

煤矿隐蔽致灾因素普查评价及防控方法分析

赵一帆

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 054001

摘要：井下隐蔽致灾因素是制约煤矿安全生产的核心隐患，为规范矿区隐患排查治理流程，本文结合煤田地质勘查一线工作经验，界定煤矿隐蔽致灾因素内涵及特征，划分水文、构造、复合灾害、人为遗留四类隐患类型，构建地面井下一体化标准化普查体系，建立多指标综合风险评价模型，结合隐患风险等级，优化水害、构造、复合灾害靶向防控方法，配套智能监测及全流程闭环管理模式。研究可为区域煤矿隐蔽隐患勘查、评级、治理提供实操参考。

关键词：煤矿；隐蔽致灾因素；地质普查；风险评价；灾害防控

引言：河北省煤炭开采年限久，辖区老旧整合矿井、深部开采矿井数量较多，井田内隐伏断层、老空积水、废弃钻孔等隐蔽隐患分布广泛，以往粗放勘查、同质化防控模式，易出现隐患漏查、治理不到位问题，井下安全开采风险居高不下。现阶段煤矿安全管控要求全域开展隐蔽致灾因素专项普查，分级评定灾害风险。基于此，本文依托煤田地质勘查工作实操，梳理隐患分类标准，完善普查流程，优化分级靶向防控手段，补齐矿区隐患治理技术与管理短板，保障井工煤矿采掘作业安全。

1 煤矿隐蔽致灾因素定义及类型划分

1.1 隐蔽致灾因素定义及特征

煤矿隐蔽致灾因素指埋藏于煤层、围岩及井田地层内部，常规采掘作业无法直观观测、前期简易勘探难以精准探明，具备隐蔽性、突发性的地质、水文、气体及工程遗留隐患，也是诱发井下透水、瓦斯突出、顶板垮塌等重特大煤矿事故的本源诱因。该类因素具备三大核心特征：隐匿性强，赋存于地下深部地层，地表及井下肉眼无法识别；随机性高，受采掘扰动、地压变化影响，随时可激活致灾；排查难度大，单一钻探、物探手段难以全方位探明范围、体量及活化风险。

1.2 煤矿主流隐蔽致灾因素分类

依据国内煤矿普查标准及井下现场灾害频发类型，结合赋存属性将隐蔽致灾因素分以下四大类别，覆盖井田开采全区域隐患，适配矿井常态化普查工作要求。（1）水文隐蔽致灾因素，也是井下最高发隐患，主要包含采空区老空积水、底板承压岩溶水、导水断层、裂隙含水层等，此类水体长期封存于地层裂隙、废弃采区之内，巷道贯通、底板破岩即可导通水源，引发突水透水事故，是华北、华东矿区首要防控隐患。（2）地质构造隐蔽致灾因素，涵盖隐伏小型断层、地下陷落柱、岩层破碎软弱带、煤层褶曲异变区等，这类构造破坏煤

层完整性，降低围岩承载能力，既会直接引发顶板离层垮塌，也会导通瓦斯、地下水，形成复合型灾害隐患。

（3）气固复合型致灾因素，以深部煤层隐伏瓦斯富集区、煤层软硬分层、承压松散围岩为主，采掘扰动后易发生瓦斯超限、煤与瓦斯突出、片帮掉渣灾害。（4）人为工程遗留隐蔽隐患，包括闭坑老旧巷道、未封堵废弃钻孔、跨矿井连通巷道等，多为早期粗放开采遗留，无图纸备案、边界模糊，后期开采极易贯通遗留空间，诱发连锁井下灾害^[1]。

2 煤矿隐蔽致灾因素标准化普查体系构建

2.1 隐蔽致灾因素普查基本原则与分级标准

井下全域隐蔽致灾因素普查需遵循以下四项实操原则：（1）先地面后井下原则，优先完成地表全域探查，再针对采掘重点区域井下补勘，规避井下盲目施工风险；（2）先无创后钻探原则，依托无损探查手段划定隐患范围，再定点钻孔核验，降低巷道围岩扰动；（3）分区属地普查原则，按照采区、工作面、掘进巷道划分单元，独立建档排查；（4）动态跟进原则，采掘推进同步更新隐患数据，摒弃一次性普查模式。结合隐患规模、致灾概率、影响范围，将隐蔽致灾隐患划分为三级：一级重大隐患，含大型陷落柱、连通周边矿井老空水区、高压导水断层；二级较大隐患，含中小型隐伏断层、局部瓦斯富集区、破碎围岩带；三级一般隐患，含零散老旧钻孔、小型孤立采空区、浅层裂隙含水带，分级后匹配对应勘查施工等级。

2.2 地面+井下一体化普查技术手段

2.2.1 物探精细化探查技术应用

物探属于无创前置勘查手段，分为地面物探与井下巷道物探两类。地面常用瞬变电磁、三维地震勘探技术，主要勘查井田全域地层构造，圈定地层电性异常区、岩层错动区域，大范围筛查隐伏断层、连片老空

区、含水层富集区域,多用于矿井前期全域摸排。井下依托巷道空间,使用巷道直流电法、地质雷达、槽波地震设备开展精细化探测,探测深度可控、数据贴合采掘现场。其中地质雷达多用于掘进迎头前方20m浅层隐患排查,识别小型破碎带、含水裂隙;瞬变电磁侧重巷道底板、侧帮深部水体探查,划定含水边界。物探仅做异常区域标记,无法判定隐患体量,所有物探异常点位必须二次核验。

2.2.2 钻探核验与地质补勘普查方法

钻探为隐蔽隐患定性核验核心手段,也是矿区认定隐患参数的唯一标准,分为常规探查钻孔、定向受控钻孔两类。常规垂直探查孔布设简单,针对物探异常区域定点施工,实测岩层岩性、水压、瓦斯浓度,核对含水层厚度、断层破碎程度;定向钻探可沿煤层走向、底板斜向钻进,长距离贯通探查,精准探测断层延展长度、老空区积水量、巷道连通范围。现场施工严格执行先探后掘制度,重大隐患区域钻孔间距加密布设,施工全程记录孔内涌水、顶钻、夹钻、瓦斯喷孔等现场特征,直接判定隐患类型,修正物探勘查误差。

2.2.3 大数据溯源及历史资料复盘普查方式

依托矿区自建地质台账、老旧开采档案完成溯源普查,多用于老旧生产矿井、整合兼并矿区隐患排查。调取矿井建井地质报告、历年采掘工程平面图、关闭巷道竣工图纸、以往事故台账,核对井田边界、早年小煤窑开采范围、废弃钻孔坐标。同时对接地方煤炭监管数据库,调取周边闭坑矿井排水、采掘数据,排查跨井田连通隐蔽隐患。针对图纸缺失、资料损毁老旧矿区,结合老工人现场踏勘口述、井下遗留支护痕迹,补齐历史开采信息,划定资料空白高危勘查区,加大物探、钻探施工频次,补齐勘查短板^[2]。

3 煤矿隐蔽致灾因素综合风险评价模型研究

依托行业煤矿隐蔽致灾风险评定标准,搭建适配井下多类型隐患的综合评价模型,摒弃单一指标评判方式,立足地层、水文、开采、管理四类客观参数开展评级,全过程贴合矿井实测数据,具体研究内容如下:

(1) 构建风险评价指标体系。剔除主观性评价指标,选取一级评价指标4项,分别为地质构造条件、水文赋存条件、开采扰动条件、现场管控条件。下设二级实操指标12项,包含断层落差、陷落柱规模、底板水压、老空积水存量、煤层瓦斯含量、围岩破碎程度、采掘深度、工作面推进速度、探查钻孔密度、隐患台账完备度、现场巡检频次、专项防控投入量,所有指标均可通过井下勘测、台账调取获取实测数值,无虚拟评判指标。(2) 确

定指标权重与风险等级。结合矿区历年灾害数据,采用现场专家赋值法划定指标权重,水文、构造类指标权重占比最高,管控类指标权重占比最低。参照煤矿安全规程,将全域隐患划分为四级风险:Ⅰ级极高风险、Ⅱ级较高风险、Ⅲ级一般风险、Ⅳ级低风险,划定各项指标数值阈值,匹配对应风险等级。(3) 选用组合评价判定方式。采用定性+定量结合模式开展评级,定性依托层次分析法划分隐患类别,区分单一隐患与复合型隐患;定量依托模糊综合评价法录入实测数据,完成数值核算,规避单一评价方式的数据偏差。(4) 建立采掘动态修正机制。矿井工作面每推进一定距离,更新地压、涌水量、瓦斯浓度实测数据,修正模型内部参数,动态调整风险等级,保证评价结果贴合实时开采工况,固定月度复核评级流程^[3]。

4 分级分类煤矿隐蔽致灾靶向防控方法优化

4.1 水害类隐蔽隐患封堵疏排一体化防控技术

针对老空积水、断层导水、底板岩溶承压水三类水文隐蔽隐患,优化“分区疏放、定点封堵、边界隔离”一体化施工工艺,按隐患风险等级差异化作业。(1) 低风险零散积水防控:针对孤立小型采空区浅层积水,沿用井下常规疏放水钻孔施工工艺,沿采空区最低标高布设泄水孔,孔径统一为75mm,依托自然压差完成水体疏排,施工后留存孔口闸阀,后期水压回升可二次排水,不做大面积注浆施工。(2) 中风险导水构造防控:针对中小型导水断层、裂隙含水带,采用分段注浆封堵工艺,选用水泥-水玻璃双液注浆材料,适配巷道动态水压环境,控制注浆压力为围岩地压1.2倍,封堵导水裂隙通道,截断水体导通路径,保留少量疏水通道平衡地层水压。(3) 高风险承压水防控:针对底板高压岩溶水、联通外矿连片老空水,优化底板隔水层加固+防水煤柱留设方案,定向钻探施工底板加固孔,加厚薄弱隔水层厚度,严格按照规程划定防水隔离煤柱,禁止采掘作业逾越防控边界,从源头杜绝突水通道贯通。

4.2 地质构造隐患加固隔离防控工艺

针对隐伏断层、陷落柱、岩层破碎带三类构造隐患,按构造规模、围岩完整性落实分级支护、隔离管控,防止构造滑移活化诱发次生灾害。(1) 小型隐伏断层防控:落差1.5m以下巷道穿行断层,优化锚网索支护参数,锚索间距由1000mm缩减至600mm,配套全断面钢带贴合围岩,抵消构造应力集中,防范断层错动位移。(2) 中小型陷落柱防控:松散非胶结陷落柱,外围8m划定禁采区,砌筑混凝土密闭墙,墙体预埋观测孔,监测内部积水、气体变化;胶结完好陷落柱仅做围岩补强支

护,不调整采掘规划。(3)全域破碎带防控:顶底板大范围破碎区段,摒弃单一锚杆支护,采用U型钢棚+喷射混凝土联合支护,破碎严重区域预埋注浆管浅层固结岩体,缩减裂隙发育范围,提升围岩整体稳定性^[4]。

4.3 瓦斯、顶板复合型隐蔽灾害协同防控方案

矿区瓦斯富集区与软弱顶板共生率较高,属于复合型高频隐蔽隐患,采用通风、卸压、支护一体化协同治理模式,分区落实管控措施。(1)隐伏瓦斯富集区治理:煤层局部瓦斯异常区,布设80-120m本煤层定向预抽钻孔,平行煤层走向布置,避开构造裂隙带;构造闭锁瓦斯窝施工泄压孔平衡气压,严控瓦斯集聚,落实先抽后掘作业制度。(2)隐蔽软弱顶板防控:针对煤层夹层、原生顶板离层隐患,掘进迎头超前施工探孔判定离层深度,注入轻质固结浆料粘结分层岩层;工作面加快推进速度,缩短顶板悬空暴露时长,降低顶板垮塌、片帮风险。(3)复合隐患联动管控:含水储气复合型构造区域,布设多功能勘探钻孔,实现探水、探气一孔多用,同步监测水压、瓦斯参数,减少重复钻探扰动围岩,降低隐患活化概率。

4.4 智能化监测预警常态化防控手段

依托矿井现有井下地质监控平台,补齐原有监测盲区、数据滞后问题,搭建分级定点监测体系,实现隐蔽隐患动态管控。(1)定点专项监测布设:一级重大隐患点安装固定式传感设备,导水断层布设水压传感器,瓦斯异常区布设高频采集终端,破碎顶板布设应力位移装置,设备统一接入矿井地质管控平台,自动留存实时监测数据。(2)班组动态巡检配套:掘进迎头、巷道边角盲区,配备便携式瞬变电磁、瓦斯检测仪,班组每班复测核验,弥补固定设备探测范围局限,动态更新隐患状态台账。(3)三级预警管控:结合矿井历史灾害数据划定预警阈值,黄色预警参数小幅波动,班组加密巡检即可;橙色预警立即停工,开展局部补强治理;红色预警全员撤离、闭锁工作面,隐患复核整改完成后方可复工。

4.5 全周期人员、制度、工艺闭环防控管理体系

结合矿井隐蔽致灾普查台账,建立勘查、施工、验收、复盘全流程闭环管理体系,保障技术防控措施落地,补齐现场管理短板。(1)岗位定岗持证管理:划分地质勘查、现场施工、隐患巡检专职岗位,勘查、注浆特种作业人员持证上岗,专项培训贴合本井田水文、构造地质特点,针对性提升现场处置能力。(2)施工闭环管控制度:严格执行“先普查、再评价、后施工”作业流程,防控施工全程留存钻孔、注浆、支护实测参数,施工完成后由矿井技术科现场核验,验收合格方可开展采掘作业。(3)动态台账复盘优化:跟随工作面采掘进度,月度更新隐患位置、风险等级、治理施工资料,季度复盘防控工艺短板,结合深部开采地质变化,增补适配防控方案,实现隐患全周期闭环管控^[5]。

结束语:本文梳理得出煤矿隐蔽致灾隐患具备隐匿、随机、难排查特点,依托地面物探、井下钻探、资料复盘组合方式,可高效完成全域隐患普查,通过四级风险模型能够精准判定隐患危险等级。结合风险等级落实分类防控,可针对性弱化地质、水文、复合型灾害致灾风险,技术防控搭配人员制度闭环管理,可提升隐患治理长效性。

参考文献

- [1]喻六平,林敏,杨海峰.某铁矿隐蔽致灾因素普查与风险评价[J].现代矿业,2025,41(5):218-221.
- [2]许存.煤矿多源隐蔽致灾因素识别与综合评价方法研究[J].能源与节能,2026(4):177-179+186.
- [3]连会青,王旭,尹尚先,夏向学,曹敏,李启兴,吴晓明,张斌,王阳雨,张庆,王国安.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.
- [4]张武,李圣军,钱红涛,丁欢欢,吴青.克尔碱煤矿隐蔽致灾因素普查评价及防控方法分析[J].科技与创新,2025(18):95-97+101.
- [5]陈斌,褚向武.哈麻冲煤矿隐蔽致灾因素及防治措施分析[J].能源与环境,2024(3):50-52.