

DOI: 10.11830/ISSN.1000-5013.201812015



集装箱房内贴多孔材料吸、放湿 对空调冷凝水量的影响

吴艳, 冉茂宇

(华侨大学 建筑学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 为了探讨集装箱房内贴多孔隔热材料吸、放湿对空调冷凝水量的影响,首先,利用足尺集装箱房,基于封闭箱热扰法,测试酚醛板和挤塑板的吸、放湿能力,并验证集装箱密闭的有效性;然后,对比不同气候有、无换气状态下,集装箱房的空调冷凝水量;最后,通过冷凝水实测量和材料干基含湿量变化,推算材料放湿对冷凝水产生量的影响.结果表明:酚醛板的吸、放湿能力远大于挤塑板;在无换气时,内贴材料吸、放湿能力越大,空调冷凝水持续产生能力越强,总产生量越大;在有换气时,冷凝水量受新风量与内贴材料吸、放湿的影响,材料放湿的影响比无换气时弱;基于冷凝水实测量和材料干基含湿量变化,推算材料的放湿量,两者具有一致性,可采用空调运行前、后干基含湿量变化,估算材料吸、放湿对冷凝水量的影响.

关键词: 隔热材料; 吸湿; 放湿; 空调冷凝水; 集装箱房

中图分类号: TU 111; TU 831.37 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5013(2019)05-0627-07

Effect of Moisture Absorption and Desorption of Interior Porous Materials on Air-Conditioning Condensate in Container Rooms

WU Yan, RAN Maoyu

(School of architecture, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: To explore the effect of moisture absorption and desorption of interior porous materials on air-conditioning condensate in container rooms, full size container rooms were used. Based on the closed box hot interference method, the moisture absorption and desorption capacity of phenolic board and extruded board was tested, and the effectiveness of the airtight container rooms was verified. In different climates with or without ventilation, the condensate production of container rooms was compared. The effect of materials moisture desorption on condensate production was calculated through the condensate measurement and the change of the dry base moisture content of materials. The results show that, moisture absorption and desorption of phenolic board is better than that of extruded board. Without ventilation, as the moisture absorption and desorption capacity of the interior materials increase, the continuous production capacity and whole production of condensate increase. With ventilation, the production of condensate is affected by ventilation and moisture absorption and desorption of interior materials, the effect of moisture desorption of materials on condensate is less than that without ventilation. The moisture desorption of materials calculated by on the condensate measurement is

收稿日期: 2018-12-18

通信作者: 冉茂宇(1967-),男,教授,博士,主要从事建筑热工与建筑节能的研究. E-mail:373664489@qq.com.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51678254); 华侨大学研究生科研创新能力培育计划资助项目(17013085007)

consistant with that calculated by the change of moisture content in the dry base of materials. The change of moisture content in the dry base before and after the operation of air conditioning can be used to estimate the effect of moisture absorption and desorption of materials on the condensate.

Keywords: heat insulation material; moisture absorption; moisture desorption; air-conditioning condensate; container room

南方湿热地区,空调已是居家必备,因此,冷凝水产生量巨大.回收利用空调冷凝水不仅可以减少环境污染,还可节约水资源.近年来,国内外学者对空调冷凝水的回收利用进行了研究,其用途主要包括冷却塔补水、卫生用水、绿化浇灌、空调冷凝器降温、辅助饮用水等^[1-5].由于冷凝水产生量是其回收利用首先要确定的问题,因此,学者对不同空调系统的冷凝水产生量进行了估算或实测.陈楠等^[6]估算我国 4 个气候区房间空调器冷凝水量为 $1.548\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$;肖洪海等^[7]实测 KFR-32GW/E 机型空调冷凝水量为 $1.2\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$;魏燕等^[8]计算 MDV-JD 22G/Y 型挂壁式室内机冷凝水量为 $2.76\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$;梁仁建^[9]计算某品牌 KF-120 型柜式空调冷凝水量为 $9.29\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$;张东放^[10]实测深圳某高层平均冷凝水量为 $3.83\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$;万丽霞等^[11]理论计算 3 500 W 的分体空调冷凝水量为 $2.43\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$;韩靖等^[12]估算某厂房单台组合式空气处理机额定工况冷凝水量为 $421.2\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$;赖晓波^[13]计算 KFR-26GW 型家用空调冷凝水量为 $3\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$;魏留柱^[14]计算 3 500 W 家用空调冷凝水量为 $2.08\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$;任晶^[15]计算某教室柜式空调冷凝水量为 $5.4\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$,发现实测值与计算值有较大误差;陈文静等^[16]计算某办公室不同温、湿度下的冷凝水量;高峰等^[17]以天津地区办公建筑为例,对冷凝水量进行静态计算.然而,现有文献理论估算或实测空调冷凝水量时,几乎未考虑室内材料吸、放湿的影响,且缺乏实测值与估算值的对比.为了探究房间内贴多孔材料吸、放湿对空调冷凝水产生量的影响,本文利用足尺集装箱内贴多孔酚醛板与挤塑板,首先,基于封闭箱热扰法^[18]测试集装箱房的密闭性和材料吸、放湿能力;然后,分别在有、无换气下,测试空调冷凝水产生量;最后,通过冷凝水实测量和材料干基含湿量变化,推算材料放湿对冷凝水产生量的影响.

1 实验部分

1.1 实验装置与测试内容

测试装置为 3 个集装箱房,尺寸均为 3 300 mm(长)×3 000 mm(宽)×3 000 mm(高),如图 1 所示.集装箱房的箱体选择 140 mm(宽)×3 mm(厚)的 C 型钢为骨架,底部采用 120 mm(宽)×3 mm(厚)的 C 型钢加强,侧面厚为 1.2 mm 的压型钢板,顶部厚为 1.5 mm 的压型钢板;地板采用钢龙骨焊接,铺设厚 2 mm 的钢板.每个集装箱房设门窗对开,门为 0.9 m(宽)×2.0 m(高)的铁门,位于墙面端部;窗为 1.5 m(宽)×1.2 m(高)的铝合金窗,位于墙面中心,两扇推拉.3 个集装箱房错开布置于华侨大学厦门园区建筑学科实验大楼 4 层屋顶,分别标记为 A 箱、B 箱、C 箱. A 箱和 B 箱内表面分别贴设干密度为 $35.1\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 的多孔酚醛板和干密度为 $24.7\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 的多孔挤塑板隔热层,天花、墙面、地面隔热层的厚度分别为 100,75,50 mm;C 箱内表面不做任何处理.每个集装箱安装 1 台格力 KFR-26W/R01-2 型空调器.

测试内容及参数,如表 1 所示,包括 3 个方面:2018 年 5 月 14 日 20:30 至 16 日 20:30,集装箱房气密性及材料吸、放湿测试;2018 年 5 月 17 日 8:00 至 20:00,集装箱房密封时,空调冷凝水量测试;2018 年 6 月 16 日 8:00 至 20:00,集装箱房新风换气 $30\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ 时,空调冷凝水量测试.

表 1 测试内容及参数

Tab. 1 Test content and parameters

测试内容	测试参数	测试目的
气密性及吸、放湿	室内外气象参数	验证集装箱气密性;探究内贴材料吸、放湿性能
封闭态的冷凝水量	室内外气象参数;空调冷凝水量	探究材料吸、放湿对空调冷凝水量影响
换气态的冷凝水量	室内外气象参数;空调冷凝水量	进一步探究材料吸、放湿对空调冷凝水量影响



图 1 集装箱房现场图

Fig. 1 Container room in situ

1.2 测试方法与仪器

测试参数及相应的仪器,如表 2 所示.移动气象站布置在与集装箱同一屋顶的 5 m 左右处,每隔 30 min 记录一次;温湿度仪室内测点位于集装箱房中心,室外测点位于进风口出,每隔 5 min 记录一次.

表 2 测试参数及相应的仪器
Tab. 2 Test parameters and instruments

测试参数	测试仪器	测试范围	仪器精度
室外空气温度/℃	PH-1 型移动气象站	-40~80	±0.2
室外空气相对湿度/%	PH-1 型移动气象站	0~100	±3
室内、外空气温度/℃	AZ8829 型温湿度仪	-20~80	±0.6
室内、外空气相对湿度/%	AZ8829 型温湿度仪	0~100	±3
空调冷凝水量/kg	ACS-JS 型电子计数秤	0~10	±0.001
试样质量/g	DJ500 型电子天平	0~500	±0.01

集装箱气密性及材料吸、放湿能力测试前,开启集装箱门窗通风 3 d,让室内材料与室外湿空气充分接触.测试时,用透明胶带对门窗缝隙及通风口等进行密封.冷凝水量测试时,设定箱内温度为 20 ℃,风速自动,用量筒收集冷凝水,每隔 2 h 称量 1 次.新风量由 DP200A 型风机控制,并通过直径 11 cm 管段与集装箱进风口相连.

多孔酚醛板和挤塑板在空调运行前、后进行干基含湿量测试,每个集装箱选取 6 组试样,尺寸为 25 mm(长)×45 mm(宽)×40 mm(高),实验前 3 d 置于箱内.空调运行前,称其湿质量,然后,将试样置于 70 ℃ 的烘箱中,连续烘干 48 h 后,再间隔 2 h 称量 1 次,直至相邻 3 次称得质量的标准差不大于 0.1%,认为达到干质量^[19].采用密封称量法对试样进行称量^[20].

2 测试结果与分析

2.1 气密性和吸、放湿性能

3 个集装箱内,空气温度(θ)和相对湿度(φ)随时间的变化,如图 2 所示.由图 2 可知:3 个集装箱内,空气温度的升高与下降有一定的滞后,这是由于各箱保温隔热水平不同;在白天,随着箱内气温的升高,内贴材料向室内空气放出水分,反之,在夜间,内贴材料会吸收空气中的水分,这就是 A、B 箱中相对湿度波动相对于 C 箱小的原因.

3 个集装箱内,室内含湿量(d)随时间的变化,如图 3 所示.由图 3 可知:C 箱空气的含湿量基本不变,说明集装箱在白天受热、夜间受冷及在室外风压作用下,其气密性良好;A 箱中酚醛板的吸、放湿能力较 B 箱中挤塑板的强.原因在于,挤塑板(XPS)是由聚苯乙烯树脂及其他添加剂经挤压制造,拥有连续均匀表层及闭孔式蜂窝结构,这种闭孔式结构吸湿性能较弱;而酚醛树脂化学式为 $C_7H_6O_2$,含有酚羟基,理论上具有更强的亲水性.

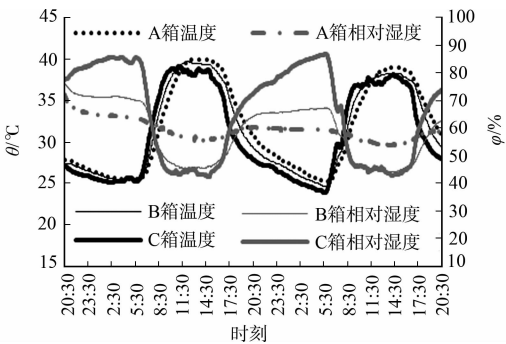


图 2 室内温度和相对湿度随时间的变化
Fig. 2 Indoor temperature and relative humidity variation with time

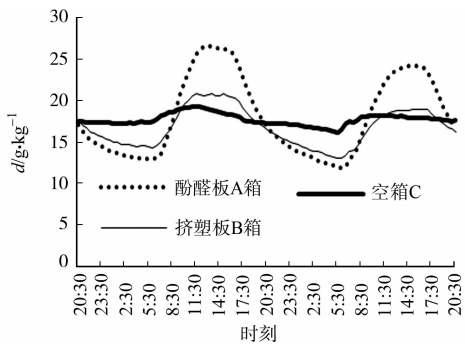


图 3 室内含湿量随时间的变化
Fig. 3 Indoor moisture content of air variation with time

2.2 封闭状态集装箱冷凝水产生量

在封闭状态下,3 个集装箱内、外空气温度和相对湿度的变化,如图 4、5 所示.由图 4 可知:空箱 C

由于无隔热材料,空调冷气量不足,箱内气温远高于 A,B 箱,只是在空调运行前期和后期有较短时间的温度下降;而 A,B 箱的室内气温均能维持在 20℃左右.由图 5 可知:由于空箱 C 的箱内温度高,且无材料放出水分,因此,其相对湿度最低,维持在 20%左右;B 箱由于有挤塑板放出少量水分,相对湿度维持在 30%左右;A 箱由于酚醛板能放出足够水分,相对湿度维持在 60%左右.

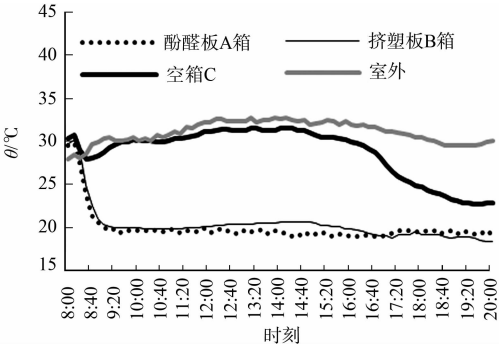


图 4 封闭状态空气温度的变化

Fig. 4 Air temperature variation in closed state

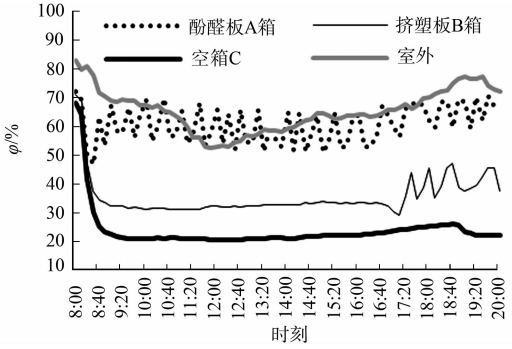


图 5 封闭状态空气相对湿度的变化

Fig. 5 Air relative humidity variation in closed state

封闭状态下,各箱中的空气含湿量,如图 6 所示.由图 6 可知:B 箱的空气含湿量最低,其次是 C 箱,最后是 A 箱.由于 B 箱的空调能将室内温度降低并维持在设定温度,当室内空气掠过冷凝管时,具有冷凝除湿的能力,然而挤塑板放出的水分不足,难以补充空气因冷凝而排出的水量,所以,其空气含湿量最低. C 箱因空调冷量不足,除了空调运行前期,几乎不产生冷凝水,故其含湿量高于 B 箱. A 箱空调能将室内温度降低并维持在设定温度,且酚醛板放出水分,因此,箱内含湿量最高.

在封闭状态下,集装箱每小时冷凝水产生量(m_{pl}),如图 7 所示.由图 7 可知:各箱冷凝水产生量随着时间的增加,总体呈递减趋势;C 箱仅在空调开启 1 h 内,冷凝水产生量较为显著,随后产生量很少,几乎可以忽略;B 箱因空调将温度维持在设定值,且挤塑板有少量水分持续放出,所以,冷凝水产生量高于 C 箱;A 箱由于酚醛板持续放出大量水分,因此,冷凝水产生量持续较长时间,在 18:00 前均远大于 B 箱和 C 箱;在 18:00 后,3 个集装箱产生的冷凝水量相当,且都很小,说明室内空气与材料和盘管之间的湿交换几乎达到平衡.

封闭状态冷凝水产量的累计值(m_a),如图 8 所示.由图 8 可知:C 箱冷凝水累计量变化很小,其次是 B 箱,最后是 A 箱.在 17:00 前, A 箱冷凝水产生量远高于 B,C 箱,说明内贴多孔材料吸、放湿对冷凝水产生量有不同程度的影响,材料吸、放湿能力越大,持续产生冷凝水时间越长,总的冷凝水量也越大.

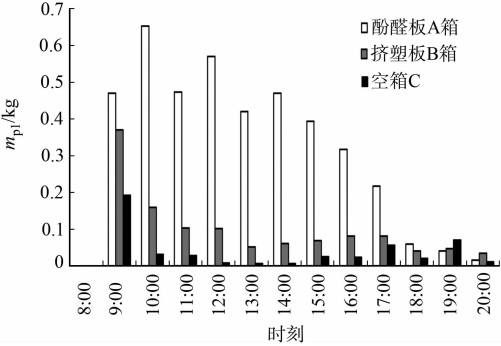


图 7 封闭状态每小时冷凝水产量

Fig. 7 Condensate yield per hour in closed state

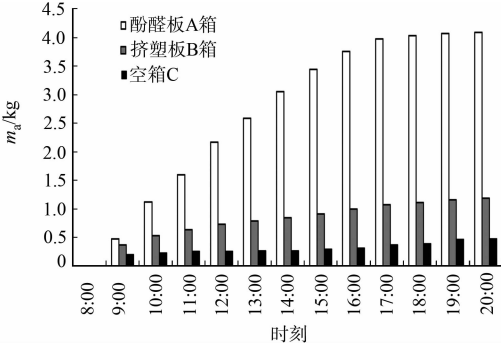


图 8 封闭状态冷凝水产量的累计值

Fig. 8 Accumulative value of condensate in closed state

2.3 换气态集装箱冷凝水产生量

维持新风换气量约为 $30\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, 在换气状态下, 3 个集装箱内、外空气温度和相对湿度的变化, 如图 9, 10 所示. 换气状态下, 空气含湿量的变化, 如图 11 所示.

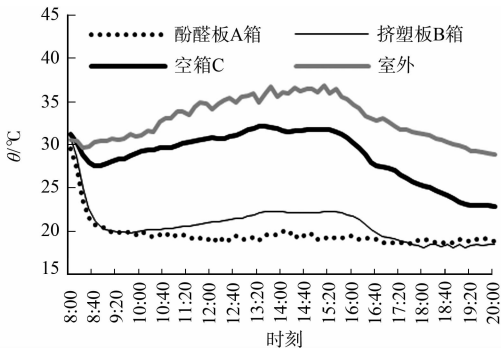


图 9 换气状态空气温度的变化

Fig. 9 Air temperature variation with ventilation

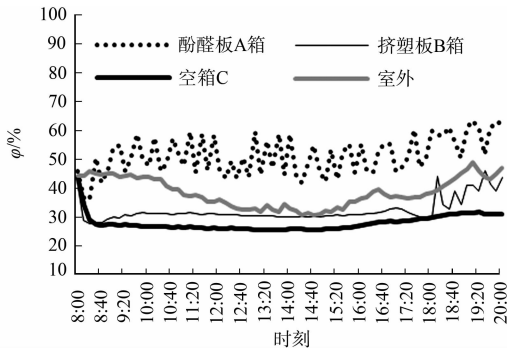


图 10 换气状态空气相对湿度的变化

Air relative humidity variation with ventilation

对比图 4, 9 可知: 换气状态的室外气温较封闭状态时高, B 箱在白天高温时段制冷能力稍显不足, 温度不能维持在设定值 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, 而 A 箱仍然能维持在设定值. 对比图 5, 10 可知: 换气状态下, 室外空气相对湿度远小于封闭状态. 对比图 6, 11 可知: 换气状态下, 室外空气含湿量(平均值为 $11.8\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)远小于封闭状态室外空气含湿量($18.7\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$). 对比图 4~6 与图 9~11 可知: 换气状态下, 3 个集装箱室内温、湿度及含湿量的变化与封闭状态时相似.

换气状态下, 每隔 2 h 测得的冷凝水量(m_{p2}), 如图 12 所示. 换气状态下, 冷凝水量的累计值, 如图 13 所示. 由图 12, 13 可知: B, C 箱的冷凝水累计量随着时间变化呈线性增加关系, 但 A 箱在午后却呈减小趋势. 对比图 8, 13 可知: 在换气状态下, A 箱的冷凝水累计量减少. 原因在于, 换气状态下, 室外空气含湿量小, 使酚醛板在空调运行前含湿量减少.

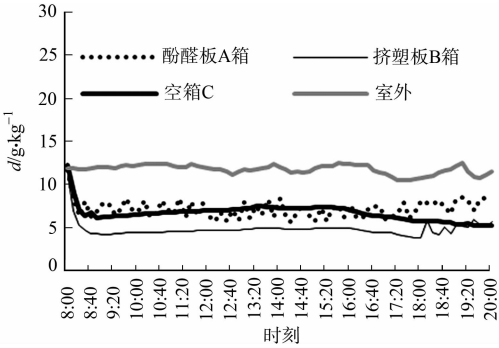


图 11 换气状态空气含湿量变化

Fig. 11 Air moisture content variation of airy state

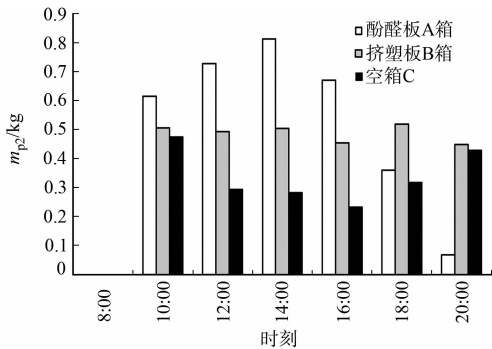


图 12 换气状态每 2 h 的 冷凝水量

Fig. 12 Condensate yield per 2 hours with ventilation

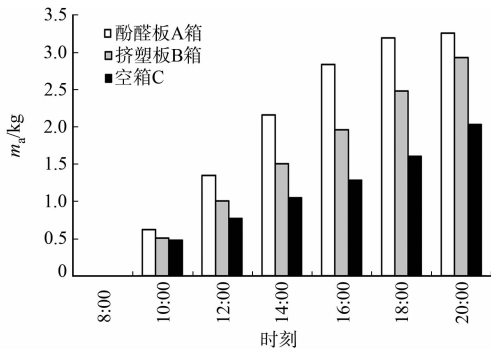


图 13 换气状态冷凝水量的累计值

Fig. 13 Accumulative value of condensate with ventilation

3 隔热材料放湿量推算对比分析

空调冷凝水产生量受各种因素的影响. 当集装箱封闭态、无内贴材料时, 其冷凝水只来源于箱内原有湿空气; 当集装箱封闭态、有内贴材料时, 其冷凝水来源于箱内原有湿空气及内贴材料放湿; 当集装箱处于换气状态, 其冷凝水来源于箱内原有湿空气降温、内贴材料放湿和室外新风降温. 通过实测数据可

以计算各项来源的冷凝水量,从而分析材料放湿对空调冷凝水量的影响. 冷凝水产生量的计算式为

$$m = \rho V \cdot (d_w - d_N) \cdot 10^{-3}. \tag{1}$$

式(1)中: m 为冷凝水产生量, $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$; ρ 为新风密度, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; V 为新风体积, $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$; d_w 为室外空气含湿量, $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$; d_N 为室内空气含湿量, $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$.

利用式(1)可估算室外新风降湿产生的冷凝水量,通过始态与终态箱内空气含湿量差值,可估算室内空气降湿产生的冷凝水量. 因此,内贴材料放湿量一方面可通过实测冷凝水量进行推算,另一方面又可根据材料干基含湿量变化进行估算,如表 3 所示,从而对比隔热材料放湿对空调冷凝水量的影响.

表 3 空气降湿量计算及隔热材料放湿量推算

Tab. 3 Air dehumidification calculation and moisture desorption of heat insulation materials calculation

状态	箱名	室内空气 降湿计算/kg	室外新风 降湿计算/kg	实测冷凝 水量/kg	实测推算材料 放湿量/kg	材料干基含 湿量变化/%	干基含湿量变化 推算材料放湿量/kg
封闭态	C	0.507	—	0.470	—	—	—
	B	0.408	—	1.191	0.783	1.6~0.8	0.813
	A	0.271	—	4.094	3.823	12.8~10.1	3.899
换气态	C	0.231	2.073	2.028	—	—	—
	B	0.145	2.840	2.927	-0.058	0.5~0.3	0.020
	A	0.087	1.890	3.256	1.279	8.6~7.7	1.300

由表 3 可知:隔热材料吸、放湿对冷凝水产生量影响显著. 在集装箱封闭状态下,空箱 C 冷凝水产生量最少,仅为 0.470 kg;其次是挤塑板 B 箱,为 1.191 kg;最后是酚醛板 A 箱,为 4.094 kg. 其中,挤塑板放湿量占 B 箱冷凝水总量的 67%;酚醛板放湿量占 A 箱冷凝水总量的 94%. 在换气状态下,空箱 C 冷凝水产生量仍最少,为 2.028 kg;其次是挤塑板 B 箱,为 2.927 kg;最后是酚醛板 A 箱,为 3.256 kg. 计算换气态下隔热材料放湿量占比,挤塑板几乎无吸、放湿;酚醛板放湿量占 A 箱冷凝水总量的 40%. 由此可见,隔热材料吸、放湿性能越好,冷凝水总量越大,隔热材料放湿量占空调冷凝水总量的比值越大;随着新风的加入,隔热材料放湿量占冷凝水总量的比值变小,材料放湿的影响相较于封闭态时减弱.

封闭状态下,空箱 C 的冷凝水来源于室内空气降湿,计算值与实测值相差 0.037 kg,主要原因是管道润湿与残留;空调运行前、后,挤塑板试样的干基含湿量由 1.6%降低至 0.8%,由此推算隔热材料放湿量为 0.813 kg,与实测推算材料放湿量 0.783 kg 较为接近;空调运行前、后,酚醛板试样的干基含湿量由 12.8%降低至 10.1%,由此推算材料放湿量为 3.899 kg,与实测推算材料放湿量 3.823 kg 较为接近. 换气状态下,空箱 C 冷凝水来源于室内、外空气降湿,计算值与实测值存在误差,原因是管道少量残留和空调冷量不足,回风将蒸发盘管上的冷凝水带回室内;空调运行前、后,挤塑板试样的干基含湿量由 0.5%降低至 0.3%,由此推算材料放湿量为 0.020 kg,即 B 箱几乎不产生冷凝水,实测推算材料放湿量为 -0.058 kg,两者结果较为相符;空调运行前、后,酚醛板试样的干基含湿量由 8.6%降至 7.7%,由此推算材料放湿量为 1.300 kg,与实测推算材料放湿量 1.279 kg 较为接近.

此外,若将冷凝水管道润湿及残留量 0.037 kg 计入各箱的实测冷凝水量,则通过干基含湿量变化推算材料放湿量与实测推算材料放湿量的一致性更高. 因此,可对吸、放湿材料始态与终态干基含湿量进行测定并计算,结合室内空气降湿与室外新风降湿,从而估算空调冷凝水产生量.

4 结论

- 利用足尺集装箱内贴酚醛板与挤塑板隔热材料,通过实测得到以下 4 点结论.
- 1) 采用封闭空箱热扰动法测量和评价酚醛板的调湿性能,测得酚醛板吸、放湿性能较好,而挤塑板几乎不具备吸、放湿性能.
 - 2) 在封闭状态下,内贴酚醛板的集装箱产生的冷凝水量是内贴挤塑板集装箱的近 4 倍,是无隔热材料集装箱的近 8 倍;酚醛板放湿量占 A 箱冷凝水总量的 94%,挤塑板放湿量占 B 箱冷凝水总量的 67%,即材料吸、放湿性能越好,冷凝水总量越大,材料放湿量占空调冷凝水总量的比值越大.
 - 3) 在民用建筑最小新风量 $30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 下,空调冷凝水产生量同时受新风量与内贴材料吸、放湿的

影响. 内贴酚醛板的集装箱冷凝水产生量较内贴挤塑板的集装箱增加 11%, 较无隔热材料的集装箱增加 60%; 酚醛板放湿量占 A 箱冷凝水总量的 40%, 挤塑板几乎无吸、放湿, 材料放湿对冷凝水量的影响相较于封闭状态时减弱.

4) 室内隔热材料吸、放湿对于空调冷凝水产生量有重要影响, 现行冷凝水计算公式中需加入吸、放湿的影响因子, 基于冷凝水实测量和材料干基含湿量变化推算材料放湿量, 两者具有一致性. 因此, 可对吸放湿材料始态与终态干基含湿量进行测定并计算, 结合室内空气降湿与室外新风降湿, 从而估算空调冷凝水产生量.

参考文献:

[1] FRANK L, PAINTER P. Condensate harvesting from large dedicated outside air-handling units with heat recovery [J]. ASHRAE Transactions, 2009, 115(2): 573-580.

[2] LICINA D, SEKHAR C. Energy and water conservation from air handling unit condensate in hot and humid climates [J]. Energy and Buildings, 2012, 45: 257-263. DOI: 10. 1016/j. enbuild. 2011. 11. 016.

[3] GUZ K. Condensate water recovery[J]. Sustainability, 2005, 47(6): 54-56.

[4] 陈鹏, 卢军, 张惠民, 等. 分体空调冷凝水回收利用实验研究[J]. 土木建筑与环境工程, 2012(增刊 2): 169-172.

[5] 金听祥, 张彩荣. 冷凝水在家用空调中回收利用技术的研究进展[J]. 低温与超导, 2016, 44(1): 41-45.

[6] 陈楠, 申江, 邹同华. 房间空调器冷凝水的利用与节能[J]. 暖通空调, 2003, 33(2): 117-118. DOI: 10. 3969/j. issn. 1002-8501. 2003. 02. 036.

[7] 肖洪海, 张桃, 谭成斌. 小型分体式空调器冷凝水利用与节能实验探索与研究[C]// 第三届制冷空调新技术研讨会. 杭州: 中国制冷学会, 2005: 470-473.

[8] 魏燕, 胡永海. 空调冷凝水作为饮用水的回收利用[J]. 节能, 2008, 27(3): 41-43. DOI: 10. 3969/j. issn. 1004-7948. 2008. 03. 014.

[9] 梁仁建. 空调冷凝水回收利用技术应用与分析[J]. 广东轻工职业技术学院学报, 2009, 8(2): 13-15. DOI: 10. 3969/j. issn. 1672-1950. 2009. 02. 004.

[10] 张东放. 空调冷凝水的分析与再利用[J]. 建筑节能, 2010, 38(5): 75-77. DOI: 10. 3969/j. issn. 1673-7237. 2010. 05. 007.

[11] 万丽霞, 陈刚, 李惠敏. 分散式空调冷凝水的回收与节能利用探讨[J]. 建筑节能, 2012(4): 23-25. DOI: 10. 3969/j. issn. 1673-7237. 2012. 04. 005.

[12] 韩靖, 王柯酣. 空调冷凝水回收利用初探[J]. 山西建筑, 2013, 39(29): 118-119. DOI: 10. 3969/j. issn. 1009-6825. 2013. 29. 063.

[13] 赖晓波. 家用空调冷凝水回收装置探讨[J]. 商品与质量, 2014(10): 86.

[14] 魏留柱. 家用空调冷凝水回收利用技术研究[C]// 中国家用电器技术大会. 合肥:《电器》杂志社, 2017: 374-378.

[15] 任晶. 高校教室空调冷凝水生成量及其窗台绿化降温效果研究[D]. 厦门: 华侨大学, 2018.

[16] 陈文静, 杨营, 廖军睿, 等. 夏季空调冷凝水回收利用技术及实践分析[J]. 科技资讯, 2017, 15(26): 88-89. DOI: 10. 16661/j. cnki. 1672-3791. 2017. 26. 088.

[17] 高峰, 周国民, 王运平. 空调季冷凝水回收量的动态计算方法[J]. 建筑节能, 2017(6): 7-9. DOI: 10. 3969-j. issn. 1673-7237. 2017. 06. 002.

[18] 冉茂宇, 袁炯炯. 调湿材料吸放湿性能的测试方法[J]. 暖通空调, 2006, 36(4): 10-16. DOI: 10. 3969/j. issn. 1002-8501. 2006. 04. 003.

[19] 张婷婷, 冉茂宇, 任晶, 等. 玻璃棉等温吸湿曲线测试及其最适拟合分析[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2018, 39(2): 205-209. DOI: 10. 11830/ISSN. 1000-5013. 201703077.

[20] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 建筑材料及制品的湿热性能吸湿性能的测定: GB/T 20312—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.

(责任编辑: 黄晓楠 英文审校: 方德平)