



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109833779 B

(45) 授权公告日 2021.09.03

(21) 申请号 201910275164.8

C02F 1/08 (2006.01)

(22) 申请日 2019.04.08

C02F 1/14 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109833779 A

(56) 对比文件

Antonio Politano et al..Photothermal Membrane Distillation for Seawater Desalination.《Advanced Materials》.2017,第29卷第1603504页.

(43) 申请公布日 2019.06.04

(73) 专利权人 哈尔滨工业大学
地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西大直街92号

审查员 赵晨

(72) 发明人 何玉荣 黄健 陈梅洁 胡彦伟 汪新智

(74) 专利代理机构 北京隆源天恒知识产权代理
事务所(普通合伙) 11473
代理人 闫冬 鞠永帅

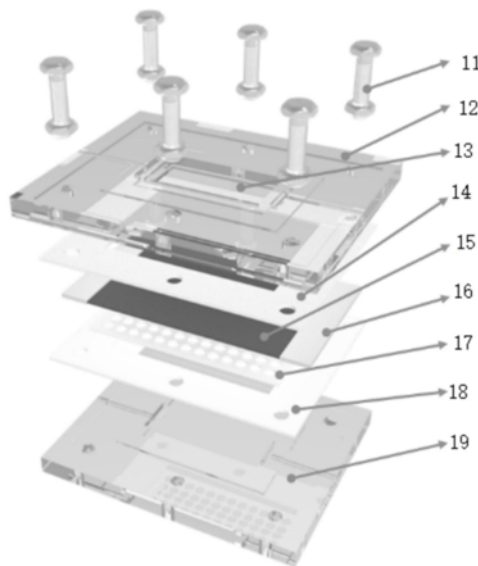
(51) Int.Cl.
B01D 61/36 (2006.01)

权利要求书2页 说明书8页 附图5页

(54) 发明名称
一种膜蒸馏组件及系统

(57) 摘要

本发明提供了一种膜蒸馏组件及系统,膜蒸馏组件包括热料侧通道、冷料侧通道、设置在所述热料侧通道与所述冷料侧通道之间的疏水微孔膜,所述热料侧通道通过疏水微孔膜与所述冷料侧通道连通;所述疏水微孔膜能够将接收到的电能转化为热能,以加热所述疏水微孔膜两侧的料液。本发明提供的膜蒸馏组件及系统,通过使用具有光热转换能力和电热转换能力的疏水微孔膜,并利用太阳能和电能实现对膜的直接加热,减少料液在膜边界处的温度损失,避免出现温度极化现象。



1. 一种膜蒸馏组件,其特征在于,包括热料侧通道(12)、冷料侧通道(19)、设置在所述热料侧通道(12)与所述冷料侧通道(19)之间的疏水微孔膜(15),所述热料侧通道(12)通过疏水微孔膜(15)与所述冷料侧通道(19)连通;所述疏水微孔膜(15)能够将接收到的电能转化为热能,以加热所述疏水微孔膜(15)两侧的料液;

所述热料侧通道(12)上设置有透光口,所述透光口处密封设置有透光板(13);所述疏水微孔膜(15)接收穿过所述透光板(13)的太阳光,并将太阳能转化为热能;所述透光口位于所述热料侧通道(12)的热料侧工作部分(123)上,所述透光板(13)上表面积与所述热料侧工作部分(123)上表面的面积相同。

2. 根据权利要求1所述的膜蒸馏组件,其特征在于,所述疏水微孔膜(15)两端连接有电极(16),所述电极(16)适于将电能传递到所述疏水微孔膜(15)上。

3. 根据权利要求1所述的膜蒸馏组件,其特征在于,所述膜蒸馏组件(1)还包括支撑网(17),所述支撑网(17)与所述疏水微孔膜(15)连接,并对所述疏水微孔膜(15)进行支撑固定。

4. 根据权利要求1所述的膜蒸馏组件,其特征在于,所述膜蒸馏组件(1)还包括至少一个密封垫圈,所述密封垫圈设置在所述热料侧通道(12)与所述疏水微孔膜(15)中间,和/或,所述密封垫圈设置在所述冷料侧通道(19)与所述疏水微孔膜(15)中间。

5. 根据权利要求1所述的膜蒸馏组件,其特征在于,所述热料侧通道(12)和所述冷料侧通道(19)均设置有进口和出口,且所述热料侧通道(12)进口和出口的直径均小于所述冷料侧通道(19)进口和出口的直径。

6. 根据权利要求1~5中任一项所述的膜蒸馏组件,其特征在于,所述疏水微孔膜(15)为按照以下方法制备的疏水微孔膜:

S1、将单壁碳纳米管加入到水溶液中,搅拌后进行超声处理,得到的碳纳米管水溶液;

S2、向所述碳纳米管水溶液中加入聚乙烯醇-苯乙炔基吡啶盐,搅拌后进行超声处理,得到CNT-PVA悬浮液;

S3、将所述CNT-PVA悬浮液装入带有喷射头的储存容器中,通过高压静电进行静电纺丝,收集得到以聚偏氟乙烯为基底的碳纳米管薄膜;

S4、将得到的薄膜放置在紫外光照射下进行交联处理,得到所述疏水微孔膜(15)。

7. 一种膜蒸馏系统,其特征在于,包括:

如上述权利要求1~6中任一项所述的膜蒸馏组件(1);

盐水池(2),所述盐水池(2)通过输运管道(9)与所述膜蒸馏组件(1)的热料侧通道(12)连接,并形成热液循环通路;

淡水池(3),所述淡水池(3)通过输运管道(9)与所述膜蒸馏组件(1)的冷料侧通道(19)连接,并形成冷液循环通路;

计量泵(4),所述计量泵(4)设置在所述输运管道(9)上;

电源(7),所述电源(7)与设置在疏水微孔膜(15)两端的电极(16)相连,以为所述疏水微孔膜(15)供电;

温度传感器(5),所述温度传感器(5)的数量为多个,多个所述温度传感器(5)分别设置在所述热料侧通道(12)的进出口处,和,所述冷料侧通道(19)的进出口处;

集成控制系统(8),通信连接所述计量泵(4)、所述电源(7)和所述温度传感器(5),所述

集成控制系统(8)接收所述温度传感器(5)的检测数据,并根据获得的数据控制所述计量泵(4)调节盐水和淡水的输送流量,以及控制所述电源(7)的输出功率。

8.根据权利要求7所述的膜蒸馏系统,其特征在于,所述膜蒸馏系统还包括光强计(6),所述光强计(6)与所述集成控制系统(8)连接,用以检测太阳光强度。

9.根据权利要求7所述的膜蒸馏系统,其特征在于,所述热液循环通路中料液的流速为0.1-1cm/s,所述冷液循环通路中料液的流速为1-10cm/s。

一种膜蒸馏组件及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及膜蒸馏技术领域,具体而言,涉及一种膜蒸馏组件及系统。

背景技术

[0002] 随着人类社会的发展,尤其是工业化水平和人类生活水平的提高,人类社会对纯净水的需求加剧,目前地球有超过10亿人缺乏饮用水,预计到2025年 70%的世界人口将面临用水短缺的问题。此外,在沿海和内陆地区,废水的管理和污水处理也面临越来越多的挑战。因此将诸如海水之类的非饮用水水源转化为纯净水是解决水资源短缺和水污染的有效手段。

[0003] 相比于目前反渗透和纳滤等商用海水淡化技术而言,膜蒸馏海水淡化技术具有分离效率高、操作条件温和、料液对薄膜作用小以及对薄膜力学性能要求低等优点。传统的膜蒸馏过程是以疏水微孔膜为介质,在膜的两侧分为“热料侧”和“渗透侧”。由于膜的疏水性,热料侧的料液不能透过膜孔,但是料液中的易挥发组分可以在膜表面的气液界面蒸发,并在膜两侧蒸汽分压差的驱动下透过膜孔,传递至渗透侧,而非挥发组分则会被疏水膜阻挡在热料侧,从而实现混合物的分离或者提纯。但是膜蒸馏过程存在的一个重要问题是温度极化,由于温度边界层的存在,料液侧膜表面处的温度低于料液主体的温度,而渗透侧膜表面的温度高于渗透侧主体的温度,严重影响了膜蒸馏过程中的热效率,致使该过程能耗过高、效率较低。

[0004] 目前,将膜蒸馏过程和太阳能集热、风力发电、光伏发电以及其他余热利用和海水淡化过程相结合研究较多。但是无论是传统的膜蒸馏过程还是和太阳能、风能等新能源相结合的膜蒸馏过程,热料侧的料液通常由外界热源提前加热至一定温度然后送至膜的热料侧进行蒸馏,使得温度极化难以避免。因此,迫切需要一种新型的膜蒸馏方法,并且能够有效解决温度极化问题,提升膜蒸馏过程热效率。

发明内容

[0005] 本发明解决的问题是:由于温度极化现象,导致膜蒸馏过程的效率低、通量小、能耗高。

[0006] 为解决上述问题,本发明提供一种膜蒸馏组件,包括热料侧通道、冷料侧通道、设置在所述热料侧通道与所述冷料侧通道之间的疏水微孔膜,所述热料侧通道通过疏水微孔膜与所述冷料侧通道连通;所述疏水微孔膜能够将接收到的电能转化为热能,以加热蒸发所述疏水微孔膜两侧的料液。

[0007] 可选的,所述疏水微孔膜两端连接有电极,所述电极适于将电能传递到所述疏水微孔膜上。

[0008] 可选的,所述热料侧通道上设置有透光口,所述透光口处密封设置有透光板,;所述疏水微孔膜接收穿过所述透光板的太阳光,并将太阳能转化为热能。

[0009] 可选的,所述膜蒸馏组件还包括支撑网,所述支撑网与所述疏水微孔膜连接,并对

所述疏水微孔膜进行支撑固定。

[0010] 可选的,所述膜蒸馏组件还包括至少一个密封垫圈,所述密封垫圈设置在所述热料侧通道与所述疏水微孔膜中间,和/或,所述密封垫圈设置在所述冷料侧通道与所述疏水微孔膜中间。

[0011] 可选的,所述热料侧通道和所述冷料侧通道均设置有进口和出口,且所述热料侧通道进口和出口的直径均小于所述冷料侧通道进口和出口的直径。

[0012] 可选的,所述疏水微孔膜为按照以下方法制备的疏水微孔膜:

[0013] S1、将单壁碳纳米管加入到水溶液中,搅拌后进行超声处理,得到的碳纳米管水溶液;

[0014] S2、向所述碳纳米管水溶液中加入聚乙烯醇-苯乙烯基吡啶盐,搅拌后进行超声处理,得到CNT-PVA悬浮液;

[0015] S3、将所述CNT-PVA悬浮液装入带有喷射头的储存容器中,通过高压静电进行静电纺丝,收集得到以聚偏氟乙烯为基底的碳纳米管薄膜;

[0016] S4、将得到的薄膜放置在紫外光照射下进行交联处理,得到所述疏水微孔膜。

[0017] 本发明还提供了一种膜蒸馏系统,包括:

[0018] 如上述所述的膜蒸馏组件;

[0019] 盐水池,所述盐水池通过输运管与所述膜蒸馏组件的热料侧通道连接,并形成热液循环通路;淡水池,所述淡水池通过输运管与所述膜蒸馏组件的冷料侧通道连接,并形成冷液循环通路;计量泵,所述计量泵的数量为多个,多个所述计量泵分别设置在热液循环通路的输运管和冷液循环通路的输运管上;电源,所述电源与设置在疏水微孔膜两端的电极相连,以为所述疏水微孔膜供电;温度传感器,所述温度传感器的数量为多个,多个所述温度传感器分别设置在所述热料侧通道的进出口处,和,所述冷料侧通道的进出口处;集成控制系统,连接所述计量泵、所述电源和所述温度传感器,所述集成控制系统接收所述温度传感器的检测数据,并根据获得的数据控制所述计量泵调节盐水和淡水的输送流量,以及控制电源的输出功率。

[0020] 可选的,所述膜蒸馏系统还包括光强计,所述光强计与所述集成控制系统连接,用以检测太阳光强度。

[0021] 可选的,所述热液循环通路中料液的流速为0.1-1cm/s,所述冷液循环通路中料液的流速为1-10cm/s。

[0022] 相对于现有技术,本发明所述的膜蒸馏组件具有以下优势:

[0023] (1) 本发明采用具有将电能转化为热能的疏水微孔膜,采用直接加热和局部加热疏水微孔膜的方式将热量集中,可以有效提高热料侧料液在膜边界处的温度,避免温度极化现象,减少热量损失并提高温度极化系数,从而提升膜蒸馏过程的热效率。

[0024] (2) 本发明的膜蒸馏组件,由于疏水微孔膜具有电热性能,还具有光热性能,在热料侧通道内可以采用较低的流速,实现料液的充分加热和蒸馏,降低了热料侧料液输送的能耗。

[0025] (3) 本发明还可以采用光热和电热协同工作的方式,通过引入光热和电热竞争机制,采用合理的设计和智能控制,实现光热和电热的协同或者间歇式工作,可以有效解决太阳能无法持续稳定供应问题,实现膜蒸馏过程持续进行。

[0026] 所述膜蒸馏系统与上述膜蒸馏组件相对于现有技术所具有的优势相同,在此不再赘述。

附图说明

[0027] 构成本发明的一部分的附图用来提供对本发明的进一步理解,本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明,并不构成对本发明的不当限定。在附图中:

[0028] 图1为本发明所述的具有将电能和光能转化为热能的膜蒸馏过程与传统膜蒸馏过程对比示意图;

[0029] 图2为本发明所述的具有将电能和光能转化为热能的膜蒸馏的原理图;

[0030] 图3为本发明所述的膜蒸馏组件的结构示意图;

[0031] 图4为本发明所述的膜蒸馏组件的剖面示意图;

[0032] 图5为本发明所述的膜蒸馏组件料液通道的剖面示意图;

[0033] 图6为本发明所述的膜蒸馏组件料液通道的俯视图;

[0034] 图7为本发明所述的COMSOL计算得到的膜蒸馏组件流线图;

[0035] 图8为本发明所述的膜蒸馏系统的结构示意图;

[0036] 图9为本发明所述的疏水微孔膜的制备流程图。

[0037] 附图标记说明:

[0038] 1-膜蒸馏组件,11-紧固螺钉,12-热料侧通道,121-热料侧料液入口,122-热料侧第一过渡部分,123-热料侧工作部分,124-热料侧第二过渡部分,125-热料侧料液出口,13-透光板,14-上层密封垫圈,15-疏水微孔膜,16-电极,17-支撑网,18-下层密封垫圈,19-冷料侧通道,191-冷料侧料液入口,192-冷料侧第一过渡部分,193-冷料侧工作部分,194-冷料侧第二过渡部分,195-冷料侧料液出口,110-垫片槽,2-盐水池,3-淡水池,4-计量泵,5-温度传感器,6-光强计,7-电源,8-集成控制系统,9-输运管道。

具体实施方式

[0039] 需要说明的是,在不冲突的情况下,本发明中的实施例中的特征可以相互组合。

[0040] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更为明显易懂,下面结合附图对本发明的具体实施例做详细的说明。

[0041] 膜蒸馏的原理为:当两种温度不同的水溶液被一个疏水微孔膜15分隔开时,在膜两侧水蒸气压力差的作用下,会发生膜热侧水蒸气通过疏水微孔膜15的膜孔进入到膜冷侧的传递过程,实现液相水溶液与气相水分离的目的。传统的膜蒸馏系统通常对热侧的料液进行整体加热,但由于汽化热和通过膜的传导热,会导致在料液与膜面间的传热边界层中产生温度梯度,使得跨膜温差小于膜两侧料液主体温差,这样实际传质推动力减小,膜通量减小,也即出现温度极化现象。为减少温度极化现象,避免料液与疏水微孔膜15的边界处出现温度减低的现象,本实施例通过优化疏水微孔膜15的性质,使之具有将电能转化为热能的能力,这样就可以对膜两侧的料液直接进行加热,减少料液在膜边界处的温度损失,减少温度极化现象。

[0042] 结合图3-5所示,一种膜蒸馏组件1,包括热料侧通道12、冷料侧通道19、设置在热料侧通道12与冷料侧通道19之间的疏水微孔膜15,热料侧通道12通过疏水微孔膜15与冷料

侧连通；热料侧通道12与冷料侧通道19分别设有进出口，且冷料侧通道19输送料液的温度低于热料侧通道12输送料液的温度；疏水微孔膜15能够将接收到的电能转化为热能，以加热疏水微孔膜15两侧的料液。疏水微孔膜15通过电极16与电源7连通，并能将电能转化为热能，以加热蒸发疏水微孔膜15两侧的料液。

[0043] 具体的，膜蒸馏组件1的整体结构分为两层，上层为热料侧通道12，下层为冷料侧通道19；疏水微孔膜15固定在热料侧通道12和冷料侧通道19之间并将二者密封隔开，也即，热料侧通道12内的料液蒸发产生的水蒸气只能通过疏水微孔膜15进入冷料侧通道19内。此时，疏水微孔膜15与上下两层料液紧密接触，通过电热加热疏水微孔膜15两侧料液的同时，由于下层料液的温度比上层料液的温度低，上层料液（也即浓盐水）将会在压力差的作用下蒸发，变成水蒸汽穿过疏水微孔膜15，进入到下层料液（也即淡水）中并被运输出去，从而实现了盐水分离过程。

[0044] 结合图2所示，膜蒸馏组件1，通过设置具有电热转换能力的疏水微孔膜15，在热料侧通道12的料液通过疏水微孔膜15时，薄膜可以将电能转化为热能，并利用转化的热能加热疏水微孔膜15膜附近的料液，从而为热料侧料液挥发性组分的蒸馏提供驱动力，实现热料侧料液的直接加热和持续蒸馏，完成提纯或者分离过程。

[0045] 结合图1所示，可以清楚看出采用传统膜蒸馏与具有电热性能的膜蒸馏之间的区别：采用传统疏水微孔膜时，热料侧必须加入已升温的料液，且热料侧的料液主体温度在靠近薄膜的方向上呈下降趋势，也即热料侧料液主体温度高于料液与膜边界处的温度，这样使得跨膜温差小于膜两侧料液主体温差。而在采用具有电热转换能力的疏水微孔膜时，热料侧可以加入常温热料，且热料侧的料液主体温度在靠近薄膜的方向上呈上升趋势，使得跨膜温差大于膜两侧料液主体温差，有效的提高了实际传质推动力。

[0046] 相对于传统的膜蒸馏技术而言，采用电热作用的膜蒸馏方法通过直接加热和局部加热的方式可以避免对整体料液的加热，通过热量集中可以有效提高膜热料侧的料液温度。当热料侧料液主体温度相同，传统膜蒸馏过程中薄膜附近温度将会比料液主体温度低，但是引入电热后，薄膜附近温度将比料液主体温度高。这样可以减少了热料侧料液在薄膜边界处的温度损失，提高温度极化系数，增大推动力，从而缓解膜蒸馏过程所产生的温度极化的现象，提升膜蒸馏过程的热效率

[0047] 可以理解的是，由于疏水微孔膜15较薄，为更好的固定，膜蒸馏组件1还包括支撑网17，支撑网17与疏水微孔膜15连接，并对疏水微孔膜15进行支撑固定。

[0048] 为增大热料侧通道12、冷料侧通道19与疏水微孔之间的密封性，避免料液从连接处渗出。膜蒸馏组件1还包括至少一个密封垫圈，密封垫圈设置在热料侧通道12与疏水微孔膜15中间，和/或，密封垫圈设置在冷料侧通道19与所述疏水微孔膜15中间。优选的，膜蒸馏组件1包括两个密封垫圈，设置热料侧通道12与疏水微孔膜15中间的为上层密封垫圈14，设置在冷料侧通道19与所述疏水微孔膜15中间的为下层密封垫圈18。

[0049] 在安装时，先在疏水微孔膜15的两端固定连接铜电极16，然后再放置在支撑网17上，最后再整体夹在两层密封垫圈中间。疏水微孔膜15在支撑网17的支撑作用下，通过上层密封垫圈14和下层密封垫圈18，并通过紧固螺钉11固定在上下两层料液输送通道之间，实现热料侧通道12与冷料侧通道19以及与外部之间的密封，在从而将热料输送通道和冷料输送通道隔开。

[0050] 其中,热料侧通道12具体包括料液进口和出口,料液进口和料液出口为分别设置在热料侧通道12两端的热料侧料液入口121和热料侧料液出口125,热料侧料液入口121与热料侧料液出口125之间还设置有热料侧第一过渡部分122、热料侧工作部分123以及热料侧第二过渡部分124。结合图4-5可以看出,热料侧料液入口121、热料侧第一过渡部分122、热料侧工作部分123、热料侧第二过渡部分124以及热料侧料液出口125依次连通形成热料输送通道,该热料输送通道可以容纳盐水通过。

[0051] 冷料侧通道19与热料侧通道12的结构相对应,只是为了适应上下层料液的不同流速而尺寸略有差异。冷料侧通道19设置有进口和出口,其中进口和出口分别为设置在冷料侧通道19两端的冷料侧料液入口191和冷料侧料液出口195。冷料侧料液出口195、冷料侧第一过渡部分192、冷料侧工作部分193、冷料侧第二过渡部分194以及冷料侧料液入口191依次连接形成冷料输送通道,该冷料输送通道可以容纳淡水通过。其中,热料侧第一过渡部分122与冷料侧第一过渡部分192、热料侧工作部分123与冷料侧工作部分193、热料侧第二过渡部分124与冷料侧第二过渡部分194均通过疏水微孔膜15连通,而热料侧通道12的进出口与冷料侧通道19的进出口相互独立,同时,为了增大通量,尽可能多的产生水蒸气,热料侧通道12内的料液与冷料侧通道19内的料液相逆流动。也即,从膜蒸馏组件1的整体结构上看,热料侧料液入口121与冷料侧料液出口195位置相对,热料侧料液出口125与冷料侧料液入口191位置相对。

[0052] 同时,热料侧通道12和冷料侧通道19上均设置有相应的垫片槽110和螺孔,垫片槽110适于容纳密封垫片,螺孔适于容纳螺钉穿过,以将热料侧通道12和冷料侧通道19固定为一整体。

[0053] 结合图3、图6所示,具体的,上层热料侧通道12中的热料侧料液入口121和热料侧料液出口125均为圆形通道,且进出口的大小相同,二者的直径范围均为3.5~4.5mm;优选的,热料侧料液入口121和热料侧料液出口125的直径均为4mm。下层冷料侧通道19中的冷料侧料液入口191和冷料侧料液出口195也都为圆形通道,且通道的直径范围7.5~8.5mm,优选的,冷料侧料液入口191和冷料侧料液出口195的直径均为8mm。当然根据实际需要,上下层通道的进出口的直径也可以设置为其他尺寸,只要满足热料侧通道12进出口的直径小于冷料侧通道19进出口的直径即可。

[0054] 由于疏水微孔膜15将电能转化成热能时,对疏水微孔膜15的两侧的料液都进行加热,若想要实现膜蒸馏过程,则膜冷料侧的温度需要低于膜热料侧的温度,通过在冷料侧通道19内循环温度较低的淡水来实现膜两侧的温差。而当冷料侧通道19进出口的直径大于热料侧通道12进出口直径时,可以控制冷料侧通道19内的料液的流速、流量大于热料侧通道12内的料液的流速和流量,这样可以快速降低疏水微孔膜15冷料侧界面的温度,增大跨膜温差,进一步降低温度极化现象。

[0055] 另外,热料侧第一过渡部分122、热料侧第二过渡部分124、热料侧工作部分123均为开口向下的方形槽;相应的,冷料侧第一过渡部分192、冷料侧第二过渡部分194、冷料侧工作部分193均为开口向上的方形槽。这样在装配状态下,热料侧的过渡部分、工作部分与冷料侧的过渡部分、工作部分相适配,围合成中间设置有疏水微孔膜15的矩形通道。为了使料液更平稳地进入中间的热/冷料侧工作部分193,热料侧第一过渡部分122和热料侧第二过渡部分124的尺寸设置为5×30×8.5mm(长×宽×高),冷料侧第一过渡部分192和冷料侧

第二过渡部分194的尺寸设置为 $5 \times 30 \times 12.5\text{mm}$ (长 \times 宽 \times 高),热料侧工作部分 123的尺寸设置为 $90 \times 50 \times 1.5\text{mm}$ (长 \times 宽 \times 高),冷料侧工作部分193的尺寸设置为 $90 \times 40 \times 1.5\text{mm}$ (长 \times 宽 \times 高)。

[0056] 同时,本发明提供的疏水微孔膜15还具有将太阳能转化为热能的性能,为充分利用太阳光能,膜组件1中的热料侧通道12上设置有透光口,透光口处密封设置有透光板13,透光板13可以透过太阳光,疏水微孔膜15接收穿过透光板13的太阳光,并将太阳能转化为热能;利用转化的热能与电能转化的热能一起配合作用,对疏水微孔膜15两侧的料液进行加热。

[0057] 膜组件采用光热和电热协同工作的方式,实现光热和电热的协同或者间歇式工作,当太阳光强度大时,可以减小电能输出,避免电力资源的浪费;同时,当阴雨天气时,可以加大电能输出,有效解决太阳能无法持续稳定供应问题。

[0058] 为更好的接收太阳能,透光孔设置在热料侧工作部分123上,透光孔位于热料侧工作部分123的中间且其上表面的面积略小于热料侧工作部分123上表面的面积;透光板13设置在透光孔靠近疏水微孔膜15的一端,且透光板13上表面积与热料侧工作部分123上表面的面积相同,这样保证从透光口进入的太阳光能够全部被疏水微孔膜15接收,提高太阳能的转化效率。

[0059] 如图7所示,根据实际工作需要,设计膜蒸馏组件几何结构,建立物理模型,运用有限元方法求解流动过程的连续性方程、动量方程和能量基本方程,设定工作时的进出口速度作为初始条件,并通过COMSOL (有限元仿真软件) 计算求解,可以获得料液通道内流体运动的基本情况,以此对膜蒸馏组件1进行表征。通过COMSOL计算得到上下层通道中流线的分布,可以看到经过优化改进后的流场流线分布相对均匀,不会因为流场分布不均出现旋涡或者回流等情况,满足膜蒸馏过程的基本要求,有利于实现膜蒸馏的稳定工作。

[0060] 疏水微孔膜15具有将太阳能和电能转为为热能的能力,其中能产生光热和电热的材料为碳纳米管材料。

[0061] 结合图9所示,具备光热电热转换能力的疏水微孔膜15的制备方法,包括步骤:

[0062] S1、将单壁碳纳米管加入到水溶液中,搅拌后进行超声处理,得到的碳纳米管水溶液。

[0063] 将0.1g的单壁CNT (碳纳米管) 加入到8.9g的水溶液中,机械搅拌10min, 然后采用超声破碎仪进行超声处理10min,得到分散均匀的CNT水溶液。

[0064] S2、向所述碳纳米管水溶液中加入聚乙烯醇-苯乙基吡啶盐,搅拌后进行超声处理,得到CNT-PVA悬浮液。

[0065] 在CNT水溶液中,加入1g的聚乙烯醇-苯乙基吡啶盐 (PVA-SbQ), 机械搅拌60min, 然后采用超声破碎仪进行超声处理10min,得到分散均匀的CNT-PVA 悬浮液。

[0066] S3、将所述CNT-PVA悬浮液装入带有喷射头的储存容器中,通过高压静电进行静电纺丝,收集得到以聚偏氟乙烯为基底的碳纳米管薄膜。

[0067] 将尺寸为 $13.5 \times 15\text{cm}$,孔径大小为 $0.45\mu\text{m}$ 的PVDF (聚偏氟乙烯) 商业薄膜固定在静电纺丝机的滚筒接收器上面作为基底,将步骤S2制备的CNT-PVA溶液加入到5mL的注射器中,控制室内温度为 25°C ,环境相对湿度为30-60%,进行静电纺丝4h,得到以PVDF为基底的CNT薄膜。

[0068] 其中,在静电纺丝机系统中,设置喷头到接收器的距离为15cm,注射泵的推注速度为0.1mm/min,正高压为15kV,负高压为-5kV。

[0069] S4、将步骤S3制得的薄膜放置在紫外光照射下进行交联处理,得到所述疏水微孔膜15,其中交联处理时间为20~40min,优选为30min。

[0070] 这种采用静电纺丝制备疏水微孔膜15的方法工艺简单,将碳纳米管涂覆在PVDF膜表面形成复合膜,利用碳纳米管材料有益的光热和导电性能,使制备的疏水微孔膜15具有将光能和电能转化为热能的性质。同时,由于PVDF膜具有绝缘性,当接收到电能时,在疏水微孔膜15整体结构中,PVDF膜侧的温度低于CNT膜侧的温度,因此在安装时,通常将PVDF侧与冷料侧通道19连接,将CNT膜侧与热料侧通道12连接,这样可以进一步增大跨膜温差,从而减少膜蒸馏过程中的温度极化现象。

[0071] 此外,本实施例还提供了一种膜蒸馏系统,整个系统主要包括:如上述所述的膜蒸馏组件1、盐水池2、淡水池3、计量泵4、温度传感器5、电源7、集成控制系统8和输运管道9等部分。

[0072] 结合图8所示,盐水池2通过输运管道9与膜蒸馏组件1的热料侧通道12连接,并形成热液循环通路;淡水池3通过输运管道9与膜蒸馏组件1的冷料侧通道19连接,并形成冷液循环通路;计量泵4的数量为多个,多个计量泵4分别设置在热液循环通路的输运管和冷液循环通路的输运管上;电源7与设置在疏水微孔膜15两端的电极16通过导线连通,以对疏水微孔膜15提供电能;温度传感器5的数量也为多个,多个温度传感器5分别设置在热料侧通道12的进出口处,和,冷料侧通道19的进出口处;集成控制系统8,连接计量泵4、电源7和温度传感器5,集成控制系统8接收温度传感器5的检测数据,并根据获得的数据控制计量泵4调节盐水和淡水的输送流量,以及控制电源7的输入功率。

[0073] 另外,膜蒸馏系统还包括光强计6,光强计6与集成控制系统8连接,用以检测太阳光强度。由于疏水微孔膜15进行光热转换的能量来源于太阳能,且太阳能具有能量波动性,采用光强计6对太阳光的强度进行检测,并利用温度传感器5对膜组件上下进出口的料液温度进行检测。光强计6和所有温度传感器5的检测数据均传递到集成控制系统8中,集成控制系统8根据获得的数据进行判断,并自动控制计量泵4调节盐水和淡水的输送流量,同时自动控制调节电源7的输入功率,使电源7的输入功率与太阳光的输入功率相匹配,也使得输入到疏水微孔膜15的总功率保持不变,从而保证疏水微孔膜15通过转换光能和电能得到的热能恒定,以保持疏水微孔膜15两侧界面处的料液温度恒定,盐水转化成淡水的产水速率不变,最终保持整个系统的稳定运行。

[0074] 采用光热和电热协同工作的方式,通过引入光热和电热竞争机制,采用合理的设计和智能控制,实现光热和电热的协同或者间歇式工作,可以有效解决太阳能无法持续稳定供应问题,实现膜蒸馏系统的膜蒸馏过程的持续进行。

[0075] 此外,传统的膜蒸馏技术对热料侧料液的输运速度有一定的要求,较低的速度会使热料液和冷料液之间的热交换加剧,温度极化现象加重,热效率较低。而光热电热协同膜蒸馏方法采用较低的流速即可实现料液的充分加热和蒸馏,这样就降低了热料侧料液输送的能耗。根据实验人员的实际经验总结,热液循环通路中料液的流速为0.1-1cm/s,冷液循环通路中料液的流速为1-10cm/s。

[0076] 膜蒸馏系统的工作原理为:

[0077] 盐水池2中的料液通过输运管道9送入光热电热协同膜组件后,被光热和电热膜加热并蒸发,热料侧通道12内水蒸气在压力差作用下穿过疏水微孔膜15,进入下层冷料侧通道19内的淡水中冷凝。因为在冷料侧通道19内循环的是温度较低的淡水,所以穿过疏水微孔膜15进入到冷料侧通道19中的水蒸气接触到温度较低的淡水便会很快冷却,并随着冷液循环通路被送往淡水池3,实现盐水淡化的分离过程。

[0078] 可以理解的是,疏水微孔膜15通过外加的电源7提供的电流进行电热作用,此处的电源7可以是高频电源7,也可以为由光电系统或风力发电系统或其他新能源提供的电能。这样可以充分利用太阳能和风能等自然资源,降低石化能源消耗,减少碳排放量。

[0079] 以上所述仅为本发明的较佳实施例,对本发明而言仅仅是说明性的,而非限制性的。本专业技术人员理解,在本发明权利要求所限定的精神和范围内可对其进行许多改变,修改,甚至等效,但都将落入本发明的保护范围内。

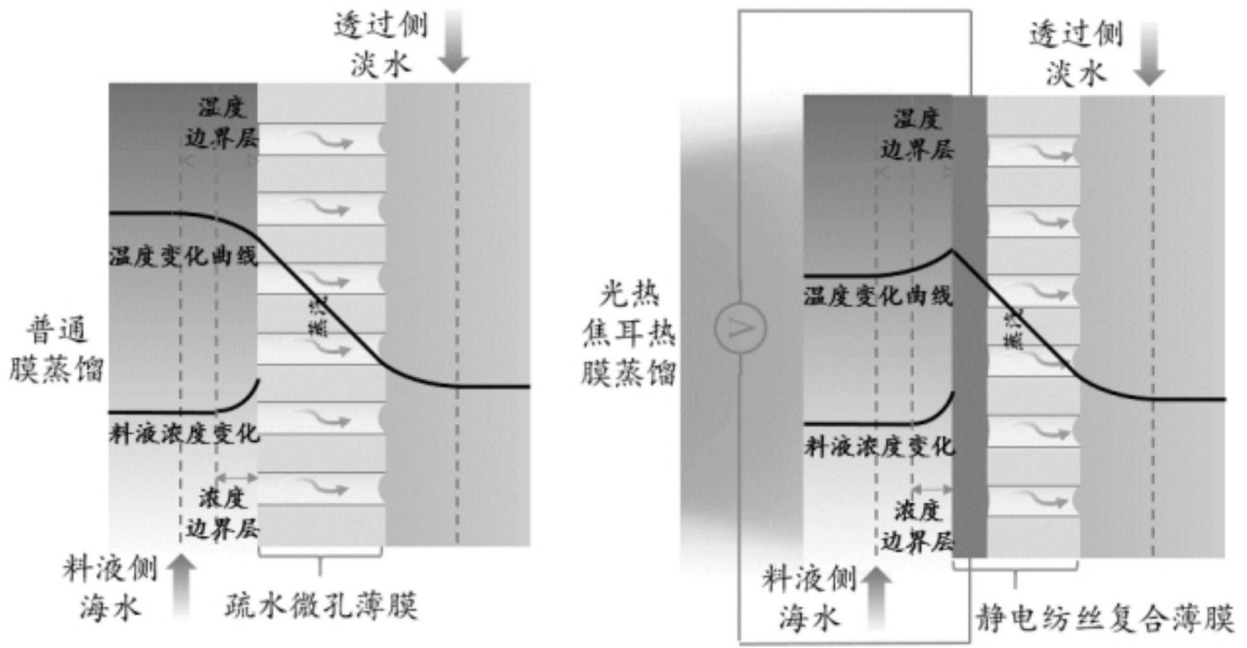


图1

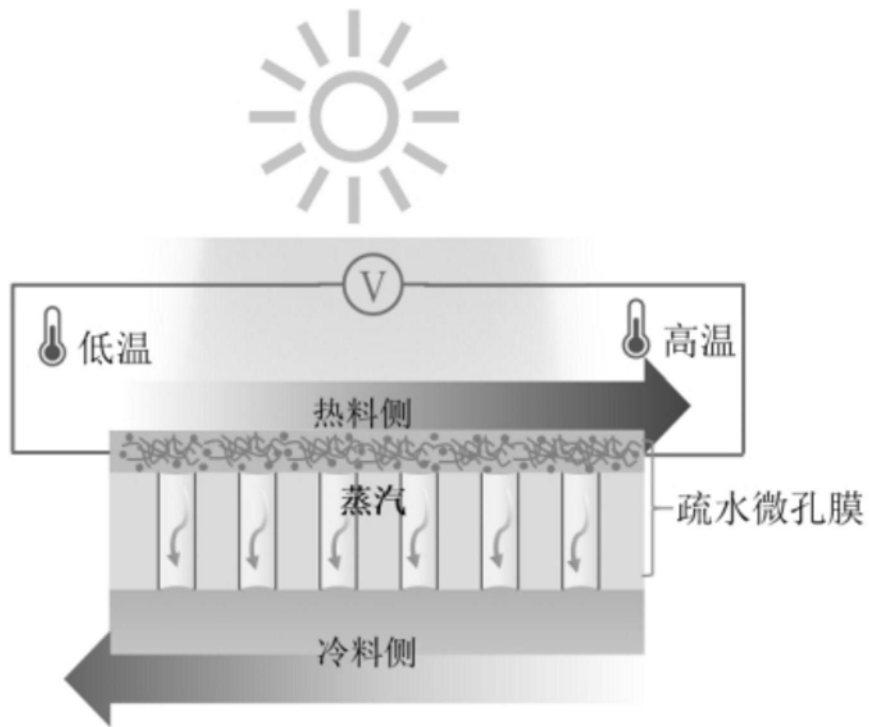


图2

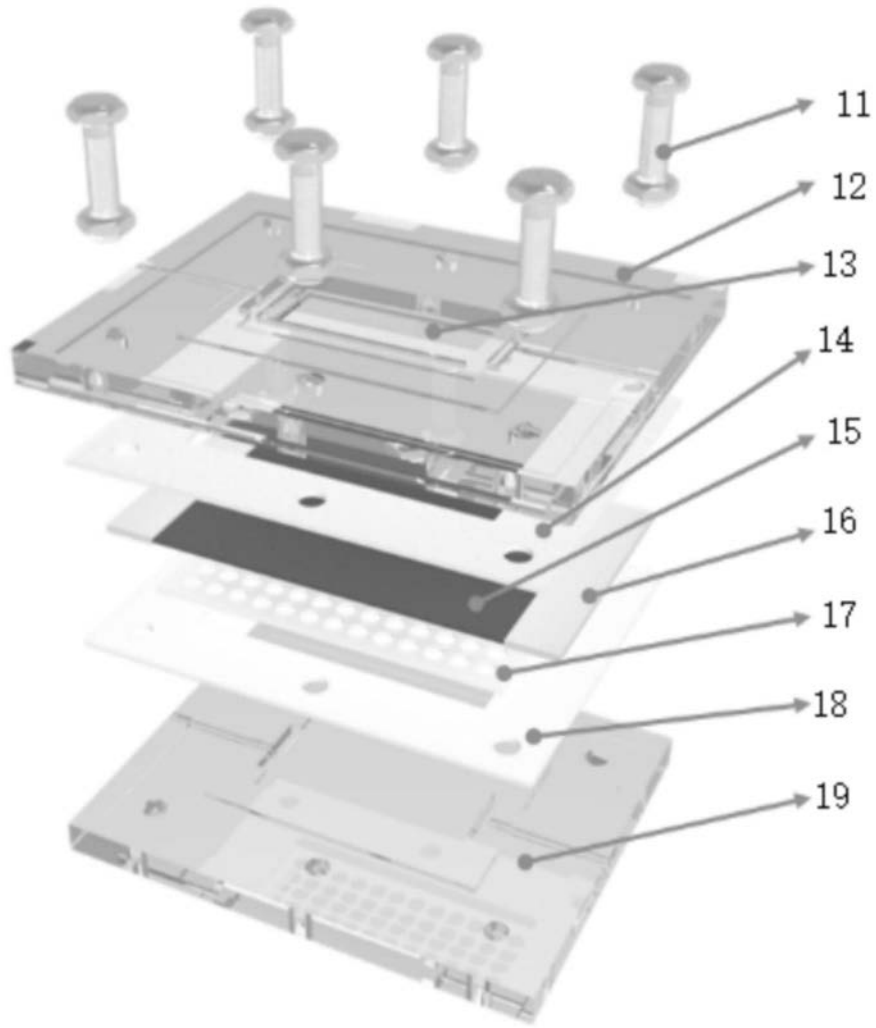


图3

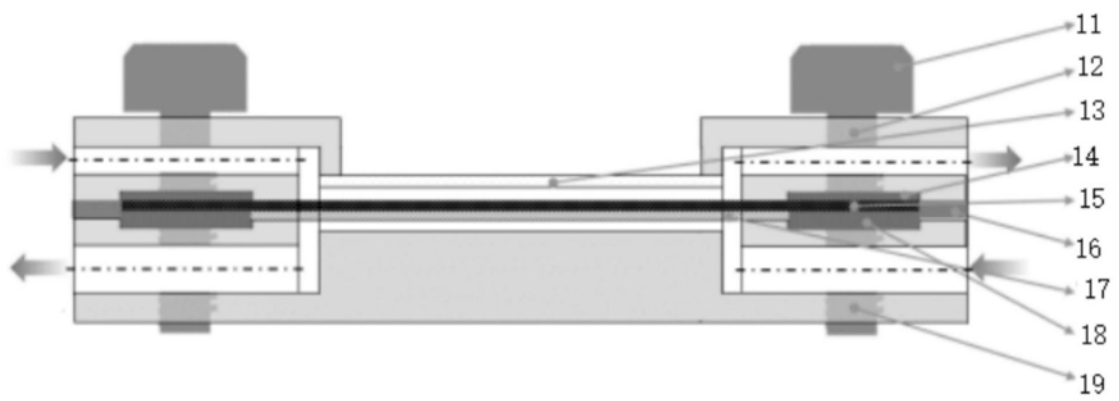


图4

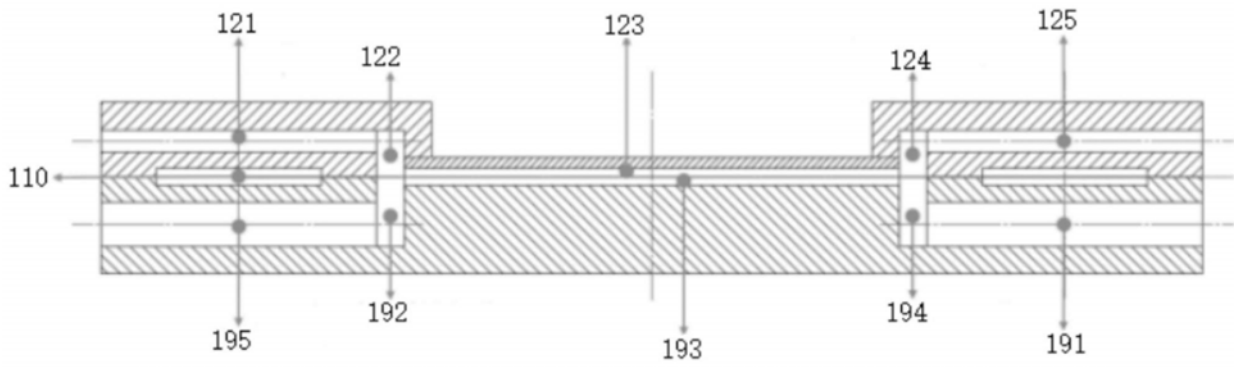


图5

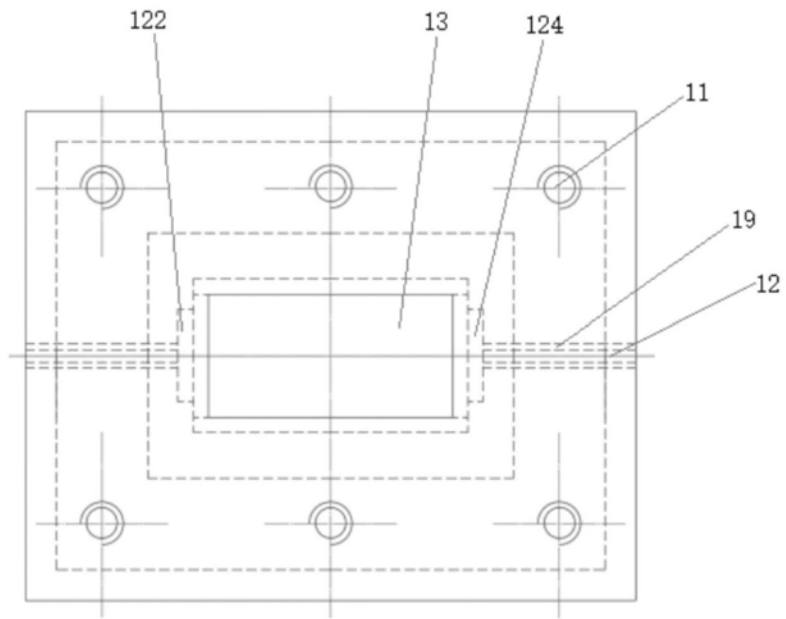


图6

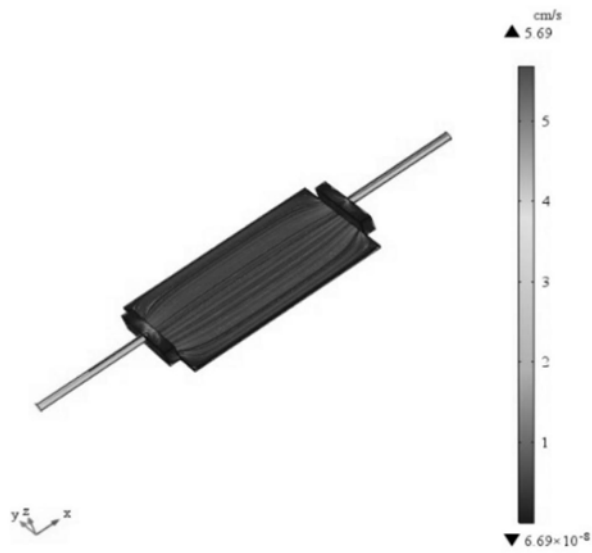


图7

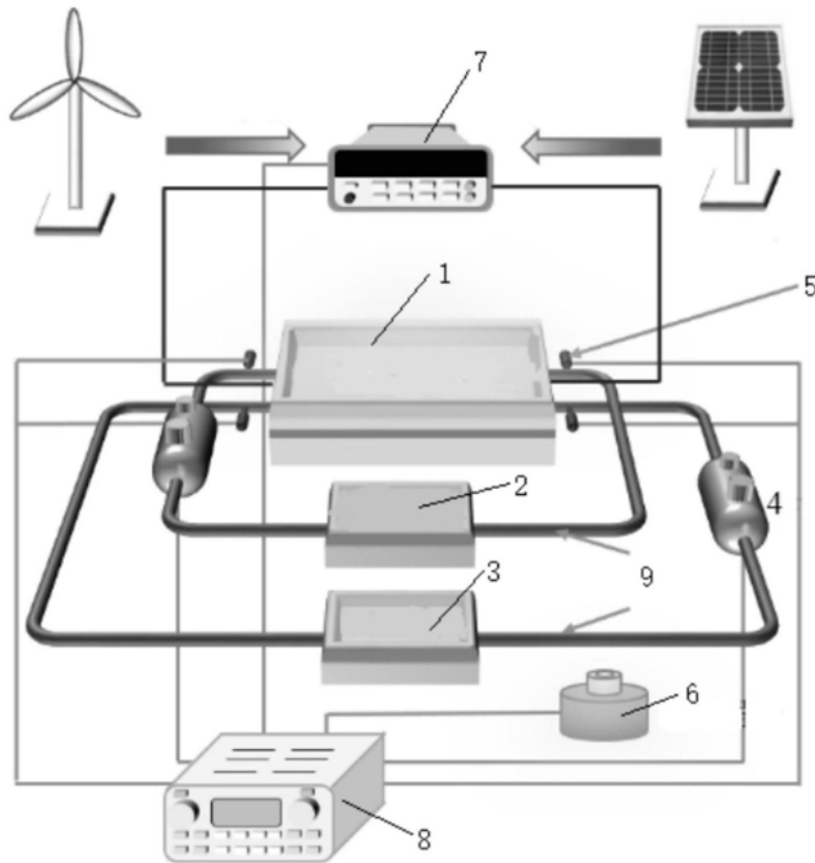


图8

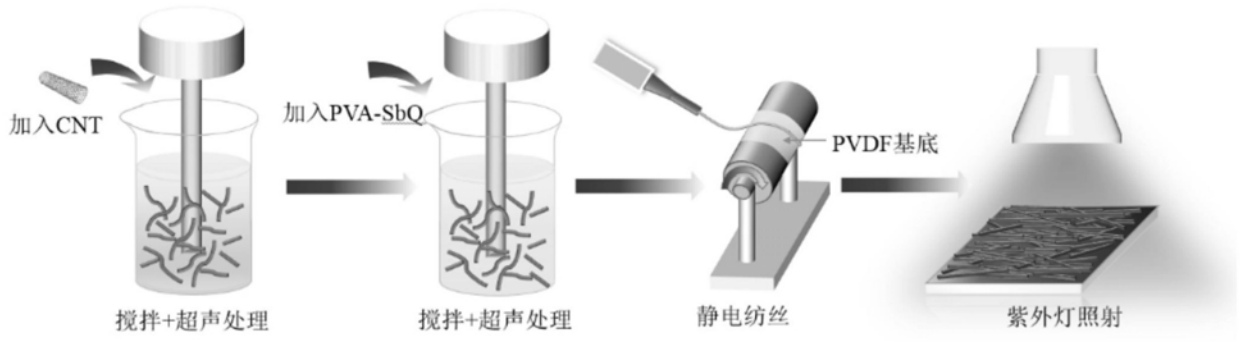


图9