

煤矿井下机电设备防爆管理研究

胡柏茂

内蒙古蒙泰不连沟煤业有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘 要：煤矿井下高瓦斯、高粉尘环境对机电设备防爆性能提出严苛要求。本文系统分析了隔爆外壳变形开裂、电缆引入装置密封失效、电气保护与接地系统失灵等典型“失爆”现象及成因，提出覆盖选型采购、入井验收、安装调试、运维检修的全生命周期管理策略，并探讨了在线监测预警、数字化管理平台、智能闭锁等智能化技术的应用路径，从制度、人员、环境三方面提出保障措施，为提升井下防爆管理水平提供参考。

关键词：煤矿安全；井下机电；防爆管理

引言：煤矿井下瓦斯与煤尘共存，电气火花极易引发爆炸事故，防爆电气设备是保障井下安全的核心防线。然而，隔爆外壳失爆、密封装置老化、保护系统失效等“失爆”问题频发，严重威胁矿井安全生产。本文围绕煤矿井下机电设备防爆管理，剖析失爆成因，构建全生命周期管控策略，结合智能化技术应用，提出系统性保障措施，旨在为煤矿企业规范防爆管理、防范爆炸事故提供理论与实践支撑。

1 煤矿井下防爆电气设备基础理论

煤矿井下属于高瓦斯、高粉尘的高危作业环境，易燃易爆气体与粉尘混合后极易形成爆炸危险介质，这也决定了井下电气设备必须具备严苛的防爆性能。防爆电气设备的核心基础理论为隔爆、增安、本安三大防爆原理，其中隔爆型设备是井下应用最广泛的类型，依靠坚固密闭的外壳隔绝内部爆炸源与外部危险环境。设备运行过程中，内部电气火花、电弧或高温不会引燃外壳外的瓦斯、煤尘混合物，即便设备内部发生爆炸，外壳也能承受爆炸压力并阻断火焰传播。同时，设备设计需满足耐温、耐压、防潮、防尘的井下适配要求，严格遵循国家煤矿防爆安全标准。掌握防爆基础理论，是精准识别设备隐患、规范设备操作、杜绝防爆失效问题的核心前提，也是井下机电安全管理的底层支撑。

2 井下机电设备“失爆”现象及成因分析

2.1 隔爆外壳的失爆现象

隔爆外壳是防爆设备的核心防护结构，其完整性与密封性直接决定设备防爆能力，是井下最常见的失爆隐患点。现场作业中，隔爆外壳失爆主要表现为外壳变形、开裂、孔洞破损、焊缝开裂等结构性损坏，同时包含法兰面锈蚀、划痕、变形导致贴合不严等密封失效问

题^[1]。设备长期受井下潮湿、腐蚀、震动环境影响，加之运输、安装、检修过程中的磕碰撞击，极易造成外壳机械损伤。另外，部分设备螺栓缺失、松动、规格不统一，或螺栓未紧固到位，会导致外壳结合面间隙超标，无法满足隔爆耐压要求。当外壳防护性能失效后，设备内部火花、高温可直接外泄，引燃井下爆炸性介质，引发安全事故，是煤矿机电安全管控的重点隐患。

2.2 电缆引入引出装置的失爆

电缆引入引出装置是防爆设备的关键密封部位，也是失爆高发区域，直接影响设备整体防爆密封性。该部位失爆主要体现为密封圈老化、变形、开裂、缺失，密封圈内径与电缆外径不匹配，出现空隙、松动、密封不严等问题。同时，电缆护套破损、芯线外露、压线螺栓松动、压紧垫圈缺失，以及引入装置闲置未用、未封堵严实，都是典型失爆现象。井下潮湿、多尘、腐蚀性气体环境会加速橡胶密封圈老化变质，失去密封弹性。部分作业人员违规使用非专用密封圈、多层密封圈，或电缆敷设时强行拉扯、扭曲线缆，导致密封结构受损。装置密封失效后，外部瓦斯、煤尘可渗入设备内部，设备产生的电气火花也能外泄，极大提升爆炸事故发生概率。

2.3 电气保护与接地失效

电气保护与接地系统是防爆设备的安全兜底屏障，其失效会直接引发电气故障与防爆隐患。井下防爆设备配套的过流、过载、短路、漏电保护装置失效、失灵或擅自拆除、屏蔽，是主要问题。保护装置参数整定不合理、元器件老化损坏、线路接触不良，会导致故障时无法及时断电，造成设备过热、产生电弧火花。同时，设备接地系统失效问题突出，接地螺栓锈蚀、松动、断裂，接地导线截面不足、断线、串接接地，或接地电阻

超标,无法实现有效泄流。设备漏电、静电无法及时导入大地,会造成外壳带电、局部高温,产生放电火花。此类隐患隐蔽性强,日常巡检易遗漏,长期运行会持续积累安全风险,诱发井下爆炸、触电等安全事故。

3 防爆电气设备全生命周期管理策略

3.1 选型与采购管理

选型与采购是防爆设备全生命周期管理的首要环节,直接决定设备基础防爆性能与井下适配性。矿井需结合井下不同作业区域的瓦斯浓度、环境湿度、作业工况,精准匹配对应防爆等级、防护等级的电气设备,杜绝选型不符、等级不足的问题。采购阶段需严格筛选具备正规生产资质、防爆合格证、煤矿安全标志的厂家产品,严禁采购三无产品、过期资质设备及翻新不合格设备^[2]。建立标准化采购流程,核对设备技术参数、防爆性能报告、质量检测证书,确保设备符合《煤矿安全规程》相关标准。同时,结合矿井生产规划合理制定采购数量与批次,优先选用智能化、高稳定性、低故障率的新型防爆设备,从源头规避设备先天防爆缺陷,筑牢设备安全运行基础。

3.2 入井前检验与验收

入井前检验验收是杜绝不合格防爆设备下井的关键关口,可从源头拦截各类设备隐患。矿井需组建专业验收班组,制定标准化入井检验流程,对所有待入井防爆设备进行全方位核验。验收内容涵盖设备外观完整性、隔爆外壳完好度、密封装置密封性、保护装置灵敏度、接地系统完整性等核心部位,同时核对设备资质证书、检测报告、出厂合格证是否齐全有效。对运输过程中出现磕碰、破损、配件缺失的设备,一律禁止入井,责令整改修复并复检合格后方可投入使用。建立入井设备台账,详细记录设备型号、编号、验收结果、入井时间等信息,实现设备溯源管理。严格落实谁验收、谁负责的责任制度,杜绝验收流于形式,守住设备入井安全底线。

3.3 安装与调试管理

规范的安装与调试是保障防爆设备防爆性能达标、稳定运行的重要环节。设备安装前,作业人员需熟悉设备安装图纸、防爆技术要求与操作规程,清理作业现场环境,规避粉尘、积水干扰。安装过程中严格遵循防爆施工标准,规范固定设备壳体、紧固连接螺栓、匹配密封配件,保证隔爆结合面间隙达标、电缆引入装置密封严实,杜绝违规改装、简化安装流程的行为。设备安装完成后,需开展全方位调试工作,逐一测试过载、短路、漏电等电气保护功能,校验接地电阻、设备绝缘性

能,确保各项参数符合安全标准。调试合格后做好记录存档,对调试发现的故障隐患立即整改,确认设备防爆性能、运行性能达标后,方可投入井下正式运行。

3.4 运行维护与检修

运行维护与常态化检修是延长防爆设备使用寿命、持续保障防爆性能的核心举措。矿井需制定设备日常巡检、定期检修、专项排查的常态化管控机制,明确巡检频次、检修内容与责任人员。日常巡检重点排查设备外壳、密封装置、电缆线路、保护系统、接地装置的运行状态,及时处理螺栓松动、密封圈老化、线路破损等轻微隐患。定期检修需深度拆解设备,清理内部粉尘油污,检测元器件老化情况,校准保护装置参数,更换失效配件^[3]。严格执行停电检修、验电接地的安全作业流程,杜绝带电违规检修。建立设备运维台账,记录检修时间、故障类型、整改措施,跟踪设备运行状态,提前预判设备老化、故障风险,避免设备带故障运行引发失爆隐患。

4 智能化技术在防爆管理中的应用

4.1 在线监测与预警系统

在线监测与预警系统依托物联网、传感技术,实现防爆设备运行状态的实时动态监控,彻底改变传统人工巡检的滞后性与局限性。该系统可实时采集井下防爆设备的温度、电流、电压、绝缘电阻、接地电阻等核心运行参数,同步监测设备外壳形变、密封状态、线路温度等防爆关键指标。系统具备数据实时分析、异常识别功能,当参数超出安全阈值、出现失爆隐患或电气故障时,可自动发出声光预警、弹窗提示,精准定位故障设备与隐患位置。相较于人工巡检,智能化监测可实现24小时不间断值守,及时发现隐蔽性、突发性隐患,有效规避人工漏检、误检问题,提前预判设备故障风险,为隐患整改、设备检修预留充足时间,大幅提升防爆安全管控的时效性。

4.2 数字化管理平台

防爆电气设备数字化管理平台是整合设备全生命周期数据、实现智能化管控的核心载体,有效解决传统管理模式台账混乱、数据零散、溯源困难等问题。平台集成设备选型采购、入井验收、安装调试、运行运维、报废更新等全流程数据,建立电子设备档案,实现一台设备、一份档案、全程溯源。管理人员可通过平台实时查询设备运行状态、检修记录、隐患整改情况、资质有效期等信息,快速掌握井下防爆设备整体运行工况。平台支持数据统计分析、报表自动生成功能,可精准梳理设

备故障规律、高频隐患点位,为设备运维计划优化、管理制度完善提供数据支撑。

4.3 智能闭锁技术

智能闭锁技术是提升井下防爆安全防护能力的关键智能化手段,主要应用于井下电气设备联动管控与危险工况防护。该技术依托智能传感与自动控制模块,实现设备故障、环境异常状态下的自动闭锁防护,当防爆设备出现保护失效、线路漏电、外壳异常升温等隐患,或井下瓦斯浓度超标、通风异常时,系统可自动触发设备断电闭锁,禁止设备带病运行,从源头杜绝电气火花引发的爆炸风险。相较于传统人工断电防护,智能闭锁响应速度更快、防护精度更高,可规避人工操作滞后、失误带来的安全隐患。同时智能闭锁系统具备状态记忆、故障记录功能,可留存闭锁触发原因、时间等数据,为隐患排查、故障分析提供依据,有效筑牢井下防爆安全的智能防护屏障。

5 提升防爆管理水平的保障措施

5.1 完善管理制度与标准

完善的管理制度与执行标准是规范防爆设备管理、杜绝失爆隐患的制度保障,是矿井机电安全管控的核心基础。矿井需依据《煤矿安全规程》《防爆电气设备安全标准》等国家规范,结合自身井下作业工况,修订完善防爆设备全生命周期管理制度,明确选型采购、验收入井、安装调试、运维检修、报废处置等各环节的操作标准与管理要求。细化各岗位人员的防爆安全岗位职责,建立权责清晰、层层落实的责任体系,杜绝管理空白、责任推诿问题。同时,完善隐患排查整改、设备考核、违规追责机制,制定标准化失爆隐患判定细则与整改流程,实现隐患发现、登记、整改、复查、销号的全闭环管理,以标准化制度约束作业行为,推动防爆管理工作规范化、常态化开展。

5.2 人员培训与素质提升

作业人员专业素质与安全意识,直接决定防爆设备管理质量与隐患防控水平,是防爆安全管理的核心人力保障。矿井需建立常态化分层培训机制,针对管理人员、检修人员、一线操作人员制定差异化培训内容,重点讲解防爆基础理论、设备失爆判定标准、操作规程、隐患排查方法、智能化设备操作技能等核心内容。定期

开展专项技能培训、安全警示教育、实操演练,纠正违规操作陋习,提升人员识险、避险、排险能力^[4]。建立岗位考核与持证上岗制度,严格考核培训效果,考核不合格者不得上岗作业。完善激励与追责机制,对规范作业、及时排查重大隐患的人员予以奖励,对违规操作、履职不到位的人员严肃追责,全面提升全员防爆安全管控能力。

5.3 现场环境与文明生产

井下作业现场环境与文明生产水平,直接影响防爆设备的运行状态与防爆性能稳定性,是防爆管理的重要基础保障。矿井需常态化开展井下现场环境整治,及时清理作业区域堆积的煤尘、杂物、积水,保持设备周边环境整洁干燥,避免煤尘堆积、积水浸泡腐蚀设备外壳、密封配件及线路。规范设备线缆敷设、设备摆放标准,杜绝线缆拖拽、挤压、扭曲,防止外力破损引发失爆隐患。严格落实井下防尘、防潮、防腐措施,定期对设备外壳、连接部位进行除尘、防锈处理,减缓设备老化损耗。建立现场文明生产常态化巡查机制,及时整改现场乱象,优化设备运行环境,从外部环境层面减少设备失爆诱因,为防爆设备安全稳定运行提供良好的现场条件。

结束语

煤矿井下防爆管理是一项系统性工程,需从设备全生命周期各环节严格把控,杜绝失爆隐患。智能化技术的引入为防爆管理提供了实时监控、精准预警与自动防护的新手段,但技术落地仍需完善的制度体系与高素质人员队伍支撑。未来应持续推进防爆管理标准化、智能化、精细化建设,夯实井下机电安全基础,切实保障煤矿安全生产。

参考文献

- [1] 王永. 井下机电设备防爆检查管理制度框架 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(17): 10-11.
- [2] 李浩. 煤矿井下机电设备防爆与安全设计研究 [J]. 工程建设与发展, 2024, 3(3): 106-108.
- [3] 宁江海. 煤矿井下防爆机电设备的管理措施 [J]. 能源与节能, 2025(1): 266-268.
- [4] 乔富国. 煤矿井下机电设备安全供电技术探讨 [J]. 中国设备工程, 2025(21): 45-47.