

南大概况

院系部门

招生就业

人才培养

科学研究

合作交流

文化生活

校园



科学研究

科研动态

自然科学

哲学人文社科

科研机构

成果查询

学术期刊

科研动态

当前位置：首页

## 现代工程与应用科学学院朱嘉教授课题组在光-蒸汽转化领域取得新进展：仿生睡莲叶结构用于高效稳定的高浓污水处理

时间：2019-07-12 浏览：14713

伴随着人口迅速增长和日益严重的水污染问题，如何缓解水资源短缺压力、有效处理废水已成为全球亟需解决的问题。多水处理技术，以缓解这些问题，如反式渗透膜、超滤膜技术等。然而目前对于处理高浓盐水（大于7%盐度）或者污水依价的方法。对于被广泛使用的膜处理技术，高浓盐水、污水的处理过程对膜的损伤极大；浓缩/结晶法需消耗大量能量。因效、稳定、廉价的处理高浓海水、污水的方法是当前备受关注的议题之一。近几年来，界面太阳能蒸汽技术由于其低碳环保量输入等特点给海水淡化、污水处理提供了新的可能。然而，在处理高浓盐水、污水过程中，器件结盐结垢问题严重，这会光的吸收、阻碍水的充足供应，使得光热转化效率衰减迅速，甚至导致器件的失效。

针对这一问题，朱嘉教授课题组受睡莲叶片结构启发，设计了一种多级结构（Water-lily-inspired Hierarchical Struc的光热-蒸汽转化器件，在处理10 wt%的高浓盐水和30 wt%的污水时，可实现80%的光热转化效率。更值得一提的是，在和污水直至蒸发完全（即“零排放”）的过程中，光热转化效率并未出现明显的下降，且表面依旧可以保持洁净。该工作以《Water-lily-inspired Hierarchical Design for Stable and Efficient Solar Evaporation of High Salinity Brine》为题发表在Scien上 (DOI: 10.1126/sciadv.aaw7013)。

如图1A, B所见，自然界中的睡莲叶片有着十分有趣的结构。首先叶片的表面可以吸收太阳光，且其上分布着充足的气孔。同时它的表面是疏水的，能够有效的自清洁。其次，睡莲叶片内部由许多空心腔室，使得整个叶片可以自然的漂浮于后，睡莲叶片和细长的根茎相连，可以通过根茎给整个叶片提供充足的水供应。

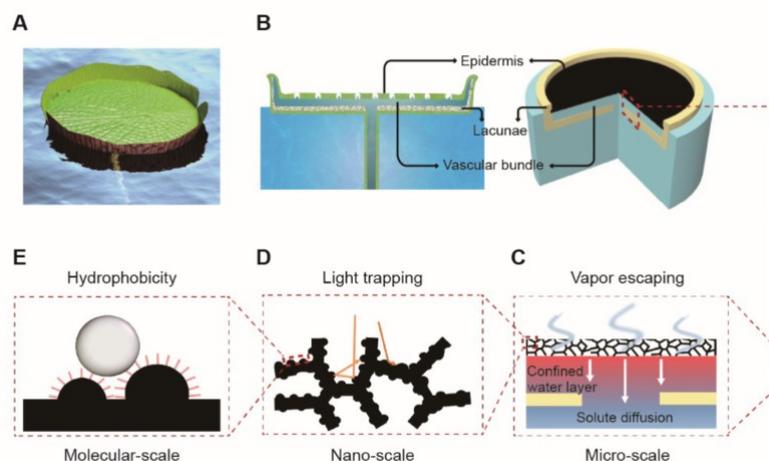


图1. 受睡莲叶启发的多级结构（WHS）器件设计图。A和B分别是睡莲叶和WHS器件的示意图。它们有着共同的特点：收太阳光，并为蒸汽逸散提供气孔；叶片内的气体腔室可以提供更大浮力让叶片漂浮；根茎可以提供局部的水通道，减少传展示了薄层水夹于吸收体和底座之间的微米级示意图。D图展示了吸收体上的纳米结构对于光吸收的影响。E图展示了吸收体度的修饰，使样品表面疏水。

研究团队设计的WHS器件包括了一个顶部的太阳光吸收体和一个底座，它们和睡莲叶片有着相似的特性（图1B）。如部的吸收体和睡莲叶的表面一般，具有丰富的微米孔道结构，像人工“气孔”一般，给蒸汽提供有效逸散的孔道。吸收体表

级的突起(图1D),可以有效地捕获太阳光,同时也为表面的疏水特性提供结构基础(1E)。仿照叶片内的腔室结构,研究者安装了一个带孔道的聚苯乙烯底座,使得整个装置可以漂浮在水上。聚苯乙烯底座具有很低的热导( $< 0.04 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ),水体的扩散。最后如同睡莲叶片的根茎一样,采用准一维的通道(聚苯乙烯底座内的局部的孔道)进行水供应。

当WHS器件处理盐水和污水时,水会从底座中的孔道进入。由于顶层的吸收体两面是疏水的,水不会进入吸收体的内部吸收体和底座中的薄层空间内。这一层薄层的水是实现稳定、高效地处理浓盐水的核心。太阳能被吸收体吸收转化为热能后,实现如同界面加热一般高效的光热-蒸汽转化。同时,由于蒸发发生在顶部吸收体的下表面,随着水的蒸发,盐和溶质不出,而是向下排出,通过底座的孔道扩散到底部的块体水中。

研究团队对此WHS器件进行光-蒸汽转化的性能测试。对于纯水,10 wt%盐水,30 wt%的污水,WHS器件分别有着79%和77.2%的光热转化效率,及 $1.31 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , $1.28 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 和 $1.27 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 的蒸汽产出量。在处理10 wt%浓盐:研究者将其与传统吸收体进行对比实验。在一个太阳下,利用WHS器件进行水处理,器件表面可持续保持洁净(图2A上),直保持在持续较高的水平(图2B)。而对于传统吸收体,盐逐渐在表面析出(图2A下),阻碍了太阳光的吸收,故而其蒸降(图2B)。而在相同条件下,通过计算可得,WHS器件8小时内的平均蒸发量是 $1.39 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ,比传统吸收体的平均: $\text{kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 高出约1.4倍。

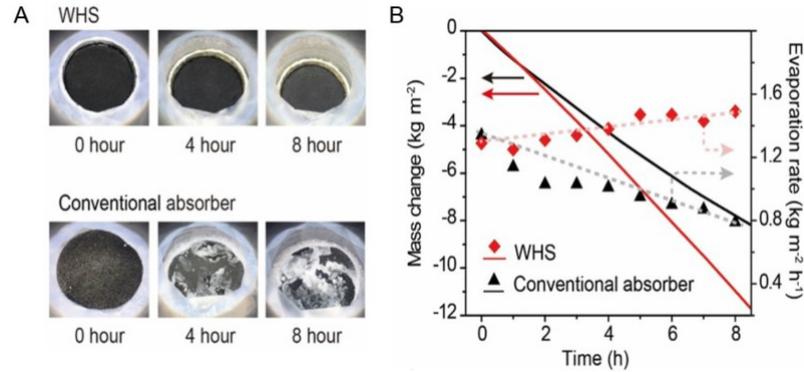


图2. WHS器件和传统吸收体在处理盐水(起始浓度为10 wt%)的表面光学照片A)及水蒸发性能曲线B)。

WHS器件在处理盐水或者污水时,能实现固液体的完全分离。如图3A和3B所示,当WHS器件漂浮在盐水(污水)表面,随着水完全蒸发,WHS器件逐步下移,直至将水完全蒸发留下盐或者溶质。值得一提的是,在此过程中,WHS器件表现出持续稳定的蒸发率,且表面并未有污染(盐或溶质的析出)。此过程中WHS器件表面照片展示在图3A和3B中的第二列插图处。当水完全蒸发,盐或溶质可以很容易被取出,如图3A和3B的右下角插图所示。

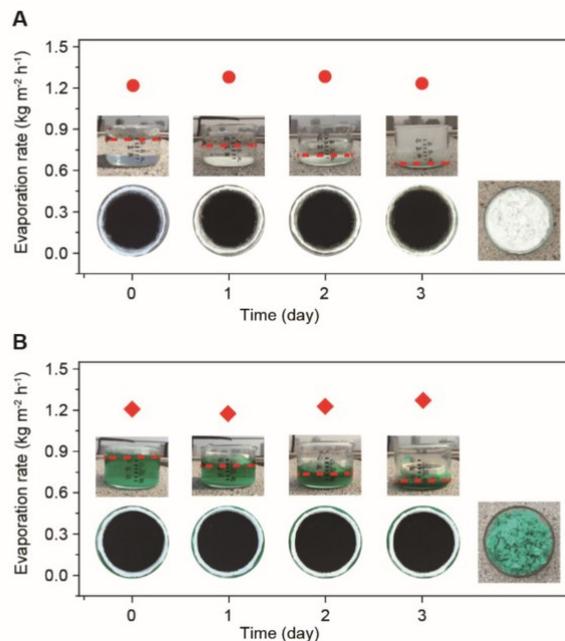


图3. 稳定且高效的光热蒸汽转化(实现水和溶质的分离)。A和B分别为太阳能海水淡化和污水处理时每一天的蒸发效率。第一和第二行分别为样品每天工作时的侧视和俯视图。最右侧一列是在完全的固液分离后收集的盐和金属溶质样品。

朱嘉教授课题组14级毕业生徐凝以及16级毕业生李金磊为文章共同第一作者, 现工院朱嘉教授为论文的通讯作者, 并得祝世宁院士的指导与支持。该研究得到了固体微结构国家实验室(筹)微加工中心的技术支持, 和国家重点研发计划、国金、中央高校基本科研业务费专项基金项目的资助。

(现代工程与应用科学学院 科学技术处)

仙林校区

南京市栖霞区仙林大道163号  
(86)-25-89683186  
(86)-25-83302728 (fax)  
210023

鼓楼校区

南京市鼓楼区汉口路22号  
(86)-25-83593186  
(86)-25-83302728 (fax)  
210093

Copyright © Nanjing University All Rights Reserved | 苏

ICP备10085945号 webmaster@nju.edu.cn