绿色建筑中供配电系统优化设计与节能应用研究

刘家良

德州正通市政公用工程有限公司 山东 德州 253000

【摘　要】：伴随建筑领域绿色低碳转型不断深入，供配电系统是建筑能源供给的主要载体，供配电系统优化设计及节能应用直接影响到绿色建筑节能目标的实现。因此，本文以绿色建筑供配电系统的设计逻辑、优化途径、技术应用为研究对象，对系统设计的主要方向进行梳理，从负荷控制、网架布置、智能调节、能源供应等方面提出优化措施，结合主流节能技术的应用场景和效果，探究供配电系统与绿色建筑理念的深度融合方式，希望可以为同类建筑供配电系统低碳设计与改造提供实践参考。

【关键词】：绿色建筑；供配电系统；优化设计；节能技术

DOI:10.12417/2811-0536.26.10.048

引言

建筑行业的能耗和碳排放占全社会总耗能的比重一直较高，供配电系统运行效率直接影响建筑用电能耗的总体水平。绿色建筑是在建筑的全寿命周期内，最大限度地节约（节能、节地、节水、节材），保护环境和减少污染，为人们提供健康、适用和高效的使用空间，与自然和谐共生的建筑。供配电系统是绿色建筑能源供给的重要枢纽，供配电系统的设计是否合理、技术是否先进，直接决定绿色建筑节能目标能否实现。推动供配电系统优化升级，对挖掘建筑领域节能潜力、推进城乡建设绿色低碳转型具有现实意义。

1 绿色建筑中供配电系统设计导向

1.1 供需适配

从建筑用电需求的动态特点出发，供需适配是指供配电系统容量配置需要与建筑实际用电负荷相适应。绿色建筑的用电负荷包含照明、空调、动力、弱电等众多种类，不同时段、不同季节的负荷波动差别很大，设计阶段需要联系建筑的使用功能、人员活动规律、设备运行特点，经由负荷计算和模拟预估不同工况下的用电需求，防止过度配置引发的空载损耗，而且留出一定弹性余地应对未来用电需求的增长，在保证供电稳定性的同时缩减无效能耗，达成供电容量与用电需求的动态匹配。

1.2 能效优先

从全生命周期能耗控制角度出发，能效优先原则渗透到供配电系统设计中的每一个环节中。从变压器、线缆到配电装置的选型，均以能效水平作为主要评价标准，选择国家能效等级高的电气设备，改善配电线路的路径布局，减小供电半径以降低线路传输损耗。设计时同时考虑系统的调节性能，为后续节能技术的接入留有标准接口，保证系统在全生命周期内保持较高的运行效率，符合绿色建筑长期节能发展要求，达到初期投入和长期节能收益的平衡。

1.3 安全可靠

建筑用电场景具有多样性、复杂性，安全可靠是供配电系统设计不能逾越的基本条件。绿色建筑一般集光伏、储能等分布式能源于一身，供配电系统须具备对多源电能接入的适应性，还需要设置完备的继电保护及接地装置，防止短路、漏电等安全隐患的发生[1]。设计时考虑极端工况下供电的韧性，合理配置应急电源和备用回路，保证消防、安防等重要负荷的持续供电，在安全底线的基础上达到节能目的，防止为提高能效而削弱系统供电稳定性及故障抵御能力。

2 绿色建筑中供配电系统优化设计策略

2.1 分级管控负荷，优化供电匹配精度

根据绿色建筑内用电负荷不同特性，分级管控成了改善供配电系统适配性的主要手段。设计阶段先对建筑全空间的用电负荷进行系统的整理，按照负荷的重要程度、使用的时间段和能耗特性划分成不同的层次，对不同的层次分别对应不同的供电方式以及控制措施。消防系统、安防系统等一级负荷采用双电源互投供电方式，配备独立的应急供电回路，保证极端情况下供电连续性；空调系统、动力设备等二级负荷设置独立配电分区，安装独立的电能计量和调控装置，可以单独调节运行并进行能耗统计；普通照明、办公插座等三级负荷按建筑功能分区划分成多个供电单

作者简介：姓名：刘家良；性别：女；出生年份：1998.08；民族：汉；籍贯:河北省沧州市；学历：本科；职称：无；研究方向：建筑、电力。

元，每个单元设有独立的开关和计量装置。

在此基础上，根据建筑的运营作息时间制定分时供电方案，工作日工作时间段全负荷供电，夜间和节假日只保留基础运维负荷的供电回路，采用分级分时的控制方式降低空载能耗。设计时可以使用建筑能耗模拟软件，对不同季节、不同运营模式下的负荷曲线进行仿真计算，检验分级管控策略的适应性，根据负荷分级的界限和供电方案的变化，使供配电系统的能力输出与实际用电量达到动态匹配，从源头上减少由于供需失衡造成的能源浪费。

2.2 优化线路布局，控制传输过程损耗

传输损耗是供配电系统能耗的重要部分，线路布局的改善可以从物理上缩减电能输送过程中的无效损耗。设计阶段按照负荷中心原则确定配电设施的点位，将总配电房、楼层配电间设在对应供电区域内的负荷中心处，促使低压供电半径尽可能缩短，减少长距离输电造成的线缆损耗。对体量较大的绿色建筑采用分层分区配电结构，每一个功能分区均设置一个专属配电单元，防止因跨区域长距离布线而造成的损耗叠加。

在线缆选型时，根据计算的负荷确定线缆截面积和材料，尽量选用电阻率小的铜芯导体，在满足载流量和电压降的要求下，减少截面过大造成成本的浪费，也避免因截面过小而产生过高的热量损耗。线路走向设计遵循最短路径原则，减小迂回布线和交叉布线，缩短线路总长。对于单相负荷占比高的建筑场景，在提前进行三相负荷均衡分配的基础上，将照明、插座等单相负荷平均分配到三相回路中，促使三相不平衡度保持在规范允许范围内，从而降低中性线电流造成的额外损耗。此外，采用集中补偿和就地补偿相结合的无功补偿方式，在配电房设置集中无功补偿装置，在大功率用电设备端安装就地补偿装置，提高系统功率因数，减少无功电流在线路传输过程中产生的无效损耗，全方位提高供电链路的能源利用率。

2.3 搭建智能平台提升动态调控能力

建筑用电负荷的动态变化特点，对供配电系统实时调节能力提出了更高要求，智能化平台的创建可达成系统动态提升的目标[2]。设计阶段预留智能管理系统接入接口和布线基础，创建包含数据采集、分析、调控的供配电智能管理系统。在各配电回路和主要用电设备端装设智能电表和电流传感器，对电压、电流、功率因数等运行参数及各分区、各设备的能耗数据进行实时采集，并将采集到的数据传送到中央管理平台。

平台依托大数据算法剖析负荷变动的规律，自动生成最佳运行方案，在低负荷时段自动调节投入运行的变压器数目，停运空载或者轻载的变压器，防止因变压器低效运转造成的固定损耗。按照分时电价机制，系统自行安排可延时负荷的工作时段，将储热、充电等可调整负荷转移至电价低谷时段，从而降低建筑用电成本，并且促进电网移峰填谷。智能平台可与楼宇自控系统进行互通互联，对照明、空调、通风等系统的运行情况加以联动控制，依照室内人员探测、环境参数监测的数据及时调节设备用电功率，从而实现按需供电的效果。与此同时，设置能耗异常预警模块，对超出正常范围的用电回路发出预警信息，促使运维人员可及时找到能耗浪费的地方和设备故障的地方，达成持续调节供配电系统的目标，保证供配电系统的高效运转。

2.4 接入分布式源拓宽清洁供电渠道

绿色建筑的低碳属性要求供配电系统更多地采用清洁能源，分布式能源的接入可以改善能源结构。根据建筑屋面面积、朝向及光照情况，规划分布式光伏发电系统装机容量，将光伏组件产生的直流电经过逆变器转换后接入建筑低压配电系统，采用自发自用、余电上网的运行方式，优先满足建筑内照明、插座等用电负荷的需求，剩余电能并入公共电网[3]。

在配套建设电化学储能装置，在用电低谷、光伏出力不足时储存电能，在用电高峰时段释放供电，平抑负荷尖峰，提高光伏电能的就地消纳率。条件具备的建筑可接入小型风力发电、地源热泵等其他分布式能源，形成多能互补的清洁供电系统。根据分布式能源的波动特性设计相应并网保护及控制装置，设置防孤岛保护、过压过流保护等，保证分布式能源与主网共同运行的安全性。此外，建立能量调度模块，根据实时的光伏出力、储能电量、负荷需求等实时信息动态调整各种能源供电比例，优先消纳清洁能源，最大限度地减少建筑对外网火电的依赖，从能源供应的角度支持绿色建筑的低碳运行。

3 绿色建筑中供配电系统节能技术应用

3.1 高效变压器节能技术

变压器是供电系统中耗电量较大的设备，变压器运行过程中产生的损耗增加，合理使用可有效降低变压器损耗。传统硅钢片铁芯变压器空载损耗占比较大，在建筑负荷变化大、低负荷时间长时，整体能效不佳。绿色建筑供配电系统优先采用国家一级能效的节能变压器，非晶合金铁芯变压器空载损耗比传统硅钢变压器低 20%～30%，符合建筑夜间低负荷运行特点，节

能效果明显。根据建筑负荷曲线的特点，合理匹配变压器的容量和台数，防止一台变压器容量过大造成长期轻载，确保变压器运行在 50%～70%的高效负载区。与此同时，建立变压器经济运行控制逻辑，根据实时负荷数据自动调节投入运行的变压器数量，在低负荷时段停运冗余变压器，降低空载损耗的叠加，依托设备选型和运行调控的结合，充分发挥高效变压器的节能作用。

3.2 无功补偿节能技术

无功电流的传输可造成线路和变压器损耗增大，无功补偿技术利用提高系统功率因数的方式，达到节能降耗目的[4]。供配电系统内的电动机、变压器、气体放电灯等感性负载产生的无功功率为滞后无功，将会降低系统功率因数，增大线路电流及传输损耗。绿色建筑采取集中补偿和就地补偿相结合的方式，在低压配电室母线上装设集中智能无功补偿装置，根据实时检测出的系统功率因数及无功需求情况，自动调节投切电容器组，促使系统功率因数保持在 0.9 以上，减小变压器、主供电线路的无功损耗。针对中央空调水泵、风机等大功率感性设备，在设备配电端加装就地补偿单元，就地抵消设备产生的无功功率，减少无功电流在分支线路上的传输损耗。此外，结合谐波治理装置，防止电容器和系统谐波发生谐振，保证补偿装置的安全稳定运行，在提高供电质量的同时，有效降低无功电流所造成的附加能耗。

3.3 智能照明节能技术

照明能耗是建筑用电的一部分，智能照明技术按照场景需求调节照明功率，达到精确节能的目的。绿色建筑照明系统全部使用高光效 LED 光源，光效比传统荧光灯和白炽灯更高，在光源上降低基础能耗。在此基础上，建立智能照明控制系统，集光照传感、人体感应、定时调度、场景控制等功能于一体。对走廊、卫生间、楼梯间等公共区域使用人体存在感应控制，人员进入时自动开启照明，人员离开后延时熄灭，杜绝无人区长明灯浪费。对办公、会议室等有办公、会商功能的区域设置恒照度控制模式，使用光照传感器对自然光进行实时检测，根据检测结果自动调节人工照明的输出功率，窗边区域以自然光为主、人工照明为辅，节约用电。还需要设置多种场景照明模式，适应工作、会议、值班等各种不同场景照明要求，在保证照明舒适度的同时最大程度上降低照明系统运行能耗。

3.4 谐波治理节能技术

电力谐波可增大设备损耗，也会对供电质量产生影响，治理电力谐波技术能够改善电能质量，减少谐波带来的额外能耗[5]。绿色建筑中大量的变频器、LED 灯、开关电源等非线性负荷会产生各次谐波电流，造成电流波形畸变，增大变压器、线缆的发热损耗，并且干扰用电设备的正常工作。

在设计阶段按照非线性负荷分布情况，采取分级谐波治理方案，在配电房低压母线侧配置有源电力滤波器（APF），集中治理系统总谐波电流，在大功率非线性设备的配电端装设小型无源滤波装置进行就地治理。有源电力滤波器可实时检测谐波电流的频次和幅值，主动输出反向补偿电流抵消谐波，将系统总谐波畸变率控制在 5%以内，适合于负荷动态变化的情况。经过谐波治理，可削减谐波电流造成的附加发热损耗，改善供电电能品质，避免谐波对用电设备的干扰，延长设备使用寿命，达成节能和供电质量提升的双赢效果。

4 结语

综上所述，绿色建筑供配电系统优化设计及节能应用，是建筑领域低碳转型的主要途径。从设计阶段的负荷匹配、网架优化，到运行阶段的智能调节、技术应用等多方面出发，能够有效提高供配电系统能源利用率，减少建筑全生命周期用电能耗。未来，伴随分布式能源、储能技术以及智能电网的发展，供配电系统将向着多能协同、源网荷储一体化方向升级，为绿色建筑的深度低碳发展提供能源支持。

参考文献：

[1] 陈健.绿色建筑电气系统的节能设计与实践[J].城市建设,2025,(20):56-58.

[2] 刘英强.绿色建筑中电气节能设计要点分析[J].新城建科技,2024,33(11):102-104.

[3] 谢云鹏.建筑电气供配电系统节能设计研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(29):16-18.

[4] 韦帮富.绿色建筑的电气节能设计要点分析[J].电气技术与经济,2024,(6):130-131+138.

[5] 孙敏华.建筑电气节能创新设计及应用研究[J].工程机械与维修,2022,(6):79-81.