

doi:10.3969/j.issn.1671-4172.2022.04.006

控制爆破技术优化在杏山铁矿巷道贯通中的应用

张 达¹, 杨子龙²

(1. 首钢集团有限公司矿业公司, 河北 迁安 064400; 2. 北京科技大学, 北京 100083)

摘 要:地采矿山无底柱分段崩落法开采中,对于已运行的风井或管缆井进行爆破,会出现爆破飞石对井内电缆造成严重损伤的问题,影响整个采场供电系统,对井下回采和其他作业的安全生产产生威胁。结合杏山铁矿地采的现场情况,通过探孔探明现场实际现状,采用预留隔离保安岩层与控制爆破抛渣方向技术,对-236 m水平1[#]风井联络道实施贯通爆破。本次风井联络道爆破采用先后两次爆破,将乳化药卷 $\Phi 36\text{ mm}\times 450\text{ mm}$ 均改为 $\Phi 32\text{ mm}\times 330\text{ mm}$ 。第一次是进行小断面掏槽爆破,降低爆破破坏作用,为第二次爆破提供抛渣自由面。第二次是对轮廓面进行爆破,改变贯通爆破的抛渣方向,安全高效完成了-236 m水平1[#]风井联络道贯通爆破工程,为今后同类工程的实施提供了实践经验。

关键词:贯通爆破;抛渣方向;分次爆破;地下矿山;破岩机理;参数优化;无底柱分段崩落法

中图分类号:TD853

文献标志码:A

文章编号:1671-4172(2022)04-0034-05

Application of controlled blasting technology optimization in tunnel penetration of Xingshan iron mine

ZHANG Da¹, YANG Zilong²

(1. Mining Company of Shougang Group Co., Ltd., Qian'an Hebei 064400, China;

2. University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: In the subsection caving method mining without a bottom pillar in the underground mining mine, blasting the operating air shaft or cable shaft will cause serious damage to the cables in the shaft caused by blasting flying stones, affecting the power supply system of the entire stope, and affecting the underground mining and the safety of other operations. Combined with the on-site conditions of the Xingshan iron mine, the actual status of the site was verified through exploration holes, and the technology of reserved isolation and security rock formation and control of blasting and slag-throwing direction was used to carry out penetration blasting on the -236 m horizontal 1[#] air shaft connection channel. This time, the blasting of the air shaft connection channel was blasted twice successively, and the $\Phi 36\text{ mm}\times 450\text{ mm}$ of the emulsion charge was changed to $\Phi 32\text{ mm}\times 330\text{ mm}$. The first time is to carry out small-section undercut blasting to reduce the damage of blasting and provide a free surface for slag throwing for the second blasting. The second time is to blast the profile surface, change the slag throwing direction of the through blasting, and complete the through blasting project of the -236 m horizontal 1[#] air shaft connection channel safely and efficiently, providing practical experience for the implementation of similar projects in the future.

Key words: through blasting; slag throwing direction; fractional blasting; underground mine; rock breaking mechanism; parameter optimization; subsection caving method without bottom pillar

杏山铁矿采用无底柱分段崩落采矿法采矿,开拓方式为主副井斜坡道联合开拓。矿山基建期为了

减少工程量,杏山铁矿管缆井与各水平的进风井共用,外委施工时在每个开采水平预留5 m的马头门,用于后期采场采准施工时进行风井联络道贯通缓冲。其中杏山铁矿采场供电系统均由-330 m水平中央配电硐室经由1[#]进风井至-180 m水平给

投稿日期:2022-04-26

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(51804016)

作者简介:张 达(1984—),男,中级工程师,研究方向为矿山地质与选矿工程。

各个水平进行供电。开拓作业区在-218 m水平及-236 m水平施工1#风井联络道过程中,需对1#风井进行贯通施工。但爆破贯通时会产生爆破飞石对井内动力电缆造成损伤,影响整个采场供电,同时风井内电缆破损后无法进行修复,需对整条电缆进行更换。为了避免爆破飞石对井内电缆破坏,需要杏山铁矿采用控制爆破的方法贯通管风井联络道,从而达到控制爆破飞石的目的^[1]。

1 爆破破岩机理

按照岩石力学理论,岩石的抗压强度极大,相反其抗拉、抗剪强度又极小,这就是岩石力学中所提及的岩石抗压不抗拉,所以在一般荷载条件下,岩石都是出现拉破坏与剪破坏,很难出现压破坏^[2],也就是说在爆破过程中,不管是爆破冲击波还是爆生气体膨胀作用,最终都会转换成对岩石的拉应力和剪应力^[3-4]。那么岩石出现拉剪破坏,爆破过程必然会有一个转化过程,通过学者研究,炸药在炮孔中起爆后,会产生两种破坏作用,一是爆破冲击波,二是爆生气体,其破坏作用力分别是振动作用与气体膨胀作用,以上两种破坏作用共同出现,才造成了岩石的破坏与抛掷现象,在岩石的炮孔区域,我们可以将破坏区域进行简单分类^[5],由远及近分别是振动区、裂隙区和粉碎区,如图1所示。

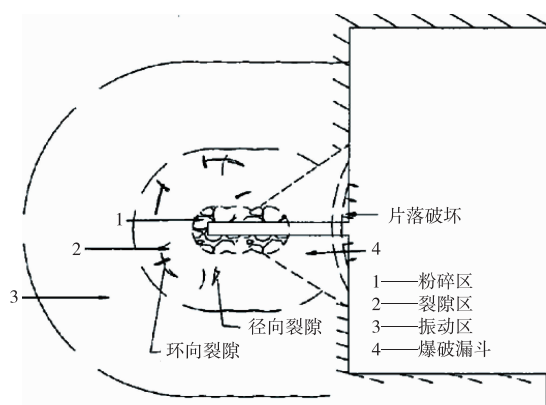


图1 爆破作用区域示意图

Fig. 1 Schematic diagram of blasting action area

现代爆破理论的观点:冲击波和爆生气体综合作用导致岩石发生爆破破坏,那么在爆破技术攻关方面,要达到控制爆破效果,就需从爆破冲击波和爆生气体两个方面采取技术措施^[6-7]。

2 巷道贯通爆破现场

2.1 爆破点位

本文以-236 m水平1#进风天井贯通为施工对象,通过杏山铁矿测量技术人员对现场进行了验收,-236 m水平大杏山下沿已掘进距风井联络道口3.4 m的位置。-161 m水平大杏山下沿主要为混合花岗岩,围岩等级为I、II类围岩,岩性较好。验收的地形条件如图2所示。

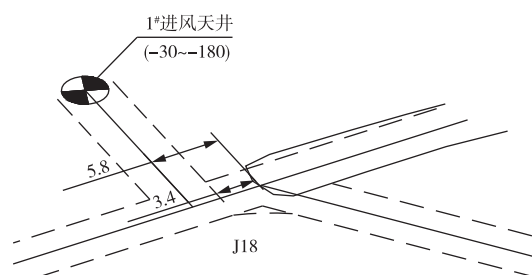


图2 -236 m进风井贯通点位现状图(单位:m)

Fig. 2 -236 m current situation diagram of the penetration point of the air inlet shaft (Unit: m)

2.2 凿岩设备

杏山铁矿-236 m水平1#进风井设计断面规格为17.43 m² (4.8 m×3.9 m),凿岩设备采用瑞典阿特拉斯·科普柯公司生产的Boomer 281型掘进台车,该设备性能先进,凿岩效率高,安全保护好,设备台车钎杆长3.7 m,钻孔深度最大为3.3 m,凿岩孔径45 mm,掏槽空孔的孔径102 mm。

3 爆破设计

杏山铁矿掘进采用光面爆破技术,其周边眼采用不耦合间隔装药,以减少炸药对巷道周边岩石的破坏^[8-9],周边眼采用岩石乳化药卷 $\Phi 32 \text{ mm} \times 330 \text{ mm}$,每卷质量0.3 kg,其它炮孔采用岩石乳化药卷 $\Phi 36 \text{ mm} \times 450 \text{ mm}$,每卷质量0.5 kg,起爆器材为半秒延期导爆管雷管4.5 m(孔内起爆使用)、毫秒延期导爆管雷管20 m(孔外连线使用)和导爆索(周边孔使用)^[10]。

3.1 小断面爆破设计

此次爆破选用二号岩石乳化药卷 $\Phi 32 \text{ mm} \times 330 \text{ mm}$,每卷质量0.3 kg。按照爆破经验公式^[8]计算装药量 Q , $Q = qsL\eta$ (1)

式中: q —比例系数,实际是崩落 1 m^3 所需要的炸药质量; s —开挖断面面积, m^2 ; L —平均炮眼深度, m ; η —炮眼利用率,一般取 $0.8\sim 0.95$ 。

根据现场岩性查看,风井侧岩石因长时间裸露,风化严重,破碎程度加剧,矿岩普氏硬度系数为 $6\sim 8$,为降低贯通后爆破飞石进入井内

的风险,结合现场施工经验,采取最小炸药单耗 q 取 2 kg/m^3 ^[11-12]。 L 根据设计孔深,选取 L 为 1 m ,断面面积 s 为 1 m^2 ,炮眼利用率 η 选取 0.95 。

爆破装药量 $Q=qsL\eta$, $Q=1.8\text{ kg}$ 。爆破炸药单耗如表 1 所示。具体装药参数如表 2 所示。

表 1 爆破炸药单耗 q
Table 1 Blasting explosive unit consumption q

断面面积/ m^2	岩石坚固系数 f				
	2~3	4~6	8~10	12~14	15~20
1~4	1.23	1.77	2.48	2.96	3.36
4~6	1.08	1.50	2.15	2.46	2.93
6~8	0.89	1.28	1.89	2.33	2.59
8~10	0.78	1.12	1.69	2.04	2.32
10~12	0.66	0.92	1.36	1.78	1.97
12~15	0.64	0.90	1.31	1.67	1.85
15~20	0.60	0.86	1.26	1.62	1.80

表 2 管缆井小断面爆破设计装药参数
Table 2 Design charge parameters for small section blasting in cable wells

序号	炮眼名称	眼数	装药量			导爆管	
			每眼/卷	小计/卷	药量/ kg	段别	数量/发
1	掏槽眼	1	1.5	1.5	0.45	1	1
2~5	空孔	4		0	0		
7	掏槽辅助眼	1	1.0	1.0	0.30	2	1
9	掏槽辅助眼	1	0.5	0.5	0.15	3	1
6	掏槽辅助眼	1	0.5	0.5	0.15	4	1
8	掏槽辅助眼	1	0.5	0.5	0.15	5	1
10~13	一级辅助眼	4	0.5	2.0	0.60	6	4
孔外连线 4.5 m 1 段(发)						1	1
主连线 20 m 1 段(发)						1	3
合计		13		6	1.8		9

3.2 小断剩余断面爆破设计参数选取

剩余断面处理工作采用爆破崩落的方式,爆破

参数如表 3 所示, $\Phi 32\text{ mm}$ 药卷合计 9.3 kg ,导爆索合计 15 m 。

表 3 管缆井剩余断面处理爆破设计装药参数

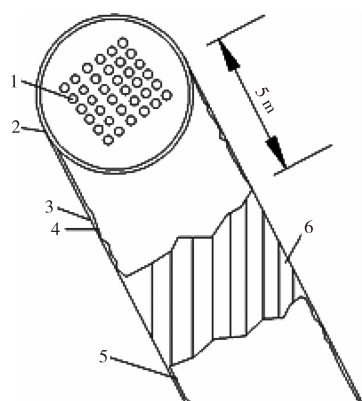
Table 3 Parameter of blasting design charge for treatment of a remaining section of the umbilical well

序号	炮眼名称	眼数	装药量			导爆管	
			每眼/卷	小计/卷	药量/ kg	段别	数量/发
15~17	二级辅助眼	3	1.5	4.5	1.35	8	3
14/18/19/20	二级辅助眼	4	1.5	6.0	1.80	7	4
21~23	帮眼	3	1.0	3.0	0.90	9	3
31~33	帮眼	3	1.0	3.0	0.90		3
24~30	顶眼	7	1.0	7.0	2.10	11	7
34~38	底板眼	5	1.5	7.5	2.25	10	5
孔外连线 4.5 m 1 段(发)						1	7
主连线 20 m 1 段(发)						1	6
合计		25		31	9.3		38

4 控制爆破技术在巷道贯通中的应用

4.1 探孔确定马头门位置及轮廓

查询矿里工程资料,外委单位在施工1[#]风井过程中,在每个水平掘进了5 m长的马头门,由于马头门方向及长度的不确定性,所以在掘进至距设计井中心10 m位置时,在掘进施工过程中利用掘进台车管理掘进进度,采用一炮一探,在探孔施工过程中,在巷道中心部位从左至右依次进行探孔,孔距0.5 m,绘制现场剖面图,从而保证了在施工过程中的意外贯通,如一236 m水平1[#]进风井联络道贯通时,通过探孔技术确定的马头门位置及轮廓。如图3所示。



1—风井设计平面图;2—风井联络道设计平面图;
3—矿建施工马头门平面图;4—风井内电缆平面图;
5—开拓区施工位置平面图;6—爆破实体

图3 风井联络道探孔后绘制的位置及轮廓平面图

Fig. 3 The position and outline plan drawn after the exploration of the air shaft connection channel

4.2 预留隔离保安岩层与控制爆破抛渣方向

一是风井联络道马头门侧的临空面远好于联络道掘进侧的临空面,如果贯通爆破在这两个临空面的条件下进行,爆破飞石极易向风井联络道马头门侧抛掷和散落,无法控制破碎岩石的抛掷方向,造成电缆损坏,达不到控制爆破的目的。经理论分析,在马头门侧留0.5 m厚岩层不爆破,作为隔离保安岩层,阻挡贯通爆破能释放至马头门侧,待爆破后该隔离保安岩层已经失去完整性,利用台车或钩机设备进行修整,做到无飞石入进风井;二是在贯通爆破过程中,采用控制爆破抛渣方向的方式,减少对隔离保安岩层的破坏作用,同时采用两次爆破施工,降低一次爆破振动过大问题,采取孔深1.5 m两次爆破施工:一次是进行小断面掏槽爆破,降低爆破破坏作用,为第二次爆破提供抛渣自由面,断面尺寸为

1 m×1 m,单孔装药量为0.5~1.5 kg;二次是对轮廓面进行爆破,因掏槽小断面爆破完成后,形成了第二个更有利的自由面,从而减少了联络道走向的爆破能量释放,确保了隔离保安岩层的有效性,同时将爆破抛渣方向由联络道走向改变至断面平面的中心点方向,如图4所示。

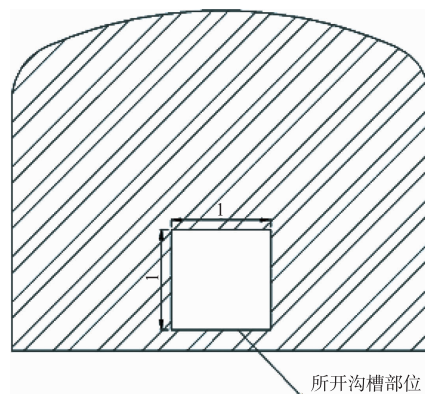


图4 小断面施工示意图(单位:m)

Fig. 4 Schematic diagram of small section construction(Unit: m)

5 爆破效果

在这次管缆井的贯通过程中,摒弃了以往的全断面一次开挖方案,通过两次爆破,确保留有0.5~0.7 m岩体用以保护管缆井内的电缆。在两次短掘过程中,将原采用的乳化药卷 $\Phi 36$ mm×450 mm均改为 $\Phi 32$ mm×330 mm,适当减少装药量,改变装药结构,降低了炸药单耗,减少了爆破冲击。不耦合装药让部分能量对岩体做功,使岩体产生松动破坏,尽可能地减少爆破抛掷效应。清理渣石后,使用凿岩台车对产生破坏的岩体进行处理,进而贯通管缆井。

通过上述的一系列措施,在实际的生产实践中—236 m水平管缆井顺利贯通,经动力作业区检测,管缆井内37根动力电缆均可以正常使用,没有影响到井下的生产,也避免了造成经济损失。

6 结论

1)在地下巷道的掘进过程中,经常会存在因测量误差导致的巷道偏离或进尺不准的情况。在本次管缆井贯通的过程中,距管缆井大约10 m的位置开始边探孔边凿岩,通过采用“一探一凿岩”的方法,精准掌握了管缆井所处位置,为后续的生产准备工作提供了便利,同时避免了因超挖可能会造成的管缆井提前贯通的问题。

2)原有的全断面一次光面爆破,虽然可以满足

爆破进尺的条件,但在以往的工程实践中,经常会出现爆破后工作面存在参差不齐的情况,因此为了避免这种情况的出现导致管缆井提前贯通,将全断面一次爆破分为两阶段进行,均采用小药卷间隔装药,最大限度地控制爆破能量,既不破坏巷道断面,也不产生过多的爆破飞石。

3)在实际的生产活动中能够提早发现可能出现问题的点位,通过研究探讨,得出解决办法,并根据现场实际情况进行精准的爆破设计,控制岩体受到破坏的程度,只产生松动效应而减少抛掷效果,从而让管缆井内的电缆不被破坏,避免了因管缆井贯通爆破而造成经济损失。

参 考 文 献

- [1] 马涛. 地下矿山悬顶处理扩壶爆破技术的试验及应用[J]. 矿业研究与开发, 2019, 39(8): 16-21.
MA Tao. Experiment and application of pot-expanding blasting technology for underground mine suspension treatment [J]. Mining Research and Development, 2019, 39(8): 16-21.
- [2] 李俊平, 张幼振, 王海泉. 采空区处理与卸压开采回顾与展望[J]. 有色金属(矿山部分), 2022, 74(2): 6-10.
LI Junping, ZHANG Youzhen, WANG Haiquan. Review and prospect of abandoned stope disposal and pressure relief mining [J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2022, 74(2): 6-10.
- [3] 赵文海. 井下矿山爆破安全问题与防治措施[J]. 中国金属通报, 2020(8): 236-237.
ZHAO Wenhai. Safety problems and prevention measures of underground mine blasting [J]. China Metal Bulletin, 2020(8): 236-237.
- [4] 沈大文, 黄维进, 叶元寿. 孔网参数测量技术在矿山爆破中的应用[J]. 爆破, 2016, 33(4): 78-83.
SHEN Dawen, HUANG Weijin, YE Yuanshou. Application of hole mesh parameter measurement technology in mine blasting [J]. Blasting, 2016, 33(4): 78-83.
- [5] 邹绍明. 矿山控制爆破技术在城市地下大断面轻轨施工中的应用[J]. 爆破, 2011, 28(3): 52-55.
ZOU Shaoming. Application of mine controlled blasting technology in urban underground large section light rail construction [J]. Blasting, 2011, 28(3): 52-55.
- [6] 张豪. 矿山爆破安全与技术的探析[J]. 世界有色金属, 2021(4): 44-45.
ZHANG Hao. Analysis of mine blasting safety and technology [J]. World Nonferrous Metals, 2021(4): 44-45.
- [7] 王雪峰. 矿山微差爆破和新型起爆系统[J]. 矿业研究与开发, 1993(增刊1): 91-95.
WANG Xuefeng. Mining differential blasting and new detonation system [J]. Mining Research and Development, 1993(S1): 91-95.
- [8] 马俊杰, 黄永辉, 张智宇, 等. 某锡矿地下采场爆破参数优化研究[J]. 有色金属工程, 2021, 11(12): 93-99.
MA Junjie, HUANG Yonghui, ZHANG Zhiyu, et al. Optimization of blasting parameters in an underground stope of a tin mine [J]. Nonferrous Metals Engineering, 2021, 11(12): 93-99.
- [9] 党建东, 阚忠辉, 董凯程, 等. 急倾斜薄矿体中深孔预裂爆破开采技术研究[J]. 有色金属(矿山部分), 2022, 74(1): 1-4, 25.
DANG Jiandong, KAN Zhonghui, DONG Kaicheng, et al. Research on deep hole pre-split blasting mining technology in steeply inclined thin ore bodies [J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2022, 74(1): 1-4, 25.
- [10] 刘楚乔, 杜明照, 王清华. 中深孔爆破技术在废弃矿山边坡治理中的应用[J]. 爆破, 2008(3): 50-52.
LIU Chuqiao, DU Mingzhao, WANG Qinghua. Application of medium and deep hole blasting technology in slope management of abandoned mines [J]. Blasting, 2008(3): 50-52.
- [11] 吴兆兵. 微差爆破技术在煤矿炮采工作面的应用分析[J]. 江西建材, 2016(19): 220-221.
WU Zhaobing. Application analysis of differential blasting technology in coal mine blasting working face [J]. Jiangxi Building Materials, 2016(19): 220-221.
- [12] 刘桂丽. 金属矿山爆破除尘降毒实验研究[J]. 矿业研究与开发, 2011, 31(2): 76-78.
LIU Guili. Experimental study on dedusting and detoxification of metal mines by blasting [J]. Mining Research and Development, 2011, 31(2): 76-78.

(编辑: 周叶)