

煤矿机电设备防爆性能检测技术及改进措施研究

张海阳

河南焦煤能源有限公司 河南 焦作 454100

摘要: 煤矿机电设备防爆性能检测是保障安全生产的关键。当前检测技术存在效率低、成本高、对复杂环境适应性差等问题。改进措施包括: 构建多技术融合检测体系, 提升缺陷识别精准度; 开发智能化检测系统, 实现隐患预警; 设计便携式快速检测设备, 缩短检测时间; 突破高精度传感器、动态评估模型等关键技术, 并搭建远程监测平台。通过技术改进, 可显著提升防爆检测的效率与可靠性, 降低事故风险。

关键词: 煤矿机电设备; 防爆性能; 检测技术; 改进措施

引言: 煤矿作业环境复杂, 瓦斯、煤尘爆炸风险高, 机电设备防爆性能关乎人员生命与生产安全。传统防爆检测技术多依赖人工, 存在效率低、精度差、对复杂环境适应性弱等不足, 难以满足现代煤矿安全需求。随着科技发展, 无损检测、物联网、人工智能等新兴技术为防爆检测带来新契机。本研究聚焦煤矿机电设备防爆性能检测技术, 剖析现存问题, 提出针对性改进措施, 以期提升检测水平, 保障煤矿安全生产。

1 煤矿机电设备防爆性能理论基础

1.1 煤矿爆炸事故成因分析

(1) 瓦斯、煤尘爆炸条件与机理: 瓦斯爆炸需同时满足瓦斯浓度处于5%-16%爆炸极限、存在650℃-750℃点火源、氧气浓度不低于12%三个条件, 机理为瓦斯与氧气混合后经点火源引发链式反应, 释放大热量能与气体导致爆炸; 煤尘爆炸则需煤尘达到一定浓度(45g/m³-2000g/m³)、存在点火源且有氧气参与, 爆炸后会产生高温高压冲击波, 还可能引发二次爆炸。(2) 机电设备引发爆炸的典型案例: 部分煤矿井下电机因绝缘老化短路产生电火花, 点燃周围积聚的瓦斯引发爆炸; 还有掘进机切割机构摩擦生热, 达到煤尘点火温度, 诱发煤尘爆炸事故。

1.2 防爆技术标准与分类

(1) 国际与国内防爆标准: 国际标准以IEC60079系列为核心, 规范了爆炸性环境下设备的设计、生产与检验; 国内标准为GB3836系列, 等效采用IEC标准, 明确了煤矿井下防爆设备的技术要求与认证规范。(2) 防爆设备类型: 隔爆型通过外壳隔绝爆炸火焰并冷却降温; 增安型通过提升设备安全性能避免点火源产生; 本质安全型通过限制电路能量, 确保即使故障也无法点燃爆炸性混合物。

1.3 防爆性能检测的核心指标

(1) 电气性能: 绝缘电阻需确保设备电路与外壳隔离, 避免漏电; 接地电阻需控制在范围, 防止静电积聚与漏电触电。(2) 机械性能: 外壳强度需承受爆炸压力不损坏; 密封性需阻止爆炸性气体进入设备内部, 避免内部点火源引发外部爆炸。(3) 环境适应性: 需适应井下高温高湿环境, 在振动工况下保持性能稳定, 避免因环境因素导致防爆失效。

2 煤矿机电设备现有防爆性能检测技术分析

2.1 传统检测方法

(1) 外观检查法: 该方法以人工视觉和触觉检查为主, 重点排查设备外壳是否存在裂纹、变形、锈蚀等缺陷, 同时检查密封圈的老化程度、尺寸匹配性及安装密封性。操作简单、成本低廉, 是防爆检测的基础环节, 但过度依赖检测人员经验, 对细微裂纹等隐性缺陷易漏检。(2) 电气参数测试法: 借助绝缘电阻表、耐压测试仪等仪器, 检测设备绝缘电阻是否满足GB3836系列标准要求, 通过耐压试验验证设备绝缘层承受瞬时高压的能力, 排查漏电、绝缘破损等电气安全隐患。该方法数据直观, 但需离线停机检测, 影响生产效率。(3) 气体环境模拟试验法: 在实验室搭建模拟井下爆炸性气体环境(如甲烷-空气混合气体), 将设备置于其中模拟正常及故障工况, 验证设备是否会点燃爆炸性气体。该方法能直观验证防爆性能, 但试验成本高、周期长, 难以实现批量设备全检。

2.2 现代检测技术

(1) 无损检测技术: 超声波检测可穿透设备外壳, 精准识别内部裂纹、焊缝缺陷等隐性问题; 红外热成像技术通过检测设备运行时的温度分布, 快速定位电气接触不良、绝缘老化等故障点。此类技术无需损坏设备, 检测效率与精度较传统方法显著提升, 可实现部分在役设备在线检测。(2) 在线监测与智能诊断技术: 通过在

设备关键部位安装温度、振动、气体传感器，借助物联网技术实时采集运行数据，经后台智能算法分析设备防爆性能状态，提前预警绝缘下降、密封失效等隐患。该技术实现了“被动检测”向“主动预警”的转变，但受井下复杂电磁环境影响，部分传感器数据传输稳定性有待提升^[1]。（3）虚拟仿真技术：基于设备三维模型与流体力学、热力学仿真软件，模拟井下不同环境参数（温度、压力、气体浓度）下设备的防爆性能，预测潜在故障风险。可缩短新产品研发周期，降低试验成本，但仿真结果的准确性依赖于模型参数与实际工况的匹配度。

2.3 现有技术的不足

（1）检测效率低、成本高：传统离线检测需停机作业，占用大量生产时间；现代无损检测设备购置成本高，气体模拟试验与虚拟仿真的前期投入大，中小煤矿企业难以全面普及。（2）误判率高、主观性强：传统外观检查受人员经验影响大，易出现误判漏判；部分现代检测技术（如红外热成像）受井下粉尘、湿度影响，数据解读存在主观性，需专业人员校准。（3）对复杂环境的适应性差：井下高温、高湿、高粉尘、强电磁的复杂环境，会干扰传感器信号、降低超声波穿透能力、影响红外成像清晰度，导致部分检测技术在实际工况下的检测精度大幅下降。

3 煤矿机电设备防爆性能检测技术的改进措施

3.1 技术改进方向

（1）多技术融合检测：针对单一检测技术的局限性，构建红外热成像与超声波检测融合体系。利用红外热成像技术快速定位设备表面及浅层温度异常区域，锁定绝缘老化、接触不良等潜在隐患；通过超声波检测穿透设备外壳，精准识别内部裂纹、焊缝缺陷等隐性问题的。两者数据互补融合，经算法优化处理，可有效提升缺陷识别的全面性与精准度，减少漏检、误检现象，适配井下复杂工况下多类型缺陷的同步检测需求^[2]。（2）智能化检测系统开发：依托AI算法与大数据分析技术，搭建智能化检测系统。通过采集海量历史检测数据、设备运行参数及故障案例，构建防爆性能缺陷数据库；基于深度学习算法训练缺陷识别模型，实现对检测数据的自动分析、缺陷类型的智能判定及故障等级的精准划分。同时，利用大数据挖掘技术挖掘设备运行状态与防爆性能的关联规律，实现隐患的提前预警，推动检测模式从“事后排查”向“事前预判”转变。（3）便携式快速检测设备设计：针对传统检测设备体积大、便携性差、操作复杂的问题，研发轻量化、便携式快速检测设备。采用集成化设计思路，整合绝缘电阻测试、温度检

测、密封性检测等多功能模块，简化操作流程，配备可视化操作界面与数据实时传输功能。设备采用高续航电池供电，适应井下无外接电源环境，可实现对在役设备的现场快速抽检，大幅缩短检测时间，降低对生产作业的干扰。

3.2 关键技术突破

（1）高精度传感器研发：聚焦井下高温、高湿、强电磁、高粉尘的复杂环境，研发抗干扰能力强、测量精度高的专用传感器。针对温度检测，采用新型敏感材料与屏蔽技术，提升传感器抗电磁干扰性能，确保在恶劣环境下温度数据测量误差控制在允许范围内；针对气体、振动等参数检测，优化传感器结构设计，增强防尘、防水密封性，延长设备使用寿命。高精度传感器是保障检测数据可靠性的核心，为后续智能分析与精准判断提供数据支撑。（2）防爆性能动态评估模型构建：突破传统静态评估的局限性，构建基于设备全生命周期的防爆性能动态评估模型。综合考量设备运行时间、工况参数、历史检测数据、维护记录等多维度因素，采用模糊综合评价法与神经网络算法相结合的方式，实时更新评估参数，动态量化设备防爆性能等级。模型可精准识别设备防爆性能的衰减规律，提前预判失效风险，为设备维护保养提供针对性建议，提升防爆管理的科学性与前瞻性^[3]。（3）基于物联网的远程监测平台设计：搭建基于物联网技术的远程监测平台，实现对井下分散式机电设备防爆性能的集中管控。通过在设备关键部位部署传感器节点，借助5G或工业以太网技术实现检测数据的实时传输；平台具备数据存储、可视化展示、异常报警、历史追溯等功能，管理人员可远程实时掌握设备防爆状态，及时调度检测与维护资源。同时，平台支持多终端接入，方便现场作业人员与远程管控中心的协同联动，提升防爆检测管理的高效性。

3.3 改进措施的可行性分析

（1）技术可行性：技术层面，多技术融合、AI算法、物联网等核心技术已在工业检测领域成熟应用，具备技术迁移与适配基础。成本方面，随着电子元器件国产化进程加快，高精度传感器、便携式设备核心部件的购置成本逐步降低；研发周期可控制在1-2年，通过分阶段研发与试点验证，降低技术风险。兼容性上，改进后的检测设备与系统可通过接口适配现有煤矿生产监控体系，无需对现有设备进行大规模改造，具备良好的兼容性与扩展性。（2）经济可行性：短期来看，改进措施需投入研发、设备购置及人员培训等费用，但长期效益显著。一方面，智能化、快速化检测技术可大幅提升检测

效率,减少停机检测时间,提升生产效益;另一方面,精准的隐患预警可降低设备故障与爆炸事故发生率,减少事故造成的经济损失及维修成本。经测算,多数煤矿企业可在3-5年内收回前期投入,投入产出比可观。(3)安全可行性:改进措施采用便携式检测设备与远程监测相结合的方式,多数检测工作可在设备正常运行状态下完成,无需大面积停机,对生产作业干扰较小。同时,改进后的技术可提升防爆性能检测的精准度,提前排查安全隐患,降低爆炸事故风险,进一步保障井下作业人员生命安全与生产环境稳定。此外,在技术推广过程中可通过分区域试点、逐步推广的方式,确保技术应用的安全性及稳定性^[4]。

4 煤矿机电设备防爆管理优化建议

4.1 完善防爆检测制度

(1) 定期检测与随机抽查结合:建立分级分类的定期检测机制,根据设备运行环境、使用年限及重要程度,明确不同设备的检测周期,确保关键设备每年至少全检1次,一般设备每季度抽检1次;同时推行随机抽查制度,每月随机抽取10%-20%的在役设备进行突击检测,重点核查定期检测中未覆盖的隐患点,形成“定期全面排查+随机精准核查”的双重保障体系,避免检测流于形式。(2) 检测数据标准化管理:制定统一的检测数据记录规范,明确各类检测指标的填写要求、数据格式及归档标准;搭建数字化数据管理平台,整合定期检测、随机抽查及故障维修等数据,实现数据的集中存储、查询追溯与动态更新。通过标准化管理确保检测数据的真实性、完整性,为设备防爆性能评估与隐患预警提供可靠数据支撑。

4.2 人员培训与技能提升

(1) 检测人员专业资质要求:严格落实检测人员持证上岗制度,明确检测人员需具备煤矿安全检测相关专业资质,通过行业主管部门组织的专业考核后方可开展工作;建立资质动态审核机制,每2年对检测人员资质进行复核,对考核不达标、违规操作的人员暂停上岗资格,经重新培训考核合格后再予启用。(2) 防爆技术培训体系构建:构建“理论+实操”相结合的分层培训体系,针对新入职人员开展防爆基础知识、检测流程及安全规范培训;

对在岗人员定期开展新技术、新设备应用培训,重点提升其对智能化检测设备的操作能力与复杂缺陷的识别能力。每季度组织1次技能实操演练,每年开展1次技能竞赛,以赛促学提升检测队伍整体专业水平^[5]。

4.3 政策与标准完善建议

(1) 推动行业防爆标准更新:结合煤矿机电设备技术发展趋势,推动防爆标准的动态更新,将智能化检测技术、多技术融合检测方法等纳入标准体系;加强与国际先进标准的对接,借鉴国外成熟经验,提升我国煤矿防爆标准的科学性与前瞻性,引导行业技术升级。(2) 加强监管与处罚力度:行业主管部门应强化对煤矿企业防爆检测工作的常态化监管,通过现场核查、数据抽查等方式,严厉打击虚假检测、违规操作等行为;建立健全处罚机制,对未按要求开展检测、存在重大防爆隐患未及时整改的企业,依法采取罚款、停产整顿等措施,倒逼企业落实防爆管理主体责任。

结束语

煤矿机电设备防爆性能检测是煤矿安全生产的重要防线。本研究深入剖析现有检测技术,揭示其效率、精度及环境适应性等方面的不足。通过多技术融合、智能化系统开发、便携式设备设计等改进措施,以及关键技术突破,有效提升了检测的精准性与高效性。未来,随着技术持续创新,煤矿机电设备防爆检测将更智能、全面,为煤矿安全生产筑牢坚实根基,推动行业向更高安全水平迈进。

参考文献

- [1]王建国.煤矿井下防爆机电设备安全性能评估与优化[J].煤炭科学技术,2022,50(8):123-129.
- [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]焦继春.煤矿井下防爆电气设备管理分析[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(23):68-69.
- [4]张旭阳.煤矿井下防爆机电设备的安全管理措施[J].内蒙古煤炭经济,2021,(19):73-74.
- [5]常东升.煤矿电气防爆管理工作中存在的问题及对策[J].能源与节能,2020,(04):22-23.