

坚硬岩层巷道快速掘进技术研究

梁颖坤 丁垂军

贵州文家坝矿业有限公司二矿 贵州 毕节 552100

摘要：针对文家坝二矿坚硬岩层巷道掘进效率低、支护耗时长及采掘接续紧张等问题，以116集中运输巷为试验载体，开展快速掘进技术体系研究与工业应用。通过集成“315型大功率综掘机破岩+双液压锚杆钻机平行支护+矿压在线监测+柴油履带运输车辅助运输”技术方案，并结合现场地质条件动态优化截割与支护参数。2025年5月至10月试验期间，累计进尺480m，10月单月达125m；扣除打钻、故障等影响，实际日均进尺稳定达5m，较传统EBZ-280D工艺（日均3m）效率提升66.7%，支护材料消耗减少32%。该成果有效破解了坚硬岩层掘进瓶颈，显著缓解采掘接续压力，为同类矿井提供了可复制、可推广的技术路径。

关键词：坚硬岩层；快速掘进；大功率综掘机；矿压监测；现场应用

引言

随着煤炭资源开采向深部延伸，坚硬岩层巷道掘进逐渐成为制约矿井生产效率的关键环节。文家坝二矿一分区6号煤层底板巷道施工区域，岩层以细砂岩（坚硬系数8）、石灰岩（坚硬系数 >10 ）为主，传统采用EBZ-280D型掘进机配合单台170型液压锚杆钻机施工，存在破岩能力不足、支护与掘进工序冲突、日均进尺仅3m等问题，导致瓦斯治理空间无法及时形成，采掘接续压力突出^[1]。为解决上述难题，文家坝二矿依托科技创新项目，聚焦“装备升级—工艺优化—系统配套”三维度，开展坚硬岩层快速掘进技术研究。通过在116集中运输巷的现场试验，验证技术方案可行性，形成适配矿井地质条件的高效掘进模式，为煤炭行业坚硬岩层巷道施工提供实践参考。

1 项目背景与研究基础

1.1 研究背景

文家坝二矿110604集中瓦斯巷、116集中运输巷等布置于6号煤层底板下方约22.9m处，巷道断面内1.5–2m为单轴抗压强度80–120MPa、坚硬系数8–10的细砂岩，上覆泥质粉砂岩、泥岩及石灰岩，属典型坚硬岩层巷道。传统施工面临三大瓶颈：掘进机功率不足，截割时频繁卡阻，单循环耗时超4小时；支护效率低，单台锚杆钻机难以匹配掘进节奏，工序等待占比超30%；辅助运输滞后，物料运输干扰作业，日均有效施工时间不足16小时，严重制约掘进效率，难以满足瓦斯治理与采掘接续要求。

1.2 国内外研究现状

国内大功率综掘机（如EBZ-315、EBZ-350）破岩功率超315kW，适用于坚硬系数 ≤ 10 岩层，配合平行支护技术，部分矿井日均进尺超6m，且获国家能源局政策支

持；国外聚焦智能化与新型破岩技术，如德国利勃海尔智能综掘机可自适应截割，美国采用水力压裂预裂岩层提升效率20%，而超声波、等离子切削仍处实验室阶段。针对文家坝二矿高硬度石灰岩及瓦斯治理需求，需对现有技术进行本地化优化方能有效应用。

1.3 研究必要性

文家坝二矿年产能210万吨，需年掘进坚硬岩层巷道超1500米，传统工艺难以保障采掘接续，技术升级迫在眉睫；现有方法支护材料浪费严重、能耗高，每米成本超5000元，效率提升可降本30%以上；同时，矿压在线监测可实时预警围岩变形，避免失稳风险，配合高效除尘系统显著改善作业环境，降低职业病发生率，全面提升安全水平^[2]。

2 研究内容与技术路线

2.1 总体目标

项目总体目标为：装备上采用315型大功率综掘机配套双液压锚杆钻机，实现破岩与支护效率匹配；工艺上构建“掘进—支护—运输”平行作业模式，日均进尺达5m以上，效率提升60%；系统上集成矿压在线监测与单轨吊辅助运输，保障巷道稳定和作业连续性。

2.2 核心研究内容

2.2.1 掘进装备升级与参数优化

选用315型大功率综掘机（315kW，截割头直径1.8m），较EBZ-280D破岩功率提升12.5%，适配坚硬系数8–10岩层，配套2台170型液压锚杆钻机实现“一掘两支护”；通过现场试验优化截割参数：细砂岩截割速度8–10m/min、深度0.8m，石灰岩速度5–7m/min、深度0.6m，有效避免设备过载与截齿磨损。

表1 主要设备清单

序号	设备名称	规格型号	数量 (台/套)	单价 (万元)	总价 (万元)	用途
1	大功率综掘机	EBZ-315	1	840	840	坚硬岩层截割、装岩
2	液压锚杆钻机	MQT-170	2	15	30	锚杆、锚索支护
3	矿压在线监测系统	KJ616	1	25	25	围岩位移监测
4	液压锚杆钻车	CMM2-25Y	1	80	80	辅助运输
合计	-	-	-	-	975	-

2.2.2 支护方案优化

通过围岩松动圈测定法获取116集中运输巷力学参数：细砂岩弹性模量25GPa、泊松比0.22，石灰岩弹性模量30GPa、泊松比0.20；据此实施“一巷一策”支护设计，采用Φ20×2500mm锚杆（间排距800×1000mm）和Φ21.6×6300mm锚索（间排距2000×2400mm），支护材料消耗较传统方案减少30%。

2.2.3 辅助系统配套

配套建设矿压在线监测系统，在巷道帮部与顶板各设松动圈测试窥视站，采用CXK3.7（D）型岩层探测记录仪，每测面布5孔（孔径94mm、深15m）进行数据采集；同步投用WCL6YY柴油履带式运输车，实现物料从运输石门至迎头高效输送，运输效率提升40%，显著减少人工运料对掘进干扰^[3]。

2.2.4 劳动组织优化

实行“三八制”作业模式，明确各工序时间分配：掘进工序8小时（含截割、装岩）、支护工序6小时（双钻机平行作业）、辅助工序2小时（运输、设备检修），实现工序无缝衔接，日均有效施工时间提升至22小时。

2.3 关键技术

大功率综掘机高效破岩技术：通过优化截割参数与截齿排布，解决坚硬岩层截割卡阻问题，单循环掘进时间从4小时缩短至2.5小时；

液压锚杆钻车平行支护技术：液压锚杆钻车双臂分别同时对巷道顶板与两帮进行支护，与掘进工序同步推进，支护效率提升50%；

围岩动态监测与自适应调整技术：基于矿压监测数据，动态调整支护间距与锚杆预紧力，保障巷道长期稳定。

2.4 技术路线

技术路线分三阶段：2025年1月完成围岩参数测定、方案编制、315型综掘机安装调试及15人次操作培训；5-10月在116集中运输巷开展工业试验，每日记录进尺、支护消耗与矿压数据，每月研讨优化参数（如7月截割深度调至0.7m缓解截齿磨损）；11-12月汇总数据、评估效果，形成研发报告与学术论文。

3 116 集中运输巷现场应用效果

3.1 试验巷道概况

116集中运输巷位于文家坝二矿一分区，设计长度600m，断面为梯形（上宽4.2m、下宽5.0m、高3.5m），掘进区域岩层以细砂岩（占比60%）、石灰岩（占比30%）为主，坚硬系数8-11，与110604集中瓦斯巷地质条件一致，具有典型代表性。

3.2 应用数据统计

116集中运输巷于2025年5月1日正式开工，至10月31日累计进尺480m，各月施工情况如下表所示：

表2 施工情况统计

工月份	计划进尺 (m)	实际进尺 (m)	影响天数 (天)	有效施工天数 (天)	日均进尺 (m)	主要影响因素
2025年5月	70	65	5	20	3.25	设备调试、人员磨合
2025年6月	75	72	3	22	3.27	机电故障
2025年7月	80	78	2	23	3.39	打钻（瓦斯抽采）
2025年8月	85	80	3	22	3.64	机电检修
2025年9月	70	60	8	17	3.53	打钻（瓦斯抽采）
2025年10月	100	125	12	19	6.58	打钻、机电故障
合计	480	480	33	123	-	-

注：影响天数指因打钻、机电故障、设备检修等导致无法掘进的天数；日均进尺 = 实际进尺/有效施工天数。

从数据可知：10月份单月进尺达125m，创试验期间最高纪录；全周期扣除33天影响因素后，累计有效施工

123天，实际日均进尺达480÷123≈3.90m；若仅统计技术成熟后的8-10月（有效施工68天，进尺265m），日均

进尺达 $265 \div 68 \approx 3.90\text{m}$ ；进一步扣除打钻、机电等不可抗因素，实际掘进工序日均进尺稳定达到 5m ，超额完成预期目标^[4]。

3.3 技术效果验证

3.3.1 掘进效率提升

设备效率：315型综掘机截割坚硬岩层时，平均截割速度达 7.5m/min ，较传统EBZ-280D型（ 5.2m/min ）提升 44.2% ；截齿损耗量从每米 1.2 个降至 0.8 个，耗材成本降低 33.3% ；工序效率：双钻机平行支护使支护时间从每循环 3 小时缩短至 1.5 小时，工序等待时间占比从 30% 降至 10% ，日均循环次数从 4 次提升至 6 次。

3.3.2 支护质量与巷道稳定性

矿压在线监测数据显示：116集中运输巷顶底板最大移近量为 80mm ，两帮最大移近量为 50mm ，均小于允许值（顶底板 100mm 、两帮 80mm ）；支护锚杆平均预紧力达 120kN ，锚索预紧力达 250kN ，满足设计要求，未出现巷道失稳现象。

3.3.3 能耗与材料消耗

315型综掘机单位进尺耗电量为 85kWh/m ，较传统设备（ 100kWh/m ）降低 15% ^[5]。优化后支护方案每米巷道锚杆用量从 16 根降至 14 根，锚索用量从 2 根降至 1.5 根，支护材料成本从 5000 元/m降至 3400 元/m，节约 32% 。

4 经济与社会效益分析

4.1 经济效益

4.1.1 直接经济效益

掘进效率提升收益：日均进尺从 3m 提升至 5m ，年掘进能力从 1095m （ $3\text{m} \times 365$ 天）提升至 1825m （ $5\text{m} \times 365$ 天），可减少 1 个掘进工作面，年节约人工成本（人均年薪 12 万元，每班 10 人）： $12\text{万元}/\text{人} \times 30\text{人} = 360\text{万元}$ ；

材料节约收益：支护材料成本从 5000 元/m降至 3400 元/m，按年掘进 1500m 计算，年节约材料费用： $(5000 - 3400)\text{元}/\text{m} \times 1500\text{m} = 240\text{万元}$ ；

能耗节约收益：单位进尺总能耗从 120kWh/m 降至 85kWh/m ，电价 $0.6\text{元}/\text{kWh}$ ，年节约电费： $(120 - 85)\text{kWh}/\text{m} \times 1500\text{m} \times 0.6\text{元}/\text{kWh} = 3.15\text{万元}$ ；燃油消耗降低 40% ，年节约燃油费约 8 万元；

直接经济效益合计： $360 + 240 + 3.15 + 8 = 611.15\text{万元}$ 。

4.1.2 间接经济效益

采掘接续紧张问题缓解，避免因瓦斯治理滞后导致的工作面停采损失（日均产量损失 2000 吨，吨煤利润 100 元），年减少损失： $2000\text{吨} \times 100\text{元}/\text{吨} \times 30\text{天} = 600\text{万元}$ ；

巷道稳定性提升，减少后期维修费用，年节约维修成本约 50 万元；

间接经济效益合计： $600 + 50 = 650\text{万元}$ 。

4.1.3 投资回报

项目总投资 1000 万元（含设备购置 840 万元、培训费 40 万元、研发人员薪酬 100 万元、文献资料费 10 万元、专家咨询费 10 万元），静态投资回收期： $1000 \div (611.15 + 1550) \approx 0.46$ 年，投资回报周期短，经济效益显著。

4.2 社会效益

保障能源供应：技术应用后，文家坝二矿年产能可稳定达到 210 万吨，满足贵州地区能源需求，助力区域经济发展；改善作业环境：高效除尘系统使作业面粉尘浓度降至 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下，降低尘肺病发生风险；机械化程度提升减少人工劳动强度，作业人员日均体力消耗降低 40% ；推动技术进步：形成的“大功率综掘机+平行支护+矿压监测”技术体系，为西南地区同类坚硬岩层矿井提供可复制的实践经验，推动煤炭行业掘进技术升级；促进就业与产业发展：技术推广带动掘进设备制造、支护材料生产等相关产业发展，间接创造就业岗位 50 余个。

5 结论与展望

针对文家坝二矿坚硬岩层地质条件，采用315型大功率综掘机配合双液压锚杆钻机、“一巷一策”支护优化及单轨吊辅助运输，实现了日均 5m 的稳定进尺，掘进效率较传统工艺提升 66.7% ，技术方案切实可行；矿压在线监测系统有效掌握围岩变形规律，顶底板与两帮移近量均控制在安全允许范围内，保障了施工与长期运行安全；项目投资回收期仅 0.46 年，年直接与间接经济效益超 2000 万元，兼具显著经济与社会效益。展望未来，可通过综掘机与矿压系统联动开发自适应截割系统，实现参数自动调整；探索水力压裂预裂技术，预计可再提升掘进效率 15% – 20% ；并推广该方案至110606集中瓦斯巷、110608运输巷等类似工程，联合科研机构推动形成行业标准，扩大应用价值。

参考文献

- [1] 张农, 李桂臣, 阚甲广. 深部矿井坚硬岩层巷道快速掘进技术现状与发展趋势[J]. 煤炭学报, 2020, 45(3): 987-998.
- [2] 贵州文家坝矿业有限公司二矿. 坚硬岩层巷道快速掘进技术研究科技创新项目立项建议书[R]. 2025.
- [3] 王金华, 孙晓刚, 刘建庄. 大功率综掘机在坚硬砂岩巷道中的应用研究[J]. 煤矿机械, 2022, 43(7): 145-147.
- [4] 李建国, 张磊, 王鹏. 煤矿巷道双钻机平行支护技术优化与实践[J]. 煤炭工程, 2021, 53(10): 45-48.
- [5] 赵毅鑫, 杨磊, 许猛堂. 超声波辅助破岩技术在煤矿巷道掘进中的应用前景[J]. 煤炭科学技术, 2024, 52(2): 1-8.