

# 采空区漏风通道识别与封堵技术效果分析

李贵贤

神木县隆德矿业有限责任公司 陕西省 719300

DOI: 10.32629/ems.v8i2.18504

**[摘要]** 采空区漏风是矿山开采后普遍存在的工程难题,既造成资源损耗,也会加重环境扰动与安全风险,成为阻碍开采作业可持续发展的核心因素。相关研究聚焦漏风通道识别与封堵技术开展探索,涵盖漏风通道形成的核心机理,地质雷达探测、气体示踪法、压力场测试等主流识别技术的应用原理与适配场景,充填封堵、注浆封堵、隔离封堵等典型技术的工艺特性,同时从密封性、稳定性、经济性三个维度建立效果评估框架。研究核心目标在于为采空区漏风治理提供技术参照,依托科学识别手段与适配的封堵技术搭配,达成漏风通道的高效管控,为矿山工程安全绿色推进提供有力支撑。

**[关键词]** 采空区;漏风通道;识别技术;封堵技术;效果分析

采空区系矿山开采后伴生的地下空间,围岩在应力场重构过程中易萌生裂隙,裂隙交织连通形成漏风通道,漏风问题造成井下通风系统效能衰减,诱发多重衍生问题,加速岩体风化进程、扰动周边生态环境、抬升作业安全隐患,为矿山持续运营埋下隐患。开采工艺持续迭代,采空区规模拓展、数量递增,漏风通道复杂程度与隐蔽特征同步增强,传统辨识及封堵技术已无法适配实际治理诉求,系统探究漏风通道演化规律、改良辨识技术与封堵工法、研判各类技术应用成效,对于精进采空区治理效能、筑牢开采作业安全防线、助力矿山绿色可持续发展具有显著现实价值,立足现有技术研究积淀、融合工程实践积累,本文就采空区漏风通道辨识与封堵技术及应用成效展开全面探析。

## 1 采空区漏风通道形成机理与特征

### 1.1 漏风通道形成的核心机理

采空区漏风通道的生成与矿山开采环节的岩体应力扰动、地质条件异质性及开采工艺适配性存在紧密关联,开采作业开展时地下岩体原有应力平衡状态遭遇破坏,催生应力集中区与卸压区,卸压区内岩体伴随应力释放出现形变与破裂,孕育大量原生裂隙。开采环节中爆破震动、机械扰动等外力干预会深化岩体损伤程度,推动原生裂隙延展并实现贯通,采空区顶板塌落、底板隆起等情形会造成岩体结构损毁,构筑全新裂隙网络,此类裂隙在地下水渗流、风化剥蚀等长期作用下逐步交织连通,最终构建起具有一定透气性能的漏风通道,为空气流通创造路径支撑<sup>[1]</sup>。

### 1.2 漏风通道的空间分布特征

采空区漏风通道空间分布兼具显著的复杂性与不规则性,分布形态核心受控于地质构造、岩层产状及开采布局,平面维度上,通道常汇聚于采空区边界、巷道周边及地质构造破碎带区域,构成以采空区为核心的放射状或网状展布形态。垂向维度中,通道划分为浅部、中部及深部三个层级,浅部通道常与地表贯通,风化作用干扰突出,中部通道衔接不同开采水平,构成漏风主导流通道,深部通道受岩体压力制约,裂隙闭合度偏高,透气性能相对平缓,通道断面形态表现为多元特征,涵盖狭长型、网状型、孔洞型等类别,各类形态通道直接关联漏风强度与流通规律。

### 1.3 漏风通道的动态演化特征

采空区漏风通道并非处于静止状态,而是呈现持续动态演化态势,演化态势与岩体应力调适、环境条件变迁存在深度关联,开采初期,通道核心源自原生裂隙与开采扰动作用,规模有限且贯通效能偏弱,采空区范围拓展与时间延展过程中,岩体应力持续调适,裂隙持续延展并发生融合,通道规模逐步扩张,贯通效能持续强化,漏风效能同步攀升。采空区步入稳定阶段后,岩体应力趋向均衡,通道演化速率放缓,地下水与风化等条件长期作用下,通道仍会产生缓慢形变,部分通道或因岩体塌落出现淤塞,新的裂隙持续萌生并构筑全新漏风通道,最终促成漏风通道的动态均衡态势。

## 2 采空区漏风通道识别技术

### 2.1 地质雷达探测技术

依托电磁波传播规律,向地下发射高频电磁波,借助电磁波在异质介质界面的反射与折射效应,达成漏风通道的辨

识, 雷达天线向岩体发射的电磁波遭遇裂隙、空洞等异常介质时将形成反射信号, 接收天线捕获这些反射信号后经数据解析转化为雷达剖面图像, 剖析剖面图像中反射波的振幅、相位、传播时长等参数能够界定漏风通道的空间位置、几何形态、发育规模及延展趋向。地质雷达探测技术具备探测效率高、分辨精度优、实操简便等特质, 适配浅层漏风通道的辨识场景, 在巷道周边、采空区边界等区域的探测中表现突出, 受电磁波衰减效应制约, 探测深度存在局限, 针对深部通道的辨识效能相对薄弱<sup>[2]</sup>。

## 2.2 气体示踪法

向采空区或疑似漏风区域释放特定示踪气体构成气体示踪法的核心操作, 借助气体传感器在多元点位采集示踪气体浓度信息, 关联气体扩散特性研判漏风通道空间展布状态, 选取稳定性佳、检测灵敏性优、环境兼容性好的示踪气体(氦气、二氧化碳等), 经钻孔或巷道向目标区域投放, 漏风驱动下示踪气体沿通道蔓延, 在周边预设监测点采集气体样本后, 通过气相色谱仪等专业设备完成浓度检测。剖析示踪气体的显现时序、浓度峰值及扩散疆域, 能够明确漏风通道的贯通性能、流动方向与漏风能级, 这类方法可直观呈现漏风通道的整体展布特质, 适配复杂地质条件下的漏风通道辨识, 气体扩散速率、监测点布设等因素却会导致识别精度存在些许偏差<sup>[3]</sup>。

## 2.3 压力场测试技术

压力场测试依托流体力学核心准则, 借助测定采空区及围岩压力分布特质, 间接界定漏风通道的空间坐标与延展疆域, 在采空区周边巷道、钻孔内布设压力传感器, 捕获不同点位气压信息, 搭建压力场分布模型, 漏风通道存续引发局部区域气压异动。通道入口处气压趋降、出口处气压上扬, 形成清晰压力梯度, 剖析压力场分布异动区域, 融合地质资料与开采纪实, 能够推演漏风通道的延伸走向、空间区位及发育体量, 压力场测试具备监测覆盖域广、数据连续性优的特质, 可实时反馈漏风通道动态变迁, 适配大规模采空区漏风通道辨识, 对传感器布设密度与数据处理技术要求严苛, 需协同其他识别技术完成验证<sup>[4]</sup>。

# 3 采空区漏风通道封堵技术

## 3.1 充填封堵技术

充填封堵依托向漏风通道内部填充专用封堵介质, 借助

介质物理堆积效应与胶结特性实现通道阻隔, 切断空气流通过路径, 技术核心聚焦适配充填介质的筛选, 混凝土、水泥砂浆、泡沫介质、碎石等均为工程中广泛应用的品类。大断面、高透气性能的漏风通道多采用碎石与混凝土混合充填方案, 以碎石填充通道主体构筑支撑骨架, 后续注入混凝土完成胶结固化, 强化封堵体整体性能与结构稳固性。中小断面裂隙型通道则倾向水泥砂浆或泡沫介质注浆充填, 凭借介质流动特性充盈细小裂隙, 达成致密封堵效果, 充填封堵具备封堵强度优异、耐久性能可靠等特质, 适配永久性封堵工程场景, 施工流程相对繁杂、投入成本偏高, 且对通道空间定位精准度存在较高要求, 需结合前期辨识成果科学规划充填钻孔布设<sup>[5]</sup>。

## 3.2 注浆封堵技术

注浆封堵适配向漏风通道灌注具备流动特性的注浆介质, 依托注浆设备完成输送, 介质在通道内部发生化学转化或物理凝结, 形成致密封堵结构体, 隔断漏风通路, 注浆介质依据性能划分为无机注浆介质与有机注浆介质, 无机介质涵盖水泥浆、水玻璃浆等, 兼具高强度、低成本与环境兼容性等特质, 有机介质涵盖聚氨酯浆、环氧树脂浆等, 具备优良流动性、强劲粘结力及优异抗渗性等特性。注浆作业阶段, 需结合漏风通道的裂隙尺度、透气性能等关键参数, 科学选定注浆压力、注浆剂量及注浆速率, 保障封堵介质充分充盈通道内部, 面对复杂裂隙网络结构, 分段注浆、重复注浆等工艺的应用能够强化封堵成效。注浆封堵适配隐蔽性突出、裂隙细微的漏风通道阻隔需求, 施工灵活度高且适用场景广泛, 注浆材料的性能稳定性与施工工艺管控对封堵成效存在显著影响, 施工质量需严格把控。

## 3.3 隔离封堵技术

于漏风通道关键区位布设隔离屏障构成隔离封堵的核心操作, 依托屏障密封效能阻断空气流通, 达成漏风通道隔离阻隔目标, 密封墙、隔离膜、封堵门等均为工程中主流隔离屏障类型, 结合通道属性与应用场景筛选适配屏障形态, 巷道式漏风通道可在两端砌筑混凝土密封墙, 墙体采用钢筋混凝土构筑, 墙面涂刷密封介质强化密封性能。采空区边界裂隙型通道可铺设高分子隔离膜, 借助膜材料防渗特质切断漏风通路, 临时性封堵诉求下可选用可拆装封堵门, 为后期维护与调整提供便利。隔离封堵具备施工效率高、投入成本低

中、灵活适配性强等特质, 适配中小型漏风通道或临时性封堵工程场景, 隔离屏障的稳固性能与密封效果易受岩体形变、环境条件干扰, 长期应用成效需开展定期监测与维护作业。

#### 4 采空区漏风通道封堵技术效果分析

##### 4.1 密封性效果分析

密封性作为封堵技术效果评估的核心维度与关键判据, 直观体现封堵体对漏风通道的阻隔效能, 充填封堵依托材料密实堆积与胶结特性, 可构筑整体性佳、孔隙率小的封堵结构体, 针对大断面通道的密封表现突出尤其在高透气通道治理中优势明显, 能够削减漏风能级, 细小裂隙的填充成效却受材料流动性能约束, 注浆封堵凭借材料流动特质充盈裂隙网络。可达成微小通道的精准阻隔, 密封效能出众, 在复杂地质环境的漏风管控中表现更为适配, 隔离封堵的密封效果取决于屏障与岩体的贴合状态, 施工阶段若接触面缝隙处理不够周全, 极易引发密封失效问题, 实际工程应用里, 密封性成效需结合漏风检测数据综合研判, 对比封堵前后漏风强度数值, 完成技术密封性能的全面评估工作。

##### 4.2 稳定性效果分析

稳固效能作为维系封堵技术长效运转的核心要素, 关联封堵体自身结构稳固状态与同周边岩体的协同适配能力, 充填封堵选用的混凝土、碎石等介质强度优越、抗压效能突出, 可抵御岩体压力冲击, 结构稳固特质显著, 岩体形变作用下封堵体存在开裂风险, 注浆封堵所用介质粘结效能强劲, 可与岩体实现紧密贴合, 构建协同受力架构, 稳固表现优良。有机注浆介质具备一定柔韧特质, 可适配岩体细微形变, 隔离封堵的稳固状态受制于屏障介质强度与安装工艺水准, 混凝土密封墙稳固性表现突出, 隔离膜、封堵门等则易遭岩体位移损毁, 稳固效能需经长期监测研判, 关注封堵体是否产生形变、开裂、脱落等情况, 保障其长效运转的可靠属性。

##### 4.3 经济性效果分析

经济性作为技术选型的关键考量维度, 涵盖施工投入、维护开支及服役时长等核心维度, 充填封堵所需材料投入与施工耗费相对偏高, 大规模采空区治理场景下更需耗费较多人力与物资资源, 服役时长优势显著, 维护开支可控, 长期应用的经济适配性更为突出, 注浆封堵所用材料价格跨度明显, 无机类介质投入偏低, 有机类介质耗费偏高。施工流程

存在一定复杂度, 治理效能却更为高效, 适配精准化治理需求, 整体经济合理性处于中等水平, 隔离封堵施工流程简便, 投入成本偏低, 临时性封堵工程中更能凸显经济层面的优势, 服役时长相对有限, 需开展周期性更换与维护作业, 长期投入耗费偏高, 经济层面的适配成效需融合工程体量、治理标准等关键要素开展综合研判, 筛选出性价比最优的技术实施方案。

#### 5 结语

采空区漏风通道的辨识与封堵技术, 构成矿山工程安全绿色运转的关键支撑, 核心要义聚焦通道特征的精准捕捉与封堵技术的科学选型, 针对漏风通道的生成机理与展布特质展开剖析, 深入探讨地质雷达探测、气体示踪法、压力场测试等辨识技术的应用逻辑, 全面阐述充填、注浆、隔离等封堵技术的工艺属性, 从密封性、稳定性、经济性三大维度开展技术成效评估, 相关探索证实, 各类辨识技术与封堵技术均存在自身适配场景与局限, 工程实践中需融合工程地质条件、通道属性及治理标准, 搭建辨识-封堵-评估一体化治理框架。技术持续革新背景下, 漏风通道辨识技术正朝着高精度、智能化演进, 封堵技术更侧重介质性能改良与施工工艺创新, 契合复杂多变的采空区治理诉求, 不同技术的融合应用强化, 治理成效长期稳定性的提升, 已成为采空区漏风治理的核心发展趋向, 为矿山工程持续推进筑牢更坚实的技术根基。

#### [参考文献]

- [1]高志宏. 老采空区漏风检测技术研究[J]. 能源与节能, 2025, (10): 152-154.
- [2]陈宁, 路文文, 王梓旭. Y型通风下黄陵一矿1010工作面采空区漏风通道研究及封堵技术[J]. 陕西煤炭, 2025, 44(10): 126-132+154.
- [3]崔文利, 李慧刚, 周竹峰. 浅埋近距离煤层群开采采空区漏风规律研究[J]. 煤炭技术, 2025, 44(03): 166-170.
- [4]张丽敏, 任仲久, 张鹏. 浅埋煤层综放工作面采空区漏风规律研究[J]. 能源技术与管理, 2025, 50(01): 32-34+174.
- [5]李晓磊. 基于分区通风的采空区漏风通风优化分析研究[J]. 煤炭与化工, 2024, 47(06): 112-115+119+124.