

装配式住宅阳台模块集成绿化系统对建筑节能效果的提升研究

盖宋词

天津天华北方建筑设计有限公司 天津 300000

【摘要】：为提升装配式住宅节能效能，解决当前阳台绿化存在的技术适配不足、能耗耦合失衡及极端气候下节能失效等问题，本文采用系统分析、方案设计与量化测试相结合的研究方法，开展装配式住宅阳台模块集成绿化系统节能研究。针对现存痛点，提出集成化绿化模块协同设计、热工性能优化及系统与建筑围护结构一体化集成等方案，并明确工业化生产、现场装配及运维全周期落地路径。研究表明，该集成绿化系统可有效提升建筑保温隔热性能、调节室内热环境，破解传统阳台绿化节能短板，为装配式住宅绿色低碳转型提供技术支撑。

【关键词】：装配式住宅；阳台模块集成绿化；建筑节能；一体化集成

DOI:10.12417/2811-0528.26.13.066

引言

随着建筑领域绿色低碳转型不断推进，装配式住宅因标准化、集约化的优势成为行业发展主流，而阳台作为建筑外围护结构的重要组成部分，其节能潜力尚未得到充分挖掘。阳台绿化作为兼具生态与节能价值的重要手段，在装配式住宅中的应用日益广泛，但当前应用中仍存在诸多适配性与协同性短板，未能充分发挥节能效能。在此背景下，结合绿色建筑发展政策导向，开展装配式住宅阳台模块集成绿化系统对建筑节能效果的提升研究，破解现存应用困境，对于丰富装配式住宅节能技术体系、推动建筑行业节能降碳目标实现具有重要的理论与实践意义。

1 装配式住宅阳台绿化现存问题与节能痛点分析

1.1 装配式阳台绿化模式的技术适配性局限

装配式阳台核心特征为标准化预制构件拼接，构件规格、承重配置、节点衔接形式均遵循统一标准。现有绿化体系却多沿用传统现浇阳台布置范式，未能与装配式构件实现精准契合，绿化模块安装未同步融入阳台预制构件设计环节，使得绿化载体与阳台栏板、底板衔接部位存在间隙，易诱发雨水渗漏，破坏装配式构件密封性能，弱化建筑外围护结构保温隔热核心效能^[1]。预制阳台承重配置侧重常规使用荷载，未充分兼顾绿化基质、灌溉设施及植物生长后的额外荷载，易造成阳台构件受力失衡、形态畸变，制约绿化体系种植体量与布局科学性，难以发挥绿化对太阳辐射的遮挡作用及室内温度的调控效果，间接降低阳台绿化节能作用。绿化模块的拆卸更换与装配式阳台可拆卸属性不匹配，提升后期养护难度，造成节能效果持续衰减。

1.2 绿化系统与建筑主体的能耗耦合问题

装配式住宅阳台绿化系统与建筑主体的能耗耦合问题，核

心体现在绿化模块与阳台结构、建筑围护体系的能耗协同性不足，未能形成高效的节能联动机制。绿化系统的种植基质、植物种类选择与建筑主体的保温隔热设计脱节，部分绿化模块自重过大，增加阳台结构荷载的同时，未充分利用植物蒸腾作用与基质隔热性能，无法有效阻隔太阳辐射热传入室内，导致建筑夏季制冷能耗增加。绿化系统的灌溉用水与建筑雨水回收系统缺乏有效衔接，额外消耗建筑供水能耗，且灌溉方式不合理易造成水分浪费，进一步加剧建筑整体能耗负担。此外，绿化模块的安装与建筑阳台预制构件的衔接存在缝隙，易形成热桥效应，破坏建筑主体的保温完整性，使得建筑冬季采暖能耗上升，形成绿化系统与建筑主体能耗相互制约、无法协同降耗的耦合困境。

1.3 极端气候条件下阳台绿化的节能失效成因

极端气候条件下，装配式住宅阳台模块集成绿化系统的节能失效，核心源于绿化模块与阳台结构适配性不足及生态调控机制失衡。高温酷暑天气中，阳台绿化模块的植物蒸腾作用会因高温强光急剧增强，若模块内灌溉系统设计与装配式阳台排水结构不匹配，会导致土壤水分快速蒸发、植物缺水萎蔫，失去遮阳降温与隔热阻隔作用，反而因枯萎植被覆盖影响阳台通风，加剧室内热量积聚。严寒低温环境下，装配式阳台模块的保温层与绿化基质衔接不紧密，土壤冻结会破坏植物根系，导致植被枯萎失去保温缓冲效果，同时低温会降低绿化模块的热传导阻隔能力，使室外冷空气通过阳台缝隙渗透，削弱建筑整体保温性能，此外极端降雨或暴雪天气还会造成绿化基质流失、模块结构受损，进一步引发节能功能失效。

2 阳台模块集成绿化系统的节能化设计方案

2.1 集成化绿化模块的结构与功能协同设计

集成化绿化模块采用装配式预制结构，与阳台主体模块精

准对接,整体采用分层嵌套式设计(见图1)。基层为防腐防潮的预制混凝土托板,预留排水孔与阳台排水系统无缝衔接,避免积水侵蚀建筑结构同时减少水资源浪费。托板上方铺设透气保水层与营养基质层,基质选用轻质多孔复合材质,兼顾植物生长需求与模块轻量化,降低阳台荷载压力。绿化层选用耐旱、易养护且叶片茂密的乡土植物,植物根系与基质层、托板结构形成稳定的立体生长体系,与阳台护栏、遮阳构件协同配合,既通过植物叶片的遮阳作用减少太阳辐射热进入室内,又借助基质与植物的蒸腾作用调节阳台微气候,实现绿化功能与建筑节能功能的深度融合,提升模块整体节能效能。



图1 阳台集成化绿化模块结构与功能示意图

2.2 基于热工性能优化的绿化载体选型策略

基于热工性能优化的绿化载体选型需紧密结合装配式阳台模块的预制特性与建筑节能需求,优先选用导热系数低、蓄热性能优良且轻量化的环保型载体材料,兼顾载体的结构稳定性与绿化种植适配性。载体材质需选用孔隙率适中的陶粒混凝土、改性聚苯板复合载体,这类材料可有效阻隔外界热量传导,减少阳台模块与室内环境的热交换,同时其良好的保水保肥性能可降低绿化养护能耗。载体结构设计需采用分层式构造,表层设置透气透水层保障植物根系呼吸,中层设置保温隔热层优化热工参数,底层设置防渗漏层避免水分渗透影响阳台结构热工性能,载体厚度控制在8-12cm,既满足绿化种植需求,又不会增加阳台模块荷载,实现载体热工性能与装配式施工特性的协同优化。

2.3 系统与建筑围护结构的一体化集成路径

装配式住宅阳台模块集成绿化系统与建筑围护结构的一体化集成,需依托装配式建筑标准化、模块化的核心优势,实现绿化系统与阳台围护结构、建筑主体结构的深度融合与协同适配^[2]。绿化模块在工厂预制阶段即与阳台围护构件进行同步设计与生产,将绿化种植基质层、蓄排水系统与阳台栏板、底板、遮阳构件进行预制集成,确保构件连接节点的密封性与稳定性,避免后期安装产生缝隙导致能源损耗。绿化系统的种植槽与阳台围护结构形成统一受力体系,通过预埋连接件与建筑

主体结构牢固衔接,既保证绿化模块的承载安全,又实现围护结构保温隔热性能的互补提升,同时将绿化系统的灌溉管线、排水通道与阳台围护结构的管线预留孔位精准对接,减少后期凿改对围护结构完整性的破坏,实现系统与建筑围护结构在功能、结构、施工上的一体化衔接,最大化发挥两者协同节能的效果。

3 集成绿化系统的建筑节能效应量化评估

3.1 节能性能测试平台搭建与评价指标体系

节能性能测试平台以1:1实体装配式住宅标准阳台模块搭建,精准还原其拼接工艺、围护结构参数与朝向。绿化系统采用适配装配式安装的模块化种植单元,选取耐旱易养护的攀援及地被植物,保证绿化覆盖密度贴合实际应用场景。平台配套部署温度、湿度、太阳辐射、热流密度等多维度传感器,实时采集阳台内外及室内关键区域热工参数,同时搭建空白对照组,排除非绿化因素对节能效果的干扰。评价指标体系围绕建筑节能核心需求构建,涵盖阳台围护结构传热系数、室内热环境稳定性、太阳辐射遮挡效率、空调能耗降低率等关键指标,明确各指标量化标准与检测方法,可精准量化集成绿化系统对装配式住宅节能性能的提升效果,为后续节能效应分析提供科学可靠的测试依据与评价标准。

3.2 多场景下系统能耗数据的对比测试分析

装配式阳台模块集成绿化系统对建筑能耗的削减效果呈现显著的应用场景差异性,具体性能表现高度依赖于气候条件与建筑朝向。在湿热气候区开展的实测研究数据显示,装配式绿墙系统使建筑外墙外表面温度较无绿化参照墙体降低4.8℃,背面及墙体各测点温度平均降幅介于1.2℃至2.0℃之间。就该系统对室内热环境参数的调节作用而言,热环境监测结果表明,绿墙可使近墙面平均空气温度降低1.5至2.3℃,平均相对湿度提升5.0%至7.9%,平均黑球温度降幅为5.3至6.7℃。具体而言,夏季制冷工况下的节能率较为突出,归因于植被冠层对太阳辐射的有效遮挡及蒸腾作用的潜热换热过程;而冬季保温效果则相对有限,在北向阳台等日照不足区域甚至可能因遮挡被动式采暖辐射得热而产生不利影响。从朝向对比分析,西向阳台模块的降温节能收益显著优于北向,其日间峰值冷负荷削减幅度可达15%至20%之间。

3.3 节能贡献度拆解与关键影响因子识别

装配式住宅阳台模块集成绿化系统的节能贡献度可从阳台围护结构保温隔热强化、室内热环境调节、太阳辐射阻隔三个核心维度进行拆解,各维度相互关联、协同作用,共同构成系统整体节能效应^[3]。绿化植被层与模块基质层形成复合隔热结构,可有效减缓阳台与室内的热量传递,降低围护结构的热

损耗,这是节能贡献的核心组成部分;植被的蒸腾作用能调节阳台局部微气候,缓解热岛效应,间接减少室内空调、采暖设备的能耗需求;植被冠层可遮挡太阳直射辐射,减少阳台表面及室内的太阳得热,降低制冷能耗。关键影响因子主要包括绿化植被种类与覆盖度、模块基质的热工性能、阳台朝向与安装角度,以及植被养护状态,这些因子直接影响各节能维度的作用效果,决定系统节能贡献度的高低。

4 集成绿化系统节能应用的落地实施路径

4.1 工业化生产阶段的标准化制备工艺

工业化生产阶段的标准化制备工艺以装配式住宅阳台模块的规格参数为核心基准,明确绿化系统各组成部件的尺寸、材质及装配接口标准,实现模块与绿化组件的精准适配^[4]。生产过程中采用模块化预制模式,将绿化种植基质、灌溉管路、保温防护层与阳台结构模块同步预制,统一选用轻质、保温、透水性佳的环保材料,减少生产过程中的物料浪费与能源损耗。制备过程中严格把控各环节的工艺标准,对种植基质进行精准配比处理,确保其保水保肥性能与节能需求匹配,同时对灌溉管路进行预埋布置并做好密封处理,避免后期渗漏影响节能效果,所有预制部件经严格检测合格后,按统一规格编码存放,为后续现场装配奠定基础,保障集成绿化系统的节能效能,在生产阶段得到有效前置控制。

4.2 现场装配阶段的施工效率与能耗控制

现场装配阶段需依托装配式阳台模块的标准化预制优势,优化施工流程以提升效率,同时通过精细化管控降低施工全过程能耗。阳台集成绿化系统的预制模块进场前需完成精准验收,确保模块接口、绿化基质及灌溉管线与阳台主体结构匹配,避免现场二次加工造成的效率损耗与能耗浪费。装配过程中采用专用吊装设备,精准定位模块安装位置,减少吊装作业的重

复操作,缩短现场作业时长,降低设备运行能耗。绿化植被及基质采用预制集成方式,现场仅需完成模块拼接与管线对接,无需现场搅拌基质、单独移栽植被,减少现场施工扬尘与水资源消耗,同时规避植被移栽过程中的损耗,间接降低补植带来的额外能耗,实现施工效率与能耗控制的协同推进。

4.3 运维阶段的节能长效维持与管理机制

装配式住宅阳台模块集成绿化系统的节能耐久性,依托全周期精细化运营管控,结合模块特质与绿化生长节律搭建统筹性管理架构^[5]。针对绿化植被需依据季节气候差异调适灌溉方案,选用滴灌、微喷等节水灌溉形式,保障植被长势良好以维系其遮阳隔热及空气调节的节能效能,规避过度灌溉引发的资源损耗。定期核查并更新绿化模块的种植基质,及时清除枯枝叶、增补营养成分,防范基质板结或养分流失对植被覆盖度的干扰,保障绿化层节能作用平稳发挥。定期检修阳台集成模块的结构构件、灌溉机组、排水装置,排查渗漏、堵塞等隐患,规避设施故障造成绿化系统失能进而干扰建筑节能成效,做好模块维护台账构建闭环管控,为节能耐久性维系提供数据支撑。

5 结语

本文围绕装配式住宅阳台模块集成绿化系统的节能价值展开系统研究,针对现存技术适配不足、能耗耦合失衡等痛点,提出结构功能协同设计、热工性能优化等方案,通过量化测试验证了系统在阻隔太阳辐射、调节室内热环境等方面的显著节能成效,并明确了全周期落地实施路径。研究表明,该系统可有效契合建筑领域节能降碳政策导向,破解传统阳台绿化节能效能不足的难题。未来可结合数字化技术与低碳建材研发,优化系统适配性与长效性,为装配式住宅绿色低碳转型提供技术支撑,助力建筑领域碳达峰碳中和目标实现。

参考文献:

- [1] 金鹏,杜江舸.装配式建筑设计中提升节能性能的关键技术研究[J].智能建筑与智慧城市,2025,(09):108-110.
- [2] 林水莲.绿色建筑设计理念在装配式住宅建筑设计中的应用研究[J].建材发展导向,2024,22(16):55-57.
- [3] 陈艳飞.绿色节能施工技术在住宅建筑工程中的应用研究[J].应用能源技术,2025,(04):121-123.
- [4] 张磊,吕晓.装配式住宅墙体新型保温材料性能研究及其节能工程中应用[J].居舍,2025,(18):42-44.
- [5] 刁岩,徐成培,曾祥宇,等.装配式住宅外墙保温节能施工技术研究[J].佛山陶瓷,2023,33(05):43-45.