



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115976553 B

(45) 授权公告日 2024.12.27

(21) 申请号 202211694013.4

(56) 对比文件

(22) 申请日 2022.12.28

CN 114262909 A, 2022.04.01

(65) 同一申请的已公布的文献号

审查员 赵春霖

申请公布号 CN 115976553 A

(43) 申请公布日 2023.04.18

(73) 专利权人 哈尔滨工业大学(威海)

地址 264200 山东省威海市文化西路2号

(72) 发明人 郝晓文 王方舟 刘福林 谭建宇

(74) 专利代理机构 北京奇眸智达知识产权代理有限公司 11861

专利代理师 徐秋韵

(51) Int. Cl.

G25B 9/63 (2021.01)

G25B 9/60 (2021.01)

G25B 1/04 (2021.01)

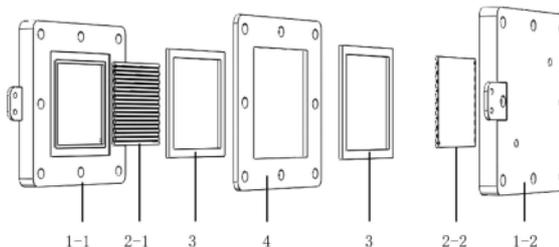
权利要求书1页 说明书7页 附图5页

(54) 发明名称

一种带有紊流强化模块的电解水制氢装置及方法

(57) 摘要

本发明属于水电解制氢技术领域,公开了一种带有紊流强化模块的电解水制氢装置及方法,端压极板包括阴极端压极板和阳极端压极板,端压极板内侧中央开设有用于安放流场模块的方形凹槽;流场模块包括阴极流场模块和阳极流场模块,一面光滑,另一面开设有蛇形螺纹流道;金属电极包括金属阴极、金属阳极,为多孔材质电极;隔膜位于阴极端压极板和阳极端压极板中间。本发明利用流场模块作为紊流强化模块,可以增强流道内的传质效果,电解液在流场内部冲刷电极,强化气液传质能力,提升水电解效率,便于清理流场,降低装配难度,可应对多种种类以及厚度的电极、可实现不同流场的切换、以及适应碱性阴离子交换膜水电解和质子交换膜两种水电解工况。



1. 一种带有紊流强化模块的电解水制氢装置,其特征在于,所述带有紊流强化模块的电解水制氢装置包括:

端压极板,包括阴极端压极板和阳极端压极板,阴极端压极板和阳极端压极板分别设置于阴极与阳极的最外侧,用于导电、固定并夹紧整个电解装置,端压极板内侧中央开设有用于安放流场模块的方形凹槽;

流场模块,包括阴极流场模块和阳极流场模块,为方形板状结构,一面光滑,另一面开设有蛇形螺纹流道,蛇形螺纹流道的始末端分别设有垂直的进出孔道,进出孔道与端压极板的进液口和气体出口对应吻合;

金属电极,包括金属阴极、金属阳极,为多孔材质电极;

隔膜,位于阴极端压极板和阳极端压极板中间;

所述端压极板的方形凹槽周围开设有密封垫片凹槽,所述密封垫片凹槽内安装有用于密封整个装置的密封垫片;

所述阴极流场模块和阳极流场模块中间设置有绝缘限厚板,用于防止阴极端压极板和阳极端压极板之间距离过近导致短路,并防止夹紧时施加的力度过大压坏膜和金属电极结构。

2. 如权利要求1所述的带有紊流强化模块的电解水制氢装置,其特征在于,所述端压极板外侧装有铜材质的接线铜板,用于加载外部电流;所述端压极板外周设有间隔相同的孔位用于螺栓紧固。

3. 如权利要求1所述的带有紊流强化模块的电解水制氢装置,其特征在于,所述金属电极为泡沫金属电极、编织网或膨胀网金属,金属电极厚度为0.1-2mm。

4. 如权利要求1所述的带有紊流强化模块的电解水制氢装置,其特征在于,所述密封垫片采用硅胶垫片,所述密封垫片的厚度比金属电极厚0.8mm。

5. 如权利要求1所述的带有紊流强化模块的电解水制氢装置,其特征在于,所述绝缘限厚板采用环氧树脂板加工而成,厚度为选用金属阴极与金属阳极厚度之和。

6. 如权利要求1所述的带有紊流强化模块的电解水制氢装置,其特征在于,所述隔膜为阴离子交换膜或质子交换膜,所述隔膜的面积大于金属电极的面积并不超过密封垫片的外圈。

7. 如权利要求1所述的带有紊流强化模块的电解水制氢装置,其特征在于,所述端压极板的方形凹槽内对角分布极板进液孔和极板出气孔,贯穿整个端压极板。

8. 一种用于实施权利要求1~7任意一项所述的带有紊流强化模块的电解水制氢装置的电解水制氢方法,其特征在于,所述电解水制氢方法包括:

步骤一,将电解槽安装后首先进行密封性测试,确保电解槽密封夹紧后再进行电解;

步骤二,电解液从两侧下方的极板进液孔流入,接入稳压直流电源,电解电压范围1.8-2.5V;

步骤三,在阴极侧采用10-100cc/min的电解液沿阴极流场模块进入阴极多孔电极,与电极发生电化学反应,同时电解液也起着气液交换的作用,产生的氢气气泡伴随着部分电解液由端压极板同侧上方的极板出气孔排出;

步骤四,在阳极侧,相同流量的电解液由流场模块与阳极多孔电极发生电化学反应,产生的氧气气泡随着电解液由阳极侧极板出气孔排出。

## 一种带有紊流强化模块的电解水制氢装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于水电解制氢技术领域,尤其涉及一种带有紊流强化模块的电解水制氢装置及方法。

### 背景技术

[0002] 目前,氢能作为理想的能源形式,可以加快能源结构的调整,帮助实现两碳目标。阴离子交换膜(AEM)以及质子交换膜(PEM)电解水制氢技术成为研究的重要方向。电解水制氢由于装置结构紧凑、制氢效率高被认为是最有潜力的一种制氢技术。电解槽运行时,内部同时涉及电化学反应、传质以及传热现象。

[0003] 目前,碱性电解槽(AWE)的电解效率基本在60%左右,质子交换膜电解槽(PEM)电解效率在75%左右,这是由于为了保证达到目标电流密度,需要在电解小室两端施加过大的电压导致实际的效率偏低。为了降低电解小室实际加载的电压,从催化剂层面来看,需要性能更好的非贵金属催化剂来实现阴极与阳极较低的过电位;在电解槽结构层面上需要更多的研究来证实电解槽如流道结构参数对电解水性能的影响,支撑高性能电解槽的工业应用与发展。

[0004] 极板是电解槽内部核心组件之一,极板上的流道流场结构对电解水效率有着关键的影响,流道结构能够决定电解液与电极的气液交换效率,通过电解液的流动及时带走电极表面生成的产物气泡,提升电解槽的电解效率。

[0005] 合理的流道结构能够改善电解槽内部的水分布、压力分布以及热量的分布,提升产氢量的同时延长电解槽使用寿命。目前大量研究表明电极表面气泡覆盖不能及时脱离是导致电解效率降低的重要原因,而现有的流道设计在电解液入口流量不高的情况下,容易造成气泡堵塞、气液交换能力不足的问题。

[0006] 传统单室电解槽是通过螺栓将端压电极板、隔膜、电极等部件多级堆叠后紧密的压在一起。通常在电解槽上部设置一个出气口,下部设置一个进水口,通过一个水泵来完成反应中电解液的持续供给。隔膜在两个电极之间起着分隔氢氧气体的作用。极板上雕刻有复杂的流道,目的是改善在电解槽内部的气液交换。然而在使用多孔结构的电极时,产生的氢气泡通常容易滞留在多孔电极内部,气泡的过多停留会导致电极实际与水的接触点位大幅降低,严重影响了电解水的实际性能。以往的研究表明,电极表面的气泡覆盖率是制约电极电流密度的关键因素。因此在电解过程中往往需要较高的压力和电解液流量来冲刷电极表面,及时排出多孔电极中的气泡,增加气液交换能力。

[0007] 极板上的流道通常细长且窄(流道通常为约1mm宽,不超过1mm深的非贯通槽),这种传统的流道对电极的冲刷能力较弱,在额定电解液流量下电解液将电极表面带走气泡的能力有限,并且在使用过程中一旦流道出现堵塞现象不便于拆卸清理。

[0008] 极板的功能包括导电、提供水路、分离氧气和氢气、支撑电解槽和提供热传导。因此,板材材料要求导电性高、耐腐蚀、透气性低、机械强度高、导热系数高。镀有贵金属(如Au和Pt)的极板仍然是最好的选择,而引入贵金属大大增加了成本。在电解槽成本中,极板的

成本占电解槽成本的60%以上,因此构建一种与极板分离的流道模块并改善极板的加工方式,对降低成本及提高可加工性非常重要。

[0009] 端压板是电解槽的主要承压零件,常采用厚钢板加工而成。在电解槽中端压板是将内部电极、隔膜等夹紧的部件,其上还有夹紧用的螺栓安装孔、正负极接线板、电解槽外界孔等。传统的碱性电解槽体积庞大,其组装需要螺栓、螺母和碟簧拉紧,碟簧的安装还需要导向环、固定环和导向套,螺母螺栓在电解槽组装的过程中受力很大,必须经过特殊的调制处理来提高强度。所以在电解槽装配过程中,既要避免安装不紧密导致泄露,又要防止组装后的受力不均导致变形或咬死的现象,严重则会导致电解槽内部堵塞,组装及拆卸技术成本较高。

[0010] 通过上述分析,现有技术存在的问题及缺陷为:现有的电解水制氢用电解槽的流道结构容易造成多孔电极内部气泡堵塞、气液交换能力不足的问题,导致电解效率降低,此外传统电解槽装配困难,不便于维修检查。

## 发明内容

[0011] 针对现有技术存在的问题,本发明提供了一种带有紊流强化模块的电解水制氢装置及方法。

[0012] 本发明是这样实现的,一种带有紊流强化模块的电解水制氢装置包括:

[0013] 端压极板,包括阴极端压极板和阳极端压极板,阴极端压极板和阳极端压极板分别设置于阴极与阳极的最外侧,用于导电、固定并夹紧整个电解装置,端压极板内侧中央开设有用于安放流场模块的方形凹槽;

[0014] 流场模块,包括阴极流场模块和阳极流场模块,为方形板状结构,一面光滑,另一面开设有蛇形螺纹流道,蛇形螺纹流道的始末端分别设有垂直的进出孔道,进出孔道与端压极板的进液口和气体出口对应吻合;

[0015] 金属电极,包括金属阴极、金属阳极,为多孔材质电极;

[0016] 隔膜,位于阴极端压极板和阳极端压极板中间。

[0017] 进一步,所述端压极板的方形凹槽周围开设有密封垫片凹槽,所述密封垫片凹槽内安装有用于密封整个装置的密封垫片。

[0018] 进一步,所述阴极流场模块和阳极流场模块中间设置有绝缘限厚板,用于防止阴极端压极板和阳极端压极板之间距离过近导致短路,并防止夹紧时施加的力度过大压坏膜和金属电极结构。

[0019] 进一步,所述端压极板外侧装有铜材质的接线铜板,用于加载外部电流;所述端压极板外周设有间隔相同的孔位用于螺栓紧固。

[0020] 进一步,所述金属电极为泡沫金属电极、编织网或膨胀网金属,金属电极厚度为0.1-2mm。

[0021] 进一步,所述密封垫片采用硅胶垫片,所述密封垫片的厚度比金属电极厚0.8mm。

[0022] 进一步,所述绝缘限厚板采用环氧树脂板加工而成,厚度为选用金属阴极与金属阳极厚度之和。

[0023] 进一步,所述隔膜为阴离子交换膜或质子交换膜,所述隔膜的面积大于金属电极的面积并不超过密封垫片的外圈。

[0024] 进一步,所述端压极板的方形凹槽内对角分布极板进液孔和极板出气孔,贯穿整个端压极板。

[0025] 本发明的另一目的在于提供一种电解水制氢方法,所述电解水制氢方法包括:

[0026] 步骤一,将电解槽安装后首先进行密封性测试。将阴极端压极板1-1、阴极流道模块2-1、阴极电极、密封垫片3、隔膜、限厚板4、密封垫片3、阳极电极、阳极流道模块2-2、阳极端压板1-2的顺序依次叠加,使用带有绝缘封套的螺栓进行紧固,不通入电源,在两个电解液入口14通入电解液10分钟,观察电解槽各个连接处有无漏液情况,确保电解槽密封夹紧后再进行电解;

[0027] 步骤二,加热至60-80℃的电解液从两侧下方的极板进液孔流入,电解槽接入稳压直流电源,其中电源正极连接电解槽阳极接线铜板,电源负极连接,根据需要的反应速率选择合适的电解电压,加载电压范围1.6-2.5V;

[0028] 步骤三,在阴极侧采用10-100cc/min的电解液沿阴极流场模块进入阴极多孔电极,与电极发生电化学反应,同时电解液也起着气液交换的作用,产生的氢气气泡伴随着部分电解液由端压极板同侧上方的极板出气孔排出;

[0029] 步骤四,在阳极侧,相同流量的电解液由流场模块与阳极多孔电极发生电化学反应,产生的氧气气泡随着电解液由阳极侧极板出气孔排出。

[0030] 结合上述的技术方案和解决的技术问题,本发明所要保护的技术方案所具备的优点及积极效果为:

[0031] 第一、针对上述现有技术存在的技术问题以及解决该问题的难度,紧密结合本发明的所要保护的技术方案以及研发过程中结果和数据等,详细、深刻地分析本发明技术方案如何解决的技术问题,解决问题之后带来的一些具备创造性的技术效果。具体描述如下:

[0032] 本发明利用流场模块作为紊流强化模块,可以增强流道内的传质效果,电解液在流场内部冲刷电极,强化气液传质能力,提升水电解效率,便于清理流场,降低装配难度,本发明的电解水制氢装置可应对多种种类以及厚度的电极、可实现不同流场的切换、实现零极间距高效电解、以及适应碱性阴离子交换膜水电解和质子交换膜两种水电解工况。

[0033] 第二,把技术方案看做一个整体或者从产品的角度,本发明所要保护的技术方案具备的技术效果和优点,具体描述如下:

[0034] 本发明提出一种可与极板分离的紊流强化流场,并且能够适用纯水电解(质子交换膜电解)和碱液电解(阴离子交换膜电解)的电解槽夹具。电解室空间可根据所设计的电极厚度更换不同的绝缘限厚板自由调整,以实现高电流密度的零极间距电解方案。

[0035] 第三,作为本发明的权利要求的创造性辅助证据,还体现在以下几个重要方面:

[0036] 本发明的技术方案填补了国内外业内技术空白:

[0037] 虽然我国目前在碱性电解水(AWE)技术方面已经相当成熟,并在国内已经存在大规模应用,但其效率低、设备体积庞大、运维成本高仍然是目前面临的主要问题。阴离子交换膜电解水技术(AEM),以及质子交换膜电解水技术(PEM)是目前国内外研究领域最为关注的新兴电解水技术,其电解效率高、结构紧凑,是制氢行业未来主要的技术方向。但针对PEM以及AEM的研究国内刚刚起步,目前研究多为理论层面与单一电极性能的制备研究,还未有针对电解槽整体性能的设计与研究。本发明提出的电解水装置首先能为阴离子交换膜电解水技术以及质子交换膜电解技术提供实验操作的核心平台,实现整体性的流场-电极-隔膜

的设计与研究,其次,该电解水装置可以作为独立的制氢/制氧设备,结合不同的场景得到相应的应用,如工业制氢、小规模实验室制氢、医疗吸氢/吸氧机等。

### 附图说明

[0038] 图1是本发明实施例提供的带有紊流强化模块的电解水制氢装置的结构示意图;

[0039] 图2是本发明实施例提供的流场模块单元通道结构的示意图;

[0040] 图3是本发明实施例提供的流场模块流道分布结构的示意图;

[0041] 图4是本发明实施例提供的电解过程中螺纹流道与电极的传质作用示意图;

[0042] 图5是本发明实施例提供的装配后的电解槽正视图;

[0043] 图6是本发明实施例提供的装配后的电解槽侧视剖面视图;

[0044] 图7是本发明实施例提供的装配后的电解槽上视剖面视图;

[0045] 图8(a)是本发明实施例提供的强化流场和传统流场在不同电压下制氢装置性能曲线图,(b)是本发明实施例提供的强化流场和传统流场在不同电压下制氢装置氢气出口通量图。

[0046] 图中:1、端压极板;2、流场模块;1-1、阴极端压极板;1-2、阳极端压极板;2-1、阴极流场模块;2-2、阳极流场模块;3、密封垫片;4、绝缘限厚板;5、螺纹流道;6、流场模块出气孔;7、流场模块进液孔;8、垂直流道;9、多孔电极;10、电解液;11、氢/氧气泡;12、螺栓通孔;13、接线铜板;14、极板进液孔;15、极板出气孔。

### 具体实施方式

[0047] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0048] 为了使本领域技术人员充分了解本发明如何具体实现,该部分是对权利要求技术方案进行展开说明的解释说明实施例。

[0049] 本发明实施例提供了一种电解水制氢装置,装置整体采用螺栓紧固,关键部件为端压极板内嵌可实现紊流强化的流场模块,该流场模块布置蛇形螺纹流槽,实现碱性电解水技术与质子交换膜电解水技术中电解过程中的气液传质强化和电解效率提升。

[0050] 实施例1

[0051] 本发明实施例提供的带有紊流强化模块的电解水制氢装置采用的电解液为30% wt的KOH溶液。如图1所示,包括一对端压极板1、一对流场模块2、一对多孔金属电极9、密封垫片3、隔膜、绝缘限厚板4。

[0052] 所述单室电解槽由阴极端压极板1-1、阴极流道模块2-1、阴极电极、密封垫片3、隔膜、限厚板4、密封垫片3、阳极电极、阳极流道模块2-2、阳极端压板1-2依次叠加而成,外侧轮廓形状一致,使用螺栓将叠加后的整体进行紧固,保证电解槽内部环境密封。

[0053] 端压极板1采用不锈钢镀镍材质,厚度为20mm。阴极端压极板1-1与阳极端压极板结构完全相同,在外侧设有一周直径6mm的螺栓通孔12和直径1.6mm的电解液进口14、气体出口通孔15。在进出口外侧同圆心设有进深5mm-7mm的螺纹孔,用以连接进出口的直通锁母接头。极板内侧中央留有50\*50mm的流场模块凹槽,深度为5mm。配合的密封垫片3采用矩形

截面的硅橡胶垫圈,宽度为4mm,厚度比选取电极9厚度大0.4mm。

[0054] 绝缘限厚板4为环氧树脂材质,其厚度根据电极9厚度定制通常为1-4mm,板的周围设有与端压极板对应的6mm螺栓通孔,中央设有64mm\*64mm的方形通槽。两块端压极板1与绝缘限厚板4通过螺栓连接。

[0055] 流场模块2内侧设置螺纹流道5,流道单通道模型如图2所示,加工方式为螺纹钻孔后,将侧面通过数控铣床铣平,直至暴露出螺纹流道5。螺纹直径可选1-2mm,螺距可选0.5-2mm,螺纹流道5的最大深度为1/2-2/3倍数的螺纹直径,螺纹流道5相邻间距2mm,之后将每两条螺纹流道之间铣出一个贯通的垂直流道8,垂直流道8深度与螺纹深度持平,垂直流道8位于每条流道的首位相接的位置,如图3依次形成一个蛇形流道区域,在流场模块2的右下和左上角分别设有流场模块进液孔7与流场模块出气孔6,与端压极板内侧的电解液进口14、气体出口15吻合对应。

[0056] 流场模块2与电极9传质过程示意如图4所示。在电解槽内部,多孔电极9与流场模块2是紧贴布置的。电解液10由泵输送到流场模块2内,沿着流动方向上电解液10的流动受到螺纹流道5壁面的制约,会形成旋转前进的紊流流场,在沿着壁面方向上会形成切向的力,通过冲刷带走靠近流道模块侧电极表面的气泡11,同时及时的将电解液10向多孔电极9侧补充,使得多孔电极9结构内部暴露出更多的析氢/析氧活性点位,降低多孔电极9内部气泡覆盖率。

[0057] 安装时首先将带有绝缘外套螺栓组穿入阴极端压极板1-1,内侧置面向上平放于桌面,将阴极流场模块2-1置于阴极端压极板1-1对应凹槽内,将选取的密封圈垫片3置于垫片槽内,放入裁剪好的多孔阴极电极,将绝缘限厚板4穿入螺栓组,将预处理好的阴离子交换膜放入绝缘限厚板4的凹槽内,平铺保证阴离子交换膜的边缘超过多孔电极9的边缘,将另一个密封垫片3放于阴离子交换膜上,在垫片凹槽内置入多孔阳极电极,最后将带有阳极流场模块2-2的阳极端压极板1-2穿入,将带有绝缘垫片的螺栓上紧。安装后的示意图如图5-图7所示。

[0058] 将电解槽安装后首先进行密封性测试,确保电解槽密封夹紧后再进行电解。电解液从两侧下方的极板进液孔14流入,接入稳压直流电源,电解电压范围1.8-2.5V。在阴极侧可采用10-100cc/min的电解液沿阴极流场模块2-1进入阴极多孔电极,与电极发生电化学反应,同时电解液也起着气液交换的作用,产生的氢气气泡伴随着部分电解液由极板同侧上方的极板出气孔15排出;在阳极侧,相同流量的电解液由流场模块2与阳极多孔电极发生电化学反应,产生的氧气气泡随着电解液由阳极侧极板出气孔15排出。

[0059] 实施例2

[0060] 本实施例与实施例1基本相同,不同点在于该例所述电解槽为质子交换膜电解槽,其中电解液为纯水,膜采用质子交换膜,质子交换膜两侧涂覆薄层催化剂并经过热压固定形成膜电极结构,原来的多孔电极替换为钛毡。实现适用于纯水电解的工况。

[0061] 为了证明本发明的技术方案创造性和技术价值,该部分是对权利要求技术方案进行具体产品上或相关技术上的应用实施例。

[0062] 应用实施例1

[0063] 本发明的技术方案可以用于工业绿氢制氢系统,利用可再生能源发电或弃电进行大规模电解水制氢,将所述电解水装置与气液分离装置、洗涤装置、调压储氢装置、电解液

过滤循环装置等结合形成完整的电解水制氢系统,通过多台电解槽的串联实现 $100\text{Nm}^3/\text{h}$ 以上的产氢量,甚至实现兆瓦级别商业化规格。该工业绿氢制氢系统与传统的碱性电解水系统相比能够降低能耗,并且由于易于拆装因而能有效降低运行维护成本。

#### [0064] 应用实施例2

[0065] 本发明的技术方案可以用于小型制氢实验核心研究设备,作为电解槽夹具使用。利用本发明提出的电解槽夹具,配合电化学工作站、蠕动泵、电加热器等,可实现的实验方案包括但不限于:多孔泡沫电极性能测试、网状电极性能测试、流场优化性能测试、膜-电极结构性能测试、电解槽运行参数测试等。该电解槽作为实验夹具使用,其结构构造简单、装配难度低、使用寿命高,可以实现并支撑较高精度的碱性电解水技术与质子交换膜电解水技术研究,为我国在电解水技术领域的实验方面提供设备支持。

#### [0066] 应用实施例3

[0067] 本发明的技术方案可以用于气象站高空探测任务的制氢设备,其体积小、结构紧凑、制氢效率高的特点可以作为自动水电解制氢系统的核心部件,以自动控制的方式,完成一键式制氢、气体纯度分析、储罐充氢等工作。该系统能有效解决探空业务人员在制氢工作中的诸多困难,大大减少业务人员劳动强度,有效改善制氢工作效率,并提高制氢用氢安全。

#### [0068] 应用实施例4

[0069] 本发明的技术方案可以应用于医疗用吸氢/吸氧机,小型电解槽夹具配合质子交换膜的电解技术,采用纯水进行电解可以得到纯度为99.9%的氢气和99.9%的氧气,过程中无有害杂质产生,满足医疗用氧和新兴的氢气医学。由于其设备体积小,功耗低,实际电解水过程中的噪音远低于传统分子筛制氧机,故可作为小型家用医疗设备使用。

[0070] 在本发明的描述中,除非另有说明,“多个”的含义是两个或两个以上;术语“上”、“下”、“左”、“右”、“内”、“外”、“前端”、“后端”、“头部”、“尾部”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。此外,术语“第一”、“第二”、“第三”等仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性。

[0071] 本发明实施例在研发或者使用过程中取得了一些积极效果,和现有技术相比的确具备很大的优势,下面内容结合试验过程的数据、图表等进行描述。

[0072] 针对本发明的湍流强化模块单通道与相同截面积的传统电解水流动通道的电解水与流动传质过程进行了多物理场仿真。模拟温度为70摄氏度,电解液为30%wt的KOH溶液,进口法向速度为 $0.1\text{m/s}$ 的运行工况下的电压-电流密度关系曲线和出口氢气通量。模拟结果如图8所示,其中电流密度决定了电解效率的好坏,电流密度越高电解水速率越快,在图8(a)中可以看到采用强化流场的电解槽电解性能优于传统流场的电解槽,采用螺纹形式的流道强化流场在2.4V的电解电压下能达到 $1626\text{mA}/\text{cm}^2$ 的电流密度,相比于传统同截面流场高4.5%。这是由于流场的紊流作用强化了电极内部的传质,跟随流道旋转流动的电解液能够及时清除产生的气泡,减小气泡覆盖降低内阻,并且流道内螺纹牙切面会在一定程度增大流道内侧面与电极表面的接触面积,提高了电子导电率。

[0073] 在氢气产率方面,由于电解水产生的氢气气泡能够及时排出并得益于紊流强化导

致电流密度的提升,这种协同作用使得氢气产率有明显提升。从图8(b)中可以看出,随着电压的增大出口氢气通量不断增大,采用本发明的紊流强化模块氢气通量高的优势更加明显,在电压为2.4V时相比于传统流场产氢量提升7.3%。

[0074] 以上所述,仅为本发明的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,都应涵盖在本发明的保护范围之内。

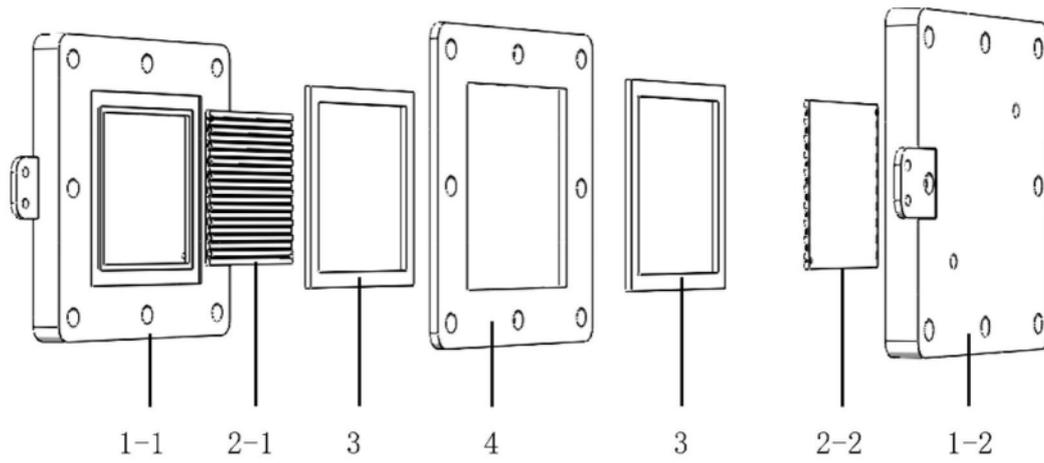


图1

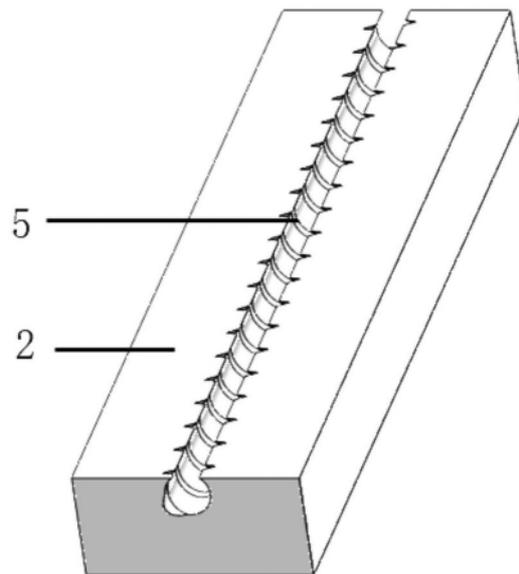


图2

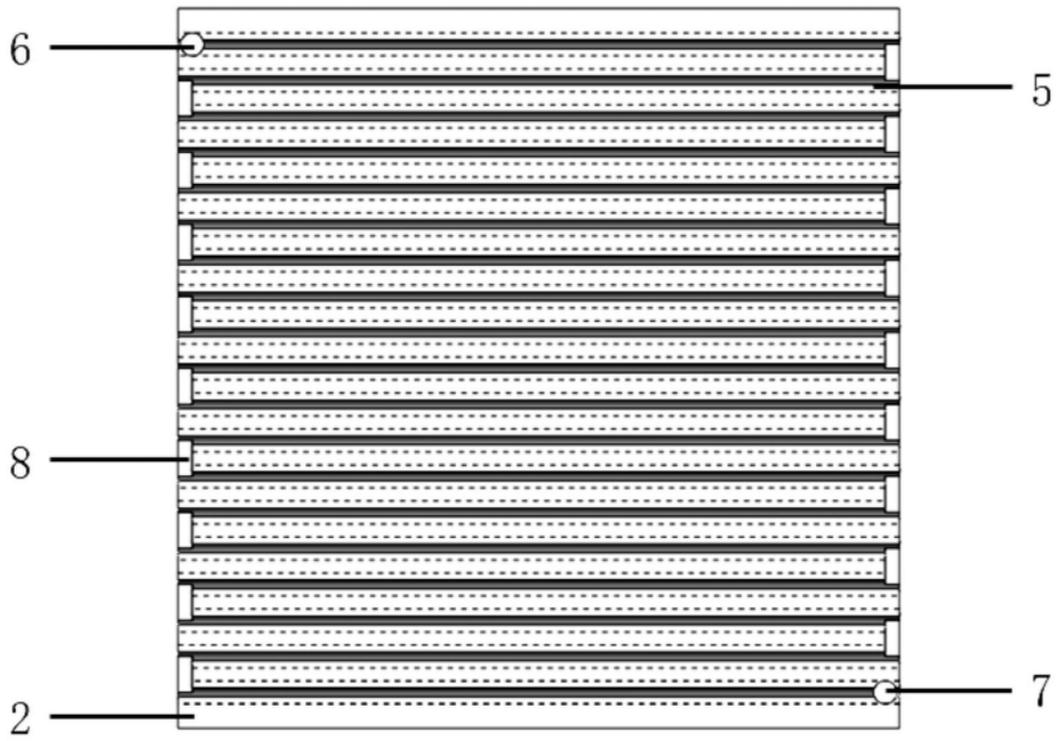


图3

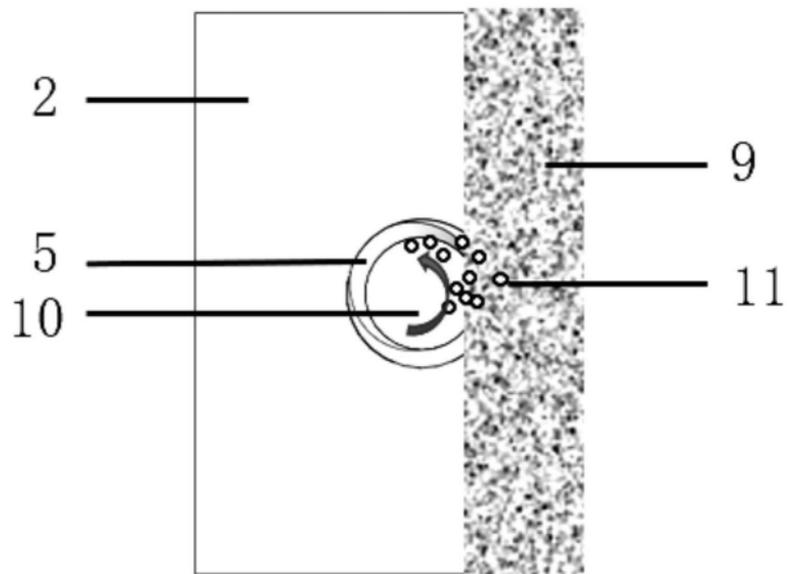


图4

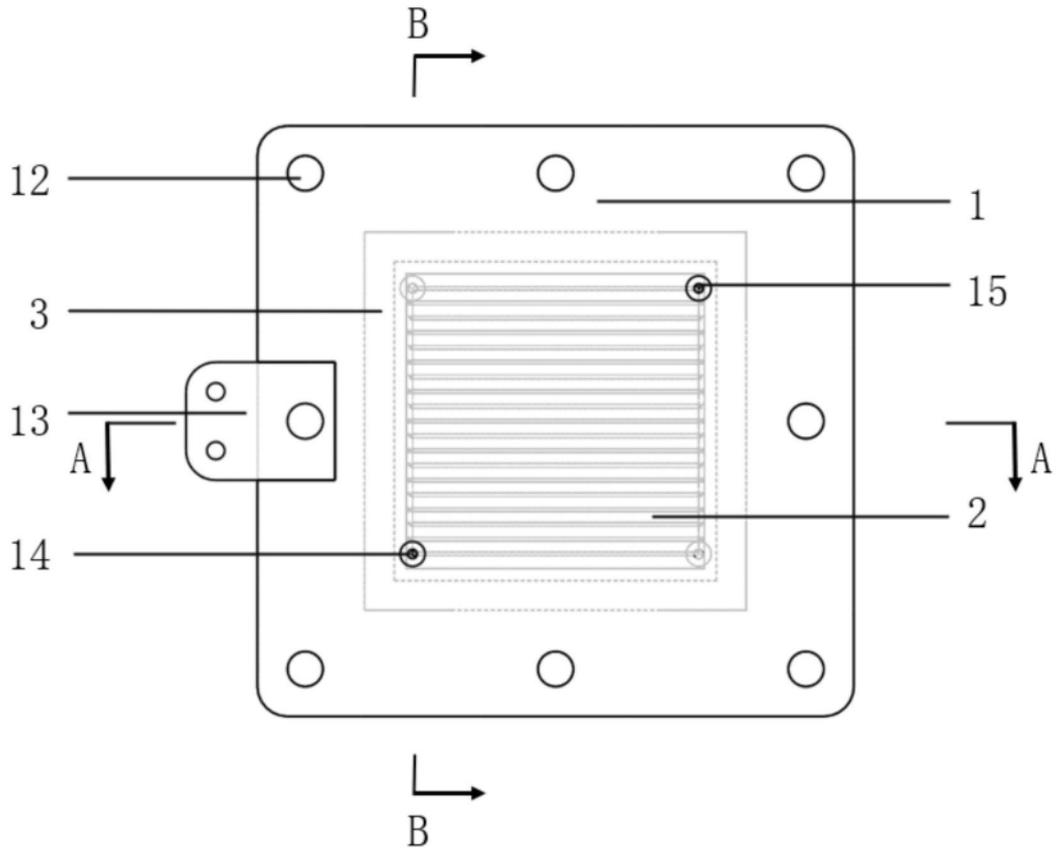


图5

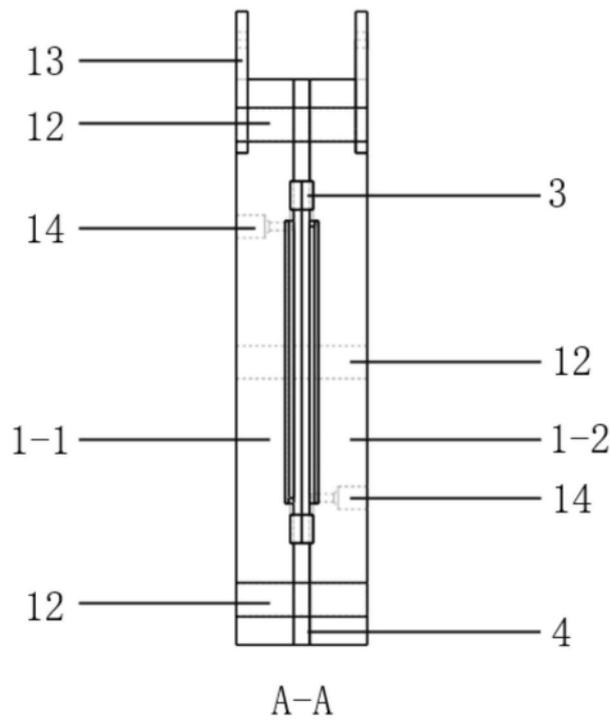


图6

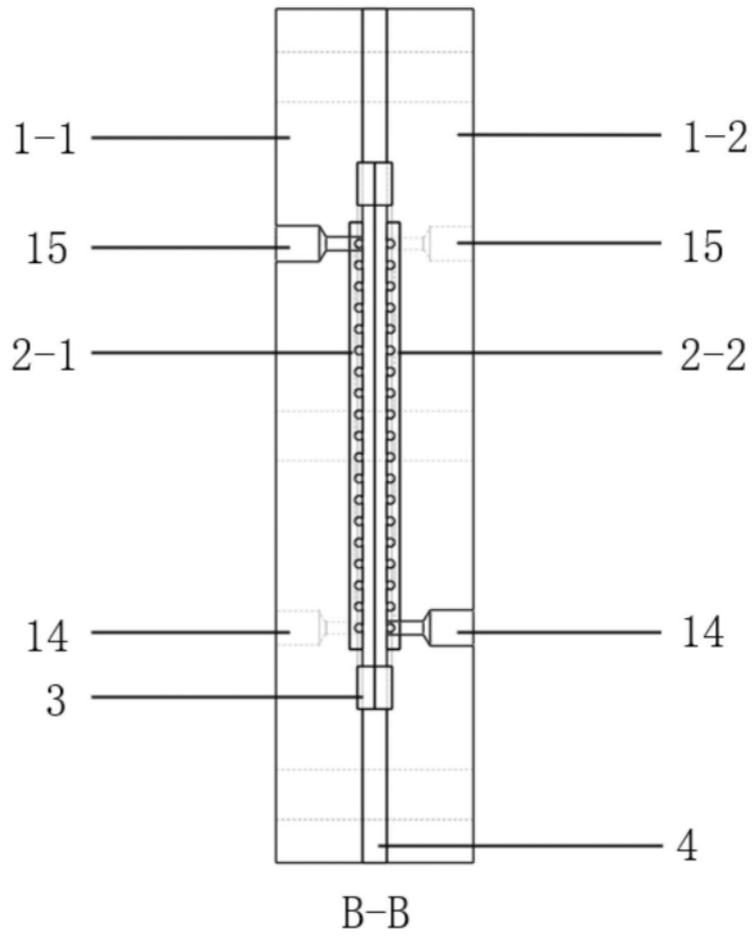
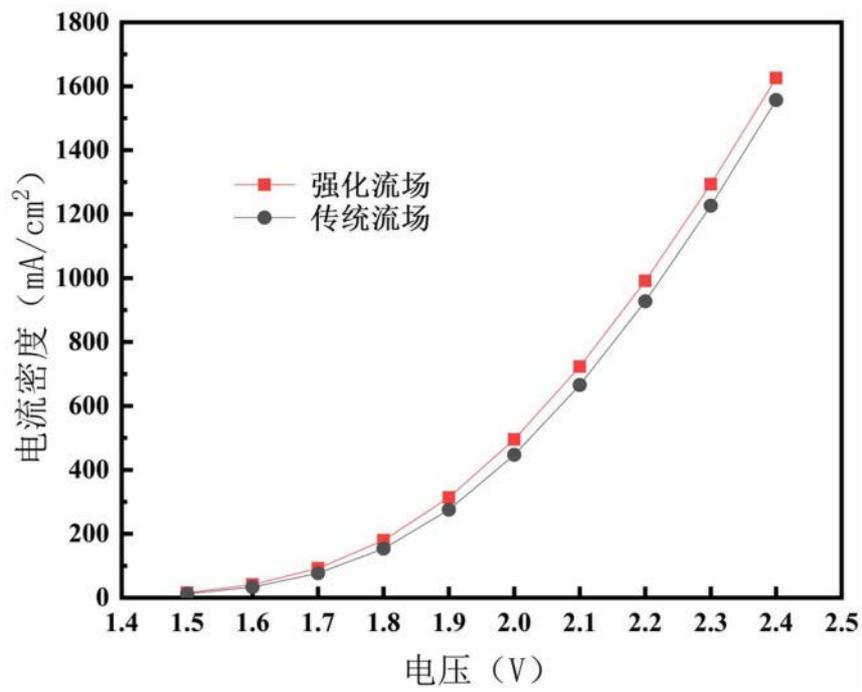
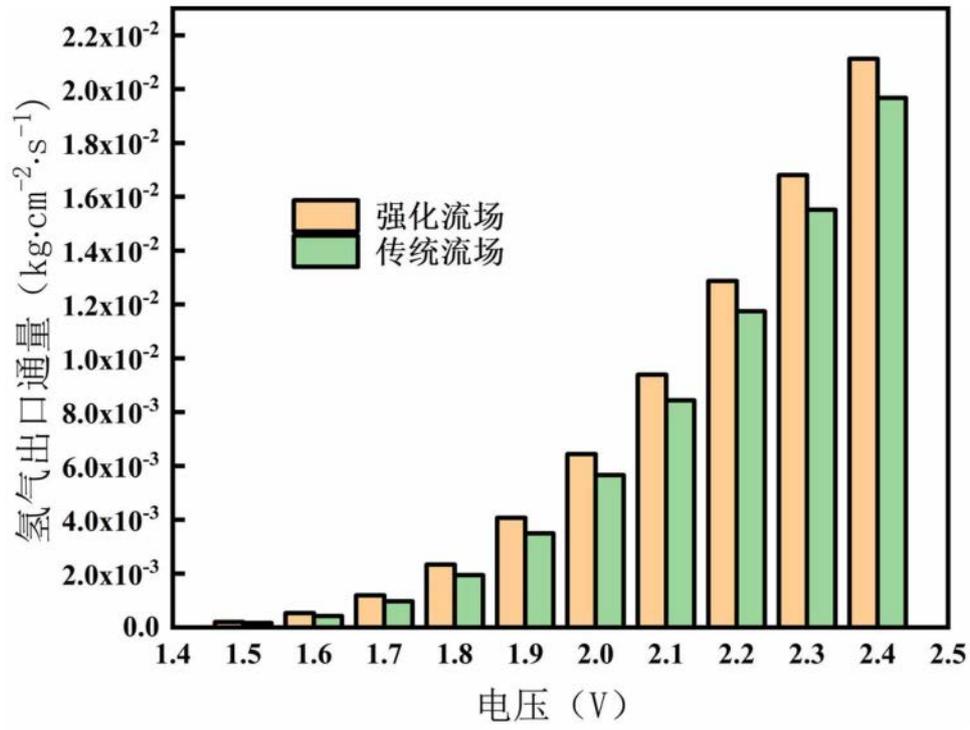


图7



(a)



(b)

图8