



中华人民共和国国家标准

GB/T 17370—1998
idt ISO 10051:1996

含湿建筑材料稳态传热率的测定

Determination of stead-state thermal transmissivity
of a moist building material

1998-05-08 发布

1998-12-01 实施

国家质量技术监督局 发布

目 次

前言	Ⅰ
ISO 前言	Ⅳ
1 范围	1
2 引用标准	1
3 定义	1
4 符号和单位	2
5 一般考虑	3
6 测试装置	4
7 测试过程	4
8 测试报告	8
附录 A(提示的附录) 理论基础	10
附录 B(提示的附录) 湿流的评定和 $g_v \cdot h_s$ 小的情况	13
附录 C(提示的附录) 可忽略液相运动时 $\lambda^*(w)$ 的近似解	14
附录 D(提示的附录) 由 C 阶段(有液相运动)测得的热流密度和温度推导 λ^*	15
附录 E(提示的附录) 参考文献	16

前 言

本标准等同采用 ISO 10051:1996《绝热—湿度对传热的影响—含湿材料传热率的测定》。

本标准测定建筑材料在湿稳定(材料内湿度分布不随时间改变)状态下的传热率(俗称含湿材料的导热系数)。所测结果中不包括湿度重分布所伴随的传热量,因此本方法所测结果适用于温、湿度稳定(密闭应用条件为稳定温度场)的环境中使用的建筑材料。如计算建筑物热负荷时,确定材料热性质的设计值。

为准确判断是否达到湿稳定状态,强烈推荐使用恒温度控制的热性质测量装置进行测量。

本标准作下述编辑性修改:

1) 3.1 条含湿材料传热率的定义中,关于测量方法的指示移至第五章一般考虑的末尾。

2) 国标 GB 10294—1988 和 GB 10295—1988 为等效采用 ISO 8302 和 ISO 8301,省略了其中某些解释性的内容。因此将 ISO 10051:1996 引用标准中的 ISO 8301:1991 和 ISO 8302:1991 等标准列入参考文献。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E 都是提示的附录。

本标准由国家建筑材料工业局提出。

本标准由全国绝热材料标准化技术委员会(CSBTS/TC 191)归口。

本标准起草单位:河南建筑材料研究设计院。

本标准起草人:曹声韶、白召军。

本标准委托河南建筑材料研究设计院负责解释。

ISO 前言

ISO(国际标准化组织)是一个各国标准机构(ISO 成员机构)的世界性联合体。国际标准通常由 ISO 各技术委员会制定。每一成员体对已建立技术委员会的项目感兴趣,有权向该技术委员会派代表。官方和非官方的国际组织与国际标准化组织相互联络协调,同时也参与其工作,国际标准化组织(ISO)与国际电工委员会(IEC)在所有的电工标准化方面紧密合作。

技术委员会采纳的国际标准草案分发给各成员体进行表决。作为国际标准颁布,要求投票的成员体中至少有 75%赞成。

国际标准 ISO 10051 由 ISO/TC 163(绝热技术委员会)/SC1(试验和测量分技术委员会)制定。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D 和附录 E 都是提示的附录。

0 引言

如 ISO 10456 所述,为得到使用状态下导热系数和热阻的设计值,需要含湿材料的传热率。计算任何复合传热和传湿时,也需要含湿材料的传热率。

多孔含湿材料的传热包含着不同传热机理的复杂组合,包括:

- 辐射;
- 固体和气体中的热传导;
- 对流(在某些使用条件);
- 传质(在含湿材料内);

以及它们之间的相互作用。

虽然这些热流和质流现象的本质是过渡性的,但其中某些现象长期起作用。在评价绝热材料性能时必须区别这些现象。本国际标准测定材料的结构和湿度对传热率的长期作用,称为含湿材料传热率。它是含湿材料的一个特性,是材料含湿率的函数,通常含湿材料的传热率在材料内各部位不相同,是各层材料含湿率的函数。

正确操作一台设备得到含湿材料的传热率和解释试验结果是一项复杂的工作,要给以充分的注意。建议操作人员和测量数据使用人员应具备被测材料(制品或系统)中热和湿传递机理完整的基础知识以及防护热板或热流计装置测量的经验。

中华人民共和国国家标准

含湿建筑材料稳态传热率的测定

GB/T 17370—1998
idt ISO 10051:1996

Determination of stead-state thermal transmissivity of a moist building material

1 范围

本标准规定了一种测定含湿材料的传热率(λ^*)的方法——温度高于 0℃,用标准的防护热板或热流计装置进行测量。含湿材料的传热率是含湿率的函数,结合材料内湿度分布的资料,可预计材料的实际热性能。

λ^* 的使用、使用条件下的湿度分布以及预计使用状态下的热性能都超出本标准的范围。然而,如有可能,在确定 λ^* 时应考虑使用条件下的湿度分布。

由于分析和解释结果的困难,目前不包括瞬态测量方法。

2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 4132—1996 绝热材料及相关术语

GB/T 10294—1988 绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 防护热板法

GB/T 10295—1988 绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 热流计法

ISO 10456 绝热 建筑材料和制品——确定热性质的标称值和设计值

3 定义

本标准所用术语除按 GB/T 4132 外,采用下列定义。

3.1 含湿材料的传热率(λ^*) thermal transmissivity of a moist material

含湿材料传热率为在稳态条件下,内部湿度分布为平衡状态、且材料内没有液相运动时,由下列方程定义的量:

$$q_m = - \lambda^* \frac{dT}{dx}$$

含湿材料的传热率是材料与含湿率和温度有关的固有性质,不受湿运动的影响,与测试条件无关。在其他场合常被称为含湿材料的导热系数。

注 1: 干材料的传热率(见附录 E 中 ISO 9288、ISO 8301 和 ISO 8302)或含湿材料传热率(见本标准)都表达一种材料性质。它们具有导热系数的量纲,但只在某些(大多数为一维稳态传热和传质)方程式中可以代替导热系数。

在大多数二维或三维方程、热扩散方程和非稳态问题中通常不能取代导热系数。

3.2 吸湿范围 hygroscopic range

与相对湿度为 98% 的环境平衡时的含湿量(或更低)。

4 符号和单位

- a ——材料湿度影响系数, $\text{W} \cdot \text{m}^2 / (\text{kg} \cdot \text{K})$;
 c ——比热容, $\text{J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$;
 d ——厚度, m ;
 g ——湿流密度, $\text{kg} / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$;
 g_t ——总湿流密度, $\text{kg} / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$;
 g_v ——气相湿流密度, $\text{kg} / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$;
 g_l ——液相湿流密度, $\text{kg} / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$;
 h ——比焓, J / kg ;
 h_e ——蒸发或冷凝比潜热, J / kg ;
 h_v ——蒸汽的比焓, J / kg ;
 h_l ——液体的比焓, J / kg ;
 q ——热流密度, W / m^2 ;
 q_m ——装置的热或冷面测得的热流密度, W / m^2 ;
 R ——热阻, $(\text{m}^2 \cdot \text{K}) / \text{W}$;
 t ——时间, s ;
 T ——温度, K ;
 v ——体积湿度, kg / m^3 ;
 w ——体积含湿量, kg / m^3 ;
 w_{cr} ——临界体积含湿量, 体积含湿量低于此值可忽略 g_l , kg / m^3 ;
 w_v ——气相体积含湿量, kg / m^3 ;
 w_l ——液相体积含湿量, kg / m^3 ;
 δ_v ——透湿系数, m^2 / s ;
 ρ ——材料的密度, kg / m^3 ;
 λ ——干材料的导热系数, $\text{W} / (\text{m} \cdot \text{K})$;
 λ^* ——含湿材料的传热率, $\text{W} / (\text{m} \cdot \text{K})$;
 R_H ——相对湿度。

注2: 本国际标准以体积湿度(v)作为水蒸气扩散的动力, 体积含湿量(w)为含湿量。只要采用相应的材料特性和边界条件, 分别用水蒸气分压力(p_v)和质量含湿率(u)代替是等效的。

下标:

- b ——区域1和区域2间的边界(见图2);
 cold——试件的冷面;
 cr——见 w_{cr} ;
 hot——试件的热面;
 i——试件的任意薄层;
 l——液相的;
 m——测量的;
 sat——饱和的;
 sur——试件的热或冷表面;
 t——总的;
 v——气相的。

5 一般考虑

5.1 引言

本章叙述湿度对传热影响的机理,作为测定含湿材料热性质方法的理论基础。

本章推导的公式尽可能通用化。但仍假定测量是在:

- 稳态测量方法(防护热板和热流计)的装置上进行;
- 温度高于冰点。

5.2 传热和传质

湿流的定义包括气相和液相流。实质上湿流是气相和液相流的串联和并联复合,通常不可能严格区分两类湿流。然而蒸汽的比焓与液体的比焓显著不同。因此处理传湿的基础是:湿流是气相和液相流的总和。

$$g_t = g_v + g_l \quad \dots\dots\dots (1)$$

在封闭系统(即具有恒定的含湿量)中,当

$$g_t = 0 \quad \text{即} \quad g_v = -g_l \quad \dots\dots\dots (2)$$

时达到稳态湿流。换句话说,当气相和液相传湿相等但方向相反时,达到湿稳定状态,即由毛细现象产生的液体运动与扩散引起的蒸汽运动平衡。

随着蒸汽和液体的迁移,载运各自的焓,因此导致传热量增加。

由传湿引起的传热加到由“傅立叶”定律描述的传导传热上,给出最终的总热流密度如下:

$$q = -\lambda^* \cdot \frac{dT}{dx} + g_v \cdot h_v + g_l \cdot h_l \quad \dots\dots\dots (3)$$

式(3)的等号后第一项为温度梯度产生的热流,它主要由下列各项组成:

- 固体材料及材料内孔穴中的气体的热传导;
- 附于孔壁的水的热传导;
- 孔穴内部或局部的蒸发和冷凝;
- 孔穴内部的热辐射和自然对流。

认为这四种热流都与温度梯度成正比,可以模拟“傅立叶”定律写出

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 = -\lambda^* \cdot \frac{dT}{dx} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式(3)第二项和第三项为与气相和液相的比焓及蒸发、冷凝的影响有关的热流,这些热流与温度不成正比例关系。

处理含湿材料内部的传热,必须区分“传导热流”和“蒸发、扩散、冷凝热流”。

过去通常用总热流密度除以温度梯度得出“含湿材料的导热系数”。这种方法显然是错误的,因为它得出的是一个随测试条件而变化的数值。

试验时模拟使用条件下全部复杂的湿度影响不是本标准的内容,湿流和相变的影响完全取决于材料中是否存在传湿及其大小。如果测试时考虑这些影响,将难以测得材料或构件的性质。会有不准确地估计这些影响的巨大危险。因此本试验方法的目的应是确定 λ^* , λ^* 是预测在使用条件下热性能的必要基础,但预测使用条件下的热性能超出本标准范围。

5.3 确定含湿材料的传热率

测定含湿材料的传热率总是要求有温度梯度。温度梯度引起材料内湿度重分布,这将导致两个问题:

- 湿度重分布意味着试验是在一个正在变化、且不知湿度分布的材料上进行;
- 湿度重分布同时引入相变和由湿流引起的传热。由于潜热效应,热量由热面传到冷面,而本标准的含湿材料传热率的定义中不包括这些潜热效应。因此,所测的热流被温度梯度除之前,应进行修正(除

非认定修正量为 0 或很小)。

测试含湿材料时,在热面或冷面测得的热流密度,基本上如图 1 所示。初始阶段 A,由于传导、湿流影响和相变的复合作用,有大致恒定的热流密度。过渡阶段 B 和湿平衡的最后阶段 C。

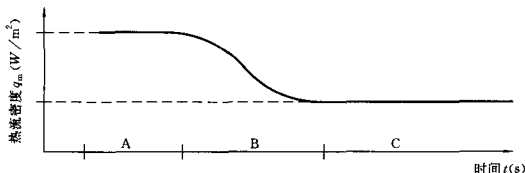


图 1 测试含湿材料的传热率时的热流密度

在 A 阶段试件热面的蒸发率恒定。只有当含湿量高于吸湿范围(孔穴内相对湿度近于 100%),体积湿度分布(或蒸汽压)不受湿度分布变化的影响时才出现。

如果满足以下条件,可考虑用 A 阶段:

——试件热面的湿度高于吸湿范围;

——在试件达到热平衡后,至少 2 h 内热面的热流密度是恒定的。

A 阶段试件热面的湿气蒸发为水蒸气穿过试件,不存在反方向的相等的(起平衡作用的)液相湿流。因此存在单纯的传质和湿度不平衡。

C 阶段湿气在试件热面的蒸发,气相穿过试件,并在冷面冷凝。与此同时液相水由冷面传到热面。就质而言二种质流相等、相反,保持平衡。

注 3: 绝热材料中真正的液相传湿是很少的,要求含湿量高于临界含湿量(w_{cr})。

热面和冷面测得的热流方程式[见附录 A 中式(A7)]为:

$$q_m = (-\lambda^* \cdot \frac{dT}{dx})_{sur} + (g_v \cdot h_e)_{sur} \quad \dots\dots\dots (5)$$

为确定某一体积含湿量 w 时的传热率 $\lambda^*(w)$,必须知道下列数值:试件表面的含湿率、温度梯度、热流密度和气相湿流量。

由于传热和传质的复杂性,含湿材料的传热率很少能通过单一的试验来测定,要有一个测定计划和特殊的测试条件。即用厚试件测干材料的传热率,并在湿度分布为平衡状态、且没有液相流的情况下测定含湿传热率。通常不采用非稳态法。

6 测试装置

最好用按 GB 10295 中双热流传感器方案(构造 B),也可用热面有热流传感器的单热流计方案或按 GB 10294 规定的防护热板装置。

如果不使用热流向下方案,则必须考虑由重力和空气运动(对流)引起的湿流重分布的危险。

应观察并记录试件表面温度和热流密度与时间的关系。某些情况(见第 7 章)应埋设测量试件内部温度分布的附加温度传感器。

试件应密封于气密性套内,详见 7.2。

7 测试过程

7.1 概述

测试含湿材料时,应满足所用装置的方法标准中对烘干材料测试过程的有关要求。

选用的测试温度不应有损于被测材料。高温可能造成高的蒸汽压,破坏密闭孔结构材料的孔壁。

本章规定对测试含湿材料的进一步要求。本标准与有关装置的方法标准产生分歧时,按照本标准要求测试。

7.2 试件的准备和状态调节

试件应状态调节到要求的含湿量和湿度分布。测定 λ^* 时,如有可能应考虑使用状态下的湿分布。

可用真空或非真空浸水、湿空气中吸湿或试件上喷水雾方法调节到要求的含湿量。将试件置入温度梯度中调节湿度分布,亦可将这些方法组合使用。

注意由于滞迟效应,试件的湿经历可能影响含湿量。例如在相同的室内条件,平衡含湿率可能与吸湿或放湿达到平衡有关。

亦可用已在使用状态下调节过的试件测试。

下述关于状态调节的指南,包括了大多数材料和含湿量的组合情况。

a) 湿运动的影响可忽略的材料(见 7.4.1)

1) 吸湿范围以内

在要求的相对湿度中调节材料到恒重,其含湿量可以认为均匀,按 7.4.1.1 进行测量。

2) 高于吸湿范围

最好在温度梯度下调节试件,按 7.4.1.2 进行测量。

b) 其他材料

通常采用 C 阶段,以与防护热板或热流计装置测试时相同的温度梯度调节材料的湿度分布,按

7.4.2 进行测量。

状态调节后,试件应装入气密性的封套中。封套应不透气,测试时的质量损失不应大于 $0.01 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ 。

如果封套在试件与测量装置间引入显著的热阻,封套的热阻必须按有关方法标准的规定处理。

7.3 A 或 C 阶段的选择

理论上讲测定 λ^* 可以选择 A 或 C 阶段。然而,根据材料性质、含湿量和湿度分布,实际上只选择一个阶段。

选择时考虑下列因素:

——透湿系数 δ 。对于低透湿系数材料,达到湿平衡(C 阶段)要很长时间,同时在 A 阶段湿运动的影响小。这种材料建议用 A 阶段。另一选择是调节试件达到 C 阶段的平衡(见 7.2),在 C 阶段测量。

——湿度分布。只有在 A 阶段才能维持均匀或几乎均匀的湿度分布。C 阶段的湿度分布总是不均匀的。低温度梯度时,湿度重分布的速率小,平衡含湿量较均匀。如果测试时不可能同时监视湿度分布,则应通过:

1) 测量测试前和测试后的湿度分布;或

2) 测量测试前或测试后的湿度分布,并计算重分布速率来估计湿度分布。

如果存在重力引起湿度重分布的危险,评价结果时应特别小心。

——吸湿率和含湿量。A 阶段要求含湿量高于吸湿范围,含湿量变化时不影响体积湿度的分布。对可忽略传湿影响的材料(见 7.4.1),A 阶段可用于任何含湿量。在 C 阶段,材料大部分的含湿量在吸湿范围以内。

——干燥材料的导热系数 λ 。对于高导热系数材料,湿度影响的重要性相对小些,可以忽略。可比较 δ/λ 的关系(见 7.4.1 及附录 B)。

——使用双热流传感器装置时,判断湿平衡较容易,可获得更多的试件内传热和传湿的信息,因而提高测试结果的精度。

7.4 由测量的热流密度和温度值计算 λ^*

7.4.1 A 阶段

可能有两种情况:

——均匀或几乎均匀的湿度分布;

——不均匀的湿度分布。

7.4.1.1 均匀或几乎均匀的湿度分布

认为试件内部的温度分布为线性,温度梯度

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_{\text{hot}} - T_{\text{cold}}}{d} \quad \dots\dots\dots (6)$$

由测量的热流密度按式(5)计算 λ^* 时,需要 $(g_v)_{\text{sur}}$ 或 $(g_v \cdot h_e)_{\text{sur}}$ 可忽略。评估 g_v 在附录B中的B1讨论。

$g_v \cdot h_e$ 可忽略的情况在附录B中的B2讨论。

7.4.1.2 不均匀湿度分布

推导 $\lambda^* (w_{\text{sur}})$ 需要评估 $(g_v)_{\text{sur}}$ 或 $(g_v \cdot h_e)_{\text{sur}}$ 可忽略(见附录B中的B2)。

如果 g_v 确定,式(7)的左边已知:

$$q_m - (g_v \cdot h_e)_{\text{sur}} = - \left(\lambda^* \cdot \frac{dT}{dx} \right)_{\text{sur}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

为计算 $\lambda^* (w_{\text{sur}})$,必须确定表面的 $\left(\frac{dT}{dx} \right)_{\text{sur}}$ 。

如果 $g_v \cdot h_e$ 可忽略,式(5)可写成

$$q_m \approx - \left(\lambda^* \cdot \frac{dT}{dx} \right)_{\text{sur}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

这个方程式只在试件表面处有效。

在试件内部可应用式(3)。如果 $g_v \cdot h_e$ 可忽略,因 $h_v \gg h_1$ 和 $h_e = h_v - h_1$,则 $g_v \cdot h_v$ 亦可忽略。许多情况 $g_1 \cdot h_1$ 亦可忽略(例如 g_1 可忽略),那么式(8)可以用于整个试件。

求解 λ^* 与 w 的函数,需要测量湿度和温度分布。注意确定平行板状试件内温度和(或)湿度分布的可能性。附录C中的C1给出只须测量湿度分布的近似解。

7.4.2 C阶段

在C阶段热流和质流都是稳态:

$$g_v + g_1 = 0 \quad \dots\dots\dots (9)$$

在试件表面处,式(5)依然有效:

$$q_m = - \left(\lambda^* \cdot \frac{dT}{dx} \right)_{\text{sur}} + (g_v \cdot h_e)_{\text{sur}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

因 $g_v = -g_1$,试件内部的式(3)可写成:

$$q = - \lambda^* \cdot \frac{dT}{dx} + g_v \cdot h_e \quad \dots\dots\dots (10)$$

与式(5)相同。

实际上,如果有液相流,一般被限制在试件的某一部分(见图2)。这个区域必须与没有液相流的区域不同处理。

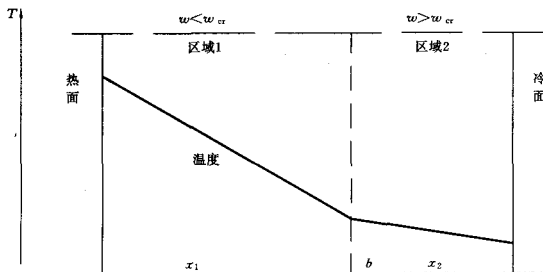


图2 C阶段,区域1没有液相流区域2有液相流

在理论上,区域 2 是材料中含湿量高于临界含湿量 w_{cr} 的部分, w_{cr} 的定义是含湿量低于此值时液相传递可以忽略。可能有两种情况:

- a) 湿度不超过 w_{cr} ;
- b) 在厚度 x_2 区域内湿度超过 w_{cr} 。

情况 a) 无液相迁移(在整个试件内 $w < w_{cr}$), 式(5)和式(10)变成:

$$q_m = q = -\lambda^* \cdot \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (11)$$

式(11)在试件表面和内部都有效。求解 λ^* 与含湿量的函数应测量湿度和温度分布。注意测量平行板状试件内温度和(或)湿度分布的可能性。

附录 C 中给出二个近似解,附录 C 中的 C1 只测量湿度分布,附录 C 中的 C2 只测量温度分布。

情况 b) 有液相迁移(在区域 2, $w > w_{cr}$), 处理见附录 D。

7.5 可能的测量过程流程图

测定 λ^* 的各种可能性归纳为一个流程图(见图 3)。注意可得到三种不同的 λ^* 和 w 之间的关系:

$\lambda^*(w_{sur})$ 含湿材料的传热率是试件表面含湿量的函数。

$\lambda^* = \lambda + a \cdot w$ 含湿材料的传热率是含湿量的线性函数。

$\lambda^*(w)$ 含湿材料的传热率和含湿量之间经验关系。

7.6 误差

测量的总误差是材料性质和不均匀性、装置的设计和操作、确定温度和湿度分布及湿迁移方法的误差总和。

从式(5)和式(10)可看出,误差可能与确定下列值的误差有关:

- a) 试件表面的热流密度 q_m (见有关装置的标准 GB 10294 和 GB 10295);
- b) 试件中的湿度分布 w , 注意测试时由于湿度重分布或通过气密性封套的湿度损失引起的误差;
- c) 试件中的温度 T 和温度分布 $\frac{dT}{dx}$;

d) 气相湿流密度 g_v 。附录 B 中的 B1 和 B2 举例的方程式 $g_v = -\delta_v \cdot \frac{dv}{dx}$ 只是近似式,而且透湿系数可能随温度和含湿率明显地变化。材料不均匀性可能造成试件内传湿和湿分布的变化;

e) 试件厚度 d 。某些情况存在由于湿度变化引起尺寸变化的危险。

注意误差还可能由于测量时不在 A 阶段或 C 阶段,而是在 A、C 阶段之间的过渡期。

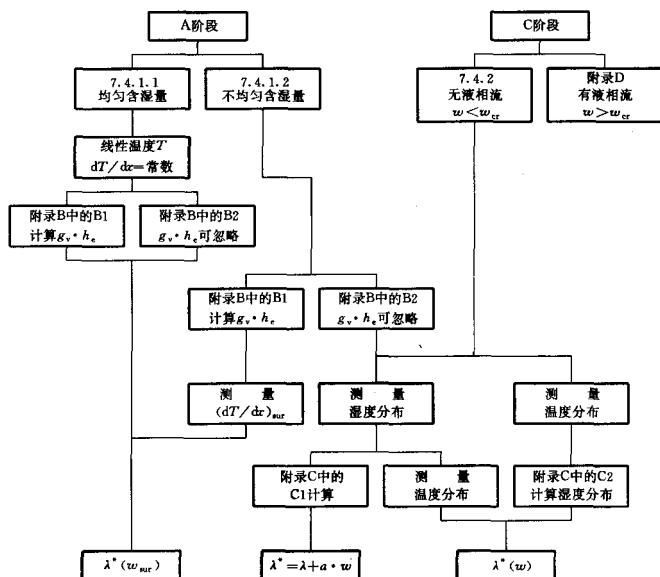


图3 测量过程流程图

7.7 计算

按照有关装置标准,计算试件的密度和质量的变化。

计算试件内温度和(或)湿度分布,温度梯度和湿流密度。

按照7.4给出的公式和方法计算含湿材料的传热率。

8 测试报告

每个测试报告中应包括下列各项:

- 材料的名称和其他有关的标志,包括制造厂提供的物质说明;
- 试件以及其与样本的关系(可能时满足材料标准的要求)。松散材料的试件制备方法以及容器盖热阻的测量值;
- 测试时试件的厚度,说明厚度是强制的或是测量的,确定强制厚度的方法以及测试时试件厚度的变化;
- 状态调节的方法、持续时间、温度和湿度条件;
- 调节后、测试时试件的密度;
- 所用装置(防护热板或热流计装置)的形式和方案以及热流方向;
- 测试时试件冷面和热面的温度以及测定方法;
- 测试时测得的试件内部温度及温度传感器的型式和布置;
- 测试时试件表面的热流密度与时间的关系;
- 用气密性封套测试时,应给出有关封套的材料和厚度;
- 干燥和(或)调节时(见7.2)质量相对变化

- l) 测试时质量的相对变化;
- m) 完成测试的日期,整个测试持续时间和稳态部分持续时间(如果这些资料有助于解释结果);
- n) 含湿率及测量方法;
- o) 有关阶段的选择以及测试过程的说明(见图 3);
- p) 气相湿流密度的评估和含湿量的计算;
- q) λ^* 与含湿量的关系;
- r) 误差估计,强烈建议在报告中申述测量结果的最大预期误差。当本标准中一个或几个要求不满足时,建议包含一个估计测量结果的误差(或各项误差)的完整报告;
- s) 符合性申明:当环境或要求阻碍完全满足本国际标准叙述的测试过程,可同意作出例外。但必须在报告中专门说明,推荐的词句是:“本测试除……外,符合 GB/T 17370 的全部要求。所有例外的清单如下”。

附录 A

(提示的附录)

理论基础

A1 引言

本附录叙述湿度对传热影响的机理,为确定含湿材料热性质的测试方法提供理论基础。所测得的性质可用于预计含湿材料的热性能。

虽然本附录中推导的公式尽可能通用化,但仍假定测量系在下列情况下进行:

- 在稳态法装置(防护热板或热流计)上进行;
- 温度高于纯水的冰点(0°C)。

A2 传热和传质

A2.1 简单情况下的传质现象

一个具有恒定温度、以水平平板为边界的匀质多孔介质(见图 A1),在时间 $t=0$ 时,温度为 T_0 ,均匀含湿量为 w_0 。

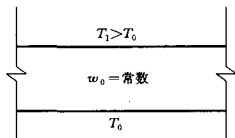


图 A1

为简化起见,只考虑垂直方向一维传质。当时间 $t>0$ 时,上部边界的温度增加到 T_1 ($T_1>T_0$)。

作用在介质上的温度差将改变其温度分布,并造成液相和气相的传质。下面定性讨论由这些机理引起的传质现象。

A2.2 气相传质

上部边界温度升高导致靠近边界处的液相水蒸发,使这一区域内空气的体积湿度增加。因冷区的平衡体积湿度较低,通过简单的空气中水气扩散过程,湿度从热区迁移到冷区。

随着迁移,部分水气在多孔介质的固体上,以及已存在的半月形的液体上冷凝(见图 A2)。为维持热力学平衡,随着 A 点的冷凝, B 点水分蒸发。因此水气通过连续的表面上交替蒸发和冷凝,迁移到冷区。

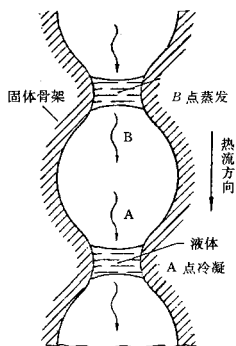


图 A2 多孔介质内的气相流

A2.3 液相传质

气相迁移导致热区的含水量减少,因此这个区域的毛细压力减小。这个压力差引起与气相运动方向相反的液相运动(“吸力”效应)。

由于温度梯度引起热区的毛细压力增加,毛细压力增加阻止由于含水量梯度导致的液相运动(见图 A3)。

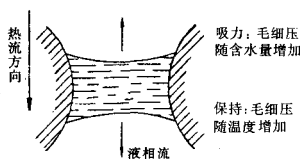


图 A3 多孔介质内的液相传质

A2.4 总的传质

如用 g_v 和 g_l 分别表示气相和液相质流密度,则总的质流密度 g_t 为:

$$g_t = g_v + g_l \quad \text{..... (A1)}$$

在一个密封系统中(即恒定含湿量),当

$$g_t = 0 \text{ 即 } g_v = -g_l \quad \text{..... (A2)}$$

这时,达到稳态质流。换句话说,当气相传质和液相传质大小相等方向相反时,即毛细作用的液相运动与扩散作用的气相运动平衡时达到稳态质流。

A2.5 传热方程

随着气相和液相迁移,各自载运了相应的焓,导致传热增加。

由湿流引起的传热加到以“傅立叶”定律描述的传导传热方程上,给出最终的总热流密度方程如下:

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx} + g_v \cdot h_v + g_l \cdot h_l \quad \text{..... (A3)}$$

式(A3)等号后第一项描述由温度梯度引起的热流(见图 A4),它主要由下列组成:

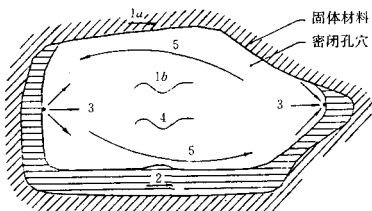


图 A4 孔隙中传热机理

- 固体材料(1a)以及材料内部孔隙中(湿)空气(1b)的导热热流密度 q_1 ;
- 附在孔隙壁的水的导热热流密度 q_2 。这些水的并联导热,降低总的有效热阻;
- 孔隙中或局部的蒸发和冷凝热流密度 q_3 。湿度以气相单向运动,然后恢复液相。注意这是孔隙壁的温度差引起的局部过程,甚至湿度梯度等于“0”时亦会发生,不应与大范围的湿流效应或材料内湿度重分布混淆;

- 辐射热流密度 q_4 ;
- 孔隙中的对流热流密度 q_5 ,实际上极大多数情况可以忽略。

假定这五种热流都与温度梯度成比例。因此可模拟“傅立叶”定律写出

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 = -\lambda^* \cdot \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (A4)$$

重要的是仔细区分使用状态的湿度影响与试验室测试时的湿度影响。

测试时模拟使用条件下的全部复杂的湿度影响是不现实的和不必要的,湿流和相变的影响取决于材料中是否出现传湿及其大小。如果试验时考虑这些影响,难以得到一种材料的性质,亦有过分估计这些影响的巨大危险。因此本试验的主要目的应是确定 λ^* , λ^* 可转而用以预计材料在使用条件下的热性能。

A3 确定含湿材料的含湿传热率

A3.1 概述

确定含湿材料的传热率总是要求有温度梯度。通常这将引起材料内的湿度重分布,湿度重分布导致二个問題:

- 湿度重分布意味着试验是在一个正在变化、并不知其湿度分布的材料上进行;
- 湿度重分布的同时产生湿流和相变传热。这些影响与材料使用时的湿度影响不是完全相同。因此在测试时这些影响应该是可忽略的或确切知道的。

测试含湿材料时,热面测得的热流基本按图 1 所示规律变化。初始阶段 A(包括传导、湿流效应和相变在内,具有大致恒定的热流),过渡阶段 B 和湿平衡的最终阶段 C。

含湿量大于吸湿范围时存在 A 阶段。即使含湿量变化,材料孔隙内的相对湿度仍保持在 100%。某些例子中可能观察不到 A 阶段。

A3.2 试件表面热流 q_m 表达式

测试时所测的量之一是试件热面或冷面的热流密度(q_m)。因此有必要推导 q_m 与含湿材料传热率(λ^*)、温度梯度等项的表达式。

由式(A3)可得试件表面处的方程

$$q_m = -\lambda^* \frac{dT}{dx} + h_w \cdot g_w + g_1 \cdot h_1 \dots\dots\dots (A5)$$

由于试件表面处 $h_e = h_v - h_1$, $g_v = -g_1$, 可得

$$q_m = -\lambda \cdot \frac{dT}{dx} + h_e \cdot g_v \quad \dots\dots\dots (A6)$$

这个方程式在冷面和热面都可应用:

$$q_m = \left(-\lambda \cdot \frac{dT}{dx} \right)_{sur} + (h_e \cdot g_v)_{sur} \quad \dots\dots\dots (A7)$$

式中下标 sur 代表热表面或冷表面。

附录 B

(提示的附录)

湿流的评定和 g_v 、 h_e 小的情况

B1 气相湿流 g_v 的评定

假定湿流是由体积湿度梯度造成, 对许多绝热材料而言, 这是个合理的简化。可应用菲克定律求 g_v 的估计值。

在 A 阶段, 含湿量高于吸湿范围, 材料的孔隙中相对湿度近似为 100%。因此, 体积湿度等于饱和体积湿度。饱和体积湿度仅是温度的函数。

$$g_v = -\delta_v \cdot \frac{dv_{sat}}{dx} \quad \dots\dots\dots (B1)$$

式中: δ_v ——材料的透湿系数, m^2/s ;

v_{sat} ——饱和体积湿度, kg/m^3 。

δ_v 可以用“湿杯法”测得, 则可由式(B1)得出 g_v 。

注 4: 水蒸气分压力(p_v)可代替体积湿度(v)作为水蒸气扩散的动力。

另一个估计 g_v 的方法是: 在类似的试件上, 在类似边界条件下进行平行试验, 并在这些试件中测定湿度重分布和湿流。

B2 g_v 、 h_e 小的情况

一种情况是:

$$h_e \cdot \delta_v \cdot \frac{dv_{sat}}{dx} \ll \lambda \cdot \frac{dT}{dx} \quad \dots\dots\dots (B2)$$

由于

$$\frac{dv_{sat}}{dx} = \frac{dv_{sat}}{dT} \cdot \frac{dT}{dx} = k \cdot \frac{dT}{dx} \quad \dots\dots\dots (B3)$$

此处 在 10℃ 时 $k = 0.6 \times 10^{-3}$;

在 20℃ 时 $k = 1.0 \times 10^{-3}$;

在 30℃ 时 $k = 1.6 \times 10^{-3}$ 。

并且假设忽略 $g_v \cdot h_e$ 的条件是 $g_v \cdot h_e$ 小于 $\lambda \cdot \frac{dT}{dx}$ 的 3%。可得出

$$h_e \cdot \delta_v \cdot k \cdot \frac{dT}{dx} < 0.03 \cdot \lambda \cdot \frac{dT}{dx} \quad \dots\dots\dots (B4)$$

最后得

$$\delta_v < \frac{0.03}{h_e \cdot k} \cdot \lambda = \delta_{cr} \quad \dots\dots\dots (B5)$$

此处 δ_{cr} 是忽略 $g_v \cdot h_e$ 的上限。

注意这个条件与“ $\frac{dT}{dx}$ ”无关！由此可得出：低温度梯度测试不是 $g_v \cdot h_c$ 可自动忽略的方案。

作为指导，图 B1 示出三种不同温度下 δ_{cr} 的数值。如果 3% 的误差可接受，则处于有关线下的材料可忽略 $g_v \cdot h_c$ 。某些典型建筑材料的值形象地示于图中。

图 B1 显示温度愈低，忽略 $g_v \cdot h_c$ 愈正确。因此将热流传感器置于试件冷面将得到最准确的结果。

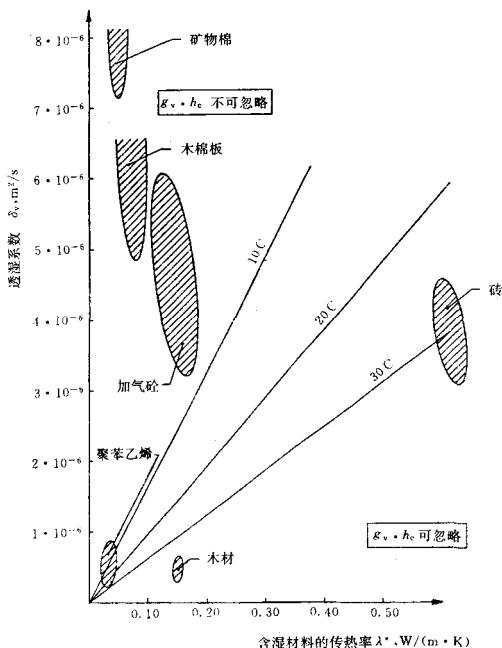


图 B1 温度为 10°C、20°C 和 30°C 时的 δ_{cr}

附录 C

(提示的附录)

可忽略液相运动时 $\lambda^*(w)$ 的近似解

C1 只测量湿度分布

如果只能测量湿度分布，那么可得到下述近似解。将试件考虑为 n 层等厚度 d 的薄片，已知其均匀的含湿量 w_i (例如通过切割和称重)，且假定 λ^* 与含湿量 w 为线性变化 (大多数情况，至少对低或中等

含湿量为真实的); λ^* 随温度的变化可忽略。则

$$\lambda_i^* = \lambda + a \cdot w_i \quad \dots\dots\dots (C1)$$

式中: a ——系数;

λ ——试件为绝干时的导热系数;

w ——含湿量;

i ——代表试件中任意薄层。

试件的总热阻为各单层热阻的和。

则

$$q_m = \frac{T_{\text{hot}} - T_{\text{cold}}}{d \sum_i \frac{1}{aw_i + \lambda}} \quad \dots\dots\dots (C2)$$

式(C2)中唯一的未知数为 a 。因此,可以确定 λ^* 随含湿量的变化。

C2 只测量温度分布

在平衡状态(C阶段)可假定体积湿度是均匀的,且等于冷面的饱和体积湿度。

$$V_i = V_{\text{sat}} \cdot T_{\text{cold}} \quad \dots\dots\dots (C3)$$

式中: V_i ——试件任意薄层 i 的体积湿度;

$V_{\text{sat}}, T_{\text{cold}}$ ——冷面的饱和体积湿度。

那么材料内任意薄层 i 的相对湿度是

$$R_{H,i} = \frac{V_i}{V_{\text{sat}}, T_i} \quad \dots\dots\dots (C4)$$

式中: $R_{H,i}$ ——试件任意薄层 i 的相对湿度;

V_{sat}, T_i ——试件任意薄层 i 的饱和体积湿度。

含湿量 w_i 可从吸收释放曲线上查得。注意由于滞迟效应,含湿量可能与由吸收或者释放达到有关。然后可应用 C1 的过程。

注 5: 水蒸气分压力(p_v)可代替体积湿度(v)作为水蒸气扩散的动力。

附录 D

(提示的附录)

由 C 阶段(有液相运动)测得的热流密度和温度推导 λ^*

应测量区域 1 和区域 2 边界处的温度、湿度分布(见图 2)。

用下列方法之一(或几)种区分区域 1 和区域 2 及测定区域之间的边界线:

——用相同材料和相同边界条件进行平行测试,通过重量分析法或中子吸收法测定湿度分布。

——在测试时用中子吸收法测定湿度分布。

——计算试件内的湿度分布。

在区域 1 内,没有液相迁移,因此

$$q_m = q = -\lambda^* \frac{dT}{dx} \quad \dots\dots\dots (D1)$$

注意本式仅适用于区域 1。

区域 1 也可按 7.4.2 条处理。

在区域 2,得

$$q_m = q_2 = \left(-\lambda^* \frac{dT}{dx} \right)_2 + (g_v \cdot h_e)_2 \quad \dots\dots\dots (D2)$$

此处下标 2 表示区域 2。

区域 2 也可按 7.4.1.2 求解。

附录 E

(提示的附录)

参考文献

- [1] ACHTZIGER, J. and CAMMERER, J. Untersuchung des anwendungsbedingten Einflusses der Feuchtigkeit auf den Wärmetransport durch gedämmte Aussenbauteile. Bauphysik, 12, 1990, pp. 42-46.
- [2] BOMBERG, M. and SHIRTLIFFE, C. J. Influence of Moisture and Moisture Gradients on Heat Transfer Through Porous Building Materials. Thermal Transmission Measurements of Insulation, ASTM STP 660, R. P. Tye, Editor, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1978.
- [3] KUMARAN, M. K. Moisture Transport Through Glass-Fibre Insulation in the Presence, of a Thermal Gradient. Journal of Thermal Insulation, 10 (April), 1987, p. 243.
- [4] KÜNZEL, H. Wie ist der Feuchteinfluss auf die Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen unter heutigen Bedingungen zu bewerten? Bauphysik, 11. 1989, pp. 185-189.
- [5] LANGLAIS, C., HYRIEN, M. and KLARSFELD, S. Influence of Moisture on Heat Transfer Through Fibrous-Insulating Materials. Thermal Insulation, Materials and Systems for Energy Conservation in the 80 s. ASTM STP 789. F. A. Govan. D. M. Greason and J. D. McAllister, Editors, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1983, pp. 563-581.
- [6] PEDERSEN, C. R. and COURVILLE, G. E. A Computer Analysis of the Annual Thermal Performance of a Roof System with Slightly Wet Fibrous Glass Insulation under Transient Conditions. Journal of Thermal Insulation, 15, October 1991, pp. 110-136.
- [7] PEDERSEN, C. R. Combined Heat and Moisture Transfer in Building Constructions. Ph. D. thesis, Report 214, Thermal Insulation Laboratory, Technical University of Denmark, 1990.
- [8] SANDBERG, P. I. Thermal Resistance of a Wet Mineral Fiber Insulation. Thermal Insulation: Materials and Systems, ASTM STP 922, F. J. Powell and S. L. Matthews, Editors, American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 1987, pp. 394-404.
- [9] SANDBERG, P. I. Thermal Resistance of Wet Insulation Materials. Swedish National Testing Institute. Technical Report 29, Borås, 1986.
- [10] SANDBERG, P. I. Determination of the Effects of Moisture on the Thermal Transmissivity of Cellulose Fiber Loose-Fill Insulation. Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings, ASHRAE/DOE/B/BTECC Conference, Clearwater Beach, Florida. December 1992, pp. 517-525.
- [11] THOMAS, W. C., BAL, G. P. and ONEGA, R. J. Heat and Moisture Transfer in a Glass Fiber Roof Insulation Material. Thermal Insulation Materials, and Systems for Energy Conservation in the '80s, ASTM STP 789, F. A. Govan, D. M. Greason and J. D. McAllister, Editors, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1983, pp. 582-601.
- [12] ISO 8301:1991, Thermal insulation—Determination of steady-state thermal resistance and related properties—Heat flow meter apparatus.

- [13] ISO 8302:1991, Thermalinsulation—Determination of steady-state thermal resistance and related properties—Guarded hot plate apparatus.
 - [14] ISO 9288:1989, Thermalinsulation—Heat transfer by radiation—Physical quantities and definition.
-