

调湿材料吸放湿性能测试方法^{*}

华侨大学 冉茂宇[☆] 袁炯炯

摘要 建立了调湿材料吸放湿过程的热湿传递耦合方程,在周期性热湿作用边界条件下对耦合方程进行变换分析,得出其理论解。研究了封闭空间内调湿材料在周期性热湿作用下的吸放湿特性,结果表明空气含湿量波动振幅与温度波动振幅之比值为一复常数,其模值能表示材料吸放湿能力大小,初相位能表示材料吸放湿应答性快慢,从而引出了测试调湿材料吸放湿性能的方法——封闭箱热作用法。利用该方法测试了硅胶板、混凝土板和夯土板的吸放湿性能,验证了该方法的有效性,结果显示硅胶板的吸放湿性能最好,混凝土板最差;得出了调湿材料在封闭箱中的吸放湿规律,即空气温度升高时材料放湿,空气温度下降时材料吸湿,可根据空气绝对湿度曲线判断材料吸放湿性能的好坏。

关键词 调湿材料 吸放湿性能 封闭箱热作用法 含湿量 绝对湿度

Test methods of moisture adsorption/desorption performance of humidity control materials

By Ran Maoyu[★] and Yuan Jiongiong

Abstract Establishing the coupled equations of heat and moisture transfer in the materials to describe the moisture adsorption/desorption processes, obtains the analytical solutions of temperature and humidity ratio in the materials by transforming the equations with the steady periodic convective boundary conditions. The analytical solutions are utilized to clarify the moisture adsorption/desorption characteristics of the humidity control plate that is free placed in a closed space, and it shows that the air humidity ratio amplitude is in direct proportion to the air temperature amplitude, the proportion coefficient can be used as a criterion to indicate the adsorption/desorption ability of a material, and the lag time between the humidity ratio and the temperature can be used as a criterion to indicate the adsorption/desorption response of the material. Thereby, a test method called the closed box and thermal effect method is introduced to investigate the moisture adsorption/desorption performance. The validity of this method is experimentally checked by testing the performance of three kind of materials including silica gel plate, concrete slab and puddle plate. The results show that the performance of the silica gel plate is the best and that of the concrete slab is the poorest, and that the moisture is desorbed from materials when the closed box is heated and absorbed from air when the closed box is cooled, and that the tested curve of absolute humidity can show the performance of the material.

Keywords humidity control material, adsorption/desorption performance, closed box and thermal effect method, humidity ratio, absolute humidity

★ Huaqiao University, Quanzhou, Fujian Province, China

①

0 引言

调湿材料又称为自律性吸放湿材料,可以依靠吸放湿性能自动调节室内空气相对湿度,即当室内

①[☆] 冉茂宇,男,1967年4月生,博士研究生,副教授
362021 福建泉州华侨大学建筑学院
(0595) 22693545 (O) 13599240707
E-mail: ranmaoyu@yahoo.com.cn

收稿日期:2005-11-10

修回日期:2006-03-07

* 国家自然科学基金资助项目(编号:59808007),福建省自然科学基金资助项目(编号:Do210013)

空气相对湿度由于某种原因(如温度升高)降低时,材料自动放出水分抑制相对湿度下降;而当相对湿度升高时,材料又会自动从空气中吸收水分,抑制相对湿度升高。这样,室内相对湿度会维持在相对平稳的水平。调湿材料既可用于供暖、空调房间调节湿负荷,也可用于室内防止表面结露和地板泛潮,还可以用于美术馆、档案馆等防止霉菌滋生和虫害等,有广阔的应用前景^[1]。

国外对调湿材料的研究已有较长时间,日本自二战后相继开发了硅酸钙水合物系调湿材料、吸附剂类吸放湿板、硅藻土系调湿材料、纸类调湿材料等^[2];欧洲一些国家对调湿材料的研究,也有少量报道。我国对调湿材料的研究始见于上世纪 90 年代中期^[3]。进入 21 世纪后,由于可持续发展在世界范围内得到普遍重视,调湿材料的研究得到了进一步加强。然而,纵观前人的研究,仍存在下列两方面的不足,一是缺乏评价调湿材料调湿性能的合理的单一指标,虽然,不同的学者从不同的角度提出了单一指标,但这些单一指标都只体现某几种因素对吸放湿过程的影响,不能反映全部因素的综合作用^[4];二是目前提出的单一指标不易测试。

材料吸放湿过程的本质是材料内部与外界空气间的湿交换过程。如果材料不含水分或水分不迁移(如室内各种金属板、密实干燥的混凝土板等),那么没有吸放湿能力,但是仍对室内相对湿度有调节作用。这是因为空气相对湿度与空气干球温度有关,而任何材料都对室内空气温度有稳定和调节作用,因此,也间接调节了室内相对湿度。这种材料只能称为调温材料,它对室内空气含湿量没有调节作用^[5]。事实上,任何具有吸放湿作用的材料都可称为调湿材料,只是其吸放湿性能不同而已。在我国建筑中广泛使用的木材以及黏土都具有较好的调湿能力。调湿材料的调湿性能不仅与材料的热湿物性有关,而且与周围气流状况和空气温、湿度变化情况有关。正是由于影响材料调湿性能因素的复杂性和多样性,长期以来人们都希望但未能建立起合理的单一性指标以评价调湿材料调湿性能的好坏,更谈不上对合理指标进行测定了。本文在温、湿度周期性变化条件下,以板状调湿材料为分析对象,从理论上引出一个新的单一性指标——复数 C 的模值,它能体现所有因素对材料

吸放湿性能的影响,进而提出用“封闭箱热作用法”测试该指标。最后选择了三种代表性板状材料——硅胶板、夯土板、混凝土板为初步试验对象,对该测试方法的有效性进行验证,旨在为调湿材料的研究开发和调湿性能的评价提供理论依据和检测手段。

1 周期性热湿作用下调湿材料吸放湿过程分析

1.1 吸放湿过程数学模型

在建筑环境中,调湿材料的湿度(1 kg 干材料中所含水分的质量, kg/kg)通常小于其最大吸湿平衡湿度,材料孔隙中的气态水分和孔隙壁面的吸附水分可认为总是处于热湿平衡状态,即任一点任何时刻两者温度相同,化学势相等。在吸放湿过程中温度势既是热量传递驱动力也是水分迁移的驱动力,而湿度势对热量传递影响一般很小,可不计;当水分在孔隙中被吸附或蒸发时,吸附水分所占体积变化很小,其孔隙基本不收缩,孔隙率可认为是常数。对于板状的调湿材料,一维传热传湿耦合方程为^[6-7]

$$\frac{\partial \omega}{\partial \tau} = \bar{a} \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \bar{b} \frac{\partial t}{\partial \tau} \quad (1)$$

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + b \frac{\partial \omega}{\partial \tau} \quad (2)$$

式(1),(2)中 ω 为材料中空气的含湿量, kg/kg; τ 为时间变量, s; \bar{a} 为湿扩散系数, m^2/s , $\bar{a} = \lambda_w / [\rho_a(\eta - \theta) + k]$, 其中 λ_w 为材料的导湿系数, $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$, ρ_a 为干空气密度, kg/m^3 , η 为材料干燥时孔隙体积与总体积之比, θ 为材料中吸附水分体积与材料总体积之比, k 为材料的等温湿容量, kg/m^3 , $k = \rho_w \partial \theta / \partial \omega$, 指温度一定时材料平衡湿度相对于空气含湿量的变化率, 与材料吸附曲线有关, ρ_w 为材料中吸附水分的密度, kg/m^3 ; x 为空间变量, m; $\bar{b} = v / [\rho_a(\eta - \theta) + k]$, 其中 v 为材料的热梯度系数, $\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{C})$, $v = -\rho_w \partial \theta / \partial t$, 指空气含湿量一定时材料的平衡湿度相对于温度的变化率, 与材料吸附曲线有关; t 为材料中温度变量, C ; a 为热扩散系数, m^2/s , $a = \lambda_q / (c\rho + rv)$, 其中 λ_q 为材料的导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{C})$, c 为材料的比热容, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{C})$, ρ 为材料的密度, kg/m^3 , r 为相变潜热, J/kg ; $b = rk / (c\rho + rv)$ 。

1.2 吸放湿过程理论分析

在建筑环境中,材料的吸放湿过程通常是由外

界周期性热湿作用引起的,而且也只有变化的热湿环境中,材料的调湿能力才能表现出来,因此,使用周期性波动的热湿条件进行分析,所得结论可与调湿材料的实际应用状况一致。使用周期性条件还有一个好处,就是可以用傅里叶级数将复杂的周期性条件分解为简单的各阶谐量,对各阶谐量进行理论分析,再将各阶理论解叠加得到最终解。设外界环境空气温度 t_f 、空气含湿量 w_f 为简单的谐波变化,记为 $t_f = t_0 + \Theta_t e^{i\omega\tau}$, $w_f = w_0 + \Theta_w e^{i\omega\tau}$, 其中 t_0, Θ_t 分别为空气温度的平均值和波动振幅, $^\circ\text{C}$; w_0, Θ_w 分别为空气含湿量的平均值和波动振幅, kg/kg ; ω 为变化角频率, rad/s 。值得说明的是,采用复数表示温度和含湿量的变化,只是为了分析方便,得到最终解后,解的实数部分才是我们所需要的。对图 1 所示的板状调湿材料,采用下述对称的

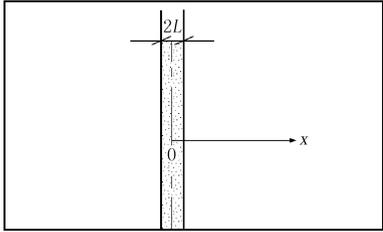


图 1 房间中板状调湿材料

对流边界条件:

$$\lambda_q \frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0 \quad (3)$$

$$\lambda_w \frac{\partial w}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0 \quad (4)$$

$$-\lambda_q \frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{x=L} = \alpha_q [t(L, \tau) - t_f(\tau)] \quad (5)$$

$$-\lambda_w \frac{\partial w}{\partial x} \Big|_{x=L} = \alpha_w [w(L, \tau) - w_f(\tau)] \quad (6)$$

式(5),(6)中 α_q 为调湿材料的表面传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; α_w 调湿材料的表面传湿系数, $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

定义下列参数:

$$s_p^2 = \frac{(a + \bar{a}) + \sqrt{(a + \bar{a})^2 - 4a\bar{a}b\bar{b}}}{2a\bar{a}}$$

$$s_m^2 = \frac{(a + \bar{a}) - \sqrt{(a + \bar{a})^2 - 4a\bar{a}b\bar{b}}}{2a\bar{a}}$$

$$A_{11} = \frac{as_p^2 - 1}{a(s_p^2 - s_m^2)}$$

$$B_{11} = \frac{\bar{a}s_p^2 - 1}{\bar{a}(s_p^2 - s_m^2)}$$

$$A_{22} = \frac{\bar{b}}{a(s_p^2 - s_m^2)}$$

$$B_{22} = \frac{b}{a(s_p^2 - s_m^2)}$$

则有关系式:

$$A_{11} + B_{11} = 1, A_{11}B_{11} = A_{22}B_{22}$$

采用变量代换,令

$$Z_1 = a(s_p^2 - s_m^2)B_{22}w - a(s_p^2 - s_m^2)B_{11}t$$

$$Z_2 = a(s_p^2 - s_m^2)B_{22}w + a(s_p^2 - s_m^2)A_{11}t$$

材料中温度和空气含湿量可表示为

$$w = \frac{A_{11}}{b}Z_1 + \frac{B_{11}}{b}Z_2 \quad (7)$$

$$t = -\frac{B_{22}}{b}Z_1 + \frac{B_{22}}{b}Z_2 \quad (8)$$

式(1),(2)可转换为

$$\frac{\partial Z_1}{\partial \tau} = \frac{1}{s_p^2} \frac{\partial^2 Z_1}{\partial x^2} \quad (9)$$

$$\frac{\partial Z_2}{\partial \tau} = \frac{1}{s_m^2} \frac{\partial^2 Z_2}{\partial x^2} \quad (10)$$

边界条件式(3)~(6)可转换为

$$\frac{\partial Z_1}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial Z_2}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0 \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial t}{\partial x} \Big|_{x=L} &= -\frac{B_{22}}{b} \frac{\partial Z_1}{\partial x} \Big|_{x=L} + \frac{B_{22}}{b} \frac{\partial Z_2}{\partial x} \Big|_{x=L} \\ &= -\frac{\alpha_q}{\lambda_q} [t(L, \tau) - t_f(\tau)] \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial x} \Big|_{x=L} &= \frac{A_{11}}{b} \frac{\partial Z_1}{\partial x} \Big|_{x=L} + \frac{B_{11}}{b} \frac{\partial Z_2}{\partial x} \Big|_{x=L} \\ &= -\frac{\alpha_w}{\lambda_w} [w(L, \tau) - w_f(\tau)] \end{aligned} \quad (14)$$

式(9)~(14)为转换后的耦合方程和边界条件,可以进行理论求解。求解的具体方法是先利用变量分离法解出 Z_1, Z_2 的一般表达式,再利用边界条件(11)~(14)求出其中的待定常数,得出 Z_1, Z_2 的具体表达式,将具体表达式代入式(7),(8)可得出材料中空气温度和含湿量的表达式。由于篇幅有限且解法烦琐,此处只写出解的最终表达式:

$$\begin{aligned} w &= w_0 + \frac{A_{11}D_{11}\Theta_w + A_{22}D_{12}\Theta_t}{D} \cos(\epsilon_p x) e^{i\omega\tau} + \\ &\quad \frac{B_{11}D_{21}\Theta_w + A_{22}D_{22}\Theta_t}{D} \cos(\epsilon_m x) e^{i\omega\tau} \end{aligned} \quad (15)$$

$$t = t_0 - \frac{B_{22}D_{11}\Theta_w + B_{11}D_{12}\Theta_t}{D} \cos(\epsilon_p x) e^{i\omega\tau} + \frac{B_{22}D_{21}\Theta_w + A_{11}D_{22}\Theta_t}{D} \cos(\epsilon_m x) e^{i\omega\tau} \quad (16)$$

$$\text{式(15), (16)中 } \epsilon_m = (1-i)s_m \sqrt{\frac{\omega}{2}},$$

$$\epsilon_p = (1-i)s_p \sqrt{\frac{\omega}{2}},$$

$$D_{11} = \cos(\epsilon_m L) - \frac{\lambda_q}{\alpha_q} \epsilon_m \sin(\epsilon_m L),$$

$$D_{12} = -\cos(\epsilon_m L) + \frac{\lambda_w}{\alpha_w} \epsilon_m \sin(\epsilon_m L),$$

$$D_{21} = \cos(\epsilon_p L) - \frac{\lambda_q}{\alpha_q} \epsilon_p \sin(\epsilon_p L),$$

$$D_{22} = \cos(\epsilon_p L) - \frac{\lambda_w}{\alpha_w} \epsilon_p \sin(\epsilon_p L),$$

$$D = A_{11}D_{11}D_{22} - B_{11}D_{21}D_{12}。$$

$$-\lambda_w F \frac{\partial w}{\partial x} \Big|_{x=L} = \lambda_w F \left[\frac{A_{11}D_{11}\Theta_w + A_{22}D_{12}\Theta_t}{D} \epsilon_p \sin(\epsilon_p L) + \frac{B_{11}D_{21}\Theta_w + A_{22}D_{22}\Theta_t}{D} \epsilon_m \sin(\epsilon_m L) \right] e^{i\omega\tau} \quad (19)$$

由式(18), (19)得

$$\Theta_w = \frac{A_{22}D_{12}\epsilon_p \sin(\epsilon_p L) + A_{22}D_{22}\epsilon_m \sin(\epsilon_m L)}{\frac{i\rho_a V\omega}{\lambda_w F} D - A_{11}D_{11}\epsilon_p \sin(\epsilon_p L) - B_{11}D_{21}\epsilon_m \sin(\epsilon_m L)} \Theta_t = C\Theta_t \quad (20)$$

$$C = \frac{A_{22}D_{12}\epsilon_p \sin(\epsilon_p L) + A_{22}D_{22}\epsilon_m \sin(\epsilon_m L)}{\frac{i\rho_a V\omega}{\lambda_w F} D - A_{11}D_{11}\epsilon_p \sin(\epsilon_p L) - B_{11}D_{21}\epsilon_m \sin(\epsilon_m L)} = \frac{\Theta_w}{\Theta_t} \quad (21)$$

从式(21)可知,有调湿材料的封闭空间,空气温度和含湿量之间存在相互影响、相互制约的关系,即一个参量作周期性稳定波动变化,会引起另一参量作周期性稳定波动变化,波动频率相同,存在波动相位差;这种关系可以用数学式进行准确描述,表述为:有调湿材料的封闭空间中,空气含湿量波动复数振幅与空气温度波动复数振幅之比值为一复数 C 。如果将式(21)中第一个等式右边进行简化,可以将 C 表示为 $C = C_R e^{i\varphi} = C_R (\cos \varphi + i \sin \varphi)$,其中 C_R 为 C 的模值, φ 为初相位角。 C_R 和 φ 的影响因素包括:1) 房间体积与调湿材料暴露表面积之比 V/F ; 2) 温度或含湿量的波动角频率 ω ; 3) 调湿材料的厚度 $2L$; 4) 材料的各种热湿物性; 5) 表面传热、传湿系数。因此, C_R 和 φ 值综合反映了各种因素的影响。再结合式(21)中第二个等式,不难看出模值 C_R 是空气含湿量波动实数振幅与空气温度实数振幅之比值, φ 是空气含湿量波动与空气温度波动的相位差值。因此,模值 C_R

上述解在只有温度波动或只有湿度波动的情况下,都可以大大简化。但在常见的建筑环境中,往往是温度和湿度同时变化,存在着相互作用和相互影响。

2 封闭空间中调湿材料的吸放湿特性

当封闭空间内的空气温湿度作周期性稳态变化时,其含湿量平衡关系为

$$\rho_a V \frac{\partial w_f(\tau)}{\partial \tau} = -\lambda_w F \frac{\partial w}{\partial x} \Big|_{x=L} \quad (17)$$

式中 V 为封闭空间体积, m^3 ; F 为调湿材料与空气的接触面积, m^2 。式(17)等号左边可表示为

$$\rho_a V \frac{\partial w_f(\tau)}{\partial \tau} = \rho_a V \frac{\partial (\omega_0 + \Theta_w e^{i\omega\tau})}{\partial \tau} = i\rho_a V\omega\Theta_w e^{i\omega\tau} \quad (18)$$

将上述解代入式(17)等号右边,得

可作为评价调湿材料吸放湿性能的唯一指标,而 φ 值可以作为评价调湿材料应答性快慢的唯一指标。

3 吸放湿性能测试方法——封闭箱热作用法的提出

在知道材料的各种物性参数后, C 模值可以通过式(21)计算得到。但是这种计算比较复杂,且材料的物性不易测试,因此,如果能寻找一种简单的方法得到 C 值,既避免各种物性的测试困难,又能综合体现材料的吸放湿性能,这对于评价材料的调湿性能、开发和选用调湿材料都很有意义。从前面的理论分析可知,如果能在封闭箱中维持空气含湿量呈周期性波动,则箱中温度也会呈相应的周期性波动,待周期性波动达到稳定后,测出箱内空气含湿量波动振幅与空气温度振幅,将两振幅相除即可得到 C 模值。这种方法可以称为封闭箱湿作用法。然而,由于封闭箱内加湿和除湿极难控制,封闭箱湿作用法难以实施。另一种方法是封闭箱热

作用法,即在箱内部或外部造成周期性的热作用,实现箱内空气温度周期性波动,直接测试箱内空气温度和相对湿度,通过相对湿度和空气温度得出空气含湿量,将含湿量振幅与温度振幅相除即得 C 模值。封闭箱热作用法较湿作用法有明显的优点,即周期性热作用可在箱内或箱外实施,易于实现和控制。封闭箱热作用法最简单的实现方法是将装有调湿材料的密闭箱直接暴露在室外,感受周期性的气候热作用即可。然而,在箱内或箱外实施热作用后,箱内空气温度和含湿量波动是否明显,关系到能否正确测出 C 值。为此,笔者设计了两个封闭箱来检验热作用法的有效性。

4 封闭箱热作用法测试材料吸放湿性能

4.1 试验仪器设备和方法

用 1 mm 厚的不锈钢板制作了两个同样大小的试验箱 A 和 B,箱体长宽高分别为 1.5 m, 1.2 m, 0.7 m, 体积为 1.26 m³, 如图 2 所示。两箱中安放了由金属制成的试件架,每个试件架上固定了两个使箱内空气混合均匀的小型风机。试验箱 A 用于放置调湿材料,试验箱 B 用作对比空箱。调湿材料板和风机在 A 箱中的放置如图 3 所示。

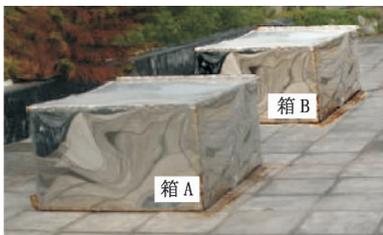


图 2 试验箱 A 和试验箱 B



图 3 材料和风机的安置

为了记录两箱中的空气温度和相对湿度,在 A 箱中使用了室内气候监测仪,在 B 箱中使用了温湿度自动记录仪,每隔 1 min 自动监测试验箱中空气温湿度。试验中选择了三种代表性调湿材料,第一种是硅胶颗粒,代表吸放湿性能较强的吸附剂类材料;第二种是福建土楼的外墙夯土,代表具有一

般吸放湿性能的传统黏土类材料;第三种是混凝土,代表吸放湿性能较差的现代建筑材料。硅胶颗粒用细筛网和大格网固定成板状;夯土先粉碎再在细筛网上夯实用大格网固定成板状;混凝土板是用水泥与建筑用砂按普通比例混合均匀养护而成。板状材料都制成约 20 mm 厚,长宽分别为 1.2 m 和 0.8 m。三种调湿板材如图 4 所示。板状调湿材料制成后,在自然室温下放置一个月左右。



图 4 三种板状调湿材料

从理论上讲,室内外热作用应该使室内空气温度呈简谐波变化较好,这样可以准确地进行频率变化分析。鉴于目前尚不具备这样的试验条件,笔者将两试验箱放置在华侨大学建筑学院办公楼屋顶,让其直接感受室外气候的周期性热作用。由于屋顶通风顺畅,无遮阳物,箱体白天受室外空气和太阳辐射剧烈加热,夜间受天空辐射和室外空气良好冷却,热作用效果好,波动周期为 24 h。

4.2 材料吸放湿试验结果及分析

1) 硅胶板

笔者于 2004 年 6 月 25~26 日对硅胶板的调湿性能与空箱作了对比试验。A, B 箱中空气温度和相对湿度变化分别示于图 5 和图 6。从图 5, 6 可以看出,两箱中空气温度变化相当,但相对湿度变化相差很大。A 箱内的平均相对湿度为 64.6%,最大值为 70.8%,最小值为 55.0%,日较差为 15.8%。B 箱中平均相对湿度为 52.2%,最大值为 77.0%,最小值为 22.0%,日较差为

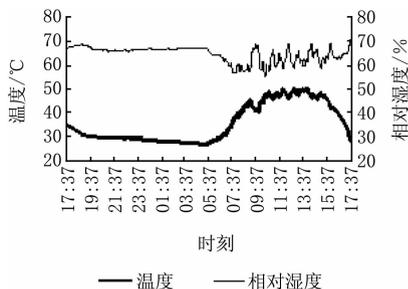


图 5 硅胶板试验 A 箱内空气温湿度的变化

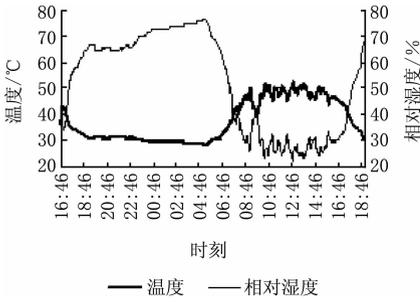


图6 硅胶板试验 B 箱中空气温湿度变化

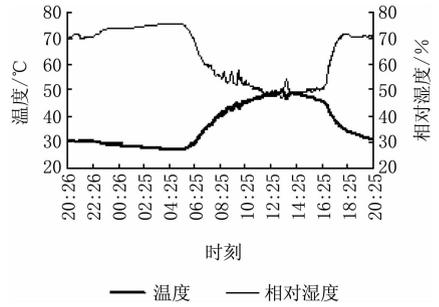


图8 混凝土板试验 A 箱内空气温湿度变化

55.0%。因此含有硅胶板的试验箱 A 中的相对湿度变化较空箱平稳得多。但是,从相对湿度的变化看不出材料的吸放湿性能,所以必须用空气绝对湿度或含湿量来描述。利用试验箱内空气温度和相对湿度计算出对应的绝对湿度,如图 7 所示。

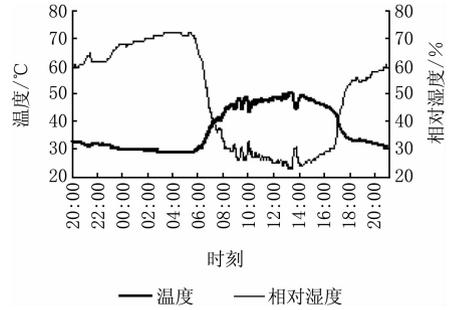


图9 混凝土板试验 B 箱内空气温湿度变化

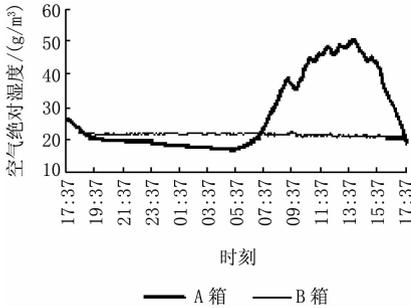


图7 硅胶板试验 A,B 箱中空气绝对湿度的变化

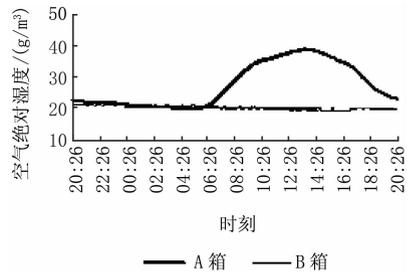


图10 混凝土板试验 A,B 箱中空气绝对湿度的变化

从图 7 可以看出,B 箱内绝对湿度几乎不变,而 A 箱内绝对湿度变化十分明显,25 日下午 17:37 开始试验后,箱中空气绝对湿度持续下降,表明硅胶板在从空气中吸湿,直至 26 日日出后,箱内空气温度升高,绝对湿度升高,表明硅胶板在放湿。A 箱内绝对湿度的变化趋势与空气温度的变化趋势相同,两者之间几乎没有时间延迟。

2) 混凝土板

混凝土板的吸放湿性能试验是从 26 日 20:26 到 27 日 20:26,两箱内空气温度和相对湿度的变化如图 8,9 所示。从图中可以看出,A 箱内相对湿度变化较 B 箱平稳。A 箱内的平均相对湿度为 63.9%,最大值为 75.6%,最小值为 46.7%,日较差为 28.9%。B 箱中平均相对湿度为 49%,最大值为 72%,最小值为 23%,日较差为 49%。两箱中空气绝对湿度的变化如图 10 所示,图 10 与图 7 显示出相同的规律,不同的是材料的吸放湿量有所差别。

3) 夯土板

夯土板的吸放湿性能试验是从 27 日 21:52 到 29 日 21:52。两箱内空气温度和相对湿度变化分别如图 11,12 所示。从测试结果可以看出,热作用不同时,相对湿度变化也是不同的,但 A 箱中相



图11 夯土板试验 A 箱内空气温湿度变化

对湿度的变化总是较 B 箱平缓。A 箱中相对湿度日较差第一天为 18%,第二天为 13%,平均为 15.5%;B 箱中相对湿度日较差第一天为 46%,第二天为 38%,平均为 42%。从图 11,12 中还可看

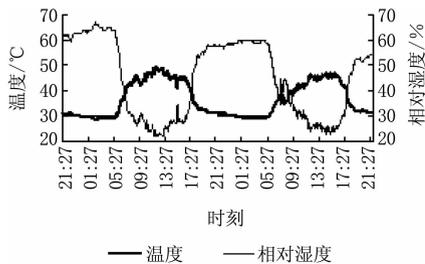


图 12 夯土板试验 B 箱内空气温湿度变化

出, A 箱中平均相对湿度总体上是下降的, 其变化趋势显示这种下降幅度将随试验周期的延长而减小, 最终平均相对湿度会维持在某一稳定值; 而 B 箱中平均相对湿度几乎不变。A 箱中平均相对湿度之所以有这种变化, 是因为材料置于箱内后, 在周期性热作用下, 需经过一定时间, 材料与箱内湿空气才能达到新的周期性热湿平衡。这种变化也反映在平均绝对湿度的变化过程中, 如图 13 所示。

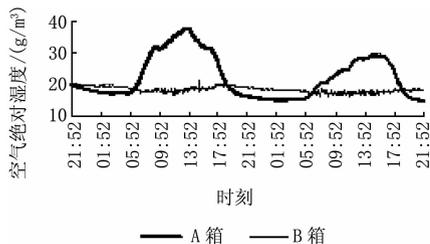


图 13 夯土板试验 A, B 箱中空气绝对湿度的变化

从上述三种材料的试验结果可知, 热作用引起的箱内空气温度和绝对湿度波动是相当明显的, 因此, 利用封闭箱热作用法测试调湿材料吸放湿性能是行之有效的方法。试验结果还表明, 有调湿材料的封闭空间, 空气温度下降时调湿材料吸湿, 空气温度升高时材料放湿; 箱中绝对湿度的波动周期与空气温度波动周期相同, 两者的时间滞后很小。

5 材料调湿性能的初步比较

从试验箱 A 中的空气温度和绝对湿度的最大值和最小值可得其日较差, 用绝对湿度日较差与空气温度日较差之比值近似代替其振幅之比值, 可得出硅胶板此比值为 1.428, 混凝土板为 0.842, 夯土板第一天为 1.054, 因此可知硅胶板调湿性能最好, 其次是夯土板, 再次是混凝土板。值得说明的是, 此比值是粗略的, 要准确测定 C 值, 必须实现热作用是周期性稳定的, 且相邻两周期内箱内空气温度和湿度变化分别相同才能认为达到了周期性稳定, 测试结果才有效。另外, 封闭箱热作用法虽

然是从理论分析引出的一种方法, 但是它已不受理论分析的限制, 既不考虑吸放湿过程中材料内部物性分布是否均匀, 也不存在任何的假设条件, 测得的结果是实实在在的吸放湿量, 体现的是各种因素对材料吸放湿性能的综合影响。如果在吸放湿过程中, 材料热湿物性不均匀, 不符合上述理论分析的条件, 但仍可从测得的绝对湿度曲线判断出吸放湿性能的好坏。再者, 要比较两种材料的吸放湿性能, 必须将两种材料制成相同尺寸的试件放在相同的环境中达到初始的热湿平衡, 在测试过程中维持相同的外部条件, 测试结果方能进行比较。

参考文献

- [1] 渡村信治, 前田雅喜. 多孔セラミックスによる調湿材料の開発[J]. 機能材料, 1997, 17(2): 22-24
- [2] 冉茂宇. 日本对调湿材料的研究及应用[J]. 材料导报, 2002, 16(11): 42-44
- [3] 冯乃谦, 李桂芝, 邢锋. 调湿材料的研究[J]. 新型建筑材料, 1994, (6): 16-19
- [4] 冉茂宇. 封闭空间调湿材料新的调湿特性指标及其理论基础[J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2003, 24(1): 64-69
- [5] 冉茂宇. 封闭空间蓄热体对室内空气温湿度的调节性能[J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2004, 25(4): 396-400
- [6] 松本衛. 建築壁體における熱、水分同時移動および水分蓄積に関する研究[D]. 京都: 京都大学, 1978
- [7] 尾崎明仁. 建築壁體の熱、湿気移動解析[J]. 伝熱研究, 1997, 36(140): 57-66

· 简讯 ·

《公共场所集中空调通风系统卫生学评价规范》颁布实施

卫生部日前制定并颁布了《公共场所集中空调通风系统卫生学评价规范》。该规范规定了新建、改建、扩建和已投入运行的公共场所集中空调通风系统预防空气传播性疾病的卫生学评价工作, 对集中空调通风系统预防性卫生学评价和经常性卫生学评价的目的、依据、内容和评价方法分别作了明确规定, 并给出集中空调通风系统卫生学评价报告格式和评价机构的技术要求。该规范适用于公共场所使用的集中空调通风系统, 其他场所集中空调通风系统可参照执行, 规范自 2006 年 3 月 1 日起正式实施。

(本刊特约通讯员 吴延鹏)