

Discussion on optimization of whole life cycle management of power engineering projects under smart grid background

Zhichao Pan

Shenzhen ShenDian Power Supply New Energy Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract

The rapid advancement of smart grid technology has created both new opportunities and challenges for power engineering project management. This paper explores optimization pathways for full lifecycle management in power engineering projects within the smart grid environment. By establishing a digital twin-based management framework, developing multi-dimensional integrated models, and creating an intelligent decision support system, we have developed a comprehensive management framework. Targeted intelligent optimization strategies are proposed for four critical phases: project planning/design, construction, operation/maintenance, and decommissioning/disposal. Research demonstrates that the deep integration of smart technologies—including big data analytics, IoT monitoring, blockchain, and cloud computing platforms—significantly enhances project management efficiency, reduces lifecycle costs, and enables sustainable development of power engineering projects.

Keywords

smart grid; full lifecycle management; digital twin; big data analytics; IoT monitoring

智能电网背景下电力工程项目全生命周期管理优化探讨

潘志超

深圳市深电供电新能源有限公司, 中国·广东 深圳 518000

摘要

智能电网技术的快速发展为电力工程项目管理带来了全新的机遇与挑战。本文立足于智能电网环境,探讨电力工程项目全生命周期管理的优化路径。通过构建基于数字孪生的管理架构、建立多维度集成模型以及搭建智能决策支持系统,形成了完整的管理框架体系。针对项目规划设计、施工建设、运行维护和退役处置四个关键阶段,提出了相应的智能化优化策略。研究表明,大数据分析、物联网监测、区块链技术和云计算平台等智能化技术的深度融合应用,能够显著提升项目管理效率,降低全生命周期成本,实现电力工程项目的可持续发展。

关键词

智能电网; 全生命周期管理; 数字孪生; 大数据分析; 物联网监测

1 引言

电力工业作为国民经济的基础性产业,其发展水平直接影响着经济社会的运行效率。随着能源转型和数字化技术的深入推进,智能电网建设已成为电力系统发展的必然趋势,传统的电力工程项目管理模式面临着项目规模日益庞大、技术复杂度不断提升、投资成本持续增长、运维难度显著增加等诸多挑战。全生命周期管理作为一种系统化的管理理念,强调从项目的初始规划到最终退役的全过程优化,不仅关注项目建设期的成本控制,更重视运营期的效率提升和退役期的资产处置。智能电网技术的发展为全生命周期管理提供了强大的技术支撑,使得项目管理的精细化、智能化成

为可能。然而当前电力工程项目管理中仍存在决策依据不充分、管理模式滞后、过程控制不精细、信息孤岛严重等问题,严重制约了管理效率和经济效益的提升,亟须通过智能化技术手段和管理模式创新来解决这些问题。

2 智能电网环境下电力工程项目全生命周期管理框架构建

2.1 基于数字孪生的项目管理架构设计

数字孪生技术通过创建电力工程项目的虚拟映射,构建了涵盖全生命周期的智能仿真平台。该架构采用物理层、数据层、模型层和应用层的分层设计,实现了物理设备与数字世界的深度融合。平台能够实时反映项目状态,通过高精度建模技术精确模拟变压器、断路器、输电线路等关键设备的运行特性。实时数据同步机制确保虚拟模型与物理实体保持一致,通过现场传感器网络采集运行参数并高速传输至数据中心。这种架构不仅提高了管理时效性,还能预测发展趋

【作者简介】潘志超(1984-),男,中国广东梅州人,本科,助理工程师,从事电力工程管理研究。

势，为故障预防和应急处置提供科学依据^[1]。

2.2 多维度集成管理模型建立

电力工程项目的复杂性需要建立技术、经济、环境、社会等多维度的综合管理模型。技术维度通过建立包含设备故障率、供电可靠性、技术成熟度等指标的评价体系，采用层次分析法进行方案评估。经济维度强调全生命周期成本优化，考虑到运行维护成本占总成本的较大比重，建立现值折算模型选择最优方案。环境维度运用生命周期评价方法量化碳排放、土地占用等环境影响，制定绿色施工和清洁生产策略。社会维度建立影响评估机制，处理征地拆迁、就业创造等社会问题，通过与利益相关方沟通确保项目社会接受度。

2.3 智能决策支持系统框架搭建

智能决策支持系统采用五层架构，包括数据采集层、数据处理层、知识库层、推理引擎层和人机交互层。数据采集层通过自动采集和人工录入相结合的方式获取项目信息，动态调整采集频率确保数据时效性^[2]。知识库层采用产生式规则、框架和本体等形式存储专家知识，涵盖设备选型、风险识别、故障诊断等管理经验，并通过机器学习算法持续优化。推理引擎作为决策核心，在项目规划时采用正向推理生成可行方案，故障诊断时运用反向推理追溯原因，方案优化时结合混合推理寻找最优解。系统通过标准化接口实现各层间的高效数据交换和功能调用。

3 电力工程项目关键阶段管理优化策略

3.1 规划设计阶段的智能化方案优选

智能化方案优选通过大数据分析和人工智能算法，显著提高规划设计阶段决策的科学性和效率。系统采用参数化设计方法，根据项目功能需求和边界条件自动生成多个技术方案，包含设备配置、网络拓扑、控制策略等关键要素。方案评价运用多目标优化算法，建立涵盖供电可靠性、投资回收期、碳排放强度等定量指标和技术先进性、社会接受度等定性指标的评价体系。通过遗传算法、粒子群算法等智能优化方法在解空间中搜索帕累托最优解集，为决策者提供科学的方案选择依据（见表1）。

表 1 220 千伏输变电工程项目方案评价对比

评价指标	方案一	方案二	方案三	权重
供电可靠性（%）	99.97	99.95	99.98	0.25
全生命周期成本（亿元）	8.76	9.23	8.45	0.30
年碳排放量（万吨）	12.5	13.8	11.2	0.20
土地占用（公顷）	4.8	5.2	4.5	0.15
技术成熟度评分	8.5	7.8	9.2	0.10
综合得分	8.42	8.15	8.78	—

3.2 施工建设阶段的动态资源配置优化

动态资源配置优化通过实时监控施工进度和资源使用情况，及时调整分配策略确保项目按期保质完成。资源需求预测基于历史数据和工程特征，采用时间序列分析和机器学习

方法预测各施工阶段的人力、材料、设备需求，充分考虑季节因素、天气影响等多种变量。资源调度优化运用动态规划算法，在满足施工进度要求前提下最小化资源使用成本，通过求解资源受限项目调度问题获得最优分配方案。进度偏差分析采用阈值管理方法，对比实际进度与计划进度识别关键路径延误风险，当偏差超过预设阈值时系统自动预警并提供纠偏建议^[3]。

3.3 运行维护阶段的预测性管理机制

预测性管理机制将传统事后维修转变为事前预防，通过状态监测和故障预测大幅降低维护成本和停电损失。设备状态评估基于多源数据融合技术，综合分析在线监测数据、离线试验数据和运行历史数据，建立设备劣化模型描述性能退化规律，将设备分为正常、注意、异常和严重四个等级制定差异化维护策略。故障预测采用深度学习算法构建长短期记忆网络模型，从海量历史数据中学习故障模式和征兆，预测准确率达到较高水平。维护策略优化根据设备状态和故障风险采用风险评估矩阵，综合考虑故障概率和后果确定设备风险等级，通过优化策略实现设备可用率提升和维护费用降低。

3.4 退役处置阶段的资产价值最大化

退役处置阶段通过合理策略降低处置成本并实现资产残值回收和资源循环利用。退役时机决策基于设备的技术寿命、经济寿命和环保要求确定最佳退役时间，技术寿命评估设备老化程度和故障率，经济寿命分析运维成本与更新效益对比，环保要求评估能效水平和排放指标。资产评估采用成本法、市场法和收益法相结合的方式，成本法计算账面价值，市场法参考二手设备交易价格，收益法预测继续使用的现金流折现值，综合确定公允价值。循环利用方案遵循减量化、再利用、资源化原则，性能良好的设备经技术改造后降级使用或转让，无法继续使用设备进行拆解回收材料再利用，危险废物按环保要求无害化处理，实现较高的资产回收率。

4 支撑全生命周期管理的智能化技术体系

4.1 大数据分析与人机智能决策平台构建

大数据分析平台采用分布式存储和并行计算架构，整合 SCADA 系统、营销系统、气象系统等多源数据，具备处理海量数据的强大能力。平台通过数据清洗去除重复和错误数据，数据集成形成统一数据视图，数据变换实现格式标准化，确保高质量的数据基础。特征工程环节运用领域知识和统计分析从原始数据中提取有价值特征，在负荷预测中融合历史负荷、温湿度、节假日等多维特征，在故障诊断中提取频谱、时域统计和小波特征。模型训练采用集成学习策略，结合随机森林、梯度提升树、XGBoost 等多个基学习器，通过交叉验证避免过拟合，根据不同应用场景选择准确率、召回率、均方误差等合适评价指标，显著提高预测和决策的准确性^[4]。

4.2 物联网监测与实时数据采集系统部署

物联网监测系统通过部署温度、振动、局部放电、油中气体等多类型智能传感器,实现电力设备全面感知和互联互通。系统采用感知层、网络层、应用层的分层架构,底层传感器负责数据采集,中间层通过光纤、以太网、4G/5G、LoRa等多种通信方式传输数据,顶层提供数据处理和管理功能。边缘计算技术将分析任务下沉到设备端,边缘节点部署轻量级算法实时处理传感器数据,识别异常情况并触发报警,同时上传详细数据供云端深度分析。系统建立完善的安全机制,采用端到端加密确保数据机密性,使用数字签名保证数据完整性,部署入侵检测系统防范网络攻击,通过设备认证机制防止非法接入。

4.3 区块链技术在项目信息管理中的应用

区块链技术凭借去中心化、不可篡改、可追溯特性为电力工程项目多参与方信息管理提供创新解决方案。智能合约机制将项目管理规则编码部署在区块链上,当满足预设条件时自动触发相应操作,实现工程款支付等业务流程自动化执行,减少人为干预提高透明度。数据共享机制通过分布式账本解决信息孤岛问题,各参与方将设计图纸、施工记录、质量检验报告、设备台账等数据上传区块链,所有授权用户可查询验证数据,哈希算法和时间戳技术确保数据完整性和时序性。供应链追溯应用记录从原材料采购到安装使用的全过程信息,出现质量问题时快速追溯到源头明确责任主体,有效提升设备材料质量管理水平和客户满意度。

4.4 云计算平台的资源调度与协同机制

云计算平台采用虚拟化技术将物理资源池化,根据业务需求动态分配计算和存储资源,显著提高资源利用率。资源调度算法运用改进遗传算法将任务调度转化为多目标优化问题,综合考虑任务优先级、资源需求、截止时间等因素,在最小化完成时间、最大化资源利用率、最小化能源消耗等

目标间寻找最优平衡,同时处理资源异构性和任务依赖关系等复杂调度场景^[5]。协同工作平台支持多用户多角色在线协作,提供文档共享、信息交流、工作协调功能,配备版本控制记录修改历史,支持多人同时编辑和冲突解决,视频会议功能实现远程沟通减少差旅成本。弹性伸缩机制根据业务负载自动调整资源配置,负载增加时启动新虚拟机扩展处理能力,负载降低时释放多余资源降低成本,负载均衡器分发请求避免单点故障,全面提升系统可用性和协同效率。

5 结语

智能电网环境下的电力工程项目全生命周期管理是一个复杂的系统工程,需要管理理念、技术手段和组织模式的全面创新。本文构建的基于数字孪生的管理架构、多维度集成管理模型和智能决策支持系统为项目管理提供了完整的理论框架和技术路径,通过在各关键阶段实施智能化优化策略,能够显著提升项目管理的效率和效益。大数据分析、物联网监测、区块链技术和云计算平台等智能化技术的综合应用,推动了电力工程项目管理向数字化、网络化、智能化方向发展,增强了各参与方之间的协同和共享。

参考文献

- [1] 顾然.基于数字孪生的锂离子电池正极材料全生命周期质量管理体系构建[J].时代汽车,2025(15):117-119.
- [2] 唐杰.基于数字孪生的铁路工程全寿命周期智能化管理研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(1):057-060.
- [3] 陈超博.面向淤地坝全生命周期的数字孪生系统构建与应用研究[J].张江科技评论,2025(6):105-107.
- [4] 高珂.数字化在固定资产全生命周期管理中的应用研究[J].经济管理论坛,2025(1):61-63.
- [5] 林琳,唐福旭,孙建,罗宏亮,邵建虎,刘鸿宇.基于构型管理的轨道车辆全生命周期数字化解决方案[J].铁道车辆,2025,63(2):136-143.