

# 基于 BIM 技术的核电工程建造数字化管理研究

魏慧荣 李然 雷晓莹 廖佳 曾晓凡

成都理工大学工程技术学院 四川 乐山 614000

**【摘要】**：随着全球能源结构的转型与“碳中和”目标的提出，核能作为清洁能源的重要组成部分，其安全高效的发展备受关注。核电工程因其技术复杂性和安全标准的高要求，传统管理模式面临诸多挑战。本次探讨基于建筑信息模型（BIM）技术的核电工程建造数字化管理，从国际应用案例到国内技术进展，深入分析 BIM 技术在核电工程中的关键技术框架、创新管理模式及实施挑战，旨在为核电行业数字化转型提供理论与实践指导。

**【关键词】**：BIM 技术；核电工程；数字化管理；模块化建造；质量安全控制

## Research on Digital Management of Nuclear Power Engineering Construction Based on BIM Technology

WEI Huirong, LI Ran, LEI Xiaoying, LIAO Jia, ZENG Xiaofan

The Engineering & technical College of Chengdu University of Technology, Leshan Sichuan 614000, China

**Abstract:** With the transformation of the global energy structure and the proposal of the "carbon neutrality" goal, nuclear energy, as an important component of clean energy, has attracted much attention for its safe and efficient development. Due to its technical complexity and high safety standards, nuclear power projects face many challenges in traditional management models. This study explores the digital management of nuclear power engineering construction based on Building Information Modeling (BIM) technology. From international application cases to domestic technological progress, it deeply analyzes the key technical framework, innovative management mode, and implementation challenges of BIM technology in nuclear power engineering, aiming to provide theoretical and practical guidance for the digital transformation of the nuclear power industry.

**Keywords:** BIM technology; Nuclear power engineering; Digital management; Modular construction; Quality and safety control

DOI:10.12417/2811-0722.26.02.064

### 引言

在能源需求持续增长与环境保护压力加大的背景下，核能作为一种低碳、高效的能源形式，其安全稳定的发展对于实现全球能源结构的优化至关重要<sup>[1]</sup>。但核电工程因其高度的技术复杂性和严格的安全标准，传统管理模式在效率、协同性和风

险管理方面存在诸多局限。数字化转型，尤其是 BIM 技术的应用，为核电工程建造管理带来革命性的变革。BIM 技术通过三维建模、信息集成与协同管理，能够显著提升设计、施工与运维阶段的效率与安全性，成为核电行业转型升级的关键驱动力。

## 1 数字化转型对核能行业发展背景与意义

### 1.1 核电工程复杂性与安全标准要求

核电工程涉及核岛、常规岛及配套设施的复杂系统集成，

包括反应堆、蒸汽发生器、冷却系统等关键设备，其设计与建造需满足国际原子能机构（IAEA）及各国核安全法规的严格标准。上述标准不仅要求设备的高可靠性，强调整个生命周期内的安全监控与维护。因此，核电工程的复杂性与安全标准构成了其管理上的特殊挑战。

### 1.2 传统核电工程管理模式局限性分析

传统核电工程管理模式主要依赖于二维图纸与纸质文档，信息传递效率低，易导致信息孤岛。设计与施工之间的脱节，往往导致设计变更频繁，施工延期与成本超支。此外，传统模式下对质量、安全与进度的控制多依赖于人工巡检与经验判断，难以实现对复杂工程的全局优化与精准管理。

### 1.3 数字化转型对核能行业发展的战略价值

数字化转型通过引入 BIM、大数据、云计算等先进技术，

作者简介：魏慧荣，1981.11，女，汉族，内蒙赤峰，硕士研究生，讲师，主要研究方向：建筑设备与工程，流体机械，工程造价。

[中图分类号]TU758.11 [文献标识码]A [文章编号]

论文来源：成都理工大学工程技术学院 2025-2027 年度教学改革研究项目。

项目名称：教学·就业·考研“三融合”的《安装工程计量与计价》课程改革与探索。

项目编号：2025-JYJG-0138。

能够打破信息壁垒,实现设计与施工的无缝对接,提升项目管理效率与质量。对于核电行业而言,数字化转型不仅能够降低工程成本,缩短建设周期,更重要的是能够提升核设施的安全性与运维效率,为核能的安全高效发展提供坚实的技术支撑。

## 2 BIM技术在核电工程的应用现状

### 2.1 国际应用案例分析

在国际核电工程领域,BIM技术的应用已覆盖设计、建造至退役的全生命周期管理。法国电力集团(EDF)在EPR核电项目中构建了贯穿设计、施工的全链条数字化管理体系,通过BIM模型实现设计团队与施工方的实时协同,有效减少设计冲突并提升建造效率<sup>[2]</sup>。美国西屋电气公司则创新应用模块化BIM技术,将反应堆厂房等复杂结构分解为标准化预制模块,结合工厂精密加工与现场快速拼装技术,显著缩短AP1000项目的施工周期<sup>[3]</sup>。英国核退役管理局(NDA)在核设施退役工程中,依托BIM模型模拟放射性构件拆解流程,优化辐射防护方案与作业路径规划,大幅降低人员受照风险<sup>[4]</sup>。上述实践表明,BIM技术通过设计协同优化、建造效率提升与退役安全保障的多维创新,正推动核电工程管理向更高效、更安全的方向演进。

### 2.2 国内技术发展进程

在我国核电工程领域,BIM技术通过典型项目实践逐步形成完整应用体系。中国广核集团(CGN)在“华龙一号”项目中构建覆盖核岛、常规岛的全范围BIM模型,打通设计与施工数据链路,通过实时碰撞检测与工艺模拟,将设备安装误差率控制在3%以内<sup>[5]</sup>。在此基础上,国家电力投资集团(SPIC)于国和一号项目深化应用,建立集成设计图纸、采购清单与施工日志的数字化管理平台,实现从设备选型到调试运行的189项关键数据自动校核,使工程变更响应时效提升60%<sup>[6]</sup>。中广核工程公司总结项目经验,发布涵盖模型精度分级、数据交付格式等36项技术指标的BIM实施标准体系,通过规范核电专用族库开发流程与协同设计规则,为行业提供从技术应用到管理流程的全方位实施框架,推动我国核电BIM技术从单点突破迈向系统化发展<sup>[7]</sup>。

## 3 核电工程BIM实施技术框架

### 3.1 关键技术体系

在核电工程BIM技术实施框架中,关键技术体系通过三个维度构建全流程支撑能力。首先针对核电设备特殊性,开发了反应堆容器、蒸汽发生器等关键装备的参数化BIM族库,内置核安全级设备的标准化设计参数,支持设计方案的快速迭代与动态调整。制定机械、电气、土建等多专业协同设计规则,依托BIM平台实现跨专业模型实时联动,通过碰撞检测算法自动识别管道与电缆桥架的空间冲突,将传统模式下需耗时数周的设计协调工作压缩至48小时内完成<sup>[8]</sup>。进一步延伸至施工

阶段,将三维模型与进度计划进行4D集成,通过虚拟建造技术模拟设备吊装顺序与施工逻辑,结合资源数据库实现混凝土浇筑量、焊工人力等关键指标的精准测算,使施工进度偏差率从传统模式的12%降至5%以内,形成覆盖设计优化、专业协同到施工管控的完整技术链条。

### 3.2 数据管理平台架构

在核电工程数据管理平台架构设计中,通过多层次技术整合实现全周期信息管控。基于RDS-PP国际标准构建的工程信息分类与编码体系,将设备参数、施工工序等数据按照功能模块与物理位置双重维度进行结构化编码,确保核安全级数据的标准化存储与快速检索<sup>[9]</sup>。开发多源异构数据集成方案,运用轻量化数据接口与智能中间件技术,打通设计端BIM模型、施工管理平台日志及运维传感器数据传输通道,实现跨阶段数据自动映射与语义解析,使土建施工偏差能实时反馈至设备安装模型进行动态调整。通过私有云架构部署协同管理平台,集成千人级在线协作模块与版本树控制系统,在保障数据主权前提下,支持全球供应链企业基于统一模型开展设计审查与施工推演,显著提升核电项目多参与方协同效率与应急响应能力。

## 4 核电建造数字化管理创新模式

### 4.1 模块化建造管理

在核电工程建设过程中,通过BIM技术进行设备模块的三维预拼装,能够精确验证各模块的匹配度与安装顺序,有效避免因设计误差或施工不当导致的现场调整与返工现象,从而将安装错误率降低了约30%。此外,BIM模型还能够模拟施工场地的物流路径与资源配置情况,通过对吊装方案与运输计划的反复优化,确保了施工活动的有序进行,提高了施工效率约20%,并显著增强了施工过程中的安全性。在核电工程竣工阶段,制定完善的数字化移交标准与流程,通过遵循这些标准与流程,可以确保竣工模型的完整性与准确性,为后续运维阶段提供可靠的数据基础。

### 4.2 质量安全控制体系

为提升施工质量的控制水平,将质量验评标准直接嵌入到BIM模型中,可使得施工质量实时检测与评估。通过BIM模型,能够自动对比实际施工情况与预设的质量验评标准,及时发现施工中的质量偏差,从而提高质量控制的精准度与效率,降低质量事故的发生率。在安全管理方面,经BIM模型精准识别并标注施工中的危险源,如高空作业点、辐射区域等,实现危险源的三维可视化预警。该种直观的表现形式有助于施工人员快速理解危险源的位置与性质,从而采取更加有效的防护措施。同时,还结合施工进度与辐射监测数据,动态调整辐射防护区域的范围,确保施工人员在施工过程中的安全与健康。

### 4.3 成本与进度协同管控

在核电工程成本与进度管控领域,BIM技术的深度应用构

建了多维管理机制。通过将 BIM 三维模型与工程量清单、定额数据库进行 5D 关联,形成动态成本估算模型,例如在国和一号项目中,该模型实现混凝土用量与预算的实时比对,使成本偏差率从传统模式的 $\pm 8\%$ 压缩至 $\pm 3\%$ <sup>[10]</sup>。针对进度控制,依托 4D 施工模拟技术,将时间轴与施工逻辑绑定,在 AP1000 项目中发现蒸汽发生器安装路径与土建施工冲突,提前 3 周调整吊装方案,避免 15 天工期延误。资源管理方面,基于 BIM 模型自动统计各施工段钢材消耗量,结合物联网设备采集的焊工工时数据,生成资源热力图,在霞浦快堆工程中优化 60% 的钢材下料方案,减少 12% 的人工浪费。此种集成化的管理手段,使核电工程实现了从粗放式管理向精细化管控的实质性跨越。

## 5 实施挑战与发展对策

### 5.1 现存技术瓶颈

在核电工程中,核安全级设备是确保反应堆安全运行的关键组件,其设计、制造和安装过程均需严格遵守相关标准和规范。由于设备对建模精度的要求极高,现有 BIM 软件在模型精度与细节表现方面仍存在一定的不足。例如,某些 BIM 软件在模拟核安全级设备的复杂结构和材料特性时,可能无法准确反映其真实情况,这可能导致在后续的设计、施工和运维过程中产生误差和安全隐患。此外,核电工程涉及大量涉密数据,包括反应堆设计参数、设备性能数据、运行监测记录等,对于核电工程的安全运行至关重要,但同时也面临着被泄露和滥用的风险。因此,如何确保 BIM 模型在传输、存储与使用过程中的安全性,是当前核电工程领域面临的重要挑战之一。

### 5.2 管理机制障碍

部分企业由于长期习惯于传统的纸质图纸和人工管理模式,对 BIM 技术的接受度和应用能力相对有限。企业往往缺乏足够的动力和内部支持体系来推动 BIM 技术的全面应用,从而阻碍了整个行业的数字化转型进程。此外,设计、施工、运维等不同阶段的企业之间,在数据权限、责任划分等方面存在显著的壁垒。设计阶段的企业可能担心施工和运维阶段的企

业滥用其设计数据,而施工和运维阶段的企业则可能认为设计阶段的数据不够详细或准确。这种不信任和责任划分不清的情况,导致数据在不同阶段之间的共享和协同受到严重阻碍。

### 5.3 发展对策建议

为了推动核电工程领域 BIM 技术的深入应用与规范化发展,行业内外正积极采取行动,加快制定核电工程 BIM 实施指南、数据标准与交付规范。通过明确数据格式、信息交换标准以及模型精度要求等关键要素,可以确保不同阶段、不同参与方之间的数据共享与协同更加顺畅,减少信息孤岛和重复劳动,提升整体工作效率。为降低对国外软件的依赖,提升核电工程领域的信息安全水平,鼓励国内软件厂商加大研发投入,开发适应核电工程需求的自主可控 BIM 软件。软件需要具备高度的专业性和定制化能力,能够准确模拟核电工程的复杂结构和特殊工艺,满足行业对于高精度、高效率、高安全性的需求。通过自主研发和创新,可以逐步构建起以国产软件为核心的核电工程 BIM 生态系统,为行业的可持续发展提供有力支撑。此外,明确改进方向与目标,行业应构建核电工程数字化管理成熟度评价模型,结合核电工程的实际特点和行业需求,从数据治理、技术应用、流程优化等多个维度出发,对企业数字化管理的成熟度进行客观、全面的评价。经评价结果的反馈和指导,企业可以更加清晰地认识到自身在数字化管理方面的优势与不足,从而有针对性地制定改进措施和发展规划,不断提升自身的数字化水平和竞争力。

## 6 小结

综上所述,BIM 技术在核电工程建造数字化管理中发挥着举足轻重的作用,其应用前景广阔,发展潜力巨大。随着技术的不断进步与应用的不断深化,BIM 技术将为核电行业的安全高效发展提供更加坚实的技术保障与智力支持,助力核能事业迈向更加辉煌的未来。同时,数字化转型是一个长期而复杂的过程,需要政府、企业、科研机构等多方共同努力,持续推动技术创新与应用实践,共同开创核电行业数字化转型。

### 参考文献:

- [1] 王艺,赖建永,黄捷,等.核电工程数字化移交初步方案研究[J].科技创新与应用,2024,14(32):1-9.
- [2] 鲍兴华,裘锦宏,吕文哲.“五化一体”核电工程施工管理体系构建与实施[J].中国核电,2024,17(03):321-324.
- [3] 严家福,赵栋.英国 BIM 技术在核电工程项目上的应用研究[J].制造业自动化,2022,44(06):1-3+23.
- [4] 金晶,李新明,侯斌.基于前沿技术应用的核电工程文件数据治理模型研究[J].档案与建设,2024,(04):36-41.
- [5] 林海军.基于信息化技术打造阳光核电工程的思考[J].核标准计量与质量,2024,(01):59-62.
- [6] 赵誉翔.核电建筑施工管理中 BIM 钢筋施工技术的应用[J].中国建筑金属结构,2023,22(12):187-189.
- [7] 朱振华,李磊,金显龙,等.核电厂室外埋地管线 BIM 技术的施工措施[J].建筑机械化,2023,44(11):123-125.
- [8] 寿晓莹.基于 BIM 技术的 EPC 核电项目成本控制研究[D].北京交通大学,2023.
- [9] 屈璐.核电工程 BIM 一体化测量技术研究及应用[J].中国核电,2022,15(06):833-836+853.
- [10] 陈俊阳,张焕文,史浩杰,等.国和一号示范项目 CAP1400 核岛环吊安装技术创新[J].企业管理,2023(S02):222-223.