

建筑电气设计中的绿色节能策略与可持续发展路径探析

冯晓晓

河南中核五院研究设计有限公司 河南 郑州 450000

摘要：本文旨在深入探讨建筑电气设计中可应用的绿色节能策略，并在此基础上，系统性地分析其实现可持续发展的多维路径。文章首先阐述了绿色建筑电气设计的核心理念与时代必要性；其次，从供配电系统优化、高效照明系统、智能控制系统、可再生能源集成、数据中心能效提升及用户行为引导等六大维度，详细剖析了具体的技术策略与实践方法；再次，从政策法规、标准体系、技术创新、全生命周期管理及跨专业协同等层面，构建了推动建筑电气绿色化、智能化、可持续化的综合发展路径。研究表明，通过系统性整合先进技术、完善制度保障并强化全过程协同，建筑电气设计能够有效降低建筑运行能耗，减少碳排放，为实现建筑行业的高质量、可持续发展提供坚实支撑。

关键词：建筑电气设计；绿色节能；可持续发展；智能控制；可再生能源

引言

21世纪，人类面临资源环境约束。国际能源署数据显示，全球建筑运行能耗约占终端能耗30%，二氧化碳排放量占比近40%。中国城镇化加速、生活水平提升，建筑能耗成第三大能源消费领域。在此背景下，中国提出“2030年前碳达峰、2060年前碳中和”目标，为绿色转型指明方向。建筑电气系统是现代建筑功能基础，也是主要电力消耗者。传统设计重功能安全，轻能效环保与长期成本，“重建设、轻运营”模式难以为继。绿色建筑电气设计融合生态伦理、经济理性与技术创新，要求设计师从规划初期就考虑节能降碳等目标，减少全生命周期能耗与环境影响。因此，研究建筑电气绿色节能策略，探索可持续发展路径，既有理论价值，也有迫切现实意义。本文将围绕此议题展开探析。

1 绿色建筑电气设计的核心理念与时代必要性

1.1 以“被动优先、主动优化”为基本原则

这一原则强调在设计之初，应优先利用自然采光、自然通风等被动式设计手段来降低建筑的负荷需求。在此基础上，再通过高效的主动式电气系统（如LED照明、高效空调、智能控制等）进行精准调控和补充。例如，在办公建筑设计中，通过合理的建筑朝向、窗墙比设计以及高反射率的室内装修材料，可以最大化利用日光，从而显著减少白天的人工照明需求。只有当被动式手段无法完全满足需求时，才启动高效的人工照明系统。这种“先减后优”的思路，是从源头上降低能耗的根本之道。

1.2 贯彻“全生命周期成本（LCC）”理念

传统设计往往只关注初始投资成本，而忽视了建筑长达数十年的运营维护成本。绿色电气设计则采用全生

命周期成本分析法，综合考量设备采购、安装、运行、维护乃至报废回收等各阶段的费用^[1]。虽然某些高效节能设备（如一级能效变压器、高品质LED灯具）的初始投资较高，但其在整个生命周期内节省的电费和维护费用远超其溢价，最终实现经济与环境效益的双赢。

1.3 追求“以人为本”的健康与舒适

绿色节能的终极目标并非简单地限制能源使用，而是为了创造一个更健康、更舒适、更高效的人居与工作环境。优质的电气设计应能提供稳定、无频闪、色温适宜的照明，营造良好的视觉环境；通过智能新风与空调系统，保障室内空气质量；利用声光环境的协同控制，提升空间的品质感。这种以人为本的设计导向，使得节能不再是牺牲舒适度的代名词，而是提升生活品质的催化剂。

1.4 强化“系统集成与协同”思维

现代建筑是一个复杂的有机体，其各个系统之间相互关联、相互影响。绿色电气设计必须打破专业壁垒，与建筑、结构、暖通、给排水等专业进行深度协同。例如，电气设计师需要与暖通设计师共同确定空调系统的负荷，以便选择匹配的变压器容量和电缆规格；与建筑设计师沟通窗户位置和遮阳措施，以优化照明控制策略。唯有通过系统集成与协同设计，才能避免“木桶效应”，实现整体能效的最大化。

2 建筑电气设计中的核心绿色节能策略

基于上述理念，建筑电气设计可从以下六个关键维度实施具体的绿色节能策略。

2.1 供配电系统的精细化与高效化

供配电系统是建筑电气的“心脏”，其效率直接影响整体能耗。（1）负荷精准计算与变压器选型优化：据

弃经验估算和过度冗余的设计习惯，采用先进的负荷计算软件，结合建筑的实际使用模式（如分时、分区），进行动态、精准的负荷预测。在此基础上，选用低损耗、高效率的干式变压器（如SCB14、SCBH15型），并合理配置其容量和台数。例如，对于负荷变化较大的商业综合体，可采用“一大一小”或“多台小容量”的变压器组合方式，并配合自动投切装置，在低谷时段停用部分变压器，避免“大马拉小车”造成的空载损耗。

（2）无功补偿与谐波治理：大量非线性负载（如变频器、LED驱动电源、计算机等）的使用，会导致电网功率因数下降和电流谐波畸变，增加线路损耗并影响电能质量。应在变电所低压侧设置集中式或就地式的智能无功补偿装置，并针对特定谐波源（如数据中心、大型LED显示屏）配置有源滤波器（APF）或无源滤波器，确保功率因数达到0.95以上，有效降低系统损耗。（3）导体材料与缆线规格：选用高导电率、低电阻的导体材料，优先选用纯度更高的铜芯电缆，其导电性能优于普通铜缆。在满足载流量和电压降要求的前提下，采用经济电流密度法计算选择适当的电缆截面，可能会增加初期投资，但能显著降低线路的I²R损耗。

2.2 高效照明系统的全面普及与场景化设计

照明系统是除空调外的第二大耗电系统，其节能潜力巨大。（1）光源与灯具的全面升级：全面淘汰白炽灯、荧光灯等低效光源，采用高光效（> 150 lm/W）、长寿命（> 50,000小时）、高显色指数（Ra > 80）的LED光源。同时，选择配光合理、反射效率高的优质灯具，减少光损失^[2]。（2）基于自然光的智能照明控制：这是照明节能的核心。在靠窗区域、中庭、地下车库采光井等有自然光引入的地方，部署照度传感器，实时监测环境光强度。当自然光照度足够时，系统自动调暗或关闭人工照明；当自然光不足时，再按需补光。这种“日光harvesting”策略可节省高达40%-60%的照明能耗。（3）人性化与场景化控制：结合人体感应、动静探测等技术，在走廊、楼梯间、卫生间、仓库等人员流动不规律的区域，实现“人来灯亮、人走灯灭”。在会议室、多功能厅等场所，预设多种照明场景（如会议模式、演示模式、清洁模式），一键切换，既方便使用又避免能源浪费。

2.3 智能建筑能源管理系统（BEMS）的深度应用

BEMS是实现建筑精细化、智能化管理的大脑。

（1）数据采集与透明化：通过部署大量的智能电表、水表、气表以及各类传感器，对建筑内各子系统（空调、照明、电梯、水泵等）的能耗进行分项、分区域、分时

段的实时计量与监控，形成可视化的能耗地图。（2）数据分析与诊断：利用大数据分析和机器学习算法，对采集到的海量数据进行深度挖掘，识别异常能耗、发现设备故障、评估系统效率。例如，系统可以自动分析冷水机组的COP（性能系数）是否偏离正常值，从而提示运维人员进行检修。（3）优化控制与策略执行：BEMS不仅能发现问题，更能主动解决问题。它可以基于室外气象参数、室内人员密度、电价分时信息等，自动生成并执行最优的设备运行策略。例如，在电价低谷时段启动蓄冷/蓄热设备，在高峰时段释放储存的能量；或者根据预测的次日天气，提前调整建筑的预冷/预热策略。

2.4 可再生能源的本地化集成与消纳

将建筑从单纯的能源消费者转变为“产消者”（Prosumer），是实现零碳建筑的关键一步。（1）建筑光伏一体化（BIPV）：超越传统的屋顶加装光伏板模式，将光伏组件作为建筑的围护结构（如幕墙、窗户、遮阳百叶）的一部分进行一体化设计。这不仅节省了建材成本，还赋予了建筑独特的美学价值。电气设计需重点解决BIPV系统的并网接入、防逆流控制、直流微网构建等技术问题^[3]。（2）储能系统的协同配置：光伏发电具有间歇性和波动性，配置储能系统（如锂电池、液流电池）可以平抑功率波动，实现“削峰填谷”。在白天光伏发电高峰期，将多余电量储存起来；在夜间或阴天时释放，提高自发自用率，减少对电网的依赖。电气设计需统筹考虑储能系统的容量、充放电策略及其与主电网、备用电源的协调控制逻辑。

2.5 数据中心等特殊功能区的能效专项提升

对于办公楼、科研机构中的数据中心，其PUE（电能使用效率）往往是建筑整体能效的短板。（1）高密度、模块化UPS：采用模块化、高频化的UPS系统，其效率可达96%以上，远高于传统工频机。模块化设计也便于按需扩容，避免容量浪费。（2）高效制冷与气流组织：推广封闭冷/热通道、列间空调、液冷等先进技术，精准送风，减少冷量混合损失。利用AI算法对制冷系统进行全局优化，实现PUE值的持续降低。（3）服务器虚拟化与资源整合：通过IT层面的虚拟化技术，整合物理服务器资源，提高设备利用率，从源头上减少IT设备的数量和功耗。

2.6 用户行为引导与交互式节能

技术手段之外，人的因素同样至关重要。（1）能耗信息可视化展示：在公共区域设置能耗信息显示屏，实时展示建筑或楼层的能耗数据、节能成果，增强使用者的节能意识。（2）个人化节能反馈：开发手机APP或

Web端口,让租户或员工可以查看自己所在区域的能耗情况,并提供个性化的节能建议。通过设立节能竞赛、积分奖励等机制,激发用户的主动参与热情,将节能行为内化为一种自觉习惯。

3 推动建筑电气绿色可持续发展的综合路径

要将上述策略真正落地并形成良性循环,需要构建一个多维度、立体化的可持续发展路径。

3.1 完善顶层设计与政策法规体系

政府应持续完善和严格执行《绿色建筑评价标准》、《建筑节能与可再生能源利用通用规范》等强制性规范,并适时提高能效门槛。同时,出台更具吸引力的财政补贴、税收减免、绿色信贷等激励政策,降低业主采用绿色电气技术的经济门槛。推行建筑能效标识制度,让消费者在购房或租房时能清晰了解建筑的能耗水平,用市场力量推动开发商提升建筑品质。

3.2 构建开放协同的技术创新生态

鼓励产学研用深度融合,支持高校、科研院所与企业联合攻关,突破智能传感、边缘计算、高效电力电子变换等关键技术瓶颈^[4]。推动建立统一的通信协议和数据接口标准(如BACnet, Modbus, MQTT),打破不同品牌、不同系统之间的“信息孤岛”,实现真正的互联互通和数据共享,为更高层次的智能优化奠定基础。

3.3 践行全生命周期的管理理念

将绿色理念贯穿于建筑的规划、设计、施工、调试、运营、改造直至拆除的全过程。设计阶段运用BIM(建筑信息模型)技术进行多专业协同设计和能耗模拟分析,提前发现并解决潜在的能效问题。施工与调试阶段确保施工质量,特别是管线敷设、设备安装的规范性。竣工后进行全面的系统调试(Commissioning),验证所有节能控制策略是否按设计意图正确运行。运营阶段建立专业的运维团队,利用BEMS进行持续的性能监测与优化(Continuous Commissioning)。定期对设备进行维护保养,保证其始终

处于高效运行状态。改造阶段对于既有建筑,制定科学的节能改造路线图,优先实施投资回报率高的项目(如照明改造、水泵/风机变频改造)。

3.4 强化跨专业协同与全过程咨询

大力推广全过程工程咨询服务模式。由一家具备综合能力的咨询单位,在项目早期就介入,统筹协调建筑、结构、机电、景观等各专业,确保绿色目标的一致性和设计方案的整体最优。电气工程师不再是被动的“接单者”,而应成为项目绿色目标的积极倡导者和推动者。

4 结语

建筑电气设计的绿色化与可持续化是跨领域系统工程,需超越传统工程思维,秉持“被动优先、主动优化”理念,贯彻全生命周期成本观,坚持以人为本。通过在供配电等关键环节实施节能策略,辅以完善政策、开放技术生态、全周期管理及跨专业协同,建筑可变绿色低碳标杆。未来,随着人工智能等技术成熟应用,建筑电气系统将更加智能、高效,成为城市能源系统重要参与者。这条通往绿色可持续之路虽充满挑战,但环境、经济与社会效益显著,能为子孙后代留下宜居家园。建筑电气设计师正站在伟大变革前沿,肩负艰巨而光荣的使命。

参考文献

- [1]林立娘.建筑绿色低碳电气设计研究[J].科技资讯,2025,23(23):167-169.
- [2]黄育伟.绿色节能技术在民用建筑电气设计中的应用分析[J].工程建设标准化,2025,(12):113-116.
- [3]陈英杰.绿色建筑理念下电气设计的节能策略与实施效果探讨[C]//广西网络安全和信息化联合会.第十三届工程技术管理与数字化转型学术交流论文集.浙江蓝绿双城建筑设计有限公司,;2025:257-259.
- [4]陈晓云.绿色节能技术在建筑电气设计中的应用[J].城市开发,2025,(13):149-151.