

建筑智能照明系统中的能耗优化控制技术研究

文 / 叶明达 安庆皖江高科建筑安装工程有限公司

摘要：在世界范围内提倡节能减排和可持续发展，建筑行业能耗问题已经引起了人们的重视。建筑照明在建筑能耗中占有很大比重，具有很大节能潜力。智能照明系统以其先进的技术手段已成为建筑照明节能的一个重要途径。本论文以建筑智能照明系统能耗优化控制技术为研究重点，对智能调光，分区控制，定时控制以及自然光联动控制技术这几种常用技术进行了深入分析。通过对这几种技术在真实建筑场景下应用实例的研究，对建筑智能照明系统能耗现状进行了分析，目的是为促进建筑照明领域节能发展奠定理论和实践基础。

关键词：建筑智能照明系统；能耗优化；控制技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.18.077

引言

伴随着科学技术的快速发展，建筑智能化程度越来越高，智能照明系统也被广泛地应用于各种建筑之中。但是智能照明系统虽然有节能的潜力，但是在实际的运行当中，仍然有很多能耗的问题。一些系统能耗优化控制技术没有完全发挥作用，造成照明能耗较高。对建筑智能照明系统能耗优化控制技术进行深入的研究刻不容缓。文章将对这几种技术原理，优点以及实际应用效果进行系统分析，探究能耗现状背后深层原因，以期对进一步提高建筑智能照明系统节能水平有所借鉴，帮助建筑行业朝着绿色节能发展。

一、常见能耗优化控制技术分析

(一) 智能调光技术

智能调光技术作为建筑智能照明系统中优化能耗的一种核心方法，核心是根据不同场景的要求对灯具亮度进行动态准确地调整，以达到既能满足照明要求又能减少能耗的目的^[1]。在这其中，PWM调光（脉冲宽度调制）

利用高频快速切换电源，通过调整脉冲信号的占空比来控制平均电流，从而达到连续工作的效果、调光效果流畅，这种方法调光精度高，无频闪现象，广泛应用在家庭，办公室及其他室内照明场景；0-10V调光技术采用电压信号作为其控制介质，其中0V的灯具能够完全熄灭，而10V的灯具则能完全亮起，这种技术具有很高的兼容性和相对较低的成本，常用在商业建筑大型照明系统上，方便集中控制和管理；DALI（数字可寻址照明界面）的调光功能是通过数字通信协议来实现的，这使得系统能够对每一个灯具进行独立的控制和寻址操作，同时也支持分组调光功能、场景预设和其他功能也可以满足会议室和展厅内个性化照明要求。在实践中，将智能调光系统布放于某写字楼会议室之后，采用根据开会时间，与会人员数量等因素自动调整亮度并与走廊区域感应调光相结合，经过实际测试，照明的能量消耗下降了45%，这充分展示了智能调光技术在节约能源和减少消耗上的明显优势（图1智能调光）。

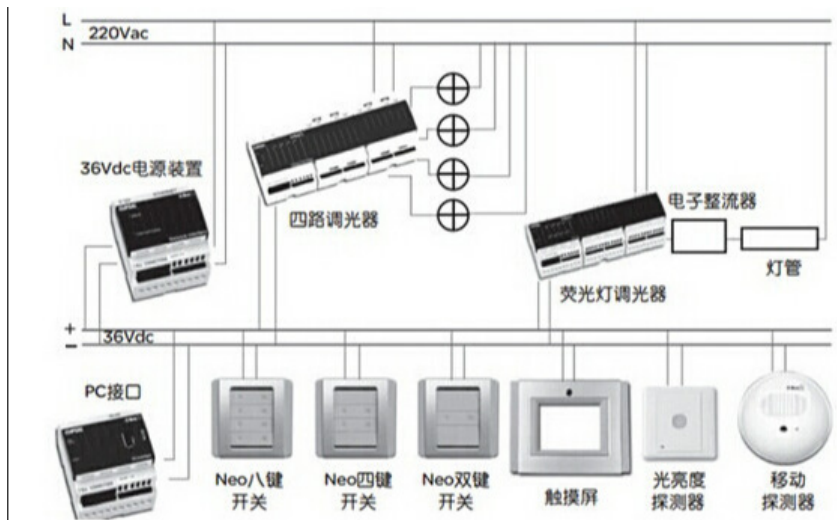


图1 智能调光

(二) 分区控制技术

分区控制技术从建筑功能特性和人员活动规律出发，通过对照明区域进行科学分区，从而达到准确高效地控制照明^[2]。在功能分区上，根据空间用途差异化：以办公区为高频使用区，布放人体感应和光线传感器以达到人来灯亮，人走灯灭的目的，同时根据环境光线的强弱自

动调整亮度；休息区再设定定时开关以自动关灯，不使用时；公共走廊通过红外感应和延时关闭机制相结合，在避免长亮能耗的前提下满足了临时通行需求。人流密度分区是利用实时监测技术对商场中庭和地铁站换乘通道这类流量较大的区域进行动态感应控制以保证照明时刻符合实际需要的方法；并在地下停车场和储物间这样的低频使用地

区设置定时关闭或者低亮度的常亮模式。在某大型商业综合体实施分区控制技术之后，通过将零售区、餐饮区和休息区进行独立管理，并结合智能感应和时段策略，成功实

现了照明能耗的同比降低 28%，既显著降低能源浪费又提高照明系统管理效率，证明分区控制对复杂建筑场景节能潜力（图 2 分区控制技术）。

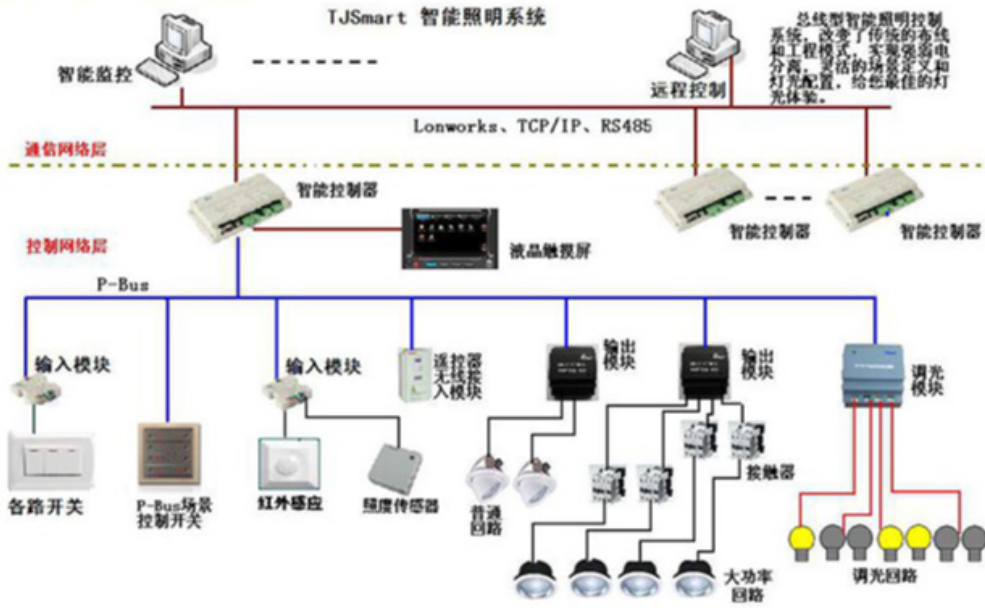


图 2 分区控制技术

(三) 定时控制技术

定时控制技术是依靠建筑物使用时间规律来实现照明管理自动化和智能化，并通过对照明开关时间的预先设定来有效地避免人工疏忽造成能源浪费。在学校场景下，该系统可以根据课程表准确地设置开关灯的时间段，例如课间休息时走廊灯光的调暗、放学时教室照明的关闭等；在寒暑假和其他非教学时间，系统会自动切换到低能耗模式，这不仅确保了必要的照明需求，还显著减少了能源消耗^[3]。工厂的车间可以根据三班倒的排班制度，设定不同班次的照明启停时间，并结合设备检修日、节假日的特殊安排，灵活调整控制方案。在景观照明方面，本技术与天文时钟相结合，依据经纬度及季节的变化来自动推算日出日落的时刻，准确地控制光线的开启与关闭，从而避免了深夜的无效照明。以一所寄宿制学校为例，介绍了定时控制技术，在此基础上通过分时控制教学楼，宿舍区和操场，并结合周末和节假日特殊时间段进行设置，照明的能量消耗减少了大约 25%，同时也降低了人工巡查和管理的费用，使得照明系统能够高效且节能地运行。

二、建筑智能照明系统中的能耗现状分析

(一) 照明能耗占建筑总能耗比例高

在诸多建筑类型当中照明能耗占了不小的比例。以商业建筑为例，由于其营业时间通常较长，并且需要提供一个明亮和舒适的购物环境，因此照明设备需要全天运行很长时间，这可能导致其能耗占到建筑总能耗的 25%-35%。在如学校和办公大楼这样的地方，尽管有非工作时间，但大部分的照明需求都集中在白天和晚上，因此总体的能源消耗也在 15%-25% 之间。根据相关数据显示，大型商场每年的照明电量消耗高达数百万度，这不仅为建筑运营者带来了巨大的电费负担，同时也给能源供应带来了相当大的压力，突出照明节能对建筑能耗管理的重要性^[5]。

(二) 部分照明设备运行效率低

传统的照明工具，例如白炽灯泡，其发光效果并不理想，只有 5%-10% 的电能够转换为可见光，而大部分的电能则以热量的方式散失。尽管 LED 照明正在逐渐得到广泛应用，但仍有一些建筑由于没有及时更新其设备或使用了质量较低的 LED 照明设备，这导致了照明效果并不理想，同时也增加了能源消耗。一些陈旧的写字楼中，虽然更换了 LED 灯具，但是灯的老化现象比较严重，光衰现象显著，实际发光效率远远小于额定值，为了保持照明的亮度，仅能打开更多的灯，这更进一步加剧了能耗的增加。另外，有些地方灯具功率选择过大，超出了实际照明的需要，也同样导致了能源的浪费。

(三) 控制策略不合理导致能源浪费

很多建筑智能照明系统在控制策略上都比较粗放。有些地方只是单纯地设定定时开关而没有考虑到真实的光照和人员活动的改变。以学校教室为例，课间休息或者学生退课较早的情况下，光线仍然按照事先设定的时间长点亮，导致了大量无效照明的产生。有的地下停车场使用的是固定亮度的照明设备，不考虑车流量的情况下对亮度进行动态调整，不管是否有车，照明设备一直处于全功率工作状态。部分大型商场中，各地区营业高峰时段不一，而照明系统却没有分区，分时进行调节，使得客流较小的地区也保持着高亮度的照明，能源利用率低。

(四) 系统管理维护不足增加能耗

建筑智能照明系统在管理和维护方面存在很多漏洞。一方面一些建筑缺少专业的运维人员，照明系统故障很难得到及时的检查，维修，出现故障的灯具长时间不工作或者不正常消耗电能，从而影响了整个系统的能耗。另一方面忽略了照明系统的数据监测和分析，不能根据实际的能耗进行控制策略的优化。由于某办公楼没有定

期对光照传感器进行校准,导致智能调光系统错误地判断了自然光的强度,并频繁地错误地调整人工照明,从而使能耗比正常情况提高了15%。另外,系统软件更新不及时也会使系统功能劣化,不能起到最佳的节能效果。

三、建筑智能照明系统中的能耗优化控制技术的应用

(一) 智能调光策略

智能调光技术是建筑智能照明系统能耗优化研究的核心方法,其精髓在于构建“感知—决定—实施”闭环控制系统。通过高精度光照传感器、红外/微波人体传感器、环境温湿度传感器等设备,实时采集环境数据,结合预先植入的机器学习算法或经典控制模型(如PID控制),动态计算出最适宜的灯具亮度值。PWM调光技术采用高频脉冲信号来调整占空比,从而达到0-100%的连续调光效果。这种技术具有高调光精度和无频闪的特点,特别适合于对光质量有严格要求的医疗和教育环境;0-10V调光技术是通过模拟电压信号来控制灯具的驱动电源,由于其成本低廉和易于部署的优点,它在商业综合体的大规模照明改造项目中得到了广泛的应用;DALI调光是建立在数字通信协议基础上,支持单灯寻址和分组控制,能够实现“千灯千面”个性化调光,特别适用于艺术展厅和高端酒店的调光。这些技术的协同应用,不仅能根据自然光强度实时补偿人工照明,还能依据人员行为模式(比如开会,午休时段等)自动调整光环境,使照明能耗与实际需求精准匹配。

某个位于城市CBD区域的5A级办公大楼,其总建筑面积达到了8万平方米,但其原有的照明系统的能源消耗仍然很高。智能照明改造方面,项目组利用DALI调光系统完成了整栋建筑的改造。在48间标准会议室,安装了照度传感器与红外感应模块,当会议开始时,系统自动将灯光调至500lux的明亮模式;进入投影环节后,传感器感应室内光线变昏暗,灯具亮度逐渐下降至150lux,直射屏幕灯具自动闭合。在办公区域,微波感应设备是按照工位来布置的。当检测到工作人员离开超过15分钟时,相应的照明设备的亮度会从100%下降到30%,同时也会保留基础的紧急照明功能。另外,该系统与气象数据接口连接,根据实时天气动态调节调光阈值,在晴朗天气下自然光到达300lux后开始进入节能模式;阴天将阈值调至200lux。经过改建,这座写字楼的办公区域的日均照明时间从原先的12小时减少到了8小时,年度能源消耗下降了42%,同时,员工对于光环境的满意度也提高到了92%,充分证明智能调光技术具有节能和体验优化双重价值。

(二) 分区控制策略

分区控制策略从建筑空间功能特性和人员行为模式出发,通过系统化和精细化区域划分实现照明资源精准投放和高效利用。从功能分区维度看,核心是根据空间的用途建构差异化的控制逻辑:办公区域集中于工作场景中,需要综合考虑自然光的利用和动态调光等因素才能满足长期视觉作业的需要;休息区注重氛围营造,可以使用低亮度和暖色调定时照明;走廊与楼梯等公共区域则通过感应控制,实现“人来灯灭,人走灯灭”。而人流密度分区则借助物联网传感器(例如,红外,微波,视频等监测设备)

实时捕捉人员活动轨迹,对高流量区域(比如商场的主通道,地铁的换乘厅)采用高频感应与动态调光组合,确保照明强度随人流变化动态调整;低流量区域(例如,地下仓储区,设备间等)则设置低频感应或定时关闭机制,避免能源空耗。这一“根据需要供光”的控制策略,通过缩短无效照明的持续时间和减少过度照明的情况,有助于提高建筑照明系统的能源使用效率在30%-40%之间,同时也为用户提供了更优质的光环境体验。

一个建筑面积高达15万平方米的大型商业综合体,在其照明系统的改造过程中,全方位地采用了分区控制策略。零售区域根据业态的不同进一步细分为:高展示需求的区域如化妆品专柜,利用DALI调光系统配合重点照明实现主照明和局部射灯亮度随客流密度的变化而自动调整;快消品区域则部署微波感应装置,无人时灯光维持30%亮度,顾客靠近时渐亮至80%。在餐饮区域,为了实现照明的差异化,采取了时段控制策略:在午餐和晚餐的高峰时段,将灯光的颜色和温度调整到3000K,以创造一个温馨的环境,并确保亮度保持在70%;在非营业时段只预留应急照明。停车场采用三层控制架构:入口与主干道设置常亮基础照明,次干道通过超声波传感器实现“车来灯完全亮起,车过延迟30秒钟逐渐熄灭”,当停车区域无人时,车辆的亮度会下降到10%,而当车辆进入时,亮度会自动增加到50%。经过一系列的改造,该购物中心的日均照明时间从原先的16小时减少到了10小时,年度的照明能源消耗也下降了38%。这不仅显著降低了运营维护的人力成本,还实现了节能和商业运营的双赢局面。

结语

总之,建筑智能照明系统能耗优化控制技术对降低建筑能耗和提高能源利用效率具有重要意义。智能调光,分区控制,定时控制以及自然光联动控制在各种建筑场景下都表现出明显节能效果,还能改善用户光环境体验。但目前建筑智能照明系统还面临着能耗占比高,设备效率低下,控制策略不尽合理,管理维护不到位等诸多问题。在今后的发展过程中,要不断增加能耗优化控制技术研究 and 开发的投入力度,强化对系统的管理和维护力度,促进这些技术得到广泛使用和优化升级,以期在建筑照明领域达到高效节能的目的,推动建筑行业的可持续发展。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 张胜.建筑智能化应用研究[J].智能建筑与智慧城市,2024,(S1):62-64.
- [3] 吴超.民用建筑智能消防应急照明系统设计研究[J].光源与照明,2024,(12):5-7.
- [4] 吴孝永,吴拓.公共建筑智能照明系统深化设计[J].重庆建筑,2024,23(11):81-84.
- [5] 邓兰.建筑电气工程中智能照明系统的应用研究[J].房地产世界,2024,(20):125-127.

作者简介:叶明达,1991年1月,男,汉,安徽省安庆市人,本科,工程师,研究方向:建筑电气。