

智能化技术在建筑电气工程数字化转型设计中的应用

曹丹娟

(深圳市华阳国际工程设计股份有限公司)

【摘要】为推动建筑电气工程数字化转型,本研究选取物联网感知、BIM协同设计及人工智能控制算法为代表性的智能化技术,构建“感知—协同—优化”应用设计方法。通过多传感器数据融合算法提升监测精度,依托BIM三维模型实现多专业协同与管线冲突前置解决,结合模糊神经网络控制器动态优化能效。工程案例验证显示,设计阶段碰撞问题解决率达92.3%,施工效率提升31.2%,运营期综合能耗降低17.8%,表明该设计方法可有效支撑建筑电气工程数字化转型,为行业提供可行技术路径。

【关键词】智能化技术;建筑电气工程;数字化转型;协同设计

中图分类号: TU855

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2025.S2.082

Application of Intelligent Technology in the Digital Transformation Design of Building Electrical Engineering

CAO Dan-juan

(Shenzhen Capol International and Associates Co., Ltd.)

【Abstract】In order to promote the digital transformation of building electrical engineering, this study selects Internet of Things (IoT) perception, BIM collaborative design and artificial intelligence control algorithms as the representative intelligent technology, and constructs the application design method of "perception-collaboration-optimization". The monitoring accuracy is enhanced through the multi-sensor data fusion algorithm, multi-disciplinary collaboration and pre-emptive resolution of pipeline conflicts are achieved by relying on the BIM 3D model, and energy efficiency is dynamically optimized by combining a fuzzy neural network controller. The validation of engineering cases shows that the collision problem solving rate in the design stage reaches 92.3%, the construction efficiency is improved by 31.2%, and the comprehensive energy consumption in the operation period is reduced by 15.8%, which indicates that the design method can effectively support the digital transformation of the building electrical engineering and provide a feasible technical path for the industry.

【Keywords】intelligent technology; building electrical engineering; digital transformation; collaborative design

1 引言

传统建筑电气工程设计存在协同效率低、管线冲突频发、能效管控粗放等问题,制约数字化转型进程。随着物联网、BIM与人工智能技术的发展,智能化集成应用成为突破瓶颈的关键^[1]。本文以技术融合为主线,系统探讨物联网感知技术的数据采集优化、BIM技术的协同设计机制及人工智能算法的控制策略,阐释三者 in 数字化转型中的耦合作用,为提升建筑电气工程设计质量与全周期性能提供理论与实践参考。

2 数字化转型设计的智能化技术基础

建筑电气工程数字化转型设计依托物联网感知技术、建筑信息模型(BIM)技术及人工智能控制算

法三大核心支柱实现系统性革新^[2]。物联网感知技术作为底层支撑,通过应变片、红外热成像仪、温度传感器构建分布式监测网络,借助MQTT协议与LoRaWAN低功耗广域网实现设备全生命周期状态参数的毫秒级采集,结合MCU数据处理模块的多源数据融合能力,为配电柜等关键设施提供厘米级空间分辨率的状态感知,动态修正环境干扰偏差^[3]。建筑信息模型(BIM)技术则以三维参数化模型为载体,集成建筑、结构、设备等全专业信息,通过实时协同提资与碰撞检测算法优化管线布局,支持从方案设计到施工图交付的正向设计流程,显著提升设计交底效率与数据一致性^[4]。人工智能控制算法作为决策核心,融合神经网络与模糊控制理论构建双输入智能控制器,动态量化系统偏差并在线调整参数,

结合长短期记忆网络实现设备运行趋势预测与能效优化,有效解决电气系统非线性与多变量耦合难题。三者共同构筑建筑电气工程数字化转型的技术基座,支撑设计优化、安全预警与全生命周期精细化管理^[5]。

3 数字化转型设计的应用路径与优化

基于物联网感知、BIM 协同设计及人工智能控制算法三大技术基础,构建数字化转型设计的“感知—协同—优化”应用设计方法(见图1)。通过物联网技术实现数据采集与融合的底层支撑,依托BIM技术建立多专业协同设计与冲突解决机制,最终借助人工智能算法实现控制策略与能效的动态优化,三者层层递进、有机耦合,共同推动建筑电气工程设计的数字化转型与效能提升。



图1 数字化转型设计的“感知-协同-优化”设计方法

3.1 物联网驱动的数据采集与融合优化

物联网驱动的数据采集与融合优化旨在解决传统建筑电气工程设计中监测模式中数据维度单一、测量精度不足的问题,通过多传感器协同感知与数据融合算法构建高可靠的监测数据基座。系统采用分布式传感器网络采集电气设备的温度、应力等状态参数,针对温度监测数据采用加权平均融合算法:

$$T_{avg}(t) = \sum_{i=1}^N w_i \times T_i(t) \quad (1)$$

式(1)中: $T_{avg}(t)$ 为 t 时刻融合后的平均温度值, w_i 为第 i 个传感器的权重系数, $T_i(t)$ 为第 i 个传感器在 t 时刻的测量值,该算法通过优化数据融合逻辑提升多源温度数据的精度,为设备热状态评估提供基础数据。针对应力监测中的环境干扰问题,采用基于惠斯通电桥原理的误差补偿算法:

$$\Delta U = k \times \frac{\Delta R}{R} \quad (2)$$

式(2)中: ΔU 为修正后的输出电压变化量, k 为电路灵敏度系数, $\Delta R/R$ 为应变片电阻相对变化率。通过该算法可有效消除温度漂移等环境因素对测量结果的干扰,提升应力监测数据的可信度,为后续设计优化提供高质量的感知数据支撑。

3.2 BIM支撑的协同设计与冲突优化

通过数字化协同平台重构传统设计流程,实现多专业数据的实时交互与前置校验。系统采用Revit中心文件架构,建立包含建筑空间尺寸、结构荷载参数、设备技术指标的共享数据库,支持电气与暖通、给排水等专业设计参数的动态同步,确保提资过程中数据版本的一致性与时效性。针对传统二维设计中管线冲突难以提前发现的问题,BIM技术通过构建全专业三维模型,运用空间干涉检测算法自动识别电气桥架与暖通风管、给排水管道的空间位置冲突,生成包含冲突坐标、构件类型及影响范围的碰撞报告。设计人员基于“小管让大管、有压管让无压管”的工程优化原则,通过参数化调整实现管线标高与路径的协同优化,减少设计阶段的错漏碰缺,提升建筑电气系统设计的整体协调性与施工可行性。

3.3 人工智能驱动的控制策略与能效优化

通过融合物联网感知数据与BIM设计参数,构建电气系统的动态决策与优化框架。针对系统非线性与强耦合特性,采用模糊神经网络控制器实现自适应调节:

$$\begin{aligned} x_1 &= \text{设定值} - \text{实际输出值}, \\ x_2 &= \text{设定值} - \text{预测输出值} \end{aligned} \quad (3)$$

$$u_i = f_{NN}(x_1, x_2, Y_m) \quad (4)$$

式(3)~式(4)中: x_1 为设定值与实际输出偏差, x_2 为设定值与预测输出偏差, f_{NN} 表示神经网络映射函数, Y_m 为系统状态参数向量, u_i 为输出控制量。前式通过量化双重偏差构建输入空间,后式利用神经网络学习模糊控制规则,实现电气设备控制参数的动态生成。能效优化层面采用平均照度计算模型:

$$E_{av} = \frac{\phi \cdot N \cdot U \cdot K}{A} \quad (5)$$

式(5)中: E_{av} 为平均照度值(lx), ϕ 为单灯初始光通量(lm), N 为灯具数量, U 为利用系数, K 为维护系数, A 为房间面积(m^2)。该模型结合BIM模型空间参数与灯具特性,通过优化灯具配置参数实现照明系统功率密度的精准管控,形成“感知—协同—优化”的闭环控制机制。

4 模拟案例验证

4.1 项目背景

本研究选取某省级经济技术开发区综合性建筑

表1 建筑电气工程智能化技术应用前后核心指标对比

阶段	指标	传统设计方法	智能化技术应用后	提升效果
设计阶段	碰撞问题提前解决率	30%(依赖人工排查)	92.3%(BIM碰撞检测)	↑ 62.3%
	图纸修改量	150次/万 m ²	59次/万 m ²	↓ 60.6%
施工阶段	安装效率	8工日/千 m ²	5.5工日/千 m ²	↑ 31.2%(可视化交底缩短工期)
运营阶段	配电柜故障预警准确率	65%(人工巡检)	96.5%(物联网+LSTM模型)	↑ 31.5%
	年度耗电量	87.4万 kW·h(9.5kW·h/m ²)	71.8万 kW·h	相比传统设计降低17.8%
决算阶段	单位面积初始成本	1,580元/m ²	1,714元/m ²	↑ 134元/m ²
	年度运维成本	94.6万元(能效/维护/人工)	77.3万元	↓ 17.3万元
	静态回收周期	-	3.2年	3.2年回收成本

项目为验证载体,总建筑面积9.2万 m²,涵盖3栋4层工业标准厂房(配备10kV高压配电系统)、2座低温仓储冷库(-18℃恒温控制)及1栋12层智能化办公中心,各业态功能差异导致电气系统设计存在负荷等级交叉(一级负荷占比38%)、空间管线密集(平均管线密度1.2条/m²)及用能特性分化(工业生产负荷波动系数0.75,办公照明负荷稳定系数0.92)等复杂问题。为此确立以智能化技术集成应用为路径,目标实现设计阶段协同效率提升30%以上,施工阶段管线碰撞问题前置解决率达超80%,并通过全周期能效优化将建筑综合能耗降低15%以上。

4.2 技术集成应用过程与成效

技术集成的感知层通过高低压配电柜母排红外热成像仪、电缆桥架光纤光栅应变片及支吊架温湿度传感器组成监测网络,经加权平均融合算法(公式1)与惠斯通电桥补偿算法(公式2)处理后,将±0.5℃精度的温度、1με分辨率的应力数据通过MQTT协议写入BIM模型,形成动态数字化资产。

协同设计阶段依托Revit平台实现多专业参数共享,开发AutoCAD规范校验插件自动核查电气竖井管道间距(≥0.15m)及消防烟感布置(半径5.8m),结合空间干涉算法生成136处冲突报告,按“压力流优先”原则完成强电桥架(+4.2m)与防排烟风管(+3.8m)参数化调整,使管线冲突提前解决率从30%提升至92.3%,图纸修改频次从150次/万 m²降至59次/万 m²。

能效优化采用双输入模糊神经网络控制器,基于设定值偏差(公式3)与LSTM预测偏差(公式4)动态生成控制量,结合平均照度模型(公式5)将办公区T8 LED灯布置从1200套缩减至980套(降幅8.3%),但功率密度从4.2W/m²降到3.53W/m²(降幅约16.0%),针对低温仓储冷库,通过LSTM预测模型集

成库门启闭频率,动态调整除霜间隔,减少无效能耗。实际应用显示,施工安装效率提升31.2%(从8工日/千 m²降至5.5工日/千 m²),配电柜故障预警准确率达96.5%,建筑年度总耗电量从87.4万 kW·h降至71.8万 kW·h,综合能耗降低17.8%。

根据项目决算经济表明,智能化部署使单位面积初始成本增加134元/m²,但通过能效优化、维护成本压缩及施工效率转化,年度运维成本节约17.3万元,静态回收周期3.2年(见表1),验证了智能化技术的工程价值。

5 结语

本研究证实,物联网、BIM与人工智能技术的深度融合可显著提升建筑电气工程设计协同效率、施工可行性与运营能效。其技术路径对工业与民用建筑混合业态项目具有普适性,未来可进一步深化多源数据融合算法的实时性优化研究,构建物联网感知+BIM模型为数字孪生提供底层数据框架的全生命周期动态管理平台,持续推动建筑电气领域的智能化升级。

参考文献

[1] 高歌. 基于物联网技术的智能建筑楼宇电气控制方法[J]. 自动化应用, 2025, 66 (10): 208-211.
[2] 孙海龙. 建筑电气工程智能化技术的施工策略实践探索[J]. 智能建筑与智慧城市, 2023 (3): 132-134.
[3] 宏卫. 基于物联网技术的建筑高低压配电柜热管理系统设计研究[J]. 电气技术与经济, 2025 (4): 327-329.
[4] 王旭. 基于物联网的建筑机电安装支吊架安全监测方法[J]. 物联网技术, 2025, 15 (1): 56-58.
[5] 潘智军. 建筑电气设计中BIM技术的应用[J]. 科技创新导报, 2021, 18 (35): 115-117.