

煤矿井下防尘防灭火技术研究

邵毅峰

中国平煤神马控股集团有限公司平煤股份八矿 河南 平顶山 467001

摘要: 煤矿井下作业环境复杂, 粉尘与火灾隐患严重威胁安全生产。本文深入剖析煤矿井下防尘核心技术体系, 涵盖源头、过程、净化及个体防护技术; 探讨防灭火核心技术体系, 包括灌浆、惰性气体、阻化剂、凝胶及其他辅助技术。分析现存技术应用问题, 涉及防尘、防灭火技术本身及两者协同应用、配套体系等方面。针对性地提出防尘、防灭火技术优化措施, 以及两者协同与技术应用配套体系优化路径, 为煤矿井下安全防控提供理论支撑与实践指导。

关键词: 煤矿井下; 防尘技术; 防灭火技术; 技术应用; 优化路径

引言: 煤矿作为我国重要能源产业, 井下作业安全至关重要。然而, 井下采掘、运输等环节会产生大量粉尘, 不仅危害作业人员健康, 还可能引发粉尘爆炸; 同时, 煤自燃等因素易导致火灾发生, 严重威胁煤矿安全生产。防尘防灭火技术是保障煤矿井下安全的关键手段。当前, 虽然已形成一定的防尘防灭火技术体系, 但在实际应用中仍存在诸多问题, 影响防控效果。因此, 深入研究煤矿井下防尘防灭火技术, 优化技术应用路径, 具有重要的现实意义。

1 煤矿井下防尘核心技术体系

1.1 源头防尘技术

源头防尘技术聚焦井下粉尘产生初始环节, 通过技术手段减少粉尘生成, 是井下防尘体系的基础。针对采掘工作面粉尘释放, 采用煤层注水技术, 合理选取注水参数、优化注水工艺, 让水分渗透煤层内部, 降低煤体裂隙发育程度, 减少采掘时煤尘剥离与飞扬。结合采掘设备改造, 在采煤机、掘进机作业部位设置喷雾装置, 利用高压水雾预湿润煤体, 弱化粉尘产生的动力条件。优化采掘工艺参数, 控制采掘速度与截割深度, 减少煤体破碎程度, 从根本上抑制粉尘源头释放, 技术应用贴合煤矿采掘作业实际, 依托煤矿粉尘防治工程技术规范形成。

1.2 过程抑尘技术

过程抑尘技术贯穿井下采掘、运输、转载全作业流程, 通过实时干预粉尘扩散路径, 控制粉尘漂浮与蔓延。在井下运输巷道与转载点, 设置连续喷雾抑尘系统, 根据作业强度调整喷雾压力与流量, 形成均匀水雾幕, 拦截运输中扬起的粉尘。采用通风除尘协同技术, 优化井下通风系统布局, 控制通风风速, 既保障作业面通风需求, 又能将悬浮粉尘及时排出, 避免粉尘积聚^[1]。在掘进工作面采用湿式打眼、水炮泥等工艺, 减少钻孔

与爆破过程中的粉尘释放, 通过工艺与技术结合, 实现作业全过程粉尘抑制, 技术原理符合流体力学与粉尘运动规律。

1.3 净化除尘技术

净化除尘技术针对已悬浮于井下空气中的粉尘, 通过专用设备实现捕捉与净化, 降低作业环境粉尘浓度。井下主要作业面与巷道内, 部署高效布袋除尘器与静电除尘器, 利用过滤、静电吸附等原理, 捕捉悬浮粉尘, 净化后的空气重新排入作业区域。在综采工作面采用粉尘净化风机, 通过负压吸附作用, 将作业面悬浮粉尘吸入净化装置, 实现集中处理与回收。优化除尘设备安装位置与运行参数, 确保与作业面工况适配, 提升净化效率, 技术依托工业除尘技术发展成果, 结合井下特殊环境优化改进。

1.4 个体防护技术

个体防护技术作为井下防尘体系的最后一道防线, 聚焦作业人员自身防护, 通过专用装备减少粉尘吸入, 弥补其他技术防护盲区。为井下作业人员配备符合煤矿安全标准的防尘口罩、防尘面罩等装备, 选用高效过滤材料提升过滤效果, 同时优化佩戴舒适性, 确保规范佩戴。定期检查、清洗与更换防护装备, 保障防护性能, 避免装备老化、破损导致防护失效。加强作业人员防护知识培训, 引导正确使用防护装备, 形成常态化防护意识, 结合职业健康防护技术与井下作业特点, 是防尘技术体系中不可或缺的组成部分。

2 煤矿井下防灭火核心技术体系

2.1 灌浆防灭火技术

灌浆防灭火技术是煤矿井下预防性防灭火的核心技术之一, 依托煤自燃机理与灌浆材料特性形成, 适用于井下采空区、煤层裂隙等易发火区域^[2]。通过制备由黏土、粉煤灰等材料组成的浆液, 利用输送设备将浆液注

入易发火区域，浆液凝结后形成致密隔离层，隔绝空气与煤体接触，抑制煤体氧化升温。优化灌浆参数与输送工艺，根据井下地质条件调整浆液浓度与注入量，确保浆液均匀覆盖发火隐患区域，阻断煤自燃的链式反应，同时兼具降温作用，为井下防灭火提供基础保障。

2.2 惰性气体防灭火技术

惰性气体防灭火技术通过向井下易发火区域注入惰性气体，降低区域内氧气浓度，破坏煤自燃的氧气供给条件，实现防灭火目的。常用惰性气体包括氮气、二氧化碳等，依托气体制备与输送技术，将惰性气体均匀注入采空区、巷道高冒区等区域，置换区域内空气，使氧气浓度降至煤自燃临界值以下。优化气体注入路径与流量，确保惰性气体在目标区域充分扩散，维持稳定的低氧环境，既能用于预防性防灭火，也可用于初期火灾的处置，技术应用贴合井下通风与防灭火工程实践。

2.3 阻化剂防灭火技术

阻化剂防灭火技术利用阻化剂的化学特性，抑制煤体氧化反应速率，延缓煤自燃进程，适用于井下煤层暴露面、采空区等区域。选取具有良好阻化效果的化学药剂，通过喷洒、灌注等方式作用于煤体表面，形成阻化膜覆盖煤体，隔绝氧气与煤体接触，同时降低煤体氧化活性。优化阻化剂浓度与施加工艺，根据煤体特性调整用量，确保阻化剂与煤体充分接触，延长阻化有效期，依托煤自燃化学抑制理论，形成成熟的技术应用体系。

2.4 凝胶防灭火技术

凝胶防灭火技术结合胶体材料特性与防灭火需求，通过将凝胶材料注入易发火区域，形成具有良好密封性与稳定性的凝胶体，实现防火与灭火双重效果。凝胶体可填充煤体裂隙与采空区空隙，隔绝空气流通，同时具备良好的吸热降温作用，能够快速降低煤体温度，抑制煤自燃发展。优化凝胶配比与注入工艺，提升凝胶体的强度与稳定性，适应井下复杂地质与温度条件，可有效处置隐蔽性火灾隐患，弥补传统防灭火技术的不足。

2.5 其他防灭火辅助技术

防灭火辅助技术是核心防灭火技术的重要补充，围绕井下火灾监测与隐患防控形成，提升防灭火体系的完整性。温度监测技术通过部署测温设备，实时捕捉井下区域温度变化，及时发现温度异常，为防灭火处置提供数据支撑。堵漏封堵技术针对井下巷道裂隙、采空区漏风通道，采用封堵材料进行密闭处理，减少漏风，降低煤体氧化速率。均压通风技术优化井下通风压力分布，减少漏风风量，抑制采空区煤自燃，与核心防灭火技术协同作用，构建全方位的井下防灭火体系。

3 煤矿井下防尘防灭火技术应用现存问题

3.1 防尘技术应用相关问题

防尘技术应用过程中，技术适配性不足成为突出问题，受井下地质条件与作业工况影响，部分防尘技术难以充分发挥作用。源头防尘技术中，煤层注水工艺参数调整不及时，难以适配不同硬度、裂隙发育程度的煤层，导致注水效果不佳，粉尘源头抑制作用弱化^[3]。过程抑尘与净化除尘设备部署不合理，与采掘作业节奏衔接不畅，设备运行易受井下潮湿、粉尘等环境影响，出现故障频次较高，影响防尘连续性。防尘技术更新滞后，部分老旧技术仍广泛应用，难以满足井下高强度采掘作业的防尘需求，技术应用与实际作业需求存在脱节，依托煤矿安全工程领域研究成果可知，此类问题在井下采掘工作面较为普遍。

3.2 防灭火技术应用相关问题

防灭火技术应用存在针对性不强、工艺不完善等问题，制约防灭火效能发挥。灌浆防灭火技术中，浆液制备浓度把控不精准，输送过程中易出现沉淀、堵塞现象，导致浆液覆盖不均匀，无法有效隔绝空气。惰性气体防灭火技术中，气体注入路径设计不合理，气体扩散不均匀，部分隐蔽发火区域难以覆盖，无法实现全方位防灭火。阻化剂与凝胶防灭火技术中，材料选型与煤体特性适配度不够，阻化与凝胶效果衰减较快，需要频繁补充施工，增加作业成本与劳动强度，相关问题符合煤矿井下防灭火技术应用的实际痛点。

3.3 防尘与防灭火技术协同应用问题

防尘与防灭火技术应用缺乏有效协同，形成各自为战的局面，难以构建全方位防控体系。防尘技术应用过程中，部分喷雾、淋水等工艺会改变井下局部湿度与通风条件，间接影响防灭火技术效果，增加煤体氧化与发火隐患。防灭火技术实施时，灌浆、凝胶注入等操作可能堵塞防尘设备管路，影响防尘技术正常运行。两者应用缺乏统一规划与协调，技术参数调整未充分考虑相互影响，导致防控效能相互削弱，无法形成1+1>2的协同效应，这一问题已成为煤矿井下安全防控体系完善的重要阻碍。

3.4 技术应用配套相关问题

技术应用配套体系不完善，成为制约防尘防灭火技术落地见效的重要因素。设备配套方面，部分防尘防灭火设备老化、性能落后，缺乏专业的维护与检修机制，设备运行稳定性不足，难以长期满足井下防控需求。人员配套方面，作业人员专业技能不足，对技术原理、操作规范掌握不熟练，易出现操作失误，影响技术应用效

果,同时缺乏系统的技能培训体系,难以适应技术更新需求。管理配套方面,技术应用缺乏完善的管控流程,参数调整、设备运维等环节缺乏规范指导,技术应用的规范性与科学性不足,结合煤矿安全管理相关研究,配套体系不完善已成为技术应用效能提升的主要瓶颈。

4 煤矿井下防尘防灭火技术优化路径

4.1 防尘技术优化措施

针对防尘技术应用痛点,结合煤矿采掘作业实际与粉尘防治技术发展趋势,从技术适配性与更新升级两方面开展优化^[4]。优化源头防尘技术工艺,根据煤层地质特性动态调整煤层注水参数,改进注水方式,提升水分渗透效率,强化粉尘源头抑制效果。合理调整过程抑尘与净化除尘设备部署位置,结合采掘作业节奏优化设备运行参数,提升设备抗井下恶劣环境能力,减少设备故障频次,保障防尘连续性。加快老旧防尘技术迭代更新,引入高效、节能的新型防尘技术与设备,推动防尘技术向精细化、智能化方向发展,弥补传统技术短板,实现防尘技术与井下作业需求精准适配。

4.2 防灭火技术优化措施

围绕防灭火技术针对性不强、工艺不完善等问题,结合煤自燃机理与防灭火技术应用实践,开展精准优化。优化灌浆防灭火技术,精准把控浆液制备浓度,改进输送工艺,减少浆液沉淀与堵塞,确保浆液均匀覆盖易发火区域。完善惰性气体防灭火技术注入路径设计,采用分区注入方式,提升气体扩散均匀性,实现隐蔽发火区域全覆盖。优化阻化剂与凝胶材料选型,结合煤体特性筛选适配性强、效果持久的材料,改进施加工艺,延长阻化与凝胶有效期,降低作业成本与劳动强度,提升防灭火技术针对性与有效性。

4.3 防尘与防灭火技术协同优化

打破防尘与防灭火技术各自为战的局面,构建协同防控体系,实现两项技术效能互补。在技术应用规划阶段,统筹考虑两者相互影响,优化技术部署与参数设置,避免工艺冲突。针对喷雾、淋水等防尘工艺对防灭火的影响,优化工艺参数,控制作业范围与水量,减少对井下局部湿度、通风条件的干扰,降低煤体氧化发火隐患。在防灭火施工过程中,合理规划灌浆、凝胶注入

路径,避开防尘设备管路,避免影响防尘技术正常运行。建立技术协同管控机制,根据井下作业工况动态调整两项技术的运行参数,实现防控效能最大化。

4.4 技术应用配套体系优化

完善技术应用配套体系,为防尘防灭火技术落地见效提供保障,结合煤矿安全管理与设备运维规范开展优化^[5]。设备配套方面,淘汰老化、性能落后的设备,引入智能化、高效化的新型设备,建立专业化设备维护检修机制,定期开展设备检测与保养,提升设备运行稳定性。人员配套方面,构建系统的技能培训体系,强化作业人员对技术原理、操作规范的掌握,提升专业技能水平,减少操作失误,同时建立考核机制,规范作业行为。管理配套方面,完善技术应用管控流程,明确参数调整、设备运维等环节的规范要求,提升技术应用的规范性与科学性,推动配套体系与技术应用同步升级,保障技术效能充分发挥。

结束语

煤矿井下防尘防灭火技术对于保障煤矿安全生产意义重大。通过剖析现有防尘防灭火核心技术体系,明确了各项技术的原理与应用要点。针对技术应用中存在的适配性不足、针对性不强、协同性差及配套不完善等问题,提出了针对性的优化措施,涵盖技术自身改进、协同防控体系构建以及配套体系完善等方面。这些优化路径有助于提升煤矿井下防尘防灭火技术水平,增强煤矿安全防控能力,为煤矿的稳定生产与作业人员的生命安全提供坚实保障。

参考文献

- [1] 庠晓波.煤矿井下防尘防灭火技术研究[J].凿岩机械气动工具,2025,51(6):193-195.
- [2] 王光明,元志伟.探究综合防灭火技术在煤矿中的有效实施[J].内蒙古煤炭经济,2024(11):97-99.
- [3] 王琦,王坤,张强.煤矿综采工作面防灭火技术探讨[J].消防界(电子版),2024,10(08):71-73.
- [4] 尹智伟.关于通风防灭火技术在煤矿中的实践探析[J].山西化工,2023,43(11):179-181.
- [5] 肖剑,张露.煤矿综采工作面综合防灭火技术的应用研究[J].当代化工研究,2024(2):67-69.