

玻璃棉吸湿性能的研究

傅正惠

(重庆建筑专科学校)

摘要 本文对玻璃棉在20℃和不同的空气相对湿度下的吸湿特性进行了研究,并绘制了相应的曲线,对建筑热工设计以及科研提供了一些基础数据。

关键词 玻璃棉,质迁移势,热湿平衡,平衡含湿量,空气相对湿度。

前言

玻璃棉具有容重轻、导热系数小、防火、使用方便等特点。目前已广泛用于工业和建筑保温和绝热上。玻璃棉的热工性能与它的含湿状态和吸湿性能密切相关。其中在一定温、湿度下的热湿平衡状态,具有决定性意义,然而在国内,目前这方面的基本数据寥寥无几。

本文通过平衡实验对玻璃棉在20℃,空气相对湿度在6%至96%范围内的吸湿特性进行了研究,并给出有关的热湿平衡曲线。

本实验是采用不同种类盐的过饱和溶液来控制大瓶干燥器中的空气相对湿度,其特点是:它不会因使用中由于吸湿或解湿而改变其中空气相对湿度,因而可以多次重复使用。另外,由于干燥器体积小,容易达到热湿平衡,也容易控制其中的湿度,从而造成一个相当稳定的相对湿度环境。

1 理论依据

要对多孔材料在吸湿区域内的质传递进行研究,必须知道水份与材料间相互作用的有关变量,其中的一个就是平衡含湿量,它可以用来决定材料吸湿能力,并可用来解释在使用过程中材料吸湿时其中热工性能的变化。

为描述多孔材料的湿传递,类似于温度是热传递势一样,Luikov^[1]提出了在多孔材料中的湿传递势 θ_m 的概念,在此理论中,等温条件下的湿流与 θ_m 的梯度成正比,即:

$$j_m = -\lambda \nabla \theta_m \quad (1)$$

其中 λ_m : 导质系数, $kg/m \cdot h \cdot m$

θ_m : 质迁移势, m

j_m : 水份质流密度, $kg/m^2 \cdot h$

关系式(1)所描述的质迁移为质传导律, 它表示由质迁移势标度的确定方法所决定的条件下, 在毛细力和渗透力作用下的蒸汽分子迁移和液体迁移。

在定温条件下 ($t = \text{常数}$) 质迁移势是含湿量的单值函数, 此时可用含湿量梯度 ∇u 表示梯度 $\nabla \theta_m$, 向量 $\nabla \theta_m$ 的标量值等于 $\frac{\partial \theta_m}{\partial n}$, 其中 n 表示物体等势面的法线, 即具有相同势 θ_m 之表面的法线, 这时可得出:

$$\frac{\partial \theta_m}{\partial n} = \left(\frac{\partial \theta_m}{\partial u} \right)_T \frac{\partial u}{\partial n} \quad (2)$$

其中导数 $\left(\frac{\partial \theta_m}{\partial u} \right)_T$ 等于比质容量的倒数 $\left(\frac{1}{C_m} \right)$, 此比质容量 C_m 定义为:

$$C_m = \left(\frac{\partial u}{\partial \theta_m} \right)_T \quad (3)$$

它是将物体的含湿量与质迁移势联系在一起的主要热力学参数, 此时可将(1)式写成:

$$j_m = - \frac{\lambda_m}{c_m r_0} \cdot r_0 \nabla u = - a_m r_0 \nabla u \quad (1)$$

式中 $a_m = \lambda_m / c_m r_0$ 类似于导热系数 a_0 的比例系数叫做导湿势系数 (m^2/h)。

要求解(1)式必须确定含湿量 u 与 θ_m 的关系, 然后根据所测得的曲线, 由(3)式求出比质容量 c_m 。

利用 Luikov 所确定的基本热力学参数之间的关系, 即两种密切接触的材料处于热湿平衡状态时, 不仅温度相等, 而且质迁移势亦相等, 由此可测量含湿量 u 与 θ_m 的关系。这样, 如果其中一种材料是标准材料, 质迁移势为已知, 那末另一种材料的质迁移势也就知道了。此外, 利用此原理还可以不通过试件与标准试件的紧密接触来测 $u-u_{ref}$ 曲线, 在这种情况下, 两种试件同放入一个封密的干燥器之中, 当达到平衡时, 通过标量就可获得试件的 u 和标准试件的 u_{ref} 的值, 因为标准试件的 $u_{ref}-\theta_m$ 关系是已知的, 从而可得到试件的含湿量 u 与 θ_m 的关系曲线。这一方法适合于任意形状的试件, 不需要使试件接触所需要的仪器, 而且每个干燥器内的空气相对湿度可不必知道, 只要求不同就行。第三种方法中, 根据简单热力学分析可知: 当温度 t 和相对湿度 φ 一定时, 物体的平衡含湿量与物体是否与另一物体相接触, 或者一种物体是否达到平衡无关。因此质迁移势为 $100^\circ M$ 相应于任意物体的最大吸附含湿量, 而吸湿状态区相应于由 $0^\circ M$ 到 $100^\circ M$ 的势 θ_m 的范围。这样, 根据物体与之处于平衡状态的空气湿度值可以确定质迁移势 θ_m ($0^\circ M < \theta_m < 100^\circ M$), 即湿空气是质迁移的实验标度的最初标准物体。

本文中的实验采用上述第二种方法, 即用中速滤纸作标准试件, 其理由是: (1) 滤纸含有各种结合形式的水份 (吸附水份, 毛细水分和渗透水份); (2) 滤纸的 $\varphi-u$ 关系曲线几乎不随湿度而变化。后一点非常重要, 因为根据它可以得到结论: 在吸湿区域内质迁移势仅与 φ 有关。其质迁移势由下式决定⁽¹⁾:

$$\theta_m = \left(\frac{u_0}{u_{cm}} \right)_T \times 100 (^\circ M) \quad (4)$$

式中 u_{cm} 是相对于湿度 $\varphi = 100\%$ 时滤纸的平衡含湿量, $u_{cm} = 25.5 \text{ kg/kg}\%$, u_0 是试验条件下滤纸的平衡含湿量。

2 实验及其结果分析

在吸湿范围内, 在九个大玻璃瓶内分别装不同的过饱和盐溶液, 它们依次为 LiBr、LiCl、 MgCl_2 、 K_2CO_3 、 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 、KI、NaCl、KCl、 K_2SO_4 盐溶液, 然后将试件玻璃棉和标准试件滤纸置入其中并密封 (见图 1), 然后放在温度控制在 20°C 的恒温箱中, 待其达到平衡为止。

有关资料表明, 上述玻璃瓶中各种盐溶液在相同温度下可产生不同的饱和蒸汽压, 其相对湿度约在 6% 至 98% 之间。

本实验通过称量法来获得试件的平衡含湿量 u 及相应的滤纸的平衡含量 u_0 , 并由 (4) 式求出各 u_0 值所对应的 θ_m 值, 从而确定了 u 所对应的各 θ_m 值。最后根据在吸湿区域中, 空气湿度和质迁移势之间的关系表⁽¹⁾, 用插入法求 u 所对应的 φ 值, 所有结果见表 1。

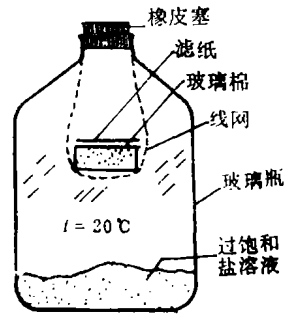


图1 玻璃棉平衡吸湿特性装置

表1 20°C 时用称重法测量的结果及其分析

编号	干 重 (g)		湿 重 (g)		平衡含湿量 u (kg/kg%)		质迁移势 θ_m ($^\circ M$)	空气相对湿度 φ (%)
	滤 纸	玻 棉	滤 纸	玻 棉	滤 纸	玻 棉		
1	1.3845	1.0915	1.4165	1.0953	2.28	0.35	8.94	8.89
2	1.5015	1.6445	1.5495	1.6514	3.20	0.42	12.55	15.35
3	1.2880	1.1085	1.3525	1.1157	5.01	0.65	19.64	31.00
4	1.7572	1.1703	1.8514	1.1787	5.36	0.72	21.02	35.73
5	1.4215	1.4945	1.5324	1.5090	7.80	0.97	30.59	55.00
6	1.4300	1.2575	1.5603	1.2727	9.11	1.21	35.73	63.60
7	1.1890	1.2145	1.3203	1.2356	11.04	1.74	43.29	75.66
8	1.3860	1.4625	1.5705	1.5299	13.31	4.61	52.20	83.94
9	1.8055	1.2945	2.1710	1.3720	20.24	5.99	79.37	94.96

根据表一中的结果可绘出有关关系曲线 (见图 2、图 3 和图 4)。

从图 4 可见, 在等温等压条件下, 材料的平衡含湿量随空气湿度的增加而增大, 这可由下述机理解释。

对于干燥的多孔材料, 当置于空气中, 材料中孔隙表面上的分子开始与空气中水分子吸附, 在低湿度下可以形成一层单分子水膜, 另一方面由于材料表面水分子的热运动, 膜上的水分子又不断地离开材料表面, 当表面的吸附水分子与脱离的水分子量相等时, 材料所含水

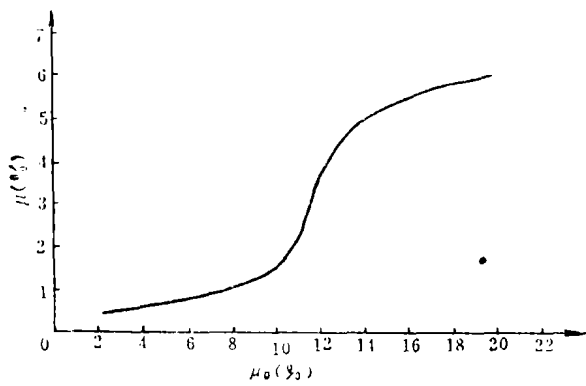


图2 玻璃棉平衡含湿量与滤纸平衡含湿量之间的关系

的量达到一固定值，即平衡含湿量。显然这一含湿量与空气中水分子浓度有关，即与空气相对湿度有关，相对湿度越大，平衡含湿量越大，反之亦然。另外，材料的温度越高，水分子脱离表面的动能越大，因此材料的平衡含湿量随温度升高而减小，但也有例外⁽²⁾。

图4中还可可见，玻璃棉在高湿度下重湿度随相对湿度呈现向下凹曲的曲线关系。

从图3可见， $u-\theta_m$ 曲线为一S形，它可以分成三段(I、II、III)，从每一段可近似地视为一直线，且分别在点 $\theta_{m1} = 43.29$ ， $\theta_{m2} = 52.20$ 处各有一折点。折点说明水分子结合形式由一种形式转变为另一种形式。 θ_{m1} 表明由单分子吸附转变为多分子吸附， θ_{m2} 表明由多分子吸附转变成毛细水分。当水分结合形式由一种转变为另一种时，比质容量 C_m 发生变化，由定义(2)式可求出I、II、III三段的比质容量分别为：

$$\begin{cases} C_{m1} = 0.040 \text{ kg/kg}\cdot^\circ M \\ C_{m2} = 0.322 \text{ kg/kg}\cdot^\circ M \\ C_{m3} = 0.051 \text{ kg/kg}\cdot^\circ M \end{cases} \quad (5)$$

根据所得的比质容量值，可与下述公式近似计算物体的平衡含湿量

$$\begin{cases} u = C_{m1}\theta_m & 0 < \theta_m < \theta_{m1} \\ u = C_{m1}\theta_{m1} + C_{m2}(\theta_m - \theta_{m1}) & \theta_{m1} < \theta_m < \theta_{m2} \\ u = C_{m1}\theta_{m1} + C_{m2}(\theta_{m2} - \theta_{m1}) + C_{m3}(\theta_m - \theta_{m2}) & \theta_{m2} < \theta_m < 100^\circ M \end{cases} \quad (6)$$

将所求得的 θ_{m1} 、 θ_{m2} 以及 C_{m1} 、 C_{m2} 、 C_{m3} 值代入上式得：

$$\begin{cases} u = 0.04\theta_m & ^\circ M \quad 0 < \theta_m < 43.29^\circ M \\ u = 12.21 + 0.322\theta_m & 43.29^\circ M < \theta_m < 52.20^\circ M \\ u = 1.938 + 0.051\theta_m & 52.20^\circ M < \theta_m < 100^\circ M \end{cases} \quad (7)$$

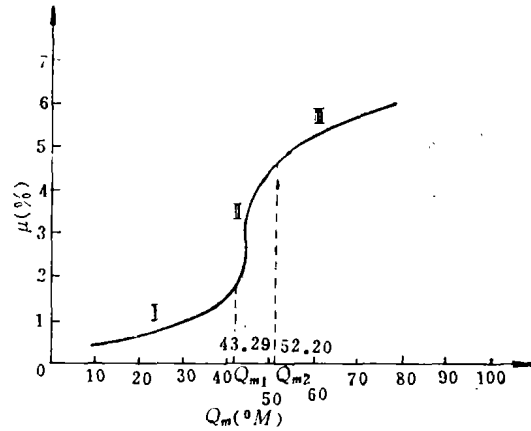


图3 玻璃棉平衡含湿量与其质迁移间的关系

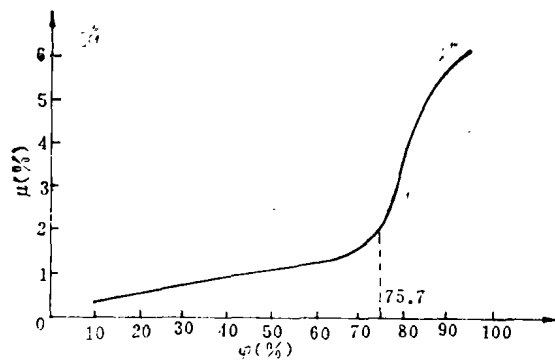


图4 玻璃棉平衡含湿量与空气相对湿度间的关系

从图4可见，当 φ 大于75.7%即 $\theta_m > 43.29^\circ M$ 时， u 迅速增大。因此建议，为保证玻璃棉具有良好的热工性能，在建筑设计和工业使用中应竭力控制玻璃棉的 θ_m 值在 $43^\circ M$ 之下，因为当其大于 $43^\circ M$ 时，平衡含湿量将迅速增加，这对玻璃棉的绝热性能和保温性能是非常不利的。

3 结 论

本文引入标准材料（定性分析滤纸）平衡法，通过对玻璃棉平衡湿度的测试，决定了玻璃棉在不同湿度下的平衡含湿量，从而绘出其平衡吸附曲线 $u-\theta_m$ 或曲线 $u-\varphi$ 。通过 $u-\theta_m$ 曲线进一步定出了玻璃棉的比质容量 C_{m1} 、 C_{m2} 和 C_{m3} ，并且还定出玻璃棉单分子膜与多分子膜以及多分子膜与毛细吸附的分界点 θ_{m1} 和 θ_{m2} 。在此基础上，推算出了玻璃棉的平衡含湿量 u 与其质迁移势 θ_m 之间的近似关系式 $u = f(\theta_m)$ 。最后提出了获得热工性能良好的玻璃棉，必须严格控制其空气的相对湿度在75%以下，这些为今后的进一步研究打下了基础。

致谢 本文研究工作是在导师陈启高教授的精心指导下完成的，在实验过程中得到了重庆建筑工程学院建筑物理实验室的工作人员特别是壮仪生高级实验师的热心指导和大力帮助，在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 雷柯夫 A.B.《建筑热物理理论基础》。任头季，张志清译。科学出版社，1965年
- 2 V. V. Tereshchenko and M. V. Lykov. Investigation of the hygroscopic properties of mineral fertilizers in a fluidized heat transfer. Soviet Research, (1982) Jan.—Feb. V. 14, No. 1

(编辑：姚国安)

STUDY ON THE HYGROSCOPIC PROPERTIES OF GLASS FIBER

Fu Zhenghui

(Chongqing Architecture Institute)

ABSTRACT This paper studies the hygroscopic properties of glass fiber. Sorption curves of glass fiber are drawn for a wide range of relative humidities of air at $20^\circ C$. The experimental results are given graphically.

KEY WORDS glass fiber, mass transfer potential, thermoisture balance, moisture content, relative humidity of air