

煤矿一通三防技术在瓦斯治理中的应用研究

邓银海

永贵能源开发有限责任公司新田煤矿 贵州 毕节 551700

摘要: 煤矿瓦斯治理是保障安全生产的核心任务,本文深入探讨一通三防技术在瓦斯治理中的应用。剖析瓦斯赋存特性与运移规律,阐述通风、防突等技术体系构成及适配逻辑。分析通风技术基础架构、防突技术应用体系,构建一通三防技术集成化治理框架,涵盖融合关键点、架构设计、运行流程等内容,并提出维护与优化逻辑,为煤矿瓦斯精准治理提供理论支撑与实践指导。

关键词: 煤矿瓦斯治理;一通三防技术;通风技术;防突技术;集成化治理

引言: 煤矿开采过程中,瓦斯灾害严重威胁着矿工生命安全和矿井稳定生产。随着开采深度增加、强度加大,瓦斯问题愈发复杂严峻。一通三防技术作为煤矿瓦斯治理的关键手段,涵盖通风、防瓦斯、防煤尘、防火灭火等多方面。深入研究一通三防技术在瓦斯治理中的应用,对于提高瓦斯治理水平、降低事故风险、保障煤矿安全高效生产具有重要意义,是当前煤矿领域亟待解决的重要课题。

1 瓦斯赋存特性与“一通三防”技术的适配逻辑

1.1 煤矿瓦斯生成与储存的核心机理剖析

煤矿瓦斯生成源于煤层中有机质在高温高压环境下的热演化过程。成煤作用阶段,植物残体经生物化学降解形成泥炭,随埋深增加,泥炭在热力作用下发生干馏与裂解,生成以甲烷为主的气体成分^[1]。瓦斯储存状态分为吸附态与游离态,吸附态瓦斯通过分子间作用力附着于煤基质表面,占比通常达70%~90%;游离态瓦斯则存在于煤孔隙与裂隙中,受压力与温度影响动态转化。煤层渗透率、孔隙结构及含水率等参数直接影响瓦斯储存能力,低渗透煤层易形成高压瓦斯富集区,增加突出风险。

1.2 瓦斯运移与扩散的关键影响因素

瓦斯运移受压力梯度、浓度梯度及煤体变形共同驱动。压力梯度主导下,瓦斯从高压区向低压区流动,采掘活动引发的应力重分布会改变原始压力场,诱发瓦斯异常涌出。浓度梯度作用下,吸附态瓦斯通过解吸-扩散过程进入裂隙网络,扩散速率与煤体粒径呈负相关,细粒煤体扩散阻力大,易形成局部瓦斯积聚。煤体变形通过改变孔隙结构影响运移通道,采动裂隙扩展增强渗透率,而地应力压缩则导致孔隙闭合,抑制瓦斯流动。温度升高会降低瓦斯吸附能力,加速解吸过程,深部开采中地温梯度对瓦斯运移的影响需重点考量。

1.3 一通三防技术体系的核心构成

一通三防技术体系以通风系统为基础,集成防瓦斯、防煤尘、防火灭火三大模块。通风系统通过主风机与局部风机协同,构建压力梯度场,实现新鲜风流输送与污浊风流排出,核心参数包括风量、风速及风压分布。防瓦斯技术涵盖监测预警、抽采利用及突出防治,多参数传感器网络实现瓦斯浓度实时监测,抽采系统通过本煤层、邻近层及采空区抽采降低瓦斯含量。防煤尘技术以降尘与隔爆为重点,喷雾装置与注水技术减少粉尘产生,隔爆水棚与抑爆装置阻断爆炸传播链。防火灭火技术通过自燃倾向性监测、注氮惰化及阻化剂喷洒,抑制煤氧化反应,防止瓦斯-煤尘复合灾害。

1.4 瓦斯治理需求与一通三防技术的适配逻辑

瓦斯治理需求随矿井开采条件动态变化,需通过技术适配实现精准防控。高瓦斯矿井需强化抽采系统与通风系统联动,根据瓦斯涌出量调整抽采负压与供风量,维持瓦斯浓度在安全阈值以下。突出矿井需构建“监测-预警-治理”一体化体系,利用声发射、电磁辐射等手段预测突出危险,通过水力压裂、深孔爆破等措施释放地应力与瓦斯压力。深部开采中,地温升高与地压增大需优化通风网络布局,采用分区通风与独立回风降低通风阻力,同时加强防火灭火技术配套,防止瓦斯燃烧引发次生灾害。技术适配需兼顾经济性与可靠性,通过多技术协同实现瓦斯治理效能最大化。

2 通风技术在瓦斯治理中的基础架构体系

2.1 矿井通风系统核心结构设计逻辑

矿井通风系统设计需以风流稳定性与可控性为根本原则,通过构建多级通风动力源与分层通风网络,形成压力梯度驱动的新鲜风流输送体系^[2]。主通风机通常布置于地面进风井口,负责全矿井基础风量供给;局部通风机则根据采掘工作面需求灵活配置,实现重点区域风量强化。通风网络拓扑结构需避免串联通风,优先采用并

联或角联方式,减少风流短路风险。系统设计需预留调节余量,通过设置可调风门、风窗等设施,实现风量按需分配与动态调整。

2.2 通风网络构建原则与优化路径

通风网络构建需遵循“最短路径、最小阻力、最大效率”原则,主干风路应保持直线或缓弯设计,分支风路采用对称或渐进式布局以降低局部阻力。网络优化需结合矿井地质条件与生产布局,通过数值模拟技术对风门位置、风桥结构进行迭代计算,确保风流分配均衡性。对于多煤层开采矿井,需采用垂直分区通风方式,通过设置专用回风巷道实现各煤层风流独立控制,防止瓦斯跨层扩散。

2.3 通风动力系统选型与运行机制

通风动力系统选型需匹配矿井通风阻力特性与风量需求,低阻力矿井宜采用轴流式通风机,其高效区宽且便于调节;高阻力矿井则需选用离心式通风机,通过多级串联提升压力。动力系统运行需建立风量-负压动态调控模型,通过变频调速技术实现风机工况点平滑移动,避免喘振现象。多级机站通风系统中,各级风机需形成压力叠加效应,深部作业面需配置辅助通风机以增强局部风压。动力系统监控需集成风速、温度、瓦斯浓度等多参数传感器,通过智能算法实现故障预判与自动切换,确保系统连续稳定运行。

2.4 通风系统对瓦斯积聚的动态调控机制

通风系统通过风量调节与风流导向实现瓦斯积聚主动防控。掘进工作面需采用压入式通风方式,局部通风机靠近迎头布置形成附壁射流,有效稀释炮烟与瓦斯;采煤工作面宜采用“U型”或“W型”通风方式,通过上隅角埋管抽采与高位钻孔预抽相结合,消除瓦斯积聚隐患。高瓦斯矿井需建立全矿井通风压力调控系统,通过调节风窗开度与风机转速,维持各区域压力平衡,防止瓦斯向低压区逆流。通风系统还需与瓦斯抽采系统深度耦合,根据抽采量变化动态调整供风量,实现瓦斯浓度持续稳定控制在安全阈值以下。

3 防突技术在瓦斯治理中的应用体系

3.1 煤与瓦斯突出的核心影响因素

煤与瓦斯突出是地应力、瓦斯压力与煤体物理力学性质共同作用的结果。地应力场分布特征直接影响煤体破坏程度,构造应力集中区因应力叠加效应易形成高应力环境,导致煤体裂隙发育与能量积聚^[1]。瓦斯压力梯度是突出发生的关键动力源,瓦斯压力与煤体吸附能力共同决定瓦斯解吸速度,高瓦斯压力梯度会加速煤体破碎并驱动瓦斯涌出。煤体结构类型对突出敏感性具有决

定性作用,松软煤层因孔隙率高、强度低更易发生失稳,而坚硬煤层虽强度较高,但积聚的弹性应变能可能引发动力灾害。此外,开采活动扰动会打破原有应力平衡,爆破震动、机械振动等外部能量输入可能成为突出触发因素,采掘速度过快导致应力重新分布不及时也会增加突出风险。

3.2 防突技术的核心原理与类型划分

防突技术以“卸压、降瓦斯、增强煤体稳定性”为核心原理,通过降低地应力与瓦斯压力、提高煤体抗破坏能力实现突出防治。技术类型可划分为区域防突与局部防突两大类:区域防突技术作用于较大范围煤体,包括水力压裂增透、保护层开采及密集钻孔预抽等,通过改变煤体应力状态与瓦斯赋存条件降低突出危险性;局部防突技术针对具体作业区域,如超前钻孔排放、金属骨架支护及水力割缝等,通过局部卸压与瓦斯释放消除即时突出隐患。技术选择需结合煤层赋存条件、突出危险性等级及开采工艺特征,高瓦斯煤层优先采用区域预抽与保护层开采组合技术,构造复杂区域需补充局部防突措施形成多重保障。

3.3 防突技术的实施流程与操作要点

防突技术实施遵循“预测-防治-验证”闭环流程。预测环节通过钻屑量、瓦斯解吸指标及电磁辐射等手段评估突出危险性,确定防治技术参数;防治环节根据预测结果选择合适技术,水力压裂需控制注水压力与裂隙扩展方向,保护层开采需优化层间距与开采顺序,超前钻孔需保证排放半径覆盖作业区域;验证环节采用残余瓦斯压力测定、应力在线监测等方法检验防治效果,未达标区域需补充防治措施直至消除危险。操作要点包括:严格把控钻孔施工质量,确保孔深、方位及间距符合设计要求;动态调整技术参数,根据煤体硬度、瓦斯含量变化实时优化压裂压力或抽采流量;强化现场安全管理,防治作业期间暂停采掘活动并设置警戒区域,防止机械振动或人员活动引发次生灾害。

3.4 防突技术与瓦斯治理的协同逻辑

防突技术与瓦斯治理形成“源头控制-过程监管-应急处置”协同体系。源头控制通过区域防突技术降低煤层瓦斯含量与地应力水平,为后续开采创造安全条件;过程监管依托局部防突技术与实时监测系统,对采掘作业面瓦斯浓度、应力变化进行动态跟踪,及时发现并处理异常情况;应急处置建立快速响应机制,当监测数据超限时立即启动预警并撤离人员,同时采取注水、注浆等紧急措施抑制突出发展。协同逻辑强调技术互补性,区域预抽为局部防突提供基础条件,局部措施弥补区域技术覆盖盲

区,二者与通风、监测等技术融合形成立体化防治网络,最终实现瓦斯零超限、突出零发生的治理目标。

4 一通三防技术集成化治理框架

4.1 通风与防突技术的融合关键点

通风与防突技术的融合需以“风流调控-瓦斯稀释-应力平衡”为纽带。通风系统通过优化风流路径与风量分配,为防突措施实施提供基础条件:合理布局通风网络可降低采掘工作面瓦斯浓度,减少防突钻孔作业时瓦斯涌出对施工安全的影响;定向风流设计能引导瓦斯向回风巷流动,避免局部积聚干扰防突效果监测^[4]。防突技术通过降低地应力与瓦斯压力,反向优化通风系统运行效率:水力压裂增透可提升煤层渗透率,增强瓦斯抽采效果,进而减少通风系统负担;保护层开采形成的卸压区可降低邻近煤层瓦斯压力梯度,使通风系统更易维持瓦斯浓度在安全范围。二者融合需重点解决技术参数匹配问题,如防突钻孔间距与通风网络节点位置的协同规划,避免因钻孔施工破坏通风构筑物导致风流短路。

4.2 一通三防技术集成的核心架构设计

集成架构以“数据驱动-分层协同-动态响应”为设计原则,构建覆盖监测、分析、决策、执行的全链条体系。数据层整合通风参数、瓦斯浓度、应力变化等多源信息,通过物联网传感器实现实时采集与传输;分析层依托数值模拟与机器学习模型,对瓦斯运移规律、突出危险性进行动态评估;决策层根据分析结果生成防治方案,自动匹配通风系统调节、防突措施实施及防灭火策略;执行层通过智能控制设备完成风机变频、风门启闭、钻孔施工等操作。架构设计强调模块化与可扩展性,各子系统既可独立运行,又能通过标准化接口实现数据交互,适应不同矿井地质条件与开采工艺需求。

4.3 技术集成的运行流程与衔接机制

运行流程遵循“监测-预警-处置-反馈”闭环逻辑。监测环节通过多参数传感器网络持续采集工作面环境数据,重点关注瓦斯浓度变化率、应力异常区域等关键指标;预警环节基于预设阈值与趋势分析模型,对潜在风险进行分级预警,区分通风系统故障、瓦斯超限、突出前兆等不同场景;处置环节根据预警类型自动启动对应措施,如调整通风机转速、启动局部通风机、实施超前钻

孔排放等;反馈环节将处置效果数据回传至分析层,优化模型参数并调整后续防治策略。衔接机制通过统一数据平台实现各环节无缝对接,避免因信息滞后导致防治措施失效。

4.4 技术集成的维护与优化逻辑

维护逻辑以“预防性检修-状态监测-性能评估”为核心,制定差异化维护策略。通风设备采用定期巡检与在线监测结合方式,重点检查风机叶片磨损、风门密封性等关键部件;防突设备实施“一孔一策”管理,根据钻孔施工记录评估设备性能衰减趋势;监测系统建立数据质量校验机制,剔除异常值并补充缺失数据。优化逻辑聚焦于技术参数动态调整与系统效能提升,通过大数据分析挖掘历史数据中的关联规律,优化通风网络阻力分布、防突钻孔布局等参数;引入数字孪生技术构建虚拟矿井模型,模拟不同工况下技术集成效果,为方案优化提供理论支撑^[5]。维护与优化过程需建立闭环管理机制,确保每次调整均能提升系统整体可靠性。

结束语

煤矿瓦斯治理是一项长期且复杂的系统工程,一通三防技术在其间发挥着不可替代的作用。通过构建通风技术基础架构、完善防突技术应用体系,并实现一通三防技术的集成化治理,能够有效应对瓦斯治理中的各种难题。在实践应用中,需不断优化技术参数、强化系统维护,确保各技术环节紧密衔接、高效运行。如此,方能切实提升煤矿瓦斯治理成效,为煤矿安全生产筑牢坚实防线。

参考文献

- [1]于宏阳,陈童,李美晨.煤矿安全工程中“一通三防”技术的应用[J].中国公共安全,2025(4):184-186.
- [2]马季.“一通三防”技术在煤矿安全生产中的应用探究[J].内蒙古煤炭经济,2021(10):132-133.
- [3]李伟.煤矿工作面综合防尘及“一通三防”设计研究[J].能源与环保,2025,47(12):65-69,76.
- [4]弓慧敏.煤矿一通三防工作中的危险源分析及预控探析[J].矿业装备,2021(01):114-115.
- [5]王献计.“一通三防”技术在低瓦斯煤矿的应用[J].当代化工研究,2021,(14):73-74.