

在役核动力设备运维标准化管理体系设计

茆东杰

成都核总核动力研究设计工程有限公司

DOI:10.32629/jpm.v7i8.9020

[摘要] 目前，在用核电规模不断扩大，技术路线日趋多样化，存在运维标准碎片化、人因风险难以控制、设备运维策略单一等突出问题，严重影响了核电运行的安全性和运行效率。以“风险控制”为中心，建立核电装备运行过程中“流程-技术-人员”三个维度、四个层级的规范化管理系统。在国内多个核电基地开展的多个项目中，本项目提出的系统能够有效减少装备失效和人为错误的风险，提高经验重用的有效性，为产业运营管理的标准化和集约化发展提供可借鉴的方法。

[关键词] 在役核动力设备；运维标准化管理；体系设计

Design of a Standardized Operation and Maintenance Management System for In-Service Nuclear Power Equipment

Mao Dongjie

Chengdu Nuclear General Nuclear Power Research and Design Engineering Co., Ltd.

[Abstract] Currently, the scale of operational nuclear power plants is continuously expanding, and technical approaches are becoming increasingly diversified. However, prominent challenges—such as fragmented O&M standards, difficulties in controlling human factors—related risks, and overly simplistic equipment O&M strategies—have severely impacted the safety and operational efficiency of nuclear power plant operations. Centered on "risk control," this study establishes a standardized management system encompassing three dimensions (processes, technologies, and personnel) and four levels for the operation of nuclear power equipment. In multiple projects implemented across various domestic nuclear power bases, the system proposed in this study can effectively mitigate the risks associated with equipment failure and human error, enhance the effectiveness of experience reuse, and provide a reference framework for the standardized and intensive development of industrial operations and management.

[Key words] In-service nuclear power equipment; Operation and Maintenance Standardized Management; System Design

核电装备的安全与稳定是核电行业高质量发展的重要基础，也是核电行业监督管理的重要目标。目前，我国大部分的核能运行单位，其运维管理体系都是依靠自身引入的技术系统来构建的，同一种类的装备，其检修流程、质量验收标准、人员能力要求等方面都存在显著的差别，随着核电装备的服役可靠性需求不断提升，核电运营管理由“被动合规”转向“主动防控”，迫切需要建立一套系统化、科学化、可操作性强的标准化运维管控系统。针对我国核电装备在服役过程中存在的实

际问题，对该系统的实际运用效果进行实证研究，为整个产业运营管理的规范提升提供借鉴和参考。

一、在役核动力设备运维标准化的现实困境与设计逻辑

（一）目前运营管理中存在的主要问题

我国的核能工业走的是“引进、消化、吸收、再创新”的道路，不同阶段引入的技术路线都有自己的运维管理体系，而同一家公司旗下的不同基地和不同的机组，其维护系统也各不

相同，标准口径、过程节点和验收指标都有很大的不同。我国一些具有多堆类型的核电企业，其同一类型的装备维修保养规范多至十几个版本，单是阀门维修扭矩规范就有3种以上版本，这既加大了系统的管理费用，又造成了跨区域人员支援时需要调整规范，严重影响了维修协作和紧急支援的效能^[1]。

根据 IAEA 的长期统计，全球有 60% 的核电站事故是由人为错误造成的，在运维操作过程中，人因失误占据了一半以上，这些错误包括工序遗漏、参数设定偏差、异物遗留、操作动作不标准等。我国在役核电单位维修工作也遇到了这一难题，一些基地同类维修任务的质量合格率因班组差异波动可达 20% 以上，其根本原因是缺少统一的作业规范与能力评价标准，导致了员工的技术和行为习惯上的差异。特别是在检修高峰时段，多个基地协同作业的情况下，由于规范不一致而引起的人因失误风险更大。

（二）系统架构的基本原理和基本逻辑

运营标准化系统的建立，不是单纯地将系统和流程进行固定，它是以核安全为基本前提，把风险控制作为主要方向，把全生命周期管理作为核心主线，最终达到“同设备同标准、同工序同流程、同岗位同能力”的管控目标，确保任何一支作业队伍、在任何基地开展工作，都能保证质量与安全水平一致。第一，风险分级原则。在保证安全等级不变的前提下，按照不同的设备安全重要性和故障后果的严重程度，建立不同的运维管理标准，对核安全核心设备实施最严格的管控，对辅助设施兼顾安全性与经济性，避免出现标准冗余和资源错位。第二，闭环迭代原则。按照 PDCA 循环的思路，将每次设备异常、操

作优化等事件转化为规范修正的依据，从而实现“规范实施—问题反馈—标准优化”的持续改进闭环。第三，三维协同原则：从流程、技术和人员三个层面来推动标准化，流程为落地载体，技术为核心标杆，人员为实施保障，三者任一缺失都会导致标准无法落地^[2]。

二、在役核动力设备运维标准化管理体系的整体架构

（一）三维协同的标准架构

针对不同场景，确定各个阶段的输入输出要求、责任界面和时限，特别是要加强跨专业和跨部门的接口规范，减少流程盲区（如图 1 所示）。比如在换料检修方案中，不仅要明确机械、电气、仪表等各个专业的工作程序，还要对各专业之间的工作交接条件、验收签字、数据传输等进行规范，以防止由于界面不明确而造成的作业进度拖延和质量风险。并对过程实施进行监管规范，确定各个阶段的监控节点和确认要求，确保流程执行不打折扣。

在装备分类维度，明确核电设备安全重要性与功能重要性的判定准则，为实施分级运维奠定基础；对各类设备的监控参数、取样周期、报警阈值和检测指标进行统一规范；维修工艺规程对核心部件的拆卸步骤、工艺参数、工器具规格和使用条件进行明确规定；通过统一的质量验收标准，对检修质量合格率进行定量判定，消除“以经验为依据”的模糊性；对零部件的规格、型号、出厂检验和存储养护进行统一规范，保证零部件的质量一致性。五类标准相互支撑，从根本上解决作业差异问题。



图 1 核电设备运维五类核心技术标准

（二）规范的四个层次结构

一级标准为体系总纲，是顶层纲领性文件，它对运维管理标准化的管理目标、适用范围、核心原则、组织结构和责任划分进行了详细阐述，并规定了各级标准的制定、修订、评审和发布流程，是制定各类下级标准的基础。

二级标准为专业管理类，按照机械、电气、仪表控制、辐

射防护、质量管理等不同专业领域，共设置 8 到 10 项专项标准。每项标准均明确对应的运维管理制度、风险管控要求、监督评估机制和跨专业协作规则，既要承接一级标准的管理要求，又要向下指引各专业的技术规范。

三级标准为技术规范类，按照各类型装备和核心作业方式制定，其中包含设备分类标准、预防性维修大纲、检修工艺

规程、状态评价准则、质量验收准则等 30 到 40 项。这些标准构成了标准体系的技术核心，为各类运维管理活动提供了技术依据。

三、运维标准化体系的核心落地模块

（一）以风险为基础的装备分类运维管理规范

以核安全功能重要程度和失效风险水平为依据，综合失效概率、后果严重程度和失效可探测度三项指标的评分，将现役核电装备分为核安全 1 级、核安全 2 级、核安全 3 级和非核级四个等级，并匹配差异化的运维管理策略，实现资源精准配置。

核安全 1 级装备是指承担核安全功能、故障时可能直接引发放射性泄漏的设备，例如冷却剂泵、蒸汽发生器、稳压器等，采取“持续在线监控+每日人工巡检+月度专项性能测试+定期解体检修”的高强度运维管控模式。对振动、温度、压力、泄漏量等关键参数实现连续实时监测；人工巡检明确规定检查项目与判定标准；性能测试统一试验方法与合格阈值；解体检修明确检验内容与判定准则，确保设备状态全程可控^[3]。

核安全 2 级和 3 级设备是指承担辅助安全功能、故障会影响系统正常运行但不影响核安全核心功能造成直接影响的设备。例如常规泵组、普通阀门、辅助换热器等。以预防性维修为主要手段，适度降低监控和检修频率，实行“常规状态监控+周期检修+故障按需消缺”的运维模式，实现设备状态的动态优化调整。

表 1 运维全流程闭环管控核心指标表

管控阶段	核心量化项	实测数值	数据出处
事前准备	强制要素数/文件一次通过率	9/80.3%	中广核陆丰核电 2025
作业实施	质控点达标率/工序一次合格率	100%/99.07%	行业大修统计 2025-2026
验收复盘	标准修订周期/缺陷闭环率	30 天/100%	漳州核电 101 大修 2026

（三）人员资质与作业等级匹配规范

构建三层权限的员工资格体系，匹配不同风险等级的作业要求，实现人员能力与作业风险精准对应，保障同一岗位、同一等级的员工能力等效。

基础权限对应日常巡检、简单检修等低风险作业，获权人员须接受核安全基础知识、运维通用流程、辐射防护基础知识等规范化知识培训，通过闭卷考核取得基础权限认证，可在资深人员指导下开展低风险作业。

专项权限对应某一类设备的检修作业，获权人员须接受对应专业的技能培训，涵盖设备结构原理、维修工艺、质量标准等内容。实操考核设置量化评分标准，关键步骤、关键参数出现操作失误直接判定不合格，确保操作技能熟练达标。

高级权限对应核安全 1 级设备的核心检修与重大高风险作业，获权者须具备 5 年以上运维工作经验、无人因责任事故记录，通过模拟机实操考核与综合答辩，经企业技术负责人审批后方可取得授权。

结语

本研究构建的三维协同、四级分层的标准化管理体系，以

（二）建立完整的闭环运维过程控制规范

将标准化要求嵌入运维全流程，实现从作业准备到事后复盘的全过程管控，构建“事前标准准备、事中标准执行、事后标准校验”的闭环管理机制（如表 1 所示）。

在前期准备阶段，推广标准化工作包模板，强制纳入工作任务描述、风险分析与防控措施、隔离边界清单、工器具与耗材清单、工序步骤与质量控制点、验收标准、历史经验反馈提示、辐射防护要求、人员资质等 9 项必备要素，缺项或不符合标准不得批准开工。工作包编制完成后，须经专业负责人和质量监督员双重审核，确保符合各级标准要求。

在作业实施阶段，严格按照规范化作业规程执行，关键工序实行“唱票复诵、手指口述、双人核对”，确保操作准确无误。高风险作业工序设置强制停工待检点，须经质检人员确认签字后方可进入下一道工序，严禁越级操作。同时，对作业中的关键参数和关键工序进行实时记录，原始资料全程留存，高危操作同步录像，实现作业全过程可追溯^[4]。

验收复盘阶段，作业结束后按照统一的检验标准开展验收，不符合项组织返修，直至合格。作业完成 7 个工作日内须提交运维资料与经验反馈报告，出现异常情况须开展根因分析，并在 30 个工作日内纳入对应标准的修订流程，实现“一次作业、一次复盘、一次标准优化”，推动标准在实践中持续迭代完善。

风险分级管控为核心，以全流程闭环管控为手段，以人员能力匹配为保障，覆盖运维全流程、全环节，可有效破解当前行业内标准碎片化、人因风险高、运维策略粗放等问题。国内多个核电基地的应用实践表明，该体系不仅能显著提升设备可靠性、降低运维成本，还能提升经验复用效率与跨基地协作效能，具备良好的推广价值与应用前景。

【参考文献】

- [1]张晨,张琳娜,陈琳.核动力厂火灾自动报警系统设备鉴定研究[J].化学工程,2024,52(5):91-94.
- [2]核动力厂安全重要仪控电气设备状态监测方法第 2 部分:压头测[J].核标准计量与质量,2024,(1):28.
- [3]孙琦,朱宏亮,高志宇,罗庭芳,龚涛波,毛翔宇.核动力平台反应堆安全级仪控设备鉴定标准探讨[J].科技视界,2023,13(33):58-61.
- [4]曾杰,郑兰疆,赵海江,等.高质量核动力产品研发的管理研究[J].核标准计量与质量,2023,(3):24-29.