

基于风险预控的火电厂安全技术研究

王勇武

丹阳中鑫华海清洁能源有限公司 江苏 镇江 212311

摘要：火电厂作为能源供应核心，安全生产关乎电力系统稳定与社会民生。本文聚焦基于风险预控的燃气火电厂安全技术研究，构建了包含管理体系、关键技术及体系构建的完整框架。阐述了以“风险前置管控”为核心的安全管理体系，分析了风险识别与溯源、评估与量化等关键技术，探讨了体系构建的逻辑起点、协同机制及优化逻辑。通过层级化架构设计与动态迭代机制，实现对火电厂全流程风险的系统性管控，为提升火电厂安全生产水平提供了理论与技术支持。

关键词：基于风险预控；火电厂；安全技术；体系构建

引言：火电厂传统安全管理模式难以应对复杂风险，风险预控理念应运而生。本文基于火电厂设备密集、流程复杂的特点，围绕风险预控展开研究。首先解析安全生产风险预控管理体系，再深入探讨风险识别、评估等关键技术，最终构建完善的安全技术体系，以实现从被动应对到主动防控的转变，保障火电厂安全稳定运行。

1 火电厂安全生产风险预控管理体系概述

燃气火电厂安全生产风险预控管理体系是一套以“风险前置管控”为核心的系统性安全管理框架，旨在通过标准化、流程化的管理手段，实现对燃气火电厂全产业链条安全风险的精准识别、科学评估与有效控制，最终降低事故发生率，保障电力生产的连续性与稳定性。

该体系以危险源辨识为基础，要求对燃气火电厂的设备系统（如燃气轮机、燃气管道等）、作业环节（如燃气调压、机组启停、检修动火等）及管理流程进行全面排查，梳理出可能导致事故的物质、环境、行为等风险因素，并建立动态更新的危险源数据库。在此基础上，通过定性定量相结合的方法（如LEC法、风险矩阵法）对风险等级进行评估，明确管控优先级。

体系运行遵循“PDCA循环”逻辑：计划阶段结合企业实际制定风险控制目标与实施方案；执行阶段通过制定安全规程、开展专项培训、配置防护设施等措施落实管控要求；检查阶段依托定期巡查、燃气泄漏监测系统等手段验证措施有效性；改进阶段则针对发现的问题优化流程，形成闭环管理^[1]。

2 基于风险预控的火电厂安全关键技术

2.1 风险识别与溯源技术

风险识别是风险预控的基础，其核心在于全面排查火电厂各环节潜在风险点，明确风险来源与特征。针对燃气火电厂的特殊性，该技术主要包括以下几方面：

（1）设备全生命周期风险辨识技术：通过对燃气轮机、余热锅炉、燃气管道等核心设备从设计、制造、安装、运行到退役的全周期数据采集，结合设备缺陷数据库和故障模式分析（FMEA），识别设备老化、密封失效、燃气腐蚀等潜在风险。借助三维建模与仿真技术，模拟设备在燃气泄漏等极端工况下的运行状态，预判结构失效或性能衰减风险。（2）作业流程风险映射技术：针对燃气调压、机组启停、检修动火等关键作业环节，采用流程节点分解法，将作业步骤拆解为可量化的单元，分析每个单元中人员操作、环境因素与设备状态的交互关系，识别违章操作、流程疏漏等风险。通过作业环境参数监测（如燃气浓度、压力、温度），捕捉环境异常引发的衍生风险。（3）管理体系漏洞识别技术：基于标准化管理框架，对安全制度、操作规程、责任分工等管理要素进行合规性校验，通过制度执行偏差分析、管理流程节点冗余或缺失检测，识别管理层面的风险，如燃气安全制度更新滞后、动火作业责任划分模糊等。

2.2 风险评估与量化技术

风险评估技术通过科学方法对识别出的风险进行等级划分，为管控措施的优先排序提供依据，核心技术如下：（1）多维度风险矩阵评估技术：结合燃气火电厂风险的复杂性，从“可能性”和“后果严重性”两个维度构建评估矩阵。可能性评估综合设备故障率、人员操作失误率、燃气泄漏概率等数据，通过统计模型计算风险发生的概率区间；后果严重性评估则涵盖人员伤亡、设备损坏、环境影响、经济损失等指标，采用加权评分法确定后果等级，最终形成风险等级矩阵，明确高、中、低风险边界。（2）动态风险评估技术：依托实时数据采集系统，对运行参数（如燃气压力、温度、机组负荷）、设备状态（振动、密封性能、绝缘性能）、环

境参数（风速、湿度、可燃气体浓度）进行持续监测，建立风险动态评估模型。当参数偏离正常范围时，模型自动更新风险等级，实现从静态评估到动态跟踪的转变。（3）耦合风险评估技术：针对燃气火电厂风险相互关联的特点，分析不同风险点之间的耦合效应。例如，燃气管道泄漏风险可能与机组燃烧不稳定风险形成叠加，通过耦合系数计算，评估复合风险的实际影响，避免单一风险评估导致的管控疏漏^[2]。

2.3 风险控制与干预技术

风险控制技术是风险预控的核心环节，通过针对性措施降低风险发生概率或减轻后果，主要包括以下三类手段。（1）工程技术防控：针对高风险设备与区域，采用本质安全化改造技术。如在燃气轮机安全领域，应用燃气泄漏在线监测与快速切断系统，结合燃烧室温度实时调控技术，预防燃气爆炸与超温损坏；在电气安全方面，采用绝缘在线监测、局部放电检测技术，及时发现设备绝缘缺陷，通过智能化接地保护系统降低触电风险。通过加装物理隔离装置（如防爆墙、防护栏）、冗余设计（备用燃气调压装置、应急切断阀）等，减少风险扩散路径。（2）流程优化技术：对关键作业流程进行重构，引入标准化操作程序（SOP）与防误操作技术。如在燃气系统操作中，采用联锁保护系统（防止误开阀门、误调压力等）与操作票智能生成系统，通过流程固化与逻辑校验减少人为失误；在检修动火作业中，应用作业许可管理系统，实现风险告知、燃气浓度检测、作业过程监护的全流程数字化管控。（3）参数自适应调控技术：基于机组运行特性，通过智能控制系统实现参数的动态优化。如在燃气轮机运行中，根据负荷变化自动调整燃气流量与空气配比，维持稳定燃烧状态；在脱硝系统中，依据烟气成分实时调节还原剂投放量，避免因参数失衡导致的设备腐蚀或环保超标风险。

2.4 风险监测与预警技术

风险监测与预警技术通过实时感知与智能分析，实现风险的早期发现与及时响应，是风险预控的“神经中枢”，关键技术如下：（1）分布式传感监测技术：在厂区关键区域部署光纤传感器、红外传感器、可燃气体传感器等设备，形成覆盖生产现场的监测网络。光纤传感器可实现对设备振动、温度的分布式测量，红外传感器用于检测电气设备接头过热，可燃气体传感器实时监测燃气轮机机房、管道阀门等区域的燃气浓度，数据通过无线传输至中控系统，实现全方位状态感知。（2）智能预警算法：基于大数据分析 with 机器学习，构建风险预警模型。模型通过学习历史故障数据与正常运行参数，识

别风险前兆特征，如设备振动频谱异常、燃气压力波动规律改变等，当监测数据匹配预警特征时，自动触发分级预警（如提示、告警、紧急告警），并推送至相关责任人。模型具备自学习能力，通过不断迭代优化预警精度。（3）可视化监控技术：采用数字孪生技术构建燃气火电厂虚拟镜像，将实时监测数据与三维模型融合，实现设备状态、作业流程、环境参数的可视化展示。管理人员可通过虚拟场景直观掌握风险分布情况，如燃气管道泄漏位置、设备异常区域等，为决策提供直观依据。结合地理信息系统（GIS），对厂区周边环境风险（如自然灾害、周边明火源影响）进行联动监测。

2.5 风险应急处置技术

风险应急处置技术聚焦于风险失控后的快速响应，通过技术手段缩小事故影响范围，降低损失程度，是风险预控的最后一道防线。主要技术包含以下方面：（1）事故溯源与定位技术：在事故发生后，通过分布式监测系统的时空数据关联分析，快速定位事故源头。结合视频监控、设备运行日志、传感器数据，确定火灾起火点、燃气泄漏点的具体位置与扩散路径，为应急处置提供精准坐标。（2）应急资源智能调度技术：基于应急物资数据库与人员定位系统，构建应急资源调度模型。模型可实时计算应急物资（如燃气检测仪、灭火器、防护装备、抢修工具）的库存与分布，结合人员实时位置信息，生成最优调度方案，确保资源以最快速度抵达事故现场。通过应急通信系统（如对讲机、应急广播）实现指令的高效传递。（3）事故隔离与抑制技术：针对不同类型事故，采用专项技术手段控制事态发展。如燃气火灾发生时，自动启动灭火系统（气体灭火、干粉灭火），同时切断事故区域燃气供应；燃气管道泄漏时，通过远程控制紧急切断阀关闭实现介质隔离，结合防爆围堰、燃气吸附材料等抑制泄漏物扩散。通过排烟系统、通风系统的智能调控，降低可燃气体浓度与对人员的影响^[3]。

3 基于风险预控的火电厂安全技术体系构建

3.1 体系构建的逻辑起点与架构设计

基于风险预控的燃气火电厂安全技术体系构建，需以风险的动态属性为逻辑起点，搭建“认知—防控—验证”的递进式架构。风险认知层面。建立全维度的风险图谱，涵盖燃气设备固有风险、燃气输送过程波动风险、燃气泄漏与环境耦合风险等类型，通过结构化梳理明确风险的触发条件、传导路径及影响边界。在此基础上，设定风险管控的基准阈值，包括燃气设备参数临界值、燃气操作行为规范值、燃气环境因素安全值等，形

量化的风险管控标尺。

架构设计要体现层级化特征。基础层聚焦数据采集能力建设,整合分散在DCS系统、燃气设备传感器、作业记录仪中的各类信息,建立标准化数据接口以实现跨系统数据互通。中间层为风险分析引擎,包含风险识别算法、评估模型和趋势预测模块,通过对实时数据与历史数据的比对分析,生成动态风险清单。应用层则对应具体的管控功能模块,如燃气风险预警发布、燃气控制措施推送、燃气应急资源调度等,形成从数据输入到决策输出的完整链路。

3.2 体系运行的协同机制

体系的有效运行依赖于以下技术、制度、组织三方的协同机制。(1)技术协同方面。建立燃气风险信息共享平台,打破各专业系统的数据壁垒,使设备管理、运行调度、安全监察等部门能实时获取统一的燃气风险视图。平台需具备数据清洗与标准化处理功能,消除不同数据源的格式差异与误差,确保风险分析的一致性。通过接口开发实现与燃气设备控制系统的联动,使风险预警信息能直接触发相应的调控指令,缩短响应链条。

(2)制度协同构建闭环管理流程,明确风险识别、评估、控制、验证各环节的输入输出要求。风险识别阶段需规定识别周期、范围及方法,确保覆盖全部燃气生产环节;风险评估阶段需统一评估标准与等级划分规则,避免主观判断偏差;风险控制阶段需明确措施制定的原则与实施的时限要求;验证阶段需建立效果评估指标体系,对控制措施的有效性进行量化考核。(3)组织协同要建立跨部门的燃气风险管控小组。由安全生产分管领导牵头,涵盖运行、检修、安全、技术等专业人员。小组需定期召开燃气风险研判会议,分析阶段性风险特征,协调解决跨专业的燃气风险管控问题。

3.3 体系迭代的优化逻辑

体系的持续优化要遵循以下“监测—诊断—改进”的循环逻辑。(1)监测环节建立多维度的性能指标体系,包括燃气风险识别的完整性、评估的准确性、控制

的及时性等量化参数。通过对这些指标的常态化跟踪,捕捉体系运行中的偏差,如高风险燃气事件漏判、预警响应延迟等问题。监测数据需按周期形成分析报告,为体系优化提供依据。(2)诊断阶段需采用root-cause分析方法,对监测发现的问题进行深度溯源。技术层面需排查算法模型对燃气特性的适应性、燃气传感器的稳定性等;制度层面需分析流程节点的合理性、燃气职责划分的清晰度等;组织层面需评估人员的燃气专业能力、协同效率等。诊断过程需结合现场调研与数据验证,避免表层原因的误判,确保找到问题的根本症结。(3)改进措施要体现分类施策原则。针对技术缺陷,可通过算法迭代、燃气设备升级等方式优化;针对制度漏洞,需修订相关流程与标准,完善燃气约束机制;针对组织短板,应加强人员燃气知识培训、调整职责分工等。改进措施实施后需设定观察期,通过对比改进前后的指标数据验证效果,对有效的改进方案及时纳入体系文件,形成标准化的管控要求,推动体系向更适配实际需求的方向演进^[4]。

结束语:本文系统研究了基于风险预控的燃气火电厂安全技术,明确了管理体系的核心框架,剖析了关键技术的应用路径,构建了兼具协同性与迭代性的安全技术体系。该体系通过动态风险管控,为火电厂安全生产提供了系统性方案。未来可进一步结合智能化技术,提升风险预判精度与响应速度,持续优化体系适配性,为能源行业安全管理提供更有力的理论与实践参考。

参考文献

- [1]周展展.基于风险预控的火电厂安全技术研究[J].中国公共安全,2024(11):64-66.
- [2]王耀龙.火电厂电气设备运行安全管理技术研究[J].电力设备管理,2025(10):255-257.
- [3]祁东梁.大型火电厂安全技术的思考与研究[J].广东安全生产技术,2024(8):115-117.
- [4]范国朝,谢云辰,万晖.火电厂控制系统网络安全技术研究与实践[J].电力系统装备,2023(4):18-20.