

矿山生产中采掘接续问题分析与优化建议

高陈程 施 伟

江西乐矿能源集团陕西黄陵分公司 陕西 黄陵 727307

摘 要: 采掘接续是矿山生产管理的核心命题,直接关系到矿山生产的连续性与产能稳定性。本文系统分析了矿山采掘接续问题的理论内涵与表征体系,从地质条件不确定性、采掘计划编制缺陷、掘进施工效率制约以及生产组织管理短板等维度深入剖析了采掘失衡的成因机制。在此基础上,围绕地质保障、计划优化、掘进效率提升和组织管理改进四个方面,提出了采掘接续的系统性优化建议。研究认为,解决采掘接续问题需要从“被动应对”转向“主动预控”,建立以地质模型动态更新为基础、以采掘计划精准编制为核心、以高效掘进施工为支撑、以信息化管控为手段的全链条接续保障体系。

关键词: 矿山生产; 采掘接续; 采掘失衡; 掘进效率; 接续计划优化

引言

矿山生产的本质是在时间与空间上有序推进采准、切割和回采作业,以持续稳定地获取矿石。采掘接续是指掘进工程与回采工程之间的时序衔接与空间匹配关系,其核心要求是“采掘并举、掘进先行”——即在回采工作面结束之前,新的备采工作面必须准备就绪,实现产量的平稳过渡。良好的采掘接续是矿山均衡生产、稳产高产的基本前提,也是矿山安全管理和经济效益的重要保障。然而,采掘接续紧张乃至失衡是国内外矿山普遍面临的顽疾。受地质条件复杂多变、掘进装备与工艺相对落后、采掘计划执行力不足以及生产组织粗放等因素的影响,许多矿山长期处于“采大于掘、采掘失调”的被动局面。接续紧张的直接后果包括:回采工作面接替脱节导致产能大幅波动,采准工程滞后迫使矿山在不利条件下强行组织生产从而增大安全风险,以及为保证产量而频繁调整计划引发的管理混乱和成本上升。从深层次看,采掘接续问题不是孤立的工程问题,而是矿山技术管理、计划管理和组织管理综合能力的集中反映,其优化必然涉及多环节、多系统的协同改进。

1 采掘接续问题的理论内涵与评价

1.1 采掘接续的概念与核心要求

采掘接续包含“采”与“掘”两个相互依存的生产子系统。“采”指回采作业,即从采场中采出矿石的主体工序;“掘”指掘进作业,包括开拓巷道、采准巷道、切割工程等为回采创造条件的前期工程。两者之间的关系可概括为“掘进服务于采掘、采掘依托于掘进”——掘进工程开辟出新的采场空间,为回采提供作业

面;回采则为后续掘进提供工程空间和运输通道,形成循环递进的时空推进关系。采掘接续的核心要求是在时间上保证回采工作面结束前新的工作面已具备回采条件,在空间上保持足够的备采储量和合理的工作面布局。合理的采掘接续应达到三个基本目标:数量均衡——掘进工程量与回采工程量保持适当的比例关系;时序匹配——采准周期与回采周期相协调,避免出现备采工作面空档期;空间协调——采掘工程在空间上顺序推进,不相互干扰和冲突^[1]。这三个目标的实现依赖于精确的地质预测、科学的计划编制和严格的施工执行。

1.2 采掘接续的评价指标体系

采掘接续状态需要借助一系列定量指标加以衡量和监控。最基本的是采掘比,即单位时间内掘进进尺与回采进尺的比值,或掘进工程量与采出矿石量的比值,反映采掘两系统在实物量上的均衡程度。备采工作面数量及其可采期是评价接续储备充裕度的核心指标——备采工作面可采期是指已准备完毕的工作面在正常回采速度下可维持生产的月数,该值低于安全下限即表明接续紧张。三级矿量平衡指标(开拓矿量、采准矿量、备采矿量)从储量准备的角度反映采掘接续的总体态势,其中备采矿量的保有期是最直接反映接续状态的敏感指标。此外,采掘失调率、接续工程完成率和掘进工作面利用率等辅助指标从不同侧面补充刻画接续状况。上述指标构成了多层次的接续评价体系,为接续状态的诊断和预警提供了量化依据。

1.3 采掘接续与矿山生产的全局关联

采掘接续不仅是生产计划问题,它与矿山生产的各

个方面存在广泛关联。安全维度上,采掘失衡迫使矿山在高应力集中区域或地质异常带强行组织回采,增加冒顶片帮和冲击地压风险;同时,掘进滞后往往导致通风系统不完善、独头掘进距离过长,恶化作业环境。质量维度上,接续紧张时矿山可能被迫降低采准工程标准或回采品位要求,导致矿石贫化率上升。成本维度上,接续失调引发频繁的开停调整、设备闲置与搬迁、临时工程增加及效率损失,隐性成本巨大。因此,采掘接续问题本质上是矿山战略层面的管理命题,其优化效益超越了单纯的产量稳定,渗透到安全、质量、成本和资源利用等各个方面。

2 采掘接续失衡的成因分析

2.1 地质条件的不确定性

地质条件是采掘接续的基础性约束,也是最难控制的不确定因素。矿体形态、产状、厚度和品位的空间变化往往与勘探阶段的地质模型存在偏差,导致按原设计施工的采准工程无法到达预定位置或揭露的矿体不可采,需要重新调整采准方案,从而延误接续进度。更为棘手的是,断层、破碎带、溶洞等地质异常体在掘进过程中被揭露后,往往需要改变巷道方位、加强支护或绕道施工,不仅增加了掘进工程量,还大幅延长了采准周期^[2]。在深部开采条件下,地压增大、岩温升高等问题进一步加剧了掘进难度和不确定性。地质条件变化对采掘接续的影响具有突发性和强制性,是引发接续紧张的首要客观因素。

2.2 采掘计划的编制缺陷

采掘计划是连接地质条件与施工执行的中间环节,其编制质量直接影响后续执行效果。当前许多矿山的采掘计划存在以下典型问题:一是地质依据不充分,计划编制所依据的地质模型精度不足或未及时更新,导致计划在实施中频繁变更;二是采掘平衡关系论证不严谨,片面追求产量指标而安排超出掘进能力回采计划,人为制造了采掘缺口;三是计划缺乏弹性,对设备故障、地质异常等不确定性因素考虑不足,预留缓冲空间不够;四是对掘进工程的逻辑关系(如通风、运输、排水系统配套)梳理不清,出现关键路径上的工程滞后而导致后续一连串延误。计划编制的系统性缺陷往往是采掘接续问题的直接诱因。

2.3 掘进施工效率的制约

即使有合理的计划,掘进施工能力若不能满足要求,采掘接续仍无法保障。掘进效率的制约因素来自多个方面。装备水平是最基础的硬约束——许多矿山仍采

用传统的风动凿岩机加人工出渣方式,掘进速度远低于回采速度,采掘比长期失衡。掘进作业线的组织管理同样影响显著——凿岩、爆破、通风、出渣、支护各工序之间衔接不紧凑,辅助作业时间过长,纯掘进时间占比比较低。此外,掘进工作面往往处于通风和运输系统的末端,供电、供水、供风和运输保障能力不足,进一步制约了掘进效率。在深井矿山中,高温、高湿和高应力环境使作业人员劳动效率下降,设备故障率上升,掘进速度衰减明显。掘进效率与回采效率之间的“剪刀差”是采掘接续紧张的结构根源。

2.4 生产组织与管理的短板

采掘接续问题最终反映在管理层面。部分矿山存在“重采轻掘”的惯性思维——产量指标层层压实,掘进工程被视为“准备工作”而缺乏同等力度的考核和资源保障,在人力、设备和资金投入上采掘比例失衡。部门间的协同不畅也加剧了问题——地质、设计、掘进、回采分属不同部门管理,信息传递链条长、反馈慢,地质异常信息不能及时传导至计划调整和掘进施工,导致损失被逐级放大。此外,采掘接续的预警和考核机制不健全,缺乏对备采工作面可采期、三级矿量保有期等预警指标的常态化监测和刚性考核,接续风险往往在问题暴露后才被重视,错失提前干预的窗口期。

3 采掘接续优化的系统性建议

3.1 强化地质保障与动态预测

地质信息的精度和时效性是采掘接续优化的基础。矿山应建立“勘探-生产勘探-采掘揭露”三级地质信息获取体系,在采准巷道掘进过程中系统开展迎头编录、刻槽取样和井下物探工作,持续修正矿体边界和品位模型。条件允许的矿山应建立三维地质模型并实施动态更新——每季度或每半年将新揭露的地质信息输入模型,重新解算矿体形态和资源量分布,据此校核采掘计划的可行性。在地质异常风险预判方面,应基于历史数据建立典型地质异常体的空间展布规律和施工影响系数统计,为掘进周期估算提供概率依据。地质保障的终极目标是在采掘工程接近地质异常之前即有所预判,将不确定性转化为可管理的风险,而非被迫被动应对。

3.2 优化采掘计划编制方法

采掘计划编制的科学性直接决定了接续保障的先天条件。首先,计划编制应以“均衡生产、掘进先行”为基本原则,将掘进工程计划与回采计划同步编制、相互校核,而非各自独立编制后再拼合。在计划编制流程中,应依据采准工程量和掘进历史效率数据,反算完成

采准工程所需的时间周期,再据此确定回采工作面的接替时间节点,保证计划的内在可行性^[3]。其次,计划编制应采用网络计划技术(如关键路径法)识别制约接续的关键工程线路,将有限的人力和设备资源向关键工作倾斜,确保接续瓶颈得到优先突破。再次,计划中应预留合理的缓冲时间(一般取工程周期的10%~15%)以吸纳地质异常和设备故障等不确定性冲击,避免“满打满算”导致的计划刚性过强。最后,推行采掘计划的滚动修编制度——以季度为周期,根据上期工程完成情况和地质新信息,滚动调整后续期的采掘方案,使计划始终保持对现实条件的最佳适配。

3.3 提升掘进施工效率与装备水平

掘进效率是采掘接续的硬支撑,提升掘进速度应从装备升级和工艺优化两方面着手。装备方面,对于大中型矿山,应积极引入掘进凿岩台车、锚杆台车和侧卸式装岩机等机械化作业线,条件适宜的矿山可推广悬臂式掘进机或全断面掘进机(TBM)进行巷道快速掘进,将掘进速度提升至传统工艺的2~3倍。对于中小型矿山,也应在凿岩、装运、支护等关键工序上选用高效轻便设备,逐步淘汰效率低下的手持式凿岩机。工艺优化方面,应重点压缩掘进循环中的辅助作业时间——推广多孔少爆的爆破参数优化方案提高单循环进尺;采用远程供风和局部通风智能控制系统减少通风等待时间;实施锚喷支护的平行作业,使支护不再占用循环主时间。同时,应建立掘进效率的统计分析制度,系统记录每循环的纯掘进时间和辅助时间,识别低效环节并持续改进,使掘进速度稳步提升。

3.4 推进信息化管理与动态监控

信息化手段在采掘接续管控中具有不可替代的作用。矿山应建立采掘接续的信息化监控平台,集成地质模型、采掘工程平面图、进度日报和监测数据等信息,自动计算备采工作面可采期、三级矿量保有期和采掘比等关键指标,以可视化的仪表盘形式呈现接续态势。系统应设置多级预警阈值——当备采可采期接近警戒值时自动向相关管理人员发送预警信息,提前触发应对预案^[4]。在此基础上,应推行采掘进度的日跟踪、周分析、月总结制度,及时识别进度滞后并分析原因,将纠偏措施尽可能前置,避免小偏差累积为大缺口。信息化系统还应支持多部门的信息共享和协同工作,使地质异

常、计划调整和施工反馈在统一平台上快速流转,压缩信息传递的时间损耗和衰减失真。

3.5 采掘失衡时期的应急与恢复策略

短期应急的目标是保障生产不中断,可采取的措施包括:在保证安全的前提下适当加快备采工作面的准备速度(如增加掘进班组、实行平行作业);若备采工作面确实无法按期形成,可安排次要采场的残采或矿柱回采作为过渡产能,维持生产系统的连续运转;同时暂停非紧急的开拓工程,集中力量打通接续的关键线路。中期恢复策略则应着眼于重建采掘平衡——制定补充掘进计划,明确补欠工程量、完成时限和资源需求,必要时通过增加掘进设备或外委部分工程来加速采准进度。在实施应急和恢复方案的过程中,要防止过度挤压安全空间和工程质量,确保“接得上”与“安全可靠”两者不可偏废。

4 结语

采掘接续是矿山生产管理中具有全局性和战略性的核心命题。本文从采掘接续的理论内涵出发,系统分析了地质不确定性、计划编制缺陷、掘进效率制约和管理短板等因素对采掘平衡的影响机制,并在此基础上提出了涵盖地质保障、计划优化、装备提升、信息化管控等多维度的系统性优化建议。研究认为,实现采掘接续的根本好转需要从理念到方法、从技术到管理的全面升级——将采掘接续管理从事后被动应对转向事前主动预控,从经验型定性判断转向模型化定量分析,从部门分散管控转向全链条协同管理。采掘接续问题的有效解决是一项系统工程,需要矿山企业持续投入、久久为功,但其带来的产能稳定、成本优化和安全改善效益将远大于投入本身。

参考文献

- [1] 李夕兵,周健,王少勇.深井矿山采掘接续的关键制约因素分析[J].中国有色金属学报,2024,34(1):156-165.
- [2] 吴爱祥,王洪江,尹升华.矿山掘进工程高效施工技术研究进展[J].采矿技术,2023,23(4):45-53.
- [3] 胡乃联,李国清,杨桦.数字矿山框架下的采掘计划动态管理[J].北京科技大学学报,2024,46(5):832-841.
- [4] 刘志强,宋朝阳,纪洪广.矿山巷道快速掘进技术现状与展望[J].煤炭科学技术,2023,51(S1):1-12.