

高层住宅建筑设计中的绿色建筑设计的探讨

潘璐

北京炎黄联合国际工程设计有限公司天津河北分公司, 天津 300000

[摘要] 在全球气候危机与城市化进程加速的双重背景下, 绿色建筑理念成为高层住宅设计转型的核心驱动力。通过系统性整合被动式设计、主动式节能技术、水资源循环体系及低碳建造工艺, 构建“四维协同”绿色技术框架, 破解高层住宅“高密度-高能耗-低韧性”的发展困局。被动式策略使太阳辐射得热降低 25%~30%, 自然通风效率提升 50%; 主动式技术集成(光伏幕墙、地源热泵)实现能源自给率 35%~50%, 综合能效比(COP)达 4.8; 水资源循环体系节水率提升至 45%~60%; 低碳建造工艺(再生混凝土、装配式钢结构)降低隐含碳排放 55%~70%。以上海建科中心等标杆项目为例, 全生命周期碳排放下降 45%~60%, 室内环境质量达标率超 85%, 并构建社区级气候韧性网络。进一步揭示数字孪生优化可降低技术经济性阈值 15%~20%, 用户行为干预提升能效 12%-18%。成果为“双碳”目标下的城市更新提供了兼具技术经济性与生态韧性的解决方案, 形成可复制的绿色建筑实践范式。

[关键词] 高层住宅; 建筑设计; 绿色建筑

DOI: 10.33142/aem.v7i4.16370

中图分类号: TU972

文献标识码: A

Exploration on Green Building Design in high-rise Residential Building Design

PAN Lu

Tianjin Hebei of Branch Beijing Yanhuang United International Engineering Design Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

Abstract: Against the dual backdrop of global climate crisis and accelerated urbanization, the concept of green buildings has become the core driving force for the transformation of high-rise residential design. By systematically integrating passive design, active energy-saving technology, water resource circulation system, and low-carbon construction technology, a "four-dimensional collaborative" green technology framework is constructed to solve the development dilemma of "high-density high energy consumption low resilience" in high-rise residential buildings. The passive strategy reduces solar radiation heat by 25% -30% and increases natural ventilation efficiency by 50%; Active technology integration (photovoltaic curtain wall, ground source heat pump) achieves energy self-sufficiency rate of 35% ~50%, with a comprehensive energy efficiency ratio (COP) of 4.8; The water-saving rate of the water resource cycle system has been increased to 45% ~60%; Low carbon construction processes (recycled concrete, prefabricated steel structures) reduce implicit carbon emissions by 55% ~70%. Taking benchmark projects such as Shanghai Jianke Center as an example, the carbon emissions throughout the entire lifecycle have decreased by 45% ~60%, the indoor environmental quality compliance rate has exceeded 85%, and a community level climate resilience network has been constructed. Further revealing that digital twin optimization can reduce the technical and economic threshold by 15% ~20%, and user behavior intervention can improve energy efficiency by 12% -18%. The achievement provides a solution that combines technical and economic feasibility with ecological resilience for urban renewal under the "dual carbon" goal, forming a replicable green building practice paradigm.

Keywords: high-rise residential buildings; architectural design; green building design

引言

全球气候危机与城市化进程加速, 迫使高层住宅从“资源消耗节点”向“生态价值枢纽”转型。传统建筑模式面临高能耗、低韧性及健康风险, 与碳中和目标形成尖锐矛盾。绿色建筑通过被动式设计、主动式技术与低碳建造的协同创新, 为高密度城市提供可持续解决方案。然而, 技术碎片化、经济性不足与用户行为适配缺失制约其规模化应用。

聚焦高层住宅绿色设计的核心矛盾, 构建“四维技术体系”, 旨在突破“高密度-高能耗”路径依赖, 为全球城市可持续发展提供新范式。

1 绿色建筑的定义与核心原则

绿色建筑是以生态与人文的共生关系为核心, 通过系统性整合环境保护、资源集约与人文关怀的设计理念, 构建建筑全生命周期内低碳、健康且可持续的实践体系。本质在于突破传统建筑对自然资源的单向索取模式, 转而以现代科技为支撑, 如被动式设计优化、可再生能源系统集成及智能化管理工具, 实现建筑与场地微气候的协同共生, 最大限度降低能源消耗与碳排放, 这一理念强调“以人为本”的设计哲学, 不仅关注物理环境的节能节水效率, 更注重空间功能与使用者健康需求的深度契合, 例如通过自然采光与通风的精细化调控提升室内环境质量, 或采用低

挥发性建材减少对人体健康的潜在威胁。在高层住宅领域,绿色建筑原则的实践需直面垂直空间集约化带来的技术挑战,例如通过立体绿化界面调节微环境热工性能,或利用建筑体量自身形变适应风环境与日照轨迹,最终在人工环境与自然生态系统之间构建动态平衡,使技术干预成为修复生态链的媒介而非对立面,真正实现“返璞归真”的人居理想。

2 高层住宅建筑设计中绿色建筑设计的运用价值

2.1 减少碳排放与能源需求

绿色建筑通过系统性整合被动式策略与主动式技术,显著降低高层住宅全生命周期的能源消耗与碳排放强度。在被动式设计层面,建筑形体与立面形态的优化可减少 20%~30% 的太阳辐射得热,结合双层呼吸式幕墙与可调节遮阳系统,实现室内外热能动态平衡,降低空调负荷;自然通风与采光设计的精细化模拟,则通过风压通风路径优化与导光管技术,分别减少机械通风能耗 40% 以上及人工照明需求 60%。主动式技术层面,光伏一体化幕墙与垂直轴风力发电装置的协同应用,可将建筑自身能源自给率提升至 35%~50%,而地源热泵与辐射供冷系统的全年综合能效比(COP)达 4.5 以上,较传统空调系统节能 50%。此外,雨水收集-中水回用系统与厨余垃圾沼气化技术的集成,进一步减少市政能源依赖,使高层住宅单位面积年碳排放量较基准建筑下降 45%~60%。此类技术集群不仅重构了建筑从建造到拆除的能源代谢模式,更通过智能微电网与区块链能源交易平台,推动社区级能源自治与碳交易闭环,为高密度城市低碳转型提供可量化的技术路径。

2.2 提升人居健康舒适性

绿色建筑通过多维环境参数的精准调控,重构了人居健康与建筑性能的共生关系。在空气质量维度,采用低挥发性有机化合物(VOC)建材与双层置换式新风系统,结合光催化氧化模块的嵌入式设计,可将室内 PM2.5 浓度稳定控制在 $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下,甲醛释放量低于 $0.03\text{mg}/\text{m}^3$,较传统住宅降低 60% 以上。自然采光优化方面,通过导光管与反光板组合系统,使室内深层空间自然光照度提升至 300lx 以上,配合人体生物节律自适应调光装置,将眩光指数 UGR 控制在 19 以内,显著缓解视觉疲劳与昼夜节律紊乱风险。温湿度动态平衡则依托辐射供冷地板与溶液调湿新风系统的协同运作,实现全年 80% 时段室内温度波动 $\leq \pm 2^\circ\text{C}$ 、相对湿度稳定于 40%~60%,配合热回收效率达 75% 的新风系统,既避免传统空调的“吹风感”不适,又阻断了霉菌滋生链。此外,声环境设计中运用的双层中空 Low-E 玻璃与垂直绿化降噪墙,可使交通噪声衰减量达 25dB(A),配合弹性隔振地板系统,将室内噪声级控制在 35dB(A) 以下,构建“声景疗愈”式居住空间。此类技

术集群不仅突破了传统建筑“健康-能耗”的二元对立,更通过环境参数的数字化监控平台,使居住者实时掌握 CO₂ 浓度、PM2.5 等 12 项健康指标,重新定义了“以人为本”的绿色人居范式。

2.3 促进社区生态韧性

绿色建筑设计通过系统性生态修复与社区功能重组,构建了高密度城区抵御气候风险的韧性网络。在海绵城市技术框架下,透水铺装率提升至 75% 以上可使地表径流系数降低至 0.3 以下,配合下沉式绿地与生物滞留池的协同设计,使社区年雨水滞蓄量达到降水量的 40%~60%,显著缓解内涝风险。垂直绿化体系与生态跳岛的立体布局,不仅将建筑立面碳汇能力提升 25%,更通过传粉昆虫廊道与本土植物群落重构,使区域生物多样性指数提高 30%。社区级雨水花园与人工湿地系统的集成,将暴雨峰值径流量削减 55% 的同时,创造兼具游憩与净化功能的弹性空间,使极端天气下的社区断电率下降 22%。此外,基于物联网的微气候调节系统,通过屋顶光伏板角度自适应调整与雾炮降温装置的联动,在热浪期间可使社区热岛强度降低 3~5 $^\circ\text{C}$,配合社区应急避难场所的太阳能储能供电体系,实现灾害响应效率提升 40%。此类技术集群突破传统“灰色基础设施”局限,通过生态-技术-社会的三元耦合,使社区具备气候适应性、资源循环力与灾害韧性三位一体的可持续发展基因,重新定义了高密度城市人居环境的安全边界。

3 高层住宅绿色建筑设计策略

3.1 被动式设计优先策略

被动式设计通过建筑本体性能的优化与场地环境协同,构建低能耗、高舒适度的可持续空间范式。在建筑形态层面,采用南北向布局与梯形退台设计,可将太阳辐射得热降低 25%~30%,配合 Low-E 玻璃幕墙与 30 $^\circ$ 可调遮阳百叶系统,使夏季太阳辐射透过率控制在 15% 以内,冬季则提升至 65% 以上,实现动态热工调节。自然通风系统通过风压路径模拟重构,将建筑中庭设计为拔风井道,结合可开启窗洞面积占比达 40% 的立面布局,在过渡季节可使自然通风效率提升 50%,减少空调负荷约 40%。自然采光方面,采用导光管与反光板组合系统,将中庭深层空间平均照度提升至 350lx 以上,配合光感自适应调光窗帘,使人工照明能耗下降 65%。热工性能优化则依托双层架空地板与相变蓄热墙体技术,结合屋顶 150mm 厚真空绝热板,可将建筑整体传热系数(U 值)降至 $0.35\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,配合夜间通风蓄冷策略,使空调峰值负荷削减 30%^[1]。此外,立体绿化体系通过攀缘植物覆盖率达 60% 的生态幕墙,不仅将建筑表面温度降低 8~12 $^\circ\text{C}$,更通过蒸腾作用调节微环境湿度至 45%~60%,形成“气候缓冲层”。此类被动式技术集群突破传统节能边

界,使高层住宅全年单位面积能耗较基准建筑下降42%~55%,同时将室内热舒适度(PMV指数)提升至-0.5至0.5的理想区间达85%以上,重新定义了高密度城市建筑的低碳生存范式。

3.2 主动式节能技术应用

主动式节能技术通过智能化系统与高效率设备的协同运作,重构建筑能源代谢路径,实现精准能耗控制与能源价值最大化。在能源生产端,光伏一体化幕墙与垂直轴风力发电装置的集成设计,可使建筑表面光伏组件转换效率达22%以上,配合最大功率点跟踪(MPPT)技术,全年光伏发电量满足建筑用电需求的35%~50%;地源热泵系统通过双U型PE管换热器与溶液调湿新风系统的耦合,全年综合能效比(COP)稳定在4.8~5.2区间,较传统空调系统节能55%~60%。能源输配环节采用直流微电网与储能铅碳电池的智能调配,结合需求响应算法,使区域能源传输损耗率从8%降至3%以下,同时通过相变蓄热地板与冰蓄冷系统的协同,实现谷电利用率提升70%^[2]。终端用能设备层面,搭载AI算法的辐射供冷地板系统,可根据人体热舒适度动态调节供水温度,配合磁悬浮变频离心机组,使空调系统全年综合能效提升40%;而基于LoRa物联网的智能照明系统,通过照度自适应调节与人体感应分区控制,将公共区域照明能耗降低65%。此外,建筑一体化储能墙板集成相变材料与锂离子电池模块,在实现墙体热惰性提升的同时,储存多余电能,使建筑能源自给率突破45%。此类技术集群通过“源-网-荷-储”全链条优化,使高层住宅单位面积年能耗较传统建筑下降38%~52%,同时将可再生能源利用率提升至60%以上,标志着建筑从能源消费者向“微电网节点”的范式转型。

3.3 水资源循环利用设计

水资源循环利用设计通过分级处理、智能调配与生态仿生技术的深度融合,重构建筑水系统代谢路径,实现全生命周期水足迹的深度管控。在雨水收集层面,采用虹吸式屋面排水系统与透水铺装协同收集,配合模块化雨水净化设备(过滤精度0.1μm,UV消毒效率99.9%),可将雨水回收率提升至65%~80%,满足景观灌溉与道路冲洗需求。中水回用系统通过MBR膜生物反应器与紫外线消毒工艺的集成,将生活污水净化至《城市污水再生利用水质标准》(GB/T 18920-2020)的杂用水标准,实现冲厕与绿化用水替代率40%~50%,年节水效益达35~50m³/户。生态仿生技术层面,生态跳岛与植草沟构成的雨水花园系统,通过本土植物根系强化土壤渗透率至85%以上,使暴雨峰值径流削减60%,同时通过蚯蚓生物滤池将氮磷去除率提升至75%。智能监测系统通过物联网传感器实时追踪COD、浊度等12项水质指标,结合数字孪生平台动态优化水泵

变频参数,使输配水管网漏损率从15%降至5%以下。此外,空气取水装置(露点冷凝效率0.3L/m²·h)与灰水余热回收系统的协同应用,进一步将建筑单位面积年耗水量降至2.8L/m²·d,较传统住宅节水45%~60%。此类技术集群不仅突破“末端治理”局限,更通过水-能-碳耦合调控,使社区水资源自给率突破70%,为高密度城市水安全提供弹性解决方案。

3.4 低碳材料与工业化建造

低碳材料与工业化建造通过材料创新与建造工艺革新,重构建筑全生命周期碳足迹与资源效率,实现“结构-功能-环境”的协同优化。在材料选择层面,再生骨料混凝土(掺量30%~50%)的应用可使单位体积碳排放降低30%~50%,配合高炉矿渣微粉与硅灰的复合掺合技术,抗压强度提升15%且耐久性延长20年;交叉层压木结构(CLT)的规模化应用,以每立方米木材固碳约1吨的特性,替代传统混凝土结构可减少隐含碳排放40%~60%,其轻质高强特性更使基础荷载降低25%,地震响应显著弱化^[3]。工业化建造方面,装配式钢结构体系(PC率≥70%)通过标准化预制构件与模块化单元拼装,使现场湿作业量减少70%,施工周期缩短40%,建筑垃圾产生量较现浇工艺下降85%;基于BIM的管线综合技术,将机电管线碰撞率从8%降至0.5%以下,配合装配式装修系统(如整体卫浴、集成墙板),实现装修工期压缩至7天/层。连接技术创新则聚焦干式装配工艺,如装配式混凝土结构的钢筋套筒灌浆连接(灌浆饱满度≥95%)与钢结构螺栓节点(预紧力误差≤3%),在保证抗震性能(设防烈度8度)的同时,现场焊接量减少90%;3D打印建筑技术采用地质聚合物复合材料,将复杂异形构件打印精度控制在±1mm内,材料浪费率从15%降至3%以下。此外,基于物联网的智能建造平台,通过实时监测混凝土水化热与钢结构应力变化,动态调整养护参数,使构件缺陷率下降60%。此类技术集群不仅突破传统建造模式的高碳壁垒,更通过材料-结构-工艺的系统性革新,使高层住宅单位面积隐含碳排放较基准建筑下降55%~70%,同时将施工碳排放强度压缩至15kgCO₂/(m²·d),为建筑产业低碳转型提供可复制的范式路径。

4 结语

绿色建筑设计在高层住宅领域的实践,标志着建筑行业向集约可持续的范式转型。通过整合被动式设计、主动式技术、水资源循环及低碳建造工艺,构建了适应高密度城市的多维绿色技术框架。该框架可使全生命周期碳排放降低45%~60%,能源自给率超60%,并重构社区生态韧性阈值。然而,技术规模化应用仍面临经济性阈值与用户行为适配的双重挑战。未来需聚焦数字孪生与AI算法优化技术集成,探索碳交易机制,并建立用户行

为反馈机制，推动绿色建筑从“技术本位”向“人本共生”演进，最终实现高层住宅从“能源节点”向“城市生态枢纽”的质变。

[参考文献]

- [1]沈伟锋.论高层建筑设计中绿色建筑设计的运用[J].城市建设理论研究(电子版),2024(1):86-88.
[2]张若兮.高层建筑设计中绿色建筑设计理念的运用分

析[J].城市建设理论研究(电子版),2023(9):34-36.

[3]郭杰.高层建筑设计中绿色建筑运用分析[J].佛山陶瓷,2023,33(2):115-117.

作者简介:潘璐(1991.3—),毕业院校:长春建筑学院,所学专业:建筑学,当前就职单位:北京炎黄联合国际工程设计有限公司天津河北分公司,职务:建筑师,职称级别:中级