

电厂脱硫脱硝安全管理标准化实践研究

文 / 闫 敏 国能龙源环保泰州有限公司

摘要：电厂脱硫脱硝系统的重要功能是减少污染物排放，避免对大气环境造成污染。该系统运行的过程中，难免出现一些问题而影响运行安全。电厂的脱硫脱硝安全管理做到位，就要认识到标准化的重要性，掌握这项工作的具体措施，即前期做好各项准备工作，落实现场管理并持续改进。安全管理过程中，实施风险分级管控、作业流程标准化、危化品专项管理、设备完整性管理，运行应急响应体系且智能监控升级，旨在行业提供标准化安全管理经验，保障环保设施检修与改造的安全高效进行。

关键词：电厂；脱硫脱硝；安全管理；标准化；实践

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.23.116

引言

国家对于环境保护严格要求，电厂的脱硫脱硝装置逐步进入大修周期。系统内存很多易燃易爆风险点，诸如密闭容器、防腐涂层等，加之外包团队素质良莠不齐，存在交叉作业现象，加之工期压缩而导致被动加快进度，就会增加安全隐患。如果不及时采取措施解决，就会导致不良后果^[1]。所以，将全要素安全管理体系构建起来是非常必要的，对事故以防范，保障环保设施安全稳定运行。本文的研究中，基于安全管理标准化的重要性，提出安全管理标准化的具体措施。

一、安全管理标准化的重要性

国家提出的大气污染物排放标准越来越严格，旨在实现“双碳”战略目标，电厂引进的烟气净化技术为脱硫脱硝工艺，以减少二氧化硫（SO₂）和氮氧化物（NO_x）的排放量。但是，这些工艺本身会涉及一些风险，诸如高温高压、强腐蚀性介质以及易燃易爆气体等，甚至产生复杂的化学反应，导致操作环境的危险性非常高。

比如，湿法脱硫系统中，石灰石浆液与烟气中的SO₂发生酸碱中和反应，生成亚硫酸钙，经过氧化之后成为石膏。在此过程中，很有可能存在泄露强碱性溶液的风险，如果设备密封性不好，很有可能有毒气体逸出。选择性催化还原脱硝系统中，要将氨水或者尿素喷入到烟道中，发挥还原剂的作用，催化剂的催化作用是NO_x转化为没有危害的氮气和水蒸气。但是，氨作为容易挥发而且刺激性非常强的有毒气体，如果泄漏，会威胁到现场人员，使其呼吸道被灼伤，甚至发生中毒，还有可能在密闭空间内形成爆炸性混合物，因此造成安全事故。

所以，构建全管理标准化体系并科学、系统运行是非常必要的，确保脱硫脱硝作业顺利推进。所谓“标准化”，就是要将全覆盖闭环体系构建起来，覆盖全员、覆盖整个过程、覆盖所有要素。从一线工作人员到管理层人员，都要严格遵循统一操作规程，掌握识别风险的方法，运行应急响应机制，按照规定流程进行监督检查。采用标准化管理模式，对于各种潜在风险源均能有效识别并予以控制，提高员工的安全意识和，并在工作中合理规范自身行为，规范水平，做到事前预防。

二、安全管理标准化的具体措施

（一）前期准备

1. 安全教育与专业培训

所有参与作业的人员都要接受安全教育与专业培训。培训内容要全面，涵盖电力安全工作规程、脱硫脱硝系统结构原理、典型事故案例剖析、个人防护用品（PPE）正确佩戴方法、应急逃生技能等多个维度。特别是针对外包单位人员流动性大、安全素养参差不齐的特点，电厂应设立专门的入厂准入机制，实施三级管控，先接受培训，进行考核且合格，才有资格上岗。只有通过理论考试和实操演练双重测评者，才能够获得现场作业资格证。

2. 技术和安全交底

技术和安全交底是连接管理层与执行层的关键桥梁。在每次大修开工之前，电厂应组织由生产部门、安监部门、技术专家以及外包单位负责人共同参加的安全交底会议。会上不仅要明确本次作业的范围、工期以及技术难点，更要重点讲解脱硫系统特有的风险点，包括吸收塔内部可能存在残留的H₂S气体、GGH转子卡涩导致机械伤害、氨区管线泄漏引发中毒等。通过图文并茂的PPT演示、三维动画模拟事故场景、播放真实事故视频等方式，使得参会者产生直观感受。

所有交底的内容都要形成书面文件，并由各方签字确认，作为后续责任追溯的依据。同时，还要将“双盲复查”机制建立起来，由不同班组交叉检查对方的交底落实情况，确保信息传递无遗漏、无误解。

3. 安全工器具

安全工器具的完好性直接关系到作业人员的安全。因此，在检修前之前必须对所有拟使用的安全设备进行逐一清点并对其各项功能以测试，主要包括正压式空气呼吸器的气密性和供气时间检测、便携式多气体检测仪的校准与标定、防坠落装置的静载荷试验、绝缘手套和靴子的耐压试验、有限空间通风设备的风量验证等^[2]。每一项检测结果都应登记造册，贴上有效期标签，并由专人负责保管与发放。对于质量不合格或者临近失效期的器具，不能继续使用，及时更换新器具。

4. 引入智能工具管理系统

电厂引入智能工具管理系统，通过 RFID 芯片或二维码扫描实现工器具的全生命周期追踪。系统可自动提醒检验周期、记录使用频次、预警异常损耗，极大提升了

管理效率与可靠性。此外，还应在现场设置专用的安全物资储备点，配备充足的急救药品、洗眼器、应急照明灯等辅助设施，确保突发情况下能够迅速响应。（图 1：智能工具管理系统）

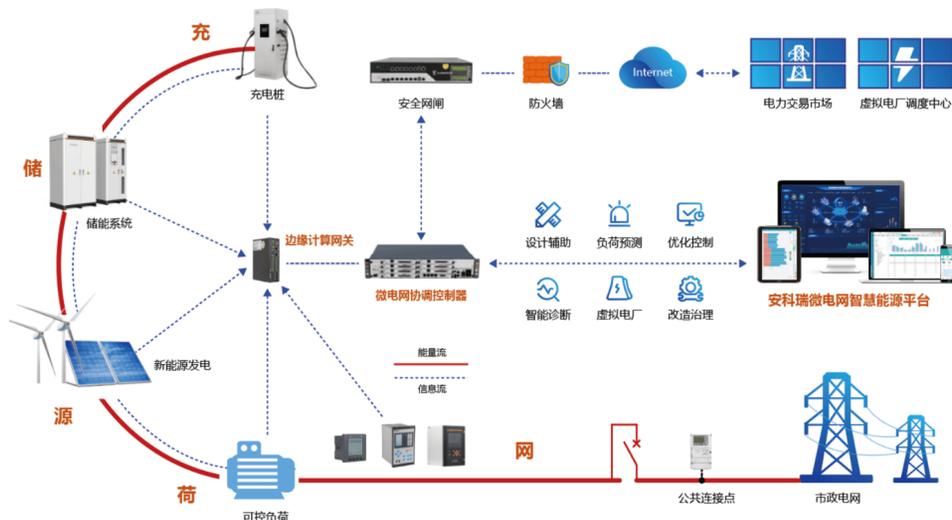


图 1 智能工具管理系统

数字化转型正在重塑电厂安全管理模式。AI 视频分析系统可自动识别未系安全带、非法闯入禁区、吸烟等违规行为，并即时推送告警至管理人员手机端。腐蚀在线监测系统通过 pH、Cl⁻ 传感器实时感知塔体腐蚀趋势，提前发出预警^[3]。更前沿的是数字孪生技术的应用：基于三维建模与大数据算法，构建设备虚拟镜像，实时映射物理世界状态，支持故障预测与维修决策优化，推动从“定期检修”向“预测性维护”跃迁，全面提升系统安全性与经济性。

（二）现场管理

1. 操作人员规范操作

进入到现场作业环节，特种作业人员的各项操作要符合规范，诸如高空作业、动火作业、受限空间作业以及起重吊装等，如果没有采取预防措施，很容易导致不良后果。对于此，电厂要确保所有的上岗人员都持有资格证书，并在信息系统中备案可查。

2. 动态监管

电厂脱硫脱硝安全管理，动态监管非常重要。比如，对吸收塔内部仅此防腐施工的过程中，安排专职监护人员对现场的整个操作过程监督，配备灭火器材和降温喷雾装置。同时，将红外热成像仪充分利用起来，对焊接区域温度变化情况实时监测，避免局部过热而将防腐涂层引燃。具体的操作中，启动热成像仪，使用红外探测器捕捉焊接区域的热辐射信号，实时热图就会生成，温度梯度分布情况直观显示出来。具体的操作中，重点监测激光焊接中的熔池温度梯度、红外焊接中的接缝熔化区、刹车片焊接中的摩擦面温度场。同步记录温度数据，包括峰值温度、冷却速率，还有焊接时间、点位信息等，生成可追溯的温度-时间曲线。

3. 现场定置管理

现场定置管理则是文明施工与安全保障的有机结合。所谓“定置管理”，是指根据作业流程和功能分区，科学规划物料堆放、工具摆放、通道设置、警示标识布置等内容。脱硫系统大修过程中，现场往往堆满管道、阀门、泵体等重型部件，如果随意堆放很容易造成次生伤害，诸如绊倒、挤压等。为此，电厂应提前编制详细的《现场定置管理图》，对于各个区域的功能属性都要明确，尤其是拆卸区、待检区、合格品区以及废料区等，并使用不同颜色的地坪漆进行划分。所有物品按照类别编号存放，配套电子台账同步更新。

4. 可视化管理

在关键设备的周围要设置醒目的安全警示牌，标明“禁止攀爬”等提示语；在主要通道上方悬挂 LED 显示屏，滚动播放当日作业进度、风险提示和天气预警信息；在控制室安装全景监控系统，实现对重点区域的 24 小时无死角监控。一些领先企业甚至试点应用 AR（增强现实）技术，让巡检人员通过智能眼镜即时获取设备参数、历史缺陷记录和应急预案，大幅提升处置效率。

（三）持续改进与反馈机制

安全管理会不断迭代且螺旋上升，因此是动态过程。即便将标准和严密的措施制定出来，也需要通过持续改进与反馈机制对其有效性检验，基于实际运行情况进行调整并不断优化。对于此，电厂要将安全绩效评估体系建立起来并不断健全，定期组织内外部专家全面诊断脱硫脱硝系统的安全管理现状。评估内容应涵盖制度执行率、违章行为发生率、隐患整改闭环率、事故统计趋势、员工满意度调查等多个维度，形成客观、量化的评价报告。

在此基础上，将畅通的反馈渠道建立起来。施工人

员为最早发现潜在问题的人群，但是，通常由于层级差异或者担心报复而不愿意主动上报。对于此，电厂可推行“匿名隐患举报平台”或者“安全金点子奖励机制”，鼓励员工积极反映现场存在的安全隐患或者将改进建议提出来。每一条反馈都会被认真对待，安排专门的人员核实处理，并在一定范围内将整改的结果公示，形成良性互动氛围。

应用信息技术手段实施安全管理，做到安全管理智能化。比如，构建“智慧安监平台”，将定位系统、智能视频分析、AI行为识别等各项功能集成，自动捕捉不安全行为，诸如没有戴安全帽、违反规定穿越警戒线等，并即时推送预警信息到管理人员的手机端。结合大数据分析技术，还可挖掘事故发生的规律性特征，风险预警提前发布，以实现主动防控。

（四）风险分级管控标准化

我国对电力行业安全监管力度的不断加强，各种法规标准逐步完善。在此背景下，LEC分析法由于量化直观且操作性强，主要用于脱硫脱硝系统的风险评估实践中。这种方法通过综合评估事故发生的可能性（L）、人员暴露于危险环境的频率（E）以及一旦事故发生可能造成的后果严重性（C），得出风险值 $R=L \times E \times C$ ，并据此将风险划分为红（重大风险）、橙（较大风险）、黄（一般风险）、蓝（低风险）四个等级，形成可视化、可追溯的风险矩阵图谱。

比如，某600MW燃煤机组为例，在脱硫系统大修期间，

技术人员对吸收塔内部防腐施工、GGH（气-气换热器）清理、浆液管道更换等关键作业点进行了全面风险辨识。结果显示，吸收塔内衬胶修复作业因涉及高空、动火、受限空间三类高危作业叠加，LEC评分高达320分，属于红色重大风险项；而常规巡检类任务则多落在蓝色区间，仅需日常提醒即可。针对不同等级的风险，企业建立了动态升级管控机制：红色风险必须由厂级分管领导现场带班监督，执行双人确认制和全过程视频监控；橙色风险由车间主任牵头组织专项方案评审并落实技术交底；黄色与蓝色风险则纳入班组日常安全例会跟踪闭环。此外，还引入信息化手段，开发“风险四色地图”电子看板，实时显示各区域当前风险等级及管控状态，确保管理层与一线员工信息对称、响应同步。

（五）设备完整性管理

设备完整性管理是保障脱硫脱硝系统长周期安全运行的核心支柱。其强调从设计选型、制造安装、运行维护到退役报废的全生命周期视角，系统性防范设备有失效风险。在强酸、高氯、湿热交替的恶劣工况下，脱硫系统设备腐蚀速率远高于常规热力设备。例如，浆液循环泵叶轮年均腐蚀深度可达3~5mm，若不及时更换可能导致断轴、泵壳穿孔甚至系统停运。为此，企业基于历史检修数据和在线监测结果，建立“腐蚀速率预测模型”，结合材质特性与运行负荷，科学制定备件更换周期，避免“过早换浪费、过晚换出事”的两难困境。（表1：腐蚀速率预测模型的选择和优化）

表1 腐蚀速率预测模型的选择和优化

模型类型	适用场景	优势
BAS-GRNN 模型	小样本、非线性数据	天牛须算法优化光滑因子，精度提升15%+
LPR 电化学模型	实时在线监测（如循环水系统）	响应快，支持动态修正
IGM(1, 1) 灰色模型	腐蚀深度趋势预测	结合权重重构序列，解决季节波动问题

防腐层的状态尤为关键。吸收塔内壁普遍采用丁基橡胶衬里或玻璃鳞片涂层，任何针孔、鼓泡都会成为腐蚀突破口。为此，定期开展电火花检测成为强制性手段：在衬胶施工完成后，使用高压电火花探伤仪沿表面匀速扫描，电压设定为15kV/cm，一旦出现火花放电即判定存在缺陷，必须返工修补。鳞片涂层则通过超声波测厚仪每年检测一次，厚度低于原设计80%时即列入更换计划。这些检测数据全部录入“设备健康档案”，形成趋势曲线，辅助判断劣化速度。

备件质量管理过程中，推行“供应商准入一到货验收—安装见证—运行反馈”全流程追溯机制。关键部件包括除雾器模块、GGH转子、pH计探头等，只允许从经审核备案的合格供方采购即可。到货的时候，除了查验材料质量证明、出厂报告之外，还需要进行抽样理化分析；安装施工过程中，监理单位全程旁站记录；投入运营之后，持续跟踪运行的表现状态，发现问题倒查供应链责任。采用这种闭环管理模式，能够显著提升设备运行的安全可靠，为数字孪生系统的建模提供了高质量数据基础。

结语

通过研究明确，电厂脱硫脱硝安全管理标准化工作要围绕着风险预控这个核心展开，通过强化修前准备以及过程动态管控，并在技术层面以支撑，以系统性化解复杂作业环境下的各种安全挑战。随着环保技术的持续迭代，加之政策要求更加严格，还需要对外包管理机制不断优化，全面推广智能监控技术并完善应急预案，以主动预防安全管理，为电力环保事业持续健康发展提供保障。

参考文献

[1] 王远铠. 火电厂烟气超低排放改造工程标准化安全管理及创新实践 [J]. 企业管理, 2016(S1): 2.
 [2] 吕先平, 奚金鹏, 李道智, 等. 烧结机头烟气脱硫脱硝除尘一体化工艺应用实践 [J]. 冶金标准化与质量, 2020(6): 58-59.
 [3] 刘孟玥. 钢铁行业烧结烟气处理工艺生命周期多目标集成评价研究 [D]. 山东大学 [2025-09-19].
 作者简介: 闫敏, 1989年6月, 男, 河北省张家口市, 本科, 工程师, 研究方向为脱硫脱硝。