

地下矿山开采围岩稳定性控制技术实践研究

作者：杨阳

身份证号：420922199001013476

摘要：地下矿山开采过程中，围岩稳定性是保障采矿作业安全、提升开采效率、规避地质灾害的核心基础。随着开采深度持续增加，高地应力、复杂地质构造、岩体破碎等问题愈发突出，极易引发围岩变形、片帮、冒顶等安全隐患。本文结合地下矿山开采工程实际，系统分析围岩失稳的主要影响因素与破坏机理，结合现场施工实践，探究围岩监测、应力调控、支护加固、充填协同等稳定性控制关键技术，总结标准化实践应用策略，有效提升地下矿山围岩整体稳定性，为矿山安全高效开采提供技术支撑。

关键词：地下矿山；矿山开采；围岩稳定性；支护技术；灾害防控

一、引言

矿产资源是工业发展的核心基础资源，地下矿山是矿产开采的主要形式。地下开采作业空间封闭、地质条件复杂，围岩受开挖扰动、地应力变化、水文环境影响显著，极易出现失稳破坏问题，直接威胁井下施工人员与设备安全。现阶段深部矿山开采规模不断扩大，围岩应力环境趋于复杂，传统单一支护模式难以适配复杂工况。开展围岩稳定性控制技术实践研究，构建系统化、精细化的防控体系，是实现地下矿山安全生产、绿色高效开采的重要保障。

二、地下矿山围岩失稳机理与主要影响因素

（一）地应力扰动引发结构性失稳

地下矿山开挖会彻底打破原始岩体的应力平衡状态，造成围岩应力重新分布，出现应力集中、应力卸压等现象。开采深度越大，岩体初始地应力越高，开挖扰动产生的应力突变越明显，极易导致围岩出现塑性变形、裂隙扩张、岩体破碎等问题。深部围岩处于多场多相耦合作用状态，存在显著的非线性变形特征，应力动态变化是诱发围岩失稳、矿震、岩爆等动力灾害的根本诱因。应

力集中区域的岩体承载能力大幅下降，若未及时调控加固，会逐步出现片帮、冒顶等安全事故。

（二）地质构造弱化岩体整体性

断层、节理、裂隙、软弱夹层等复杂地质构造，是导致围岩稳定性不足的重要内因。构造发育区域岩体整体性差、结构松散、抗剪强度低，在外力扰动下极易发生滑坡、坍塌破坏。节理发育程度对采场围岩稳定性影响权重极高，破碎岩体的裂隙会持续拓展贯通，大幅降低围岩自承能力，导致支护结构受力不均、局部变形超标，严重影响井下采场与巷道的整体稳定性。

（三）水文与施工扰动加剧变形破坏

地下水渗透会持续软化围岩岩体，降低岩体结构面摩擦强度，加剧裂隙扩张与岩体崩解，弱化围岩整体力学性能。同时矿山爆破开挖、机械作业产生的振动荷载，会反复扰动围岩结构，破坏岩体内部平衡，加速围岩疲劳变形与裂隙发育。长期动态扰动作用下，围岩微小变形持续累积，最终引发大面积失稳破坏，极大增加矿山安全开采风险。

三、地下矿山围岩稳定性核心控制技术实践应用

（一）全方位围岩动态监测预警技术

动态监测是围岩稳定性超前防控的基础技术，能够实现隐患早发现、早预警、早处置。矿山开采过程中，在巷道顶板、帮壁、采场关键点位布设位移监测、应力监测、裂隙监测设备，全天候采集围岩变形数据、应力变化数据。通过数据实时分析，精准研判围岩变形规律与失稳风险，掌握围岩动态变化趋势。针对深部开采工程，依托智能化监测系统实现数据自动采集、分析、预警，及时捕捉围岩异常变化，为支护加固、应力调控提供精准数据支撑，从源头规避围岩失稳灾害。结合矿山开采进度动态调整监测点位与监测频次，对构造破碎带、应力集中区等高危区域实行加密监测，全面提升监测预警的精准性与全面性。

（二）应力卸压与主动调控技术

针对高地应力引发的围岩失稳问题，采用主动卸压、应力转移的调控技术，改善围岩受力环境。通过钻孔卸压、切顶卸压、松动爆破等技术手段，释放围岩集中应力，将高应力向深部稳定岩体转移，弱化开挖扰动带来的应力损伤。深部巷道围岩控制需坚持主动调控理念，通过应力卸压有效降低表层围岩应力水平，保留围岩自身承载结构，充分调动岩体自承能力，大幅降低围岩塑性变形与动力灾害发生概率，为后续支护施工创造安全稳定的作业环境。

（三）锚网索联合支护加固技术

锚网索联合支护是当前地下矿山应用最广泛的被动加固技术，适配多数复杂围岩工况。该技术以锚杆、锚索为核心受力主体，搭配金属网、喷射混凝土形成复合型支护体系，实现围岩表层与深部的一体化加固。锚杆可有效约束浅层岩体滑移、裂隙扩张，锚索能够锚固深部稳定岩体，拉伸围岩塑性区，提升整体承载能力，表层喷混封闭围岩裂隙，阻隔地下水与空气侵蚀。主被动协同支护可充分发挥围岩自承能力与支护结构阻力，有效控制围岩大变形，适配破碎围岩、高地应力围岩的加固需求。该支护体系兼容性强、适应性广，可根据围岩破碎等级灵活调整支护参数，具备施工便捷、加固效果稳定的显著优势。

（四）采充协同围岩稳定控制技术

采空区悬空是诱发围岩持续变形、顶板垮落的核心隐患，充填采矿技术可有效解决采空区失稳难题，实现采场围岩长效稳定。采用嗣后充填、分区充填、分层充填的施工模式，及时填充采空区空间，支撑上覆岩层与周边围岩，抑制围岩应力释放与沉降变形。采充协同技术能够平衡采场结构受力，减少围岩悬空暴露面积，规避长期空区引发的大面积冒顶、岩层移动问题，实现采矿作业与围岩稳定防控的协同统一，大幅提升矿山开采安全性与连续性。

四、围岩稳定性施工管控保障措施

（一）因地制宜实施差异化技术方案

不同区域围岩地质条件、应力状态、破碎程度存在显著差异，需摒弃统一化施工模式，实施差异化管控。完整稳定围岩以简单支护、常规监测为主；节理发育、破碎软弱围岩采用锚网索高强联合支护；高地应力区域优先采用卸压

调控配合加固支护，精准匹配不同工况的稳定性控制需求，提升技术应用实效性。

（二）强化现场施工精细化管控

严格规范监测、卸压、支护、充填各工序施工流程，严控施工参数与施工质量。确保锚杆锚索锚固深度、张拉力度、布置间距达标，充填体配比、浇筑厚度符合设计标准，杜绝违规施工、简化工序等问题。落实全过程质量检测，及时整改施工隐患，保障各项控制技术落地见效，切实提升围岩整体稳定性。同时定期开展支护结构质量复检与围岩状态复盘工作，及时排查后期变形隐患，形成施工、检测、整改、复查的闭环管理模式，全面夯实井下围岩安全管控基础。

五、结语

地下矿山围岩失稳是地应力、地质构造、水文环境、施工扰动多重因素耦合作用的结果，直接影响矿山安全生产与开采效率。动态监测预警、应力主动调控、锚网索联合支护、采充协同加固是当前围岩稳定性控制的核心技术体系。矿山开采过程中，需结合现场地质工况，因地制宜搭配各类防控技术，坚持超前防控、主动调控、精准加固、全程管控的原则，构建系统化围岩稳定控制体系，有效抑制围岩变形、规避地质灾害，保障地下矿山安全、稳定、高效、可持续开采。

参考文献

- [1]左建平,文金浩,刘德军.深部巷道等强支护控制理论研究[J].矿业科学学报,2021(02):148-159.
- [2]王浩,张农,李磊.深部巷道主被动全空间协同控制技术及工程应用[J].煤炭科学技术,2023(07):255-261.
- [3]姜荣,张庆澳.基于采充协同的倾斜中厚破碎矿体安全高效开采技术[J].有色金属工程,2025(08):112-117.

[4]杨峰,王超.深部金属矿山卸荷开采与围岩预处理技术研究[J].中国矿业,2025(04):64-69.

[5]陈建军.地下矿山破碎围岩锚网索联合支护技术实践[J].工矿自动化,2024(11):89-93.