

采矿工程施工中不安全技术因素及对策研究

岳新强

新疆宝地矿业股份公司 新疆 乌鲁木齐 83000

【摘要】：采矿工程施工涉及复杂的地下作业环境，随开采深度增加，高地应力与地质构造复杂性日益凸显，文中深入分析了井巷掘进、支护结构失稳及采矿工艺中的不稳定性，识别影响作业环境安全的关键技术因素。针对性地提出涵盖爆破参数精细化优化、软岩巷道让压支护增强、高效排水系统完善及机械运输冗余保护等改进方案，旨在通过动态监测与工艺升级，消除施工过程中的潜在隐患，提升地下工程的物理稳固性与施工衔接效率，通过对地质构造、支护力学参数及机械动力性能的耦合剖析，确立了系统的技术防范体系，为复杂地质条件下的矿山地下开采提供科学的工艺参考与安全保障。

【关键词】：采矿工程；施工技术；不安全因素；对策研究

DOI:10.12417/2811-0536.26.05.051

矿产资源开发过程中，施工技术的高低直接影响井下工程的稳定性。随着采掘深度的增加，地应力分布、岩层构造及地下水动力条件愈发复杂，既有的施工工艺面临严峻挑战，针对采矿施工中出现的技术缺陷进行深入剖析，探讨科学的规避手段与加固技术，对于维持地下空间结构的平衡与作业连续性具有重要作用，分析并解决施工中的技术难点，是提升资源采出率、减少结构破坏、优化作业流程的核心路径。

1 掘进作业地质构造影响及技术规避

地下矿产资源开采环境极端复杂，掘进作业直接面临多变的地层压力与岩性变化，由于物探手段在地质超前预报中的空间分辨率限制，容易导致对断层破碎带、陷落柱等构造发育区的识别出现偏差^[1]。这种技术层面的不确定性导致掘进工作面在触及高地应力区时，围岩平衡状态瞬间打破，诱发片帮甚至冒顶，在实际施工中若截割速度与岩石硬度匹配不当，会加剧刀盘损耗并引发震动疲劳，进而削弱迎头作业面的自稳能力，对此，必须强化定向钻探与瞬变电磁耦合探测技术，精确捕捉前方 50 m 范围内的构造异动，通过调整掘进参数与循环进度，使扰动能量释放处于可控范围，确保地下空间掘进轨迹的力学稳定性。

2 井巷支护结构失稳因素与加固工艺

2.1 锚喷支护参数匹配性及优化方案

锚喷支护在采矿井巷中应用广泛，但常因锚杆长度、排距及喷射混凝土厚度设计与围岩类别不匹配而失效，当巷道通过软弱夹层时，若锚杆预紧力低于

50 kN，则难以在岩体内形成有效的压缩带，导致离层现象。优化方案需基于围岩分级结果，精准计算锚杆间排距，通常设定在 800 mm 左右并配合网格尺寸 100 mm 的钢筋网，喷层厚度应维持在 120 mm 至 150 mm，以提高围岩表层的抗剪能力，通过在支护结构中引入动态监测反馈，实时调整锚固参数，能有效抵御复杂地应力引发的巷道收缩变形，这种技术调节手段增强了支护系统的灵活性，确保了巷道在全周期内的几何形态稳固。

2.2 软岩巷道变形防控技术细节

软岩巷道在开采扰动下极易发生大变形，常规刚性支护往往会因应力集中而发生断裂，技术上需采用“先柔后刚”的让压支护思路，利用可缩性 U 型钢支架吸收初期围岩释放的能量^[2]。支架连接处的卡缆锁紧力矩应控制在 300 Nm 左右，允许支架在承载力达到临界值时产生适度滑动，避免结构脆性破坏，在应力极其集中的地段，可增加深孔注浆加固，利用水泥浆液填充岩体裂隙，将零散碎石胶结成整体，提高围岩粘聚力 c 值与内摩擦角 φ 值，这种复合支护模式改变了岩体的受力特性，从源头上削减了塑性区扩展的速度，维持了软弱地层中井巷工程的轴向与横向平衡。

2.3 采空区充填支护工艺缺陷改进

采空区的处理技术直接关联到地表的沉降控制及回采面的应力分布，若充填工艺中浆体浓度波动过大，会导致干缩体积收缩率上升，充填体无法紧贴顶板，失去支撑效能。改进工艺需严格控制充填料浆的质量浓度在 70% 至 75% 之间，并添加适量的激发剂以缩短

作者简介：岳新强，男，1971年11月，汉，甘肃省榆中县，硕士研究生，高级工程师，研究方向：矿业开发、采矿技术管理、安全管理。

初凝时间,在充填管路设计上,应根据浆体流变特性优化泵送压力,通常维持在 1.5 MPa 左右,防止管路堵塞或由于瞬时冲击力过大破坏充填挡墙,通过改善充填体的早期强度,使其在 3 天内达到 1.2 MPa 以上,能够快速承载顶板压力,降低围岩内部的拉应力集中程度。

2.4 金属支架承载效能提升手段

在受动压影响明显的采准巷道中,金属支架的扭转与倾斜是常见的技术弊端,这通常源于支架安装时的中心线偏差或底脚未深埋入稳固底板,提升承载效能的技术核心在于增强支架的整体连接性,通过在架间增设拉杆与撑木,形成空间受力框架。底脚部位应挖掘 200 mm 深的柱窝并铺设槽钢横衬以分散底部压力,防止底鼓导致的支架失稳,对于大断面开切眼,应采用双排对顶支护形式,增加横梁重合长度,确保各节点受力均衡,在支架顶部与岩面之间必须填满木楔或背板,消除受力盲点,使围岩载荷能够均匀传递至支架整体,此项技术的细化操作大幅降低了支架倾倒概率,确保了采掘衔接区域的结构连续。

3 爆破采掘与通风排毒技术风险控制

3.1 爆破孔网参数误差调节策略

爆破作业中药量分配不均及孔距设计不当,常引发剧烈震动干扰及岩石大块率超标,技术层面需精细化孔网布置,将光面爆破的炮眼间距维持在 400 mm 至 600 mm 范围,确保裂缝沿预定轮廓线贯通。药卷装填需采用不耦合装药结构,不耦合系数控制在 1.2 至 1.5 之间以缓冲爆炸冲击波对保留岩体的损伤,通过微差爆破技术,将各炮眼的起爆时差控制在 25 ms 毫秒级,利用地震波的相干抵消原理,降低爆破震动速度至 5 cm/s 以下,这种参数调节能显著改善巷道成型效果,减少超挖与欠挖现象,降低因频繁爆破引起的顶板松动风险。

针对深部岩体高地应力环境,孔网参数的动态修正需结合岩石动载抗压强度及动静载耦合特性,在周边眼施工中必须严格控制钻孔轴线偏斜率在 1% 以内,利用导向孔诱导初始裂隙向预定方向扩展,以大幅降低应力波对保留岩体深部的切向拉伸破坏^[3]。通过实施装药结构的轴向不连续性设计,配合高精度数码电子雷管的毫秒级时延控制,实现了爆破能量在三维时空尺度上的均匀有序分布。

3.2 掏槽眼布置精度对掘进的影响

掏槽眼作为爆破掘进的先导,其空间几何排布直接决定了后续爆堆的抛掷方向与破碎效率,若掏槽眼

角度偏差超过 3°,会导致岩石夹持作用过大,造成掏槽失败,技术改进要求应用激光指向仪定位,确保斜眼掏槽的对口精度。在坚硬岩石中宜采用螺旋式掏槽排布,利用空孔提供的自由面减小爆破阻力,单孔装药量需根据岩石抛掷模数动态调整,通常保持在每立方米 1.5 kg 至 2.2 kg 之间,通过优化掏槽孔的深度,使其比辅助孔深 200 mm,能够有效提升循环进尺利用率,这种高精度的钻孔与装药工艺,消除了因爆破不彻底导致的掘进阻滞,增强了地下开拓工程的物理连贯性。

3.3 局部通风风流稳定性增强技术

采矿施工中,独头巷道的通风效率受风筒漏风与风流紊乱影响严重,若风筒口距工作面超过 10 m,粉尘与有毒气体浓度将迅速堆积,技术对策包括采用长压短抽式通风布局,压入式风机功率需与巷道断面匹配,风筒出口风速应大于 0.25 m/s 以保证有效射程覆盖迎头。风筒连接处需采用反边连接工艺,漏风率控制在 2% 以内,针对深部高热矿井,需在通风路径中增设制冷换热装置,维持作业面温度在 26℃ 以下,确保施工人员生理代谢正常,通过实时感应风流压力变化并调节变频风机转速,实现了对作业环境空气成分的精准调控,消除了有毒有害气体滞留导致的技术性屏障。

3.4 降尘系统雾化性能优化路径

采矿作业产生的粉尘是影响井下能见度与职业健康的重大隐患,现有的喷雾降尘技术若雾化压力不足,液滴直径过大,则难以捕捉粒径小于 5μm 的呼吸性粉尘,优化路径在于提升喷嘴处的供水压力至 5 MPa 以上并采用旋流式雾化喷头,使水滴形成细密的幕帘^[4]。在采煤机截割部与掘进机机头安装联动喷雾装置,随截割动作同步开启,同时,在巷道回风侧设置多道水幕捕尘网,水幕间距设定为 30 m,确保粉尘在运移过程中被充分湿润沉降,通过向水中加入适量的湿润剂,降低水的表面张力,可使降尘效率提升至 85% 以上,这一系列物理与化学耦合的降尘手段,极大净化了井下作业空间,改善了施工技术视域。

4 机械运输与排水系统效能提升方案

4.1 提升机过卷保护技术参数修正

矿井提升系统是联系地表与地下的纽带,提升机过卷会导致严重的机械结构损毁,技术优化的重点在于多重冗余监测系统的建立,通过在井筒头部与底部设定 0.5 m 的缓冲行程限位开关,实现瞬时断电制动。制动闸瓦间隙应严格控制在 1 mm 至 1.5 mm 之间,并

定期测试制动减速度,确保其在 1.5 m/s^2 至 5 m/s^2 的标准区间,针对深井提升的钢丝绳张力不均问题,需加装液压补偿平衡装置,使多绳提升机各绳间的张力偏差小于 5%,通过对过卷高度与制动距离的力学耦合计算,修正控制系统的动作阈值,消除了机械误动作带来的垂直运输风险,这种参数修正确保了重载提升过程中的动力平衡与物理路径的确定性。

4.2 带式输送机跑偏受力分析调整

带式输送机在长距离运输中易出现胶带跑偏及撕裂,这主要归因于托辊安装偏角误差及受料点不对称,技术上需在输送机全线每隔 50 m 安装一组自动调偏托辊,利用托辊转动的侧向推力修正胶带运行轨迹,受料斗应加装导料板,确保矿石落点位于胶带中心,减小偏载力矩。同时,需配置胶带纵向撕裂检测装置,利用压敏或超声波探头监测异物刺入,实现 2 s 内紧急停机,驱动滚筒的摩擦衬垫需选用高耐磨材料,增大摩擦系数以防止打滑,张紧装置的拉紧力应根据满载工况动态计算,维持在 40 kN 以上,这些细化的力学调整措施,保障了连续运输系统的高效运转,减少了机械损毁导致的施工中断。

4.3 深井排水泵群汽蚀现象防治

矿井深部排水系统需克服巨大的静扬程,泵群在运行中常发生汽蚀现象,导致泵壳振动及流量骤降,技术防治需从降低吸水高度及优化进水管路入手,确保泵吸入口的压力高于水的饱和蒸汽压,吸水管内径应比泵口径大一级,通常采用 200 mm 以上的管道以降低流速产生的局部压降^[5]。在水仓进水口设置沉淀过滤池,防止泥沙进入泵体加剧叶轮磨损,对于高压力、大流量的离心泵,应采用多级串联布置,单级扬程设计留有 10%的余量,防止电机过载,通过安装水

位感应联动装置,确保水泵在高效区间运行,有效规避了因排水不畅导致的矿井淹没风险,这种流体力学层面的参数优化,提升了地下工程防灾救灾的技术阈值。

4.4 矿井涌水突涌预警与截流工艺

采矿施工通过含水层或断层导水带时,极易诱发突水,技术层面的应对必须建立在精准的涌水量预测基础上,通过在含水层观测孔安装压力传感器,监测 0.1 MPa 级的微小压差波动,施工中应坚持“有疑必探”原则,超前钻孔深度需达到 30 m 以上并安装孔口管及防喷装置。一旦发现钻孔涌水异常,需迅速启动注浆截流工艺,利用高压注浆泵向突水点注入水泥与水玻璃双液浆,注浆压力应达到静水压力的 1.5 倍,确保浆体能够逆流挤入裂隙,形成有效的隔水帷幕,这种主动式探测与被动式截流相结合的技术体系,构筑了地下开采的防水屏障,解决了深部复杂水文地质条件下的施工连续性难题。

5 结语

采矿工程施工的技术优化是一个系统性的力学平衡过程,通过对掘进探测、支护结构、爆破参数及机械效能的全面升级,可以有效规避地下环境中的不稳定因素,研究表明精准的地质预报配合动态调整的支护参数,能使巷道围岩变形量降低 40%以上。爆破工艺的微差调节与通风系统的阻力优化,显著提升了地下空间的环境承载力,同时,机械设备的冗余保护与排水预警技术的应用,确保了施工链路的稳固,未来采矿技术应继续深化岩力学演化规律与机械装备的匹配研究,通过工艺参数的量化控制,构建全方位的技术防御体系,旨在复杂地质环境下实现资源采集的稳健运行。

参考文献:

- [1] 孟磊.采矿工程施工中的不安全技术因素及应对方法研究[J].科技资讯,2025,23(16):212-214.
- [2] 屈会卫.采矿工程施工中的不安全技术因素及对策探究[J].现代盐化工,2025,52(03):59-61.
- [3] 邢磊,李忠,马兆强.采矿工程施工中不安全技术因素及解决对策[J].煤化工,2024,52(S1):86-88.
- [4] 辛伊.煤矿采矿工程中不安全技术因素及对策[J].能源与节能,2024,(09):135-137.
- [5] 李国元.采矿工程中不安全技术因素及对策[J].世界有色金属,2024,(09):79-81.