核电工程质量保证监督体系的创新与实践

李全英

中国能源建设集团浙江火电建设有限公司 浙江 杭州 310000

摘要：核电工程质量保证监督体系是核设施安全运行的核心支撑，其通过全流程闭环管理实现各环节质量管控。当前体系存在监督标准不统一、信息化水平低、人员素养参差不齐等问题。针对这些问题，创新策略包括建立统一标准体系、推进信息化建设、加强人员队伍建设，并在设计、施工、调试运行阶段开展实践应用，通过精准管控关键环节、整合技术手段与数据资源，提升监督效能，为核电工程高质量交付提供保障。

关键词：核电工程；质量保证；监督体系；创新；实践

引言

核电工程质量关乎核设施全生命周期安全，质量保证监督体系作为关键保障，其有效性直接影响工程安全与效益。当前，该体系在标准统一、信息化应用及人员能力等方面存在不足，制约监督精准性与效率。本文围绕体系创新与实践展开，探讨通过构建统一标准、推进数字化转型、强化人才培养等策略，结合工程各阶段实践，优化监督模式，旨在为提升核电工程质量监督水平提供可行路径。

1 核电工程质量保证监督体系概述

核电工程质量保证监督体系是确保核设施全生命周期安全稳定运行的核心支撑，其构建以风险防控为导向，融合技术规范、流程管控与过程验证等多重维度，形成覆盖设计、采购、施工、调试及运维各环节的闭环管理机制。该体系通过明确各参与方的质量职责与接口关系，依托分级监督模式实现对关键工序、特殊过程及高风险活动的精准管控，确保每一项作业活动均处于受控状态。监督体系的运行以文件化程序为基础，通过编制详细的监督计划、检查清单及验收标准，使监督活动具备可操作性与可追溯性，监督人员依据既定标准对实体质量、过程记录及管理行为进行系统核查，及时识别潜在质量隐患并推动整改闭环。体系内置动态评估机制，通过定期审核与专项评估验证监督过程的有效性，结合工程进展调整监督重点，确保体系适应性与时效性。在技术层面，监督体系整合无损检测、性能试验、数据分析等专业手段，对设备制造精度、材料性能指标、施工工艺参数实施量化监督，借助信息化平台实现质量数据的实时采集与共享，为监督决策提供数据支撑。针对核电工程的特殊性，体系特别强化对辐射防护、核安全相关系统的监督力度，通过多层级验证确认其功能完整性与可靠性，保障核安全目标的实现。监督

体系的有效运转依赖于专业监督团队的建设，团队成员需具备核工程、质量管理、特种设备等领域的复合知识背景，通过持续的技术培训与经验积累提升监督能力，在实践中形成前期做好风险防范、中期强化过程管控、后期推进问题优化的监督思路，将质量问题消除在萌芽状态，为核电工程的高质量交付奠定坚实基础。

2 核电工程质量保证监督体系存在的问题

2.1 监督标准不统一

核电工程涉及多专业、多领域作业，不同环节与设备的质量特性差异显著，然而，现阶段在关键指标的量化、验收准则的界定等方面，尚未达成广泛且精准的统一标准。例如在管道焊接质量监督中，对于焊缝内部缺陷的允许尺寸，不同项目参考的标准规范存在偏差，导致检测验收尺度不一，这使得在评定焊接质量时缺乏一致且可靠的依据。不同设备制造厂家依据自身技术能力与过往经验，制定各自的内部质量控制标准，这些标准在关键性能参数的公差范围、材料选用的细化要求上各不相同，当多种来源的设备集成于核电工程时，给整体的质量监督带来极大困扰。在施工工艺的监督层面，如混凝土浇筑工艺，在振捣时间、分层厚度等操作细节上，缺乏统一且明确的量化标准，导致不同施工队伍的作业质量参差不齐，难以实现对工程质量的有效把控与横向对比，严重影响监督工作的权威性与准确性，阻碍了核电工程质量的整体提升。

2.2 信息化水平较低

当前核电工程质量保证监督在数据采集、传输与处理环节，信息化手段应用程度有限。大量质量数据仍依赖人工现场记录，如设备安装的各项参数、施工过程中的质量检验结果等，人工记录效率低下且易出现错记、漏记情况，难以确保数据的实时性与完整性。在数据传输方面，多采用纸质文件流转或人工手动录入信息系统

的方式,传输速度慢且易造成数据丢失或延误,无法及时为监督决策提供支持。各参与方的信息系统相互独立,数据格式、接口标准不统一,形成信息孤岛,导致质量数据无法在设计、采购、施工、调试等环节顺畅共享与协同分析,制约了对工程整体质量状况的实时监测与综合评估。在数据分析层面,缺乏先进的数据分析工具与模型,难以对海量质量数据进行深度挖掘,无法有效识别潜在质量风险趋势,无法为监督策略的优化提供有力的数据驱动,严重限制了监督工作的效率与精准度提升^[1]。

2.3 监督人员专业素养参差不齐

核电工程质量保证监督工作具有高度专业性,要求监督人员具备核工程、材料科学、质量管理等多领域知识。实际情况中,部分监督人员专业知识结构单一,仅熟悉某一专业领域,对其他相关专业知识了解不足,在面对综合性质量问题时,难以进行全面准确的分析判断。例如在监督核岛设备安装时,对设备涉及的核物理原理、材料性能要求、复杂的安装工艺等缺乏深入理解,无法精准识别安装过程中的潜在质量隐患。部分监督人员缺乏实践经验,虽掌握理论知识,但在现场实际操作中,不能灵活运用知识解决实际问题,对施工过程中出现的异常情况反应迟缓,难以采取有效的应对措施。监督人员接受持续专业培训的机会有限,行业新技术、新工艺不断涌现,而监督人员知识更新不及时,导致其监督能力无法跟上核电工程发展的需求,影响监督工作质量与效果。

3 核电工程质量保证监督体系的创新策略

3.1 建立统一的监督标准体系

基于核电工程多专业协同的特性,需构建覆盖全流程的标准化监督框架,以关键工序质量特性为核心,整合设计基准、施工规范与验收要求,形成统一的量化指标体系。针对管道焊接、设备安装等关键环节,通过梳理不同规范中的技术参数差异,结合工程实践验证,明确焊缝缺陷尺寸、焊接工艺参数等关键指标的允许范围,确保检测验收尺度一致。对于设备制造环节,需协调各供应商在性能参数公差、材料选用标准等方面达成共识,制定统一的进场验收细则,通过标准化的抽样检测方法与判定准则,实现不同来源设备的质量一致性管控。在施工工艺监督中,针对混凝土浇筑、钢结构焊接等典型工艺,细化振捣时间、层间间隔、焊接电流等操作参数的量化标准,配套编制可视化的作业指导书与检查清单,使各施工队伍的作业质量处于同一管控基准,提升监督工作的客观性与权威性,为工程质量的横向对

比与持续改进提供可靠依据。

3.2 推进监督信息化建设

依托数字化技术搭建一体化质量监督平台,实现质量数据的全流程电子化管理,在数据采集环节,部署物联网传感设备与移动终端应用,实时自动采集设备安装参数、材料检测结果、施工过程记录等信息,替代传统人工记录模式,减少人为误差并确保数据的实时性与完整性。打通设计、采购、施工、调试等各环节的信息壁垒,统一数据格式与接口标准,构建共享数据库,使质量数据能够跨阶段顺畅流转,支持各参与方基于同一数据源开展协同分析。引入大数据分析工具与人工智能模型,对平台积累的海量质量数据进行深度挖掘,通过建立质量风险预警模型,识别焊接缺陷率、混凝土强度达标率等指标的异常波动趋势,为监督重点调整提供数据支撑。开发移动端监督应用模块,实现检查任务派发、现场问题上传、整改闭环跟踪的全流程线上管理,提升问题处理效率,形成从数据采集、分析到决策优化的数字化监督闭环,显著提升监督工作的精准度与响应速度^[2]。

3.3 加强监督人员队伍建设

围绕核电工程多专业融合的监督需求,构建复合型人才培养体系,通过系统培训与实践历练,提升监督人员的跨专业知识储备,使其不仅精通本专业技术规范,还能掌握核岛设备原理、材料性能检测、施工工艺控制等关联领域知识,具备综合分析复杂质量问题的能力。建立内部经验传承机制,组织资深监督人员与新人结成帮扶对子,通过现场带教、案例研讨等方式,传递设备安装偏差识别、隐蔽工程质量核查等实操技能,缩短新人的实践适应周期。针对行业内涌现的新技术、新工艺,定期开展专项技术培训,内容涵盖数字化检测技术、新型材料性能要求、智能施工设备应用等前沿领域,确保监督人员的知识体系与工程技术发展同步更新。搭建技能提升平台,组织跨项目监督经验交流会,分享焊接质量控制、设备监造等方面的实践心得,通过持续的能力建设,打造一支既懂技术又善管理、既能精准识别问题又能有效推动整改的专业化监督团队,为高质量监督工作提供人才保障。

4 核电工程质量保证监督体系的实践应用

4.1 在某核电工程项目设计阶段的应用

(1) 围绕核安全功能实现与工程可靠性目标,在设计输入阶段开展多维度监督验证,重点核查设计依据的技术基准与工程实际需求的匹配性,包括核岛关键系统的负荷参数、材料耐辐射性能指标等核心要素,通过比

性,避免因基础数据偏差导致后续质量隐患。(2)针对设计文件的完整性与协调性实施系统监督,梳理各专业接口文件中的技术参数传递逻辑,如电气系统与仪控系统的信号匹配关系、管道布置与设备安装空间的兼容性等,通过三维模型碰撞检查与参数关联性验证,确保设计文件在结构尺寸、性能指标等方面无矛盾,为后续采购与施工提供精准的技术依据。(3)对设计方案的风险防控措施进行专项监督,聚焦高风险系统的冗余设计、抗震性能优化等关键环节,结合概率安全分析方法评估设计方案对潜在失效模式的应对能力,通过模拟计算验证安全系统的响应时间、隔离效果等核心指标,推动设计方案在满足规范要求的基础上进一步提升容错能力,筑牢工程质量的源头防线^[3]。

4.2 在某核电工程施工过程中的应用

(1)针对核岛土建施工的关键工序实施旁站监督,安排经验丰富的监理人员全程坚守现场,着重管控混凝土浇筑时配合比的精准执行、振捣的充分密实度以及养护环境的适宜条件。实时监测入模温度、坍落度等参数,结合预埋传感器采集的内部温度曲线,验证养护效果,避免因施工偏差致结构裂缝等缺陷。(2)在设备安装阶段构建过程文档追踪与现场实物检验的双重监督模式,对反应堆压力容器、蒸汽发生器等核心设备的就位精度、连接紧固度进行量化核查,采用激光跟踪仪等精密测量工具获取安装坐标数据,与设计基准值进行比对分析,同时核查设备安装过程中的清洁度控制记录,确保内部无异物残留影响运行安全。(3)强化对焊接质量的全流程监督,从焊材选型的材质证明核查到焊接过程的工艺参数监控,再到焊缝无损检测结果的复核,形成完整的质量追溯链,针对厚壁管道焊接等特殊过程,通过连续记录焊接电流、电压及层间温度,结合射线检测与超声检测的交叉验证,确保焊缝内部质量与力学性能达标。

4.3 在某核电机组调试运行阶段的应用

(1)在分系统调试阶段,监督聚焦于系统功能与设计指标的一致性验证,通过编制详细的调试项目检查清

单,逐项核查泵类设备的扬程、流量参数,阀门的动作响应时间与密封性能,以及电气系统的绝缘电阻、接地电阻等关键指标,利用数据采集系统记录调试过程中的动态参数变化,确认系统在不同工况下的稳定性。(2)针对联动调试中的接口协调性实施专项监督,组建专业监督小组,制定详细监督计划,明确监督要点与流程。重点验证各系统间的信号传递准确性与逻辑联动可靠性,如安全壳喷淋系统与反应堆保护系统的触发信号匹配,汽轮机控制系统与发电机励磁系统的协同响应等,通过模拟故障工况下的系统联动试验,评估整体功能的完整性与应急响应能力。(3)在试运行阶段建立常态化监督机制,持续跟踪机组运行参数的稳定性,包括反应堆功率控制精度、一回路温度压力波动范围、放射性物质监测数据等,通过趋势分析识别潜在的质量波动风险,如设备振动异常、参数漂移等早期信号,结合定期的在役检查结果,推动问题整改与运行参数优化,确保机组在达标状态下稳定运行^[4]。

结语

综上所述,核电工程质量保证监督体系的创新与实践,需以统一标准为基础、信息化技术为支撑、专业人才为保障。通过在设计阶段筑牢源头防线、施工过程强化过程管控、调试运行阶段保障稳定运行,形成全流程高效监督模式。实践表明,体系优化可有效提升质量风险防控能力,推动监督工作提质增效,为核电工程安全可靠建设与运行提供坚实支撑,助力行业高质量发展。

参考文献

- [1]杨国栋.核电工程质量保证体系有效运行的对策思考[J].产业与科技论坛,2021,20(1):230-231.
- [2]刘岩,孙谦.质量保证体系在核电工程物流中的作用分析[J].石油化工建设,2021,43(3):28-30.
- [3]翟晓峰,曹洋.核电厂专项质量保证监督管理[J].建筑工程技术与设计,2020(7):2416.
- [4]郭建磊.核电工程施工质量管理与监督体系的建立与优化[J].建筑与施工,2023,2(20):50-51.