# 核电厂运行常见问题及防控措施的探讨

段晨旭

江苏核电有限公司　江苏　连云港　222000

**摘　要：**核电运行安全是核电产业稳定发展的核心保障。本文聚焦核电厂日常运行全过程，系统梳理设备故障、人因失误、管理漏洞、应急处置薄弱等四类核心问题，从设备运维、人员素养、安全管理、环境应急四个维度深度剖析问题成因。结合核电运行安全准则与现场实际，针对性提出设备全周期运维优化、人员能力管控、安全体系完善、应急防控升级等精准措施，为提升核电厂运行稳定性、筑牢核安全防线提供实操参考。

**关键词：**核电厂；运行常见问题；防控措施

**引言：**核能作为清洁高效的新能源，是我国能源结构优化、双碳目标落地的重要支撑，核电厂安全稳定运行直接关系公共安全与能源保障大局。核电运行工况复杂、安全标准严苛，长期运行中易受设备老化、人员操作、管理制度、极端环境等多重因素影响，滋生各类安全隐患。为有效防范运行风险、规避安全事故，本文系统探究核电厂运行常见问题，深挖问题根源并制定科学防控对策，助力核电行业安全、规范、可持续发展。

## 1 核电厂运行核心常见问题

### 1.1 设备系统运行故障问题

（1）核心设备老化失效。反应堆冷却剂系统、蒸汽发生器等核心设备长期处于高温、高压及强辐射环境中，金属材料易发生蠕变、疲劳及应力腐蚀开裂，导致部件磨损加剧、传热管破损泄漏、整体性能持续衰减，直接引发机组运行参数异常。（2）辅助系统运行异常。通风系统、给排水系统及监测控制系统受长期连续运转及环境因素影响，易出现线路绝缘老化、传感器参数漂移、执行机构灵敏度下降等问题，间接削弱主系统运行保障能力，影响机组整体运行稳定性。（3）设备运维隐患突出。预防性检修周期制定不合理、易损零部件更换不及时、日常设备巡检停留在签字确认层面，导致微小缺陷逐步扩大，最终累积为重大运行风险甚至非计划停堆事件。

### 1.2 人员操作与人因失误问题

（1）操作规范性不足。部分运行人员对规程条款理解不到位、操作步骤记忆模糊，在实际作业中发生误碰按钮、漏开阀门、走错作业间隔等行为，引发系统局部故障或保护误动作。（2）专业能力参差不齐。部分运维人员未接受充分的系统化理论培训和全范围模拟机实操锻炼，面对运行参数波动、报警信号频发等突发异常时，缺乏快速诊断能力和果断处置经验[1]。（3）安全意识淡薄。长期倒班作业导致人员疲劳累积，侥幸心理作祟下简化操作流程、忽视辐射防护规定与安全操作准则，违章冒险作业直接埋下人身伤亡和重大设备事故隐患。

### 1.3 安全管理体系漏洞问题

（1）管理制度落地不足。核电安全管理体系虽覆盖全面且标准严格，但部分基层单位执行层面存在偏差，巡检周期与考核评价等程序缺乏刚性监督，隐患排查整改闭环率偏低。（2）安全文化建设滞后。基层运维人员对” 安全第一” 理念的内化程度不够，岗位安全责任边界划分不够清晰，全员参与风险辨识与控制的主动性和积极性不足。（3）隐患排查机制不完善。风险辨识缺乏系统化方法和常态化开展机制，对隐蔽性强、潜伏期长的渐进性劣化趋势识别不充分，未能有效实现超前预警和主动防御。

### 1.4 环境与应急处置短板问题

（1）极端环境影响运行。台风、暴雨、地震及海啸等极端自然灾害可能直接冲击厂区建构筑物、淹没关键设备或破坏外部电源，严重时导致机组紧急停运或引发冷却水源丧失等安全事故。（2）应急预案适配性不足。部分应急预案编制照搬通用模板，针对特定厂址条件、特定设备故障及核泄漏叠加事故的处置流程不够细化，应急指挥职责衔接不够顺畅。（3）应急演练实效性差。演习活动形式化痕迹明显，预设场景单一且缺乏突发变量引入，人员应急响应配合默契度、应急物资快速调配能力及复杂现场处置水平难以真正满足实战化要求。

## 2 核电厂运行问题成因深度分析

2.1 设备层面成因分析

（1）设备运行工况恶劣。核电厂核心设备长期处于高温、高压及强辐射的特殊运行环境中，金属材料持续承受热循环应力与中子辐照损伤，加速疲劳老化与腐蚀进程，导致部件磨损速率急剧上升，设备设计寿命被大幅压缩，突发性失效概率显著增加。（2）运维体系不够精细。设备全生命周期管理机制尚不完善，检修周期制定缺乏针对性调整，预防性维护与预测性维护界限模糊，状态监测技术应用不充分，在线监测点布设不足且数据分析手段单一，故障特征库及劣化趋势预测模型尚未健全，设备故障预判与早期干预能力明显薄弱。（3）设备更新迭代滞后。部分老旧机组设备改造更新推进缓慢，数字化传感器、智能诊断终端等先进监测设备普及率偏低，仍高度依赖人工定期巡检与经验性排查，检测精度不足且耗时长，难以捕捉渐进性劣变信号，直接制约设备运行状态评估的准确性与时效性。

2.2 人员层面成因分析

（1）培训体系不完善。培训内容设计偏重理论知识灌输，全范围模拟机实操训练频次不足，异常工况与典型事故案例的针对性演练覆盖率低，经验反馈与技术总结的复盘分析流于表面，未能构建”培训—考核—评估—改进”闭环管理链条，导致人员实战操作与复杂工况下的应变能力存在明显短板。（2）人员管理机制不健全。岗位绩效考核指标偏重发电量等生产指标，对操作规范性及安全行为约束力度不足，违规操作违规成本低廉，正向激励与负向惩戒手段失衡，难以有效激发人员主动学习规程、自觉遵守纪律的内在动力，岗位安全责任意识与风险敬畏心理有待全面加强。（3）人员身心状态管控缺失。核电运行岗位倒班频繁、作业强度大、心理压力长期处于高位，现行管理体系对人员身心疲劳监测与心理疏导干预重视不足，缺乏制度化岗前状态评估与轮休调节机制，疲劳作业与情绪波动直接削弱判断力与反应速度，极易诱发人为操作失误。

2.3 管理层面成因分析

（1）制度执行监督缺位。安全管理规章制度虽较为全面，但独立性的监督考核与跟踪督办机制长期缺位，管理重心长期偏重于制度编制与文件印发，对基层执行质量缺乏有效验证手段，岗位安全责任未能实现逐级传导、刚性约束与层层压实。（2）风险管控体系不健全。全流程闭环风险管理尚未完全建立，事前系统性风险评估与常态化隐患排查治理频次不足，事中动态监测与分级预警衔接松散，事后根本原因追溯及经验转化效率低下，整体管理惯性倾向于被动响应与事后处置，主动预防与超前干预能力未能有效提升[2]。（3）部门协同效率低下。设备运维、检修作业、应急响应及综合管理等部门间职责界面不够清晰，信息传递链条冗长、沟通协调不畅，缺陷发现后的研判流转与整改落实存在明显滞后，多头管理造成责任推诿，严重制约隐患快速处置和故障响应效率。

2.4 应急与环境层面成因分析

（1）环境监测预警薄弱。针对台风、暴雨、地震及海啸等极端自然灾害的外部环境监测站点布设不足，监测数据与电厂运行参数的关联分析模型缺失，灾害预警信息发布后的应急响应窗口期过短，提前防范部署与主动避险决策缺乏充分的数据支撑。（2）应急资源配置不足。应急专用物资、抢险设备及备品备件的储备数量与实际应急需求存在缺口，物资定期检查维护、有效期更新及分类储存管理不规范，应急资源跨部门调配缺乏统筹协调机制，难以在事故初期实现快速响应、精准供给与高效保障。（3）应急机制迭代缓慢。应急预案修订未能紧密结合机组实际运行工况及新型风险演变动态进行及时更新，演练情景设计长期沿用固定模板、缺乏突发变量叠加考验，应急指挥体系与实战要求脱节，复杂事故场景下人员处置熟练度与组织协同能力难以满足实战化需要。

## 3 核电厂运行常见问题的精准防控措施

3.1 优化设备全生命周期运维管理

（1）完善设备巡检与检修机制。根据设备重要等级、运行工况及历史故障数据，制定精细化、差异化的预防性检修周期，重点强化反应堆冷却剂系统、蒸汽发生器等核心设备的常态化诊断性巡检，采用振动分析、油液检测、热成像等辅助手段，及时排查部件磨损、性能衰减及潜在泄漏等隐性隐患，确保缺陷早发现、早干预。（2）推进设备智能化升级改造。逐步引入基于物联网的智能在线监测终端与故障预警诊断系统，实现关键设备运行参数的实时采集、动态趋势分析与异常自动报警功能，利用大数据比对和机器学习算法提升故障早期识别与预判精准度，降低对人工经验排查的过度依赖[3]。（3）规范设备更新与备件全周期管理。建立覆盖采购、入库、安装、运行、维修、报废全过程的设备电子台账，结合寿命评估结果及时淘汰老旧失效设备；完善备品备件分类储备、定期检测、轮换更新及应急调配管理制度，确保备件质量可靠、供应及时，从源头保障设备持续稳定运行。

3.2 强化人员素养与操作风险管控

（1）构建系统化分层培训体系。针对岗位职责与能力差距，设计涵盖基础理论授课、全范围模拟机实操、历史典型事故深度复盘、突发工况应急处置等模块的阶梯式培训方案，定期组织复训与能力考核，建立培训档案追踪成效，确保人员专业素养与岗位要求动态匹配。（2）严格规范岗位操作流程标准。逐岗细化标准操作程序与风险控制卡，推行关键操作全程监护与双人独立复核制度，明确每一步操作的确认方法与禁止事项，借助防人因失误工具（如工前会、三向交流、场地标识管理）有效杜绝误操作、漏操作及走错间隔等行为。（3）健全人员绩效管理与身心关怀机制。构建以安全行为、操作规范性、异常处置表现等多维度为核心指标的考核奖惩体系，压实岗位安全责任；建立人员岗前状态评估、定期心理疏导与轮休调节制度，关注长期倒班人员疲劳累积与心理压力，有效规避身心状态波动诱发的操作失误风险。

3.3 健全常态化安全运行管理体系

（1）压实层级化安全责任。逐级签订差异化安全目标责任书，清晰界定决策层统筹督导责任、管理层组织执行责任与执行层直接操作责任，构建自上而下刚性传导、自下而上及时反馈的双向责任运行机制，配套实施常态化履职情况量化考核与失职严肃问责追责制度，坚决杜绝制度空转、责任虚置与管理盲区。（2）完善隐患排查治理全流程闭环机制。构建岗位人员日常巡回排查、专业技术人员定期深度排查与多部门联合综合排查相结合的长效排查机制，建立统一规范的动态隐患管理台账，严格执行隐患分级评估定级、针对性整改措施制定、整改期限跟踪督办、整改完成现场验收复查及销号归档的全流程闭环管理，确保排查范围无盲区、整改推进无逾期、治理效果可验证可追溯[4]。（3）深化安全文化建设与行为养成。常态化组织安全政策法规宣讲、典型事故案例警示教育、岗位专业技能比武及安全知识竞赛等多样化活动，将安全理念有机融入每日班前会交底、每项作业前风险预析与作业后总结复盘等日常环节，通过持续文化渗透与行为引导，营造全员主动辨识风险、自觉严守规范、相互监督提醒的良好安全生态。

3.4 完善应急处置与环境风险防控体系

（1）强化外部环境风险监测预警能力。与气象、地震、海洋等专业部门建立信息联动机制，在厂区及周边布设加密监测站点，构建针对台风、暴雨、地震、海啸等极端灾害的常态化监测预警系统，提前制定分等级防范预案，明确设备加固、机组降功率或停运的决策触发条件，提升提前防范与主动避险能力。（2）优化应急预案体系与实战化演练。紧密跟踪机组运行特性变化及新型风险演化态势，定期开展预案评审修订工作，细化各类突发事故的处置流程、操作步骤与指挥衔接程序；打破固化演练模式，增加无预告突击演练、多事故叠加演练及夜间复杂条件演练科目，切实提升人员快速响应与团队协同处置能力[5]。（3）规范应急资源全链条储备管理。建立涵盖应急抢险物资、专用装备机具、备用电源设备及专业抢修人员等在内的动态更新储备台账，逐项明确最低储备定额标准与定期补充更新周期，常态化组织物资质量检验、装备带载试运行及人员操作技能实训演练，科学优化应急物资仓储区域布局与应急调运最短路径规划，确保在突发事故状态下应急资源能够第一时间快速集结、按需精准调配并高效投入现场处置。

**结束语**

核电厂运行风险具有隐蔽性、累积性和复杂性，设备、人员、管理、应急多维度短板均会制约运行安全。本文全面梳理运行常见问题，深度剖析核心成因，构建全方位、闭环化的风险防控体系。通过智能化运维、专业化人员管控、常态化安全管理、实战化应急建设，可有效化解运行隐患、降低事故概率。未来需持续迭代防控机制，贴合机组运行新风险优化管控策略，全方位夯实核电运行安全根基。

**参考文献**

[1] 乔振华, 王兴祥. 核电厂运行安全风险评估与控制策略研究 [J]. 现代工业与技术,2024,1(06):18-23.

[2] 刘军, 李萌. 核电厂常规运行故障成因分析及安全防控技术优化 [J]. 核科学与工程,2023,43(04):762-768.

[3] 张磊, 王浩. 核电厂人因失误风险及运行安全管控措施 [J]. 电力安全技术,2024,26(03):45-50.

[4] 陈宇, 周凯. 核电厂设备老化缺陷识别与预防性防控运维策略 [J]. 设备管理与维修,2023,13(18):89-92.

[5] 王瑞, 孙博文. 核电工程运行安全隐患排查及应急防控体系构建 [J]. 中国核电,2025,18(02):215-220.