

文章编号:0253-9993(2013)01-0097-06

坑道出口现场爆破模型试验

王嘉乐,杨泽进,李 义

(太原理工大学 矿业工程学院,山西 太原 030024)

摘要:针对某坑道出口爆破工程,研究决定采用“预裂爆破成型,平面药包分层剥离、定向抛掷”的爆破方案来解决坑道出口的可控爆破破碎和抛掷问题,采用“预留卸碴坑,抵抗层双向抛松,一次成型”的爆破方案来解决坑道出口两侧临空岩壁单向抛掷问题。为验证方案的可行性与时效性,根据工程环境地质条件及坑道几何参数,由爆破相似律确定试验爆破模型主要设计参数与试验爆破参数,进行现场爆破模型试验。试验结果得知爆后坑道出口全部贯通,洞口成型较好,岩石抛掷距离达到了设计要求。表明该爆破方案试验设计合理可行,爆破设计参数选择正确,得出了该爆破方案能够实现坑道出口爆破的快速疏通,试验为坑道出口爆破提供了设计参数和理论依据。

关键词:坑道出口;现场爆破;模型试验;抛掷爆破

中图分类号:TD253.3 **文献标志码:**A

Model test of site blasting at tunnel exit

WANG Jia-le, YANG Ze-jin, LI Yi

(College of Mining Technology, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: For the blasting project at tunnel exit, and dealing with the controllable fragmentation by blasting and throwing, this study will apply the blast plan of “shape by presplit blasting, layered splitting by flat charge and throwing in fixed direction”. Through “reserving unloading dump, losing the resistance layer bi-directionally, and shaping in one blasting”, this study can address the throwing of exposed rock on either side of the tunnel exit. In order to verify the feasibility and effectiveness of the plan, according to the engineering geological conditions and tunnel geometric parameters, site blasting is carried out based on the fact that the main design parameter of the blasting test model and blasting test parameters are determined by blasting similarity law. Test results show that tunnel exit is dredged well, the cave's entrance has a good shape, and rock throwing distance meets design requirements. Thus this blasting project can be considered reasonable and its blasting design parameters are adequate. This blasting project also provides design parameters and a theoretical basis for prototype blasting at the tunnel exit, given that it can dredge the exit quickly after blasting.

Key words: tunnel exit; site blasting; model test; throwing blasting

坑道出口控制爆破快速疏通不仅要解决坑道封口隐蔽体的可控爆破破碎及抛掷问题,而且要保障所形成的坑道出口具有足够的稳定性,以确保隐蔽口部的快速畅通。主要技术难点在于坑道出口隐蔽体两侧临空,抛掷一侧没有反向抵抗,爆破破碎岩石的定向抛掷存在很大困难,即抛掷爆破的反向支撑困难。

国内外关于坑道(隧道)爆破技术的研究很多^[1-4],主要集中在掏槽形式和周边成型等方面,巷道或隧道无槽爆破只限于理论探索,实际应用很少,国内尚未开展此类技术的综合研究。

根据某设计研究院提供的工程环境地质条件及坑道几何参数,选择类似的工程地质条件,在尽量减

收稿日期:2011-12-15 责任编辑:常 琛

作者简介:王嘉乐(1985—),男,山西交城人,硕士研究生。E-mail:112814471@qq.com;通讯作者:李 义(1957—),男,山西右玉人,教授,博士生导师。E-mail:liy@tyut.edu.cn

少坑道掘进工作量的前提下,实施坑道出口抛掷爆破现场大比例模型试验。其目的是验证设计方案的可行性和时效性,确定坑道爆破对坑道主体及其防护结构的影响程度和影响范围,观测爆破岩石的抛掷效果和抛掷范围,检验坑道出口抛掷爆破快速疏通效果。

1 坑道出口疏通技术爆破方案

坑道出口爆破有其特殊性,既不同于隧道掘进爆破^[5-7],也与水下岩塞爆破有很大差别^[8-12]。其难点在于坑道出口两侧临空,抛掷一侧没有反向抵抗,属于无槽爆破。经研究决定坑道爆破采用主体预裂爆破成型,平面药包分层剥离、定向抛掷;预留卸碴坑,抵抗层双向抛松,一次成型的爆破方法^[13]进行,具体实施方案如下:

(1)坑道周边采用预裂爆破,在主体爆破前形成一条贯通裂缝,解除坑道围岩对爆破体的约束,以提高抛掷效果。同时还可维护坑道围岩及其防护结构的稳定性。

(2)坑道出口主体爆破采用平面药包分层剥离、逐次抛掷的爆破方法,将爆破岩石抛出设定距离。为

增加抛掷距离,各分层均采用平面药包设计。作为反向支撑的抵抗层,在最后实施两侧抵抗线不等的抛松爆破,将抛掷一侧的岩石抛出设定距离,而将松动一侧的岩石抛填在坑道内预先设置的卸碴坑内。

坑道出口现场爆破模型试验,缩小后的坑道掩体平均厚度约为 3.0 m,分两层爆破,前一层按平面药包加强抛掷爆破设计,分层厚度 1.0 m 左右;抵抗层厚 2.0 m 按抛松爆破设计。

2 现场爆破模型试验参数设计

坑道出口现场爆破模型试验地点选在某采石场。该采石场出露岩层为较完整的石灰岩,岩石普氏系数 $f > 6$,属 II-III 类围岩。石灰岩呈层状赋存,倾向 N22°W 倾角 45°左右。试验硐室附近沿岩层走向分布有间距不等的横向节理,部分节理间有黄泥充填物。

根据提供的坑道参数,通道出口岩石覆盖层平均厚度 6.0 m,坑道出口采用半圆拱断面,巷道宽 5 m,高 6.0 m。按 2:1 几何缩比 ($C_l = 2$) 设计试验坑道,试验坑道仍为半圆拱断面,宽 2.5 m,高 3.0 m,坑道出口爆破平均厚度约为 3.0 m。由爆破相似律和量纲分析^[14]可得试验主要设计参数,详见表 1。

表 1 坑道出口现场模型爆破试验主要设计参数

Table 1 The main design parameters of the tunnel exit blasting model test

参 数	模型计算公式	现场爆破模型		备注	
		计算值	实际取值		
断面面积/m ²	$S' = S/C_l^2$	6.83	6.83	S', S 表示模型和原型的断面面积,下同	
堵塞段厚度/m	$h' = h/C_l$	3.00	3.00		
分层爆破厚度/m	$l' = l/C_l$	0.75	1.00	模型分两层爆破	
钻孔直径/mm	预裂爆破	$d' = d/C_l$	21	42	与原型一致
	平面药包	$d' = d/C_l$	45	50	提高装药集中度
主爆堆抛掷距离/m	$L'_x = L_x(C_l)^{3/4}$	2.25	3	近似按几何相似比设计	
主抛平面药包药量/kg	$Q' = Q/C_l^3$	18.00	18.26	模型爆破顶部装药略有减少	
起爆方式			孔内延期		

为保证爆后坑道出口的稳定性,准备硐室及通道入口选在距爆破掩体 10 m 之处,准备硐室断面与坑道出口断面相同。试验准备硐室及通道设计施工图如图 1 所示。

为了提高爆破掩体的施工精度,在掘进巷道接近掩体外壁 4 m 多处,由外向里打一通眼,以准确控制爆破岩壁的施工精度。岩壁和准备硐室成型后,利用下部周边预裂眼在同一水平打通两个贯通眼,以此确定里面平面药包钻孔的相对位置。硐室成型后,爆破掩体(岩壁)的厚度,靠近山体一侧(里)为 2.95 m,外侧为 3.1 m,平均为 3.0 m。

3 试验爆破参数设计

按照前述爆破方案结合现场实际情况,同时也考虑到殉爆效应,对缩小后的坑道断面的爆破参数作了适当修改。考虑到现场爆破模型试验坑道出口厚度仅为 3.0 m,所以将原设计中的分层数由原来 3 层改为 2 层,分层厚度改为 1.0 m。周边预裂爆破采用连续柱状空气不耦合装药结构,钻孔直径为 42 mm,采用 $\phi 25$ mmPVC 管连续装药,内设导爆索全长瞬时起爆,平均装药密度达到 400 g/m,不耦合系数为 1.6。

为提高装药集中度,平面药包装药钻孔直径采用

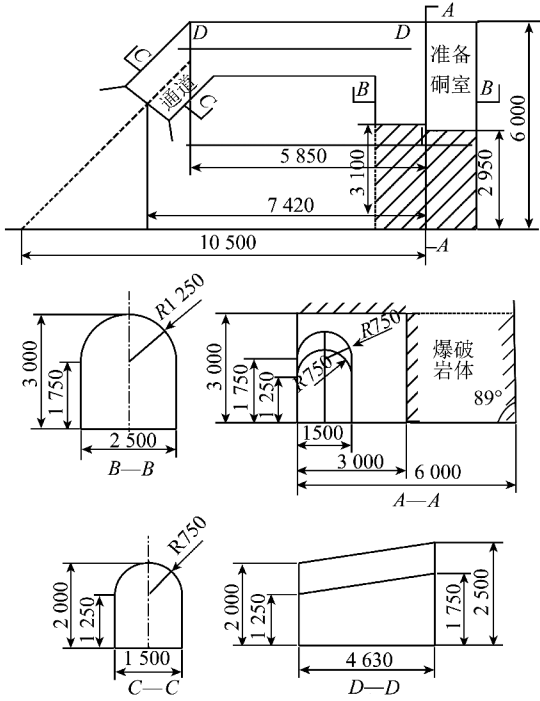


图 1 准备洞室及通道施工

Fig. 1 Prepare cavern and channel drawings

φ50 mm,主爆装药呈两层平面药包布置,每层 12 个药包,外侧药包爆破作用指数大于 1 即按加强抛掷爆破设计,里侧药包爆破作用指数小于 1 即按抛松爆破设计,抛掷与抛松爆破作用指数之比为 1.36。主药包 12 眼两层共装药 18.3 kg,整个掘进断面平均单耗达到 1.78 kg/m³。周边眼采用导爆索直接起爆,平面药包采用导爆雷管孔内延期起爆,确保整个爆破网路的可靠性。爆破主爆堆的抛掷距离按几何相似比估算。实际采用的爆破装药参数见表 2 和 3。坑道出口现场爆破模型试验钻孔及药包布置如图 2 和 3 所示。

为了提高掩体爆破钻孔施工精度,在不影响爆破质量的前提下,周边眼采用在岩壁外面打眼的作业方式,主爆孔仍在准备洞室由里向外钻孔。为提高平面药包钻孔定位精度,利用下部周边预裂眼在同一水平打两个贯通眼,以此确定平面药包钻孔的相对位置。图 4 中标示了掩体爆破钻孔成型后钻孔参数的实测数据。根据施工成型后爆破岩壁的实际情况和周边形势,对原方案中的爆破参数作了适当修改,增加

表 2 坑道出口爆破药室装药参数

Table 2 The parameter table of the dynamite of tunnel exit burst-chamber

药室	最小抵抗线/cm	爆破作用指数	装药长度/cm	标准单耗/(kg·m ⁻³)	装药量/g	起爆雷管(段数)	起爆时差/ms	起爆顺序	备注
周边眼			240			1		1	
①	88	1.3	40	1.5	600	4	75	2	
②	88	1.3	40	1.5	700	4	0	2	
③	90	1.3	40	1.5	800	4	0	2	
④	91	1.3	40	1.5	800	4	0	2	
⑤	71	1.3	36	1.5	700	5	25	3	装药系数 1.2
⑥	80	1.35 (0.99)	40	1.5	700	5	0	3	
⑦	80	1.35 (0.99)	40	1.5	700	5	0	3	
⑧	80	1.35 (0.99)	40	1.5	800	5	0	3	
⑨	80	1.35 (0.99)	40	1.5	800	5	0	3	
⑩	82	1.35 (0.99)	40	1.5	900	6	50	4	装药系数 1.2

注:周边眼:眼深 260 cm;单位长度药量 4.0 g/cm;眼数 19;总药量:240×4.0×19=18 240 g(周边眼药量较大);起爆时差值为与前段药室间的时差;巷道断面面积 6.83 m²;总药量 36.5 kg;爆破岩石体积 20.48 m³;实际单耗 1.78 kg/m³。

表 3 钻孔爆破参数

Table 3 Drilling blasting parameters

名称	钻孔直径/mm	孔深/cm	药室编号	装药长度/cm	各药室药量/g	起爆雷管		孔数	单孔药量/kg
						段数	个数		
顶眼和帮眼	40	260		240		1	2	19	0.96
第 1 排	2	50	①	38	600	4	2	1	1.30
			⑥	38	700	5	2		
第 2 排	1,3	50	②	38	700	4	2	2	1.40
			⑦	38	700	5	2		



(a) 爆后洞口外侧成型情况



(b) 简单清理后洞口里侧情况

图5 爆破后坑道出口成型情况

Fig. 5 Forming of tunnel exit after blasting



(a) 洞前塌方清理后的坑道出口成型情况



(b) 洞壁预裂成型情况

图6 塌方清理后坑道出口及洞壁成型情况

Fig. 6 Tunnel exit and forming of the cave walls after cleaning landslides

面卸碴坑方向突出。准备洞室里侧经反弹形成的爆堆高度基本与洞口处相同,平均高度约1.1 m。在准备洞室的里侧帮和洞口之间形成一凹坑,说明里层药包松动一侧用于反向支撑的抵抗线偏小,爆破作用指数偏大,形成一定的抛掷现象,用于反向支撑的作用减弱。这也是造成洞口岩石堆积较高的原因之一。经测算,卸碴坑及准备洞室内堆积的碴石量约 7.2 m^3 。岩石的碎胀系数按1.4计算,该方量小于设计方量的 8.6 m^3 。从抛掷量来说,抛掷效果优于预期结果。

从岩石的抛掷距离来看,经爆后对爆堆的实测分析,除洞口部位留有平均厚度不到1.0 m的爆碴外,主爆堆距洞口约6.0 m,该处爆堆最高处约为0.8 m,宽约6.5 m,在此范围内堆积的岩石量为 $7 \sim 8 \text{ m}^3$ 。爆堆的最远边界距洞口约10.0 m,呈扇形状分布。该范围内堆积的岩石量为 $5 \sim 6 \text{ m}^3$ 。两项合计近 13.0 m^3 ,再加上洞口堆积的约 7 m^3 ,共计约 20.0 m^3 ,基本与前两层药包前方的岩石量相同。这样掩体洞口岩壁爆破岩石的抛掷情况大致为如下分布:推入卸碴坑内的约占1/4,留在洞口下部的约占1/4,抛出洞口的约占1/2,其中抛出洞口3 m以外的岩石约占总方量的1/3多。

5 结 语

通过以上分析,此次模型试验,所采用的“预裂爆破成型,平面药包分层剥离、定向抛掷”的爆破方法,方案设计合理可行,爆破参数选择正确,爆后坑道出口成型良好,围岩稳定。岩石抛掷距离达到了设计要求。“预留卸碴坑,抵抗层双向抛松”有效地解决了两面临空岩壁单向抛掷的技术难题。卸碴坑的尺寸按抵抗层松动爆破一侧岩石的松散体积设计计算能满足实际要求。爆破试验达到了预期目的。总之,采用该爆破方法来实现坑道出口的快速疏通是可行的,为坑道出口爆破提供了设计参数和理论依据。

参考文献:

- [1] 赵金昌,李 义,马步才,等. 双介质不耦合装药控制爆破方法[J]. 煤炭学报,2009,34(12):1637-1642.
Zhao Jinchang, Li Yi, Ma Bucui, et al. Two-medium decoupling blasting method of charge control [J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(12): 1637-1642.
- [2] 高荫桐,田运生,杨仕春,等. 平面药包爆破抛掷规律的试验研究[J]. 工程爆破,2004,10(2):13-16.
Gao Yintong, Tian Yunsheng, Yang Shichun, et al. Experimental study on throwing law of blasting with plane charges [J]. Engineering Blasting, 2004, 10(2): 13-16.
- [3] Push R, Stanfors R. The zone of distribution around blasted tunnels at depth [J]. Int. J. Rock Mech. Sci. Geomech. Abstr., 1992, 29(2):165-172.
- [4] Ingvar Bogdanoff. Vibration measurements in the damage zone in tunnel blasting [A]. Mohanty. Rock Fragmentation by Blasting [C]. Montreal, Quebec, Canada, 1996:177-185.
- [5] 杨小林,侯爱军,梁为民,等. 隧道掘进爆破的损伤机理与振动危害[J]. 煤炭学报,2008,33(4):400-404.
Yang Xiaolin, Hou Aijun, Liang Weimin, et al. Damage mechanism and vibration effects in tunnel blasting [J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33(4): 400-404.
- [6] 邓志勇,郭 峰. 隧道掘进爆破新技术的探讨[J]. 工程爆破,

- 1998,40(4):14-18.
- Deng Zhiyong, Guo Feng. Excavating tunnel blasting the new technology explore[J]. Engineering Blasting, 1998, 40(4):14-18.
- [7] 吴亮, 钟冬望. 不同布置条件下邻近隧道掘进爆破对既有隧道的影响[J]. 煤炭学报, 2009, 34(10):1339-1343.
- Wu Liang, Zhong Dongwang. Effect of tunneling blasting on the existing adjacent tunnel under different conditions[J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(10):1339-1343.
- [8] 赵宗棣. 我国应用岩塞爆破技术的新进展[J]. 施工组织设计, 2004, 1(1):75-88.
- Zhao Zongdi. Our country rock plugs blasting technology application of the new progress[J]. The Construction Organization Design, 2004, 1(1):75-88.
- [9] 高官堂, 高雅茹. 岩塞爆破对丰满大坝的影响监测与分析[J]. 水利水电技术, 2000, 31(10):55-57.
- Gao Guantang, Gao Yaru. Rock plugs blasting on the influence of the plump dam monitoring and analysis[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2000, 31(10):55-57.
- [10] 杨建红. 岩塞爆破技术在水利水电工程中的应用[J]. 电力学报, 2003, 18(2):108-111.
- Yang Jianhong. Application of rock plug blasting technique in hydroelectric engineering[J]. Journal of Electric Power, 2003, 18(2):108-111.
- [11] 李永祥, 李玉柱, 肖佐庭, 等. 淤泥下泄洪隧洞进水口岩塞爆破的试验研究[J]. 水利水电技术, 1997, 28(1):32-37.
- Li Yongxiang, Li Yuzhu, Xiao Zuoting, et al. Experimental study on rock plug Blasting of spillway tunnel inlet in mud[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 1997, 28(1):32-37.
- [12] 黄绍钧, 郝志信. 水下岩塞爆破技术[M]. 北京: 水利电力出版社, 1993.
- Huang Shaodiao, Hao Zhixin. Underwater rock plugs blasting technology[M]. Beijing: Water Power Press, 1993.
- [13] 史家培. 多排平面药包定向抛掷大爆破[A]. 工程爆破论文选编[C]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993.
- Shi Jiayu. Multiple rows of plane medicine package directional blasting casting big[A]. Engineering Blasting Selected Papers[C]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1993.
- [14] 刘殿中. 工程爆破实用手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1999.
- Liu Dianzhong. Practical handbook of blasting engineering[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1999.

《煤炭学报》期刊引证指标再上新台阶, 并再次荣获 “中国百种杰出学术期刊”称号

2012年12月7日, 中国科学技术信息研究所发布了中国科技论文统计结果(2012年版中国科技期刊引证报告(核心版)), 《煤炭学报》各项评价指标又迈上了一个新台阶: 总被引频次达到了3 191次, 影响因子达到了1.119, 在矿山工程技术类期刊中均列第1位; 综合评价总分为82分, 在统计的1 998种核心期刊中名列第34位(即《煤炭学报》在全国近5 000种科技期刊中排名第34位), 比2011年前进了8位。

另外, 通过综合评定, 《煤炭学报》再次荣获“中国百种杰出学术期刊”称号, 这已是《煤炭学报》第5次获此殊荣。