 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i1.8968

# Research on the Design and Optimization of Thermal Insulation Structure for University Buildings in Cold Regions Based on Artificial Intelligence

**Keqing Jia Mingxuan Li Zhi Li Shiyu Xiu Meie Jia**

University of Science and Technology Liaoning, Anshan, Liaoning, 114000, China

**Abstract**

In severely cold regions, winters are long and low-temperature disasters occur frequently. Due to the strong functional complexity and diverse usage requirements of university buildings, the difficulty of insulation structure design is much higher than that of ordinary civil buildings. At present, the insulation design of university buildings in this area mostly relies on empirical practices and static thermal calculations. In practical applications, problems such as prominent thermal bridge effects and inadequate energy consumption control often occur. This paper takes university buildings in cold regions as the research object, attempts to integrate artificial intelligence technology into the design of insulation structures, builds a multi-objective optimization model, and combines BIM visualization design methods to propose insulation structure schemes for different functional areas in a targeted manner. At the same time, it improves the design details of thermal bridge prevention and freeze-thaw prevention. The research enriches the relevant design system from a theoretical perspective and provides practical optimization paths that can be implemented, offering support for the green upgrade of insulation technology in public buildings in severely cold regions.

**Keywords**

Insulation structure design of university buildings in cold regions, artificial intelligence optimization model, BIM

# 基于人工智能的严寒地区高校建筑保温构造设计与优化研究

贾柯清 李明轩 荔智 修诗宇 贾美娥

辽宁科技大学，中国 · 辽宁 鞍山 114000

**摘 要**

严寒地区冬季漫长且低温灾害频发，高校建筑因功能复合性强、使用需求多样，其保温构造设计的难度远高于普通民用建筑。目前该区域高校建筑的保温设计大多依靠经验做法和静态热工计算，实际应用中常出现热桥效应突出、能耗管控不到位等问题。本文以严寒地区高校建筑为研究对象，尝试将人工智能技术融入保温构造设计，搭建多目标优化模型，并结合BIM可视化设计手段，针对性提出不同功能区的保温构造方案，同时完善防热桥、防冻融的设计细节。研究从理论层面丰富相关设计体系，实践层面提供可落地的优化路径，为严寒地区公共建筑保温技术绿色升级提供支撑。

**关键词**

严寒地区 高校建筑 保温构造设计 人工智能 优化模型 BIM

## 1 绪论

### 1.1 研究背景

严寒地区隶属温带大陆性气候带，冬季严寒漫长且冻土层深厚，夏季短促且气温梯度差异显著，该区域建筑需优先落实防寒防冻保温技术要求，高校建筑是承载教学、科研、生活的公共建筑，具备人流密度高、功能分区多元、使用时段集中、节能降耗标准严苛四项特殊性，但传统保温构造设计存在四项核心技术局限，保温层与主体结构协同性缺失、热桥部位处置粗疏、材料选型气候适配性不足、成本效益与耐久性失衡等，对高校基建长久性与经济性的属性要求很难满足。由于人工智能技术的发展，其在建筑领域显现四项核心发展趋势，设计工具智能化升级、人机协作模式深化、设计流程全面革新、应用覆盖建筑全生命周期，能够有效破解传统建筑行业技术痛点，为行业高质量发展开辟全新路径。

### 1.2 研究的意义

理论层面，丰富严寒地区高校建筑保温构造设计的理论体系，延伸人工智能技术在建筑围护结构领域的应用维度，建立性能量化分析体系，推动建筑保温设计从定性分析向定量优化的转变。

实践层面，可针对严寒气候与高校建筑的功能特点，提出可落地的保温构造优化方案，解决传统保温工程中的技

【作者简介】贾柯清（2006–），女，中国山西临汾人，本科，从事建筑技术科学研究。

术难题，形成人机协同的新型设计模式，为同类公共建筑的保温设计提供可参考的技术思路等。

### 1.3 国内外研究现状

在严寒地区建筑保温与人工智能融合领域，国外研究起步较早。德国被动房技术体系依托高性能保温材料与节点精细化设计达成超低能耗目标，借助深度学习等智能技术联动 BIM 工具完成保温构造的多目标优化工作，形成完善成熟的技术应用范式。国内研究聚焦保温材料革新与人工智能技术实践，成功研发纳米复合保温材料等新型产品，但针对高校建筑功能特性的定制化设计存在明显欠缺，智能技术与保温构造设计的融合深度不足，适配严寒地区高校建筑的可推广技术范式仍未构建完成。

### 1.4 研究创新点

本研究立足严寒地区气候特质与高校建筑功能属性，针对传统保温构造协同性不足等技术短板，我们小组总结出了四个创新点：一是融合建筑学、人工智能与高校基建管理学科要素，搭建专属交叉学科研究框架；二是突破材料性能微观研究层面，转向构造系统集成中观研究维度，直击细部构造设计核心难点；三是打通建筑图纸与物理模拟数据链路，创立图数联动的智能构造设计全新路径；四是输出可直接落地的优化构造图集与设计辅助工具，助力严寒地区高校建筑保温设计的智能化转型。

## 2 相关理论与技术基础

### 2.1 严寒地区建筑保温材料的基本理论

传统内保温做法或是直接采用非黏土墙材的方式，节能效果差，还容易出现热桥、墙面霉变的问题；而保温材料施工时易发生许多安全事故。因此，保温结构一体化技术成为严寒及寒冷地区建筑节能需求的设计趋势。严寒地区高校建筑的围护结构保温设计，要遵循最小传热阻、防结露、防冻融破坏的原则，以此保障建筑在低温环境下的使用安全与耐久性。选择保温材料时，也需结合严寒地区的气候特点，考量材料的导热系数、抗压强度、等指标，进而挑选适配的材料。

### 2.2 高校建筑保温构造设计的基础和特殊要求

建筑墙体通常由结构墙体和保温系统组成。一般的保温系统结构常常围绕：“基层处理～保温层～保护层～装饰层”进行设计。在高校建筑保温构造设计中需要适配不同功能分区的差异化保温需求：教学区的构造要同时满足保温与隔声的双重要求，宿舍区需优先保障居住的热舒适性等，在保温构造设计中，还需兼顾经济性与耐久性，在达到严寒地区节能标准的基础上，合理控制建设阶段的造价与后期的维护成本。

## 3 严寒地区高校建筑保温构造现状调研与分析

### 3.1 调研对象与方法

此次调研选取了东北三省及内蒙古北部等严寒地区 3-5 所典型高校的不同类型建筑物，如教学楼、图书馆、宿舍楼等作为调研对象，并综合运用实地测量、图纸分析、问卷调查、能耗数据采集等方法，以我校辽宁科技大学为例进行说明：实地测量侧重于围护结构传热系数等参数的获取；分析图纸重点在于梳理保温结构形态和材料参数；对师生满意的室内热环境，采用问卷调查法进行信息收集。此外还通过与学校基建处相关负责人及教师沟通，补充获取了调研所需的相关资料。

### 3.2 现状特征分析

调研结果显示，严寒地区高校建筑的外墙、屋面、门窗等部位保温构造形式多样，部分建筑仍沿用传统保温做法。实地测量发现，高校建筑的围护结构传热系数大部分未达到严寒地区现行节能规范要求。保温构造的现存问题一是传统外保温系统出现老化问题，部分建筑外墙保温板存在开裂，粘接锚固点的耐久性不足；其二是热桥效应显著，建筑结构构件与保温层的衔接部位未做专门的断热处理，成为能耗损失的主要区域。

## 4 基于人工智能的保温构造优化模型构建

### 4.1 模型构建目标与思路

模型构建的核心目标是依托最低能耗、最优热工性能与合理成本的三重约束条件，确定建筑保温构造的最优参数组合。通过依托人工智能技术构建面向建筑围护结构的保温构造智能。研究通过系统梳理建筑围护结构保温性能的关键影响因素，建立各影响因素与构造整体保温效果间的非线性映射关系，以此搭建智能算法驱动的机器学习模型。

### 4.2 数据集的建立与预处理

数据集的构建需遵循标准化流程且需兼顾建筑工程的专业属性。首先需结合保温构造性能预测、方案优化等具体研究目标，明确数据集的核心类型与关键要素。随后开展定向数据采集工作。为保障数据质量，采集工作完成后需开展针对性的数据清洗操作，清洗完毕可进一步实施数据标注。

### 4.3 机器学习预测模型的选择与训练

模型选型阶段需选取 BP 神经网络等多元机器学习算法，依托验证集数据测算均方误差（MSE）、决定系数（$R^2$）等核心指标以对比不同算法的预测精度。

训练误差与泛化误差是机器学习驱动建筑保温构造优化研究的两大核心概念。在建筑保温构造优化场景中，训练误差体现为模型对训练集中建筑热工参数、能耗数据的拟合程度，其数值大小直接反映模型对已有样本的学习效果；泛化误差则代表模型应用于新的建筑项目、不同热工分区场景时的预测精度，是衡量模型工程实用价值的核心指标。

### 4.4 多目标优化模型的构建

本文选取建筑能耗最小化、围护结构热工性能最优化、工程建造成本最低化三项指标，构建适用于严寒地区节能高校建筑优化体系。本次确定的体系需满足严寒地区建筑节能设计规范要求、保温材料性能指标限定条件以及施工工艺实际可行性标准，同时契合当地建筑施工技术水平与材料供应

条件，确保优化方案具备理论指导价值与工程实践意义。

## 5 严寒地区高校建筑保温构造现状调研与分析

### 5.1 不同功能区的差异化保温构造设计

不同功能区建筑的使用特性、能耗需求差异显著，保温构造设计需针对性优化。如高校教学楼需兼顾保温与隔声，采用“岩棉板外墙外保温＋中空 Low-E 玻璃门窗”构造。其次，严寒地区高校宿舍楼在消除安全隐患前提下，增加外墙与屋面保温层厚度、设置封闭阳台保温等方法，解决采暖问题。另外大跨度空间结构要根据受力情况分析，优化屋面保温构造。

### 5.2 保温构造的防热桥与防冻融设计

保温构造的防热桥与防冻融设计是提升建筑节能性和耐久性的关键。防热桥处理需针对梁柱、门窗洞口等热传递较差部位，局部加厚保温层，阻断热桥通道。同时注意防冻融破坏，在保温层内侧设置隔汽层阻止水汽渗入，外侧设计排水层疏导雨水，可以优先选用岩棉等耐冻融的保温材料，避免冻胀导致的保温层分层脱落的问题。

### 5.3 基于 BIM 的可视化设计与碰撞检测

运用 BIM 的保温构造设计，可明显提高工程效率与设计精准度。将优化后的保温层厚度、材料参数及节点做法导入 BIM 平台，能建立保温构造可视化模型，直观呈现梁柱、门窗洞口等热桥部位的加强保温细节。并且利用 BIM 检测功能，可精准排查保温构造与建筑主体结构等空间冲突，及时调整节点设计方案。

## 6 效果分析

### 6.1 经济效益与社会效益分析

经济效益：初期投资增加，材料本身成本较高。静态投资回收期：受能源价格和气候影响，通常在中长期范围内。运行成本节约非常高。工业蒸汽管道改造案例显示，年节能效益可达数百万元，节能率超过 50%，预计采暖能耗可大幅降低。同时高性能保温墙体配合高气密性门窗，能保持室内温度稳定均匀，避免“冷辐射”和冷风渗透。

社会效益：切实降低碳排放，建设绿色校园提升建筑品质与校园形象

### 6.2 方案可行性评价

技术核心：采用免拆模复合保温板作为模板，浇筑混凝土后，保温层被永久包裹在结构墙体内。

施工保障：依赖全专业 BIM 协同设计，对数千个节点进行三维模拟预装配，提前发现并解决可能的热桥和施工冲突点。

经济可行性：成本控制与长期效益

节能收益：采用气凝胶与 VIP 复合设计，建筑能耗可降低 40% 以上。

保温结构一体化技术可以实现保温层与建筑主体同寿命（50 年以上），基本避免了二次更换的巨额花费。

## 7 结论与不足

### 7.1 研究结论

本研究立足实地调研梳理严寒地区高校建筑保温构造存在的保温效能欠佳、热桥效应突出、能源消耗偏高三大核心问题，提炼保温层厚度材料导热系数等关键控制参数；搭建多目标优化模型，依托该优化模型制定的方案等。

### 7.2 研究不足

本研究存在三方面的不足。其一为模型训练数据集的局限性，模型训练以模拟数据为主，其理想化与严寒地区高校建筑实际情况可能存在偏差。其二是优化模型未充分考虑极端气候条件，如严寒地区极端特殊低温、暴风雪等影响，无法完全模拟极端天气下的建筑热工表现，导致生成的设计方案在极端环境中可能存在适应性不足等问题。其三为方案长期耐久性与维护成本分析缺位，研究缺乏长期监测数据支撑，未建立耐久性评估指标体系，致使优化方案偏向理论性能。

## 8 结语

本研究以严寒地区高校建筑保温构造设计与优化为核心议题，聚焦传统设计模式中的不足点，将人工智能技术引入保温构造设计流程，搭建起适配严寒地区气候特征与高校建筑功能属性的多目标优化方案。研究通过交叉融合建筑学、人工智能等多学科理论，突破了传统保温构造设计的局限，构建起智能设计路径，不仅丰富了严寒地区公共建筑保温设计的理论体系，也为人工智能技术在建筑围护结构领域的深度应用提供了实践参照。探索人工智能技术与建筑施工、运维阶段的协同联动，构建覆盖建筑全生命周期的保温性能智能管控体系，为严寒地区建筑节能与绿色发展注入持续动力。

## 参考文献

[1] 陈哲昕.建筑保温结构一体化技术在严寒及寒冷地区的应用研究[J].城市建筑，2025-11-26， 221-224

[2] 战超，东北地区建筑外墙保温技术及节能材料应用研究.[D].2019年第04期

[3] 叶长昊，人工智能技术在建筑设计领域的探索[J]，江苏建筑，2024-02-28

[4] 薛振，产学研合作背景下的高校科研建筑设计，[D]，2014

[5] 李程，建筑外立面保温一体化技术与造型设计融合[J],2025-05-30

[6] 卢晓逊，基于东北严寒地区气候特征的绿色建筑评价研究[C]，2013-11-22

[7] 建设部科技发展促进中心. 外墙保温应用技术[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2005.

[8] 刘晓峰.5G无线人工智能数据集建立分析[J].信息通信技术与政策,2025,51(03):83-88.

[9] 向俊杰.机器学习中的模型选择[J].中国科技信息,2025,(11):76-79.

[10] 李紫微.基于GA-BPNN的节能居住建筑多目标优化模型构建研究[D].内蒙古科技大学,2019.DOI:10.27724/d.cnki.gnmgk.2019.000269.