

绿色建筑理念下寒冷地区建筑外墙保温材料应用研究

郭建, 郭葵, 张道明, 吕春, 王丹丹, 邬丹

齐齐哈尔大学建筑与土木工程学院, 黑龙江 齐齐哈尔

收稿日期: 2026年1月4日; 录用日期: 2026年1月27日; 发布日期: 2026年2月9日

摘要

在绿色建筑与“双碳”的目标驱动下, 我国的寒冷地区在外墙保温方面仍面临低温冻融、高能耗及材料老化等挑战。本文以绿色环保建筑体系为基础, 主要解决依据绿色建筑标准来选择以及应用适合寒冷地区的外墙保温材料, 提高建筑节能效益的问题。

关键词

寒冷地区, 外墙保温, 绿色建筑

Research on the Application of External Wall Insulation Materials in Cold Regions under the Concept of Green Building

Jian Guo, Wu Guo, Daoming Zhang, Chun Lyu, Dandan Wang, Dan Wu

College of Architecture and Civil Engineering, Qiqihar University, Qiqihar Heilongjiang

Received: January 4, 2026; accepted: January 27, 2026; published: February 9, 2026

Abstract

Driven by the goals of green buildings and “dual carbon”, cold regions in China still face challenges, such as low-temperature freeze-thaw, high energy consumption, and material aging in terms of external wall insulation. Based on the green and environmentally friendly building system, this article mainly addresses the issue of selecting and applying external wall insulation materials suitable for cold regions according to green building standards, in order to improve building energy efficiency.

文章引用: 郭建, 郭葵, 张道明, 吕春, 王丹丹, 邬丹. 绿色建筑理念下寒冷地区建筑外墙保温材料应用研究[J]. 材料科学, 2026, 16(2): 137-144. DOI: 10.12677/ms.2026.162032

Keywords

Cold Regions, Exterior Wall Insulation, Green Building

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近些年来,我国正处于工业化与城镇化加速发展的时期,促进了建筑行业的蓬勃发展,然而,我国的建筑耗能占据社会终端耗能的 30%。建筑节能是符合我国建设节约资源型和环境友好型社会的重要途径,同时也是我国建筑行业绿色发展的必由之路[1]。在寒冷地区由于特殊的气候条件,冬季采暖需求量大,耗能高,在保证居民居住舒适度的同时降低在寒冷地区的耗能是大势所趋。外墙保温借助对建筑围护结构热工性能给予优化,可直接降低建筑运行阶段的能耗,减少碳排放,外墙保温乃是建筑节能的关键技术途径,在建筑围护结构中,外墙的面积占比达到了 60%至 70%,在冬季寒冷的地区,经由外墙而散失的热量占总能耗的 30%至 40%。外墙保温可促使能源消费结构发生转变[2]。在寒冷地区,建筑供暖大多依靠燃煤或者燃气,而高效的外墙保温系统可供采暖负荷降低 30%至 50%。由此可见,寒冷地区建筑外墙保温材料的优化,降低能耗,对提升寒冷地区保温效率具有重要意义,在“双碳”目标背景下,建筑行业作为能源消耗和碳排放的主要领域之一,亟需通过技术创新推动节能减排[3]。

2. 绿色、节能理念的发展

随着经济的发展、人口的剧增、人类欲望的无限增值与生产、生活方式的无节制,环境面临越来越严重的问题,二氧化碳排放量与日俱增,地球臭氧层遭受前所未有的危机,全球灾难性气候变化屡屡出现,已经严重危害到人类的生存环境和健康安全,即使是高速增长 GDP 也因环境污染、气候变化而逊色许多。

我国原有建筑基数比率大,新建筑数量扩展迅速,加之人口众多,建筑能耗已占全国总能耗的 1/4 以上,特别是高耗能建筑的大量建造,用于房屋建设的能源消耗进度已经远远超出能源生产的增长速度,能源的过度使用对环境造成了一系列连环的负面问题[4]。因此 1986 年住建部发布《北方地区居住建筑节能设计标准》,要求新建居住建筑在 1980 年能耗基础上节能 30%。以北方寒冷地区居住建筑为切入点,首次建立节能标准体系。1995 年《民用建筑节能设计标准》的修订将节能目标提升至 50%,1997 年《节约能源法》首次以法律的形式明确了在节能方面的战略地位。2001 年《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》的发布,推动了节能工作向中部扩展。2005 年《关于发展节能省地型住宅和公共建筑的指导意见》明确强制执行节能 50%标准,北京等六地试点节能 65%标准;2008 年《民用建筑节能条例》首次提出可再生能源应用支持政策。住建部启动绿色建筑评价标识制度,推动建筑全生命周期节能理念。2012 年《节能减排“十二五”规划》要求新建建筑 20%达到绿色标准。2016 年《建筑节能与绿色建筑发展“十三五”规划》提出城镇新建建筑中绿色建筑占比超过 50%,2020 年全国强制执行节能 65%标准。推广装配式建筑、近零能耗建筑示范项目;既有建筑改造聚焦围护结构更新和空调系统优化,如北方清洁取暖改造。截至 2020 年,全国累计建成节能建筑 238 亿平方米,绿色建筑 66 亿平方米,既有建筑改造 15 亿平方米。2021 年以来碳中和目标下的全产业链转型阶段,围绕“双碳”目标,2024 年《加快推动建筑领域节能降碳工作方案》提出 2025 年超低能耗建筑规模化发展。

绿色低碳生活开始走进公众的视野，其目的在于减少生活作息所消耗的能量，从而减低碳，特别是二氧化碳的排放。目前国家积极提倡并去实践低碳生活、保护环境、节约能源，建立绿色的生活方式和行为准则，营造安全、舒适和高效便捷的建筑环境[5]。随着城镇化建设进程不断加快，使得建材行业的发展速度也较大提升，在环保节能的相关要求之下，若要维持建材行业的平稳增长态势，就一定要保证建筑建材的质量，以寒冷地区为例，需要着重关注保温功能，借助优质的建材来提高保温隔热的效果，实现环保的目标。

3. 寒冷地区气候对建筑保温性能的影响

寒冷地区例如北京、沈阳等地，最冷月平均温度在 -10°C 至 0°C 之间，日平均温度 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的天数为90~145天，其气候特征给建筑热工性能带来诸多挑战。寒冷地区冬季较长而且寒冷干燥，气温年较差较大，日照较丰富，春、秋两季短促，气温变化剧烈，建筑物须满足冬季防寒、保温、防冻等要求。总体规划、单体设计和构造处理应充分考虑冬季日照及防御寒风，建筑物可减少外露面积，加强冬季密闭性且利用节能措施降低能耗，结构上应降低气温年较差大、多大风的不利影响。

在建筑热工中，热桥属于致使围护结构保温性能出现失效状况的关键因素里的一个，它的形成原理是扎根于材料物理特性和构造设计之间所存在的矛盾，其本质实际上就是围护结构里热量传递的一条“异常通道”。热桥的本质在于导热性能存在“不均匀性”，建筑围护结构中的特殊部位材料的导热系数比周边区域高，使得热量传递效率变得异常高，像钢筋混凝土梁柱、金属窗框以及阳台板和墙体的连接处等，因为材料本身的特性，都成了热量传导的“高速通道”[6]。建筑墙体的传热过程包括表面吸热、内部传热与表面放热，由于建筑围护结构始终受室内和室外热作用的影响，因而热量总是不断地从建筑围护结构传入或传出。热量传递的方向与室内外温度的相对高低有关系，热量总是由温度高的地方传向温度低的地方，若室内温度比室外温度高，热量就会由室内通过建筑墙体传到室外，这种情况一般发生在寒冷的冬季，若室内温度比室外温度低，那么热量就会由室外通过建筑墙体传到室内，这种情况则一般发生在炎热的夏季。通过围护结构所需经过的三个具体过程，如图1所示。

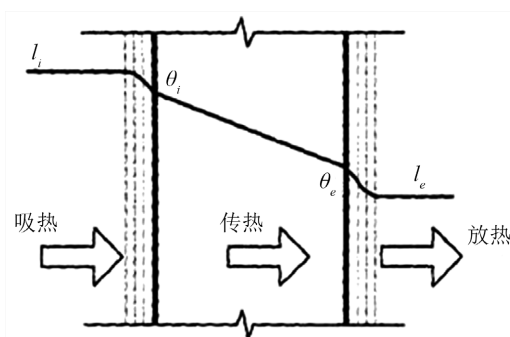


Figure 1. Heat transfer process on a flat wall
图 1. 平壁传热过程

传热机理与平壁传热过程可分为三阶段：(1) 外表面换热：热量通过空气对流(自然或强制)和长波辐射从环境传递到墙体表面；(2) 墙体内部导热：热量通过材料分子振动逐层传递；(3) 内表面换热：热量通过对流和辐射传递至室内环境。

建筑围护结构主体虽采用保温材料，但在建筑结构中的承重构件或者连接节点，这些构造元素不可避免地成为保温层里的“断点”，构成物理意义上的传热薄弱之处。建筑能耗不断增加，在冬季的时候，热桥变成了室内热量往外界散失的主要通道，到了夏季，又会让室外热量传入的情况加剧，有研究显示，

没处理的热桥可让建筑整体能耗提升 10%至 30%，在寒冷地区，仅仅墙角热桥就能让该区域热损失增加超过 50%，结露容易带来结构损伤方面的风险，热桥部位的表面温度一般比主体结构低，如果低于室内空气露点温度，水蒸气就会在其表面凝结，引发墙面发霉、涂料剥落，甚至出现钢筋锈蚀的情况。比如当室内温度为 20℃、相对湿度为 60%时，露点温度大约是 12℃，要是混凝土梁柱表面温度低于这个数值，就有可能结露。

因此在提升建筑热工性能的过程中，首先面临的是冬季热损失大以及结构性热桥引发的能耗与功能失效问题，冬季室内外温差大多时候超过 30℃，借助外墙传导散热在建筑总能耗中占比 30%至 40%，传统保温材料比如 EPS 板，其导热系数为 0.035 W/(m·K)，要契合 K 值 ≤ 0.35 W/(m²·K)的节能标准，厚度需达 100 mm 以上，这样占据室内空间，还存在力学稳定性方面的难题。更为关键的是，阳台、门窗洞口等部位存在结构性热桥，会使局部传热系数比主体墙高出 2 至 3 倍[7]，致使内表面温度低于露点温度，引发墙面发霉现象，实测未处理热桥的房间霉菌超标率达 60%，同时还会让整体节能效果降低 15%至 20%，举例来说，200 mm 厚岩棉板主体墙 K 值是 0.25 W/(m²·K)，但存在热桥时综合 K 值可能会升至 0.35 W/(m²·K)，抵消了大部分保温效果，传统加厚保温层的方式对水平热桥效果不明显，需要依靠断热桥锚栓等特种构件，断热桥锚栓热传导率 ≤ 0.004 W/(m·K)，不过这种方式技术复杂且成本较高。

寒冷地区冻融循环下材料耐久性危机与夏季热舒适存在矛盾，冬季昼夜温差能达到 15℃以上，频繁的冻融循环会给保温材料带来渐进式破坏，吸水性强的岩棉吸水后导热系数会上升 50%，冻胀致使层间剥离，EPS 板和混凝土基层由于热膨胀系数有差异，经过循环冻融后粘结强度会下降 30%至 40%。材料性能很难同时兼顾低导热与抗冻性，像 XPS 挤塑板抗冻性不错但透气性欠佳，容易引发内部冷凝，气凝胶性能优良然而成本高昂，夏季极端高温时，外墙外表面温度能超过 50℃，辐射得热凭借保温层缓慢传入室内，内保温系统因热惰性较低不能有效缓冲热量波动，使得夜间空调负荷增加 10%至 15%，单一保温策略难以平衡冬夏需求[8]，需要额外增添反射涂层或遮阳设施，提高构造复杂度。

气密性提升和通风需求之间的平衡难题，让热工性能优化的复杂程度增加，要减少冬季冷风渗透，也就是空气交换率要 ≥ 1.5 次/h，建筑气密性需要提高，但这样做可能会让室内甲醛、CO₂ 等污染物累积起来，就需要机械通风来补充氧气，这会增加 5%~8%的能耗。密闭环境会让墙体内部的湿气很难排出去，传统透气型保温材料的水蒸气渗透阻应与气密性高的气层一起设计，防止出现冷凝风险，自然通风和保温在时间上不匹配，冬季要保温，夏季要散热，这使得传统构造很难进行动态调节，这些挑战促使技术创新，比如把聚苯乙烯材料和气凝胶材料复合起来，提高 EPS/XPS 等材料的保温性能、防水防火性能，还可以降低导热性，以此提升外墙保温系统的保温性能。

建筑保温材料性能对比与经济效益评价如表 1 至表 4 所示。

Table 1. Comparison of thermal conductivity of insulation materials
表 1. 保温材料导热系数对比

材料类型	导热系数(W/(m·K))
EPS	0.030~0.039
XPS	0.025~0.035
PU	0.022~0.026
PR	0.019~0.022
岩棉	0.040~0.048
玻璃棉	0.036~0.043
气凝胶	0.013~0.018
酚醛泡沫	0.025~0.030

Table 2. Comparison of fire resistance of insulation materials
表 2. 保温材料防火性能对比

材料类型	燃烧等级
EPS	B1/B2 级
XPS	B1/B2 级
PU	B2 级
PR	B1 级
岩棉	A1 级
玻璃棉	A1 级
气凝胶	A1 级
酚醛泡沫	B1 级

Table 3. Comparison of moisture resistance of insulation materials
表 3. 保温材料防潮性能对比

材料类型	吸水率(%)	水蒸气渗透阻(MN·s/g)
EPS	1.5~3.0	0.8~1.2
XPS	0.1~0.3	1.5~2.0
PU	≤3.0	1.5~4.5
PR	≤2.0	2.0~5.0
岩棉	1.0~3.0	0.5~0.8
玻璃棉	≤0.3	0.6~1.0
气凝胶	≤3.0	3.0~6.0
酚醛泡沫	≤2.0	2.5~4.0

Table 4. Comparison of economic benefits of insulation materials
表 4. 保温材料经济效益对比

材料类型	材料单价(元/m ²)	施工成本(元/m ²)	生命周期成本(10 年)
EPS	35~65	15~25	180~260
XPS	65~130	20~30	220~310
PU	180~260	30~40	350~460
PR	200~320	35~45	400~520
岩棉	85~130	25~35	280~360
玻璃棉	25~55	22~28	150~210
气凝胶	480~780	50~80	580~780
酚醛泡沫	125~185	25~35	300~420

4. 绿色建材资源化再生利用

随着绿色建筑理念的兴起，寒冷地区建筑节能的需求变得日益迫切，外墙保温在其中扮演着关键角色，然而现有的保温材料却存在适配方面的问题，绿色建筑外墙保温材料应用原则主要有因地制宜原则、经济性原则以及科学性原则，因地制宜原则着重指出，在挑选保温材料以及施工方法时，全面综合建筑所在地区的气候状况、地形特点以及环境条件，经济性原则规定，在选择外墙保温材料时，除了要顾及初始投资成本之外，还需要综合评判材料的使用寿命、维护成本以及由能效所带来的长期经济效益。

在寒冷地区，建筑外墙保温对于保障室内热环境以及降低能耗而言是极为关键的技术环节，该区域冬季时间漫长，气温极低，极端低温可达到零下 30℃ 以下，建筑外墙要承受严寒、风雪以及冻融循环等多重考验，对保温材料的导热系数、耐候性、防火性能以及结构稳定性提出了非常高的要求。当前寒冷地区外墙保温材料的应用主要是有机类、无机类以及复合类材料，构建成了功能导向下的多元化技术体系。

目前，在选材上从热工性能、材料特性及实际应用需求综合考虑，聚氨酯(PU)是优先选择的保温材料，由于 PU 的导热系数约为 0.020~0.025W/(m·K)，在常见保温材料中处于较低水平能有效减少热量传递。寒冷地区冬季温度低，对材料的保温效率要求高，PU 可通过较薄的厚度达到理想的保温效果，减少建筑空间占用和构造层厚度。同时，该材料的闭孔率超过了 90%，能较好地避免由于吸水而导致的性能衰减，从而能够节约生命周期成本，而且阻燃效果达到 B2 级别，虽然未达到 A1，但从综合方面考虑 PU 的性价比高于部分防火性较好的材料，B1 级别的防火等级可以满足寒冷地区的使用要求。

寒冷地区建筑保温需兼顾“高效保温、抗冻防潮、施工便利”，聚氨酯(PU)凭借低导热、高闭孔率、耐低温及施工适应性，成为综合性能最优的选择。若防火要求极高，可采用“PU + 防火保护层”构造，或在特定部位(如消防通道)搭配岩棉，但整体仍以 PU 为优先。

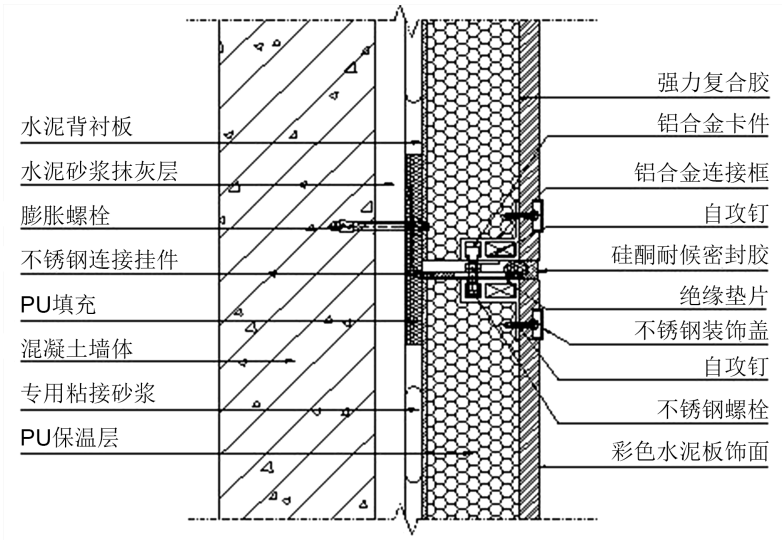


Figure 2. Detailed drawing of external wall insulation structure
图 2. 外墙保温构造详图

以寒冷地区建筑外墙保温为例(图 2)，PU 保温板和传统 EPS 保温板在全生命周期成本方面存在着明显差异，在生产阶段，由于 PU 保温板的原料成本比较高，其初期投资相较于 EPS 增加了 60%，也就是从 540 万元增长到 864 万元，不过它的板材厚度减少了 50%，即从 60 mm 减至 30 mm，这种轻质化优势使得墙体荷载降低，间接减少了大约 35 万元的结构成本。在使用阶段，PU 保温板有着超低的导热系数，年供暖能耗从每平方米 52.3 千瓦时降低到了 30.5 千瓦时，50 年累计能耗成本从 1.255 亿元降低至 732 万元，降低幅度达到了 94.1%，在维护与回收阶段，PU 保温板的抗冻融性能让维修频率降低了 70%，50 年的维护成本仅为 30 万元，而 EPS 的维护成本则是 540 万元，PU 保温板 80% 的高回收率给予了负碳排放效益，而 EPS 进行填埋处理会产生额外的碳排放。总体而言，PU 保温板全周期净成本比 EPS 降低了 37.6%，有较大的长期经济性优势。

从能耗以及碳排放的角度，PU 保温板在整个生命周期之内呈现出环境友好的特性，在使用阶段，以

北方居住建筑为例,使用 PU 保温板之后,在长达 50 年的供暖周期里面,累计可减少能耗 5232 万 kWh,这等同于少燃烧 1783 吨标准煤,减少 CO₂ 排放 4.89 万吨,占据其全生命周期减排量的 98.6%。PU 保温板把外墙传热系数从传统 EPS 保温板的 0.62 W/(m²·K)大幅度降低到了 0.28W/(m²·K),使得建筑围护结构的热损失降低了 55%,热量散失变少了,建筑供暖系统的运行时间也缩短了,降低了能源消耗,达成了节能减排。

在回收阶段当中,PU 保温板所采用的再生利用技术让它的环境效益得到了提高,当前 PU 保温板的回收工艺有着较高的回收率,能达到 80%,而且其再生生产能耗相比原生生产降低了 50%,这一降低幅度所带来的效果是相当于减少了 50.4 吨 CO₂ 排放,与之形成对比的是,EPS 保温板的回收率仅仅只有 30%,剩余的 70%因为难以降解只能进行填埋处理,这种处理方式占用了土地资源,而且还存在着潜在的环境风险。借助综合全生命周期的计算可以发现,PU 保温板的碳排放量要比 EPS 保温板低 44.7%。

在资源利用以及可持续发展方面,PU 保温板借助材料创新和工艺优化搭建起更为高效的循环体系,在原材料和生产环节,PU 保温板以 30 mm 的厚度设计突破传统限制,在 50 年的使用周期内可减少 576 吨 PU 材料的消耗,换算成石油资源节约量可达 1900 吨。在发泡工艺方面,PU 保温板运用新型节水技术,和传统生产方式相比节水幅度高达 30%,以单个建筑项目来说,仅生产环节就能节约 0.8 万吨水资源,这在水资源日益紧张的当下有着意义。

当进入到回收与再生环节时,PU 保温板其完整回收率高达 85%,回收之后的 PU 保温板经过破碎处理,可作为核心原料用于生产隔音材料,实现了“变废为宝”。借助先进的化学回收技术,可提取出 70% 的多元醇单体,使其重新投入到生产循环之中,并且该过程的能耗相较于原生材料生产降低了 50%,这在很大程度上减少了能源消耗以及碳排放,有力地推动了整个产业链朝着资源节约型、环境友好型的方向实现升级。

在应用模式方面,寒冷地区一般采用“以外保温为主、内部保温为辅”的技术路线,外墙外保温系统,像薄抹灰系统、保温装饰一体板,由于可形成连续的保温层,并且可以避免热桥的出现,成为新建建筑的主流方式,占比超过 70%,而内部保温因为容易产生冷凝现象,还会占用室内空间,仅被用于改造项目或者局部节点的处理。随着《建筑节能与可再生能源利用通用规范》的实施,寒冷地区居住建筑的节能率要求提高到了 75%,这促使保温材料朝着“高保温、长寿命、低环境负荷”的方向发展,未来兼具高效保温与绿色低碳特性的材料,比如生物基聚氨酯、recycled 岩棉,以及预制装配化保温技术,会成为寒冷地区建筑节能的关键发展方向。需要解决复杂气候条件下保温系统的可靠性问题,例如借助智能监测技术来预防保温层空鼓、脱落等隐患,以此实现技术与环境的协同优化。

5. 结语

在寒冷地区的建筑中,材料因为温度出现波动而产生的热缺陷,会对保温性能造成削弱,甚至还可能引发结构安全方面的问题,绿色建筑理念可有效促使寒冷地区建筑低碳转型,依靠“节能-产能-回收”的绿色闭环,推动保温材料产业朝着“低能耗、高安全、可循环”的方向升级。

基金项目

黑龙江省高等教育学会高等教育研究课题(23GJYBB206);2024 年度黑龙江省教育科学规划课题(GJB1424196);黑龙江省省属本科高校基本科研业务费项目(145409402)。

参考文献

- [1] 姜自勤. 绿色建筑节能背景下的外墙保温材料应用[J]. 居舍, 2025(14): 65-67.

- [2] 陈先志, 朱佳音, 崔国游, 等. 寒冷地区超低能耗高层建筑的围护结构热工设计优化研究[J]. 建筑节能(中英文), 2022, 50(2): 65-70.
- [3] 尹峰峰, 孙焕喜. 绿色建筑节能保温材料在建筑外墙中的应用研究[J]. 生态与资源, 2024(1): 68-70.
- [4] 朱雪华, 杨智瑜. 寒冷地区既有居住建筑供暖改造与节能分析[J]. 建筑与预算, 2023(6): 47-49.
- [5] 冯斌. 绿色建筑节能视角下外墙保温材料应用[J]. 陶瓷, 2023(3): 10-15.
- [6] 马晓红. 西北寒冷地区装配式预制夹心外挂墙板热工性能优化研究[D]: [硕士学位论文]. 银川: 宁夏大学, 2021.
- [7] 王福熙. 基于全生命周期理论的建筑碳排放与成本优化研究[D]: [硕士学位论文]. 秦皇岛: 燕山大学, 2024.
- [8] 安瑞. 严寒地区典型办公建筑全生命周期零碳设计策略研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2024.