

地质勘探与采矿工程结合的矿山安全优化策略

叶夜鹏

盐源县应急管理局 四川 凉山 615700

摘要: 矿山开采作业的安全稳定性, 直接取决于地质勘探与采矿施工的融合程度。现有矿山作业模式普遍存在工序割裂、数据滞后、管控脱节等问题, 滋生各类地质与开采安全隐患。本文立足勘探采矿协同发展视角, 从适配体系构建、风险前置防控、围岩稳定管控、地压灾害防控四个维度, 梳理多维度矿山安全优化路径。依托精细化勘探技术打通采矿作业全流程安全管控壁垒, 完善动态化施工与防护机制, 全面提升地下矿山开采作业的安全稳定性与作业规范性。

关键词: 地质勘探; 采矿工程; 协同作业; 围岩稳定; 矿山安全

引言: 地下矿山开采环境具备极强的复杂性与动态性, 地层结构、水文条件、岩体应力状态的持续变化, 会对采矿施工安全形成持续影响。传统矿山生产将地质勘探与采矿施工拆开展开, 勘探工作局限于开采前期阶段, 无法适配开采全过程的动态地质变化。单一的施工管控模式难以应对隐蔽地质隐患与动态地层风险。推动勘探工作与采矿工程的深度融合, 依托精准地质信息优化施工布局、工序安排与防护模式, 能够从源头化解矿山开采安全风险, 为矿山安全生产提供坚实的技术与体系支撑。

1 地质勘探与采矿工程协同的安全适配体系构建

1.1 勘探工作与采矿施工的流程衔接机制搭建

矿山整体作业流程可划分为多个施工阶段, 每个阶段对地质信息的需求存在明显差异。传统作业模式下, 勘探工作多集中于开采前期, 后续采矿施工推进过程中, 不再开展阶段性勘探作业, 老旧地质数据无法匹配持续变化的开采环境。流程衔接机制的搭建, 需要打破阶段化作业壁垒, 重新梳理两类工作的先后顺序与穿插节奏。结合采矿施工的推进进度, 划分对应的勘探作业节点, 让勘探工作贯穿采矿准备、巷道掘进、矿体开采、收尾处置的全流程。针对不同施工环节的作业特点, 设定专属勘探任务与作业标准, 明确各环节勘探工作的启动条件、作业范围与工作重点^[1]。依托标准化的流程衔接方式, 填补采矿施工各阶段的地质信息空白, 杜绝因地质信息滞后引发的施工隐患, 为各环节采矿施工提供对应的地质参考依据。

1.2 勘探数据与采矿工程参数的同步适配模式

地质勘探产出的各类数据, 是调整采矿工程施工参数的核心依据。地层结构、矿体厚度、岩层硬度、水文分布等勘探数据, 直接决定开采深度、掘进速度、支护

规格等核心施工参数。矿山作业开展过程中, 地层状态会随开采推进产生持续变动, 静态的工程参数无法适配动态变化的地质条件。该适配模式的打造, 需要建立勘探数据的常态化更新渠道, 针对不同开采区域采集实时地质信息。依据全新的勘探数据, 对采矿工程各项施工参数进行逐一调整与优化, 摒弃固定不变的参数设定方式。让采矿施工参数始终匹配当下地层的实际状态, 规避参数设定不合理引发的岩层松动、施工过载等安全问题, 保障采矿作业的规范性与稳定性。

1.3 多阶段勘探与采矿作业的协同管控框架

矿山开采是长期性、动态化的系统工程, 不同开采阶段的地质环境、施工难度、安全风险存在显著区别。单一化的管控模式, 无法适配多阶段勘探与采矿作业的运行需求。协同管控框架需要结合矿山开采全周期的作业特征, 划分阶段性管控单元。针对前期勘探、中期开采、后期复垦等不同阶段, 制定差异化的管控标准与作业要求。明确各阶段勘探作业的实施频次、探测精度, 以及采矿作业的施工规范、安全管控重点。搭建统一的管控标准, 统筹两类工作的作业节奏与管控力度, 避免勘探作业与采矿施工出现脱节、错位等问题。通过系统化的框架约束, 规范全周期矿山作业行为, 提升地质勘探对采矿安全的支撑能力, 构建全方位、全过程的矿山安全作业管控体系。

2 基于精细地质勘探的采矿作业风险前置优化

2.1 隐伏地质构造探测与采矿施工方案调整优化

地下矿山区域普遍存在隐蔽性地质构造, 包括小型断层、破碎带、褶皱变异带等类型。这类构造隐藏于完整岩层内部, 地表观测与常规勘探难以精准识别, 会大幅降低围岩整体稳定性, 给巷道掘进与矿体开采带来潜在威胁。精细勘探技术可以针对开采区域开展高密度、

全方位探测,精准锁定各类隐伏构造的分布位置、延展范围与破碎程度^[2]。施工规划环节可依托探测获取的精准地质信息,调整巷道掘进路径、矿体开采范围与施工工序安排。对构造发育密集区域规避高强度开采作业,对岩层破碎区域重新规划施工动线,剔除传统施工方案中不合理的作业布局,弱化隐蔽地质构造对采矿施工的干扰,从前期规划层面规避突发坍塌、岩层掉落等安全问题。

2.2 岩体结构特征勘探与采矿开挖方式适配优化

岩体的完整性、裂隙发育程度、层理分布状态,是决定采矿开挖作业安全水平的关键因素。不同岩体结构的承载能力与形变特性存在较大差异,固定单一的开挖方式无法适配复杂多变的岩体环境。精细地质勘探可以系统摸排作业区域岩体的各项结构特征,梳理裂隙走向、层理倾角以及岩体完整度等核心地质信息。相关地质资料可作为开挖方式选择与施工强度调控的核心依据。整体性较好的完整岩体,可采用常规开挖工艺保障作业效率。裂隙发育、结构松散的岩体,可改用分层、分段的温和开挖模式,降低施工扰动对岩体结构的破坏。通过针对性调整开挖形式,减少岩体崩落、顶板失稳等风险隐患,维持开采区域岩体结构的稳定状态。

2.3 水文地质条件勘探与井下作业布局优化

地下水富集、含水层交错、导水通道发育等水文地质问题,是井下采矿作业的主要安全隐患来源。不明朗的水文环境会引发积水、渗水、突水等险情,扰乱正常施工秩序。精细水文勘探能够全面摸排井下含水层分布、地下水体储量、导水构造延伸规律等关键内容,清晰掌握作业区域水文环境的整体特征。矿山井下作业布局可结合勘探成果完成优化升级,重新规划巷道布置位置、作业工作面分布以及排水设施布置区域。避开地下水高度富集与导水构造集中区域,减少施工活动对水文稳定区域的扰动。结合水文分布特征预留专属排水空间,完善井下作业区域的疏水排水布局,从空间规划层面规避水文地质问题引发的各类井下安全隐患。

3 勘探采矿一体化的矿山围岩稳定安全优化

3.1 地质岩体参数精准勘探支撑围岩支护优化

井下围岩支护施工的科学性,依托详实、精准的岩体基础参数。岩体硬度、裂隙发育密度、岩层承载能力、形变特性等各类物理力学参数,是支护结构选型、布设间距、施工工艺设定的核心依据。传统支护施工大多依靠前期粗略勘探数据以及现场施工经验制定方案,数据采集精度偏低、覆盖范围有限,难以精准区分不同区域岩体的结构差异^[3]。精准化岩体参数勘探可细化作

业分区,对巷道顶板、两帮以及开采工作面开展全方位精细探测,全面采集各区域岩体的完整数据信息。现场施工可结合探测所得参数调整支护布局与施工方式。结构完整、质地坚硬的岩体区域,可简化支护配置,减少冗余施工工序。裂隙发育、结构松散的薄弱岩体区域,可升级支护体系,增加支护布设密度,强化岩层约束能力,有效抵御岩体变形、片帮、顶板脱落等问题,让支护施工完全适配现场岩体实际条件。

3.2 采空区地质探测与空区处置安全优化

矿体开采结束后留存的采空区,会彻底打破地层原始应力平衡状态,是诱发围岩失稳的关键因素。采空区空间形态不规则,周边岩体受开采扰动影响普遍存在破损、松散问题,整体结构稳定性大幅下降。长期放任空区留存,会逐步引发岩层沉降、开裂乃至大面积垮塌,对周边巷道、设备设施以及后续开采作业造成严重威胁。常规空区处置方式较为粗放,统一的处置手段无法适配不同规模、不同结构空区的治理需求。专项地质探测可以精准锁定采空区的空间规模、边界范围、岩体破损程度和松散岩层分布范围。工作人员结合现场探测结果,划分空区危险等级,制定差异化处置方案。稳定性较好的小型空区,可通过充填固结方式压实内部空间,恢复岩层承载结构。高危大型空区可采用隔离封堵、分步治理的方式,逐步消解空区潜藏风险,保障井下围岩体系的整体稳固性。

3.3 岩层移动规律勘探预判与采矿进度优化

地下矿体开采会对原始地层造成持续扰动,改变内部应力分布状态,引发岩层形变、移动和沉降等现象。岩层变化具备缓慢、滞后的特点,盲目加快开采节奏,会持续加剧岩层扰动幅度,诱发巷道变形、顶板垮落等重大安全隐患。常态化地质勘探工作可对开采区域及周边岩层开展动态监测,捕捉应力变化、岩层移动幅度与形变趋势,总结不同开采强度对应的岩层活动规律。现场作业可依托勘探预判成果规划开采节奏。岩层形变微弱、应力状态平稳的区域,可有序推进开采工序。岩层活动频繁、应力集中明显的区域,放缓开采推进节奏,预留充足时间完成应力释放和岩层自我调节,减少人为施工扰动对围岩结构的破坏,维持井下岩层体系的长期稳定。

4 勘探采矿协同的矿山地压灾害防控优化

4.1 地应力地质勘探与采矿巷道布置优化

井下巷道是矿山生产的核心通道,也是围岩应力集中与形变破坏的主要载体。巷道开挖会剥离原有岩体结构,改变局部地层的应力传递路径,不合理的巷道规划

会加重岩体扰动,滋生岩爆、巷道变形、顶板坍塌等地压隐患。以往巷道布局设计多依托早期宏观地质资料,侧重开采运输的便捷性,忽略地层内部细微的应力分布特征,对主应力走向、应力梯度大小、局部应力富集区域掌握不够透彻。开展系统化、精细化的地应力专项勘探,可全面摸排井下开采区域的应力分布情况,精准定位高应力区块,明确主应力传播方向与应力聚集程度。巷道布局规划可结合勘探成果完成全方位优化,调整巷道掘进走向,远离高应力集中的危险区域。科学设定巷道之间的间距,减少多条巷道开挖带来的岩体扰动叠加问题^[4]。优化巷道断面结构形态,增强围岩自身的承载与形变缓冲能力,削弱巷道开挖对应力场的干扰,让巷道布局适配地层原始应力状态,减少后期地压失衡引发的各类安全问题。

4.2 应力集中区域探测与采矿开采顺序优化

矿体开采会持续掏空地下岩体空间,改变地层原有承载结构,促使岩体内部应力向未开采的完整岩体转移、堆积。无序的开采作业会持续加剧岩体扰动,扩大应力富集范围,大幅提升地压灾害的发生概率。常规开采次序的制定以生产效率为核心标准,缺少对应力演化规律的考量,长期不合理的开采节奏会让局部区域应力持续堆积,形成高危地质风险区。精细化地质探测技术可对开采区域开展全域扫描,精准圈定开采扰动形成的应力集中区块,明确不同区域的应力富集程度与风险等级。矿山开采作业可结合探测结果重构开采流程,合理排布各个矿块的开采次序。优先完成应力水平较低、岩体状态稳定区域的开采工作,延后高应力富集区域的开采施工。这类开采模式可以为地层内部积聚的应力提供充足的释放与疏导空间,逐步消解地层应力堆积问题,降低高强度应力集中引发的突发性地压灾害,最大限度削弱开采施工对地层应力体系的破坏作用。

4.3 围岩应力演化勘探预判与作业防护优化

地层应力状态会伴随开采施工的推进持续演变,岩体应力的积累速度、分布范围与释放形式会随开采深度、开采规模的变化产生明显改变。固定不变的防护方

案难以适配动态变化的地层应力环境,无法覆盖矿山全开采周期的地压风险。落实常态化的围岩应力勘探工作,可全程跟踪采集开采各个阶段的应力数据,系统梳理岩体应力积累、转移、释放的内在规律,精准预判后续施工阶段的应力演化趋势与风险点位。井下作业防护体系可依托勘探研判结果完成动态升级改造。开采前期应力变化相对平缓的阶段,落实标准化基础防护举措,维持巷道与工作面的基本稳定。开采中后期应力持续攀升、风险等级升高的阶段,升级围岩防护配置,强化岩层支护与加固力度,提升岩体抗形变能力^[5]。调整井下作业的施工范围与作业时段,避开应力剧烈波动的高危区域,搭建动态化、精细化的地压防护体系,有效抵御围岩应力演化带来的安全威胁,稳固井下作业安全环境。

结束语

矿山安全管控是贯穿开采全周期的系统性工程,勘探与采矿的深度协同是提升矿山安全防控能力的关键抓手。通过搭建一体化安全适配体系,落地质地风险前置防控手段,优化围岩稳定管控与地压灾害防护模式,可有效破解传统矿山作业的安全管控短板。各类协同优化策略聚焦矿山开采核心风险点,依托精细化地质勘探赋能采矿施工全流程管控,完善动态化、精细化的矿山安全防控体系,稳步提升井下采矿作业的整体安全水平与作业稳定性。

参考文献

- [1]侯召龙,车吉宁.地质勘探与采矿工程结合的矿山安全优化策略[J].世界有色金属,2025(20):142-144.
- [2]曾智武,叶伟诚.地质探矿工程中的地质勘探与安全技术分析[J].世界有色金属,2026(7):160-162.
- [3]王忠莹.矿山勘探中地质工程技术的综合应用与效能评估[J].中国金属通报,2026(3):210-212.
- [4]任伟.综合地质勘探技术在矿山开采中的应用研究[J].世界有色金属,2021(21):43-44.
- [5]张欢波.矿山地质测绘中无人机遥感测绘技术分析[J].中国金属通报,2026(10):110-112.