

数字化技术驱动核电工程管理模式创新研究

李 光

中国中原对外工程有限公司, 北京 100044

[摘要]核电工程建设具有技术密集、投资大、周期长、安全要求高等特征,其管理模式长期依赖经验驱动与人工决策,在数据贯通、协同效率、决策科学性等方面存在短板。数字孪生、大数据、人工智能等数字化技术正加速向核电工程渗透,为管理模式重构提供条件。数字化转型的关键在于打破传统边界与流程,将转型理念融入各业务阶段。据此,从全过程管理、决策优化、组织协同、安全质量管控四维度构建数字化驱动的创新路径及保障措施,以期核电工程管理现代化转型提供参考。

[关键词]数字化技术;核电工程;管理模式创新

DOI: 10.33142/ec.v9i8.20219

中图分类号: TU201

文献标识码: A

Research on Innovation of Nuclear Power Engineering Management Mode Driven by Digital Technology

LI Guang

China National Nuclear Corporation Overseas Ltd., Beijing, 100044, China

Abstract: Nuclear power engineering construction has the characteristics of technology intensive, large investment, long cycle, and high safety requirements. Its management mode has long relied on experience driven and manual decision-making, and there are shortcomings in data connectivity, collaborative efficiency, and scientific decision-making. Digital technologies such as digital twins, big data, and artificial intelligence are accelerating their penetration into nuclear power projects, providing conditions for the reconstruction of management models. The key to digital transformation lies in breaking traditional boundaries and processes, and integrating transformation concepts into various business stages. Based on this, a digital driven innovation path and safeguard measures are constructed from four dimensions: whole process management, decision optimization, organizational collaboration, and safety and quality control, in order to provide reference for the modernization transformation of nuclear power engineering management.

Keywords: digital technology; nuclear power engineering; innovation in management mode

引言

核电属于清洁低碳基荷能源,对我国能源结构改善和“双碳”目标的达成起着不可替代的作用。国务院以及相关部委相继出台过有关积极推进“互联网+”行动的指导意见、关于推进核电数字化转型发展的指导意见等文件,把核电数字化转型当作行业战略任务来推进。但是核电工程建设长期存在着信息孤岛严重、跨专业协同不力、决策无数据支撑等管理难题,传统的模式已经不能满足多项目并行、高标准安全质量的要求。近几年来,数字孪生、BIM、大数据以及 AI 等技术在核电领域应用研究越来越深入,数字化转型的重点不是数字化本身,而是转型,业务人员和技术人员要密切配合。怎样把技术势能变成管理效能,让管理模式由碎片化向一体化、由经验驱动向数据

驱动转变,这是当下急需回答的理论与现实问题。

1 数字化技术驱动核电工程管理模式创新的理论基础

核电工程管理模式创新的理论基础可以从三个方面来把握。第一,系统工程理论认为核电工程属于复杂巨系统,具有整体性、层次性和涌现性等特点,要求管理活动要冲破专业壁垒和阶段分割,达成全系统、全生命周期的统筹优化,数字化技术给此提供信息贯通和系统建模的工具支撑。第二,信息协同理论认为组织间信息共享的程度和范围决定协同决策的好坏,核电产业链各个环节数字化转型标准建设和系统建设进度不一致,不同的系统中同一个对象的编码、数据不唯一,上下游各个业务系统之间存在数据传递壁垒,数字化技术通过统一数据标准和平台化

集成可以解决这一问题。第三,技术赋能理论认为数字技术既提高了已有流程的效率,更是在重塑信息流、资源流和决策流中产生新的管理范式,其关键之处在于加强了管理主体对于复杂系统感知、分析和反应的能力,从而达成由被动应对转向主动预控的转变。

2 核电工程管理数字化应用现状与发展需求

2.1 数字化技术在核电工程管理中的应用现状

目前,数字化技术已经深入到核电工程设计、施工、调试、运维的全过程之中。某核电工程企业已提出一体化平台建设方案,通过建设覆盖产业链各个环节的业务应用系统,以企业数据底座为中枢,通过统一数据标准、数据治理、数据集成逐步形成核电数据资产,已在多个核电项目开展测试和应用,涉及多个设计专业,实现了大量数字化设计接口的数据贯通。在施工领域,国内首个正向数字化设计的核电项目,在设计阶段就贯穿于建造、运维全过程,以创建数字孪生核电站为最终目标。在运维领域,某大型核电集团发布新一代智能工控系统产品集,把数字孪生和人工智能技术深度融合,创建起具有感知、分析、决策、执行全流程闭环的核电数智大脑,实现完全国产化,并且具备故障预警、智能监盘、辅助决策等许多高级智能化功能。某核电企业及相关技术机构合作,开发出国内核电行业第一个基于 AI 大模型的知识管理平台,实现了核电领域大模型的垂直应用^[1]。在供应链协同方面,某核电集团数字供应链系统之下,全国有数千家核电产业链企业被连入系统中,并且实现了从设计、制造到交付和运维等各个方面的云协同。

2.2 核电工程管理模式数字化创新的现实需求

虽然核电工程管理的数字化应用取得了较好的成绩,但是它仍然存在诸多的难题。一是目前产业链数字化转型存在业务和组织数字化转型、信息传递与数字交互、数字化技术成熟度、数字化人才保障等方面的困难。业务转型滞后于技术应用,各企事业单位以自身的业务需求为依据建立信息化标准规范,缺少全产业链协同一致的数字化标准体系,数字化有余而转型不足;二是数据贯通仍有障碍,同一个业务环节内各种软件的数据不能相互流通,造成信息、数据孤岛现象的产生,各单位乃至一个单位内部的各个业务也很难实现数据共享;三是对于数字化转型所必需的人才、技术等资源缺乏保障,各单位普遍存在着信息化和数字化专职人员离职、技术能力同高质量发展相脱节的情况。从发展需求来说,核电工程建设正处在多项目

并行、工期缩短、安全标准提高的新阶段,需要管理模式在跨组织协同效率、数据驱动决策能力、风险智能预控水平等方面实现系统的跃升,这就成了数字化技术推动管理革新的一种强大内在驱动力。

3 数字化技术驱动核电工程管理模式创新路径

3.1 基于数字孪生技术的工程全过程管理创新

数字孪生技术把物理核电站同虚拟模型建立起双向映射和实时交互的关系,给全过程管理赋予了新的范式^[2]。它的创新之处在于三个方面,在设计施工贯通上,某核电项目基于主力机组的正向设计三维模型和实景三维模型,以数据贯通为驱动,系统推进数字孪生核电平台的建设,建立核电站需求分析、概念设计、详细设计、工艺设计、仿真分析、工程建设等各个阶段的业务模型,有效解决了传统流程分工造成的数据割裂问题,实现了核电工程全生命周期数据协同。虚拟验证和风险前置方面,数字孪生模型可以对施工方案进行全过程的模拟,在施工之前就可以发现施工冲突,并对资源进行优化调度,把潜在的风险消除在虚拟空间里。运维阶段数字孪生模型保存了设计、建造阶段所有的数据资产,可以使核电工程由设计到建造、运行、维护的全过程贯通。某核电集团数字供应链系统把核安全监管的要求和历史经验的反馈融入系统的流程和制造工序当中,从而对设备质量问题展开在线分析、处理并形成链式反馈,进而扩大了数字孪生的应用范围。

3.2 基于大数据分析的工程决策优化创新

核电工程建设过程中积累了大量的设计参数、施工记录、质量检测、进度数据等多源异构数据,但是长期以来存在数据丰富而信息贫乏的问题,数据的价值没有得到充分发挥。大数据分析技术的加入,给决策模式由经验为主向数据驱动转变赋予了条件。项目前期决策阶段对工程造价控制的影响达到 70%~90%,利用 BIM+GIS 的辅助决策系统可以进行多方案比选和可视化评价,大大提高决策的科学性和效率。某核电集团数字供应链平台配置多个自动化处理模块,可以自动完成文件归集、风险监控等工作,具有进度可视化、风险自动预警等功能,使项目管理由经验式管理变为数据驱动型管理。风险管理环节,对偏差数据进行实时采集、智能分析,可以达到风险趋势的早期识别、主动干预的目的。从表 1 可知,在不同的应用场景中,大数据驱动的决策方式相比于传统的模式,在核心价值方面有明显的提高,投资决策、质量追溯形成了一条完整的智能化决策闭环。

表 1 核电工程大数据决策应用场景与功能对比

应用场景	传统决策方式	大数据驱动决策方式	核心价值
投资决策	依据历史经验与专家判断	多项目历史数据关联分析与方案比选	决策客观性提升，造价控制更精准
进度管控	人工跟踪报表与定期会议	实时数据采集与智能进度预警	偏差响应速度显著提高
风险管理	经验驱动的风险清单排查	偏差数据实时监测与趋势预测	变被动应对为主动预控
质量回溯	事后抽样检测与人工追溯	全流程数据关联与根因分析	质量问题定位效率大幅提升

3.3 基于智能协同平台的工程组织管理创新

核电工程包含业主、设计院、总包方、建安单位、设备供应商、监理方等诸多主体，传统的组织架构里各方把自身业务当作中心来创建信息化系统，造成“数据烟囱”和“流程壁垒”。智能协同平台用统一的数据标准和流程规范来达成各个组织、各阶段之间的信息共享和业务协同。某核电工程企业以一体化平台为依托，创建起设计采购制造一体化协同平台，向上对接集团实现数据穿透，向下向供应商获取信息，已经与多家试点供应商建立了连接，实现了数据以及产品模型的传递。某核电集团数字供应链系统覆盖进度、质量、技术、安全等多类核心工作，从而使得每年接近 60 万份文件能够在几秒钟内完成传递，过去要经过多次沟通才能解决的制造不符合项等流程处理时间缩短了 50%。从知识协同的角度来讲，某核电企业知识管理平台注重公司的内部和外部高质量的知识，对知识进行碎片化、智能化、场景化的使用，从而加快核电人才的培养。该平台全面聚焦于公司内外部高质量的知识，实现了公司内外部知识库“一点即达”，加快了知识的传播速度，提高了员工业务能力。智能协同平台的本质就是重新塑造组织间协作的规则和信任关系，把“各自为政”的线性协作变成“数据同源、流程同频”的并行协同。

3.4 基于智能监测技术的工程安全质量管理创新

核电工程对于安全质量的要求极高，因此智能监测技术的应用也显得十分迫切。智能监测体系是以物联网感知层为依托，结合视觉识别、智能传感、5G 专网等技术，对施工现场及设备状态进行实时感知并发出预警的一种系统。施工现场安全管控上，某核电工程企业智慧工地以创建“可视、可感、可控”工程项目为目标，用信息技术、智能技术的应用覆盖项目全员、全周期、全环节，促进产业链成员之间数据、资源的整合与共享^[3]。智慧工地系统依靠“一网一平台+多终端”这一主要的创建方式，充分调动了产业链上中下游各方面的积极性，从而提升核电建设工程的安全管理水平。在质量管控方面，某核电项目应用增材制造技术为大量精密仪表定制防护件，单件安装时间从原来的 30min 缩短到现在的 1min，防护精度提高 10 倍。在设备健康管理方面，某核电集团新一代智能工控系统具有自感知、灵活重构的特点，可以对核电站设备进行

全方位的健康监测，并且可以提前发出 50%以上的预警信息。智能监测技术的应用使得安全管理的由原来的“事后响应”变为现在的“事前预防”，由原来的“人工巡检”变为现在的“机器值守”。

4 数字化技术驱动核电工程管理模式创新保障措施

4.1 构建完善的数字化管理体系

数字化转型要靠顶层设计的战略引导和制度支持共同推动。按照核电全产业链数字化转型战略方向，应该由集团公司来制定核电工程数字化转型的顶层规划，协调产业链各个有关单位的配合，整体布局、集中攻关、攻克难点、补齐短板，整体策划、分步推进、统筹推进。从制度建设角度来说，应该推进数字化转型制度创建以及组织变革，塑造起常态化的数字化转型组织、流程和制度，创建起覆盖设计、建造和运营的沟通渠道和机制，保证顶层规划的执行和贯通。数字化转型是一项长期坚持的工作，必须从战略高度来加以指导。

4.2 加强工程数据资源整合应用

数据是数字化转型的核心资产，数据治理能力的好坏直接影响到管理创新的效果。应创建核电行业产业链数字化标准体系，确定各个领域产业数字化转型的标准，保证各个业务流程之间信息的顺畅流通。某核电工程企业已经建立了超过数万条元数据的企业数据标准，发布了核电工程设计、建安、调试、运维之间的数字化交付要求的核电工程分解结构，统一了数据标准，实现了数据资产化。就数据治理机制而言，需要确定数据治理的战略目标，创建集团数据治理总体架构，在产业链各个环节的全部业务领域展开数据治理工作，从而全面加强数据资产的管理能力和运作水平。

4.3 提升管理人员数字化应用能力

数字化转型最终要靠人的转变来实现。目前各单位普遍存在着信息化和数字化专职人员离职现象，业务部门参与数字化转型的积极性较低等状况，急需具备业务和数字技术双重能力的复合型人才。因此要创建数字化人才培育和激励体系，塑造数字化人才体系，搭建起职业发展通道。某核电企业在推进知识管理平台建设的时候，挑选出运行、维修、技术、安质等领域的骨干组成跨领域专项组，联合

开展用户需求调查以及知识分类体系改良工作,给管理人员的数字化能力培育给予了有益参照。

4.4 强化数字化管理安全保障机制

核电工程具有敏感性,所以网络安全和数据安全要放在首位。要落实网络安全三同步原则,把网络安全融入到信息化建设的全过程之中。某核电集团新一代智能工控系统自带商用密码和可信计算技术,把外挂防护同内生免疫结合起来,形成内外一体的防护体系。就数据安全而言,应当逐步创建起数据安全组织机构以及监管机制,从而达到数据权益保护与资产安全的目的,进而为打通核电全产业链数据链赋予支撑。

5 结语

数字化技术正在对核电工程管理的底层逻辑和运行机制进行全方位的改变。从数据贯通到智能决策,从协同平台到孪生映射,技术赋能下管理模式创新不但回应了核电工程复杂性提高的现实问题,也为核电工程高质量发展开拓了新的途径。但是技术工具的更新只是一

方面,管理理念的转变、组织惯性的消除以及制度生态的重塑才是转型成败的关键。未来依靠顶层规划的引领,在数据治理的基础上以人才为支撑、以安全为底线,推进核电工程由数字化应用向数字化转型的实质跃升,达到由经验驱动向数据驱动、由碎片化管理向系统性治理的目的。

[参考文献]

- [1]刘强,杨云斐,董黎东,等.基于 MBSE 的核电工程数字化管理[J].中国核电,2026,19(6):791-796.
- [2]许建兵.核电全生命周期文档数字化管理的创新与实践——以深圳某核工程设计有限公司为例[J].兰台内外,2025(21):21-23.
- [3]肖映灼,叶勇,孙海峰.核电站建造阶段数字化转型应用实践[J].智能建筑与智慧城市,2022(1):151-153.

作者简介:李光(1986—),男,汉族,北京市人,高级工程师,本科,毕业于华北电力大学测控技术与仪器专业,现从事核电厂工程管理相关工作。