

建筑电气与智能化系统应用探究

文/熊瑶 中建三局(深圳)有限公司

摘要: 建筑电气与智能化系统的深度融合是推动现代建筑向绿色化、高效化、安全化方向发展的重要技术路径。本文基于系统集成理论,重点研究了照明控制系统、空调与能源管理系统、安防消防系统以及通信网络系统等关键子系统的智能化设计与优化方法。通过建立数学模型和控制算法,实现了各系统的协同运行与能效优化。结合典型工程案例进行实证分析,结果表明智能化系统集成可降低建筑能耗25%以上,提升设备运行效率30%以上。最后,从施工调试、运行维护、风险防控三个维度提出了系统的实施保障策略,为智能建筑的系统化实施提供了理论依据和技术参考。

关键词: 智能建筑; 系统集成; 能源管理; 智能控制; 故障预测

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.21.075

引言

随着物联网、大数据和人工智能技术的快速发展,建筑电气与智能化系统的深度融合已成为推动建筑行业转型升级的重要引擎。智能建筑通过集成先进的信息技术和自动控制技术,实现对建筑能源、环境、安防等系统的智能化管理与优化,显著提升建筑的运行效率、能源利用率和安全性能。目前,我国智能建筑在系统集成度、数据协同性和智能化水平方面仍存在提升空间,特别是在照明控制、能源管理、安防消防等关键系统的优化集成方面亟待深入研究。本文基于系统集成理论,通过数学模型构建和算法优化,探讨建筑电气与智能化系统的协同控制方法,并结合实际工程案例验证系统实施效果,以期智能建筑的规范化设计和高效运行提供技术参考。

一、建筑电气与智能化系统的融合应用

随着物联网、大数据与人工智能等新一代信息技术不断发展,建筑电气系统正由传统独立控制模式向高度集成化、智能化的方向转变。现代智能建筑将电气设备、自动化系统与信息技术有机融合,构建出高效、可靠且具备自适应能力的建筑运行环境。此类系统通常采用分层分布式体系结构,涵盖感知层、网络层、平台层和应用层四大层次,实现从数据采集到智能决策的全流程闭环管理。

(一) 照明控制系统应用与优化

智能照明控制系统采用分布式控制架构,结合多传感器数据融合技术与自适应控制算法,实现对室内光照环境的动态精确调控。系统通过部署光照度传感器、人体红外传感器和微波感应器等终端设备,实时监测环境亮度、人员活动及自然光变化,依据模糊PID控制算法动态调节照明设备的开关状态与输出亮度。该系统的光照调控模型可表述为如下数学形式:

$$L_{out}(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

其中, $L_{out}(t)$ 表示 t 时刻的照明输出量, $e(t)$ 为实际照度与设定照度之间的偏差值, K_p 、 K_i 和 K_d 分别代表比例、积分与微分系数。该模型通过对历史偏差的积分

及变化趋势的微分修正,显著提高了系统的控制精度与响应速度。

大量工程实践表明,相比传统开关控制方式,智能照明控制系统能够显著改善室内光环境质量。系统通过优化照明策略,有效提升照度均匀性,避免局部过暗或眩光现象;通过引入按需照明和自适应调节机制,可实现可观的节能效益;同时,光环境舒适性的提升也直接带来了用户满意度的改善。这些优势充分体现了智能照明系统在提升视觉舒适性和降低能耗方面的综合价值。系统还可根据建筑空间功能差异,设置不同的照明场景模式,进一步优化用户体验与能源效率。

(二) 空调与能源管理系统的智能化设计

现代智能建筑中的空调与能源管理系统采用基于模型预测控制(Model Predictive Control, MPC)的先进策略,通过建立建筑围护结构及空调系统的热力学动态模型,实现对室内环境参数的精准调控。该系统融合短期天气预报、室内人员密度变化与分时电价信号等多源信息,进行空调负荷的预测与前瞻性优化控制。

能源管理系统采用分层优化架构,统筹协调热舒适性与能耗经济性的多目标优化问题,其数学模型可表述为:

$$\min \sum_{t=1}^T [C_{energy}(t) \cdot P_{total}(t) + w \cdot \sum_{i=1}^N (T_i(t) - T_{set,i})^2] \quad (2)$$

约束于:

$$T_{min} \leq T_i(t) \leq T_{max}$$

$$RH_{min} \leq RH_i(t) \leq RH_{max}$$

$$P_{cool}(t) \leq P_{cool}^{max}$$

$$P_{heat}(t) \leq P_{heat}^{max}$$

其中, $C_{energy}(t)$ 为能源价格, $P_{total}(t)$ 为系统总功率, w 是用于权衡舒适性与能耗的权重系数, $T_{set,i}$ 为第 i 个区域的设定温度。工程实践表明,该优化方法在确保室内环境舒适度的前提下,能够显著降低系统运行能耗,提高能源利用效率。系统还具备负荷预测与故障诊断功能,为建筑能源管理的精细化运营提供技术支持。

（三）安防与消防系统的智能化集成

智能安防系统基于多模态感知技术，通过视频智能分析、门禁控制、入侵探测及周界防范等子系统的深度集成，构建全方位、多层次的综合安防体系。系统采用深度学习算法对视频流进行实时分析，能够准确识别异常行为、非法闯入等安全事件，并实现与报警装置的智能联动。

消防系统通过智能烟感、温感探测器以及可燃气体检测设备，实现火灾风险的早期识别与预警。系统采用多传感器信息融合技术，有效提升火灾探测的准确性与可靠性。在确认火情后，系统自动启动应急照明、排烟系统、疏散广播等消防设施，并强制开启疏散通道门禁，确保人员安全疏散。

实际应用表明，该集成系统能够满足智能建筑对安全性的高标准要求。系统具备快速响应能力，能够在极短时间内完成从事件检测到联动处置的全过程；同时，通过 AES-256 加密标准保障数据传输与存储的安全性和完整性，为建筑安全运行提供可靠保障。

（四）通信与网络系统在智能建筑中的应用

智能建筑中的通信与网络系统采用工业以太网与无线传感网络（WSN）相融合的异构网络架构，为各类智能终端设备提供高效可靠的数据传输通道。该架构支持多种通信协议的兼容接入，能够满足从高速数据传到低功耗设备接入的多样化业务需求。

系统采用分层设计理念，针对不同层次的网络性能需求进行差异化配置。控制层网络强调实时性和可靠性，确保控制指令的准确传输；管理层网络注重数据传输带宽和系统可管理性；设备层网络则关注接入便利性和功耗控制。这种分层设计确保了整个通信系统的高效、稳定运行。

工程实践表明，该网络架构能够满足智能建筑对通信系统的严格要求。系统通过冗余配置和 QoS 保障机制，确保关键业务的传输质量；通过符合国家信息安全等级保护要求的安全防护体系，保障网络和数据的安全；通过统一的网络管理平台，实现对整个通信系统的集中监控和维护，为智能建筑各类应用系统的稳定运行提供基础支撑。

二、建筑电气与智能化系统的工程案例分析

上海金融中心作为超高层综合体建筑的典型代表，其智能化改造项目在行业内具有重要的参考价值。该项目总建筑面积 28 万平方米，建筑高度 320 米，集办公、商业、会议等多功能于一体。在智能化系统建设中，项目集成了建筑设备监控、能源管理、智能照明、安防消防、楼宇自控等 16 个智能子系统，通过统一的 BIM 运维管理平台实现了各系统的协同运行和集中监控，体现了现代智能建筑系统集成的最新发展水平。

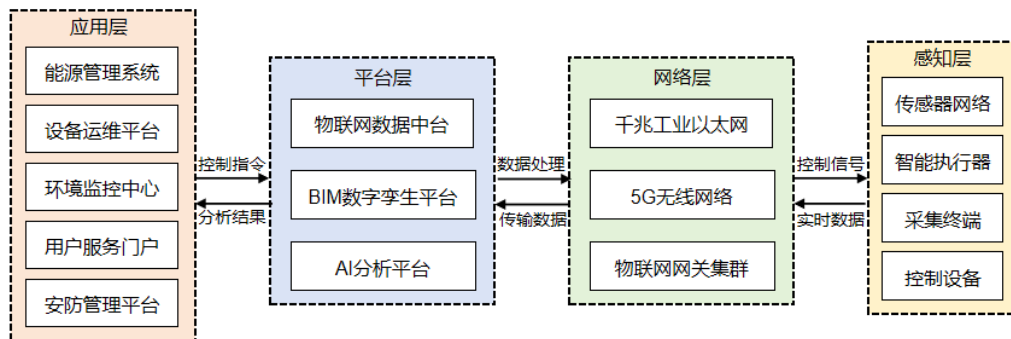


图 1 上海金融中心智能系统架构图

项目采用分层分布式系统架构，该架构由感知层、网络层、平台层和应用层四个层次组成。感知层部署了超过 2 万个各类传感器和执行器，实时采集建筑运行数据；网络层采用千兆工业以太网与 5G 无线网络融合的组网方式，确保数据传输的可靠性和实时性；平台层基于 BIM+IoT 技术构建数字孪生平台，实现物理建筑与数字模型的精准映射；应用层提供能源管理、设备运维、环境监控等智能化服务，满足不同使用场景的需求。

在技术创新方面，项目采用了基于数字孪生的系统调试技术，通过虚拟仿真提前发现和解决系统问题，大幅缩短了现场调试周期。多系统协同优化算法的应用，实现了整体能效的最优配置。基于人工智能的设备故障预测与健康诊断技术，通过对设备运行数据的深度学习和分析，实现了故障的早期预警和预防性维护。统一的

物联网数据中台打破了传统的信息孤岛，实现了各子系统数据的互联互通和共享利用。

表 1 上海金融中心智能化改造前后性能对比

评价指标	改造前	改造后	提升幅度
单位面积能耗 (kWh/m ²)	186.5	125.7	32.6%
设备故障次数 (次/年)	152	84	44.7%
维护响应时间 (min)	45	18	60.0%
室内温湿度达标率 (%)	75.3	94.2	25.1%
用户满意度评分 (分)	7.2	9.5	31.9%
系统可用率 (%)	98.5	99.8	1.3%
运维人员效率 (m ² /人)	12500	20000	60.0%

通过对项目实施前后 24 个月的运行数据进行对比分析，可以明显看出智能化系统集成带来的显著效果。在能源消耗方面，单位面积年能耗从 186.5kWh/m² 降低至 125.7kWh/m²，降幅达 32.6%，年均节约电费约 850 万元。这一成效主要得益于空调系统的智能优化控制和照明系

统的按需调节策略，通过精细化管理和智能控制实现了能源的高效利用。

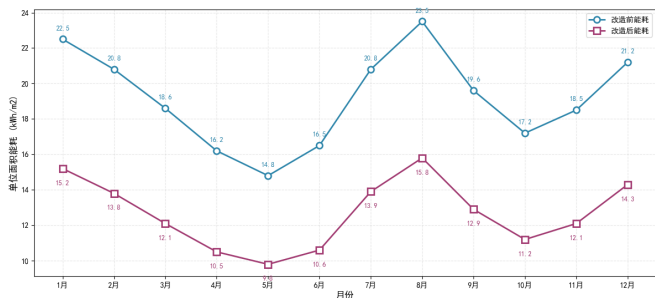


图2 系统改造前后能耗月度对比曲线

通过实施预测性维护策略，设备年故障次数由152次降至84次，降幅44.7%，维护响应时间从45分钟缩短至18分钟，效率提升60%。温湿度达标率由75.3%提升至94.2%，用户满意度评分从7.2分提高到9.5分。项目投资回收期为4.2年，年减碳6200吨，相当于种植3.4万棵树，并获得LEED铂金级及绿色建筑三星认证。95%的用户对室内环境质量表示满意。项目成功得益于科学顶层设计、先进技术方案和有效运维管理，为同类建筑智能化改造提供了宝贵经验，证明了智能化系统在提升建筑性能、降低运营成本和改善用户体验方面的显著成效。

三、建筑电气与智能化系统的实施保障与管理

(一) 系统施工与调试管理

建筑电气与智能化系统的施工与调试管理是确保系统质量的关键环节。本项目采用基于建筑信息模型(BIM)的数字化施工管理方法，通过碰撞检测技术提前发现并解决管线布置冲突，利用管线综合技术优化设备空间布局，借助进度模拟技术实现施工过程的可视化管控，从而有效确保施工质量。调试过程严格执行三级测试制度，首先进行单机调试，重点验证各类设备单体的功能完整性及性能指标是否符合设计要求；其次开展分系统调试，主要测试各子系统内部设备之间的协调性与联动性能；最后实施联合调试，全面验证不同系统之间的数据交互与联动功能是否达到预期目标。为确保调试过程的可追溯性，建立了完整的调试文档体系，包括详细的测试方案、规范的测试记录、完整的调试报告等技术文件，为后续系统运维提供可靠的基础资料支撑。

(二) 运行维护与节能优化

系统运行维护与节能优化是保障建筑电气与智能化系统长期稳定运行的重要措施。通过构建基于数字孪生技术的预测性维护系统，利用部署在各类设备上的传感器实时采集运行数据，结合机器学习算法对设备健康状态进行精准预测，实现从被动维修向主动预防的维护模式转变。在能效优化方面，采用先进的自适应控制策略，其数学模型可表述为：

$$\Delta P = \alpha \cdot \partial E / \partial t + \beta \cdot \partial C / \partial T + \gamma \cdot \partial Q / \partial \tau (3)$$

其中 ΔP 表示功率调节量， E 为能耗函数， C 为舒适度函数， Q 为设备状态函数， α 、 β 、 γ 为自适应调节系数。

该控制策略通过对能耗变化率、舒适度变化率和设备状态变化率的综合分析，动态调整系统运行参数，在保证室内环境舒适度的前提下，实现能源消耗的最优化，显著提升系统的整体能效水平。

(三) 风险防控与安全管理

完善的风险防控与安全管理体系是保障建筑电气与智能化系统安全稳定运行的重要基础。建立了多层次网络安全防护体系，通过部署防火墙设备实现边界防护，采用入侵检测系统实时监控网络异常行为，实施安全审计追踪系统操作日志，形成三重防护保障机制。制定完善的应急响应机制，针对电力中断、系统故障、网络安全事件等26类突发事件制定了详细的处置预案，并定期组织应急演练。实行定期风险评估制度，每季度委托专业机构进行系统漏洞扫描和渗透测试，及时发现并修复安全漏洞。采用3-2-1数据备份策略，即保留3个数据副本，使用2种不同存储介质，其中1个副本异地保存，确保在发生数据丢失或系统故障时能够快速恢复，保障数据安全和系统可靠性。同时建立完善的安全管理制度，明确各级人员的安全职责，定期开展安全意识培训，全面提升系统的安全防护能力。

结语

建筑电气与智能化系统的深度融合显著提升了建筑的综合性能，在运行效率、能源利用效益及安全可靠性方面取得了实质性突破。通过科学的系统规划设计、严格的工程实施与智能化的运营管理，为实现智能建筑的绿色、高效和可持续发展提供了可靠路径。实践证明，基于系统集成与数据驱动的管理方法不仅能有效降低运营成本，还可大幅提升用户体验与环境品质。面向未来，应进一步深化人工智能技术在智能建筑中的融合应用，推动数字孪生技术在建筑全生命周期管理中的实践落地，探索智能建筑与智慧城市协同发展的创新模式，并加强新型通信技术在建筑智能化系统中的应用研究，以技术创新持续推动行业迈向更高水平的智能化与可持续发展。

参考文献

- [1] 纪昕洋, 胡高山. 建筑电气中的智能化技术发展趋势分析 [J]. 电子技术, 2024, (09): 398-400.
- [2] 张才伟, 罗长发, 张鑫, 等. 基于PLC的大型公共建筑电气智能化系统设计分析 [J]. 中国设备工程, 2024, (06): 30-32.
- [3] 沈杰. 建筑电气弱电智能化系统工程施工研究——以央行数据中心为例 [J]. 房地产世界, 2024, (06): 122-124.
- [4] 肖明. 建筑电气工程中的智能化技术应用 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2024, (03): 147-149.
- [5] 李燕莉. 楼宇智能化技术在房屋住宅建筑电气设计中的问题与建议 [J]. 居舍, 2024, (08): 112-114+118.
- [6] 赵学俊, 赵培翔. 建筑电气与智能化系统设计要点浅析 [J]. 林业建设, 2024, 42(01): 62-67.