

建筑电气供电系统的节能设计

李治强

河北建设集团股份有限公司 河北保定 071000

DOI: 10.32629/ems.v8i7.21174

[摘要] 在双碳战略全面推进、建筑行业绿色转型升级的大背景下,建筑能耗管控成为建筑行业发展的主要方向,电气供电系统作为建筑能源消耗的主要载体,其运行效率直接影响建筑整体节能水平。目前大部分建筑供电系统存在能耗损耗大、设计方案保守、设备匹配度低、运维管理滞后等问题,造成大量的电能资源浪费。本文以建筑电气供电系统为研究对象,对变压器损耗、线路传输损耗、设备运行能耗、无功功率损耗、系统运维能耗五大主要能耗源进行系统分析,从系统方案构建、负荷计算与平衡优化、变压器选型设计、配电线路优化等各方面提出一套完整的节能设计策略。

[关键词] 建筑电气; 供电系统; 能耗分析; 节能设计; 负荷优化

前言

随着我国城镇化建设不断推进,建筑规模越来越大,建筑行业已经成为能源消耗和碳排放的主要领域。在以往的传统建筑电气设计中,大多以供电安全、稳定为首要考虑因素,对节能性考虑不够,存在系统架构冗余、设备容量匹配不合理、线路敷设不规范、负荷分配失衡等诸多问题,导致供电系统长期处于高损耗、低效率的运行状态,不但增加了建筑的运营成本,也阻碍了绿色建筑、低碳建筑的发展。在双碳政策导向以及绿色建筑评价标准不断完善的行业背景下,开展建筑电气供电系统节能设计研究,准确找到系统能耗的痛点,制定出有针对性的优化方案,对降低建筑能耗具有十分重要的现实意义。

1 建筑电气供电系统能耗分析

建筑电气供电系统涵盖电能接收、变换、传输、分配和终端设备用电全过程,能耗损耗存在于系统运行的各个环节。系统整体能耗分为固有设备损耗、传输线路损耗、终端运行损耗、功率损耗和运维管理附加损耗五类,各类损耗相互叠加,共同构成建筑供电系统的总能耗。精准剖析各种能耗的产生机理和特点,是开展节能优化设计的前提和基础^[1]。

1.1 变压器损耗

变压器是供电系统中最重要电能转换设备之一,是建筑电气系统中主要的能耗来源之一,设备长期运行、全天待机,能耗持续性强。空载损耗为变压器固有损耗,变压器接入电网后,无论是否带载运行,铁芯都会产生磁滞损耗和涡流损耗,损耗大小主要与变压器铁芯材质、结构设计有关,

与用电负荷无关。传统老旧变压器铁芯材质性能不好,空载损耗数值偏高,长期待机状态下会产生大量的无效能耗。

负载损耗是变压器绕组损耗,和用电负荷大小、负荷运行时长成正比。在建筑电气设计中,部分项目存在变压器容量选型过大,为预留后期用电余量,盲目选用大容量变压器,造成建筑日常运行中变压器长期处于轻载运行状态,负载率过低,绕组损耗比例大幅提高,造成严重的电能浪费。多台变压器运行时负荷分配不均,部分设备过载、部分设备轻载,也会使整体损耗增大,变压器运行效率明显下降。

1.2 线路传输损耗

配电线路是电能传输的载体,电流在线缆传输过程中会因为导体电阻产生热能损耗,即线路传输损耗,线路传输损耗是建筑供电系统最普遍的能耗来源。线路传输损耗符合焦耳定律,损耗大小同线缆电阻、传输电流、运行时间有着密切联系,而且受到线缆材质、截面尺寸、线路长度、敷设方式等设计因素的影响较大^[2]。

在传统建筑电气设计中,为了控制建设成本,部分工程会选用电阻率较高的普通线缆,且存在线缆截面选型偏小、供电半径过大、线路迂回敷设等问题。过长的传输线路会直接增大导体总电阻,线缆截面不足会导致线路载流密度过高,电流传输过程中热损耗增大。施工现场线缆接头处理不规范、接头氧化、线路敷设杂乱造成接触电阻增大等问题,都会使线路传输损耗增大。建筑供电线路全天候运行,日积月累会产生大量的电能浪费,是节能设计需要重点优化的环节。

1.3 设备运行能耗

建筑终端用电设备种类繁多,包括照明、风机、水泵、电梯、空调等动力和照明设备,是建筑电能消耗的主要终端,也是能耗管控的重点。设备运行能耗分为有效做功能耗和无效损耗能耗,无效能耗是节能优化的主要对象。一方面传统建筑多使用老旧低效的设备,照明设备光效低、能耗高,动力设备电机效率低,运行过程中自身能耗损耗大,与节能型设备相比,在同等使用工况下能耗偏高。

另一方面,由于设备运行控制不合理造成能耗浪费。大多数建筑终端设备没有智能控制,长时间空载运行、无人值守持续运行、启停频繁。公共区域照明昼夜长亮、通风水泵设备24小时不间断运行、变频设备未合理调试等造成大量的无效能耗。同时部分大功率动力设备启停没有缓冲控制,启动瞬间产生冲击电流,不但浪费电能,还会加快设备老化,间接增加运维能耗。

1.4 无功功率损耗

在建筑供电系统中,存在大量的感性负载,即变压器、电机、照明灯具、空调设备等,这些设备在运行过程中会产生大量的无功功率,从而引起无功功率损耗。无功功率不直接对外做功,但是会占用电网容量,增加线路和变压器的负荷电流,造成线路热损耗、变压器负载损耗大幅增加,降低电网功率因数,造成电能资源的间接浪费。

目前大部分传统建筑供电系统存在无功补偿缺失或者补偿不足的情况,没有配置专用无功补偿装置,或者补偿装置容量选型不合理、运行调试不到位,造成系统功率因数偏低。功率因数不达标不但会造成系统整体能耗增加,还会造成电网力率电费罚款,增加建筑运营经济成本。建筑用电负荷动态变化频繁,固定无功补偿方式不能适应负荷的波动,负荷高峰期补偿不足、低谷期过度补偿的问题,又加重了无功损耗,影响了系统的节能效果^[3]。

1.5 系统运维能耗

系统运维能耗是最容易被忽略的隐性能耗来源,主要由于运维管理不合理、设备老化失修、系统参数失衡等人为因素以及设备老化所导致。日常运维中,大多数建筑没有精细化用电管控机制,没有专业的能耗监测和调控手段,不能准确掌握各个区域、各个设备的用电情况,高能耗点位长期无人整改,无效能耗不断累积。同时电气设备长期运行会存在老化、积尘、部件磨损等问题,变压器、线路、开关设备性

能下降,运行损耗不断增大,若不及时检修更换,能耗会逐年增加。运维人员操作不规范、系统参数调试不合理、负荷调配无序、设备启停逻辑混乱等问题,会造成供电系统长期处于非最优运行状态,产生大量的额外运维能耗,从而降低系统整体的节能水平。

2 建筑供电系统整体优化节能设计

根据以上供电系统各种能耗痛点,结合建筑电气设计规范和绿色节能设计要求,从系统架构、负荷调控、设备选型、线路设计四个方面开展整体优化设计,通过系统性、全方位的设计优化,从源头降低系统能耗,提高供电系统运行效率,实现建筑电气节能、安全、经济运行的目标^[4]。

2.1 供电系统方案构建

供电系统整体方案的科学性是节能设计的基础,不合理的设计会造成后面设备、线路的节能优化效果大打折扣。系统方案构建时要严格遵守简化层级、缩短半径、分区供电、安全适配的原则,根据建筑功能布局、用电负荷等级、负荷分布特点来优化高低压配电系统架构。

首先,精简配电层级,减少电能转换、传输的中间环节,避免多级配电造成的叠加损耗,缩短电能传输路径,从源头降低线路和设备的传输损耗。

其次,实行分区供电设计,根据建筑商业区、办公区、居住区、设备机房等不同功能区的用电负荷特性、用电时段差异,划分独立配电回路,实现分区管控、分区调控,避免不同负荷相互干扰,便于精准管控各区域能耗,杜绝大范围空载、轻载能耗浪费。同时严格控制供电半径,民用建筑低压配电供电半径宜控制在合理范围内,防止远距离供电造成线路压降大、损耗高的问题。

最后,根据负荷等级配置供电方案,一级、二级负荷保证双电源供电安全,三级负荷简化供电架构,杜绝设备冗余、系统过度配置造成的能耗浪费,实现安全性与节能性的统一。

2.2 负荷计算与负荷平衡

准确的负荷计算、均衡的负荷分配,是防止设备轻载、过载运行,降低系统能耗的有效方法。

在设计阶段,要摒弃传统的保守估算方式,采用需要系数法、利用系数法等规范精准的负荷计算方法,根据建筑各个区域设备数量、功率、使用频率、同时系数,准确计算总用电负荷和分区负荷,为设备选型、线路配置提供准确的数

据支撑, 杜绝设备容量选型过大、预留冗余过多的问题。同时做好三相负荷平衡优化, 建筑低压配电系统多为三相四线制供电, 三相负荷失衡会造成中性点偏移、线路损耗增大、设备运行效率降低^[6]。设计时要合理分配各单相负荷, 使三相负荷不平衡度控制在规范允许范围内, 防止某相负荷过重, 其余相轻载。对于动态波动较大的用电负荷, 预留负荷调节空间, 后期运维动态调配负荷, 保证变压器、线路始终处于最优负载运行区间, 提高电能利用效率, 降低不均衡负荷产生的额外能耗。

2.3 变压器节能设计与选型

变压器节能设计主要从选择节能设备、准确匹配容量、合理运行方式三个方面入手。

在设备选型阶段, 需淘汰传统高损耗油浸式、老旧干式变压器, 优先选用 SCB 系列干式节能变压器、非晶合金变压器等新型节能设备。该类设备采用高导磁、低损耗的铁芯材料, 空载损耗、负载损耗远低于传统变压器, 可以有效降低设备固有的能耗, 符合现代绿色建筑节能的要求。根据精准负荷计算结果, 合理匹配变压器容量, 杜绝“大马拉小车”的轻载运行问题, 将变压器日常运行负载率控制在 40%~70% 的最优区间, 该区间内变压器综合损耗最低、运行效率最高。对大型建筑、负荷波动大的项目, 采用多台小容量变压器并联运行的方式, 根据用电负荷的峰谷变化, 灵活投切变压器, 负荷高峰期多台设备并联运行, 低谷期关停多余的设备, 避免单台变压器轻载空载运行, 最大限度地降低变压器的运行能耗。定期对变压器进行检修、调试, 改善运行参数, 保证设备长期处于高效运行状态。

2.4 配电线路节能设计

配电线路节能设计以降低线路电阻、缩短传输路径、规范敷设标准为根本, 从各个方面减少线路传输损耗。首先, 优化线缆材质选型, 选用电阻率低、导电性能好的铜芯线缆代替传统的铝芯线缆, 大幅度降低线路固有电阻, 减少电流传输热损耗。其次, 根据线路计算电流、敷设方式、传输距离、压降要求来合理选择线缆截面, 避免截面过小造成高损耗、高发热, 杜绝截面过大造成资源浪费、成本增加。再次, 在线路敷设设计上, 优化施工路径, 尽量采用直线敷设, 减少线路迂回、折返, 最大限度缩短供电线路长度, 降低线路总电阻。规范线缆接头施工工艺, 减少接头数量, 做好接头

防腐、紧固处理, 防止接触电阻增大造成的额外损耗。合理安排线路敷设间距, 防止线缆密集堆积、散热不良造成温度升高、损耗增大。全方位的线路优化设计可以有效地降低配电线路传输损耗, 提高电能传输效率, 使线路系统达到节能运行的目的。

3 结语

建筑电气供配电系统节能设计是绿色建筑建设的主要内容, 也是降低建筑运营能耗、践行双碳战略的重要手段。本文从变压器损耗、线路传输损耗、设备运行能耗、无功功率损耗、系统运维能耗五个主要的能耗来源入手, 分析建筑供配电系统能耗痛点及产生机理, 从系统方案构建、负荷计算与平衡优化、变压器节能选型、配电线路优化四个方面提出科学、系统、可落地的节能设计方案。

建筑电气供配电节能设计属于系统工程, 包含方案设计、设备选型、施工建设、运维管理等各个阶段。只有在保证供电安全、满足建筑使用功能的前提下, 通过精细化的负荷计算、科学化的系统架构优化、合理的设备和线路选型, 才能从源头上降低系统各类能耗, 提高电能利用效率。随着智能建筑、新能源技术的发展, 建筑电气节能设计将会向着智能化、精细化、低碳化方向不断升级, 用新能源耦合、智能能耗管控等新技术来提高建筑供配电系统节能水平, 为建筑行业绿色低碳高质量发展提供强有力的支撑。

[参考文献]

- [1] 刘晓, 张建森. 建筑节能在建筑电气设计中的应用[J]. 中国住宅设施, 2026, (3): 215-217.
- [2] 陈燕文. 建筑电气供配电系统的节能设计研究[J]. 科技资讯, 2025, 23(20): 115-117.
- [3] 高嘉良, 王亚平. 考虑稳定性的公共建筑供配电系统节能设计研究[J]. 电工技术, 2025, (18): 244-246.
- [4] 高晋蓉. 智能化技术在建筑电气设计中的多场景应用及优化策略[J]. 电气技术与经济, 2025, (6): 409-413.
- [5] 肖桦. 电气工程及其自动化供配电系统中节能控制技术的应用研究[J]. 中国设备工程, 2025, (7): 98-100.
- [6] 彭万里. 建筑机械设备电气工程自动化的供配电节能控制探讨[J]. 中国设备工程, 2023, (1): 227-229.
- [7] 严宝祥. 建筑电气节能设计及绿色建筑电气技术分析探讨[J]. 居业, 2022, (2): 13-15.