

管式蒸馏海水淡化换热管强化技术发展探讨

夏亚浩¹, 陈志莉¹, 冯裕钊², 于涛¹, 孙荣基³, 彭靖棠¹

(1. 后勤工程学院国防建筑规划与环境工程系; 2. 后勤工程学院军事工程管理学系;

3. 后勤工程学院军事油料应用与管理工程系 重庆 401311)

摘要: 为进一步提高淡化效率, 阐述了管式蒸馏海水淡化系统的基本热质传递机理, 叙述了国内外通过优化管型、表面改性(亲水、疏水)等提高换热管热质传递性能的研究进展, 并分析了上述方法应用在管式蒸馏海水淡化系统中的优缺点。认为在改变管型的基础上对其进行表面亲水、疏水处理, 既可以很大程度提高系统整体的热质传递, 还能够避免清洗困难和清洗周期短的现象。随着表面改性技术的不断完善, 且与优化管型相结合, 在管式蒸馏海水淡化领域必将会拥有良好的应用前景。

关键词: 海水淡化; 管式蒸馏; 强化传热; 异型管; 亲水; 疏水

中图分类号: P747.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3770(2017)10-0007-04

将海水转化能够被人类食用的淡水, 可有效缓解我国饮水紧张问题。在海水淡化领域中, 相比盘式淡化装置, 管式淡化装置具有结构紧凑、承压性良好等优势, 发展潜力巨大。1988 年, TIWARI 率先提出了管式蒸馏的思想^[1]。管式海水淡化中, 换热管及其表面特性是影响产水效率的核心环节。传统管式淡化系统单位面积产水率较低, 主要原因之一在于换热管换表面热效率低^[2]。提高管式蒸馏海水淡化效率, 关键在于提高换热管换热效率。换热管型的改进和表面亲水、疏水改性可有效提高换热管换热效率。本文将对有关以上 3 种形式在提高换热管换热效率方面的研究进行总结, 分析在管式蒸馏海水淡化系统中的适用性及局限性, 并为进一步推广应用进行展望。

1 热质传递强化机理

在管式蒸馏海水淡化系统中, 通过对海水进行加热蒸发, 蒸发面和冷凝管壁面附近会存在一定温差和水蒸汽密度差, 水蒸汽向上运动引起传质, 同时伴随着水蒸汽的蒸发冷凝过程, 伴随着相变传热。热量传输到冷凝管后, 冷凝管与外界环境之间也存在一定温差, 主要以对流和辐射的形式将能量散发到环境中, 这样即完成了整个淡化系统内部的热质传

递过程。纵观系统淡化机制, 淡化效率的高低, 主要取决于海水蒸发、水蒸汽扩散、淡水冷凝的快慢, 而三者既各自运行, 又相互联系, 均受换热管的传热性能影响。

关于水蒸汽扩散(稳态扩散), 有描述物质扩散宏观现象的菲克第 1 定律^[3]:

$$J = -D \frac{dc}{dx}$$

式中, D 为扩散系数, dc/dx 为扩散物质的体积浓度梯度。负号表示扩散方向与浓度梯度方向相反, 即扩散沿着浓度减少的方向进行。

故水蒸汽扩散能力与蒸发空腔内的温度、压力、扩散介质以及水蒸汽密度差等有关。考虑运行成本和客观环境, 为加快水蒸汽扩散, 一是改变扩散介质的种类, 于涛等分别在 CO_2 、 O_2 、 He 、空气条件下, 观察管式蒸馏海水淡化器的效率, 表明相比于空气扩散环境下, CO_2 、 O_2 能够在一定程度上提升淡化效率^[4]; 二是加大蒸发空腔内的水蒸汽含量差, 增加蒸发面或降低冷凝壁面附近的水蒸汽含量, 即加快海水蒸发和促进冷凝。

提高装置的整体传热性能, 增强蒸发槽和冷凝管处热量的传输, 可分别加快海水蒸发和促进淡水冷凝。根据蒸发原理, 增加蒸发面积同样能够提高蒸发效率。强化冷凝主要体现在加快蒸汽潜热的散发,

收稿日期: 2017-01-11

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(51106177), 重庆市重点自然科学基金项目(cstc2015jcyjBX0059)

作者简介: 夏亚浩(1993—), 男, 硕士研究生, 研究方向为水处理理论与技术, 联系电话: 15223208820, 电子邮件: xialituxia@foxmail.com

联系作者: 陈志莉, 教授, 博士生导师, 电子邮件: 1012262034@qq.com

可通过提高装置的传热性能和促进滴状冷凝实现。因此,提高换热管传热性能、增加蒸发面积、促进滴状冷凝均能够强化管式海水淡化器热质传递,进而提高整体淡化效率。

2 异型管强化热质传递

传统光滑管道内流道构造简单,流体在通道内流通时,对流传热强度能力较低,并且沿着流动方向能量和物质的传递也较小,故整体换热能力弱。通过增大平均传热温度差、提高传热系数、增加有效传热面积等方式,可有效强化换热管传热性能^[5]。为提高换热管传热能力,不少学者对管型进行了优化改进,目前研究的主要异型管有椭圆管、螺旋管、波纹管、翅片管和多孔表面管等。

YANG 等分别通过实验和数值模拟,研究二氟一氯甲烷(R22)在不同管型中(光滑管、Turbo-B、Trubo-B II 和 Turbo-EHP)的降膜蒸发传热性能,得知 Turbo-EHP 管的传热性能最优,且比光滑管的降膜蒸发传热系数提高了 62.6%^[6]。ESFAHANI 等研究发现,椭圆管的换热系数随着椭圆率的减小而增大^[7]。ZHANG 等通过实验研究发现,随着螺旋扁管中节距和椭圆率的增大,管外冷凝换热系数得到了提高^[8]。

螺旋管是指在传统光滑管外表面,通过轧制得到螺旋翅片的一类异型强化换热管。经过表面结构的改造,管外表面积增加了 2.5 倍以上,总传热系数也提高了 30%以上,冷凝效果提升明显,给热系数提高 1 倍多^[5]。在一定的热流密度条件下,刘圣春等研究了水平光管和 3 种不同几何参数螺旋管对整个 CO₂ 管外沸腾实验传热系数的影响,得知 3 种螺旋管的传热系数均大于光管,强化倍率可达 1.5~2.2^[9]。

波纹管是由无切削滚轧使管内外表面金属塑性变形而成,实现管内外同时传热强化,适用于对流、冷凝强化效果的工况。NELLY 等又提出对 SSTs 和 CSTs 这 2 类波纹管管型进行螺旋化处理,经过数值模拟和实验发现,可通过改变螺旋化的深度和角度来提高 Nusselt 数和管内压降^[10]。管式海水淡化中,姚洋等在管式淡化器外表面增设肋片,以提高外部换热面积及强化外部表面空气流速,增大淡化器外表面换热系数,从而改善了淡化器产水率^[11]。

以上通过轧制、焊接等其它机械加工改型的异型强化换热管,其表面具有外凸和内凹的曲面结构,一方面能够促进边界层流体的分离和强化流体的扰动,降低层流热阻;另一方面增加了换热面积,进一步提高传热效果。在管式蒸馏海水淡化中,异型管具

有很好的应用前景,但同样由于其表面结构较为复杂,使得海水淡化过程中产生的盐垢难于去除,将会缩短清洗和维护周期。因此,对换热管形状进行优化的同时,还应考虑对换热管使用法兰、螺纹、承插链接等方式密封,以方便后期的拆卸清洗。

3 表面亲水改性强化热质传递

1997 年, WANG 等发现 TiO₂ 薄膜经过紫外光照射后,表面水滴的接触角迅速降到 0°,表现出超亲水性,由此引发了人们对超亲水研究的极大兴趣^[12]。研究者发现超亲水表面本身即为热传递的理想介质,能够强化传热过程^[13-14]。国内外学者分别通过实验和数学模型等方式,对有关亲水改性表面强化传热进行了大量研究。

TAKATA 等研究发现,紫外光照射后的 TiO₂ 涂层传热元件形成了超亲水表面,表面润湿性得到提高,临界热通量提高到 2 倍以上,最小热通量下的温度也要比普通传热表面高 100 K^[15-16]。SUJITH 等采用喷雾降解技术,在铜加热块表面上获得了铁掺杂 Al₂O₃-TiO₂ 的混合亲水涂层,研究发现其临界热流密度和传热系数与磨光铜基底表面相比,最大可分别增加 52.39%和 44.11%^[17-18]。刘振华等在紫铜表面获得 TiO₂ 亲水涂层,强化了水喷流沸腾的临界热流密度,比普通表面的临界热流密度要高出 30%左右,且该影响不因流速和过冷度改变而改变,为一常量^[19]。ZHANG 等运用一种新开发的 3D 热格子玻尔兹曼方法,模拟沿着气-液界面的动态蒸发和液体薄膜在微圆柱组成的微结构亲水表面上的沸腾现象,随着亲水程度的增加和液体薄膜的减弱,能够维持较高的干涸热通量和临界热流密度^[20]。曹小林等发现汽车空调蒸发器在使用亲水膜时,传热温差和有效换热面积增加,总换热量比没有使用亲水膜增加了 5%^[21]。

鉴于超亲水改性表面上水体具有接触角低,快速铺展等特点,在管式海水淡化领域具有很大应用潜力。通过对管式海水淡化系统进行表面亲水改性,蒸发海水在其表面可以快速形成匀质薄膜,减小热阻,增加海水蒸发面积,同时亲水改性表面还能在一定程度上强化系统传热能力。

徐克等运用溶胶-凝胶法在横管降膜式海水淡化换热器的传热管表面制得无定型 TiO₂/SiO₂ 复合亲水薄膜,有效提升了换热器的总传热系数^[22]。于涛等通过对管式海水淡化器内进行亲水改性,发现运行温度为 80 °C 时,亲水改性型淡化器较光滑管产水

率提高约 20%^[4]。另有研究者发现,超亲水改性表面具有很好地自清洁性,避免了异型管强化传热中清洗和维护周期短的不足,增加了在海水淡化领域的适用性^[23-24]。

有关亲水改性表面的研究多是在淡水环境中,而海水成分较为复杂,能否将亲水改性表面应用于海水淡化领域,还要考虑其性能是否会受海水特殊环境的影响。部分亲水涂层的光致亲和性能和附着性能差,也将在一定程度上影响其在管式蒸馏海水淡化系统中的应用。因此,为实现表面亲水改性工艺在海水淡化领域推广使用,应把提高亲水性、持久性和耐海水腐蚀性等性能作为亲水改性表面今后的重点研究方向。

4 表面疏水改性强化热质传递

与亲水改性相同,疏水改性表面也可以作为热传递的理想介质,具有强化传热的作用。HUANG 采用双氧水浸泡和氟硅烷聚合物旋涂制备出超疏水铜表面,与一般的铜表面相比,其冷凝传热性得到提升^[25]。GANESAN 等对换热器中散热片表面疏水、亲水改性,在潮湿条件下,疏水改性表面冷凝产水量最多;结霜环境下,表面疏水改性换热器的传热效果最佳^[26]。以上研究均表明表面疏水改性能够强化系统导热能力,且在圆管形微通道内,范新欣等推导出超疏水表面的有效传热系数和其结构参数之间的关系式,两者密切相关^[27]。

膜状冷凝和滴状冷凝是蒸汽在固体表面上的 2 种冷凝形态,各自形成取决于固体表面的润湿性。在冷凝面进行疏水改性有利于形成滴状冷凝,传热系数通常是膜状冷凝的 5~7 倍^[28]。主要原因是滴状凝结可有效防止冷凝面液膜的形成,降低热阻,增加蒸汽与冷凝壁面的接触机会,故换热强度要比膜状冷凝强的多。ZHANG 等通过高速摄像机观察 H₂O 蒸汽为滴状冷凝,冷凝过程中发生大液滴合并周围小液滴的现象,而小液滴被清理掉后的区域又会形成新的小液滴,起到了强化冷凝换热的效果^[29]。CHEN 等对微细槽道内的小间隙(直径 0.952 mm)表面进行亲水、疏水改性,研究发现疏水改性部分呈周期性地液滴成核、合并和脱落的滴状冷凝现象,亲水改性部分则为膜状冷凝,且疏水改性部分的传热系数比亲水改性有大幅度提高,最高可达 600%以上^[30]。

研究表明,表面疏水程度越强(即接触角越大),冷凝液滴脱离尺寸也就越小,越有利于快速脱落,从而可以强化传热^[31]。超疏水表面上有时甚至会出现

冷凝液滴弹跳现象,可以更大程度提高传热系数。原因在于较小过饱和情况下,小液滴(10~100 μm)融合后导致液滴总面积减少,其中减少的表面能通过小液滴融合的动态不稳定过程,转化为动能得到了释放,表现为液滴弹跳离开表面,极大的强化了冷凝传热。MILJKOVIC 等研究发现,超疏水改性表面与疏水改性表面相比,热通量和冷凝传热系数分别提高了 25%和 30%^[32-33]。

在管式海水淡化器中,对管内冷凝部分疏水改性,一方面提高换热管导热能力,另一方面促进形成滴状冷凝,极大提高冷凝效率。并且在冷凝部分,冷凝水均为淡化水,海水中各成分对疏水改性表面性能的影响较小。由于疏水改性表面上固液接触角较大,能减少海水与改性表面的接触面积,即使在运输、淡化器破损等特殊情况下,海水与疏水改性面发生接触,也不会在其表面长时间、大面积停留^[34-35]。因此,表面疏水改性在管式海水淡化领域具有很高的适用性和可行性。

5 结语与展望

管式蒸馏海水淡化中,换热管及其表面特性是影响产水效率的核心环节。异型强化管、亲水疏水表面改性具有强化换热管传热能力,在管式海水淡化中具有很大的应用潜力。综合国内外研究进展,结合海水淡化特殊环境,提出异型管、亲水疏水表面改性强化管式蒸馏海水淡化换热管以下思路:

1) 异型管结构的复杂化,能够加强管内流体的扰动,强化换热管热质传递,但也增加了海水淡化过程中盐垢的清洗难度。在对管型进行优化的同时,还应考虑使用法兰、螺纹、承插连接等方式对其进行密封,方便后期的拆卸和清洗。

2) 亲水改性表面上蒸发海水的快速铺展以增加蒸发面积、疏水改性表面促进滴状冷凝以强化冷凝散热,且亲水、疏水改性表面的自清洁功能还能够防止海水淡化过程中盐垢堆积问题。但海水成分复杂,保证亲水、疏水改性表面的各项性能不受影响,是今后的重点研究方向。

在管式海水淡化系统中,若将三者结合起来,即在改变管型的基础上对其进行表面亲水、疏水处理,既可以很大程度提高系统整体的热质传递,还能够避免清洗困难和清洗周期短的现象。相信随着异型换热管的成熟发展和表面改性技术的不断完善,将能够很大程度提高管式海水淡化器淡化效率,有力推动管式海水淡化器规模化普及应用。

参考文献：

- [1] TIWARI G N, KUMAR A. Nocturnal water production by tubular solar still using waste heat to preheat brine[J]. Desalination, 1988, 69 (3): 309-318.
- [2] ARUNKUMAR T, JAYAPRAKASH R, AHSAN A, et al. Effect of water and air flow on concentric tubular solar water desalting system [J]. Applied Energy, 2013, 103: 109-115.
- [3] GEORGIEV J S, ANESTIEY L A. Influence of the surface processes on the hydrogen permeation through ferritic steel and amorphous $\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{40}\text{Mo}_3\text{B}_{16}$ alloy specimens[J]. Journal of Nuclear Materials, 1997, 249: 133-141.
- [4] 于涛, 陈志莉, 陈冠益, 等. 亲水改性下管式海水淡化装置的实验研究[J]. 水处理技术, 2015, 41(12): 73-76.
- [5] 段亚平. 管壳式换热器的换热管强化传热技术浅述[J]. 应用能源技术, 2010, 148(4): 50-51.
- [6] YANG L, WANG W. The heat transfer performance of horizontal tube bundles in large falling film evaporators[J]. International Journal of Refrigeration, 2011, 34(1): 303-316.
- [7] ESFAHANI J A, MODIRKHAZENI M. Entropy generation of forced convection film condensation on a horizontal elliptical tube [J]. Comptes Rendus Mecanique, 2012, 340 (7): 543-551.
- [8] ZHANG L, YANG S, XU H. Experimental study on condensation heat transfer characteristics of steam on horizontal twisted elliptical tubes [J]. Applied Energy, 2012, 97: 881-887.
- [9] 刘圣春, 董紫腾, 张文凯, 等. CO_2 不同螺旋管管外强化传热的实验研究[J]. 热科学与技术, 2016(3): 190-196.
- [10] NELLY S M, NIERATSKHER W, NADLER M, et al. Experimental and numerical investigation of the pressure drop and heat transfer coefficient in corrugated tubes[J]. Chemical Engineering & Technology, 2015, 38(12): 2279-2290.
- [11] 姚洋, 陈志莉, 郝宏飞, 等. 带肋片多效管式海水淡化装置的实验研究[J]. 太阳能学报, 2016, 37(2): 511-516.
- [12] WANG R, HASHIMOTO K, FUJISHIMA A, et al. Light induced amphiphilic surfaces[J]. Nature, 1997, 388(6641): 431-432.
- [13] LIU Z H, QIU Y H. Critical heat flux of steady boiling for water jet impingement in flat stagnation zone on superhydrophilic surface [J]. J Heat Trans-t Asme, 2006, 128: 726-729.
- [14] LIAO L, BAO R, LIU Z H. Composite effects of orientation and contact angle on critical heat flux in pool boiling of water[J]. Heat and Mass Transfer, 2008, 44: 1447-1453.
- [15] TAKATA Y, HIDAKAS S, CAO J M, et al. Effect of surface wettability on boiling and evaporation [J]. Energy, 2010, 30(2/4): 209-220.
- [16] TAKATA Y, HIDAKA S, MASUDA M. et al. Pool boiling on a superhydrophilic surface [J]. International Journal of Energy Research, 2008, 27(2): 111-119.
- [17] SUJITH KUMAR C S, SURESH S, ANEESH C R, et al. Flow boiling heat transfer enhancement on copper surface using Fe doped Al_2O_3 - TiO_2 composite coatings[J]. Applied Surface Science, 2015, 334: 102-109.
- [18] SUJITH K C S, SURESH S, PRAVEEN A S, et al. Effect of surfactant addition hydrophilicity of $\text{ZnO-Al}_2\text{O}_3$ composite and enhancement of flow boiling heat transfer[J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2016, 70: 325-334.
- [19] 刘振华, 秋雨豪. 超亲水特性传热面上水喷流冷却时的沸腾换热特性实验研究[J]. 核动力工程, 2007, 28(1): 78-82.
- [20] ZHANG C Y, HONG F J, CHENG P. Simulation of liquid thin film evaporation and a heated hydrophilic microstructured surface by Lattice Boltzmann method[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2015, 86: 629-638.
- [21] 曹小林, 张明星, 欧阳琴. 表面亲水处理强化汽车空调蒸发器传热性能的机理[J]. 制冷学报, 2008, 29(3): 54-57.
- [22] 徐克, 齐春华, 冯厚军, 等. 亲水性无定型 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ 薄膜及其强化传热性能研究[J]. 化学工业与工程, 2012, 29(4): 58-62.
- [23] XI B J, VERMA L K, BHATIA C S, et al. TiO_2 thin films prepared via adsorptive self-assembly for self-cleaning applications[J]. Applied Materials & Interfaces, 2012, 4: 1093-1102.
- [24] WORASUKHKHUNG S, PUDWAT S, EIAMCHAI P, et al. Hydrophilic property of TiO_2 films sputtered on glass/ITO for self-cleaning glass and heat mirror application[J]. Procedia Engineering, 2012, 32: 780-786.
- [25] HUANG D J, LEU T S. Condensation heat transfer enhancement by surface modification on a monolithic copper heat sink[J]. Applied Thermal Engineering, 2015, 75: 908-917.
- [26] GANESAN P, VANAKI SH M, THOO K K. et al. Air-side heat transfer characteristics of hydrophobic and super-hydrophobic fin surfaces in heat exchangers: A review[J]. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2016, 74: 27-35.
- [27] 范新欣, 周玉红, 刘天庆. 超疏水表面有滑移时的层流换热分析[J]. 化工学报, 2010, 61(3): 594-600.
- [28] MILJKOVIC N, WANG E N. Condensation heat transfer on super-hydrophobic surfaces[J]. Mater Res Soc, 2013, 38: 397-406.
- [29] ZHANG L G, CHEN Z Q. Visualization study of condensation on copper surface (in Chinese)[J]. Chin J Space Sci, 2016, 36(4): 547-551.
- [30] CHEN X, DERBY M M. Combined visualization and heat transfer measurements for steam flow condensation in hydrophilic and hydrophobic mini-gaps[J]. Journal of Heat Transfer, 2016, 138(9): 150301-150311.
- [31] KIM D H, JENKINS B M, OH J H. Gypsum scale reduction and collection from drainage water in solar concentration[J]. Desalination, 2011, 265(1/3): 140-147.
- [32] MILJKOVIC N, ENRIGHT R, WANG E N. Effect of droplet morphology on growth dynamics and heat transfer during condensation on superhydrophobic nanostructured surfaces[J]. ACS Nano, 2012, 6 (2): 1776-1785.
- [33] MILJKOVIC N, ENRIGHT R, NAM Y, et al. Jumping-droplet-enhanced condensation on scalable superhydrophobic nanostructured surfaces[J]. Nano Letters, 2012, 13(1): 179-187.
- [34] OU J, HU W, WANG Y, et al. Construction and corrosion behaviors of a bilayer superhydrophobic film on copper substrate[J]. Surface and Interface Analysis, 2013, 45(3): 698-704.
- [35] CHANG C H, HSU M H, WENG C J, et al. 3D-bioprinting approach to fabricate superhydrophobic epoxy/organophilic clay as an advanced anticorrosive coating with the synergistic effect of superhydrophobicity and gas barrier properties[J]. J Mater Chem A, 2013, 144: 13869-13877.

(下转第 15 页)

- [6] 赵曼,张慧峰,张雨山,等.碳纳米管的性能及其在海水淡化膜分离材料中的应用[J].材料导报,2017,31(3):116-122.
- [7] CHAN W F, MARAND E, MARTIN S M. Novel zwitterion functionalized carbon nanotube nanocomposite membranes for improved RO performance and surface anti-biofouling resistance[J].Journal of Membrane Science,2016,509:125-137.
- [8] DONG H, ZHAO L, ZHANG L, et al. High-flux reverse osmosis membranes incorporated with NaY zeolite nanoparticles for brackish water desalination[J].Journal of Membrane Science,2015,476:373-383.
- [9] Raval H D. A novel high-flux, thin-film composite reverse osmosis membrane modified by chitosan for advanced water treatment[J]. Rsc Advances,2014,5(9):6687-6694.
- [10] 黄海,李明,张林,等.18-冠-6/KOH 络合体系催化制备高通量聚酰胺反渗透膜[J].科技导报,2015,33(14):36-40.
- [11] YAN W, WANG Z, WU J, et al. Enhancing the flux of brackish water TFC RO membrane by improving support surface porosity via a secondary pore-forming method[J].Journal of Membrane Science, 2016,498:227-241.
- [12] 谢颂京,孔媛媛,皇甫风云,等.高通量反渗透膜基膜的制取研究[J].水处理技术,2017,43(2):71-74.
- [13] 林泽,岳鑫业,潘巧明.高通量聚酰胺反渗透膜的制备[J].膜科学与技术,2016,36(3):79-85.
- [14] 岳鑫业,李俊俊,王铭,等.亲水性添加剂多巴胺对聚酰胺反渗透膜性能的影响[J].水处理技术,2014,40(8):25-28.
- [15] ZHAO L, HO W S W. Novel reverse osmosis membranes incorporated with a hydrophilic additive for seawater desalination[J].Journal of Membrane Science,2014,455:44-54.
- [16] ZHAO L, CHANG P C Y, YEN C, et al. High-flux and fouling-resistant membranes for brackish water desalination[J].Journal of Membrane science,2013,425:1-10.
- [17] ZHAO L, CHANG P C Y, HO W S W. High-flux reverse osmosis membranes incorporated with hydrophilic additives for brackish water desalination[J].Desalination,2013,308:225-232.
- [18] 邱实,吴礼光,张林,等.醇类添加剂影响界面聚合反渗透复合膜性能的机理[J].化工学报,2011,62(12):3440-3446.
- [19] 段素霞,代娟,雷建都,等.集成原位生长和界面聚合法制备聚酰胺/ZIF-8 反渗透膜[J].离子交换与吸附,2016,32(3):202-211.
- [20] KIM I C, JEONG B R, KIM S J, et al. Preparation of high flux thin film composite polyamide membrane: The effect of alkyl phosphate additives during interfacial polymerization[J].Desalination,2013, 308:111-114.

Research on Preparation of High-flux RO Seawater Desalination Membrane

CAO Zhen, TIAN Xinxia, LI Hao, ZHAO Man, ZHANG Yushan

(The institute of seawater desalination and multipurpose utilization (SOA), Tianjin 300192, China)

Abstract: High flux desalination reverse osmosis (SWRO) membranes were prepared by introducing 3-aminobenzene sulfonic acid-triethylamine (3-ABSA-TEA) and 2,4-diaminobenzene sulfonic acid-triethylamine (2,4-DBSA-TEA) to adjust membrane functional layer structure in interfacial polymerization process. The effect of aminobenzene sulfonate additive on membrane characteristics was investigated. The results showed that, when the mass fraction of 3-ABSA-TEA and 2,4-DBSA-TEA was 3.1%, the water flux could be increased 23.6% and 17.4%, respectively, and the salt rejection could not be decreased. Both two additives could make the modified membrane surface smooth and even. It had higher surface potential with low pH condition, and higher potential change rate could be showed in test interval. The membrane had excellent antifouling performance for bovine serum albumin which was modified by two additives.

Keywords: reverse osmosis membrane; high flux; interfacial polymerization; additives

(上接第 10 页)

Discussion on the Intensified Technology Development of Heat Exchange Tubes in Tubular Distillation Desalination

XIA Yahao¹, CHEN Zhili¹, FENG Yuzhao², YU Tao¹, SUN Rongji³, PENG Jingtang¹

(1.Dept. of National Defense Architecture Planning & Environmental Engineering; 2.Dept. of Military Project Management;

3.Dept. of Oil Application & Management Engineering, LEU: Chongqing 401311, China)

Abstract: In order to further improve the desalination efficiency, the heat and mass transfer mechanism of desalination by tubular distillation system were described. The research progress of heat and mass transfer performance improvement in heat exchange tubes by tube type optimization and surface modification (hydrophilic/hydrophobic) at home and abroad were summarized, and the main advantages and disadvantages of the application of the above methods in the tubular distillation desalination system were analyzed. The heat and mass transfer would be improved significantly by surface modification such as hydrophilic/hydrophobic treatment based on tube type transformation, and would avoid the phenomenon like hardly cleaning and short cleaning period. With the constant improvement of the surface modification technology, and combined with optimization of tube type, it have good application prospects in the field of tubular distillation desalination.

Keywords: desalination; tubular distillation; heat transfer enhancement; section tube; hydrophilic; hydrophobic