

文章编号: 1671-6612 (2026) 02-218-08

蒸发冷却用导湿纤维特性与动态润湿性能研究

彭书臣 陈 奕

(集美大学海洋装备与机械工程学院 厦门 361021)

【摘要】 为了研究用于蒸发冷却的导湿纤维的材料特性及其动态润湿性能, 研究通过选用 4 种导湿性能优异且价格适宜的 Coolmax 导湿织物并对比研究材料的特性, 在四种织物中优选的单向导湿六角网眼面料在 60 分钟芯吸高度达到 24cm, 水平湿扩散平均速率达到 $2.87\text{cm}^2/\text{s}$, 与 0.3mm 厚度的聚丙烯板相结合后, 综合导热系数为 $0.45\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。其次, 搭建实验台测试不同的进口空气温度 ($25^\circ\text{C}\sim 35^\circ\text{C}$)、湿度 (40%~80%) 和风速 (2m/s~4m/s) 工况下导湿织物水分的蒸发速率, 并对三个因素进行显著性分析, 与水分蒸发速率的相关系数值分别为 0.236, -0.846, 0.425 并得到其预测方程, 平均误差为 9.5%, 相关系数 R^2 值为 0.96659, 在空气相对湿度低于 80% 情况下准确度高, 为导湿纤维型间接蒸发冷却器的研发设计和高效运行提供一定的指导意义。

【关键词】 导湿纤维; 蒸发冷却; 材料特性; 动态润湿; 蒸发速率

中图分类号 TU83 文献标志码 A

Characterization and Dynamic Wetting Performance of Moisture-Conducting Fibers for Evaporative Cooling

Peng Shuchen Chen Yi

(School of Marine Equipment and Mechanical Engineering, Jimei University, Xiamen, 361021)

【Abstract】 In order to study the material properties of the moisture-conducting fibers used for evaporative cooling and their dynamic wetting performance, this study was conducted by selecting four kinds of Coolmax moisture-conducting fabrics with excellent moisture-conducting performance and suitable price and comparing the study of the material properties, the preferred uni-directional moisture-conducting hexagonal mesh fabric among the four kinds of fabrics had a core-absorbent height of 24 cm in 60 minutes, and the average horizontal wet diffusion rate of $2.87\text{cm}^2/\text{s}$, which was combined with a 0.3mm thickness of polypropylene board combined with the integrated thermal conductivity of $0.45\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Secondly, the experimental bench was set up to test the evaporation rate of moisture from the moisture-conducting fabric under different inlet air temperatures ($25^\circ\text{C}\sim 35^\circ\text{C}$), humidity (40%~80%) and wind speeds (2m/s~4m/s), and the significance of the three factors was analyzed, and the correlation coefficients with the rate of evaporation of moisture were 0.236, -0.846, and 0.425 and the prediction equations were obtained, respectively. The average error is 9.5%, the correlation coefficient R^2 value is 0.96659, in the air relative humidity is lower than 80% of the case of high accuracy, for the moisture-conducting fiber-type indirect evaporative cooler research and development design and efficient operation to provide some guidance.

【Keywords】 Moisture-conducting fibers; Evaporative cooling; Material properties; Dynamic wetting; Evaporation rate

基金项目: 国家自然科学基金 (52308096)

作者简介: 彭书臣 (2001-), 男, 硕士研究生, E-mail: psc2531861858@163.com

通讯作者: 陈 奕 (1988-), 女, 博士, 副教授, E-mail: cheniy0511@jmu.edu.cn

收稿日期: 2025-05-30

0 引言

随着我国现代化的进程以及人们对居住和生产环境要求的提高, 空调的应用也越来越广泛。近年来, 以数据中心、电子和医药洁净室、轨道交通为代表的制冷空调应用呈现出快速增长的态势^[1]。因此, 推广低能耗、低污染的先进制冷空调节能技术是构建低碳建筑的必经之路, 也是我国实现建筑碳中和的关键环节之一。

充分利用自然冷源是实现绿色低碳空调的一种重要途径, 其中间接蒸发冷却便是一种以水为制冷介质、以“干空气能”为驱动势的高效冷却技术。间接蒸发冷却空调技术是指产出介质与工作介质间接接触, 仅进行显热交换而不进行质交换, 以获得冷风或冷水的技术^[2]。作为热湿交换的核心, 间接蒸发冷却器芯体材料的特性对机组性能有举足轻重的影响。由于间接蒸发冷却器依赖于水在湿通道中蒸发吸热实现冷却相邻干通道内的一次空气。鲁进利等^[3]提到通过蒸发吸热从蒸发器内带走更多的热量, 系统制冷量增大, FTE 压缩机功耗略大于 MCE。因此, 冷却器湿通道的亲水性及其蒸发速率对整机的冷却效率和性能有重要的影响^[4]。

理想的芯体材料应当具有良好的亲水性、湿扩散性、蒸发速率和导热能力。近年, 各国学者对纤维材料在间接蒸发冷却上的应用开展了一系列的研究。无论是植物纤维、聚合物纤维还是织物纤维, 均利用了多孔材料本身良好的湿扩散能力、高渗透率和芯吸效应, 提高水膜的覆盖率和均匀性。褚俊杰等^[5]通过接触角测试等方法, 分别对聚丙烯高分子材料、金属铝箔材料、植物纤维聚合物材料的亲水性能进行对比分析, 结果表明: 亲水性能为植物纤维聚合物材料 > 金属铝箔材料 > 聚丙烯高分子材料。此外, 徐鹏等^[6]提到 Coolmax 纤维层的厚度非常薄 (0.1-0.3 毫米), 可以有效降低热阻并提高传热效率, 该纤维具有高耐用性、易于成型、清洁和更换的特点, 因此特别适合间接蒸发冷却应用。

段之殷等^[7]通过研究超亲水织物屋顶的动态性能, 分析运行参数对织物材料蒸发速率的影响: 随着入口空气速度、空气干球温度和太阳辐射照度的提高, 织物表面的蒸发速率显著增加; 随着入口空气含水量的增加, 蒸发率显著降低。布鲁诺等^[8]建造了一个平板错流式热质交换器, 使用了一种特殊的介质提高湿通道的亲水性能, 同时水分不能透

过干通道。测试结果表明, 这种换热器的露点冷却效率为 75%, 在给定的运行条件下冷却器性能比较理想。可以知道, 织物纤维材料因为其性能的优越性, 给提高间接蒸发冷却系统效率带来了巨大的潜力^[9]。

对于上述的研究, 纤维织物材料具有亲水性好、价格适宜的优势, 将其与聚丙烯复合后可满足机械性能的要求, 可成为一种极具应用前景的间接蒸发冷却器湿芯材料。目前相关的研究着重于各种导湿纤维织物湿扩散和亲水性能的测定与对比, 但对于含水量对导热性能以及不同空气状况下水分蒸发的影响鲜有报道。此外, 目前对导湿纤维织物蒸发速率的测定基于稳态, 且多参数下运行工况的性能研究不够全面。

综上, 研究首先通过实验对 4 种导湿纤维-聚丙烯复合材料的湿传递性能、不同含水量下的导热系数和亲水性进行测试, 从中选取合适的材料, 将其与聚丙烯板相结合。其次, 搭建实验台测试不同的进口空气温度、湿度和风速工况下, 单通道蒸发冷却器芯体的动态含水量变化规律和动态蒸发速率, 并得到蒸发速率与温度、湿度、风速的线性回归经验公式。实验的结果一方面可以为新一代超亲水间接蒸发冷却器的湿芯选材提供参考; 另一方面, 可以为机组的优化运行提供参数。

1 实验方案

1.1 导湿特性实验

结合文献和市场调研选择出 4 种 Coolmax 速干导湿纤维织物, 其相关参数如表 1 所示。首先, 采用芯吸高度测试和水平湿扩散速率来研究导湿纤维的湿扩散能力, 从而优选出一种材料, 对其导热系数和水分蒸发速率进行测试, 全面评估纤维材料在间接蒸发冷却器中的适用性。

表 1 导湿纤维织物的种类及参数

Table 1 Types and parameters of moisture-conducting fiber fabrics

面料名称	牛奶丝拉架面料	满天星针织面料	菱形提花针织面料	单向导湿六角网眼面料
成分	93%涤纶 7%氨纶	88%涤纶 12%氨纶	94%涤纶 6%奥佩纶	63%涤纶 37%丙纶
克重	180g/m ²	130g/m ²	260g/m ²	160g/m ²
纱支	100D	75D	75D	75D

芯吸高度测量液体在特定条件下通过毛细作用在材料中上升的高度,通常用于评估纺织品的吸湿性和导水性,织物芯吸性能按照 FZ/T 01071-2008《纺织品毛细效应试验方法》标准进行实验。将样品剪裁成尺寸为 350mm×30mm 的条状,条带的底部 2.5cm 浸入水容器中,从浸入时刻起开始计时,标尺测量芯吸高度。芯吸高度实验装置如图 1 所示,在干球温度 24.0℃、湿球温度 20.0℃ 的环境条件下记录 60 分钟的芯吸高度,最终结果通过计算三次重复测试的平均芯吸高度来呈现。

为了进一步研究样品的水平动态湿扩散性能,进行水平湿扩散测试。将导湿材料织物裁剪成 100mm×100mm 的正方形,置于水平测试台,滴定管位于水平放置的样品上方。采用高速摄像机(型号: Phantom LAB110)对准样品中心区域,并调整灯光使画面清晰,进行视频拍摄。实验装置如图 2 所示,录制的视频(分辨率: 512×512, 采样率: 1000fps)随后由 Phantom Camera Control 应用软件进行处理,用于图像导出、尺寸和速度测量。用滴定管将 2 毫升蒸馏水滴在样品的中心部分,记录水分扩散到最大面积的时间和扩散面积,实验重复三次,取平均得到水分的水平动态湿扩散速率。

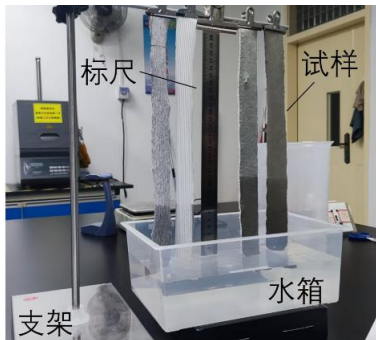


图 1 芯吸高度实验装置

Fig.1 Experimental setup of wicking height measurement



图 2 水平湿扩散速率实验装置

Fig.2 Experimental setup of horizontal moisture diffusion rate measurement

1.2 导热特性实验

采用热熔型压敏胶将优选的导湿纤维(样品尺寸: 100mm×100mm×1mm)与聚丙烯板(样品尺寸: 100mm×100mm×0.3mm)结合在一起形成具有一定机械支撑强度的复合材料。为了对比热熔型压敏胶对复合材料导热系数的影响,实验制备了有胶型和无胶型两组样品。其中,无胶型为织物直接与聚丙烯板叠放,有胶型为两者之间采用热熔型压敏胶粘合。为了研究含水率对复合材料导热系数的影响,实验中采用高压雾化喷头对样品进行布水,并用高精度电子天平(型号: 赛多利斯-224, 精度: 0.1mg)称量喷淋前后的样品质量,计算出含水率。导热系数测定采用型号为 TC3000 的导热系数测量仪,每组样品测量 5 次取平均值。

1.3 蒸发特性实验

除了湿通道表面的亲水性、湿扩散速率以及干、湿通道之间的导热外,湿通道表面水分的蒸发对于间接蒸发冷却的热质交换效率更为关键^[10]。因此,本研究通过搭建一个含有单通道的蒸发冷却微压布水实验台,研究在不同的进口空气温度、湿度和风速工况下,导湿纤维与聚丙烯的复合材料表面动态润湿特性,包括:动态含水量变化规律和动态蒸发速率,并对温度、湿度、风速三个因素进行显著性分析,并得到蒸发速率的预测模型。

1.3.1 实验台

单通道的蒸发冷却器实验台由透明亚克力外壳、可抽取式导湿织物与聚丙烯的复合板、喷淋布水系统、风机和测量仪器组成,原理图和实物图如图 3 所示。整体装置位于恒温恒湿环境仓内,用来控制实验中设置的温度和相对湿度。表 2 列出了主要设备材料以及尺寸规格。喷淋试验的芯体材料为导湿纤维+聚丙烯复合板,其中导湿纤维为 1mm 厚度,与 3mm 的聚丙烯板用热熔型压敏胶结合。芯体外壳的两个侧面各开有 20 个平行的条缝型槽口可供复合板穿插和抽取。在整个装置的最上方布置风机,使风向为竖直向上。采用热线风速仪测量箱体截面中心点的风速,即经过垂直板面的风速。风速仪的型号为 testo405-V1,量程为 0~10m/s,精度为±(0.3m/s+5%测量值)。温度测量采用 E+E 品牌的 EE160 温湿度传感器,量程 0~50℃,10~95%RH,精度±0.3℃,±2.5%RH。

设定一系列进口空气温度、湿度和风速,得到

不同工况下湿通道的动态润湿特性, 即各参数对复合材料动态含水量和动态蒸发速率的影响规律。在不同实验工况下, 通过水泵喷淋布水(流量 5L/min,

时间 60s), 使样品全部润湿, 间隔固定时间将复合板抽出来称重, 记录时间和样品的重量变化, 从而得到试样的蒸发速率。

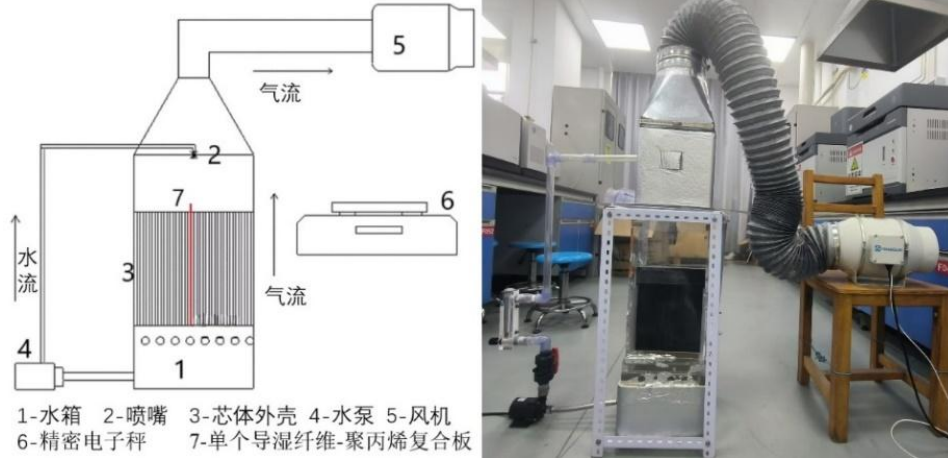


图 3 喷淋布水实验台原理图和实物图

Fig.3 Schematic diagram and photo of water distribution test bench

表 2 实验台主要设备材料表

Table 2 Main equipment and materials of the test bench

序号	设备名称	规格或材料	单位	数量
1	水箱	225mm (宽)×200mm (高) (10mm 厚亚克力板)	个	1
2	喷嘴	实心锥喷嘴 (型号: YJ-28.4.24.z, 4mm 孔径)	个	1
3	芯体外壳	225mm (宽)×400mm (高) (5mm 厚亚克力板)	套	1
4	水泵	中科世纪 DC55E-2160VR 直流增压潜水泵 (流量: 40L/min, 扬程: 16m)	台	1
5	风机	HF-150P 斜流增压管道风机	台	1
6	精密电子秤	称量精度 0.01g	台	1
7	单个复合板	导湿纤维-聚丙烯复合板 (240mm*200mm*1.5mm)	块	1

1.3.2 实验参数设置

表 3 列出了实验的环境参数及取值。其中, 温湿度根据环境仓可达到的工况设定, 覆盖了干燥 (40%相对湿度)、中等湿度 (60%相对湿度) 和高湿度工况 (80%相对湿度), 以及过渡季节 (25℃)、夏季一般工况 (30℃) 和炎热工况 (35℃)。风速的取值涵盖了间接蒸发冷却器的板间一般运行风速范围 2~4m/s。

表 3 实验的运行参数及取值

Table 3 Operational parameters and values of the experiment

研究参数	温度/℃	相对湿度/%	风速/(m/s)
温度/℃	[25,30,35]	40	2
相对湿度/%	30	[40,60,80]	3
风速/(m/s)	35	80	[2,3,4]

2 结果与讨论

2.1 导湿特性结果

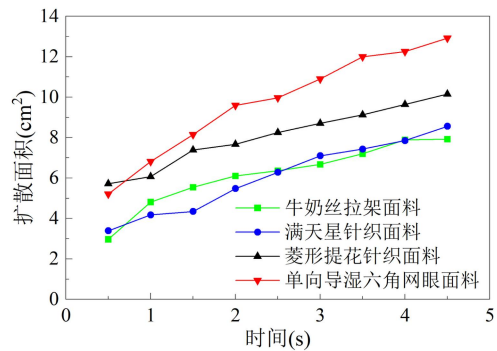


图 4 四种导湿织物的芯吸高度

Fig.4 Wicking height of four kinds of moisture-conducting fabric

通过芯吸高度测试, 得到四种导湿织物的芯吸

高度,结果如图 4 所示。可以看出,所选用的单向导湿六角网眼面料的芯吸高度仅比菱形提花针织面料略低,高于其他两种材料。单向导湿六角网眼面料的芯吸高度在前 10 分钟内迅速从 0 上升到 14.9 厘米,但随后减慢并在 30 分钟时达到 20.7 厘米,最终在 60 分钟时达到 24 厘米。总而言之,尤其是在初始阶段,测试样品显示出出色的芯吸性能。芯吸能力的结果为:菱形提花针织面料>单向导湿六角网眼面料>牛奶丝拉架面料~满天星针织面料。

得到的平均扩散时间越短,说明材料的表面液滴扩散越快,材料亲水性越好。所选取的几种导湿纤维布料的水平湿扩散面积如图 5 所示,可以看出,所选用的纺织品单向导湿六角网眼面料的扩散面积在前 4s 内从 0 快速增加到 12.3cm²,明显高于同情况下的其他三种样品。当水接触到表面时,扩散速率(v_w)在最初的 4s 内较高(3cm²/s),然后逐渐降低。水平扩散速率能力方面,单向导湿六角网眼面料($v_w=2.87\text{cm}^2/\text{s}$)>菱形提花针织面料($v_w=2.26\text{cm}^2/\text{s}$)>牛奶丝拉架面料($v_w=1.9\text{cm}^2/\text{s}$)>满天星针织面料($v_w=1.76\text{cm}^2/\text{s}$)。

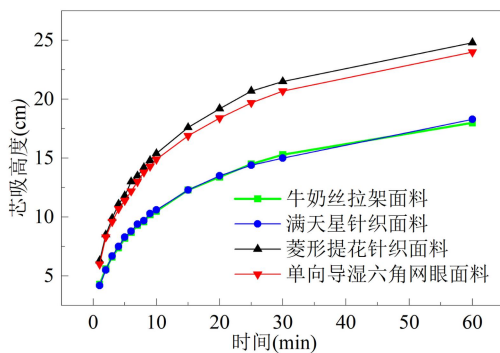


图 5 四种导湿织物水平湿扩散面积

Fig.5 Horizontal moisture diffusion area of four types of moisture-wicking fabrics

综合芯吸高度和水平湿扩散速率的测试结果,得到单向导湿六角网眼面料是最优的材料。因此,以下将针对该材料,进一步研究其导热性能和水分的蒸发速率。

2.2 导热特性结果

本研究中用到复合材料的导热系数为实际测试得到,将水分饱和的样品放入 TC3000 的导热系数测量仪进行连续五次测量,得到其平均导热系数,图 6 为不同含水率下样品的导热系数。随着含

水率的增加,纤维材料与聚丙烯复合材料的导热系数也增加。材料的含水率从 0 增加到 20%时,导热系数从 0.17W/(m·K)快速增加到 0.3W/(m·K),之后导热系数随着含水量增加而近似线性增加,直到达到 0.45W/(m·K),与聚丙烯板的导热系数相近。此时,可以认为完全润湿的织物对复合板的导热影响可忽略。同时,发现无胶型复合材料的导热系数随含水率变化的曲线与有胶型近似,且导热系数低 10.6%。

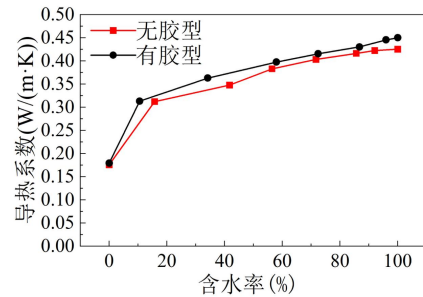


图 6 不同含水率下的导热系数

Fig.6 Thermal conductivity under different moisture content

针对图 6 的测试结果,可以通过理论计算对实际测试进行验证。可对该多层材料看作均匀薄板进行导热系数的计算^[11]。

$$\frac{l}{k} = \frac{\phi_1}{k_1} + \frac{\phi_2}{k_2} + \dots + \frac{\phi_n}{k_n} \quad (1)$$

式中: k 为材料的导热系数; ϕ 为薄板的体积分数。

导湿纤维复合材料(有胶型)由三部分组成,分别是聚丙烯板、热熔型压敏胶和织物,其中热熔型压敏胶厚度为 80um,即 0.08mm,导热系数为 0.8W/(m·K);水的导热系数约为 0.6W/(m·K),聚丙烯板的导热系数为 0.26W/(m·K)。代入式(1)计算得到饱和水分情况下复合材料的导热系数为 0.45W/(m·K)。随着纤维中含水率的增加,孔隙内逐渐充满水分,导致导热系数的增加。在含水率达到最大时,即导湿纤维孔隙充满水时,导热系数将保持稳定。而无胶型由于缺少热熔型压敏胶层,其导热系数理论上略低于复合材料,与实验的结果一致。

总体来看,在湿通道湿润的情况下,导湿织物的含水率越大,壁面的导热热阻越小,越利于干、湿通道的热量交换。当含水量超过 50%后,复合材

料的总体导热与纯聚丙烯板相近, 即织物不会恶化传热过程, 且使用热熔型压敏胶作为聚丙烯板和织物的结合剂, 对导湿纤维复合材料的传热效果影响较小, 可以使用。持续保持湿通道织物在高湿状态下, 可以提高间接蒸发冷却器的换热效率。

2.3 蒸发速率结果

图 7 显示了温度 25℃, 相对空气湿度 60%, 板面流经的风速为 2m/s、3m/s 和 4m/s 情况下, 芯体材料的含水量随时间的变化。结果显示: 在板面布水已达到饱和的前 4 分钟内, 芯体材料的含水量急速降低, 从 370g/m² 快速降低到 270g/m² 左右, 为饱含水分子由于重力直接流出导致。在多余水分流出之后, 由于蒸发作用, 导湿纤维含水量以固定速率下降, 蒸发速率即为含水量随时间减少的速率。之后, 当水分降低到一定程度, 含水量的降低速度

开始放缓, 直到芯体材料中的水分彻底蒸发。由此得知芯体材料的水分在稳定后会以恒定的蒸发速度减少。以此为基础, 可以得知不同运行参数下的动态蒸发特性。

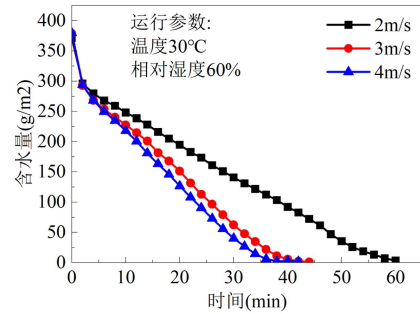


图 7 复合板含水量随时间的变化

Fig.7 Variation of water content of core material with time

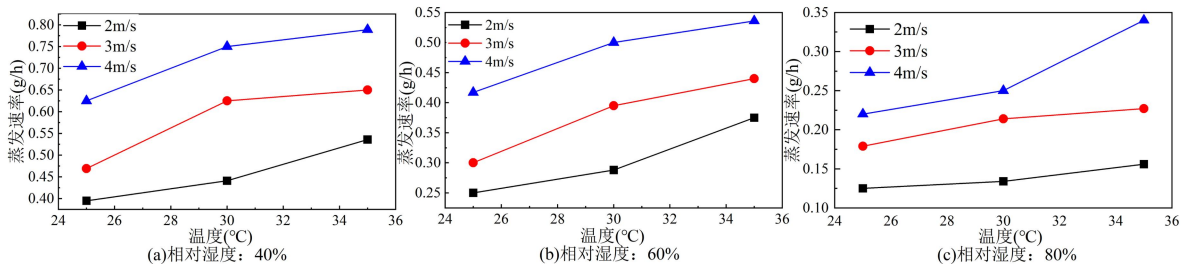


图 8 不同湿度下温度和湿度对蒸发速率的影响

Fig.8 Effect of temperature and humidity on evaporation rate at different humidity levels

经过三次重复实验, 得到不同风速、温度和相对湿度下芯体材料表面水分的蒸发速率, 如图 8 所示。蒸发速率的计算按相关纺织业标准, 材料表面积为 10cm² 进行计算。图 8 (a) 显示, 在空气湿度 40% 情况下, 温度为 30℃ 时, 板间流经的风速从 2m/s 到 4m/s 的梯度变化中, 纤维材料的蒸发速率从 0.441g/h 增加到 0.75g/h, 而在板间流经的风速为 3m/s 时, 温度从 25℃ 到 35℃ 的梯度变化中, 纤维材料的蒸发速率从 0.469g/h 增加到 0.65g/h。随着相对湿度的增加, 复合纤维材料的蒸发速率会降低。例如, 在温度为 30℃, 板间流经的风速为 3m/s 时, 相对空气湿度从 40% 到 80% 的梯度变化中, 纤维材料的蒸发速率从 0.625g/h 降低到 0.214g/h。以上结果表明: 复合材料的蒸发速率随着温度、板间风速的增加而增加, 随着相对湿度的增加而降低。

2.4 相关性分析

为探究板间流经的风速、温度和空气相对湿度对芯体材料的蒸发速率影响的程度, 对温度、湿度、

风速三个不同因素对蒸发速率的影响使用 Pearson 相关性进行显著性分析。分析结果如表 4 所示。

表 4 温度、湿度、风速三个不同因素对蒸发速率的 Pearson 相关性分析

Table 4 Pearson correlation analysis of evaporation rate by three different factors: temperature, humidity and wind speed

影响因素		蒸发速率
风速	相关系数	0.425*
	p 值	0.027
	样本量	27
湿度	相关系数	-0.846**
	p 值	0.005
	样本量	27
温度	相关系数	0.263*
	p 值	0.014
	样本量	27

注: *: p<0.05; **: p<0.01。

从表 4 可知：蒸发速率和风速之间的相关系数值为 0.425，并且呈现出 0.05 水平的显著性，因而说明蒸发速率和风速之间有着显著的正相关关系。蒸发速率和湿度之间的相关系数值为-0.846，并且呈现出 0.01 水平的显著性，说明蒸发速率和湿度之间有着显著的负相关关系。蒸发速率和温度之间的相关系数值为 0.263，呈现出 0.05 水平的显著性，说明蒸发速率和湿度之间有着显著的正相关关系。

结果表明对蒸发速率影响最大的是相对湿度，其次是风速，而温度对样品的蒸发速率的影响较低。在实验中的体现为相对湿度为 40%时芯体材料水分完全蒸发的时间最低为 46 分钟，而相对湿度为 80%时，时间最低为 156 分钟，其他因素影响造成的偏差则相比较小。

2.5 拟合经验公式

为了便于工程和科研领域对复合材料在不同运行工况下蒸发速率的预测，运用了 SPSS 分析软件，基于实验结果对复合材料的蒸发速率进行经验公式拟合，使用线性回归模型，通过最小二乘估计得到线性方程的系数，得到拟合方程如式（2）所示。拟合方程的相关系数 $R^2=0.96659>0.95$ ，公式（2）可以真实可靠地反映出温度、空气相对湿度和板间流经的风速对蒸发速率的综合影响情况。

$$y = f(x, v, t) = 0.322 + 0.096x - 0.0095v + 0.0119t \tag{2}$$

式中： y 为水分的蒸发速率，g/h； x 为板面流经的风速，m/s； v 为空气相对湿度，%； t 为温度，℃。

将上述实验中的参数代入公式（2）中，可得到预测的蒸发速率与真实值的对比结果，如图 9 所示。大部分预测结果和实验数据的误差在±20%以内，其中平均误差为 9.5%，最大误差为 21.2%。所得到的拟合方程计算出的预测值与蒸发速率的实际值偏差较小，该经验公式能够准确地预测响应变量的值。

由于拟合方程运算出的预测值与蒸发速率的实际值在高湿、低温、低风速情况下偏差较大。在空气相对湿度低于 80%情况下，蒸发速率预测较为准确。所得到的拟合方程可以作为导湿纤维聚丙烯复合材料在间接蒸发冷却器应用时对各运行参数的动态响应规律，也适用于具有动态润湿壁面的其他导湿纤维型蒸发冷却设备，为后续建立一套动态的风、水优化调控方案提供一定的参考。

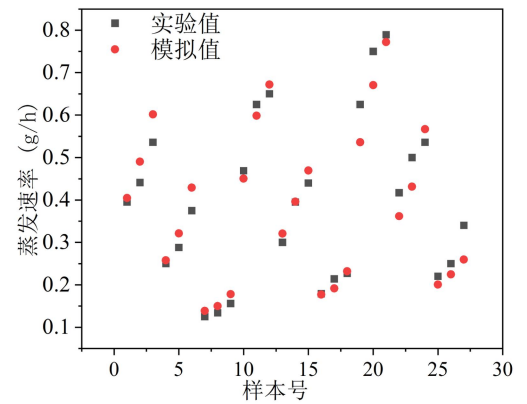
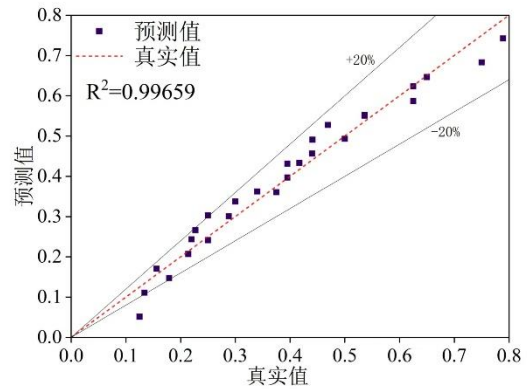


图 9 蒸发速率预测值与真实值的对比

Fig.9 Comparison of predicted and true values of evaporation rate

3 结论

为了提升间接蒸发冷却器湿通道的亲水性，本研究选用 4 种导湿性能优异且价格适宜的导湿织物，对比研究材料的导湿特性，验证不同含水率下的导热性能，优选出一种导湿纤维材料并制备导湿纤维-聚丙烯复合材料，搭建芯体蒸发实验台，研究了不同参数下（温度、湿度、板间风速）单通道的导湿纤维-聚丙烯复合材料的动态润湿性能。主要结论如下：

（1）在四种织物中优选的单向导湿六角网眼面料在 60 分钟芯吸高度达到 24cm，水平湿扩散平均速率达到 2.87cm²/s，与 0.3mm 厚度的聚丙烯板相结合后，综合导热系数为 0.45W/(m·K)。

（2）导湿纤维水分的蒸发速率随着温度、板间风速的增加而增加，随着相对湿度的增加而降低。对于温度、湿度、风速三个不同因素和蒸发速率的相关系数值分别为 0.236，-0.846，0.425。影响蒸发速率最大的是相对湿度，其次是风速，而温

度对样品的蒸发速率的影响较低。

(3) 基于实验结果对复合材料的蒸发速率进行经验公式拟合,得到预测方程,其平均误差为9.5%,相关系数 R^2 值为 0.96659,在空气相对湿度低于 80% 情况下准确度高。

参考文献:

- [1] 邵安,宋伟男,朱述振,等.数据中心节能建设研究[J].科技创新与应用,2022,12(2):69-71.
- [2] 黄翔.蒸发冷却空调原理与设备[M].北京:机械工业出版社,2019.
- [3] 鲁进利,阴婷婷,韩亚芳,等.制冷剂充注量对微通道蒸发器换热性能影响的实验研究[J].过程工程学报,2022,22(1):14-21.
- [4] 吴同,曹莉敏,吕欣,等.导湿织物对间接蒸发冷却器亲水性和热性能影响的实验研究[J].制冷与空调,2023,37(4):495-502.
- [5] 褚俊杰,徐伟,黄翔,等.间接蒸发冷却器高效换热材料亲水和布水研究[J].棉纺织技术,2022,50(1):27-33.
- [6] XU P, MA X L, ZHAN X D, et al. Experimental investigation of a super performance dew point air cooler[J]. Applied Energy, 2017, 203:761-777.
- [7] DUAN Z Y, KANG J W, LI J, et al. Simulation for the thermal performance of super-hydrophilic fabric evaporative cooling roof based on experimental results[J]. Journal of Building Engineering, 2022,52: 104377.
- [8] Frank Bruno. On-site experimental testing of a novel dew point evaporative cooler[J]. Energy & Buildings, 2011,43(12):3475-3483.
- [9] 褚俊杰.聚合物-多孔陶瓷复合膜露点间接蒸发冷却器理论与实验研究[D].西安:西安工程大学,2018.
- [10] 屈名勋,黄翔,金洋帆,等.基于两种不同材料的间接蒸发冷却换热芯体的试验研究[J].制冷与空调,2022,36(1):67-72,104.
- [11] 张波.多层薄板材料的导热分析[J].建筑与预算,2003,(3):47-48.

(上接第 209 页)

参考文献:

- [1] 张淼,徐兴宇,冯少凡,等.严寒地区消防系统设计探讨[J].给水排水,2023,49(S1):312-316.
- [2] 翟计红,李嘉宝.寒冷地区消防水池冻结时间估算[J].给水排水,2023,59(S2):749-751,755.
- [3] 胡斌,冯驰,何九莲.高原极端气候下水切伦科夫(WCDA)水池防冻控制保温设计[J].四川建筑科学研究,2021,47(3):77-84.
- [4] 许莉.太阳能供暖跨季节埋地水体储热温度分层特性研究[D].西安:西安建筑科技大学,2024.
- [5] Liu H, Wang D, Liu Y, et al. Thermal storage and loss characteristics of underground water pits of solar district heating systems in Xizang Plateau, China[J]. Energy, 2024,308:132702.
- [6] Huang H, Xiao Y, Lin J, et al. Thermal characteristics of a seasonal solar assisted heat pump heating system with an underground tank[J]. Sustainable Cities and Society, 2020,53:101910.
- [7] Bai Y, Wang Z, Fan J, et al. Numerical and experimental study of an underground water pit for seasonal heat storage[J]. Renewable Energy, 2020,150:487-508.