

新型保温建筑材料在暖通空调系统中的节能应用研究

孙超军, 刘富强

(临沂市新城热力集团有限公司, 山东 临沂 276000)

摘要 本文聚焦建筑节能与暖通空调系统高效运行的核心需求, 针对传统保温材料导热系数高、防火性能差等问题, 系统构建涵盖材料选型、系统集成、施工管控、能效评估的全流程节能应用体系。通过整合多腔孔陶瓷复合绝热材料、真空绝热板、改性聚氨酯等新型材料的核心优势, 建立“材料特性—系统需求—节能目标”的精准适配机制, 重点突破材料与管道/设备界面贴合性、复杂工况下保温稳定性等技术瓶颈。以北京某超高层写字楼暖通空调系统改造项目为案例验证, 结果表明: 优化后的节能应用体系可使暖通系统能耗降低32%, 管道散热损失减少45%, 室内温度波动控制在 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内, 材料使用寿命延长至30年以上, 综合节能效益较传统模式提升60%。

关键词 新型保温建筑材料; 暖通空调系统; 节能应用; 保温适配; 绿色建筑

中图分类号: TU5; TU83

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.15.026

0 引言

暖通空调系统作为建筑能耗的核心组成部分, 其能耗占建筑总能耗的40%~60%, 是建筑节能改造的关键领域。保温材料作为暖通空调系统能耗控制的核心载体, 直接影响管道、设备的散热损失与系统运行效率。随着“双碳”目标与绿色建筑政策的深入推进, 传统保温材料(岩棉、普通聚氨酯等)面临严峻挑战: 导热系数偏高(通常在 $0.035\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 以上)导致散热损失大; 部分材料燃烧性能未达A1级, 存在消防安全隐患; 长期使用易出现老化、变形、脱落等问题, 保温效果衰减严重; 与暖通系统管道、设备的适配性不足, 界面缝隙导致额外能耗损失。近年来, 《建筑节能工程施工质量验收标准》(GB 50411-2019)、《绿色建筑评价标准》(GB/T 50378-2019)等标准陆续实施, 明确要求提升建筑保温材料的节能性能与安全性能。同时, 多腔孔陶瓷复合绝热材料、真空绝热板(VIP)、改性聚氨酯等新型保温材料的技术突破, 为暖通空调系统节能升级提供了技术支撑。本文结合近三年行业创新实践, 整合新型保温材料的性能优势与暖通系统的运行需求, 构建全流程节能应用体系, 通过工程案例验证应用效果, 提出落地保障措施, 为同类建筑暖通工程节能改造提供可复制的解决方案。

1 新型保温建筑材料核心性能与适配技术体系

1.1 节能应用体系整体架构

基于暖通空调系统“材料选型—系统集成—施工管控—能效评估”的全流程特性, 构建四级闭环节能应用体系, 各环节深度协同、数据双向贯通。材料选型层聚焦新型保温材料的性能筛选与优化组合, 筑牢节能基础; 系统集成层实现保温材料与管道、设备、末端装置的精准适配, 降低能耗损失; 施工管控层通过标准化施工与质量控制, 确保保温效果稳定; 能效评估层建立多维度节能指标体系, 动态监测应用成效, 形成“选型—集成—施工—评估”的全链条节能管控模式^[1]。

1.2 核心新型保温材料性能特征

多腔孔陶瓷复合绝热材料采用微米及纳米陶瓷颗粒复合成型, 形成蜂巢结构, 导热系数低至 $0.018\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, 燃烧性能达A1级不燃标准, 适用温度范围为 $-40\sim 1\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$, 长期使用无老化变形, 使用寿命超30年。真空绝热板(VIP)通过芯材真空封装技术, 导热系数可低至 $0.008\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, 保温性能是传统材料的4~5倍, 且厚度仅为传统材料的 $1/3\sim 1/2$, 适用于空间受限的暖通设备保温^[2]。改性聚氨酯材料通过添加阻燃剂与抗氧化剂, 优化配方工艺, 导热系数控制在 $0.022\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,

作者简介: 孙超军(1984-), 女, 本科, 工程师, 研究方向: 建筑工程建筑材料。

燃烧性能提升至 A2 级，同时具备良好的柔韧性与粘结性，适配复杂形状管道的保温需求。

1.3 材料与暖通系统精准适配技术

针对暖通空调系统的管道、设备、末端装置等不同部位，建立“性能需求—材料特性”的精准适配机制。管道保温采用“改性聚氨酯+真空绝热板”复合结构，内层改性聚氨酯确保与管道壁紧密贴合，外层真空绝热板强化保温效果，管道外径 ≤ 100 mm 时保温厚度控制在 30~50 mm，外径 > 100 mm 时采用分层保温设计，散热损失降低 45% 以上^[3]。暖通设备（冷水机组、换热器等）保温选用多腔孔陶瓷复合绝热材料，采用模块化定制设计，根据设备形状精准切割，界面贴合度达 99% 以上，避免缝隙散热；设备接口处采用柔性密封保温材料，防止局部热桥效应。末端装置（风机盘管、空调机组等）保温采用轻量化改性聚氨酯材料，兼顾保温性能与安装便捷性，减少设备运行噪声。

1.4 复合保温结构优化技术

针对不同建筑场景与气候区域，优化复合保温结构设计。严寒地区（东北、西北）采用“多腔孔陶瓷复合绝热材料+真空绝热板”双重保温结构，导热系数控制在 0.015 W/(m·K) 以下，满足低温环境下的深度节能需求；夏热冬冷地区（长江流域）采用“改性聚氨酯+反射隔热层”复合结构，既减少冬季散热损失，又降低夏季太阳辐射热传入，实现冬夏双季节能^[4]。针对暖通系统的阀门、法兰等易散热部位，采用定制化保温套，内置弹性保温材料与密封层，确保保温完整性，局部散热损失降低 60%。

1.5 节能监测与动态优化技术

搭建暖通空调系统节能监测平台，整合温度传感器、流量传感器、能耗计量仪表等设备，实时采集管道表面温度、环境温度、系统能耗等数据。采用大数据分析技术，建立能耗损失预测模型，动态评估保温材料的节能效果；当管道散热损失超允许值（ ≤ 5 W/m²）时，自动预警并分析原因，通过调整保温结构或更换材料等方式优化节能方案。结合建筑用能需求变化，动态调整保温系统运行参数，实现节能效果与使用需求的精准匹配。

2 新型保温建筑材料核心应用场景与实施路径

2.1 新建建筑暖通系统节能应用

在新建建筑暖通工程设计阶段，将新型保温材料性能参数纳入设计指标，结合建筑能耗目标优化保温方案。采用 BIM 技术构建暖通系统三维模型，模拟保

温材料的覆盖范围与适配效果，提前规避管道交叉、空间受限等导致的保温难题^[5]。施工阶段严格按照《建筑节能工程施工质量验收标准》（GB 50411-2019）要求，执行保温材料进场检验制度，重点核查导热系数、燃烧性能、尺寸稳定性等指标；管道保温采用机械固定与粘结结合的方式，确保保温层平整、无空鼓，接缝处采用密封胶密封，缝隙宽度 ≤ 2 mm。例如：某新建超高层住宅项目应用表明，采用新型保温材料后，暖通系统能耗较传统方案降低 30%，室内温度均匀性提升 40%。

2.2 既有建筑暖通系统节能改造

针对既有建筑暖通系统保温老化、节能效果差的问题，制定“检测—评估—改造”的分步实施路径。首先对原有保温材料进行性能检测，评估散热损失与安全隐患；然后根据检测结果选择适配的新型保温材料，对老化严重的部位进行整体更换，对局部破损部位进行修补加固；改造过程中采用“微创施工”技术，减少对建筑正常使用的影响。例如：北京某老旧写字楼改造项目中，采用多腔孔陶瓷复合绝热材料替换传统岩棉，管道散热损失从 12 W/m² 降至 5.5 W/m²，暖通系统能耗降低 28%，改造投资回收期仅 2.3 年。

2.3 特殊场景暖通系统节能应用

针对数据中心、医院、工业厂房等特殊场景的暖通需求，定制差异化节能应用方案。数据中心暖通系统重点强化设备散热控制，采用真空绝热板对精密空调管道与机房墙体进行保温，确保室内温度稳定在 $18 \sim 24$ °C，同时降低空调运行负荷；医院手术室、ICU 等区域采用抗菌型改性聚氨酯保温材料，既满足保温节能需求，又具备抗菌防霉性能，符合医疗环境卫生要求；工业厂房高温管道采用多腔孔陶瓷复合绝热材料，耐受高温可达 800 °C 以上，有效减少高温散热损失，提升能源利用效率。

2.4 全流程质量控制措施

事前预防阶段，制定新型保温材料准入标准，对供应商进行资质审核与样品检测，合格材料纳入合格供应商名录；编制专项施工技术方案，明确材料存储、切割、安装等关键环节的操作要求^[6]。事中控制阶段，建立“三级巡检”机制，班组每道工序自检，技术人员每日巡查，监理单位定期抽检；重点检查保温层厚度、粘结强度、接缝密封等指标，保温层厚度偏差控制在 $\pm 5\%$ 以内，粘结强度 ≥ 0.3 MPa。事后验收阶段，按《建筑节能工程施工质量验收标准》（GB 50411-2019）标准开展全项目检测，采用红外热成像仪检测管道表面温

度,评估散热损失;通过系统能耗监测数据,验证节能效果;验收合格后出具质量验收报告,建立保温系统运维档案。

3 工程案例验证与应用效果

3.1 案例概况

以北京某超高层写字楼暖通空调系统改造项目为研究对象,该建筑总建筑面积12万m²,地下3层,地上45层,原暖通系统采用传统岩棉保温材料,存在散热损失大、能耗偏高、局部保温层脱落等问题。项目采用本文构建的节能应用体系,对空调水系统管道、冷水机组、风机盘管等部位进行全面节能改造,选用多腔孔陶瓷复合绝热材料与改性聚氨酯材料组合方案,改造总面积达8000m²,重点监测系统能耗、管道散热损失、室内温度稳定性等核心指标。

3.2 应用效果量化分析

对比改造前传统保温模式,优化后的节能应用体系成效显著。在节能效益方面,暖通系统年耗电量从改造前的186万kWh降至126万kWh,能耗降低32%;管道表面温度从改造前的28℃降至15℃,散热损失减少45%,达到《公共建筑节能设计标准》(GB 50189-2015)一级节能要求。在运行稳定性方面,室内温度波动控制在±0.5℃以内,较改造前(±1.2℃)显著提升,舒适度满意度达95%;保温材料界面贴合紧密,无空鼓、脱落现象,经过2年运行,保温性能衰减率仅2%,远低于传统材料的15%。在经济效益方面,每年节约电费约48万元,减少二氧化碳排放量128吨;材料使用寿命延长至30年以上,较传统材料(8~10年)延长3倍,运维成本降低75%,综合投资回收期仅2.5年。

4 技术落地保障机制与推广建议

4.1 落地保障机制

在组织保障层面,成立由设计、施工、监理、材料供应商组成的专项工作组,明确职责分工,建立定期沟通协调机制,解决应用过程中的技术难题。在制度保障层面,制定《新型保温材料暖通系统应用技术规范》《质量控制细则》等制度文件,将节能效果、施工质量纳入绩效考核;执行材料进场“双检测”制度(供应商自检+第三方复检),确保材料性能达标。在人才保障层面,开展新型保温材料性能、安装工艺、节能监测等专项培训,邀请行业专家进行技术指导;与哈尔滨工业大学、同济大学等高校合作建立产学研基地,联合开展技术研发与人才培养,提升技术应用水平。

4.2 应用推广建议

针对不同建筑类型优化技术方案,新建绿色建筑推广“全流程一体化节能”模式,从设计阶段融入新型保温材料应用;既有建筑改造推出“轻量化、低成本”方案,优先改造高能耗部位,降低改造门槛。推动行业标准化建设,联合中国建筑节能协会制定《新型保温材料暖通空调系统应用技术规程》,统一材料选型、施工工艺、能效评估等标准要求。强化示范引领作用,选择大型公共建筑、保障性住房等项目打造标杆工程,通过现场观摩会、技术交流会等形式推广经验;建议政府出台政策支持,对采用新型保温材料的节能项目给予资金补贴或税收优惠,将节能效果纳入绿色建筑评价加分项,鼓励企业主动应用新技术。

5 结束语

新型保温建筑材料在暖通空调系统中的节能应用是推动建筑节能降碳的关键路径。本文构建的“四级节能应用体系+精准适配机制+全流程质控措施”模式,有效解决了传统保温材料节能不足、适配性差、使用寿命短等难点。工程案例验证表明,该体系可显著降低暖通系统能耗,提升运行稳定性与舒适度,延长材料使用寿命,综合效益显著。未来应进一步推动技术创新,研发导热系数更低、环保性能更优的新型保温材料,加强材料与暖通系统的智能化融合,开发节能监测与预测性维护系统;完善行业标准与人才培养体系,推动新型保温材料在建筑暖通行业的规模化、标准化应用,为我国“双碳”目标实现与绿色建筑高质量发展提供坚实的技术支撑。

参考文献:

- [1] 赵远.提高绿色建筑项目施工效率的关键技术研究[J].陶瓷,2024(04):55-57.
- [2] 王伟军,李雯喆.基于绿色建筑评价标准和绿色建材评价体系的建筑低碳选材研究[J].浙江建筑,2024,41(02):91-94.
- [3] 曹鑫.建筑工程中绿色节能施工技术研究[J].新城建科技,2024,33(03):53-55.
- [4] 李龙飞.绿色建筑保温材料应用技术分析[J].居舍,2024(15):41-43.
- [5] 王富丽.绿色建筑材料及施工技术在建筑节能工程中的应用[J].居舍,2024(11):58-60.
- [6] 路学明.新能源与可再生能源在暖通空调系统中的实践探究[J].居业,2022(01):180-182.