

被动式门窗开发与技术研究

宋晓磊

中建新科建设发展有限公司 北京 100176

摘要: 随着国家碳达峰、碳中和目标的提出, 近零能耗建筑随之兴起, 建筑围护结构的能耗是建筑整体能耗的关键, 而建筑门窗作为建筑透明围护结构的重要组成部分其能耗占建筑总能耗近50%, 建筑业对其综合性能的要求越来越高, 现有的常规门窗设计很难满足近零能耗建筑的被动窗性能指标。本文对开发近零能耗建筑专用的被动窗型材及相关系统做了相应研究, 在被动窗保温性能、水密性、气密性、隔声和美观性等方向上的设计有所突破。

关键词: 建筑节能; 保温性能; 双重等压腔; 隐框窗扇; 对比分析

引言

截至2024年1月, 全国18省市区50地已出台52项超低能耗建筑激励政策, 预计2025年全国新建超低能耗建筑将超7000万平方米、市场规模超233亿且年增速不低于10%, 叠加改造项目后整体市场不低于100亿, 被动窗作为核心配套产品应用前景广阔; 结合国家节能减排方针与北方严寒寒冷地区实际需求, 以及建筑行业零碳发展趋势, 被动窗凭借特殊技术和材料实现隔热保温、减少能量损失, 部分还可通过智能控制系统适配气候变化, 能大幅提升建筑能源利用效率、降低碳排放, 本文旨在系统介绍其研发现状、设计原理与技术特点, 通过案例分析和实地调研评估应用效果与经济性, 为后续设计应用提供科学依据和技术支持, 助力建筑节能技术进步。

一、基本概念和原理

门窗等压腔是建筑门窗与幕墙系统间的密闭空间, 通过密封条、防水膜等材料保障密闭性, 经合理设计施工避免渗漏, 可隔离室内外环境、实现保温防水隔音, 提升建筑能源效益与舒适性、减少噪音传递, 保护建筑内部空间与室内环境质量。隐框窗扇(又称无框/无边框窗扇)设计精巧, 通过特殊结构技术将边框近乎隐藏,

外观简洁现代化, 采用高强度材料保障稳定安全, 能增加室内采光、提供开阔视野, 适用于追求简洁开放感的建筑项目。

在被动窗设计中, K值的计算对窗扇的热性能和整体建筑能耗有重要影响。K值(也称为热传导系数或热导率)是衡量材料导热性能的指标, 它表示单位面积、单位厚度的材料在单位温差下传导热量的能力。对于窗扇而言, K值的计算结果反映了窗扇材料的保温性能。较低的K值表示材料具有较好的保温性能, 能够减少热量的传导, 从而降低室内外温度的传递速率。这对于保持室内温度稳定、减少热量损失非常重要, 特别是在冷热季节或气候条件较为恶劣的地区。通过在被动窗设计中选择具有较低K值的窗扇材料, 可以降低建筑物的热传导, 提高窗扇的热性能^[1]。这有助于减少室内外温度差异, 降低冷热空气的交换, 从而节约能源并改善建筑的能耗效率。通过减少热量的传导, 被动窗设计可以提供更好的隔热性能, 减少对加热和冷却系统的依赖, 进而降低整体建筑物的能源消耗。下表1、表2为《近零能耗建筑技术标准》^[2]:

二、被动式门窗发展历程

(一) 起步阶段(20世纪70年代初~80年代)

在石油危机的背景下, 人们开始意识到建筑的能源

表1 居住建筑外窗(包括透光幕墙)传热系数(K)和太阳得热系数(SHGC)值

性能参数		严寒地区	寒冷地区	夏热冬冷地区	夏热冬暖地区	温和地区
传热系数K (W/(m ² ·K))		≤1.0	≤1.2	≤2.0	≤2.5	≤2.0
太阳得热系数SHGC	冬季	≥0.45	≥0.45	≥0.40	-	≥0.40
	夏季	≤0.30	≤0.30	≤0.30	≤0.15	≤0.30

注: 太阳得热系数为包括遮阳(不含内遮阳)的综合太阳得热系数。

表2 公共建筑外窗（包括透光幕墙）传热系数（K）和太阳得热系数（SHGC）值

性能参数		严寒地区	寒冷地区	夏热冬冷地区	夏热冬暖地区	温和地区
传热系数K (W/(m ² ·K))		≤ 1.2	≤ 1.5	≤ 2.2	≤ 2.8	≤ 2.2
太阳得热系数SHGC	冬季	≥ 0.45	≥ 0.45	≥ 0.40	-	-
	夏季	≤ 0.30	≤ 0.30	≤ 0.15	≤ 0.15	≤ 0.30

注：太阳得热系数为包括遮阳（不含内遮阳）的综合太阳得热系数。

消耗问题。在此背景下，被动式建筑设计理念逐渐兴起，被动式门窗开始被提出并应用于建筑设计中。最早的被动式门窗设计主要着眼于提高保温性能，减少能源消耗。采用双层或三层玻璃、隔热材料等技术手段，试图阻止热量传输，减少建筑的供暖负荷。

（二）技术改进与普及（90年代~2000年代）

随着科技和建筑技术的发展，被动式门窗的设计逐渐得到改进和完善。材料技术的进步使得门窗的隔热性能和透光性能得到提升，智能控制系统的应用使得门窗的操作更加方便和智能化。被动式门窗的应用范围也逐渐扩大，不仅限于寒冷地区，也开始应用于温暖地区的建筑设计中。在欧洲和北美等地，一些被动式建筑项目开始出现，如Passivhaus（被动式房屋）等。

（三）全球普及与标准化（2010年代~至今）

随着对能源消耗和环境问题的关注不断增加，被动式门窗的应用范围进一步扩大，并逐渐成为全球建筑行业的热门话题。一些国家和地区开始制定被动式建筑标准和认证体系，推动被动式门窗技术的普及和标准化。在技术上，被动式门窗的设计也在不断创新和改进，不仅注重于隔热和保温性能，还强调通风、采光和智能化控制等方面的优化，以提高建筑的舒适性和能源利用效率^[3]。

总的来说，被动式门窗作为建筑节能的重要组成部分，经过几十年的发展，已经逐渐成为建筑设计的主流趋势之一。未来，随着科技的不断进步和社会对可持续发展的需求不断增加，被动式门窗技术将继续得到推广和应用，并不断迈向更高水平的发展。

三、现有技术方案分析

现有绿色建筑和被动式建筑市场发展良好，此类建筑中将会大量采用被动式窗系统，目前被动窗市场产品琳琅满目，多种多样，但无一例外的都是为了达到被动窗的高要求而开发的各类产品，其原理还都是在传统窗构造的基础上而通过加宽型材截面或加高隔热条以及通过在铝合金型材表面覆盖一层传导系数较低的材料形成复合型材料或直接将铝合金型材由一些传导系数低的木

材或复合材料等所替代，再就是通过提高玻璃配置以降低玻璃面板的传热系数来达到降低整窗传热系数的目的，这些新型窗系统虽然能降低整窗传热系数，达到被动窗的要求，但其无一例外都有一个显著问题，那就是窗的截面宽度尺寸较大，尤其是带有开启扇的窗和扇的叠加尺寸，这势必会带来外观效果的不理想，为此开发一种既能达到被动窗的高要求，同时又具备简洁截面宽度外观尺寸的窗系统成了众多建筑设计师的期待。

四、方案设计详解

（一）双重等压腔

理解被动窗设计中的等压设计原理的运用，需要设计师用一点逻辑思维克服“直觉经验”。雨水要从被动窗室外进入室内需要满足三个条件：（1）室内室外气压存在压力差；（2）接缝密封位置需要有缝隙；（3）接缝位置有水存在。双重等压腔设计能良好地考虑此三方面条件。

在被动窗中应用双重等压腔设计，通过设置两个连续的密封腔室，被动窗的双重等压腔设计包含两个连续密封腔室，外腔室位于室外一侧、内腔室位于室内一侧，两腔通过通风口或排水槽连接以平衡压力，能有效隔离室内外环境、防止空气与水分渗透。该双重等压腔设计的优点包括：（1）提高隔热性能：双重等压腔设计可以有效地减少冷热空气在室内外之间的传递，从而提高幕墙系统的隔热性能；（2）增强气密性：通过平衡腔室内的压力，双重等压腔设计可以防止空气渗透，提高幕墙的气密性；（3）改善防水性能：双重等压腔设计可以有效地防止雨水和其他水分渗透，从而提高幕墙的防水性能；（4）减少冷凝：由于双重等压腔设计可以有效地控制腔室内的温度和湿度，从而减少了门窗系统内冷凝的可能性；（5）提高耐久性：双重等压腔设计可以保护门窗系统免受外部环境因素的影响，从而提高门窗的耐久性。总的来说，双重等压腔设计是一种创新的门窗幕墙技术，可以显著提高建筑物的能源效率、气密性、防水性和耐久性^[4]。

（二）隐框窗扇设计

隐框窗扇设计是一种配置隐框窗扇的高性能被动式

铝合金窗系统，如图1所示包括窗开启部分、窗固定部分以及窗开启五金部分。

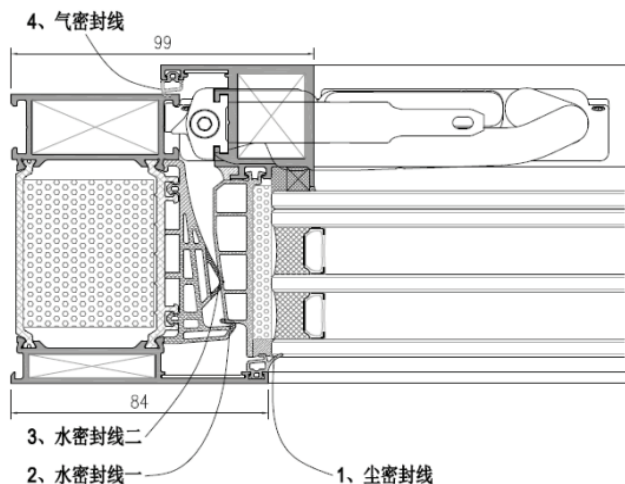


图1 隐框窗扇设计密封线布置图

窗开启部分主要由铝合金断桥窗框、铝合金窗扇以及四玻两腔真空low-E玻璃组成；其中铝合金断桥窗框由铝合金型材和尼龙PA66隔热条组成，并在隔热条空腔内填充聚氨酯发泡隔热材料以提高窗框部分的热工性能，四玻两腔真空Low-E玻璃在加工厂通过硅酮结构密封胶粘接于铝合金窗扇型材上，并在铝合金窗扇四周设置尼龙PA66玻璃护边条，该护边条与玻璃之间填充聚氨酯发泡隔热材料并在外表面涂抹硅酮建筑密封胶以实现玻璃与护边条之间的密封，尼龙PA66玻璃护边条成多腔结构并在前端设置凸台与EPDM舌型密封胶条形成挤压密封，窗扇与窗框之间设置三道密封线以保证整窗系统的密封性能，分别是第一道EPDM外侧密封胶条（尘密封线），第二道EPDM舌型密封胶条（双重水密封线）以及第三道EPDM内侧密封胶条（气密封线）。

窗固定部分主要由铝合金断桥窗框、四玻两腔真空low-E玻璃、铝合金玻璃压线组成，其中铝合金断桥窗框由铝合金型材和尼龙PA66隔热条组成，并在隔热条空腔内填充聚氨酯发泡隔热材料以提高窗框部分的热工性能，四玻两腔真空low-E玻璃通过铝合金玻璃压线以及EPDM玻内密封胶条、EPDM玻外密封胶条固定在窗框上^[5]。

窗开启五金采用以隐形开启铰链为主的窗五金系统，隐形铰链因其隐藏在窗框与窗扇之间的空间内从而保证

了窗内侧密封胶条的连续性，提高整窗的密封性能。

最终形成适用于严寒和寒冷地区的 $K \leq 1.0W/(m^2 \cdot K)$ 被动窗系统产品，并形成一系列科技成果。其中 $K \leq 1.0W/(m^2 \cdot K)$ 被动窗系统产品已通过德国被动房PHI认证及康居产品认证。

结语

随着全球可持续发展与节能减排意识提升，被动式门窗作为建筑能效提升的关键技术已获广泛应用与深入研究，本文通过系统分析探讨了其在近零能耗建筑中保温、气密、水密、隔声等性能的技术进步与创新，对型材、系统及综合性能的研究既提升了节能效果，也为建筑碳中和提供了有力技术支持；未来其研发将围绕材料技术升级、设计方案优化及智能化管理系统推进，新材料新技术的涌现与政策支持、市场需求增长将进一步提升其性能、扩大应用范围，而近零能耗建筑专用被动窗设计需平衡性能、经济性与美观性，在保证低传热系数的同时兼顾简洁外观；综上，被动式门窗在建筑节能环保领域极具应用价值与发展前景，其创新与应用将持续助力建筑行业绿色转型和可持续发展，期待未来在全球更广泛推广，为构建低碳环保生活环境贡献更大力量。

参考文献

- [1] 中国建筑科学研究院. 公共建筑节能设计标准: GB 50189—2015[S/OL]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015: 66.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 近零能耗建筑技术标准: GB/T 51350—2019[S/OL]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019: 11.
- [3] 赵及建, 吕艳艳, 杨连飞. 保温材料对被动式铝合金门窗热工性能的影响[J]. 建设科技, 2019, (09): 26-33.
- [4] 陈洪根, 刘月莉, 张龙, 等. 建筑外窗用新型隔热铝合金型材的研究[J]. 建筑科学, 2021, 37(08): 170-174+210.
- [5] JGJ/T 151-2008, 建筑门窗玻璃幕墙热工计算规程[S].