

工业防爆电气设备全生命周期质量管理策略研究

刘 静

天津佳电电机成套设备技术有限公司 天津 300382

【摘要】：工业防爆电气设备在高危行业安全生产中发挥关键作用，亦是天津佳电电机成套设备技术有限公司全产业链经营布局中的核心管控品类，其全生命周期质量管理直接关系设备防爆性能与运行安全。目前设备各阶段管控仍存在诸多漏洞，质量管理体系尚未完全健全。本文立足企业技术研发、高端智造、工程总包、权威检测一体化经营模式，梳理设备全流程质量管控现存问题，制定针对性优化方案，搭建人才、监督、信息化、标准四位一体保障体系，实现从设计投产到报废处置的闭环质量管控，可为同类企业防爆电气设备精细化质量管理提供实践参考。

【关键词】：工业防爆电气设备；全生命周期；质量管理；质量管控；支撑体系

DOI:10.12417/2811-0722.26.07.057

随着化工、矿山、油气等高危行业的快速发展，工业防爆电气设备作为防范爆炸事故、保障安全生产的核心装备，其质量可靠性要求持续提升。当前，防爆电气设备全生命周期各环节管控存在脱节现象，设计不规范、制造工艺不严谨、运维不到位、退役处置不规范等问题频发，易引发安全隐患，制约行业安全生产水平提升。依托企业“产品+工程+检测”三位一体服务优势，开展工业防爆电气设备全生命周期质量管理策略研究，破解各环节质量管控痛点，完善质量保障体系，对推动高危行业安全稳定发展、提升防爆设备质量管控专业化水平具有重要的现实意义。

1 工业防爆电气设备全生命周期质量管控现存短板

1.1 设计研发阶段质量规范存在缺失

当前工业防爆电气产品研发布局紧跟行业发展趋势，研发突破方向多元且技术迭代与时俱进，围绕防爆机器人、防爆空调、防爆充电桩等新型防爆装备持续开展产品攻关，但在设计研发阶段质量管控体系建设层面存在明显短板，工业防爆电气设备设计研发环节缺少系统化的防爆性能校核依据，行业现行技术规范对特殊工况下的设备结构选型、隔爆间隙参数设定未形成细化约束标准。设备防爆结构仿真验算多依赖传统经验数值，对易燃易爆环境下温度限值、电弧隔离防护等核心指标缺少精细化建模分析。研发流程内部未建立防爆专项评审机制，电路布局、外壳材质选配、密封结构设计等关键节点缺少专业技术审核环节。部分研发设计仅参照通用电气设备标准开展参数设定，未结合石油、石化、钢铁、建材等高危场景的介质特性、环境压力波动做定制化适配，埋下设备后期运行的安全质量隐患。防爆电气相关新技术、新材料的应用缺少配套研发规范指引，材料耐腐蚀性、抗冲击性等关键性能指标未纳入研发硬性考核范畴。

1.2 生产制造环节过程管控不够严格

工业防爆电气设备生产制造流程中质量管控体系存在系统性漏洞，首先零部件、钣金件来料质检执行标准宽松，防爆

关键壳体、密封构件的尺寸精度、材质成分检测仅做抽样核验，批量生产状态下易出现不合格原料流入加工环节^[1]。其次，生产车间钣金加工、隔爆结构机加工工艺缺少检验环节闭环管控，隔爆面加工粗糙度、配合公差、螺纹加工精度等核心工艺参数缺少实时在线检测手段，依赖人工加工操作容易产生工艺偏差。再者，设备组装修序装配过程中的密封件安装、线路接线及细节工艺缺少标准化作业规程。成品出厂检测环节存在检测项目简化现象，企业权威检测板块效能未充分发挥，防爆耐压试验、气密性检测、螺栓紧固扭矩、内部洁净度等强制性检测项目存在检测频次不足、检测数据记录不完整的情况，未实现单台产品防爆性能全项逐项核验，为防爆设备高危工况投用埋下防爆失效安全隐患。

1.3 安装运维阶段标准执行仍有精细化提升空间

现场安装作业整体按照防爆区域划分规范开展施工，设备布设间距、线缆铺设路线规划等环节已建立标准化作业，但受施工现场环境、高危工况等客观条件制约，管道密封封堵、填充材料选择等局部施工细节仍可进一步优化。企业虽持有电力、机电、石油化工多项施工资质，但相关作业规范未能切实落地，亟待提升。运维人员受制于现场设备布设点位分散、高危区域巡检作业受限等条件，难以全面排查外壳锈蚀、螺栓松动、密封件老化等潜在问题，设备带病运行易损害原有防爆结构。设备检修重装操作不合规，隔爆面损伤未妥善修复，密封配件随意替换，整体防爆防护能力遭到削弱。运维档案信息记录不完善，检修时长、故障情况、配件更换等资料仍在持续完善优化，借助历史数据研判设备质量状况，完善运维管控细则的长效机制仍在迭代建设之中。

1.4 退役报废环节质量监管存在盲区

工业防爆电气设备到达使用年限后的退役处置缺少明确管控细则，高危工况淘汰设备仍存在私自拆卸、随意流转变用的现象，废旧设备防爆构件流入非正规流通渠道形成安全隐患。行业未建立防爆设备专属报废鉴别机制，老化设备防爆性能衰减程度缺少专业检测评定，无法精准界定设备是否具备继

续服役条件。报废拆解作业缺少专业化规范约束,拆解过程中防爆结构破坏、易燃易爆残留介质处理无标准化流程,易引发次生安全事故^[2]。面向中石油、中石化、钢铁集团等大型合作企业的废旧防爆电气部件回收分类体系不完善,可再利用部件与报废部件未做严格区分管控,缺乏全流程溯源登记管理,设备全生命周期末端质量监管出现断层空白。

2 工业防爆电气设备全生命周期质量管控优化举措

2.1 完善设计研发阶段质量准入标准

工业防爆电气设备设计研发环节需构建层级化质量准入技术标准体系,结合石油石化、冶金、建材等不同危险场所爆炸极限、引燃温度、粉尘防爆等级等工况参数,分场景制定设备结构选型、电气参数设计的量化准入限值。依托集团技术研发板块研发实力,对隔爆接合面、外壳壁厚、内部元件散热路径开展精细化化学与热学耦合计算,将隔爆间隙公差、外壳耐冲击压力值、表面最高温度控制等核心指标纳入硬性准入门槛。同步建立新材料、新结构应用的准入评审流程,对铝合金、不锈钢等壳体材质的耐腐蚀、抗静电性能设定量化检测指标,对本安电路的限流、限压元件参数实行标准化阈值管控。融入模块化设计理念,统一防爆格兰、密封结构、接线接口的设计基准,形成可复用的研发设计标准库,从源头约束设计偏差,为行业同类设备研发提供标准化技术参照与规范依据。

2.2 强化生产制造全过程质量管控

工业防爆电气设备生产制造环节推行工序化质量闭环管控模式,建立关键钣金件、零部件溯源质检体系,对防爆箱体、密封配件、接地端子等核心构件实行全批次材质光谱检测与尺寸精密测绘,发挥企业高端智造生产优势。集团引入数控加工中心与在线形位公差检测设备,对隔爆面平面度、粗糙度及配合间隙等关键工艺参数实现实时数据采集与自动纠偏。设置独立防爆专用装配工位,落实防静电接地、零部件防尘防护等工艺要求,分区存放防爆专用元器件与普通配件,完善密封条粘接、格兰密封安装、螺栓扭矩紧固、管径压接等标准化作业工艺,从装配环节杜绝密封圈断裂、接线露铜、生料带溢料等装配瑕疵,严控机械加工产生的微观形变与装配误差^[3]。优化出厂分级检测规范,将气密性、壳体耐压、本安性能、内腔洁净度纳入出厂必检清单,同步建立生产工艺参数数据库,实现制造过程质量数据可存储、可追溯,为制造行业防爆工艺标准化推广提供实操范式。

2.3 规范安装调试与日常运维流程

依托天津佳电工程总包业务成熟的实操经验,工业防爆电气设备严格依照危险区域分区等级划定安装基准,按照气体、粉尘爆炸环境分区标准精准界定防爆区域范围,合理确定设备安装高程、安全防护间距与线缆防爆敷设路径。线缆引入装置选用适配防爆等级的专用密封填料函进行分层封堵填充处理,

严格规范金属导管弯曲半径、隔离密封盒布设间距与安装点位,严控线路穿引衔接部位的缝隙密闭性,从源头规避易燃易爆介质通过间隙渗入引发的泄露风险。设备调试阶段全面开展绝缘电阻、接地连续性、运行温升特性及防爆联锁保护功能全项参数精准校准,同步科学标定过载、短路等电气保护动作阈值,使设备保护特性完全匹配现场实际工况负荷波动特征。建立设备全生命周期运维档案,常态化引入红外测温、超声波检漏等无损检测技术手段,持续监测设备外壳表面温升、密封构件老化程度、连接螺栓预紧力衰减等隐性状态变化,契合防爆工程总包、隐患排查整改核心业务需求,形成适配不同高危场景的标准化运维范式。

2.4 健全设备退役报废质量管控规范

工业防爆电气设备建立科学完善的寿命周期阈值界定与报废性能检测技术规范,以设备防爆结构疲劳损耗程度、绝缘介质老化速率、密封材料性能衰减幅度为核心报废判定指标,细化各指标的量化评定标准,构建系统的报废参数体系,确保报废判定的客观性与精准性。针对能源、化工领域 EPC 项目退役设备,设立具备专业资质的检测机构,对超期服役、故障停运的退役设备,全面开展隔爆性能、绝缘等级、外壳机械强度及防爆联锁功能专项复测,精准区分可翻新复用与需直接报废的设备类别,制定针对性强、流程规范的差异化处置技术流程^[4]。严格规范报废设备拆解工艺标准,明确防爆构件无损拆解的操作步骤、易燃易爆残留介质无害化处理的技术要求,杜绝防爆结构部件被随意拆解、改制或违规复用。搭建报废设备部件专属编码溯源管控体系,对回收的防爆构件实行性能等级标注、流向全程备案,形成全生命周期末端闭环管控技术规范。

3 工业防爆电气设备全生命周期管控执行支撑体系

3.1 构建专业化人才培养考核机制

工业防爆电气设备领域依托专业学科资源与行业实操场景搭建分层人才培育框架,围绕防爆电气结构设计、隔爆原理验算、危险区域等级划分、设备防爆检测校验等核心专业内容设置系统化课程体系。结合企业研发、生产、工程、检测多岗位业务特点,融合防爆国标规范、工况环境适配技术、故障机理分析等专业理论,搭配车间试制、现场安装、性能检测等实操实训模块,形成理论实操融合的培养模式。配套建立量化考核评价体系,将防爆专业理论掌握程度、工艺实操规范执行水平、隐患识别研判能力纳入核心考核维度,同时和各高校合作,引入专业人才,开展职业技能等级认证与岗位资质联动模式。动态更新知识培训内容,适配防爆技术迭代节奏,为企业全链条质量管理储备复合型人才。

3.2 建立常态化质量监督检查制度

依托工业防爆电气设备全生命周期运行规律,设置分阶段、分层级的质量监督检查架构,划分设计研发、生产制造、

现场投用、运维报废各环节监督检查节点。嵌入过程性抽检与专项督查相结合的管控模式，将隔爆结构工艺参数、出厂防爆试验数据、现场安装密封工艺、运维隐患整改情况纳入监督检查核心内容。设定固定周期专项排查与随机突击抽查并行的管控模式，细化防爆设备外观结构、内部电气性能、密封防护状态等检查细目，形成标准化检查记录表与合规判定指标。结合对外服务项目质量管控要求，引入第三方专业检测机构参与质量督查工作，弱化内部自查的主观性偏差，以规范化督查流程与量化判定标准约束各环节作业行为，构建长效刚性质量监督机制。

3.3 搭建信息化全流程追溯管理平台

立足企业数字化转型中长期规划，以物联网、AI大数据与云存储技术为依托，分阶段筹划防爆电气设备全生命周期信息化追溯管理平台建设工作。平台整体规划方案以单台设备赋予唯一电子身份编码为数据索引，贯穿设计参数录入、生产工艺存档、出厂检测备案、现场安装登记、运维检修记录直至退役报废全流程信息归集。平台内嵌防爆参数数据库、工况环境数据库与故障案例数据库，实现设备运行状态数据自动采集、工艺参数云端存储、检修记录实时归档的数字化管控^[5]。集成数据智能分析模块，对设备防爆性能衰减趋势、工艺偏差规律、故障高发节点进行后台算法研判，同步实现多终端权限分级查阅、数据溯源调取与跨部门信息共享。打通企业三大事业群业务数据壁垒，以数字化链路打通各环节信息壁垒，形成数据互通、全程可查、状态可监的追溯管理模式。见图1。

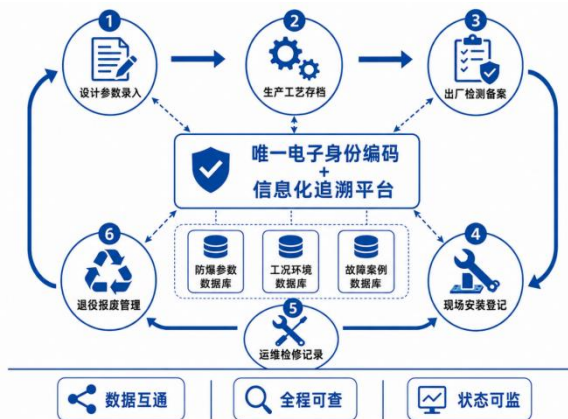


图1 防爆电气设备全生命周期信息化追溯管理示意图

参考文献:

- [1] 费璟璐,黄兵.防爆电气产品质量安全分析[J].防爆电机,2023,58(03):47-49.
- [2] 韩睿.浅析石油化工工程项目防爆电气质量管理[J].化工装备技术,2024,45(06):67-70.
- [3] 李夏玲.海洋平台防爆电气设备质量验收的措施[J].化工管理,2024,(11):47-49+53.
- [4] 藏宇师,张瀚文,王贵全,等.石油化工行业防爆电气设备安装质量控制[J].电气开关,2021,59(03):107-108.
- [5] 殷珠辉.石油天然气行业防爆电气常见问题研究[J].化工管理,2022,(30):108-110.

3.4 完善行业标准与企业内控体系

梳理现行防爆电气国家规范、行业技术规程与工况应用标准，结合化工、矿山、油气等高危行业场景特征，补充细分领域防爆设备设计、制造、安装、运维的专项技术条款。细化不同防爆型式设备的性能判定标准、工艺合规指标与服役寿命界定依据，补齐特殊粉尘、高温高压等复杂工况下的标准空白。贴合企业一站式防爆服务经营模式，企业依托行业通用标准搭建内部精细化内控管理架构，制定适配自身生产与应用场景的作业规程、质量验收细则与岗位权责划分条例。将防爆工艺执行、质量数据归档、合规性自查纳入企业常态化内控管理范畴，推动行业宏观标准与企业微观内控双向衔接落地。

4 结语

工业防爆电气设备全生命周期质量管理是保障高危行业安全生产的核心抓手，贯穿设备设计研发、生产制造、安装运维至退役报废的全过程，其管控成效直接关联行业安全发展底线与设备运行可靠性。立足企业全产业链运营与多领域工程服务实际，系统剖析各环节质量管控短板，针对性优化全流程管控举措，构建专业化人才、常态化监督、信息化追溯、标准化体系联动的支撑机制，可有效破解管控脱节、标准不健全、落地乏力等痛点，实现全生命周期质量闭环管控。完善的全生命周期质量管理体系，能够推动防爆电气设备质量管控向精细化、规范化、智能化转型，填补行业管控体系空白，为高危行业安全生产提供坚实保障，同时为同类设备质量管理研究提供可借鉴的实践范式。