

燃气发电厂本质安全管理体系构建与实践研究

陈 宇

华电福新广州能源有限公司 广东 广州 511442

摘 要：针对燃气发电厂工艺复杂、风险多样的特点，构建了以“人、物、环、管、信”五维要素为基础的本质安全管理体系。该体系通过技术支撑、管理保障与文化驱动三方面协同发力，实现了风险的源头防控与动态清零。实践表明，该体系显著提升了设备可靠性与人员安全素养，为燃气发电行业安全管理提供了有效范式。

关键词：燃气发电厂；本质安全；管理体系；风险预控；安全文化

引言：燃气发电厂作为能源保供的关键节点，具有易燃易爆、高温高压等固有风险。随着智能化发展，传统管理模式难以满足现代安全需求。本文基于本质安全理念，构建“目标导向—要素支撑—流程闭环”的逻辑框架，旨在通过系统性方案解决燃气电厂全流程安全管控难题，提升本质安全水平。

1 燃气发电厂安全风险特征分析

1.1 工艺系统风险

燃气发电厂工艺系统复杂且关联性强，核心风险集中在燃气输送、燃烧发电及辅助系统运行全过程。燃气输送环节中，调压器、过滤分离器等设备易产生噪声、振动，若管道密封不严或阀门老化，可能导致天然气等可燃气体泄漏，引发燃爆事故。燃烧系统中，燃气轮机与余热锅炉协同运行，高温高压环境下易出现热疲劳、腐蚀等问题，若燃烧配比失衡，会产生一氧化碳、氮氧化物等有毒有害气体，既威胁人员安全，也可能损坏设备。另外，化学水、循环冷却水处理系统中，氢氧化钠、硫酸等化学药剂的使用过程中，存在泄漏、腐蚀风险，电气系统的工频超高压电场也会带来潜在安全隐患，各类工艺系统相互关联，一处故障易引发连锁反应，风险传导速度快、影响范围广。

1.2 作业环境风险

燃气发电厂作业环境具有高温、高噪声、多有害气体的显著特征，给作业人员安全和设备稳定运行带来持续挑战。主厂房、燃机罩壳等区域长期处于高温、热辐射环境，夏季作业易导致人员中暑，同时高温会加速设备老化，降低设备运行可靠性。燃气轮机、空气压缩机等设备运行时产生高强度噪声，长期接触会损害作业人员听力，还可能干扰现场指令传达，增加误操作风险^[1]。作业环境中存在甲烷、氢气等可燃气体，以及一氧化碳、二氧化氮、氨气等有毒有害气体，若通风不畅或检测不到位，易形成气体积聚，引发中毒、燃爆事故。部分作业

区域空间狭窄、设备密集，检修巡检时易发生碰撞、坠落，极端天气也会影响户外作业安全，进一步加剧环境风险。

1.3 管理与人因风险

管理与人因风险是燃气发电厂安全管控的薄弱环节，直接影响整体安全水平。管理层面，部分企业存在安全管理制度不完善、责任落实不到位的问题，风险分级管控与隐患排查治理机制不健全，对设备运维、作业流程的监管存在漏洞。外委承包商管理不规范，考核覆盖不全面，易出现违规作业行为。人因层面，作业人员安全意识参差不齐，部分人员存在侥幸心理，违规操作、违章作业现象时有发生，如未按规定佩戴防护用品、操作流程不标准等。同时部分员工专业技能不足，对智能设备操作不熟练，应急处置能力薄弱，面对燃气泄漏、设备故障等突发情况时，无法快速有效应对，此外，人员疲劳作业、注意力不集中等因素，也会显著增加安全事故发生的概率。

2 本质安全管理体系的理论框架

2.1 本质安全的内涵与原则

本质安全的核心内涵是通过先进系统思维、科学治理模式和技术措施，从源头消除或控制安全风险，使企业人、物、环、管、信各环节始终处于安全可靠状态，实现从被动应对向主动预防的转变，这一理念尤其契合燃气发电厂高温、高压、高风险的行业特性，是保障燃气发电安全稳定运行的核心导向。其核心原则包括以人为本、系统思维、预防为主、持续改进四大方面，四大原则相互支撑、有机统一，共同构成本质安全管理的核心准则^[2]。以人为本强调坚守安全红线，充分发挥人员主观能动性，将作业人员生命健康放在首位，兼顾员工安全权益与岗位安全职责，筑牢安全管理的人文基础；系统思维要求将人、物、环、管、信各环节看作相互关联、相互影响的有机整体，打破部门壁垒，统筹管控燃

气输送、设备运行、作业流程等全流程风险,避免单一环节管控缺位引发连锁事故;预防为主注重超前规划设计,在项目立项、设备选型、工艺布局等初期阶段就融入安全理念,从根源上减少安全隐患,实现风险超前防控;持续改进则强调通过建立完善的反馈机制,定期梳理管控漏洞、总结实践经验,不断优化资源配置、完善管理措施,推动安全管理水平迭代提升,最终实现“人员零伤害、系统零缺陷、管理无漏洞”的本质安全目标,为燃气发电厂安全稳定运行提供根本保障。

2.2 体系构建的逻辑框架

燃气发电厂本质安全管理体系的构建,严格遵循“目标导向—要素支撑—流程闭环”的逻辑框架,确保体系的系统性与递进性。首先,在目标导向层面,紧密结合燃气发电行业易燃易爆、高温高压的工艺特性,确立“风险可控、隐患清零、事故可防”的核心建设目标,确保体系设计贴合国家能源安全政策与行业规范。其次,在要素支撑层面,搭建“人、物、环、管、信”五大核心维度,围绕人员安全素养提升、设备本质安全强化、作业环境优化、管理体系健全以及信息智能赋能展开,各要素间相互关联、协同发力,形成全方位的支撑网络。最后,在流程闭环层面,构建“风险识别—评估分级—防控实施—监测预警—复盘改进”的全流程管控机制,依托数字化、智能化技术打造“感知-计算-决策-执行”链条,推动安全管理向精准化、动态化转型,最终实现风险的动态清零与本质安全水平的持续提升。

2.3 关键要素

本质安全管理体系的关键要素涵盖五大维度,共同构成体系运行的核心支撑。一是人员要素,聚焦作业人员安全意识培育、专业技能提升和责任落实,打造全员参与的安全管控队伍,强化管理层安全领导力,规范外委人员管理。二是设备要素,强调设备本质安全,通过先进技术选型、规范运维检修、智能监测预警,提升设备可靠性,从设计阶段消除设备安全隐患。三是环境要素,优化作业环境布局,完善通风、降噪、有害气体检测等设施,实现作业环境安全可控。四是管理要素,建立健全安全管理制度、责任体系和考核机制,推进安全标准化管理,实现管理流程规范化、精细化。五是信息要素,整合多源数据,运用AI、大数据等技术,构建智能预警平台,实现风险实时监测、精准管控,为体系运行提供数据支撑。

3 燃气发电厂本质安全管理体系的具体构建

3.1 技术支撑体系

技术支撑体系是燃气发电厂本质安全管理的核心保

障,聚焦“源头防控、智能预警、精准处置”,构建多维度技术防控网络。一方面,优化工艺技术与设备选型,采用本质安全型设备,淘汰老旧高风险设备,在燃机罩壳等关键区域部署红外热像仪、声纹传感器等设备,实现高温气体泄漏、设备故障的早期识别。另一方面,搭建智能安全预警平台,融合AI智能识别、AR远程作业指导、多模态感知融合等技术,构建“平台—数据—云网”三位一体体系,实现人、机、环多要素实时监测。同时,完善应急技术支撑,配备专业应急设备,优化应急处置流程,通过AR远程协作等技术,提升突发事件应急处置效率,结合定期技术改造与升级,持续提升体系技术防控能力^[3]。具体而言,在设备选型上,优先选用通过安全认证的防爆设备,从源头降低风险。智能预警平台可整合SCADA系统数据,对燃气压力、温度等参数实时分析,提前预判异常。应急技术支撑还包括定期开展应急演练,利用虚拟仿真技术模拟事故场景,提升人员应急处置熟练度,确保技术体系始终适配安全生产需求。

3.2 管理保障体系

管理保障体系通过健全制度、明确责任、强化监管,为本质安全管理提供坚实保障。首先,完善安全管理制度体系,结合燃气发电行业规范,制定设备运维、作业安全、风险管控等专项制度,明确各岗位安全职责,形成“层层负责、全员落实”的责任体系。其次,强化风险分级管控与隐患排查治理,建立标准化风险评估机制,对燃气输送、电气运行等高危环节实施重点管控,定期开展隐患排查,实现隐患闭环管理。同时,规范外委单位管理,建立智能化考核系统,提升外委人员风险防范意识,加强作业现场监管,严厉查处违规作业行为。此外,建立持续改进机制,定期开展安全管理复盘,结合行业先进经验,优化管理流程,提升管理效能。在责任落实上,推行“一岗双责”,将安全责任纳入绩效考核,对履职不到位者严肃追责。隐患排查采用“日常巡检+专项检查”结合的方式,利用信息化系统跟踪隐患整改进度,确保整改到位。外委单位需通过安全资质审核,进场前接受专项培训,作业过程全程监控,杜绝管理漏洞,保障体系高效运行。

3.3 文化驱动体系

文化驱动体系旨在培育全员安全文化,将本质安全理念融入员工日常工作,形成“人人讲安全、事事为安全”的良好氛围。一方面,加强安全文化宣贯,通过安全培训、案例警示教育、安全知识竞赛等形式,普及本质安全理念和安全操作规范,提升全员安全意识,强化

员工“安全第一”的价值认同。另一方面,完善安全激励与约束机制,将安全绩效与员工薪酬、晋升挂钩,表彰安全工作先进个人和集体,对违规操作行为进行严肃处理,引导员工自觉规范操作。同时,强化管理层安全引领作用,设立安全领导力发展计划,推动管理层带头践行安全理念,鼓励员工参与安全管理建议,形成全员参与、共建共享的安全文化格局,为本质安全管理体系落地提供精神支撑。安全培训可结合安全体验VR技术模拟事故场景,让员工“亲身”体验风险,增强培训效果。激励方面,设立“安全标兵”奖项,对发现隐患的员工给予物质奖励。管理层定期参与班组安全活动,倾听员工意见,营造开放的安全沟通氛围,让安全文化成为员工的行为自觉,筑牢本质安全根基。

4 实践案例分析——以某燃气发电厂为例

4.1 企业概况与安全管理痛点

某燃气发电厂为大型燃气企业,主营电力与热力供应,配备多台燃气轮发电机组,采用“燃气-蒸汽联合循环”工艺,服务区域能源供应,契合国家“双碳”战略与智能能源建设要求。该企业前期已开展智慧电厂建设,具备基础视频监控和违章识别能力,但在安全管理中仍存在诸多痛点。一是设备安全管控滞后,传统监测手段反应缓慢,燃机罩壳等关键区域隐患检出率低;二是作业人员安全素养参差不齐,外委人员考核覆盖不全面,违章作业现象偶有发生;三是安全管理流程繁琐,多部门协同不畅,风险管控存在盲区;四是应急处置能力不足,面对燃气泄漏、设备故障等突发情况,缺乏高效协同处置机制,这些痛点严重制约企业本质安全水平提升,亟需构建完善的本质安全管理体系。

4.2 本质安全管理体系实施路径

该燃气发电厂结合自身痛点,按照“技术赋能、管理提质、文化铸魂”的思路,分阶段推进本质安全管理体系落地。第一阶段,搭建技术支撑体系,引入AI智能识别、AR远程作业指导等技术,在关键区域部署红外热像仪、声纹传感器等设备,构建智能安全预警平台,实现风险实时监测。第二阶段,完善管理保障体系,修订安全管理制度,明确各岗位安全职责,建立风险分级管控机制,规范外委单位考核,实现隐患闭环管理,优化多

部门协同流程。第三阶段,培育文化驱动体系,开展全员安全培训和案例警示教育,完善安全激励约束机制,推动管理层发挥引领作用,鼓励员工参与安全管理^[4]。第四阶段,强化应急处置能力,优化应急预案,开展实战化演练,借助AR远程协作技术,提升突发事件处置效率,确保体系落地见效。

4.3 实施效果评估

该燃气发电厂本质安全管理体系实施后,通过多维度评估,安全管理水平得到显著提升,各项指标均达到预期目标。设备安全方面,智能监测系统使燃机高温气体泄漏检出率大幅提升,设备故障发生率下降80%以上,GPU利用率从42%提升至81%,设备可靠性显著增强。人员管理方面,外委人员考核覆盖率从50%提升至98.7%,员工安全意识和专业技能明显提升,违章作业发生率下降90%,未发生人员伤亡事故。管理效能方面,风险管控盲区全面消除,隐患整改闭环率达到100%,安全管理流程效率提升60%,多部门协同能力显著增强。经行业专家鉴定,该体系实施后,企业安全、经济、社会效益显著,处于燃气电厂智能化安全管理国际领先水平,为同类燃气发电厂本质安全建设提供了可借鉴的实践经验。

结束语

本研究构建的燃气发电厂本质安全管理体系,通过技术、管理、文化三重路径有效融合,实现安全管控的精准化与智能化。实践验证了体系的可行性与先进性,不仅提升企业安全绩效,也为行业数字化转型背景下的安全管理提供了可复制、可推广的实践经验,具有重要的应用价值。

参考文献

- [1]林祖宇,禰朝捷.燃气发电厂安全工作信息化管理研究[J].自动化应用,2023,64(12):224-227,230.
- [2]刘兆喜.发电厂输煤系统自动化与智能化安全管理研究[J].今日自动化,2025(11):187-189.
- [3]邓涵尹.智能安全防护系统在火力发电厂安全管理中的应用[J].消费电子,2025(23):212-214.
- [4]罗谢超,徐晓宇,陈干勇,等.数字化产业升级在火力发电厂安全管理方面的探索[J].消费电子,2025(2):104-106.