

# 大型公共建筑智能配电与能耗管理系统集成研究

韩冰钊

河北博华建筑设计有限公司 河北 邯郸 056000

**摘要:** 针对大型公共建筑用电负荷密集、子系统独立运行导致的能效低下、故障响应滞后等问题, 本文结合智能配电、能耗管理及系统集成技术, 研究系统集成架构设计与实现路径。构建“感知-边缘-云端-模型”四层架构, 整合各子系统并解决异构协议融合等关键问题, 实现配电安全、能效优化与智能运维协同。研究表明, 该方案可打破数据孤岛, 提升供电可靠性与能效, 为大型公共建筑配电与能耗一体化管理提供理论与实践参考。

**关键词:** 大型公共建筑; 智能配电; 能耗管理; 系统集成

**引言:** 在“双碳”战略与新型电力系统建设背景下, 大型公共建筑作为高能耗载体, 其配电与能耗管理的智能化、一体化需求愈发迫切。当前此类建筑普遍存在子系统割裂、数据不通、运维低效等痛点, 难以适配节能降耗与安全供电双重需求。基于此, 本文聚焦系统集成, 融合边缘计算、AI等技术, 探索科学的集成架构与方法, 助力建筑实现节能降耗、安全高效运行, 契合行业绿色转型趋势。

## 1 相关理论与技术基础

### 1.1 大型公共建筑配电与能耗特性

(1) 大型公共建筑核心特征: 此类建筑建筑面积通常超2万平方米, 用电负荷密集且波动幅度大, 高峰与低谷负荷差值可达3-5倍, 涵盖配电、空调、照明、电梯等多个子系统, 各系统关联紧密、相互影响, 任一环节异常均可能影响整体运行。(2) 配电与能耗管理核心需求: 以供电可靠性为首要前提, 保障关键区域持续供电; 需实现能效精细化管理, 精准定位高能耗环节; 要求故障快速响应, 缩短处置时间; 同时需推动多系统协同, 实现资源优化配置。(3) 传统管理模式存在的问题: 各子系统独立运行形成数据孤岛, 无法实现数据共享; 故障依赖人工巡检, 响应滞后且易漏判; 能效管控仅停留在整体统计层面, 缺乏精准调控; 人工运维成本高, 效率低下。

### 1.2 智能配电相关技术

(1) 配电自动化技术: 核心包括智能断路器的自动分合闸控制、动态无功补偿技术对电网功率因数的实时调节, 以及拓扑重构技术在故障时的快速组网, 可提升配电系统稳定性与灵活性。(2) 数据采集与传输技术: 支持Modbus、BACnet等多种工业协议兼容, 适配不同设备接口; 采用“有线+无线”混合组网, 有线保障核心数据稳定传输, 无线实现偏远区域灵活部署, 确保数据实

时上传。(3) 边缘计算与云端协同技术: 边缘网关对采集的数据进行预处理, 过滤冗余信息、降低传输压力; 云端微服务中台架构实现多源数据整合, 流计算技术支持实时能效分析与决策输出<sup>[1]</sup>。

### 1.3 能耗管理相关技术

(1) 能耗监测与计量技术: 部署高精度传感设备与智能电表, 覆盖各用电环节, 遵循统一数据采集规范, 确保能耗数据精准、完整, 为能效分析提供基础。(2) AI能效优化技术: 应用LSTM神经网络实现用电负荷精准预测, 结合遗传算法、强化学习, 对空调、照明等系统进行动态调控, 实现能耗最优。(3) 数字孪生与BIM技术: 通过轻量化BIM建模还原建筑配电与能耗系统, 数字孪生技术实现故障预演、运行模拟与优化策略验证, 提升管理前瞻性。

### 1.4 系统集成核心理论

(1) 系统集成内涵与原则: 核心是将配电、能耗等各子系统整合为统一整体, 遵循可靠性优先、能效协同、智能联动、可扩展性四大原则, 保障系统稳定运行且适配未来升级。(2) 异构系统融合理论: 通过接口标准化打破系统壁垒, 对不同格式数据进行同质化处理, 建立跨系统协同机制, 实现各环节信息互通、联动控制, 提升整体管理效能。

## 2 大型公共建筑智能配电与能耗管理系统集成架构设计

### 2.1 系统集成总体目标与设计原则

(1) 总体目标: 以大型公共建筑配电与能耗管理需求为核心, 实现配电系统安全可靠运行, 杜绝大面积停电及设备故障隐患; 依托精细化管理手段, 精准定位高能耗环节, 降低建筑整体能耗; 推动配电、空调、照明等多系统协同高效运转, 打破数据孤岛; 实现运维流程智能化, 减少人工干预, 提升运维效率、降低运维成本, 构

建“安全、高效、节能、智能”的一体化管理体系。(2)设计原则:遵循兼容性原则,适配建筑现有配电、能耗设备及各类通信协议,避免重复建设;坚持可靠性优先,保障系统24小时稳定运行,关键环节采用冗余设计;兼顾经济性,在满足功能需求的前提下,优化方案降低建设与运维成本;具备可扩展性,预留接口便于后期功能升级与设备扩容;突出智能化,融入AI、数字孪生等技术实现自主决策与优化;严格符合国家及行业相关规范,确保设计合规、运行安全。

## 2.2 系统总体集成架构设计

(1)感知层设计:遵循IEC60364-8-1与GB/T50378规范,高密度部署传感设备,覆盖配电回路、用电设备、空调机组等关键环节,采集电压、电流、能耗、温度等多类型数据;选用高精度智能电表、电流传感器,保障数据采集准确实时,为后续分析优化提供可靠支撑。(2)边缘计算层设计:部署GPU+NPU异构边缘盒,兼顾处理速度与能效,对感知层实时数据预处理,过滤冗余、修正异常数据,降低云端传输压力;落地局部优化策略,针对配电负荷波动、能耗异常等场景,快速输出调节指令,提升系统响应效率<sup>[2]</sup>。(3)云端平台层设计:采用Kubernetes微服务中台架构,实现各功能模块独立部署与灵活扩展;搭建时序数据库,高效存储海量实时与历史数据,支持快速查询分析;集成AI引擎,实现负荷预测、故障诊断、能效优化等智能功能;设计可视化界面,直观呈现系统运行、能耗及故障信息,方便管控。(4)模型层设计:构建“设备-系统-建筑”三级数字孪生模型,结合轻量化BIM技术,精准还原建筑结构、配电网络及能耗系统布局;通过二者融合,实现运行模拟、故障预演及优化策略验证,提前规避风险,为管理决策提供科学依据。

## 2.3 各子系统集成设计

(1)智能配电子系统集成:整合配电监控、故障诊断、拓扑重构与无功补偿等子模块,实现联动控制;配电监控实时监测回路运行参数,故障诊断模块快速识别故障位置与类型,拓扑重构技术在故障时自动调整供电路径,无功补偿系统实时调节功率因数,保障配电系统稳定高效运行。(2)能耗计量与监测子系统集成:覆盖建筑各区域、各用电设备,部署智能计量设备,实现能耗数据的全面采集;通过统一的数据传输通道,将不同格式的能耗数据上传至边缘层,进行同质化处理,形成标准化能耗数据集,为能耗分析与优化提供统一支撑。(3)协同控制子系统集成:建立配电与空调、照明、消防等子系统的联动机制,采用“场景-事件-策略”模式,根据不同场景(如办公时段、夜间时段)和事件(如负

荷高峰、设备故障),自动触发对应的控制策略,实现各子系统协同运行,提升整体能效与运行安全性<sup>[3]</sup>。

## 2.4 系统接口与数据交互设计

(1)接口标准化设计:采用RESTfulAPI对系统接口进行封装,实现接口标准化,便于各子系统及外部设备对接;开发多协议兼容接口,支持Modbus、BACnet等常用工业协议,解决异构设备接口不兼容问题,保障数据互通。(2)数据交互机制:搭建高速实时数据传输通道,采用消息队列技术,保障数据传输的实时性与稳定性;制定数据缓存与同步策略,避免数据丢失,确保边缘层与云端数据一致,满足10万点/秒的并发处理需求,适配海量数据交互场景。(3)数据安全设计:采用对称加密与非对称加密相结合的方式,对传输与存储的数据进行加密处理;建立分级访问权限控制体系,明确不同岗位人员的操作权限,防止数据泄露与误操作;设置异常数据监测与防护机制,及时识别并拦截异常数据,保障系统数据安全与稳定运行。

## 3 大型公共建筑智能配电与能耗管理系统集成实现

### 3.1 系统硬件集成与选型

(1)感知层硬件:结合建筑用电负荷与能耗监测需求选型部署。智能电表选用0.5S级精度、支持Modbus协议的导轨式产品,按配电回路和用电设备分区部署实现全覆盖;电流电压传感器采用霍尔式,量程匹配回路参数,安装于配电柜采集运行数据;温湿度传感器选用工业级高精度设备,部署于设备机房、配电间监测环境,所有设备标准化安装,便于后期维护。(2)边缘层与云端硬件:边缘网关选用工业级异构边缘盒,集成GPU与NPU模块,支持多协议解析和数据预处理,防护等级IP54,适配-20°C~60°C高低温工况;云端服务器选用高性能机架式产品,配置冗余电源保障24小时稳定运行,存储容量适配海量时序数据;网络设备采用千兆交换机和工业级无线AP构建混合组网,确保数据传输稳定,所有硬件均通过兼容性测试<sup>[4]</sup>。(3)控制层硬件:核心选用支持远程分合闸和故障自动脱扣的智能断路器,部署于配电回路关键节点;PLC控制器采用工业级产品,接收边缘层指令控制相关设备联动;固态切换柜选用无触点设备减少损耗,所有控制硬件统一集成接线并采用防干扰设计,保障控制指令精准传输。

### 3.2 系统软件集成与开发

(1)边缘侧软件:开发轻量化数据预处理程序,部署于边缘网关,完成感知数据的过滤、清洗与标准化,降低云端传输压力;将LSTM负荷预测、遗传算法等AI优化算法部署于边缘侧,基于实时数据实现本地负荷预测和

能耗优化指令输出,优化算法参数提升推理速度,保障局部优化快速落地。(2)云端平台软件:基于Kubernetes微服务架构,开发配电监控、能耗分析、故障报警等核心模块,实现独立部署与灵活扩展;设计可视化管理界面,以图表形式直观呈现系统运行状态、能耗数据和故障信息,支持数据查询、参数设置等操作;开发能耗分析模块实现能耗统计与高能耗定位,故障报警模块支持多级报警和短信推送,确保异常及时处置。(3)软件接口开发:针对各子系统接口差异,采用RESTful API封装开发标准化跨子系统接口,实现各子系统数据互通与指令联动;开发第三方平台兼容接口,支持与建筑智能化、电力监控等平台对接实现数据共享,接口完成后经兼容性测试,确保对接稳定、传输无误。

### 3.3 系统集成调试与优化

(1)硬件调试:先进行各设备单机调试,逐一测试感知层、边缘层、控制层硬件的运行状态,校准智能电表、传感器的数据采集精度,验证控制设备的动作可靠性;再进行联机调试,模拟实际运行场景,测试各硬件设备之间的联动效果,排查接线错误、设备兼容性问题,确保数据采集准确、设备联动顺畅。(2)软件调试:对边缘侧、云端平台各软件模块进行功能调试,验证数据预处理、AI算法、能耗分析等功能的准确性;重点进行数据交互调试,测试边缘层与云端、各子系统之间的数据传输实时性与稳定性,优化算法推理速度与系统响应时间,将软件响应延迟控制在合理范围,提升系统运行效率。(3)系统整体调试:开展全流程联动调试,模拟建筑不同运行场景(办公时段、负荷高峰、设备故障等),测试系统整体运行效果,排查集成过程中的兼容性、协同性问题;针对调试中发现的不足,优化硬件部署与软件参数,完善联动策略,确保系统达到设计目标,稳定、高效运行<sup>[5]</sup>。

### 3.4 系统集成关键问题解决

(1)异构协议融合问题:针对不同设备、子系统采用的Modbus、BACnet等异构协议,进行统一封装与兼容

处理,开发协议转换模块,实现不同协议的数据解析与标准化转换,打破协议壁垒;采用“设备即插即用”设计,设备接入系统后自动完成协议匹配与参数配置,降低设备接入难度,提升系统兼容性。(2)实时性与规模化协同问题:优化边缘计算与云端协同架构,将高频实时数据处理、本地优化控制交由边缘层完成,云端负责全局数据分析与策略统筹,减少数据传输延迟;采用消息队列技术优化数据传输通道,提升数据并发处理能力,将系统响应时间缩短至毫秒级,满足大规模设备协同运行的实时性需求。(3)能效与安全平衡问题:引入多目标优化算法,结合建筑用电负荷特点,建立能效优化与供电可靠性双重目标函数,在保障配电系统安全可靠运行、避免故障风险的前提下,优化空调、照明等设备的运行参数,实现能耗降低与安全运行的有机平衡,提升系统整体综合效益。

### 结束语

本文围绕大型公共建筑智能配电与能耗管理系统集成展开研究,明确系统集成原则、架构设计与实现要点,解决异构协议融合、实时性协同等核心难题,构建一体化智能管理体系。研究取得阶段性成果,但在多场景适配性与长期运维优化方面仍有提升空间。未来可结合实际运行数据优化算法与架构,推动系统向更高效、节能、可扩展方向发展,为建筑能源低碳转型提供技术支撑。

### 参考文献

- [1]尹承民.浅议高层建筑供配电系统的设计[J].中国建筑金属结构,2021,20(04):54-55.
- [2]冯中华.建筑电气供配电工程施工要点研究[J].现代工程科技,2025,4(09):77-80.
- [3]徐启杨世品.基于PLC的大型公共建筑电气智能化系统设计[J].现代电子技术,2021,44(06):111-114.
- [4]王君,董志斌.大型公共建筑供配电系统的安全性分析与提升[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(05):1-3.
- [5]黄臻彦.公共建筑供配电系统电气设计与施工要点研究[J].工程技术研究,2024,9(19):165-167.