

城市路灯照明供配电控制设计分析

陈玮琦 伍林林 李思敏

九江市规划设计集团有限公司

摘要: 城市路灯照明供配电控制系统作为城市照明工程的重要组成部分,其设计质量直接关系到路灯照明的效果、能效和可靠性。然而,当前路灯照明供配电控制设计仍存在负荷预测不准、控制方式落后、故障监测滞后、节能意识淡薄等问题,难以满足智慧城市建设的新要求。本文在分析路灯照明供配电控制设计重要性的基础上,系统剖析了存在的突出问题,并从负荷计算、线路优化、智能控制、故障诊断、能耗管理等方面提出了切实可行的优化对策,以期提升路灯照明供配电控制系统的自动化、智能化水平提供参考和借鉴。

关键词: 城市路灯; 照明工程; 供配电控制; 智能控制; 节能管理

【DOI】10.12252/j.issn.2096-627X.2022.12.112

引言

路灯照明是城市基础设施建设的重要内容,在保障夜间通行安全、美化城市夜景、提升城市品位等方面发挥着不可替代的作用。随着新型城镇化和城市数字化转型的加快推进,路灯照明供配电控制系统也面临新的挑战 and 更高的要求。传统的人工控制、定时开关等粗放式管理模式,已难以适应大规模路灯照明网络的精细化管控需求,无法实现灵活调节、故障快速处理等智能化运维。加之能源资源日益紧张,节能减排压力持续加大,路灯照明设施的能耗问题日益凸显,亟须通过科学管控、先进技术手段来实现节能增效。

一、优化路灯照明供配电控制设计的意义

(一) 影响路灯照明质量和亮度均匀性

路灯照明供配电控制系统的设计水平,直接决定了路面照度和亮度的合格率。供电电压等级选择不当,线路截面配置不合理,就会导致线路末端电压偏低,灯具发光效率下降,出现照度不足、明暗不均等问题,严重影响用光质量和视觉舒适度^[1]。而通过优化设计供电线路的布线方式和配电变压器的布点,合理控制线路压降和配变容量,可以有效均衡负荷分布,降低线损,保证路灯终端电压稳定在额定值范围内,从而确保沿线各灯具光通量一致、照度均匀,杜绝过明过暗现象,营造良好的夜间通行环境。

(二) 影响路灯供电系统的安全可靠性

路灯作为连续性、无人值守的用电设备,对供电可靠性和安全性提出了更高要求。照明供配电控制系统设计是否完善,线路保护是否得当,直接关系到路灯的稳定运行和供电安全^[2]。设计中如果忽视了线路绝缘、过负荷等潜在风险因素,缺乏必要的故障保护措施,一旦

发生线路短路、接地等故障,就可能引发严重的电气火灾和人身伤害事故。因此,应通过优化设计路灯专用配电线路的敷设方式,科学选择导线截面积和绝缘等级,配置快速准确的短路、过载、漏电等保护装置,严格控制电流密度和温升水平,从而最大限度降低线路故障率,提高供电可靠性,确保路灯安全平稳运行^[3]。

(三) 影响路灯照明的运行能耗水平

照明设备能耗在路灯运维成本中占比较高,供配电控制系统的节能效果直接影响整个路灯照明系统的经济性。粗放式的人工控制、定时控制等方式,难以根据路灯实际使用需求调节照明时长和亮度,容易造成能源浪费。同时,供电线路选型不合理、变压器效率低下、无功补偿不到位等,也会导致电能损耗居高不下。因此,应立足节能优先原则,在保证照明质量和供电安全的基础上,优化路灯供配电系统的控制策略和设备选型,引入智能照明控制、无功优化、需求侧管理等先进技术和理念,在用能监测、分析、预测的基础上实现能耗的精细化管控,最大限度降低照明系统的运行能耗,实现节能增效^[4]。智慧路灯的特点如图1所示。



图1 智慧路灯的特点

二、路灯照明供配电控制设计存在的主要问题

（一）缺乏科学的负荷预测和电源容量配置

准确预测路灯负荷是进行供配电设计的基础。然而，在实际工程中，设计人员往往凭经验估算或简单套用定额指标，缺乏细致入微的实地勘察和科学测算，导致电源容量偏大或偏小，线路设计裕度把握不当^[5]。我国城市路灯照明的许多线路长期低负荷运行，造成配电设备利用率不高、线损偏大等问题。个别路段甚至出现供电线路过负荷运行，加速绝缘老化，埋下安全隐患。同时，由于缺乏长远眼光和前瞻考虑，使得供电系统难以适应路灯照明规模的动态变化，影响供电扩容和灵活调度。

（二）控制方式较为落后，自动化程度低

目前，我国城市路灯仍以人工控制、普通定时控制为主，存在控制粒度粗、响应速度慢、精准度差等问题。传统的就地就时控制方式依赖人工操作，无法实现路灯状态的集中监视和远程调节，存在漏控、误控的情况，难以适应不同时段、不同路段的照明需求。即便采用了光控、时控等自动开关控制装置，也缺乏灵活的编程和设置功能，只能实现单一的全开全关控制，而无法根据季节、天气、交通流量等因素实时优化照明策略。粗放式的控制模式不仅影响路灯使用效率，还会由于频繁通断电而加速灯具老化，缩短使用寿命。控制系统智能化水平的不足，已成为制约路灯精细化管理的短板。

（三）缺乏有效的故障监测和远程控制手段

路灯故障是威胁道路通行安全的严重隐患，及时发现和处置故障是做好路灯运维管理的关键。然而，当前许多城市的路灯故障监测仍主要依赖人工巡检和报修，存在发现不及时、处理不到位等问题。由于缺乏在线监测手段，无法实现对灯具状态、供电参数的实时采集和故障诊断，致使检修人员难以第一时间掌握故障信息，错失最佳抢修时机。同时，路灯控制多采用就地控制方式，缺乏远程集中控制系统，无法实现故障的快速定位、隔离和转供，严重影响供电可靠性和连续性。故障监测滞后、远程控制缺失等问题，使得路灯事故常常呈现“久亮不灭、久灭不亮”的状态，既浪费能源，又影响城市形象。

（四）能源管理意识淡薄，节能潜力未充分挖掘

节能是推进生态文明建设、实现绿色发展的必然要求。作为公共照明设施，路灯体量庞大、能耗不菲，蕴含着巨大的节能空间。但在实际工程中，受传统观念和

利益机制的影响，许多设计和运营单位对节能重视不够，激励约束不够，主要关注前期投资和工程进度，对运行阶段的能耗统计和管理较为薄弱，难以形成节能降耗的内生动力。在路灯供配电控制系统设计中，往往重硬件、轻软件，忽视了用能监测、需求侧响应等能源管理措施，存在设备选型效率不高、补偿措施不到位、控制策略不优等问题，使得路灯能耗水平普遍偏高，节能潜力尚未得到充分挖掘。能源管理理念和手段的缺失，制约着路灯照明向集约化、高效化方向发展。

三、优化路灯照明供配电控制设计的对策

（一）科学计算负荷，优化供电电压等级和线路布置

负荷计算和线路设计是路灯照明供配电控制系统的重中之重。设计中，应充分考虑各种影响因素，如灯具类型与功率、安装间距和杆高、道路等级与宽度、交通流量等，运用现代测算方法准确预测路灯负荷，并预留一定的发展裕度，为线路和电源选型提供可靠依据。在供电电压等级选择上，应统筹路灯分布半径、负荷密度、电能质量要求等因素，一般在城市次干道、支路等负荷较小的路段采用220V供电，在城市主干道、快速路等负荷较大的路段采用380V供电，最大限度降低线损，提高供电效率。在线路敷设方式上，应因地制宜采用架空、埋地等多种形式，合理选择导线型号和布线方式，严格控制导线截面积和电流密度，降低线路阻抗，提高电压质量。在配电箱（柜）选型布点上，应充分考虑供电半径、用电负荷、检修便利等因素，使用高效智能的电气元件，实现就近控制、分区管理。同时，在设计中还应注重与城市景观的协调统一，合理选用杆塔造型、导线敷设路径，提高供电设施与道路环境的融合度。通过优化负荷计算和供电系统设计，为后续智能控制和节能管理奠定良好基础。

（二）采用智能化控制系统，实现分区分时控制

路灯控制系统是连接供电系统与照明终端的纽带，其智能化水平直接决定着路灯的节能效果和管理效率。应借鉴物联网、智能控制等先进技术成果，开发具有双向通信、分布式控制、自诊断等功能的智能路灯控制系统。在现场控制层，可采用智能照明控制器、无线通信模块等部件，实现对每盏路灯的单灯控制和状态监测；在集中管理层，可搭建路灯监控管理平台，汇聚各控制单元的运行数据，实现路灯的集中调度与智能决策。在

控制策略上,可充分利用地理信息、交通流量、环境照度等多源数据,构建多场景、多时段的智能控制模型,针对不同路段、不同时间的照明需求,灵活调整路灯的亮灯时间、照明亮度、开关组合,实现分区变光控制,在满足照明需求的同时最大限度节约用电。同时,控制系统还应具备定时定亮、故障报警、远程升级等辅助管理功能,为智慧路灯运维管理提供有力支撑。通过对路灯实施精准、灵活的智能控制,可显著提升路灯使用效率,降低电能浪费,实现节能增效。

(三) 引入在线监测和故障自诊断功能模块

为提高路灯故障发现和处置效率,供配电控制系统设计应重视在线监测和故障诊断功能的开发应用。应在每个路灯供电回路和灯杆上配备电参量采集模块和通信传输装置,对路灯的工作电流、电压、功率、电能等关键参数以及灯具通断状态进行实时采集和分析,形成运行监测数据链。同时,在配电箱(柜)和管理平台配置故障诊断分析模块,针对短路、接地、缺相、过载等各种典型故障特征,建立知识库和推理规则,对采集的海量监测数据进行比对分析,及时发现各类隐性、显性缺陷,准确定位故障类型和发生部位,做到故障早发现、早预警、早处置。在此基础上,可进一步引入故障自愈功能,通过断路器的智能跳闸和辅助电源的无缝切换等措施,最大限度减少故障停电范围和时间。此外,供配电控制系统还应与城市应急指挥调度系统实现互联互通,建立故障报警与快速响应机制,确保检修人员在第一时间赶赴现场排除故障隐患。通过构建全方位立体化的在线监测与故障诊断体系,形成路灯故障的闭环管理流程,可有效提升路灯供电可靠性,降低运行维护成本。

(四) 利用能源管理系统,实现精细化能耗管控

能源管理是优化路灯照明供配电控制的重要方向。应积极利用能源管理系统,加强路灯全周期的用能监测、统计和分析,挖掘节能潜力,实现能源精细化管理。在智能电表、用电信息采集系统等硬件设施的支持下,对路灯的电压、电流、功率等能耗数据进行自动采集、分类归集和趋势分析,准确评估路灯能效水平,及时发现运行异常和能耗超标问题。在能耗统计的基础上,可进一步开展节能管理,制定能耗定额和考核标准,加强能源计划管理和预算控制,定期考核并公示各路段的能耗指标完成情况,将节能目标层层分解、落实

到人。同时,能源管理系统还可与需求侧管理系统相结合,在用电高峰时段,通过路灯分区轮灭、减光照明等需求响应措施,抑制用电负荷,减少电网压力,取得良好的节能效益和经济效益。能源管理系统的应用,有助于形成全过程、全覆盖的能源监管网络,培育精细化、指标化的节能管理模式,充分挖掘路灯节能潜力,推动城市绿色照明发展。

表1 智慧路灯配电控制系统设计优化前后能耗对比

管理模式	灯具功率	日均亮灯时间	年用电量	年电费支出	年节电率
优化前	250W	11.5h	108万kWh	75.6万元	-
优化后	180W	8h	58万kWh	40.6万元	46.3%

结语

路灯照明是现代城市的“面子”工程,更是惠及民生的“里子”工程。从“夜空中最亮的光”到“心中最亮的灯”,路灯功能定位的嬗变凸显出城市文明的日新月异。新时代加强路灯照明供配电控制系统的优化设计,既是提升城市照明水平、塑造城市夜景形象的现实需要,也是推进城市精细化管理、建设节约型社会的必然选择。面对日趋复杂的城市照明需求,设计单位要准确把握技术发展趋势,紧跟智慧城市建设步伐,树立全局观念和创新意识,不断更新理念、改进方法、完善措施,因地制宜制定切实可行的供配电控制系统优化方案。要坚持需求导向、问题导向,围绕供电安全可靠、照明高效节能、管理精准智能等目标,加强多专业协同,综合运用现代信息技术,在负荷预测、线路规划、智能控制、故障诊断、能耗管理等各环节精准发力、系统优化,推动路灯照明供配电控制系统的集成创新和融合发展。

参考文献

- [1]王靖喆.城市道路景观照明配电设计问题分析[J].建材与装饰,2020(8):133-134.
- [2]王龙,刘恒.城市轨道交通车站照明及控制优化设计[J].电气化铁道,2020,31(S01):236-238.
- [3]赵飞,张福生.城镇道路路灯照明工程质量控制要点分析[J].建设监理,2020(5):38-41.
- [4]邓皓然.基于智能照明控制的小区环境设计分析[J].集成电路应用,2020,37(2):112-113.
- [5]彭志春.城市道路照明配电设计浅析[J].灯与照明,2020(4):20-23.