

智慧城市背景下建筑弱电多系统融合集成技术研究

董玉卫

北京傲瑞兴科技有限公司

DOI:10.32629/btr.v9i2.5117

[摘要] 建筑弱电作为智能建筑运行管控的基础核心,传统分散建设模式已难以适配现阶段城市安全防控与绿色低碳运营的实际要求。本文围绕智慧城市应用实际需求,构建四层两平台一安全的弱电多系统融合集成总体架构。该集成方案能够有效提升弱电设备协同管控能力,降低建筑整体用能消耗,可为后续相关升级改造提供参考依据。

[关键词] 智慧城市; 建筑弱电; 多系统融合; 系统集成; 数字孪生; 智能运维

中图分类号: F765 **文献标识码:** A

Research on Multi-system Integration Technology of Building Weak Current Systems in the Context of Smart Cities

Yuwei Dong

Beijing Orit Technology Co., Ltd.

[Abstract] As the core infrastructure underpinning the operation, management and control of intelligent buildings, conventionally fragmented deployment of building weak current systems can no longer meet contemporary practical demands for urban safety prevention & control as well as low-carbon and eco-friendly building operation. Oriented to the practical application requirements of smart cities, this paper establishes an overall integration framework structured as "four layers, two platforms and one security system" for the integrated convergence of multiple weak current subsystems. The proposed integration solution substantially improves collaborative management and control of weak current equipment and cuts down overall building energy consumption, offering technical references for future renovation and upgrading of relevant engineering projects.

[Key words] Smart City; Building Weak Current; Multi-system Convergence; System Integration; Digital Twin; Intelligent Operation & Maintenance

1 引言

在数字中国与智慧城市全域规模化建设背景下,城市治理、安全防控与绿色低碳工作全面迈入数字化精细化管控新阶段。建筑作为智慧城市最小治理单元与核心感知节点,弱电系统承担楼宇自控、安防消防、信息传输、能耗监测等核心职能,是实现建筑智能化运行、支撑城市数据汇聚互通的关键基础工程。本文研究目的旨在破解弱电多系统融合壁垒,构建适配智慧城市应用场景的一体化弱电集成技术体系,提升建筑安全应急处置能力与节能运维水平。研究方法依托最新建筑智能化前沿技术,采用架构设计、场景联动逻辑搭建与工程项目实测验证相结合的方式,优化弱电融合集成路径。

2 智慧城市视域下建筑弱电多系统融合集成核心建设诉求

智慧城市建设视域下,建筑弱电多系统融合集成需紧扣城

市精细化治理、安全韧性提升与绿色低碳发展核心目标,聚焦四大核心诉求统筹规划建设。

第一,全域互联兼容诉求。需打破不同品牌、不同年代弱电设备通信协议壁垒,兼容老旧设备私有协议与新型标准化通信协议,适配IPv6、TSN、5G URLLC、Matter等前沿技术标准,支持存量设备老旧改造与增量设备智能化升级,配套标准化对外对接接口,实现建筑弱电终端统一接入及与智慧城市应急、能耗、物联网市级平台数据双向贯通。

第二,跨业务联动协同需求。通过建立统一的数据采集规则、编码格式与时空基准规范,对安防监控、消防预警、能耗监测、室内环境监测等多元化异构数据进行整合处理与共享交换,打通各独立子系统的数据孤岛与业务屏障。依托系统联动机制,完成安防告警、消防应急、能耗调节等业务的跨系统快速联动,实现全流程闭环管控,进一步优化建筑运营精细化管理能力。

第三,智慧低碳运维需求。将传统依靠人工被动巡查的运维模式,转变为人工智能自主管控运维模式。利用边缘计算与数字孪生技术,完成设备故障预判、可视化监管以及运行状态模拟推演;结合天气环境、人员流动、用电电价等多维变量,动态调节耗能设备运行模式,优化能源消耗结构,减少建筑能源损耗与碳排放量,推动“双碳”战略稳步落实。

第四,安全合规防护需求。搭建终端层、网络层、平台层、数据层多层级防护架构,严格遵照等保2.0三级建设标准引入零信任安全机制。通过设备身份校验、传输链路加密、分级权限管理、全程操作审计等防护手段,规避网络入侵、数据篡改、信息外泄等安全隐患,确保弱电集成平台长期稳定、合规、安全运行^[1]。

3 建筑弱电多系统融合集成总体技术架构设计

结合智慧城市一体化管控要求以及建筑弱电工程施工、运维实况,本次研究搭建“四层两平台一安全”的弱电集成总体架构。架构体系由感知接入、网络传输、边缘融合、云端中枢四大层级共同构成,搭配IBMS集成管控平台、数字孪生可视化运维平台以及全域安全防护体系。该架构能够有效破除各类弱电系统的技术隔阂,实现设备全面联网、数据同源同步、业务联动管控,保证建筑弱电体系能够与智慧城市综合管控平台完成高效对接,维持长期协同稳定运行状态。

3.1 四层协同架构核心配置与运行机制

本次弱电融合架构采用四级联动运行模式,各层级权责划分清晰、衔接流畅,高度适配建筑弱电设备联网互通与常态化运维的工程应用场景。感知接入层作为前端感知采集单元,布设环境传感、安全探测、视频监控、智能照明、能耗统计、机电监测等弱电终端;现场采用PoE++一体化供电组网方式,简化布线施工难度,降低线路繁杂造成的后期故障概率。该层级持续采集设备运行状态、室内环境指标、安全监测数据以及能耗信息,同步接收平台下发的调控指令,具备本地数据缓存与断网工作能力,防止网络波动造成系统瘫痪。网络传输层构建有线无线融合的专用通信链路,主干网络采用高规格光纤与综合布线系统,辅以适配性较强的无线通信技术,满足不同类型弱电终端接入要求。系统按照业务重要程度划分传输优先级,优先保障消防、安防等应急业务低延迟传输,同时实现网络分区隔离、故障自动修复、负载均衡分配,保障通信链路稳定可靠。边缘融合层部署协议转换网关与边缘计算终端,解决行业内设备品牌杂乱、协议不通用、对接难度大等普遍痛点,完成现场数据清洗规整与本地化联动管控。时效性要求较高的应急业务可在边缘节点自主闭环处理,无需云端交互即可快速响应,即便网络异常也可独立保障核心设备正常工作。云中枢服务层负责全域弱电数据整合梳理与运维调度,融合数据存储、业务管控、智能分析等多项功能,预留标准化外部对接接口,保障建筑弱电数据能够无缝上传至智慧城市管控平台,满足城市统一监管、协同调度的使用要求^[2]。

3.2 两平台一安全配套体系

为保障弱电集成系统运维高效、安全合规,本架构配置两大业务管控平台与一套全域安全防护体系,构建业务管控与安全防护并行支撑的完整体系。IBMS统一集成管理平台作为多系统集中管控中枢,整合各类弱电系统管控权限,实现操作界面、权限划分、告警处理、数据统计、联动配置一体化管控。平台兼容市面上主流通信协议,支持双向数据交互,工作人员可通过单一操作界面完成设备远程监视、参数调整、故障排查以及日常运维工作,简化管控流程,提高集约化管理水平。数字孪生可视化运维平台融合BIM三维建模、物联网实时采集、GIS地理信息技术,搭建弱电设备数字化虚拟模型,将设备运行状态、能耗统计、告警信息、故障位置实时投射至三维可视化界面,实现故障精准定位、可视化运维、应急场景模拟推演,增强运维管控直观性与应急处置能力。全域安全防护体系覆盖架构所有层级,严格执行等保2.0三级规范,基于零信任架构完成设备唯一身份识别、TLS1.3全链路加密、最小权限访问控制;搭配漏洞扫描、入侵监测、全程操作审计等防护机制,定期开展安全渗透检测与隐患整改,全面抵御非法接入、数据篡改、信息泄露等风险,保障弱电集成平台长期安全、稳定、合规运行^[3]。

4 建筑弱电多系统核心场景跨系统联动逻辑设计

4.1 消防-安防-楼控跨系统应急安全联动场景

消防应急处置是建筑安全管控核心重中之重,依托弱电多系统融合集成架构,实现消防、安防、楼宇自控、电梯管控、应急广播全系统全自动秒级联动。当建筑内烟感、温感等消防探测设备触发火情报警后,边缘融合网关第一时间完成火情信号校验确认,无需人工干预即刻启动跨系统联动机制:消防系统自动触发声光告警、喷淋灭火设备启动运行;安防系统自动将火情区域摄像头调整至预置监控点位,开启高清录像存储并弹窗告警;门禁系统自动解锁疏散通道门禁、关闭防火分区隔离门;楼宇自控系统自动切断建筑非消防动力电源、关停空调新风通风设备、开启全域应急照明系统;电梯管控系统控制所有电梯自动归首停运、保持开门疏散状态;公共广播系统播放应急疏散提示语音,引导人员有序撤离。同时,云中枢平台自动将火情位置、火情等级、建筑人员分布等核心信息实时上传至智慧城市应急指挥平台,同步推送应急处置信息至管理人员手机终端,实现火情快速处置与城市应急协同管控^[4]。

4.2 能源-环境-照明协同低碳节能运行场景

围绕“双碳”战略建筑低碳运营核心目标,设计能源管理、环境监测、智能照明多系统协同优化运行逻辑,实现建筑舒适化运营与节能降耗双向兼顾。室内空气质量传感器实时采集CO₂浓度、PM2.5数值、温湿度等环境参数,当室内环境指标偏离舒适阈值时,系统自动调节空调机组运行负荷与新风系统风机转速,精准调控室内环境质量;结合室外日照强度与人体感应探测数据,智能照明系统自动完成灯具开关与亮度无级调节,杜绝无人区域灯具常亮耗能;依托用电峰谷时段划分,能源管理系统自动执行负荷转移策略,高峰时段降低大功率弱电设备运行负荷,低谷时段完成设备储能与能耗补给。所有能耗运行数据实时上

传智慧城市能耗监测平台, 自动完成建筑碳足迹核算与能耗统计上报, 助力建筑绿色低碳评级与城市“双碳”目标落地。

5 工程实测效果验证

5.1 核心技术指标工程实测验证

以某商业综合体智慧建筑弱电多系统融合集成改造项目为完整案例, 项目覆盖安防、消防、楼宇自控、能耗监测等12个弱电子系统, 接入设备超3000 台, 改造后系统实现全域互联与跨业务协同。经连续3个月7×24小时实测, 跨系统应急联动时延≤60ms, 火情、安防入侵等应急场景可秒级响应; 兼容15种主流私有协议与标准协议, 老旧设备利旧率达85%; 边缘计算节点断网可独立运行48小时, 数据缓存无丢失; 设备故障自动定位时间≤3 分钟, 较传统模式提升 80%。系统同步对接市级智慧城市应急、能耗平台, 实现数据双向实时互通, 完全满足等保2.0三级合规要求。

核心指标对比表:

指标类别	改造前	改造后	提升效果
应急联动响应	人工操作, ≥5 分钟	自动联动, ≤60ms	响应效率提升 98%
设备故障定位	人工排查, ≥30 分钟	自动定位, ≤3 分钟	定位效率提升 90%
运维人力成本	基准值	降低 60%	运维成本大幅下降
建筑综合能耗	基准值	降低 18%	低碳效益显著
协议兼容数量	3-5 种	15 种	设备适配性大幅提升

5.2 工程实际应用成效分析

项目落地后, 弱电运维从人工被动巡检转为AI智能自治, 工单自动派发与闭环处置率达100%。应急安全防控实现全自动闭环处置, 建筑安全韧性显著增强; 年耗电量、用水量分别下降18%、15%, 碳减排效果突出。建筑弱电数据与城市管理平台无缝对接, 为城市建筑精细化治理提供实时数据支撑, 兼具经济与社会效益, 可广泛适用于商业综合体、写字楼、园区等新建及改造项目^[5]。

6 结语

智慧城市建设进程中, 建筑弱电多系统打破分散运行格局、实现深度融合集成已是行业必然发展趋势, 更是支撑城市精细化治理、公共安全韧性提升与“双碳”战略落地的核心关键。本文构建的四层两平台一安全弱电融合集成技术架构, 实现弱电设备全域互联、数据同源共享、业务智能协同与安全合规可控, 工程实测证实该体系可显著提升建筑安全防护能力、运维管理效率与低碳运营水平, 适配新建建筑及既有建筑智能化改造需求, 工程推广价值突出。当前弱电融合建设仍存在老旧设备协议繁杂、设备厂商生态接口壁垒、AI算法模型泛化能力不足、城市跨部门数据共享协同机制不完善等现实短板。后续随着信息技术持续迭代, 弱电集成将朝着极简部署、自治自愈、全域协同、碳智融合方向升级, 依托Matter统一互联、6G空天地通信、区块链碳管理及大模型数字孪生等新技术持续优化完善。整体而言, 弱电多系统深度融合将持续推动智慧建筑提质升级, 为智慧城市高质量可持续发展筑牢坚实的智能化建设根基。

[参考文献]

- [1]赵亮,王秋实.基于物联网(IoT)技术的智能建筑能效管理系统研究[J].建设科技,2024,(17):45-47.
- [2]吴建云.基于电力载波技术的能效监管系统在高铁站房设计中的应用[J].智能建筑电气技术,2022,16(01):85-89.
- [3]但国良.智能建筑弱电系统信息化建设应用与对策分析[J].新城建科技,2024,33(09):137-139.
- [4]董哲.城市轨道交通弱电系统集成设计及智能管理研究[J].光源与照明,2022,(02):204-206.
- [5]祝文帅,叶亮,包航晖.智慧园区弱电智能化系统对接策略与应用实践研究[J].智能建筑电气技术,2025,19(06):103-107.

作者简介:

董玉卫(1971--),男,汉族,北京人,本科,北京傲瑞兴科技有限公司,助理工程师,研究方向: 智能建筑与弱电系统集成。