

煤矿隐蔽致灾地质因素普查治理研究

乔永超

河北省煤田地质局第二地质队（河北省干热岩研究中心） 河北 邢台 054000

摘 要：煤矿隐蔽致灾地质因素具有赋存隐蔽、致灾机理复杂、空间分布不均等特征，传统普查治理手段难以满足深部开采条件下的安全防控需求。本文围绕隐蔽致灾地质因素的分类特征、普查技术体系、防控治理模式及长效优化策略展开系统论述，构建了从因素识别、多源融合检测到分级治理与动态管控的完整技术框架。在此基础上，提出流程重构、技术迭代与管控机制优化等长效治理路径，为矿井地质安全管理提供系统性技术支撑。

关键词：隐蔽致灾地质因素；普查技术；防控治理；动态管控；长效机制

引言：随着煤炭开采深度持续增加，煤系地层内部赋存的隐蔽致灾地质因素日趋复杂，水害、瓦斯、构造应力等隐患常以隐性方式孕育于采掘空间周边，突发性强、辨识难度大。隐蔽地质隐患已成为制约矿井安全高效生产的关键瓶颈，传统单一探测手段与静态治理模式已难以适配深部复杂地质环境的防控要求。系统梳理隐蔽致灾因素的基础特征，搭建多源融合普查技术体系，构建分级防控与动态治理框架，对提升矿井地质安全水平具有现实意义。

1 煤矿隐蔽致灾地质因素基础特征

1.1 隐蔽致灾地质因素赋存类型划分

煤矿井下复杂地质环境孕育多种具备潜在致灾属性的隐蔽地质要素，各类地质要素依托自身地质属性与赋存状态形成差异化隐患类别。地质构造类隐患包含煤层内部及周边衍生的各类隐性构造变体，岩层物性类隐患依托煤系地层岩体结构与物理性质的异常变化形成，水文地质类隐患来源于地层水体的隐性储存与运移介质^[1]。瓦斯与地热相关隐蔽隐患依托地层气体富集特性及地热传导特性发育成型。不同类别隐蔽地质要素依托地层演化与成煤环境形成专属赋存形态，各类形态对应差异化的地质孕育条件，能够依据地质成因与空间存在形式完成精细化类别区分，构建层次清晰的隐蔽致灾地质因素分类体系。

1.2 各类隐蔽地质因素发育机制分析

煤系地层漫长的沉积演化与构造运动为隐蔽地质因素的发育提供基础地质条件。地层沉积阶段的环境差异造就岩层组合的非均质性，岩层结构的不均匀分布为各类隐蔽隐患的孕育提供载体。地壳构造运动产生的岩层挤压与错位作用，持续改变地层原始结构状态，催生地层内部隐性裂隙、薄弱结构与异常地质单元。采掘活动带来的地层应力调整会持续扰动原始地质平衡状态，加

剧隐性地质缺陷的发育进程，推动各类隐蔽地质要素持续演化生长，形成具备致灾潜力的地质隐患载体。

1.3 隐蔽致灾地质因素空间分布规律

隐蔽致灾地质因素的空间延展与聚集状态受控于区域地质构造格局与煤系地层分布特征。地层褶皱与断裂发育区域更容易催生各类隐蔽地质隐患，地质单元过渡带的岩层结构稳定性偏弱，隐患发育密度相对更高。不同开采深度的地层应力、温度、水文条件存在明显差异，直接影响隐蔽地质因素的纵向分布状态。地层岩性组合的交替变化会改变地质环境稳定性，让隐蔽致灾地质因素在横向空间呈现不均匀分布的状态，形成具备区域聚集特性的空间分布格局。

1.4 隐蔽地质因素致灾内在机理探析

隐蔽地质因素打破地层原始稳定状态后，会持续改变井下地质环境的平衡体系。岩层内部隐性结构缺陷会逐步弱化岩体整体承载能力，降低地层结构的稳定阈值。水文、瓦斯、地热等隐性异常地质要素会持续侵蚀、扰动周边煤岩体结构，逐步扩大地质缺陷的影响范围。地层结构稳定性持续下降的过程中，地质隐患的危险程度不断提升，地质环境的失衡状态会逐步传导至采掘作业空间，引发各类井下地质灾害的孕育与发生，完整呈现隐蔽地质因素从隐性发育到致灾显现的内在演化逻辑。

2 煤矿隐蔽致灾地质因素普查技术体系

2.1 隐蔽地质因素普查技术适配性分析

各类隐蔽致灾地质因素表现出的空间形态与地质特质存在明显差异，不同普查技术依托专属的探测原理与工作机制适配不同地质探测场景。传统探测手段对浅部区域及发育规模较大的地质异常体具备良好识别能力，复杂构造区域与多层岩性交错区域会大幅降低探测精准程度。精细化勘探技术可以捕捉煤岩层内部细微的结构

变动, 适配深部地层中信号反差较弱、隐蔽性极强的地质隐患探测工作^[2]。结合煤系地层构造复杂程度、隐患赋存深度以及地质异常体发育规模, 可完成各类普查技术的科学选配, 让探测手段精准匹配井下复杂的地质环境条件。

2.2 多源普查技术融合应用模式

单一类型的普查技术覆盖维度较为单一, 难以覆盖井下多类别、多深度的隐蔽地质隐患。多源普查技术融合应用模式依托各类探测技术的功能互补特性构建, 统筹地面大范围全域探测、井下近距离精细探测与钻孔定向勘探多种技术路径。不同探测方式获取的地质信息侧重不同地层属性, 多元数据相互补充完善, 填补单一技术探测形成的信息空白。层级化递进探测架构能够拓展地质信息获取的覆盖范围, 完善复杂开采条件下隐蔽隐患的全域探测体系, 提升地质普查工作的完整性与精准度。

2.3 隐蔽地质信息精准采集方法

井下隐蔽地质隐患信号辨识度偏低, 微弱异常信息极易被井下环境干扰掩盖, 常规采集模式难以获取有效地质数据。优化后的地质信息采集模式针对深部地层微弱异常信号设计专属采集逻辑, 调整数据采集间距与采集频次适配深层地层探测需求。针对岩层结构异变、地下水运移波动、岩体物理性质异变等核心地质指标, 建立标准化采集规范, 筛选具备研究价值的有效地质信号。精细化采集流程能够削弱井下作业环境带来的信号干扰, 提升原始探测数据的真实度与准确性, 为后续数据处理分析提供可靠的数据支撑。

2.4 普查数据整合与深度挖掘方法

多渠道探测获取的原始普查数据存在载体分散、格式不统一的问题, 规范化整合处理可以提升地质数据的利用效率。标准化处理流程统一各类探测数据的录入格式与统计标准, 完成碎片化地质数据的规整融合与分类存储。深度挖掘算法可以梳理海量地质数据内部的隐性关联, 辨析各类地质参数波动与隐蔽隐患发育演化的内在联系。数据深度解析工作能够提炼地层结构变化、水文环境演变、岩体物性波动的动态特征, 挖掘数据承载的深层地质信息, 推动普查数据从基础采集统计转向深层次地质规律解析。

3 煤矿隐蔽致灾地质因素防控治理体系构建

3.1 隐蔽地质隐患分级治理思路

井下隐蔽地质隐患存在发育程度、影响范围与危险程度的差异化特征, 统一治理模式无法适配复杂的井下地质防控需求。依托隐蔽隐患的发育规模、地质破坏能力以及对采掘作业的干扰程度, 建立梯度化治理逻辑^[3]。

结合隐患赋存位置与采掘空间的关联程度, 划分不同的治理优先级, 匹配对应强度的治理手段。弱化同质化治理模式的局限性, 依据地质隐患自身危险属性匹配适配的治理强度与施工标准, 实现治理资源的合理调配, 让地质隐患治理工作贴合井下现场的实际防控需求。

3.2 针对性地质隐患治理技术路径

不同类型隐蔽致灾地质因素的孕育规律与破坏形式存在明显区别, 固定技术手段无法实现全面治理。围绕构造异常、水文异常、岩体物性异常等多类隐蔽地质隐患, 搭建专属化技术治理路径。针对各类隐患对采掘工程的破坏机理优化技术实施流程, 调整治理施工的核心参数与作业方式。结合深部开采地质环境的变化特点, 优化传统治理技术的应用形态, 强化技术手段对微弱隐蔽隐患的处置能力。专项化技术路径可以精准作用于各类地质缺陷, 提升井下地质隐患治理的精准度与有效性。

3.3 井下隐蔽致灾区域超前防控模式

依托采掘工程推进节奏预判井下地质环境的演变趋势, 建立主动式地质防控思维。依托前期地质普查获取的地层数据, 预判采掘前方区域隐蔽地质隐患的发育趋势与扩张范围, 超前探测距离通常不少于120m。将地质防控工作前置至采掘作业前期阶段, 依托超前探测成果开展前置治理作业。优化采掘作业与地质防控的衔接流程, 针对潜在致灾区域提前干预地层结构与地质环境状态, 削弱地质隐患后续发育扩张的基础条件, 从源头降低隐蔽地质灾害的发生概率。

3.4 常态化地质隐患管控体系搭建

井下地质环境会伴随采掘作业推进产生动态变化, 隐蔽地质隐患的发育状态处于持续变动过程。搭建覆盖采掘全流程的地质隐患管控框架, 完善地质隐患动态跟踪与过程管控的工作内容。结合井下开采范围拓展情况更新地质隐患基础信息, 保持地质资料与现场地质环境的同步匹配状态。规范地质隐患管控的执行标准与作业流程, 固化日常地质排查、动态监测、隐患处置的工作内容, 形成长期稳定的井下地质安全管控模式, 持续维系采掘区域地质环境的稳定状态。

4 煤矿隐蔽致灾地质因素长效治理优化策略

4.1 普查治理工作流程优化

煤矿隐蔽地质隐患治理工作贯穿矿井采掘生产全周期, 传统作业流程存在工序衔接松散、工作环节固化的问题, 难以适配深部复杂地质条件下的治理需求。梳理普查治理全链条作业环节, 对传统作业流程进行精简与重构, 剔除重复性作业环节, 打通地质探测、隐患识别、方案布设、现场治理之间的工序壁垒^[4]。细化不同

作业环节的工作内容与执行标准,强化各工序之间的衔接紧密程度,提升整体作业推进效率。结合矿井采掘布局动态调整普查治理作业时序,适配采掘工作面推进节奏,让地质隐患治理工序与井下生产工序形成有序衔接。优化后的流程体系能够适配动态变化的井下地质环境,构建连续性更强、规范性更高的普查治理作业模式,夯实长效治理的流程基础。

4.2 治理技术迭代升级方向

煤炭开采深度持续增加会催生更多复杂化、隐蔽化的地质隐患,传统治理技术的适配性能逐步下降,难以应对新型地质安全风险。聚焦井下隐蔽地质隐患的发育新特征,明确治理技术的迭代升级核心方向。推动传统常规治理技术向精细化、智能化方向转型,强化技术体系对微弱、深层、复合型地质隐患的处置能力。依托地质探测与工程施工的前沿研究成果,完善隐患预处理、过程干预、后期稳固的全套技术体系。针对多类型隐患耦合发育的复杂地质场景,开发适配性更强的复合型治理技术手段,优化技术施工的核心工艺与作业模式。持续更新井下地质治理技术体系,填补复杂深部地质环境中的治理技术短板,提升整体技术体系的适配性能与治理质量。

4.3 动态化地质隐患管控机制优化

井下地质环境处于持续演化状态,采掘扰动会不断改变地层结构与地质应力状态,引发隐蔽地质隐患的新生、扩张与变异。传统静态管控模式无法适配地质环境的动态变化规律,难以实现持续性的安全防控。优化动态化管控运行模式,建立贴合采掘生产全过程的隐患跟踪管控模式。完善地质隐患动态摸排、实时监测、状态更新的工作环节,及时捕捉地质隐患的状态变动特征。调整管控工作的运行逻辑,依托地质环境演变规律调整管控重点与作业频次,实现对隐蔽地质隐患的全过程动态把控。优化后的管控机制可以适配井下地质条件的动态演变特性,消除静态管控模式存在的管控盲区,维持矿井地质防控工作的持续性与有效性。

4.4 矿井地质安全治理能力提升路径

矿井地质安全治理能力的提升依托流程体系、技术

体系与管控体系的协同完善实现,是长效治理工作推进的核心支撑。推进地质治理工作的标准化建设,统一井下隐蔽地质隐患治理的作业规范与技术标准,规范现场治理作业的整体流程。强化地质治理工作的系统性建设,统筹区域地质条件、采掘生产规划、隐患治理需求等多项要素,构建全方位的地质安全治理格局。推动地质治理工作与现代化井下生产模式深度融合,依托先进作业理念优化治理工作开展形式^[5]。持续完善地质治理工作的运行架构,补齐传统治理模式中的体系短板,逐步提升矿井应对复杂隐蔽地质风险的综合处置能力,实现矿井地质安全状态的长期稳定。能力提升的最终落脚点在于人才队伍建设,应加大地质专业技术人员的培养力度,打造一支能够适应深部开采地质安全需求的专业化治理团队。

结束语

煤矿隐蔽致灾地质因素的普查治理是一项贯穿采掘全周期的系统性工程,需要从因素特征认知、探测技术融合、分级防控实施到长效机制优化等层面协同推进。普查技术的多源融合与数据深度挖掘为隐患精准识别奠定了基础,分级治理与超前防控模式有效降低了致灾风险的发生概率。流程重构与技术迭代持续提升治理体系对深部复杂地质条件的适配能力,动态化管控机制则保障了防控工作与地质环境演变的同步匹配。多维协同的治理框架能够支撑矿井地质安全状态的长期稳定。

参考文献

- [1]原晋波.煤矿隐蔽致灾地质因素普查治理研究[J].能源与节能,2023(7):32-36.
- [2]李炳强.赵庄煤矿隐蔽致灾地质因素普查治理技术及应用研究[J].中国煤炭,2022,48(z2):117-122.
- [3]周永,魏虎志,何瑜,等.物探在煤矿水文地质隐蔽致灾因素普查工作中的应用[J].江西煤炭科技,2024(4):100-104.
- [4]连会青,王旭,尹尚先,等.煤矿隐蔽致灾因素内涵及普查要点辨析[J].煤田地质与勘探,2025,53(9):99-110.
- [5]李佳,李恩来.王庄煤矿隐蔽致灾因素普查治理创新实践[J].中国煤炭,2022,48(z2):128-134.