



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118392964 A

(43) 申请公布日 2024. 07. 26

(21) 申请号 202410475342.2

(22) 申请日 2024.04.19

(71) 申请人 大连融科储能技术发展有限公司
地址 116023 辽宁省大连市高新技术产业
园区信达街22号

(72) 发明人 李全龙 倪胜蓝 仇进国 刘宗浩
王世宇 陶媛媛

(74) 专利代理机构 大连智高专利事务所(特殊
普通合伙) 21235
专利代理师 胡景波

(51) Int. Cl.

G01N 27/403 (2006.01)

G01N 31/16 (2006.01)

G01N 21/33 (2006.01)

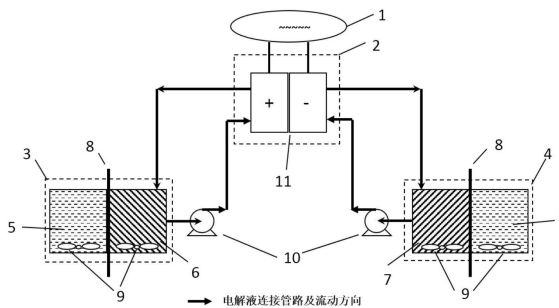
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

钒离子跨膜迁移参数测试装置及测试方法

(57) 摘要

本发明属于液流电池技术领域,公开了钒离子跨膜迁移参数测试装置及测试方法,分别向正极测试池和负极测试池的待测传导膜一侧添加等量的+4.0价和+3.0价钒电池电解液,同时启动循环泵,使得电解液在测试池与阴离子交换膜单电池之间循环直至稳定;分别向正极测试池和负极测试池的待测离子传导膜的另一侧加入硫酸镁的酸性水溶液,并不断搅拌;将单电池正负极与充放电测试仪相连,设置充放电测试策略、条件及工步,进行充放电操作,放电末期进行总钒离子浓度测试,计算单电池运行一个循环钒离子的迁移参数。本发明所述方法更换待测离子传导膜时,无须拆卸原充放电的单电池组件,保证了测试结果的一致性和准确性。



1. 钒离子跨膜迁移系数测试方法,其特征在于,包含以下步骤:

S1:分别向正极测试池(3)的待测离子传导膜(8)一侧和负极测试池(4)的待测传导膜(8)一侧添加等量的+4.0价和+3.0价钒电池电解液,分别记为正极电解液(6)和负极电解液(7),同时启动正负极的循环泵(10),使得电解液在正极测试池(3)、负极测试池(4)与含有阴离子交换膜的全钒液流单电池(2)之间循环直至稳定;

S2:根据循环稳定后正极测试池(3)中正极电解液(6)的体积与负极测试池(4)中负极电解液(7)的体积,以及已知的初始电解液的组成及浓度,分别向正极测试池(3)和负极测试池(4)的待测离子传导膜(8)的另一侧加入硫酸镁的酸性水溶液(5),并不断搅拌;

S3:将单电池正负极与充放电测试仪(1)相连,设置充放电测试策略、条件及工步,先对单电池进行充电操作,再对单电池进行放电操作,在放电末期,分别从正极测试池(3)的硫酸镁的酸性水溶液(5)中和负极测试池(4)的硫酸镁的酸性水溶液(5)中取样进行总钒离子浓度测试,再通过放电末期钒离子浓度和一个循环总充放电时间来计算单电池运行一个循环钒离子的迁移参数;或通过第 n ($n \geq 2$)个循环放电末期钒离子浓度和充放电 n 个循环的总时间计算单电池运行 n 个循环后钒离子的迁移参数。

2.根据权利要求1所述的钒离子跨膜迁移系数测试方法,其特征在于,钒离子跨膜迁移系数测试方法采用的测试装置,具有如下组成结构:充放电仪(1)与含有阴离子交换膜的全钒液流单电池(2)导线连接,含有阴离子交换膜的全钒液流单电池(2)负极与负极测试池(4)、循环泵(10)通过电解液连接管路连接,组成一个循环回路;含有阴离子交换膜的全钒液流单电池(2)正极与正极测试池(3)、循环泵(10)通过电解液连接管路连接,组成一个循环回路;正极测试池(3)和负极测试池(4)的底部分别设有搅拌子(9),中部分别设有待测离子传导膜(8),正极测试池(3)的待测离子传导膜(8)的一侧为硫酸镁的酸性水溶液(5),另一侧为正极电解液(6);负极测试池(4)的待测离子传导膜(8)的一侧为硫酸镁的酸性水溶液(5),另一侧为负极电解液(7)。

3.根据权利要求1所述的钒离子跨膜迁移系数测试方法,其特征在于,所述含有阴离子交换膜的全钒液流单电池(2)自身本体在 $80\text{mA}/\text{cm}^2$ 的电流密度下运行,其库仑效率 $\geq 98.5\%$ 。

4.根据权利要求1所述的钒离子跨膜迁移系数测试方法,其特征在于,所述待测离子传导膜(8)为在全钒液流电池中使用的离子传导膜,包括但不限于阳离子交换膜、阴离子交换膜、多孔离子传导膜、两性离子交换膜等,测试的两块待测离子传导膜(8)为待测膜样品中相邻的两块膜材料。

5.根据权利要求1所述的钒离子跨膜迁移系数测试方法,其特征在于,所述步骤S2中加入的硫酸镁溶液分别与正极测试池(3)或负极测试池(4)中的初始电解液具有相同体积、相同酸种类及浓度、相同或相近离子强度。

6.根据权利要求1所述的钒离子跨膜迁移系数测试方法,其特征在于,所述步骤S3的充放电策略包括恒流充放电、恒功率充放电、恒流+恒压充放电、恒功率+恒压充放电、恒电阻充放电或几种充放电形式叠加组合使用。

7.根据权利要求1所述的钒离子跨膜迁移系数测试方法,其特征在于,所述钒离子的迁移数是指负极测试池(4)的硫酸镁酸性水溶液(5)中的总钒离子含量(mol/L)减去正极测试池(3)的硫酸镁酸性水溶液(5)中的总钒离子含量(mol/L),再将所得到的值依次除以膜的

有效面积 (cm^2) 和充放电时间 (h), 即得到钒离子跨膜迁移参数, 单位为 $\text{mol}/(\text{L} \cdot \text{h} \cdot \text{cm}^2)$, 参数值为正 (+) 表明单电池中钒离子迁移方向为负极向正极, 参数值为负 (-) 表明单电池中钒离子迁移方向为正极向负极。

8. 根据权利要求1所述的钒离子跨膜迁移系数测试方法, 其特征在于, 所述步骤S3中总钒离子浓度测试的方法通过常用的电位滴定的方法或紫外可见分光光度法进行测试。

9. 根据权利要求1所述的钒离子跨膜迁移系数测试方法, 其特征在于, 测试时间至少为10h, 即单个充放电循环至少为10h, 或n个充放电循环累计时间至少10h。

10. 根据权利要求1所述的钒离子跨膜迁移系数测试方法, 其特征在于, 在实际测试钒离子的迁移参数时, 统一单电池结构、材料、电解液量以及运行策略。

钒离子跨膜迁移参数测试装置及测试方法

技术领域

[0001] 本发明涉及液流电池技术领域,具体涉及钒离子跨膜迁移参数测试装置及测试方法。

背景技术

[0002] 全钒液流电池中正负极钒离子跨膜迁移是造成正负极电解液失衡进而导致容量衰减最主要的原因,相关领域的研究人员一直在致力于降低钒离子跨膜迁移技术,其中最重要的研究方向是改进离子传导膜的成分、组成和结构,以提高离子传导膜的阻钒能力。衡量离子传导膜的阻钒效率通常选择离子选择系数这一指标来衡量,其测试方法可以参照中华人民共和国能源行业标准NB/T 42080-2016《全钒液流电池用离子传导膜测试方法》中5.8节进行测试,但是,实际上,随着实验的反复验证,该标准的测试方法忽略了Donnan效应中膜两侧离子强度和渗透压的影响,去离子水的空白侧中的水分子向钒离子电解液一侧进行迁移,使得测试的结果不准确;中国科学院大连化学物理研究所袁治章在其博士论文《全钒液流电池用离子传导膜的结构设计及氧化稳定性研究》中使用等离子强度的 $MgSO_4$ 溶液来平衡两侧溶液的离子强度以减少渗透压引起的水迁移,弥补了Donnan效应带来的负面作用,提高了测试的准确性。但是上述方法中电解液一侧使用的均是+4价的硫酸氧钒(VO_2SO_4)溶液,仅可以评价离子传导膜对+4价钒离子的阻钒性能。此外,文献(Journal of Membrane Science 1998,141,215-221;Journal of Power Sources 2010,195,890-897)还报道了类似的利用透析单电池的方式分别测试各个价态钒离子跨膜迁移情况的实验,但是,这仅仅能够解决测试单一价态钒离子迁移状况,而钒电池在实际运行过程中是具有+2价到+5价四个价态的动态变化,由于四个价态钒离子所带电荷和离子结构不同,使其水合动力学半径有所不同,在钒电池运行过程中,在不同钒离子浓度、不同荷电状态SOC下钒离子跨膜迁移存在一定程度的差异,从而难以直接反应在电池运行过程中各价态钒离子跨膜迁移的情况,因此,上述方案有待改进。

[0003] Tiago Lagarteira等(Journal of The Electrochemical Society, 2019,16(16), A4067-A4072)提出了一种钒电池中钒迁移的原位测试方法,是通过在电池一侧进行线性伏安(LSV)扫描,另一侧使用支持电解质来测试线性扫描过程中钒离子的迁移状况,但是仍然无法直接模拟钒电池实际进行充电和放电循环运行过程中的迁移状态。

[0004] David C.Sing等(ECS Transactions 2013,50(45),61-72)开发了一种直接利用运行的钒电池测试钒离子迁移的方法,该方法使用具有三重膜的电池单元,这种三重膜测试的电池单元可以模拟在钒电池实际运行过程中钒离子迁移状况,但是这种结构相对复杂,组装过程繁琐,每次进行膜测试均需拆开单电池主体,不易确保测试的平行性;另外这种结构中间使用的是可以透过钒离子的阳离子交换膜(N117),与空白(硫酸溶液)部分整体作为钒电池的离子交换部件,具有更大的钒电池运行内阻,并且无法准确确认所测试的钒离子是从正极或是负极迁移而来,造成测试结果准确性较低。因此,开发和改进可以准确模拟钒离子跨膜迁移参数的测试装置及方法是本领域研究的方向之一。

发明内容

[0005] 为了解决上述问题,本发明提供一种钒离子跨膜迁移参数测试装置及测试方法,该方法可以准确的直接测试出钒电池中钒离子在运行状态下的跨膜迁移参数,为离子交换膜的阻钒性能测试提供了一种准确且有效方法。

[0006] 本发明的技术方案如下,钒离子跨膜迁移系数测试装置,具有如下组成结构:

[0007] 本发明所述装置由含有阴离子交换膜的全钒液流单电池、正极测试池、负极测试池以及循环泵及电解液连接管路组成。

[0008] 进一步的,正极测试池包含正极电解液、硫酸镁的酸性水溶液、待测离子传导膜以及搅拌子;负极测试池包含负极电解液、硫酸镁的酸性水溶液、待测离子传导膜以及搅拌子。

[0009] 钒离子跨膜迁移系数测试方法,包含以下步骤:

[0010] S1:分别向正极测试池的待测离子传导膜一侧和负极测试池的待测传导膜一侧添加等量的+4.0价和+3.0价钒电池电解液,分别记为正极电解液和负极电解液,同时启动正负极的循环泵,使得电解液在测试池与阴离子交换膜单电池之间循环直至稳定。

[0011] S2:根据循环稳定后正极测试池中正极电解液的体积与负极测试池中负极电解液的体积,以及已知的初始电解液的组成及浓度,分别向正极测试池和负极测试池的待测离子传导膜的另一侧加入硫酸镁的酸性水溶液,并不断搅拌。

[0012] S3:将单电池正负极与充放电测试仪相连,设置充放电测试策略、条件及工步,先对单电池进行充电操作,再对单电池进行放电操作,在放电末期,分别从正极测试池的硫酸镁的酸性水溶液中和负极测试池的硫酸镁的酸性水溶液中取样(取样体积相对于硫酸镁酸性水溶液的体积可以忽略不计)进行总钒离子浓度测试,再通过放电末期钒离子浓度和一个循环总充放电时间来计算单电池运行一个循环钒离子的迁移参数。或通过第 n ($n \geq 2$)个循环放电末期钒离子浓度和充放电 n 个循环的总时间计算单电池运行 n 个循环后钒离子的迁移参数。

[0013] 进一步的,含有阴离子交换膜的全钒液流单电池自身本体在 $80\text{mA}/\text{cm}^2$ 的电流密度下运行,其库仑效率 $\geq 98.5\%$,以此保证阴离子交换膜具有极低的钒离子透过率,确保最终测试数据的准确性。

[0014] 进一步的,待测离子传导膜为可以在全钒液流电池中使用的离子传导膜,包括但不限于阳离子交换膜、阴离子交换膜、多孔离子传导膜、两性离子交换膜等。所测试的两块膜应该是待测膜样品中相邻的两块膜材料,以保证测试结果准确性。

[0015] 进一步的,所述步骤S2中加入的硫酸镁溶液应分别与正极测试池或负极测试池中的初始电解液具有相同体积、相同酸种类及浓度、相同或相近离子强度,以保证测试池与硫酸镁溶液具有相同或相近的渗透压,减少水跨膜迁移带来的影响。硫酸镁的酸性水溶液的浓度是根据正极电解液或负极电解液中各离子浓度确定的,电解液和硫酸镁溶液的离子强度保持一致。硫酸镁的酸性水溶液体积是根据循环稳定后测试池中正极电解液体积和负极电解液体积保持一致,即正极测试池中正极电解液体积与正极测试池中硫酸镁酸性水溶液的体积保持一致,负极测试池中负正极电解液体积与负极测试池中硫酸镁酸性水溶液的体积保持一致。

[0016] 进一步的,所述步骤S3的充放电策略包括恒流充放电、恒功率充放电、恒流+恒压

充放电、恒功率+恒压充放电、恒电阻充放电或几种充放电形式叠加组合使用,具体选用的策略根据实际要求选定,在此不做限制和要求。

[0017] 进一步的,所述钒离子的迁移数是指负极测试池的硫酸镁酸性水溶液中的总钒离子含量(mol/L)减去正极测试池的硫酸镁酸性水溶液中的总钒离子含量(mol/L),再将所得到的值依次除以膜的有效面积(cm^2)和充放电时间(h),即得到钒离子跨膜迁移参数(单位为 $\text{mol}/(\text{L} \cdot \text{h} \cdot \text{cm}^2)$)。参数值为正(+)表明单电池中钒离子迁移方向为负极向正极,参数值为负(-)表明单电池中钒离子迁移方向为正极向负极。

[0018] 进一步的,所述步骤S3中总钒离子浓度测试方法可以通过常用的电位滴定的方法或紫外可见分光光度法进行测试,在此不做限定。

[0019] 进一步的,为了可以更准确的利用本装置测试钒离子跨膜迁移参数,设定测试时间至少为10h(即单个充放电循环至少为10h,或n个充放电循环累计时间至少10h),使钒离子有充足的时间跨膜迁移,保证测试结果的准确性和精确性。为了保证足够的测试时间,可以通过减小含有阴离子交换膜的全钒液流单电池的有效电极面积的方法,或降低单电池平均运行电流密度的方法,或增加测试用电解液浓度和体积的方法,或增加单电池运行循环数的方法来实现。

[0020] 进一步的,由于全钒液流电池的充放电过程受单电池结构、材料和电解液量、运行策略等方面影响,在实际测试钒离子的迁移参数时,需要统一单电池结构、材料、电解液量以及运行策略等方面的条件,以保证不同测试组间的数据具有可比性。

[0021] 与现有技术相比,本发明的有益效果为:

[0022] 本发明提供了测试钒离子跨膜迁移参数的测试装置及测试方法,该测试方法简单,可以衡量钒电池在实际运行状态下正极钒离子和负极钒离子的跨膜迁移状况,可以直接用于评价钒电池用离子传导膜的阻钒性能,并且更换待测离子传导膜时,无须拆卸原充放电的单电池组件,保证了测试结果的一致性和准确性。

附图说明

[0023] 图1为本发明提供的钒离子跨膜迁移参数测试装置的示意图。

[0024] 其中:1-充放电仪;2-含有阴离子交换膜的全钒液流单电池;3-正极测试池;4-负极测试池;5-硫酸镁的酸性水溶液;6-正极电解液;7-负极电解液;8-待测离子传导膜;9-搅拌子;10-循环泵;11-阴离子交换膜。

具体实施方式

[0025] 为了更好的理解本发明,下面结合实施例进一步阐明本发明的内容,但本发明的内容不仅仅局限于以下几个实施例。以下实施例更加详细地描述了本发明中一种钒电池电解液添加剂及其应用,并且这些实施例以说明的方式给出,但这些实施例不限制本发明的范围。如无特殊说明,本发明所采用的实验方法为常规方法,所用实验器材、材料、试剂等均可从化学公司购买。

[0026] 以下实施例中所使用的初始电解液为大连融科储能集团股份有限公司生产的+3.5价硫酸体系电解液和+3.5价高能体系电解液,实验前先将电解液通过单电池进行充电后在放电,分别得到正极为+4.0价、负极为+3.0价的电解液,应用于实施例的测试中。

[0027] 实施例1

[0028] 待测试膜为Nafion 212全氟磺酸离子交换膜,有效测试面积为 36cm^2 ,使用硫酸体系电解液,经测试,钒离子浓度为 1.66mol/L ,硫酸根离子浓度为 4.1mol/L ,将其制备的+4.0价和+3.0价电解液后分别等量加入正极测试池和负极测试池中,通过循环泵将其在测试池与含有阴离子交换膜(Fumasep FAPQ-330)的全钒液流单电池(电极面积为 48cm^2 , 80mA/cm^2 下库仑效率98.5%)中循环直至稳定,正负极测电解液另一侧加入与测试池中电解液等体积的 MgSO_4 的硫酸溶液,其中 Mg^{2+} 浓度为 1.66mol/L , SO_4^{2-} 浓度为 4.1mol/L ,其余组分用 H^+ 弥补。

[0029] 将含有阴离子交换膜的全钒液流单电池以 10mA/cm^2 的电流密度进行充电和放电一个循环(充电至 1.55V ,放电至 1.00V),共用时 $10\text{h}24\text{min}$,在放电结束后,对正负极测试池中硫酸镁溶液进行取样测试钒离子浓度,得到负极测试池的硫酸镁溶液中的总钒离子含量为 0.098mol/L ,正极测试池的硫酸镁溶液中的总钒离子含量为 0.054mol/L ,则钒离子跨膜迁移参数为 $(0.098\text{mol/L}-0.054\text{mol/L})/36\text{cm}^2/10.4\text{h}=11.8\times 10^{-5}\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{h}\cdot\text{cm}^2)$ 。

[0030] 实施例2

[0031] 将待测离子交换膜由Nafion 212更换为Nafion 115,其他测试条件同实施例1保持一致,共用时 $10\text{h}35\text{min}$,得到负极测试池的硫酸镁溶液中的总钒离子含量为 0.058mol/L ,正极测试池的硫酸镁溶液中的总钒离子含量为 0.031mol/L ,则钒离子跨膜迁移参数为 $(0.058\text{mol/L}-0.031\text{mol/L})/36\text{cm}^2/10.58\text{h}=7.09\times 10^{-5}\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{h}\cdot\text{cm}^2)$ 。

[0032] 从实施例1和2可以看出Nafion 115膜在相同测试条件下具有较低的离子跨膜迁移参数,说明Nafion 115膜与Nafion 212相比具有更加优异的阻钒性能。

[0033] 实施例3

[0034] 待测试膜为Nafion 212全氟磺酸离子交换膜,有效测试面积为 36cm^2 使用硫酸体系电解液,经测试,钒离子浓度为 1.66mol/L ,硫酸根离子浓度为 4.1mol/L ,将其制备的+4.0价和+3.0价电解液后分别等量加入正极测试池和负极测试池中,通过循环泵将其在测试池与含有阴离子交换膜(Fumasep FAPQ-330)的全钒液流单电池(电极面积为 9cm^2 , 80mA/cm^2 下库仑效率98.5%)中循环直至稳定,正负极电解液另一侧加入与测试池中电解液等体积的 MgSO_4 的硫酸溶液, Mg^{2+} 浓度为 1.66mol/L , SO_4^{2-} 浓度为 4.1mol/L ,其余组分用 H^+ 弥补。

[0035] 将含有阴离子交换膜的全钒液流单电池以 160mA/cm^2 的电流密度进行充电和放电三个循环(充电至 1.55V ,放电至 1.00V),共用时 $11\text{h}56\text{min}$,在放电结束后,对正负极测试池中硫酸镁溶液进行取样测试钒离子浓度,得到负极测试池的硫酸镁溶液中的总钒离子含量为 0.112mol/L ,正极测试池的硫酸镁溶液中的总钒离子含量为 0.059mol/L ,则钒离子跨膜迁移参数为 $(0.112\text{mol/L}-0.059\text{mol/L})/36\text{cm}^2/11.93\text{h}=1.23\times 10^{-4}\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{h}\cdot\text{cm}^2)$ 。

[0036] 实施例4

[0037] 将待测离子交换膜由Nafion 212更换为江苏科润提供的N212全氟磺酸离子交换膜,其他测试条件同实施例3保持一致,测试共用时 $12\text{h}10\text{min}$,在放电结束后,对正负极测试池中硫酸镁溶液进行取样测试钒离子浓度,得到负极测试池的硫酸镁溶液中的总钒离子含量为 0.129mol/L ,正极测试池的硫酸镁溶液中的总钒离子含量为 0.079mol/L ,则钒离子跨膜迁移参数为 $(0.129\text{mol/L}-0.079\text{mol/L})/36\text{cm}^2/12.17\text{h}=1.14\times 10^{-4}\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{h}\cdot\text{cm}^2)$ 。

[0038] 从实施例3和4可以看出科润N212膜在相同测试条件下具有较低的离子跨膜迁移

参数,说明科润N212膜与Nafion 212相比具有更加优异的阻钒性能。但由于其测试条件与实施例1和2不同,因此测试的数据不具有可比性。

[0039] 实施例5

[0040] 待测试膜为Nafion 212全氟磺酸离子交换膜,有效测试面积为 36cm^2 ,使用高能体系电解液,经测试,钒离子浓度为 2.18mol/L ,硫酸根离子浓度为 0.52mol/L ,氯离子浓度为 7.83mol/L ,将其制备的+4.0价和+3.0价电解液后分别等量加入正极测试池和负极测试池中,通过循环泵将其在测试池与含有阴离子交换膜(Fumasep FAPQ-330)的全钒液流单电池(电极面积为 48cm^2 , $80\text{mA}/\text{cm}^2$ 下库仑效率98.5%)中循环直至稳定,正负极电解液另一侧加入与测试池中电解液等体积的 MgSO_4 的硫酸溶液, Mg^{2+} 浓度为 2.18mol/L , SO_4^{2-} 浓度为 0.52mol/L , Cl^- 浓度为 7.83mol/L 其余组分用 H^+ 弥补。

[0041] 将含有阴离子交换膜的全钒液流单电池以 $20\text{mA}/\text{cm}^2$ 的电流密度进行充电和放电一个循环(充电至 1.55V ,放电至 1.00V),共用时 $12\text{h}31\text{min}$,在放电结束后,对正负极测试池中硫酸镁溶液进行取样测试钒离子浓度,得到负极测试池的硫酸镁溶液中的总钒离子含量为 0.153mol/L ,正极测试池的硫酸镁溶液中的总钒离子含量为 0.096mol/L ,则钒离子跨膜迁移参数为 $(0.153\text{mol/L}-0.096\text{mol/L})/36\text{cm}^2/12.52\text{h}=1.26\times 10^{-4}\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{h}\cdot\text{cm}^2)$ 。

[0042] 实施例6

[0043] 将待测离子交换膜由Nafion 212更换为中国科学院大连化学物理研究所储能技术研究部提供的多孔离子传导膜,其他测试条件同实施例5保持一致,测试共用时 $15\text{h}15\text{min}$,在放电结束后,对正负极测试池中硫酸镁溶液进行取样测试钒离子浓度,得到负极测试池的硫酸镁溶液中的总钒离子含量为 0.052mol/L ,正极测试池的硫酸镁溶液中的总钒离子含量为 0.031mol/L ,则钒离子跨膜迁移参数为 $(0.052\text{mol/L}-0.031\text{mol/L})/36\text{cm}^2/15.25\text{h}=3.83\times 10^{-5}\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{h}\cdot\text{cm}^2)$ 。

[0044] 从实施例5和6可以看出中国科学院大连化学物理研究所储能技术研究部提供的多孔离子传导膜在相同测试条件下具有较低的离子跨膜迁移参数,说明该多孔离子传导膜具有更加优异的阻钒性能。但由于其测试条件与实施例1和2(或实施例3和4)不同,因此测试的数据不具有可比性。

[0045] 在实际使用本发明所提供的钒离子跨膜迁移参数及其测试方法时,需要根据需要以及实际状况综合考虑选择具体所选用的测试条件,并加以比对参考。以上实施例所述,仅为本发明创造较佳的具体实施方式,但本发明创造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创造披露的技术范围内,根据本发明创造的技术方案及其发明构思加以等同替换或改变,都应涵盖在本发明创造的保护范围之内。

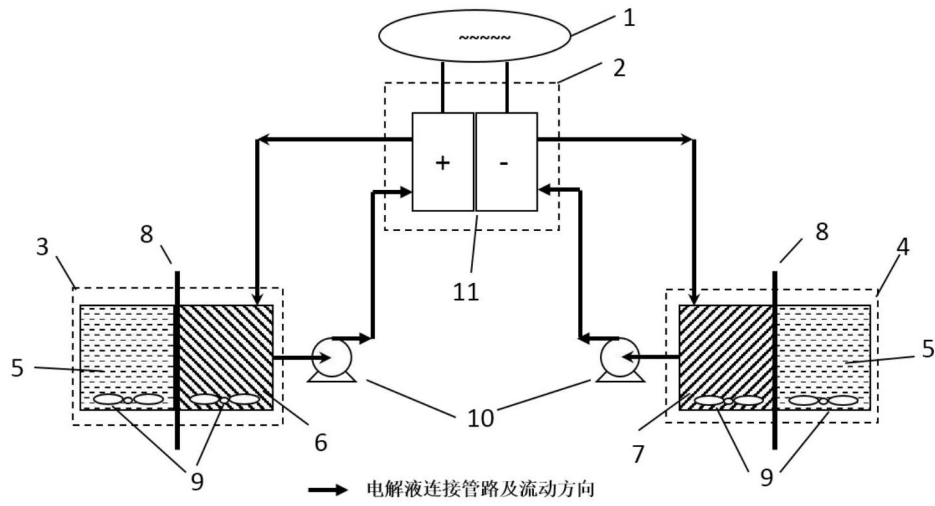


图1