

Experimental Study of Adsorption Desalination System

Hongting Ma, Jingyu Zhang*, Chaofan Liu, Fan Lv,
Xueyin Lin, Zhuangzhuang Miao

School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin
Email: *jeffreyzhang@tju.edu.cn

Received: Jan. 26th, 2017; accepted: Feb. 13th, 2017; published: Feb. 16th, 2017

Abstract

The domestic adsorption desalination technology research is still at the theoretical analysis level at present, while the study of actual device development and its performance has not been reported. This paper is performed to design the absorption desalination system with heat and mass recovery. The experiment was conducted, the running performance of the system was analyzed and the quality of product water was tested. The result shows that on the steady condition, the system water production reaches 5.7 kg/h and the optimal cycle time is 20 min. Although the heat recovery cycle utilized in the system hardly increases the water production per unit time, the heat recovery of each cycle is 1356.4 kJ. Except for the volatile phenols and fluorides, all other indicators of the product water quality meet the drinking water hygiene standards. Besides, the various characteristics of the product water tend to be consistent with the water produced by conventional desalination technology.

Keywords

Adsorption Desalination, Heat and Mass Recovery, Experimental Analysis, Running Performance, Product Water Quality

吸附式海水淡化系统实验研究

马洪亭, 张靖宇*, 刘超凡, 吕凡, 林雪银, 苗壮壮

天津大学环境科学与工程学院, 天津
Email: *jeffreyzhang@tju.edu.cn

收稿日期: 2017年1月26日; 录用日期: 2017年2月13日; 发布日期: 2017年2月16日

*通讯作者。

摘要

目前国内吸附式海水淡化研究仍停留在理论层面,对实际装置研制及运行性能的分析未见报道。针对于此,本文设计并利用带有回热回质循环的吸附式海水淡化系统进行了实验,分析了系统运行性能,并对制取的淡化水进行检测。结果表明:在稳定工况下,系统的产水量达到5.7 kg/h。系统最佳循环周期为20 min。采用回热循环不能增加单位时间的产水量,每个回热循环能够回收热量1356.4 kJ。制取的淡化水除挥发酚类和氟化物外,其它指标均达到生活饮用水卫生标准限值的要求,各项特征与传统海水淡化技术淡化水的特征趋于一致。

关键词

吸附式海水淡化, 回热回质, 实验分析, 运行性能, 淡化水水质

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

传统海水淡化的主要方法包括蒸馏法、膜法、结晶法等。然而,传统海水淡化技术基础投资和运行费用均十分高昂。利用传统能源进行海水淡化会消耗大量资源。而太阳能、风能和地热等新兴能源将是新的海水淡化驱动力发展方向。

多孔硅胶对水蒸气有很强的亲和力,能够在相对较低的温度下解吸所吸附的水蒸气,这一特点使得低温热源驱动的水蒸气吸附/解吸技术(吸附脱盐技术)淡化海水成为可能。吸附脱盐技术的另一优点是蒸发温度较低,伴随卤水蒸发的氯化氢气体相对较少,因而产出水有较高的纯度。而沸石所需要的脱水再生温度较高。

由于所需驱动热源温度较低,近年来吸附式海水淡化(AD)系统受到了相当大的关注[1]。AD系统循环能够同时生产两种产品:冷量和淡化水[2][3]。为解决热量损失问题,需要更好的性能提升方案。Thu等[4][5]首次对AD系统提出了热量回收的两种可能的方案:(1)合并蒸发器和冷凝器;(2)热回收管路即冷却水管分别通过冷凝器和蒸发器。

我国目前在吸附式海水淡化方面的研究非常有限,已有研究主要集中在对吸附式海水淡化技术的介绍和理论分析层面。曾辉等[6]指出吸附式海水淡化是利用某些固体物质对水蒸气的吸附和解吸作用而运行。王永青等[7]以硅胶和硅胶-CaCl₂为吸附剂,指出ARSD系统性能随淡水回收率提高而降低。

为探索吸附式海水淡化的前景并为其提供基础数据和科学依据,本文设计并搭建了吸附式海水淡化装置进行实验,分析了系统运行性能,并对制取的淡化水水质进行了检测。

2. 吸附式海水淡化实验简介

2.1. 吸附式海水淡化实验装置

实验所用的带有回热回质循环的吸附式海水淡化系统(专利公开号CN105967258A)如图1所示,吸附/解吸的过程由床A和床B交替进行。回质和回热过程通过阀门的切换完成。真空泵用于保持系统的真空度。



Figure 2. Photo of absorption desalination experimental device
图 2. 吸附式海水淡化实验装置实物图

Table 1. Set running parameters of the absorption desalination system
表 1. 吸附式海水淡化系统的设定运行参数

	温度(°C)	流量(m³/h)
热水入口(解吸)	85	1.17
冷水进口(吸附)	30	1.68
海水喷淋	30	0.18
热水进出口温差(°C)		5
冷水进出口温差(°C)		5
加热/冷却时间(s)		780
回质时间(s)		30
回热时间(s)		90

3. 实验结果与讨论

在系统进入稳定运行时海水温度 30°C，海水喷淋量为 180 L/h，热水入口温度为 83°C，冷却水入口温度为 27°C。系统采用 780 s 的加热/冷却时间、30 s 的回质时间和 90 s 的回热时间，完整循环时间 30 min。

3.1. 系统各部分压力变化

在实验进入稳定运行阶段，系统内各部位压力在一个完整的循环里随时间变化的规律如图 3 所示(循环开始时，A 床吸附，B 床解吸)。

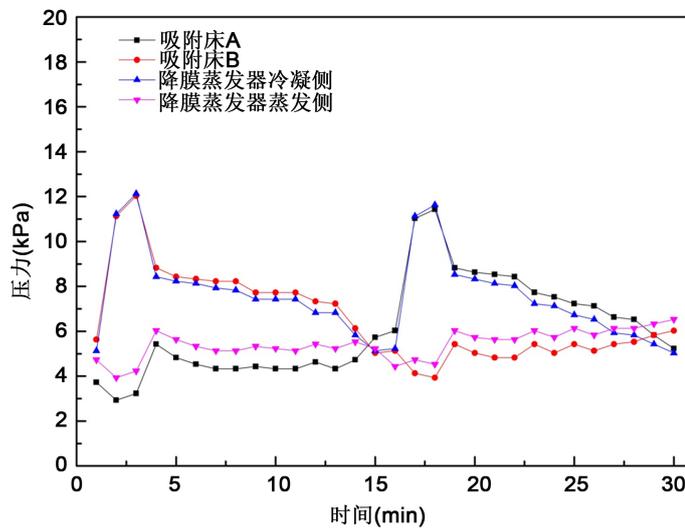


Figure 3. Pressure variation with time at each part in a complete cycle
图 3. 完整循环中各部位压力随时间的变化

从图 3 可以看出, 吸附床的压力始终大于降膜蒸发器蒸发侧压力, 这是由于吸附床吸附水蒸气, 促使降膜蒸发器蒸发侧的海水蒸发进入吸附床。另外解吸床的压力一直大于降膜蒸发器冷凝侧压力, 这是由于降膜蒸发器冷凝侧的水蒸气与蒸发侧冷海水换热, 使得冷凝侧的压力低于解吸床的压力, 同时促使解吸出来的水蒸气进入降膜蒸发器冷凝侧而被冷凝, 产出淡水。这种压力变化驱动吸附式海水淡化循环不断进行。

3.2. 系统各部位温度变化

系统各部分温度变化如图 4 所示, 回热循环结束时 A 床温度升高至 44℃, B 床温度降低至 55℃, 表明回热循环从解吸床回收了一部分热量至吸附床, 节约了冷量和热量。

根据吸附床材料的总热容, 以及回热过程 A 床温度升高 13.2℃, B 床降低 13.2℃, 可得每个回热循环回收热量 1356.4 kJ。从吸附/解吸过程中间阶段到末段(6~13 min), 冷热循环水进出口之间的温差已经降至 0.3℃~2℃之间, 而吸附/解吸床与冷热循环水之间的温差仍比较大, 尤其是解吸床与热水循环水之间的温差, 在 10℃~12℃之间, 表明吸附床翅片与硅胶颗粒之间的导热能力没有达到最佳效果, 吸附床的换热性能还有很大的提升空间。

3.3. 产水量变化规律

图 5 为系统产水量变化。系统的产水量为 5.7 kg/h。在回质阶段(13~14 min), 解吸床压力降低, 会发生二次解吸; 吸附床压力升高, 会发生二次吸附。这部分被二次解吸/吸附的水蒸气将在下一个循环阶段进入降膜蒸发器冷凝侧, 冷凝成淡水并被收集, 相当于二次吸附/解吸的水蒸气在下一个循环阶段被计入产水量。在回热阶段(14~15 min), 系统回收了一部分热量, 节省了冷量, 但从图 5 可知, 回热过程并不能提高系统的产水量。在系统稳定运行阶段, 系统的最佳循环周期为 20 min, 当循环周期超过 20 min 时, 周期越长, 系统的单位时间产水量就越小。

3.4. 淡化水水质分析

实验所得淡化水的水质关键指标检测结果, 如表 2 所列, 同时给出了该检测结果与国内已经运行的典型海水淡化设备所产淡化水及《生活饮用水卫生标准》(GB 5749--2006)限值的对比。

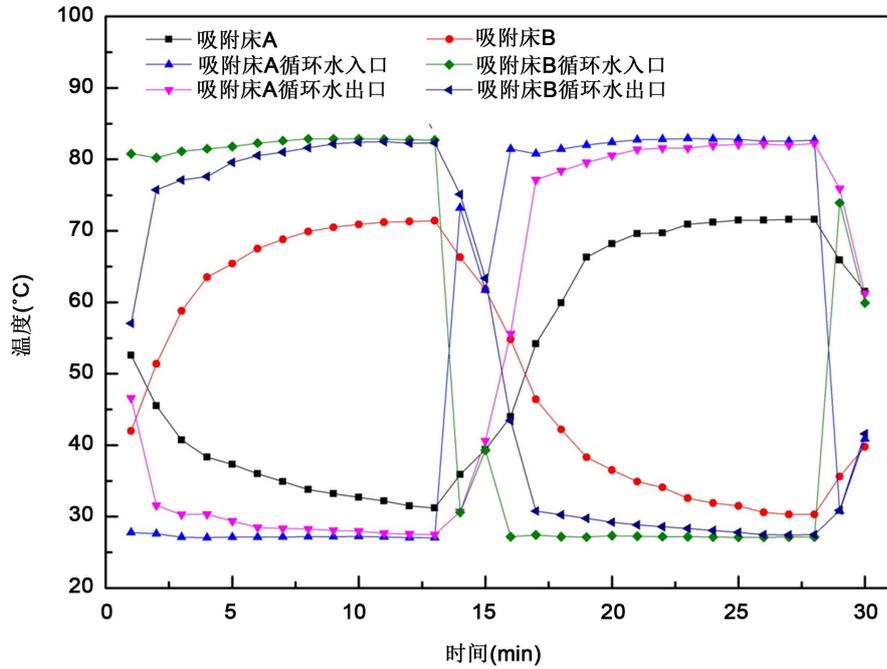


Figure 4. Temperature variation with time at each part in a complete cycle
 图 4. 完整循环中各部位温度随时间的变化

Table 2. Main indicators for water production of absorption desalination and its comparison with other methods and drinking water standard

表 2. 吸附式海水淡化淡化水主要指标与其他方法和饮用水标准的对比

检测内容	单位	生活饮用水 卫生标准限值	检测结果				
			吸附式海水 淡化实验 装置淡化水	大港电厂 MSF (多级闪蒸) 装置淡化水	国华沧东 电厂 MED (低温多效) 装置淡化水	嵯泗县 SWRO (反渗透) 装置淡化水	天津科委 SWRO (反渗透) 装置淡化水
色度	度	15	5	<5	<5	<5	0
pH	/	6.5~8.5	6.98	6.5	6.7	7.04	6.5
溶解性总固体	mg/L	1000	13	<10	<10	238	308
总硬度(以碳酸钙计)	mg/L	450	10	<1	1.02	14.5	26.09
挥发酚类(以苯酚计)	mg/L	0.002	0.0059	<0.002	<0.002	<0.002	未检出
钠	mg/L	200	0.78	0.29	0.42	-	-
铝	mg/L	0.2	0.0156	<0.025	<0.025	<0.010	<0.03
铁	mg/L	0.3	0.00633	<0.002	<0.002	<0.3	0.019
铜	mg/L	1	0.00759	0.030	<0.002	<0.010	-
氯化物	mg/L	250	<1.0	0.53	0.73	110	38.09
硫酸盐	mg/L	250	1.60	0.10	0.15	6.22	0.328
硫化物	mg/L	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	-	-
硼	mg/L	0.5	0.011	<0.020	<0.020	0.72	0.46
氟化物	mg/L	1.0	1.47	<0.01	<0.01	<0.010	0.205

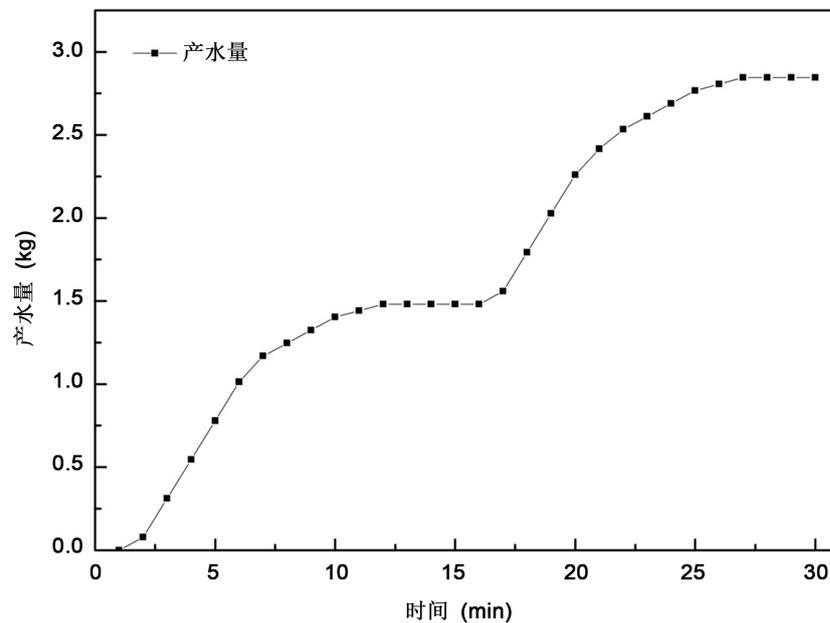


Figure 5. Water production with time at each part in a complete cycle
图 5. 完整循环中系统产水量随时间的变化

制取的淡化水中挥发酚类超标，污染来自海盐预杀菌过程微量有机物转化为挥发类物质。而挥发酚类又能够随蒸汽挥发进入吸附床，并在降膜蒸发器的换热管内冷凝进入淡水收集箱，因此导致淡化水中挥发酚类浓度超标。淡化水中氟化物超标，原因在于当地工厂排放的废气中含有的氟化物进入淡化水收集设备，对制取的淡化水造成污染。对比结果表明，吸附式海水淡化技术作为蒸馏法海水淡化技术中的一种，其淡化水的各项特征与传统的蒸馏法海水淡化所产淡化水的特征趋于一致。

4. 结论

本文设计并研制了吸附式海水淡化系统，并通过实验研究了该系统运行性能。系统稳定工况为：热水入口温度、冷却水入口温度、海水温度和海水喷淋流量分别为 83℃、27℃、30℃和 180 L/h，采用 780 s 的加热/冷却时间、30 s 的回质时间和 90 s 的回热时间，循环周期为 30 min。在上述条件下得出的主要结论为：

- (1) 系统的产水量达到了 5.7 kg/h。系统的单位时间产水量与循环周期时间有关，在循环周期超过 20 min 时，循环周期越长，系统的单位时间产水量就越小；
- (2) 系统采用回热循环虽不能增加系统单位时间的产水量，但可以回收部分热量，降低单位产水量的能耗。每个回热循环回收 1356.4 kJ 热量；
- (3) 与《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006)对比，除挥发酚类和氟化物外，制取的淡化水主要指标均达到生活饮用水卫生标准限值的要求，各项特征与传统海水淡化技术所产淡化水的特征基本一致。

基金项目

海洋经济创新发展区域示范项目(cxsf-42)。国家科技支撑计划项目(项目编号 2015BAJ01B02)。

参考文献 (References)

- [1] Srinivasan, K., Dutta, P., Saha, B.B., *et al.* (2013) Realistic Minimum Desorption Temperatures and Compressor Siz-

- ing for Activated Carbon + HFC 134a Adsorption Coolers. *Applied Thermal Engineering*, **51**, 551–559. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.09.028>
- [2] Ng, K.C., Thu, K., Saha, B.B., *et al.* (2012) Study on a Waste Heat-Driven Adsorption Cooling Cum Desalination Cycle. *International Journal of Refrigeration*, **35**, 685-693. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2011.01.008>
- [3] Ng, K.C., Thu, K., Oh, S.J., *et al.* (2015) Recent Developments in Thermally-Driven Seawater Desalination: Energy Efficiency Improvement by Hybridization of the MED and AD Cycles. *Desalination*, **356**, 255-270. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.10.025>
- [4] Thu, K., Saha, B.B., Chakraborty, A., *et al.* (2011) Study on an Advanced Adsorption Desalination Cycle with Evaporator-Condenser Heat Recovery Circuit. *International Journal of Heat & Mass Transfer*, **54**, 43-51. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2010.09.065>
- [5] Zejli, D., Benchrifa, R., Bennouna, A., *et al.* (2004) A Solar Adsorption Desalination Device: First Simulation Results. *Desalination*, **168**, 127-135. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2004.06.178>
- [6] 曾辉, 王永青. 吸附式海水淡化技术及其研究和发展状况[J]. 机电技术, 2012(2): 136-139.
- [7] 王永青, 何宏舟. 吸附式制冷 - 海水淡化复合系统性能分析[J]. 化工学报, 2014(S2): 115-121.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ojs@hanspub.org