更，在本书的编辑过程中，努力按照现行的国家标准《爆破安全规程》做了规范和统一。由于水平所限，编辑时间较匆促，书中有不妥之处，恳请读者批评指正。

本书在编辑出版过程中，得到了广东宏大爆破公司等单位的大力支持，冯叔瑜等老一辈工程爆破专家对本书的编辑给予了指导并提出了宝贵建议；中国工程爆破协会秘书处程永昌、陈虹、黄增泽等同志在本书编辑出版过程中做了大量细致的工作，在此，我代表编委会谨向他们表示衷心的感谢。

《中国典型爆破工程与技术》编委会主任
中国工程爆破协会理事长
中国工程院院士

汪旭光

2006年6月18日

我国工程爆破事业的发展 and 展望^{*}

(代前言)

1 我国工程爆破技术的发展成就

过去的 100 年,是人类历史上科学技术发展最快的一个世纪,也是世界各国经济发展变化最大的世纪。

在过去的一个世纪里,中华民族在经历了前 50 年的战争后,历史翻开了新的一页。中华人民共和国成立 50 多年来,发生了翻天覆地的变化,取得了举世瞩目的巨大成就。随着我国现代化建设的发展,工程爆破技术也有了很大的发展,取得了辉煌的成就,为社会主义现代化建设做出了重大贡献。

我国工程爆破技术的发展历程是与国家经济建设的发展需要密不可分的。建国初期,国家为了恢复经济、发展生产、巩固政权,突出了铁路、交通、矿山和水利工程设施的修复与建设工作。如成渝铁路施工、大批煤矿、铁矿与有色金属矿的复产与开工,治淮工程和荆江分洪水利工程建设等。爆破技术在这些工程建设中起到了尖兵的作用。当时我国爆破技术十分落后,基本上处于用钢钎人工打眼、点火放炮为主的阶段。而且爆破器材存在品种单一、性能低劣、工作效率低、劳动强度大、安全可靠性能差等问题。尽管如此,工程爆破技术仍为我国建国初期的国家经济恢复与发展立下了汗马功劳。

20 世纪 50 年代中期,随着我国第一个五年计划的实施和国家科技长远发展规划的制定和执行,我国工程爆破技术开始步入新的发展阶段。

改革开放以来,我国经济进入腾飞阶段,各种基础设施的建设带动了爆破事业的发展。一方面大批新建项目包括大型机场、高速公路、港口码头、水利电力项目以及城市和厂矿改扩建工程相继开工,另一方面许多爆破科研课题被列入国家“七五”和“八五”科技攻关计划。例如:“定向爆破筑高坝技术”、“高边坡开挖爆破稳定问题研究”以及“高台阶深孔爆破技术研究”等,这就为工程爆破技术发展提供了新动力和新机遇。为总结我国工程爆破技术在 50 余年来的进步和发展,下面让我们从应用最广泛、最重要的一些爆破工程技术及爆破器材等方面回顾一下我国工程爆破技术的进步和发展成就。

^{*} 主要内容引自汪旭光、周家汉、王中黔、王树仁、史家增、张正宇、徐天瑞撰写的《我国爆破事业的发展和新世纪的展望》一文,第七届工程爆破学术会议论文集,2001。本书引用时由汪旭光、顾毅成根据当前实际情况和形势发展的需要,做了重要的补充修改。

1.1 深孔爆破与岩石控制爆破

深孔爆破是冶金矿山生产的基本手段, 改革开放 20 多年来, 随着我国钻孔机具设备的更新、工业炸药和雷管质量的不断提高, 新品种炸药和高精度、多段位毫秒延期电雷管及非电导爆管的广泛使用, 我国一些大型冶金矿山已采用大孔径钻机, 实现了大区、多排毫秒延时深孔爆破, 对孔网参数、装药结构、填塞方法、起爆顺序、毫秒延时间隔时间进行了深入研究。德兴铜矿在有自燃自爆危险的难爆矿岩实行机械化预装药爆破技术, 研究应用了精确延时非电起爆系统, 显著提高了穿爆能力, 年穿爆量超过 6000 万 t。南芬铁矿规模最大的台阶爆破, 一次毫秒段数达 100 余段, 炮孔超过 500 个, 预装药量近 300t, 矿岩爆破方量超过 80 万 t。平朔安家岭露天煤矿基建剥离研究应用了压渣、毫秒延时挤压松动爆破技术。爆破技术的改进大大提高了矿山生产的综合生产效率。铁路、公路路堑, 大型水电枢纽工程基础开挖工程都需要进行深孔爆破。1994 年 12 月, 在环胶州湾高速公路路堑开挖工程施工中, 采用深孔爆破技术成功地实现了一次爆破开挖成型长达 470m、深 10m 的路堑, 一次爆破炮孔 203 排, 3080 个孔, 钻孔总延米 30719m, 总装药量 73.8t, 采用非电导爆管毫秒差接力网路, 一次起爆雷管 1.34 万发, 共分 594 响, 爆破延续时间 4770ms, 爆破石方总量 11.5 万 m³。这次大量石方全路堑、超多排、超多段、深孔拉槽控制爆破的成功, 标志着我国大型深孔爆破技术具有世界级水平。三峡水电枢纽工程永久船闸双线五级闸室, 总长 1607m, 最大开挖深度 170m, 最大边坡高 150m; 两闸室间设一宽 58m 的中隔墩; 闸墙结构要求开挖成高为 46~68m 的直立边坡, 开挖技术难度, 世界少有。三峡工程堪称世界之最, 其开挖施工难度同样也是前所未闻。水电武警施工队伍采用了直立边坡成型、闸槽底部保护层开挖、合理的施工管理的综合爆破技术, 安全、高质量地按期完成了第一流工程的要求, 闸室爆破开挖石方 1000 多万立方米, 高达百米的边坡实现稳定、效果良好。

光面爆破、预裂爆破技术作为岩石控制爆破的一种, 是随深孔爆破技术广泛应用而发展起来的, 它们的成功应用保证了开挖工程的成型质量和边坡安全。

葛洲坝工程二江电厂坐落在砂岩基础上, 施工单位采用预裂爆破技术, 确保了大面积砂岩开挖边坡的质量和稳定。这项研究应用成果代表了我国 20 世纪 80 年代预裂爆破技术的先进水平。在三峡大坝及许多水电站工程建设施工中, 不仅广泛使用了垂直预裂, 还研究应用了水平预裂爆破的方法, 保证了电站厂房基础开挖的质量。

穿越山区的高速公路或铁路的修建往往需要进行高边坡的路堑开挖或是采用隧道开挖方案。高速公路是经济高速发展的需要和体现, 为获得高质量整齐的边坡, 在广西柳桂、贵州贵新等高速公路采用了超深孔高台阶的预裂、光面爆破, 成功地实现了边坡成型机械化 (达 90% 以上)。在石灰岩复杂多变的地质条件下, 爆破后, 坡面稳定、平整、美观, 半孔率达 95% 左右, 成为我国高速公路路堑边坡成型光面设计与施工的标准样板路段。现正在山区高速公路、铁路建设中推广应用。

资料表明, 在铁路、公路施工中, 采用光面爆破、预裂爆破技术可使路堑边坡工

程量减少 10% ~ 20%，其形成的光滑平整的边坡无需做任何支护处理，同时也减少了线路营运过程中的边坡事故和维修工程量。

伴随着现代化建设的进程，越来越多的爆破工程地处城镇地区及复杂环境条件，岩石控制爆破得到了重视和发展。自 20 世纪 80 年代开始，在衡广铁路复线及宝成、株六等电气化铁路增建一线扩堑工程中，在不中断铁路运营的条件下，相继完成了上千万立方米石方控制爆破施工。铁路、水电部门还在深圳、广州等城区复杂环境中，完成了大量石方爆破工程，并提出了爆破安全控制技术。

1.2 硐室爆破技术

我国硐室爆破技术的应用和发展经历了三个阶段。

我国首先在铁路建设中采用了硐室爆破方法。当时一个药室装药只有 4500kg，一次爆破石方 3.8 万 m^3 。从 1955 年起在宝成、鹰厦等线进行了 200 余处硐室爆破，硐室爆破技术的采用大大提高了石方开挖工效，加快了新线铁路的施工速度。在 20 世纪 50 ~ 60 年代，曾出现过采用硐室大爆破的高潮。

60 年代，在广泛采用硐室大爆破的过程中，我国老一代爆破工程师总结工程实践经验，发展了大爆破设计理论，完善了爆破设计计算参数，总结了爆破与地形、地质条件的相互关系，提出了一套完整的定向爆破设计计算经验公式。定向爆破要求把爆破的石方抛掷在设计的方向并堆积成一定形状的构筑物（如路堤）。采用定向爆破技术说明我们对爆破作用的深入了解和控制能力，这可以说是硐室爆破技术发展的第二个阶段。

定向爆破筑坝法开发水利资源是一种快捷、高效的施工方法。自 1959 年东川口水电站采用定向爆破筑坝以来，我国已有近 60 座水库采用了定向爆破筑坝。冶金矿山部门应用定向爆破技术也堆筑了几十座尾矿坝，泥石流防护坝。1960 年，广东南水水利枢纽工程的挡水坝一次定向抛掷爆破筑成，后经加高坝高达 80.2m。自 1969 年开始，蓄水发电 30 余年来，坝体质量优良，经济效益显著。

与此同时，在公路部门，创建了具有我国自主知识产权的“多边界石方爆破理论”，建立了一整套因地制宜的公路石方综合爆破方法，形成了完整的体系。

条形药包装药设计是硐室爆破技术发展的第三阶段。

70 年代以前，无论是硐室爆破还是定向爆破多是采用集中药包的形式。对爆破作用机理的研究结果说明采用条形药包可以改善爆破级配，减少对边坡的破坏。在对条形药包的爆破漏斗特性、爆破设计计算方法进行系统研究后，从 80 年代至 90 年代，铁路路堑爆破开挖施工中推广采用条形药包硐室爆破技术。随后，其应用领域和规模逐渐扩大，在冶金、水电、公路、有色金属、建材等部门先后成功地进行了上百次大型条形药包硐室爆破工程，其爆破的规模从数十吨到上千吨炸药量，这些爆破都取得了很高的技术经济效果。规模最大的一次，是 1992 年底在广东珠海炮台山实施的 1.2 万 t 炸药的移山填海大爆破工程，一次爆破的总方量达 1085 万 m^3 。抛掷率达 51.8%。

硐室爆破方法不需要很多大型机械，我国是劳动力密集型的国家，可以同时组织大量的劳动力进行导硐和药室的开挖，实施一次硐室爆破的作业时间短，因此在许多

重大工程基础、场地准备工程施工中,硐室爆破发挥了重要作用。由于硐室爆破一次爆破装药量大,随着爆破对周围地区的影响控制程度的要求提高,爆破设计的精细程度也越来越高。在高速公路、铁路新线建设中,采用条形硐室药包加边坡预裂爆破一次成型技术,不仅发挥了硐室爆破方法快速、成本较低的优点,还有效地控制了硐室爆破对边坡的破坏影响。采用这种技术,在焦晋高速公路某段长 170m 的路堑中,稳定的边坡最高达 92m,形成了一道亮丽的风景线。相信,在我国西部大开发中的一些重大工程施工,研究改进的硐室爆破综合技术仍将有应用前景。

1.3 地下与隧道爆破

地下矿山除应用常规的浅孔、中深孔爆破外,大直径深孔爆破得到了推广应用,并已形成“VCR”、“台阶深孔”、“束状深孔”、“高阶段深孔”、“阶段深孔等效球形药包”等各具特色与运用条件的大直径深孔爆破技术。如安庆铜矿的高阶段达 120m;2005 年 3 月 28 日广西南丹铜坑矿 150t 炸药地下大爆破,采用阶段密集束状深孔为主,辅之以中深孔及小硐室药包的爆破方案,并采用了预裂爆破降震与柔性波阻墙等技术,有效控制了地下爆破有害效应,是目前为止国内安全隐患治理最大的一次地下矿山大爆破。

20 世纪 50 年代以前,我国煤矿的井巷开拓和回采落煤,几乎全靠爆破作业,截止到本世纪初,我国煤炭产量约 70% 仍靠爆破作业。2005 年我国煤炭产量已突破 20 亿 t,岩石井巷掘进基本上全部采用钻孔爆破施工方法。

立井井筒是矿井的咽喉,20 世纪 70 年代以后,伞钻和直孔掏槽的应用实现了 4~6m 的深孔爆破是立井爆破技术发展的主要标志。在 90 年代提出的立井深孔爆破宜采用两阶同深或孔内毫秒分段掏槽方式,不仅能获得较高的炮孔利用率,而且大块率明显降低,槽腔体体积增大,对提高装岩速度十分有利,已得到推广应用。80 年代后期,立井冻结段爆破技术和立井通过含瓦斯煤层的爆破技术取得突破,这两项技术分别对冻土全断面一次爆破的优化设计和煤矿爆破安全具有重大的指导意义。由于爆破器材的发展和爆破技术研究成果的应用,我们不仅可以在各种复杂的条件下进行爆破作业(如井颈风道口的开凿、井壁锁口梁的拆除采用了控制爆破技术),而且可以进行深孔和超深孔爆破(如溜煤硐的一次爆破成井)。

岩巷全断面一次爆破、毫秒爆破、光面爆破是标志我国煤矿岩巷爆破技术提高与发展的三个重要阶段。20 世纪 80 年代后期,中国矿业大学等单位开展的岩巷定向断裂控制爆破技术的研究,可精确地控制超挖量,大大节约材料费用,具有可观的经济效益与社会效益。

在煤层爆破开采技术方面,最主要的工序是爆破落煤,其爆破效果的好坏直接影响着工作面的产量、效率和安全。采用放顶煤松动爆破是提高采煤效率的有效方法之一,长期以来,工程技术和科研人员对放顶煤爆破技术进行了大量的研究和工程实践,在爆破参数、爆破工艺等方面取得了丰硕的成果。毫秒爆破的应用改变了以往“一炮一放”的落后和不安全的工艺,缩短了放炮时间,提高了产量和工效,降低了成本。例如,淮北矿务局杨庄煤矿 II 621 综采面采用毫秒爆破后,据统计,节省爆破

器材费用 1199 元/万 t, 日原煤产量提高 319.7t, 提高工效 2.6t/工。徐州矿务局义安矿在高瓦斯和有煤尘爆破危险的矿井中, 使用毫秒爆破取得了成功的经验。

据不完全统计, 50 多年来我国已修建铁路隧道总数达 5500 余座, 总长度超过 300km, 其中 5km 以上长度的隧道就有近 30 座。我国已成为世界上铁路隧道最多, 总长度最长的国家。

隧道爆破成败的关键是掏槽技术, 掏槽的成功与否直接影响到爆破效果。20 世纪 60 年代在成都铁路官村坝长隧道中采用直孔掏槽和中空直孔掏槽等多种掏槽方法, 使爆破循环进尺突破 2m, 炮孔利用率达到 95% ~ 100%。从而克服了斜孔掏槽的夹制作用, 造成炮孔利用率低的现象。掏槽方法的创新大大提高了隧道的修建速度。

随着我国钻孔设备机具的改进, 隧道爆破技术的不断创新, 1981 年在双线铁路雷公山硬岩隧道, 采用大直径中空孔对称直孔掏槽技术, 实现了深孔 (5m) 全断面 (100m²左右) 一次爆破开挖成型。1987 年采用这一新技术成功地建成了衡广复线长达 14.295km 的超长双线铁路隧道——大瑶山隧道。该隧道所处地质条件复杂, 在修建难度极大的条件下, 铁路施工单位采用了四臂液压钻孔台车钻孔, 大直径中空孔直孔掏槽, 高威力的水胶炸药、乳化炸药与 4 号岩石炸药匹配使用, 多段塑料导爆管毫秒雷管起爆的综合设计施工技术, 实现了全断面一次光面爆破开挖成型。光面爆破的炮孔痕迹率达到 70% 以上, 深 5m 的炮孔, 炮孔利用率超过 90%, 平均循环进尺 4.5m, 创造了双线铁路隧道平均单口月掘进速度 144m, 月成洞 99.2m 的高产纪录。

西康铁路秦岭 II 线隧道, 长 18.456m, 采用先于中心位置大断面平导洞贯通后扩孔成型的施工方法, 对硬岩全断面进行深孔爆破。采用的多种掏槽方式和使用高威力水胶炸药等措施, 创造了在特硬岩、特长隧道爆破掘进的快速施工技术。取得了平均月进尺 264m, 创造了月进尺达 456m 的最高纪录。

近几年来, 在特小净距平行隧道开挖爆破, 繁华地区浅埋暗挖双层隧道爆破技术, 浅埋过江隧道爆破, 繁华地区地下铁道爆破开挖, 隧道减振控制爆破技术等方面都取得新的突破。

水利水电工程中, 不仅存在大量隧道开挖, 难度更大的是由多条引水隧洞、厂房、交通洞、尾水洞和竖井等组成的立体交叉组合复杂的地下洞室群, 我国已有白山、东风、龙滩、小湾等水电站建成地下洞室群, 其规模巨大, 结构复杂, 例如龙滩水电站地下洞室群, 包括 9 条引水洞, 主 (副) 厂房、主变洞、9 条母线洞、3 个调压井, 尾水洞、进场交通洞和其他辅助洞室。主厂房开挖尺寸 (长 × 宽 × 高) 398.9m × 30.7m × 77.6m, 在施工中, 突破了地质条件复杂, 爆破开挖稳定等关键技术问题。

以上成就, 标志着我国地下矿山、铁路隧道爆破技术和水利水电工程地下洞室群开挖爆破技术达到世界先进水平。

1.4 水下爆破

水下工程爆破技术主要应用于港口、航道疏浚炸礁, 挡水围堰或岩坎拆除爆破, 水库水下岩塞爆破, 淤泥和饱和砂土地基的爆炸加固处理等。

航道疏浚是水下爆破的主要工程项目,早在新中国成立初期,就对长江三峡航道进行了大量水下炸礁爆破,经过十多年的努力,终于使三峡航道达到了夜航的程度。在70年代初,广州黄埔大濠洲成功地对2km航道进行水下疏浚爆破,炸礁达50万 m^3 ,采用双层套管法,全部钻孔、装药、连接起爆网路、起爆都能在工作船上进行,首次在我国创造了航道水下爆破不断航的先进经验。近年来,随着航道和港口建设的蓬勃发展,我国每年采用水下爆破炸礁或破碎水底岩石500万 m^3 以上,三峡工程为实现156m的蓄水目标,在涪陵至铜锣峡长江段107km航道中,水下炸礁的施工总量达106万 m^3 ;上海港洋山深水港区,一期工程中仅航道北侧大礁盘就需炸礁10.3万 m^3 。目前,在重大水下炸礁工程中,采用GPS定位系统,可以实现钻孔精度的有效控制。

为提高水库防洪调节或增加下游供水能力,在已建成的水库底部开挖泄水隧道,岩塞爆破技术的应用可以避免修筑施工围堰,缩短施工期,节省投资。在70年代,我国东北地区的211工程和丰满水电站250工程等水下岩塞爆破成功,取得了以硐室为主结构、钻孔法爆通岩塞的经验。80年代后该技术又有新发展,在山西汾河水库和以礼河槽子电站水库,库底积有厚淤泥下的岩塞爆破,密云水库九松山输水隧洞岩塞爆破以及贵州省印江县滑坡坝抢险排水隧洞岩塞爆破工程中,采用了深孔爆破技术完成了大断面尺寸的岩塞爆破。至今,我国已完成的岩塞爆破有17个,在爆破设计、爆碴处理措施、爆破安全控制等方面积累了丰富的经验。并研究解决了含石碴高速水流在洞内的运动规律与控制问题,使该项技术更趋完善。

挡水围堰工程是水利水电、港口或是大型船坞修建主体工程时必不可少的关键性临建工程。通过葛洲坝大江围堰混凝土芯墙、岩滩碾压混凝土围堰,大朝山尾水洞混凝土与岩坎围堰、小湾导流隧洞进出口混凝土与岩坎围堰、青岛灵山船坞岩坎围堰、舟山永跃船厂复合围堰30余座的爆破拆除,不仅积累了较为丰富的爆破拆除经验,也为这些大型工程项目按期投产做出了重要贡献。特别是2006年6月6日完成的长江三峡水利枢纽三期RCC围堰爆破拆除工程,标志着我国围堰爆破拆除技术处于国际领先水平。

软弱地基爆炸加固处理技术主要是用于港湾工程建设中遇到的淤泥质软基,由于地基承重力的稳定性不满足工程设计的要求,根据不同情况可以采用水下爆炸挤淤法、爆炸置换法和爆炸加固法进行地基加固处理,为港湾防波堤、港口码头、泊位以及储仓等设施建设服务。

我国海岸线绵延数千公里,沿海建码头、堤岸以及防波堤等工程数量巨大,对于这些堤坝工程,淤泥质软基处理是一项重大的关键技术问题。70年代末期我国就开始了采用爆炸的方法处理软基的试验研究工作,先后建成了青岛海军防波堤、福建福鼎船坞滑道以及榆林港海军码头等工程。改革开放带动了沿海港口的建设,中科院力学所与连云港及交通部有关单位组织联合攻关,经过多年理论和现场试验研究、工程性试验、工程实践,总结提出了一套完整的淤泥软基爆炸处理新技术。十多年来,利用他们的发明专利技术先后在连云港建港工程、深圳电厂煤码头、珠海高兰港口工程、粤海铁路通道轮渡码头港口防波堤以及其他类似工程的建设中,采用爆破排淤技术筑堤总长超过50km,为我国沿海港口建设做出了重大贡献。

1.5 拆除爆破技术

拆除爆破技术是指对废弃的建（构）筑物进行拆除的控制爆破技术。拆除爆破技术不同于一般的土石方爆破技术，它是基于对爆炸力学与材料力学、结构力学、断裂力学等工程学科认知，在已有爆破技术基础上发展起来的。

随着我国经济建设的高速发展，在大规模城市现代化建设、铁路干线和厂矿企业技术改造中需要改建、拆迁的工程项目日益增多。采用控制爆破拆除比用人工或机械方法更为安全可靠、快速和节省。从 70 年代以来，此爆破技术得到了迅速发展。1973 年，在王府井繁华地段的北京饭店新楼基础施工中，北京铁路局成功地用控制爆破拆除了 2200m^3 的钢筋混凝土结构地下室；位于王府井大街北口的原北京华侨大厦和北京工艺美术大楼先后于 1989 年、1995 年采用控制爆破技术成功地进行拆除。发生在首都商业中心重要建筑物的爆破拆除成功表明我国控制爆破技术的发展和进步。

近 20 多年来，国内许多城市都有一批建筑物是采用爆破技术进行拆除的。其结构包括砖混、框架、框剪、全剪力墙，据不完全统计，其中拆除 16 层以上的高层楼房已达 20 座以上，多数周围环境复杂，如 1995 年，武汉市爆破界成功地进行了一座倾斜的 18 层楼的抢险拆除爆破工程。1999 年 2 月上海市联合爆破公司成功地拆除了位于上海市南京西路和成都北路交界处的长征医院 16 层高的旧病房大楼。其他如 2001 年北京东直门 22 层三叉式塔楼，2003 年乌鲁木齐鸿春园饭店 18 层大楼，2004 年温州市 93m 高结构不对称楼房，浙江东阳市 21 层全剪力墙结构大楼等的爆破拆除，都取得了良好的爆破效果，并保证了周围环境的安全。

在烟囱、水塔等高耸建筑物方面：1995 年广东省宏大爆破公司在茂名市采用爆破技术成功地拆除了两座高达 120m 的钢筋混凝土烟囱后，我国已成功地在复杂环境中采用定向倒塌、双向折叠、三向折叠等控制爆破方法拆除了 20 多座高 100m 以上的钢筋混凝土烟囱。还成功完成了 10 多座直径 40 ~ 85m 的大型冷却塔的定向倒塌和原地坍塌爆破拆除工程。

在大面积建筑物拆除爆破方面：望江亭电厂中压站大型厂房的拆除爆破工程，一次性拆除建筑面积 29400m^2 ，炸药用量 1.912t，雷管 7806 发；在上海市西北部的上海土产进出口公司仓库爆破拆除工程中，一次拆除面积也达到了 21700m^2 ；1993 年在青岛石油化工厂，采用垂直深孔一次爆破拆除三座 5000m^3 特大型油罐；2002 年解放军理工大学工程兵学院在奉节县城拆除任务中，在 9 个月内，成功爆破拆除近 100 幢楼房，总面积约 28 万 m^2 ；广东省宏大爆破公司，一次拆除总建筑面积达 43215m^2 的广州旧体育馆结构特殊的薄壳拱建筑，使用 10542 个导爆管雷管，525.6kg 乳化炸药，在 3.5s 内分 8 响引爆 8300 多个药包，爆破取得了预期的效果。

在建设工程的其他领域，拆除控制爆破也得到了广泛的应用。近 20 年来，几十座废旧桥梁采用控制爆破成功拆除，其中包括长 1139.58m（水中桥墩 30 个）的南昌八一大桥；长 604m、28 个桥墩的临汾市马务大桥；位于阜新至锦州公路上的清河门大桥，为中承式变截面悬链线箱型薄壁无绞拱钢结构双曲拱桥，结构十分复杂，施工难度大，采用切割爆破成功拆除。

1.6 特种爆破技术

特种爆破技术是为便于国家安全生产主管部门科学管理而进行的作业分类,其爆破作业领域区别于土岩爆破和建(构)筑物拆除爆破,表现得更为专业,例如:油气井爆破、地震勘探爆破、爆炸加工、金属等特殊介质的爆破等。特种爆破技术的发展体现了工程爆破技术应用领域的广泛性。

油气田开发是一项复杂的系统工程,涉及许多科学领域。实践表明,工程爆破在地震勘探、测井、射孔、完井、压裂增产改造、油气井整形修复等工程中具有不可替代、举足轻重的作用,特别是油气井射孔技术是关系到油气井产油、气多少的关键技术。1959年发现大庆油田以后,油气井燃烧爆破技术也随着众多油田的开发获得了迅速发展,规划建设了8个射孔弹生产厂和8个振源药柱生产厂,可以生产、供应品种比较齐全的油气井燃烧爆破用起爆器材、爆破器材和燃烧器材,我国科技人员已能很好地根据油田开发的需要,独立设计、自主实施聚能射孔技术、高能气体压裂技术、爆炸切割技术、套管爆炸整形、焊接技术、井壁取芯技术和桥塞药包施放技术等,较好地满足了陆地和海洋油田开发的需要。

众所周知,利用炸药爆炸的能量可以将金属冲压成形,将两种金属焊接在一起,将金属表面硬化和切割金属或者人工合成金刚石、高温超导材料、非晶和微晶材料等等,我国在爆炸焊接复合板消裂技术和复合板界面微缺陷控制技术方面,取得了突破。电力系统的科技人员,采用爆炸压接技术,解决了野外高压输电线的压接,已成为成熟的工艺,并得到应用。如今我国已建立和发展一支爆炸加工技术专业人才队伍和大批装备,其应用的领域愈来愈广泛。此外,利用爆炸切割技术完成了万吨轮推进器爆破拆除,沉船水下爆破解体及海洋钻井遗留井口聚能爆炸切割作业。利用高温爆破技术还可以消除高炉、平炉和炼焦炉中的炉瘤或爆破金属炽热物等。

1.7 爆破理论与进展

我国工程爆破技术的进步是国家经济建设发展的需要,同时也促进爆破理论研究工作深入。在大量爆破工程实践的基础上,针对不同的爆破工程目的,已有相应的设计计算方法,这些计算方法有的来自于大量工程经验的积累,经验公式是在实测大量数据处理分析后给出的,它们也应是爆破物理现象的规律。爆破是一类实践性很强的技术,我们要十分重视实践经验的积累,尊重有实践经验的工程师的认知。同时我们看到,经验的东西是有局限性的,爆破技术的深入发展需要爆破理论研究的深化。多年来,我国不少科研单位和高等院校结合国家大型工程项目的立项到实施,结合硕士生、博士生的培养进行了广泛的研究。在爆破作用机理、爆炸应力波传播、炸药的能量分配、爆破鼓包运动、抛掷堆积形状、预裂爆破成缝机理、岩石破碎机理、爆破工程地质、岩石爆破性分级以及爆破振动效应观测和分析以及爆破优化设计,爆破过程计算机模拟等研究方面,取得了一大批理论研究成果。

例如:在拆除爆破技术发展的进程中,我国许多研究机构和大专院校的研究工作者在结合工程施工中,进行了大量的科学研究。他们采用高速摄影、应力应变、振动

测试等多种手段进行了观测,分析了不同建(构)筑物在爆破作用下的失稳、解体、倒塌机理和构件破碎过程。提出了对不同结构和环境条件采用原地坍塌、定向倾倒、折叠倒塌爆破拆除方案,或是采用水压爆破拆除的方案。一次大型建筑物的拆除爆破往往需要设计数千个炮孔,需要采用数千发雷管并相应分区分段地进行延期起爆,这些设计方案的提出促进了起爆技术的发展和运用。导爆管塑料多通道连接插头、连通管及四通传爆件、组合式导爆管激发器,以及非电导爆管网格格式闭合起爆网路,保证了大规模起爆网路的实现和拆除爆破的成功。

结合工程爆破应用技术的研究,在深孔台阶爆破及其参数优化、光面预裂爆破、井巷与隧道掘进爆破、硐室爆破、定向爆破、拆除爆破、水下爆破、切割爆破以及爆炸加工等方面获得了 200 多项研究成果。大大提高了爆破理论和设计技术水平,指导了工程实践,有力地促进了我国工程爆破技术的发展。粗略的统计,在历届全国或各产业部门工程爆破学术会议上和有关炸药、爆破、爆炸力学等方面的学术会议上及期刊杂志上发表的论文和研究报告总计 8000 余篇。《大量爆破设计与施工》、《岩石破碎力学》、《矿山爆破工程》、《露天大爆破》、《乳化炸药》、《工程爆破实用手册》、《拆除爆破设计与施工》、《现代水利水电工程爆破》、《工程爆破名词术语》、《现代公路工程爆破》等许多专著的出版反映了我们对爆破研究和实践认识的深化和提高。同时,它们的出版对我国工程爆破技术人员提高技术水平起到了推动作用。

1.8 工业炸药与起爆器材

爆破器材的品种质量直接影响爆破效果。我国的工业炸药品种已由建国初期的黑火药、硝铵炸药、硝化甘油炸药发展到能生产铵梯炸药、铵油炸药、浆状炸药、水胶炸药、乳化炸药多个工业炸药品种。工业炸药的质量也得到不断提高。

众所周知,从 20 世纪 50 年代中期开始,工业炸药又进入了一个新的发展时期,其主要标志是铵油炸药和浆状炸药等含水炸药的相继发明和推广应用。这也是我国在工业炸药领域追赶世界先进水平的一次很好的契机。1957 年我国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推广,70 年代中期冶金矿山铵油炸药使用量已占炸药总消耗量的 70% 左右。在推广使用铵油炸药过程中,我国科技工作者不仅根据流化造粒技术研制生产了吸油率高的多孔粒状硝酸铵,而且还制造应用了多种气动装药设备,如 YC-2 型铵油炸药装药车和 FZY-1 型风动装药器。其后又研制应用了铵沥蜡炸药和铵松蜡炸药。此外,我国还研制了多种酸基液体炸药,如硝酸-苯、硝酸-邻位硝基乙苯、硝酸-硝基苯等液体炸药,至今尚有个别矿山利用液体炸药装药车继续使用这类炸药。

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作业中获得应用,其代表性品种是 4 号浆状炸药。70 年代初期,我国浆状炸药发展十分迅速,首先是胶凝剂(田菁胶、槐豆胶)和交联技术获得重要突破,继而品种不断增加,其典型代表有田菁 10 号浆状炸药、槐 1 号无梯浆状炸药、5 号浆状炸药和聚 1 号浆状炸药等等。浆状炸药装药车与可泵送浆状炸药的出现,更好地满足了露天爆破作业的需要。

80 年代中期我国自行研制成功 2 号岩石粉状铵梯油炸药（又称新 2 号岩石炸药）和 4 号岩石炸药，降低了 TNT 含量，提高了防结块和储存性能，在全国得到了普遍推广；到 90 年代中期又开发研制成功无梯膨化硝铵炸药和粉状乳化炸药，进一步改善了性能指标，并逐步得到推广，为淘汰铵梯炸药创造了条件。

我国对以水溶性甲胺硝酸盐为敏化剂的水胶炸药研究得较少。20 世纪 80 年代中期原煤炭部淮北 910 厂引进了美国杜邦公司水胶炸药生产技术与设备，目前我国只有 910 厂和太原兴安化学材料厂仍在生产、销售水胶炸药。我国从 70 年代后期开始研制乳化炸药，政府、企业和科研单位都非常重视发展乳化炸药，不仅有了连续化自动化生产工艺技术、设备和岩石型、煤矿许用型乳化炸药，而且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，发展了地下小直径乳化炸药装药车；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。并研制开发了多品种乳化炸药、粉状乳化炸药、乳化粒状铵油炸药计算机控制连续化生产线。

解放初期我国只能生产导火索、火雷管和瞬发电雷管，经过科技人员的努力，很快就能生产和应用了毫秒、秒延期电雷管。20 世纪 70 年代初期阜新 12 厂还生产、销售了导爆索—继爆管毫秒延期起爆系统。70 年代末期我国自行研制、生产了塑料导爆管及其配套的非电毫秒雷管联结传爆元件和起爆枪等，形成了非电起爆系统，并在工程爆破作业中获得了广泛的应用。80 年代中期北京矿冶研究总院等根据电磁感应原理研制、生产了磁电雷管，这种雷管在油、气井爆破作业中获得了应用。近年来，30 段等间隔（25ms）毫秒延期电雷管已研制成功投入使用，且有少量产品出口到周边国家、非洲和我国香港地区。武汉安全环保研究院研制发明的无起爆药雷管，向瑞典诺贝尔公司转让了专利技术，1992 年已建成投产。一些厂家和科研部门积极开展电子雷管的研制，并已在一些重要爆破工程中应用。低能导爆索（3.0g/m，1.5g/m）、高能导爆索（34g/m 及其以上）、普通导爆索和安全导爆索已形成了配套的系列产品。油气井燃烧爆破、地震勘探爆破和许多特种爆破需用的爆破器材亦已形成产品系列，并有了较大的选择余地。

概括地说，我国已经建立了比较完整的爆破器材生产、流通和使用体系，并已实现工业炸药、雷管的产品生产信息标识和对爆炸物品从生产、销售、储存、运输到使用的全过程动态跟踪管理。据 2005 年统计资料，我国生产各类工业炸药 240.75 万 t，各种工业雷管 31.52 亿发，各种工业索类火工品 25 亿 m，地震勘探用爆破器材 31650t，油气井用爆破器材 950 万发，特种爆破器材 2635 万发。

上述数据表明，我国已成为世界上工业炸药和爆破器材生产和使用的大国。

在起爆技术方面，我国已广泛使用塑料导爆管等非电起爆网路，通过对塑料导爆管接力起爆系统的研究、开发及网格式闭合网路的应用，大大提高了起爆网路的安全性和可靠性。

1.9 爆破测试与安全技术

新中国成立 50 多年来，随着国民经济的快速发展，工程爆破技术的进步，爆破