

谈公共建筑智能照明联动控制系统设计探析

王亚楠

天津华汇工程建筑设计有限公司, 天津 300000

[摘要]公共建筑照明能耗大、控制粗放、系统割裂等问题一直存在,传统的照明方式已经不能满足绿色低碳和智慧运营的要求。以智能照明联动控制系统为研究对象,从系统内涵和技术架构入手,提出包含系统架构和联动控制策略的设计原则。在此基础上,从通信网络、多系统联动、场景节能策略、运维管理四个方面分析关键的设计内容,从设备集成、控制逻辑优化、调试运维、深度融合四个方面提出优化途径。经研究得知,根据各地的实际情况采用多种技术相结合、多种系统联动控制的方法,可以有效地降低建筑照明能耗 20%~50%。

[关键词]公共建筑;智能照明;联动控制;系统设计;节能策略

DOI: 10.33142/sca.v9i8.20202

中图分类号: TU113.2

文献标识码: A

Discussion on Analysis of the Design of Intelligent Lighting Linkage Control System for Public Buildings

WANG Yanan

Tianjin Huahui Engineering Architectural Design Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

Abstract: The problems of high energy consumption, extensive control, and system fragmentation in public building lighting have always existed, and traditional lighting methods can no longer meet the requirements of green, low-carbon, and intelligent operation. Taking the intelligent lighting linkage control system as the research object, starting from the system connotation and technical architecture, design principles including system architecture and linkage control strategy are proposed. On this basis, key design contents are analyzed from four aspects: communication network, multi system linkage, scenario energy-saving strategy, and operation and maintenance management. Optimization approaches are proposed from four aspects: equipment integration, control logic optimization, debugging and operation, and deep integration. Through research, it has been found that using a combination of multiple technologies and multiple system linkage control methods based on the actual situation in various regions can effectively reduce building lighting energy consumption by 20% to 50%.

Keywords: public buildings; intelligent lighting; linkage control; system design; energy-saving strategy

引言

照明系统属于公共建筑电气系统的重要组成,其能耗在建筑总能耗中所占比例较大。传统的照明方式存在着管理分散、调节手段单一、能源浪费严重等缺点。伴随着智慧城市以及绿色建筑的发展,智能照明系统成了建筑智能化管理的重要设施,越来越多地被应用到大型公共建筑当中。目前的研究已经对单一的智能照明控制技术做了详细的分析,但是还没有对各种技术的组合使用以及多系统联动机制做系统的总结。因此,急需从系统设计上建立完善的智能照明联动控制系统,给公共建筑照明系统智能化升级提供理论支持和技术借鉴。

1 公共建筑智能照明联动控制系统概述

公共建筑智能照明联动控制系统是以总线通信技术为基础,将传感器、控制器、执行器和管理软件等结合起来的智能化照明管理系统。该系统依靠感知层设备对人员活动、自然光照等环境数据展开实时采集,借助分组控制、场景编辑等技术达成照明的自动化管理,并且依靠 KNX、DALI、Modbus 这些开放协议来完成设备的互联以及系统的集成^[1]。系统一般由输入单元、输出单元、系统单元和监控单元四个部分组成,输入单元为智能面板、人体传感器、照度传感器等,输出单元为开关驱动器、调光驱动器,系统单元为电源和通信保障,监控单元为中央管理软件集

中监控、部署策略。智能照明联动控制系统同传统的照明相比，在节能降耗、管理效率、用户体验等各方面都有明显的优势，是达成建筑绿色运行和智慧管理的技术手段。

2 公共建筑智能照明联动控制系统设计原则

2.1 系统架构设计原则

系统的架构设计要符合可靠、开放和可扩展这三个原则。可靠性上系统应该具有分布式控制能力，单个节点故障不会影响整个系统的正常运行，关键控制逻辑支持离线本地执行，防止网络中断造成照明失控。开放性上系统使用标准的通信协议，内部协议全部公开，可以和各种楼宇系统相连，适合各种建筑结构的特点，只需要一条总线就可以把每个区域的照明配电箱连接起来进行智能控制。从可扩展性来说，系统架构应该留有和建筑能效管理平台、楼宇自控系统等第三方系统集成的接口，以适应建筑全生命周期内功能的扩展。

2.2 联动控制策略设计原则

联动控制策略的设计要以节能为主，需求响应和安全可靠为出发点。节能优先要求系统尽可能利用自然光，根据照度要求自动控制照明，结合建筑使用情况和天然采光状况进行分区、分回路设置。需求响应认为控制策略要具有场景自适应性，即按照区域的功能属性、人流量特征、时间段的不同来调节照明的输出。安全可靠要求联动控制不能影响应急照明系统的独立运行，在消防报警等紧急情况之下，系统可以自动切换到应急照明模式，并且配合疏散指示。

3 公共建筑智能照明联动控制系统关键设计内容

3.1 照明控制网络与通信架构设计

通信网络给智能照明联动控制系统提供物理基础。系统使用标准的 $2 \times 2 \times 0.8\text{EIBBUS}$ 总线（KNX 总线），把所有的智能照明控制模块连接在一起，形成一个完整的控制系统，可以进行远程集中控制，也可以实现就近控制。大型公共建筑中宜用分层分布式网络结构，即管理层、控制层、设备层三部分组成。管理层用 IP 网络进行集中监控和数据管理，控制层用 KNX、DALI 等现场总线做区域

控制逻辑，设备层由各种传感器、驱动器、执行终端组成^[2]。通信介质选择要兼顾传输距离、抗干扰性能和施工方便程度，对改造类项目可以采取无线和有线混合组网的办法来削减施工工作量和布线费用。

3.2 多系统联动控制功能设计

多系统联动属于智能照明不同于传统照明的特性。照明系统要同楼宇自控系统、消防系统、安防系统以及能耗监测平台达成双向的数据交流。与 BAS 系统联动的时候，根据车间温湿度、车库通风负荷等环境参数同步调节照明功率，达到机电和照明的协同节能。与消防系统联动时，发生消防报警时，强制打开全部排风机，关闭正常照明，启动紧急照明控制，显示逃生路线。与安防系统联动的时候，可以在人员异常闯入的时候，自动开启相应区域的照明，并配合视频监控。系统需要设置开关量输入模块，接收其他系统强切信号，实现各个系统之间事件触发的控制。多系统联动设计要确定各个系统之间接口协议、数据格式以及时序逻辑，保证联动反应及时可靠。

3.3 智能场景控制与节能策略设计

场景控制是达到照明精细化管理的一种方法。系统应根据公共建筑各功能区实际使用情况事先确定多个照明场景模式，可以自由切换。以会展建筑的会议厅为例，在会议模式开启之后，程序关闭周边的光源，并开启主席台一侧的射灯调光灯，利用灯光的变化来引导与会人员把注意力集中到主席台上，避免传统方式下人工关闭时间不一致造成的人工不便。节能策略应该综合使用定时控制、感应控制和调光控制。在公共走道区域，采用定时、光线感应联动控制和中控电脑集中控制相结合的方式，在上班期间关闭所有灯光，利用光感探测在光线变暗时自动开启部分灯光；下班后定时打开 30%照明，其余时段自动调用无人模式将灯光全部关闭。停车场区域可以采用雷达双鉴感应，达到人来灯亮、人走灯灭的效果。研究显示，根据当地的实际情况，使用智能控制技术组合的方法可以达到建筑照明能耗降低 20%~50%的目的。

表 1 公共建筑典型区域智能照明控制策略对比

区域类型	推荐控制方式	传感器配置	节能策略	预期节能率
办公区	定时+照度+人体感应	红外+照度二合一	上班全开/午间调光/下班关断	30%-40%
会议室	场景面板+调光控制	红外+照度传感器	按使用模式切换场景	25%-35%
走廊/电梯厅	人体感应+延时控制	微波雷达传感器	人来灯亮/人走延时关断	40%-50%
地下车库	雷达感应+分组控制	微波雷达双鉴传感器	车来灯亮/车走调至 10%	50%-60%
大堂/中庭	照度+定时控制	照度传感器	充分利用自然光补偿	20%-30%

3.4 系统运行监测与运维管理设计

运行监测和运维管理属于保证系统长时间正常运转的环节。系统应该具有对照明设备运行工况进行实时监控的功能,可以根据照明区域实际需要运行不同的控制策略,并且要和上级管理系统建立标准接口和开放协议。系统要对单个灯具和分区的照明用电量、使用时间、故障情况等 24h 不间断的采集,并自动生成分项能耗台账,可以横向比较各点的能耗,也可以做节能考核。故障诊断系统具有日志记录和故障报警的功能,运维人员可以远程查看运行状态和能耗数据,找到异常的地方,从而达到预测性维护的目的,降低维护成本。中央监控软件以 C/S、B/S 结合的方式,使得管理人员可以通过计算机、平板电脑或者移动终端来对系统运行情况及调节进行监控。

4 公共建筑智能照明联动控制系统优化措施

4.1 完善设备选型与系统集成方案

设备选型要兼顾性能参数,协议兼容性以及工程适应性这三个要素。开关驱动器、调光驱动器应该能支持主流的通信协议,并具有逻辑、延时、预设、场景、阈值开关等主要功能。传感器的选择要根据空间特点合理组合,办公室等人员密集区宜用红外和照度二合一的传感器,车库、走廊等开阔区宜用微波雷达传感器来提高检测灵敏度。系统集成宜用支持多种协议并行解析的边缘网关作为集成载体,不需要第三方转换设备就可以实现照明和 BA 系统、能耗监测系统之间的双向数据交互。新建项目在设计阶段就应确定各个系统之间的接口约定,对改造项目要评价既有设备是否可以利旧,从而减小改造费用。

4.2 优化智能控制逻辑与联动机制

控制逻辑的改进要从响应及时性、策略合理性、节能有效性这三个方面入手。响应及时性,系统支持定时控制、自动感应控制、手动远程控制、调光控制、场景联动控制等不同的控制方式,用户可以通过控制面板、人体感应、照度感应、上位机系统等各种控制终端灵活地进行智能控制。策略合理性要根据不同的空间使用规律来设定控制参数。以贵宾电梯厅为例,移动探测器检测到有人时,会和光感进行逻辑判断,如果光感不能达到视觉照度的要求,那么就会把调光灯慢慢调亮到 80%;当人们离开的时候,延时关闭调光灯,根据人流量的大小来决定延时的时间。联动机制的优化要创建起明显的事件与响应的对应关系,确定各个系统之间触发条件、执行动作以及反馈确认的过程,防止因为逻辑冲突引发控制混乱的情况出现。联动机制的精细设计最核心的部分就是触发条件优先级的确定以及冲突解决的方法。当同一个区域同时收到

BAS 系统节能调光指令和安防系统事件强启指令的时候,系统应当按照事先设定好的优先级矩阵来做出决定,一般把安全相关的指令放在最高优先级上。冲突消解逻辑要有状态锁定和恢复功能,高优先级指令执行完毕之后,系统就会自动回到指令发出之前的状态或者重新评价环境参数之后切换到合适的模式。消防联动响应时间 $\leq 1s$,安防联动 $\leq 2s$,BAS 系统联动 $\leq 5\sim 10s$,设计时根据联动对象的不同设置不同的时序要求,实测各联动指标是否达标。

4.3 强化系统调试及运行管理

系统调试属于保证设计意图得以实现的环节。调试工作分为单机调试、子系统调试和系统联调三个层次,单机调试检查各个设备的通信是否正常,子系统调试检验区域控制逻辑和场景切换功能,系统联调检验多系统联动响应时间及数据交互准确度。系统必须符合 GB/T50034-2024《建筑照明设计标准》等行业标准的要求,每个楼层可以单独工作,不需要控制主机的干预,也可以将总线接到设备房与 BMS 系统进行集中监视和远程控制^[3]。运行管理上要创建常态化的系统巡检和保养制度,定时校准传感器精确度,更新控制策略参数,剖析能耗数据趋向,立刻察觉并解决异常状况。调试阶段要制定专项调试方案,确定各个层次的调试内容、方法和合格标准,对每一个调试结果进行详细的记录,并形成闭环报告。系统联调中尤其重要的是跨系统联动时效的验证,用计时器实测各个联动链路的响应时间,保证达到设计要求。运行阶段要创建起以数据分析为基础的预防性维护体系,依靠系统自动生成的能耗和故障日志来察觉设备性能衰减的趋势,进而提前执行维护或者更换。还要制定应急处理预案,对通信中断、主控失效等常见的故障做出详细的说明,规定出手动接管和恢复的过程,保证照明系统在任何情况下都能正常工作。

4.4 推动智能照明与建筑智能化深度融合

智能照明系统价值最大化要依靠同建筑整体智能化体系深度融合。智能照明控制系统未来的发展趋势会更加重视多技术融合、多系统联动、与人工智能的深度结合,给系统带来更高的效率、更好的节能效果和更个性化的用户体验。一方面要将照明系统纳入建筑信息模型(BIM)以及数字孪生平台之中,从而达成照明设备全生命周期的管理并且可以可视化地进行运维工作。另一方面,AI 技术的加入使系统具备了感知、学习、预判的能力,实现了从自控到智控的转变,自适应照明控制可以对灯、百叶窗等设施进行主动调节,从而预测出人们的需求,提供更加符合人们喜好的一种照明方式。另外还要推进智能照明同绿色建筑评价体系的对接,用量化数据来支撑绿色建筑认

证和碳足迹核算。BIM 和数字孪生具体的应用路径就是建立照明系统数字孪生模型,把每盏灯、每个传感器的位置、参数、运行状态在虚拟空间里准确地映射出来,运维人员可以在三维可视化界面中清楚地看到各个区域的照明状况和能耗情况,并且可以借助仿真功能来预测策略调整之后的节能效果。AI 算法的深度应用就是利用长短时记忆网络对历史的人流量、照度数据进行训练,预测出未来各个时间段内各个区域人员到达的概率以及自然光照的变化趋势,从而达到照明输出的前瞻性调节。智能照明系统给室内光环境及节能得分项赋予了可量化、可追踪的数据支撑,依靠对实时能耗的监测以及对标分析,给建筑碳足迹核算和 ESG 信息披露赋予准确的基础数据,助力建筑绿色运营等级提升。

5 结语

公共建筑智能照明联动控制系统属于建筑节能降碳、智慧运营的技术途径。经过合理的系统架构设计、完备的联动控制策略和细致的场景管理,可以大幅度削减照明能耗,提高管理效率和光环境品质。系统设计要遵循标准化、

开放性、可扩展的原则,综合考虑通信网络、多系统联动、场景节能、运维管理等主要方面,用设备选型优化、控制逻辑完善、调试管理加强、与建筑智能化深度融合等方式不断提高系统的性能。未来可以继续对多系统协同优化算法、用户行为自适应调节等进行深入研究,随着人工智能和数字孪生技术的不断发展,智能照明系统将向着自适应、主动服务的方向不断前进,给绿色智慧建筑的发展提供更加坚实的技术支持。

[参考文献]

- [1]蒋琪.民用建筑电气中智能照明控制系统的应用[J].中国建筑装饰装修,2023(5):74-76.
- [2]张译之,曾晓东.智能建筑照明自动控制系统及其关键技术分析[J].光源与照明,2023(12):38-40.
- [3]曾璟.LED 在建筑照明中的应用及其节能效果[J].灯与照明,2025,49(4):73-75.

作者简介:王亚楠(1991—),女,汉族,河北沧州人,工程师,石家庄铁道大学毕业,现就职于天津华汇工程设计有限公司,从事建筑电气设计工作。