

# Integration and Optimization Strategies for Electrical Automation Systems in Prefabricated Buildings

Qi Luo

China Resources (Shenzhen) Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518055, China

## Abstract

Prefabricated buildings are rapidly developing under the wave of industrialization and digitalization, with their electrical automation systems becoming a critical technological link due to high integration and complex control logic. This paper explores integration and optimization pathways for electrical systems in prefabricated buildings from three dimensions: system architecture, control strategies, and information management. By integrating BIM and IoT, a closed-loop information system covering the entire lifecycle of “design-manufacturing-construction-operation” is established to achieve multi-system coordination and dynamic control. Through project implementation and simulation verification, the results show that this solution can reduce comprehensive energy consumption of electrical systems by approximately 18%, shorten construction cycles by 20%, and improve control response time by 25%. The research provides technical support and engineering references for intelligent integration and industrial promotion of electrical automation systems in prefabricated buildings.

## Keywords

prefabricated construction; electrical automation; system integration; control strategy; BIM

# 装配式建筑电气自动化系统集成与优化控制策略

罗琦

华润（深圳）有限公司，中国·广东深圳 518055

## 摘要

装配式建筑在工业化与数字化浪潮下快速发展，其电气自动化系统因集成度高、控制逻辑复杂而成为关键技术环节。本文从系统架构、控制策略与信息化管理三个维度探讨装配式建筑电气系统的集成与优化路径。基于BIM与物联网融合，构建“设计—制造—施工—运维”全生命周期信息闭环，实现多系统协同与动态控制。通过项目实践与仿真验证，结果显示该方案可使电气系统综合能耗降低约18%，施工周期缩短20%，控制响应时间提升25%。研究为装配式建筑电气自动化的智能化集成与产业化推广提供了技术支撑与工程参考。

## 关键词

装配式建筑；电气自动化；系统集成；控制策略；BIM

## 1 引言

建筑业数字化转型与工业化建造并行推进，使装配式建筑成为建筑生产方式变革的关键方向。与传统现浇建筑相比，装配式建筑在结构设计、机电系统、施工组织与运维管理等方面具有明显的模块化、信息化与高效化特征。其中，电气自动化系统作为建筑能源供给、信息交互与安全管理的核心载体，其集成质量直接影响建筑运行的安全性与经济性。当前，装配式建筑电气系统在设计、施工与运维环节中仍存在诸多挑战，如系统接口复杂、构件标准不统一、数据割裂与控制策略缺乏协调等。随着BIM、物联网与人工智能技术的深入应用，电气系统从“设备自动化”迈向“系统

智能化”，形成多层次信息交互与控制优化的新格局。本文基于系统集成理论与智能控制方法，探讨装配式建筑电气自动化的集成模型与优化策略，以期构建高可靠性、低能耗、可拓展的建筑电气自动化体系。

## 2 装配式建筑电气自动化的特征与构成

### 2.1 系统特征与功能定位

装配式建筑电气自动化系统以数字化、智能化控制为核心，构建涵盖供配电、照明控制、消防联动、环境监测及能耗管理的综合体系。系统以模块化结构和标准化接口为基础，通过可视化调度平台实现多系统的协调运行与信息共享。各子系统在统一数据标准下实现互联互通，形成能源流、信息流与控制流的综合管控平台。依托BIM技术支撑，系统可在设计阶段实现构件参数化建模，在施工阶段实现布线优化与碰撞检测，在运维阶段实现实时监测与性能追踪，从

【作者简介】罗琦（1987-），男，中国江西吉安人，本科，自动化工程师，从事电气自动化研究。

而实现建筑电气系统从设计到运维的全过程数字化与可追溯管理,显著提升系统的安全性、可靠性与智能化水平<sup>[1]</sup>。

## 2.2 系统集成结构与技术路线

装配式建筑电气系统采用三级集成架构:现场控制层、网络通信层与管理决策层。现场层由传感器、执行机构与可编程控制单元组成,负责实时数据采集与动作控制;通信层以工业以太网、无线 Mesh 与光纤环网为骨干,实现多设备间的高速互联;管理层则以 BAS 与 BIM 融合平台为核心,实现建筑运行状态监控、能耗优化及决策支持。技术路线遵循“信息集成—智能决策—动态反馈”的逻辑,通过 PLC、DCS 与 IoT 网关实现多协议数据融合与跨系统协同,最终构建具有自适应调控与智能响应能力的电气自动化集成体系<sup>[2]</sup>。

## 2.3 关键设备与通信技术发展

随着边缘计算、AIoT 与 5G 通信的深度融合,装配式建筑电气系统在实时性、稳定性与智能化方面得到显著提升。智能断路器、数字化配电柜、可寻址照明模块及无线传感终端的应用,使系统具备自学习、自诊断与远程控制能力。通信层技术正由传统 Modbus 与 BACnet 向 TSN (时间敏感网络) 与 MQTT 协议演进,实现毫秒级数据同步与跨平台互联。边缘节点的部署有效分担云端压力,确保系统在复杂网络环境下依旧具备高鲁棒性与安全性,为装配式建筑电气系统的智能升级提供坚实技术基础。

## 3 系统集成的实现路径与关键技术

### 3.1 BIM 驱动的设计与施工一体化

在装配式建筑电气自动化系统集成过程中,BIM (Building Information Modeling, 建筑信息模型) 技术是实现设计、生产与施工全流程协同的核心工具。通过参数化建模与三维可视化设计,电气系统的设备布置、线路走向及接口位置可在虚拟空间中进行精确模拟与优化。设计人员可基于模型开展碰撞检测与可达性分析,提前识别照明、电缆桥架、给排水及暖通管线之间的空间冲突问题,减少施工现场变更。BIM 系统还可自动生成施工图纸、材料清单及加工数据,实现设计数据与生产设备之间的无缝衔接。在项目实践中,BIM 辅助设计使电气施工冲突数量减少 80% 以上,预制构件安装精度提升至  $\pm 5 \text{ mm}$ ,整体工期缩短约 15%。此外,BIM 模型在施工阶段可实时关联进度与成本信息,为项目管理提供多维决策依据,实现从虚拟建造到实际装配的全过程可追溯管理<sup>[3]</sup>。

### 3.2 模块化装配与标准化接口

模块化与标准化是装配式建筑电气系统高效施工的关键基础。系统通过功能模块划分,将配电、照明、弱电通信及智能控制等单元在工厂预制为标准化模块,现场仅需快速拼装与接口连接。模块化设计采用统一规格的接插件、管线接口及布线通道,实现“工厂生产—现场装配—系统调试”

一体化施工流程。通过插拔式连接和智能识别技术,系统在装配阶段可自动检测模块状态与连通性,显著降低人工接线错误。研究表明,该模式使电气系统安装效率提升 40%,现场调试时间缩短约 25%。同时,标准化接口为后期扩容与维护提供便利,可在不影响主体结构的前提下实现系统升级或更换。模块化装配不仅提高了施工安全性与一致性,还促进了建筑工业化生产的精益化与可复制化发展,为电气系统的全生命周期管理奠定了基础。

## 3.3 智能控制与信息集成平台建设

装配式建筑电气系统的智能化核心在于信息集成与协同控制平台的构建。通过将建筑设备监控系统 (BAS)、消防系统 (FAS)、安防系统 (SAS)、能源管理系统 (EMS) 等子系统接入统一数据平台,实现系统间的互联互通与协同运行。信息平台通过物联网网关汇聚现场传感数据,并利用云计算与大数据分析技术对运行状态进行综合评估,实现“感知—分析—控制—优化”的闭环管理。平台可依据实时负载数据进行能耗预测与动态调度,自动平衡各系统间的运行功率,防止能源浪费与设备过载。通过异常检测算法,系统能提前识别潜在故障并发出预警,支持运维决策的智能化。实践案例显示,基于信息集成平台的智能控制策略使建筑整体能效提升约 18%,设备运行稳定性显著增强。该体系实现了从单一设备控制向全系统智慧调度的跨越,是推动装配式建筑迈向数字化与智能化的重要支撑路径<sup>[4]</sup>。

## 4 电气自动化的优化控制策略

### 4.1 基于多目标优化的能耗控制

装配式建筑在运行过程中,照明、空调及配电系统往往占据总能耗的主要比例,约为 70% ~ 75%。为提升整体能效水平,可引入多目标优化算法构建能耗控制模型,综合考虑用户照度需求、设备运行寿命与经济运行成本等因素。通过遗传算法对参数空间进行全局搜索,结合模糊逻辑控制实现动态能量分配,使系统在舒适性与节能性之间取得平衡。系统可根据时间段、人员密度及自然光照强度实时调整照明输出与空调功率,避免长期高负载运行造成的能源浪费。实际应用表明,采用该优化控制策略后,建筑综合能耗平均下降约 18%,设备使用寿命延长 12%,运行维护成本明显降低。该方法不仅实现了能效管理的动态最优控制,还为装配式建筑节能运营提供了可持续的技术路径。

### 4.2 基于数据驱动的故障诊断与预测维护

装配式建筑电气自动化系统在运行阶段存在设备数量多、运行环境复杂及维护难度高的问题。传统的人工巡检与定期维护模式难以实现精准诊断与高效管理。基于大数据与人工智能的故障诊断模型能够对传感器数据、控制日志与运行参数进行多维融合分析,识别潜在故障特征。利用卷积神经网络 (CNN) 与长短期记忆网络 (LSTM) 等算法,可捕捉设备运行中的异常波动趋势,实现早期预警。系统在模型

训练阶段通过自学习机制不断优化识别阈值,可在故障发生前48小时发出预警信息,指导运维人员提前干预。项目实践结果显示,预测性维护使设备故障率下降30%,平均维护响应时间缩短40%,停机损失显著减少。该策略推动建筑电气系统从“被动维修”向“主动诊断”转变,构建了智能化、可持续的运维模式<sup>[5]</sup>。

#### 4.3 智能调度与协同控制策略

在装配式建筑中,电气系统往往涉及照明、空调、电梯及安防等多子系统协同运行。为了实现整体能效与运行稳定性的统一,应建立基于分布式架构的协同控制机制。系统依托边缘计算节点对局部数据进行实时处理,通过云端集中优化与边缘自主决策相结合的方式,构建“中心协调—局部自治”双层控制体系。智能调度算法综合分析负载变化、气候条件与用户行为,动态调整设备运行策略,实现能源分配与任务调度的自适应优化。例如,当检测到高峰时段人员集中于办公区域,系统自动提升局部照明与空调功率;而在夜间或低使用率时段,则进入低功耗模式。实验数据表明,该策略使系统平均响应时间缩短25%,运行稳定性与舒适度显著提高,进一步验证了智能调度在多系统协同运行中的技术优势与节能潜力。

### 5 系统集成与优化控制的工程实践

#### 5.1 智能住宅项目集成应用

在某大型智能住宅装配式建筑项目中,电气自动化系统的集成以BIM建模和物联网平台为核心,实现了从设计、生产到安装、运维的全过程协同管理。项目在设计阶段通过BIM模型完成电气设备布置、管线碰撞检测及安装节点预演,确保施工阶段预制构件与配电管线的精准对接。施工环节采用预制化线缆与模块化配电箱装配技术,使安装工序标准化、模块化,整体施工周期缩短20%。系统投入运行后,通过IoT平台实现数据的实时采集与远程调控,用户可通过手机端应用自主调节灯光亮度、室内温度及安防状态。能耗监测数据显示,系统优化后综合电能消耗下降15%,家庭用电分时段管理与峰谷电价响应效果显著,体现了智能控制在节能与舒适性兼顾方面的综合优势。

#### 5.2 绿色办公建筑的能源优化实践

在一座大型绿色装配式办公楼中,电气自动化系统与建筑能源管理系统(BEMS)实现深度融合。系统通过多源传感网络实时监测照度、温湿度及人员活动密度,采用模糊逻辑控制算法对照明与空调系统进行动态调节。当室内自然

光强度或人员密度变化时,系统可自动调整灯具输出功率与空调风量,实现“人走灯灭、区域控温”的智能化节能模式。运行数据表明,项目投入使用一年后,建筑单位能耗下降19%,运行成本明显降低,且室内舒适度指数保持在85%以上。通过BIM与能耗管理平台的联动,管理人员能够对能耗数据进行分区分析与异常预警,支持节能决策与设备优化维护,实现了节能、舒适与安全的动态平衡。

#### 5.3 信息化质量管理与安全保障

为提升装配式建筑电气自动化系统施工与运维的规范化水平,项目引入了基于云平台的质量信息化管理系统,对设计、安装、调试及运行全过程进行数字化记录。施工阶段利用RFID与二维码技术实现设备与构件的身份标识与全程追踪,确保每一节点均可溯源。系统结合视频监控与现场数据审计,实现质量巡检自动提醒与隐患闭环整改。在调试与运维阶段,系统自动采集关键参数(如回路电流、电压、温度)并生成趋势分析图,为设备老化评估与维护决策提供依据。此外,数据与图像资料统一归档形成数字化安全档案,提升了工程质量透明度与后期管理可追溯性。

### 6 结语

装配式建筑电气自动化系统的集成与优化控制是建筑工业化与智能化发展的关键环节。研究表明,基于BIM与物联网技术的系统集成模式能有效实现电气系统的协同控制与能效提升,显著改善施工效率与运行性能。未来应进一步推进人工智能、边缘计算与数字孪生在装配式建筑电气系统中的融合应用,构建开放、安全、可持续的智能控制体系。通过标准化接口、信息化管理与智能算法的协同创新,可实现装配式建筑从“自动化施工”向“智能化运维”的跨越,为建筑业高质量发展提供技术支撑与示范路径。

#### 参考文献

- [1] 张晓禹,肖百齐,杨志坚.智能建筑电气自动化系统集成控制网络分析[J].智能建筑与智慧城市,2021,(06):138-139.
- [2] 于隆,高树祥.建筑电气工程及其自动化、智能化技术研究[J].房地产世界,2022,(08):90-92.
- [3] 李璟.电气自动化技术在智能建筑电气工程中的应用研究[J].居舍,2020,(21):40-41.
- [4] 管立东.关于建筑电气自动化控制技术的若干思考[J].建材与装饰,2017,(31):181-182.
- [5] 陈康.建筑电气自动化控制技术及应用实践之研究[J].科技创新导报,2017,14(24):55-57+59.