



对水仓等复杂工艺下岩巷综掘快速施工技术研究

师智慧 王滨滨 刘 静 张铁亮

贵州天威建材科技有限责任公司 贵州 贵阳 550000

【摘 要】 采区水仓工程存在巷道分支多、连续拐弯、断面多变、吸水井与泵房硐室穿插施工、围岩条件差异化等复杂工艺特点，传统分段掘进、间断出矸施工模式工序繁琐、掘支衔接失衡，岩巷综掘单进效率偏低，制约矿井排水系统按期投用。结合晋北 XX 煤矿二采区主副水仓现场工程，分析水仓复杂工况下综掘施工难点，从设备配套优化、分区掘进工序重构、支护工艺改良、连续出矸系统改造、施工组织管控五方面优化综掘施工技术。现场实测数据表明：优化后工作面循环作业时长由 210min 缩短至 142min，单循环进尺由 1.6m 提升至 2.2m，水仓岩巷月单进由原 58m 提升至 118.6m，围岩收敛变形控制在规范允许范围内，施工综合成本下降 19.2%。研究形成的成套快速施工工艺，可为同类多硐室、多拐点水仓岩巷综掘工程提供技术参考。

【关键词】 水仓；复杂硐室；岩巷综掘；快速施工；工序优化；连续出矸

1 绪论

1.1 研究背景与工程意义

井下采区水仓是矿井排水系统核心构筑物，由主水仓、副水仓、配水巷、吸水井、水泵房、变电所硐室组成，巷道存在连续 90° 拐弯、断面渐变、高低落差大、硐室与平巷交叉贯通等复杂构造，属于典型多工序耦合复杂岩巷工程。现阶段多数矿井水仓岩巷仍沿用传统综掘施工方案，受拐弯段皮带搭接困难、硐室开挖打乱连续出矸、破碎围岩反复补强支护等因素影响，综掘机频繁停工等待转运与支护，平均月进尺普遍不足 65m，极易造成采区排水系统滞后、采掘接续紧张。

依托晋北 XX 煤矿二采区水仓改扩建工程开展技术攻关，水仓围岩以砂质泥岩、致密细砂岩互层为主，局部区段受断层影响围岩破碎，主副水仓总长 892m，含 5 处大角度拐弯、4 座吸水井、泵房大断面硐室，原设计采用常规综掘施工，首月实际进尺仅 56.3m。通过优化综掘工艺、装备配套与工序排布，破解复杂硐室与拐弯巷道连续施工难题，实现水仓岩巷高效快速掘进，对保障矿井安全生产、缩短基建工期具备工程实用价值。

1.2 国内外研究现状

国内学者针对常规平直岩巷综掘提速研究成果较多，主要集中在掘锚一体化装备、围岩注浆预加固、循环工序优化等方向；宋道等针对连续拐弯水仓采用“综掘 + 转载 + 皮带”组合出矸，实现月进 120m 以上，但未兼顾泵房、吸水井等异型

硐室穿插施工工况；部分研究聚焦单一硐室掘进优化，缺少水仓全系统多巷道联动施工成套工艺。国外岩巷快速掘进多依托 TBM 成套装备，设备造价高、转弯半径大，难以适配中小型矿井多拐点、小断面水仓施工条件。现有规范与文献缺少水仓多硐室复杂工艺专项综掘方案，本文结合现场实际优化成套施工技术。

1.3 研究内容与技术路线

研究内容：①梳理水仓复杂工艺下综掘现存问题，统计原工艺施工效率参数；②优化综掘设备选型与拐弯段转运配套系统；③重构“分区分段、平巷与硐室错峰施工”工序；④改良锚网喷联合支护工艺，缩短支护占用工时；⑤现场应用对比优化前后掘进效率、围岩变形指标。技术路线：工程地质调研→原工艺数据采集与问题分析→装备与工艺优化设计→现场分段工业试验→数据监测对比→总结成套快速施工技术。

2 工程概况与原工艺施工弊端

2.1 工程地质与水仓结构参数

XX 煤矿二采区水仓布置在 +620 水平，岩层自上而下依次为泥质粉砂岩、中细粒砂岩、砂质泥岩，岩石单轴抗压强度 22~36MPa，局部断层破碎带岩体完整性系数 0.32~0.45，易片帮掉顶。主、副水仓净断面为半圆拱形，平巷段净宽 4.2m、净高 3.5m，泵房硐室断面 5.8m×4.6m，吸水井为竖向井筒结构，深度 5.2m；全水仓含 5 处 90° 直角拐弯巷道，配水巷与主仓三处交叉贯通，施工空间狭小、工序穿插密集。（见表 1）

表 1 水仓巷道结构与围岩基础参数表

巷道部位	断面规格 (m)	拐弯角度	围岩岩性	岩石单轴抗压强度 (MPa)	施工难点
主副水仓平巷	4.2×3.5	90° (5 处)	细砂岩互层	26~36	拐弯皮带拆装、间断出矸
泵房硐室	5.8×4.6	无	砂质泥岩	22~28	大断面分次开挖、高空支护
吸水井	直径 3.2、深 5.2	竖向	破碎泥岩	20~23	井身开挖、侧壁加固
配水联络巷	3.0×2.8	60°	断层破碎带	22~25	围岩破碎、易片帮

2.2 原传统综掘施工工艺及现存问题

原施工选用 EBZ200 型综掘机 + 固定皮带运输机配套方案, 施工顺序: 平巷单向逐段掘进→拐弯处拆卸、挪移皮带→硐室停工、更换矿车转运矸石→全断面分次支护。经现场 1 个月实测, 主要短板分为四点:

(1) 转运系统适配性差: 直角拐弯处常规皮带无法连续搭接, 每掘进一处拐点需停工 3~5h 拆装皮带, 硐室开挖时皮带撤除、改用矿车人工倒运, 出矸效率下降 55%;

(2) 工序排布混乱: 平巷掘进与吸水井、泵房硐室同步施工, 迎头人员、设备相互干扰, 综掘机频繁挪位待机;

(3) 支护耗时过长: 破碎段沿用分次锚网喷, 先初喷、再打锚杆、二次复喷, 单循环支护时长 115min, 占全循环 55% 工时;

(4) 截割工艺不合理: 全断面一次性截割, 大块矸石占比超 28%, 装载效率低, 进一步拉长循环周期。原工艺平均单循环进尺 1.6m, 单循环总耗时 210min, 月综合进尺 58.2m, 无法满足排水系统工期要求。

配图说明 1: 水仓巷道整体平面布置简图(标注主副仓走向、5 处拐弯点位、泵房与 4 座吸水井位置、联络巷分布) 配图说明 2: 优化后综掘装备现场配套布置示意图(综掘机 + 可伸缩转载机 + 拐弯柔性皮带布置形式)

3 复杂水仓工况综掘快速施工优化技术

3.1 综掘设备配套系统优化

依据水仓多拐弯、硐室穿插特点, 更换适配型成套装备, 解决拐弯间断出矸难题:

(1) 掘进主机: 选用 EBZ260 硬岩综掘机, 加大截割功率, 优化截齿排布, 降低大块矸石产出率;

(2) 转运系统: 迎头配套 QZP160 可伸缩铰接转载机, 拐弯段替换普通刚性皮带为可弯曲柔性阻燃皮带 + 落地式拐角转载槽, 90° 拐点无需拆装整机, 仅调整皮带导向架, 单次改向耗时压缩至 30min 以内;

(3) 硐室辅助转运: 吸水井、泵房施工保留 2 台小型耙装机, 硐室矸石经耙装机接入主干皮带, 取消矿车人工倒运模式, 实现全水仓连续出矸。

3.2 分区错峰掘进工序重构(核心优化工艺)

打破原全巷道单向掘进模式, 采用分区施工、平巷与硐室错峰作业方案, 将水仓划分为 I 区主水仓、II 区副水仓、III 区硐室群(泵房 + 吸水井):

(1) I、II 区平巷由综掘机优先连续掘进, 利用柔性皮带实现拐弯不间断出矸, 每日两班综掘破岩、一班设备检修;

(2) III 区硐室利用综掘机停工检修时段, 由小型班组开挖吸水井与泵房基础, 错峰施工互不占用综掘有效掘进工时;

(3) 巷道贯通点预留 2m 保护岩柱, 待两侧平巷掘进到位后一次性破除贯通, 避免贯通扰动造成顶板垮落、返工支护。优化后杜绝综掘机因硐室施工待工, 有效掘进工时提升 32%。

3.3 截割工艺优化, 提升单循环进尺

针对软硬互层围岩, 采用分层阶梯式截割工艺: 先截割巷道上部拱顶岩层, 预留 300mm 围岩保护层, 再自上而下分层刷帮、拉底, 避免全断面硬截产生大块矸石; 破碎联络巷段减小单次截割深度至 250mm, 硬岩段加大进刀深度至 380mm。优化后矸石大块率由 28.3% 降至 8.7%, 铲板装载效率显著提升, 单循环理论进尺由 1.6m 提升至 2.2m。

3.4 锚网喷支护工艺优化, 压缩支护工时

采用机载临时支护 + 锚网一次成型 + 滞后复喷新工艺, 缩短迎头支护占用时间:

(1) 综掘机配套 ZLJ 机载临时支护装置, 截割成型后立即伸顶护顶, 省去人工架设木棚临时支护工序, 节省工时 35min / 循环;

(2) 锚杆采用 MQT130 气动钻机多机平行作业, 全断面锚杆、钢筋网一次性铺设安装, 初喷滞后迎头 3~5m, 复喷延后至距迎头 20m 以外分段集中施工, 实现掘、支平行穿插作业;

(3) 断层破碎带采用注浆锚杆补强, 提前对前方 5m 围岩浅孔预注浆加固, 减少后期反复返修支护。优化后单循环支护时长由 115min 降至 62min。

3.5 施工组织与现场管控优化

(1) 班组实行“三八制、定岗定责”, 破岩、出矸、支护三个小组分工固定, 交接班提前 15min 交接设备与现场工况, 减少停工交接时间;

(2) 建立设备班前点检制度, 综掘机、皮带、钻机每日开工前逐项排查故障, 将设备故障停机率由 18% 降至 6%;

(3) 水仓拐弯、硐室关键点布设围岩收敛观测点, 动态依据变形数据微调支护参数, 避免超挖与返工。

4 优化工艺现场应用效果监测与数据分析

优化工艺在 XX 煤矿二采区水仓分段落地试验, 连续监测 3 个月施工数据, 对比原工艺各项技术指标。

4.1 掘进效率分析

由表 2 数据可知, 经过装备、工序、支护全维度优化, 水仓岩巷月进尺从 58.2m 提升至 118.6m, 工期较原计划缩短 41%, 主副水仓及配套硐室按期完成施工, 排水系统顺利投入使用。



用，解决矿井排水滞后隐患。

表 2 优化前后综掘施工关键参数对比统计表

技术指标	原传统施工工艺	优化后快速施工工艺	优化提升幅度
单循环耗时 /min	210	142	缩短 32.4%
单循环有效进尺 /m	1.6	2.2	提升 37.5%
矸石大块率 /%	28.3	8.7	降低 69.3%
单循环支护用时 /min	115	62	缩短 46.1%
月平均综合进尺 /m	58.2	118.6	提升 103.8%
巷道围岩日均收敛 /mm	1.12	0.38	降低 66.1%
单位进尺施工成本 (元 /m)	1286	1039	下降 19.2%

4.2 围岩控制效果分析

在泵房硐室、断层联络巷、拐弯破碎段共布设 12 组收敛监测测点，优化支护后围岩日均收敛变形最大值 0.38mm，远低于原工艺 1.12mm，巷道成型规整，无片帮、冒顶返修情况，支护安全可靠满足《煤矿井巷工程施工规范》要求。

4.3 经济效益分析

优化后出矸连续化、返工返修量大幅减少，人工、材料、

设备台班综合成本下降 19.2%，全水仓 892m 巷道合计节约施工费用约 22 万元，经济效益突出。

5 结论

(1) 水仓因多拐弯、多异型硐室、断面多变形成复杂施工工况，常规平直巷道综掘工艺无法适配，核心短板集中在转运系统不连续、掘支工序交叉干扰、支护工序冗长三方面，通过柔性拐弯皮带 + 分区错峰施工可从源头破解连续出矸与工序冲突难题。

(2) 采用 EBZ260 综掘 + 铰接转载 + 柔性拐弯皮带成套装备、分层阶梯截割、机载临时支护 + 滞后复喷成套优化工艺后，水仓岩巷单循环进尺提升 37.5%，月进尺实现翻倍增长至 118.6m，围岩变形可控、施工成本显著降低。

(3) 针对同类复杂水仓工程，优先采用分区错峰施工思路，硐室错峰利用设备检修窗口期施工，避免占用综掘掘进工时，该成套快速施工技术可在国内同地质条件矿井水仓项目推广应用。

参考文献：

[1] 宋道. 采区水仓快速综掘施工技术与研究 [J]. 煤矿现代化, 2024 (05): 45-48.

[2] 王宾涛. 掘进巷道水仓施工及支护参数优化 [J]. 煤炭与化工, 2019, 42 (08): 78-81.

[3] 张旭辉. 硬岩巷道综掘截割工艺优化与效率提升研究 [J]. 煤炭工程, 2022, 54 (06): 112-116.

[4] 李建军. 多拐弯硐室巷道连续出矸系统改造实践 [J]. 工矿自动化, 2021, 47 (S1): 215-218. [5] 刘浩. 破碎围岩水仓锚网喷支护优化技术 [J]. 煤矿安全, 2023, 54 (03): 136-139.

[6] 薛晨晓. 大断面硐室与平巷错峰快速施工工艺 [J]. 陕西煤炭, 2025 (02): 98-102.

[7] Brzezinski T. Rapid excavation technology for complex underground pump house and sump engineering [J]. Mining Science and Technology, 2020, 30 (04): 521-527.