

Optimization strategy for BIM based full lifecycle management of substation engineering

Ting Zhao Xiaohui Zhu

State Grid Shandong Electric Power Company Zibo Power Supply Company, Zibo, Shandong, 255000, China

Abstract

The full lifecycle management of substation engineering encounters key challenges such as information isolation, poor stage connection, and lack of intelligent operation and maintenance, which affect the efficiency and sustainable development of the project. With the help of Building Information Modeling (BIM) technology, a three-stage optimization measure is proposed: to create a data integration platform for the entire lifecycle, to achieve standardized circulation and dynamic refreshing of planning, design, construction, and operation and maintenance data; Build a cross stage collaborative system to improve the efficiency of collaboration among all parties involved through process optimization and division of responsibilities; Building an intelligent operation and maintenance system, utilizing IoT and artificial intelligence technology to achieve predictive maintenance and carbon footprint management, can effectively enhance engineering management efficiency, reduce full cycle costs, and provide technical support for the construction of new power systems.

Keywords

BIM; Substation engineering; Full lifecycle management; optimization strategy

基于 BIM 的变电工程全生命周期管理优化策略

赵廷 朱晓晖

国网山东省电力公司淄博供电公司, 中国·山东 淄博 255000

摘要

变电工程全生命周期管理遭遇信息孤立、阶段衔接不畅及运维智能化欠缺等关键难题,影响工程效率与可持续发展,凭借建筑信息模型(BIM)技术,提出三阶段优化举措:打造全生命周期的数据集成平台,实现规划、设计、施工及运维数据的标准化流通与动态刷新;搭建跨阶段协同体系,通过流程优化与职责划分提高各参与方协同效率;构建智能运维系统,借助物联网与人工智能技术达成预测性维护与碳足迹管理,该体系可有效增强工程管理效能,减少全周期费用,且为新型电力系统建设给予技术支持。

关键词

BIM; 变电工程; 全生命周期管理; 优化策略

1 引言

伴随能源结构转型进程加快,变电工程在规模与复杂程度上持续上升,传统分段式管理模式难以契合高效协同及精细化运维的需要,信息碎片化造成决策依据残缺,阶段衔接不顺引发重复工作和资源浪费,而运维阶段采取被动管理模式进一步限制了电力设施的长期可靠性。建筑信息模型(BIM)技术依靠其数据集成与可视化方面的优势,为解决这些难题开辟了新途径,整合物联网、数字孪生等新兴技术,构建贯穿变电工程全生命周期的智能化管理体系,既能提高工程质量与效率,又可助力电力行业朝低碳、数字化迈进。

【作者简介】赵廷(1992-),女,中国山东菏泽人,硕士,工程师,从事电力系统建设及运维研究。

2 全生命周期管理理论概述

全生命周期管理理论(Lifecycle Management, LCM)作为一种系统管理手段,通过整合技术、流程和数据,实现工程或产品从规划、设计、施工直至运维、报废整个过程的动态优化与协同管控,该理论发端于制造业的产品生命周期管理,随后逐步延伸到建筑工程、能源设施等范畴,其核心目的是破除传统分段式管理的障碍,处理信息断裂、资源浪费和效率不高的问题。全生命周期管理突出各阶段的连续和整体特性,借助数据驱动和协同平台将规划、设计、施工、运维等环节整合成有机整体,保证信息无障碍传递与决策的一致性,在工程实际操作中,此理论一般借助数字化技术(如BIM、物联网、大数据)搭建统一信息模型,达成物理实体与虚拟模型间的动态映射,以此支撑实时监测、模拟剖析和智能抉择。在变电项目里,全生命周期管理既重视建设期的

成本与进度，还要对运维期设备的损耗、能效优化以及故障风险进行预测，通过前期介入与后期反馈实现闭环优化，此理论强调可持续性，规定在设计环节就要考虑环保材料的选用、能源消耗的最小化以及退役回收的方案，以降低整个周期的环境影响。方法论框架一般涵盖标准化体系，三者协同助力生命周期目标的达成，伴随数字化转型的不断推进，全生命周期管理理论与数字孪生、人工智能等技术深度结合，促使工程管理朝着更高效、更智能的方向迈进，作为关键赋能手段的 BIM 技术，为该理论在变电工程等复杂系统中的实施提供了技术支撑与实践办法^[1]。

3 变电工程全生命周期管理存在的问题

3.1 信息孤岛与数据割裂问题

变电工程全生命周期管理中，信息孤岛状况普遍存在且极大阻碍管理效率提升，各参与主体采用不同的信息系统和软件工具，致使数据格式不匹配、标准不一致，设计单位借助 BIM 软件创建出的三维模型，施工阶段可能因软件版本不同而无法直接利用，得重新建模或转换格式，致使时间与资源造成浪费。施工过程中产生的进度、质量及安全数据通常分散在各部门独立系统里，难以实现有效整合，当运维阶段需调用设计与施工阶段的关键信息时，常因数据丢失、格式不相符而无法获取完整资料，这种数据的割裂状况，既提升了信息检索与处理的复杂度，更会造成决策依据不足。运维人员难以获取设备安装时的具体参数，只能凭借经验推断故障原因，增加了误判概率，统一数据管理平台的缺失导致了跨阶段、跨部门信息共享障碍重重，项目各环节的协同效率大幅降低，即便部分项目尝试运用 BIM 技术应对这一难题，但因缺少全生命周期的数据管理机制，模型信息在传递期间仍有丢失或失真的可能，进而影响整体管理成效。

3.2 阶段割裂与协同效率低下问题

变电工程的全生命周期涵盖规划、设计、施工以及运维等多个阶段，各阶段衔接不足造成管理脱节，设计阶段往往过度看重技术方案能否实施，却忽略了施工便捷性与运维的长期需求，电气设备布置可能未预留后期检修所需空间，致使运维阶段只能进行改造。施工期间往往会因频繁的设计变更而导致工期延误，这些问题归咎于各阶段参与方目标不同，设计单位力求方案达到最优水平，施工单位着重把控进度，运维单位更看重长期可靠性，各方缺少共同的价值指引，传统管理模式中的沟通大多借助会议与文件传递，效率不高且信息易有遗漏。项目参与各方的职责与权限划分模糊，使协同难度进一步增大，一旦问题出现，各方往往相互扯皮，难以迅速确定解决方案，虽说 BIM 技术在理论上具备促进各阶段协同的能力，但在实际应用场景中，由于没有标准化的协作流程以及明确的模型更新机制，设计模型与施工进度、运维需求之间依旧存在显著差距，阶段的这种割裂不但降低了工程效率，还拉高了全生命周期的综合花费。

3.3 运维阶段智能化与可持续性不足问题

变电工程全生命周期中，运维阶段持续时间最长且成本占比最高，然而当下运维管理依旧面临不少挑战，传统运维大多依靠定期巡查与人工记录，智能化水平不高，设备状态监测普遍采用被动式维护，也就是等故障出现后再开展抢修工作，并非基于数据进行预测性维护。这种方式不仅效率不高，还可能因隐患未及时发现而引发重大事故，运维阶段对数据的利用存在不足，历史施工记录、设备参数等信息与实时监测数据未有效整合，降低了故障诊断及性能优化的水平，从可持续性角度看，变电工程全生命周期管理往往未对环境影响和资源利用进行系统性考虑。设备选型可能未充分考虑能效与可回收性，退役阶段的处理方案也未预先规划，引发资源浪费或二次污染，即便 BIM 和数字孪生技术给智能化运维带来了可能性，但因模型数据无法随实际运维状况动态更新，其应用效果大幅下滑，如何提升运维阶段的智能化水平，且融入可持续管理理念，是变电工程全生命周期管理急需攻克的关键难题^[2]。

4 基于 BIM 的变电工程全生命周期管理优化策略

4.1 构建全生命周期数据集成平台，消除信息孤岛

变电工程全生命周期管理中，信息孤岛难题极大阻碍了各阶段数据的流转与协同效能，借助 BIM 技术搭建统一的数据集成平台，可有效解决这一问题，此平台应当采用开放性的数据标准，确保规划、设计、施工、运维各阶段数据格式相互兼容，实现信息的无障碍传递。BIM 模型要包含设备参数、材料属性等完整资料，利用轻量化处理技术（如 WebGL）实现多终端可访问性，方便施工与运维阶段使用，在开展施工期间，移动终端能实时将进度、质量、安全等数据录入 BIM 平台，自动与模型构件关联，构建出完整的施工数字档案，平台要整合物联网（IoT）监测数据，使设备运行状态、巡检记录等信息与 BIM 模型实现动态关联，搭建“数字孪生”系统。

为达成这一目标，应设立严格的数据治理体系，涵盖制定统一的数据分类及编码规则，界定各参与方数据录入与更新职责，且设置版本控制功能，确保数据可追溯，平台要研发智能校验工具，自动核查模型数据的完整性与一致性，例如检查设备参数是否遗漏、几何模型是否矛盾等。从技术实施角度，可运用微服务架构，通过 API 接口与企业现有的 ERP、PMIS 等系统实现对接，防止“数据搬家”产生额外工作量，某 500kV 智能变电站的实践案例证明，该策略可使设计变更响应时间减少 60%，使运维故障定位的效率提升 45%，充分彰显了数据集成对破除信息孤岛的关键功效。

4.2 建立跨阶段协同工作机制，实现流程再造

为解决阶段割裂问题，应借助 BIM 技术重新构建全生命周期管理流程，建立“前端引导后端、后端反馈前端”

的闭环机制，项目启动时，就应当组建由设计、施工、运维单位构成的 BIM 协同团队，采用 IPD(集成项目交付)模式，统一制定 BIM 实施标准与协作流程。设计阶段需开展“可施工性”与“可运维性”分析，借助 BIM 模型开展空间冲突检测、检修通道模拟等工作，保证设计方案既达到技术要求，又利于后期实施，利用 BIM+VR 技术，运维人员可预先体验设备检修环节，提出对操作空间的优化建议^[1]。

施工阶段可采用 4D - BIM 技术，使进度计划与模型构件建立关联，实现施工进度可视化模拟与动态调控，借助移动端 APP，现场人员可即时查看最新版模型，发起设计问题咨询或提交变更申请，设计团队应在约定时间内给予响应，某换流站项目借助搭建“BIM 协同指挥中心”，将设计变更审批的平均周期从 7 天缩短至 8 小时。运维准备阶段需专门推进“BIM 模型交付”专项工作，要求施工方将设备铭牌信息、隐蔽工程影像等运维关键数据完整录入竣工模型，还借助运维 BIM 平台的知识管理模块，将施工经验(如特定设备的安装技巧)转化为标准作业指导，为确保协同机制有效实施，建议构建三级协调制度：操作团队通过 BIM 平台开展日常协作，管理层通过周例会处理跨专业问题，决策层面利用阶段评审会保障战略目标统一，与此同时搭建 KPI 考核体系，将模型更新及时率、协同问题关闭率等指标列入合同条款，某省级电网公司统计表明，此策略能使工程整体工期缩减 12%，跨阶段问题出现概率降低 38%。

4.3 开发智能运维系统，提升可持续管理水平

要实现运维阶段的优化，需构建“BIM+IoT+AI”智能运维系统，从硬件角度出发，设备安装时应同步搭建传感器网络，对温度、振动、局放等关键参数进行监测，利用 5G 专网实现数据实时回传，软件方面需进行 BIM 平台的开发与运维工作，聚合三大核心功能：设备健康度评估模块通过机器学习算法，融合历史数据与实时监测数据，测算设备剩余寿命，提出维护次序的建议；能效分析模块通过建筑能耗模拟(BEM)技术，将设计预期能耗与实际能耗进行对比，自动生成节能改进方案；退役评估模块依托设备材料数据库，计算出可回收资源价值，推荐适宜的环保处置办法。

系统实施需分三步走：首先在基础设施建设阶段完成“数字孪生”基础搭建，要求各设备供应商提供符合 Asset Information Model(AIM)标准的数字化产品；于移交阶段开展“数字交接”，通过 AR 设备现场查验实体与模型的吻合度；最终于运维阶段构建“动态更新”机制，将每次的检修记录、改造图纸同步录入模型。某智能变电站的实际应用证明，应用该系统后，预防性维护比例从 30% 升至 85%，设备平均故障间隔时间增长 2.3 倍，从可持续性角度出发，BIM 模型要嵌入全生命周期碳排放计算功能，在设计环节对比不同方案碳足迹，施工时监测材料运输能耗，运维阶段对设备运行策略予以优化，借助光伏出力预测与负荷需求分析，自动优化变压器运行组合，某生态变电站项目采用此策略后，实现全生命周期 22% 的碳减排，退役设备回收率升至 91%^[4]。

5 结语

变电工程全生命周期管理的优化属于系统工程范畴，需协同推动技术创新与管理变革，以 BIM 为基础的数据集成平台消除了信息孤岛，跨阶段协同机制革新工程流程，智能运维系统为可持续运营筑牢技术根基，此体系的推行不仅解决了当前工程管理的困境，还借助数据驱动与智能分析为未来电力基础设施的规划建设筑牢根基，随着技术持续更新，该体系极有可能进一步融入区块链、边缘计算等新兴技术，稳步提升变电工程全生命周期的价值。

参考文献

- [1] 张烈霞.基于多维建筑信息模型(BIM)的项目全生命周期数据管理及其工程应用研究[J].科技管理研究, 2023, 43(21):208-217.
- [2] 陈文静.基于BIM技术的市政桥梁工程全生命周期管理策略[C]//新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛论文集(一).2025.
- [3] 黄翼.BIM技术在建筑工程项目全生命周期管理中的应用及优化[J].四川水泥, 2025(7).
- [4] 李金生 李金芳 王越.建筑工程中基于BIM技术的全生命周期成本控制研究[J]. 2025.