

文章编号: 1006-7329(1999)06-0077-05

含盐多孔材料传热传质研究

19
77-81

卢 军 陈启高

(重庆建筑大学 城市建设学院 400045)

TU111.24
TU111.1

摘 要 对含盐多孔材料内部温度、湿度分布作了现场测定和数值模拟。建立了含盐多孔材料在一维温度湿度场的耦合方程组, 获得了其温度、湿度动态分布规律, 数值模拟结果与实测结果较为吻合, 验证了数值模型的正确性, 对促进含盐多孔材料热质迁移的研究, 具有重要的意义。

关键词 温度; 湿度; 含盐多孔材料; 传热传质

中图分类号 TU111.1

文献标识码 A

建筑物的室内环境由热环境、声环境、光环境及室内空气品质等构成。作为室内热环境来看, 室内热气候可用空气温度、湿度、风速及热辐射来衡量, 长久以来的工作多集中在对室内空气温度、风速及热辐射方面的研究, 取得较大的进展。但是人们对室内湿环境却研究较少, 处理的办法更多局限于冷却除湿和化学法除湿, 在某些情况下也使用加热通风法调节室内湿环境。冷却除湿和化学法除湿效果较好, 能达到人们所希望的室内空气湿度。随着控制技术的发展和室内空气的湿度值及其精度都达到很高的水平, 能够满足工业生产过程中的室内环境要求。但冷却除湿过程及化学法除湿的吸湿剂再生产耗能较高, 设备装置较为繁复, 影响了其在民用建筑特别是在住宅中的应用。但是在亚热带温暖地区, 除湿、防潮应当是极为重要的问题, 春末夏初季节的空气潮湿, 会引起房中的低湿表面泛潮, 特别是建筑物底层房间地面长期保持低温而泛潮, 引起霉菌繁殖, 使衣物、鞋靴、家具等霉烂, 诱发人体许多疾病, 形成“病建筑”。

利用吸湿盐类如氯化钙、氯化锂等吸收水分的特性以及多孔材料体吸附水分的特性而制作的含盐多孔材料体具有调节室内空气湿度的功能^[1]。当将其制成“除湿窗”, 可利用室外太阳能辐射光将除湿窗脱湿再生。从而循环往复使用于房间空气除湿^[2]。

含盐多孔材料内部热质传递过程不同于多孔材料的热质传递过程, 也不同于多孔材料的热质传递过程。具有其内在特殊性。要进一步开发含盐多孔材料, 提高其除湿再生能力, 增强其保温隔热性能, 必须对含盐多孔材料热质传递的特殊性加强研究, 以指导工程应用。

1 含盐多孔材料热质迁移的数学模型

含盐多孔材料中的热质迁移过程是典型的传热传质问题, 材料内的水分和盐分在众多因素如液体扩散、毛细流动、蒸发凝结、压力梯度、重力作用、湿度梯度、浓度梯度的作用下, 进行迁移运动。热质交换的最终结果是含盐多孔材料与外界环境达到热质平衡。假定所研究的含盐多孔材料具有如下特点:

- 1) 所研究材料在宏观上分布均匀, 吸湿和脱湿后的体积不发生变化;
- 2) 介质各向同性, 在热质迁移过程中不发生流变;

收稿日期: 1999-10-20

基金项目: 重庆市应用基础研究项目基金资助(渝科委计[1999]33-40)

作者简介: 卢 军(1966-), 男, 四川渠县人, 博士生, 主要从事暖通空调研究。

- 3) 固体骨架和盐分、湿分之间不发生化学反应;
 - 4) 介质中毛细势远比重力势大,重力作用可被忽略;
 - 5) 介质孔隙中总压力保持均匀分布,可以忽略由于压力梯度造成的热质迁移;
- 具有以上条件的含盐多孔介质传热传质过程,可用以下偏微分方程组来描述^[1]:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \Delta^2 t \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = \nabla (a_m \nabla u) + \nabla (a_1 \nabla t) \quad (2)$$

方程明显体现了质迁移和热迁移的耦合作用。

式中 t 和 u 分别是介质的温度和质度; a 是有效导温系数,已考虑介质导热、毛细作用、蒸发凝结和分子扩散的综合效应。 a_m 和 a_1 分别是介质的质传递系数和热质传递系数。其中质度 u 是材料中含湿量和含盐量的重量之和与材料干燥状态下重量之比的百分数。即:

$$u = \frac{m_1 + m_2}{m_3} \times 100\% \quad (3)$$

式中, m_1 是含盐多孔材料中盐分的质量, kg; m_2 是含盐多孔材料中水分的质量, kg; m_3 是干燥材料的质量, kg。

当温度和质度变化范围较小时,物性可视为常数。方程(1)、(2)在一维情况下进一步简化为

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \quad (4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = a_m \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + a_1 \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \quad (5)$$

2 实验介绍

将厚度为 L 的含盐多孔材料体制成“除湿窗”,其四个侧面绝热绝湿。除湿窗对室内吸湿时,其外表面绝湿;除湿窗在室外脱湿再生时,其内表面绝湿处理。如图 1 所示。

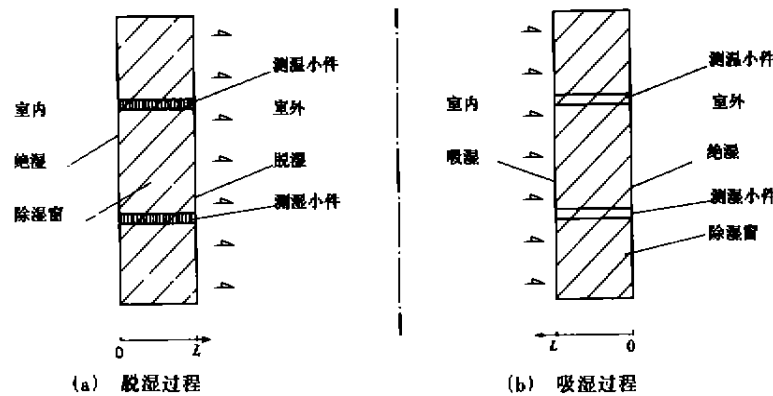


图 1 测试过程示意图

含盐多孔材料制作过程为:在 30°C 下,将棉纤维体材料浸入 CaCl_2 饱和盐溶液中 24 小时,沥干,然后称重。再浸饱,再沥干、再称重,直至前后相邻二次沥干重量相对误差小于 3% 为止。这时认为 CaCl_2 溶液已充分浸入多孔介质内。除湿窗面积为 0.96 m^2 ,测温小件和测湿小件面积均为 0.01 m^2 ,2 块小件分别等分成 6 小块,每隔 1 小时测定 1 次测湿小件的 6 只小块重量,测重后迅速照原样放回。采用 EB-330 水分分析仪进行称重,所得结果可以分析除湿窗即含盐多孔材料体内部质度分布,进而可以获得除湿窗的吸湿率、脱湿率。按下式计算试件湿重的变化。

$$\Delta W = W_i - W_{i+1} \tag{6}$$

$$E_s = \frac{\Delta W}{\Delta F} \tag{7}$$

式中： W_i 为第 i 时刻小件的重量，g； W_{i+1} 为第 $i+1$ 时刻小件的重量，g； ΔF 为小件的湿交换面积， m^2 ； ΔW 为小件 1 小时中的重量变化，即吸湿量或脱湿量，g/h； E_s 为比湿流量， $g/m^2 \cdot h$ 。正值对应于脱湿，负值对应于吸湿。

同时测定测温小件内部及表面温度，测定室外太阳辐射热，室内外空气温度和相对湿度、风速。

测试时，夜间 18:30 至第二天清晨 8:30 关闭外窗，开启内窗，对室内吸湿；8:30 至 18:30，关闭内窗，开启外窗，对除湿窗脱湿再生。

3 数值模拟

在初始时刻，多孔介质内温度分布为 $t_0(x)$ ，质度分布为 $\mu_0(x)$ ，即：

$$t(x, 0) = t_0(x) \quad (0 \leq x \leq L) \tag{8}$$

$$u(x, 0) = u_0(x) \quad (0 \leq x \leq L) \tag{9}$$

$x=0$ 外，表面隔湿。

$$t(0, \tau) = t_1(\tau) \tag{10}$$

$$-\rho_0 \left(a_m \frac{\partial u}{\partial x} + a_1 \frac{\partial t}{\partial x} \right) = 0 \tag{11}$$

$x=L$ 处，表面与空气进行湿交换，湿交换率为 E_s 。

$$t(L, \tau) = t_2(\tau) \tag{12}$$

$$-\rho_0 \left(a_m \frac{\partial u}{\partial x} + a_1 \frac{\partial t}{\partial x} \right) = E_s(\tau) \tag{13}$$

将热质迁移方程及其定解条件，用二族平行于坐标轴的直线分割成矩形风网，建立六点对称差分方程组，该差分格式无条件稳定，采用逐次追赶法求解^[4]。

4 热质迁移结果分析

图 2、图 3 为 8 月 22 日脱湿时段含盐多孔材料温度、质度分布的实测数据和数值模拟变化规律。由图中看出材料内温度分布实测数据与数值拟合结果吻合度较高。8:30 至 13:30 期间，材料内温度分布较为均匀。随着室外空气温度的升高，材料外表面温度逐渐升高，材料内部温度也随之缓慢上升。在 13:30~16:30 这段时间，材料外表面因受到强烈的太阳辐射，外表面温度迅速升高，但含盐多孔材料水汽蒸发，有效地起到了隔热作用，从材料外表面到材料中部温度梯度较大，温

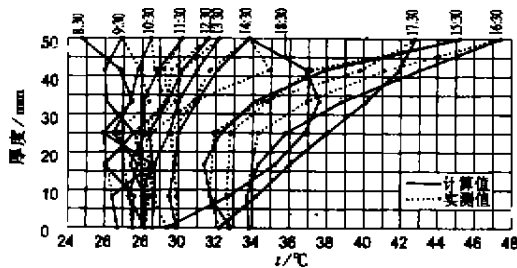


图 2 8.22 日含盐多孔材料温度分布

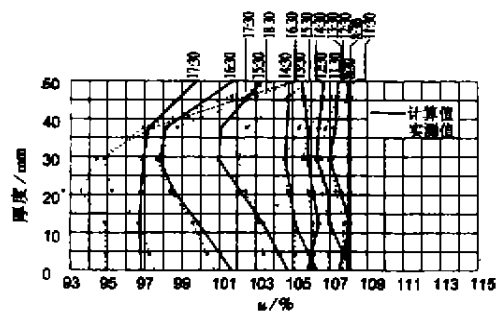


图 3 8.22 日含盐多孔材料质度分布

度迅速下降,在材料中部形成明显的拐点。拐点以内,温度分布较为均匀,但材料整体温度上升。在 17:30~18:30 期间,太阳辐射强度减弱,光线也受到障碍物阻挡,外表面温度明显回落。但材料内部散热较慢,这样就在材料外表面附近形成另一个拐点。

由图中看出,随着材料内水分蒸发散失,材料内湿度逐渐减小,由材料平均湿度 108.1% 的湿度减少到 96.3% 的湿度。虽然,材料的蒸发脱湿过程在外表面进行,但湿度减少快的却是材料中部。在 8:30~11:30 期间,材料中部湿度为 107.2%,减少了 0.9%,而材料外表面湿度为 107.7%,却只减少了 0.38%;到 17:30 时,外表面湿度为 101.7%,减少了 6.4%,材料中部湿度为 94.98%,却减少了 13.1%,内表面处湿度为 97.25%,也减少了 10.86%。说明盐分在材料内存在迁移现象,且向着温度高的区域迁移。在材料内部,湿度从材料中部到外表面逐渐增大。从材料中部到材料内表面湿度较为均匀。

图 4、图 5 为 8 月 24 日~8 月 25 日含盐多孔材料吸湿过程的温度、湿度分布实测数据和数值模拟变化规律。由图中看出,材料外表面温度在内表面吸湿过程中始终低于材料内部温度,这是由于室外空气温度低于材料温度;材料内表面温度由于吸湿,空气中水汽凝结放热及盐分溶解热、稀释热等原因而温度升高。材料内部温度分布较为均匀。随着材料内表面吸湿过程的进行,材料中的湿度逐渐增大。材料内表面湿度由 93.8% 增加到 100.58%,增量 6.78%;材料中部湿度由 92.11% 增加到 99.03%,增量 6.92%;材料外表面湿度由 96.98% 增加到 100.53%,增量 3.55%。

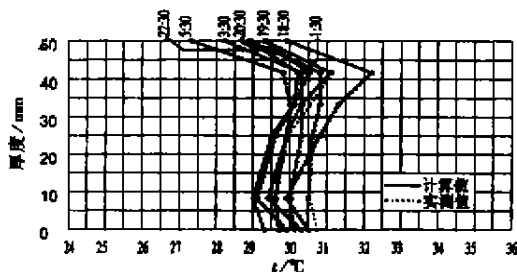


图 4 8.24 日含盐多孔材料温度分布

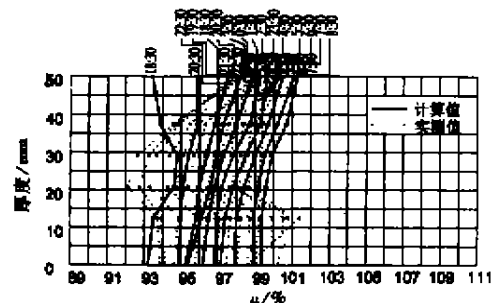


图 5 8.24 日含盐多孔材料湿度分布

5 结 论

通过对含盐多孔材料传热传质的数值模拟与现场实测表明,在外表面脱湿、内表面绝湿的情况下,材料中的水分、盐分向外表面处迁移,迁移的速度及迁移量取决于外表面处脱湿率的大小及材料内温度分布状况。迁移的结果是外表面处的湿度大于材料内部及内表面处的湿度,这与含湿多孔材料脱湿过程明显不同。在外表面绝湿、内表面吸湿的情况下,材料中的盐分在浓度差的作用下进行迁移,而水分在湿度差及浓度差的作用下迁移,致使材料内湿度趋于均匀。盐分在材料内部湿度差的作用下向高温方向迁移,盐分与水分的迁移相互影响相互制约。盐分迁移的结果对含盐多孔材料脱湿再生不利,但有利于其吸湿过程。

参 考 文 献

- [1] 温永玲,等. 含盐多孔材料吸放湿规律探讨[C]. 第七届中国建筑物理学术会议论文,1995
- [2] 卢 军,等. 被动除湿太阳房试验研究[M]. 建筑展望. 重庆:西南师范大学出版社,1996
- [3] 陈启高. 建筑热物理基础[M]. 成都:西南交通大学出版社,1991
- [4] 卢 军. 被动除湿太阳房研究[D]. 重庆建筑大学博士学位论文,1999

Study on Heat and Mass Transport of Porous Saline Materials

LU Jun CHENG Qi-gao

(Faculty of Urban Construction Engineering, Chongqing Jianzhu University, 400045, China)

Abstract On-site measurement and numerical modeling are made for the interior heat mass distribution. The heat and mass coupling equation system to the porous saline materials in one - dimensional temperature and mass degree field was established. The dynamic distribution features of the materials in moderate temperature and mass degree field were obtained. The result of numerical modeling coincided with that of actual measurement and testified to the numerical model. The study has significance in promoting the interrelated sciences in their studies on the problem of heat and mass transport in porous saline materials.

Key Words temperature; mass degree; porous saline material; heat and mass transport

(上接第 72 页)

An Evaluation Method for the Quality of Urban Hot Environment - Air Total Heat Change Quality Index

FANG Jun-hua PENG Xu-ya

(Faculty of Urban Construction Engineering, Chongqing Jianzhu University, 400045, China)

Abstract Due to the effect of hot island of the city, the temperature is much higher and the urban hot environment is much worse in the city than those in the countryside. In this paper, the total heat difference based on the temperature has been suggested as an evaluation factor and the total heat change quality index as evaluation method to describe the quality of urban hot environment.

Key Words urban hot environment; total heat difference; quality index; evaluation method