

建筑电气设计中智能照明控制系统研究

杨 森

河北建筑设计研究院有限责任公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]伴随着建筑节能要求日益提高以及物联网技术不断进步,智能照明控制系统已经成为建筑电气设计不可或缺的一部分。智能照明控制系统利用传感器检测、总线通信、自动调光等方式来对建筑物内照明进行智能化管理和控制从而改善人们照明体验并且节约大量能源消耗。本文介绍了智能照明控制系统的基本架构、运行机制以及其在建筑电气设计中的作用,并着重介绍了传感器检测技术、总线通信技术、自动调光技术、能耗监测技术和物联网云平台等相关技术。根据安全、节能、可靠、经济四原则进行分析,研究了智能照明控制系统应用于办公楼宇、商场楼宇、住宅楼宇以及公共楼宇的具体方案以及实施办法。研究结果表明,合理的设计智能照明控制系统可以达到 30%以上节约电能的效果,具有良好的经济效益和社会效益。

[关键词]建筑电气设计;智能照明;控制系统;传感器;节能

DOI: 10.64635/ja.2026.1232

中图分类号: TU85

文献标识码: A

Research on Intelligent Lighting Control Systems in Building Electrical Design

Yang Sen

Hebei Architectural Design and Research Institute Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei 050000, China

Abstract: With the increasing requirements for building energy conservation and the continuous advancement of Internet of Things technology, intelligent lighting control systems have become an indispensable part of building electrical design. Intelligent lighting control systems use sensor detection, bus communication, automatic dimming, and other methods to intelligently manage and control indoor lighting in buildings, thereby improving users' lighting experience and significantly reducing energy consumption. This paper introduces the basic architecture, operating mechanism, and role of intelligent lighting control systems in building electrical design, with a focus on related technologies such as sensor detection technology, bus communication technology, automatic dimming technology, energy consumption monitoring technology, and Internet of Things cloud platforms. Based on the four principles of safety, energy conservation, reliability, and economy, this paper analyzes specific application schemes and implementation methods for intelligent lighting control systems in office buildings, commercial buildings, residential buildings, and public buildings. The results show that a reasonably designed intelligent lighting control system can achieve more than 30% electricity savings and has good economic and social benefits.

Keywords: building electrical design; intelligent lighting; control system; sensor; energy conservation

引言

建筑电气设计是土木工程设计一个重要环节,对建筑物的功能性、安全性以及运行都有着重要影响,而照明系统又是建筑电气中主要用电设备,所占比例约为整个建筑能耗的 15%~25%,传统的照明控制方式一般为人手操作或者定时开关,这种方式简单但是也存在着很多问题,例如控制手段单一、耗电量大、不能根据外界情况进行相应调整等,伴随着传感器技术、通信技术和控制技术的发展进步,智能家居照明控制系统出现,给建筑照明智能化提

供一种新思路。本文主要针对建筑电气设计中智能照明控制系统的相关问题进行分析,首先对系统进行介绍,然后对其关键技术进行阐述,其次提出设计原则,在此基础上根据不同类型的建筑物提出不同的设计方案,旨在给从事建筑电气设计工作者提供一定的借鉴。

1 智能照明控制系统概述

智能照明控制系统是以微处理器为核心,融合传感器技术、通讯技术和自动控制技术对灯具进行智能管理和操控的一种自动化的系统。相比于传统的照明控制方式,智

能照明控制系统可以结合环境照度、人体移动情况以及时间设定等多种因素来决定灯是否打开以及其亮度大小从而做到按需照明。系统分为三层结构：感知层有照度传感器、红外传感器、微波传感器等用于采集外界环境或者人体的信息；控制层有系统控制器、区域控制器和调光模块；执行层有可调光驱动、继电器开关等用来控制灯光亮度或者开关。系统运行时，传感器采集环境信息并将信号传送给控制器，控制器根据预先设定的规则做出决策，发出命令使执行器工作，构成一个反馈控制系统。智能照明控制

系统应用于建筑物电气设计中具有三个作用：其一，节能减耗，恒定照度以及人员侦测防止不必要的电能消耗；其二，提高舒适感，在不同场合下提供合适的照明效果；其三，方便维护，可以集中管理和远程控制，节省人力。

2 智能照明控制系统关键技术

2.1 传感器检测技术

传感器是智能照明控制系统感知前端，其性能对整个系统控制效果以及稳定性起到决定性作用。不同种类传感器及其工作方式见下表一所示。

表 1 常用照明传感器类型对比

传感器类型	检测原理	检测对象	适用场景	主要优点	主要缺点
照度传感器	光敏元件/光电二极管	环境照度	恒照度控制	精度高、响应快	易受遮挡影响
红外传感器	人体热释电效应	人员移动	办公室、走廊	成本低、功耗小	静态人体不触发
微波传感器	多普勒效应	人员移动	车库、楼梯间	穿透性强、灵敏度高	易误触发
声控传感器	声音检测	声音强度	楼道、卫生间	成本极低	需声音触发
复合传感器	多原理融合	多参数综合	高端办公/酒店	可靠性高	成本较高

以光敏电阻和光电二极管为代表的低成本传感器适用于对光照精度要求不高场合。有学者比较了红外发光二极管、光电二极管、光敏电阻以及蓝光 LED 四种光电器件对于太阳辐射响应情况，在有阳光干扰情况下，蓝光 LED 以及光电晶体管对于太阳辐射响应较低，在这种情况下应用更佳，光电晶体管输出信号标准差由原来的 100.26 降低到 0.15，而蓝光 LED 输出信号标准差也由原来的 86.08 降低到 0.11。在智能公共照明方面，研究人员研究低成本光电传感器用于替代性能良好但是价格昂贵进口光电传感器，从而降低智能照明系统造价。

2.2 总线通信与网络传输技术

通信网络是连接各个部分信息桥梁，常见的照明控制系统通信协议有 KNX、DALI、Zigbee 以及 Modbus 等。KNX 是楼宇自动化领域应用广泛的一种标准协议，通过双绞线或者电力线进行通信，在树形及总线型网络中都能使用，最多可连接大约 65000 个设备，适合大规模的公共场所和购物中心。优势在于技术成熟并且易于与其他设备兼容，但是缺点就是价格昂贵。而 DALI 是一种专门为照明设计的协议，使用两条线来实现通信，一条线上可以有 64 个不同的地址，可以进行组播和单点控制的操作，非常适合需要精确亮度调节的办公室或者商店。Zigbee 是一种基于 IEEE802.15.4 标准的无线通信协议，使用网状拓扑结构，传输速率为 250kbps，具有低功耗、自组网的优点，适用于智能家居以及小型建筑物等场合；而 Modbus 由于其简单可靠，在工厂车间照明控制中的应用也很多，一般会 and 上位机一起工作来实现集中管理的功能。

2.3 自动调光与场景控制技术

自动调光功能是智能照明系统一项重要功能。恒照度控制是常用一种方式，系统利用照度传感器获取工作面上实际照度并将其与期望值相比较，然后用比例积分或者模糊控制器改变灯泡亮度从而使得工作面上照度保持在一个一定范围之内。也有学者给出一种基于模糊逻辑智能 RGB 照明控制方案，通过对周围环境变化进行感知以及监视，用神经模糊控制来制定模糊规则和隶属函数，系统可以根据人对不同光照强度反应而相应地改变 RGB 照明参数，这样既可创造良好气氛也可节约能源^[1]。实验结果显示，此系统可以使受试者的脑电波平均频率维持在约 9.8Hz 左右，而这个频率是人感觉舒适的频率，同时有 87% 的数据一致；并且这种控制方式适用于办公以及家庭等环境，能够提高人们对于光线的感受度。场景控制可以让用户根据自身需要设置不同的照明场景，如在办公室中可以设置一般工作、开会、放映、打扫卫生等不同场景，在界面上或者手机上点击相应的按钮即可实现各个回路按事先设定的亮度以及延时进行动作。

2.4 能耗监测与节能控制技术

能耗监测是实现精细化能源管理基础，在每个照明支路或者区域内安装电能计量模块，对电压、电流、功率因数等进行测量，计算出总的耗电量以及当前功率大小，然后发送到中央监控系统中进行汇总、分析并显示出来。有人提出了一种结合亮度调节来提高智能照明节能的方法，通过对不同情况下进行比较试验：传感设备数据采集、日光数据利用以及二者相结合的方式，使用廉价传感器和第

三方 API 获取数据,结果显示使用传感器数据以及日光数据一起可以节约更多电力消耗,而基于规则的方法还可以更进一步提高电能利用率。节能控制方法有分区控制、定时控制以及日光自适应控制。分区控制是把建筑物分成几个部分进行照明,在每一个区域内单独控制;定时控制是按照事先设定好的时间表让灯亮或者灭;而日光自适应控制则是根据窗户外面的光线强度来调节室内的灯光亮度。

2.5 智能化联动与物联网云平台技术

智能化联动控制将照明系统与建筑物内部的安全防护、消防、暖通等系统进行整合,达到不同系统间的配合工作。如安全防范系统设置后停止不必要的灯光照明,在发生火灾警报情况下强制点亮疏散指示灯,在有人进入房间的情况下自动调节至欢迎模式等。基于云计算技术的智能照明控制系统是利用物联网技术把前端智能灯以及各种类型的探测器连接起来,在云端服务器上进行大规模的运算能力和大量的数据存储,使用户可以随时随地查看灯光情况、调节相关参数、获取报警提醒等。云平台能够容纳大量设备接入及保存的数据量,用户可以在手机或者电脑上操作相关事宜。基于人工智能算法的智能照明能源管理旨在减少能源消耗以及提高用户体验是多目标问题,在此基础上利用传感器获取信息并通过人工智能算法进行优化从而达到对灯具灯光亮度等参数进行预测以及自动调整的目的。

3 建筑电气设计中智能照明控制系统设计原则

3.1 安全性原则

安全性是建筑电气设计的基本要求,在进行智能化照明系统的设计时要遵循国家相关电气标准的规定,保证系统的正常工作。如:控制设备要有过载保护及短路保护;应急照明回路不能连接到智能控制系统上,必须保证在市电停电的情况下应急照明仍然可以继续使用;控制线缆与强电线缆保持一定间距或者进行屏蔽处理以避免信号干扰造成安全事故等。

3.2 节能性原则

节能是智能照明控制系统的重要作用。在设计上要尽可能采用高效能灯具以及低能耗的控制器件,合理分组照明回路与控制区段,尽量利用自然光源,在靠近窗户位置安装独立的照度传感器以及调光回路,做到阳光自适应调节,在有人活动的地方安装红外或者微波传感器,做到人至灯开,人离灯关或者延迟降低亮度。

3.3 可靠性原则

系统可靠性影响客户体验以及使用意愿,在方案设计

上需要选用技术比较成熟、稳定的产品及通讯协议,重要控制部分和供电部分最好有备份。控制系统要有自我检测以及容错能力,如果出现传感器失效或者通信失败的情况,可以自动切换到预先设定好的安全模式,不能全部熄灭或者全部点亮。

3.4 经济性原则

经济性原则是在保证使用功能以及性能的基础上,尽可能降低工程造价及运维费用。设计时要结合建筑物性质、大小以及用途选取合理方案,不能盲目追求过高配置,小体量建筑可以采取简单定时加感应控制方式,而大型公共建筑建议使用较为成熟 KNX 或者 DALI 总线系统,在前期投入上有所增加但是后期节省较多。

4 智能照明控制系统在典型建筑中的应用

4.1 办公建筑中的应用

办公建筑对照明控制的基本要求是节能与舒适兼顾。一般办公室需要实行恒照度控制,在工作面上保持在 300~500lx 之间,有足够自然光的情况下可以适当降低甚至关闭靠近窗户位置灯光;而会议室需设有不同场景模式,如普通会议、放映以及清洁等;独立办公室可设置个人操作界面,在墙壁上或者用智能手机都可以调整亮度以及色温等。

4.2 商业建筑中的应用

商业建筑包括商场、超市、专卖店等,照明控制是为了营造良好的购物氛围以及引起消费者的兴趣关注^[2]。公共区域使用定时控制,在规定的营业时间内自动开启或关闭;商铺内商品陈列处采用重点照明及场景控制方式,根据不同季节以及促销活动的变化而变化。而在智能家居环境下,利用数字孪生技术实现智能化照明可以自动改变场景、改变亮度以及颜色,收集周围环境信息后进行智能分析,给人们带来便利舒适的生活体验并提供个性化照明服务。

4.3 住宅建筑中的应用

住宅建筑内照明控制系统的设计注重舒适、便捷性和人性化原则,在满足不同活动情境下需要灵活调节的要求,在功能性分布上一般会把红外遥控灯安装在玄关和过道等过渡地带,在人体进入感应区域的时候灯就亮起来了并且在人出去之后延时灭掉,这样增加了晚上使用的方便程度又节约资源。在客厅和卧室这些重要的生活区域普遍用情景照明控制系统,通过情景面板进行多档变化,“待客模式”,“看电影模式”,“读书模式”,“睡觉模式”,“夜间上厕所模式”。一键改变灯光亮度,色温和开关状态的整体效果,让居住环境与生活方式相符合,提升了居住舒适

度和空间感受。另外,随着智能家居的发展,家庭照明系统逐渐加入了语音控制和远程控制的功能,人们可以在远方通过手机 APP 或者智能音箱来操作家中灯光,即使出门在外也可以操纵家里的照明装置,比如预先打开客厅的灯光或者是模仿家里有人的样子等等,方便而又安全。这样的智能家居照明系统既改善了居住体验又引领着住宅建筑逐步走向智能化,节能环保化的方向。

4.4 公共建筑中的应用

建筑种类不同,有医院、学校、图书馆和体育馆等等,不同功能区对灯光控制系统的需求也不尽相同,所以公共建筑照明设计应满足功能性、安全性以及舒适性的要求,在医院建筑内,病区照明应该具有可调低照度照明方式以保证夜晚病人能有良好的睡眠质量,不会受到强烈的光线照射导致睡眠不佳;手术室对灯光的要求很高,要求无影灯可以达到很高的亮度并可以调整角度来匹配不同的手术环境以及手术部位,保证手术的成功率和精度^[3]。在学校建筑内,教室照明不仅要能满足黑板与学生桌面上有足够的亮度,还需要根据不同课程内容进行调节,例如“上课模式”,“投影模式”,“自习模式”,“课间休息模式”,来满足不同的上课情况,从而减少眼睛疲劳度和提升学生的课堂学习效率。图书馆阅览区则注重的是整个环境的光照均匀,一般要求阅览区最低达到至少大于等于 300lux 并且亮度温和稳定,这样可以减缓眼睛负担使得阅读更加

舒适愉悦。总之,公共建筑照明系统采取分区分场景的方式来进行智能化管理,达到了实用性和经济性的平衡。

5 结语

智能照明控制系统是建筑电气设计朝智能化、绿色化方向发展的一个重要体现。本文主要围绕着系统介绍、关键技术、设计理念以及代表性应用这几个方面展开对智能照明控制系统的论述。随着传感器检测、总线通信、自动调光、能耗监测和物联网云平台等相关技术不断进步和完善,智能照明控制系统也日趋成熟。根据安全、节能、可靠、经济这四个设计原则,结合各种不同类型建筑物自身特点及要求,在此基础上进行适当的选择与搭配,可以最大可能地发挥出智能照明控制系统对于提高室内光照质量的同时又能够起到节约能源的作用。伴随着 5G、人工智能以及数字孪生等新技术的应用,智能照明控制系统将会越来越个性化、预测化、自适应化,在绿色建筑、智慧城市等方面起到更大作用。

[参考文献]

- [1]吴红钢.基于物联网和人工智能的智能照明能源管理[J].灯与照明,2025,49(03):68-70.
- [2]王玺.基于云计算技术的智能照明控制系统设计与实现[J].光源与照明,2024(08):51-53.
- [3]江总,李美琴.建筑电气工程中智能照明系统的应用研究[J].石材,2025(02):145-147.