

民用住宅建筑全生命周期的低碳设计策略与节能技术应用

白佳旭

石家庄市建筑设计院有限责任公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]在全球“双碳”目标推进的大背景下,建筑领域低碳转型已成为实现生态环境保护与高质量发展的关键抓手。文章研究首先对民用住宅建筑全生命周期的界定与碳减排核心特征进行了阐述,并提出了全生命周期低碳设计策略,从而实现民用住宅建筑全生命周期碳减排目标。

[关键词]民用住宅建筑;全生命周期;低碳设计策略;节能技术

DOI: 10.33142/ec.v9i1.18869

中图分类号: TU241.4

文献标识码: A

Low Carbon Design Strategy and Energy-saving Technology Application for the Entire Life Cycle of Civil Residential Buildings

BAI Jiayu

Shijiazhuang Architectural Design Institute Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Against the backdrop of advancing the global "dual carbon" goals, low-carbon transformation in the construction industry has become a key lever for achieving ecological environment protection and high-quality development. The article first elaborates on the definition of the full life cycle of civil residential buildings and the core characteristics of carbon reduction, and proposes low-carbon design strategies throughout the life cycle to achieve the carbon reduction goals of civil residential buildings.

Keywords: civil residential buildings; full lifecycle; low carbon design strategy; energy-saving technology

引言

民用住宅建筑具有量大面广、全生命周期能耗贯穿始终的特点,其碳排在建筑领域总碳排放中的占比较高,已难以适配绿色低碳发展的时代需求。当前,我国民用住宅建筑全生命周期低碳发展中缺乏系统性的低碳理念引导、绿色低碳建材的推广力度与应用范围不足、施工阶段污染物排放问题突出等问题。全生命周期理论将民用住宅建筑的整个生命周期视为一个有机整体,为解决当前民用住宅低碳发展的碎片化问题,强调各阶段的协同联动、全面挖掘碳减排潜力、整合适配的节能技术,实现降低建筑全生命周期碳排放总量的目标,从而进一步提升能源利用效率,推动建筑行业与建材、节能等相关产业的绿色转型升级。本文基于全生命周期理论,重点研究民用住宅建筑全生命周期的低碳设计策略,实施节能技术的协同应用路径,推动民用住宅建筑实现绿色低碳、可持续发展。

1 民用住宅建筑全生命周期的界定与碳减排核心特征

1.1 全生命周期界定

结合民用住宅建筑特点与全生命周期理论,其全生命周期划分为五个核心阶段,构成碳减排完整体系。规划设计阶段作为碳减排的源头,主要包括项目选址、设计等环节,设计决策影响后续碳排放。施工建造阶段主要包括施工现场布置等全过程,碳排放源于施工设备能耗、材料损耗等,此阶段需要重点优化工艺、推广绿色技术。运营使

用阶段是指从竣工到拆除前,含居民居住等环节,碳排放源于机电设备及居民生活能耗,持续最长、总量最大。拆除与回收阶段主要包括拆除、垃圾处理等全过程,碳排放源于拆除设备能耗、垃圾处理排放,此阶段重点推广绿色拆除技术、提高垃圾利用率。

1.2 各阶段碳减排核心特征

民用住宅建筑全生命周期各阶段碳减排特征各异,明确特征是构建低碳策略与节能技术体系的前提。在规划设计阶段碳减排具前瞻性与决定性,此阶段不直接大量耗能建材,碳排放低,但设计方案是碳排放核心源头。建材生产与运输阶段的碳排放集中且强度高,源于高碳建材生产及运输燃油消耗,重点在于替代高碳建材、推广绿色建材、优化运输方案。施工建造阶段碳排放分散且波动大,受施工工艺等因素影响,源于施工设备运行与材料损耗,重点在于优化工艺、推广绿色技术、加强管理。运营使用阶段碳排放持续且总量大,集中在机电设备运行,受居民习惯等因素影响,在于优化设备效率、提升节能意识。拆除与回收阶段碳排放可控且潜力大,总量相对低,推广绿色拆除技术、提高垃圾利用率。

1.3 全生命周期碳排放构成分析

民用住宅建筑全生命周期碳排放分直接与间接两部分:直接碳排放是各阶段直接消耗化石能源产生,如施工设备燃油、运营采暖制冷燃气消耗;间接碳排放是各阶段消耗二次能源及建材生产、运输、回收等过程间接产生,如建材生产电力消耗、建筑垃圾填埋甲烷排放。为明晰其

构成比例，构建全生命周期碳排放构成图：

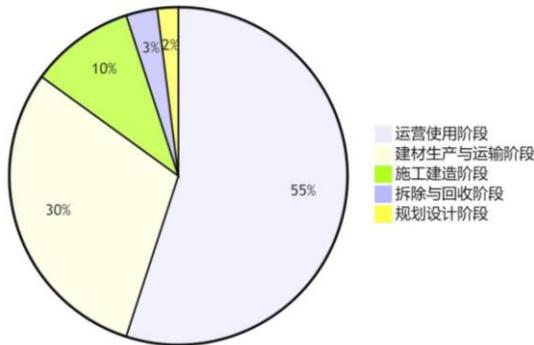


图1 民用住宅建筑全生命周期碳排放构成比例

2 民用住宅建筑全生命周期低碳设计策略

2.1 规划设计阶段：源头优化，奠定低碳基础

规划设计阶段的科学性直接决定了后续各阶段的碳减排效果，优先选择交通便利、生态环境良好的区域，采用行列式、点群式相结合的布局，采用南北朝向，利用自然采光与自然通风。预留太阳能集热器安装屋面、地源热泵系统、光伏组件的施工空间，明确可再生能源设施的安装位置与规模。此外，采用乡土植物，构建乔灌木相结合的绿化体系，构建乔灌木相结合的立体绿化体系，利用植物的光合作用实现碳固存，减少住宅制冷能耗。合理控制建筑层高与建筑面积，在满足居住舒适度的前提下，合理压缩冗余空间，优化建筑围护结构设计，采用保温隔热性能优良的围护结构形式，选用高效节能的保温隔热材料，降低采暖与制冷能耗。在结构设计方面，优先采用新型低碳结构体系，替代传统的钢筋混凝土结构。减少结构构件的截面尺寸与用量，实现结构轻量化。在机电设计方面，优先选用高效节能、低碳环保的机电设备，采用分布式机电系统，实现按需供能，减少能源浪费。同时，引入智能化控制系统的设计理念，在设计阶段预留智能控制接口，从机电设计源头实现能源高效利用。

2.2 建材生产与运输阶段：低碳替代，减少碳排放量

建材生产与运输阶段重点推广绿色低碳建材、优化建材运输方案。加大绿色低碳建材的研发与推广力度，推广陶粒混凝土砌块、秸秆纤维墙体材料等新型低碳墙体材料与再生建材，减少黏土资源消耗与煤炭燃烧排放。采用新型水泥生产工艺以及高强度钢材，从而降低碳排放。规范绿色低碳建材的认证体系，引导建材企业加大低碳建材的生产投入。优先选择本地或周边地区的建材生产企业，采用铁路、水路等低碳运输方式，合理规划运输路线，提高运输效率，降低燃油消耗。

2.3 施工建造阶段：绿色施工，控制过程碳排放

施工建造阶段需要加强施工管理，推广绿色低碳施工工艺，装配式施工采用工厂预制构件，现场组装的方式，采用预拌混凝土，替代现场搅拌混凝土，采用干法施工，替代湿法施工，实现“施工减碳、节能高效”。优化施工设备

的选型与运行管理，选用高效节能、低碳环保的施工机械设备，加强施工设备的日常维护与保养，合理安排施工设备的运行时间，提高设备利用率；此外，对现有高能耗施工设备进行节能改造，降低设备能耗。在施工现场加强施工现场的节能、节水、减排管理，采用可回收、可重复利用的临时设施以及节能型临时照明设备。同时加强施工现场的节水管理，采用节水型施工设备与器具，减少水资源消耗。

2.4 运营使用阶段：精准管控，挖掘减碳潜力

运营使用阶段应构建完善的能耗监测、统计、分析与管控体系，完善能耗监测系统，在住宅建筑的公共区域与住户家中安装能耗监测终端，建立能耗统计与分析机制，识别能耗浪费环节，找出碳减排潜力点。根据住宅建筑的户型、朝向等因素，结合当地的气候条件，制定能耗管控目标。加强机电设备的日常运行管理与维护保养，定期对空调机组、照明设备、通风设备等进行维护保养，对于低效、老化的设备部件应该及时更换。根据季节变化、居民使用需求合理调整采暖、制冷的温度设置与运行时间，避免过度供能导致的能源浪费。

2.5 拆除与回收阶段：资源化利用，实现末端减碳

拆除与回收阶段的低碳设计中采用绿色、低碳的拆除技术，根据建筑结构特点，优先拆除可回收利用的建筑构件，采用高效节能的拆除机械设备以及运用智能化监控技术，减少环境污染。在拆除过程中应做好建筑构件的保护工作，提高构件的回收利用率。建立完善的建筑垃圾分类、回收、加工与再利用体系，加强建筑垃圾的现场分类，实现分类收集、分类运输。推广建筑垃圾加工再利用技术，将回收的建筑垃圾进行破碎、加工等处理，减少新建材生产带来的碳排放，引导企业加大建筑垃圾资源化利用的投入，提高再生建材的市场占有率。优先回收利用完好的建筑构件，对拆除过程中回收的完好建筑构件进行修复、翻新处理，质量检测合格可用于新的民用住宅建筑建设中。

3 民用住宅建筑全生命周期节能技术应用

3.1 规划设计阶段节能技术应用

规划设计阶段中重点应用自然采光、自然通风、太阳辐射利用等技术，采用透光率高的节能门窗以及反光板、采光天窗等辅助采光设施，减少人工照明的使用能耗。以建筑组团布局与建筑朝向为依据，合理采用穿堂风通风、中庭通风等方式，设置通风口，从而降低通风的能耗。通过优化建筑朝向、设计遮阳设施（如东、西向设遮阳百叶/板），充分利用太阳辐射减少冬季采暖能耗，同时避免夏季过度辐射增加制冷能耗。采用建筑能耗模拟软件分析全生命周期能耗与碳排放，优化设计，规避高能耗隐患。

3.2 建材生产与运输阶段节能技术应用

建材生产与运输阶段节能技术核心是减生产能耗碳排放、优化运输节能，聚焦低碳建材生产与运输节能两方面。推广节能型工艺（如水泥新型干法、钢材短流程炼钢）、再

生建材技术（加工建筑垃圾为再生建材）、新型低碳建材研发技术（研发秸秆纤维等新型建材），以及能源回收利用技术（回收余热余压发电供暖）。应用运输路线优化，主要采用GPS等技术避开拥堵偏远路段，推广电动等新能源车辆，实现新能源运输。此外，通过运输负载优化，合理安排负载，避免超载空载技术，推广集中运输模式，减少车辆出行次数。

3.3 施工建造阶段节能技术应用

装配式施工技术是施工建造阶段核心节能技术，重点应用预制构件生产、运输、安装一体化技术。工厂采用标准化、机械化的生产工艺，生产预制混凝土构件、预制钢结构构件等，采用专用的运输车辆与吊装设备，优化运输与安装方案，采用装配式连接技术，提高预制构件的安装效率，整合预制构件生产、运输、安装各环节，实现协同作业，降低能源消耗。应用节能施工工艺（如推广干法、高效施工工艺）、水资源循环利用技术（处理施工废水用于洒水降尘等）、扬尘治理技术（洒水、密闭运输、喷雾降尘等），减少水资源消耗、建筑垃圾及扬尘污染；推广能源回收利用技术（如回收机械余热用于临时采暖），提高能源利用率。施工设备节能重点应用高效节能设备、改造及运行优化技术降能耗。推广电动起重机等高效节能设备，替代传统高耗能设备，对高耗能设备加装节能变频器等改造，减少能耗与尾气排放。使用智能化监控，优化运行参数，且合理安排运行时间，避用电高峰，降低电力消耗成本，减少能源浪费。

3.4 运营使用阶段节能技术应用

运营使用阶段的节能技术应用中重点推广太阳能利用技术，太阳能生活热水技术结合辅助电加热或燃气加热设备，满足居民的生活热水需求。光伏建筑一体化技术（BIPV）利用太阳能发电，减少传统电网电力消耗。采用地热能利用技术，利用土壤或地下水的恒温特性，通过地下埋管换热器与室内换热系统进行热量交换，满足住宅采暖与制冷的同时环保效益显著。可在高层民用住宅建筑顶部安装小型风力发电机，利用高空风能发电，满足住宅的照明、通风等需求。

重点推广高效节能设备、设备节能改造及系统优化调控技术，提升运行效率、减少能耗。推广一级能效的空调机组、热水器、照明及通风设备等，替代传统低效设备。推广LED照明技术，其发光效率高、寿命长、无汞污染，节能且环保效益显著。采用空调系统联动调控、照明系统智能调控等技术，优化机电系统运行状态，实现高效协同，如空调与通风系统联动，照明系统与传感器联动。对低效机电设备改造，如对空调系统变频改造，安装变频控制器自动调节运行频率，对采暖系统分户计量改造，实现按需采暖。重点推广建筑智能化系统、能耗监测与调控系统，实现运营使用阶段精准节能管控。整合智能家居、安防、能耗管控等功能，实现住宅智能化运营。居民可远程控制机电设备，优化运行时间。系统还能根据居民习惯自动优化运行参数，提升舒适度与节能效果。建立能耗监测网络，

实时采集能耗数据，通过大数据分析识别浪费环节、找出节能潜力点。系统自动发出调控指令优化设备运行，同时为居民和物业提供能耗数据服务，引导加强能耗管控。

3.5 拆除与回收阶段节能技术应用

拆除与回收阶段节能技术应用，核心是推广绿色拆除、建筑垃圾资源化利用、建筑构件回收再利用技术，减少能耗与污染，实现末端节能减碳。分段、分区域拆除，优先拆可回收构件，减少建筑垃圾；用液压、静态破碎技术替代爆破，噪音、扬尘小，能耗低。采用电动、混合动力等高效节能拆除设备，替代燃油机，电动设备零排放、低能耗，采用喷雾、洒水、密闭拆除等技术降尘，安装尾气净化装置减少废气排放，实时监测扬尘与废气浓度，及时治理。使用高效节能设备破碎、筛分建筑垃圾，分离可回收材料，混凝土块制再生骨料。使用节能工艺将回收垃圾制成再生建材，推广回收分拣自动化与再生建材质量检测技术，提高分拣效率回收率。建筑构件回收再利用技术方面应用建筑构件修复、翻新技术，提高建筑构件的回收利用率。对拆除过程中回收的门窗、墙体材料、结构构件等完好建筑构件进行专业的修复、翻新技术，翻新构件的外观与性能。采用标准化的构件回收、存储、运输与安装技术，促进建筑构件的循环利用，减少新构件的生产带来的能源消耗与碳排放。

4 结论

民用住宅建筑全生命周期的低碳设计与节能技术应用是碳减排的核心重点，低碳设计策略应贯穿于规划设计、建材生产与运输、施工建造、运营使用、拆除与回收五个阶段，同时结合各阶段的碳减排需求，推广适配的节能技术，节能效果显著。

[参考文献]

- [1]刘冬秀.民用建筑设计中绿色建筑设计理念的运用分析[J].低碳世界,2024,14(2):91-93.
- [2]单小妮,屈婉璐.探析绿色建筑在民用建筑设计中的应用[J].建筑与装饰,2023(24):16-18.
- [3]姜舒.超低能耗设计理念在上海某民用住宅建筑设计中的应用[J].工程与建设,2023,37(6):1840-1842.
- [4]徐杰.低碳经济背景下建筑材料对建筑节能影响研究[J].中国建筑金属结构,2023,22(4):101-103.
- [5]尹加明,刘焕刚.低碳经济背景下绿色建筑节能发展方向及技术措施研究[J].建设科技,2024(11):94-96.
- [6]张晨霞.高层住宅建筑设计中对低碳节能理念的运用分析[J].建材发展导向,2023,21(11):193-195.
- [7]陈启新.高层建筑设计中的低碳设计理念研究[J].江苏建材,2023(5):75-77.

作者简介：白佳旭（1999.4—），毕业院校：鲁迅美术学院，所学专业：环境设计，当前就职单位：石家庄市建筑设计院有限责任公司，职务：建筑设计师，职称级别：助理工程师。