

建筑动态保温设计的影响因素及优化策略研究

刘晓然

重庆市交通大学 重庆 400074

DOI:10.12238/ems.v7i12.16455

[摘要] 在世界能源危机和建筑节能需求的不断增强下,建筑动态保温设计已经被越来越多地作为建筑节能的主要研究方向。建筑设计中动态保温要素主要包括环境气候、材料和建筑设计等。环境气候的复杂性要求保温系统具备良好的适应与调节能力。材料的导热系数、质量密度等特性直接影响其动态保温性能;同时,建筑朝向、窗墙比及构造设计等因素也至关重要。因此,建筑动态保温设计的优化策略应该从多方面进行探讨。该研究为推动建筑节能、提升室内热舒适性提供了借鉴与参考。

[关键词] 建筑动态保温; 影响因素; 优化策略

1 引言

1.1 研究背景与意义

随着全球能源危机与气候变化问题日益严峻,建筑节能已成为实现“双碳”目标的关键领域。据统计,我国建筑运行能耗占全社会总能耗的 20%以上,其中围护结构传热损失占比超 40%。传统静态保温技术通过固定保温材料与构造实现隔热,但其无法适应动态变化的室外气候(如昼夜温差、季节交替)与室内负荷(如人员活动、设备运行),导致“过保温”或“欠保温”问题频发,节能潜力受限。建筑动态保温技术通过材料、结构或系统的动态调节,实现保温性能随环境与需求实时适配,被认为是提升建筑能源效率、改善室内热环境的重要途径。因此,有必要研究建筑物的动态保温方式,以降低建筑物能源消耗以及提升居住者的舒适性。

1.2 动态保温技术的定义

表 1 典型城市的气候参数与保温调节需求

城市	气候区	年平均温度 (°C)	极端最低温度 (°C)	极端最高温度 (°C)	保温调节需求
哈尔滨	寒冷地区	3.5	-38.1	36.4	冬季加强保温, 采用高效保温材料
上海	夏热冬冷地区	17.6	-10.1	39.9	兼顾冬夏, 冬季保温、夏季隔热
昆明	温和地区	15.8	-5.4	31.5	过渡季注重通风, 适当保温

2.1.2 动态环境参数

外界昼夜温差、太阳辐射强度和风速等动态参数都会对建筑保温性能产生影响。在白天的强日光照射下,要求建筑物拥有良好的隔热性能以控制热量传入;而在夜间由于气温降低,需要通过良好的保温效果来减少热量散失。除此之外,太阳辐射强度和昼夜温差会引起建筑物内外温度差变化,进而带来热流量的变化。风速会加速热量的对流散失,影响保温效果。

2.2 材料性能因素

2.2.1 材料响应性能

动态保温技术是指通过材料自身性能响应、结构几何形态变化或智能控制系统调节,使建筑围护结构的传热系数(K 值)、热惰性指标(D 值)等热工参数随外部环境或内部需求动态变化的技术体系。

2 建筑动态保温设计的影响因素

2.1 外部环境因素

2.1.1 气候区域差异

温湿度的变化特性对建筑物的动态保温需求影响不同,如处在寒冷环境中的住宅对保温性能要求更高,需要其能够有效抵御低温侵袭;处在夏热冬冷地区中的住宅需要在冬天供暖的同时要考虑夏天的升温问题;而处在温暖环境的住宅虽然温度较为稳定,但也要有一定的保暖措施;极端天气下,如暴雨导致的水害以及寒潮带来的降温等也会影响保温效果。

以下是典型城市的气候参数与保温调节需求对比:

相变材料、气凝胶等新型材料具有独特的温敏/光敏响应特性。相变材料在相变温度区间内,能吸收或释放大量潜热,有效调节温度。气凝胶具有极低的导热系数,能有效阻止热量传递。相比之下,传统材料如 EPS(聚苯乙烯泡沫板)、XPS(挤塑聚苯乙烯泡沫板)热阻固定,无法随环境变化调节,在动态环境中适应性较差。

2.2.2 材料复合性能

单一材料难以满足动态保温的多目标需求,需通过复合设计优化综合性能。例如“相变材料+反射涂层”复合体系:冬季相变材料蓄存太阳辐射热,反射涂层降低长波辐射损失;

夏季反射涂层减少太阳得热, 相变材料吸收室内余热, 实现双向调节。

2.3 建筑设计因素

2.3.1 建筑功能与空间需求

建筑功能决定动态保温的调节逻辑。居住建筑以保障热舒适为主, 而工业建筑则以能耗最低为目标。居住空间因昼夜作息差异而强调分室分时精控; 办公建筑则因固定工位与间歇运行特征更侧重上班前预冷预热与下班后快速降温的“削峰填谷”; 文化展览类场所出于对恒温恒湿与展品安全的双重考量, 要求系统在高扰动客流下仍维持稳态优先、动态微调的策略等。

2.3.2 围护结构构造设计

建筑的墙体、屋面以及外窗的设计形式对动态保温适应的效果有着很大影响, 夹芯墙中间的空气层或保温材料能有效阻止热量传递, 而呼吸式幕墙可以通过开启以及关闭的方式调节室内的外界空气流通达到动态适应保温的效果。但是, 结构连接点如门窗洞口等都是热桥高发部位, 热量损失较大, 比如双层皮幕墙因为内部能够调节空气流通量, 夏季开启通风降低室内温度, 冬季关闭减少热量散失, 设计时要合理控制空气层厚度和通风口大小。

2.4 技术应用因素

2.4.1 控制技术与系统集成

结合智能传感器和执行器使用, 能够对建筑的动态保温进行智能控制。例如根据光照强度信息自动控制电动窗帘的开合, 防止过多阳光进入室内以及保持室内适当光亮; 可调保温层也可以根据建筑内/外温度的差异控制隔热程度。物联网环境下的数据交互, 通过连接多个系统(暖通+照明), 可以提高建筑物能源利用效率, 但不同系统之间的数据交互和兼容性是需要解决的问题, 因此需要统一的交互协议来保证各个系统的功能。

2.4.2 施工工艺与成本投入

以下是不同技术的施工复杂度与成本占比对比:

表 2 不同技术的施工复杂度与成本占比

技术类型	施工复杂度	成本占比
主动式动态保温	高	60%
被动式动态保温	低	40%

3 建筑动态保温设计的优化策略

3.1 材料创新与性能优化

3.1.1 响应性材料的功能强化

为提升相变材料的性能, 纳米改性是一种有效的方法。例如, 石墨烯可显著提高相变物质的热导率。石墨烯热传导

性极高, 能为相变物质内部构造有效的热通路, 提高了热导率。此外, 表面处理技术如疏水涂层的应用, 可改善相变材料的耐候性。防水材料能防止水分进入, 防止在受潮后发生损坏, 保证其在恶劣条件下的使用寿命。

3.1.2 低成本复合体系设计

为降低动态保温材料成本, 可采用“高性能材料+常规材料”的复合策略。例如, 将相变材料仅集成于围护结构内层(占墙体厚度的 20%-30%), 外层采用普通保温材料(如 EPS), 既保证动态调节功能, 又降低成本 30%以上; “反射薄膜+空气层”复合构造, 夏季可降低外表面温度 8-10°C, 等效于增加 50mm 保温层。

3.1.3 耐久性提升技术

抗老化涂层和结构增强措施对延长材料寿命至关重要。氟碳漆作为一种抗老化涂层, 具有优异的耐候性和化学稳定性, 能有效防止材料因紫外线、氧化等因素老化。结构增强如玻璃纤维网格布的使用, 可提高材料的强度和韧性, 防止材料开裂、破损。

3.2 结构动态调节设计

3.2.1 模块化可调节构造

设计“基础保温层+可替换功能模块”的组合结构, 可以让建筑保温做出动态调节, 在寒冷地区, 冬季可以安装相变模块, 利用这一功能将热量保存从而起到升高室温的作用; 而在炎热的季节则应添加通风模块, 以此来提升室内散热降温的效率。

3.2.2 多模式协同调节结构

通过“被动调节(遮阳)、主动调节(电热)”联合的方式, 使建筑被动保温的适应性增加。在阴天或者是雨天的时候没有较多的阳光, 被动遮阳不能达到保暖的要求, 这时可用电加热来弥补。优化模式切换逻辑有利于提高调控效果。例如: 设定温度阈值触发调节模式, 当温度<18°C 时, 开始启动加热。控制流程图清晰地展示了协同机制, 确保系统能根据环境变化自动、准确地调节。

3.2.3 轻量化与结构适配设计

通过轻量化材料与构造优化降低对主体结构的负荷。

以下是不同材料的密度与保温性能对比:

表 3 不同材料的密度与保温性能

材料	密度 (kg/m³)	导热系数 (W/(m·K))
泡沫陶瓷	200 - 300	0.05 - 0.1
传统保温砖	600 - 800	0.1 - 0.2
气凝胶复合保温板	100 - 200	0.03 - 0.05

3.3 智能控制与系统集成

3.3.1 自适应控制算法优化

优化模糊控制算法能提升动态保温系统中的智能性,用历史数据预测出温度的变化趋势,并适当提前调控保温措施,例如在温度将会突然下降时,保暖措施就会适当的增强,以保证室内不会出现温度剧增的情况;使用神经网络等机器学习工具也能进一步优化系统应对复杂环境的能力,神经网络能够使用自学习的方法获得环境因素和保温需求之间的关系,并借此不断优化控制策略。

3.3.2 多系统协同集成

集成暖通空调、照明以及遮阳系统的控制平台将有助于实现最优化的建筑能耗控制。在 BEMS 的指导下对不同系统进行集中化调度,所有系统将根据环境的变化和使用者的需求协同工作。

3.3.3 数字孪生与可视化调控

构建建筑动态保温的数字孪生模型,就可以实时呈现系统的运行状态。通过数字孪生模型,管理人员可以直接了解系统运行情况,及时发现潜在问题。比如,通过温度云图可以快速定位高温区域,通过能耗曲线分析能耗状况,实际应用中,通过模型可提前预警保温层破损,减少维修成本。

3.4 区域适配性设计策略

3.4.1 气候分区优化方案

以下是不同气候区的优化重点与材料选择对比:

表 4 不同气候区的优化重点与材料选择

气候区	优化重点	材料选择
寒冷地区	加强冬季保温	高相变潜热材料、高效保温棉
夏热冬冷地区	兼顾冬夏调节	气凝胶、相变复合材料
温和地区	侧重过渡季通风	通风性能好的保温板材

3.4.2 地域资源利用设计

利用本地材料开发低成本保温体系是一种可持续的设计策略。在南方,竹纤维资源丰富,可制成竹纤维复合板用于保温;在北方,秸秆可作为保温材料。同时,结合可再生能源能进一步提高保温系统的性能。

4 研究不足与未来展望

4.1 现有研究不足

虽然目前在建筑动态保温方面的研究已经取得了一些进展,但依然存在不足之处与缺陷。

基础理论研究薄弱:动态保温材料的热响应机理尚未完全明晰,多因素耦合作用下的性能预测精度不足;

技术集成度低:动态保温与建筑功能、能源系统的协同设计缺乏系统性方法,实际工程中多为“单一技术叠加”,整体节能效果未能充分发挥;

经济性与耐久性瓶颈:动态保温技术成本较传统保温高

50%-100%,且长期耐久性数据不足。目前可查到的对动态保温材料开展的耐用性测试有限,超过 10 年寿命的实验只有约 1/10;

评价体系不完善:现有标准(如 GB/T 50176-2016《民用建筑热工设计规范》)未涵盖动态保温性能评价指标,缺乏统一的设计导则与验收标准。

4.2 未来研究方向

“材料-结构-控制”多学科交叉研究:打破学科界限,整合材料科学、结构工程和控制理论等多学科知识,研发更高效的动态保温系统。针对极端气候条件,如极寒、极热、强风等,开发适应性强的动态保温技术,提高建筑在恶劣环境下的安全性和舒适性。

5 结论

综上所述,建筑动态保温设计是实现建筑节能减排、提升居住舒适度的关键之一。其核心影响因素主要包括环境、材料、设计和技术四个方面。针对这些影响因素,可通过材料创新、结构调节、智能控制和区域适配等优化路径提升动态保温设计水平。展望未来,通过多学科协同创新,动态保温技术有望在“双碳”目标下成为绿色建筑的核心技术之一,为建筑环境的可持续发展提供关键支撑,进而提升建筑的舒适性。

【参考文献】

- [1] 柴学勇. 不同气候分区外墙保温材料应用占比及节能效果量化研究[J]. 居舍, 2025, (22): 42-44.
 - [2] 武云云. 建筑外墙保温材料节能检测方法优化与技术应用研究[J]. 砖瓦, 2025, (07): 120-122.
 - [3] 黄新. 建筑工程绿色建筑技术与绿色建筑材料的应用研究[J]. 居舍, 2025, (12): 42-44.
 - [4] 黄金帅, 许凤美. 基于动态模拟的某住宅建筑围护结构节能改造[J]. 绿色建造与智能建筑, 2025, (04): 7-9.
 - [5] 金倩. 建筑表皮动态保温技术研究[J]. 建筑技艺, 2020, 26 (08): 56-58.
 - [6] 刘新惠. 民用建筑节能检测中常用外墙保温隔热材料检测方法研究[J]. 广东建材, 2024, 40 (04): 46-49.
 - [7] 周世强, Razaqpur Abdul Ghani. 新型动态保温相变 Trombe 墙体热性能的实验研究[J]. 太阳能学报, 2024, 45 (02): 10-15.
 - [8] 李晓君. 保温材料分类及外墙保温材料检测常见问题分析[J]. 居舍, 2023, (10): 50-53.
- 作者简介: 刘晓然, 出生年月: 2002 年 6 月, 女, 汉族, 学历: 本科, 籍贯: 山东潍坊, 研究专业方向: 建筑学。