

零碳理念引导下的高校教学建筑节能设计

贾俊强

中国建筑科学研究院有限公司深圳分公司 广东 深圳 518000

【摘要】：在零碳理念引导下，高校教学建筑节能设计面临建筑总体规划优化、围护结构节能、设备系统高效运行及可再生能源集成等多维挑战。通过系统分析建筑能耗结构及影响因素，结合校园空间布局、建筑朝向、体形系数、自然通风与日照优化策略，提出围护结构节能设计关键技术、建筑设备系统节能优化方案及可再生能源系统集成路径，实现建筑全生命周期节能、低碳与可持续运行，为高校绿色建筑提供理论依据与技术指导。

【关键词】：零碳理念；高校教学；建筑节能

DOI:10.12417/2811-0536.26.06.056

引言

高校教学建筑作为高能耗公共建筑的重要组成部分，其能源消耗对校园碳排放及可持续发展具有关键影响。在零碳理念的指导下，建筑节能设计不仅要求实现建筑围护性能优化与设备系统高效运行，还需统筹可再生能源集成、自然通风与日照环境改善，通过系统化、多维度设计策略实现建筑能耗与碳排放的综合控制。本文围绕高校教学建筑节能技术与设计模式创新展开研究，探索低碳、智能、可持续的建筑设计路径。

1 高校教学建筑能源消耗结构与影响因素

高校教学建筑能源消耗结构呈现出多元化与复杂化特征，其主要消耗环节包括空间采暖与空调制冷、照明系统运行、电气设备使用以及实验与教学辅助设施能耗，这些环节在不同季节、不同课程安排及不同建筑功能区中呈现显著差异。从建筑功能分区分析，教室、实验室与多功能厅因人员密度高、设备负荷大而成为能源消耗的核心区域，尤其在集中授课与实验操作期间，空调系统与照明系统的持续运行造成建筑能耗高峰，显著影响整体能源负荷曲线。能源消耗的空间分布还受到建筑朝向、体形系数、层数高度及空间布局密度的影响，建筑外围护结构的保温性能、窗墙比、遮阳设施配置等因素直接关系到采光与热负荷调节效率，从而影响空调系统的负荷大小。设备系统特性亦是影响能源消耗的重要因素，包括供暖通风与空调系统的设计效率、照明设备类型与智能控制水平、电气及信息设备的功率与使用策略等均对总能耗形成叠加作用。此外，教学活动模式、使用频率、管理策

略与维护水平同样对能源消耗产生显著影响，高峰授课密度与实验排班集中度会导致瞬时能耗上升，而管理制度不完善或维护不到位则可能造成能耗浪费。环境因素亦不可忽视，气候条件、季节变化与微气候特征影响建筑热负荷与自然采光条件，从而决定机械系统的运行需求。在此基础上，高校教学建筑能源消耗呈现出由建筑功能、围护结构性能、设备系统效率、使用管理模式及外部环境因素多维交互作用而形成的复杂结构特征，理解这一能源消耗结构及其影响因素是零碳理念引导下高校教学建筑节能设计的前提，为围护结构优化、设备系统集成、可再生能源利用及整体规划提供科学依据，同时为实现建筑全生命周期能耗控制与低碳运行目标奠定基础。

2 零碳理念下建筑总体规划

2.1 校园总体规划与低碳空间布局优化

在零碳理念引导下，高校校园总体规划应以系统节能、资源优化配置与环境友好为核心目标，通过科学的空间布局实现低碳运营与可持续发展。校园总体规划不仅包括教学楼、实验楼、图书馆、宿舍及公共服务设施的功能分区，还应充分考虑建筑间距、道路与绿地配置、交通组织与能量流动路径等多维因素，以优化建筑群整体能耗结构。低碳空间布局优化强调将高能耗功能区合理集中或分布，减少建筑内部与建筑间的热量损耗，提高自然采光利用率，并降低空调与照明系统的峰值负荷，通过功能区与能耗特征的空间协同，形成整体节能效应。在校园总体规划阶段，应结合地形地貌、气候条件及风向日照特点，科学布局建筑群体与开放空间，提升空气流动效率，增强微

气候调节能力,减少人工环境控制负荷。同时,规划应强化绿色交通体系建设与公共活动空间配置,通过步行路径、非机动车道及公共交通节点的合理布置,降低校园交通能耗对建筑能源负荷的外部影响。在空间尺度上,应实现教学、科研、生活功能的有机分区与灵活衔接,使建筑群内部形成低碳能源利用的系统网络,增强整体能源管理的可控性与效率。

2.2 建筑朝向与体形系数控制策略

建筑朝向与体形系数是高校教学建筑节能设计的重要参数,其直接关系到采光效率、热负荷分布、自然通风利用及建筑围护结构热工性能表现。在零碳理念指导下,建筑朝向策略应充分利用太阳辐射规律,优化南北向采光比例与东西向遮阳措施,实现冬季热增益最大化与夏季过热控制最小化,同时减少对人工照明与空调制冷的依赖,从而降低整体能耗。建筑体形系数控制则强调建筑体量、层数、平面布置及建筑表面积与建筑体积比的优化,通过降低围护结构暴露面积、减少热交换损失及优化通风路径,提高建筑能源利用效率。在设计过程中,应将建筑朝向、体形系数与功能分区、窗墙比、屋顶绿化及光伏系统布局进行协同考虑,形成多维度节能优化方案,从而实现建筑外部环境与室内舒适性目标的平衡。对大型教学建筑群,应在朝向和体形设计中兼顾群体遮挡效应、风环境改善及日照充足性,采用层次化体量组合和建筑单体错位布局,既满足采光与通风要求,又优化建筑群体热负荷分布。

2.3 自然通风与日照环境优化设计方法

自然通风与日照环境优化是高校教学建筑节能设计的重要技术路径,其核心在于通过建筑形态、开口设计与环境调节策略,实现空气流通与光照利用最大化,从而降低机械能耗并改善室内舒适性。自然通风设计应基于风环境模拟、微气候分析及建筑通风路径优化,通过合理布置开窗、天窗、通风井及连通空间,形成有效的横向与纵向气流通道,增强空气置换率,提高室内空气质量,同时降低空调制冷和排风系统能耗。日照环境优化则通过建筑朝向调整、遮阳设施布置及窗墙比控制,实现冬季采光热增益最大化和夏季过热防控最小化,同时结合光导管、反光板及光伏采光系统提高室内光照均匀性与自然采光利用率,减少人工照明负荷。在具体方法应用中,应运用建筑信息模型与环境模拟技术,对不同季节、不同时间段的风速、风向及太阳高度角进行精细分析,指导开口设计、遮阳系统配置及室内空间布局。

3 零碳理念引导下的高校教学建筑节能设计策略

3.1 围护结构节能设计关键技术

在零碳理念引导下,围护结构节能设计需涵盖外墙、屋顶、地板、门窗及附属遮阳设施等多类构件,重点关注围护材料的热工性能、结构层次设计与接缝密封处理,通过提高热阻系数、降低传热系数与优化热桥处理,实现建筑整体热工性能的显著提升。在外墙设计方面,应采用多层复合结构、轻质高隔热材料及保温外饰体系,兼顾隔热、防潮、耐久性及施工可行性,实现热量传导与散失的最优控制。屋顶及地板应结合屋面绿化、透气层及保温层组合,利用热惰性材料吸收日间热量并延迟室内热负荷传递,增强室内温度稳定性。门窗系统作为热量流失的主要环节,应通过高性能低辐射玻璃、断桥铝型材及密封条优化设计,提高气密性和隔热性能,并配合外遮阳板与百叶系统实现光热调节功能。在围护结构节点处理上,应重视结构连接处热桥消减与气密性优化,采用连续保温层与密封处理技术,减少局部能量损耗。围护结构节能设计还应结合建筑朝向、体形系数及自然通风策略,通过模拟分析优化围护结构各向性能分布,使建筑整体热环境性能、自然采光效率与节能效果达到最佳平衡。已有高校建筑改造案例表明,围护结构优化对节能效果具有显著贡献,例如在我国夏热冬冷地区某高校学生宿舍围护结构节能改造研究中,通过外墙增加约 164 mm 厚保温层、屋面设置 62 mm 聚氨酯保温层并采用断桥 Low-E 中空玻璃窗的组合方案,建筑整体能耗较改造前下降约 31.79%,运行阶段碳排放持续降低,显示出围护结构系统优化对教学类建筑低碳运行的关键作用;另有校园建筑围护结构被动式优化案例表明,采用 Low-E 玻璃可降低年能耗约 2.87%~5.10%,适度减少窗墙比可进一步降低约 5.05%~8.49%的能耗强度,设置外遮阳设施亦可带来约 1.04%~2.52%的能耗下降。从宏观层面看,高校建筑能耗占校园总能耗比重可达 83.2%,节能改造后整体节能率最高可达 58%,显示围护结构优化具有显著的节能潜力与现实价值。

3.2 建筑设备系统节能优化设计

建筑设备系统节能优化是高校教学建筑实现零碳目标的核心环节,其技术策略涵盖采暖、通风、空调、照明及热水系统的整体规划与高效运行设计。供暖通风与空调系统应采用高效变频机组、能量回收装置及智能控制策略,通过调节空气流量、温度设定及运行模式,实现系统负荷自适应调节,降低峰值能耗并优化运行曲线。照明系统应结合自然采光优化,采用高

效光源、照度传感器与区域控制策略,实现照明自动调节与分区管理,减少不必要的能耗。热水系统优化则通过热回收、太阳能预热及管网保温设计,降低热水供应能耗并保证使用效率。已有高校建筑节能改造实践表明,设备系统优化具有显著节能效益,例如华东地区某高校教学楼在节能改造中引入高效变频空调机组与全热交换新风系统,并结合楼宇自动化控制平台对运行时间与温度设定进行动态调节,改造后空调系统能耗下降约25%~32%,全年综合电耗降低约18%;在照明系统方面,通过全面替换LED光源并配置智能照度感应与分区控制策略,照明能耗下降约40%以上;同时,该项目利用空调冷凝热回收技术为生活热水提供预热,热水系统能耗降低约20%,建筑设备系统整体节能率达到30%左右。另有北方地区高校公共教学建筑通过建设集中能源管理平台,对空调、照明与动力设备进行实时监测与按需启停控制,实施一年后单位面积能耗由约85 kWh/(m²·a)下降至约62 kWh/(m²·a),降幅接近27%,表明设备系统在精细化运行管理条件下具有持续节能潜力。

3.3 可再生能源系统集成设计技术

光伏系统集成应考虑屋顶、立面及遮阳设施的日照条件与可用面积,通过光伏组件布局优化、倾角调整及电力管理系统设计,实现最大化光伏发电效率,并通过能量存储系统调节供电稳定性。太阳能热水系统需结合建筑热水需求与管网布局设计,通过高效集热器、热交换系统及智能控制实现全天候热能供应。地源热泵系统设计应充分利用建筑周边地下土壤热特性,通过循环管路、换热机组与温度调控策略实现供暖制冷高效转换,并与建筑自动化系统联动优化运行。

参考文献:

- [1] 董佳榕.“双碳”背景下高校节能潜力分析[J].上海节能,2025,(12):1821-1824.
- [2] 陈霄.应用型高校研究生课程“绿色建筑与节能技术”教学过程探讨[J].新课程研究,2025,(30):20-22.
- [3] 刘傲霜,李坤明.寒冷地区高校教学建筑低能耗设计研究[J].美与时代(城市版),2024,(06):4-6.
- [4] 王栋磊.气候适应视角下夏热冬暖地区高校教学建筑空间优化研究[D].哈尔滨工业大学,2024.
- [5] 张书娜.西安高校教学建筑立面改造中的光热性能优化研究[D].西安建筑科技大学,2023.
- [6] 刘璐.基于循环神经网络的某高校教学建筑运行阶段的电力碳排放预测研究[D].北京建筑大学,2023.
- [7] 刘艳峰,明慧,罗西,等.间歇供暖模式下高校教学建筑多目标排课优化研究[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2022,54(05):710-717.
- [8] 白金超.既有高校教学建筑空调能耗与可视化运维研究[D].北方工业大学,2022.

风能系统在高校建筑中可结合校园微气候与建筑群体风场分布进行合理布置,以小型风力机组为辅助能源,提高整体能源结构多样性。可再生能源系统集成设计还要求与建筑负荷、围护结构热性能及设备系统运行特性协同优化,通过能量管理平台实现能源生成、存储、使用及回馈的全生命周期调控,确保能源供应与消耗匹配最大化,减少碳排放量。在实际工程应用中,已有高校开展了多能源集成示范建设,如华北地区某高校新建教学科研综合体在设计阶段即将屋顶光伏系统、地源热泵系统与太阳能热水系统进行一体化配置,屋顶布置光伏装机容量约500 kW,年均发电量约48万 kWh,可满足建筑全年用电需求的18%~22%;同时通过地源热泵替代传统空调系统,供暖与制冷能耗较常规系统降低约30%~40%,年节约标准煤约120 t,减少二氧化碳排放约300 t;太阳能集热系统承担约60%的生活热水负荷,显著降低了电加热能耗。另有东部地区高校教学楼群采用“光伏+储能+能量管理平台”的综合模式,建筑光伏发电年产能约35万 kWh,通过储能系统实现削峰填谷,综合自发自用率达到70%以上,整体运行能耗下降约20%,可再生能源利用率显著提升。

4 结语

零碳理念引导下的高校教学建筑节能设计需在总体规划、建筑体形与朝向、围护结构优化、设备系统高效运行及可再生能源集成等方面实现系统协同,通过多维设计方法与技术集成提升建筑能效与室内环境质量。未来应进一步深化建筑全过程能耗模拟与智能控制技术应用,构建全生命周期低碳运行体系,推动高校绿色建筑可持续发展目标实现。