

第六届全路工程爆破学术会议

铁道工程爆破文集

(2000年8月·兰州)

中国铁道工程学会爆破专业委员会 编

中国铁道出版社

2000年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书是第六届铁路工程爆破学术会议论文选编,反映了我国铁路系统近四年来在工程爆破各个领域所取得的新成就和新经验。主要内容包括:爆破基础理论的研究、复杂环境下的控制爆破技术、洞室爆破技术、深孔爆破技术、水下爆破、特殊爆破技术、爆破安全技术,及爆破测试技术等。

可供从事工程爆破的科研、设计和施工技术人员,及有关专业大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

铁道工程爆破文集:第六届铁路工程爆破学术会议/中国铁道工程学会爆破专业委员会编.—北京:中国铁道出版社,2000.8

ISBN 7 113 03811 5

. 铁... . 中... . 铁道工程 爆破施工 学术会议 中国
文集 . U215.3 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 64304 号

书 名:(第六届全路工程爆破学术会议)
铁道工程爆破文集

作 者:中国铁道工程学会爆破专业委员会 编

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

策划编辑:刘启山

责任编辑:刘启山

封面设计:陈东山

印 刷:北京兴顺印刷厂

开 本:787×1092 1/16 印张:22.5 字数:559 千

版 本:2000年8月第1版 2000年8月第1次印刷

印 数:1~1200册

书 号:ISBN 7 113 03811 5/TU·632

定 价:50.00元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

《铁道工程爆破文集》

编辑委员会

顾问 冯叔瑜

主任 王中黔

委员 (按姓氏笔画为序)

齐景 刘宏刚 何广沂 金人夔

金骥良 拉有玉 张志毅 张儒林

杨年华 娄德兰 顾毅成 柴 俭

谢泰极 缪垂祖

前 言

第六届铁路工程爆破学术会议 2000 年 8 月在兰州举行。

自 1996 年第五届铁路工程爆破学术会议以来,我国铁道建设持续发展,内(江)昆(明)、西(安)(安)康等山岭地区新线建设如火如荼;宝(鸡)成(都)、株(洲)六(盘水)、兰(州)新(疆)等运营铁路的扩堑和复线工程相继完成;全长 18.4 km 的秦岭隧道进入施工高潮;铁道和国家其它重大建设工程的实施,使工程爆破技术得到了广泛的应用,并提出了一些急需解决的爆破技术难题和科研攻关项目,也为铁道爆破工程技术人员提供了大量的工程实践和技术创新空间。这一期间,铁路系统还按照公安部的要求,培训考核了 1500 余名爆破工程技术人员。这些,为本届工程爆破学术会议的召开创造了良好的条件。

本次学术会议,共收到来自铁路科研单位、工程局、设计院、铁路局、高等院校及部分路外单位的 93 篇文章。经文集编辑委员会审查,将其中 71 篇编成本文集。收录的论文内容广泛,既包括洞室爆破,深孔爆破,光面、预裂爆破,运营铁路石方控制爆破,城市拆除爆破及其它爆破应用技术,也包括爆破理论及试验研究、爆破器材、爆破安全技术及爆破施工与安全管理。同时,我们也选用了一些来自生产第一线的爆破工程技术总结及施工经验。文集作者,既有我国知名的爆破专家、学者,更多的是来自铁路工程建设第一线的工程技术人员和青年科技工作者。我们相信文集的正式出版,不仅有利于铁路系统工程爆破技术的学术和技术交流,也是对关心、支持铁路工程爆破技术发展和热心学会工作同志的鼓励。

我国铁道爆破工作已经走过了近 50 年的历程,面向 21 世纪,各领域的技术创新风起云涌,知识经济初见端倪。我国铁路建设任务繁重,国家实施西部大开发的战略更为我们提供了新的机遇和挑战,铁路爆破工作者任重道远。中国铁道学会铁道工程学会爆破专业委员会愿和全路爆破工程技术人员一起,加强合作与交流,为祖国经济建设的腾飞,为铁道爆破技术的不断发展作出新的贡献。

在本文集的编辑、出版过程中,得到铁道部科学研究院爆破研究室、西南交通大学工程爆破研究所、兰州铁路局勘察设计院和兰州铁路局工程总公司及中国铁道出版社等单位的大力支持,在此表示诚挚的感谢。

中国铁道学会铁道工程学会
爆破专业委员会
2000 年 8 月

目 录

| | | |
|---|-----------------|-------|
| 1. 创新是铁道爆破技术发展不竭的动力——兼议路堑爆破一次成型经验的推广 | 冯叔瑜 | (1) |
| 2. 铁路爆破事业的发展与展望 | 冯叔瑜 王中黔 顾毅成 | (5) |
| 3. 我国工程爆破领域研究生学位论文(1982年7月~1997年6月)选题评析 | 顾毅成 | (17) |
| 4. 洞室加预裂一次爆破成型技术 | 肖以杰 张林 刘宏刚 | (29) |
| 5. 条形药包长抗比的提出及其作用 | 戈鹤川 张志毅 | (37) |
| 6. 条形药包端间距的设计计算公式 | 张志毅 戈鹤川 | (43) |
| 7. 溶岩地质区溶洞对工程爆破的影响及其对策 | 杨庭林 肖以杰 吴承辉 刘宏刚 | (47) |
| 8. 洞室爆破计算机优化设计 DBS 系统 | 余春红 娄德兰 宋宇明 张凤元 | (51) |
| 9. 洞室爆破涌浪形态 | 史雅语 苒江 刘文泉 | (57) |
| 10. 条形药包相邻端加药爆破鼓包运动速度的试验研究 | 刘舍宁 | (64) |
| 11. 涪陵防护堤工程鹅颈关料场条形药室爆破实验分析 | 柴俭 潘祥生 | (69) |
| 12. 面板堆石坝料开采的洞室爆破技术 | 史雅语 吴南屏 刘文泉 | (73) |
| 13. 小型洞室控制爆破技术在铁路公路石方施工中的应用 | 刘宏刚 | (78) |
| 14. 洞室条形药包在鹅颈关料场的应用 | 李险峰 | (82) |
| 15. 深孔松动爆破关键技术经济指标及效益分析 | 张志毅 邓志勇 | (85) |
| 16. 深孔爆破实用技术研究 | 杨年华 张志毅 梁锡武 | (92) |
| 17. 深孔台阶爆破应力场数值模拟 | 丁希平 | (97) |
| 18. 深孔扩壶松动爆破技术的应用 | 陈蜀冀 | (104) |
| 19. 填埋药包爆破法 | 杨宏业 金骥良 翟广歧 | (109) |
| 20. 中孔径浅孔爆破实践 | 蔡伟 | (113) |
| 21. 临沂引水工程深窄沟槽爆破技术 | 朱礼臣 | (115) |
| 22. 引松入长马家取水泵站大面积水下深孔爆破施工 | 王立军 王鹏程 | (119) |
| 23. 筑岛钻孔水下控制爆破 | 杨家松 | (122) |
| 24. 爆炸法处理软土地基 | 张翠兵 王中黔 | (127) |
| 25. 滨海软土地基爆破挤淤施工技术 | 石斌 张志香 | (132) |
| 26. 电气化铁路既有线扩堑石方控制爆破安全快速施工技术 ... | 何广沂 荆山 王兆友 | (139) |
| 27. 复杂环境下大量石方快速爆破施工技术的探讨 | 康会民 曹俊鑫 | (146) |
| 28. 高边坡电气化铁路扩堑控制爆破技术 | 宋宇明 | (150) |
| 29. 电气化铁路复线控制爆破施工中的事故分析 | 卿光全 | (155) |
| 30. 控制爆破在株六复线上的运用 | 杜长清 | (158) |
| 31. 株六电气化复线石方控制爆破技术 | 张俊兵 李凤超 蔡红生 | (161) |
| 32. 梅花山车站既有电气化铁路扩堑控制爆破 | 荆山 | (165) |
| 33. 近临电气化铁路石方浅孔控制爆破技术 | 张金柱 | (170) |
| 34. 铁路复线扩堑施工石方控制爆破及防护技术 | 杨顺 李艳丽 | (176) |

| | | |
|----|----------------------------------|----------------------|
| 35 | 控制爆破技术在既有站场扩建施工中的应用 | 叶宗毅(180) |
| 36 | 电气化复线高路堑拓宽安全快速石方控爆技术 | 刘高飞(185) |
| 37 | 既有线电气化铁路扩堑控制爆破新技术 | 洪应和(190) |
| 38 | 红梁子隧道进口高大孤石定向控制爆破 | 席光勇 王新明(195) |
| 39 | 复杂环境大型雕塑工程拆除爆破 | 张俊兵 刘宏刚 徐建中(200) |
| 40 | 兰新线武威南站编组场桥台爆破拆除实践 | 拉有玉 鲜 国 赵希白(204) |
| 41 | 楼房爆破拆除关键技术的研究 | 施富强(208) |
| 42 | 条形装药拆除筒状构筑物的实践 | 高 嵩(214) |
| 43 | 采用控制爆破拆除桥墩 | 彭经枢 蒋永金(218) |
| 44 | 嘉峪关市农业银行营业楼控制爆破拆除 | 王东光(223) |
| 45 | 成都市暑袜街邮电局宿舍楼控制爆破 | 杜 斌(227) |
| 46 | 复杂环境下楼房快速控爆拆除 | 潘祥生(230) |
| 47 | 铁路箱形桥的控制爆破拆除 | 王家维 刘荣朝 蒙云琪 董光明(234) |
| 48 | 铁路隧道装药技术与设备的研究和发展方向 | 高菊如 杨年华 涂文轩(239) |
| 49 | 城市浅埋隧道减震控制爆破技术 | 周春锋 余春红(243) |
| 50 | 城市浅埋隧道控制爆破技术一例 | 雷升祥 杨春明 邱玉良(249) |
| 51 | 群炮孔同时起爆技术在隧道中的应用 | 郭 峰 王 焯 宾凌涛(254) |
| 52 | 隧道无掏槽掘进爆破技术的实验研究 | 邓志勇 刘 慧(258) |
| 53 | 秦岭隧道 线平导钻爆法快速施工技术 | 刘正雄 高菊如(261) |
| 54 | 隧道多孔齐爆掘进的数值模拟研究 | 刘 慧 邓志勇 王中黔(267) |
| 55 | Ⅱ类围岩中双线隧道大尺寸深孔楔形掏槽爆破技术实践 ... | 丁希平 胡守云 孙明彪(273) |
| 56 | 软层围岩隧道爆破控制超挖施工技术 | 刁天祥 方俊波(276) |
| 57 | 短进尺、多循环法实现平导快速掘进施工技术 | 彭历辉 张 海 方俊波(282) |
| 58 | 小直径平行孔纵向等差掏槽的应用与实践 | 税明东(286) |
| 59 | 靠椅山大跨公路隧道采用简易钻孔台架全断面光面爆破技术 | 方明山(290) |
| 60 | 内昆铁路毛家坡隧道光面爆破技术 | 李 俊(294) |
| 61 | 牛郎河隧道光面爆破设计及应用 | 周伯倩(299) |
| 62 | 复杂地形条件下预裂爆破布孔技术 | 马卓军(304) |
| 63 | 预裂爆破炮孔破坏形态及对参数设计的影响 | 李彬峰(306) |
| 64 | 提高光面爆破质量的方法 | 戚 金(310) |
| 65 | 非电毫秒不对称起爆网路在降低隧道爆破振动中的应用 | 郑大榕(315) |
| 66 | 爆破振动测试技术及安全评价问题探讨 | 戈鹤川 杨年华(321) |
| 67 | 浅埋地铁区间爆破对地表建筑物的震动影响 | 方俊波 崔天麟(326) |
| 68 | 集中药包与条形药包水下爆炸能量测试 | 颜事龙(332) |
| 69 | 硬岩深孔光面爆破用水胶炸药的研制 | 王文栋 吕秀明 毛风云(338) |
| 70 | PNJ - 1 型炮泥机的研制与应用前景 | 高菊如 杨年华 涂文轩(343) |
| 71 | 石方爆破工程的施工监理 | 刘建亮(347) |

1. 创新是铁道爆破技术发展不竭的动力

——兼议路堑爆破一次成型经验的推广

冯叔瑜

(铁道部科学研究院)

21世纪是创新的世纪,各行各业都在努力发展,以求得到新的突破。技术创新更是我国党和政府非常关注的热点,一场技术革新的高潮即将到来。

1. 铁道爆破技术在不断创新中发展

铁路工程爆破技术正是在不断创新,不断吸收其他部门新技术、新经验中发展起来的。建国初期在修建宝成、鹰厦两条新线铁路时,土石方工程数量特别巨大,尤其在穿越崇山峻岭地段,石方数量平均超过 $10\text{万 m}^3/\text{km}$ 。为此请来了苏联爆破专家,他们不辞辛苦地奔走在几条新线铁路的爆破工地上,又开办爆破技术培训班,培养了大批技术骨干和技术工人。过了一段时间,发现这些专家是矿山爆破工程师,对于铁路路堑和半路堑的边坡和路基的稳定考虑不够,前铁道兵以朱忠节为首的工程师们根据鹰厦铁路已经爆破后的边坡破坏状态,用数理统计方法整理出一套计算参数,即上破裂线 R 、 β 值、路基和边坡保护预留压缩圈与地质、地形有关的计算数值,以及保证边坡稳定的药包布置方法,工程质量有了很大的改善。1962年,铁道部对已经爆破过的十条新线工点组织了一次大规模的、逐一的实地调查,经过一年的工作,总结出了一套比较完整的铁路路堑爆破设计原则和计算参数选择方法,经长期的实践证明,这些原则和方法使边坡和路基的稳定得到保证。

60年代国际上生产了潜孔钻机,在岩石中穿孔速度比较长期使用的绳索式冲击、旋转式钻机和高压风动的钻机效果要高好多倍,一时国内外矿山部门、水利及其他建设单位都有条件广泛采用深孔爆破和光面、预裂等先进的爆破技术。铁道部在新线建设中也购置了大批土方、隧道、桥梁等工程的机械,为实现施工机械化创造了必要的条件。但是适合于铁路施工流动性大、工作面狭小的石方机械国内没有生产,也没有从国外购进。于是在成昆铁路建设中,我们自己着手改装成铁路用的深孔钻机,以便推广深孔爆破和预裂、光面爆破,进而实现石方施工机械化。

由于文革的干扰,工作被迫停顿。直到1973年得到铁三局刘圣化局长、缪垂祖总工程师的大力支持,开始在铁三局管内的邕长线东戍车站,组建了一个178人的石方施工队,主管工程师刘宏刚和铁科院杨杰昌、史雅语等同志奋战11个月,完成了东戍车站站场土石方 28.5万 m^3 的挖填工程,其中开挖石方 11.7万 m^3 ,同时还对路堑边坡进行了光面爆破。深孔爆破后石方挖、装、运、填的工效在正常工作期月产量在 $300\text{ m}^3/\text{人月}$ 以上,最高劳动生产率达到了 $14.6\text{ m}^3/\text{人日}$ 。工程总结中称这样一个不到200人的施工队伍,相当于1500人以上的非机械化的

劳动队伍,深孔爆破的劳动生产率提高 20 倍以上,铁道部基建总局还专门在东成现场召开了全路的经验推广交流会。此后在中铁一、二局以及全路展开了深孔爆破和石方机械化工作。

70 年代末、80 年代初,随着改革开放和恢复、发展生产的需要,许多旧建、构筑物需拆除重建或部分拆除改建,控制爆破技术作为爆破新技术从荒野进入城镇人口稠密的工厂和居民点。我们率先试验并掌握了城市控制爆破技术,先后拆除了许多铁道厂房、桥梁和烟囱、水塔等类旧建筑物。其中比较突出的成功经验,如盖县大桥在不间断通车的条件下,将两座相距 4 m 复线桥中的一座,把钢梁顶起爆破拆除了旧桥墩;还有济南铁路局机车库的爆破拆除,工程量大且环境复杂;以及北京三栋共 1 2 万 m^3 的钢筋混凝土的框架,就在面临北京站的长安街边安全地采用控制爆破拆除。

在这段时期内,曾与路外单位合作掌握了定向爆破筑坝、水下航道、码头的水下爆破和大型的土石方工程爆破,储备了定向爆破和水下爆破技术,还在青藏铁路经过昆仑山高原冻土地区作了冻土爆破试验,初步掌握了冻土爆破技术。

2 . 综合运用先进的成熟技术,也是一种创新

21 世纪,特别是开发西部地区的大潮中,铁道爆破也应该掌握运用一些新的技术,迎接铁路建设的新高潮。可以认为,光面、预裂和深孔爆破技术在国内其他部门,尤其是作为成熟的技术已普遍应用到各处石方工程中。例如三峡永久船闸的开挖,长 2 000 多米,两岸边坡最高达 180 多米,都是采用光面爆破完成的,整个 2 000 多万 m^3 的石方则是深孔爆破开挖的。铁道部门由于种种原因滞后许多年。

水利部门在大坝建设中不仅只对坝肩和坝基开挖采用了预裂、光面爆破,早在 80 年代东江和紧水滩大坝工地还创造了水平预裂方法,这些新技术的应用不仅节约了大量石方的开挖数量,采用水平预裂开挖方法还简化了施工程序,大大降低了劳动强度。

1999 年,刘宏刚同志把预裂爆破和洞室爆破结合起来,在贵州省高速公路的半路堑开挖中,成功地做到了爆破后只需把石方清运,就能显现一处完整的半路堑的雏形,稍加修整即能成为合乎设计要求的路堑和路基。这是一次技术创新。

路堑一次爆破成型的经验在铁路工程中,完全有可能、有条件加以推广应用,更能加以补充、演绎在各种地质、地形条件都能运用的综合爆破。所谓“综合”的意思,就是把我们已经掌握的爆破技术,根据每处施工工点的特点,有机地将洞室、深孔、浅孔、光面、预裂等等甚至药壶法爆破有机地结合起来,按设计要求用微差爆破技术,一次起爆,在几秒钟的时间内就能完成设计要求的铁路路堑或半路堑。

3 . 路堑爆破一次成型的经验值得推广

路堑综合爆破法归纳起来可以分为以下几种情况。

(1)全路堑。路基两侧都有边坡存在,一般来说,地面比较平缓,上部多有土质或厚度不同的风化层岩石。在清除土或软弱风化层以后,挖深不超过 20 m,可以沿边坡面在坡顶上钻凿预裂孔或光面孔,在路基地面上设计深孔一次起爆能炸出一处深槽路堑。当然,路堑的开挖长度不宜过长。例如长在 100 m 以上的路堑,为不致因太多的深孔排数,造成爆破后岩石被“挤

死”不利清挖工作,最好分段进行爆破作业,分段的长度以能布置三排、最多四排深孔为好。这种情况下可以沿路基纵向同时钻凿水平预裂孔,水平预裂孔应在路基标高面上。为了施工方便,可以在钻凿水平孔的前沿,事先开挖一条可以安放钻孔机械的浅沟(图 1—1 和图 1—2),爆破后即可完成一段成型的路堑。

图 1—1 边坡预裂爆破纵剖面图

图 1—2 全路堑预裂爆破平面图

(2)全路堑挖深超过 20 m,宜分两层进行,即以 10~15 m 高度为分层的层高,这对充分利用钻机和与之配套的挖装机械,提高经济效益都有好处。分层后的上台阶不需水平预裂孔,边坡预裂孔也不必按设计坡面的坡度沿边坡面钻孔,可以在上下台阶之间的边坡上留出 1~2 m 的平台宽度,将沿边坡面的倾斜孔改为垂直预裂孔,平台宽度应根据岩石性质确定,一般比较松软、破碎、易风化的石质要留下较宽大的平台,阻止并存留边坡面上风化掉块落石,以防直接滚落路基,影响行车安全(图 1—3 和图 1—4)。

图 1—3 全路堑横断面图

图 1—4 全路堑深挖分层爆破炮孔布置图

第二类是半路堑,大多是线路通过山区或丘陵地带,一般只一侧有边坡,另一侧边坡很低,例如 1~2 m 的高度,或成平面甚至有一部分路基还需填筑一些土石方。半路堑的地质地形条件比较复杂,有的地面坡整齐,地形起伏不大;有的显出冲沟,地面形状变化多端,地质条件也因岩性不一,构造复杂;还有地形陡削,上边坡很高,而下边坡的路基还需部分补填。则可以采用下述两种爆破方法实施。

(3)当半路堑地面坡度比较整齐,同样要根据挖深和路基开挖面积形状,分别布置一层或两层以上的药包,炮孔排数也要根据断面情况确定,除沿地面边坡布置预裂孔外,还应在下边坡一侧沿路基标高线布置水平预裂孔,用微差起爆网路进行爆破。

具有这种条件的半路堑,如能在布设边坡和路基标高预裂孔的同时,在断面上设计条形药包,同样可以达到一次起爆完成路堑断面形状(图 1—5)。

图 1—5 半路堑条形药包+预裂爆破

(4)当半路堑地面坡度变化较大或冲沟较多时,除预裂孔照前述方法布置外,在断面上全用深孔或条形药包都有困难,这就需要根据断面形状,分别设计深孔、条形或洞室药包。

总之,上述方法有可能将我们所掌握的药室法、条形药包、深孔和浅孔以及药壶法爆破技术有机结合起来,充分发挥各种爆破法的特有长处,因此也可以把一次爆破成型路堑的方法叫做综合爆破。

2. 铁路爆破事业的发展与展望

冯叔瑜 王中黔 顾毅成

(铁道部科学研究院)

摘要: 简要回顾 50 年来我国铁路爆破事业的发展历程和成就, 展望跨入 21 世纪后铁路爆破工程技术创新的关键领域和发展方向。

关键词: 铁路爆破事业 发展 展望

铁路爆破技术在我国工程爆破技术发展史上占有一席之地。建国 50 年来, 铁路爆破技术的进步和所取得的成就与我国新线铁路建设的蓬勃发展息息相关, 并在其中作出了一定的贡献。21 世纪铁路新线建设的持续发展仍将在国民经济建设中发挥重要作用, 根据铁道部的初步规划, 2050 年中国铁路网规模将达到 12 万 km, 特别是举世瞩目的我国西部大开发战略部署的实施, 铁路要先行。面对这一机遇和挑战, 我们应在回顾铁路爆破事业发展历程和成就的基础上, 总结经验、自强不息、勇于开拓, 为进一步创新和提高 21 世纪铁路爆破技术水平而努力。

1. 发展历程

中国铁路自 1881 年唐山—胥各庄第一条铁路诞生到 1949 年新中国成立, 68 年时间修了 2.1 万 km 铁路, 平均一年仅修建 309 km, 而电气化铁路等于零, 铁路复线率只有 4%。新中国成立到 1997 年, 解放后的 48 年时间修了 4.5 万 km 铁路, 平均一年新建 938 km, 电气化里程达 1.1 万 km, 线路复线率增长到 27.3%。如果到 21 世纪上半叶实现路网规划 12 万 km, 那末未来每年将新建 1100 km 铁路, 其修造速度将步入一个新的台阶。

众所周知, 在新线铁路建设中, 大高桥、长隧道和重点土石方仍是工程施工中的关键问题, 而后两者都离不开爆破技术。

铁道部原基建总局 1953 年~1962 年的统计资料表明, 土石方工程费只占新线铁路总投资的 21.6%~22.9%, 但劳动力的消耗却高达 51.0%~56.6%。路基土石方工程的数量, 在第一个五年计划期间为 3.74 亿 m^3 ; 第二个五年计划期间为 9.32 亿 m^3 ; 第四个五年计划期间为 5.19 亿 m^3 , 每年平均完成的工程数量约为 1.2 亿 m^3 。1995 年 11 月建成的京九铁路总长 2536 km, 土石方总量为 2.6 亿 m^3 , 这与 50 年来每年修建新线铁路近 1000 km, 每公里约有土石方 10 万 m^3 的数字基本吻合。而在路基土石方工程中, 石方数量一般约占 40%, 山区铁路更高达 60% 以上, 土、石方对劳动力的消耗之比约为 1:3。因此, 工程数量集中, 工作面狭小的重点石方工程区段, 往往成为影响全线通车的关键工程。

石方工程施工的唯一手段就是爆破。解放前主要是人工打眼放炮, 建国初期开始采用手

风钻炮眼爆破法。为解决石方爆破问题,新建铁路的工程技术人员和工人进行技术革新,创造了“竹儿炮”、“二大炮”、“缝子炮”、“木根炮”、“葫芦炮”、“蛇穴炮”等等,有效地改善了爆破效果,但石方工程的劳动生产率仍然很低,只有 $0.8 \sim 3.7 \text{ m}^3/\text{工日}$,远远不能满足新线铁路建设速度的需要。因此,发展爆破新技术、新工艺迫在眉睫。

50年来,经全路广大爆破工程技术人员努力,铁道工程在应用和发展爆破技术方面取得了很大成绩,现将铁路各类爆破方法的发展历程和主要成就叙述如下。

1.1 石方爆破

1.1.1 药室法大爆破

1954年9月,我国铁路第一次在新线跌落崖工地采用药室法大爆破,当时在一个药室中装入炸药 4500 kg ,爆落石方 38324 m^3 。其后,又从前苏联引进了有关药室法大爆破的先进经验,自1955年起便在宝成、鹰厦等新线铁路中大量采用。据统计1955年~1956年间,先后在宝成、鹰厦、外福、内宜等线进行了二百余处药室法大爆破,两年间采用药室法爆破的石方量分别为 152 万 m^3 和 394 万 m^3 ,占整个爆破开挖工程量的 9.5% 和 20.7% ,形成了大爆破的高潮。大爆破的工效达到了 $10 \sim 20 \text{ m}^3/\text{工日}$,加快了新线铁路的施工速度,由此揭开了铁路爆破技术发展的篇章。

60年代初,在广泛采用药室法大爆破的过程中,爆破技术人员不断总结经验,发展了大爆破设计理论,完善了爆破设计计算参数,提出了一套完整的计算经验公式,从而提高了铁路路堑爆破的实际开挖效果和边坡质量。此后药室法大爆破成为成熟的铁路石方爆破的重要手段。铁路采用药室法的最大规模为成昆线上道林子车站爆破工点,一次爆破总装药量达400余吨。改革开放近20年来,铁路系统也多次参与路外的工程建设,其中1992年在贵阳龙洞堡机场营盘坡爆破工点,一次起爆药量达 3019 t ,爆落石方 255 万 m^3 。

1.1.2 定向爆破

1956年7月在内昆铁路内宜段号志口第一次采用了定向爆破。定向爆破是药室法大爆破中的一项特殊技术,它要求有准确的爆破方向和抛掷的石方堆积成一定形状的构筑物(如路堤),因此无论是设计和施工的复杂性、精确度都要比一般的药室法大爆破高。在以后的二十多年中,在川黔、贵昆、娄邵、坪连、湘黔等铁路线上都成功地进行了定向爆破,取得了可喜成果。在此基础上,提出了定向爆破的药包布置原则和确保开挖、抛掷堆积效果的“体积平衡法”。1971年在湘黔线凯里车站机务段进行了一次双侧定向爆破,该工点为两面临空的驼峰形山脊,一面临江,一面临沟。因此设计成双向不等量定向爆破,利用两侧最小抵抗线的差来实现一定比例的抛掷方量差。爆破结果达到了设计要求,其抛掷百分数为 65% ,其中 63.4% 的石方抛向临江一侧, 36.6% 抛向山沟一侧基本将山沟填平,是一次成功的定向爆破。

除铁路、公路采用定向爆破开挖路堑和填筑路堤外,同一时期水利水电和冶金矿山等部门在50年代末至70年代,采用定向爆破技术堆筑了四十多座水利堆石坝、尾矿坝、泥石流防护坝等等,取得了极大成功,并提出了一整套定向爆破筑坝的设计计算方法和相应经验公式。从定向爆破已完工程的技术经济指标来看,目前我国定向爆破技术在设计理论、计算参数和准确度上已超过了采取定向爆破施工较多的前苏联。

1.1.3 条形药包洞室爆破

70年代以前,无论是药室法大爆破还是定向爆破都是采用集中药包的形式,其中分集药包仅仅是对集中药包爆破效果的改善,没有质的变化。铁路线路都呈线形走向,山区路堑大都

傍山开挖,线路走向大体与山体等高线平行,无疑采用条形药包洞室爆破技术更具优越性。1966年在成昆铁路尼波车站站场开挖爆破工程中率先使用了该项技术,试验取得了明显好于集中药包药室爆破的效果。可惜这一新技术的进一步试验研究因文化大革命的开始而中断。

从80年代至90年代,条形药包洞室爆破技术再次兴起,其应用领域和规模逐渐扩大,在铁路、冶金、水电、煤炭、有色、建材等部门成功地进行了数十次从数十吨到上千吨炸药量的条形药包洞室爆破,均取得了很高的技术经济效果。规模最大一次,为部队系统于1992年底在广东珠海市炮台山实施的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51.83%。目前这一技术的爆破理论和设计方法已渐趋完善,可以说是药室法大爆破技术的重大发展。

同一时期,铁路系统也对条形药包的爆破漏斗特性、爆破机理、设计方法和计算参数等进行了系统试验研究和生产性实践,取得了丰硕成果。1993年4月在哈尔滨铁路局讷尔克气采石场实施了一次总装药量106.5t,爆破岩石22.3万 m^3 的条形药包采石大爆破。1994年~1995年在新建铁路横南线武夷山车站两次进行了炸药量分别为63.8t和65.5t的条形药包洞室爆破。爆破工效高达37.6 m^3 /工日,成本降低了27.6%~31%。目前,这一新技术已在新线建设中推广应用。

1.1.4 爆破工程地质学

60年代初,爆破工程地质已逐步发展成为一门新的学科,引起工程界的重视。在广泛采用大爆破的过程中,爆破和工程地质的关系已成为急待研究和解决的新课题。为不断总结经验,改进和提高大爆破的设计理论和施工技术,使工程质量得到改善,1963年铁道部原基建总局组织全路科研、院校和设计施工单位40余人对分布在鹰厦、宝成、兰新、川黔等10条新建铁路线上的318处大爆破工点路堑边坡稳定情况逐个进行调查。据此分析总结了正反两方面的经验和教训,提出了地质条件对爆破效果的影响和爆破作用引起的工程地质问题是互为因果的两个方面。前者是研究各种地质条件(如岩石的层理、节理及风化程度,地质构造形成的断层、大裂隙,喀斯特溶洞和地下水等)可能对爆破效果产生的直接影响;后者则是在研究爆破作用下工程地质方面可能发生的后果问题,如爆破漏斗破坏范围、地表裂缝形成区、对基岩和边坡的损伤和破坏及爆破地震作用下的破坏影响等等。

随后在引入爆炸力学、地质力学、岩石力学、岩体动力学最新成果的基础上,为建立爆破工程地质学奠定了基础,同时推动了铁路爆破技术的进一步发展。1977年铁道部再次组织工程技术人员,对被称为地质博物馆的成昆铁路引用这一成果完成的路堑边坡稳定情况进行调查,所有工点质量良好,爆破技术显著提高。成昆线的爆破技术成就作为“在复杂地质险峻山区修建成昆铁路新技术”的一个组成部分,于1985年获国家科学技术进步奖特等奖。

1.1.5 深孔爆破,光面预裂爆破

铁路施工现代化的重要标志之一是路堑石方施工的机械化,深孔爆破则是实现石方机械化施工的重要手段。70年代初期,在国外特别是美国、日本、前苏联因其筑路工程机械的高度和现代化,已基本实现石方工程施工的全盘机械化。以前苏联为例,1957年在筑路的爆破工程中,10%是由深孔爆破完成的,至1972年这一比重则增长到了95%,劳动生产率达到50 m^3 /工日。

1966年,在成昆铁路施工中首次采用潜孔钻机,进行了深孔爆破试验。利用一台从法国进口的和几台宣化风动机械厂生产的YQ-150型进行了改装的潜孔钻机,至1970年共进行深孔爆破40次,开挖石方45万 m^3 ,取得了可喜成绩。1973年在邯长线东戌车站、1975年在

枝柳线马颈坳工地,再次引进我国矿山等产业部门的深孔爆破技术,使铁路石方爆破的机械化施工程度提高到 80% 以上,工效达 $14.7 \text{ m}^3/\text{工日}$,较一般的小爆破人工挖运工效提高 20 倍以上。1986 年在大秦线铁炉村和上王峪工地进行的深孔爆破,劳动生产率进一步提高到 $40 \text{ m}^3/\text{工日}$,至此各铁路工程局已普遍采用深孔爆破技术并组建了石方机械化施工队伍。

70 年代开始,随着我国工业炸药、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出现;装药技术和起爆技术的改进;在深孔爆破技术的基础上又进一步发展了微差爆破、光面爆破、预裂爆破等新技术。1994 年 12 月中铁三局在青岛市环胶州湾高速公路山角村工地采用深孔爆破、微差爆破、预裂爆破等综合爆破技术成功地一次开挖成型长 470 m 长大深路堑,共布置炮孔 203 排、计 3 080 孔,钻孔总延米 30 719 m,装乳化炸药 73.8 t,用非电导爆管毫秒接力网路、雷管 1.34 万发,共分 594 响,爆破延续时间 4 770 ms,爆破石方总量 11.5 万 m^3 ,为国内长大石方全路堑超多排超多段深孔拉槽控制爆破的典型事例。

资料表明,光面爆破、预裂爆破可使路堑边坡工程量减少 10% ~ 20%,刷坡工作量比其它开挖方法的 4% ~ 5% 减少到 2% 以内,其形成的光滑平整的边坡无需作任何支护处理,同时也减少了线路营运过程中的边坡事故和维修工程量,技术经济效益显而易见。70 年代,在枝柳线、西延线分别进行了光面、预裂爆破的试验,随后在衡广复线、南昆线、京九线、宝成复线施工中局部应用,但未形成规模。1991 年根据铁道部“八五”科技规划再次开展试验研究。1994 年铁路爆破科技人员在柳桂高速公路罗山段,采用简易潜孔钻机钻孔、光面预裂爆破实现边坡成型机械化(达 90% 以上),在石灰岩复杂多变的地质条件下,坡面做到稳定、平整、美观,半孔率达 95% 左右。1995 年完成了“路堑边坡光面、预裂爆破设计与施工标准的研究”,并通过部级鉴定。1999 年在贵州省贵新高速公路引进了铁路系统的这一成果,取得成功。公路系统认为光面、预裂爆破技术不仅可开挖成平整、稳定的边坡,而且赏心悦目,成了一道亮丽的风景线。希望我路设计和施工单位重视自身研究成功的新技术,加大力度应用和推广这一成果。

1.1.6 复线石方控制爆破

80 年代京广铁路衡广复线段的施工,促进了铁路复线石方控制爆破技术的研究、应用和发展。复线石方爆破关键是控制飞石、滚石和振动,确保既有线正常、不间断行车的安全问题。早在 50 年代,在津浦、陇海、丰沙等线的改建中曾实施过,但规模比较小。当时,铁路运营密度不大,尚能“开天窗”进行爆破施工,但仍给运输造成困难、列车晚点,甚至发生行车事故。

衡广铁路复线施工前的单线,行车密度大,运量已趋饱和。新建复线与既有线近在咫尺,在 50 m 范围的石方爆破工点就有 107 处,石方量达 171 万 m^3 。新旧线平行、交叉、换边地段较多,施工与运营相互干扰,施工难度极大。从 1984 年开始至 1987 年 4 年间,设计、科研和施工单位根据不同地形地质条件和各种复杂的环境因素,采用了浅眼、深孔、宽孔距、预裂、光面爆破等综合技术,创造了预留隔墙法、纵向 V 形溜槽法、台阶开挖法、薄层切割法、纵向下导坑法等开挖方法,以及安全有效的防护措施,共爆破 6 564 次,爆破石方 170 万 m^3 。做到“不抽线”,全部利用列车运行间隙时间进行爆破,未发生一起因控爆直接引起的行车事故。在这基础上编制了《铁路增建第二线及改建既有线工程石方控制爆破施工技术规定》,并由铁道部颁发执行。

随着国民经济的发展,为消除铁路运输“瓶颈”,线路复线率在不断增长,石方控爆技术得到了发展。1988 年焦枝线九里山至董庄区间,采用石方深孔松动控制爆破新技术开挖复线深路堑,机械化程度达 97.5%,钻爆挖工效 $33 \text{ m}^3/\text{工日}$ 。1989 年在山西云岗一大同南线铁路的既有线扩堑采用了洞室法松动控制爆破。1995 年在广深线准高速工程的樟木头三线并线工

程中,采用深孔控制爆破三次,完成了 $6\,000\text{ m}^3$ 的石方爆破工程。1992年开始,我路首次在宝成线既有电气化线路上修建复线,其石方爆破较一般的线路更难。继而在1997年至1999年,又在株六电气化铁路长达300 km的复线施工中,完成207个工点207万 m^3 石方控制爆破工程。宝成、株六电气化铁路复线建设,进一步完善和提高了铁路复线石方控制爆破的技术水平。

1.2 隧道爆破

1908年,由杰出的工程师詹天佑主持,在京张铁路上用18个月的时间修建了长1 091 m的八达岭隧道,在中国近代隧道修建史上写下了重要的一页。然而,大规模地修建各种用途的隧道还是从新中国成立开始的。据不完全统计,50年来我国已修建铁路隧道总数达5 300余座,总长度超过3 000 km,其中5 km以上隧道就有22座。我国已成为世界上铁路隧道最多,总长度最长的国家。

爆破是隧道开挖工程中的首要工序,它不仅直接影响隧道的掘进速度,还与隧道的工程质量和工程造价有着密切的关系。

我国隧道爆破技术的发展,从50年代初的黑火药爆破、油灯照明、人力运输到大瑶山隧道采用80年代新技术实现全断面深孔一次爆破成型综合机械化,进而西康线秦岭线隧道实现单口月进尺264 m的好成绩,使我国的铁路隧道爆破技术步入世界先进水平。隧道爆破技术发展的不同阶段,广大科技工作者付出了艰辛的劳动,隧道爆破技术得以创新。

1955年以后的宝成线秦岭隧道(长2 363 m)的修建,首先使用风动凿岩机。合金钎头打眼,采用硝化甘油和2号岩石炸药、电雷管爆破。标志着铁路隧道“由人力开挖过渡到小型机械施工”,成为我国隧道修建技术一个重要的里程碑。

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。60年代在成都官村坝长隧道中采用直眼螺旋掏槽和中空直眼掏槽等多种掏槽方法,使爆破循环进尺突破2 m,炮眼利用率达到95%~100%。从而克服了斜眼掏槽而出现的夹制作用,造成炮眼利用率低的现象。掏槽方法的创新大大提高了隧道的修建速度。

60年代末对铁路隧道光面爆破试验,促进了开挖方法的改进。正台阶全断面开挖法,改善了开挖的工作条件,为光面爆破的发展创造了条件。光面爆破技术的应用,与普通的爆破方法相比具有很多优越性,越来越广泛在隧道施工中采用。70年代末,部科技局在普济隧道进行试验研究并在一些隧道进一步实践,取得光面爆破参数,其设计方法具有一定的实用价值和推广意义,光面爆破技术得到新的发展。

1980年下坑隧道软岩进行半断面微台阶法开挖爆破的科研工作,推动了软岩隧道爆破技术的发展。随后在成渝线金家岩隧道第一次试验成功软弱围岩大断面光面爆破。继而在衡广复线南岭特浅埋软岩隧道进行半断面光面、预裂爆破试验,进一步完善了软弱围岩隧道大断面开挖微振动爆破技术,为加快软岩隧道掘进速度,确保隧道围岩稳定提供了有效的技术措施。

1981年在双线铁路雷公尖硬岩隧道,进行深孔(5 m)全断面(100 m^2 左右)开挖试验,采用大直径中空眼对称直眼掏槽技术,一次开挖成型,使隧道爆破技术又前进了一大步。1987年采用这一新技术成功地建成了衡广复线长达14.295 km的超长双线铁路隧道——大瑶山隧道。在地质条件复杂、修建难度极大的条件下,采用四臂液压钻孔台车钻眼,大直径中空眼直眼掏槽,高威力的水胶炸药、乳化炸药与4号岩石炸药匹配使用,塑料导爆管毫秒雷管全断面一次光面爆破开挖成型。光面爆破的炮眼痕迹率达到70%以上,炮眼深5 m、炮眼利用率超过

90%，平均循环进尺 4.5 m，创造了双线铁路隧道平均单口月掘进速度 144 m，月成洞 99.2 m 的高产纪录。1992 年“大瑶山长大铁路隧道修建新技术”获得了国家科学技术进步特等奖。大瑶山隧道的修建成功，使我国硬岩隧道深孔爆破技术达到了 80 年代的国际先进水平。

西康铁路秦岭线隧道，长 18.456 km，采用钻爆法施工，先于中心位置用大断面平导（26 ~ 30 m²）贯通后扩挖成型。平导围岩以花岗岩和片麻花岗岩为主，大部分抗压强度在 100 ~ 300 MPa 之间，在如此坚硬的围岩中开挖大断面平导在国内隧道施工中尚属首次。在施工中，对硬岩全断面深孔爆破采用的掏槽方式根据地质情况进行改进，优先使用具有良好波阻抗匹配的专用高威力水胶炸药，解决了特硬岩长隧道平导钻爆法快速施工技术。于 1995 年 1 月双向进洞开挖至 1998 年 3 月全线平导贯通，取得了平均掘进进尺 264 m/月，最高达 456 m/月的优异成绩，使我国铁路隧道爆破的技术水平，步入世界先进行列。

铁路爆破工程科技人员，还在铁路复线建设，增建二线工程及城镇复杂地区的隧道施工中，采用微振动控制爆破技术，解决了线间距偏小条件及城市浅埋隧道等新建隧道的爆破施工问题。

1.3 拆除爆破

拆除各类建筑物和构筑物的爆破，国内统称为控制爆破、城市拆除控制爆破，亦简称为拆除爆破。70 年代以来，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。用爆破方法去完成这类工程任务，比人工或机械方法都具有无可比拟的优越性，它主要表现在施工设备简单、极大减轻工人的劳动强度、安全可靠和缩短工期。

1973 年，在王府井繁华地区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 2 200 m² 的钢筋混凝土结构地下室。自 1975 年开始，铁路系统的科研设计和施工单位先后结合皖赣、津浦、京广、陇海、长大、石太、天兰、衡广等铁路干线、车站及许多厂、段企业的技术改造进行了系统的试验研究和生产实践，在不中断铁路运输、确保行车安全以及周围建筑物及人身安全的前提下，采用拆除爆破技术完成了大量建筑物与构筑物的拆除工程，带来了巨大的社会效益。1977 年，铁路在唐山及其周围地区震后的抢险救灾中，采用这一技术成功地拆除了大量危楼、厂房、烟囱和水塔，发挥了重要作用，由此推动了拆除爆破技术的应用和发展。

拆除爆破与一般的土石方爆破技术不同，它是爆炸力学与材料力学、结构力学、断裂力学等工程学科完美结合。铁路系统通过大量试验和工程实践，采用高速摄影、应力应变、振动测试等多种观测手段，具体分析各类建（构）筑物在爆破作用下的破碎、失稳、解体、倒塌的物理力学和运动过程，在使用国产炸药的基础上，建立了我国自己的拆除爆破技术体系。总结出一套适合国情的拆除爆破设计原则和方法，系统的设计参数和计算公式；根据不同结构和环境条件采用原地坍塌、定向倾倒、折叠倒塌、水压爆破等方法；研制成功燃烧剂非电引燃技术、导爆管塑料多通道联接插头、连通管及四通传爆件、组合式导爆管激发器，以及非电导爆管格式闭合起爆网络；提出了相应的施工工艺和安全防护技术。这些成果先后获得了 1978 年全国科学大会优秀成果奖，1985 年国家科学技术进步三等奖，1987 年国家发明三等奖。

近 20 多年来，路内各单位在重要铁路干线和车站，成功地应用拆除爆破技术拆除了天津和济南铁路局机务段的机车库、天津火车站地下人防巷道（近 400 m）、深圳市火车站旧站房、长大线盖县铁路大桥、津浦线德州站立交桥、陇海线黑石关铁路旧钢桥、广东省三茂线北江大

桥、风陵渡黄河大桥等大型建(构)筑物,以及浑白线枫叶岭隧道和京原线驿马岭隧道的病害整治工程。在改革开放政策的指导下,在市场竞争机制中,铁道部门的专业化爆破公司充分利用这一先进技术在国内各大城市完成了北京国际饭店建址 1.2万 m^3 钢筋混凝土结构物,北京金属结构厂 3.3万 m^2 的各类厂房、北京医院旧门诊楼、北京新侨饭店原礼堂和中餐厅、中南海内人防工事、上海国棉二十五厂前纺织车间、厦门国宾馆旧 5 号楼、广东省政府招待所大楼、西安钢厂、通化市公路大桥、通化钢铁厂、佛山汾江水泥厂、武汉体育馆大型高压滤水罐、合肥市三层预制大板结构楼房、成都市高 61.2m 的跳伞塔等大型拆除爆破工程数百项,为铁路系统带来了声誉。

1995 年广东省的爆破公司,在茂名市爆破拆除了两座高达 120m 的钢筋混凝土烟囱,烟囱按设计指定的方向倾倒,彻底破碎,周围建筑物和设施无一损害。1999 年 2 月上海市的爆破公司,爆破拆除的长征医院旧病房大楼长 29.34m 、宽 20.28m 、16 层楼高 68.4m ,该大楼位于上海市南京西路和成都北路交界处,周围环境复杂。爆破设计总体方案是向南定向倾倒,分东西两个爆区 16 个爆段,采用三维(前后、左右、上下)立体延期,每响的时间间隔为 0.5s ,总时间 4s ,从起爆到楼房全部倒塌着地历时 8.4s 。爆破效果达到了设计预定目标。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,是迄今为止国内爆破拆除的最高楼房。

由此可见,拆除爆破技术的应用前景方兴未艾,尚有很大的创新和发展潜力。

1.4 其它爆破技术

铁道工程在许多情况下都有应用常规爆破技术和特种爆破技术的条件和需要,50 年来在下述一些施工领域也取得了一些可喜成绩和经验。

1.4.1 冻土爆破

我国幅员广大,有相当一部分是属于冻土区,其中有东北的高纬度冻土,也有青藏的高海拔冻土,它们又分为多年和季节性冻土两类,铁路线穿越这类地区施工条件十分恶劣。1975 年因修建青藏铁路的需要,在昆仑山的风火山和清水河两个工地,进行了高原冻土地区爆破开挖技术的试验研究。经过两个夏季在冻土地区的试验结果,证明采用爆破配合机械化施工是比较合乎理想的快速施工法。

(1)用聚能药包(又称穿破弹)代替机械钻孔。一个重 14kg 、采用梯黑(50/50)熔铸装药、玻璃药型罩的聚能药包,一次爆破可炸出口径 20cm 、底径 11cm 、孔深 3.2m 的炮孔。平均费用为 30元/m ,虽然略高,但解决了一般钻机在有高原冻土中难于钻孔、成孔、效率低的问题。

(2)利用抛掷爆破配合机械施工。在开挖桥墩基坑时,首先用爆破法将 50% 的冻土抛掷出去,然后用机械快速清挖残留部分,用吊机将预制的混凝土块吊装就位,一天便可完成一个桥墩基础的施工,实现了冻土桥涵基坑的快速施工。

(3)从冶金系统引进并在冻土地区施工中试用成功防水、抗冻的浆状炸药,解决了钻孔内冻层融化成水,影响起爆能力或拒爆的问题。

1.4.2 软弱地基爆破处理

我国软弱地层不仅在沿海或河滩存在,在内陆丘陵或山区高原也常遇到。在这一类的地质条件下,给修筑路基或其它建筑物带来一定的困难。

50 年代在萧山线宁波地区、60 年代在贵昆线、70 年代在湘黔线,曾采用过爆破排淤换土、爆破压实、爆破扩孔沙井固结法等提高软弱地基的承载力,取得了一定的施工经验。但近年来