

# 多因素影响下建筑保温材料导热系数试验的优化

谢 芳

赣州市南康区康建建筑工程质量检测有限公司 江西赣州 341400

**摘 要:** 建筑材料的导热系数是建筑热工和节能中的一个重要参数。建筑保温材料放置在真实环境中时,受到动态温湿度条件的影响,大多数材料都有一定的含水率。导热系数的估算不准确会导致建筑围护结构的节能计算出现误差,为准确测量可控环境下的导热系数,减少节能计算误差,研究了测量仪器、干燥温度、试样尺寸、试样含水率、环境温度和湿度对建筑保温材料导热系数的影响,对建筑保温材料导热系数的测试方法进行了优化。

**关键词:** 建筑保温材料; 导热系数; 含水率; 测量仪器

## Optimization of Thermal Conductivity Test of Building Thermal Insulation Materials under the Influence of Many Factors

Fang Xie

Ganzhou City Nankang District Kangjian Construction Engineering Quality Testing Co., LTD, Ganzhou County, Jiangxi Province 341400

**Abstract:** The thermal conductivity of building materials is an important parameter in building thermal engineering and energy saving. When building insulation materials are placed in the real environment, they are affected by dynamic temperature and humidity conditions, and most materials have a certain moisture content. Inaccurate estimation of thermal conductivity will lead to errors in energy saving calculation of building envelope. In order to accurately measure thermal conductivity in controllable environment and reduce energy saving calculation errors, the influences of measuring instruments, drying temperature, sample size, sample moisture content, ambient temperature and humidity on thermal conductivity of building thermal insulation materials were studied. The test method of thermal conductivity of building thermal insulation materials is optimized.

**Keywords:** Building thermal insulation material; Thermal conductivity; Water content; Measuring instrument

### 1 前言

通过实验测试,可以直接获得建筑保温材料的导热系数,分析和评价其在不同含水率、环境温度和相对湿度下的热湿性能。干燥状态和潮湿状态下的建筑保温材料的导热机理有较大差异,不同吸湿性的建筑保温材料的含水率对其导热性能的影响也不尽相同。影响建筑保温材料导热性的因素主要包括材料的内部结构(孔隙率、孔隙分布等)、材料含水率、环境温度和湿度等<sup>[1]</sup>。在建筑实际运行的自然工作条件下,材料放置在真实环境中,受动态温湿度的影响。由于各个气候区的温度和湿度变化很大,建筑保温材料在极端气候条件下受潮,内部含水率发生变化,材料的孔隙中存在水分<sup>[2]</sup>。水的导热系数是静态空气的20多

倍,这必然会增加材料的导热系数。因此,在围护结构的热计算中,应选择潮湿材料的导热系数值。

### 2 材料和方法

#### 2.1 测试材料

建筑保温材料可分为无机材料、有机材料、复合材料和先进材料四大类。从笨重的混凝土、加气砌块、聚苯乙烯混凝土等笨重的水泥基材料,到纤维岩棉、离心棉等纤维材料,再到EPS、挤压聚苯乙烯(XPS)等轻质泡沫建筑保温材料。传统保温材料因其导热系数低、成本低而成为许多建筑和蓄热应用的首选材料。由于建筑保温材料的热工性能和适用性存在差异,所有的导热系数测量没有单一的测量方法。

温度、含水率和环境温湿度都会引起导热系数的变化,很少有实证数据来评价测试设备、样本量等测试方法对建筑保温材料导热系数的影响,也很少有研究系统地分析传统建筑保温材料导热系数随含水量、环境温度和环境湿度的变化规律<sup>[3]</sup>。因此,有必要了解各种因素的综合影响,以预测建筑保温材料的性能,为设计人员提供重要的指导。

针对这些问题,选取不同孔隙结构和对含水率敏感性的常见建筑保温材料,聚苯乙烯颗粒混凝土、泡沫水泥、加气混凝土、EPS、XPS、岩棉和离心棉作为研究对象进行分析。

## 2.2 方法

### 2.2.1 仪器的选择

为了研究样品的孔隙结构特征,采用扫描电子显微镜和压汞法测定了样品的孔隙分布和孔隙率。防护热板仪是测量建筑物和保温材料导热系数最广泛、最精确的方法。防护热板仪的几何结构简单,使样品能够接近相变的临界状态,缺点是获取每个数据点的时间较长。该测试仪使用两个相同的样品,放置在主热板和上下辅助热板之间。冷热板用于保持试样表面的边界条件在恒定温度下。该仪器将两个辅助热板控制在同一温度,并使主热板和保护热板保持较高温度。两侧的炉子用于在冷板和热板周围产生温度,以消除径向热损失。理想情况下,冷热板应与试样完全接触,并且通过它们的热流必须是一维的和独立的。

防护热板仪的简单几何结构允许样本接近相变的临界状态,因此缺点是需要更长的时间来获得每个数据点<sup>[4]</sup>。此外,在确定温度和湿度对样品导热系数影响的实验中,导热仪传感器应放置在恒温恒湿室中,而防护热板仪不能满足此测试条件。因此,本文还使用了瞬态导热仪,其原理是利用热阻材料镍制成平面探头,可作为热源和温度传感器。该方法快速方便,不需要特殊的样品制备,可用于原位、单面检测。适用于固体、粉末、液体、涂层及各向异性材料等各种类型的样品,特别适用于各种恶劣环境下不同类型样品的导热性测试。

### 2.2.2 测试过程

#### (1) 浸泡实验。

浸泡实验采用专用存储箱,选择透明塑料收纳箱,制作上下亚克力板,将其中一块亚克力板用防水胶固定在收纳箱底部,四角打孔,四组螺栓穿过孔调节上板位置。将上板掏空,以保证试块浮上后能充分浸透上下表面。将样品

在干燥箱中烘烤至样品重量基本不变,冷却后测量用塑料薄膜包裹的样品的导热系数;将干燥后的样品浸泡在一盆水中,定期称重,用塑料膜包裹,浸泡一定天数后测量其导热系数,直至质量变化率小于0.1%。当试样达到饱和状态时,记录试样重量,并用塑料薄膜测量其导热系数;将饱和后的样品放入干燥箱中,烘烤至不同含水率,测量其导热系数。

#### (2) 环境模拟实验。

建筑的实际运行受到环境动态温湿度水平的影响,在这种影响下,材料中的含水率随着孔隙中含水量的增加而增加,导热系数发生变化。将样品放入干燥箱烘烤至重量基本不变,将干燥后的样品包裹在薄膜中,等待样品冷却至室温;将干燥的样品放置在气候室中,模拟不同的条件(25°C和30%,25°C和50%,25°C和70%,25°C和85%,25°C和98%)。当样品的质量变化小于0.1%(即恒定质量的样品与环境平衡)时,在恒温恒湿室中测量导热系数。

## 3 结果与讨论

建筑保温材料的导热系数测量是研究含湿材料导热系数的基础,孔隙分布、测试仪器、干燥时间、试样尺寸和温度等因素影响干燥型建筑保温材料的导热系数。需要考虑这些因素如何影响被测导热系数,导热系数对这些参数的敏感性如何,测试误差是否在合理范围内且可以忽略不计,以及在测试过程中如何选择干燥时间和样品大小。

### 3.1 测量材料的孔隙分布

保温材料的效率受孔隙率的影响,多孔材料由于具有较高的孔隙率,在高湿条件下可以吸收大量的水分,从而增加了导热系数<sup>[5]</sup>。选取泡沫水泥、聚苯乙烯颗粒混凝土、EPS聚苯板、XPS挤塑板、岩棉、离心棉六组传统保温材料作为研究对象。用汞孔计直接测定了样品的孔隙率和孔径分布。泡沫水泥的累积孔隙体积曲线在微观尺度和宏观尺度上相对平坦,而聚苯乙烯颗粒混凝土的累积孔隙体积曲线变化较小。

采用防护热板仪导热仪测量了6种干式绝热材料在20°C环境温度下的导热系数,六种保温材料的内部孔径都比较大,且孔隙多为大孔隙。虽然孔隙结构影响导热系数,但孔隙率高并不意味着导热系数高。

### 3.2 干燥温度

无论以获得干燥物料的导热系数为目的,在用浸没法或恒温恒湿箱法测试潮湿物料的导热系数之前,应将物料放

入干燥箱内，在适当的温度下进行干燥，采用105℃、70℃和40℃三种干燥温度，并指出在选择干燥温度时应注意避免热量对建筑保温材料内部结构的破坏作用和避免化学变化。当每隔24h连续测量三次，样品质量变化小于0.1%时，认为重量不变。对于同一种物料，在不同的研究中有时会选择不同的干燥温度，造成一定程度的误差。

XPS和EPS材料的结构在70~105℃之间发生变化，因此干燥温度不应超过70℃。大多数水泥基材料，如加气混凝土和泡沫水泥，其结构在105℃下不会发生变化，并且可以在70℃或105℃下干燥。由于保温材料中存在多种形式的水分，105℃干燥得到的加气混凝土和泡沫水泥的干重比70℃干燥得到的干重分别小0.43%和0.93%。干燥温度不同，样品中残余水分含量也不同。

干燥试样在70℃和105℃达到平衡所需的时间不同。EPS和XPS的质量在70℃时迅速达到平衡，而加气混凝土和泡沫水泥则需要大约11天的时间。相比之下，如果采用105℃干燥，加气混凝土和泡沫水泥达到质量平衡大约需要7天。在实际应用中，结构变化在70~105℃之间的材料，建议干燥温度为70℃；对于105℃下结构不发生变化的材料，大多数水泥基保温材料推荐105℃为最佳干燥温度。

### 3.3 样本大小

由于不同的测试方法、环境和仪器要求，有时必须制作不同尺寸的试样进行测试，而大多数瞬态导热仪只要求试样比传感器大。此外，未规定待测件的具体尺寸。考虑到边际效应，有必要研究试样尺寸对材料导热系数的影响。为研究试样尺寸对干燥建筑保温材料导热性能试验的影响，选取传统建筑保温材料(加气混凝土、发泡水泥、EPS、岩棉、XPS、气凝胶毯)，分别制成尺寸为300\*300mm<sup>2</sup>、100\*100mm<sup>2</sup>、100\*50mm<sup>2</sup>的试样。不同的保温材料，试样尺寸对导热系数的影响是不同的。一般情况下，这种影响在工程应用中可以忽略不计，但在科研中，干式建筑保温材料的导热系数测试应选择300\*300mm<sup>2</sup>的试样。如果实验条件不允许制备大试样，可根据试验要求选用小试样进行试验。

在测试精度方面，300\*300mm<sup>2</sup>试样优于100\*100mm<sup>2</sup>试样，100\*100mm<sup>2</sup>试样略优于100\*50mm<sup>2</sup>试样。因此，在干燥

状态下测试导热系数值时，应尽量选用长宽均为300\*300mm<sup>2</sup>的样品，且样品表面应平整，以保证传感器与样品的良好配合。

### 3.4 温度

选择三种保温材料：泡沫型(XPS、EPS和聚氨酯(PUR))、水泥基(泡沫水泥、聚苯乙烯混凝土和加气混凝土)和含纤维内保温材料(岩棉和离心棉)。水泥基建筑保温材料对温度不敏感，而泡沫保温材料对温度敏感。这可能是因为这些材料在高温下经过长时间的作用，内部结构发生了变化，并且不可逆的热膨胀改变了测试后的样品尺寸。

## 4 结论

由于建筑保温材料的导热系数差别很大，如果采用原有的导热系数数据，在热和负荷计算中会造成严重的误差。因此，本文以常用的传统建筑保温材料为研究对象，研究了孔隙结构、测量仪器、干燥温度、试样大小、试样含水率、环境温度和湿度等因素对建筑保温材料导热性能的影响。对含湿建筑保温材料导热系数的实测值与计算值进行了比较。水分对建筑保温材料的导热性影响很大，导热性对液态水分比气态水分更敏感。泡沫保温材料(XPS、EPS、PUR)对含水率的敏感性最低，水泥基保温材料对含水率的敏感性最高。

### 参考文献:

- [1] 陈建平. 建筑保温材料导热系数环境影响因素的确定及方法研究[J]. 门窗, 2019, No. 171 (15): 38+41.
- [2] 张苏保. 建筑保温材料导热系数的在线测量[J]. 物理测试, 2009, 27 (05): 26-27+34. DOI: 10.13228/j.boyuan.issn1001-0777.2009.05.017.
- [3] 戴文江, 陈九江, 唐民辉. 建筑保温材料导热系数数字化测量[J]. 低温建筑技术, 2004 (03): 83-84.
- [4] 牛宏达. 建筑保温材料吸放湿特性及预测模型研究[D]. 西安建筑科技大学, 2022. DOI: 10.27393/d.cnki.gxazu.2022.000669.
- [5] 孙立新, 闫增峰, 董宏. 建筑保温材料导热系数环境影响因素的确定及方法研究[J]. 建筑科学, 2017, 33 (08): 163-167. DOI: 10.13614/j.cnki.11-1962/tu.2017.08.25.