

文章编号: 1006- 2106(2010) 01- 0077- 05

从光面 (预裂) 爆破的应用谈爆破技术的进步与发展^{*}

顾毅成^{**}

(中国铁道科学研究院, 北京 100081)

摘要: 研究目的: 通过回顾光面 (预裂) 爆破的研究与应用历程, 说明爆破技术的进步为社会和经济发展带来了巨大的效益, 充分体现了科学技术是第一生产力, 从而指出对爆破质量与安全的高标准要求 and 不懈的追求是爆破技术进步与发展的动力。

研究结论: 我们要用正确的理论来指导爆破技术创新, 及时引进相关先进设备和技术进步来支持爆破技术的发展, 通过制定标准规范以促进先进技术推广应用, 并在实践中检验和不断升华。论文还对光面 (预裂) 爆破技术的发展提出了建议。

关键词: 爆破; 光面 (预裂); 进步; 发展

中图分类号: TJ51 **文献标识码:** A

Comments on the Progress and Development of Blasting Technology from Application of Smooth (Presplitting) Blasting

GU Yi- cheng

(China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract Research purposes This paper reviews the research and applicable experience of smooth (presplitting) blasting to show the progress of the blasting technology, the contribution to great social and economic benefits made by the blasting technology and that the science and technology is the first productive force, and points out the continuous seeking the high requirements of quality and security for the blasting is the power for the progress and development of the blasting technology.

Research conclusions The correct theory should be used to guide the innovation of the blasting technology, the advanced equipments and technologies should be introduced to support the development of the blasting technology in future, and the standards and codes should be worked out, verified and improved to push forward the application of the blasting technology. This paper also gives suggestions on the development of the smooth (presplitting) blasting technology.

Key words blasting; smooth (presplitting); progress; development

1 爆破技术的发展概述

作为工程爆破技术的基本要求, 就是岩石按设计要求破碎、抛掷, 以形成新的岩土构筑物, 而在工程设

计的岩体范围外, 则要最大限度地避免爆破对岩体的破坏和损伤。

岩石开挖是利用炸药的爆炸力将岩石炸碎, 这种爆炸力经常会使靠近开挖区的岩体或建筑物破坏。要

* 收稿日期: 2009- 11- 09

** 作者简介: 顾毅成, 1943年出生, 男, 研究员。

求开挖范围内的岩体在爆破作用下破碎,该保留的岩体避免爆破对其损伤。这是爆破人的梦想。

有梦想才有追求。

于是,光面爆破(smooth blasting)和预裂爆破(presplitting blasting)在爆破人的追求中诞生、成长、成熟。

光面爆破是沿设计开挖边界布设密集炮孔,采用不耦合装药或装填低威力炸药,在主爆区爆破之后起爆的以形成平整的开挖轮廓的爆破作业。

预裂爆破是沿设计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。

光面爆破和预裂爆破已广泛用于地下与露天开挖工程。

为了得到整齐的壁面,减少超欠挖和保护保留岩体,过去主要采用预留保护层或轮廓线钻孔法(即防震孔法)等预防措施,这些措施使开挖工期延长,还会增加投资。20世纪50年代初,瑞典的一些科学家,如U.兰格福斯等人在树脂玻璃和地下工程岩石中进行试验,得到关于光面爆破的初步结果,缓冲爆破和光面爆破技术在美国和加拿大得到进一步发展;1957年在美国科罗拉多矿山首次采用了预裂爆破法;1959年美国尼亚加拉水电站引水渠和竖井开挖中使用了预裂爆破法;之后,许多国家在不同岩体中都取得预裂或光面爆破的良好效果。

我国于1964—1965年在湖北陆水水电站施工中做过浅孔预裂爆破试验,1965年,铁道部门在成昆铁路建设中开始试验光面爆破,1977年在西延线张家船工点,全长近200 m的2 000 m²路堑边坡,全部采用光面爆破后,边坡平整稳定,残留的半个孔壁清晰可见,是铁路建设中第一次采用路堑光面爆破。20世纪70年代,在葛洲坝水利枢纽工程中曾做过大规模预裂爆破试验,并取得良好效果,之后,设计单位在施工中将缓坡均改为较陡的边坡,并实施预裂爆破,该工程预裂孔有垂直的,也有倾斜的(60°~75°),一次钻孔最大深度达38 m,在砂岩和砾岩地质条件下取得了良好的预裂壁面,这是中国爆破史上首次大规模地运用预裂爆破。葛洲坝的成功经验为水利水电行业全面推广应用预裂爆破打下了良好的基础,预裂爆破已成为必须进行的保护边坡质量的技术措施。我国水利水电行业在许多工程中都取得了优良的预裂爆破效果,整齐的预裂壁面像纪念碑一样标志着我国爆破开挖质量进

入一个崭新的阶段(如图1所示)。



图1 三峡船闸航道工程整齐的预裂壁面

1987年,在衡广复线长达14 295 km的超长双线铁路隧道——大瑶山隧道,铁路施工单位实现了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,深5 m的炮孔炮眼利用率超过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的高产记录。

据煤炭、水电、冶金、铁道部门1987年对全国洞挖工作量的估算,当时我国洞挖工程的年进尺约5 000 km,采用预裂爆破与光面爆破技术,按减少超挖10 cm计,相当于少挖250 km隧洞,由此可见,这项技术仅减少超挖给工程建设就带来了巨大经济效益。

近20年来,在我国高速公路建设中,穿越山区往往需要进行高边坡的路堑开挖,在广西柳州、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(如图2所示)。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。

光面、预裂爆破在我国的应用实践表明,爆破技术的进步为社会和经济发展带来巨大的效益,充分体现了科学技术是第一生产力。

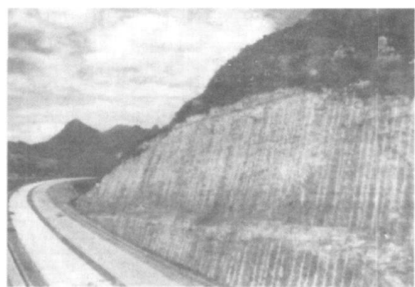


图2 柳州高速公路罗山石质路堑边坡平整稳定

2 理论指引技术创新

只有在正确理论指导下,技术创新才会富有成效。光面、预裂爆破技术的成长是理论指引技术创新的成功典范。

保证预裂爆破成功的必要条件是不压坏孔壁和沿预定的方向成缝。20世纪60年代初期,在工程施工中成功地进行预裂爆破之后,美国、瑞典、日本以及南非的一批爆破学者开始了关于预裂成缝机理和模型试验的探讨,先后提出爆破成缝机理的见解。也有人从断裂力学的观点解释预裂成缝机理,利用动光弹模型进行另一种途径的研究。

从半无限体单孔爆破的物理现象研究,解释岩石爆破破碎原理有应力波干涉破坏理论、以高压气体为主要作用的理论及爆炸应力波与高压气体联合作用理论,光面、预裂爆破成缝机理都以上述理论为基础,通过研究,提出了预裂爆破、光面爆破不耦合装药或采用低速炸药的概念。

我国对预裂爆破机理的研究,始于20世纪70年代,主要是做一些小型砂浆试块的模型试验。20世纪80年代以来,我国在预裂爆破机理实验研究和利用经典力学计算炮孔间应力分布、装药量计算等方面有长足进步,大大缩小了与发达国家的差距。1987年,煤炭部、水电部、冶金部、铁道部还联合召开的预裂爆破、光面爆破机理讨论会,有力地促进了爆破理论研究。采用现代化仪器设备在实验室里观测预裂爆破的现象与本质,从中总结其基本规律是推动预裂爆破技术发展不可缺少的手段。中国矿业学院北京研究生部建立了一套动光弹加载系统和实验技术和性能稳定的超高频动态测量系统,为研究小药量模型试验中应力、应变、质点位移、质点振动速度等提供手段,对工程设计和实践关心的一些重要问题开展了研究。测出了岩板、砂浆板中应变峰值随不耦合系数增大而衰减的规律,研究了相邻炮孔同时起爆时,炮孔间裂缝贯穿的基本规律;以及相邻炮孔起爆时差不同时,对炮孔间裂缝形成和贯穿结果的影响,这些成果对预裂爆破在工程中的推广应用都起到指导作用。

此后,有关预裂爆破机理及利用经典力学计算预裂爆破时炮孔间应力分布和计算预裂爆破的装药量等论文又发表不少,包括在爆炸能量定向利用理论研究的指导下,提出了包括炮孔壁定向刻槽、炮孔内置入定向刻槽套管及聚能药包等多种技术措施,并在实践中应用。

这充分显示了爆破理论研究的重要性,在正确理论的指引下,有利于加快技术创新,有利于新技术的推

广应用。

3 设备器材发展成就技术进步

虽然早在半个世纪前,在爆破开挖界面实施光面、预裂爆破已是爆破人的梦想,但囿于钻孔设备难以实施。为了解决钻孔难题,铁道部门在1966年修建成昆铁路时,会同宣化风动工具厂用东方红拖拉机改装潜孔钻机,首次在道林子车站进行了光面爆破参数试验。

随着钻孔机械的发展,现在已有各种钻孔设备可以满足不同条件光面、预裂爆破钻孔的需要。铁道部门广泛采用的QZ-100型三角架式潜孔钻机,以其小巧、机动、灵活,适用于中、小型露天石方工地,只要严格做好边坡的测量放线,修建好钻机平台,按照“对位准、方向正、角度精”三要点安装架设钻机;挑选技术水平较高的钻机司机,可以保证钻孔的准确性。

改善光面(预裂)爆破效果的另一重要因素是采用专用炸药和改进装药结构。目前我国多数现场的光面(预裂)爆破装药方式仍比较落后,国内一些厂家虽能生产光面(预裂)爆破专用炸药,但某些地区采购困难或价格过高,影响推广应用。对于大孔径深孔光面爆破采用PVC管半壁缓冲和不耦合装药,并安装简易居中器,可以提高半孔率。因此,推广使用适用于光面(预裂)爆破的专用药卷,研制药卷的定位器及间隔堵塞器,是提高我国光面(预裂)爆破施工作业水平的一项工作。

现在,越来越多的爆破工程处于复杂环境下,对光面(预裂)爆破同样需要控制爆破振动。就起爆器材而言,国产数码电子雷管与高精度导爆管毫秒延期雷管,为降低爆破振动的实现提供了有力保证。

现代测试技术的发展,可以通过爆破前后超声波探测,以及爆破过程中的爆破振动检测等,实施信息化施工,及时判断岩体受爆破影响的损伤程度,对爆破开挖面进行分析评价,在此基础上优化光面(预裂)爆破设计,保证光面(预裂)爆破的工程质量。

总之,及时引进相关先进设备和技术,对成就爆破技术的发展有着重要的意义。

4 标准规范促进推广应用

技术标准是指重复性的技术事项在一定范围内的统一规定,它以科学、技术和实践经验的综合成果为基础,通过技术标准的实施和运用,又起到促进科技研发成果转化为生产力的作用。光面爆破、预裂爆破的推广应用充分表明标准规范在促进实施规模化生产经营的重要作用。

1983年,我国水电部门依据葛洲坝的成功经验,

率先在《水工建筑物岩石基础开挖工程施工技术规范 (SDJ 211—83)》将预裂爆破收入其中,为水利水电行业全面推广应用预裂爆破打下了良好的基础。

光面爆破、预裂爆破的质量评定标准,目前已在一些国家或部门规范和标准中正式收入。在评定光面爆破、预裂爆破的效果时,应当根据工程用途,合理地拟定各项具体标准。如水工隧洞有时要求不许渗漏水,因而要求更高;某些矿山巷道服务年限不长,要求可以低些。而铁路公路隧道涉及行车安全,应以确实保护围岩稳定为主要指标。因此,对于大多数隧道和地下工程,这些质量要求被看做是带有强制性的,必须努力实现的技术质量要求。铁路隧道的光面爆破、预裂爆破质量评定标准列如表 1 所示。

表 1 铁路隧道光面预裂爆破质量评定标准

序号	项目	硬岩	中硬岩	软岩
1	平均线性超挖量 /cm	16~ 18	18~ 20	20~ 25
2	最大线性超挖量 /cm	20	25	25
3	两炮衔接台阶最大尺寸 /cm	15	20	20
4	炮眼痕迹保存率 %	≥80	≥70	≥50
5	局部欠挖量 /cm	5	5	5
6	炮眼利用率 %	90	90	95

为了在路内全面推广应用光面 (预裂) 爆破,铁道部于 2008 年 7 月 9 日发布并开始实施由中国铁道科学研究院主编的《铁路路堑边坡光面 (预裂) 爆破技术规程 (TB 10122—2008 J 810—2008)》。在该规程中,不仅规定凡属 III 级以上岩石边坡,设计边坡坡度为 1:0.1~ 1:0.75 需要采用爆破开挖的路堑,在边坡部位的爆破设计施工都应采用光面爆破或预裂爆破,阐述了光面 (预裂) 爆破设计原则和参数、施工技术设计、安全措施,而且还明确了路堑边坡光面 (预裂) 爆破一般项目质量验收检测数量和检测方法。无疑,铁路路堑边坡光面 (预裂) 爆破技术规程的实施,必将有力地推动和促进光面 (预裂) 爆破技术在铁路建设中的应用。

5 先进技术在实践中检验和升华

技术进步是无止境的,先进技术在实践中得到检验并不断升华。

硐室爆破曾在我国得到广泛的应用,由于一次爆破药量大,容易对边坡产生损伤。硐室加预裂一次成型综合爆破技术,就是在硐室爆破主药包爆破前对边坡实施预裂爆破,从而改善了边坡质量,图 3 为焦晋高速公路某段采用该项爆破技术,92 m 高的边坡稳定、平整、美观。

在铁路复线施工中,爆破岩体往往紧邻运营线路,

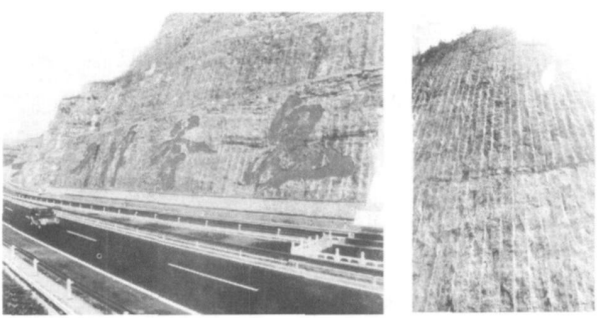


图 3 焦晋高速公路某段采用硐室加预裂综合爆破技术,92 m 高的边坡稳定、平整、美观

爆破环境十分复杂。图 4 为某复线开挖工程,在不可能开天窗爆破的苛刻条件下,采用深孔预裂爆破成功完成大面积薄层岩体边坡。



图 4 某复线开挖工程采用深孔预裂爆破成功完成大面积薄层岩体边坡

中国水利水电第七工程局承建的向家坝水电站采用“爆刻成形技术”,在超大型地下厂房复杂地质条件下岩壁梁部位开挖中,对实现岩体爆破成形取得突破 (图 5)。

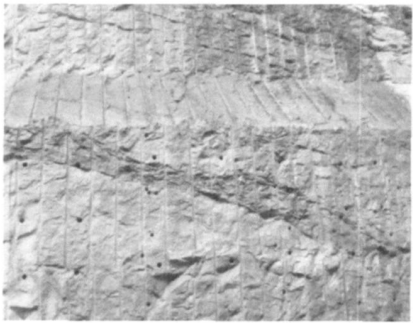


图 5 向家坝电站岩壁梁光面爆破效果

一些开挖工程中,采用建立破碎带和预裂—光面爆破法、施工预裂爆破等技术措施,提高了预裂爆破效果。

以上工程实例表明,爆破技术的发展永无止境,即使再复杂的工程,只要我们保持一颗不断追求的心,勇于创新,严格要求,一定能把工程做得更好。

6 结论

今后 10 年乃至更长一段时期, 铁路建设会有持续的发展, 石方开挖离不开爆破技术, 采用光面、预裂爆破, 完全可以在爆破后实现稳定、平整、美观的路堑边坡。为了推动先进、成熟的科技成果向生产力的转化, 对光面(预裂)爆破, 建议继续开展以下研究:

(1) 围绕光面(预裂)爆破关键设计参数, 针对不同地质地形条件, 采用计算机辅助设计, 进行智能专家设计系统和设计优化技术的研究。为在路堑边坡中大面积推广应用边坡质量控制技术提供先进、科学的设计依据和方法。

(2) 进一步提高光面(预裂)爆破施工装备技术水平, 研发在钻孔时能自动调整钻孔偏角的钻孔定向测控系统, 以确保钻孔精度和质量; 积极发展炸药现场混装车, 采用气体膨胀栓塞等装药结构, 进一步提高装药、填塞机械化水平。

(3) 探索提高炸药能量利用率和工程爆破精细化的途径; 研究采用先进、便捷的测量技术, 监测和评估爆破对岩体的损害程度, 进一步提高光面(预裂)爆破的工程质量。

(4) 复杂环境光面(预裂)爆破施工安全技术的研究, 特别是通过应用数码电子雷管, 进一步有效降低爆破振动对环境的影响。

(5) 要通过总结工程的实践经验, 进一步完善光面(预裂)爆破技术及有关器材与安全的标准、规范。

参考文献:

- [1] 冯叔瑜, 王中黔, 顾毅成. 铁路爆破事业的发展与展望 [C] // 铁道工程爆破文集. 北京: 中国铁道出版社, 2000
Feng Shuyu, Wang Zhongqin, Gu Yicheng. Development and Prospect of Railway Blasting [C] // The Collections of Railway Engineering Blasting. Beijing: China Railway Publishing House, 2000
- [2] 张正宇, 等. 现代水利水电工程爆破 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003
- [3] Zhang Zhengyu, etc. Engineering Blasting of Modern Water Power [M]. Beijing: China Waterpower Press, 2003
- [3] TB 10122—2008 铁路路堑边坡光面(预裂)爆破技术规程 [S].
TB 10122—2008, Code for Smooth (Presplitting) Blasting Technology of Road Cutting Side for Railway [S].
- [4] 熊代余, 顾毅成. 岩石爆破理论与技术新进展 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2004
Xiong Daiyu, Gu Yicheng. The Theory and Technology Improvement of Rock Blasting [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2004
- [5] 杨年华. 路堑边坡弱扰动爆破开挖技术 [J]. 中国铁路, 2007(5): 47—50
Yang Nianhua. Excavation Technology for Weak Disturbance of Road Cutting Side Slope [J]. China Railways, 2007(5): 47—50
- [6] 中国工程爆破协会. 中国典型爆破工程与技术 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006
China Society of Engineering Blasting. China Typical Blasting Construction and Technology [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2006
- [7] 顾毅成. 爆破工程施工与安全 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2004
Gu Yicheng. Construction and Safety of Blasting Engineering [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2004
- [8] 冯叔瑜, 顾毅成. 路堑爆破边坡质量控制技术的发展与分析 [J]. 铁道建筑技术, 2004(4): 1—4
Feng Shuyu, Gu Yicheng. An Analysis of the Development of Side Slope Quality Control Technology for Road Cut Blasting [J]. Railway Construction Technology, 2004(4): 1—4
- [9] 顾毅成, 史雅语, 金骥良. 工程爆破安全 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2009
Gu Yicheng, Shi Yayu, Jin Jiling. Blasting Safety of Engineering [M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2009
- [5] 罗伟新. 单界面反射的反射波法频率域解释方法的研究 [J]. 地球物理学报, 1997(4): 570—579.
Luo Weixin. Single-interface Reflection of the Reflected Wave Method in Frequency Domain Interpretation of the Study [J]. Journal of Geophysics, 1997(4): 570—579
- [6] 何振起, 李海, 梁彦忠. 利用地震反射法进行隧道施工地质超前预报 [J]. 铁道工程学报, 2000(4): 86—90
He Zhenqi, Li Hai, Liang Yanzhong. Using Seismic Reflection Method for Tunnel Construction Geological forecasting [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2000(4): 86—90
- [7] 李忠, 刘秀峰, 黄成麟. 提高 TSP-202 超前预报系统探测距离的技术措施的研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2003(3): 130—133
Li Zhong, Liu Xiufeng, Huang Chenglin. Improve Early Warning System Ahead of TSP-202 Detection Range of Technical Measures for Research [J]. Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003(3): 130—133