

文章编号:1673-2049(2006)03-0076-05

太阳能固体吸附式转轮制冷机性能分析

郑爱平, 李建霞, 顾娟

(长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710061)

摘要:针对活性炭纤维-乙醇太阳能固体吸附式转轮制冷系统,采用沿吸附床周向的一维均匀压力场数学模型,对转轮吸附床温度场进行了静态模拟计算;从吸附床的内、外部特性参数出发,全面而系统地分析了这些参数的改变对系统性能、平衡脱附率以及吸附量的影响。结果表明,在转轮吸附床的内部参数中,转轮吸附床的转速、吸附剂的填充密度对系统的性能有着较大的影响;在其外部参数中,冷却气体入口流速、蒸发温度等因素对系统影响比较大。

关键词:太阳能;吸附制冷;转轮;活性炭纤维;乙醇;固体吸附

中图分类号:TU831.6

文献标志码:A

Performance Analysis of Solar Energy Solid Adsorption Rotary Refrigerator

ZHENG Ai-ping, LI Jian-xia, GU Juan

(School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, Shaanxi, China)

Abstract: For the solar energy solid adsorption rotary refrigeration system using activated carbon fiber-ethanol as its pair, one-dimensional uniform pressure field mathematical model along the circumference of adsorbent bed was adopted to carry out a static simulation calculation of the temperature field of the adsorption wheel bed. By considering the internal and external characteristic parameters of the adsorption bed, the influence from these parameters change being on system performance and the equilibrium desorption ratio and adsorbent mass effect was analyzed systemically and completely. The results show that among these internal parameters of the rotary wheel adsorption bed, the rotary speed and the density of the adsorbent stuffed have greater effect on the system performance; among the external parameters, the cooling gas velocity from the inlet and the evaporation temperature have much greater effect on the system.

Key words: solar energy; adsorption refrigeration; rotary wheel; activated carbon fiber; ethanol; solid adsorption

0 引言

根据太阳能驱动的转轮式吸附床传热、传质过程分析,采用沿吸附床周向的一维均匀压力场模型,建立转轮吸附床圆柱结构的数学模型,用有限元软件 ANSYS 对所建模型进行网格划分,对转轮吸附床温度场进行静态模拟,并对所建立的数学模型通

过有限差分法进行数值模拟计算,从吸附床的内、外部特性参数出发,系统地分析这些参数的改变对系统性能制冷系数(COP)、平衡脱附率以及吸附量的影响,从而发现强化吸附床结构的有效措施。

1 工作原理

以活性炭纤维-乙醇为工质对的太阳能固体吸

收稿日期:2006-05-12

基金项目:陕西省自然科学基金项目(2004E210);北京市“供热、供燃气、通风及空调工程”重点实验室项目(KF200306)

作者简介:郑爱平(1948-),女,山西夏县人,教授,E-mail:zhaing@chd.edu.cn。

附式转轮制冷装置的工作原理如图 1 所示,装置中的关键设备——活性炭纤维板制作的转轮式吸附床结构如图 2 所示^[1]。

转轮式吸附床由压制成波纹板状的活性炭纤维板沿轴向卷绕而成(图 2)。活性炭纤维波纹板的层与层之间留有适当截面的气流通道,制冷剂气流流经该通道时与通道两侧的活性炭纤维进行对流换热,从而完成传热、传质过程。

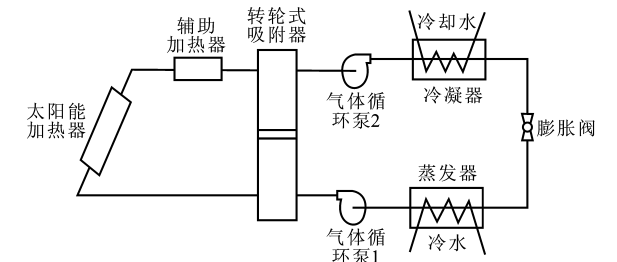


图 1 太阳能固体吸附式转轮制冷机工作原理
Fig. 1 Operational Principle of Solar Energy Solid Adsorption Rotary Refrigerator

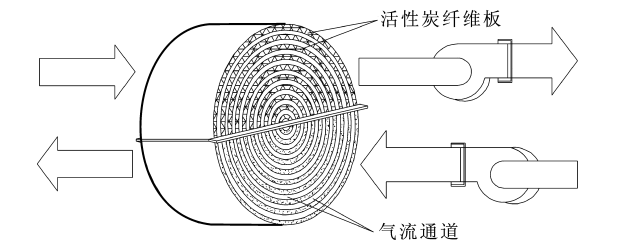


图 2 活性炭纤维板转轮吸附床结构
Fig. 2 Configuration of Activated Carbon Fiber Plate Rotary Adsorption Bed

2 内部特性对系统性能的影响

2.1 转轮转速

对转轮式吸附床来说,若转轮转动的速度太快,吸附剂在吸附区停留时间相对较短,系统吸附量减小,系统制冷系数下降;若转轮转动的速度太慢,则吸附剂在脱附区停留时间过长,吸附床温升过大,吸附区需要大量的冷却气流,从而降低了系统吸附量,系统制冷系数随之降低。转轮转速对吸附床的吸附量的影响如图 3 所示,转轮转速对系统制冷系数的影响如图 4 所示,转轮转速对系统平衡脱附量的影响如图 5 所示,因此,综合考虑转轮转速对系统性能的影响,最佳转速为 $4 \text{ rad} \cdot \text{h}^{-1}$ 左右^[2]。

2.2 吸附剂厚度

对于吸附床来说,装填的吸附剂越多,吸附量也越大,这对提高系统的性能有利,但较多的吸附剂意味着较大的质量热容,这会降低吸附剂的得热,降低

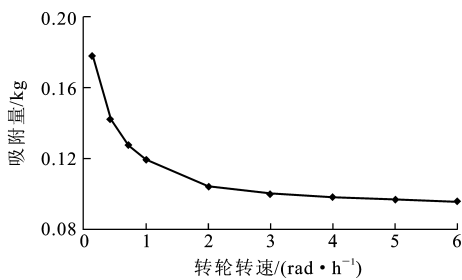


图 3 转轮转速对吸附床吸附量的影响
Fig. 3 Influence of Rotary Speed of Wheel on Adsorbent Mass of Adsorption Bed

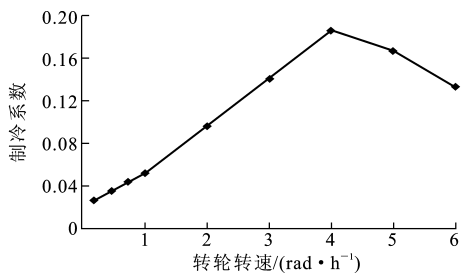


图 4 转轮转速对制冷系数的影响
Fig. 4 Influence of Rotary Speed of Wheel on COP

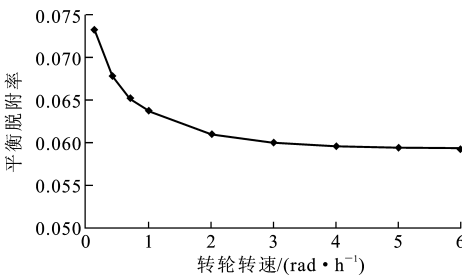


图 5 转轮转速对平衡脱附率的影响
Fig. 5 Influence of Rotary Speed of Wheel on Equilibrium Desorption Ratio

系统的性能。此外,较多的吸附剂会减小吸附剂与制冷剂蒸气的接触表面积,使对流换热热量减少,换热效果变差,吸附量减小。吸附剂的厚度对系统制冷系数、平衡脱附率以及吸附量的影响如图 6~8 所示,因此,综合考虑吸附剂的厚度对系统性能的影响,最佳吸附剂厚度为 $3 \sim 5 \text{ mm}$ 。

一般来说,对一定的集热面积,为了使系统具有较好的性能,应尽可能多地填装吸附剂来增加系统制冷量,为了避免同时带来的平衡脱附率的下降,应增强太阳能集热器的集热率。此外,为了增大换热面积,可采用波纹状的活性炭纤维板以及翅片式活性炭纤维板,从而进一步增强换热效果,提高系统的性能。

2.3 吸附剂导热系数

吸附剂的导热系数较小是导致太阳能吸附式制

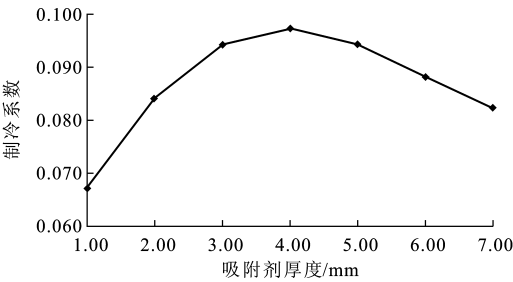


图 6 吸附剂厚度对制冷系数的影响
Fig. 6 Influence of Adsorbent Thickness on COP

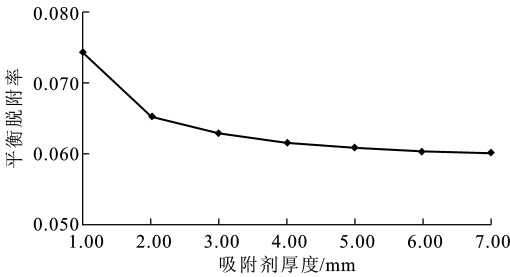


图 7 吸附剂厚度对平衡脱附率的影响
Fig. 7 Influence of Adsorbent Thickness on Equilibrium Desorption Ratio

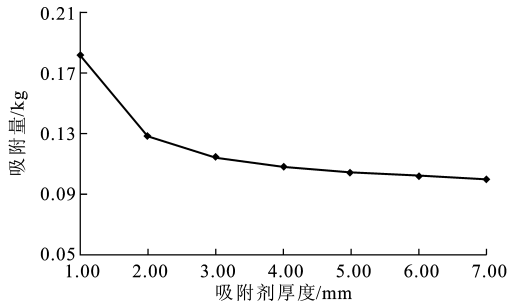


图 8 吸附剂厚度对吸附量的影响

Fig. 8 Influence of Adsorbent Thickness on Adsorbent Mass
冷系统效率不高的主要因素。不良的导热性能意味着在升温过程中,吸附剂内部存在着较大的温度梯度。吸附剂导热系数的变化对系统性能和平衡脱附率的影响如图 9、10 所示。随着活性炭纤维导热系数的增加,吸附床的传热性能也随之提高。活性炭纤维到达初始吸附温度或初始脱附温度的区域增大,吸附或脱附出的制冷剂量随之增加,系统的制冷系数也相应提高。

3 外部特性对系统性能的影响

3.1 冷凝温度

随着冷凝温度的升高,脱附热减小,吸附剂温度升高,系统平衡脱附率增大,但由于脱附量减小,所以系统制冷系数降低,如图 11、12 所示,因此,综合考虑,冷凝温度一般取 293 K~313 K 为宜。采用

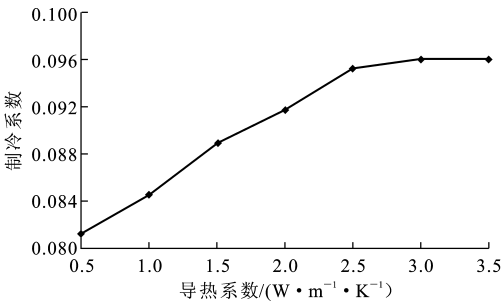


图 9 吸附剂导热变化对制冷系数的影响
Fig. 9 Influence of Adsorbent Thermal Conductivity Coefficient Variation on COP

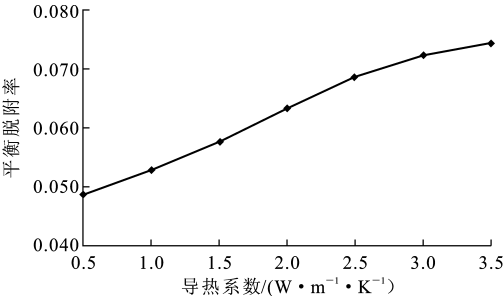


图 10 吸附剂导热系数变化对平衡脱附率的影响
Fig. 10 Influence of Adsorbent Thermal Conductivity Coefficient Variation on Equilibrium Desorption Ratio

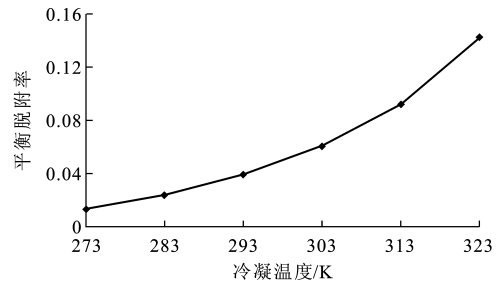


图 11 平衡脱附率随冷凝温度的变化关系
Fig. 11 Variation Relation of Equilibrium Desorption Ratio vs Condensation Temperature

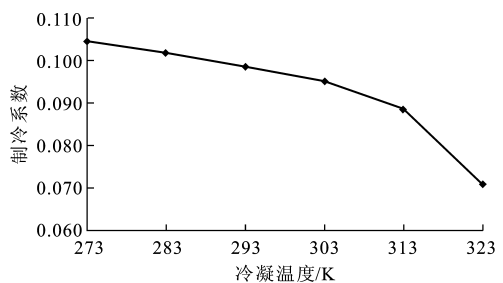


图 12 制冷系数随冷凝温度的变化关系
Fig. 12 Variation Relation of COP vs Condensation Temperature

活性炭纤维-乙醇做工质对的太阳能吸附式制冷机宜采用水冷式冷凝器,并将冷凝器的 1/2 或全部浸泡在水箱中,让冷却水直接冷却冷凝器,应该是一种

经济有效的做法^[3]。

3.2 蒸发温度

蒸发温度变化对系统平衡脱附率、制冷系数以及系统吸附量的影响如图 13~15 所示。随着蒸发温度的升高,制冷剂蒸气与吸附剂的换热效果变差,系统吸附量减少,未被吸附的制冷剂蒸气质量增加,系统的平衡脱附率增加,因而系统制冷系数值增加。由图 15 可以看出,当蒸发温度大于 283 K 时,系统制冷系数迅速上升,所以,为了保证太阳能制冷系统有相对较高的制冷系数值,并且对外提供一定数量的制冷量,蒸发温度不宜太低,蒸发温度宜选择在 273 K 与 283 K 之间。

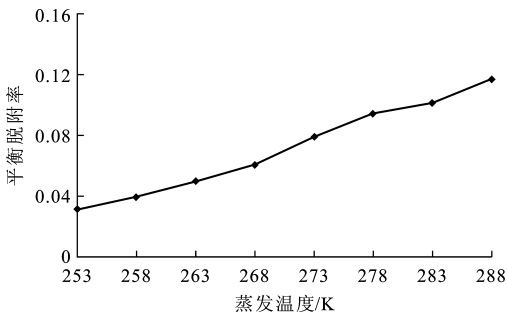


图 13 平衡脱附率随蒸发温度的变化
Fig. 13 Variation of Equilibrium Desorption Ratio vs Evaporation Temperature

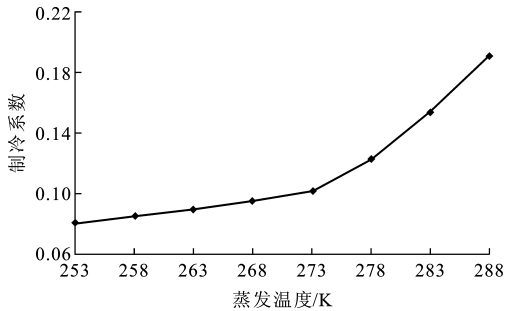


图 14 制冷系数随蒸发温度的变化
Fig. 14 Variation of COP vs Evaporation Temperature

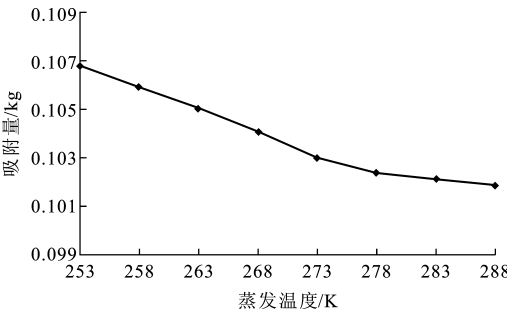


图 15 吸附量随蒸发温度的变化
Fig. 15 Variation of Adsorbent Mass vs Evaporation Temperature

3.3 制冷剂气体入口流速

太阳能固体吸附式转轮制冷机以太阳能作为能源,利用制冷剂蒸气加热和冷却吸附床来驱动整个装置正常工作,因此,制冷剂蒸气进入转轮吸附区的流速对吸附床的换热效果有着直接的影响。蒸气入口流速的变化对系统制冷系数以及系统吸附量的影响如图 16、17 所示。设计太阳能吸附制冷系统时,应考虑各方面因素,选择合适的气体入口流速,以提高系统的性能。分析结果表明,气体入口流速在 $0.03\sim0.05\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 范围内比较合适。

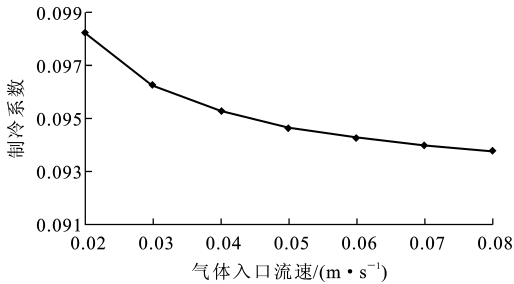


图 16 制冷系数随气体入口流速的变化
Fig. 16 Variation of COP vs Gas Inlet Velocity

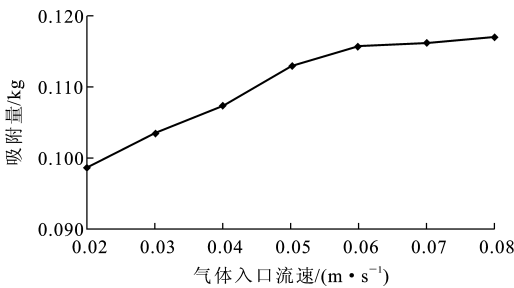


图 17 吸附量随气体入口流速的变化
Fig. 17 Variation of Adsorbent Mass vs Gas Inlet Velocity

4 计算工况及结果

通过对各个参数的综合分析,考虑各个参数对系统性能的影响规律,选取最佳计算工况,并通过模拟计算所得结果见表 1、2。

5 结 语

全面系统地分析了吸附床内、外部特性参数的改变对系统性能的影响显示,转轮吸附床的转速与吸附剂的填充密度对系统的性能有着较大的影响。

在固体吸附制冷技术最近 20 多年的发展过程中,许多学者进行了深入的研究,提出了许多性能良好的样机方案以及一些新型高效的吸附工质对^[4-5],但目前固体吸附式制冷机在性能方面仍然无法与传统的蒸气压缩式制冷机相竞争。以活性炭纤维-乙

醇为工质对,由太阳能驱动的固体吸附式转轮制冷机,具有结构简单、无噪声、制冷速度快、导热系数比较高、不污染大气环境、对人体无害等优点,在太阳能制冷研究领域,有望填补传热、传质耦合理论研究的某些空白,在强化传质、提高导热系数方面有望取得突破性进展。

表 1 循环的最佳计算工况

Tab. 1 The Best Calculation case of Circulation	
蒸发温度/K	273
冷凝温度/K	303
加热气流温度/K	373
冷却气流温度/K	273
太阳能集热器进口温度/K	309
冷凝器进口温度/K	345
气体入口流速/(m·s ⁻¹)	0.04
转轮吸附床的转速/(rad·h ⁻¹)	4

表 2 循环的计算结果

Tab. 2 Calculation Result of Circulation	
加热吸附床吸收的热量/(kJ·kg ⁻¹)	45.938 9
冷却吸附床放出的热量/(kJ·kg ⁻¹)	50.586 5
冷凝器放出的热量/(kJ·kg ⁻¹)	63.928
蒸发器的制冷量/(kJ·kg ⁻¹)	5.788 3
回收的吸附热量/(kJ·kg ⁻¹)	37.868 9
太阳能集热器的集热量/(kJ·kg ⁻¹)	101.111 3
制冷系数	0.1260

太阳能驱动的固体吸附式转轮制冷装置的创新之处在于变切换式静态吸附过程为转轮式动态吸附过程,避免了切换损失,实现了连续制冷过程。该装置的最大特点是吸附工质和加热再生工质是同一种

物质,从而避免了换热损失,回收了冷凝热量,提高了能源有效利用程度。

参考文献:
References:

[1] 郑爱平. 太阳能驱动的固体吸附式转轮制冷机在西北地区的应用研究[J]. 西安公路交通大学学报, 2001, 21(4): 179-183.
ZHENG Ai-ping. The Solid Adsorption Rotary Refrigerator Driven by Solar Energy Applying in the North-western Region[J]. Journal of Xi'an Highway University, 2001, 21(4): 179-183.

[2] 李建霞. 太阳能驱动的固体吸附式转轮制冷机的理论研究[D]. 西安: 长安大学, 2005.
LI Jian-xia. The Theoretical Research on Solid Adsorption Rotary Wheel Refrigerator Driven by Solar Energy [D]. Xi'an: Chang'an University, 2005.

[3] TAMAINOT-TELTO Z, CRITOPH R E. Adsorption Refrigerator Using Monolithic Carbon Ammonia Pair [J]. International Journal of Refrigeration, 1997, 20(2): 146-155.

[4] CRITOPH R E. Performance Limitations of Adsorption Cycles for Solar Cooling[J]. Solar Energy, 1988, 41(1): 21-31.

[5] 王如竹. 一种有潜力的吸附式制冷工质对——活性炭纤维-甲醇[J]. 太阳能学报, 1997, 18(2): 222-227.
WANG Ru-zhu. A Potential Adsorption Refrigeration Working Pair: Activated Carbon Fibre-Methanol [J]. Journal of Solar Energy, 1997, 18(2): 222-227.

《空间结构》2007 年征订通知

《空间结构》(季刊)为国家教育部主管,浙江大学主办的全国性专业科技期刊,《中文核心期刊要目总览》(2004 版)建筑科学类核心期刊,1994 年创刊,面向国内外公开发刊,国内统一连续出版物号 CN 33-1205/TU,国际标准连续出版物号 ISSN 1006-6578。

《空间结构》主要刊载空间结构的理论研究、分析设计、试验与实测、建筑造型、施工工艺、管理经验、工程实例、信息报道及有特色的空间结构工程照片等方面的内容。读者对象为:科研单位、设计院、生产施工单位、质检管理部门的科技人员及大专院校师生。

《空间结构》为大 16 开本,64 页,每期定价 10.00 元(含邮寄费),2007 年 4 期共 40.00 元。本刊自办发行,需要征订的单位或个人请直接汇款至本刊编辑部订阅,尚有少量历年合订本供补订。本刊兼营广告,10 月起征订下一年度广告。

地址:浙江大学玉泉校区空间结构研究中心《空间结构》编辑部 邮编:310027
电话:(0571)87952414 传真:(0571)87952414