

不同湿度条件下保温材料热工性能变化检测

丁仕伟

国检测控股集团上海有限公司 上海 201314

摘 要：湿热环境对保温材料热工性能的影响，已成为建筑节能领域关注的核心议题。本文围绕不同湿度条件下保温材料导热系数、比热容、热扩散率及热惰性指标等参数的变化特征展开系统检测，构建了多梯度湿度模拟环境并规范了样品制备流程。通过对比低湿、中高湿及湿热循环工况下各参数的波动规律，梳理了湿度增量与热工性能之间的关联机制，识别了各类材料的临界湿度阈值。检测数据为湿热工况下保温材料服役状态的评估提供了依据。

关键词：保温材料；湿度梯度；导热系数；蓄热性能；热工参数检测

引言：建筑围护结构中保温材料长期暴露于复杂温湿度环境，水分渗入会显著改变材料内部传热介质的分布状态，进而扰动材料固有热工性能。当前针对湿度变量与热工参数之间定量关联的检测工作尚不充分，多数工程应用仍依赖干燥工况下的参数进行设计。开展系统化湿热环境下热工性能检测，有助于厘清湿度对保温材料传热与蓄热行为的干扰路径，填补多湿度梯度条件下热工参数缺失的空白，为工程选材与节能设计提供数据依据。

1 保温材料热工性能检测基础与湿热环境构建

1.1 保温材料热工性能检测参数体系

保温材料热工性能的专项检测依托完整的参数体系开展，各类参数能够直观反映材料自身的传热承载与隔热能力^[1]。热工参数的选取围绕材料传热过程中的物理状态展开，涵盖材料热量传导、热量储存、热量扩散等多项关键物理指标。参数体系的搭建遵循材料热传递的内在物理规律，适配保温材料在不同环境状态下的性能检测需求。标准化的参数筛选与检测界定方式，能够支撑湿热环境下材料热工状态的系统性观测，为后续环境变量干预下的性能研究提供规范的观测维度。各类热工参数相互配合，可全面覆盖保温材料隔热服役过程中的核心物理属性，保障检测工作的系统性与规范性。

1.2 湿度对材料传热机理的影响路径

空气湿度的改变会持续干预保温材料内部的传热介质分布状态，进而改变材料固有传热模式。保温材料内部存在大量孔隙结构，潮湿水汽会逐步填充孔隙内部的空气空间，替换原有静态空气介质。介质成分的转变会改变材料内部热量传递的通透程度，打破干燥状态下稳定的传热平衡状态。水汽在材料孔隙内的滞留与渗透，

会逐步改变材料整体的热传递效率，重塑材料内部的热量传输路径。环境湿度的持续变化会持续作用于材料孔隙结构，逐步改变传热介质的分布密度与存在形态，形成持续性的传热状态改变。

1.3 不同湿度梯度环境的模拟构建方法

差异化湿度环境的搭建依托专业环境调控设备完成，通过调控空间水汽含量形成连续且有序的湿度层级。环境调控过程中保持空间温度恒定在 $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，杜绝温度波动对湿热环境构建产生干扰。通过渐进式调控水汽输入量，形成 5 个稳定的湿度环境层级，相对湿度分别设定为 30%、50%、70%、85% 及 95%，适配不同工况下的检测试验需求。每个湿度层级均维持固定的水汽饱和状态，保障试验环境的稳定性与持续性。科学的环境构建方式可以实现湿度状态的精准把控，为热工性能检测提供稳定可控的外部环境条件。

1.4 检测样品制备与预处理工艺要求

保温材料检测样品的制备遵循统一的尺寸标准与形态规范，保证试验样品物理形态的统一性。样品裁切与塑形过程保持工艺规整，规避外观缺陷对热工传递过程产生干扰。制备完成的样品需要开展系统化预处理，清除样品表面附着的杂质与多余粉尘。预处理环节包含恒温干燥与静置养护等工序，平衡样品内部的初始水汽含量。规范化的预处理工艺可以统一样品初始状态，弱化样品初始属性差异对检测工作的干扰，提升湿热环境下热工性能检测的精准度。此外，预处理环节还需对样品的密度与孔隙率进行复核记录，确保不同批次样品的初始物理状态处于可比范围内，为后续湿度工况下的性能差异分析排除制备偏差的干扰。

2 不同湿度条件下导热系数变化检测

2.1 低湿度区间导热系数测定要点

低湿度区间的空气水汽含量处于较低水平,保温材料孔隙内部基本维持干燥空气填充状态。导热系数测定工作需要依托恒定的低湿环境开展,维持检测空间水汽状态长期稳定^[2]。检测操作过程中严控环境气流波动,减少外界环境因素对热量传递过程的扰动。设备数据采集频率保持均匀均匀,捕捉干燥环境下材料导热状态的细微变化。贴合低湿环境的检测规范开展操作,能够精准捕捉干燥工况下保温材料基础导热特性,夯实不同湿度环境下性能对比的基础数据。

2.2 中高湿度区间导热系数测定要点

中高湿度区间水汽活性更强,水分会缓慢浸润保温材料表层孔隙并逐步向结构内部渗透。导热系数测定前需要保证样品在对应湿度环境中充分静置,实现孔隙内部水汽分布的均匀平衡。检测过程中严控环境水汽的稳定输入,避免水汽浓度出现波动。设备传感组件保持灵敏运行,精准捕捉水分浸润后材料导热能力的细微变动。严格遵循适配高湿工况的检测流程,规避水汽分布不均引发的检测偏差,保障高湿环境下导热参数采集的精准程度。

2.3 湿度循环作用下导热系数漂移特征

湿度循环工况会让保温材料长期处于干湿交替的环境状态,孔隙结构会反复完成吸水与干燥的状态切换。频繁的环境状态切换会逐步改变材料内部介质分布结构,让导热参数出现持续性的偏移变化。循环过程中水分反复浸润孔隙会轻微改变结构致密程度,引发导热状态的动态偏移。持续的干湿交替会让材料导热状态呈现规律性的浮动变化,形成区别于恒定湿度环境的性能漂移规律。持续记录循环过程中的参数变动,可完整捕捉导热系数的动态演变特征。

2.4 不同湿度阶段导热系数对比分析

不同湿度层级会为保温材料营造差异化的传热环境,各阶段采集的导热参数具备鲜明的状态差异。梳理低湿、中高湿及循环湿度工况下的检测数据,能够清晰区分湿度状态对材料导热能力的影响程度。结合孔隙介质填充状态的差异,对应匹配不同阶段的导热参数变化状态。依托分层湿度工况的检测数据,梳理湿度增量与导热状态变动的内在关联。分层对照不同湿度阶段的材料热工表现,可清晰梳理湿度环境变化对保温材料导热性能的影响规律。

3 不同湿度条件下蓄热性能变化检测

3.1 比热容随含水率变化的检测方法

含水率的增减会改变保温材料整体的热量存储属性,比热容检测需要匹配不同含水状态开展针对性测试^[3]。检测操作需要依托密闭恒温检测空间,隔绝外界温度波动对热参数采集的干扰。通过精准调控样品含水水平,逐步调整材料内部水分充盈程度,适配多级含水率的测试需求。检测设备精准采集材料升温过程中的热量吸收状态,量化水分介入后比热容的变动特征。标准化的测试流程能够适配多孔保温材料的结构特性,减少水分分布不均带来的测试偏差,保障含水率与比热容对应关系的检测精度。由于水的比热容远高于空气,即使材料含水率出现小幅提升,也会导致整体比热容数值出现可观的增长,这一特征在高湿工况下尤为突出,需在检测中予以重点关注。

3.2 热扩散率在不同湿度下的测定要点

热扩散率反映保温材料热量传递与温度扩散的快慢程度,湿度环境的改变会直接干预该项热工属性。低湿环境中保持检测环境的干燥稳定,记录材料基础热扩散状态。湿环境调控后等待样品内部水分充分渗透分布均匀,再启动热扩散参数的采集工作。检测过程中稳定设备加热功率与环境温度,维持测试条件的统一标准。严格管控环境水汽含量的稳定状态,规避外界环境扰动对热量扩散过程的干扰,精准捕捉不同湿度环境下热扩散性能的细微波动。热扩散率的测定对温度场均匀性要求较高,湿态条件下材料内部水分分布的不均匀性会加剧温度场的局部畸变,因此需适当延长稳态等待时间以确保扩散前沿的稳定推进,从而获取可靠的扩散率数值。

3.3 湿热交替环境下热惰性指标变化

湿热交替的环境工况会持续改变保温材料内部水分留存状态,逐步调整材料整体的热稳定能力。热惰性指标结合材料导热与蓄热属性综合体现温度缓冲能力,干湿环境交替会持续改变该项属性水平。水分反复渗入与散失会微调材料内部孔隙介质构成,让热惰性状态产生持续性的变动。长期湿热交替作用会逐步改变材料热稳定特性,让热惰性指标呈现动态变化趋势。持续记录交替工况下的参数变动状态,能够完整捕捉湿热环境对材料热稳定性能的干预过程。

3.4 蓄热能力衰减规律的检测分析

长期处于湿热环境中的保温材料,热量存储能力会随环境作用时长产生动态变动。检测工作需要持续追踪不同湿度作用时长下材料的蓄热状态,记录热存储性能的动态变化。潮湿环境持续浸润材料结构会弱化孔隙空气的隔热蓄热优势,逐步改变材料固有蓄热水平。通

过长期持续性的工况试验,积累不同作用阶段的蓄热参数数据^[4]。依托连续的检测数据可以梳理湿热环境干预下,保温材料蓄热性能的演变走向与衰减特征。

4 保温材料热工性能变化规律综合分析

4.1 湿度—热工性能参数相关性分析

湿度环境的动态变动会对保温材料多项热工参数产生持续性的干预作用,各类热工指标会随湿度状态的调整产生不同幅度的波动。针对检测获取的导热与蓄热相关数据开展系统性梳理,挖掘湿度环境变动与热工参数波动之间的内在关联。各类热工参数对湿度环境的响应程度存在差异化表现,部分参数会随湿度提升呈现线性变动状态,部分参数会呈现非线性的波动状态。依托精细化的数据梳理方式,能够厘清湿度变量对不同热工属性的影响程度,区分湿度环境对热量传导与热量存储的作用差异,搭建湿度与热工参数之间的关联逻辑体系。

4.2 不同类型保温材料湿度敏感性对比

不同品类保温材料具备差异化的内部孔隙结构与材质属性,对湿热环境的耐受与响应状态存在明显区别。多孔类保温材料孔隙连通程度较高,水汽渗透与留存的空间更大,热工性能更容易受到湿度环境的干预。致密型保温材料孔隙封闭程度更高,水汽难以进入结构内部,热工状态受湿度干扰的幅度相对有限。统一试验环境与检测标准前提下,对照各类材料热工参数的波动幅度,可区分不同材质保温材料的湿度敏感程度。分层比对各类材料的湿热响应特征,能够明确材质结构对湿热适应性的影响机制。

4.3 临界湿度阈值与性能突变点识别

保温材料热工性能随湿度提升呈现缓慢变动的状态,湿度环境上升至特定水平后会出现性能状态的大幅转变。这类特殊湿度节点能够界定材料热工性能稳定状态与异变状态的分界范围。持续追踪多级湿度梯度下的热工参数变动状态,捕捉参数波动幅度骤然提升的湿度节点。结合材料孔隙水汽饱和和状态的变化过程,判定各类保温材料对应的湿度临界范围。精准识别性能突变的对应湿度条件,可精准划分保温材料热工性能的稳定服役环境区间。

役环境区间。

4.4 湿热耦合下热工性能劣化趋势研判

湿热耦合的长期作用会持续改变保温材料内部孔隙的介质分布状态,逐步改变材料原本稳定的热工服役状态。水分持续浸润与环境湿度的往复波动,会逐步改变材料传热与蓄热的基础属性,引发热工性能的持续性下滑。长期湿热环境作用会逐步弱化保温结构的隔热储能优势,让热工参数逐步偏离初始稳定状态^[5]。依托长期试验积累的动态数据,梳理湿热环境持续作用过程中热工性能的变动走向。结合湿度累加作用对材料结构的影响过程,预判湿热工况持续作用下保温材料热工性能的演变态势,为湿热环境下保温材料的状态变化提供系统性的趋势参考。

结束语

不同湿度条件对保温材料热工参数的干扰呈现出清晰的规律性特征。低湿环境下材料导热与蓄热性能基本维持稳定状态,中高湿区间参数出现明显偏移,循环湿热工况则引发持续性的性能漂移。多孔类材料对湿度变化的响应幅度显著高于致密型材料,各类材料均存在可辨识的临界湿度阈值。检测所获取的多层级湿度—热工参数关联数据,能够为湿热环境下保温材料的工程选用与性能预判提供系统性参考依据。

参考文献

- [1] 陈志毅. 新型外墙保温材料热工性能检测与分析[J]. 新城建科技,2025,34(12):31-33.
- [2] 王运涛. 建筑外墙保温材料热工性能对比与能耗模拟分析[J]. 东方陶瓷,2025(4):92-94.
- [3] 杨晓. 外墙保温材料的热工性能与环保性分析[J]. 科技视界,2025,15(10):72-74.
- [4] 王博龙. 外墙保温材料的热工性能与环保性分析[J]. 建设科技,2024(17):77-79.
- [5] 刘丽芳,赵佳龙,周紫云,等. 新型保温材料对轻钢装配式建筑热工性能的影响[J]. 科学技术与工程,2025,25(33):14277-14286.