

寒冷地区被动式超低能耗居住建筑的围护结构热工设计技术研究

陈 帅

河北世元工程咨询集团有限公司, 河北 保定 071000

[摘要]随着我国建筑节能政策的不断推进,被动式超低能耗建筑逐渐成为绿色建筑发展的重要方向。寒冷地区由于气候条件严酷,居住建筑在采暖能耗上长期占比过高,因此在建筑节能与环境保护的双重压力下,探索围护结构的热工优化设计具有重要意义。文中基于被动式建筑理论,通过对寒冷地区气候特征、建筑热环境需求及围护结构性能要求进行系统分析,探讨墙体、屋面、门窗等构造的热工设计方法与关键技术。研究表明,合理的围护结构设计能够显著降低建筑热损失,提高室内热舒适度,同时减少对机械供暖的依赖,达到节能与可持续发展的目标。结论认为,寒冷地区被动式超低能耗居住建筑的围护结构设计需在保温隔热、气密性控制、热桥处理及可再生能源利用等方面协同优化,未来应结合区域气候条件和建筑使用特征,建立适合本土化发展的设计技术体系。

[关键词]寒冷地区;被动式建筑;超低能耗;围护结构;热工设计

DOI: 10.33142/ect.v4i3.19404

中图分类号: TP111.4

文献标识码: A

Research on Thermal Design Technology of Passive Ultra Low Energy Residential Buildings in Cold Regions

CHEN Shuai

Hebei Shiyuan Engineering Consulting Group Co., Ltd., Baoding, Hebei, 071000, China

Abstract: With the continuous promotion of building energy-saving policies in China, passive ultra-low energy buildings have gradually become an important direction for the development of green buildings. Due to the harsh climate conditions in cold regions, residential buildings have a long-term high proportion of heating energy consumption. Therefore, under the dual pressure of building energy conservation and environmental protection, exploring the thermal optimization design of enclosure structures is of great significance. Based on the passive building theory, this article systematically analyzes the climate characteristics, building thermal environment requirements, and enclosure structure performance requirements in cold regions, and explores the thermal design methods and key technologies for structures such as walls, roofs, doors, and windows. Research has shown that reasonable enclosure structure design can significantly reduce building heat loss, improve indoor thermal comfort, and reduce dependence on mechanical heating, achieving the goals of energy conservation and sustainable development. The conclusion is that the enclosure structure design of passive ultra-low energy residential buildings in cold regions needs to be optimized in coordination with thermal insulation, air tightness control, thermal bridge treatment, and renewable energy utilization. In the future, a design technology system suitable for localized development should be established based on regional climate conditions and building usage characteristics.

Keywords: cold regions; passive buildings; ultra low energy consumption; enclosure structure; thermal design

引言

建筑能耗在社会能源消耗总量中占据较大比重,其中寒冷地区居住建筑的采暖能耗更是居高不下。在“双碳”战略目标与绿色建筑政策的推动下,被动式超低能耗建筑逐渐成为建筑节能与可持续发展的研究重点。该类建筑强调依靠高性能的围护结构和合理的建筑设计,在不依赖主动供暖或制冷系统的前提下,最大程度降低能耗并保证室内热舒适。对于寒冷地区而言,围护结构作为建筑热工性能的核心环节,其保温性能、气密性能及热惰性直接决定建筑整体的节能效果。当前我国在被动式建筑推广过程中已取得一定成果,但仍存在技术体系不完善、设计标准不统一、本土化研究不足等问题。基于此,本文从寒冷地区的气候条件和建筑特点出发,系统探讨被动式超低能耗居

住建筑的围护结构热工设计技术,旨在为建筑节能设计提供理论依据与实践路径,并为未来寒冷地区绿色建筑的发展提供参考。

1 寒冷地区建筑节能背景与被动式建筑的适应性

1.1 寒冷地区建筑能耗现状

寒冷地区冬季时间长、气温低,采暖能耗在建筑能耗中占比超过 60%。传统建筑普遍存在保温性能差、热桥严重、气密性不足的问题,导致室内热量大量流失。随着城镇化发展,建筑规模不断扩大,采暖负荷逐年上升,对能源供应和环境保护造成双重压力。

1.2 被动式超低能耗建筑的特点

被动式建筑强调通过高性能围护结构与合理设计来降低能耗,主要依靠自然采光、自然通风和高效隔热技术

来保持室内环境稳定。其核心理念是“少消耗、多利用”，通过减少热损失和提高能效实现超低能耗目标。该模式与寒冷地区的节能需求高度契合。

1.3 适应性分析

在寒冷地区推广被动式超低能耗建筑，不仅有助于降低居民采暖成本，还能改善室内热舒适度和空气质量。由于该地区冬季日照资源相对充足，配合合理的建筑朝向与围护结构设计，可以充分发挥太阳能的被动利用价值，为实现低能耗目标提供有力条件。

2 围护结构热工性能的关键设计要点

2.1 墙体保温设计

墙体作为主要的传热部位，其热工性能对建筑能耗影响极大。被动式建筑墙体普遍采用外保温或夹心保温结构，并结合高性能保温材料如真空绝热板、挤塑聚苯板、岩棉板等，以提高热阻和降低传热系数。同时需关注保温层的连续性，避免因施工不当导致保温缺陷。

2.2 屋面热工设计

屋面是热量散失的重要途径，寒冷地区必须通过高效保温隔热措施提升屋面热工性能。常见做法是采用厚度较大的保温层和双层防水层，同时利用通风屋面结构减少热量积聚，保证室内热稳定性。屋面材料选择应考虑导热系数低、蓄热能力强的轻质复合材料，以实现隔热与承载的平衡。

2.3 门窗系统优化

门窗是围护结构中传热最严重的薄弱环节。被动式建筑通常采用三层中空玻璃、低辐射镀膜玻璃与断热铝合金或木铝复合窗框，显著降低传热系数。合理控制窗墙比、优化窗体朝向、增加气密胶条等措施，可以进一步提高门窗系统的热工性能。

3 气密性设计与热桥处理技术

3.1 气密性的重要性

在寒冷地区，建筑围护结构若存在渗风现象，强风与低温条件会导致大量热量流失，使能耗显著增加，同时室内温度波动加大，舒适度明显下降。高气密性设计因此成为被动式建筑的核心要求之一。通过在围护结构中设置连续的气密层，可以有效阻断空气渗透路径，从源头上减少热量损失。气密层的完整性依赖于科学的节点处理和精细的施工工艺，任何缝隙或裂缝都会成为薄弱点。为进一步提升效果，高性能密封材料的使用至关重要，如耐候密封胶、专用气密膜和密封条等，这些材料能够在长期使用中保持稳定性能，确保建筑外壳的密闭性。气密性提升不仅带来节能效果，还改善了室内环境质量，减少冷风侵入和噪声干扰，为居住者提供更加健康与舒适的空间。通过高气密性设计与施工管理的结合，寒冷地区建筑的节能与宜居目标才能真正实现。

3.2 热桥危害与控制

在建筑节能设计中，热桥问题一直是关键难点之一。热桥会造成局部传热系数增大，使建筑出现额外的能量损

失，并可能引发室内结露、墙体潮湿甚至结构损坏，不仅影响节能效果，还威胁到建筑耐久性和室内健康环境。常见的热桥部位主要集中在墙角、楼板与外墙交接处以及门窗框与墙体连接处，这些区域因构造复杂或材料导热差异大而成为薄弱环节。针对这一问题，控制措施应从设计与施工两方面入手。通过在外墙外侧设置连续包裹的保温层，可以有效阻断热量传导通路；在节点设计中进行构造优化，减少不同材料的交错接触，也能降低热桥效应；在必要部位使用复合保温材料进行填充，则进一步提升整体保温性能。随着施工工艺的不断完善和新型材料的应用，热桥问题的控制将更加高效，为建筑节能水平的提升提供坚实支撑。

3.3 检测与维护方法

在建筑施工与使用阶段，围护结构的热工性能需要通过科学手段加以监测与维护，以确保其长期稳定性。红外热成像是一种高效检测方法，能够直观显示建筑外墙和节点部位的温度分布情况，及时发现热桥问题和保温缺陷。气密性检测则通过加压或减压实验，检验建筑是否存在空气渗漏，从而帮助定位气密性不足的区域。这些检测方法的应用，使问题能够在早期阶段被发现并加以修复，避免能耗增加和室内舒适性下降。为保证性能的持续稳定，还应建立系统化的定期维护机制，对围护结构的关键部位进行周期性检查和修复，形成预防性管理模式。通过监测与维护的结合，可以在延长建筑使用寿命的同时，维持其良好的节能效果。这一举措不仅提升了建筑的运行质量，也为绿色建筑的推广与可持续发展提供了有力保障。

4 可再生能源与围护结构设计的协同应用

4.1 太阳能的被动利用

在寒冷地区，冬季日照时间较长，为建筑提供了利用太阳能的天然条件。通过科学设计窗户的朝向与遮阳构造，可以将这种资源有效转化为建筑内部的热量输入，减少对外部供暖的依赖。南向大面积窗户是常见的设计手段，配合高性能的低辐射玻璃，既能最大限度引入太阳辐射，又能降低热量流失，帮助室内形成良好的蓄热效果。合理的遮阳构造在夏季还能有效阻挡过多的太阳辐射，避免室内过热，实现冬暖夏凉的平衡。建筑设计中若能结合蓄热材料或蓄热墙体，还能进一步延长太阳能利用的时间，使白天吸收的热量在夜间逐步释放，提升整体热舒适度。这种因地制宜的被动式利用方式，不仅降低了建筑能耗，还符合绿色低碳的发展理念，为寒冷地区建筑节能与可持续发展提供了切实可行的路径。

4.2 可再生能源系统结合

在围护结构优化的基础上，建筑节能效果可以通过引入多种可再生能源系统进一步提升。空气源热泵和地源热泵因其高效、清洁的特点，成为绿色建筑中的重要选择。当围护结构具备良好的保温与气密性能时，这些系统能够在减少热量损失的同时发挥更高效率，运行过程也更加稳

定可靠。光伏发电技术与建筑一体化设计的结合,不仅能提供清洁电力,还能实现部分能源自给,降低对传统能源的依赖。通过这些系统有机结合,可以实现建筑能耗的大幅下降,同时提升舒适度与可持续性。在未来的设计中,能源系统与围护结构的协同优化将成为关键方向,使建筑从单纯的能源消耗体转变为高效利用能源的综合平台。随着技术不断成熟与成本逐渐降低,这种协同模式将在更多项目中得到广泛应用,推动绿色建筑高质量发展。

4.3 建筑一体化设计

未来的建筑设计趋势应更加注重围护结构与能源系统的整体优化,力求实现建筑功能、能源利用与环境保护的协调统一。在建筑外观与结构设计中,能源系统不再是独立附加的部分,而应与围护结构深度融合,形成高效、可持续的整体方案。例如,将光伏组件与屋面或立面相结合,不仅能够有效提升太阳能资源的利用效率,还能在建筑造型与外观设计上展现独特的美学价值。这种一体化设计理念能够在降低建筑能耗的同时,提升能源自给率,使建筑逐渐转变为“产能型”空间。同时,通过与智能控制系统联动,可以根据气候条件和能源需求动态调整运行模式,实现更高水平的节能与舒适度。随着技术的成熟与标准的完善,这类建筑模式将得到更广泛应用,推动绿色建筑向着功能性、美观性与可持续性的统一方向不断发展。

5 寒冷地区被动式建筑围护结构的优化发展方向

5.1 本土化设计体系建设

被动式建筑作为提升建筑节能水平的重要路径,其设计与实施必须充分考虑区域气候特征和实际使用需求。不同地区在气候条件、能源结构和居住习惯方面存在显著差异,若沿用统一的设计模式,往往难以兼顾舒适性与节能性。因此,有必要结合地方气候特点,建立更加符合实际的设计导则和技术标准。例如,在寒冷地区,需针对冬季采暖需求,优化围护结构的保温厚度、门窗气密性和热桥处理,提升建筑整体热工性能。同时,还应兼顾夏季隔热与通风设计,确保室内环境的全年舒适。通过标准化与区域化的结合,不仅能提升被动式建筑的适用性和可操作性,还能为大规模推广提供制度保障。随着地方标准的不断完善与应用经验的积累,被动式建筑在寒冷地区的推广将更加顺利,为实现节能减排和绿色发展目标奠定坚实基础。

5.2 新型材料与技术应用

围护结构作为建筑节能与舒适性的重要保障,其性能提升离不开材料的创新与应用。近年来,低导热系数、高耐久性、低碳环保型新材料逐渐成为研究和实践的重点。例如,气凝胶绝热材料凭借极低的导热系数,在厚度受限的条件下依然能够提供优越的保温效果;真空保温玻璃则通过真空层隔绝热量传递,实现了良好的保温隔热性能,

同时具备高透光率,满足了建筑对采光的需求。这类新材料不仅能够有效提升建筑围护结构的热工性能,还契合绿色低碳发展的趋势,减少能耗和碳排放。在推广应用的过程中,应加大科研投入,推动材料在性能优化、成本控制和施工适应性方面的突破。随着新型材料的普及与应用,建筑围护结构将具备更高的节能水平与使用寿命,为实现绿色建筑和可持续发展目标提供强有力的支撑。

5.3 施工与管理提升

围护结构的热工性能不仅依赖于设计方案的科学性,还与施工过程中的质量控制紧密相连。即使设计理念先进、参数合理,如果在施工环节出现偏差,例如材料未达到标准、工艺不规范或细节处理不到位,最终的建筑节能效果也会大打折扣。为了使设计效果真正落地,未来需要建立更加完善的施工监管体系,对施工过程进行全程监督和动态管理,确保每个环节符合标准要求。同时,应健全质量检测机制,强化对材料性能、节点处理和整体密封性的检测,形成从材料进场到竣工验收的全链条控制。通过信息化手段和智能监测技术的引入,还可以实时跟踪施工质量,及时发现问题并加以纠正。只有设计与施工形成紧密衔接,并辅以严格的质量保障体系,围护结构的热工性能才能在实际建筑中得到充分体现,推动绿色建筑目标的实现。

6 结论

在寒冷地区,被动式超低能耗居住建筑的建设离不开高性能围护结构的热工设计与技术支持。通过系统优化墙体、屋面和门窗的保温隔热性能,能够显著减少建筑在供暖季节的热量损失。与此同时,加强气密性控制与热桥处理,有助于提升整体节能效果,避免局部能耗增加和室内热环境不稳定的问题。在此基础上,若能结合空气源热泵、地源热泵和光伏发电等可再生能源的综合利用,将进一步推动建筑能耗的持续下降。研究表明,寒冷地区的被动式建筑需要在设计、施工与运行管理等多个环节形成合力,建立符合本土气候特征和使用习惯的技术体系,才能在实践中实现节能减排与居住品质提升的双重目标。未来的发展仍需依托政策支持、标准建设与技术创新的共同推动,形成可持续的发展动力,为我国建筑节能事业注入新的活力。

[参考文献]

- [1]张鹏飞.寒冷地区被动式超低能耗建筑围护结构优化设计研究[J].建筑科学,2021(12):45-49.
 - [2]李雪松.被动式超低能耗居住建筑关键技术与应用研究[J].住宅科技,2022(6):33-37.
 - [3]王丽.围护结构热工性能在寒冷地区超低能耗建筑中的应用探索[J].建筑节能,2023(4):58-62.
- 作者简介:陈帅(1989.3—),男,汉族,毕业院校:河北大学,现就职单位:河北世元工程咨询集团有限公司。