

“双碳”背景下超低能耗建筑节能设计研究

韩佳志

吉林建筑大学 吉林长春 130000

摘要: 本文以“双碳”目标为背景,探究超低能耗建筑围护结构节能设计策略,阐述建筑业脱碳逻辑与“被动优先、主动优化”核心技术路径,界定其内涵并梳理能效指标与政策演进。重点分析围护结构节能关键策略,同时开展经济性评估与全生命周期碳足迹核算,指出初投资增量成本可通过长期节能与碳减排收益平衡,总结技术价值并提出未来发展方向,为建筑业脱碳提供技术支撑。

关键词: 超低能耗建筑;围护结构;节能设计;双碳;热工性能

一、气候治理转型与建筑业脱碳的宏观逻辑

全球应对气候变化背景下,中国“双碳”目标既是环境治理承诺,也是推动社会变革的重要动力。建筑业作为支柱产业,属高耗能高碳排放领域,其全生命周期碳排放占社会总排放三分之一以上,覆盖全环节;“双碳”战略下,建筑业向节能降碳转型,超低能耗建筑核心地位凸显。

政策上,国家正推进“能耗双控”向“碳排放双控”转变,2024年相关工作方案明确完善建材、建筑行业碳排放核算及碳足迹标准,未来建筑评价将聚焦全生命周期碳强度,超低能耗建筑凭借低热需求与高效能源系统,成为建筑领域深度脱碳的核心路径。

超低能耗建筑以“被动优先、主动优化”为核心技术路径:通过提升围护结构性能,以被动式设计从源头降低采暖制冷能耗,再搭配高效能源设备与可再生能源实现供需平衡,推动建筑设计逻辑从“耗能补舒适”向“造舒适少耗能”转变,为行业绿色转型提供支撑。

二、超低能耗建筑的内涵界定与标准演进

(一) 超低能耗建筑的内涵界定

超低能耗建筑是中国标准体系中近零能耗建筑的初级形式,依据《近零能耗建筑技术标准》GB/T 51350-2019,通过适配气候、高性能围护结构、高气密及无热桥设计,大幅降低供暖、空调和照明能耗,其室内环境参数与近零能耗建筑一致,能效略低,是技术可行、经济适用的阶段性推广目标。

(二) 能效指标的代际跨越

超低能耗建筑的能效较传统节能设计标准实现质的飞跃,以居住建筑为例,其能耗水平较《建筑节能

与可再生能源利用通用规范》GB 55015-2021等标准降低37.5%以上。这种提升并非简单叠加,而是通过系统化优化围护结构热工性能、系统能效比及余热回收效率实现,意味着建筑物理特性的改变。当供暖指标降至 $15\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 以下时,建筑往往可以取消传统的锅炉或大型循环水系统,转而通过新风系统中的高效热回收单元提供必要的热量补偿^[10]。

(三) 政策目标的规模化驱动

中国政府已明确超低能耗建筑普及时间表,住建部《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》提出,到2025年超低能耗及近零能耗建筑建设规模需达5000万平方米以上,推动行业从技术研发转向产业链协同与标准化作业。同时,北京、上海、武汉等地方政府也结合本地气候特征,出台地方导则细化围护结构设计要求。

三、围护结构热工性能设计的核心策略

(一) 绝热性能的极限化追求

超低能耗建筑需采用超厚或超高效保温系统以实现极低传热系数,传统做法多增加EPS或XPS板厚度,部分需达20-30厘米,既占用建筑面积,也对施工锚固和防火提出高挑战。为此,高性能真空绝热板(VIP)成为研究热点,其导热系数仅为传统材料的1/6以下,相同保温效果下厚度仅为传统材料的1/5-1/10,可大幅节省空间。但VIP板脆性大,施工中需与岩棉等韧性材料复合,且严禁现场切割打孔,对施工管理精细度要求极高。

(二) 热惰性 with 相变蓄热的动态平衡

“双碳”目标下,减少主动空调使用需兼顾阻热与蓄热,相变材料(PCM)可通过固-液相变吸收、释放大热量,提升围护结构热惰性。其与建筑的集成已向功

能化、梯度化发展，将PCM微胶囊化掺入砂浆或制成墙板，可使比热容翻倍、延迟温度峰值；梯度设计通过不同相变温度材料耦合，可降低全年建筑能耗近30%。

（三）透明围护结构与高性能外门窗系统

外门窗通常被认为是围护结构中热量流失的“黑洞”。在超低能耗建筑中，门窗的设计策略已经从简单的增加玻璃层数转向涵盖型材热阻、玻璃涂层、暖边间隔条及智能遮阳的综合解决方案。

1. 玻纤增强聚氨酯型材的应用

窗框型材性能有重要突破，传统断桥铝合金热阻有限，而GFRP复合材料导热系数低、机械强度高，具备“本质隔热”特性，经拉挤工艺生产无需复杂隔热条，搭配“三玻两腔”充氩气玻璃可使整窗传热系数达标；其耐候性、耐酸碱性能优良，在沿海、工业污染地区具有显著寿命周期优势。

2. 智能调光玻璃与变频遮阳

透明围护结构节能需动态管控太阳得热，光致变色、电致变色等智能调光玻璃潜力突出。光致变色玻璃可自动调节透光率，无需外部能源即可阻隔夏季多余热量，窗墙比大的公共建筑综合节能率达10%以上；河北高碑店项目的机翼遮阳百叶可实时调整角度，实现夏季遮辐射、冬季获热的精准控能。

（四）气密性保障与“无热桥”设计策略

在超低能耗建筑的学术研究和工程实践中，气密性和无热桥处理被视为建筑性能的“生命线”。如果没有严密的气密层和连续的保温层，再昂贵的保温材料也会因为冷风渗透或热量短路而失效^[9]。

1. 气密层的系统化构建

超低能耗建筑的气密性关乎节能，更能防止湿气渗透保温层引发冷凝、霉变，要求极为严苛。需构建由基层砂浆抹灰、气密性薄膜等组成的连续封闭气密层；施工中分阶段管控，主体完工后需通过鼓风机门等测试排查修复缝隙，窗框连接处、穿墙管道等薄弱环节，需用预制密封套管和高性能密封胶柔性密封。

2. 无热桥设计的构造细节

热桥是围护结构中热传导能力显著高于周边的区域，在超低能耗建筑中，细小热桥易在严寒冬季引发冷凝结露。无热桥设计核心是保障保温层连续性，几何形状变化或材料交接处需闭合。

针对常见的结构性热桥，超低能耗建筑采取了以下针对性措施：

（1）女儿墙包裹：屋面保温层需完全翻越女儿墙顶部并与外墙保温连接，确保热量不会从墙体顶端散失^[9]。

（2）外窗外挂安装：窗户应尽量安装在保温层所在的平面，通过高性能隔热副框或L型不锈钢支架固定，避免窗框直接接触主体结构墙体^[9]。

（3）断桥连接件：外墙挂板、空调室外机支架等连接件应采用具有低导热系数的尼龙隔热垫片或专门的断桥锚固件，阻断通过金属构件形成的热流路径^[9]。

（五）被动式技术与自然能源的有机整合

在“双碳”的大逻辑下，超低能耗建筑不应是与世隔绝的密封盒子，而应是能够与环境进行能量交换的智慧载体。这要求设计师在围护结构中充分引入自然要素。

1. 自然通风与热压效应的利用

过渡季节，超低能耗建筑可通过合理开窗设计和中庭构造，利用热压、风压效应实现自然通风。导则规定，居住建筑通风开口面积需达地板面积5%以上，公建过渡季自然通风换气次数需达2次/h以上，此举既降低空调能耗，也提升室内空气质量与人体热舒适度。

2. 垂直绿化与生态围护的节能潜力

夏热冬冷地区，屋顶及垂直绿化节能效果突出，绿化层可保温，还能通过遮荫、蒸腾降温降低围护结构外表面夏季温升。超低能耗建筑提倡立体绿化与建筑立面一体化设计，既美化环境，也可避免后期安装绿化架造成的保温层破损和热桥。

四、经济性评估与全生命周期碳足迹核算

（一）增量成本与投资回收期的动态变化

虽然高性能材料和精细化施工导致初投资增加，但随着相关产业链的成熟，增量成本正在逐步优化。例如，真空绝热板（VIP）和玻纤增强聚氨酯（GFRP）门窗的规模化生产，已使其性价比显著提升^[13]。

（二）碳中和路径下的环境收益

从碳排放视角，超低能耗建筑运行阶段碳强度远低于普通建筑；更重要的是，围护结构集成光伏组件（BIPV）可使建筑从能源消费者转变为生产者。例如，安装光伏瓦、彩色薄膜光伏采光顶，可满足建筑内除新风系统外的绝大部分电器用电，助力实现近零碳运行。

五、结论与未来演进方向

超低能耗建筑围护结构的节能设计，是建筑业实现“双碳”目标的关键技术抓手。通过整合应用高性能绝热材料（如VIP、超厚保温系统）、高性能透明组件（如GFRP门窗、智能调光玻璃），以及构建严密气密性和系

统化无热桥构造,其已展现出卓越的节能降碳潜力。

未来的研究与应用应聚焦于以下三个维度:

1.材料的低碳化与可回收化。在追求热工性能的同时,应关注保温材料和门窗型材在生产阶段的碳足迹,优先选用生物基材料或低能耗生产工艺,以实现真正的全生命周期脱碳^[1]。

2.设计的智慧化与动态化。利用传感器和控制算法,使围护结构的遮阳和通风策略能够实时响应气候变化,实现对室内环境的“预测性调节”。

3.技术的标准化与平民化。通过完善如GB/T 51350等国家和地方标准,推动高性能组件的工业化、装配式生产,降低施工难度和成本,使超低能耗建筑从“科研示范”走向“万家灯火”。

在全球低碳转型的历史洪流中,中国建筑业正通过超低能耗建筑的技术创新,为应对气候变化贡献具有中国特色的技术方案,也为未来可持续发展的城乡建设奠定了坚实的物理基础^[1]。

参考文献

[1]中国建筑节能协会发布《中国城乡建设领域碳排放研究报告(2024年版)》[J].建筑节能(中英文),2025,53(01):154.

[2]邵波,徐备,胡文.双碳背景下相变储能材料在建筑节能领域的应用路径研究[J].建筑经济,2025,46(S2):348-351.DOI:10.14181/j.cnki.1002-851x.2025S2348.

[3]张维,吴珩.从共识到行动:国际建筑行业组织在碳中和领域的全球进展与亚洲实践——《亚洲建协校园碳中和规划设计指南》发布解读[J].住区,2025,(06):88-94.DOI:10.26952/j.cnki.ISSN1674-9073.202506010.

[4]丁治珣.严寒地区近零能耗建筑能源管理控制技术设计与实现[D].湖南大学,2022.DOI:10.27135/d.cnki.ghudu.2022.001151.

[5]刘雪霏.建筑工程绿色施工技术在超低能耗建筑中的应用实践[J].中国建筑装饰装修,2026,(01):180-182.

[6]赵永清,潘鹏,曹博,等.寒冷地区近零能耗建筑设计实践——以宁夏某公共建筑为例[J].建设科技,2025,(24):53-57.DOI:10.16116/j.cnki.jskj.2025.24.013.

[7]全国政协委员徐礼华:推进被动式超低能耗建筑产业发展[J].中国勘察设计,2024,(03):27.

[8]卜梦杰.影响居住建筑节能设计因素的分析与研究[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会论文集.宜昌三峡广博建筑设计有限公司,2025:250-251.DOI:10.26914/c.cnkihy.2025.088060.

[9]胡习博,黄惊,胡军.湖北省首个超低能耗公共建筑设计探索——以中铁·龙盘湖·世纪山水二期工程(5-2区)79号楼为例[J].建筑节能(中英文),2022,50(02):140-144.

[10]王少辰.西安市超低能耗居住建筑设计策略研究[D].西安建筑科技大学,2025.

武汉市超低能耗居住建筑节能设计导则,访问时间为三月14,2026.

[11]田野,夏贇,张一恒,等.严寒地区超低能耗建筑内保温墙体传湿的研究[J].低温建筑技术,2025,47(10):11-15.DOI:10.13905/j.cnki.dwjz.2025.10.003.

[12]刘锡森,郭博文,杨海娇,等.相变材料在建筑围护结构中的应用研究进展及思考[J].砖瓦,2025,(11):32-36.DOI:10.16001/j.cnki.1001-6945.2025.11.002.

[13]亨斯迈玻纤增强新型材获上海创新技术领先奖[J].建材技术与应用,2020,(06):29.

[14]刘欣.光致变色建筑玻璃在智能办公建筑中的应用与用户舒适度提升研究[J].居舍,2025,(25):29-31.

[15]曹永健.城市住宅被动式超低能耗建筑技术应用分析[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会论文集.青岛东建建设有限公司,2025:311-312.DOI:10.26914/c.cnkihy.2025.088085.

[16]郑欢,何斌,张文新,等.“双碳”目标下国土空间减排增汇路径研究[J].地理学报,2025,80(05):1183-1211.