

多因素影响下的转轮热湿及 VOC 耦合吸附特性研究

郝红,宋忻怡,张译丹,张海龙

(沈阳建筑大学市政与环境工程学院,辽宁 沈阳 110168)

摘要 目的 研究不同影响因素下转轮的热湿和挥发性有机化合物(VOC)耦合吸附净化的效果,以期实现同时对室内空气进行净化 and 除湿.方法 建立热湿及 VOC 耦合吸附数学模型,利用 VB 编制程序,对转轮热湿及 VOC 耦合吸附特性及各因素影响规律进行仿真模拟.结果 水分脱附的效果随着被吸附空气进口湿度的增大而提升,但是被吸附空气进口湿度的变化对于甲苯的吸附净化和脱附没有影响;被吸附空气进口处的温度越高,对水分和 VOC 的吸附和再生越有不利影响;在不同的被吸附空气的甲苯质量浓度条件下,甲苯自身的吸附和脱附效果会产生相应的变化;再生空气进口处的湿度有一定程度增大时,水分的脱附会受到一定的影响,不利于空气的除湿.但同样情况下的再生空气,对甲苯的吸附和脱附有明显的促进作用;此外,如果增加再生空气进口处的温度值,对于空气中水分和 VOC 的吸附和脱附有明显促进作用.结论 除湿转轮可以降低室内空气湿度,同时对 VOC 也有很好的净化能力.转轮热湿及 VOC 的耦合吸附可以提高室内的空气品质.

关键词 净化;除湿;VOC;耦合吸附;模拟

中图分类号 TU023; TB6

文献标志码 A

Study on Thermo-moisture and VOC Coupling Adsorption Characteristics of Runner under the Influence of Multiple Factors

HAO Hong, SONG Xinyi, ZHANG Yidan, ZHANG Hailong

(School of Municipal and Environmental Engineering Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168)

Abstract: In order to achieve simultaneous indoor air purification and dehumidification, the thermal wet and VOC coupled adsorption purification performance of the runner was studied. A mathematical model of coupled adsorption of heat, moisture and VOC was established. The coupled adsorption characteristics for heat and moisture of runner, VOC, and the influence law of each factor were

收稿日期:2018-12-03

基金项目:国家自然科学基金项目(51308353);住房和城乡建设部科技攻关项目(2017-R1-006)

作者简介:郝红(1977—),女,副教授,博士,主要从事室内空气品质净化和除湿空调方面研究.

simulated by VB program. The effect of water desorption increases with the increase of the humidity of the adsorbed air inlet, but the change of the humidity of the adsorbed air inlet has no effect on the adsorption purification and desorption of toluene. The higher the air inlet temperature after treatment, the more adversely affects the adsorption and regeneration of water and VOC. The adsorption and desorption effect of toluene will change under different mass concentration of toluene in the adsorbed air. When the humidity at the inlet of regeneration air increases to a certain extent, the desorption of water will be affected, which is not conducive to the dehumidification of air and is obviously promoted to the adsorption and desorption of toluene; In addition, if the temperature value at the inlet of regeneration air is increased, the absorption and removal of moisture and VOC in the air will be obviously promoted. So the dehumidification wheel can reduce the indoor air humidity, at the same time, it has a good purification capacity for VOC. The coupling adsorption of wheel heat and humidity and VOC can improve the indoor air quality.

Key words: purification; dehumidification. ; VOC; coupling adsorption; simulation

室内空气品质的研究包括除湿与空气品质的提升. 除湿转轮可以降低室内空气湿度, 同时对挥发性有机化合物 (Volatile Organic Compounds, VOC)^[1-3] 也有很好的净化能力. 冯青等^[4]建立了转轮热湿耦合吸附的二维传热传质数学模型^[5-11], 通过求解控制方程, 编制 RDEH 程序进行模拟, 模拟结果与 Pla-Barby 和 Vliet^[12] 的实验数据比较, 验证了模型的正确性. 美国 D. J Close 和 P. J Banks^[13]采用非线性模拟方法对多孔介质中传热传质过程进行了分析, 并对硅胶空气干燥器的性能进行了预测. 李守信等^[14]研究了活性炭对甲苯废气的吸附性能, 实验表明所有活性炭对甲苯有很好的净化效果. 张舸^[15]在研究中对硅胶转轮的空气净化能力进行了实验, 结果证明硅胶转轮具有显著的净化空气的能力. 然而关于热湿和 VOC 耦合吸附的研究较少. 多孔吸附材料可以同时满足除湿和吸附 VOC 等污染物的需要^[16-17]. 因此, 笔者对转轮的热湿和 VOC 耦合吸附净化性能进行研究, 以期同时实现室内空气的净化和除湿.

1 仿真模型的建立

1.1 数学模型

建立沿流动方向固体侧热质扩散影响的

二维热湿^[10]和 VOC 耦合吸附数学模型. 由于空气中 VOC 的含量远远低于水分的含量, 所以 VOC 吸附热的影响忽略不计, 模型中只考虑水分的吸附热. 二维热湿^[18-20]和 VOC 耦合吸附数学模型包括热量、水分和各 VOC 污染物的控制方程及吸附平衡方程. 笔者建立转轮热湿及 VOC 耦合吸附数学模型.

对于所建立的数学模型, 给出以下初始条件和边界条件进行求解.

(1) 空气初始条件

除湿区:
$$\begin{cases} 0 \leq \Phi < 2\pi - \Phi_R, \\ D(\Phi, Z, 0) = D_1, \\ t(\Phi, Z, 0) = t_1, \\ C(\Phi, Z, 0) = C_1. \end{cases} \quad (1)$$

式中: D_1 为被吸附空气进口处的含湿量; t_1 为被吸附空气进口处的温度; C_1 为被吸附空气进口处的 VOC 质量浓度.

再生区:
$$\begin{cases} 2\pi - \Phi_R \leq \Phi < 2\pi, \\ D(\Phi, Z, 0) = D_2, \\ t(\Phi, Z, 0) = t_2, \\ C(\Phi, Z, 0) = C_2. \end{cases} \quad (2)$$

式中: D_2 为再生空气的进口处的含湿量; t_2 为再生空气进口处的温度; C_2 为再生空气

的进口处的 VOC 质量浓度.

(2) 吸附剂初始条件

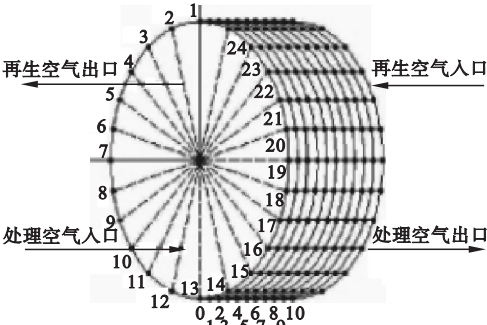
$$\begin{cases} W(\Phi, Z, 0) = W_0, \\ t_d(\Phi, Z, 0) = t_0, \\ S(\Phi, Z, 0) = S_0. \end{cases} \quad (3)$$

式中: W_0 为吸附剂的初始的水分吸附率;
 t_0 为吸附剂初始温度; S_0 为吸附剂初始 VOC 质量浓度.

(3) 边界条件

除湿区:
$$\begin{cases} 0 \leq \Phi < 2\pi - \Phi_R, \\ D_m = D_1, t = t_1, C_m = C_1; \end{cases} \quad (4)$$

再生区:
$$\begin{cases} 2\pi - \Phi_R \leq \Phi < 2\pi, \\ D_m = D_2, t = t_2, C_m = C_2. \end{cases} \quad (5)$$



(a) 计算区域离散示意图

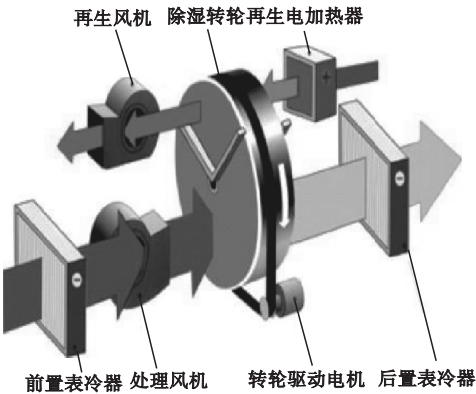
(4) 周期性边界条件:

$$\begin{cases} D(0, Z, \tau) = D(2\pi, Z, \tau), \\ t(0, Z, \tau) = t(2\pi, Z, \tau), \\ C(0, Z, \tau) = C(2\pi, Z, \tau), \\ W(0, Z, \tau) = W(2\pi, Z, \tau), \\ t_d(0, Z, \tau) = t_d(2\pi, Z, \tau), \\ S(0, Z, \tau) = S(2\pi, Z, \tau). \end{cases} \quad (6)$$

一般情况下,为了能够实现比较好的效果,被吸附空气和再生空气均为逆向流动,因此,分别选定 $Z=L$ 和 $Z=0$ 的两个截面作为被吸附空气以及再生空气的进口处的截面.

1.2 物理模型

图 1 为计算区域网格的生成与节点布置.



(b) 轮转空调装置示意图

图 1 转轮空调工作原理图

Fig. 1 The diagram for Rotary air conditioning working priciple

在计算区域选择有限差分法对方程进行离散求解.虚线为网格线,黑点为节点.按照疏密程度适当地对网格区域进行区分,最后可以得到 24 个子区域,1-24 号点为对应周向点;其中 1-6 是再生区,7-24 为吸附区. Z 向(轴向)划分为 10 个子区域,对应轴向点 0-10 号点.

2 数值模拟及结果分析

数值模拟中选择的参数工况为:被吸附空气的进口温度为 30 ℃,湿度为 0.013 kg/kg, VOC 选取甲苯,被吸附空气进口处的甲苯质量浓度设定为 500 μg/m³,同时把数值模拟中的再生空气的进口处温度调节到70 ℃,再

生空气的湿度调节到 0.013 kg/kg,再生空气进口处的甲苯质量浓度调节到10 μg/m³.在实际空气中,VOC 的质量浓度很低,一般以微量和痕量水平出现^[19],大多数为 50 ~ 1.0 mg/m³.所以笔者选取的甲苯质量浓度为 300 μg/m³, 500 μg/m³, 700 μg/m³, 900 μg/m³.

2.1 被吸附空气进口湿度的影响

图 2 为被吸附空气进口湿度分别为 0.01 kg/kg,0.013 kg/kg 和 0.016 kg/kg 情况下的吸附区及再生区出口的温度及平均温度的变化图.从图 2 可以看出:当被吸附空气进口处的湿度存在一定差异时,吸附区及再生区空气的温度、平均温度也有所不同.对于

吸附区,空气进口处的空气湿度正向变化,那么经过吸附的空气在出口处的温度也会正向变化;被吸附空气进口处的湿度越高,再生空气出口温度越低.这是由于被吸附空气进口湿度越大,吸附剂吸附的水分越多,离开吸附区吸附剂的温度也就越低,水离开吸附剂后会进入空气层,吸附质在此过程中将会获得吸附热,因此被吸附空气的出口温度升高,再生空气的温度相应降低.

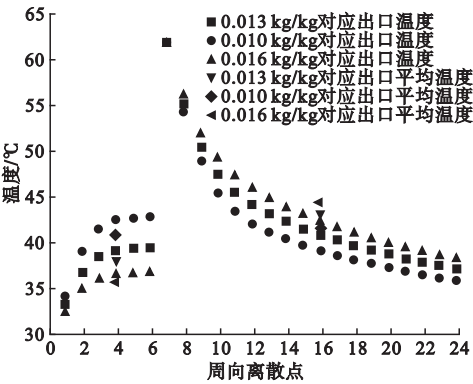


图2 空气进口湿度对吸附区及再生区周向出口处的温度、平均温度的影响

Fig. 2 The temperature and mean temperature of circumferential outlet of treatment area and regeneration zone under different air inlet humidity

图3为被吸附空气进口湿度分别为0.01 kg/kg, 0.013 kg/kg 和 0.016 kg/kg 情况下的吸附区及再生区出口的湿度及平均湿度的变化图.从图3可以看出:对于吸附区,被吸附空气进口处的湿度越高,其出口处的湿度、平均湿度也会出现显而易见的升高现象,进一步验证,在同等条件下,出口湿度会随着进口湿度的变化而变化,在某种程度上,这种现象遵循线性规律.此外,对再生区的空气来说,被吸附空气在进口处的湿度越高,相对应的出口处的湿度也就越高,这是因为被吸附空气在进口处的湿度高,出口处空气的相对湿度也会高,所以空气中水蒸气的分压将接近饱和和水蒸气的分压,导致空气层的压

差的增加,表面的吸收剂和除湿的驱动力增大.结果表明,被吸附空气进口处的湿度的增大有利于水的脱附.

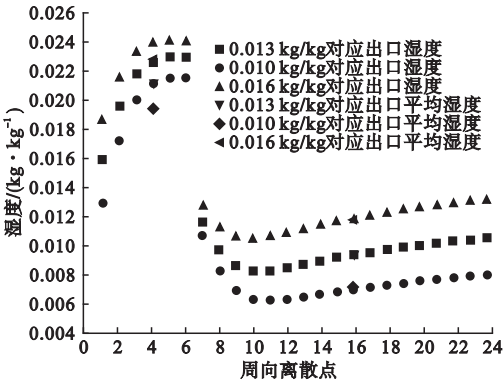


图3 空气进口湿度对吸附区及再生区周向出口处的湿度、平均湿度的影响

Fig. 3 Humidity and average humidity at circumferential outlet of treatment area and regeneration area under different air inlet humidity

图4为在0.01 kg/kg、0.013 kg/kg 以及 0.016 kg/kg 湿度的条件下,再生区出口处的甲苯质量浓度和甲苯平均质量浓度的变化曲线.从图4可以看出:对于吸附区,被吸附空气进口处的湿度越大,出口处的甲苯质量浓度就会随之越高,也就说明净化的效果越不理想;对于再生区来说,被吸附空气进口处的湿度越大,出口处的甲苯质量浓度反而越小,即再生充分度越低.原因是由于吸附剂之间存在吸附竞争,因此水含量的增加会影响甲

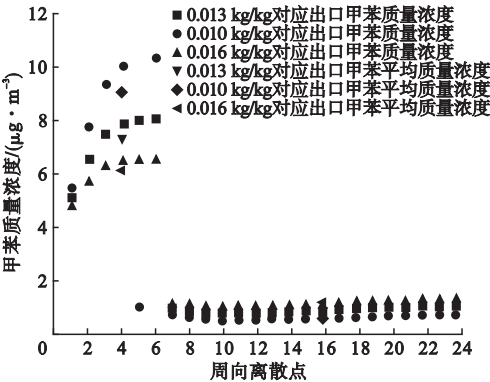


图4 空气进口湿度对吸附区及再生区周向出口处的甲苯质量浓度、甲苯平均质量浓度的影响

Fig. 4 The circumferential concentration and the average concentration of toluene at outlet of treatment area and regeneration area under different inlet humidity of treated air

苯的吸附,同样的甲苯再生也会受到水解析的影响,导致甲苯出口处的质量浓度下降。

在吸附区的进口处相应增加空气的湿度,有利于提升吸附区空气的水分脱附效果。但是,由于不同的吸附剂之间存在相互竞争的关系,被吸附空气进口处的湿度做相应的提高时,会对甲苯的吸附和脱附有抑制效果。

2.2 被吸附空气进口温度的影响

图5为被吸附空气进口温度分别为25℃,30℃和35℃情况下的吸附区及再生区周向出口的温度及平均温度变化图。从图5可以看出:对于吸附区来说,被吸附空气进口处的温度越高,出口处的空气温度就会相应越高,出口处的平均温度也就会随之越高;对于再生区而言,被吸附空气进口处的温度越高,出口处的空气温度就越高,相对应的出口处的平均温度也就会越高。这是因为被吸附空气的进口温度越高,空气的除湿量差值就越小,吸附剂的吸附量也就会越小,相对应的吸附热就会减小,所以出口的空气温度会增加。

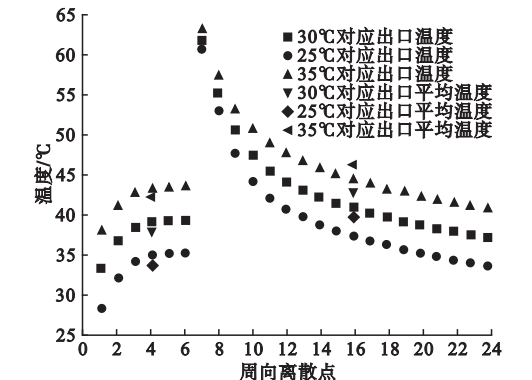


图5 空气进口温度对吸附区及再生区的周向出口处的温度、平均温度的影响

Fig. 5 The temperature and mean temperature of circumferential outlet of treatment zone and regeneration zone at different air inlet temperatures

图6为被吸附空气进口温度分别为25℃,30℃和35℃情况下的吸附区及再生区周向出口的湿度及平均湿度变化图。从图6可以看出:对于吸附区来说,被吸附空气进口处的温度升高,会导致经过吸附的空气在出口处的湿度出现同样升高的变化;并且相

对于再生区的空气来说,如果被吸附空气在进口处的温度越高,相对应的出口的空气质量湿度反而越小,这是因为被吸附空气在吸附进口处的温度升高时,空气的相对湿度就会相应的降低,空气中的饱和水气分压也会相应的升高,在这种不饱和的空气状态下,不利于空气的除湿。因此,被吸附空气进口处的温度越高,越不利于水的吸收和再生。

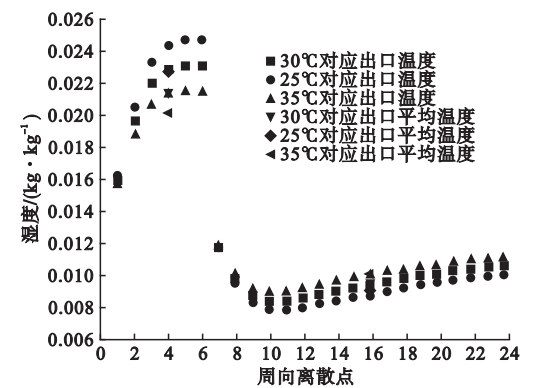


图6 被吸附空气的进口温度对吸附区及再生区的周向出口处的湿度、平均湿度的影响

Fig. 6 Humidity and mean humidity at the outlet in the treatment zone and the regeneration zone at different treatment air inlet temperatures

图7为被吸附空气进口温度分别为25℃,30℃和35℃情况下的吸附区及再生区周向出口的甲苯质量浓度及甲苯平均质量浓度变化图。从图7可以看出:对于吸附区,

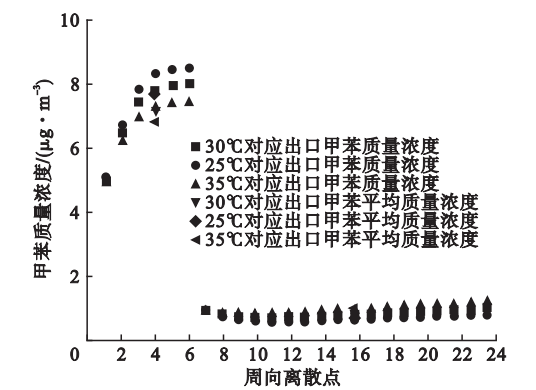


图7 空气进口的温度对吸附区及再生区的周向出口处的甲苯质量浓度、甲苯平均质量浓度的影响

Fig. 7 The mass concentration of toluene and the average mass concentration of toluene at different inlet temperatures of the treated air and the circumferential direction of the treatment area and the regeneration area

被吸附空气进口处的温度升高,出口处的空气甲苯的质量浓度就会升高,即当被吸附空气进口处的温度处于升高的状态,对 VOC 的净化效果有明显的负面影响.再生区域内的再生空气受到被吸附空气进口处的空气温度的影响,如果空气温度升高,出口处的空气中甲苯的质量浓度就会下降,也就是说被吸附空气进口处的温度的升高不利于 VOC 的再生.被吸附空气进口温度的升高,对于水分和 VOC 的吸附和再生有不利影响.

2.3 被吸附空气进口处的甲苯质量浓度的影响

图8为被吸附空气在设备进口处的甲苯质量浓度分别为 $300\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$, $500\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$, $700\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$, $900\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 情况下的吸附区及再生区周向出口的温度及平均温度变化图.从图8可以看出:在不同的被吸附空气进口甲苯质量浓度条件下,被吸附空气出口处的温度变化不大,模拟温度所显示的差值处于 $\pm 0.03\text{ }^\circ\text{C}$ 之间,这种现象表明,空气进口处的甲苯质量浓度的变化对被吸附空气的温度所起的作用不明显,可以忽略不计.

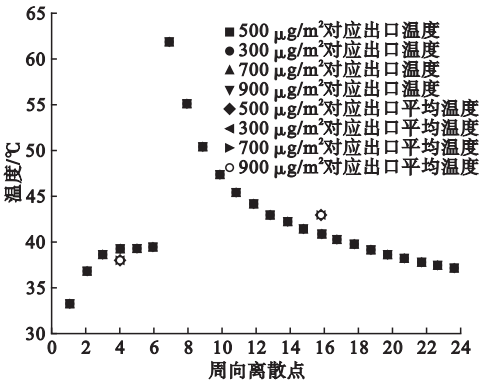


图8 空气进口甲苯质量浓度对吸附区及再生区的周向出口处的温度、平均温度的影响

Fig. 8 The temperature and average temperature of circumferential outlet of treatment zone and regeneration zone under different inlet toluene concentration in treated air

图9为被吸附空气进口甲苯质量浓度分别为 $300\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$, $500\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$, $700\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$, $900\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 情况下的吸附区及再生区周向出

口的湿度及平均湿度变化图.从图9可以看出:被吸附空气在进口处的甲苯质量浓度不同时,经过模拟,与之匹配的吸附区的空气以及再生区的空气在出口处及沿周向的湿度和平均湿度差别不大,差值在 $2\times 10^{-5}\text{ kg}/\text{kg}$ 左右.也就是说,被吸附空气在进口处的甲苯质量浓度值,对于经过吸附的空气的除湿作用不明显,可以忽略不计.原因是空气中 VOC 的质量浓度远远低于水分的含量,所以在吸附剂吸附水分和 VOC 的过程中,水分更易于吸附,VOC 的质量浓度变化对除湿影响不大.

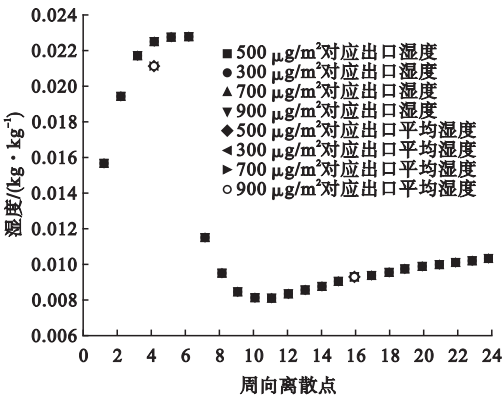


图9 被吸附空气进口甲苯质量浓度对吸附区及再生区的周向出口处的湿度、平均湿度的影响

Fig. 9 Humidity and average humidity at circumferential outlet of treatment area and regeneration zone under different inlet toluene concentration in treated air

图10为被吸附空气进口甲苯质量浓度分别为 $300\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$, $500\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$, $700\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$, $900\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 情况下的吸附区及再生区周向出口的甲苯质量浓度及甲苯平均质量浓度变化图.从图10可以看出:被吸附空气进口处的甲苯质量浓度变化,对除湿效果的影响不明显.这种变化对甲苯自身的吸附作用较为明显.也就是说,如果被吸附空气在进口处的甲苯浓度有所提高,那么与之相对应的出口质量浓度就越大;再生区进口处的甲苯质量浓度越大,相对应的再生区出口处的甲苯质量

浓度也就越大.

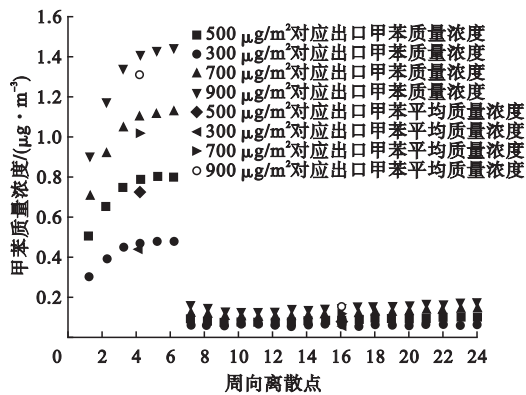


图 10 被吸附空气进口甲苯质量浓度对吸附区及再生区的周向出口处的甲苯质量浓度、甲苯平均质量浓度的影响

Fig. 10 Under different concentration of toluene in the purified air, the mass concentration of toluene and the average mass concentration of toluene at the peripheral outlet of the treatment area and the regeneration area

综合分析可得:在不同的被吸附空气进口处的甲苯质量浓度条件下,它对甲苯的吸附能力以及脱附能力都有不同的作用,对于吸附过程的水分而言,它对吸附作用和脱附影响都不大.

2.4 再生空气的进口湿度影响

图 11 为再生空气的进口湿度分别为 0.01 kg/kg, 0.013 kg/kg 和 0.016 kg/kg 情况下的吸附区及再生区周向出口的温度及平均温度变化图. 从图 11 可以看出:对于吸附区,再生空气进口处的湿度越大,相对应的空气出口处的温度就越小;对再生区,随着被吸附空气在进口处的湿度值的提升,与之相匹配的经过吸附的空气在出口处空气温度也是做相同的升高. 这是因为再生空气进口处的湿度越大,吸湿剂与再生空气的水蒸气分压力之差就会越大,所以对应吸湿剂的湿度也就越大,这说明:在吸附区中,空气的传热量减少,导致被吸附空气的出口温度减小. 对于再生区,进口湿度越大,相对湿度越大,传热量增加,所以再生区出口温度升高.

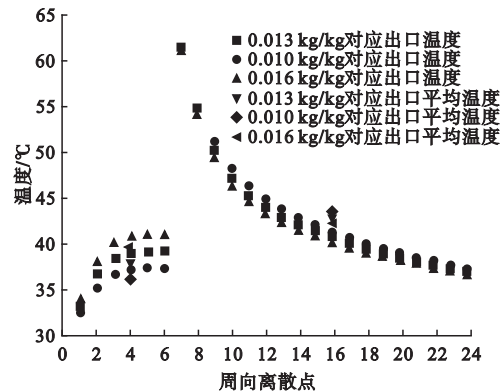


图 11 再生空气进口湿度对吸附区及再生区的周向出口处的温度及相应的平均温度的影响

Fig. 11 Temperature and average temperature at the circumferential outlet of the treatment area and the regeneration area at different regeneration air inlet humidity

图 12 为再生空气进口湿度分别为 0.01 kg/kg, 0.013 kg/kg, 和 0.016 kg/kg 情况下的吸附区及再生区周向出口的湿度及平均湿度变化图. 从图 12 可以看出:吸附区内再生进风口湿度越大,对应出风口湿度越大;再生区再生进风口湿度越大,对应的出风口湿度越大. 吸湿剂的再生过程从本质上来说就是吸湿剂的干燥过程. 水汽从吸湿剂向再生空气的传递功率是吸湿剂表面水汽压与再

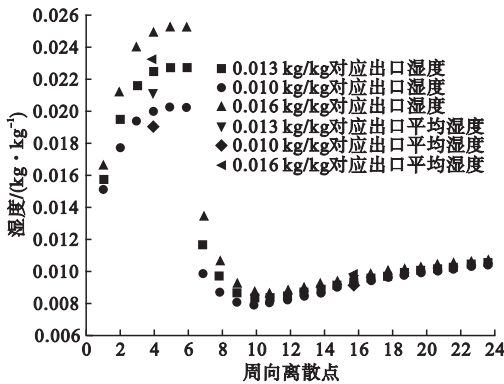


图 12 再生空气进口处的湿度对吸附区及再生区沿周向出口的湿度、平均湿度的影响

Fig. 12 Humidity and average humidity at circumferential outlet of treatment area and regeneration zones under different regenerated air inlet humidity

生空气表面水汽压的差值.再生空气的湿度越大,相对湿度也就随之越大.因此,水汽在空气中所含的分压值显著上升,会导致吸湿剂表面上的水汽在再生空气中的平衡分压差值偏弱,并且水分中的驱动力也会越来越小.得出的结论是,再生空气进口处湿度的增大不利于水的吸附.

图 13 为再生空气进口湿度分别为 0.01 kg/kg,0.013 kg/kg 和 0.016 kg/kg 情况下的吸附区及再生区周向出口的甲苯质量浓度及甲苯平均质量浓度变化图.从图 13 可以看出:对于吸附区,再生空气进口处的湿度越大,相对应的出口处的空气中所含的甲苯质量浓度会越小;但是,相对于再生区的空气来说,模拟数据表明,再生空气在进口处的湿度出现升高的变化时,出口处的空气的甲苯质量浓度就会随之升高,说明增大再生空气进口处的湿度会促进甲苯的吸附和脱附.

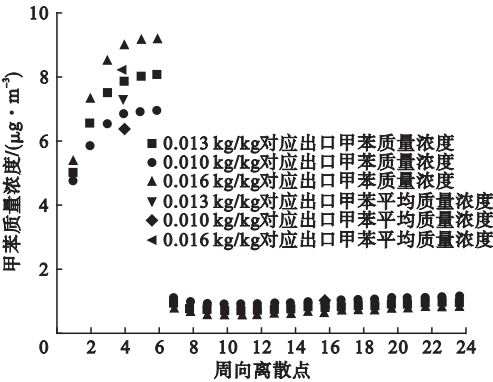


图 13 再生空气进口处的湿度对吸附区及再生区的周向出口处的甲苯质量浓度、平均甲苯质量浓度的影响

Fig. 13 Temperature and mean temperature at circumferential outlet of treatment zone and regeneration zone under different inlet humidity of regenerated air

综合分析可得:再生空气的进口湿度增大不利于水分的吸附,但是能促进对甲苯的吸附和脱附.

2.5 再生空气进口温度的影响

图 14 为再生空气进口温度分别为 60 ℃,70 ℃和 80 ℃情况下的吸附区及再生区周向出口的温度及平均温度变化图.从图

14 可以看出:相对于吸附区的空气而言,再生空气进口处的温度上升时,再生空气在出口处的温度也会呈现上升的趋势.这是由于再生空气的温度越高,对应空气的相对湿度越低.也就是说,不饱和的空气会增加,使再生的空气能更好地接受水蒸气.

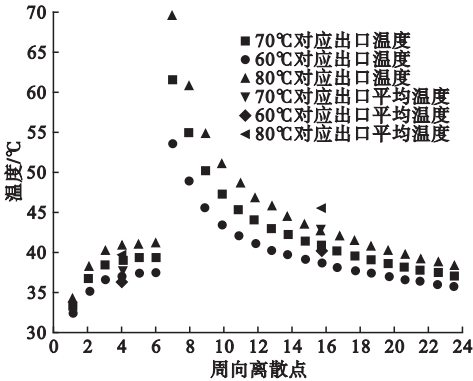


图 14 再生空气进口处的温度对吸附区及再生区的周口处的温度、平均温度的影响

Fig. 14 Temperature and mean temperature at circumferential outlet of treatment zone and regeneration zone at different regenerated air inlet temperatures

图 15 为再生空气进口温度分别为 60 ℃,70 ℃和 80 ℃情况下的吸附区及再生区周向出口的湿度及平均湿度变化图.从图 15 可以看出:吸附区再生空气进口处的温度越高,会导致再生空气在出口处的空气湿度越低;且再生区的再生空气进口处的温度上升时,再生空气在出口处的空气湿度也会随

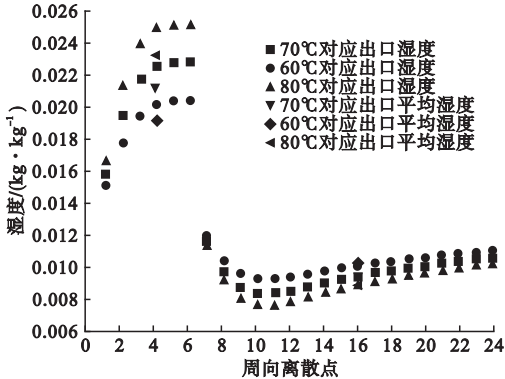


图 15 再生空气进口处的温度对吸附区及再生区的周口处的湿度、平均湿度的影响

Fig. 15 Humidity and average humidity at the circumferential outlet of the treatment and regeneration zones at different inlet temperatures of regeneration air

之升高,也就是说,再生空气进口温度的升高可以促进水的吸附和脱附。

图 16 为再生空气进口温度分别为 60℃、70℃和 80℃情况下的吸附区及再生区周向出口的甲苯质量浓度及甲苯平均质量浓度变化图。从图 16 可以看出:对于吸附区来说,再生空气进口处的温度如果上升,在吸附过程中,出口处的空气中的甲苯质量浓度会呈现与之相反的下降趋势;然而,相对于再生区的空气来说,如果吸附过程中再生空气进口处的温度呈上升趋势,那么与之相应的出口处的空气中的甲苯质量浓度指数也会出现上升的趋势,由此得到的结论是,在空气吸附过程中,如果调整再生空气进口处的温度,使之升高,能够提升甲苯的吸附和脱附效果。

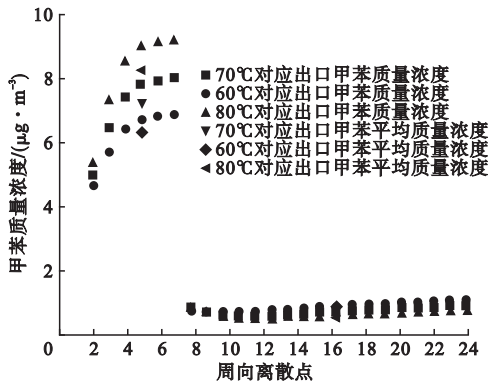


图 16 再生空气进口处的温度对吸附区及再生区的周口处的甲苯质量浓度平均、甲苯质量浓度的影响

Fig. 16 Temperature and mean temperature at circumferential outlet of treatment zone and regeneration zone at different inlet temperatures of regenerated air

综合分析可得:如果再生空气的进口处的温度呈现上升的趋势,会对空气中水分和 VOC 的吸附作用和脱附作用产生一定的正向影响。

3 结 论

(1) 被吸附空气的进口湿度提升,会对水分的脱附产生正面的影响. 并且,由于吸附

过程中不同吸附物质间存在相互竞争的关系,空气湿度的变化,会对甲苯的吸附和脱附起到抑制效果。

(2) 被吸附空气温度上升,会不同程度的影响到空气中的水分和 VOC 的吸附效果和再生效果。

(3) 在被吸附空气进口处的甲苯浓度不同的条件下,甲苯自身的吸附效果和脱附效果有所变化,另据模拟表明,这种变化对水的吸附作用和脱附作用不明显。

(4) 再生空气进口处的湿度增大对水分的吸附效果有不利影响,然而对甲苯的吸附和脱附有促进效果。

(5) 再生空气进口处的温度升高,对水分和 VOC 的吸附和脱附有促进效果。

参考文献

[1] 徐秋健. 室内 VOC 净化材料吸附与反应机理、特性及评价研究[D]. 北京:清华大学,2011.
(XU Qiujian. Research on the mechanism, characteristic and evaluation of adsorption and reaction for indoor VOC removal[D]. Beijing: Tsinghua University,2011.)
[2] 龙文露. 低浓度挥发性有机物在球形活性炭上的吸脱附研究[D]. 上海:华东理工大学,2013.
(LONG Wenlu. Adsorption and desorption of low-concentration volatile organic compounds on spherical activated carbon[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology,2013.)
[3] 仁奎. 转轮除湿空调系统性能及其能耗分析研究[D]. 镇江:江苏大学,2017.
(REN kui. Study on performance and energy consumption of desiccant wheel dehumidification air conditioning system[D]. Zhenjiang: Jiangsu University,2017.)
[4] 冯青,俞金娣,张鹤飞. 转轮式干燥剂除湿器数学模型及 RDEH 程序[J]. 太阳能学报,1994(3):209-217.
(FENG Qing, YU Jindi, ZHANG Hefei. The mathematical model of a rotary solid desiccant dehumidifier and the code RDEH[J]. Journal of solar energy,1994(3):209-217.)
[5] 吴宇锋. 太阳能直接作用固体除湿床的热湿传递机理研究[D]. 广州:广东工业大学,2016.
(WU Yufeng. Study on heat and moisture transfer mechanism for a solar direct effect solid dehumidification bed[D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology,2016.)

- [6] 王涛,胡晓微,胡涛涛.转轮除湿空调系统性能研究[J].绿色科技,2013(8):276-279.
(WANG Tao, HU Xiaowei, HU Taotao. Performance of dehumidifier air conditioning system[J]. Green technology, 2013(8):276-279.)
- [7] 王高飞.转轮除湿空调系统研究[D].广州:广州大学,2007.
(WANG Gaofei. Study on air-conditioning combined with rotary dehumidification[D]. Guangzhou:Guangzhou University, 2007.)
- [8] 李鹏越.转轮除湿系统的改进和节能设计[D].南京:南京航空航天大学,2014.
(LI Pengyue. Improvement and energy saving design of rotary dehumidification system[D]. Nanjing:Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2014.)
- [9] 葛天舒.转轮式两级除湿空调理论与实验研究[D].上海:上海交通大学,2008.
(GE Tianshu. Theoretical and experimental investigation on a two-stage rotary desiccant cooling system [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2008.)
- [10] 郝红,张于峰,卢建津,等.转轮除湿器的数学模型及性能研究[J].暖通空调,2005(12):57-61.
(HAO Hong, ZHANG Yufeng, LU Jianjin, et al. Mathematical model and performance of desiccant wheels [J]. HV&AC, 2005(12):57-61.)
- [11] 丁云飞,丁静,杨晓西.除湿转轮除湿性能及效率分析[J].广州大学学报(自然科学版),2008(1):37-41.
(DING Yunfei, DING Jing, YANG Xiaoxi. Analysis of performance and exergy of rotary wheel [J]. Journal of Guangzhou university (natural science edition), 2008(1):37-41.)
- [12] PLA-BARBY F E, VLIET G C. Rotary bed solid desiccant drying: An analytical and experimental investigation [J]. American society of mechanical engineers, 1979, 8:7-8.
- [13] CLOSE D J, BANKS P J. Coupled equilibrium heat and single adsorbate transfer in fluid flow through a porous medium-II predictions for a silica-gel air-drier using characteristic charts [J]. Chemical engineering science, 1972, 27: 1157-1169.
- [14] 李守信,宋剑飞,李立清,等.挥发性有机物化合物吸附技术的研究进展[J].化工环保,2008(1):1-7.
(LI Shouxin, SONG Jianfei, LI Liqing, et al. Research progresses in treatment technologies for volatile organic compounds [J]. Environmental protection of chemical industry, 2008(1):1-7.)
- [15] 张舸.硅胶转轮的空气净化能力研究[D].天津:天津大学,2007.
(ZHANG Ge. Study on the air cleaning effect of silica gel rotors [D]. Tianjin: Tianjin University, 2007.)
- [16] ZHANG L Z, NIU J L. Performance comparisons of desiccant wheels for air dehumidification and enthalpy recovery [J]. Applied thermal engineering, 2002, 22(12):1347-1367.
- [17] FANG L, ZHANG G, FANGER P O. Experimental investigation of the air cleaning effect of a desiccant rotor on perceived air quality [J]. Proceedings of indoor air, 2005, 22:2976-2980.
- [18] 郝红.除湿转轮与冷热联产热泵耦合式空调系统性能研究[D].天津:天津大学,2006.
(HAO Hong. Performance research of rotary wheel assisted heat pump air conditioning system [D]. Tianjin: Tianjin University, 2006.)
- [19] 李新.建筑材料对室内空气质量的影响及其评价[D].重庆:重庆大学,2004.
(LI Xin. Effect of building material on indoor air quality and its evaluation [D]. Chongqing: Chongqing University, 2004.)
- [20] 郝红,刘晓媛,于国鑫.基于PV/T和GHP再生的除湿转轮空调系统的仿真研究[J].建筑科学,2017,33(8):173-180.
(HAO Hong, LIU Xiaoyuan, YU Guoxin. The Simulation research of desiccant wheel air conditioning system regenerated by PV/T and GHP [J]. Architecture science, 2017, 33(8): 173-180.)

(责任编辑:徐玉梅 英文审校:唐玉兰)