



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114086204 B

(45) 授权公告日 2025. 04. 01

(21) 申请号 202111509583.7

G25B 15/02 (2021.01)

(22) 申请日 2021.12.10

G25B 1/04 (2021.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114086204 A

(56) 对比文件
CN 216445472 U, 2022.05.06

(43) 申请公布日 2022.02.25

审查员 冯春辉

(73) 专利权人 清华四川能源互联网研究院
地址 610000 四川省成都市天府新区天府
大道南段2039号天府创客街区

(72) 发明人 张信真 林今 唐明 李汶颖

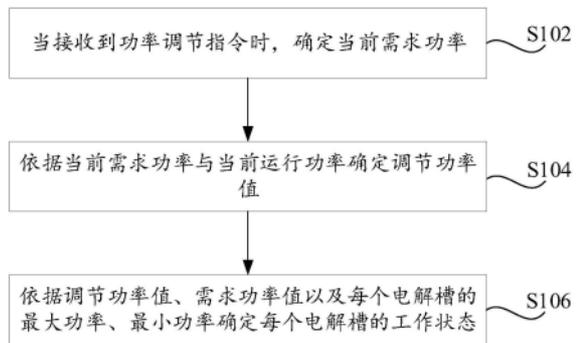
(74) 专利代理机构 北京超凡宏宇知识产权代理
有限公司 11463
专利代理师 戴尧罡

(51) Int. Cl.
G25B 9/70 (2021.01)
G25B 9/60 (2021.01)

权利要求书3页 说明书16页 附图8页

(54) 发明名称
一种电解槽阵列系统与电解水系统控制方法

(57) 摘要
本申请提供了一种电解槽阵列系统与电解水系统控制方法,涉及电解水技术领域。该电解槽阵列系统包括多个气液分离装置与多个并联设置的电解槽组,电解槽组连接到变流器,每个电解槽组中包括多个串联设置的电解槽,气液分离装置的数量与电解槽组中电解槽的数量相同,其中,多个电解槽组中顺序相同的电解槽均与同一气液分离装置连接。本申请提供的电解槽阵列系统及其控制方法具有节省了成本的效果。



1. 一种电解槽阵列系统,其特征在于,所述电解槽阵列系统包括多个气液分离装置与多个并联设置的电解槽组,电解槽组连接到变流器,每个电解槽组中包括多个串联设置的电解槽,所述气液分离装置的数量与所述电解槽组中电解槽的数量相同,其中,

多个所述电解槽组中顺序相同的电解槽均与同一气液分离装置连接;

多个所述电解槽组中顺序相同的电解槽的电解电压相同,以避免因为所述气液分离装置中碱液回路存在电势差而产生旁路电流;

所述气液分离装置包括绝缘层与壳体,所述绝缘层与所述壳体连接,且所述绝缘层与所述壳体的相同位置设置有入口、气体出口以及液体出口,所述入口和所述液体出口均与所述电解槽连接,所述气体出口用于与储气装置连接。

2. 如权利要求1所述的电解槽阵列系统,其特征在于,所述电解槽阵列系统还包括阀门与导管,每个所述电解槽均通过阀门与所述导管连接,且每个所述电解槽均通过导管与所述气液分离装置连通;其中,

所述阀门用于控制流入/流出所述电解槽中液体的量,且所述阀门用于与控制器连接,其中,所述控制器用于控制所述阀门的启停状态以及开度。

3. 一种电解水系统控制方法,其特征在于,所述电解水系统包括多个如权利要求1或2所述的电解槽阵列系统,所述多个电解槽阵列系统并联设置,所述方法包括:

当接收到功率调节指令时,确定系统外部需求功率;

依据所述外部需求功率与当前运行功率确定调节功率值;

依据所述调节功率值、所述外部需求功率值以及每个所述电解槽的最大功率、最小功率确定每个电解槽的工作状态。

4. 如权利要求3所述的电解水系统控制方法,其特征在于,当接收到降功率指令时,所述依据所述调节功率值、所述外部需求功率值以及每个所述电解槽的最大功率、最小功率确定每个电解槽的工作状态的步骤包括:

当所述外部需求功率满足 $H*m*n*P_{emin} \leq P \leq H*m*n*P_{emax}$ 时,将所述调节功率值平均分配给每个电解槽组,以使每个电解槽组的负载均衡;

当所述外部需求功率满足 $\eta*H*m*n*P_{emin} \leq P \leq H*m*n*P_{emin}$ 时,控制一个或多个所述电解槽阵列系统中的部分或全部电解槽组关闭;

当所述外部需求功率满足 $\eta*m*n*P_{emin} \leq P \leq \eta*H*m*n*P_{emin}$ 时,控制部分电解槽阵列系统关闭,并将所述外部需求功率分配给剩余的电解槽阵列系统;

当所述外部需求功率满足 $m*P_{emin} \leq P \leq \eta*m*n*P_{emin}$ 时,控制其中一个电解槽阵列系统工作,并调节处于工作状态的电解槽阵列系统中电解槽组的数量;

当所述外部需求功率满足 $P < m*P_{emin}$ 时,判定所述电解水系统无法响应指令;

其中,n表示电解槽组的数量,m表示每个电解槽组中电解槽的数量,H表示电解槽阵列系统的数量, η 表示大于0且小于1的系数, P_{emin} 表示每个电解槽的最小功率, P_{emax} 表示每个电解槽的最大功率。

5. 如权利要求3所述的电解水系统控制方法,其特征在于,当接收到升功率指令时,所述依据所述调节功率值、所述外部需求功率值以及每个所述电解槽的最大功率、最小功率确定每个电解槽的工作状态的步骤包括:

当所述外部需求功率满足 $m*P_{emin} \leq P \leq m*n*P_{er}$ 时,控制当前运行电解槽阵列系统中的

其它电解槽组工作；

当所述外部需求功率满足 $m*n*P_{er} \leq P \leq 2*m*n*P_{er}$ 时,控制下一电解槽阵列系统工作；

当所述外部需求功率满足 $H_0*m*n*P_{er} \leq P \leq (H_0+1)*m*n*P_{er}$ 时,控制下一电解槽阵列系统整体工作；

当所述外部需求功率满足 $H*m*n*P_{er} \leq P \leq H*m*n*P_{emax}$ 时,控制所有电解槽阵列系统同步工作；

当所述外部需求功率满足 $H*m*n*P_{emax} < P$ 时,判定所述电解水系统无法响应指令；

其中,n表示电解槽组的数量,m表示每个电解槽组中电解槽的数量,H表示电解槽阵列系统的数量, H_0 表示当前处于正常运行状态的电解槽阵列系统的数量, P_{emin} 表示每个电解槽的最小功率, P_{emax} 表示每个电解槽的最大功率, P_{er} 表示每个电解槽的额定功率。

6.如权利要求3所述的电解水系统控制方法,其特征在于,每个所述气液分离装置还与补水装置相连,所述电解水系统控制方法还包括:

获取每个电解槽阵列系统的运行功率与制氢效率；

依据所述运行功率与制氢效率确定补水量,其中,所述补水量满足公式:

$$W_{i-j} = P_{i-mn} * \frac{9}{\eta_{eh} * 11.2}$$

式中, W_{i-j} 表示第i个电解槽阵列系统中第j个气液分离装置的补水量, η_{eh} 表示第i个电解槽阵列系统的电制氢的效率, P_{i-mn} 为运行功率。

7.如权利要求3所述的电解水系统控制方法,其特征在于,所述气液分离装置内设置有热交换器,所述方法还包括:

依据公式 $T_{ijn-out} = T_{ijn-in} + k_{t1} * P_{i-mn} + k_{t2} * P_{cij}$ 调节所述热交换器的工作状态,其中, $T_{ijn-out}$ 为第i个电解槽阵列系统中第j个气液分离装置所接入的n个电解槽出口碱液温度的平均值; T_{ijn-in} 为第i个电解槽阵列系统中第j个气液分离装置所接入的n个电解槽入口碱液温度的平均值; P_{i-mn} 为第i个电解槽阵列系统的运行功率, P_{cij} 为第i个电解槽阵列系统中第j个气液分离装置中热交换器的传递热量,且 $P_{cij} = W_{cij} * Cc * (t1 - t2)$, W_{cij} 表示该气液分离装置中热交换器内冷却液的流量,Cc为该冷却液的等压比热容;t1与t2为该热交换器出口和入口的温度, k_{t1} 与 k_{t2} 表示电解槽阵列系统在测试过程中确定的参数。

8.如权利要求3所述的电解水系统控制方法,其特征在于,所述气液分离装置包括第一分离装置与第二分离装置,所述方法还包括:

依据公式 $\Delta W = \Delta h * S * \rho * \Delta t$ 调节所述第一分离装置与第二分离装置的碱液流量;其中, ΔW 表示第一分离装置与第二分离装置需要调节的碱液流量; Δh 表示第一分离装置与第二分离装置的液位差,S为相应分离装置中等效截面积, ρ 为碱液的密度, Δt 为第一分离装置与第二分离装置液位差调平设定时间。

9.如权利要求3所述的电解水系统控制方法,其特征在于,所述气液分离装置还与气体纯化装置相连,所述气液分离装置包括第一分离装置与第二分离装置,所述方法还包括:

控制所述电解水系统在约束条件下运行,其中,所述约束条件包括:

控制每个电解槽在预设的电压、电流、温度范围内工作；

控制所述气液分离装置分离的气体的杂质含量处于预设范围；

控制所述气液分离装出口的气体压力小于气体纯化装置的压力阈值；

控制所述气液分离装置的气液分离能力低于设备能力阈值；
控制所述第一分离装置与第二分离装置的液位差小于预设值。

一种电解槽阵列系统与电解水系统控制方法

技术领域

[0001] 本申请涉及电解水技术领域,具体而言,涉及一种电解槽阵列系统与电解水系统控制方法。

背景技术

[0002] 随着新能源行业和特高压直流输电技术的快速发展,建设以新能源为主体的电力系统,以提高新能源电源的占比和清洁能源消纳能力至关重要。新能源发电具有波动性和间歇性,随着电力系统中新能源占比提升,电力调频辅助服务、电力调峰辅助服务的需求急剧增加。电解水制氢系统作为灵活可控的负荷可以提供电力辅助服务,提高电力系统的运行调度的灵活性和提升新能源电力的消纳能力。

[0003] 目前市场中电解水制氢设备主要分为碱性电解水制氢设备、质子交换膜电解水制氢设备、固体氧化物电解水制氢设备。一般地,大型电解水制氢站建设均采用碱性电解水制氢设备配置一定比例锂电池储能。

[0004] 然而,由于大型电解水制氢站一般包括多个电解槽,且每个电解槽均需分别连接一个氢气/液体分离装置与氧气/液体分离装置,因此导致整个制氢系统的成本较高。

发明内容

[0005] 本申请的目的在于提供一种电解槽阵列系统及其控制方法,以解决现有技术中存在的大型电解水制氢系统的成本较高的问题。

[0006] 为了实现上述目的,本申请实施例采用的技术方案如下:

[0007] 第一方面,本申请实施例提供了一种电解槽阵列系统,所述电解槽阵列系统包括多个气液分离装置与多个并联设置的电解槽组,电解槽组连接到变流器,每个电解槽组中包括多个串联设置的电解槽,所述气液分离装置的数量与所述电解槽组中电解槽的数量相同,其中,

[0008] 所述多个电解槽组中顺序相同的电解槽均与同一气液分离装置连接。

[0009] 第二方面,本申请实施例还提供了一种电解水系统,所述电解水系统包括多个的电解槽阵列系统,所述多个电解槽阵并联设置。

[0010] 第三方面,本申请实施例还提供了一种电解水系统控制方法,所述电解水系统包括多个电解槽阵列系统,所述多个电解槽阵并联设置,所述方法包括:

[0011] 当接收到功率调节指令时,确定系统外部需求功率;

[0012] 依据所述外部需求功率与当前运行功率确定调节功率值;

[0013] 依据所述调节功率值、所述外部需求功率值以及每个所述电解槽的最大功率、最小功率确定每个电解槽的工作状态。

[0014] 相对于现有技术,本申请具有以下有益效果:

[0015] 本申请提供了一种电解槽阵列系统与电解水控制方法,该电解槽阵列系统包括多个气液分离装置与多个并联设置的电解槽组,电解槽组连接到变流器,每个电解槽组中包

括多个串联设置的电解槽,气液分离装置的数量与电解槽组中电解槽的数量相同,其中,多个电解槽组中顺序相同的电解槽均与同一气液分离装置连接。由于每个气液分离装置均能够与顺序相同的多个电解槽相连,因此实现多个电解槽共用同一个气液分离装置的效果,节省了成本。

[0016] 为使本申请的上述目的、特征和优点能更明显易懂,下文特举较佳实施例,并配合所附附图,作详细说明如下。

附图说明

[0017] 为了更清楚地说明本申请实施例的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,应当理解,以下附图仅示出了本申请的某些实施例,因此不应被看作是对范围的限定,对于本领域普通技术人员来讲,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它相关的附图。

[0018] 图1为现有技术中提供的电解槽系统的一种连接示意图。

[0019] 图2为本申请实施例提供的电解槽阵列系统的模块示意图。

[0020] 图3为本申请实施例提供的电解槽阵列系统的连接示意图。

[0021] 图4为本申请实施例提供的电解槽与气液分离器之间的液体回路的连接示意图。

[0022] 图5为现有技术中提供的电解槽系统的另一种连接示意图。

[0023] 图6为本申请实施例提供的气液分离装置的结构示意图。

[0024] 图7为本申请实施例提供的电解水系统的连接示意图。

[0025] 图8为本申请实施例提供的电解水系统控制方法的流程示意图。

[0026] 图9为图8中S106的一种子步骤的流程示意图。

[0027] 图10为图8中S106的另一种子步骤的流程示意图。

[0028] 图11为本申请实施例提供的电解水系统控制方法的另一种流程示意图。

[0029] 图中:100-电解槽阵列系统;110-电解槽;120-气液分离装置;121-壳体;122-绝缘层。

具体实施方式

[0030] 为使本申请实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,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,所描述的实施例是本申请一部分实施例,而不是全部的实施例。通常在此处附图中描述和示出的本申请实施例的组件可以以各种不同的配置来布置和设计。

[0031] 下面结合附图,对本申请的一些实施方式作详细说明。在不冲突的情况下,下述的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0032] 目前大容量电解水制氢系统的典型连接方式为多个电解槽单机并联,其每个整流装置连接一个电解槽和气液分离装置,多个整流装置则并联接入交流电网。大型电解槽并联连接方式如图1所示。该单个电解槽并联连接的系统集成方案,每个电解槽链接一个整流器、一个氢气/液体分离装置、一个氧气/液体分离装置,导致变压器、变流器、气液分离装置的成本较高,导致大容量电制氢系统的投资成本较高。该方案中整流器为低电压大电流设备,其成本较高;而气液分离装置为定制小容量设备其成本较高。

[0033] 因此,现有技术中提供的电解水制氢系统至少包括以下问题:

[0034] 1、单个电解槽并联集成方案导致系统所需的变流器数量较多,需要采用低电压大电流类型的变流设备,导致大容量电解水制氢系统的变压整流部分投资较大,且变压和整流环节的能量损耗较大。例如,由图可知,每个电解槽均需要连接一个变流器,导致系统中电解槽的数量必须与变流器的数量一致,变流器设备的成本较高。

[0035] 2、单个电解槽并联集成方案中每个电解槽可以独立控制,提高了大容量电解水制氢系统的调控灵活性。由于不同电解槽的运行控制是独立的,其气液分离装置难以共用,导致每个电解槽需要配置一个气液分离装置。因此,该方案需要气液分离装置数量较多,且小型定制化气液分离装置的成本较高。

[0036] 综上,现有技术中提供电解水制氢系统中存在成本较高的问题。为了解决上述问题,本申请提供了一种电解槽阵列系统,通过将电解槽按照阵列排布的方式,利用共用变流器和气液分离器,达到降低成本的目的。

[0037] 下面对本申请提供的电解槽阵列系统进行示例性说明:

[0038] 作为一种实现方式,请参阅图2,该电解槽110阵列100包括多个气液分离装置120与多个并联设置的电解槽组,每个电解槽组中包括多个串联设置的电解槽110,气液分离装置120的数量与电解槽组中电解槽110的数量相同,其中,多个电解槽组中顺序相同的电解槽110均与同一气液分离装置120连接。

[0039] 通过设置电解槽阵列系统100的方式,使得多个电解槽110可以共用同一个气液分离装置120,并且,每个电解槽组中可以通过一个变流器进行供电,因此实现了节约成本的目的。

[0040] 可以理解地,电解槽阵列系统100可以包括 n 个电解槽组并联、电解槽组内 m 个电解槽110串联,其中, m 与 n 为大于1的整数。其中单个电解槽110可以采用市场最大规模的电解槽110单体。且电解槽组中电解槽110串联,可以通过电解槽110内电解小室串联,且电解槽110内部碱液流道分段设计,其效果与电解槽110单机串联类似。

[0041] 一般地,电解槽阵列系统100中电解槽组的数量可以大于等于2,但电解槽组并联的数量受到分离装置中气液分离能力的限制。因此根据经济与性能的平衡,作为一种实现方式,电解槽组的数量可以为3~10个,优选地,电解槽组的数量为4、5、6个。并且,每个电解槽组内电解槽110串联数量大于2,一组中电解槽110串联的数量受到变流器直流电压和气液分离装置120绝缘能力共同限制。根据经济与性能的平衡,每个电解槽组中电解槽110的数量可以为3~10个,例如可以为4个。

[0042] 作为一种实现方式,为了保证与气液分离装置120的电解槽110的电压等级相同,多个电解槽组中顺序相同的电解槽110的电解电压相同,进而可以有效地保证电解槽110气液出口、碱液进口、气液分离装置120三者的电位相同,避免因为气液分离装置120中碱液回路存在电势差而产生旁路电流;同时气液分离装置120具有绝缘能力可以避免发生电解液与接地点发生电流,影响设备安全。

[0043] 请参阅图3,本申请以 $4*4$ 的电解槽阵列系统100为例,对其工作原理进行具体说明:

[0044] 如图3所示, $4*4$ 的电解槽阵列系统100中共有四组并联的电解槽组,每个电解槽组为4个电解槽110串联。在电解槽阵列系统100内4个电压等级相同电解槽110共用一套气液

分离装置120,共有四套气液分离装置120,使得16个电解槽110仅需使用4个气液分离装置120,节约了成本。

[0045] 需要说明的是,上述的顺序,可以依据电解槽的编号实现,例如,在第一个电解槽组中,包括电解槽11、电解槽12、电解槽13以及电解槽14,4个电解槽串联,且4个电解槽共用一个整流器,节约成本。电解槽11、电解槽12、电解槽13以及电解槽14从上到下的电解电压依次降低。并且,在第二个电解槽组中的第一个电解槽编号为21,在第三个电解槽组中的第一个电解槽编号为31,在第四个电解槽组中的第一个电解槽编号为41,则电解槽11、电解槽21、电解槽31以及电解槽41的电解电压相同,保证了与同一个气液分离装置120连接的电解槽的电压一致。

[0046] 还需要说明的是,本申请中,每个气液分离装置120连接的电解槽110的数量也可能不同,例如,前面三个气液分离装置120均分别与4个电解槽110连接,最后一个气液分离装置120与三个电解槽110连接,处于相同电压等级的另一个电解槽110可以与一个气液分离器单独连接,在此不做限定。

[0047] 可选的,电解槽阵列系统100还包括阀门与导管,每个电解槽110均通过阀门与导管连接,且每个电解槽110均通过导管与气液分离装置120连通;其中,阀门用于控制流入/流出电解槽110中液体的量。图4示出了电解水系统中电解槽阵列系统100内并联电解槽110共用一套气液分离装置120的结构示意图。其中,电解槽阵列系统100内并联电解槽110中氢气/碱液混合物通过管道进入到氢气/碱液分离器中进行分离,碱液在分离器下部,氢气通过上部出气口,进入后续氢气纯化设备;氧气/碱液混合物通过管道进入到氧气/碱液分离器中进行分离,碱液在分离器下部,氧气通过上部出气口,进入后续氧气纯化设备或则排空。氢气碱液分离器和氧气碱液分离器中碱液经过汇流,重新进入并联电解槽110中,电解槽110的碱液入口处安装电控联动互锁阀,根据需求启动进液口阀门。

[0048] 碱性电解水制氢系统中系统控制器会根据需要控制并联电解槽110的碱液入口阀,通过依次按照固定时间间隔 t 启动阀门。通过依次按固定时间间隔启动阀门,可以解决电解槽110性能离散后碱液入口电位出现偏差而产生旁路电流的问题,可以保证共用气液分离器不影响电制氢系统的电解制氢效率。利用具有绝缘功能气液分离器,可以实现并联电解槽110共用气液分离器,可以通过一个大型气液分离装置120代替多个小型气液分离器,降低气液分离器的投资成本。

[0049] 气液分离装置120包括第一分离装置与第二分离装置,导管包括第一导管、第二导管以及第三导管,每个电解槽110均包括第一出口、第二出口以及回液口,第一出口通过第一导管与第一分离装置连通,第二出口通过第二导管与第二分离装置连通,回液口通过第三导管分别与第一分离装置、第二分离装置连通。

[0050] 对于分解水而言,第一分离装置与第二分离装置分别为氧气/液体分离器和氢气/液体分离器,两种分离器底部相通,以保障氢侧和氧侧的碱液压力相同。可选的,气液分离装置120还包括转接件,转接件分别与第一分离装置、第二分离装置的出液口连接,且电解槽110通过第三导管与转接件相连。

[0051] 继续以图3为例,在电解槽阵列系统100运行过程中需要控制氧气/液体分离器和氢气/液体分离器中两个液面高度相同,避免两者底部相连位置由于存在液位差而带入气体杂质。第1组和第2组中相同电压等级的电解槽110内氧气碱液混合物从电解槽110出口A1

位置出来,通过A2进入氧气液体分离器;第3组和第4组中相同电压等级的电解槽110内氧气碱液混合物从电解槽110出口A1位置出来,通过A3进入氧气液体分离器,在氧气液体分离器中4个电解槽110氧气碱液混合物进行分离,氧气从分离器上部离开,进入到下游管道,碱液从分离器下部与氢气分离下部出来的碱液在C1出混合,碱液然后经过C2点重新进入电解槽110中。第1组和第2组中相同电压等级的电解槽110内氢气碱液混合物从电解槽110出口B1位置出来,通过B2进入氢气液体分离器;第3组和第4组中相同电压等级的电解槽110内氢气碱液混合物从电解槽110出口B1位置出来,通过B3进入氢气液体分离器,在氢气液体分离器中4个电解槽110氧气碱液混合物进行分离,氢气从分离器上部离开,进入到下游管道,碱液从分离器下部与氧气分离下部出来的碱液在C1出混合,碱液然后经过C2点重新进入电解槽110中。并且,通过阀门可以调控输入/输出电解槽110中碱液的量,四个电解槽110中碱液的量保持相对平衡,电解槽110碱液入口的阀门可以接受控制器的指令进行启停操作,且可以控制阀门的开度。

[0052] 此外,目前还存在的电解水制氢系统的电解槽110串联面临气液分离装置120中液体回路存在电位差和设备绝缘的问题。在现有技术的多个电解槽110直接串联且每个电解槽110连接一套气液分离装置120的集成方案中,气液分离装置120的碱液回路中存在电势差导致旁路电流出现,难以满足电解水制氢系统的设计安全要求且会导致系统电解制氢的效率降低。

[0053] 为方式说明,本申请以图5为例,其中,A1、A2、C点均为电解槽110中间位置的等电势位置,其中A1点为氧气与碱液混合物从电解槽110出来的出口;A2点为氢气与碱液混合物从电解槽110出来的出口;C点为经过气液分离后碱液回到电解槽110的入口。由于采用串联连接,导致A1、A2、C点的电势为750V,而气液分离装置120接地为0V,又由于碱液是良好导体,因此会产生A1、A2、C点、气液分离装置120、接地点的电流。

[0054] 为了解决电解槽110串联连接后,部分电解槽110电压过高,导致气液分离设备存在绝缘问题。作为一种实现方式,请参阅图6,气液分离装置120包括绝缘层122与壳体121连接,且绝缘层122与壳体121的相同位置设置有入口、气体出口以及液体出口,入口、液体出口均与电解槽110连接,气体出口用于与储气装置连接。

[0055] 可选地,绝缘层122设置于所述壳体121的内表面。

[0056] 其中,绝缘层122可采用绝缘塑料,气液分离装置120内表面绝缘塑料用于碱液与气液分离设备本身进行绝缘,以避免高电压电解槽110中碱液与接地设备之间发生漏电流,危险设备安全和降低电制氢系统效率。与气液分离装置120连接的气液混合物入口、气体出口、液体出口的均与绝缘塑料管相连接,避免管道导电,发生漏电流。该类型气液分离装置120主要功能为避免高电压电解槽110中碱液回路气液分离设备之间产生漏电流,导致电解槽110出现旁路电流。旁路电流不仅导致电解槽110的电制氢效率降低,同时影响电制氢系统中与气液分离装置120相连的泵、阀、传感器等零部件的安全。气液分离装置120中换热器与外面的热管理系统外机相连,用于控制气液分离装置120内碱液温度,是电解槽110碱液温度控制的重要措施。

[0057] 作为一种实现方式,可选地,气液分离器中含有碱液的壳体121和管道,与设备框架之间使用绝缘材料连接或者固定。

[0058] 本发明提出气液分离装置120内表面的绝缘材料,包括聚氯乙烯、聚丙烯、聚乙烯、

聚苯乙烯、聚酰胺等电绝缘塑料。

[0059] 本发明提及的气液分离装置120包括丝网式分离器、离心式分离器、微孔过滤式分离器、填料式分离器、折流式分离器、重力沉降式分离器等。本专利优选离心式分离器和折流式分离器,更优选离心式分离器。

[0060] 离心式气液分离装置120可以实现气液快速分离,有利于提高电制氢系统的氢气与碱液、氧气与碱液的分离速度和分离效率,以避免气液分离装置120内碱液回到电解槽110的过程中引入气体杂质。

[0061] 此外,电解槽阵列系统100还包括控制器、变压器、整流器、气体纯化装置以及储气装置,变压器与整流器相连,每个电解槽组与一个整流器连接,气液分离装置120与气体纯化装置连接,气体纯化装置还与储气装置连接,控制器分别与变压器、整流器、气体纯化装置、储气装置、电解槽110以及气液分离装置120连接。

[0062] 其中,控制器连接外部调控指令通讯终端,接受外部调控指令或者内部生产计划安排指令,确定系统整体运行工况,同时连接变压器、整流器、电解槽110、气液分离装置120、气体纯化装置、储气装置等,控制系统的运行状态,以实现电制氢系统的控制目标。

[0063] 并且,控制器还用于为根据外部调控指令或内部生产计划安排,控制电制氢系统的电力、气液分离、补水、气液纯化,实现电制氢系统可以根据电力调节需求或者下游气体需要进行精准快速的调节。

[0064] 基于上述实现方式,请参阅图7,本申请还提供了一种电解水系统,电解水系统包括上述的多个电解槽阵列系统100,多个电解槽阵列系统100并联设置。

[0065] 在上述实现方式的基础上,本申请还提供了一种电解槽阵列系统100电解水系统控制方法,以实现电解水系统的控制。

[0066] 作为一种实现方式,请参阅图8,该电解槽阵列系统100电解水系统控制方法包括:

[0067] S102,当接收到功率调节指令时,确定外部需求功率。

[0068] S104,依据外部需求功率与当前运行功率确定调节功率值。

[0069] S106,依据调节功率值、需求功率值以及每个电解槽110的最大功率、最小功率确定每个电解槽110的工作状态。

[0070] 可以理解地,每个电解槽阵列系统100均与控制器相连,并通过控制器实现对电解槽阵列系统100的调节。其中,控制端可实时接收电解水系统在工作过程中的工况参数,并且在接收到功率调节指令后,根据实际工况对电解槽阵列系统100实时调节,以使电解水系统稳定工作。其中,电解水系统中设置多个传感器,并通过传感器采集运行数据,例如,通过设置温度传感器,可以实现在工作过程中对电解水系统中的温度进行测量。

[0071] 需要说明的是,单个电解槽110的功率调节范围为 $[P_{emin}, P_{emax}]$,其调节范围受到单个电解槽110温度控制能力、杂质控制能力和设备性能的综合限制。目前行业中电解槽110单机的功率下限 P_{emin} 约为额定功率 P_{er} 的30%,而其功率上限 P_{emax} 约为额定功率 P_{er} 的120%。 $m*n$ 阵列式电解槽阵列系统100内电解槽组之间为并联,电解槽组内为电解槽110串联。电解槽组并联且共用气液分离装置120可以提高电解槽组之间的控制灵活性,因此 $m*n$ 阵列式电解槽阵列系统100的功率调节范围为 $[P_{emin}, m*n*P_{emax}]$ 。

[0072] 在电解水系统应用中,电解水系统的控制器会根据外部电力调度或氢气耗用计划分配给H个呈 $m*n$ 排列的电解槽阵列系统100,分配原则为减少电解槽阵列系统100整体启停

次数和数量,以提高大容量电制氢系统功率控制的灵活性与可靠性,避免频繁启停对电解槽110带了不利影响和启停过程的能耗增加问题。 $m*n$ 阵列式的电解槽阵列系统100整体停机后,电解槽阵列系统100内碱液温度开始下降,当低于 T_{hpmin} 后电解槽阵列系统100内碱液温度低于正常运行温度,当需要该电解槽阵列系统100启机时候,电解槽阵列系统100中碱液需要经历一个升温过程,因此该条件下其重新启机速度较慢,持续时间为0.5h~3h。在冷启动过程中处于启动状态的电解槽110升功率较慢,需要动态调节其他电解槽阵列系统100的运行功率,以保证系统总共功率等于系统控制器下发的功率值。当电解槽阵列系统100内碱液温度高于 T_{hpmin} ,设备处于热备用状态可以快速启动且精准调节功率。

[0073] 系统控制器将总运行功率分解到H个 $m*n$ 阵列式的电解槽阵列系统100中变流器,在电解槽阵列系统100的运行功率尽量平均分配到变流器。变流器按照控制器下发的功率,根据电解槽110的直流电压调整电流值。电解槽阵列系统100功率平均分配给阵列内的变流器是为了保证阵列内电解槽110的工作功率处于一致状态,避免长期处于不同运行功率导致电解槽110性能衰减不一致带来问题。当电解槽阵列系统100需要继续降低功率的时候,通过整体停掉阵列内一个电解槽组后将功率值平均分配给其他电解槽组,以保证电解槽阵列系统100的整体运行功率等于系统下发的功率值。在该调节过程中需要控制气液分离装置120中冷却液,减少冷却系统的散热量,保证停机的电解槽组的电解槽110处于热备用状态,电解槽110根据需要可以快速启机机组。

[0074] 此外,根据外部电力调度或氢气耗用计划,电制氢系统控制器确认功率调节周期,进而采取不同的功率控制策略。如果外部调节需求属于毫秒级和分钟级功率调节,则通过电制氢系统中所有电解槽组共同提高或降低功率实现,以遵循负载均衡原则。如果外部调节需求属于小时级功率调节,该时间尺度调节过程如果处于电解槽阵列系统100正常功率调节,执行不同电解槽组同步提高或降低功率的调节策略;当功率调节范围超出电解槽组正常供功率调节范围,则通过电制氢系统内部分电解槽组停机实现降功率,而升功率控制通过部分电解槽组超额定功率运行,不同电解槽阵列系统100内实际运行电解槽组的数量和功率值尽量保持相同,以遵循负载均衡原则。其中电解槽阵列系统100正常功率调节范围为 $[P_{emin}, m*n*P_{emax}]$ 。如果外部调节需求属于数天级和周级功率调节,则通过停掉部分电解槽阵列系统100来实现降功率运行,提高功率过程则保证不同电解槽组尽量功率值一致,若超出电解槽110正常功率调节范围,则通过控制电解槽阵列系统100内部分电解槽组超功率运行实现,其中不同电解槽阵列系统100内需要超功率运行的电解槽组的数量尽量保持相同,同时电解槽阵列系统100内超功率运行电解槽组在规定时间内轮换,以避免单个电解槽组长期超负载运行导致该组内电解槽110性能衰减加快,其中需要过载运行的电解槽110持续时间长度为0.5h。该时间间隔可以根据需要进行设定,综合考虑电解槽110性能衰减特性。

[0075] 在此基础上,功率调节指令包括升功率指令与降功率指令,当接收到降功率指令时,请参阅图9,当S106的步骤包括:

[0076] 当外部需求功率满足 $H*m*n*P_{emin} \leq P \leq H*m*n*P_{emax}$ 时,将调节功率值平均分配给每个电解槽组,以使每个电解槽组的负载均衡;

[0077] 当外部需求功率满足 $\eta*H*m*n*P_{emin} \leq P \leq H*m*n*P_{emin}$ 时,控制一个或多个电解槽阵列系统中的部分或全部电解槽组关闭;

[0078] 当外部需求功率满足 $\eta * m * n * P_{emin} \leq P \leq \eta * H * m * n * P_{emin}$ 时,控制部分电解槽阵列系统关闭,并将外部需求功率分配给剩余的电解槽阵列系统;

[0079] 当外部需求功率满足 $m * P_{emin} \leq P \leq \eta * m * n * P_{emin}$ 时,控制其中一个电解槽阵列系统工作,并调节处于工作状态的电解槽阵列系统中电解槽组的数量;

[0080] 当外部需求功率满足 $P < m * P_{emin}$ 时,判定电解水系统无法响应指令;

[0081] 其中,n表示电解槽组的数量,m表示每个电解槽组中电解槽的数量,H表示处于运行状态的电解槽阵列系统的数量, η 表示大于0且小于1的系数, P_{emin} 表示每个电解槽的最小功率, P_{emax} 表示每个电解槽的最大功率。

[0082] 需要说明的是,对于控制器而言,其实际控制方式为逐层判断的方式,即先判断外部需求功率是否满足

[0083] $H * m * n * P_{emin} \leq P \leq H * m * n * P_{emax}$,若满足,则将调节功率值平均分配给每个电解槽组,并结束该调节流程,若不满足,则需要继续判断外部需求功率是否满足, $\eta * H * m * n * P_{emin} \leq P \leq H * m * n * P_{emin}$,并以此类推。电解槽阵列系统的降功率模式中控制过程算法,如图9所示。

[0084] 其中,当电解水系统中控制器下发的功率值P处于 $[H * m * n * P_{emin}, H * m * n * P_{emax}]$ 范围时,将需要调节功率值 Δp 平均分配给电解槽阵列系统中的每个电解槽组,以保证电解槽阵列系统之间负载平衡。该阶段电制氢系统可以调节功率范围为 $[H * m * n * P_{emin}, H * m * n * P_{emin}]$ 。换言之,当降低后的功率满足上述范围时,则将当前运行的所有电解槽组同时降低一部分功率,并且降低功率后,每个电解槽组的功率相等。

[0085] 当电制氢系统运行功率值P(即外部需求功率)低于 $H * m * n * P_{emin}$ 且大于等于 $\eta * H * m * n * P_{emin}$,需要开始将电解槽阵列系统内的电解槽组进行停机满足需要调节功率值 Δp ,并将该电解槽组停机过程中产生功率偏差值,由该电解槽阵列系统内其他电解槽组同步调节,以保证负载均衡。电制氢系统中H个 $m * n$ 矩阵式的电解槽阵列系统中进行停掉部分电解槽组的时候,根据负载均衡原则,尽量保证H个电解槽阵列系统之间的功率平衡。该阶段电解水系统可以调节功率范围为 $[\eta * H * m * n * P_{emin}, H * m * n * P_{emin}]$ 。其中 η 为电解槽阵列系统中可以保证阵列内共用气液分离装置保温所需的运行电解槽组数量/阵列内全部电解槽组数量的比值,其值可根据试验测试获得。

[0086] 当电制氢系统运行功率值P低于 $\eta * H * m * n * P_{emin}$ 且大于等于 $\eta * m * n * P_{emin}$,需要开始整体停掉部分电解槽阵列系统满足需要调节功率值 Δp ,并将电解槽阵列系统停机过程中功率偏差由处于其他运行状态电解槽阵列系统同步调节,以保证负载均衡。当电制氢系统的运行功率低于 $\eta * (H_0 - 1) * m * n * P_{emin}$ 时候,进一步停掉一个电解槽阵列系统,其中 H_0 为正在运行的电解槽阵列系统数量。依次类推,电制氢系统最低运行功率可以降低至 $\eta * m * n * P_{emin}$ 。

[0087] 当电制氢系统运行功率值P低于 $\eta * m * n * P_{emin}$ 且大于等于 $m * P_{emin}$,需要开始调整电解槽阵列系统内电解槽组满足需要调节功率值 Δp ,电解水系统最低运行功率可以降低至 $m * P_{emin}$ 。当电制氢系统运行功率P需要低于 $m * P_{emin}$,电制氢系统无法响应调节需求,反馈无法响应指令,例如,此时刻进行报警处理等。

[0088] 通过上述提供控制方法,使得在降功率调节过程中,能够实现负载均衡,系统稳定性更好,同时,尽量避免了过电解槽组的关闭,节省了能耗。

[0089] 作为另一种实现方式,当接收到升功率指令时,请参阅图10,S106的步骤包括:

[0090] 当外部需求功率满足 $m * P_{emin} \leq P \leq m * n * P_{er}$ 时,控制当前运行电解槽阵列系统中的

其它电解槽组工作；

[0091] 当外部需求功率满足 $m*n*P_{er} \leq P \leq 2*m*n*P_{er}$ 时,控制下一电解槽阵列系统工作；

[0092] 当外部需求功率满足 $H_0*m*n*P_{er} \leq P \leq (H_0+1)*m*n*P_{er}$ 时,控制下一电解槽阵列系统整体工作；

[0093] 当外部需求功率满足 $H*m*n*P_{er} \leq P \leq H*m*n*P_{emax}$ 时,控制所有电解槽阵列系统同步工作；

[0094] 当外部需求功率满足 $H*m*n*P_{emax} < P$ 时,判定电解水系统无法响应指令；

[0095] 其中,n表示电解槽组的数量,m表示每个电解槽组中电解槽的数量,H表示处于运行状态电解槽阵列系统的数量, H_0 表示当前工作的电解槽阵列系统的数量, P_{emin} 表示每个电解槽的最小功率, P_{emax} 表示每个电解槽的最大功率, P_{er} 表示每个电解槽的额定功率。

[0096] 电解水系统在冷启动模式中升功率过程中电解槽和气液分离装置中碱液需要进行升温,其功率调节速度相对较慢;在热启动模式中升功率过程其功率调节速度较快。电解槽阵列系统的升功率模式中控制过程算法,如图10所示。

[0097] 当电解水系统运行功率值 P 大于等于 $m*P_{emin}$ 且小于 $m*n*P_{er}$,需要开始启动电解槽阵列系统内其他电解槽组满足需要调节功率值 Δp ,电解槽阵列系统内该电解槽组冷启动过程中其他运行电解槽根据冷启动电解槽组的实际运行功率确定运行功率,以保证达到控制系统下发的指令值。当电解槽阵列系统功率大于 $\eta*m*n*P_{emin}$ 时,阵列内其他电解槽组处于热启动状态,可以快速跟踪控制器下发控制指令,达到设定的运行功率。

[0098] 当电解水系统运行功率值 P 大于等于 $m*n*P_{er}$ 且小于 $2*m*n*P_{er}$,需要开始启动下一个电解槽阵列系统满足需要调节功率值 Δp 。在该电解槽阵列系统整体冷启机过程中,电解槽阵列系统内所有电解槽组同步启机,以尽快提高电解槽和气液分离装置中碱液温度达到正常运行温度范围,电解槽中碱液正常运行范围为 $50^{\circ}\text{C} \sim 95^{\circ}\text{C}$ 。根据处于冷启机状态的电解槽阵列系统的实际运行功率,调整其他运行电解槽组的运行功率,对处于运行状态的电解槽组平均分配功率,保证均衡负载,同时实现电解水系统功率等于系统控制器下发的功率值。当冷启动状态电解槽阵列系统内碱液温度达到 50°C ,启动该电解槽阵列系统内温度控制系统,以保证冷却液循环系统能够有效地运行,当电解槽阵列系统内碱液温度达到 80°C 时候,控制温度控制系统以实现电解槽阵列系统内产热与散热平衡。

[0099] 当运行电解槽数量为 H_0 且电解水系统的运行功率大于等于 $H_0*m*n*P_{er}$ 且小于 $(H_0+1)*m*n*P_{er}$,启动下一个电解槽阵列系统满足需要调节功率值 Δp ,在电解槽阵列系统整体冷启机过程中,产生功率偏差由处于运行状态的其他电解槽组同步调节。在所有电解槽阵列系统均处于热运行状态之前,电解水系统的升负荷过程均使用该功率控制策略。

[0100] 当电解水系统中所有 H 个电解槽阵列系统均处于热运行状态后,系统进一步提升功率控制模式为各电解槽阵列系统同步提升功率,且电解槽阵列系统内各电解槽组同步提升功率,以保证均衡负载,实现系统运行功率等于系统控制器下发功率值。该阶段电解水系统可以调节功率范围为 $[H*m*n*P_{emin}, H*m*n*P_{er}]$ 。

[0101] 当电解水系统的运行功率大于等于 $H*m*n*P_{er}$ 且小于 $H*m*n*P_{emax}$,系统可以进入超功率运行状态满足需要调节功率值 Δp ,在升功率过程中同步控制所有电解槽组,该状态下电解槽发热量提高且制氢效率降低,需要提高温度控制系统的冷却能力,以保证电解水系统内产热与散热平衡,进而保证系统内碱液温度处于 $80^{\circ}\text{C} \sim 95^{\circ}\text{C}$ 的范围。在该温度范围内

电解槽效率最高,减少碱液温度带来额外能量损耗,同时避免设备超温导致设备性能损伤。电解水系统的运行功率最大可达到 $H*m*n*P_{e_{max}}$ 。当电解水系统运行功率需要大于 $H*m*n*P_{e_{max}}$,电解水系统无法响应调节需求,反馈无法响应指令。

[0102] 作为一种可选的实现方式,每个气液分离装置还与补水装置相连,请参阅图11,该控制方法还包括:

[0103] S108,获取每个电解槽阵列系统的运行功率与制氢效率;

[0104] S110,依据运行功率与制氢效率确定补水量,其中,补水量满足公式:

$$[0105] \quad W_{i-j} = P_{i-mn} * \frac{9}{\eta_{eh} * 11.2}$$

[0106] 式中, W_{i-j} 表示第i个电解槽阵列系统中第j个气液分离装置的补水量, η_{eh} 表示第i个电解槽阵列系统的电制氢的效率。

[0107] 其中,S108-S110与S102-S106之间为并列关系,因此其步骤编号只为了区别不同步骤,并不表示二者一定按该顺序执行。

[0108] 其中,目前行业中电解槽和气液分离装置中碱液补水控制策略一般为,当气液分离装置中液位低于下限时候,补水阀开启进行补水,当液位到达上限时候补水阀关闭停止补水。该控制策略相对简单,但是导致补水控制过程不连续,会在补水状态影响电解槽和气液分离装置中碱液温度,导致碱液温度出现快速变化,且影响电制氢系统的温度控制策略。

[0109] 而在本申请中,根据每个电解槽阵列系统独立运行的结构特点,依据 $m*n$ 矩阵式的电解槽阵列系统内制氢耗水量进行连续补水的控制策略。该碱液补水控制策略为根据第i个 $m*n$ 矩阵式电解槽阵列系统的运行功率计算其耗水量进而确定该电解槽阵列系统的补数量,进而控制阵列内m个气液分离器的补水阀进行补水,阵列内各个补水阀的流量控制为相同值且等于总需要补水流量。该碱液补水策略可以实现碱液温度的响应较为温和,避免碱液快速变化带来的温度控制策略的误差。

[0110] 不仅如此,目前行业中电解槽温度控制方法为根据电解槽出口温度,将其作为输入参数,控制企业分离器中冷却液的阀门,以控制冷却液的流量进而控制气液分离器中碱液的温度。由于电解槽中制热面积大且气液分离器与管道中碱液体积大,已经换热器中换热效率相对较低的问题,导致温度控制中电解槽出口碱液温度滞后性大,导致碱液温度波动大且容易产生超过运行温度上限。当碱液温度超过运行温度上限,会对电解槽内隔膜性能产生影响,导致电解槽性能减低或者损坏。当碱液温度过低,导致碱液的电阻增大,使得电解槽中碱液产生热损失增加,导致电解槽的制氢效率降低。因此提高电制氢系统中碱液温度稳定性对提高系统整体效率具有重要意义。

[0111] 有鉴于此,为了避免上述问题的出现,本申请提供的气液分离装置内设置有热交换器,该控制方法还包括:

[0112] S112,依据公式 $T_{ijn-out} = T_{ijn-in} + k_{t1} * P_{i-mn} + k_{t2} * P_{cij}$ 调节所述热交换器的工作状态,其中, $T_{ijn-out}$ 为第i个电解槽阵列系统中第j个气液分离装置所接入的n个电解槽出口碱液温度的平均值; T_{ijn-in} 为第i个电解槽阵列系统中第j个气液分离装置所接入的n个电解槽入口碱液温度的平均值; P_{i-mn} 为第i个电解槽阵列系统的运行功率, P_{cij} 为第i个电解槽阵列系统中第j个气液分离装置中热交换器的传递热量,且 $P_{cij} = W_{cij} * Cc * (t1 - t2)$, W_{cij} 表示该气液分离装置中热交换器内冷却液的流量,Cc为该冷却液的等压比热容;t1与t2为该热交换器

出口和入口的温度, k_{t_1} 与 k_{t_2} 表示电解槽阵列系统在测试过程中确定的参数。

[0113] 当然地, S112 与上述步骤也为并列关系。

[0114] 其中, $m*n$ 矩阵式电解槽阵列系统中具备 m 个气液分离器且 n 个电解槽共用一个气液分离器, 气液分离器之间为独立控制。但是电解槽组为 m 个电解槽串联连接, 因此电制氢系统在控制变流器功率或者气体产量过程中, m 个气液分离器接入的气液混合物的物质质量是相同的。因此, $m*n$ 矩阵式电解槽阵列系统中 m 个气液分离器也是相互独立进行控制, 且控制策略相同。

[0115] $m*n$ 矩阵式电解槽阵列系统中一个气液分离器接入 n 个电解槽, n 个电解槽通过 n 个变流器接入交流电网。电解槽阵列系统中气液分离器连接的 n 个电解槽, 这些电解槽中氧气/碱液混合物和氢气/碱液混合物通过管道分别进入到氧气液体分离器和氢气液体分离器中进行气液分离, 分离后液体通过氧气液体分离器和氢气液体分离器下端的管道混合到一起, 然后经过管道重新进入到 n 个电解槽, 不断进行碱液循环。电制氢系统中碱液温度控制功能, 采集 n 个电解槽入口碱液温度、 n 个电解槽出口碱液温度、 n 个电解槽变流器的功率值, 通过变流器功率值和电解槽入口温度作为输入值, 控制电解槽出口温度达到设定的温度值, 以保证电解槽碱液出口温度不超过电解槽设备额定的温度上限, 同时避免电解槽碱液入口温度尽量稳定。

[0116] 需要说明的是, 上述公式中, P_{i-m} 的数据通过该电解槽阵列系统内 n 个变流器获取的功率值后计算平均值得到, 气液分离器中热交换器的出口和入口的温度, 通过相应位置的传感器获得温度数据。通过确定出 $T_{i,jn-out}$, 可实时对其进行调节, 例如, 当 $T_{i,jn-out}$ 较大时, 则改变热交换器内冷却液的流量, 进而使温度降低。

[0117] 不仅如此, 气液分离装置一般包括第一分离装置与第二分离装置, 在电解水系统中, 第一分离装置与第二分离装置分别为氢气/碱液分离装置、氧气/碱液分离装置。

[0118] 目前行业中用于碱液分离的分离器中氢侧和氧侧液位差是电解槽预警的重要指标, 原因是两侧液位差过大会导致两边压力不平衡, 进而使得产氢回路和产氧回路的碱液量不一致, 增加电解槽内碱液透过隔膜的液体量。碱液透过隔膜会导致碱液中气体杂质带到另一侧, 使得电解槽整体效率降低。虽然氢侧和氧侧的液位差的指标很关键, 但是目前电制氢设备主要采集该数据进行预警, 以提醒设备运行人员调整设备的控制参数, 尚无自动控制液位差的技术。

[0119] 有鉴于此, 本申请提供的控制方法还包括:

[0120] S114, 依据公式 $\Delta W = \Delta h * S * \rho * \Delta t$ 调节第一分离装置与第二分离装置的碱液流量; 其中, ΔW 表示第一分离装置与第二分离装置需要调节的碱液流量; Δh 表示第一分离装置与第二分离装置的液位差, S 为相应分离装置中等效截面积, ρ 为碱液的密度, Δt 为第一分离装置与第二分离装置液位差调平设定时间。

[0121] 本申请通过监测氢侧和氧侧的液位差, 自动调节氢侧和氧侧碱液循环量, 以自动调节两侧的液位差。电制氢系统中, $m*n$ 矩阵式电解槽阵列系统独立运行的结构特点, 电解槽阵列系统内气液分离器液相对独立灵活调节, 因此系统控制器中氢侧和氧侧液位差控制功能, 通过监测两侧液位高度, 当产生偏差时候, 调节氢侧或氧侧循环中碱液的流量。

[0122] 气液分离器中氢侧液位和氧侧液位都有正常高度范围。在两侧液位都在运行范围的情况下, 当气液分离器中氢侧液位高于氧侧液位高度, 则依据上述公式提高氧侧循环中

碱液流量,以提高氧侧的液位;当气液分离器中氧侧液位高于氢侧液位高度,则依据上述公式提高氢侧循环中碱液流量,以提高氢侧的液位。当氢侧或氧侧液位偏离设备正常的高度范围时候,调节相应的碱液循环量是其尽快调节到设备限定的正常液位高度。

[0123] 需要说明的是,目前行业中电制氢系统的气液分离装置的气体出口流量有出气阀门控制,由于气液分离装置中碱液在氢侧和氧侧分离装置下端是相连的,因此,气液分离装置中氢气压力和氧气压力是相联系的。通常情况是由氧气侧出口阀门调节氧气压力,进而确定整个电制氢系统被压,通过控制氢气侧阀门调节氢气的流量。

[0124] 然而由于调节氧侧和氢侧阀门导致气体体积快速变化,引发气液分离装置中碱液液位的剧烈波动,影响气液分离装置中液位平衡控制。因此,需要提高气体流量控制的连续性,降低气体流量调节导致的碱液液位波动幅度。目前行业中气液分离装置中出口阀门通常为电控气动阀门,通过气体压力自动调节阀门的开度,气动调节阀门通常开度以30%~80%的范围为宜,导致阀门开度调节联系性较差。

[0125] 本申请提供的电制氢系统的气液分离装置中利用共用气液分离装置,提升了气液分离装置的体积和碱液液面的稳定性,同时通过使用阀门并联组且不同阀门采用不同阀门气体压力的方式,提高出气阀门流量的连续性。阀门组采用3个并联的阀门,气动阀门的背压压力根据电制氢系统氢气出口压力的规定。例如,电制氢系统氢气出口压力设定为1.5MPa~2.4MPa,则三个阀门背压压力分别选择为2.2MPa、2.3MPa、2.4MPa,可以提高阀门组的流量调节范围和流量调节的连续性。

[0126] 电制氢系统的气液分离装置中气体出口流量通过实时分析电解槽阵列系统的运行功率,利用模型计算产气量,进而进行前馈出气阀门调节,避免在电解槽阵列系统功率大幅波动的运行工况下气体流量控制出现延迟,导致气液分离装置中碱液液位波动较大。电制氢系统的气体出口流量根据电解槽内产气量和气液分离装置的气体分离能力,调节出口阀组的开度,以保证气液分离装置中气体压力稳定和碱液液面平稳。

[0127] 其中,气液分离装置中出口流量满足公式:

$$[0128] \quad Q_{out} = Q_{in} + Q_{sep}$$

[0129] 其中, Q_{out} 为气液分离装置中出口流量,单位为 m^3/h ; Q_{in} 为进入气液分离装置中气液混合物中气体流量,单位为 m^3/h ; Q_{sep} 为气液分离装置中从液体溶解气体通过分离出来的气体的产量,单位为 m^3/h 。

[0130] 通过监测电解槽阵列系统的运行功率,根据模型提前计算出产气量,进而提前调节出气阀门的流量,保证气液分离装置中压力的相对稳定。进入气液分离装置中气液混合物中气体流量满足公式:

$$[0131] \quad Q_{in} = \int P_{i-mn} dt / \eta_{eh}$$

[0132] 其中, P_{i-mn} 为第*i*个电解槽阵列系统的运行功率,单位kW; η_{eh} 为该电解槽阵列系统的电制氢系统效率,单位为 Nm^3H_2/kWh 。

[0133] 还需要说明的是,为了使电解水系统的出口气体杂质达到要求,电解水系统运行更加稳定,作为一种实现方式,气液分离装置还与气体纯化装置相连,气液分离装置包括第一分离装置与第二分离装置,方法还包括:

[0134] 控制电解水系统在约束条件下运行,其中,约束条件包括:

[0135] 控制每个电解槽在预设的电压、电流、温度范围内工作;

[0136] 控制气液分离装置分离的气体的杂质含量处于预设范围；

[0137] 控制气液分离装出口的气体压力小于气体纯化装置的压力阈值；

[0138] 控制气液分离装置的气液分离能力低于能力阈值；

[0139] 控制第一分离装置与第二分离装置的液位差小于预设值。

[0140] 目前电制氢系统的气液分离器中氧气碱液分离器中安装有氧气传感器、氢气分离器中安装有氧气传感器,实时监测氢气中氧气杂质含量和氧气中氢气杂质含量,通过监测气体中杂质含量分析电解槽运行状况,并进行相应预警,通知设备运行人员调解电解槽的运行功率、碱液循环量,以降低产气中杂质,保证系统安全可靠地运行。由于行业中目前采用气液分离器为重力分离型设备,不具备外部调节气液分离过程的能力。其碱液循环量采用相对固定转速的碱液泵,只能调解电解槽入口碱液阀组,调解碱液循环量,碱液流量的调解能力受限。电解槽运行功率为人工调节,导致调节精度和调节速度相对较差。

[0141] 电制氢系统的气液分离器采用螺旋式离心企业分离器,可以通过调节离心转速,调节气液分离器中气液分离能力,进而精细化调节气液分离过程。矩阵式电制氢系统的碱液循环量,通过控制变频泵和进口阀门,提高碱液循环量的调节范围和精度。矩阵式电制氢系统中电解槽运行功率可以根据气液分离器出口杂质自动调节设备运行功率,以保证产气纯度达到工艺生产的要求。

[0142] 矩阵式电制氢系统的系统控制器,通过监测氧气碱液分离器和氢气碱液分离器中杂质含量,自动调节气液分离器中旋转设备的转速、碱液泵和进口阀门开度以调节碱液循环量、调节电解槽阵列系统运行功率,以实现综合措施控制系统出口气体杂质含量。当氢中氧杂质或氧中氢杂质含量升高,到达设备设定杂质上限时,提高气液分离器内旋转设备转速提高分离能力,同时降低碱液泵转速和进口阀门开度以降低循环量,同时提高电制氢设备运行功率。

[0143] 其中,矩阵式电解水系统中电解槽阵列系统的运行约束条件如下:

[0144] 1) 电解槽电压约束:每个电解槽的直流电压需要低于设备限定的电压范围

$$[0145] \quad V_{\min} \leq V_{ij} \leq V_{\max}$$

[0146] 其中, V_{ij} 为 $m*n$ 矩阵式电解槽阵列系统中第 i 组第 j 个电解槽的槽电压,单位为V; V_{\min} 、 V_{\max} 分别为电解槽限定的最高电压和最低电压,单位为V。电解槽的电压为变流器直流侧电压,通过变流器设备传感器获取,其数值等于所有电解小室电压与直流导线电压之和。目前行业中电解槽的槽电压阈值根据设备型号有所不同,在此不做限定,例如对于某型号的5MW碱性电解槽设备的最高电压和最低电压分别为750V和500V。

[0147] 2) 电解槽电流约束:每个电解槽的直流电流需要低于设备限定的最大电流:

$$[0148] \quad I_{ij} \leq I_{\max}$$

[0149] 其中, I_{ij} 为 $m*n$ 矩阵式电解槽阵列系统中第 i 组第 j 个电解槽的电流,单位为A; I_{\max} 为电解槽限定的最大电流,单位为A。电解槽的电流为变流器直流侧电流,通过变流器设备的传感器获取。目前行业中电解槽的槽电流阈值根据设备型号有所不同,在此不做限定,例如,对于某型号的5MW碱性电解槽设备的最大电流为6500A。

[0150] 3) 电解槽温度约束:每个电解槽需要处于设备限定温度运行范围

$$[0151] \quad T_{\min} \leq T_{ij} \leq T_{\max}$$

[0152] 其中, T_{ij} 为 $m*n$ 矩阵式电解槽阵列系统中第 i 组第 j 个电解槽的温度,单位为 $^{\circ}\text{C}$,其

数据等于电解槽进液口温度和气体碱液混合物出口温度的平均值; T_{\min} 与 T_{\max} 分别为电解槽限定的最高温度和最低温度,单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。目前行业中单个电解槽正常运行的 T_{\min} 与 T_{\max} 分别为 45°C 和 95°C ,当设备温度低于 45°C ,碱液的导电性差导致电解槽内内阻升高导致电耗增加;当设备温度高于 95°C ,电解槽内隔膜和密封材料性能劣化,长时间超温运行会导致设备损坏。

[0153] $m*n$ 矩阵式电解槽阵列系统采用共用气液分离器可以提高电解槽与气液分离器中碱液温度的一致性,在并联电解槽中某电解槽功率降低导致产热量降低,但是与其并联电解槽组仍然可以产生足够热量,因此提高了电解槽组功率调节范围和调控灵活性。

[0154] 需要说明的是,在电解水系统中,气液分离装置包括氢气/液体分离装置与氧气/液体分离装置,其分别能够分离出氢气与氧气,因此,需要分别的控制氢气气体与氧气气体的杂质含量处于预设范围。在此基础上,约束条件还包括:

[0155] 4) 氢气碱液分离器中氢气中氧气杂质需要低于设备规定阈值

$$[0156] \quad V_{jh-o} \leq V_{h-omax}$$

[0157] 其中, V_{jh-o} 为 $m*n$ 矩阵式电解槽阵列系统中第 j 个氢气碱液分离器中氢气中氧气杂质含量,其数值通过氧气碱液分离器中传感器采集得到; V_{h-omax} 为电制氢系统中氢气中氧气杂质规定最高阈值。

[0158] 5) 氧气碱液分离器中氧气中氢气杂质需要低于设备规定阈值

$$[0159] \quad V_{jo-h} \leq V_{o-hmax}$$

[0160] 其中, V_{jo-h} 为 $m*n$ 矩阵式电解槽阵列系统中第 j 个氧气碱液分离器中氧气中氢气杂质含量,其数值通过氧气碱液分离器中传感器采集得到; V_{o-hmax} 为电制氢系统中氧气中氢气杂质规定最高阈值。

[0161] 6) 气液分离器出口气体压力需要低于后接的气体纯化装置的最高压力阈值

$$[0162] \quad p_{jp} \leq p_{gmax}$$

[0163] 其中, p_{jp} 为 $m*n$ 矩阵式电解槽阵列系统中第 j 个气液分离器出口的压力,单位为Pa,其数值通过气液分离器中出口传感器采集得到; p_{gmax} 为电制氢系统中气体纯化装置限定的最高压力阈值,取 2.95Mpa 。

[0164] 7) 气液分离器的气液分离能力需要低于设备规定阈值

$$[0165] \quad S_j \leq S_{max}$$

[0166] 其中, S_j 为 $m*n$ 矩阵式电解槽阵列系统中第 j 个气液分离器出口的气液分离能力,单位为 Nm^3/h ,其数值根据气液分离器所连接的所有电解槽功率关联公式计算得到; S_{max} 为电制氢系统中气液分离器限定的最大气液分离能力。

[0167] $m*n$ 矩阵式电解槽阵列系统内电解槽组之间电功率进行有限的分配,由于共用气液分离装置限制了单个电解槽组调节灵活性,单个电解槽组需要考虑共用气液分离器的性能约束。单个 $m*n$ 矩阵式电解槽阵列系统中电解槽组由于串联其电流相同,因此控制电解槽组的变流器可以实现电解槽组内 m 个电解槽的电功率同步控制,而 n 个并联的电解槽组可以进行有限的功率分配,其功率分配约束为共用气液分离装置的气液分离能力 S 。

[0168] 气液分离装置的气液分离能力为单位时间内容从气液混合物中分离气体的质量,其能力受到进口气液混合物流速、混合物含气量、气泡直径、液相密度、液相动力粘度、气相密度、气相动力粘度的影响。不同类型的气液分离装置的气液分离能力有最大值 S_{max} 。在不

同电解槽组之间功率调控过程中,需要保证共用气液分离装置运行状态所需的气液分离能力小于设备限定阈值 x 。

$$[0169] \quad S(j) = P(j) * k1 * P(j)^2 * k2 * k3$$

$$[0170] \quad P(j) = \sum_{i=1}^n P(j-i)$$

[0171] 其中 $S(j)$ 为 $m*n$ 矩阵式电解槽阵列系统第 j 个气液分离器的气液分离能力, Nm^3/h ; $P(j)$ 为 $m*n$ 矩阵式电解槽阵列系统中第 j 个气液分离器所连接所有电解槽的功率之和,单位 kW ; $k1$ 、 $k2$ 以及 $k3$ 为实验室设备测试确定的关联系数。

[0172] 8) 气液分离器的氢侧与氧侧的液位差

$$[0173] \quad \Delta H_{ho} \leq \Delta H_{hmax}$$

[0174] 其中 ΔH_{ho} 为 $m*n$ 矩阵式电解槽阵列系统第 j 个气液分离器的氢侧与氧侧液位差的绝对值,单位为 mm ,其数值根据氢侧和氧侧液位传感器数据计算得到; ΔH_{hmax} 为气液分离器设备限定的氢侧与氧侧液位差的最大阈值。

[0175] 综上,本申请提供的电解槽阵列系统及其控制方法具有以下有益效果:

[0176] 1、实现了大容量电制氢系统的高效集成,系统规模可以达到 GW 级电制氢规模。通过电解槽阵列系统并联连接,实现不同电解槽阵列系统的独立灵活调度,同时电解槽阵列系统内通过电解槽组并联降低了变流器的投资成本,通过并联电解槽共用气液分离装置降低气液分离装置的投资成本。该大容量电制氢系统集成技术方案可以有效地降低系统投资冗余,降低系统投资成本,提高大容量电制氢系统的效益。

[0177] 2、本申请提出使用内表面绝缘的气液分离装置,可以解决气液分离装置设备解决问题,是解决电解槽串联后部分电解槽电势高,易引发碱液、气液分离装置和接地发生短路电流的问题。该技术方案可以实现大容量电解槽串联,也是共用气液分离装置的关键技术。

[0178] 3、本申请基于 $H-mn$ 矩阵式电制氢系统的结构特点和电解槽设备特性,提出了基于电解槽阵列系统、电解槽组的分层功率控制方法,提升了电制氢系统的功率调节范围和功率调节精度,提高大容量电制氢系统响应电力辅助服务调度或者生产计划调度的调节能力,可以有效地降低系统运行维护成本。

[0179] 4、本申请基于 $H-mn$ 矩阵式电制氢系统的结构特点和电解槽设备特性提出大容量电制氢系统的控制方法,包括电力控制方法、碱液补水控制方法、碱液温度控制方法、氢侧与氧侧液位差控制方法、气体出口流量控制方法、出口气体杂质控制方法。该系统控制方法可以提高电制氢系统的控制准确性,以实现电制氢系统处于系统最大效率点进行运行,降低功率变化、温度、碱液循环、气体流量、杂质等控制过程中辅机功耗,降低系统运行维护成本。

[0180] 5、本申请提出基于变流器功率和电解槽入口温度前馈的碱液温度控制方法,可以提高碱液温度稳定性,有效地保证电解槽出口温度不会超过设定温度,同时减少变工况下碱液温度过低导致电解槽额外功耗,可以提高电制氢系统的整体性能。

[0181] 6、本申请提出的基于电制氢耗水模型分析实时耗水量,并将其作为前馈参数的碱液补水控制方法,可以降低传统补水方式对碱液温度控制的影响。

[0182] 以上所述仅为本申请的优选实施例而已,并不用于限制本申请,对于本领域的技术人员来说,本申请可以有各种更改和变化。凡在本申请的精神和原则之内,所作的任何修

改、等同替换、改进等,均应包含在本申请的保护范围之内。

[0183] 对于本领域技术人员而言,显然本申请不限于上述示范性实施例的细节,而且在不背离本申请的精神或基本特征的情况下,能够以其它的具体形式实现本申请。因此,无论从哪一点来看,均应将实施例看作是示范性的,而且是非限制性的,本申请的范围由所附权利要求而不是上述说明限定,因此旨在将落在权利要求的等同要件的含义和范围内的所有变化囊括在本申请内。不应将权利要求中的任何附图标记视为限制所涉及的权利要求。

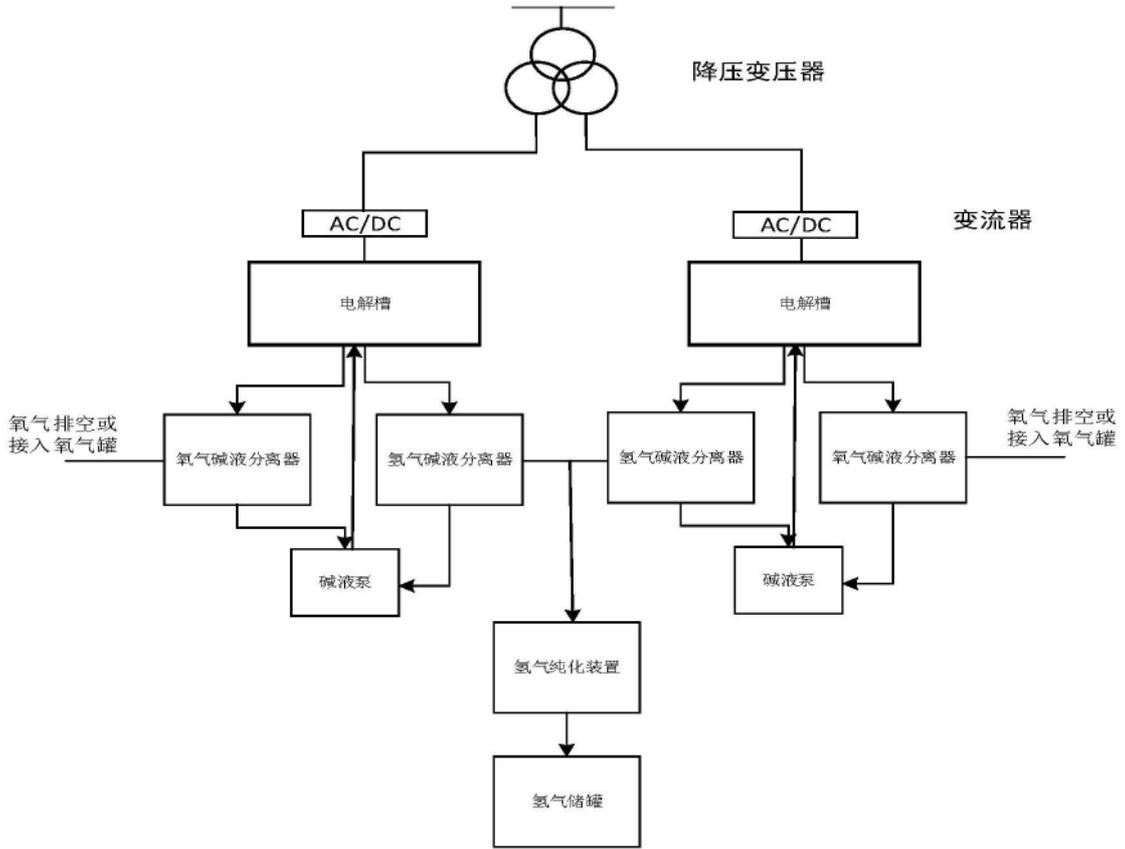


图1

100

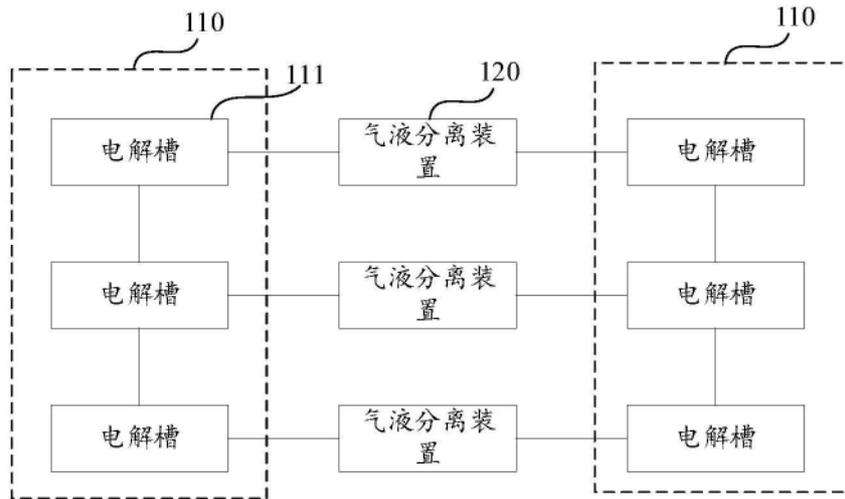


图2

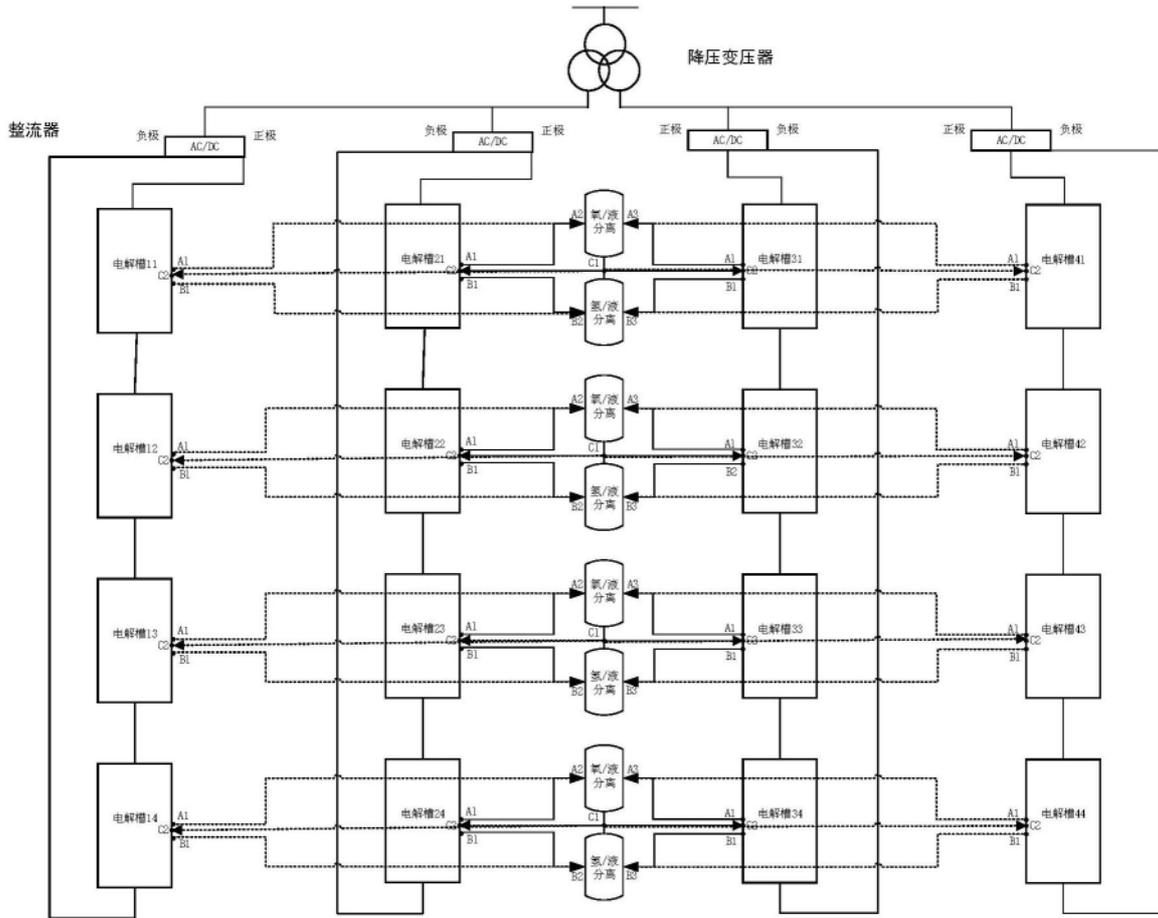


图3

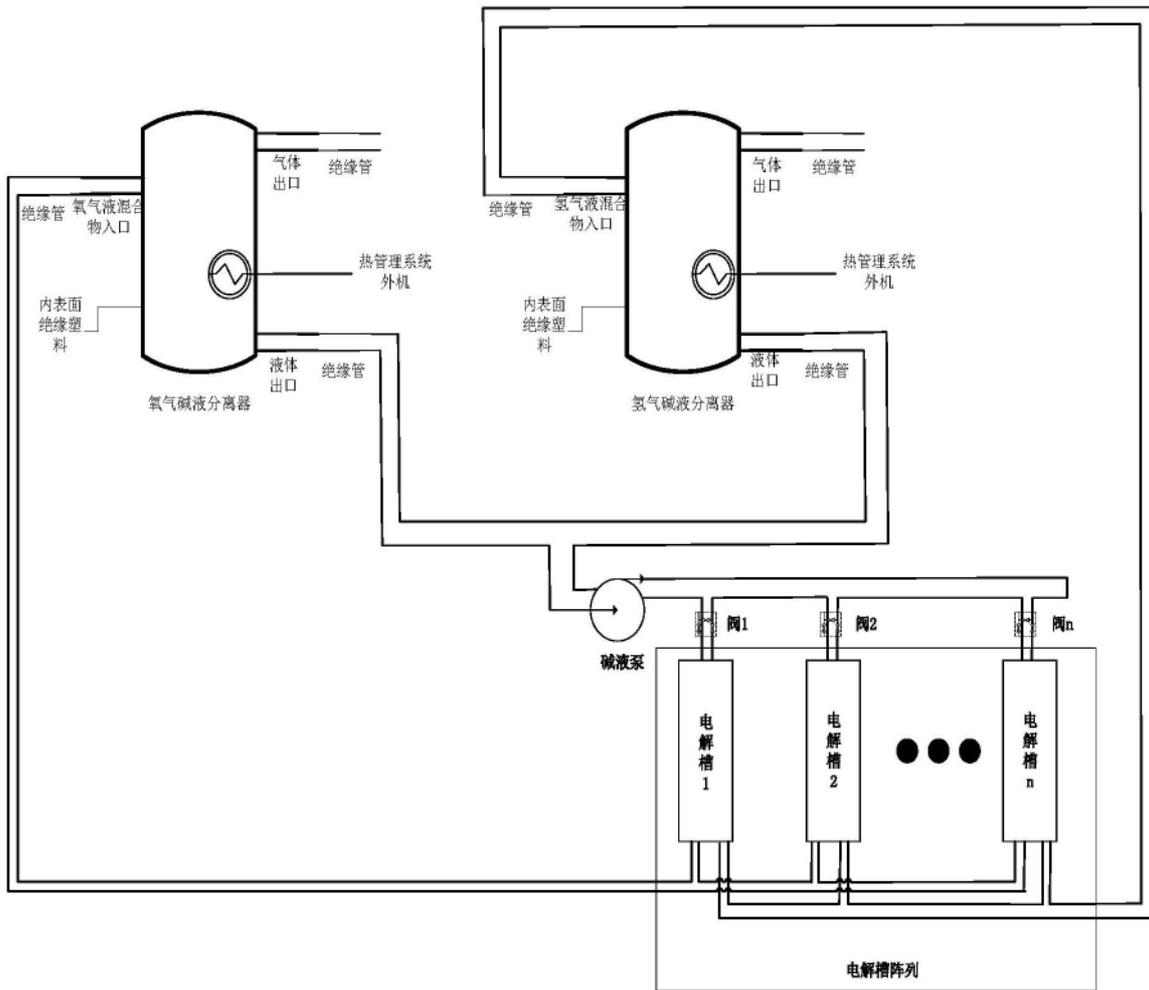


图4

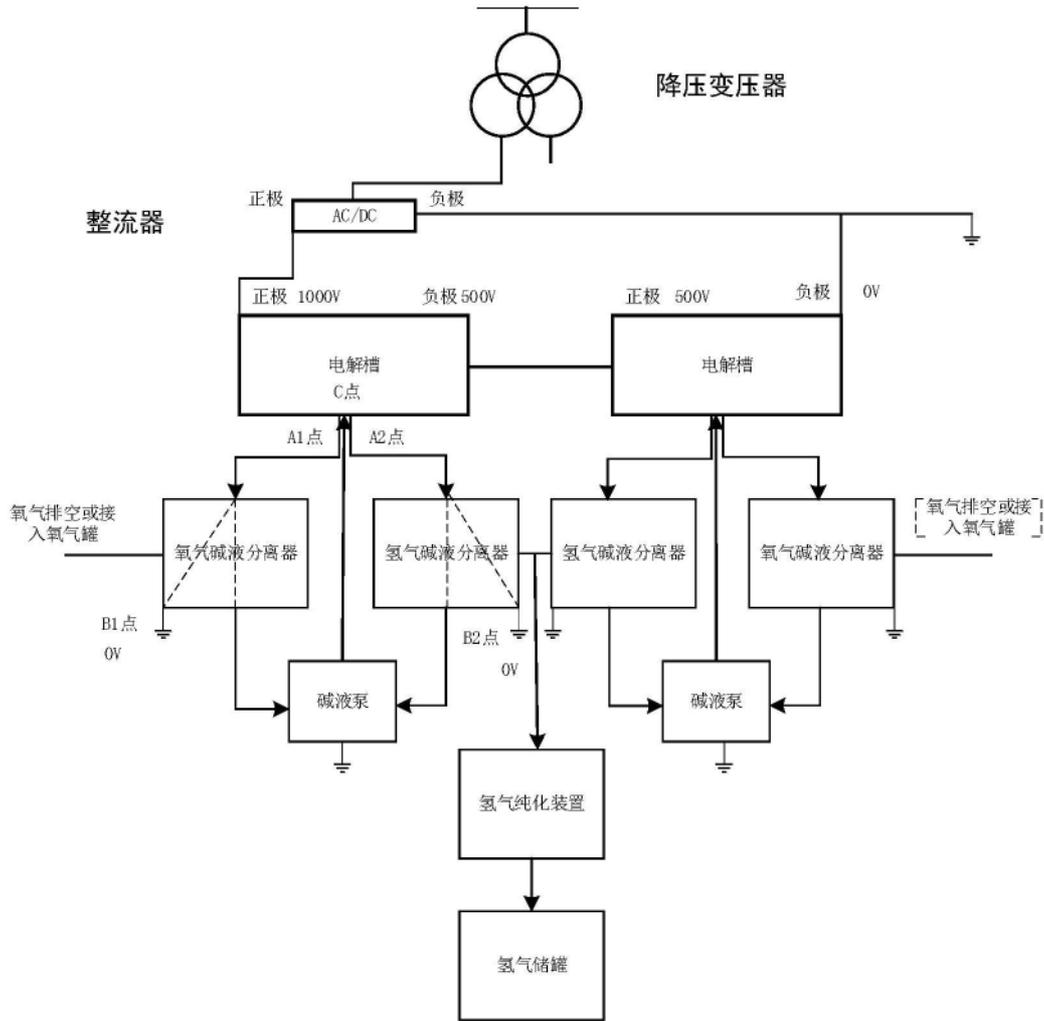


图5

120

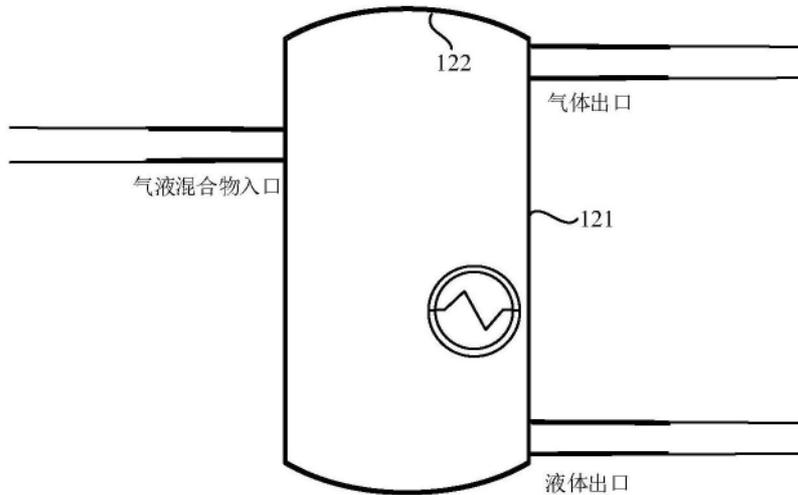


图6

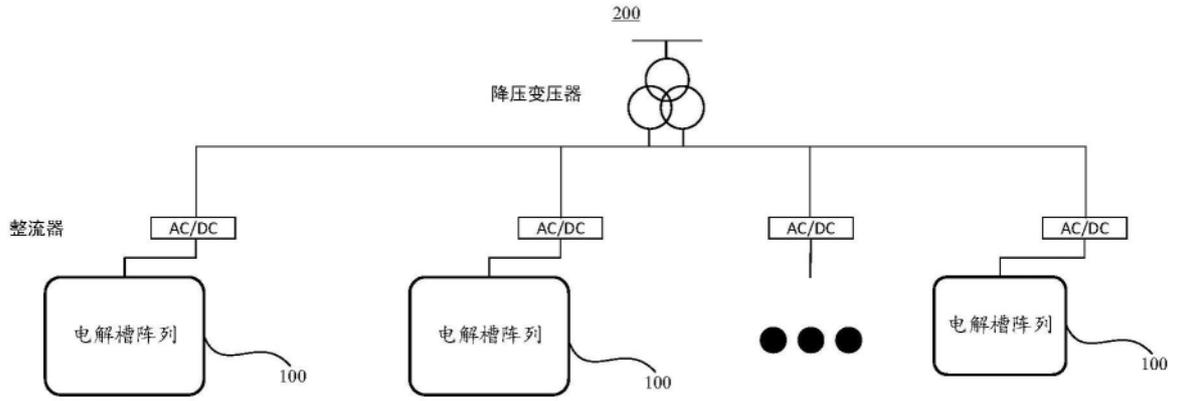


图7

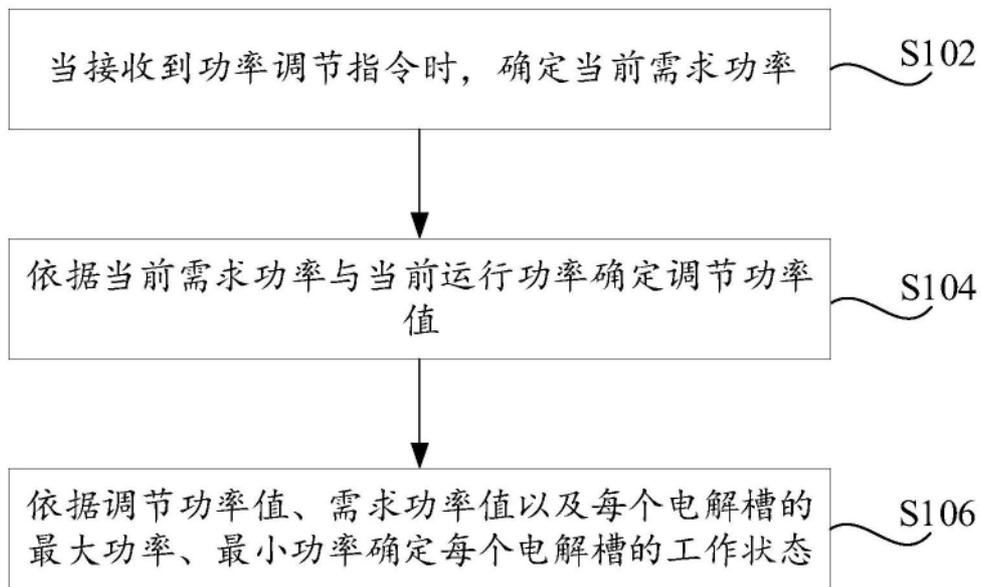


图8

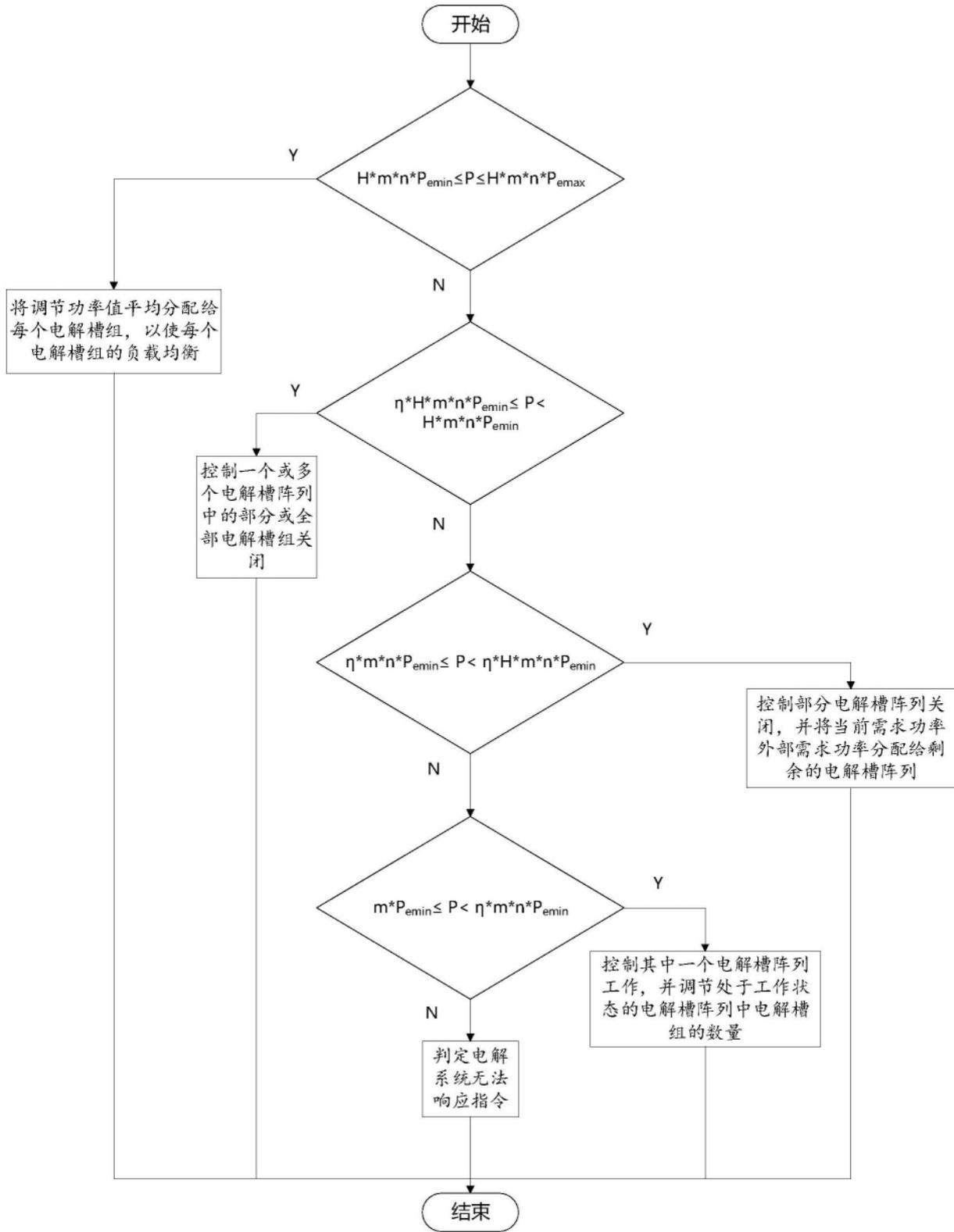


图9

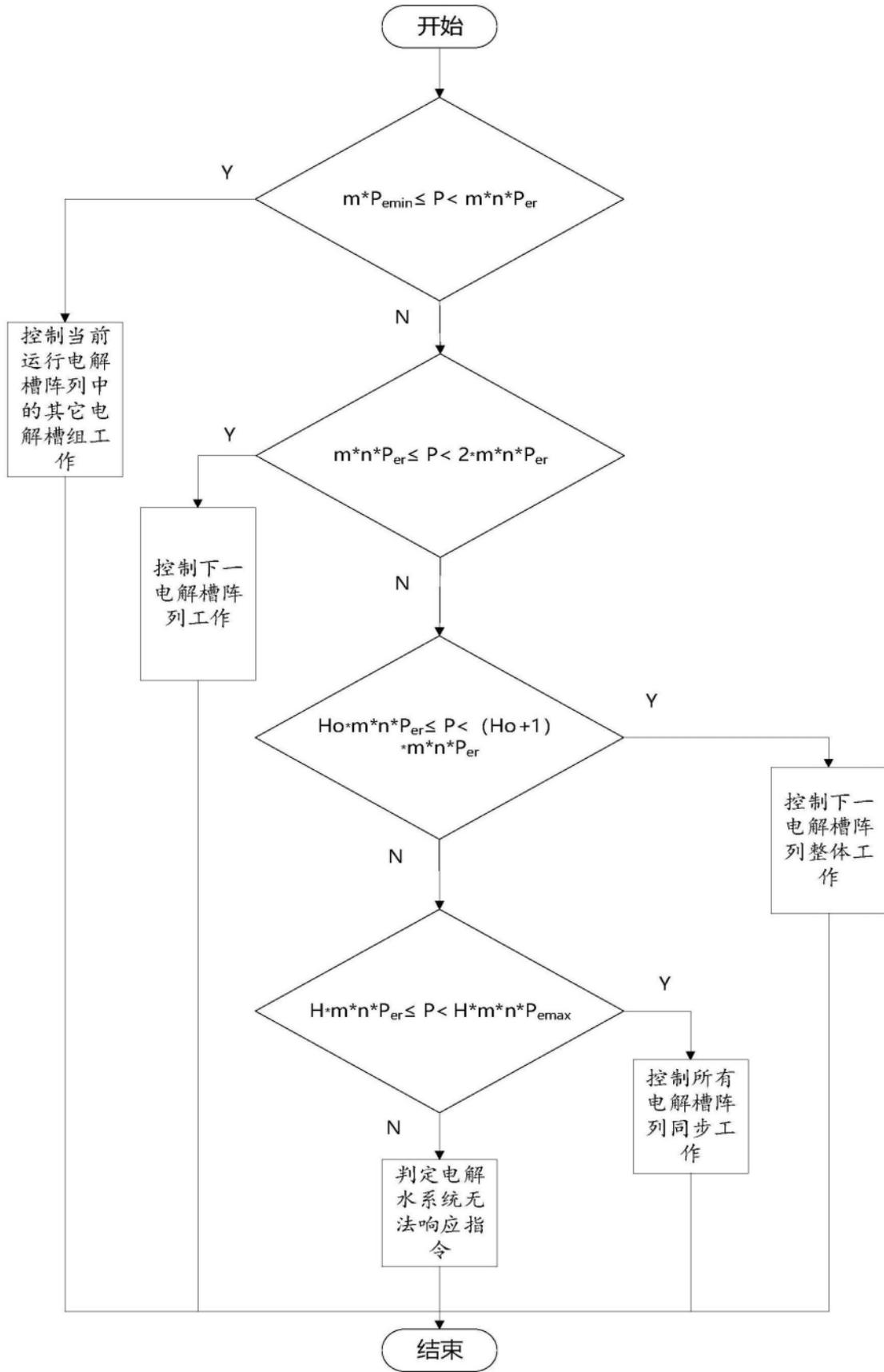


图10

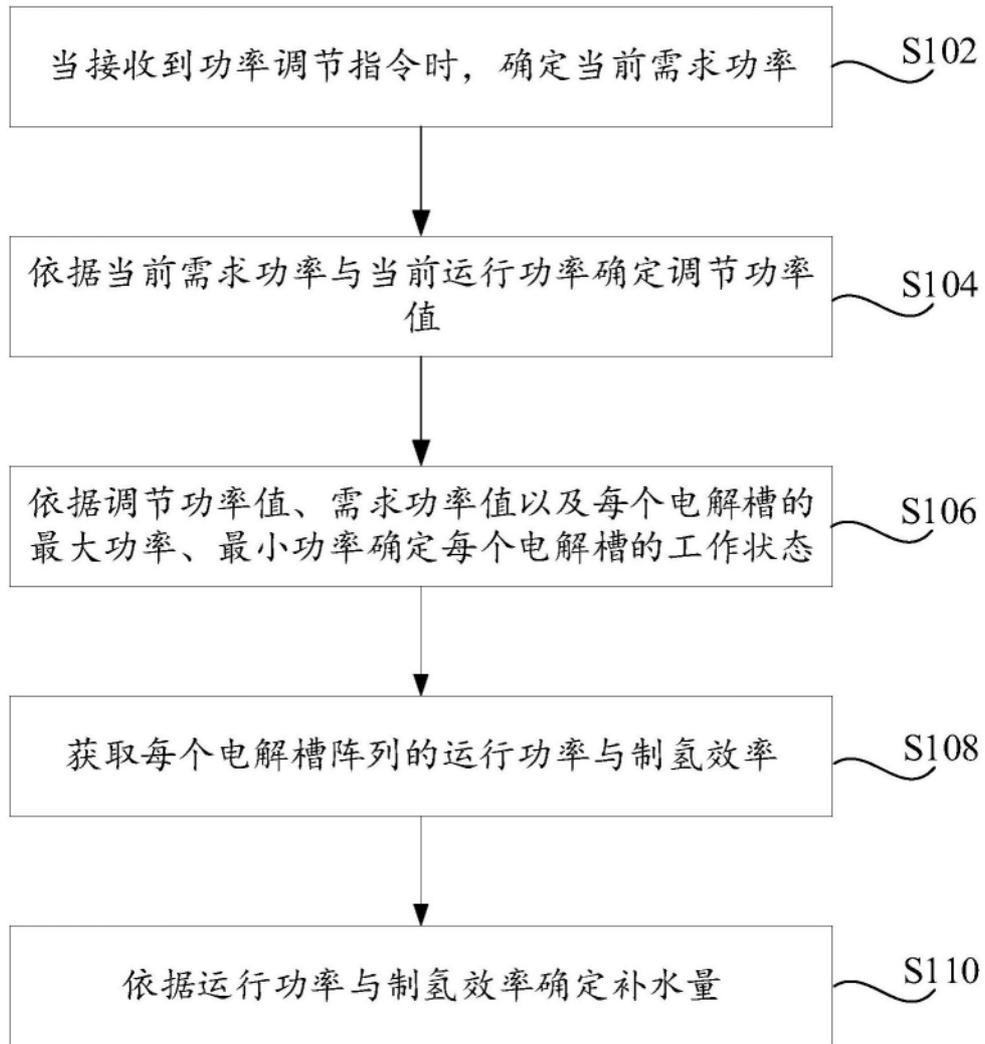


图11