

煤矿掘进工作面井下电气设备防爆全流程管控体系构建

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.v7i9.9042

[摘要] 本文结合掘进工作面敲帮问顶、临时支护、穿层掘进、淋水巷道施工等现场作业特征，从防爆关键核心技术、全流程闭环管控策略两大维度搭建完整防爆管控体系。系统梳理设备隔爆结构、供电闭锁保护、电缆敷设防护、智能监测预警四类核心技术应用路径，围绕设备准入、井下安装、运行巡检、检修维护、报废处置全生命周期制定分级管控机制，同步融合顶板支护、柔性挡矸网、起吊点管理等掘进专项施工措施，实现电气防爆与巷道围岩治理协同管控。

[关键词] 煤矿掘进工作面；井下电气设备；防爆；全流程管控

Establishment of a Comprehensive Explosion-Proof Control System for Underground Electrical Equipment at Coal Mine Tunneling Work Faces

Duan Zhigang

Hanju Coal Industry Co., Ltd., Shanmei Huajin Group, Linfen City Shanxi Province

[Abstract] This paper integrates field operational characteristics of coal mine tunneling faces—such as roof and wall inspection, temporary support, cross-stratum tunneling, and construction in water-affected roadways—to establish a comprehensive explosion-proof control framework from two key dimensions: critical core technologies for explosion prevention and full-process closed-loop control strategies. The study systematically delineates the application pathways of four core technologies: explosion-proof equipment structures, power supply interlock protection, cable laying protection, and intelligent monitoring and early warning systems. Furthermore, it develops a tiered control mechanism encompassing the entire equipment lifecycle—from qualification and underground installation to operational inspection, maintenance, and decommissioning. Simultaneously, this framework incorporates specialized tunneling construction measures, including roof support, flexible gangue barrier nets, and lifting point management, thereby achieving coordinated control between electrical explosion prevention and roadway rock mass management.

[Key words] coal mine tunneling faces; underground electrical equipment; explosion prevention; full-process control

井下掘进是矿井生产开拓的核心环节，掘进迎头地质条件复杂多变，普遍存在顶板破碎、淋水渗水、瓦斯析出、片帮落矸等风险。工作面电气设备需频繁移动、启停作业，受施工磕碰、环境侵蚀影响，极易出现防爆结构失效、线路破损等失爆隐患，一旦引发电火花，极易诱发瓦斯、煤尘爆炸事故。当前煤矿掘进电气防爆普遍存在管控碎片化、技术措施与现场施工脱节、隐患闭环不到位等问题。为此，本文结合掘进专项施工规范，构建涵盖核心防爆技术、全流程闭环管控的一体化体系，

全面防控电气失爆风险，保障掘进工作面安全生产。

1 煤矿掘进工作面电气防爆关键核心技术

1.1 适配掘进工况的防爆设备选型与隔爆结构技术

掘进工作面动态施工属性决定电气设备不能直接沿用固定硐室防爆装备，需依托标准化隔爆结构技术匹配迎头复杂环境，从硬件源头阻断电火花外泄通道。掘进迎头所有移动电气设备必须选用符合GB3836标准的矿用隔爆兼本质安全型设备，高瓦斯、突出矿井掘进巷道电气设备防爆等级提升至Exd I Mb，

杜绝普通防爆设备混用^[1]。设备壳体采用加厚 304 不锈钢或高强度铸铝材质，抵御掘进矸石滚落撞击，隔爆接合面宽度不低于 25mm，静态间隙控制在 0.2mm 以内，表面粗糙度 $Ra \leq 6.3 \mu m$ ，防止爆炸火焰穿出壳体引燃巷道瓦斯。针对顶板淋水巷道

使用的开关、变压器，设备防护等级提升至 IP68，配套邵氏硬度 65 ± 5 的耐低温橡胶密封胶圈，杜绝渗水腐蚀内部接线端子，避免绝缘击穿产生电火花。见表 1。

表 1 不同掘进工况防爆设备选型关键参数表

施工工况	防爆标志	外壳防护等级	壳体材质要求	隔爆面最小宽度	密封胶圈标准
普通干燥掘进巷道	Exd I	IP54	铸铝加厚壳体，增设防撞筋	25mm	普通橡胶胶圈，无破损缺口
顶板淋水巷道（涌水 $< 5m^3/h$ ）	Exd I Mb	IP67	304 不锈钢壳体	28mm	耐水橡胶，邵氏硬度 60~70
淋水破碎穿层巷道（涌水 $\geq 5m^3/h$ ）	Exd I Mb	IP68	不锈钢一体成型壳体	30mm	防水防腐复合胶圈
高瓦斯突出掘进工作面	Exd I Mb	IP65	铸钢防爆壳体，抗冲击	30mm	双层密封胶圈结构

1.2 掘进工作面供电系统“三大保护”与双闭锁安全技术

供电系统保护失效是掘进工作面电气失爆、漏电起火的主要诱因，以过流、漏电、接地三大保护为基础，搭配风电、瓦斯电双闭锁技术构建供电安全屏障，适配掘进局部通风独立供电需求。掘进局部通风机严格执行“三专两闭锁”供电技术标准，专用变压器、专用电缆、专用开关独立供给风机电源，备用风机配备自动切换防爆装置，主备电源分属两路独立供电回路，避免单回路断电造成停风瓦斯积聚^[2]。

低压配电网全装设漏电保护装置，每 6 个月开展一次漏电跳闸试验，掘进迎头移动设备支线增设分级漏电闭锁，电缆绝缘破损时瞬间切断电源，防止漏电产生高温电弧。过流保护分级匹配掘进机、锚杆钻机、风机负荷，短路、过载故障时防爆开关快速分断，避免线圈过热烧毁防爆壳体。全巷道构建一体化总接地网，掘进工作面单独设置局部接地极，移动式电气设备接地芯线电阻控制在 1Ω 以内，锚杆、锚索支护金属网、前探梁、吊环等金属构件全部接入接地系统，消除设备外壳静电积聚放电风险。瓦斯电闭锁装置与迎头瓦斯传感器联动，瓦斯浓度达到 0.8% 时报警，超过 1.0% 自动切断工作面全部非本质安全型电气电源；风电闭锁确保风机停止运转后，掘进动力设备无法启动，从供电逻辑上杜绝无风、瓦斯超限状态下电气设备运行产生点火源。

1.3 掘进巷道阻燃防爆电缆敷设与接线防护技术

掘进巷道电缆长期受顶板掉矸、巷道变形挤压、淋水侵蚀，不规范敷设极易出现破皮、明接头等失爆隐患，专用电缆防护技术实现布线、接线、防护全环节防爆管控。

掘进动力、信号、控制电缆统一选用无卤阻燃铜芯矿用电缆，高压、低压电缆分侧吊挂，电缆钩间距控制在 800mm，避开顶板淋水带、片帮风险区域，与前探梁、备用板梁、起吊锚索保持不少于 300mm 安全距离，防止支护施工刮蹭电缆外皮。迎头往后 30m 范围内备用板梁堆放区域增设电缆防护套管，敲帮问顶、挂设柔性挡矸网作业前，将下方电缆临时遮盖防护，杜绝找顶掉落矸石砸破绝缘层。所有电缆接头全部使用配套防爆接线盒，杜绝“鸡爪子、羊尾巴、明接头”三类违规接线；接线盒内部密封胶圈尺寸与电缆外径匹配，无缺口、无破损，电缆伸入盒壁 5mm~15mm，多余线缆盘放在接线盒外侧，不得挤压隔爆腔。巷道变坡、开口、扩修等断面变化位置，电缆增设弧形防护托架，巷道底板积水区域电缆抬高敷设，离地高度不低于 300mm，淋水段电缆外部加装防水防腐波纹管，阻断水汽侵蚀电缆接线端子。柔性挡矸网吊挂作业遵循“先顶后帮”顺序，作业前梳理周边电缆线路，防止挂钩、铁链划伤电缆绝缘层，实现支护施工与电缆防爆防护同步推进。见图 1

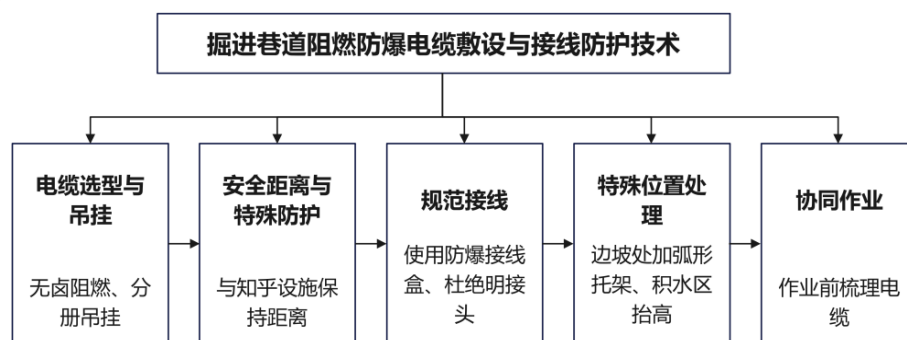


图 1 掘进巷道阻燃防爆电缆敷设与接线防护技术

2 掘进工作面电气防爆全流程闭环管控策略

2.1 设备入井准入管控：建立防爆资质前置验收机制

设备源头管控是全流程防爆管理的第一道关口，以标准化验收流程杜绝不合格防爆设备流入掘进工作面。煤矿机电科设立专职防爆验收岗，所有拟下井电气设备到货后，同步核产

品合格证、矿用安全标志、防爆检测报告三类核心资质，核对设备防爆等级、防护参数与掘进工作面瓦斯、水文条件匹配度，高淋水区域专用设备未达到 IP67 防护标准一律不予入库。验收环节逐台检查隔爆面有无划痕、锈蚀，密封胶圈、紧固螺栓、防爆衬垫等配件是否齐全，壳体存在磕碰变形、接线腔破损的

设备直接退回供应商，建立设备不合格台账记录追责^[3]。

入库设备实行一机一编号全生命周期台账管理，登记设备型号、防爆参数、入井时间、使用掘进巷道、检修周期；设备转运至井下过程中采用专用缓冲托架，严禁与锚杆、锚索、钢塑复合网等硬质物料混装运输，防止装卸、转运过程损伤隔爆壳体。掘进工作面更换新增电气设备前，施工队提前提交设备入井申请，机电、安检部门联合现场复核防爆完好性，未完成验收的设备禁止进入迎头作业区域，从采购、入库、转运全链条切断不合格设备下井通道。

2.2 井下安装与掘进施工协同防爆管控

掘进巷道施工工序复杂，敲帮问顶、临时支护、挂设挡矸网、起吊作业均会对电气设备造成物理损伤，需建立施工与防爆同步管控机制，规避交叉作业诱发失爆。巷道开口、变断面、穿层掘进施工前，专项安全技术措施中必须增设电气防爆专项条款，明确电气设备摆放位置、电缆防护方案、施工避让距离，未编制防爆配套措施不得开工。敲帮问顶作业由跟班队干统一指挥，找顶区域内移动电气设备提前断电转移至支护完好区域，退路畅通无电缆、管线阻挡，防止危岩掉落砸损设备；临时支护构件吊环、前探梁传递时手递手轻拿轻放，禁止抛掷撞

击周边防爆开关、电缆。

柔性挡矸网吊挂作业严格执行“先敲帮问顶、后挂网防护”流程，挂网前梳理迎头电缆线路，使用阻燃护管遮盖电缆，挂钩、铁链不得缠绕、挤压电缆；挂网完成后网内禁止放置任何电气设备，避免矸石冲击网体挤压设备壳体。顶板起吊点施工、重物起吊作业时，周边防爆电气设备加装临时防护挡板，起吊锚索打设、重物升降过程设专人监护机电设施，单点悬挂重物超过 60kg 未履行技术审批手续时，同步停止周边电气设备运转，防止震动造成隔爆螺栓松动。巷道过淋水区域施工时，同步升级设备防水密封配件，电缆抬高敷设，每掘进 5m 安排电工检查一次接线盒渗水情况，同步记录顶板淋水层位与设备防爆状态^[4]。

2.3 运行阶段分级巡检与动态隐患治理管控

掘进工作面电气设备持续移动、工况动态变化，构建班组日常巡检、机电专项旬检、矿级月度全面防爆检查三级巡检体系，实现隐患闭环整改。为清晰划分三级巡检的检查范围、频次、核心检测项目与处置标准，编制掘进工作面防爆分级巡检管控表如表 2 所示。

表 2 掘进工作面电气防爆三级巡检管控标准表

巡检层级	执行主体	巡检周期	核心防爆检查项目
班组日常巡检	当班电工、跟班队干	每班 2 次（支护前后各 1 次）	隔爆螺栓、密封胶圈、电缆外皮、闭锁装置、接地接线
机电专项旬检	机电队防爆检修班组	每 10 天全覆盖	隔爆间隙、漏电保护、接地电阻、传感器数据、接线盒防水
矿级月度大检查	机电科+安检科+总工程师	每月 1 次	开盖核验内部结构、拉拔试验、整机防爆性能、台账完整性

班组电工每班开展迎头防爆巡检，重点核查隔爆螺栓紧固度、密封胶圈完好性、电缆有无破皮、闭锁装置灵敏性，敲帮问顶、支护作业结束后追加一次专项检查，发现螺栓缺失、胶圈破损等轻微隐患当场处置，无法立即整改的设备断电隔离并挂牌警示。机电科每旬组织防爆专项检查，全覆盖核查移动变电站、掘进机、风机、锚杆钻机全部电气设备，重点检测隔爆间隙、接地电阻、漏电保护动作性能，同步核对智能监测系统数据，对淋水巷道、穿层破碎带设备加大检测频次。矿总工程师牵头每月开展全矿井掘进工作面防爆大检查，采取开盖抽查方式核验设备内部防爆结构，填写防爆检查卡留存设备腔内，对检查出的失爆隐患分级建档，一般隐患当班整改完成，重大失爆隐患立即停止掘进作业，由生产、机电、安检科室联合制定整改方案，整改完成复检合格后方可恢复施工。建

2.4 标准化检修作业防爆安全管控

井下防爆设备检修操作不规范极易人为造成失爆，严格落实断电、验电、隔离、防护标准化检修流程，同步兼顾顶板安全与电气防爆双重防护。所有防爆设备开盖检修必须执行停电、验电、放电、挂牌上锁流程，高压设备检修办理专项工作票，跟班队干现场监护，检修前完成迎头敲帮问顶，确认顶板无危岩活矸、支护完整后方可开展作业，检修区域柔性挡矸网提前吊挂到位，防止片帮冒矸坠落伤人、损坏设备。检修过程中禁止敲打、撞击隔爆壳体，隔爆接合面轻拿轻放，检修完毕清理接合面煤尘、积水，均匀涂抹防锈油脂，螺栓对角均匀紧

固，保证隔爆间隙符合标准。

淋水巷道设备检修完成后，更换全新防水密封胶圈，对接线盒内部做干燥防潮处理；更换电缆、调整供电线路后，必须做漏电保护试验、接地电阻检测，两项指标达标方可送电。设备大修升井检修后，由机电科重新开展防爆性能检测，出具检测合格证明才能再次下井使用，大修过程中更换壳体、接线腔等核心防爆部件的设备，重新核验煤安防爆资质，避免维修后防爆性能不达标。检修作业记录完整留存，标注检修位置、防爆部件更换情况、检测数据，纳入设备全生命周期台账。

[参考文献]

- [1]郭艳琴,石爱文,巩相呈.井下电气设备防爆技术应用研究[J].现代工业经济和信息化,2026,16(1):148-149.
- [2]马思晨.煤矿井下电气设备防爆管理方法[J].内蒙古煤炭经济,2023,(21):138-140.
- [3]闫振.井下电气设备防爆管理措施研究[J].产业创新研究,2020,(22):152-153.
- [4]王木.煤矿井下电气设备防爆管理策略[J].当代化工研究,2019,(6):164-165.

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。