



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 121307115 A

(43) 申请公布日 2026. 01. 09

(21) 申请号 202511854082.0

(22) 申请日 2025.12.10

(71) 申请人 大连融科储能集团股份有限公司
地址 116422 辽宁省大连市花园口经济区
迎春街20-10号

(72) 发明人 胡晓雪 曾繁武 宋明明 王隆菲
刘智宁 唐世超

(74) 专利代理机构 深圳紫藤知识产权代理有限公司 44570
专利代理师 陈秋明 陈建鸿

(51) Int. Cl.
H01M 8/18 (2006.01)
H01M 8/04186 (2016.01)
H01M 8/0662 (2016.01)

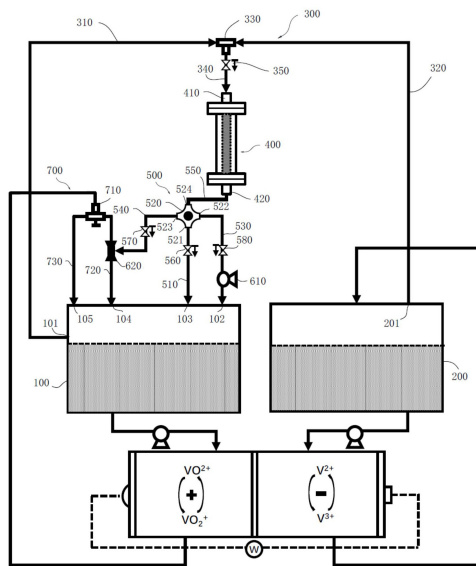
权利要求书3页 说明书14页 附图7页

(54) 发明名称

液流电池容量恢复系统及方法

(57) 摘要

本申请公开了一种液流电池容量恢复系统及方法,属于液流电池技术领域,该液流电池容量恢复系统通过将正极储液罐、负极储液罐经由进气管路组件和气体回流管路组件与紫外光催化微反应器相连,使正极电解液产生的氧化气体与负极电解液产生的还原气体得以混合,并在微反应器内经紫外光照射引发燃爆反应,生成的酸性气体最终被送回正极电解液吸收。从而,该系统无需引入外部化学恢复剂或异相催化剂,通过将电池运行中固有的副反应气体转化为可被正极回收的酸性组分,自主地校正了正负极电解液的离子失衡,保持正极电解液和负极电解液的价态平衡,从而抑制并恢复了因副反应持续发生所导致的电池容量衰减,增长液流电池的使用寿命。



1. 一种液流电池容量恢复系统,其特征在于,包括:
正极储液罐,容纳有正极电解液,所述正极电解液能够产生氧化气体;
负极储液罐,容纳有负极电解液,所述负极电解液能够产生还原气体;
进气管路组件和紫外光催化微反应器,所述紫外光催化微反应器的进气端通过所述进气管路组件与所述正极储液罐和所述负极储液罐连接;所述紫外光催化微反应器用于接收所述氧化气体和所述还原气体的混合气体,并在紫外光照射下引发所述混合气体的燃爆反应,生成酸性气体;
气体回流管路组件,连接所述紫外光催化微反应器的出气端与所述正极储液罐,用于将所述酸性气体输送至所述正极储液罐,以使所述酸性气体被所述正极电解液吸收。
2. 根据权利要求1所述的液流电池容量恢复系统,其特征在于,所述进气管路组件包括:
第一管路,连接所述正极储液罐的出气端;
第二管路,连接所述负极储液罐的出气端;
三通混合器,其一个进气端连接所述第一管路,另一个进气端连接所述第二管路,所述三通混合器的出气端用于输出所述混合气体;
第三管路,连接所述三通混合器的出气端与所述紫外光催化微反应器的进气端。
3. 根据权利要求2所述的液流电池容量恢复系统,其特征在于,所述进气管路组件还包括第一单向导通阀,所述第一单向导通阀设置于所述第三管路上,并被配置为允许所述混合气体从所述三通混合器流向所述紫外光催化微反应器。
4. 根据权利要求2所述的液流电池容量恢复系统,其特征在于,所述第一管路的管径是所述第二管路的管径的1倍至3倍。
5. 根据权利要求1所述的液流电池容量恢复系统,其特征在于,所述气体回流管路组件包括第四管路,所述第四管路的一端连接至所述紫外光催化微反应器的出气端,另一端连接至所述正极储液罐的进气端。
6. 根据权利要求5所述的液流电池容量恢复系统,其特征在于,所述液流电池容量恢复系统还包括负压发生装置,所述负压发生装置用于驱动所述氧化气体、所述还原气体和所述酸性气体流动。
7. 根据权利要求6所述的液流电池容量恢复系统,其特征在于,所述负压发生装置包括气泵,所述气泵设置于所述第四管路上。
8. 根据权利要求6所述的液流电池容量恢复系统,其特征在于,所述气体回流管路组件还包括多通切换阀和第五管路;所述第四管路的一端连接于所述多通切换阀的第一出气接口,以通过所述多通切换阀连接至所述紫外光催化微反应器的出气端;所述第五管路的一端连接于所述多通切换阀的第二出气接口,另一端连接至所述正极储液罐的进气端;
所述负压发生装置包括气泵,所述气泵设置于所述第五管路上。
9. 根据权利要求8所述的液流电池容量恢复系统,其特征在于,所述液流电池容量恢复系统还包括用于输送正极电解液的正极回液管路,所述气体回流管路组件包括第六管路;
所述负压发生装置包括文丘里气泡发生器,所述文丘里气泡发生器设于所述正极回液管路上,并通过所述第六管路与所述多通切换阀的第三出气接口连接。
10. 根据权利要求9所述的液流电池容量恢复系统,其特征在于,所述正极回液管路上

设有三通切换阀,用于将所述正极回液管路切换至流经所述文丘里气泡发生器或绕过所述文丘里气泡发生器。

11.根据权利要求9所述的液流电池容量恢复系统,其特征在于,所述第四管路上设有第二单向导通阀,所述第二单向导通阀被配置为允许所述酸性气体流向所述正极储液罐;和/或,

所述第五管路上设有第三单向导通阀,所述第三单向导通阀被配置为允许所述酸性气体流向所述正极储液罐;和/或,

所述第六管路上设有第四单向导通阀,所述第四单向导通阀被配置为允许所述酸性气体流向所述文丘里气泡发生器。

12.根据权利要求1所述的液流电池容量恢复系统,其特征在于,所述紫外光催化微反应器包括:

反应器壳体,围成有反应腔,所述反应腔连通所述紫外光催化微反应器的进气端和出气端;

紫外光源,设置于所述反应腔内;

透光罩,设置于所述反应腔内,并套设于所述紫外光源的外周。

13.根据权利要求12所述的液流电池容量恢复系统,其特征在于,所述反应器壳体的壁厚为5mm至10mm,半径为15mm至60mm;和/或,

所述透光罩的壁厚为5mm至10mm,半径为10mm至30mm。

14.根据权利要求12所述的液流电池容量恢复系统,其特征在于,所述紫外光源的波长为200nm至400nm,功率为5W至40W。

15.根据权利要求12所述的液流电池容量恢复系统,其特征在于,所述反应器壳体包括金属外壳层和高分子内衬层,所述高分子内衬层设置于所述金属外壳层的内表面;和/或,所述透光罩的材质为玻璃材质。

16.根据权利要求1所述的液流电池容量恢复系统,其特征在于,所述液流电池容量恢复系统包括多个相互并联设置的所述紫外光催化微反应器,每个所述紫外光催化微反应器的进气端均连接所述进气管路组件,每个所述紫外光催化微反应器的出气端均连接所述气体回流管路组件。

17.一种液流电池容量恢复方法,其特征在于,包括:

将正极储液罐中正极电解液产生的氧化气体和负极储液罐中负极电解液产生的还原气体混合,形成混合气体;

将所述混合气体通入紫外光催化微反应器,并在紫外光照射下引发燃爆反应,生成酸性气体;

将所述酸性气体通入所述正极电解液中进行吸收。

18.根据权利要求17所述的液流电池容量恢复方法,其特征在于,通过负压驱动所述氧化气体、所述还原气体以及所述酸性气体的流动。

19.根据权利要求18所述的液流电池容量恢复方法,其特征在于,通过气泵产生所述负压。

20.根据权利要求18所述的液流电池容量恢复方法,其特征在于,通过使正极电解液流经文丘里气泡发生器以产生所述负压。

21. 根据权利要求20所述的液流电池容量恢复方法,其特征在于,当所述正极电解液的流量低于预设值时,切换所述正极电解液的流路以绕过所述文丘里气泡发生器;并启动气泵以产生所述负压。

22. 根据权利要求17所述的液流电池容量恢复方法,其特征在于,所述液流电池容量恢复方法还包括:

利用所述燃爆反应完成后产生的瞬时负压,自动吸入新的所述混合气体进入所述紫外光催化微反应器,以重复进行所述燃爆反应,直至所述还原气体的浓度低于燃爆反应浓度极限。

23. 根据权利要求17所述的液流电池容量恢复方法,其特征在于,所述氧化气体为氯气或溴,所述还原气体为氢气。

24. 根据权利要求17所述的液流电池容量恢复方法,其特征在于,所述紫外光催化微反应器中紫外光的波长为200nm至400nm。

25. 根据权利要求24所述的液流电池容量恢复方法,其特征在于,所述紫外光催化微反应器中紫外光的功率为5W至40W。

26. 根据权利要求17所述的液流电池容量恢复方法,其特征在于,将酸性气体通入所述正极电解液中进行吸收的步骤后,所述正极电解液的荷电状态为50%至100%。

液流电池容量恢复系统及方法

技术领域

[0001] 本申请涉及液流电池技术领域,尤其涉及一种液流电池容量恢复系统及方法。

背景技术

[0002] 液流电池是一种适用于大规模储能电化学装置,其通过正、负极电解液中活性物质价态的变化实现电能的存储与释放。然而,在长期循环过程中,电池负极会持续发生析氢等副反应,导致正、负极电解液中活性离子的平均价态失衡,进而引起电池容量的持续衰减。

[0003] 为恢复电池容量,通常需要向电解液中引入固体催化剂或化学恢复剂。例如,通过在催化反应装置中装填固体催化剂以吸附、转化活性气体,或直接向电解液中添加还原性物质。这些方式均会向电池系统内引入额外的化学物质,其残留物或脱落物可能污染电解液,影响电池的长期稳定性与寿命。

发明内容

[0004] 本申请实施例提供一种液流电池容量恢复系统及方法,在不引入外来化学物质的情况下,有效恢复液流电池的容量,以至少部分的解决上述技术问题。

[0005] 为了实现上述目的,根据本申请的第一方面,提供一种液流电池容量恢复系统,包括:

正极储液罐,容纳有正极电解液,所述正极电解液能够产生氧化气体;

负极储液罐,容纳有负极电解液,所述负极电解液能够产生还原气体;

进气管路组件和紫外光催化微反应器,所述紫外光催化微反应器的进气端通过所述进气管路组件与所述正极储液罐和所述负极储液罐连接;所述紫外光催化微反应器用于接收所述氧化气体和所述还原气体的混合气体,并在紫外光照射下引发所述混合气体的燃爆反应,生成酸性气体;

气体回流管路组件,连接所述紫外光催化微反应器的出气端与所述正极储液罐,用于将所述酸性气体输送至所述正极储液罐,以使所述酸性气体被所述正极电解液吸收。

[0006] 在一些实施例中,所述进气管路组件包括:

第一管路,连接所述正极储液罐的出气端;

第二管路,连接所述负极储液罐的出气端;

三通混合器,其一个进气端连接所述第一管路,另一个进气端连接所述第二管路,所述三通混合器的出气端用于输出所述混合气体;

第三管路,连接所述三通混合器的出气端与所述紫外光催化微反应器的进气端。

[0007] 在一些实施例中,所述进气管路组件还包括第一单向导通阀,所述第一单向导通阀设置于所述第三管路上,并被配置为允许所述混合气体从所述三通混合器流向所述紫外光催化微反应器。

[0008] 在一些实施例中,所述第一管路的管径是所述第二管路的管径的1倍至3倍。

[0009] 在一些实施例中,所述气体回流管路组件包括第四管路,所述第四管路的一端连接至所述紫外光催化微反应器的出气端,另一端连接至所述正极储液罐的进气端。

[0010] 在一些实施例中,所述液流电池容量恢复系统还包括负压发生装置,所述负压发生装置用于驱动所述氧化气体、所述还原气体和所述酸性气体流动。

[0011] 在一些实施例中,所述负压发生装置包括气泵,所述气泵设置于所述第四管路上。

[0012] 在一些实施例中,所述气体回流管路组件还包括多通切换阀和第五管路;所述第四管路的一端连接于所述多通切换阀的第一出气接口,以通过所述多通切换阀连接至所述紫外光催化微反应器的出气端;所述第五管路的一端连接于所述多通切换阀的第二出气接口,另一端连接至所述正极储液罐的进气端;

所述负压发生装置包括气泵,所述气泵设置于所述第五管路上。

[0013] 在一些实施例中,所述液流电池容量恢复系统还包括用于输送正极电解液的正极回液管路,所述气体回流管路组件包括第六管路;

所述负压发生装置包括文丘里气泡发生器,所述文丘里气泡发生器设于所述正极回液管路上,并通过所述第六管路与所述多通切换阀的第三出气接口连接。

[0014] 在一些实施例中,所述正极回液管路上设有三通切换阀,用于将所述正极回液管路切换至流经所述文丘里气泡发生器或绕过所述文丘里气泡发生器。

[0015] 在一些实施例中,所述第四管路上设有第二单向导通阀,所述第二单向导通阀被配置为允许所述酸性气体流向所述正极储液罐;和/或,

所述第五管路上设有第三单向导通阀,所述第三单向导通阀被配置为允许所述酸性气体流向所述正极储液罐;和/或,

所述第六管路上设有第四单向导通阀,所述第四单向导通阀被配置为允许所述酸性气体流向所述文丘里气泡发生器。

[0016] 在一些实施例中,所述紫外光催化微反应器包括:

反应器壳体,围成有反应腔,所述反应腔连通所述紫外光催化微反应器的进气端和出气端;

紫外光源,设置于所述反应腔内;

透光罩,设置于所述反应腔内,并套设于所述紫外光源的外周。

[0017] 在一些实施例中,所述反应器壳体的壁厚为5mm至10mm,半径为15mm至60mm;和/或,

所述透光罩的壁厚为5mm至10mm,半径为10mm至30mm。

[0018] 在一些实施例中,所述紫外光源的波长为200nm至400nm,功率为5W至40W。

[0019] 在一些实施例中,所述反应器壳体包括金属外壳层和高分子内衬层,所述高分子内衬层设置于所述金属外壳层的内表面;和/或,

所述透光罩的材质为玻璃材质。

[0020] 在一些实施例中,所述液流电池容量恢复系统包括多个相互并联设置的所述紫外光催化微反应器,每个所述紫外光催化微反应器的进气端均连接所述进气管路组件,每个所述紫外光催化微反应器的出气端均连接所述气体回流管路组件。

[0021] 根据本申请的第二方面,提供一种液流电池容量恢复方法,包括:

将正极储液罐中正极电解液产生的氧化气体和负极储液罐中负极电解液产生的

还原气体混合,形成混合气体;

将所述混合气体通入紫外光催化微反应器,并在紫外光照射下引发燃爆反应,生成酸性气体;

将所述酸性气体通入所述正极电解液中进行吸收。

[0022] 在一些实施例中,通过负压驱动所述氧化气体、所述还原气体以及所述酸性气体的流动。

[0023] 在一些实施例中,通过气泵产生所述负压。

[0024] 在一些实施例中,通过使正极电解液流经文丘里气泡发生器以产生所述负压。

[0025] 在一些实施例中,当所述正极电解液的流量低于预设值时,切换所述正极电解液的流路以绕过所述文丘里气泡发生器;并启动气泵以产生所述负压。

[0026] 在一些实施例中,所述液流电池容量恢复方法还包括:

利用所述燃爆反应完成后产生的瞬时负压,自动吸入新的所述混合气体进入所述紫外光催化微反应器,以重复进行所述燃爆反应,直至所述还原气体的浓度低于燃爆反应浓度极限。

[0027] 在一些实施例中,所述氧化气体为氯气或溴,所述还原气体为氢气。

[0028] 在一些实施例中,所述紫外光催化微反应器中紫外光的波长为200nm至400nm。

[0029] 在一些实施例中,所述紫外光催化微反应器中紫外光的功率为5W至40W。

[0030] 在一些实施例中,将酸性气体通入所述正极电解液中进行吸收的步骤后,所述正极电解液的荷电状态为50%至100%。

[0031] 本申请实施例的液流电池容量恢复系统中,通过将正极储液罐、负极储液罐经由进气管路组件和气体回流管路组件与紫外光催化微反应器相连,使正极电解液产生的氧化气体与负极电解液产生的还原气体得以混合,并在微反应器内经紫外光照射引发燃爆反应,生成的酸性气体最终被送回正极电解液吸收。从而,该系统无需引入外部化学恢复剂或异相催化剂,通过将电池运行中固有的副反应气体转化为可被正极回收的酸性组分,自主地校正了正负极电解液的离子失衡,保持正极电解液和负极电解液的价态平衡,从而抑制并恢复了因副反应持续发生所导致的电池容量衰减,增长液流电池的使用寿命。

[0032] 本申请实施例的液流电池容量恢复方法中,通过将正负极电解液产生的氧化气体与还原气体混合后,导入紫外光催化微反应器并在光照下引发燃爆反应,继而将反应生成的酸性气体通入正极电解液完成吸收。该方法基于物理光化学过程实现容量恢复,直接利用电池系统内部产生的气体副产物,通过原位转化与回用的方式,有效恢复了电解液中的活性物质平衡,整个过程无需添加外部物质,减少了因此可能带来的电解液污染与二次衰减。

[0033] 本申请的其他特征和优点将在随后的具体实施方式部分予以详细说明。

附图说明

[0034] 为了更清楚地说明本申请实施例中的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍。显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例,对于本领域技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0035] 为了更完整地理解本申请及其有益效果,下面将结合附图来进行以下说明,其中在下面的描述中相同的附图标号表示相同部分。

[0036] 图1是本申请实施例提供的液流电池的结构示意图;

图2是本申请实施例一提供的液流电池容量恢复系统的结构示意图;

图3是本申请实施例二提供的液流电池容量恢复系统的结构示意图;

图4是本申请实施例三提供的液流电池容量恢复系统的结构示意图;

图5是本申请实施例四提供的液流电池容量恢复系统的结构示意图;

图6是本申请实施例提供的紫外光催化微反应器的结构示意图;

图7是图6中A-A剖面示意图;

图8是本申请实施例提供的液流电池容量恢复方法的一种流程图。

[0037] 附图标记说明:

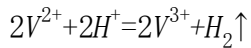
100-正极储液罐;101-正极出气端;102-第一正极进气端;103-第二正极进气端;104-第一正极回液端;105-第二正极回液端;200-负极储液罐;201-负极出气端;300-进气管路组件;310-第一管路;320-第二管路;330-三通混合器;340-第三管路;350-第一单向导通阀;400-紫外光催化微反应器;410-反应器进气端;420-反应器出气端;430-反应器壳体;431-金属外壳层;432-高分子内衬层;440-紫外光源;450-透光罩;460-第一法兰;470-第二法兰;480-反应腔;500-气体回流管路组件;510-第四管路;520-多通切换阀;521-第一出气接口;522-第二出气接口;523-第三出气接口;524-进气接口;530-第五管路;540-第六管路;550-第七管路;560-第二单向导通阀;580-第三单向导通阀;570-第四单向导通阀;610-气泵;620-文丘里气泡发生器;700-正极回液管路;710-三通切换阀;720-第一支路;730-第二支路。

具体实施方式

[0038] 下面将结合本申请实施例中的附图,对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述。显然,所描述的实施例仅仅是本申请一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例,本领域技术人员在没有付出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本申请的保护范围。

[0039] 请参照图1所示,液流电池是一种基于电化学原理的大规模储能装置,该电池主要由电堆、电解液、储液罐、流体输送单元及控制管理模块等部分组成。其核心特征在于正极电解液、负极电解液独立分装,并在循环泵的驱动下分别流动,通过活性物质价态的转变实现电能与化学能之间的相互转化与存储。具体而言,该系统将正极电解液、负极电解液分储于两个储罐中,通过送液泵驱动,使其在流经电堆时发生氧化还原反应。在电堆内部,正负极电解液由离子交换膜(或隔膜)分隔,避免相互混合。电池可外接电源进行充电,或连接负载进行放电。

[0040] 尽管液流电池具有容量可扩展性强、适用温度范围宽、循环寿命长等优点,但在反复充放电过程中,仍不可避免地会出现一定程度的容量衰减。以全钒液流电池为例,容量衰退的一个重要原因是负极发生的析氢副反应,该反应会引起正负极电解液中钒离子平均价态上升。正极 VO_2^+/VO^{2+} , 负极 V^{3+}/V^{2+} , 初始阶段正负极活性物质质量相等,在循环过程中,负极电解液持续发生析氢反应:



该过程使正极电解液中五价钒浓度逐步上升,钒离子平均价态持续升高,直接导致电池容量逐渐衰减。

[0041] 为恢复电池容量,作为一种实施方式,通常会在高SOC(State of Charge, 荷电状态)下向正极电解液中引入还原剂。此时,氧化性较强的高价活性离子可与还原剂发生反应,被还原为低价态离子,从而有效降低正负极电解液中活性离子的平均价态。然而,该方式会持续引入还原反应残留物,可能对电解液纯度及电池性能造成影响。另一种实施方式中,应用较多的途径是基于燃料电池原理的方法:利用还原性气体与正极电解液构建电池系统,并借助贵金属催化剂对正极活性物质进行催化还原,以降低其价态。但该方式的缺点在于贵金属催化剂易发生脱落并进入电解液,进而引发负极析氢反应加剧,导致电池容量迅速下降。此外,还可以外设催化反应装置,接收正极储液罐100析出的氧化性气体并固定,引入负极由于副反应而流失的元素气体(一般为氢气),与被氧化的催化剂发生反应,生成酸性气体,返回负极储液罐200并被负极电解液吸收。但该方式需要补充外来气源,控制过程较为复杂,成本较高,且有一定安全隐患。

[0042] 有鉴于此,本申请实施例提供一种液流电池容量恢复系统,该系统能够收集液流电池在运行过程中因副反应所产生的气态产物,并将其重新转化为可被电解液吸收的有效组分。实现容量有效再生的同时,还能够避免引入外来物质对电解液造成污染,并尽可能控制能耗与系统复杂性,以维持电池系统的高效与稳定运行。

[0043] 请一并参照图2至图5所示,本申请实施例提供的液流电池容量恢复系统的基本组成包括正极储液罐100、负极储液罐200、进气管路组件300、紫外光催化微反应器400以及气体回流管路组件500。

[0044] 正极储液罐100用于容纳液流电池的正极电解液。该正极电解液通常含有一种或多种活性离子以及还原性离子。当液流电池处于较高的充电状态(SOC)时,正极电解液中的还原性离子能够与高价的活性离子发生氧化还原反应。这一反应的结果是,高价的活性离子被还原为较低价态,同时释放出氧化性气体。常见的氧化气体包括氯气或溴蒸气。

[0045] 负极储液罐200用于容纳液流电池的负极电解液。在液流电池,尤其是全钒液流电池的长期充放电循环中,负极侧容易发生析氢等副反应。这些副反应会导致还原性气体的产生和积累,其中最常见的是氢气。正是这些副反应气体造成了正负极电解液中活性物质总量的失衡,进而引致电池容量的衰减。

[0046] 进气管路组件300构成了气体输送的通道。该组件的进气端分别与正极储液罐100和负极储液罐200的出气端相连接,其出气端则与紫外光催化微反应器400的进气端相连。进气管路组件300的主要功能是将正极储液罐100中正极电解液产生的氧化气体和负极储液罐200中负极电解液产生的还原气体输送至紫外光催化微反应器400。在输送过程中,两种气体可以预先混合,形成混合气体。

[0047] 紫外光催化微反应器400是本系统的核心装置之一。其内部设有一个密封的反应腔480,并安装有紫外光源440。当来自进气管路组件300的混合气体进入此反应腔480后,在特定波长(例如200纳米至400纳米)的紫外光照射下,氧化气体与还原气体之间会发生快速且剧烈的气相化学反应,即燃爆反应。该反应将混合气体转化为一种或多种酸性气体。例如,当氧化气体为氯气,还原气体为氢气时,在紫外光引发下,两者化合生成氯化氢气体。

[0048] 气体回流管路组件500连接在紫外光催化微反应器400的出气端与正极储液罐100的之间。它的作用是将燃爆反应生成的酸性气体输送回正极储液罐100,使得酸性气体被其中的正极电解液吸收。以氯化氢为例,其溶于水后形成盐酸,可以提供氢离子并被体系利用,从而有助于恢复正极电解液的化学平衡。

[0049] 该系统的工作原理是形成一个封闭的气体处理循环。电池运行过程中自然产生的、导致容量衰减的副产物气体(如负极的氢气)被收集起来,与正极产生的氧化气体一同导入紫外光催化微反应器400。通过光化学燃爆反应,将这些气体转化为对正极有益、可被吸收的酸性组分。这个过程无需添加任何外部的固体催化剂或化学恢复剂,避免了因此可能带来的电解液污染。从而有效地利用电池自身的副产物,通过原位转化和回用,自主地校正了正负极电解液的离子失衡,从而抑制并恢复了电池容量的衰减,实现了液流电池的长寿命稳定运行。

[0050] 请参照图2,在一些实施例中,该液流电池容量恢复系统的进气管路组件300包含多条管路和气体混合单元。

[0051] 具体而言,第一管路310的一端连接至正极储液罐100的正极出气端101,用于专门输送由正极电解液产生的氧化气体。第二管路320的一端连接至负极储液罐200的负极出气端201,用于专门输送由负极电解液副反应产生的还原气体。三通混合器330被设置于第一管路310和第二管路320之间。该三通混合器330具有两个进气口和一个出气口。其中,一个进气口与第一管路310的另一端相连,用以接收氧化气体;另一个进气口与第二管路320的另一端相连,用以接收还原气体。两种气体在流经三通混合器330时得以充分混合,形成均一的混合气体,并从其出气口输出。第三管路340则作为连接通道,其一端连接至三通混合器330的出气口,另一端连接至紫外光催化微反应器400的反应器进气端410。从而将混合后的混合气体稳定地输送至反应腔480体内。

[0052] 通过采用进气管路组件300,系统能够有序地完成从气体收集、输运到混合的整个过程,结构简单,能够为后续的光化学燃爆反应提供了稳定可靠的气源。

[0053] 在一些实施例中,可在第三管路340上增设第一单向导通阀350,以优化气体流向控制并提升系统运行的可靠性。该第一单向导通阀350被配置为允许气体沿单一方向流动,具体而言,是允许来自三通混合器330的混合气体流向紫外光催化微反应器400。这样能有效防止气体逆流,避免混合气体反向流回三通混合器330乃至正极储液罐100、负极储液罐200。

[0054] 通过设置第一单向导通阀350,可以维持系统内预定的气流路径。这不仅有助于保证紫外光催化微反应器400内反应过程的稳定进行,也能避免因气体回流可能引发的浓度波动或潜在的安全问题,从而提升了整个容量恢复系统的可控性和安全性。

[0055] 可选地,可在第一管路310和第二管路320上分别增设单向导通阀。设置于第一管路310上的单向导通阀被配置为仅允许氧化气体从正极储液罐100流向三通混合器330。同样地,设置于第二管路320上的另一个单向导通阀被配置为仅允许还原气体从负极储液罐200流向三通混合器330。

[0056] 这种布置方式能够有效防止了混合气体在三通混合器330处发生回流。具体而言,它避免了氧化气体反向流入负极储液罐200,或者还原气体反向流入正极储液罐100,从而杜绝了因气体交叉污染而对正极电解液、负极电解液性能产生的不利影响。并且,也能够

一定程度上增强了正、负极回路之间的电气隔离和化学隔离,降低了因气体串扰导致电池内部短路或其他副反应的风险。此外,还能够与第三管路340上的单向阀协同作用,使得气体在系统内能够更加稳定地按预定路径单向、有序地流动,提升了整个恢复过程的稳定性和可靠性。

[0057] 在一些实施例中,为了优化进入紫外光催化微反应器400的混合气体的组成比例,可以对第一管路310和第二管路320的物理结构进行设置。

[0058] 具体地,将第一管路310的内径与第二管路320的内径设置为不同的尺寸。第一管路310的内径被配置为第二管路320内径的1倍至3倍。也就是说,第一管路310和第二管路320的管径的比值为(1~3):1,具体地,可以为1:1、2:1、3:1中的任意比值或者任意两比值之间的范围值。这样能够利用流体在管路中流动的阻力与管径相关的特性,在不依赖额外主动控制元件(如流量阀)的情况下,实现对氧化气体和还原气体流量的被动调节与平衡。

[0059] 由于正极储液罐100产生的氧化气体与负极储液罐200产生的还原气体在生成速率上通常存在差异,通过调整输送管路的管径比,能够使两种气体以更接近化学计量比的体积比进入三通混合器330进行混合。这有助于后续在紫外光催化微反应器400中发生的燃爆反应更为充分和高效,减少了因某一反应物气体过量所造成的浪费或反应不完全,从而提升了整个容量恢复系统的处理效率和经济性。

[0060] 可选地,还可以在第二管路320上分别增设流量控制阀,例如比例阀或手动调节阀。通过调节这些阀门,可以主动、精确地控制氧化气体与还原气体各自的瞬时流量。这使得系统能够灵活适应不同运行工况(如不同的电池衰减程度、不同的SOC状态)下正、负极气体析出速率的变化,动态地将混合气体的比例调整至最优配比,从而确保紫外光催化微反应器400内的燃爆反应始终在最高效的条件下进行。

[0061] 请再次参照图2,在一些实施例中,气体回流管路组件500包含一条第四管路510。该第四管路510的一端连接至紫外光催化微反应器400的反应器出气端420,另一端则连接至正极储液罐100的一个进气端(即图2中第二正极进气端103)。此第四管路510构成了酸性气体返回正极储液罐100的核心通道。其能够将紫外光催化微反应器400内部经燃爆反应生成的酸性气体,高效地输送回正极储液罐100的腔体内。通过设置第四管路510,系统能够将生成的酸性产物及时、定向地输送至目标位置,并被正极电解液有效吸收。

[0062] 在一些实施例中,液流电池容量恢复系统还包括负压发生装置,该负压发生装置能够为气体的流动提供驱动力。其具体作用是驱动三条关键的气体路径:将氧化气体从正极储液罐100引出,将还原气体从负极储液罐200引出,并将反应生成的酸性气体从紫外光催化微反应器400推送回正极储液罐100。

[0063] 通过引入该负压发生装置,可以在紫外光催化微反应器400下游的管路中主动产生负压(即低于大气压的压力),此负压通过气体回流管路组件500向上游传递,依次作用于紫外光催化微反应器400的反应腔480、进气管路组件300,并最终到达正极储液罐100和负极储液罐200的顶部气相空间。在此压差驱动下,氧化气体和还原气体被从对应的储液罐抽出,进入进气管路组件300并在三通混合器330处混合,继而流入并充满紫外光催化微反应器400的反应腔480,为初始的燃爆反应准备了必要的反应物。

[0064] 因此,本实施例中,负压发生装置的一个主要作用是提供系统启动的初始动力,克服系统静置时的惯性,建立初始的气体流动和反应物填充,从而使得容量恢复程序顺利启

动和进行。

[0065] 该负压发生装置的具体实现方式可以是多种多样的,例如采用气泵610主动抽吸,或是利用文丘里效应产生负压等,其核心目的在于为系统的气体回路提供一个可控的驱动力。

[0066] 图2所示的实施例提供一种负压发生装置的具体实施方式。该负压发生装置采用一个气泵610作为动力源。该气泵610直接串联安装在气体回流管路组件500的第四管路510上。其位置位于紫外光催化微反应器400的反应器出气端420与正极储液罐100的进气端之间。

[0067] 当气泵610启动工作时,它在自身的进气侧,即朝向紫外光催化微反应器400的一端,产生一个抽吸力(负压)。此负压通过管路传递,作用于整个紫外光催化微反应器400的反应腔480以及上游的进气管路组件300,从而形成驱动气体流动的动力。

[0068] 该抽吸力能够同时将正极储液罐100中的氧化气体和负极储液罐200中的还原气体抽出,并使二者混合后流入紫外光催化微反应器400。同时,在气泵610的出口侧(即朝向正极储液罐100的一端)产生推送力,将反应生成的酸性气体有效地输送回正极储液罐100中。

[0069] 这种将气泵610直接串接于回流管路的设置方式,实现了对系统内全部气体流动的驱动,结构紧凑,控制逻辑简单,有效保障了恢复过程的连续运行。

[0070] 请参照图3,在一些实施例中,气体回流管路组件500包含一个多通切换阀520、第四管路510和第五管路530。多通切换阀520设有一个进气接口524和多个出气接口,其进气接口524连接至紫外光催化微反应器400的反应器出气端420。第四管路510的一端连接至多通切换阀520的一个特定出气接口,即第一出气接口521,其另一端连接至正极储液罐100第二正极进气端103。第五管路530的一端则连接至多通切换阀520的另一个出气接口,即第二出气接口522,其另一端连接至正极储液罐100的第一正极进气端102。其中,第一正极进气端102和第二正极进气端103可以为同一个端口或者为不同的端口。负压发生装置的气泵610,安装在这条第五管路530上。

[0071] 在本实施例中,当系统需要气泵610驱动时,操作多通切换阀520使其进气接口524与连接第五管路530的第二出气接口522导通。随后启动气泵610,气泵610通过第五管路530和多通切换阀520从紫外光催化微反应器400的反应器出气端420抽吸气体。此操作在紫外光催化微反应器400及上游管路中形成负压,驱动氧化气体和还原气体流入并发生燃爆反应,同时将生成的酸性气体经由多通切换阀520和第五管路530,最终推送回正极储液罐100。

[0072] 当紫外光催化微反应器400内的混合气体被紫外光引燃,发生燃爆反应时,会在瞬间产生极高的压力。该压力作为驱动力,将反应生成的酸性气体高速排出反应腔480。在酸性气体被剧烈排出的瞬间,反应腔480体内压力骤降,形成一个瞬时的负压区。这个由反应自身产生的负压,会立即通过进气管路组件300向上游传递,从而产生抽吸作用,自动将新一轮的氧化气体和还原气体从各自的储液罐中抽出,并吸入反应腔480。

[0073] 此时,可以操作多通切换阀520,使其进气接口524与第四管路510所连接的第一出气接口521保持导通,同时关闭连接气泵610的第二出气接口522。系统由此切换至自驱动模式。

[0074] 此后,只要紫外光源440保持开启,且正极储液罐100、负极储液罐200提供的气体浓度在燃爆极限范围内,上述吸入混合气体、光引发燃爆、高压排气、瞬时负压吸气的过程就会周而复始地自动进行,形成一个持续、循环的脉冲式反应,无需气泵610持续工作。这种利用反应自身能量维持循环的设置,极大地降低了系统的外部能耗,实现了高效的自维持运行。

[0075] 可选地,多通切换阀520的进气接口524通过第七管路550或者直接连接紫外光催化微反应器400的反应器出气端420。

[0076] 请参照图4所示,在一些实施例中,该系统还包括用于输送正极电解液的正极回液管路700。负压发生装置还包括一个文丘里气泡发生器620,该文丘里气泡发生器620串联安装在正极回液管路700上。气体回流管路组件500增设了一条第六管路540,该第六管路540的一端连接至文丘里气泡发生器620的气体吸入口,另一端连接至多通切换阀520的第三出气接口523。

[0077] 在本实施例中,系统可以通过文丘里气泡发生器620启动容量恢复,过程如下:

操作多通切换阀520,使其进气接口524与连接第六管路540的第三出气接口523导通。当正极电解液在正极回液管路700中流动,并以足够大的流速流经文丘里气泡发生器620时,会在其喉部产生负压。此负压通过第六管路540和多通切换阀520传递至紫外光催化微反应器400及上游气体管路,从而将氧化气体和还原气体抽出、混合并持续导入微反应器,为启动提供必需的反应物。

[0078] 当混合气体充满反应腔480并达到可反应浓度时,紫外光源440即可引燃第一次燃爆反应。此次反应生成的酸性气体在瞬间高压作用下被排出,同时为后续循环创造了初始负压。此后,可操作多通切换阀520切换通路,将其进气接口524切换至与连接第四管路510的第一出气接口521导通,从而切断文丘里气泡发生器620通路,使系统进入自维持循环状态。

[0079] 此后,系统将依靠每一次燃爆反应产生的瞬时高压排气和后续负压吸气效应,自动、持续地进行脉冲式反应,直至气体浓度低于反应极限。

[0080] 请参照图5所示,在一些实施例中,正极回液管路700上设有三通切换阀710,用于将正极回液管路700切换至流经文丘里气泡发生器620或绕过文丘里气泡发生器620。在一具体示例中,正极回液管路700在正极储液罐100回液口之前通过一个三通切换阀710被分为两条独立的支路,即第一支路720和第二支路730,分别连接第一正极回液端104、第二正极回液端105。其中,第一正极回液端104和第二正极回液端105可以为同一个端口或者为不同端口。文丘里气泡发生器620串联安装在第一支路720上,而第二支路730则作为一条不经过文丘里气泡发生器620的旁通路径。通过操作三通切换阀710,可以控制正极电解液选择流经第一支路720或第二支路730。

[0081] 在本实施例中,当正极电解液循环流量较大时,系统优先采用文丘里启动模式。此时,将三通切换阀710切换至第一支路720,使电解液流经文丘里气泡发生器620。同时,将多通切换阀520切换至其进气接口524与连接第六管路540的第三出气接口523导通。流经文丘里气泡发生器620的电解液利用其动能产生足够的负压,此负压通过管路传递,自动将氧化气体和还原气体吸入并混合,输送至紫外光催化微反应器400,完成系统的初始气体填充和启动。

[0082] 当正极电解液循环流量较小,其流速不足以使文丘里气泡发生器620产生有效负压时,系统则切换至气泵610启动模式。此时,操作三通切换阀710,将正极回液管路700从第一支路720切换至第二支路730,使电解液绕过文丘里气泡发生器620,以降低系统流动阻力。同时,操作多通切换阀520,使其进气接口524与连接第五管路530的第二出气接口522导通。随后,启动安装在第五管路530上的气泵610。气泵610工作产生的主动抽吸力将取代文丘里效应,承担起驱动气体流动的任务,确保系统能够可靠启动。

[0083] 该系统通过三通切换阀710与多通切换阀520的协同操作,实现了在文丘里负压与气泵610负压两种驱动模式之间的灵活、可靠切换。使系统能够自适应不同的电解液循环工况,获得稳定的启动性能,极大地提升了整个容量恢复系统的环境适应性与运行可靠性。

[0084] 在一些实施例中,可在气体回流管路组件500的多个分支管路上设置单向导通阀,以进一步增强系统运行的安全性与可靠性。

[0085] 具体而言,可在第四管路510上设置第二单向导通阀560。该第二单向导通阀560被配置为仅允许酸性气体从多通切换阀520流向正极储液罐100。

[0086] 可在第五管路530上设置第三单向导通阀580。该第三单向导通阀580被配置为仅允许酸性气体从多通切换阀520流向正极储液罐100。

[0087] 可在第六管路540上设置第四单向导通阀570。该第四单向导通阀570被配置为仅允许气体流向文丘里气泡发生器620。

[0088] 设置这些单向阀能够严格防止气体发生逆向流动。

[0089] 请一并参照图6和图7,在一些实施例中,紫外光催化微反应器400包括反应器壳体430、紫外光源440以及透光罩450。

[0090] 反应器壳体430构成紫外光催化微反应器400的主体,其内部围成一个密封的反应腔480。该反应腔480的两端分别设有第一法兰460和第二法兰470,第一法兰460上设置进气端,第二法兰470上设置出气端,反应腔480的两端分别连通进气端和出气端,用于反应气体的流入与生成气体的排出。

[0091] 紫外光源440被设置在反应腔480的内部,具体可以设置在靠近中心位置。其功能是发射特定波长的紫外光,用以激发进入反应腔480的混合气体,引发燃爆反应。

[0092] 透光罩450同样设置在反应腔480内部,其具体结构为套设在紫外光源440外周的一个管状或筒状部件。透光罩450将紫外光源440与流经反应腔480的混合气体、以及燃爆反应环境物理地隔离开。透光罩450能够保护对温度和化学环境较为敏感的紫外光源440,使其免受反应气体以及剧烈燃爆反应可能带来的高温、高压或腐蚀性损害。同时,透光罩450的材质对紫外光具有高透过率,以使得紫外光的能量能够高效地穿透并作用于周围的气相反应区。

[0093] 在本实施例中,将紫外光源440置于反应腔480中心,能使紫外光辐射在环形反应腔480内分布更为均匀,有利于引发快速、彻底的燃爆反应。另一方面,通过透光罩450进行物理隔离,解决了将紫外光源440直接暴露于苛刻反应环境中的技术难题,显著提高了紫外光源440的使用寿命和整个微反应器的可靠性。此外,紧凑的腔体设计有助于控制单次反应的气体量,将燃爆反应的威力约束在安全范围内。

[0094] 在一些实施例中,反应器壳体430的壁厚被设置在5mm至10mm的范围内。例如可以为5mm、6mm、7mm、8mm、9mm、10mm之中的任意数值或者任意两数值之间的范围值。该厚度范围

确保了壳体具备足够的机械强度,能够承受内部燃爆反应产生的周期性压力冲击,保障设备的安全运行。同时,反应器壳体430的半径被设定在15mm至60mm之间。例如可以为15mm、16mm、17mm、18mm、19mm、20mm、25mm、28mm、30mm、32mm、35mm、37mm、40mm、43mm、45mm、49mm、50mm、52mm、55mm、57mm、60mm之中的任意数值或者任意两数值之间的范围值。这一尺寸范围直接决定了反应腔480的容积。较小的腔体容积旨在限制单次参与燃爆反应的气体量,从而将反应释放的能量和压力峰值控制在安全界限内,这是本系统利用微反应器处理高风险燃爆反应的核心设计理念之一。

[0095] 透光罩450的壁厚被设置在5毫米至10毫米的范围内。例如可以为5mm、6mm、7mm、8mm、9mm、10mm之中的任意数值或者任意两数值之间的范围值。这一厚度选择是在机械强度与紫外光透射效率之间取得的平衡。足够的壁厚可以保证其在反应环境下,尤其是在压力波动中的结构完整性;而控制其厚度上限,则是为了最大限度地减少紫外光穿过时的能量衰减。透光罩450的半径被设定在10毫米至30毫米之间。例如可以为10mm、12mm、15mm、16mm、17mm、18mm、19mm、20mm、25mm、28mm、30mm之中的任意数值或者任意两数值之间的范围值。该尺寸与反应器壳体430的半径共同定义了一个环形的反应区域。此环形空间使得混合气体能够在紧邻透光罩450外壁的区域流动,充分接受紫外光的辐射,使得反应能够被高效、均匀地引发。

[0096] 在一些实施例中,该紫外光源440发射光波的波长范围被设定在200nm至400nm之间。此范围属于紫外光波段,其光子能量足以有效打断氯气(Cl_2)或溴(Br_2)等氧化气体分子的化学键,使其形成具有高度反应活性的自由基,从而引发其与氢气(H_2)之间高效、快速的气相燃爆反应。

[0097] 同时,该紫外光源440的功率被设定在5W至40W的范围内。例如可以为5W、10W、12W、15W、16W、18W、19W、20W、25W、28W、30W、33W、38W、40W之中的任意数值或者任意两数值之间的范围值。这样能够使得紫外光源440有足够的能量输出,以在紫外光催化微反应器400的有限腔体内维持足够高的紫外光辐照强度,从而可靠地引发并支持持续的燃爆反应。并且也控制了系统的能耗,减少使用过大功率带来的不必要的能量损耗与设备成本,同时也能够防止局部能量密度过高。

[0098] 参照图7所示,在一些实施例中,反应器壳体430采用复合结构。其外层为金属外壳层431,该金属外壳层431为整个反应器提供必要的结构强度和机械支撑,使其能够承受内部燃爆反应产生的周期性压力。在金属外壳层431的内表面,即与反应气体直接接触的一侧,设置有一层高分子内衬层432。该高分子内衬层432的主要功能是提供优异的耐腐蚀性能,能够有效抵抗燃爆反应生成的酸性气体(如氯化氢、溴化氢)的侵蚀,从而保护金属壳体免受腐蚀,显著延长微反应器的使用寿命。

[0099] 透光罩450的材质选用玻璃材质,具体为具有高紫外光透过率的石英玻璃,它能够将紫外光源440与内部苛刻的反应环境物理隔离,保护光源免受损害。

[0100] 通过采用金属外壳层431与高分子内衬层432的复合结构,以及选用高透光率的石英玻璃作为透光罩450,该紫外光催化微反应器400在保证结构安全、抵抗恶劣反应环境和维持高效光化学转化之间取得了优化平衡,保障了核心部件在长期运行中的可靠性与稳定性。

[0101] 可选地,金属外壳层431可以为不锈钢材质,高分子内衬层432可以为聚四氟乙烯。

[0102] 在一些实施例中,液流电池容量恢复系统包含多个紫外光催化微反应器400。这些微反应器以并联的方式集成于系统之中。

[0103] 具体而言,每个紫外光催化微反应器400的进气端均共同连接至进气管路组件300。由正极储液罐100、负极储液罐200产生并混合后的混合气体,被同时分配并输送到每一个并联的紫外光催化微反应器400中。每个紫外光催化微反应器400的出气端也均共同连接至气体回流管路组件500。所有紫外光催化微反应器400内经燃爆反应生成的酸性气体,均汇入同一回流主管路,最终被一并输送回正极储液罐100进行吸收。

[0104] 此种并联设置方式通过增加反应单元的数量,线性地提升了系统单位时间内处理气体的总通量,使得该系统能够适配不同容量和规模的液流电池,增强了方案的普适性与可扩展性。其次,多个反应器可以同时工作,也可以根据实际气体产生量灵活调整启用的数量,实现了处理能力的模块化调节与能效优化。最后,这种设计也提升了系统的冗余性;即使单个微反应器因维护或故障需要暂停工作,其余反应器仍可继续运行,从而保证了容量恢复过程的连续性和整个系统的运行可靠性。

[0105] 相应地,本申请实施例还提供一种液流电池容量恢复方法,该方法基于物理光化学过程实现容量恢复,直接利用电池系统内部产生的气体副产物,通过原位转化与回用的方式,有效恢复电解液中的活性物质平衡。

[0106] 参见图8所示,该方法主要包括以下步骤:

首先,进行气体收集与混合。将正极储液罐100中正极电解液产生的氧化气体,与负极储液罐200中负极电解液产生的还原气体进行混合,形成均匀的混合气体。其中,氧化气体通常为氯气或溴,还原气体通常为氢气。

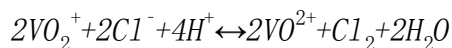
[0107] 接着,进行光化学燃爆反应。将上述混合气体通入紫外光催化微反应器400中。利用紫外光催化微反应器400内的紫外光源440产生的特定波长的紫外光照射混合气体,引发其发生快速的燃爆反应。该反应将混合气体转化为酸性气体,例如氯化氢或溴化氢。

[0108] 然后,进行酸性产物的回收。将燃爆反应生成的酸性气体通入正极电解液中,使其被充分吸收。酸性气体被正极电解液吸收后,可提供氢离子并参与体系平衡,从而校正因负极析氢等副反应导致的正负极电解液离子失衡,恢复电池容量。

[0109] 整个方法无需引入任何外部化学恢复剂或异相催化剂,避免了电解液的污染,实现了清洁、高效的液流电池容量恢复。

[0110] 还原气体的产生源于液流电池运行过程中的固有副反应。在电池充电或高电位运行状态下,负极储液罐200中的负极电解液会发生析氢反应 $2H^+ + 2e^- = H_2$ 。具体而言,电解液中的氢离子在负极获得电子,被还原生成氢气。该副反应的持续进行,导致负极活性物质总量发生变化,是造成电池容量衰减的直接原因之一。

[0111] 氧化气体的产生则是在电池处于较高充电状态(高SOC状态)时,通过正极电解液内部的化学反应主动生成的。正极电解液中含有特定浓度的还原性离子以及不同价态的活性离子。当电池荷电状态升高时,高价的活性离子与还原性离子发生氧化还原反应。在此反应中,还原性离子被氧化,生成对应的氧化性气体;同时,高价的活性离子被还原为较低价态。例如,在含氯离子的钒电解液中,五价钒离子与氯离子反应,生成氯气,同时五价钒被还原为四价钒。反应如下:



正极储液罐100中,氯气析出的动态平衡将在一定程度上保持气氛中的氯气含量。

[0112] 氧化气体和还原气体混合形成混合气体,当混合气体进入紫外光催化微反应器400反应腔480后,燃爆反应在紫外光源440照射下瞬间被引发。反应如下;



其过程大致如下:

特定波长的紫外光穿透透光罩450,其光子能量被混合气体中的氧化气体分子优先吸收。这导致氧化气体分子化学键断裂,解离生成高反应活性的原子或自由基。这些新生成的活性物种与混合气体中的还原气体分子发生剧烈反应。该反应以链式反应的形式在气相中极速传播,在毫秒量级内完成,并释放出大量热量。反应放热导致生成的气体产物温度与压力在密闭腔体内骤然升高,形成一个瞬时的高压区。此高压产生强烈的推动力。在高压驱动下,反应生成的酸性气体,被高速推向并排出反应器出气端420,进入气体回流管路。酸性气体随后被输送到正极储液罐100完成吸收。当高温气体排出后,反应腔480体内压力迅速下降,形成一个短暂的负压区。此负压自动地从上游进气管路中吸入新一轮的混合气体,为下一次燃爆反应做好准备。

[0113] 因此,在持续紫外光照下,上述过程可形成周期性的脉冲式循环,直至气体浓度不足以维持反应。

[0114] 该方法所利用的正是电池系统自身运行中无法完全避免的副反应产物,以及通过调控电池状态可主动生成的氧化气体,无需从外部引入任何额外的化学物质。

[0115] 在一些实施例中,该方法通过主动产生负压来驱动系统中所有气体的流动。该负压作用于气体回路,为氧化气体从正极储液罐100的抽出、还原气体从负极储液罐200的抽出、以及酸性气体从紫外光催化微反应器400向正极储液罐100的回送,提供统一的动力源。

[0116] 利用此负压驱动,使得在整个容量恢复过程中,气体流动稳定且方向可控,克服了管路阻力并保障了反应物与产物的及时输送,使所述恢复流程得以连续、自动地进行。

[0117] 在一些实施例中,该方法通过启动一个气泵610来产生所需的负压。该气泵610通常安装在连接紫外光催化微反应器400出气端与正极储液罐100进气端的气体回流管路上。

[0118] 当气泵610启动工作时,它在自身的进气侧产生抽吸力。此抽吸力通过管路传递,直接作用于紫外光催化微反应器400的反应腔480,并进一步传递至上游的进气管路,从而形成驱动氧化气体和还原气体流动的动力。同时,在气泵610的出口侧产生推送力,将反应生成的酸性气体有效地输送至正极储液罐100。

[0119] 通过控制气泵610的启停,可以按需建立或解除气体循环,为系统提供了一种稳定可靠、易于控制的气体驱动力来源。

[0120] 在一些实施例中,该方法通过使正极电解液在正极回液管路700中流经一个文丘里气泡发生器620来产生所需的负压。当正极电解液以一定流速流经该发生器的喉部时,根据流体力学原理,其动能增加导致静压降低,从而在喉部形成一个负压区。

[0121] 此负压通过一条连接在文丘里气泡发生器620气体吸入口与气体回路之间的管路(即第六管路540),传递至紫外光催化微反应器400腔体及上游进气管路。该负压能够同时将氧化气体和还原气体从各自的储液罐中抽出,并推动其混合、流入微反应器。

[0122] 这种方法利用了系统内原本存在的电解液循环流动的动能,将其转化为驱动气体流动的负压源,实现了一种能源的梯级利用,有助于降低整个容量恢复过程的额外能耗。

[0123] 在一些实施例中,该方法包含对正极电解液流路的主动控制。当监测或判断到正极电解液的循环流量低于预设值时,也就是说,其流速已不足以驱动文丘里气泡发生器620产生有效负压。

[0124] 此时,执行切换操作。将正极电解液的流路从流经文丘里气泡发生器620的路径(即第一支路720),切换至一条绕过该发生器的旁通路径(即第二支路730)。降低正极回液管路700的总流动阻力,保证电解液循环本身的顺畅。

[0125] 同时,启动安装在气体回流管路中的气泵610。通过气泵610运转产生的主动抽吸力,取代失效的文丘里负压,承担起驱动整个系统气体流动的任务,从而确保液流电池容量恢复过程能够可靠启动和持续进行。

[0126] 该方法通过流路切换与气泵610启停的联动,实现了驱动模式与系统工况的自适应匹配,保障了在不同电解液循环条件下系统均能获得稳定的气体驱动力。

[0127] 在一些实施例中,该方法还包括利用燃爆反应本身产生的能量驱动后续反应。具体而言,当一次燃爆反应完成后,高温气体产物在瞬间被排出反应腔480,导致腔体内压力骤降,形成一个显著的瞬时负压。此负压通过进气管道产生强烈的抽吸作用,自动将新的混合气体从上游吸入反应腔480,从而完成反应物的补充。

[0128] 随后,在持续照射的紫外光作用下,新填入的混合气体被再次引燃,发生下一次燃爆反应。此反应、排气、吸气、再反应的过程形成一个完整的自驱动循环。该循环过程会持续、自动地重复进行,无需外部动力维持气体流动,直至负极储液罐200中析出的还原气体浓度逐渐降低至燃爆反应所需的浓度极限以下,反应无法继续被引发,此时循环自动停止,容量恢复程序完成。

[0129] 这样充分利用了反应自身的能量,实现了系统运行能耗的最小化,并使整个恢复过程具备了高度的自主性。

[0130] 在一些实施例中,将酸性气体通入正极电解液并进行吸收后,正极电解液的荷电状态会发生变化。通过该恢复处理,正极电解液的荷电状态可维持或调整至50%至100%的范围内。

[0131] 在一具体示例中,恢复程序启动前,正极电解液的荷电状态被调整至60%至100%的范围内。恢复程序完成后,正极电解液的荷电状态处于50%至100%的范围内。

[0132] 在本申请的描述中,术语“第一”、“第二”仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此,限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括一个或者更多个特征。在本申请的描述中,“多个”的含义是两个或两个以上,除非另有明确具体的限定。

[0133] 在上述实施例中,对各个实施例的描述都各有侧重,某个实施例中未详述的部分,可以参见其他实施例的相关描述。

[0134] 本申请实施例、实施方式及相关技术特征之间,在不冲突的情况下可以相互组合、替换。

[0135] 以上,仅是本申请的较佳实施例而已,并非对本申请作任何形式上的限制,但凡是未脱离本申请技术方案内容,依据本申请的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化与修饰,均仍属于本申请技术方案的范围。

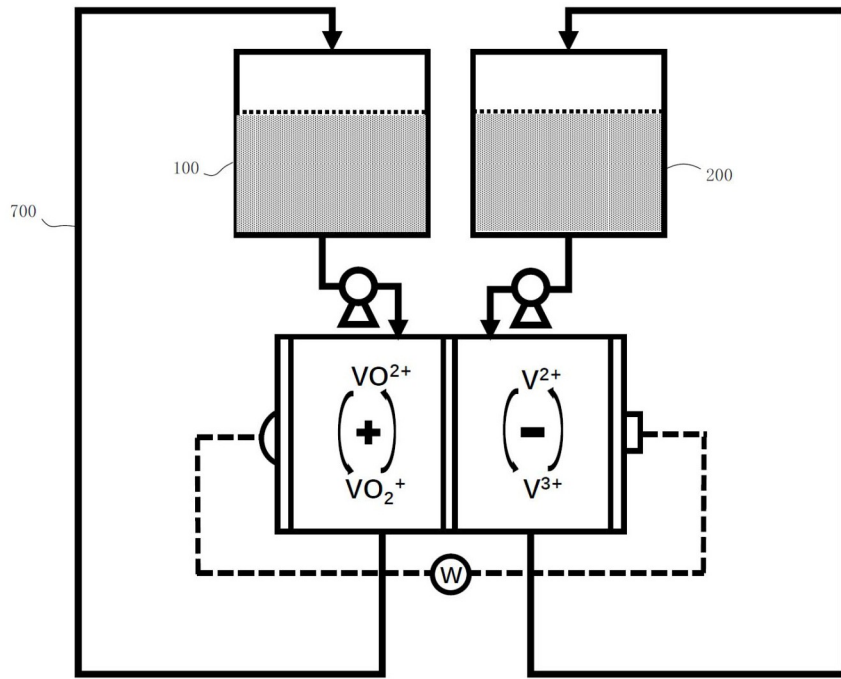


图1

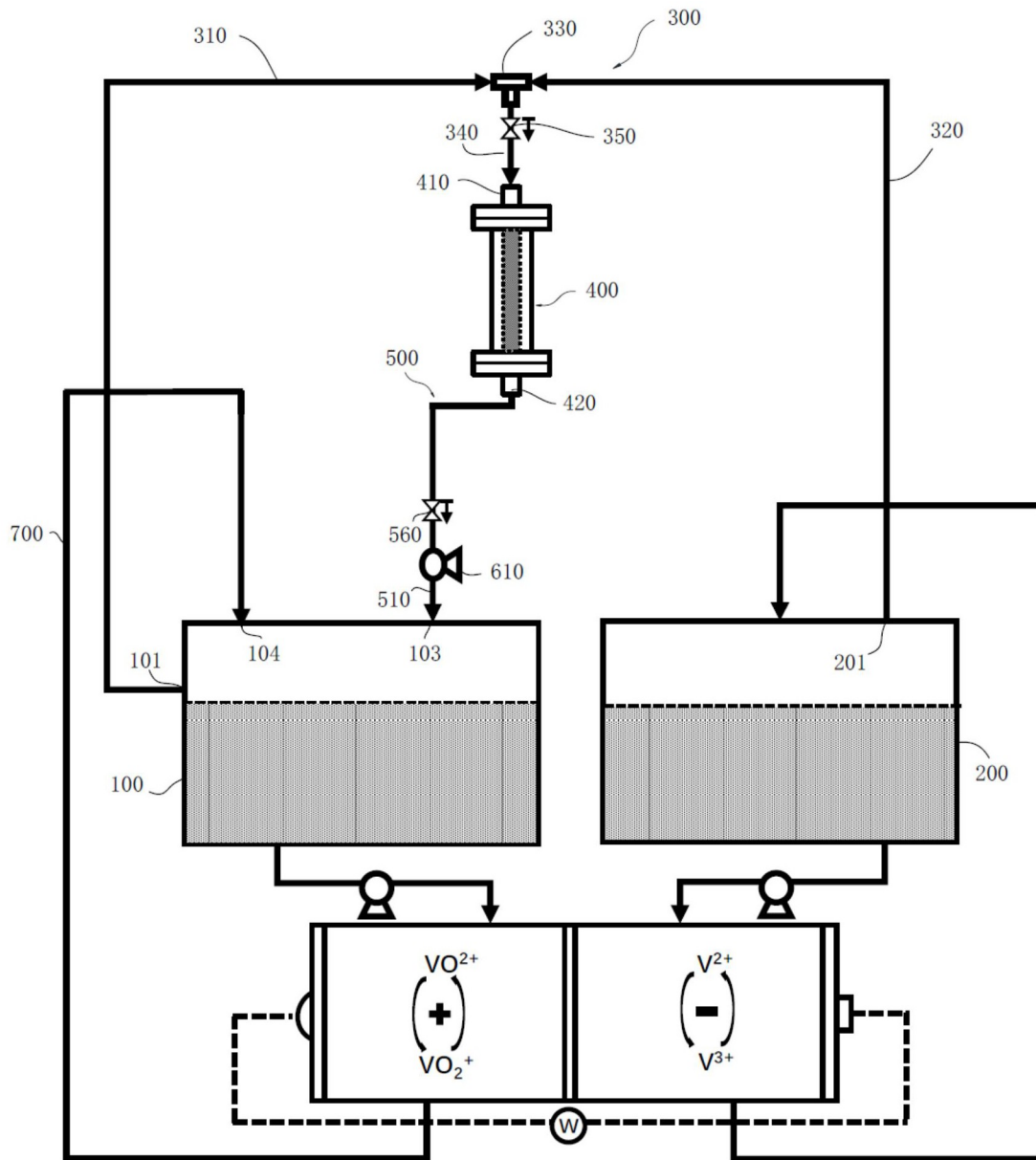


图2

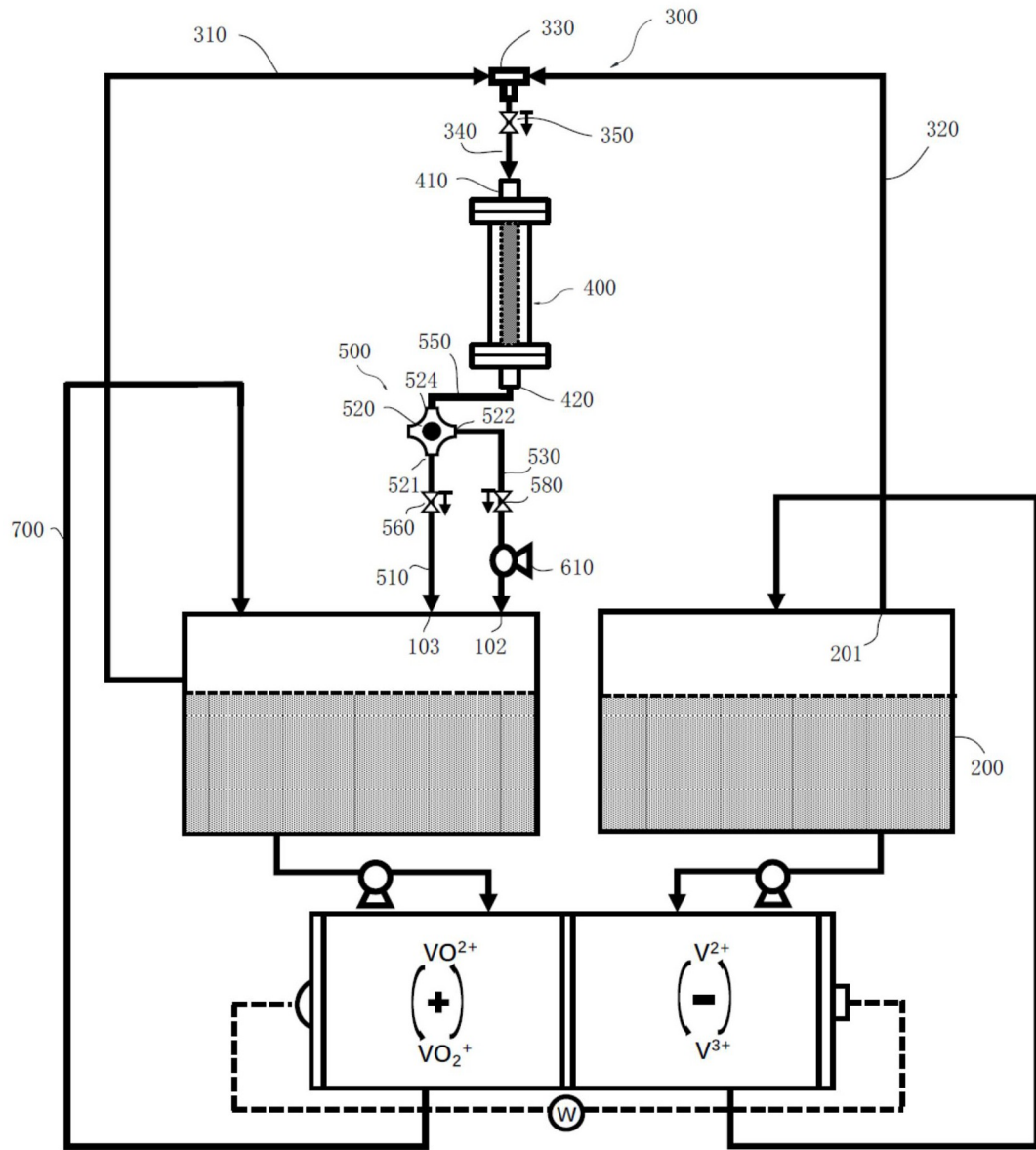


图3

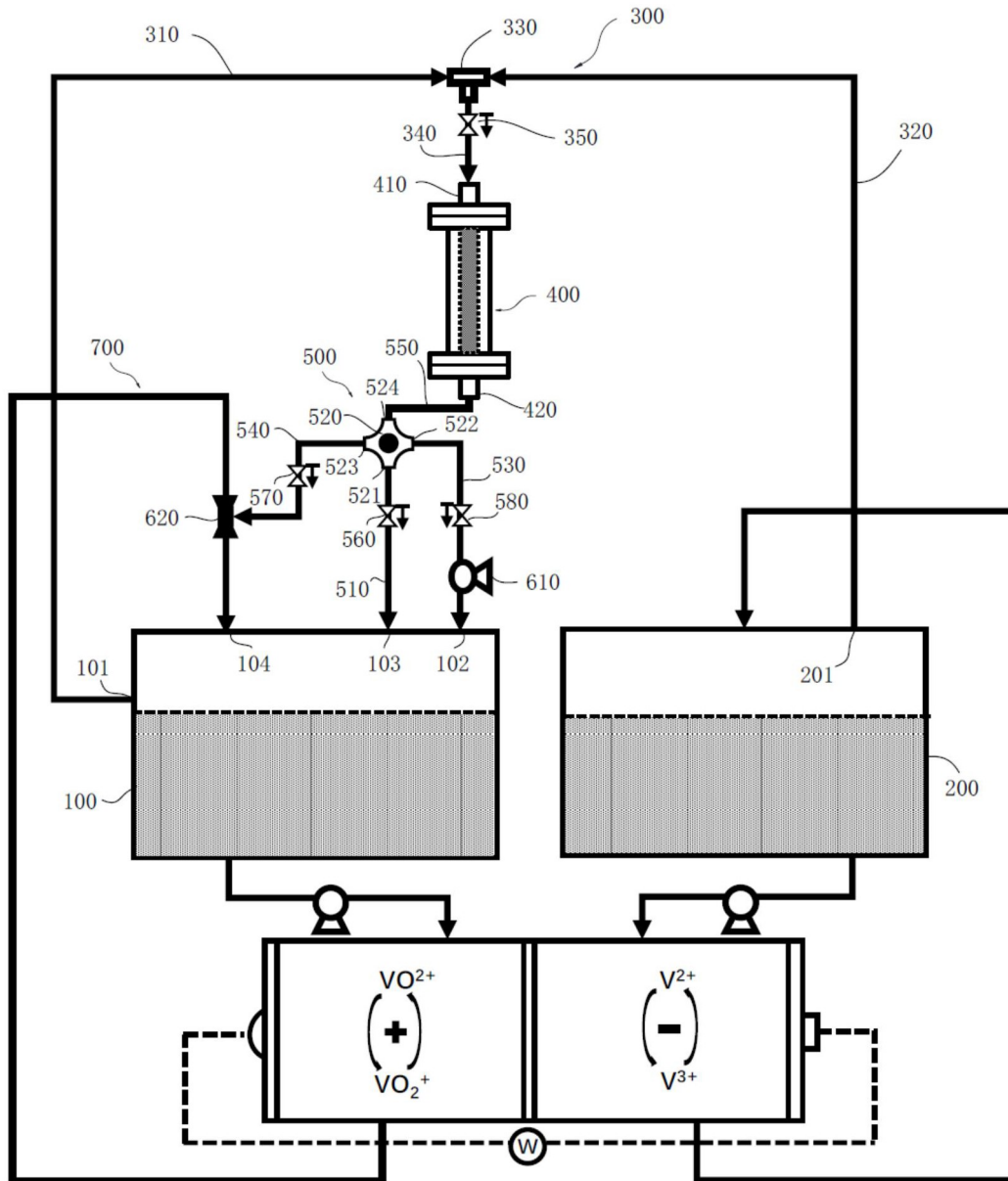


图4

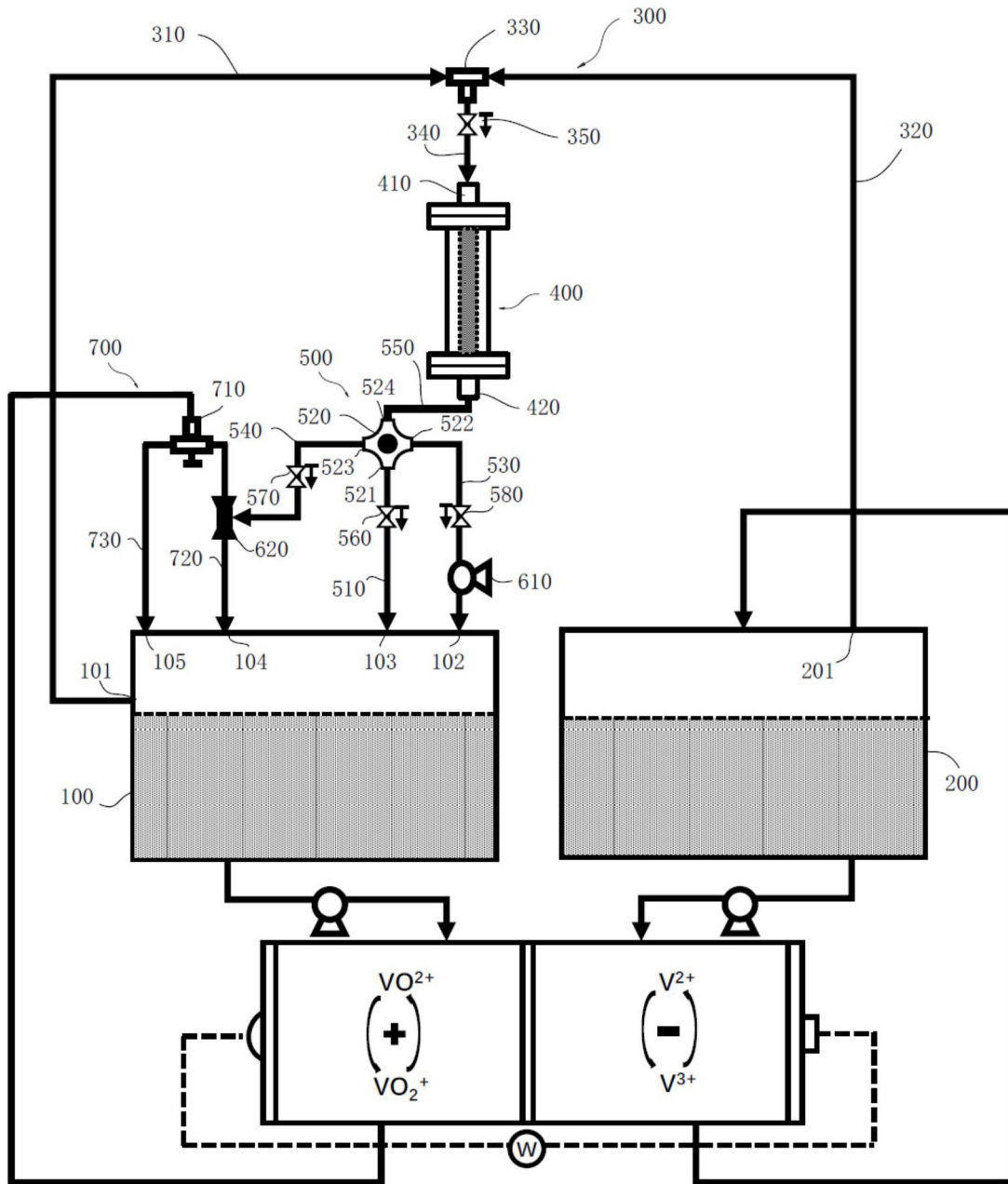


图5

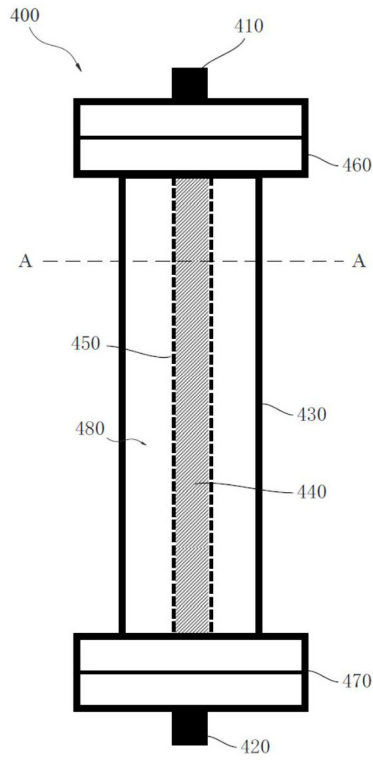


图6

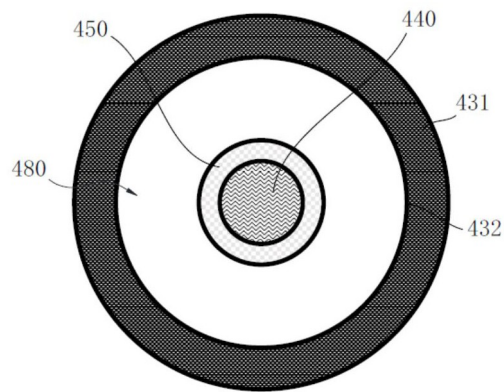


图7

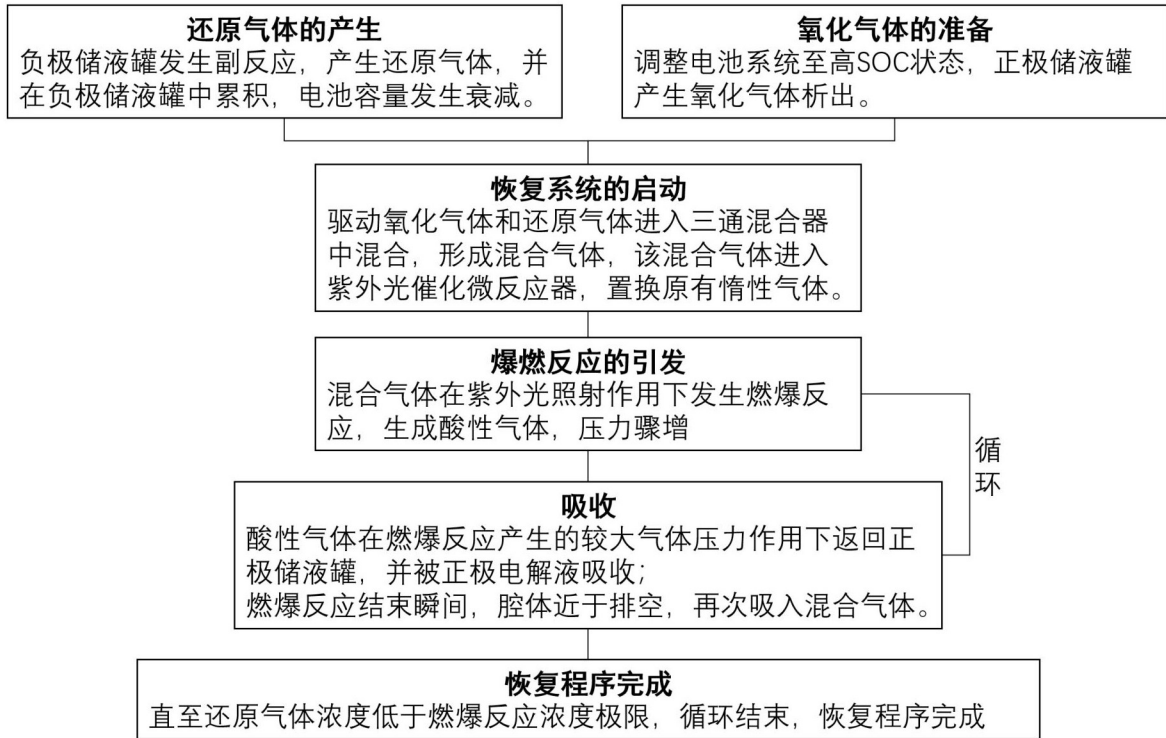


图8