

# 膜式全热新风热回收器的膜性能实验研究

马耀

南京大学

DOI:10.32629/bd.v4i3.3186

**[摘要]** 新风热回收器在高效现代建筑系统中起着重要的作用,可在满足通风要求的同时节约能源。交换膜的性能对交换效率有着重大影响。实验表明交换膜的湿扩散系数取值对模拟计算有较大影响。由实验可知,模型中湿扩散系数的取值需与膜的性能对应,从而保证模拟计算的准确性。

**[关键词]** 膜式全热新风热回收器; 模型; 湿扩散系数; 实验

## 引言

随着能源问题的日益严重和人们对室内的空气质量要求越来越高,空调系统在创造舒适的室内环境时需要尽量减少能源消耗。另外一方面,高效的现代建筑对围护结构有很高的密闭性要求,然而这可能引起室内环境发生高污染状况的风险,对人们的健康造成影响。目前新风热回收(Heat Recovery Ventilation, HRV)系统是解决上述问题的最好方法,它能够使空调系统减少一部分能耗并引进室外新风,从而达到在提高室内空气质量的同时减少能源消耗的效果。全热交换膜是其核心部件,可有效回收显热和潜热。目前针对交换膜的研究主要通过理论假设和计算的方式进行论证,较少有实验验证。本文针对某品牌全热交换器的性能做了实验研究。

交换膜的一个重要的参数是湿扩散系数,它反映了交换膜的传质性能,对交换器的潜热交换效率有影响,进而影响全热交换效率。由于空气中水蒸气的汽化潜热很高,所以空气中的潜热能量比重很大<sup>[1]</sup>。因此水蒸气扩散率对HRV系统的能效有重大影响。在张和江<sup>[1]</sup>建立的模型中,湿扩散系数的值通过不断取值试算,实验值和计算值吻合后确定;如此反推得出的湿扩散系数有一定的合理性,但是有必要通过实验验证其准确性。并且针对不同的交换膜,前人计算得出的数值不具备参考性,需要通过实验测定其准确数值。

为了使得模型的模拟计算更为准确、确定此次研究中交换器设备的湿扩散系数值、验证优化后的模型对交换器设备的适用性,作者进行了本次研究。本研究针对全热交换过程中会出现的情况,对模型进行了优化;针对某型号全热交换器的交换膜进行了实测,确定其交换膜的湿扩散系数的准确取值。

## 1 数学模型研究

### 1.1 全热交换膜传热传质模型

张和江<sup>[1]</sup>的研究建立了如下数学模型:

①新风侧的传热传质方程:

$$m_1 \frac{\partial t_1}{\partial x} + \frac{2k_1}{H_1} (\rho_{w1} - \rho_{s1}) = 0 \quad (1)$$

②排风侧的传热传质方程:

$$m_2 c_{p2} \frac{\partial T_{f2}}{\partial y} + \frac{2h_2}{H_2} (T_{f2} - T_{s2}) = 0 \quad (2)$$

$$m_2 \frac{\partial \phi_2}{\partial y} + \frac{2k_2}{H_2} (\rho_{w2} - \rho_{s2}) = 0 \quad (3)$$

以上两式中:  $k$  为对流传质系数;  $h$  为对流传热系数; 是空气的质量流量, ( $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ );  $c_p$  是空气的比热, ( $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ )。

膜侧的传热传质方程

$$m_w c_{pw} \frac{\partial T_m}{\partial z} - \lambda_m \frac{\partial^2 T_m}{\partial x^2} - \lambda_m \frac{\partial^2 T_m}{\partial y^2} - \lambda_m \frac{\partial^2 T_m}{\partial z^2} = 0 \quad (4)$$

$$\dot{m}_w = -D_{wm} \frac{\partial C}{\partial z} = D_{wm} \frac{C_{1s} - C_{2s}}{\delta} \quad (5)$$

式中:  $C_{1s}$ ,  $C_{2s}$  是交换膜两边水的浓度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );  $\delta$  是膜的厚度,  $\text{m}$ 。

### 1.2 全热交换器的性能参数

换热效率<sup>[2]</sup>是热回收装置评价体系中几项重要的性能指标之一。换热效率又包含三种类型: 焓交换效率、温度交换效率、湿量交换效率。全热回收装置一般使用焓交换效率评价、显热回收装置一般使用温度交换效率评价。

## 2 实验研究

### 2.1 湿扩散系数

湿扩散系数是指在特定的温、湿度环境下,材料试样两侧表面受单位水蒸气压差的影响,单位厚度试样在单位时间内、单位面积上透过的水蒸气总量。当交换膜两侧存在湿度差,膜两侧的水分子便会在压力梯度的作用下发生湿传递。它是描述全热交换膜湿渗透能力强弱的重要参数,对湿量交换效率有很大影响。本实验以相对湿度  $\phi$  为湿扩散的驱动力,根据 ISO12572: 2016<sup>[3]</sup> 可得其计算公式:

$$D_{wm} = \frac{G \cdot d}{A \cdot \Delta \phi} \quad (6)$$

式中:  $D_{wm}$  为全热交换膜湿扩散系数,  $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$ ;  $A$  为湿扩散渗透有效面积,  $\text{m}^2$ ;  $G$  为水蒸气渗透速度,  $\text{kg}/\text{s}$ ;  $d$  为试样厚度,  $\text{m}$ ;  $\phi$  为试样两侧的相对湿度差。

#### 2.1.1 实验准备

根据 ISO12572: 2016<sup>[3]</sup> 的规定,选用干湿杯法测定交换膜的湿扩散系数。所谓干湿杯法,即将形状规则的试样密封在某容器口部,该容器内盛有饱和盐溶液用以控制容器内所需的恒定相对湿度。试样在容器口部密封固定好后,将其放入稳定相对湿度的环境中。水分子会在蒸气压的作用下通过材料发生湿扩散。利用电子天平对试样和容器称重,记作  $m$  ( $\text{kg}$ ),当该重量变化呈线性且连续称重14次以上停止实验。

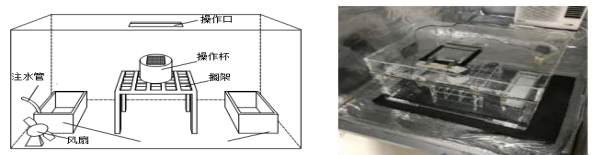


图1 湿扩散试验箱

(1) 实验装置

根据干湿杯法自制试验箱, 实验箱为长方体, 如图1所示。实验箱内放置盐溶液槽、风扇、搁架和操作杯。盐溶液槽放置饱和盐溶液以控制实验箱内相对湿度; 风扇保证箱内空气循环流通; 操作杯内部有饱和盐溶液控制杯内空气相对湿度。

(2) 实验试样

将全热交换纸膜从交换芯上取下, 用黑胶布将材料试样有效面积以外的部分密封处理, 控制其可交换面积为60mm×60mm。测得其实际的有效面积为61mm×60mm=3.66×10<sup>-3</sup>m<sup>2</sup>, 厚度为1.15×10<sup>-4</sup>m。



图2 待测全热交换纸膜

2.1.2 实验内容

实验操作过程分为三个阶段:

(1) 配置饱和盐溶液(分别为饱和氯化镁溶液、饱和氯化钾溶液)控制操作杯内的空气相对湿度为32.8%, 实验箱内的空气相对湿度为84.2%。

(2) 用黑胶布将处理好的交换膜密封固定在操作杯上, 密封完成后将其放入实验箱内的隔板上, 同时实验箱放入恒温空调箱。打开风扇后用黑胶布密封好操作口, 静置24h使试样充分吸湿饱和;

(3) 待交换膜达到稳定状态后, 每隔30min用电子天平对试样及操作杯(包括内部的盐溶液)称重, 记作  $m$ , 如图3所示。以此类推, 连续称重14次且其质量变化呈线性后停止实验。



图3 操作杯称重

2.1.3 实验结果

图4为交换膜膜吸湿稳定后操作杯质量随时间的变化图, 根据实验数据和公式(6)可得到交换膜的湿扩散系数, 为7.05×10<sup>-5</sup>m<sup>2</sup>/s。

从市面上较为流行的新风热交换器来看, 叉流式热回收芯体多采用纸膜。目前国外及国内部分全热交换新风系统纸芯材料生产商使用的纸材主要是欧洲和日本制造的高密度纸。但是不同的交换、过滤纸性能参数会有较大的差异。在模型张和江<sup>[1]</sup>的研究中,  $D_{wm}D_{wm}$ 取值为4.8×10<sup>-10</sup>m<sup>2</sup>/s, 公式(1)~(5)中 $D_{wm}D_{wm}$ 取值为2.6×10<sup>-5</sup>m<sup>2</sup>/s。本次实验中膜的湿扩散系数值实验结果为7.05×10<sup>-5</sup>m<sup>2</sup>/s。故不同的新风热交换器交换膜湿扩散系数的取值有必要进行准确的测试, 否则会对模型计算产生影响。

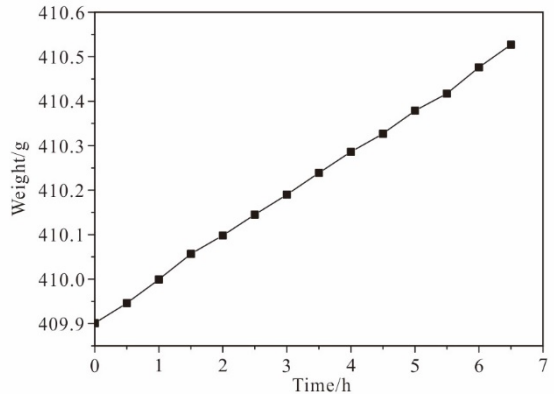


图4 操作杯重量随时间变化

3 结语

原有的计算模型存在一定的缺陷, 例如湿扩散系数的取值以经验值代替, 致使模拟计算结果与实验测得数据相比存在一定的误差。由此我们优化了该计算模型: 通过湿扩散系数实验可知原模型的湿扩散系数取值偏小, 故对其进行了修正, 使用了正确的取值, 在本次实验中交换膜的湿扩散取值为7×10<sup>-5</sup>m<sup>2</sup>/s。由于不同的设备采用的交换膜不同, 导致其性能也会有所差异, 建议在模型的模拟计算过程中, 提前确定相应交换膜的参数(湿扩散系数), 再代入工况数据进行计算, 以确保模拟计算的准确性。

[参考文献]

[1] 张立志, 江亿. 膜式新风热回收器的传热传质[J]. 膜科学学报, 1999, 163(1): 29-38.

[2] 刘群华. 废纸回收系统中胶粘物含量的检测方法[J]. 中国造纸, 2004, 023(05): 46-49.

[3] 许晶翠. 膜式全热交换器热质交换复合膜的优选及其在全热交换器中的应用[D]. 上海交通大学, 2017.

作者简介:

马耀(1995--), 男, 浙江嘉兴人, 汉族, 南京大学在读研究生, 专业方向: 建筑技术。