

三角形翅片板翅式吸附床性能数值模拟研究

邓立生¹, 何兆红²

1. 城乡矿山集成技术研究室, 中国科学院广州能源研究所, 广州, 广东省, 中国
2. 城乡矿山集成技术研究室, 中国科学院广州能源研究所, 广州, 广东省, 中国

简介: 虽然吸附式制冷技术在节能与环保方面具有较大的优势, 但是因传热传质性能较差导致整个系统的制冷性能较低。吸附床换热器结构是影响吸附床传热传质性能的重要因素。目前, 吸附床换热器影响研究很少涉及板翅式矩形管换热器。



图 1. 板翅式换热器

计算方法: 该模型包含换热流体和管道翅片的能量方程, 以及吸附剂的能量守恒方程, 质量守恒方程和动量方程。

换热流体能量守恒方程:

$$k_f \nabla^2 T_f = \rho_f c_f \frac{\partial T_f}{\partial t} + \rho_f c_f v_f \nabla T_f + h_i (T_f - T_g)$$

换热器翅片及管壁能量守恒方程:

$$k_g \nabla^2 T_g + h_i (T_f - T_g) = \rho_g c_g \frac{\partial T_g}{\partial t} + h_g (T_g - T_s)$$

吸附剂多孔介质能量守恒方程:

$$0 = -k_s \nabla^2 T_s + (1 - \varepsilon) \rho_s c_s \frac{\partial T_s}{\partial t} + \rho_s c_s u \nabla T_s + h_g (T_s - T_g) + \varepsilon \rho_v c_v \frac{\partial T_s}{\partial t} - (1 - \varepsilon) \rho_s H \frac{\partial T_s}{\partial t} + (1 - \varepsilon) \rho_s c_s W \frac{\partial T_s}{\partial t}$$

吸附剂多孔介质动量方程由达西定律替代, 因此

蒸汽速度: $u = \frac{K_{APP}}{\mu} \nabla p$

K_{APP} 为吸附剂渗透率, 与吸附剂的固有渗透率以及制冷剂的流体物性有关[1]

换热流体与管道接触面的热传递:

$$-k_f \frac{\partial T_f}{\partial z} = h_i (T_f - T_g)$$

涂层吸附剂与管道接触面的热传递:

$$-k_i \frac{\partial T_s}{\partial z} = h_g (T_g - T_s)$$

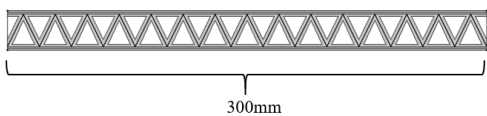


图 2. 板翅式吸附床模型

模型通过实验验证, 边界条件可参考文献[1]。

评价指标:

吸热量及制冷量 $Q_h = \int_0^t c_p (T_{in} - T_{out}) dt$ $Q_c = mWH$
能效及单位吸附剂质量制冷量 $COP = \frac{Q_c}{Q_h}$ $SCP = \frac{Q_c}{m\tau}$

结果:

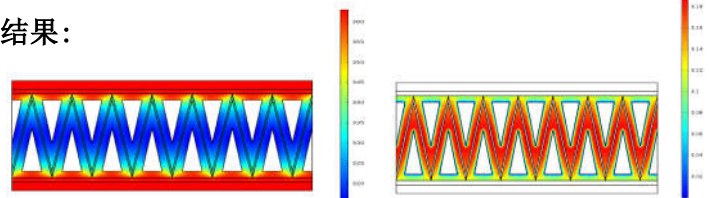


图 3. 10mm间距吸附床吸附剂温度及吸附量分布图 (t=30s)

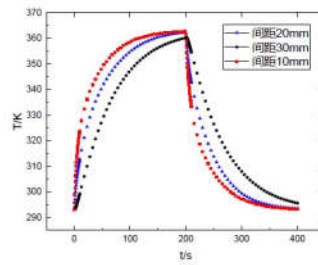


图 4. 不同间距吸附床吸附剂温度变化

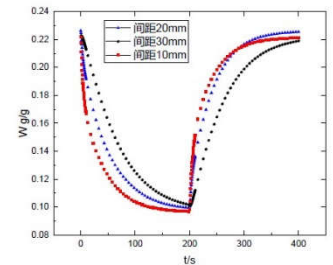


图 5. 不同间距吸附床吸附剂吸附量变化

表 1. 不同翅片间距吸附床性能评价

性能指标	间距/mm		
	10	20	30
SCP/ W/kg	674.3	665.6	636.2
COP	0.392	0.447	0.457

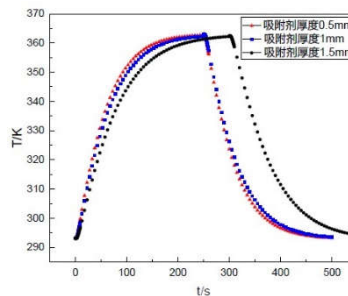


图 6. 不同吸附剂厚度吸附床吸附剂温度变化

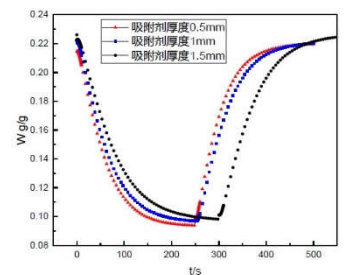


图 7. 不同吸附剂厚度吸附床吸附剂吸附量变化

表 2. 不同吸附剂厚度吸附床性能评价

性能指标	厚度/mm		
	0.5	1.0	1.5
SCP/ W/kg	815.1	798.72	665.6
COP	0.314	0.391	0.447

结论: 在其他条件相同的条件下, 随着翅片间距的增大和吸附剂层厚度的增加, SCP都随之降低, COP都随之增大; 发现吸附床的循环时间对SCP影响更为显著, 翅片间距20mm的三角形翅片板翅式吸附床拥有较好的制冷性能, 其SCP, COP分别为665.6W/kg、0.447。通过本文的数值模拟研究, 为开发新型吸附床提供参考。

参考文献:

1. 林勇军, 何兆红, 邓立生等, 不同板翅式涂层吸附床的性能研究, 化学工程, 47, 33-38 (2019)