

核电厂工业安全事故根本原因分析

王平强 管鹏 秦晓瑜 张敬振 辛本军

华能海南昌江核电有限公司 海南 昌江 572700

【摘要】：核电厂作为高风险、高技术密集型能源设施，工业安全是保障其稳定运行的核心前提，直接关系到人员生命安全、环境安全及社会公共利益。当前，核电厂工业生产环节涉及高温、高压、放射性等复杂工况，各类设备长期连续运行，受人员操作、设备状态、管理体系等多重因素影响，偶发的工业安全事故会引发严重连锁反应。为精准防控风险，需深入剖析事故根本原因，为安全管理提供支撑，此处结合核电厂运行实际，梳理事故相关核心背景。

【关键词】：核电厂；工业安全事故；根本原因

DOI:10.12417/2705-0998.26.03.021

引言

工业安全是核电厂可持续运行的底线，其安全管理水平直接决定核能源利用的安全性与可靠性。相较于普通工业领域，核电厂工业安全事故不仅会造成人员伤亡、设备损坏，还可能引发放射性泄漏等次生灾害，影响范围广、处置难度大、社会影响深远。近年来，全球核电厂工业安全事故偶有发生，暴露出安全管理中的薄弱环节。因此，深入分析事故根本原因，明确风险点，制定针对性整改措施，对防范同类事故、提升核电厂工业安全水平具有重要现实意义。

1 工业安全事故对核电厂的潜在影响

核电厂工业安全事故的潜在影响具有系统性、严重性和长期性，贯穿人员、设备、环境、社会等多个维度。人员层面，事故可能直接造成作业人员伤亡，同时放射性环境下的事故还会导致人员受到辐射伤害，引发慢性疾病，影响身心健康，甚至造成人员心理创伤，降低员工工作积极性和安全警惕性。设备层面，事故会损坏核电厂核心生产设备，如反应堆辅助系统、冷却系统等，导致机组停机检修，造成巨大经济损失，且设备修复周期长，严重影响核电厂发电效率和供电稳定性。环境层面，若事故引发放射性泄漏，会污染土壤、水源和空气，破坏周边生态环境，对动植物生长造成长期危害，且污染治理难度大、成本高。社会层面，事故会引发公众恐慌，降低公众对核能源的信任度，影响社会稳定，同时损害企业声誉，引发行业监管加强，增加企业安全管理成本，甚至影响国家核能源发展战略的推进，其潜在负面影响需重点关注和防范。

2 核电厂工业安全事故根本原因分析

2.1 人员操作层面存在的核心问题

人员操作不规范是核电厂工业安全事故的重要诱因，核心问题集中在操作技能不足、安全意识薄弱及责任落实不到位。部分作业人员未经过系统的技能培训，对复杂设备的操作流程、安全注意事项掌握不熟练，易出现误操作、违规操作，如误碰设备按钮、违规切换操作模式等，直接引发设备故障或安全事故。同时，部分人员安全意识淡薄，存在侥幸心理，忽视

安全操作规程，如作业时未按要求佩戴防护用品、违规冒险作业，对潜在安全隐患视而不见。此外，岗位安全责任未有效落实，部分人员岗位职责模糊，缺乏明确的考核机制，出现问题后相互推诿，未能及时发现和制止违规操作行为，导致小隐患演变成大事故，且事故发生后无法快速追溯责任，难以形成有效的约束和警示作用。

2.2 设备设施层面存在的核心问题

设备设施的可靠性不足是核电厂工业安全事故的重要物质诱因，主要存在设备质量不达标、维护保养不到位及老化更新不及时等问题。部分核心设备采购环节把关不严，存在质量缺陷，如设备材质不符合安全标准、零部件精度不足，长期运行后易出现磨损、泄漏、故障等问题，无法满足核电厂高温、高压、强辐射的运行要求。同时，设备维护保养体系不完善，维护流程不规范，维护人员责任心不足，未按规定周期开展全面维护、检测工作，对设备的潜在故障未能及时发现和处理，导致设备故障累积，最终引发安全事故。此外，部分老旧设备长期运行，未及时进行更新换代，设备性能下降，安全冗余不足，且部分设备缺乏有效的监测预警装置，无法实时掌握设备运行状态，一旦出现故障无法及时预警和处置，进一步扩大事故影响。

2.3 安全管理体系层面存在的核心问题

安全管理体系不完善、执行不到位，是导致核电厂工业安全事故频发的根本管理问题。部分核电厂安全管理制度不健全，缺乏系统性和针对性，未结合自身运行特点制定完善的安全操作规程、隐患排查治理制度及应急处置预案，制度内容流于形式，无法有效指导实际安全管理工作。同时，安全管理流程不规范，隐患排查治理流于表面，未建立闭环管理机制，对排查出的安全隐患未明确整改责任人、整改期限和整改措施，导致隐患长期存在。此外，安全管理监督考核机制不完善，监督力度不足，对违规操作、制度落实不到位等行为处罚力度较轻，无法形成有效的震慑作用，且未定期开展安全管理评估，难以及时发现管理体系中的漏洞和不足，无法及时优化完善，

导致安全管理水平难以提升。

2.4 外部环境与应急处置层面存在的核心问题

外部环境干扰及应急处置能力不足，会加剧核电厂工业安全事故的危害程度，其核心问题集中在外部环境防控不足和应急体系不完善。外部环境方面，极端天气（如暴雨、台风、地震等）易对核电厂设备设施造成损坏，引发安全事故，而部分核电厂对外部环境风险评估不足，缺乏有效的防控措施，无法抵御极端天气的影响。同时，周边环境中的安全隐患（如周边企业违规作业、危险品运输等）也可能影响核电厂安全运行，未建立有效的协同防控机制。应急处置方面，部分核电厂应急预案不完善，针对性和可操作性不强，未结合不同类型事故制定具体的处置流程，且应急物资储备不足、维护不当，无法满足应急处置需求。此外，应急演练流于形式，作业人员应急处置技能不足，事故发生后无法快速响应、科学处置，导致事故扩大，增加事故造成的损失。

3 整改措施与建议

3.1 强化人员管理，规范操作行为

强化人员管理是防范核电厂工业安全事故的关键，需从培训、意识、责任三个维度制定整改措施。一是完善人员培训体系，结合核电厂作业岗位特点，制定针对性的培训计划，开展系统的技能培训和安全教育，重点培训设备操作流程、安全操作规程、隐患识别方法及应急处置技能，定期组织考核，考核不合格者不得上岗，确保作业人员具备合格的操作技能和素养。二是提升人员安全意识，通过安全警示教育、案例分析、安全讲座等形式，常态化开展安全宣传工作，曝光典型事故案例，让作业人员深刻认识到安全事故的危害，摒弃侥幸心理，树立“安全第一、预防为主”的理念，自觉遵守安全操作规程。三是落实岗位安全责任，明确各岗位的安全职责，建立健全岗位责任制，将安全责任细化到每个岗位、每个人，建立完善的考核机制，将安全工作成效与绩效考核挂钩，对违规操作、责任落实不到位的人员进行严肃处理，对安全工作表现突出的人员给予表彰奖励，形成“人人有责、人人尽责”的安全管理氛围。

3.2 完善设备管理，提升设备可靠性

提升设备设施可靠性，需从采购、维护、更新三个环节入手，构建全生命周期设备管理体系。一是严格设备采购管理，建立严格的设备采购审核机制，优先选择资质齐全、信誉良好、产品质量达标的供应商，对采购的设备进行严格的质量检测，杜绝不合格设备进入生产环节，确保设备材质、性能符合核电厂运行要求。二是规范设备维护保养，建立完善的设备维护保养制度，明确维护保养周期、流程和标准，配备专业的维护保养人员，定期开展设备全面维护、检测工作，建立设备维护档案，详细记录设备运行状态、维护情况和故障处理情况，及时

发现和处理设备潜在故障，确保设备始终处于良好运行状态。三是加快设备更新换代，定期对老旧设备进行全面评估，对性能下降、安全冗余不足、无法满足安全运行要求的设备，及时制定更新计划，优先更新核心关键设备，同时配备完善的设备监测预警装置，实时监测设备运行状态，实现故障早发现、早预警、早处置，提升设备运行可靠性。

3.3 健全安全管理体系，强化制度执行

健全安全管理体系，强化制度执行，是提升核电厂工业安全管理水平的核心。一是完善安全管理制度，结合核电厂运行实际，制定完善的安全操作规程、隐患排查治理制度、安全监督制度及应急处置预案，确保制度具有系统性、针对性和可操作性，覆盖工业安全各个环节，同时根据实际情况及时修订完善制度，适应安全管理工作的新需求。二是规范安全管理流程，建立隐患排查治理闭环管理机制，明确隐患排查、登记、整改、复查等各个环节的责任和要求，定期开展全面的隐患排查工作，对排查出的隐患分类分级管理，明确整改责任人、整改期限和整改措施，整改完成后及时复查，确保隐患彻底消除。三是强化监督考核，建立健全安全管理监督考核机制，加大监督力度，定期开展安全管理监督检查，重点检查制度落实情况、操作规范执行情况和隐患整改情况，对违规行为和管理漏洞及时督促整改，同时加大处罚力度，形成有效的震慑作用，定期开展安全管理评估，及时发现管理体系中的不足，持续优化完善。

3.4 强化外部环境防控，提升应急处置能力

强化外部环境防控和应急处置能力，可有效降低事故危害程度，需从环境防控、应急体系建设两个方面制定措施。一是加强外部环境防控，开展全面的外部环境风险评估，识别极端天气、周边环境等潜在风险，制定针对性的防控措施，如加固设备设施、完善排水系统、建立极端天气预警机制，及时应对极端天气影响；同时与周边企业、相关部门建立协同防控机制，加强沟通协作，共同防范周边环境安全隐患。二是完善应急体系建设，修订完善应急处置预案，结合不同类型工业安全事故的特点，制定具体的处置流程、责任分工和注意事项，提升预案的针对性和可操作性；加强应急物资储备，按照应急处置需求，储备充足的防护用品、救援设备、应急药品等物资，定期对物资进行维护、更新，确保应急物资可用；常态化开展应急演练，模拟不同类型事故场景，提升作业人员应急响应、协同配合和科学处置能力，确保事故发生后能够快速、有效处置，最大限度降低事故损失。

3.5 构建长效防控机制，提升安全管理水平

构建长效防控机制，是实现核电厂工业安全持续稳定的重要保障，需从风险管控、技术创新、文化建设三个方面入手。一是建立健全风险分级管控和隐患排查治理双重预防机制，定

期开展安全风险评估,对不同等级的风险采取针对性的管控措施,明确管控责任,实现风险精准防控;持续深化隐患排查治理,推动隐患排查治理常态化、规范化,从源头防范事故发生。二是加强安全技术创新,加大安全技术研发投入,引进先进的安全监测、预警和处置技术,提升设备设施的智能化水平,实现对设备运行状态、安全隐患的实时监测和智能预警,提高安全管理的科学性和有效性;同时加强行业交流合作,借鉴国内外核电厂工业安全管理的先进经验,结合自身实际优化完善安全管理措施。三是加强安全文化建设,培育“安全第一、全员参与、持续改进”的安全文化,通过安全知识竞赛、安全技能比武、安全文化宣传等活动,营造浓厚的安全文化氛围,引导作业人员自觉参与安全管理,主动排查安全隐患,形成人

人重视安全、人人参与安全的良好局面,推动核电厂工业安全管理水平持续提升。

4 结语

核电厂工业安全事故的发生是人员、设备、管理、环境等多方面因素共同作用的结果,其根本原因在于管理存在漏洞、责任落实不到位、风险防控不精准。本文通过分析事故潜在影响、剖析根本问题、提出整改措施,为核电厂工业安全管理提供了针对性思路。核电厂需高度重视工业安全工作,严格落实各项整改措施,补齐安全管理短板,强化风险防控能力,持续完善长效安全防控机制,防范各类工业事故发生,保障人员生命安全、环境安全和社会公共利益,推动核能源事业安全、健康、可持续发展。

参考文献:

- [1] 刘小君.核电厂工业控制系统网络安全防护体系研究[J].工业信息安全,2025,(05):77-83.
- [2] 周博文.RISMC 中核电厂 SBO 事故关键安全参数代理模型研究[D].哈尔滨工程大学,2024.
- [3] 李菲菲,刘晓强,孟凡江.模拟事故工况下非能动核电厂安全相关涂层的可靠性测试及评估方法研究[J].涂料工业,2024,54(01):54-58.
- [4] 雷润寰.基于文本挖掘的核电安全运行影响因素研究[D].南华大学,2023.
- [5] 张登.核电厂工业控制系统边界网络安全防护方法研究及应用.湖北省,中核武汉核电运行技术股份有限公司,2022-11-23.
- [6] 龚培礼,谷海峰,王辉,等.核电厂事故工况下安全壳内气溶胶行为综合实验台架设计及调试[J].科技视界,2022,(29):44-48.
- [7] 范艺博,赵晓旭,李建光.BIM 技术在核电运维阶段工业安全管理的应用探讨[C]//中冶建筑研究总院有限公司.土木工程新材料、新技术及其工程应用交流会论文集(中册).中广核研究院有限公司系统与工程改造中心,2019:411-414.