

寒冷地区被动式居住建筑设计关键节点热桥处理技术研究

傅爱雪

天津建华工程咨询管理有限公司 天津 河西 300000

【摘要】：寒冷地区被动式居住建筑依赖围护结构的高效保温性能实现低能耗目标，而关键节点热桥易造成热量快速流失、室内温湿度波动及墙体结露霉变等问题，严重制约建筑节能效果与居住舒适度，因此科学的热桥处理技术是此类建筑设计的核心要点。聚焦外墙与屋面交接、外门窗安装、梁柱节点、穿墙管线等典型热桥部位，分析热桥形成机理及在寒冷气候条件下的危害特征，结合热工模拟与工程实践，提出针对性处理技术路径，通过优化节点构造、选用断热桥材料、强化保温层连续性等措施，阻断热量传导通道，降低热桥部位传热系数。实践验证表明，合理的热桥处理可有效减少建筑热损失，提升室内热环境稳定性，为寒冷地区被动式居住建筑的节能设计与工程应用提供技术支撑，助力建筑行业绿色低碳转型。

【关键词】：寒冷地区；被动式居住建筑；关键节点；热桥处理；围护结构；建筑节能

DOI:10.12417/2811-0536.26.06.034

引言

全球绿色低碳发展背景下，被动式居住建筑因低能耗、高舒适的优势，成为寒冷地区建筑节能转型的重要方向。此类建筑以围护结构保温为核心，但关键节点热桥引发的热量流失、结露霉变等问题，不仅削弱节能效果，还影响建筑耐用性与使用体验，成为制约其推广应用的关键瓶颈。基于此，聚焦寒冷地区气候特征与被动式建筑设计需求，针对典型热桥节点，深入探究热桥形成规律与处理技术，既是解决实际工程痛点的迫切需求，也是推动被动式建筑技术完善、助力建筑行业节能降耗的重要路径。

1 寒冷地区被动式居住建筑关键节点热桥问题分析

1.1 典型热桥节点识别与分布特征

寒冷地区被动式居住建筑的热桥节点分布与建筑构造密切相关，主要集中在围护结构交接及管线贯穿部位，不同节点的分布规律与形成前提存在明显差异。外墙与屋面交接处是最常见的热桥节点之一，由于屋面保温层与外墙保温层衔接不当，或交接部位构造设计不合理，导致热量易沿交接边缘快速传导，形成连续热桥区域，尤其在坡屋面与外墙转角处，热桥效应更为突出^[1]。外门窗安装节点因门窗框与墙体之间存在缝隙，且门窗型材自身传热性能较强，成为热量流失的主要通道，同时门窗密封性能不足会进一步加剧热桥影响，导致节点周边温度大幅波动。梁柱节点作为建筑结构的核心受力部位，因混凝土导热系数远高于保温材料，且梁柱与外墙、楼板衔接处保温层易出现断裂，形成局部热桥，此类热桥节点隐蔽性较强，易被忽视但危害显著。

1.2 热桥形成机理与核心影响因素

热桥的形成本质是建筑围护结构中不同材料的传热系数差异较大，导致热量在传导过程中出现集中传递的现象，其形成与材料特性、构造设计、施工工艺等多种因素密切相关。材料特性是热桥形成的基础条件，被动式建筑围护结构以保温材料为主，而混凝土、钢材、铝合金等结构材料和门窗型材的导热系数远高于保温材料，当这些高导热材料与保温材料衔接时，会形成热量传导的“捷径”，进而引发热桥。构造设计不合理是热桥形成的关键因素，部分设计中未充分考虑节点保温连续性，如保温层在节点处中断、交接部位未设置过渡保温构造，导致热量沿节点部位快速传导；同时，节点处的缝隙设计、密封方式不当，会加剧热桥效应，形成冷热空气渗透通道。施工工艺不规范也会诱发或加剧热桥问题，施工过程中保温层铺设不平整、拼接缝隙过大，或门窗安装时密封胶填充不饱满、管线穿墙处保温包裹不严密，都会导致节点部位保温性能下降，强化热桥效应。

1.3 热桥在寒冷地区的危害表现

寒冷地区被动式居住建筑的热桥问题，会从建筑节能、室内环境、建筑耐久性等多个维度产生危害，严重影响建筑使用性能^[2]。在建筑节能方面，热桥会导致围护结构传热损失大幅增加，打破被动式建筑低能耗的设计初衷，迫使建筑额外消耗能源维持室内温度，削弱建筑节能效果。在室内环境方面，热桥部位温度较低，易导致室内温湿度分布不均，出现局部区域温度过低的现象，影响居住舒适度；同时，低温表面易凝结水汽，形成结露现象，结露产生的水分会渗透到墙体内部，导致墙面发霉、脱落，影响室内空气质量。在建筑耐久性方面，结露产生的水分会侵蚀建

筑结构材料，尤其是混凝土、墙体材料等，长期处于潮湿环境中会降低材料强度，缩短建筑使用寿命；对于金属构件，结露还会引发锈蚀，影响结构稳定性。

2 寒冷地区被动式居住建筑关键节点热桥处理技术路径

2.1 节点构造优化技术

节点构造优化是解决热桥问题的核心技术路径，核心思路是通过完善节点构造设计，保证保温层的连续性，阻断热量传导通道，结合寒冷地区气候特征，针对不同典型热桥节点制定针对性的构造优化方案。对于外墙与屋面交接节点，采用保温层延伸衔接构造，将屋面保温层延伸至外墙外侧，形成连续的保温整体，同时在交接转角处设置弧形保温构造，避免保温层断裂，减少热量传导；在交接部位增设保温过渡层，选用导热系数低的保温材料，填充交接缝隙，进一步强化保温效果。对于外门窗安装节点，优化门窗框与墙体的衔接构造，采用断热桥门窗框型材，在门窗框与墙体之间设置保温隔热垫片，减少门窗框与墙体之间的热量传导；同时，采用企口衔接方式，增大门窗与墙体的衔接面积，提升密封性能，避免冷热空气渗透，削弱热桥效应。对于梁柱节点，采用外包保温构造，在梁柱外侧包裹保温层，确保保温层与外墙、楼板保温层无缝衔接，形成连续的保温体系；优化梁柱截面设计，减少高导热材料的暴露面积，在梁柱与保温层衔接处设置过渡构造，避免保温层出现缝隙。

2.2 断热桥材料选用与应用技术

断热桥材料的选用与合理应用，是阻断热桥传导的关键支撑，需结合节点类型、传热特性及寒冷地区气候要求，选用适配的低导热材料，明确材料应用规范，确保材料性能充分发挥。在材料选用方面，优先选用导热系数低、保温性能稳定、耐低温、抗老化的保温材料，适配不同节点的使用需求：外墙与屋面交接、梁柱节点等大面积热桥部位，可选用挤塑聚苯板、岩棉板等保温材料，此类材料保温性能优良，且具有较好的耐候性，适合寒冷地区长期使用；外门窗框、管线等部位，选用断热桥型材和低导热管线材质，如断桥铝型材、塑料管线等，减少高导热材料的传热影响；节点缝隙填充部位，选用保温密封胶、发泡聚氨酯等材料，此类材料具有良好的密封性能和保温效果，可有效填充缝隙，阻断热量传导^[3]。在材料应用方面，严格按照设计要求控制材料厚度和铺设范围，确保保温层厚度均匀，避免出现薄厚不均的情况；对于拼接使用的保温材料，采用错缝拼接方式，减少拼接缝隙，

拼接处填充保温密封材料，确保保温层的整体性；在材料施工过程中，做好材料的保护工作，避免保温材料破损、受潮，确保材料保温性能不受影响，同时注重材料之间的兼容性，避免不同材料衔接处出现开裂、脱落等问题。

2.3 保温层连续性强化技术

保温层连续性不足是热桥形成的主要原因之一，因此强化保温层连续性技术，是热桥处理的重要环节，核心是通过科学的施工工艺和构造设计，确保保温层在各个节点部位无缝衔接，形成完整的保温屏障。针对外墙与屋面、楼板等交接部位，采用保温层整体延伸技术，将外墙保温层延伸至屋面、楼板内侧，确保交接部位保温层连续不间断，避免出现保温断层；在交接转角处，采用一体化保温构造，将保温材料整体铺设，减少转角处的缝隙，强化保温连续性。对于外门窗安装节点，在门窗框安装完成后，及时对门窗框与墙体之间的缝隙进行填充和密封，采用保温密封材料分层填充，确保缝隙填充饱满，同时在门窗外侧设置保温装饰线条，将门窗框与外墙保温层衔接为一个整体，避免保温层在门窗周边出现中断。对于梁柱节点和穿墙管线节点，采用保温层包裹技术，将保温材料紧密包裹在梁柱和管线上，确保保温层与周边保温体系无缝衔接，同时在包裹部位设置固定措施，防止保温层脱落、移位，确保保温层的连续性和稳定性。

2.4 节点密封与抗结露辅助技术

节点密封与抗结露辅助技术，是热桥处理的补充措施，可有效减少冷热空气渗透，抑制结露现象，进一步提升热桥处理效果，适配寒冷地区被动式建筑的使用需求。节点密封技术主要针对各类节点的缝隙部位，采用适配的密封材料和密封工艺，阻断冷热空气渗透，减少热量流失^[4]。对于外门窗节点，采用多道密封工艺，在门窗框与墙体之间、门窗扇与门窗框之间设置密封胶条和密封胶，形成多重密封屏障，提升密封性能；对于穿墙管线、屋面与外墙交接等节点的缝隙，采用发泡聚氨酯、密封胶等材料填充，确保缝隙密封严密，避免冷热空气渗透。抗结露技术主要针对易产生结露的热桥节点，通过优化节点构造和材料选用，降低节点表面温度，抑制结露产生。在易结露节点部位，增设隔汽层，阻止室内水汽渗透到保温层和墙体内部，减少结露隐患；选用透汽性好的保温材料，促进墙体内部水分蒸发，避免水分积累；同时，优化节点通风构造，加强节点部位的通风换气，降低局部湿度，抑制结露现象。

3 寒冷地区被动式居住建筑关键节点热桥处理技术实践验证

3.1 实践验证方案设计

为验证热桥处理技术的有效性,结合寒冷地区气候特征和被动式居住建筑设计要求,选取典型被动式居住建筑项目作为验证对象,制定科学合理的实践验证方案,确保验证结果的真实性和可靠性。验证项目选取寒冷地区典型居住建筑,建筑结构为框架结构,主要热桥节点包括外墙与屋面交接、外门窗安装、梁柱节点、穿墙管线节点,涵盖各类典型热桥类型,具有较强的代表性。验证方案核心围绕热桥处理技术的应用效果展开,分为对照组和实验组,对照组采用传统节点设计方案,未采取针对性的热桥处理措施;实验组采用前文提出的热桥处理技术,包括节点构造优化、断热桥材料应用、保温层连续性强化及节点密封与抗结露辅助技术,确保各项处理技术规范应用。验证内容主要包括节点部位传热性能、室内热环境稳定性、节点结露情况等,通过现场检测和长期监测,对比两组项目的各项指标,验证热桥处理技术的实际效果。同时,明确验证流程,包括前期准备、技术施工、指标检测、数据整理分析等环节,制定详细的检测标准和监测周期,确保验证工作有序开展。

3.2 热桥处理技术施工实施要点

热桥处理技术的施工实施质量,直接影响验证效果,因此在实践验证过程中,严格把控施工实施要点,规范施工流程,确保各项技术措施落实到位。在节点构造优化施工中,严格按照设计方案施工,确保外墙与屋面、梁柱等节点的保温层衔接紧密,转角处弧形

保温构造施工规范,门窗框与墙体的企口衔接到位,穿墙管线套管安装准确,避免出现构造偏差^[5]。在断热桥材料应用施工中,严格把控材料质量,确保选用的保温材料、断热桥型材、密封材料等符合设计要求,材料铺设厚度均匀,拼接缝隙填充饱满,错缝拼接规范,避免材料破损、受潮。在保温层连续性强化施工中,加强对节点部位保温层施工的管控,确保保温层延伸到位,无缝衔接,梁柱、管线等部位的保温包裹严密,固定牢固,避免保温层断裂、移位。在节点密封与抗结露施工中,采用规范的密封工艺,密封材料填充饱满、均匀,隔汽层铺设平整、无破损,通风构造安装合理,确保密封和抗结露效果。施工过程中,建立施工质量检查机制,对每个施工环节进行严格检查,及时发现并整改施工过程中出现的问题,确保施工质量符合要求。

4 结语

寒冷地区被动式居住建筑的低能耗目标实现,离不开关键节点热桥的科学处理。典型热桥节点的危害的核心在于破坏围护结构保温连续性、加剧热量流失,而节点构造优化、断热桥材料应用、保温层连续性强化及密封抗结露辅助技术,可有效阻断热量传导通道,降低传热系数,减少热损失并提升室内热环境稳定性,延长建筑使用寿命。实践验证表明,针对性热桥处理技术能切实解决工程痛点,为被动式建筑节能设计与工程应用提供可靠支撑。依托现有技术成果,持续优化节点处理工艺、研发适配寒冷地区的新型断热桥材料,完善技术标准,可进一步推动被动式建筑技术升级,助力建筑行业绿色低碳转型,实现节能效益与居住舒适度的双重提升。

参考文献:

- [1] 周娟,闫纲丽,朱晓濛.寒冷地区被动式超低能耗居住建筑实践探究[J].黄河水利职业技术学院学报,2025,37(03):31-36+52.
- [2] 付晨曦.被动式居住建筑生命周期碳排放及含碳税成本研究[D].西安建筑科技大学,2024.
- [3] 肖宁.基于室内舒适时长的寒冷地区居住建筑被动式技术适用性研究[J].住宅产业,2024,(03):29-32.
- [4] 朱庆丰,魏琪,孙璐楠.寒冷地区被动式超低能耗居住建筑工程实践[J].建筑技术,2023,54(01):74-77.
- [5] 马新然,张利姣,陈兴飞.被动式超低能耗居住建筑室内气流组织模拟与分析[J].粉煤灰综合利用,2022,36(03):109-116.