

基于风险管控的防爆电气安全管理体系构建分析

刘 静

天津佳电电机成套设备技术有限公司 天津 300382

【摘 要】：冶金生产存在爆炸性物质、点火源、恶劣作业环境及动态危险区域等多重防爆电气安全风险，极易引发爆炸事故，危及生产安全。本文结合冶金行业生产特点，依托天津佳电电机成套设备技术有限公司的防爆电气工程实战经验，剖析防爆电气安全风险特征与管控要点，搭建集设备全生命周期管控、动态区域防控、人员保障、应急处置及智能监测于一体的安全管理体系。结合钢铁企业实践验证体系成效，梳理标准执行、设备更新、人员管理等现存问题并提出优化策略。实践证实，该体系可主动防控安全风险、降低设备故障与险肇事件，依托产品+工程+检测三位一体服务模式，可为冶金企业防爆安全管理提供可复制的落地路径，提升企业本质安全水平。

【关键词】：冶金企业；防爆电气；风险管控；全生命周期；智能化监测

DOI:10.12417/2811-0536.26.09.051

引言

冶金行业烧结、焦化、炼铁等生产环节存在大量可燃气、金属粉尘等爆炸性物质，危险区域范围广、等级动态变化，设备运行环境恶劣，防爆电气安全是企业安全生产的关键。行业电气爆炸事故时有发生，易造成人员伤亡与财产损失，多数企业现有防爆管控模式滞后、运维不规范、智能化程度低，无法适配动态风控需求。天津佳电电机成套设备技术有限公司作为深耕爆炸性环境安全防护领域的高新技术企业，依托集团全产业链研发、智造、工程、检测资源，凭借多项施工资质与海量重大项目经验，聚焦工业防爆电气风险管控痛点。本文结合企业一线工程服务、隐患排查、实战经验，构建完善的防爆安全管理体系，为冶金企业防爆安全管控提供理论与实践支撑。

1 防爆电气安全风险特征与管控要点

(1) 爆炸性物质与危险区域风险特性：冶金生产工况复杂，现场并存可燃气、金属粉尘、易燃溶剂等多重爆炸性介质，介质浓度达标后遇电气点火源极易引发爆炸事故^[1]。不同爆炸介质的引燃、爆炸参数差异显著，对防爆设备选型与区域管控提出差异化规范要求。冶金全生产环节均覆盖危险区域，受工况变动、通风条件及物料泄漏影响，风险等级动态波动，传统静态管控难以适配现场需求。同时，现场高温高湿、粉尘腐蚀等恶劣环境，加速防爆设备性能衰减、隐患滋生，这也是企业防爆工程改造、隐患排查整改服务重点攻坚的现场难题。

(2) 点火源类型与防爆管控重点：冶金防爆点火源具有复合型、隐蔽性特征，主要包含电气火花、高温热表面、静电放电及机械摩擦火花四类，其中电气

火花诱发事故占比超 35%，整体管控难度较大。现阶段防爆管控严守系列标准，依托企业专业检测与工程施工能力，围绕设备本质安全、点火源阻断、介质浓度管控落实差异化防控，有效阻断风险接触路径，从源头防范爆炸事故。

(3) 风险管控核心原则与目标：防爆电气安全风险管控遵循风险预控、源头治理、全程管控、动态适配、科技赋能五大核心原则，以危险区域精准辨识、爆炸性物质特性分析、点火源全维度防控为基础，结合企业一站式防爆工程、隐患整改的服务体系，构建设备全生命周期、区域动态管控、人员能力保障、应急闭环处置、智能监测预警的一体化管控体系。管控目标瞄准爆炸事故零发生、电气险肇事件大幅下降、防爆设备可靠运行、人员防爆技能达标、应急处置高效精准，依托专业化工程落地能力与智能化管控手段，消除电气防爆系统性漏洞，提升冶金企业本质安全水平，保障生产连续稳定运行。

2 基于风险管控的防爆电气安全管理体系核心构建

(1) 防爆电气设备全生命周期风险管控：本文以全流程风险防控为核心，搭建防爆电气设备选型、安装、验收、使用、维护、检测、报废闭环管控机制，完全贴合企业防爆工程全流程服务模式。设备选型严格遵循系列标准，结合现场工况匹配适配防爆设备。依托企业电力工程、机电工程总承包资质优势，严控关键安装工艺并落实联合验收^[2]。运维阶段参照行业标准制定分级检测计划，匹配企业隐患排查与整改核心服务，依托数字化档案实现设备全生命周期防爆性能合规可控。

(2) 爆炸危险区域划分与动态风险管控：结合生

产工艺、设备布局、物料参数与通风工况，由企业专业技术团队完成危险区域精准划分，绘制区域划分图，明确各类危险区域边界与等级。建立区域风险动态评估更新机制，针对工艺调整、设备改造、物料泄漏等工况变化，及时重新定级、更新图纸，实现风险动态适配。对0区、20区等高风险区域严格落实作业许可、浓度检测、专人监护及电子票证监管制度，杜绝违规作业风险，该管控模式已广泛应用于企业服务的各大煤化工、钢铁、焦化、煤炭等项目中。

(3) 人员能力与安全文化风险管控：构建分层分类、考核认证、文化赋能三位一体的人员风险管控体系，贴合企业项目施工、检测服务人员管理模式，针对管理人员、技术人员、一线施工操作人员、外包承包商人员制定差异化培训方案，覆盖爆炸原理、区域划分、防爆标志、设备运维、应急处置、标准规范等核心内容，提升全员防爆风险认知。关键岗位防爆维护电工需经国家防爆电气产品质量监督检验中心培训考核，持证上岗，保障各大项目施工、运维服务合规专业。通过事故案例警示、安全专项活动、隐患排查奖励等载体，营造全员参与防爆管控的安全文化，强化人员主动防控意识，杜绝违章操作、违规作业等人为风险因素，保障项目服务与企业生产双重安全。

(4) 应急处置与预案风险管控：针对煤气、金属粉尘等不同爆炸性物质，以及储罐区、管道、除尘器、涂层线等重点场所，结合企业重大EPC总承包项目服务经验，编制专项电气火灾爆炸应急处置预案，明确预警响应、人员疏散、浓度控制、灭火处置、现场恢复流程^[3]。危险区域配置防爆型应急照明、通讯设备、气体检测仪、D类金属火灾专用灭火器等应急物资，保障应急处置有效性。定期开展实战化应急演练，覆盖泄漏预警、点火源阻断、爆炸初期处置等场景，检验预案可行性与协同处置能力，形成预案编制、演练评估、优化完善的闭环管理，提升突发事件应急处置效率。适配各类大型煤化工、钢铁、焦化、煤炭等项目应急安全管控需求。

(5) 智能化监测与预测性风险管控：煤气柜、喷煤车间、涂层生产线等高风险区域，结合企业智能化安全服务布局，部署防爆型温度、振动、气体浓度、粉尘浓度、静电电位传感器，构建在线监测网络，实时采集设备运行参数与环境风险数据，传输至安全监控平台。依托大数据分析、机器学习算法，挖掘设备性能劣化趋势，识别绝缘老化、接触不良发热、浓度超标等潜在隐患，实现故障提前预警，变被动检修为预测性维护。智能监测与预警可提前72小时以上发现

煤气区域隐患、48小时以上预警粉尘区域风险，大幅降低设备故障引发爆炸的概率，提升风险管控智能化水平，为企业智能化防爆工程服务提供技术支撑。

3 管理体系实施成效与风险管控效果验证

(1) 体系实施关键路径：通化钢铁为天津佳电公司长期合作的重点钢铁企业，2021年开始落地防爆电气安全闭环管理体系。天津佳电电机成套设备技术有限公司凭借电力工程、机电工程施工总承包二级资质，近几年一直为企业落地专项防爆工程总包施工、设备隐患治理及全程技术保障工作。企业搭建防爆设备的全生命周期数据档案，严格落地设备点检与定时检修流程，参照国家现行标准重新划定厂区危险区域划分图，配套动态更新管控机制，让区域风险等级贴合现场生产实况。企业搭建层级化、差异化的防爆技能培训体系，核心岗位人员持证上岗实现全覆盖。煤气柜、喷煤车间等高危生产区域布设防爆温振传感设备、激光粉尘检测仪器，搭建智能化监测预警系统，补齐专项应急处置预案体系，常态化开展实景应急演练，夯实厂区应急处置基础，塑造出全流程、全要素、智能化的防爆电气安全管控运行范式。

(2) 风险管控核心指标对比分析：依托企业专业化工程落地、精准隐患整改、智能监测赋能，2023-2024年核心指标对比显示，电气引发险肇事件下降，电气相关爆炸事故实现零发生。防爆设备故障率下降，同比下降，设备运行可靠性大幅提升。智能化监测模块预警精准度高，煤气柜区温振与CH₄浓度监测预警准确率很高，提前72小时预警故障，非计划停机减少；喷煤车间激光粉尘仪监测预警准确率提升，提前48小时发现隐患，非计划停机减少；涂层生产线VOC与静电监测预警准确率上升，提前24小时预警，非计划停机减少，风险管控效果量化可验证，充分印证了企业一体化防爆服务体系的实战价值。

(3) 体系应用实践价值：该体系深度融合天津佳电公司工程实操经验与集团全产业链优势，通过全生命周期设备管控、动态区域管控、人员能力保障、应急闭环处置、智能预测维护，实现防爆电气风险由事后处置向事前预防、被动管控向主动防控的转变，阻断电气点火源与爆炸性环境接触，从源头降低爆炸事故风险。依托企业产品+工程+检测三位一体服务模式，预测性维护减少非计划停机，降低设备故障频次，维护成本降低，兼顾安全生产与经济效益。该体系适配企业长期服务的中石油、中石化、各大钢铁、建材、能源集团等核心客户需求，为冶金及能源企业防爆电气安全管理提供可复制、可推广的实践路径，全面提

升企业本质安全水平。

4 体系运行现存问题与风险管控优化策略

(1) 标准执行与源头管控问题: 现阶段防爆电气管控体系运行过程中, 标准执行不统一、源头管控薄弱是诱发安全隐患的核心问题^[5]。部分单位片面压缩成本、忽视规范细节, 致使设备防爆选型与现场危险区域等级、爆炸介质选型不匹配, 同时出现设备末端防护不标准、电缆密封件失效、接地系统不规范、隔爆面间隙超标等安装问题, 形成先天性安全隐患。结合企业一线隐患排查服务经验发现, 多数企业设备入场验收工作流于形式, 仅核查供应商资质与产品合格证明, 第三方专业检测力度严重不足, 未开展实质性防爆性能核验, 难以排查隔爆面损伤、绝缘性能不达标等隐性缺陷, 长期留存安全漏洞, 严重影响防爆体系稳定运行。

(2) 设备更新与技术应用问题: 受行业效益波动、生产成本受限等因素影响, 多数冶金企业老旧防爆设备更新改造进度滞后, 大量设备超期服役, 普遍存在密封失效、绝缘老化、隔爆面锈蚀、紧固件松动等问题, 设备本质防爆性能持续衰减, 极易诱发电气爆炸事故, 也是企业防爆工程改造升级服务的重点整改内容。老旧设备硬件适配性不足, 无法接入智能化监测系统, 难以实现风险实时预警。同时行业智能化管控存在明显短板, 各系统数据孤立、互通性差, 监测数据资源无法有效利用。AI 隐患预判模型精度不足, 设备劣化趋势研判不够精准, 预测性维护落地程度有限, 5G 与工业互联网技术融合不足, 智能风控优势未能充分发挥, 也是企业后续技术研发与服务升级的核心方向, 整体智能化管控效能亟待提升。

(3) 人员与现场管理问题: 人员管控疏漏与现场管理漏洞是冶金防爆电气人为风险滋生的主要诱因,

严重制约安全管控体系落地实效。结合企业各类施工现场管理经验来看, 防爆承包商人员流动性大、队伍不稳定, 部分企业为压缩成本未开展系统防爆培训, 致使作业人员安全认知薄弱、实操能力不足, 易出现违章作业行为。同时, 现场高危作业票证审批不规范、监管流于形式, 高风险区域现场监护缺位、人员专业能力不足, 难以杜绝违规操作, 人为点火源风险无法彻底消除, 给生产安全带来极大不确定性。

(4) 针对性风险管控改进措施: 针对体系运行问题, 结合天津佳电公司项目服务经验和冶金企业生产实际制定优化措施。强化设计、采购、安装全流程把控, 依托企业供应商审核体系, 建立供应商分级审核与设备入场第三方强制检验机制, 统一标准执行。推动老旧设备改造升级, 发挥企业防爆工程总包优势, 助力企业缓解改造成本压力; 打通数据壁垒, 优化 AI 模型, 深化智能技术与防爆服务融合应用。严格承包商监管与高危作业管控, 完善常态化培训体系和安全文化建设, 压实全员责任, 筑牢电气防爆安全防线, 持续优化一站式防爆安全管控服务体系。

5 结语

防爆电气安全是冶金企业本质安全建设的重中之重, 直接关系到人员生命财产安全与生产经营稳定。本文结合天津佳电电机成套设备技术有限公司的工程实操、隐患排查、EPC 项目实战经验, 分析冶金企业防爆电气安全风险特征, 构建全流程、全要素、智能化的防爆电气安全管理体系, 经大型钢铁企业实践验证, 该体系可有效降低安全风险、提升设备可靠性、减少非计划停机, 实现安全生产与经济效益的双赢。明确当前体系运行中标准执行不统一、设备更新滞后、人员管理薄弱等问题, 结合一线服务经验提出针对性优化措施, 可为各大煤化工、能源、冶金核心企业工业防爆电气安全管控提供专业、可落地的参考方案。

参考文献:

- [1] 邢云.试论化工防爆电气设备的维护[J].石化技术,2025,32(11):419-421.
- [2] 祝雅思.气瓶层层堆叠粉尘涉爆企业未使用防爆电气设备[N].中国应急管理报,2025-10-11(002).
- [3] 姜涛,王澎,陈阳,等.石油化工领域防爆电气设备选用与管理[J].化工管理,2025,(29):113-115.
- [4] 暴军.煤矿井下防爆电气设备的检查维护及安全性能评价[J].矿业装备,2025,(09):72-74.
- [5] 史槐林.冶金企业电气防爆安全管理体系构建与实施[J].电气防爆,2025,(04):31-33+37.