

井下掘进皮带机超温烟雾联动洒水系统运行可靠性提升对策

段志刚

山西省临汾市中煤华晋集团韩咀煤业有限公司

DOI : 10.32629/jpm.v7i7.8992

[摘 要] 本文结合井下掘进巷道敲帮问顶、临时支护、穿层掘进、顶板淋水等现场施工规范，从系统核心组成关键技术优化、全流程现场管控策略两大维度展开研究，梳理温度、烟雾传感、洒水喷淋、联动控制单元优化改造方案，配套设备安装、日常巡检、掘进施工交叉防护、专项检修等全链条管理措施，配套系统核心参数、故障成因处置两张数据表，形成一套适配井下掘进复杂环境的系统可靠性提升方案，有效降低皮带火灾事故风险，保障掘进工作面安全生产。

[关键词] 掘进皮带机；超温烟雾联动洒水；设备管控；井下支护

Countermeasures for improving the operational reliability of the over-temperature and smoke interlocking water sprinkling system for underground tunneling belt conveyors

Duan Zhigang

Shanxi Linfen Zhongmei Huajin Group Hanju Coal Mining Co., Ltd.

[Abstract] This paper integrates field construction specifications for underground tunneling operations—including roof and wall tapping, temporary support, cross-layer tunneling, and roof waterlogging—by conducting research from two major dimensions: the optimization of key technologies within the system's core components and the development of full-process on-site control strategies. The study outlines optimization and retrofitting schemes for temperature monitoring, smoke detection, sprinkler systems, and interlocking control units; complements these with comprehensive chain-based management measures—including equipment installation, routine inspections, cross-protection during tunneling operations, and specialized maintenance; and provides two data tables detailing the system's core parameters and troubleshooting procedures for fault occurrences. Together, these elements form a systematic reliability enhancement solution tailored for the complex environments encountered in underground tunneling, effectively reducing the risk of belt conveyor fire accidents and ensuring safe production at the tunneling face.

[Key words] Tunneling Belt Conveyor; Overtemperature and Smoke Interlocking Sprinkler System; Equipment Control; Underground Support Systems

煤矿井下掘进巷道作业环境复杂，掘进、支护、出矸多工序同步开展，皮带机作为核心转运设备，长期在高粉尘、顶板淋水、围岩挤压的恶劣工况下运行。设备滚筒、电机等部件持续摩擦易产生高温、烟雾，进而引发皮带火灾，威胁巷道施工安全。超温烟雾联动洒水系统是皮带火灾主动防控的关键设

施，但受井下特殊地质条件、施工干扰、运维管理不足等影响，设备易出现传感误报、联动失灵、管路堵塞等故障，运行可靠性大幅下降。对此，本文从关键技术优化、现场管控策略两方面入手，针对性提升系统运行稳定性，为井下掘进安全生产提供保障。

1 井下掘进皮带机超温烟雾联动洒水系统优化关键技术

1.1 温烟双传感采集装置井下适配改造技术

井下掘进工作面粉尘浓度高、顶板淋水持续存在，普通温度、烟雾传感器极易出现探头积尘、进水短路、信号漂移误报警问题，直接造成系统频繁误洒水或火情无响应，需从传感器选型、安装防护、信号传输三方面完成技术升级。优先选用矿用本安型复合型温烟一体化传感器替代分体式设备，一体式传感器外壳采用加厚不锈钢密封结构，防护等级达到 IP68，可抵御顶板淋水持续浸泡，内置防尘自清洁吹扫组件，依托皮带机压风管路引入低压风持续吹扫探头表面，避免掘进矸石粉尘覆盖感应元件^[1]。

传感器安装点位需结合掘进支护范围划定标准位置，皮带驱动滚筒、机尾滚筒两侧各布设一台复合型传感器，安装高度距离皮带机上表面 300mm，距离巷道永久支护顶板不小于 500mm，避开前探梁、吊环、锚杆锚索等临时支护构件传递、吊装作业区域，预留不少于 30m 备用板梁存放避让空间，防止支护物料磕碰损坏传感探头。信号传输摒弃普通橡胶电缆，选用铠装屏蔽矿用通信线缆，线缆外部加装 U 型镀锌防护槽，固定于巷道两帮永久支护锚杆上，穿层掘进段、顶板破碎区域线缆增设双层钢板，抵御围岩变形挤压撕裂线路，保障传感信号稳定传输至控制主机。见图 1。

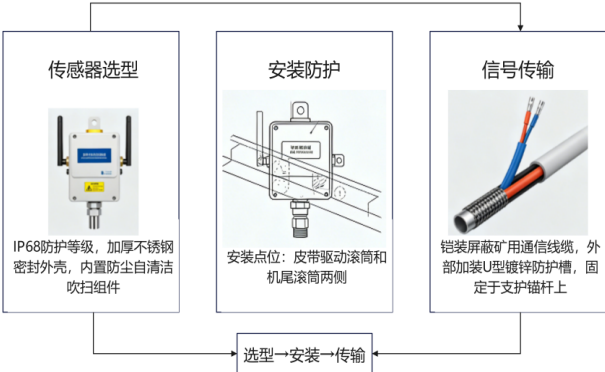


图 1 温烟双传感采集装置井下适配改造技术

1.2 分段式全覆盖洒水喷淋系统优化技术

对管路布局、喷头选型、分段供水结构进行改造，喷淋管

路采用无缝镀锌钢管作为主供水管道，沿皮带机两侧分段布设，机头、机身、机尾划分为三个独立供水单元，每个单元配备独立电磁阀，实现火情区域精准洒水，避免全巷道大面积积水影响掘进支护施工。喷头选用矿用防堵扇形雾化喷头，进水口加装 60 目不锈钢前置过滤器，拦截水中泥沙、巷道煤泥杂质，过滤器设置快速拆卸接口，检修班可配合敲帮问顶作业同步完成滤网清理；喷头外部加装弧形钢制防撞护罩，抵御矸石滚落、工具搬运撞击，护罩与柔性挡网吊挂位置错开，迎头柔性挡网封闭区域喷头护罩加厚 2mm，防止挂网作业磕碰损坏喷淋组件。

针对过顶板淋水掘进巷道，喷淋管路外部包裹聚氨酯防腐保温层，每隔 20m 管路低点安装自动排污阀，配合顶板离层监测同步开展管路渗漏检查；穿层掘进段缩小喷淋管路固定锚杆排距至 800mm，管路支架采用钢护板增大受力面积，避免巷道片帮、围岩变形拉扯管路断裂。洒水覆盖范围严格匹配皮带全断面，喷头喷射角度 45°，相邻喷头喷射区域重叠不少于 100mm，滚筒摩擦发热重点区域增设增压喷头，提升高温部位降温灭火效果。

1.3 喷淋供水稳压与管路防护配套技术

井下掘进巷道供水管路水压波动大，迎头掘进用水、支护注浆用水分流时，喷淋系统供水压力不足，洒水雾化效果差，同时围岩变形、支护施工易挤压管路破损，需配套稳压装置与全方位管路防护技术。在皮带机头供水总管路增设隔膜式稳压水箱，水箱容积 0.8m³，维持喷淋管路水压稳定在 0.3~0.5MPa，掘进迎头注浆、打锚杆用水高峰时段，稳压水箱持续补水保障喷淋系统压力达标；淋水巷道稳压水箱外部加装防水护棚，配套排水管路及时疏导顶板滴水，避免水箱锈蚀渗漏^[2]。供水管道沿巷道永久支护布置，避开临时支护构件传递、敲帮问顶作业通道，后路保持完全畅通，防止人员撤退、物料搬运剐蹭管路；巷道变坡、变断面、扩修施工段管路采用柔性伸缩接头，适应围岩微小变形，杜绝管路拉裂漏水。

穿层掘进破碎顶板区域，供水管路每排支护锚杆增设一处固定卡扣，帮部底角锚杆同步固定底部管路，煤岩交接破碎位置采用锚索替代锚杆加固管路支架；管路转弯、阀门位置设置专用操作空间，检修人员开展管路疏通作业时，可站在支护完好区域完成操作，符合敲帮问顶安全作业规范。见表 1。

表 1 优化后超温烟雾联动洒水系统核心设备技术参数表

设备名称	型号规格	核心技术参数	井下适配优化配置
复合型温烟传感器	GQQ5 (A)	测温 0~120℃，烟雾响应≤30s，输出 485 信号	IP68 密封外壳、压风自清洁探头、铠装屏蔽线缆
防堵雾化洒水喷头	BPW-10	喷射角度 45°，工作压力 0.3~0.5MPa，雾化粒径≤0.5mm	60 目前置过滤器、弧形防撞钢护罩
隔爆联动控制主机	KXJ127	输入电压 127V，双路信号识别，30 天数据存储	稳压电源、故障自诊断、防水接线端子
稳压供水水箱	LW-0.8	容积 0.8m³，稳压区间 0.3~0.5MPa	防水防腐护棚、自动补水排污阀
喷淋主供水管	DN40 无缝镀锌钢管	工作压力 1.0MPa，壁厚 3mm	聚氨酯防腐层、柔性伸缩接头、钢护板支架

2 掘进皮带联动洒水系统全流程运行管控策略

系统安装作业前，当班跟班队干必须组织完整敲帮问顶作业，找出作业区域危岩活矸，确认顶板支护完好后方可开展管

2.1 系统标准化安装施工管控措施

线、传感器布设；安装人员不得背靠迎头未支护端面作业，临时支护构件吊环、背板、前探梁采用手递手传递，禁止抛掷碰撞已安装完成的传感、喷淋设备^[3]。传感器、控制主机安装点位提前与生产调度室报备，避开 3m 范围内交叉巷道、构造破碎带起吊区域，若需在顶板锚索起吊点周边布设设备，重物起吊重量不得超过 60kg，且提前报备生产技术部门审批。

巷道开口、变断面、扩修施工段安装喷淋管路时，缩小管路固定锚杆排距至 800mm，帮部破碎区域采用锚索加固管路支架；柔性挡矸网吊挂位置与喷淋喷头预留 500mm 安全间距，遵循“先顶后帮”挂网顺序，防止挂网作业时工具刚蹭喷头、线缆。系统全部设备安装完成后，开展全流程联动模拟试验，模拟 80℃ 高温、高浓度烟雾双重触发条件，检验洒水覆盖范围、皮带停机、调度室信号上传全流程动作有效性，试验记录同步留存，作为锚杆锚固力试验同步归档资料。

2.2 掘进多工序交叉作业设备防护管控策略

掘进工作面掘进、支护、出矸、检修多工序交叉开展，支护物料搬运、敲帮问顶、挂设柔性挡矸网、顶板起吊作业极易损坏洒水系统组件，需划分设备防护责任区，落实工序隔离防护要求。划分机头、机身、机尾三段设备防护责任区，每段安排专职设备维护工跟班值守，敲帮问顶作业前，维护工提前检查作业区域传感器、喷头防护护罩完好情况，大块煤矸找顶作业时，使用硬质挡板遮盖探头与喷淋管路，防止滚落矸石撞击设备；找顶作业仅安排一组人员施工，作业人员站在系统线缆、管路侧后方，保证撤退后路无管线、设备阻挡。临时支护板梁、锚杆锚索物料统一堆放在工作面后方 30m 指定区域，物料堆放区域远离喷淋供水主管道，搬运长杆支护工具时，专人引导避开传感线缆、喷头位置，杜绝拖拽刚蹭破损线路。

检修班整体检修作业前，必须提前吊挂迎头柔性挡矸网封

闭工作面，同步对挡矸网内侧喷淋设备加装双层防护帆布；穿层掘进超前支护、注浆施工时，注浆管路与喷淋供水管路分区布设，注浆浆液不得沾染传感器探头，施工完成后及时使用压风清理探头表面浆液残留。顶板起吊重物作业时，起吊范围划定警戒区，严禁吊具、物料触碰联动控制主机与稳压水箱，起吊超过 3 吨设备提前会商确定吊装路线，避开全部喷淋系统管线。

2.3 分时段分级常态化巡检运维制度

结合掘进生产班、检修班作业时间划分巡检等级，区分日常简易巡检、全面深度巡检、淋水专项巡检三类模式，精准排查系统渗漏、堵塞、信号故障，做到隐患早发现早处置。生产班每班生产前开展 5 分钟简易巡检，由皮带机司机完成，重点查看传感器探头积尘、喷头护罩完好、管路有无明显漏水，水压表数值是否维持 0.3MPa 以上，发现探头轻微积尘使用现场压风筒易吹扫，护罩轻微变形及时校正，无法现场处置的故障立即停机汇报班队干，禁止带故障运行系统。检修班每日停工后开展全面深度巡检，配合敲帮问顶完成巷道顶板隐患排查的同时，拆解喷淋喷头前置过滤器清理煤泥杂质，检查铠装线缆外皮有无挤压破损，调取控制主机故障记录，校验温烟传感器预警阈值，同步完成锚杆锚固力试验、顶板离层仪观测数据与系统运行记录合并归档^[4]。

针对顶板淋水超过 5m 的巷道，执行每日专项巡检制度，每 20m 一组顶板离层仪观测数据同步关联喷淋管路防腐检查，管路防腐层脱落、渗水点位立即包裹聚氨酯防腐材料；涌水量大于 5m³/h 区域，同步开展探放水作业与喷淋稳压水箱渗漏检查，疏放顶板淋水后重新紧固管路接头，消除渗水锈蚀隐患。每月组织一次全系统联动模拟测试，人为模拟火情触发系统，检验电磁阀响应速度、洒水覆盖效果、皮带连锁停机功能，测试不合格设备全部更换改造。

表 2 系统常见故障成因、处置方案

故障类型	主要成因	长效管控预防措施
温烟传感器误报警	探头积尘、顶板淋水进水、电压波动	每班吹扫探头，淋水巷道选用 IP68 传感器，主机加装稳压模块
喷淋喷头堵塞不出水	水中煤泥杂质、矸石撞击变形	检修班定期清洗滤网，所有喷头加装弧形钢护罩
联动系统无洒水动作	电磁阀损坏、信号线缆断裂、水压不足	管线加装钢护板，每日巡检水压，每月联动模拟测试
管路渗漏锈蚀	顶板长期淋水、围岩挤压拉扯	淋水段管路包覆聚氨酯，破碎巷道采用伸缩接头
系统联动逻辑失效	主机粉尘堆积、杂散电流干扰	主机每日吹扫，远离大功率起吊设备，独立供电布线

结语：

井下掘进皮带机超温烟雾联动洒水系统是遏制皮带火灾、保障掘进工作面安全的核心消防设施，井下狭窄空间、顶板淋水、破碎围岩、多工序交叉支护施工等复杂工况持续制约系统稳定运行。通过硬件技术改造消除设备环境适配缺陷，依靠全流程管控规避掘进施工带来的人为、地质类故障，双重举措同步落地，能够有效降低系统误报、洒水失效、管路破损等故障发生率，保证火情发生时系统快速响应、精准洒水灭火。后续煤矿现场可结合自身巷道地质条件、掘进工艺，对文中技术参数、管控细则进行微调落地，持续完善联动洒水系统运维标准，从设备、管理双重层面筑牢井下皮带火灾防控防线，保障井下掘进作业安全稳定开展。

【参考文献】

[1]赵科旗.煤矿皮带机常见故障分析及处理方法[J].能源与节能,2026,(5):316-318+322.

[2]孙浩斌.煤矿皮带机皮带状态智能监测方案的设计与应用[J].自动化应用,2026,67(9):219-221.

[3]范红斌,毕圣昊.煤矿掘进机大角度拐弯装备技术研究与应用[J].山东煤炭科技,2022,40(4):121-122+125+131.

[4]李源.煤矿井下掘进煤矸运输筒易皮带机的设计 and 应用[J].机械管理开发,2018,33(8):143-144.

作者简介：段志刚，1985 年 5 月—，汉族，河北邯郸市人，研究方向：测控技术与仪器专业。