

既有建筑土建结构节能改造技术研究

高茂良

浙江玖顺工程管理有限公司 浙江 嘉兴 314000

摘 要: 当前我国大量既有老旧建筑存在围护结构热工性能差、能耗偏高、结构老化等问题,传统节能改造存在施工扰民、结构安全隐患、冷热桥治理不到位等诸多痛点。本文聚焦砖混、框架两类主流既有建筑结构,剖析能耗机理与改造难点,探究围护结构改造、结构加固节能协同、新型材料应用及质量管控等关键技术。结合实际工程案例验证技术成效,总结应用短板并提出优化推广策略,为老旧建筑节能改造提质增效提供技术参考。

关键词: 既有建筑; 土建结构; 节能改造技术

引言: 双碳目标推进下,建筑节能降碳成为城乡建设领域重点工作,既有老旧建筑能耗超标、居住舒适度低的问题日益凸显。早期建筑节能设计标准不完善,土建结构保温构造缺失、材料性能劣化,造成采暖制冷能耗浪费严重。传统改造技术难以兼顾节能效果、结构安全与施工体验。基于此,本文系统研究既有建筑土建结构节能改造核心技术,结合工程实践验证改造效果,旨在破解改造技术瓶颈,推动既有建筑绿色化、安全化升级改造。

1 既有建筑土建结构能耗特征及改造痛点分析

1.1 既有建筑土建结构基本类型与能耗机理

(1) 砖混结构多见于上世纪 80—90 年代住宅,承重墙体兼作围护,抗震与节能性能先天不足;框架结构以梁柱承重、填充墙围护,传热系数普遍偏高,且存在大量热桥节点,两类结构均面临围护系统热工性能薄弱的共性问题。(2) 围护结构通过导热、对流和辐射三重路径损失热量:屋面接收太阳辐射升温后向室内传热,外墙在冬季形成冷辐射面加剧热耗,单层玻璃窗热透射严重,地面则因保温缺失形成持续冷源,导致采暖制冷负荷居高不下。(3) 结构老化引起材料性能劣化,墙体裂缝、灰缝酥松增加空气渗透耗热;早期施工工艺落后,保温层缺失或厚度不足,构造缝处理粗糙,共同造成建筑实际能耗远超设计预期^[1]。

1.2 既有建筑土建结构能耗现状调研分析

(1) 多地对既有建筑能耗监测数据显示,单位面积采暖制冷耗电量普遍在 60~120kWh/m²,较现行节能标准高出 30%~60%,且冬夏两季尖峰负荷显著,用能时间集中,系统运行效率偏低。(2) 能耗占比分析表明,外墙与屋面传热占总能耗 40%~50%,外门窗空气

渗透占 25%~35%,地面及热桥效应占 15%~20%;薄弱环节集中于东西山墙、屋顶檐口及阳台栏板等构造节点,热工缺陷明显。(3) 大量 2000 年前建成建筑节能标准几乎空白,外墙传热系数普遍在 1.5~2.0W/(m²·K),远高于现行限值 0.40~0.60;屋面保温层厚多不足 30mm,外窗以单层铝合金窗为主,整体能效水平严重滞后于现行规范。

1.3 现有节能改造存在的技术与施工痛点

(1) 外贴保温板或外窗更换等传统工艺与既有结构连接锚固困难,锚栓钻孔易损伤砖砌体或混凝土保护层,保温材料与基层粘结失效风险高,甚至引发外墙饰面脱落等安全隐患。(2) 改造涉及外架搭设、基层处理、保温施工等多道工序,单栋楼工期普遍需 2~3 个月,期间噪声、粉尘及脚手架占用严重影响居民正常生活,且标准化部品难以适配不同年代建筑的构造差异。(3) 增加保温层与饰面荷载会改变原结构受力状态,尤其对砌体结构抗震承载力形成额外负担;加之墙体开槽布管、凿除面层等作业可能削弱截面,节能目标与抗震加固之间缺乏统筹设计,成为制约改造落地的核心瓶颈。

2 既有建筑土建结构核心节能改造关键技术

2.1 建筑围护结构节能改造技术

(1) 外墙外保温以 EPS 板或岩棉板薄抹灰系统为主,保温层连续覆盖外墙,有效消除热桥,粘结面积不低于 40%,锚栓按梅花形布置、每平方米不少于 6 个,锚固深度依据墙体类型经拉拔试验确定;内保温适用于历史建筑外立面保护场景,采用复合保温板贴砌,板缝企口拼接并设置隔汽层,重点对窗侧、阴角部位进行断热处理;复合保温将自保温砌体与内外保温层结合,

外侧设置防水透气膜、内侧设置隔汽层,适配夏热冬冷地区,内外层厚度依据热惰性指标分配,避免内部结露^[2]。(2)屋面改造采用倒置式构造,保温层铺于防水层之上,可保护防水层免受温差及紫外线损伤,保温层厚度夏热冬冷地区不低于60mm;防水保温一体化选用硬泡聚氨酯现场喷涂,闭孔率不低于92%,兼具保温与防水功能,喷涂分遍施作、每遍15~20mm,总厚度达设计值,同时确保天沟、檐沟排水坡度不小于2%,严防局部积水。(3)地面防潮保温先铺聚乙烯隔汽膜阻隔潮气,其上错缝铺设挤塑聚苯板、厚度不少于40mm,板缝铝箔胶带密封;保温层上浇筑C20细石混凝土保护层厚40~50mm,内配 $\phi 4@150$ 双向钢筋网防裂;墙脚保温上翻不低于200mm,地面与外墙交接处预留膨胀缝填充软质保温条,切断线性热桥。

2.2 土建结构加固与节能协同改造技术

(1)碳纤维加固以环氧树脂粘贴碳纤维布于梁底、柱面受拉区,加固后直接抹涂保温砂浆或粘贴保温板,不增加结构自重;粘钢加固采用化学锚栓固定钢板,外覆保温层前须涂刷界面处理剂,保温设计中针对钢板导热进行局部加厚,消减热桥效应,实现承载力恢复与节能同步。(2)梁柱节点采用真空绝热板或气凝胶毡包裹,导热系数分别达 $0.006\sim 0.008\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 和 $0.018\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,超薄高效断热;阳台板、雨篷等出挑构件根部设隔热垫块或采用不锈钢连接件替换普通钢筋,热流阻断率提升60%以上,需经结构验算确保承载力不降低。(3)老旧构件替换采用轻钢骨架与保温芯材预制复合构件,装配式安装减少湿作业;混凝土开裂、钢筋锈蚀部位先以高强灌浆料修复,强度达标后立即施作保温喷涂并覆盖抗裂网格布与抹面胶浆,将修复、加固与保温连续作业,提升新旧界面结合质量^[3]。

2.3 新型节能材料在结构改造中的应用技术

(1)气凝胶毡导热系数低于 $0.020\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,柔韧疏水,适用于梁柱异形及窗口收边节点,造价高应精准用于关键热桥区域;真空绝热板导热系数 $0.006\sim 0.008\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,1/5常规厚度可达同等热阻,适用于空间受限场景,施工中严禁穿刺,需工厂模数定制;石墨聚苯板导热系数约 $0.032\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,经济适用,适合大面积墙体改造^[4]。(2)加气混凝土砌块与泡沫混凝土导热系数 $0.10\sim 0.20\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,兼具轻质自保温,适用于隔墙或围护局部替换,施工严控水灰比与发泡剂掺量;轻质复合夹芯墙板由硅酸钙板与聚苯颗粒芯材复合,工厂定尺、现场干法拼装,板侧企口拼接、缝嵌专用胶并附加玻纤网增强。(3)硬泡聚氨酯防水保温一体

化采用现场喷涂,基层须清理干燥并涂刷底涂,环境温度 $5\sim 35^{\circ}\text{C}$ 、风速不大于三级,每层喷涂不超过20mm、分层叠加至设计厚度,每层间隔以不粘手为准,表面应平整均匀、无针孔鼓泡,厚度偏差不得超过 $\pm 5\%$,养护48h后做面层保护。

2.4 节能改造施工质量控制技术

(1)前期勘测综合回弹法、超声脉冲及钻芯取样,评定原结构强度、钢筋锈蚀及裂缝分布;安全评估按抗震鉴定标准开展两级鉴定,确定改造工作年限与设防目标,承载力不足部位经复核验算明确加固优先级,确保节能施工不逾越结构安全底线。(2)过程管控实施材料进场复试、工序交接验收、隐蔽影像留档三项硬性制度;保温板粘结面积比、锚栓拉拔力、网格布搭接宽度($\geq 100\text{mm}$)、抹面层厚度(3~5mm)等逐批检验;大面积施工前制作实体样板段,经拉拔及红外检测合格方可展开,上道工序未验收不得转入下道^[5]。(3)改造后采用红外热像仪全覆盖扫描外墙面,识别空鼓、脱落及热桥缺陷;以热流计或热箱法现场实测传热系数,对照设计值判定达标情况;结构安全通过静载试验或脉动测试验证加固构件受力性能,复核整体抗震能力,确保节能提升与结构安全双重目标闭环达成。

3 工程案例应用与改造效果分析

3.1 工程案例概况与改造方案设计

(1)案例选取某市建于1998年的六层砖混结构住宅楼,建筑面积约 4800m^2 ,外墙为240mm实心黏土砖砌体,无保温构造,单层铝合金窗,屋面仅设水泥砂浆找平层。改造前实测单位面积年采暖耗电量达 $95.6\text{kWh}/\text{m}^2$,外墙传热系数 $1.96\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$,远超现行节能限值。(2)总体方案以外墙外保温为核心,采用60mm厚石墨聚苯板薄抹灰系统,屋面铺设80mm厚挤塑聚苯板倒置保温层,外窗更换为断桥铝合金中空玻璃窗(5+12A+5),一层地面铺设40mm厚挤塑板防潮保温层,同时对东西山墙梁柱节点采用真空绝热板包裹断热。(3)改造重难点在于砖砌体基层强度偏低(实测M2.5砂浆),锚栓拉拔力不足,外墙外保温锚固安全性存疑,故选用粘结为主、锚栓辅助的固定方式,粘结面积比提高至60%并增设托架层;外窗安装需保留原窗洞口结构,采用附框法施工避免扰动窗过梁;施工期间居民不完全搬离,采取分单元轮换作业减少扰民。

3.2 关键改造技术现场施工应用

(1)围护结构施工流程:基层清理→界面剂涂刷→弹线放样→粘结砂浆批刮→EPS板粘贴并压入网格布→锚栓固定(每平方米6个)→抹面砂浆覆盖→外饰面

层。优化：首层保温板满粘替代点框法增强抗冲击；屋面聚氨酯喷涂两遍连续作业避免冷缝；地面隔汽膜搭接 $\geq 200\text{mm}$ 并用胶带满封。（2）协同施工：碳纤维加固梁底后涂刷专用界面剂，48h内完成保温砂浆抹涂，防止污染影响粘结；真空绝热板包裹梁柱采用定制L型板件减少拼缝，拼缝处聚氨酯发泡填实并铝箔贴面密封，确保气密性。（3）施工难点及对策：难点一，山墙内侧抹灰层空鼓严重，全面铲除至砖基层，聚合物砂浆找平后再粘贴保温板；难点二，多雨天气致聚氨酯喷涂面受潮，搭设防雨棚并用热风枪局部烘干基层后继续作业；难点三，脚手架遮挡采光引发投诉，协调将临窗区域施工压缩至3天内完成并优先拆除该区域脚手架。

3.3 改造后节能效果与综合效益分析

（1）改造后采暖季单位面积耗电量降至 44.3kWh/m^2 ，同比下降53.7%，外墙传热系数实测 $0.48\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，屋面传热系数 $0.32\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，均达到节能65%标准要求，室内冬季平均温度由改造前 14.6°C 提升至 19.8°C 。（2）结构安全性方面，碳纤维加固后梁底承载力提升26%，外观检查及红外热像扫描确认保温层无大面积空鼓脱落，锚栓拉拔力抽样检测全部满足 0.6kN 设计值；结构耐久性上，外墙增设保温层后冬季墙体内部温度梯度减小，砖砌体冻融循环损伤风险显著降低。（3）经济效益：年节约采暖用电约24.6万 kWh ，折合标煤约87.5吨，按当地电价计算年节省电费约14.8万元，改造投资回收期约9.6年；环境效益：年减排 CO_2 约188吨；社会效益方面，住户满意度调查显示冬季热舒适性显著改善，居民对改造支持率达91%。

3.4 技术应用问题与优化改进建议

（1）短板问题包括：真空绝热板成本偏高致大面积推广受限，本工程仅用于梁柱节点用量不足 40m^2 ，但单方成本达320元/ m^2 ，为保温层平均造价的3.2倍；外墙外保温占用建筑外轮廓空间，导致部分空调外机支架需重新移位安装；改造后部分住户反映夏季南向房间日间温度偏高，外保温体系蓄热散热慢导致夜间降温延迟。（2）优化方案建议：针对同类砖混结构建筑，开

发粘结锚固一体化复合保温板（自带预埋锚固件），减少现场钻孔植锚对砌体的损伤；梁柱热桥处理以石墨聚苯板加厚覆盖为主、真空绝热板为辅的组合方案降低成本；外窗宜增加活动外遮阳设施弥补外保温夏季蓄热偏高的不足。（3）推广建议：制定砖混结构节能改造专项技术导则，明确不同基层墙体粘结强度及锚固参数取值；建立改造前结构与节能联合检测评估机制，将结构加固需求与节能方案统筹立项；探索EPC总承包模式整合勘察、设计、施工全链条，降低协调成本；对老旧建筑推行保温与装饰一体化装配式方案，减少现场湿作业扰民，提升改造品质与施工效率。

结束语

本文通过分析既有建筑土建结构能耗特征与改造痛点，梳理了围护结构优化、结构节能协同改造、新型材料应用及施工质控等核心技术。工程实践表明，系统化节能改造可大幅降低建筑能耗、提升结构安全性与居住舒适度。同时研究发现当前技术存在成本偏高、夏季蓄热等短板，未来需优化组合改造工艺、推广装配式一体化技术，完善标准化改造体系，助力既有建筑节能改造规模化、高质量落地实施。

参考文献

- [1] 王清勤, 孟冲, 朱佳琳. 既有公共建筑围护结构节能改造效果量化评估与技术优化[J]. 建筑科学, 2023, 39(04): 114-118.
- [2] 周铁军, 李鑫, 王雅琪. 老旧建筑结构一体化节能改造关键技术与工程实践[J]. 土木工程学报, 2024, 57(07): 89-97.
- [3] 杨建平, 张磊, 刘阳. 严寒地区既有居住建筑土建结构节能改造适配技术研究[J]. 建筑学报, 2023, 21(S2): 102-107.
- [4] 李慧, 赵建伟. 既有建筑屋面与地下结构节能改造技术优化研究[J]. 施工技术, 2022, 51(18): 115-119.
- [5] 温雅东. 既有建筑围护结构节能改造材料性能与施工技术研究[J]. 石材, 2026, 10(03): 152-154.