

复杂围岩条件下矿山巷道施工质量控制研究

杜金山

重庆川九矿山建设有限公司

DOI:10.32629/etd.v7i8.21630

[摘要] 复杂围岩条件下,矿山巷道施工会受到岩体破碎、节理裂隙发育、地应力集中、局部渗水等因素的影响,容易出现断面超欠挖、围岩松动、支护变形、喷层质量波动等问题。以某矿山巷道工程为对象,结合现场围岩特征与施工条件,从围岩动态识别、钻爆开挖、锚网喷支护、锚注加固、强变形区钢拱架施工等方面进行质量控制。依据掌子面地质反馈调整开挖参数,强化断面成型控制、支护工序衔接,并利用围岩变形监测、支护质量检测评价实施效果。结果表明,针对复杂围岩变化采取分区、分级质量控制措施,可减小开挖扰动,改善支护受力状态,提高矿山巷道施工质量、围岩稳定性。

[关键词] 复杂围岩; 矿山巷道; 施工质量控制; 钻爆开挖; 支护施工; 变形监测

中图分类号: TD1 文献标识码: A

Research on construction quality control of mine roadway under complex surrounding rock conditions

Jinshan Du

Chongqing Chuanjiu Mine Construction Co., Ltd

[Abstract] under the condition of complex surrounding rock, the construction of mine roadway will be affected by factors such as rock fragmentation, joint fissure development, in-situ stress concentration, local water seepage and so on, which is prone to problems such as overbreak and underbreak of section, loosening of surrounding rock, support deformation, and fluctuation of spray layer quality. Taking a mine roadway engineering as the object, combined with the characteristics of surrounding rock and construction conditions, the quality control is carried out from the aspects of dynamic identification of surrounding rock, drilling and blasting excavation, bolting and shotcreting support, bolting and grouting reinforcement, and steel arch construction in strong deformation area. The excavation parameters are adjusted according to the geological feedback of the tunnel face, the control of section forming and the connection of support procedures are strengthened, and the implementation effect is evaluated by using the surrounding rock deformation monitoring and support quality detection. The results show that taking quality control measures of zoning and grading according to the changes of complex surrounding rock can reduce excavation disturbance, improve the stress state of support, and improve the construction quality of mine roadway and the stability of surrounding rock.

[Key words] complex surrounding rock; Mine roadway; Construction quality control; Drilling and blasting excavation; Support construction; Deformation monitoring

引言

随着采矿规模和范围的扩大,地质力学环境变得越来越复杂,地质构造破碎带对采矿和巷道开挖等采矿活动产生了重大影响^[1]。软弱破碎岩体、断层构造、节理裂隙、高地应力、地下水等因素相互作用,使围岩稳定性与施工质量控制难度显著增加。固定施工参数难以及时适应掌子面岩性、完整程度及受力状态变化,容易造成爆破扰动偏大、断面超挖或欠挖、支护跟进不及时、局部变形持续发展。复杂围岩巷道施工质量控制需

要贯穿地质识别、钻爆开挖、初期支护、注浆加固、钢拱架施工、监测反馈全过程,随围岩变化调整施工参数,强化关键工序的衔接、实体质量检测,建立连续动态质量控制模式,从而提高巷道成型精度、支护结构稳定性。

1 工程概况与复杂围岩特征

1.1 工程概况与施工条件

某矿山采用地下开采方式,巷道位于深部开采区域,埋深约1100 m,主要承担矿石运输、生产联系等功能。巷道采用城门洞

形断面, 跨度约4 m, 边墙高约2 m, 拱部高约2 m, 施工以钻爆法为主。开挖后采用锚网喷联合支护, 喷射混凝土设计厚度约100 mm, 局部破碎、变形明显区段增设锚注加固、钢拱架。施工空间相对有限, 掌子面作业受设备布置、通风排烟、运输组织等影响较大, 各工序须保持较高的连续性。随掘进推进, 局部围岩完整程度、裂隙发育状态变化, 施工条件具有一定波动性。受深部高地应力、围岩破碎程度变化、局部渗水的影响, 钻孔、爆破、出渣、排险与支护等工序须紧密衔接, 对断面成型精度、开挖扰动控制、支护及时性要求较高, 这使施工质量控制具有较强的动态性。

1. 2复杂围岩工程地质特征

巷道围岩以变质岩、局部软弱破碎岩体为主, 岩体完整程度随着掘进方向变化明显, 节理裂隙较发育, 部分区段受构造破碎带的影响呈碎裂状结构。浅部围岩破碎程度较高, 局部岩体质量指标低于25%, 开挖后在距巷道表面约0~2 m、4~5 m范围内裂隙较明显。部分裂隙在开挖扰动的作用下有继续张开、扩展趋势, 容易削弱拱顶、拱肩与边墙局部岩体的整体性。在深埋条件下地应力作用突出, 水平应力约40 MPa, 开挖卸荷之后拱肩、边墙等部位容易形成应力集中, 导致松动、片帮及持续变形^[2]。局部裂隙渗水会削弱结构面黏结能力, 使围岩稳定性降低, 形成高地应力、破碎岩体与渗水共同作用的复杂施工环境。

2 复杂围岩条件下矿山巷道施工质量控制技术

2. 1围岩动态识别与开挖工序控制

为确保矿山地质勘查工作的顺利推进, 测绘部门需要借助数字化测绘技术进行技术升级和维护, 从整体的技术角度出发, 提高管理机制的运行效率和测绘工作的流程标准等, 保证测量数据的全面性, 提高地质勘查工作的效率与质量^[3]。针对岩体质量指标低于25%、裂隙明显增多的破碎区段, 及时减小单循环开挖尺度, 缩短掌子面无支护暴露时间, 按照开挖、排险、初喷、锚固连续衔接顺序施工。围岩条件发生突变时, 同步核查拱顶稳定程度、结构面产状、局部渗水变化, 避免仅凭单一岩性判断施工状态。进入围岩条件变化区前, 依据现场识别结果提前调整支护等级, 避免开挖后再被动补强。每循环结束后复核拱顶、拱肩与边墙稳定状态, 对异常掉块、裂隙扩展及局部变形记录, 将围岩变化信息反馈至下一循环, 实现地质识别、工序调整与支护跟进同步控制, 提高复杂围岩条件下开挖过程的连续性和质量稳定性。

2. 2钻爆开挖与断面成型质量控制

钻爆施工对巷道轮廓完整程度、围岩扰动范围具有直接影响。针对巷道跨度约4 m、局部岩体碎裂的施工条件, 钻孔前要依照设计中的中线与轮廓线精确放样, 重点控制周边孔的孔位、孔向、孔深、外插角, 避免孔底偏离从而出现超挖状况。实际爆破轮廓与设计开挖轮廓的偏差主要表现为局部超挖、欠挖、周边围岩扰动, 因此通过断面复测及时识别成型偏差。爆破参数依据掌子面岩体完整性动态调整, 完整岩段维持合理的掏槽与辅助孔破岩能力, 裂隙密集段降低周边区域的爆破能量, 以低扰动

方式减小爆生裂纹向保留围岩扩展。装药过程中控制周边孔药量分布、起爆顺序, 避免局部能量集中使拱肩、墙角位置轮廓受损。爆后及时清除松石, 对拱顶、拱肩和边墙进行断面复测, 将超挖集中位置与对应炮孔参数比对, 同时检查轮廓面完整性及局部欠挖状况。若相邻循环连续发生轮廓扩大或局部欠挖, 则及时修正孔距、装药结构、钻孔方向, 使爆破参数随实际成型结果持续优化, 减少二次处理工作量, 避免依靠后期喷射混凝土来弥补开挖偏差。

2. 3锚网喷及锚注支护质量控制

开挖后立即实施锚网喷支护, 以限制浅部破碎岩体进一步松弛。现场采用锚杆直径18 mm, 长2.25 m, 为全长粘结锚杆, 基本间距控制为1 m, 钢筋网网格尺寸为150 mm×150 mm, 喷射混凝土强度等级为C20, 设计厚度约100 mm。利用锚杆、锚索、锚索梁、锁腿梁对巷道顶部、帮部进行加固, 实现了架棚巷道变被动支护为主动支护, 巷道支护强度大大提高, 有效避免了传统半圆拱形U型钢被动支护两巷变形大、维护工程量大、占用人员多等难题^[4]。在喷射前要清理浮渣、岩粉、明显渗水的位置, 采用分层连续施工, 重点检查拱肩、墙脚、网片搭接部位的喷层密实度。针对裂隙发育、浅部松动范围较大区段, 初次锚网喷后实施锚注, 以浆液填充岩体的裂隙, 增强破碎岩块之间的连接能力, 再完成后续的喷护工作, 让锚固、注浆与表面封闭形成协同支护, 提高支护结构整体性与施工质量。

2. 4强变形区钢拱架与加固质量控制

高地应力作用下碎裂围岩区段易出现拱顶下沉、边墙收敛、喷层开裂现象, 单一锚网喷支护难以持续限制围岩变形。针对水平地应力约为40 MPa且局部破碎程度较高的区段, 在原有锚网喷基础上增设钢拱架, 从而提高支护体系早期承载刚度。钢拱架架设前需复核断面尺寸、中线及基底状态, 严格把控架体位置、垂直度与连接节点, 拱脚落在稳定基础上, 避免受力后出现不均匀沉降。相邻钢拱架之间要保持可靠连接, 使单榀受力转化为连续支护体受力, 减少局部构件受力过大的状况。架体与岩面间的空隙以喷射混凝土填充, 使围岩荷载均匀传递。对变形集中或裂隙贯通区域同步采用锚注补强, 通过加固浅部破碎岩体、改善围岩完整程度, 提高支护整体性以控制持续变形^[5]。施工后结合拱顶、边墙状态, 当出现喷层裂缝、拱架受力异常或局部收敛加快时, 及时调整支护范围与补强措施, 使钢拱架、锚注加固与原有支护共同发挥作用, 避免局部质量缺陷继续扩展。

3 复杂围岩条件下矿山巷道施工质量控制效果分析

3. 1围岩与支护质量检测分析

施工后采用钻孔电视对巷道围岩内部裂隙发育状况检测, 并结合锚杆、喷层、加固区域的状态评价支护适应性。检测结果表明浅部围岩破碎程度较高, 岩石质量指标低于25%, 在距巷道表面0~2 m及4~5 m范围内的裂隙较明显, 开挖形成的初始损伤区深度超过4 m。现场原有锚杆长2.25 m, 与围岩实际损伤范围相比有效锚固深度不足, 部分浅部破碎岩体难以依靠原有锚杆形成稳定约束。依据检测结果, 针对裂隙集中区域实施注浆补

强,并发挥喷射混凝土、锚杆与钢拱架的联合承载作用,从而使表层封闭、浅部锚固、深部围岩加固形成连续支护体系。补强区域围岩表面完整性提高,局部裂隙继续扩展的趋势得到抑制。检测结果表明复杂围岩施工质量控制不能仅凭支护构件安装状况,还须结合围岩内部损伤范围、裂隙分布、支护作用深度,校核支护参数与实际地质条件的匹配程度。

3.2巷道变形监测结果分析

为掌握支护后围岩的变形状况,在巷道不同深度处布置多点位移监测装置,对3米、6米、9米深度范围连续观测3个月。监测结果显示,3米深处围岩累计变形约2.5毫米,变形速率呈一定的波动特性,不同深度岩体的变形发展存在明显差别,说明开挖扰动并非集中于巷道浅表位置,而是具有向深部传递的特点。监测初期浅部围岩变形较明显,随着支护模式逐步发挥约束作用,位移增量整体趋于平缓,但局部破碎区域仍有阶段性波动状况。结合围岩裂隙检测结果可见,在高地应力作用下,浅层碎裂岩体发生松动后,局部裂隙仍可能向深部扩展,因此须持续关注变形速率变化,不能仅凭单次位移值判断稳定状态。多深度监测可识别浅部与深部围岩变形的差异,判断支护作用范围能否覆盖主要损伤区域,为支护参数校核、局部补强位置确定提供依据。

3.3施工质量综合控制效果评价

将围岩内部裂隙检测、变形监测、支护状态分析相结合,对复杂围岩区施工质量控制效果综合评价。针对围岩损伤范围较深、原有锚固作用范围不足等情况,通过强化锚固、锚注加固、钢拱架协同支护,提高围岩整体约束能力,并设置不同深度监测点持续监测围岩变形状态,具体数据对比如表1所示。

表1 复杂围岩巷道不同控制状态数据对比

对比指标	控制前数据	控制后数据	变化量	变化幅度
边墙围岩位移/mm	约 9.0	约 6.0	降低约 3.0 mm	约 33.3%
围岩变形相对水平/%	100.0	约 66.7	降低约 33.3 个百分点	降至原水平的 66.7%
围岩损伤控制深度/m	原锚固长度 2.25	覆盖主要损伤区 >4.0	增加 >1.75 m	控制范围明显扩大
围岩监测深度/m	浅部状态判断	3、6、9	最大达到 9 m	形成三级深度监测
3 m 深处累计变形/mm	缺少连续数据	约 2.5	3 个月累计约 2.5 mm	变形保持毫米级

由表1可知,强化施工质量控制后,边墙围岩位移从约9.0 mm降低到约6.0 mm,减少约3.0 mm,降幅达约33.3%,相对变形水平降到原状态的66.7%。针对超过4.0 m的围岩损伤范围,控制深度较原2.25 m锚固范围增加逾1.75 m,并形成3 m、6 m、9 m多点深度监测模式。3 m深处3个月累计变形约2.5 mm,说明围岩持续变形得到较好约束。强化锚固、锚注加固与钢拱架协同作用后,复杂围岩支护范围和实际损伤特征的匹配程度提高,巷道施工质量控制效果得到改善。

4 结语

复杂围岩条件下,矿山巷道施工质量受到围岩结构、开挖扰动、支护参数、工序衔接等多重因素影响。仅依靠固定的施工方案、完工后的质量检查,难以实现施工全过程稳定控制。施工中应结合围岩变化状况,及时调整循环进尺、钻孔布置、爆破参数,严格控制锚杆、钢筋网、喷射混凝土、锚注加固、钢拱架等关键工序的质量,并通过围岩变形监测、支护状态检测,持续校核控制效果。建立地质判识、施工控制、质量检测、监测反馈、参数优化相互衔接的闭环机制,可减少断面偏差与支护质量波动,提高复杂围岩巷道的整体承载能力,为矿山巷道稳定施工及后续安全运行提供技术保障。

【参考文献】

[1]张磊.深部围岩破碎带巷道协同支护技术[J].江西煤炭科技,2025,(3):103-105.

[2]朱龙龙.深部强动压巷道围岩控制技术研究[J].凿岩机械气动工具,2025,51(7):157-159.

[3]岐晓轩.矿山地质勘查工作要点及勘查质量控制探析[J].西部探矿工程,2025,37(3):173-176.

[4]徐钰斌,赵启峰,耿宁,等.松散软弱围岩煤巷高效掘进及支护工艺优化研究[J].煤炭工程,2024,56(9):49-55.

[5]冯云贵,严红,李生亚,等.深部高应力巷道锚喷支护联合控制技术研究[J].煤炭工程,2023,55(6):50-53.

作者简介:

杜金山(1989--),男,汉族,河南省洛阳市人,本科,矿业中级,研究方向: 矿山建设、矿山开采。