

煤矿水工环地质条件与安全开采分析

乔双峰

内蒙古鄂尔多斯煤炭有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 016064

摘 要：水文、工程与环境地质条件是制约煤矿安全开采的核心地质要素，三类要素相互耦合、协同演化，共同诱发水害、围岩失稳、地质灾害等各类开采风险。本文系统剖析各类水工环地质要素对采矿作业的约束机制，梳理多要素耦合引发的复合安全风险成因，从地质勘查、方案优化、动态监测、分级管控及主动调控多维度，构建适配复杂地质条件的煤矿安全开采管控体系，为矿区灾害防控与安全生产提供理论支撑。

关键词：煤矿；水工环地质；安全开采；地质灾害；水害防治

引言：煤炭资源开采始终受矿区原生地质环境的制约，水工环地质条件的复杂性与动态性，是引发矿井安全隐患、制约采矿作业高效开展的关键因素。实际开采过程中，单一地质风险可通过要素耦合持续放大，极易诱发复合型地质灾害，严重威胁井下作业安全。为精准防控采矿地质风险，保障开采作业稳定推进，亟需深入探究水工环地质要素的风险演化规律与约束机理，针对性建立科学完善的安全开采防控体系。

1 煤矿水工环地质条件的核心构成

水工环地质把矿区水文、工程、环境三类地质条件整合到一起，三类条件之间存在相互制约、相互影响的联系，这些条件共同作为煤矿开采的地质背景，会从不同方面对开采作业安全带来影响；水文地质条件着重看待地下水储存状态，补给径流排泄路径，隔水层、含水层的空间分布还有水位动态变化，跟煤层联系紧密的含水层容易诱发突水问题，地下水化学成分还会慢慢腐蚀围岩与支护设施，设施自身的稳定程度也会随之降低；工程地质条件主要研究矿区岩土体力学特性，顶底板岩层性状，裂隙发育程度以及断层、陷落柱等构造的发育规模，这类构造会破坏岩体完整状态，是顶板垮塌、围岩失稳的重要诱因；环境地质条件关注原生地质环境稳定性，开采扰动造成的地质变化以及塌陷、滑坡灾害隐患；三类条件存在耦合关联，地下水渗透会软化岩体，地质构造可以充当导水通道，开采扰动又会改变地下水流动状态，各类条件不能分开开展评价，需要从整体层面完成分析研判^[1]。

2 水工环地质要素对煤矿安全开采的约束机制

2.1 水文地质条件的水害风险约束

地下水是煤矿开采过程里最活跃的地质要素，它的

风险来自赋存的不确定性和动力性，隐蔽分布的强含水层，还有废弃矿井老空区的积水；这些水会在开采揭露之后，突然涌入作业空间，形成突水灾害，就算没发生大规模突水，持续的地下水渗流，也会慢慢破坏围岩结构，提高围岩失稳的概率；与此同时，地下水动力条件出现改变，还会带动岩土体的颗粒发生迁移，形成内部潜蚀，把岩层的整体结构破坏掉，进一步放大其他的安全风险。

2.2 工程地质条件的围岩稳定约束

围岩的稳定情况会被工程地质条件给予关键约束，煤层顶底板岩体强度与内部构造，能够左右采空区顶板垮落形式以及矿压大小；厚层坚硬顶板易产生大范围悬顶，应力会在采场周围逐步蓄积，岩体骤然垮落便会催生动力灾害，软弱破碎顶板会出现随采垮塌甚至超前垮落，工作面人员安全也会受到相应威胁；采动应力会让软弱底板产生隆起形变，巷道底板结构会遭到一定损坏，断层、陷落柱属于岩体破碎区段，围岩强度会被其削弱，还可充当地下水流通道，多重条件共同作用就会增大矿区水害发生的可能性^[2]。

2.3 环境地质条件的原生风险约束

煤矿开采区域的基础风险大小，往往取决于场地原生环境地质条件，坐落于构造活跃地带的矿区，整体地应力数值会明显高于常规区域，开采作业产生的次生应力与地层原有应力相互叠加，能够增大冲击地压等动力灾害的发生几率，地形落差较大的矿区，周边常会伴随松散不稳定斜坡，采矿造成的地表形变会削弱斜坡整体稳定性，进而引发滑坡病害，对矿区井口、工业设施构成安全威胁，部分矿区发育岩溶地质，岩溶塌陷既会损坏地表建筑设施，也可贯通地表水体与井下采场，从而

产生地表水倒灌井下的重大安全隐患。

2.4 水工环要素耦合作用的复合风险约束

煤矿开采过程中的安全风险多数来源于多要素的耦合作用,很少出现单一要素引发的安全事故。例如,导水断层沟通强含水层后,地下水会沿着断层带进入开采空间,既会引发突水,又会软化断层带岩体,降低断层带抗剪强度,诱发断层错动,引发围岩失稳,形成水害与顶板事故的复合风险。再如,采动引发地面沉降,会改变区域地下水的补给排泄条件,使得地下水向采空区汇集,进一步提升突水风险,同时地下水软化底板岩体又会加剧底板变形,扩大地面沉降规模,形成恶性循环。这种耦合作用会放大单一要素的风险等级,使得安全风险的演化过程更为复杂,也提升了风险管控的难度。

3 基于水工环地质条件的煤矿安全开采管控路径

3.1 精细化水工环地质勘查

准确掌握矿区的水工环地质条件,是煤炭安全开采的大前提,传统的勘查手段往往精度不够,没法识别小规模的不良地质构造和隐蔽含水区,所以得结合多种勘查手段来推进精细化勘查工作。针对水文地质条件,要在区域水文地质测绘的基础上,先用物探手段圈定异常区,再配合钻探和抽水试验,获取含水层的各类参数,弄清楚各个含水层之间,还有含水层和煤层之间的水力联系,重点要摸清老空区积水的范围和积水量,圈出富水异常区和导水通道的分布位置;针对工程地质条件,要通过钻孔取芯,拿到煤层顶底板的完整岩样,开展室内的物理力学试验,获取岩体强度参数,再结合井下物探手段,摸清工作面范围内节理裂隙的发育规律,明确断层、陷落柱这类不良地质构造的产状、规模和影响范围;针对环境地质条件,要完成矿区和周边区域的地应力测量,掌握区域初始地应力场的分布特征,调查周边斜坡的稳定性和岩溶发育情况,圈出原生地质灾害隐患区。开展精细化勘查,还要构建多源数据融合的地质模型,整合好各类勘查数据,直观呈现出矿区水工环地质条件的空间分布特征,给开采方案设计提供准确的地质依据,避免因为地质认知不清留下安全隐患^[3]。

3.2 适配水工环条件的开采方案优化

开采方案设计需要充分结合矿区水工环地质条件,通过方案优化降低采动对地质环境的扰动,从源头上减少安全风险。针对水文地质条件复杂、水害风险较高的矿区,需要预先开展地下水疏干降压,降低含水层水头压力,减小开采过程中的突水风险,对于被导水构造切割的煤层块段,可以预留足够宽度的防水煤岩柱,阻

隔地下水的渗流通道,避免地下水进入开采空间。针对顶板坚硬完整、容易形成大面积悬顶的矿区,需要优化工作面开采参数,合理控制工作面走向与倾向长度,配合提前预裂爆破弱化顶板强度,促进顶板及时垮落,避免应力过度积聚;针对顶板软弱破碎的矿区,需要加强工作面超前支护,缩小巷道支护间距,提升围岩承载能力,避免围岩垮落事故。针对地应力水平较高、存在冲击地压风险的矿区,需要优化开采部署,合理安排开采顺序,避免形成应力集中区,配合煤层预卸压措施,降低煤层内部应力水平,减小冲击风险。针对周边存在不稳定斜坡的矿区,需要控制开采影响范围,避免采动波及斜坡内部,必要时提前对不稳定斜坡进行加固处理,消除原生隐患。开采方案优化需要以水工环地质模型为基础,模拟不同开采方案下围岩变形、地下水动力条件的变化特征,对比不同方案的风险水平,选择风险最低、适配性最强的方案,避免采用统一的开采模板。

3.3 开采过程水工环动态监测

煤矿水工环地质条件会随着开采推进不断发生变化,静态的勘查成果无法覆盖整个开采周期的变化,需要建立动态监测体系,实时掌握水工环要素的变化动态,及时识别风险异常。针对水文地质条件,需要在含水层、导水构造周边布置地下水动态监测点,实时监测地下水水头压力与水质变化,若出现水头压力突然变化,往往是地下水渗流通道发育的信号,需要及时预警;在工作面采掘过程中,采用井下物探手段开展超前探测,查清掘进工作面前方的隐伏含水构造与不良地质体,避免盲目掘进引发突水事故。针对工程地质条件,需要监测巷道围岩变形与支护结构受力,掌握采动影响下围岩的变形演化规律,若变形速率超过预警阈值,说明围岩稳定性已经进入危险状态,需要及时采取加固措施;同时监测顶板来压强度,掌握顶板活动规律,提前做好来压防护准备。针对环境地质条件,需要监测矿区地面变形与周边斜坡位移,掌握采动引发的地面变形发展趋势,若斜坡位移加速,说明滑坡风险正在提升,需要及时撤离危险区域人员;同时监测地应力与煤层应力的变化,掌握采动应力的分布与转移情况,及时识别应力集中异常区。动态监测需要采用自动化监测设备,实现数据的实时传输与分析,能够及时捕捉异常变化,为风险预警提供支撑,改变传统事后处置的被动模式,实现风险的提前管控^[4]。

3.4 基于水工环特征的风险分级管控

不同区域的水工环地质条件差异较大,风险等级也存在明显区别,需要开展风险分级,针对不同等级的风

险采取差异化的管控措施,提升管控资源利用效率。首先根据水工环地质条件的复杂程度,将煤矿开采区域划分为低风险、中风险、高风险三个等级:低风险区域水工环地质条件简单,含水层富水性弱,围岩完整性好,无重大不良地质构造与原生环境隐患,这类区域可以按照常规开采流程进行管控,定期开展常规监测即可;中风险区域存在一类中等风险的水工环地质问题,例如局部富水、小规模断层、中等强度围岩破碎,这类区域需要增加监测频率,提前采取针对性的防控措施,例如局部疏水降压、局部围岩加固,管控风险在可接受范围内;高风险区域存在重大水工环地质隐患,例如大型导水断层沟通强含水层、大面积老空区积水、大型不良地质构造、高冲击地压风险,这类区域需要落实更严格的管控措施,提前制定专项防控方案与应急预案,落实专人盯防,必要时调整开采范围,绕避高风险区域,避免引发重大安全事故。风险分级需要动态调整,随着开采推进,水工环地质条件发生变化后,需要及时调整风险等级与管控措施,保证管控措施与风险等级匹配,避免管控不足或者过度管控。

3.5 采动影响下水工环地质条件的主动调控

除了被动防控风险,还可以通过主动调控改变水工环地质条件,降低其对开采安全的不利影响,提升开采过程的稳定性。针对高含水的软弱岩层,可以采用注浆加固的方式,封堵地下水渗流通道,同时提升岩体强度,改善工程地质条件,既降低水害风险,又提升围岩稳定性;针对导水断层,也可以通过注浆封堵断层带的空隙,阻断导水通道,避免地下水沿着断层带进入开采空间。针对坚硬顶板,除了预裂爆破,还可以采用水压致裂的方式弱化顶板,

促进顶板及时垮落,释放积聚的应力,降低顶板来压的强度。针对煤层应力集中区,可以采用煤层注水、钻孔卸压等方式,降低煤层内部应力,弱化冲击地压风险。针对不稳定的底板岩层,可以采用底板注浆加固的方式,提升底板承载能力,避免底板隆起变形。主动调控需要针对具体的水工环地质问题,选择合适的调控手段,从本质上改变不利地质条件,消除风险根源,为安全开采创造更好的地质条件^[5]。

结束语:矿区水工环地质条件对煤矿开采安全的影响具备系统性与动态性特征,各类地质要素的耦合作用是诱发矿井安全事故的核心诱因。精细化勘查、动态化监测与差异化管理是化解地质开采风险的关键手段,结合地质实况主动调控不良地质条件,可从根源降低灾害发生概率。多措并举形成全流程防控体系,能够有效适配复杂采矿地质环境,切实提升煤矿开采的安全性与稳定性。

参考文献

- [1] 田军杰,李欢欢. 桑北煤矿水工环地质条件及煤矿开采水害防治研究 [J]. 陕西煤炭,2026,45(4):121-125.
- [2] 韩岳允. 基于 GIS 的煤矿水工环地质信息管理与分析系统构建 [J]. 内蒙古煤炭经济,2025(17):187-189.
- [3] 王磊. 煤矿复杂地质条件下绿色高效开采技术与管理对策 [J]. 能源与节能,2026(6):116-119.
- [4] 王亚锋. 煤炭开采中水工环地质勘测工作方法研究 [J]. 内蒙古煤炭经济,2026(5):175-177.
- [5] 杨晋. 沁水煤田东南缘海天煤矿多煤层地质特征与开采地质条件综合评价 [J]. 华北自然资源,2026(1):75-77.