

煤矿智能化设备安全标志管理及应用研究

李晓颖

安标国家矿用产品安全标志中心有限公司 北京 100013

摘要: 煤矿智能化设备安全标志管理是安全生产核心。当下管理向全生命周期服务转型,在技术攻关与审核效率上有进展,却面临安全技术(防爆、新能源、通信安全)和工作机制(申办流程适配差、高端设备价值难凸显)挑战。需采取优化管理程序、强化科技创新、完善标准体系、提高人员素质等举措,提升效能,推动煤矿智能化安全发展。

关键词: 煤矿智能化;设备安全;标志管理;应用研究

引言

在煤矿智能化技术迅猛发展的当下,智能化设备于煤矿的广泛应用已成为提升生产效率与保障安全水平的关键要素。截至2025年,全国智能化煤矿建设成果斐然,智能开采产能占比显著提升,众多固定岗位已达成无人值守。在此形势下,作为安全生产核心保障的煤矿智能化设备安全标志管理,正从单一设备准入向全生命周期服务深刻转型,但安全技术和工作机制层面挑战仍存,亟待对策破局。

1 煤矿智能化设备安全标志管理现状

煤矿智能化设备安全标志管理作为保障煤矿安全生产的核心环节,正随着智能化技术的快速发展经历深刻变革。截至2025年,全国已建成907处智能化煤矿,投运1806个智能化采掘工作面,智能开采产能占比突破50%,超1.6万个固定岗位实现无人值守^[1]。这一背景下,安全标志管理已从单一设备准入向全生命周期服务转型,形成“技术攻关-标准制定-审核优化-应用反馈”的闭环体系。在技术支撑层面,安标国家中心通过组建防爆与电气安全技术标准研究院,聚焦防爆安全、新能源安全、多网通信安全三大领域开展攻关。针对井下轻量化防爆材料难以满足现行标准的问题,研发出苯胺胶封复合防爆技术,使隔爆外壳重量降低40%;在新能源领域,建立电池管理系统功能安全完整性评估体系,将锂离子蓄电池热失控风险降低80%;针对5G通信安全,制定井下电磁兼容性标准,解决多系统联动时的信号干扰问题,确保巡检机器人定位精度达±5厘米。审核效率提升方面,通过实施“分类管理+快速通道”机制,将平均审核周期从2020年的225天压缩至137天。对突破现行标准的新技术,采取“安全性能优先”原则,例如允许挂轨式巡检机器人通过防爆认证后,在3个月内完成全矿井部署,故障预警准确率达98.7%,减少井下巡检人员60%。

2 煤矿智能化设备安全标志管理面临的挑战

2.1 安全技术层面的挑战

在煤矿智能化设备安全技术层面,防爆安全、井下新能源安全以及井下多网通信安全正面临多重挑战,成为制约安全标志管理效能提升的关键因素。防爆安全方面,智能化设备轻量化与防爆性能的矛盾日益突出。由于防爆机理研究滞后,现行标准对轻量化防爆材料的阻燃、隔爆性能要求难以满足。以井下机器人为例,其运行中电机、传感器等部件可能因机械摩擦或电气故障产生电火花,而现有防爆外壳设计多基于传统设备,对机器人关节活动部位的密封防护存在技术空白。若采用传统增重式隔爆方案,将导致设备灵活性下降,影响智能化作业效率;若降低防爆等级,则可能引发瓦斯爆炸等重大事故,形成安全与效能的“两难困境”。井下新能源安全领域,锂离子蓄电池的规模化应用暴露出系统性风险。电池管理系统(BMS)功能不完善、井下充换电设施布局不合理等问题,导致电池过热、短路风险显著增加。某煤矿曾因BMS故障引发电池组热失控,火势沿电缆蔓延至采掘工作面,造成重大经济损失。新能源设备与现有防爆标准的适配性研究不足,如氢燃料电池的防爆认证缺乏技术路径,制约了清洁能源在井下的推广。井下多网通信安全则面临电磁兼容性难题。5G、物联网等设备在复杂电磁环境下的信号干扰问题尚未彻底解决,多网融合时易出现数据丢包、指令延迟等现象。某智能化综采工作面曾因通信干扰导致采煤机与支架联动失效,引发局部冒顶事故。针对井下特殊场景的通信安全评估体系尚未建立,现有标准多聚焦于地面环境,难以覆盖井下高温、高湿、强振动等极端条件。

2.2 工作机制层面的挑战

在工作机制层面,煤矿智能化设备安全标志管理正面临申办流程适配性不足与高端设备价值凸显困难双重挑战,成为制约行业创新效能释放的关键瓶颈。安全标志申办数量的激增与行业新入局者的技术认知错位形成

突出矛盾。随着智能化浪潮推进,非传统煤矿设备企业携5G通信、人工智能等技术跨界进入,但其研发逻辑仍停留于“功能优先”阶段,对煤矿防爆、抗干扰等特殊安全需求理解不足^[2]。某机器人企业设计的井下巡检设备虽具备高精度图像识别功能,却因未采用本质安全型电路设计,在首次安标审核中被判定为重大缺陷,导致研发方案需整体重构。此类案例反映出,现有申办机制缺乏对跨行业企业的前置安全指导,企业只能在“试错-整改”循环中消耗资源,平均审核周期因此延长30%以上,部分复杂项目甚至超过1年。高端设备的技术优势在安全标志体系中面临“降维评价”困境。现行管理框架以“合规性”为核心,对超越标准的技术特性缺乏分级认证机制。以某企业研发的巡检机器人为例,其采用激光SLAM导航技术实现 $\pm 2\text{cm}$ 定位精度,远超行业要求的 $\pm 10\text{cm}$,但在安标认证中仅被标注为“符合基本要求”。这种评价方式,导致企业创新投入与市场回报失衡,部分企业为缩短认证周期甚至主动降低技术配置,形成“劣币驱逐良币”的逆向激励。

3 煤矿智能化设备安全标志管理的对策

3.1 优化安全标志管理程序

煤矿智能化设备的安全标志管理需覆盖设计、生产、安装、使用、维护、报废全生命周期。以《煤矿井下机器人安全标志管理方案》为例,其明确要求标志内容包含机器人编号、作业半径、避让距离、紧急制动方式四项核心信息,并规定安装位置需覆盖机器人本体、充电站点、检修区域及行进路线交叉点。通过班前检查、周度保养、月度测试制度,建立包含光照度、磨损度、清晰度的三维评估指标,形成“设计-安装-维护-改进”的闭环管理。某年产120万吨矿井试运行该方案后,标志相关人为失误下降73%,机器人碰撞事故归零。针对不同风险等级的智能化设备,建立差异化监管机制。对井下5G通信基站、锂离子蓄电池电源等高风险设备,实施“一机一档”管理,要求供应商每季度提供运行分析报告并配合年审;对智能通风系统、人员定位系统等中风险设备,采用“双随机一公开”抽查模式;对智能照明、环境监测等低风险设备,推行企业自查与第三方抽检结合的方式。通过风险分级动态调整监管频次,提升管理效率。利用物联网、大数据技术,搭建煤矿安全标志智能化监管平台。平台集成设备标识解析、风险预警、应急指挥等功能,实现标志状态实时监测、违规行为自动识别、隐患整改闭环跟踪。靖边煤业公司通过“线上监测+线下核查”双重保障机制,依托数字化平台24小时动态监控提升系统,推动设备管理从“人防”向

“技防”跨越,井筒月进尺突破120米,施工效率达行业领先水平。

3.2 强化安全标志科技创新

聚焦防爆技术、新能源应用、智能感知等重点领域,加大科技攻关力度。针对矿用锂离子蓄电池,研发“本质安全型+智能管理系统”双防护技术,通过电池状态实时监测、过充过放自动切断、热失控预警等功能,将安全风险降低80%以上。在智能巡检机器人领域,开发具备多传感器融合、自主导航、故障诊断功能的第三代产品,实现变电所、皮带机等场景的无人化巡检。将区块链、数字孪生、AR/VR等技术引入安全标志管理。利用区块链不可篡改特性,构建设备安全标志全生命周期追溯链,确保标识信息真实可信;通过数字孪生技术,建立虚拟矿井模型,模拟不同工况下安全标志的显示效果与识别距离,优化标志布局设计;应用AR技术,实现安全标志与井下三维定位系统的深度融合,巡检人员通过智能眼镜即可获得设备状态与应急处置指引^[3]。建立“产学研用”协同创新机制,由煤矿企业、科研院所、设备制造商共同组建安全标志技术创新联盟。国家能源集团联合中国矿大、中煤科工等单位,开展“煤矿智能化安全标志关键技术”攻关,研发的智能防爆开关通过NFC功能实现标志信息快速读取,巡检效率提升50%。设立安全标志创新基金,对取得重大突破的团队给予奖励,激发创新活力。

3.3 完善安全标志标准体系

从设备设计、制造、安装、使用到报废,制定覆盖全流程的安全标志标准。设计阶段明确防爆等级、电磁兼容性、环境适应性等核心指标,确保设备本质安全;制造环节规范材料选用、工艺控制、质量检测等流程,建立产品追溯机制,杜绝不合格品流入市场;安装环节制定智能化设备与矿井供电、通信、通风等系统的兼容性标准,避免因接口不匹配引发安全隐患;使用阶段细化设备巡检、维护、校准等操作规范,明确安全标志更新周期与条件;报废环节制定设备拆解、回收、处置标准,防止电子废弃物污染环境。通过全链条标准覆盖,实现安全标志管理从“结果认证”向“过程管控”延伸。针对智能化设备技术迭代快的特点,建立标准动态修订机制。聚焦5G通信、人工智能、机器人等新技术应用,制定智能巡检机器人防撞、数据安全传输,以及矿用5G基站抗干扰、低时延等专项标准;针对新能源设备,完善锂离子蓄电池防爆设计、热管理、过充保护等安全要求;结合矿井灾害特点,细化设备在瓦斯、粉尘、高温等极端环境下的适应性标准。定期开展标准

实施效果评估,根据技术发展趋势、事故案例分析及行业反馈,及时修订过时条款,确保标准的先进性与实用性。加强与国际标准化组织(ISO)、国际电工委员会(IEC)等机构的对接,参与制定煤矿智能化设备安全标志国际标准。

3.4 提高人员专业素质

针对不同岗位需求,建立“管理层-技术层-操作层”三级培训体系。管理层重点强化制度认知与决策能力,通过专题讲座、政策解读等方式,系统学习制度标准,结合典型事故案例开展应急指挥模拟演练,提升风险研判与统筹协调能力;技术层侧重掌握风险评估与处置技术,围绕智能化设备防爆设计、电磁兼容、故障诊断等核心领域,组织专家授课、技术研讨,并利用数字孪生技术构建虚拟矿井场景,开展隐患排查、应急预案编制等实战训练;操作层突出设备操作与应急技能,编制“岗位安全手册”,明确设备启动、运行、停机等环节的安全标志识别要点与操作规范,通过VR模拟瓦斯爆炸、透水等事故场景,让员工在沉浸式体验中熟悉应急逃生路线与处置流程,确保“人人知标识、个个会应急”。日常训练以班组为单位,每日开展10分钟“安全微课堂”,由班组长讲解设备安全标志最新要求、当日作业风险点及防控措施;每周组织1次岗位技能比武,围绕设备故障排查、安全标志更换等科目设置实操考核,评选“安全标兵”并给予奖励。专项演练针对特定风险场景,每季度开展1次,如智能通风系统故障导致瓦斯超限、巡检机器人失控等,模拟从预警发布、人员撤离到设备抢修的全流程处置,检验应急预案可操作性。综合实战每年组织1次,联合消防、医疗等外部救援力量,开

展多部门协同的矿井重大灾害应急演练,通过全要素、全流程推演,提升跨岗位、跨专业协作能力^[4]。实施“人才+项目”双轮驱动战略,聚焦防爆技术、智能感知、新能源应用等关键领域,引进具有跨学科背景的复合型人才。针对矿用锂离子蓄电池安全标志管理,引进电池材料、热管理、电气工程等领域专家,组建跨学科研发团队,开展本质安全型电池设计、智能管理系统开发等攻关,通过多物理场耦合仿真、热失控预警算法优化等技术手段,将电池安全风险降低80%以上。

结语

煤矿智能化设备安全标志管理关乎煤矿安全生产大局。在安全技术与工作机制挑战并存的当下,采取优化管理程序、强化科技创新、完善标准体系、提升人员素质等举措,能构建起完善高效的管理体系。这既能增强设备安全性能、减少事故隐患,又可推动煤矿智能化技术不断进步,助力我国煤矿行业在全球智能化竞争中脱颖而出,成功实现从“标准跟随”到“标准引领”的跨越。

参考文献

- [1]林俊,朱凤山.煤矿智能化设备安全标志管理及应用研究[J].中国煤炭,2022,48(6):14-18.
- [2]陈廷官.智能化技术在选煤厂机电设备管理中的应用研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025(7):133-136.
- [3]彭振华,韩亮.煤矿机电运输设备智能化管理研究[J].内蒙古煤炭经济,2025(12):106-108.
- [4]马相斌,栾正凯.煤矿机电设备智能化管理策略研究[J].内蒙古煤炭经济,2025(12):37-39.