

铜绿山矿井下巷道掘进参数优化与应用

Optimization and Application of Underground Drift Advancement Parameters in Tonglushan Mine

尹东升(大冶有色金属有限责任公司铜绿山矿,湖北黄石 435101)

摘要:通过分析铜绿山矿井下巷道掘进工艺中存在的问题,对比井下中深孔采矿掏槽工艺,引入并制作巷道掘进扩孔钻头,优化巷道掘进掏槽孔布置,并在现场进行应用实验,实现了铜绿山矿井下巷道掘进工艺功效提高15%、掘进材料成本降低7%的目标,并有效改善了掘进施工的爆破效果,提高了现场施工的安全高效性。

关键词:巷道掘进;扩孔钻头;参数优化;炮孔利用率;炸药单耗

中图分类号: TD263 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2022)02-0025-05

Abstract: By analyzing the problems in the underground drift advancement process in Tonglushan Mine, comparison is made for the cut processes of medium-length hole, the reamer bit for drift advancement is introduced and made, the distribution of cut holes for drift advancement is optimized, and the site application test is conducted, so that the efficiency of the underground drift advancement in Tonglushan Mine is improved by 15%, and the material cost for advancement is reduced by 7%; in addition, the blasting effect of advancement construction is effectively improved and the safety and efficiency of site construction is improved.

Key words: drift advancement; reamer bit; parameter optimization; blast hole utilization ratio; unit consumption of explosives

1 前言

在地下矿山开采中,巷道掘进是整个开采工艺中的关键环节之一,而目前国内外非煤矿山巷道掘进主要为炮掘施工工艺,其中影响巷道掘进效率的主要因素为矿山规模和施工设备,其次为工艺水平、操作技能等。在日常生产中,巷道掘进要求巷道质量满足要求、爆堆形状规则、块度合适,炮孔利用率高,影响巷道爆破质量主要有炮孔布置、炮孔深度、炮孔直径、装药系数以及起爆方式。通过改善施工设备,优化巷道掘进参数,可以有效提高巷道施工效率,降低生产成本^[1]。

2 铜绿山井下生产情况概述

2.1 矿山开采条件及现状

铜绿山铜铁矿是大冶有色的主力矿山之一。铜绿山铜铁矿矿床隶属长江中下游铜铁矿成矿带,矿床面积约3.5 km²,存在大小不等的12个矿体,以I、III、IV号矿体为主,XI矿体为次,主要矿体南北长2100 m,东西宽600 m,次要矿体场2100 m,宽300 m,以铜、铁金属为主,伴生金、银、钴、钼、镓、铟

等稀有贵金属,日采选能力4500 t/d。

矿体在剖面上呈透镜状或似层状,主要赋存在岩浆岩与大理岩的接触带,其次赋存在近接触带的大理岩层间,从全矿整体来看,矿体分枝繁多,矿体厚度变化很大。井下目前主要回采的矿体主要是III号与IV号矿体,主要回采中段为-485 m、-545 m和-605 m三个中段。

矿体以含铜磁铁矿为主,致密坚硬, $f=8\sim 12$,属中等稳固到稳固;其次为含铜大理岩和含铜矽卡岩,含铜大理岩 $f=10\sim 14$,属中等稳固,含铜矽卡岩 $f=6\sim 10$,稳固性差。矿体上盘围岩主要是大理岩、白云质大理岩和矽卡岩,一般致密坚硬,完整性较好,属中等稳固, $f=7\sim 15$ 。矿体下盘岩性复杂,主要有矽卡岩、斜长岩和花岗闪长斑岩。矽卡岩、斜长岩为中等稳固。

目前井下主要采用上向水平分层充填采矿法和分段嗣后充填采矿法进行回采作业,其中分层法占比约70%,分段法占比约30%。

2.2 矿山巷道掘进工艺及存在的问题

目前井下巷道掘进主要包括斜坡道、有轨运输巷道、分段平巷、采场出矿联络道、采场探矿巷道、采场充填联络巷等工程。主要掘进巷道断面规格为3.0 m×2.8 m(宽×高),巷道凿岩设备主要为YT-28和沈风S28气腿式凿岩机,钻杆选用 $\phi 22$ mm中空六角钢钎杆,长2.5 m、钎头为 $\phi 28$ mm“一”字形

[作者简介] 尹东升(1990-),男,采矿工程师,硕士研究生,主要从事矿山开采、爆破及安全管理工作。

[引用格式] 尹东升.铜绿山矿井下巷道掘进参数优化与应用[J].中国矿山工程,2022,51(2):25-29.

活动钎头,为方便现场施工,铜绿山矿井下掘进普遍采用直眼螺旋掏槽,各炮眼之间保持平行施工,分为掏槽孔辅助孔和周边孔,孔距5~100 cm,具体布置如图1所示。

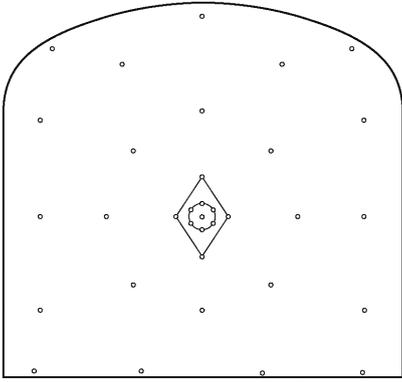


图1 铜绿山矿井下巷道掘进炮孔布置断面图

施工后炮孔直径42 mm,炮孔深度大约2.25 m,爆破采用2#岩石硝铵炸药、塑料导爆管非电起爆,半秒延期雷管爆破,爆破后利用局部通风机、风筒进行局部通风,洒水降尘,然后进行敲帮问顶,清理顶板及边帮浮石,最后利用电动铲运机或柴油铲运机装渣至附近废石溜井,最后通过有轨运输机车运输至废石仓并通过箕斗提至地表。

由于铜绿山矿井下巷道规格和爆破自由面较小,岩石夹制力较大。加上日常施工中,岩石性质变多较大、职工操作技能受限、炮孔堵塞不合格,造成井下巷道掘进炮孔利用率低、炮堆造型不易铲运、爆破块度不均匀、巷道造型不规整等问题。降低了巷道掘进的效率,提高了施工过程的生产成本,而且爆破后的残眼易出现炮孔炸药残余,造成掘进施工过程中存在安全隐患^[2-5]。

3 铜绿山巷道掘进工艺优化方案

巷道掘进施工中,最关键的就是掏槽施工工艺,掏槽眼的作用是首先在工作面上将某一部分岩石破碎并抛出,在一个自由面的基础上崩出第二个自由面来为其他炮眼的爆破创造有利条件,掏槽效果的好坏对循环进尺起着决定性的作用。要提高炮眼利用率,就应首先选择合理的抱槽形式和掏槽参数^[4-5]。

在上向中深孔采场拉槽爆破中,由爆破作用机理可知,空孔能为掏槽孔的爆破创造了良好的条件。空孔能引起应力集中效应、空孔的存在有利于反射拉伸波破岩。空孔直径越大越有利于发挥空孔的自

由面效应,也会为爆后破碎岩石提供更加富裕的补偿空间。

铜绿山矿在对井下中深孔爆破工艺进行优化研究时,发现通过制作扩孔钻头,将中央掏槽区的非装药空孔由57 mm扩大至76 mm或89 mm,爆破炮孔利用率可增加5%以上。在此基础上,铜绿山矿借鉴中深孔掏槽爆破工艺,通过采用扩孔钻头增加掏槽爆破的补偿空间和自由面,优化炮孔布置和起爆方式,从而改善巷道掘进施工质量。

3.1 炮孔直径选择

目前井下掘进采用的岩石粉状乳化炸药,综合考虑现有工具、炮孔利用率和爆破效果,在研究风钻机工作性能和了解井下风压情况后,井下供风风压在0.6 MPa左右,YT-28 凿岩机扭矩19 N·m,S28 凿岩机扭矩为21 N·m,最后确定扩孔钻头的规格参数为28~45 mm,其中导向钻头直径28 mm,扩孔钻头直径45 mm,现场应用扩孔钻头如图2所示。现场施工中,先使用正常钻孔进行凿岩作业,需要扩大的炮孔通过采用更换扩孔钻头对已施工的炮孔进行扩刷,从而提高凿岩效率和降低扩孔钻头损耗^[6-8]。

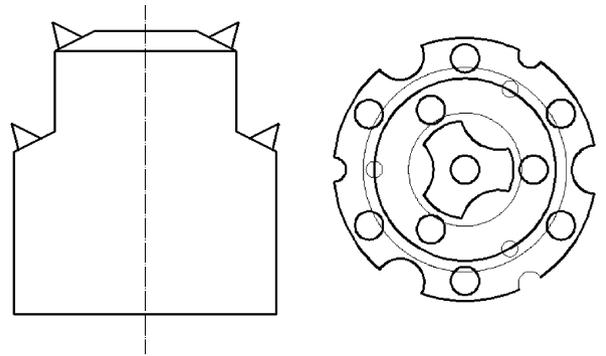


图2 扩孔钻头设计示意图(28~45 mm)

3.2 炮孔布置优化

工作面炮孔个数主要和工作面岩面的物理力学性质、巷道断面大小与爆破自由面条件、崩落岩石的块度和岩堆要求等因素相关,一般巷道掘进的炮孔个数见表1。

表1 巷道掘进的炮孔个数参考表

巷道断面/m ²	岩石坚固性系数 <i>f</i>		
	4~6	8~10	12~14
4	15	20	26
8	20	29	36
10	22	33	41
12	24	35	44
15	27	40	52

铜绿山矿井下巷道掘进坚固系数在 $f=7 \sim 15$, 巷道断面规格 $8 \sim 10 \text{ m}^2$, 现场施工炮孔一般布置 $30 \sim 36$ 个, 掏槽眼孔网参数 $0.1 \sim 0.2$, 辅助孔孔网参数 $0.5 \sim 0.6$, 周边孔孔网参数 $0.8 \sim 0.9$ 。

在炮孔布置上, 在巷道掘进断面规格 $3.0 \text{ m} \times 2.8 \text{ m}$ (宽 \times 高) 相同的情况下, 保持辅助孔和周边孔位置和数量不变, 对巷道中央掏槽区进行优化, 对巷道断面炮孔重新进行设计和布置, 中央掏槽由原来的中央孔外圈 6 个孔个变为 4 个, 并将这 4 个非装药孔孔由 42 mm 扩大至 60 mm , 装药孔也由 2 个变为 1 个, 以前 7 个孔里面选 2 ~ 3 个孔进行装药, 现在只装中间 1 个孔。巷道辅助眼和周边眼布置和参数不变。采用 2# 岩石硝铵炸药、塑料导爆管非电起爆, 半秒延期雷管爆破。炮孔布置优化前后如图 3 所示。

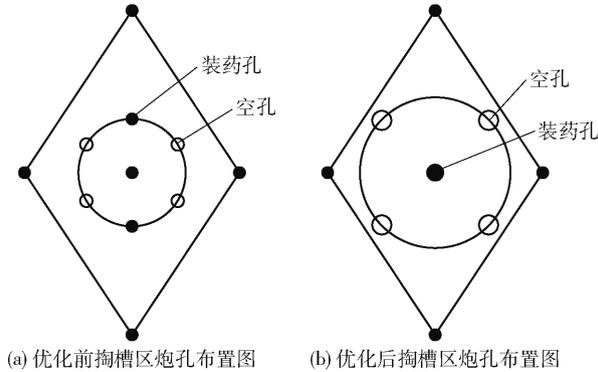


图 3 炮孔布置优化前后对比图

4 现场试验应用

4.1 现场应用施工

在完成钻头制作并确定炮孔布置方案后。充分考虑井下采矿工艺和矿岩性质情况下, 选择井下 4 个作业点作为试验场地。其中 -365 m 中段南沿上盘为大理岩含铜铁矿, 采场下盘围岩为矽卡岩, 上盘围岩为大理岩; 8428 采场为石榴子矽卡岩含铜铁矿, 围岩性质为石榴子矽卡岩含金云母较多; 9421 采场为大理岩含铜铁矿, 采场围岩为较坚硬白色大理岩和矽卡岩; 9428 采场为矽卡岩含铜铁矿, 采场下盘围岩为矽卡岩, 上盘围岩为风化火成岩。上述 4 个区域基本囊括了铜绿山矿井下大部分的岩性情况, 从而确保实验结果的广泛性和准确性。

一般来说, 增加炮孔的深度, 可以提高一次循环进尺。但是增加炮孔深度也有一定的限度。当炮孔深度过大时, 凿岩速度显著降低, 同时爆破效

率也降低, 爆破后的岩石块度均匀性较差, 增加装岩时间。结合井下岩石条件、掘进工艺变化以及施工技术条件, 现场施工钻杆选用长 2.5 m 和 3.0 m 两种进行实验, 实际凿岩孔深分别为 2.25 m 和 2.80 m 。

4.2 现场技术要求

炮孔施工前, 技术人员根据方案设计要求现场进行炮孔布置, 炮孔施工完成后, 由技术人员对现场炮孔深度、孔径以及偏斜率进行检查, 确保凿岩施工精度, 凿岩后现场如图 4 所示。



图 4 掏槽区域扩孔钻头现场施工图

严格按照设计要求进行装药和炮孔堵塞作业, 采用人工装填的方式, 装药结构采用条状连续性全耦合装药, 装药系数为 $0.75 \sim 0.85$, 孔底起爆, 孔口填塞 0.2 m 炮泥, 所有炮孔装药到位后, 进行爆破连线作业, 爆后出渣结束后, 再对现场爆破效果进行测量和验收评估。

4.3 现场实验数据分析

铜绿山矿在井下 4 个作业点共进行了 24 次进尺循环现场实验, 并采用测量的方式对现场数据进行统计, 具体见表 2。

通过分析现场统计数据, 在引入扩孔钻头后, 巷道掘进掏槽孔数目可以由原来的 7 个降为 5 个, 断面炮孔总数可由 32 个减为 30 个, 装药孔可减少 2 个。

对比不同现场实验情况下, 扩孔钻头使用前后炮孔利用率和炸药单耗, 具体如图 5 所示。

表2 铜绿山矿巷道掘进工艺优化试验数据统计表

试验序列	采场岩性	作业点	孔深/ mm	孔径/ mm	炮孔 数目/ 个	爆破 进尺/ m	炮孔 利用 率/%	炸药 用量/ kg	炸药单耗/ kg·m ⁻³	大块 数目/ 个	巷道 平整度/ m	
1	大理岩含铜铁矿	-365 m中段南 沿上盘采场	2.25	45	32	2.01	0.89	36	2.296 2	1	≤0.10	
2			2.25	45.65	30	2.13	0.95	33	1.986 3	0	≤0.05	
3			2.25	45.65	30	2.18	0.97	33	1.940 7	0	≤0.10	
4			2.80	45	32	2.26	0.81	45	2.552 8	2	≤0.20	
5			2.80	45.65	30	2.32	0.83	42	2.321 0	1	≤0.10	
6			2.80	45.65	30	2.34	0.84	42	2.301 1	2	≤0.15	
7		矽卡岩含铜铁矿	9421 采场	2.25	45	32	1.94	0.86	36	2.379 1	2	≤0.10
8				2.25	45.65	30	2.05	0.91	33	2.063 8	0	≤0.05
9				2.25	45.65	30	2.12	0.94	33	1.995 6	1	≤0.15
10				2.80	45	32	2.24	0.80	45	2.575 5	5	≤0.20
11				2.80	45.65	30	2.27	0.81	42	2.372 1	2	≤0.15
12				2.80	45.65	30	2.31	0.83	42	2.331 0	3	≤0.15
13	8428 采场		8428 采场	2.25	45	32	2.05	0.91	33	2.063 8	1	≤0.10
14				2.25	45.65	30	2.10	0.93	33	2.014 7	1	≤0.05
15				2.25	45.65	30	2.13	0.95	33	1.986 3	0	≤0.05
16				2.80	45	32	2.35	0.84	39	2.127 7	3	≤0.15
17				2.80	45.65	30	2.55	0.91	36	1.810 0	1	≤0.10
18				2.80	45.65	30	2.56	0.91	36	1.802 9	1	≤0.10
19		9428 采场	9428 采场	2.25	45	32	2.05	0.91	33	2.063 8	1	≤0.10
20				2.25	45.65	30	2.18	0.97	33	1.940 7	1	≤0.05
21				2.25	45.65	30	2.13	0.95	33	1.986 3	0	≤0.05
22				2.80	45	32	2.38	0.85	39	2.100 8	3	≤0.20
23				2.80	45.65	30	2.66	0.95	36	1.735 1	1	≤0.10
24				2.80	45.65	30	2.59	0.93	36	1.782 0	1	≤0.10

注:掘进大块是指块度≥400 mm×400 mm。

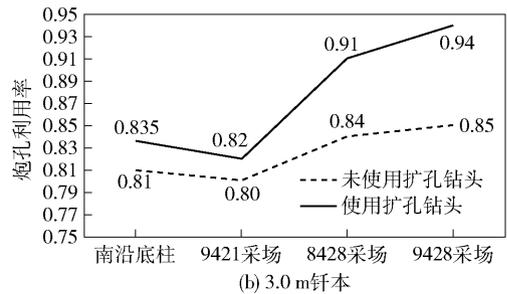
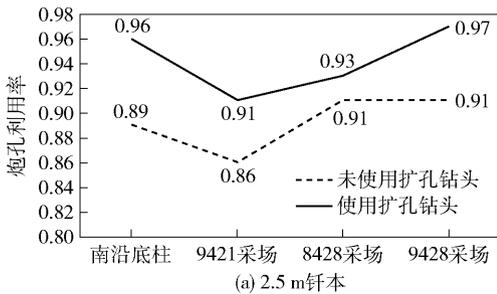


图5 巷道掘进工艺优化前后炮孔利用率对比图

通过对比分析图5和图6可以得出:

(1)在井下现场施工中,通过使用扩孔钻头优化巷道掘进工艺后,可有效提高炮孔利用率和降低掘进炸药单耗,爆破后效果更佳,爆堆大块相对减

少,巷道造型更加规整。

(2)铜绿山矿井下矽卡岩含矿区域相比大理岩含矿区域具有更好的可爆性;在大理岩含矿区域,使用3.0 m钎杆炮孔利用率较低,宜采用2.5 m钎杆

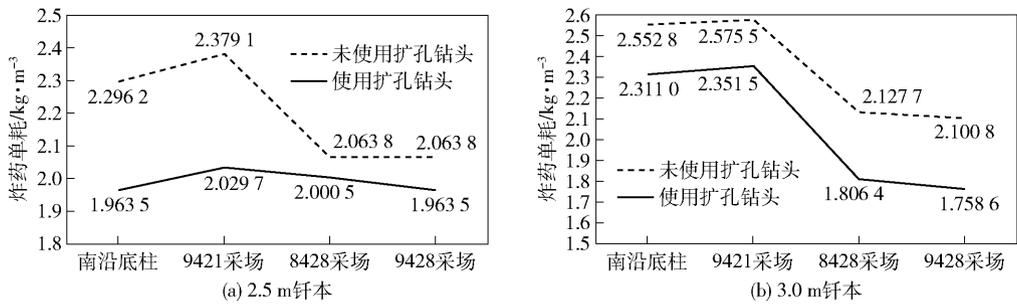


图6 巷道掘进工艺优化前后炸药单耗对比图

进行现场施工;在矽卡岩含矿区域,使用3.0m钎杆进行现场施工,炮孔利用率明显增加,炸药单耗明显下降。

(3)铜绿山矿井下大理岩含矿区域,巷道掘进工艺优化后,炮孔利用率由87.67%提高到94.22%,炸药单耗可由 2.3376 kg/m^3 下降到 1.9966 kg/m^3 ;矽卡岩含矿区域,巷道掘进工艺优化后,炮孔掘进单循环进尺可由2.05 m/次提高至2.59 m/次,炸药单耗可由 2.0638 kg/m^3 下降到 1.7825 kg/m^3 。

4 结论

铜绿山矿通过引用扩孔钻头,进行井下巷道掘进工艺优化,可以减少现场炮孔施工数量,炮孔综合利用率可以得到有效提高,井下巷道掘进的功效可以提高15%左右。可以实现炸药综合单耗的下降,爆后现场效果更佳,残眼数量减少,大块数量降低,巷道的平整度也有效提升,巷道掘进材料成本可降低7%左右。

本研究成果可以实现掘进功效有效提升,具有广泛的推广应用前景,且工艺适应性强,成果可推广

至其他类似矿山,对提升我国金属矿山地下开采效率具有重要意义。

[参考文献]

- [1] 郭学庭,李腾,王乃伟,等.掘进巷道节理组分析及爆破参数优化分析[J].矿冶工程,2021,41(4):24-28.
- [2] 刘燕翔.巷道高效快速掘进技术应用分析[J].能源与节能,2021(5):164-166.
- [3] 冯坦坦,赵胜贵.矿井巷道掘进效率影响因素分析[J].内蒙古煤炭经济,2021(2):56-57.
- [4] 王明,高忠,简易,等.基于粒状铵油炸药的巷道光面爆破技术及应用[J].黄金,2021,42(1):46-49.
- [5] 彭锦浩,付玉华,陈元利,等.基于爆破漏斗试验的巷道爆破参数优化及应用[J].矿业研究与开发,2020,40(9):23-26.
- [6] 杨仁树,王渝,宫国慧,等.弓长岭铁矿巷道掘进掏槽孔超深长度优化试验研究[J].金属矿山,2020(7):16-24.
- [7] 王明,谭伟,康伟权,等.光面爆破技术在谦比希铜矿巷道掘进中的应用[J].采矿技术,2019,19(6):149-151.
- [8] 冯志斌.巷道掘进爆破炮孔堵塞长度的数值模拟研究[D].包头:内蒙古科技大学,2019.