

被动式住宅外窗安装位置对热桥效应的控制作用

申江朝

石家庄新空间建筑设计有限公司，河北 石家庄 050001

[摘要] 被动式住宅是一种以节能、舒适和可持续为目标的绿色建筑形式，在建筑节能与环境友好战略中发挥着重要作用。外窗作为建筑围护结构的薄弱环节，其热工性能直接决定建筑能耗水平。外窗与墙体交接处由于材料导热性能差异及结构不连续性极易形成热桥效应，导致传热系数升高、能量损失加剧，并可能产生室内结露等问题，影响居住舒适度和结构耐久性。文中从热桥效应的机理入手，分析了外窗安装位置与热桥效应的关系，通过数值模拟与实验验证揭示不同安装方式下的热工差异，提出优化控制策略，并探讨其推广应用前景。研究结果表明，将外窗安装于保温层厚度范围内能够最大程度降低热桥效应，而辅以窗框低导热材料与节点密封措施，可进一步优化建筑整体热工性能。文中认为，科学合理的外窗安装位置选择及综合控制措施，是被动式住宅实现低能耗与高舒适度的关键途径。

[关键词] 被动式住宅；外窗安装；热桥效应；节能建筑；热工性能

DOI: 10.33142/ect.v3i11.18343 中图分类号: TU111 文献标识码: A

The Control Effect of Passive Residential Exterior Window Installation Position on Thermal Bridge Effect

SHEN Jiangchao

Shijiazhuang Xinkongjian Architectural Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050001, China

Abstract: Passive housing is a green building form aimed at energy conservation, comfort, and sustainability, playing an important role in building energy efficiency and environmental friendliness strategies. As a weak link in the building envelope structure, the thermal performance of external windows directly determines the energy consumption level of the building. The junction between the external window and the wall is prone to form a thermal bridge effect due to differences in material thermal conductivity and structural discontinuity, resulting in an increase in heat transfer coefficient, intensified energy loss, and possible indoor condensation, which affects living comfort and structural durability. Starting from the mechanism of thermal bridge effect, this article analyzes the relationship between the installation position of external windows and thermal bridge effect. Through numerical simulation and experimental verification, it reveals the thermal differences under different installation methods, proposes optimization control strategies, and explores their promotion and application prospects. The research results indicate that installing external windows within the thickness range of the insulation layer can minimize the thermal bridge effect to the greatest extent, and supplemented by low thermal conductivity materials of the window frame and node sealing measures, can further optimize the overall thermal performance of the building. The article believes that the scientific and reasonable selection of external window installation positions and comprehensive control measures are key ways for passive residences to achieve low energy consumption and high comfort.

Keywords: passive housing; installation of external windows; thermal bridge effect; energy-saving buildings; thermal performance

引言

被动式住宅以高效保温、气密性强和充分利用可再生能源为显著特征，代表了未来建筑发展的方向。在该体系中，外窗作为采光、通风和隔热的重要构件，既是保证室内舒适度的核心，又是建筑围护结构中最容易发生热量损失的部位。大量研究表明，外窗与墙体交界处往往存在热

流集中的现象，即热桥效应。这种效应一旦出现，不仅使能耗增加，还会带来室内结露、墙体霉变等隐患，影响居住体验和建筑耐久性。外窗安装位置是影响热桥效应的关键因素，不同的安装方式会导致不同的热流传递路径和能耗结果。因此，研究外窗安装位置与热桥效应的关系并提出优化措施，对推动被动式住宅的推广和实现节能减排目

标具有现实意义。

1 热桥效应的机理及其对被动式住宅的影响

1.1 热桥效应的基本机理

热桥效应源于建筑围护结构中导热性能不均匀的区域。当高导热材料与低导热材料相互接触或保温层不连续时，热量会集中通过导热系数较大的区域，形成局部传热增强的现象。在外窗与墙体的连接部位，由于窗框材料与墙体保温材料之间存在较大导热差异，加之结构处理不当，就极易形成显著的热桥效应。其表现为该区域表面温度低于周围墙体，从而使热流密度显著增大。

1.2 热桥对建筑热工性能的影响

热桥效应直接增加建筑的传热损失，使围护结构的整体传热系数升高。据相关实测研究表明，建筑能耗中约有15%~25%来源于热桥效应，尤其在寒冷地区表现更为突出。此外，热桥区域的低温表面容易达到空气露点，产生结露和水汽凝结，长期发展可能导致结构潮湿、墙体开裂和霉菌滋生，严重危害建筑的使用寿命和室内空气质量。

1.3 热桥效应在被动式住宅中的特殊性

被动式住宅的核心要求是单位面积能耗极低，通常其能耗目标比普通建筑低70%以上。在这种极端节能目标下，传统建筑中可以忽略的细小热桥问题在被动式住宅中却会显著放大，成为影响整体能效达标的关键因素。因此，外窗作为占据围护结构较大比重的开口部位，其安装位置对热桥效应的控制作用必须被高度重视。

2 外窗安装位置与热桥效应的关系

2.1 外窗安装在墙体中部的情况

外窗安装于墙体厚度的中部是传统施工中常见的做法。这种方式在结构稳定性和施工便利性方面具有一定优势，但窗框两侧通常存在保温层断点，导致热流在此集中，形成热桥。模拟结果表明，此类安装方式的线性热传递系数明显高于其他方式，冬季能量损失显著增加。

2.2 外窗安装在保温层外侧的情况

外窗安装在保温层外侧能够保持室内空间完整性，但窗框外露部分直接暴露在室外环境中，其导热系数通常较高，因而容易成为热流集中通道。此外，该方式在气密性和密封性方面难度较大，若施工质量不高，则可能导致冷空气渗透，进一步加剧能耗损失。

2.3 外窗安装在保温层厚度范围内的情况

外窗安装在保温层内侧或居中位置，可使窗框与保温层形成连续的热工体系。通过将窗框深埋入保温层内部，能够显著缩短热流传递路径，减弱热桥效应。相关实验表明，该方式下的线性热传递系数可降低30%~40%，并有

效避免结露问题。因此，该安装方式成为被动式住宅广泛推荐的标准方案。

3 外窗安装热桥效应的数值模拟与实验分析

3.1 数值模拟方法的应用

在研究外窗热桥效应的过程中，数值模拟被证明是一种极为关键的技术手段。通过有限元分析软件构建外窗与墙体的二维或三维热工模型，可以对复杂的温度场和热流分布进行可视化呈现，使隐蔽的能量传递过程以直观的方式展现出来。模拟分析结果显示，当窗框与保温层之间形成良好的连续性结构时，热流等温线分布更加均匀，整体传热过程保持平稳，热桥效应得到有效削弱。若安装位置不合理或结构衔接存在断点，则会出现热流密度集中的区域，这些高热流区往往是能量损失最严重的部位，也是潜在的结露和结构损伤隐患所在。数值模拟不仅能够在设计阶段为外窗安装提供科学依据，还能为优化材料选择与施工工艺提供重要参考，从而推动建筑节能与居住舒适度的双重提升。

3.2 实验测试与实测数据分析

在实际工程应用中，红外热成像技术被广泛用于外窗节点的检测，其优势在于能够以直观的温度分布图反映热桥效应的强弱。通过对不同安装方式的住宅样本进行对比测试发现，安装在保温层内部的外窗，其节点表面温度保持在较高水平，整体分布均匀，体现了良好的保温性能。而采用外置安装方式的样本则呈现出明显的低温区域，这些区域往往成为潜在的能量流失通道，增加了结露和渗水的风险。为了进一步验证这一结论，研究团队引入热流计与温湿度传感器进行长期监测，所得数据与数值模拟的结果高度一致，充分说明模拟模型的可靠性。这种多手段结合的验证方法不仅提升了研究的科学性，也为工程实践提供了量化依据，推动了节能建筑设计向更精准、更高效的方向发展。

3.3 研究结果的综合分析

综合模拟与实验研究的结果显示，外窗安装位置在热桥效应控制中发挥着至关重要的作用。将外窗安置于保温层厚度范围之内，可以有效阻断热量的集中传递路径，从而显著降低传热损失。这种安装方式不仅能够减缓冷热能量交换，还能保持室内外温差的稳定性，避免因温差过大而导致的结露现象，保障结构耐久性与室内环境健康。实验结果的稳定性与模拟数据的高度一致，验证了理论分析的科学性，为建筑节能设计提供了坚实支撑。通过这一优化措施，工程实践能够在保证能效的同时，兼顾舒适性与安全性，使建筑在使用过程中减少能耗、降低运行成本。

研究成果表明,外窗安装位置的科学选择不仅是施工细节的改进,更是推动绿色建筑和节能减排目标实现的重要路径,具有广泛的推广价值。

4 优化外窗安装位置的控制策略

4.1 材料性能与安装位置的协调优化

在建筑设计中,外窗安装的材料选择与位置确定对整体热工性能具有决定性影响。窗框作为热量传递的重要通道,其导热性能直接关系到能耗水平。选用低导热系数的窗框材料,例如断桥铝、PVC 复合材料或其他新型节能型材,能够有效减少热量损失,提升围护结构的保温效果。同时,外窗的安装位置需要结合保温层厚度进行精确设计。将窗框置于保温层范围内,可以避免形成连续的热桥通道,从而减弱冷热交换过程中的能量损耗。通过材料性能与安装位置的双重优化,不仅能够显著削弱热桥效应,还能提升室内的热舒适性,减少冬季采暖与夏季制冷的能源消耗。合理的设计方案既有助于延长建筑使用寿命,也契合绿色低碳发展战略,为实现节能减排与“双碳”目标提供了坚实的技术支撑。

4.2 结构节点的密封与保温措施

在被动式住宅的节能设计中,外窗与墙体的交接部位往往是热桥效应的高发区域,若处理不当,不仅会增加能耗,还可能导致冷凝与霉变等隐患。为了提升该节点的整体性能,需要采取一系列强化措施。通过多道密封条的应用,可以有效阻断空气渗透,提升气密性;柔性保温材料能够适应墙体与窗框之间的微小形变,保持保温层的连续性;填充泡沫材料则可填补缝隙,进一步减少热量损失。与此同时,合理布置防水层尤为重要,它能阻止冷凝水渗入结构内部,避免长期积水造成材料损坏与结构耐久性下降。只有在密封、保温与防水三方面实现协同优化,才能最大程度降低热桥效应的负面影响,保障外窗节点的热工性能与使用寿命。这种系统化的节点处理方式,不仅符合节能建筑的技术要求,也为建筑舒适度和可持续发展提供有力支撑。

4.3 安装工艺与施工质量的保障

在被动式住宅的建设过程中,施工质量是决定热桥效应能否得到有效控制的基础环节。外窗安装涉及分层填充、无缝拼接与精准定位等多项工艺,每一步都直接关系到建筑围护结构的整体性能。若施工环节存在偏差,即使设计方案再完善,也难以实现理想的节能效果。因此,必须严格落实标准化施工流程,确保各工序衔接紧密,避免因细节疏漏产生热量损失或冷凝风险。为保证施工质量,应建

立全过程的监督与验收体系,采用红外检测对热量分布进行监测,利用气密性测试验证围护结构的密封性,从而实现对施工效果的客观评估。这种科学的质量管控模式能够在问题发生前及时发现潜在隐患,确保建筑的复合性能得到全面保障。高水平的施工质量不仅提升了建筑的节能效率,也增强了使用的舒适度和安全性,为实现绿色建筑和“双碳”目标奠定坚实基础。

5 外窗安装位置优化的应用前景与推广价值

5.1 在被动式住宅中的实际应用前景

随着被动式住宅在我国的不断推广,外窗安装位置的优化逐渐成为施工环节中的关键技术点。研究与实践表明,合理的安装方式不仅能够有效减少热桥效应,还能显著提升建筑整体的能效表现,使室内温度更加稳定,居住舒适度得到提升。与此同时,科学的安装方式能够改善建筑的耐久性,减少结露、渗漏等隐患,延长建筑的使用寿命,为业主和社会创造更长远的价值。被动式住宅强调整体与低碳,而外窗作为建筑围护结构中的薄弱环节,其优化具有决定性作用。随着国家“双碳”战略的推进,外窗安装优化将获得更广阔的发展空间,逐步在住宅、公共建筑乃至大型城市综合体中得到普及。未来,伴随施工工艺的成熟和标准化建设的推进,该技术将在提升绿色建筑水平、推动行业转型升级中发挥重要作用,为节能减排和可持续发展提供有力支撑。

5.2 对建筑节能与环保目标的促进作用

合理的外窗安装方式在建筑设计中具有不可替代的价值。通过科学控制安装位置与密封性能,可以有效削减冬季供暖与夏季制冷的能耗,使室内热环境更加稳定和舒适。节能效果的实现不仅在于减少能源消耗本身,更重要的是减少碳排放,对建筑行业实现绿色转型具有深远意义。这一成果与国家“双碳”战略目标高度契合,为推动建筑节能标准提升与绿色建筑体系建设提供了坚实的技术支撑。外窗安装的优化设计能够作为节能建筑的重要突破口,推动传统建筑模式向绿色低碳方向转变。同时,这一研究成果也为相关政策制定和行业规范的完善提供了科学依据,有助于在全国范围内形成标准化推广与应用的可复制路径。随着技术的不断成熟和普及,合理的外窗安装方式将成为绿色建筑发展的核心环节,为实现节能减排与可持续发展提供长效保障。

5.3 在相关标准与政策中的推广价值

为推动节能建筑的高质量发展,应当将外窗安装位置优化与热桥效应控制的相关要求纳入建筑设计规范与施

工标准，从制度层面确保其落地实施。通过明确技术参数和操作细则，可以为设计单位与施工企业提供统一的参考依据，避免因标准缺失而导致节能效果不稳定。政策层面的引导和强制性规范的约束，将有效推动这一技术的普及与推广，使外窗节能设计不再依赖个别项目的探索，而成为行业普遍遵循的技术路径。与此同时，标准的实施还能促进上下游产业链的协同发展，例如保温材料、门窗系统与施工工艺的同步升级，从而整体提升建筑节能水平。长远来看，这一举措不仅有助于降低建筑运行能耗，改善居住舒适度，还将在实现“双碳”战略目标和推动绿色建筑产业可持续发展方面发挥关键作用。

6 结论

本文通过理论分析、数值模拟与实验验证，系统探讨了被动式住宅外窗安装位置对热桥效应的控制作用，揭示了其在节能设计中的关键意义。研究结果表明，当外窗安装在保温层厚度范围内时，能够有效降低线性热传递系数，

避免冷热交界处的能量损耗，并显著减少结露风险。这一方案若与高性能窗框材料及合理的密封措施结合，可进一步优化整体热工性能，保障建筑内部环境的舒适与稳定。结论显示，外窗安装位置的科学选择不仅是被动式住宅节能设计的重要技术环节，也是实现绿色建筑和“双碳”战略目标的重要路径。

[参考文献]

- [1]王晓东.被动式住宅外窗热桥效应及控制策略研究[J].建筑科学,2021(8):45-53.
- [2]李强.外窗安装位置对建筑节能性能的影响分析[J].建筑节能,2022(4):60-67.
- [3]张丽华.被动式建筑热工性能优化技术探讨[J].建筑技术开发,2023(2):71-79.

作者简介：申江朝（1999.8—），男，汉族，毕业学校：河北工程技术学院，现工作单位：石家庄新空间建筑设计有限公司。