

绿色建筑低压配电系统节能改造技术探析

李 春

天津华汇工程建筑设计有限公司, 天津 300000

[摘要]绿色建筑低压配电系统作为建筑能源供给的核心环节,其运行效率直接影响建筑整体能耗水平与碳排放强度。当前,绿色建筑低压配电系统普遍面临设备运行损耗高、电能质量控制能力不足、用电负荷调控水平低、智能化能源管理应用不足等突出问题。文中在分析低压配电系统组成及运行特点的基础上,系统剖析了上述运行问题,并提出了高效节能配电设备应用、无功补偿与谐波治理、智能配电监测与控制、建筑用电负荷优化管理与可再生能源协同等关键技术路径。研究表明,以智能化、数字化为技术支撑,构建“设备升级-质量治理-智能管控-协同优化”四位一体的节能改造技术体系,是提升绿色建筑低压配电系统能效水平的有效路径。

[关键词]绿色建筑;低压配电系统;节能改造;电能质量;智能配电

DOI: 10.33142/ec.v9i9.20421

中图分类号: TM73

文献标识码: A

Exploration on Energy-saving Renovation Technology for Low-voltage Distribution System in Green Buildings

LI Chun

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

Abstract: As the core link of building energy supply, the low-voltage distribution system of green buildings directly affects the overall energy consumption level and carbon emission intensity of the building in terms of its operational efficiency. At present, the low-voltage distribution system of green buildings generally faces prominent problems such as high equipment operating losses, insufficient power quality control capabilities, low level of electricity load regulation, and insufficient application of intelligent energy management. Based on the analysis of the composition and operational characteristics of low-voltage distribution systems, the article systematically examines the aforementioned operational issues and proposes key technological paths such as the application of high-efficiency and energy-saving distribution equipment, reactive power compensation and harmonic control, intelligent distribution monitoring and control, optimized management of building electrical loads, and collaboration with renewable energy sources. Research has shown that building an energy-saving renovation technology system that integrates "equipment upgrade - quality governance - intelligent control - collaborative optimization" with intelligent and digital technology support is an effective way to improve the energy efficiency level of low-voltage distribution systems in green buildings.

Keywords: green building; low-voltage distribution system; energy-saving renovation; power quality; smart power distribution

引言

随着“双碳”目标不断推进,绿色建筑也成了建筑行业转型的主要方向。电气系统是建筑能耗的主要来源,节能潜力大。低压配电系统是建筑电气系统的重要部分,它把电能从高压电网安全、可靠地输送到各个用电设备上,它的运行效率直接影响到建筑整体的能耗水平。但是目前绿色建筑低压配电系统在实际运行过程中还存在着一些问题,设备选型和建筑实际负荷不匹配、变压器长期低效

运行、部分在运设备老化、能效水平低、谐波、三相不平衡等电能质量问题严重造成额外损耗,能耗监测和管理手段粗放,缺少精细化的调控能力。以上问题造成系统运行效率达不到设计要求,节能潜力没有被充分挖掘出来。在此种情形之下,对于绿色建筑低压配电系统实施全面的节能改造已然成为提升建筑能耗效率、缩减运营开支的一种行之有效的办法。本文从低压配电系统的组成和运行特点出发,对运行中出现的主要问题进行分析,并提出相应的

节能改造技术途径。

1 低压配电系统组成及运行特点

低压配电系统是由变压器、配电柜、配电线路、保护装置以及各种用电设备等组成的电能分配网络,负责把电能从建筑变配电所分配到各个用电终端。

绿色建筑低压配电系统运行有如下几个主要特点:第一,负荷种类繁多,直流负荷(LED照明、变频设备、电动汽车充电桩)所占比例越来越大。第二,运行工况复杂多变,人员活动规律、季节变化等都会造成用电负荷大幅度波动。第三,能效要求高,绿色建筑评价标准对配电系统能效指标有明确的要求。第四,可再生能源接入需求大,光伏、储能等分布式能源同建筑直接对接,使得配电系统由原来的单向供电转变为双向互动。加快构建以新能源消纳为主导、微电网、光储直柔等创新技术为主要特点的新型建筑配用电系统,实现电力低碳化、负荷柔性化、用电高效化、运维智能化,将是我国建筑行业高质量发展的主要抓手。

2 绿色建筑低压配电系统运行问题分析

2.1 配电设备运行损耗较高

配电设备运行损耗大,属于绿色建筑低压配电系统遇到的第一个难题。损耗主要是由变压器损耗和线路损耗组成的。变压器损耗分为空载损耗(铁损)和负载损耗(铜损)。工程实践当中变压器的选型大多偏大,造成负载率一直处在较低的状态,空载损耗所占比例较大,电力浪费十分严重。GB 20052-2024《电力变压器能效限定值及能效等级》于2024年4月发布,2025年2月1日起实施,国家对配电变压器的节能降耗非常重视。根据建筑用电负荷特点来选择变压器的容量,在保证其运行安全的基础上使变压器的负载率处于60%~70%的经济范围内,这是降低变压器损耗的主要途径。

线路损耗也不能小视。10kV及以下电力电缆截面应按技术条件、运行工况和经济电流的方法选择。由于大型建筑群变配电房的位置不正确、供电半径太大等造成线路损耗增大。另外配电柜内元件接触电阻造成的热损耗、三相负荷不平衡引起的中性线损耗等都会造成配电设备整体运行损耗很高。

2.2 电能质量控制能力不足

电能质量控制能力差是造成配电系统运行效率低下的又一重要影响因素。由于建筑内电力电子设备大量使用,如变频空调、LED驱动电源、开关电源、充电桩等,因此在配电系统中出现的谐波污染也变得越来越严重。采用高次谐波抑制与治理的方式,可以降低电气污染及电力系

统无功损耗并提升电能利用效率。谐波电流不但会增大线路损耗,还会造成变压器附加发热、继电保护误动作、精密设备运行异常等。线路阻抗随着频率的升高而增大,谐波电流使线路附加损耗增大,供电电网的损耗主要是由变压器和线路的损耗造成的,因此谐波是造成电网网损增加的重要因素。

无功功率补偿不足也属于电能质量控制中的重大问题。当自然功率因数偏低的时候,系统中的无功电流增大,增大了线路和变压器的损耗^[1]。传统的无功补偿方式大多采用固定电容器组就地补偿,响应速度慢、补偿精度低,不能满足负荷快速变化的需求。功率因数的改善应该采用无功自动补偿的方法。对谐波的治理要根据谐波源的不同来制定相应的治理措施。由于电能质量控制能力的欠缺,使得配电系统一直处在低功率因数、高谐波含量的状态,从而对能效造成很大的影响。

2.3 用电负荷调控水平较低

用电负荷调节水平低也是绿色建筑低压配电系统运行中出现的另一个主要问题。建筑内各种用电负荷的运行没有形成有效的协调调度机制,动态负荷匹配机制的缺失使配电系统长时间处于低效运行状态。一方面,负荷预测及需求响应能力欠缺。大多数建筑的用电管理仍然采用人工经验的方式,缺少了依靠大数据分析进行负荷预测的方法,不能根据实时的负荷变化来动态调节配电系统的工作方式。另一方面,峰谷负荷调节手段少。建筑用电负荷具有明显的峰谷差别,但是由于缺乏有效的调控手段,不能实现峰谷负荷的有效削减和转移。目前大部分建筑的空调、照明等能源设施没有得到有效控制,即使部署了数字化装备,也常常出现只监不控的现象,造成用电成本反而上升。就超高层建筑配电系统高能耗、低能效、智能化水平低这一矛盾而言,系统总结目前智能配电系统设备能效、控制逻辑等各方面的不足已经成为行业共识。

2.4 智能化能源管理应用不足

智能化能源管理应用不足属于绿色建筑低压配电系统深层的问题。虽然近些年来不少绿色建筑采用了能源管理系统,但是实际应用效果并不好。数据采集覆盖面不全也是普遍存在的现象。未设置用电分项计量的系统应根据变压器、配电回路原设置情况,合理设置分项计量监测系统;分项计量电能表应具有远传功能。各子系统之间协同性薄弱,导致系统整体能力被削弱^[2]。建筑能源管理系统建成之后缺少必要的运行维护,能耗数据虽然在平台上滚动显示出来,但是节能效果并不明显。由于智能化能源管理的应用不足,绿色建筑配电系统不

能充分发挥出它应有的节能作用。

3 绿色建筑低压配电系统节能改造关键技术

3.1 高效节能配电设备应用技术

高效节能配电设备应用为配电系统节能改造打下了基础。在变压器选型的时候,首先要选择高效的节能型变压器。GB 55015-2021《建筑节能与可再生能源利用通用规范》实施之后,按照第 3.3.1 条高于能效等级 3 级的要求,建筑新增、改造的电力变压器基本上都是满足 1、2 级能效的高能效节能变压器。对多台变压器的系统可以采用智能切换控制方式,按照实际的负荷变化情况来决定投运台数,从而达到减小空载损耗的目的。在线路方面把变配电所设在负荷中心,减小线路损耗。电力电缆截面选择是电气设计的主要内容之一,正确选择电缆截面要从技术、经济两方面考虑。对长期连续运行的负荷应选用经济电流选择电缆截面,可节省电力运行费和总费用。同时还要考虑到各种负荷的运行情况,使三相负荷尽可能地平衡,低压配电用户的负荷侧应装设三相负荷不平衡自动调节装置,三相不平衡超过 15%的配电系统应进行各相负荷的均衡调整。高效节能配电设备的使用,从本质上讲,就是减少配电系统运行中产生的损耗。

3.2 无功补偿与谐波治理技术

无功补偿和谐波治理属于改善配电系统电能质量,减小损耗的重要手段。无功补偿要合理配置无功补偿装置,当自然功率因数偏低时通过补偿提高功率因数。低压部分无功功率由低压电容器补偿,容量大、负荷平稳、经常使用的用电设备的无功功率宜就地补偿。对于三相不平衡或者采用单相配电的供配电系统,应该使用分相无功自动补偿装置。当系统谐波或者设备谐波超过谐波限值规定的时候,要对谐波源的性质、谐波参数等加以分析,有目的地采取谐波抑制和谐波治理措施。供配电系统中谐波干扰较大的地方应装设滤波装置^[3]。采用无功补偿和谐波治理技术相结合的方式可以改善配电系统的电能质量、降低无功损耗和谐波损耗,提高整个系统的能效。

3.3 智能配电监测与控制技术

智能配电监测和控制技术是实现配电系统精细化管理、提高运行效率的重要方式。智能配电系统可对建筑内能源进行监测、控制和优化,从而达到提高能源利用率、降低能源成本、减少碳排放的目的。从监测角度来说,要

对建筑内各个部分的用电情况进行分项计量,给能耗分析和节能决策提供准确的数据支持。智能配电系统可以对建筑内的各个电路、设备能源消耗进行实时监测,准确找出能源浪费的地方,并加以改进控制。控制上用智能配电终端对配电回路运行状态实施实时监测和远程控制,从而达到“监测、预警、处置”的闭环管理。通过配电数字化改造,在建筑中增设数字断路器、数字型无线检测模块,建立建筑配电监控系统、能耗管理系统,使建筑配电系统由被动的能源消费者变成新型配电系统中的主动型能源产消节点^[4]。智能配电监测与控制技术的应用,把配电系统由原来的被动运行变为现在的主动调控,给节能降耗赋予了技术支持。

3.4 建筑用电负荷优化管理与可再生能源协同技术

建筑用电负荷优化管理与可再生能源协同属于绿色建筑低压配电系统节能改造的高级形式,即从供需双方同时进行协调优化来达到能源利用效率最大化的目的。负荷优化管理就是依靠智能配电系统对建筑内部用电情况进行实时监测、管理,从而达到峰谷负荷削减和能源优化的目的。柔性直流配电技术直接给建筑内直流负荷(LED 照明、直流空调、充电桩等)供电,省去交流-直流的转换环节,避免了交直流转换过程中能量的损失,同时直流配电在供电半径、降压层级、线路损耗等方面比交流配电具有天然的优势,有利于提高配电系统的整体能效水平。动态负荷协同调控技术是在可再生能源和建筑电气系统融合运行的过程中,依靠实时监测和数据分析用智能化控制策略来达到可再生能源出力和建筑负荷需求动态匹配、优化调度的目的,进而提高能源利用效率、降低运行成本、减少碳排放、保证系统运行安全。通过建立“源-网-荷-储”协同优化运行,可以大幅度提高光伏发电的自发自用率,使绿色电力最大程度上消纳到建筑内。依靠智能控制系统对建筑可调节负荷进行实时调度,智能控制系统对建筑内的空调、照明、充电桩等可调节负荷进行分级管理、柔性控制,在用电高峰时段或者可再生能源出力不足的时候优先保证关键负荷的供电,主动削减非必要的负荷,实现建筑用能曲线的柔性调节;在可再生能源出力充足的时候,根据可再生能源出力情况动态增加储能和可调负荷的用电量,提高绿色电力的就地消纳能力。各类技术的应用场景和主要成效可以归纳为表 1。

表 1 绿色建筑低压配电系统节能改造关键技术应用场景及成效表

技术分类	应用场景	主要成效
高效节能配电设备应用技术	新建或改造建筑中的变压器选型、配电线路优化、三相负荷平衡调整	降低变压器空载损耗与线路损耗，提升配电设备运行效率
无功补偿与谐波治理技术	功率因数偏低、谐波超标的供配电系统及非线性负载集中场所	改善电能质量，降低无功损耗和谐波损耗，提高系统整体能效
智能配电监测与控制技术	建筑配电系统的能耗监测、运行状态监控与远程控制管理	实现能耗精细化管理，形成“监测—预警—处置”闭环，变被动运行为主动调控
建筑用电负荷优化管理与可再生能源协同技术	配备光伏发电、储能系统及直流负荷（LED 照明、直流空调、充电桩等）的建筑	提升光伏自发自用率与绿电就地消纳能力，削减峰值负荷，实现“源—网—荷—储”协同优化运行

4 结语

绿色建筑低压配电系统节能改造属于一项系统工程，牵涉设备更新、电能品质改善、智能管控以及可再生能源融合等诸多技术方面。本文从低压配电系统组成及运行特点入手，对目前绿色建筑配电系统设备运行损耗、电能质量控制、用电负荷调节、智能化能源管理等各方面存在的问题进行了全面的分析，并针对这些方面提出了高效节能配电设备应用、无功补偿和谐波治理、智能配电监测与控制、建筑用电负荷优化管理、可再生能源协同等技术途径。研究表明，依靠智能化、数字化的技术支持，创建起“设备更新-质量监管-智能控制-协同改善”四部分结合的节能改造技术体系，是改进绿色建筑低压配电系统能效水平的行之有效的方法。未来还要继续加强数字化、智能化技术在配电系统节能改造中应用的研究，促使配电系统由“经

验驱动”向“数据驱动”，由“被动运行”向“主动调控”转变，给绿色建筑的高质量发展赋予强大的能源支撑。

[参考文献]

- [1]刘英强.绿色建筑中电气节能设计要点分析[J].新城镇科技,2024,33(11):102-104.
- [2]李莉芳,沈飞.绿色建筑电气节能设计与能源管理系统可行性研究及解决方案[J].现代建筑电气,2021,12(1):8-12.
- [3]陈立庆.绿色建筑节能技术在建筑电气设计的研究应用[J].绿色建造与智能建筑,2023(8):27-29.
- [4]张丹丹.建筑电气节能设计及绿色建筑电气技术研究[J].房地产世界,2022(14):88-90.

作者简介：李春（1995—），女，汉族，甘肃人，工程师，天津城建大学毕业，现就职于天津华汇工程建筑设计有限公司，从事民用建筑电气设计工作。