



(45) 授权公告日 2020.09.22

有限公司 44217

申请公布号 CN 109741842 A

C02F 1/20 (2006.01)

1788号

中国广核电力股份有限公司

中国广核集团有限公司

杨自军 何继强 圣国龙 王树强

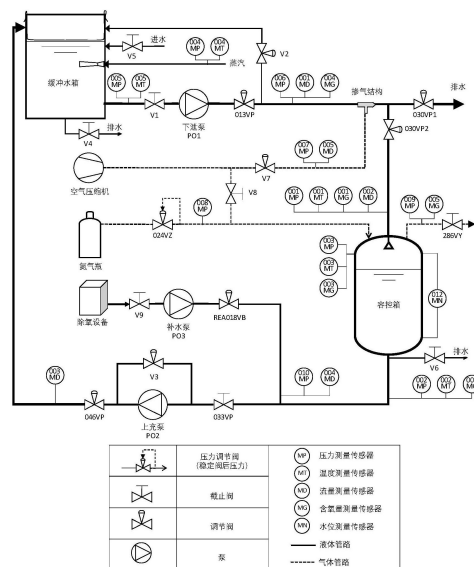
孙开宝 谭世杰 沈荣发 李明钢

张捷 沙洪伟 李广锋

权利要求书3页 说明书12页 附图2页

核电厂容控箱除氧测试系统以及方法

本发明公开了一种核电厂容控箱除氧测试系统以及方法,系统包括上充下泄系统、吹扫系统、含氧量调节系统、温度控制系统、参数监控系统,本发明的测试系统提供上充流和下泄流的流量控制、温度调节、含氧量控制、氮气补给以及气体排放等功能,基于这些功能可以实现“间歇吹扫”、“憋压排气”的测试,并且本发明还分别就其不同工况分别设计了相应的测试方法,通过测试获得容控箱液位、等待时间和吹扫时间对“间歇吹扫”除氧效果的影响规律;以及获得静置时间对“憋压排气”除氧效果的影响规律;并且通过两种方法的测试数据的比较,可以获得“间歇吹扫”和“憋压排气”两种方法在除氧效果上的差异,为实际机组除氧策略优化调整提供更优的数据支撑。



1. 一种核电厂容控箱除氧测试系统,其特征在于,包括:

上充下泄系统,包括缓冲容器、将所述缓冲容器中的液体导入所述容控箱的下泄管线、将所述容控箱的液体导回所述缓冲容器的上充管线、上充下泄控制单元,上充下泄控制单元用于控制所述下泄管线中的下泄流和所述上充管线中的上充流的流量以及压力;

吹扫系统,与所述容控箱连接,可用于向所述容控箱注入氮气以及将所述容控箱内的气体排出;

含氧量调节系统,与所述下泄管线连接,可用于向所述下泄流中注入氧气以调节下泄流中的含氧量;

温度控制系统,与所述缓冲容器连接,用于向所述缓冲容器的液体中通入加热后的蒸汽以调节所述液体温度;

参数监控系统,用于监测所述下泄流和上充流的流量、压力、含氧量,以及监测所述容控箱内的压力、液位、气体含氧量以及液体含氧量。

2. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,上充下泄控制单元包括:

设置于上充管线上的:上充泵、位于所述上充泵上游的上充隔离阀、位于所述上充泵下游的上充流流量调节阀;

设置于下泄管线上的:下泄泵、位于所述下泄泵的上游的下泄隔离阀、位于所述下泄泵下游的下泄流减压阀,所述下泄流减压阀的下游连接所述含氧量调节系统;

旁通管线以及设置于所述旁通管线上的下泄流流量调节阀,所述旁通管线连接于下泄流减压阀下游和缓冲容器之间。

3. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述吹扫系统包括装有氮气的氮气瓶、连接所述氮气瓶和所述容控箱的氮气吹扫管线、设置于所述氮气吹扫管线上的稳压阀、连接所述容控箱顶部的排气管线、设置在所述排气管线上的排气阀。

4. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述含氧量调节系统包括:空气压缩机、掺气管线、设置于所述掺气管线上的掺气流量调节阀、容控箱空气注入管线、设置于所述容控箱空气注入管线上的容控箱空气注入阀,所述空气压缩机通过所述掺气管线连接下泄管线,所述空气压缩机还通过所述容控箱空气注入管线连接所述容控箱顶部。

5. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述参数监控系统包括布置于所述上充下泄系统、氮气吹扫系统、氧气调节系统以及所述容控箱中的采集含氧量、液位、流量、压力、温度数据的各种传感器。

6. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,还包括:

注液系统,包括与所述容控箱底部连接的补水管线、设置于所述补水管线上的除氧设备、位于除氧设备下游的补水泵、位于补水泵下游的补水阀。

7. 一种核电厂容控箱除氧测试方法,基于权利要求1-6任一项所述系统实现,其特征在于,所述方法包括:基于测试参数的多组取值执行多次测试实验,每一次测试实验取所述测试参数的一组取值执行;其中,所述测试参数包括测试液位、单次等待时间以及单次排气时间,其中,所述测试实验包括:

准备步骤:向容控箱中注入具有规定含氧量的除盐水,且通过蒸汽加热系统将容控箱内液体的温度维持在恒定;

测试步骤一:将容控箱的液位调节至所述测试液位,通过所述上充下泄控制单元将下

泄流和上充流的流量控制为零,通过所述吹扫系统将所述容控箱内压力维持在第一预设压力;

测试步骤二:执行间歇吹扫直至所述参数监控系统监控到容控箱内气体含氧量达到稳定,所述间歇吹扫包括:每间隔一个所述单次等待时间通过所述吹扫系统控制所述容控箱内的气体按照所述单次排气时间进行一次排气;

测试步骤三:确定执行间歇吹扫的时间,以及基于所述参数监控系统确定在执行间歇吹扫前后容控箱内的液体含氧量的变化。

8.一种核电厂容控箱除氧测试方法,基于权利要求1-6任一项所述系统实现,其特征在于,所述方法包括:

准备步骤:向容控箱中注入经过除氧后的水,且通过蒸汽加热系统将容控箱内液体的温度维持在恒定;

测试步骤一:通过所述上充下泄控制单元维持所述上充流的流量稳定以及维持所述下泄流的流量、压力稳定,通过所述吹扫系统将所述容控箱内压力维持在第二预设压力;

测试步骤二:通过含氧量调节系统调节下泄流中的含氧量至预设稳定值;

测试步骤三:通过所述上充下泄控制单元控制上充流、下泄流的流量以使得容控箱的液位抬高到第一液位,通过所述吹扫系统将所述容控箱内的气体排出并使所述容控箱内压力维持在第三预设压力;

测试步骤四:通过所述上充下泄控制单元控制上充流、下泄流的流量以使得容控箱的液位降低并维持在第二液位;

测试步骤五:静置,静置过程中通过含氧量调节系统调节下泄流中的含氧量至预设稳定值,且静置过程中基于所述参数监控系统实时记录所述气体含氧量以及液体含氧量的变化情况。

9.一种核电厂容控箱除氧测试方法,基于权利要求1-6任一项所述系统实现,其特征在于,所述方法包括:基于测试参数的多组取值执行多次测试实验,每一次测试实验取所述测试参数的一组取值执行;其中,所述测试参数包括测试液位、单次等待时间以及单次排气时间,其中,所述测试实验包括:

准备步骤:向容控箱中注入具有规定含氧量的除盐水,且通过蒸汽加热系统将容控箱内液体的温度维持在恒定;

测试步骤一:将容控箱的液位调节至所述测试液位,通过所述上充下泄控制单元维持所述上充流的流量稳定以及维持所述下泄流的流量、压力稳定,通过所述吹扫系统将所述容控箱内的气体排出并使所述容控箱内压力维持在第四预设压力;

测试步骤二:执行间歇吹扫直至所述参数监控系统监控到容控箱内气体含氧量达到稳定,所述间歇吹扫包括:每间隔一个所述单次等待时间通过所述吹扫系统控制所述容控箱内的气体按照所述单次排气时间进行一次排气;

测试步骤三:确定执行间歇吹扫的时间,以及基于所述参数监控系统确定在执行间歇吹扫前后容控箱内的液体含氧量的变化。

10.一种核电厂容控箱除氧测试方法,基于权利要求1-6任一项所述系统实现,其特征在于,所述方法包括:

准备步骤:向容控箱中注入经过除氧后的水,且通过蒸汽加热系统将容控箱内液体的

温度维持在恒定；

测试步骤一：通过所述上充下泄控制单元维持所述上充流的流量稳定以及维持所述下泄流的流量、压力稳定，通过所述吹扫系统将所述容控箱内压力维持在第五预设压力；

测试步骤二：通过所述上充下泄控制单元控制上充流、下泄流的流量以使得容控箱的液位抬高到第一液位，通过所述吹扫系统将所述容控箱内的气体排出并使所述容控箱内压力维持在第六预设压力；

测试步骤三：通过所述上充下泄控制单元控制上充流、下泄流的流量以使得容控箱的液位降低并维持在第二液位；

测试步骤四：静置，静置过程中通过含氧量调节系统调节下泄流中的含氧量至预设稳定值，且静置过程中基于所述参数监控系统实时记录所述气体含氧量以及液体含氧量的变化情况。

核电厂容控箱除氧测试系统以及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及核电领域,尤其涉及一种核电厂容控箱除氧测试系统以及方法。

背景技术

[0002] 化学与容积控制系统作为压水堆核电机组核辅助系统之一,在运行中起到重要作用;其中容积控制作用补偿了核电厂从冷态到热态零功率启动过程或从热态零功率到冷停堆过程中所引起的冷却剂回路水体积的变化。图1是一回路化容系统控制原理图,为了维持冷却剂回路水位恒定,在正常发电时,设有与冷却剂回路相连的化容系统,化容系统中包括容控箱等。冷却剂回路中的管道和设备均由不锈钢制成,水中的溶解氧会对管道和设备造成腐蚀。氧腐蚀的机理如下:阳极: $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$;阴极: $\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$,生成的 Fe^{2+} 会进一步氧化,最终生成的腐蚀产物是 Fe_3O_4 ,且水中溶解氧浓度的升高会加速设备的腐蚀速率,造成设备的损坏。

[0003] 因此,核电厂对冷却剂中的含氧量有严格的控制要求。机组启动时,当一回路密闭之后参与气体量达到要求后,使用容积控制系统进行一回路的最终除氧。在容积控制系统中,存在两个氧平衡:一是冷却剂回路中水中的溶解氧与冷却剂回路中气体中氧的平衡;二是容控箱中液相水中的溶解氧与气相中氧的平衡。由于容控箱与冷却剂回路之间存在一个动态的平衡过程,即容控箱中的水会流入冷却剂回路中,冷却剂回路中的水也会流入容控箱中,为了实现减少冷却剂回路内水中的溶解氧的含量,可通过减少容控箱内水中的溶解氧的含量来实现。常见的除氧方式有:物理除氧和化学除氧,其中,物理除氧基本原理如下:

[0004] 1) 道尔顿分压定律:混合气体全压力等于其组成各气体分压力之和,即容控箱内水面上混合气体全压力 P ,应等于溶解水中各气体(N_2 、 O_2 、 CO_2 等)分压 P_{N_2} 、 P_{O_2} 、 P_{CO_2} 之和:

$$[0005] \quad P = P_{\text{N}_2} + P_{\text{O}_2} + P_{\text{CO}_2}$$

[0006] 2) 亨利定律:气体在水中的溶解度,与该气体在水面上的分压力成正比。即单位体积水中溶解某气体量 b 与水面上该气体的分压力 P_b 成正比,其表达式为:

$$[0007] \quad b = K_b \cdot \frac{P_b}{P}$$

[0008] 式中: P 为混合气体全压力, K_b 为该气体的重量溶解度系数,它与气体种类,水面上该气体分压力 and 水的温度有关。

[0009] 3) 传质方程

[0010] 气体离析出水面要有足够的动力(ΔP),其传质方程为:

$$[0011] \quad G = K_m \cdot A \cdot \Delta P$$

[0012] 式中: G 为离析气体量; K_m 为传质系数; A 为传质面积; ΔP 为不平衡压差,即平衡压力与实际分压力之差。

[0013] 综合上述各式,可得以下结论:定压下一般气体(O_2 、 CO_2 、空气等)在水中的溶解量

与该气体在液面上的分压力成正比,当该气体的分压力为零时其溶解量也趋于零;根据传质方程,要有足够的不平衡压差 ΔP ,除氧初期水中溶解气体较多, ΔP 较大,以小汽泡形式克服水表面张力自水中离析出来的驱动力较大,能除去水中气体的80%~90%,相应水中含氧量可降低到0.05~0.1mg/l。除氧后期,水中仅溶解残留的少量气体, ΔP 已较小,气体已难以克服水的表面张力离析,须靠加大汽水接触面(形成水膜,水膜的表面张力小)或水紊流的扩散作用,使气体从水中离析出来。

[0014] 化学除氧比较常见的一种方法是向冷却剂水中添加联氨,通过联氨与氧的反应($N_2H_4+O_2 \rightarrow N_2+2H_2O$)来尽量除去水中的溶解氧。现有技术一般是通过经验值决定向冷却剂回路中添加的联氨的量,这样容易造成添加联氨的量偏大或偏小,当联氨的使用量偏小时,不能完全除去水中的溶解氧;而当联氨的使用量偏大时,多余的联氨会消耗掉除盐床树脂的交换容量使其失效。

[0015] 核电厂当前采用的方法是先进行物理除氧,物理除氧合格之后,再使用联氨进行化学除氧。物理除氧采用的方法有两种:

[0016] 1)、憋压排气法:人为抬高容控箱液位到一定高度,手动开启排气阀进行排气。通过升降水位的方法对容控箱进行氮气吹扫。先将容控箱水位提升至90%液位处,再手动开启排气阀对容控箱进行排气;排气完成后降低液位至50%,静置2小时后对气体覆盖层进行取样测量含氧量,重复该操作直至容控箱含氧量合格。

[0017] 2)、间歇吹扫排气法:向容控箱内持续不断地吹扫惰性气体 N_2 并每间隔一段时间排气。即每小时开启容控箱排气阀5分钟,使用氮气进行连续吹扫,直至氧含量达到要求。

[0018] 目前核电厂使用容控箱对一回路进行最终除氧的实际操作中存在如下问题:当前无容控箱除氧性能测试相关方法,对容控箱除氧的操作是按照经验参数进行,存在不能一次吹扫合格的问题,占用大修时间;当吹扫前一回路中的残余空气量发生变化后,不能根据实际情况灵活调整除氧策略。

发明内容

[0019] 本发明要解决的技术问题在于,针对现有技术的上述缺陷,提供一种核电厂容控箱除氧测试系统以及方法。

[0020] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:

[0021] 本发明实施例一方面提供了一种核电厂容控箱除氧测试系统,包括:

[0022] 上充下泄系统,包括缓冲容器、将所述缓冲容器中的液体导入所述容控箱的下泄管线、将所述容控箱的液体导回所述缓冲容器的上充管线、上充下泄控制单元,上充下泄控制单元用于控制所述下泄管线中的下泄流和所述上充管线中的上充流的流量以及压力;

[0023] 吹扫系统,与所述容控箱连接,可用于向所述容控箱注入氮气以及将所述容控箱内的气体排出;

[0024] 含氧量调节系统,与所述下泄管线连接,可用于向所述下泄流中注入氧气以调节下泄流中的含氧量;

[0025] 温度控制系统,与所述缓冲容器连接,用于向所述缓冲容器的液体中通入加热后的蒸汽以调节所述液体温度;

[0026] 参数监控系统,用于监测所述下泄流和上充流的流量、压力、含氧量,以及监测所

述容控箱内的压力、液位、气体含氧量以及液体含氧量。

[0027] 可选的,上充下泄控制单元包括:

[0028] 设置于上充管线上的:上充泵、位于所述上充泵上游的上充隔离阀、位于所述上充泵下游的上充流量调节阀;

[0029] 设置于下泄管线上的:下泄泵、位于所述下泄泵的上游的下泄隔离阀、位于所述下泄泵下游的下泄流减压阀,所述下泄流减压阀的下游连接所述含氧量调节系统;

[0030] 旁通管线以及设置于所述旁通管线上的下泄流流量调节阀,所述旁通管线连接于下泄流减压阀下游和缓冲容器之间。

[0031] 可选的,所述吹扫系统包括装有氮气的氮气瓶、连接所述氮气瓶和所述容控箱的氮气吹扫管线、设置于所述氮气吹扫管线上的稳压阀、连接所述容控箱顶部的排气管线、设置在所述排气管线上的排气阀。

[0032] 可选的,所述含氧量调节系统包括:空气压缩机、掺气管线、设置于所述掺气管线上的掺气流量调节阀、容控箱空气注入管线、设置于所述容控箱空气注入管线上的容控箱空气注入阀,所述空气压缩机通过所述掺气管线连接下泄管线,所述空气压缩机还通过所述容控箱空气注入管线连接所述容控箱顶部。

[0033] 可选的,所述参数监控系统包括布置于所述上充下泄系统、氮气吹扫系统、氧气调节系统以及所述容控箱中的采集含氧量、液位、流量、压力、温度数据的各种传感器。

[0034] 可选的,测试系统还包括:

[0035] 注液系统,包括与所述容控箱底部连接的补水管线、设置于所述补水管线上的除氧设备、位于除氧设备下游的补水泵、位于补水泵下游的补水阀。

[0036] 本发明实施例另一方面提供了一种核电厂容控箱除氧测试方法,基于前述系统实现,所述方法包括:基于测试参数的多组取值执行多次测试实验,每一次测试实验取所述测试参数的一组取值执行;其中,所述测试参数包括测试液位、单次等待时间以及单次排气时间,其中,所述测试实验包括:

[0037] 准备步骤:向容控箱中注入具有规定含氧量的除盐水,且通过蒸汽加热系统将容控箱内液体的温度维持在恒定;

[0038] 测试步骤一:将容控箱的液位调节至所述测试液位,通过所述上充下泄控制单元将下泄流和上充流的流量控制为零,通过所述吹扫系统将所述容控箱内压力维持在第一预设压力;

[0039] 测试步骤二:执行间歇吹扫直至所述参数监控系统监控到容控箱内气体含氧量达到稳定,所述间歇吹扫包括:每间隔一个所述单次等待时间通过所述吹扫系统控制所述容控箱内的气体按照所述单次排气时间进行一次排气;

[0040] 测试步骤三:确定执行间歇吹扫的时间,以及基于所述参数监控系统确定在执行间歇吹扫前后容控箱内的液体含氧量的变化。

[0041] 本发明实施例另一方面提供了一种核电厂容控箱除氧测试方法,基于前述系统实现,所述方法包括:

[0042] 准备步骤:向容控箱中注入经过除氧后的水,且通过蒸汽加热系统将容控箱内液体的温度维持在恒定;

[0043] 测试步骤一:通过所述上充下泄控制单元维持所述上充流的流量稳定以及维持所

述下泄流的流量、压力稳定,通过所述吹扫系统将所述容控箱内压力维持在第二预设压力;

[0044] 测试步骤二:通过含氧量调节系统调节下泄流中的含氧量至预设稳定值;

[0045] 测试步骤三:通过所述上充下泄控制单元控制上充流、下泄流的流量以使得容控箱的液位抬高到第一液位,通过所述吹扫系统将所述容控箱内的气体排出并使所述容控箱内压力维持在第三预设压力;

[0046] 测试步骤四:通过所述上充下泄控制单元控制上充流、下泄流的流量以使得容控箱的液位降低并维持在第二液位;

[0047] 测试步骤五:静置,静置过程中通过含氧量调节系统调节下泄流中的含氧量至预设稳定值,且静置过程中基于所述参数监控系统实时记录所述气体含氧量以及液体含氧量的变化情况。

[0048] 本发明实施例另一方面提供了一种核电厂容控箱除氧测试方法,基于前述系统实现,所述方法包括:基于测试参数的多组取值执行多次测试实验,每一次测试实验取所述测试参数的一组取值执行;其中,所述测试参数包括测试液位、单次等待时间以及单次排气时间,其中,所述测试实验包括:

[0049] 准备步骤:向容控箱中注入具有规定含氧量的除盐水,且通过蒸汽加热系统将容控箱内液体的温度维持在恒定;

[0050] 测试步骤一:将容控箱的液位调节至所述测试液位,通过所述上充下泄控制单元维持所述上充流的流量稳定以及维持所述下泄流的流量、压力稳定,通过所述吹扫系统将所述容控箱内的气体排出并使所述容控箱内压力维持在第四预设压力;

[0051] 测试步骤二:执行间歇吹扫直至所述参数监控系统监控到容控箱内气体含氧量达到稳定,所述间歇吹扫包括:每间隔一个所述单次等待时间通过所述吹扫系统控制所述容控箱内的气体按照所述单次排气时间进行一次排气;

[0052] 测试步骤三:确定执行间歇吹扫的时间,以及基于所述参数监控系统确定在执行间歇吹扫前后容控箱内的液体含氧量的变化。

[0053] 本发明实施例另一方面提供了一种核电厂容控箱除氧测试方法,基于前述系统实现,所述方法包括:

[0054] 准备步骤:向容控箱中注入经过除氧后的水,且通过蒸汽加热系统将容控箱内液体的温度维持在恒定;

[0055] 测试步骤一:通过所述上充下泄控制单元维持所述上充流的流量稳定以及维持所述下泄流的流量、压力稳定,通过所述吹扫系统将所述容控箱内压力维持在第五预设压力;

[0056] 测试步骤二:通过所述上充下泄控制单元控制上充流、下泄流的流量以使得容控箱的液位抬高到第一液位,通过所述吹扫系统将所述容控箱内的气体排出并使所述容控箱内压力维持在第六预设压力;

[0057] 测试步骤三:通过所述上充下泄控制单元控制上充流、下泄流的流量以使得容控箱的液位降低并维持在第二液位;

[0058] 测试步骤四:静置,静置过程中通过含氧量调节系统调节下泄流中的含氧量至预设稳定值,且静置过程中基于所述参数监控系统实时记录所述气体含氧量以及液体含氧量的变化情况。

[0059] 本发明的核电厂容控箱除氧测试系统以及方法,具有以下有益效果:本发明的测

试系统提供上充流和下泄流的流量控制、下泄流温度调节、下泄流含氧量控制、氮气补给以及气体排放等功能,基于这些功能,可以实现“间歇吹扫”、“憋压排气”的测试,并且本发明还分别就“间歇吹扫”、“憋压排气”在不同工况的情形分别设计了相应的测试方法,以测试“间歇吹扫”、“憋压排气”对容控箱除氧的效果,并通过测试获得容控箱液位、单次等待时间和单次吹扫时间这些关键因素对“间歇吹扫”除氧效果的影响规律;以及通过测试获得静置时间对“憋压排气”除氧效果的影响规律;并且通过两种方法的测试数据的比较,可以获得“间歇吹扫”和“憋压排气”两种方法在除氧效果上的差异,为实际机组除氧策略调整提供更优的数据支撑。

附图说明

[0060] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术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发明的实施例,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,还可以根据提供的附图获得其他的附图:

[0061] 图1是一回路化容系统控制原理图;

[0062] 图2是本发明核电厂容控箱除氧测试系统的结构示意图。

具体实施方式

[0063] 为了便于理解本发明,下面将参照相关附图对本发明进行更全面的描述。附图中给出了本发明的典型实施例。但是,本发明可以以许多不同的形式来实现,并不限于本文所描述的实施例。相反地,提供这些实施例的目的是使对本发明的公开内容更加透彻全面。应当理解本发明实施例以及实施例中的具体特征是对本申请技术方案的详细的说明,而不是对本申请技术方案的限定,在不冲突的情况下,本发明实施例以及实施例中的技术特征可以相互组合。

[0064] 需要说明的是,本文中所提到的“相连”或“连接”等术语,不仅仅包括将两个实体直接相连,也包括通过具有有益改善效果的其他实体间接相连。

[0065] 除非另有定义,本文所使用的所有的技术和科学术语与属于本发明的技术领域的技术人员通常理解的含义相同。本文中在本发明的说明书中所使用的术语只是为了描述具体的实施例的目的,不是旨在于限制本发明。

[0066] 本说明书中使用的“第一”、“第二”等包含序数的术语可用于说明各种构成要素,但是这些构成要素不受这些术语的限定。使用这些术语的目的仅在于将一个构成要素区别于其他构成要素。例如,在不脱离本发明的权利范围的前提下,第一构成要素可被命名为第二构成要素,类似地,第二构成要素也可以被命名为第一构成要素。

[0067] 参考图2,图2是本发明核电厂容控箱除氧测试系统的结构示意图,图中实线线路表示液体管线、虚线线路表示气体管线。本实施例的核电厂容控箱除氧测试系统主要以下部分包括:上充下泄系统、吹扫系统、含氧量调节系统、温度控制系统、参数监控系统。

[0068] 上充下泄系统,包括缓冲容器、将所述缓冲容器中的液体导入所述容控箱的下泄管线、将所述容控箱的液体导回所述缓冲容器的上充管线、上充下泄控制单元,上充下泄控制单元用于控制所述下泄管线中的下泄流和所述上充管线中的上充流的流量以及压力,其

中：

[0069] 吹扫系统，与所述容控箱连接，可用于向所述容控箱注入氮气以及将所述容控箱内的气体排出；

[0070] 含氧量调节系统，与所述下泄管线连接，可用于向所述下泄流中注入氧气以调节下泄流中的含氧量；

[0071] 温度控制系统，与所述缓冲容器连接，用于向所述缓冲容器的液体中通入加热后的蒸汽以调节所述液体温度；

[0072] 参数监控系统，用于监测所述下泄流和上充流的流量、压力、含氧量，以及监测所述容控箱内的压力、液位、气体含氧量以及液体含氧量。

[0073] 本发明中，容控箱作为被测试部件与实际设备保持一致，具体的，容控箱为立式压力容器，顶部与底部为球形焊接封头结构，本实施例中，上部封头的多个接口分别用于连接下泄管线以及吹扫系统中的相关管线，其中用于接入下泄管线的接口内部设置有喷嘴，核电站运行时，一回路的冷却剂通过下泄管线进入容控箱，在经过容控箱内顶部的喷嘴时被雾化喷淋。容控箱下部封头的接口用于连接上充管线，容控箱内的冷却剂通过上冲管线重新注入一回路。

[0074] 下面对以上的五个系统结构分别进行详细说明。

[0075] 本实施例中，上充下泄系统利用缓冲容器实现缓冲，缓冲容器采用浮顶结构或薄膜覆盖的方式进行了密封，以隔绝外界空气对缓冲容器内含氧量的影响。缓冲容器、下泄管线、容控箱、上充管线等构成一个闭式循环，缓冲容器的侧壁靠顶部位置连接有设置进水阀V5的进水管线，缓冲容器的侧壁靠顶部位置连接有设置排水阀V4的排水管线，通过控制进水阀V5、排水阀V4可以往缓冲容器内注入相应的液体，在本实施例中，缓冲容器具体为缓冲水箱。

[0076] 在一个可行的实施方式中，所述上充下泄控制单元包括如下三部分：

[0077] 1) 设置于上充管线上的：上充泵P02、位于所述上充泵P02上游的上充隔离阀033VP、位于所述上充泵P02下游的上充流流量调节阀046VP。优选的，所述上充泵P02的入口和出口之间连接有一个旁通管线，该旁通管线上设置有一个小流量调节阀V3。

[0078] 2) 设置于下泄管线上的：下泄泵P01、位于所述下泄泵P01的上游的下泄隔离阀V1、位于所述下泄泵P01下游的下泄流减压阀013VP。

[0079] 其中，所述下泄流减压阀013VP的下游连接所述含氧量调节系统，优选的，在下泄流减压阀013VP下游的管线内设置有喷嘴结构，含氧量调节系统排出的气体通过该喷嘴结构将气体掺入下泄流中，实现对下泄流的含氧量控制。

[0080] 3) 旁通管线以及设置于所述旁通管线上的下泄流流量调节阀V2，所述旁通管线连接于下泄流减压阀013VP下游（具体为接入含氧量调节系统的位置和下泄流减压阀013VP的出口之间）和缓冲容器之间，用于分流下泄泵P01出口的流量。

[0081] 优选的，下泄管线上还设置有排水旁路，以模拟实际过程中使用三通阀分流下泄流流量，具体的，所述系统还包括：排水阀030VP1、排水管线和设置于排水管线上的排水阀030VP2，排水阀030VP1位于下泄管线上接入含氧量调节系统位置和所述容控箱的入口之间，排水管线连接于所述下泄泵P01的下游，具体为接入含氧量调节系统位置和排水阀030VP1之间。另外，本实施例中，在容控箱的侧壁靠底部位置也连接有一个排水管线，该排

水管线上设置有排水阀V6,也可以用于排水。

[0082] 继续参考图2,在一个可行的实施方式中,所述吹扫系统包括装有氮气的氮气瓶、连接所述氮气瓶和所述容控箱的氮气吹扫管线、设置于所述氮气吹扫管线上的稳压阀024VZ、连接所述容控箱顶部的排气管线、设置在所述排气管线上的排气阀286VY。具体的,氮气吹扫管线、排气管线分别与容控箱顶部的两个接口连接,使用稳压阀024VZ保持氮气压力恒定,使用排气阀286VY调节阀调节氮气流量。

[0083] 继续参考图2,在一个可行的实施方式中,所述含氧量调节系统包括:空气压缩机、掺气管线、设置于所述掺气管线上的掺气流量调节阀V7、容控箱空气注入管线、设置于所述容控箱空气注入管线上的容控箱空气注入阀V8,所述空气压缩机一方面通过所述掺气管线连接下泄管线的减压阀013VP下游位置,以对下泄流进行掺气控制从而调节下泄流中的含氧量,如图中,下泄管线上设置了一个掺气结构,掺气管线通过掺气结构与下泄管线连通,且掺气管线中的气体通过掺气结构内部的喷嘴结构喷入下泄管线的液体中。所述空气压缩机另一方面还通过所述容控箱空气注入管线间接连接所述容控箱顶部,便于控制容控箱上部气体空间的空气压力,以模拟实际运行过程中在氮气吹扫前,容控箱上部空间充满高压空气的状态。具体的,容控箱空气注入管线连接到所述氮气吹扫管线的稳压阀024VZ下游的位置。

[0084] 继续参考图2,在一个可行的实施方式中,本实施例中,温度控制系统采用蒸汽加热方式进行加热,使整个测试系统中水的温与实际过程基本一致,维持在46℃。具体的,包括电加热锅炉、与缓冲容器的侧壁连接的加热管线,加热管线中的水经由电加热锅炉加热后排入缓冲容器中,缓冲容器与加热管线连接的接口在缓冲容器内设置有喷嘴。

[0085] 优选的,本实施例还包括注液系统,注液系统包括与所述容控箱底部连接的补水管线、设置于所述补水管线上的除氧设备、位于除氧设备下游的补水泵P03、位于除氧设备和补水泵P03之间的隔离阀V9、位于补水泵P03下游的补水阀REA018VB。本实施例中,补水管线是通过上充管线与容控箱连接,具体的,补水管线连接至补水管线的靠近容控箱的位置,如此,在上充管线上设置补水管线模拟实际过程中的手动补水。

[0086] 继续参考图2,在一个可行的实施方式中,所述参数监控系统包括布置于所述上充下泄系统、氮气吹扫系统、氧气调节系统以及所述容控箱中的采集含氧量、液位、流量、压力、温度数据的各种传感器。例如图2中,MP表示压力测量传感器、MT表示温度测量传感器、MD表示流量测量传感器、MG表示溶氧量测量传感器、012MN表示液位测量传感器。如图2可见,在上充管线、下泄管线、氮气吹扫管线、排气管线、掺气管线、加热管线、补水管线、容控箱都分布有测试点,每个测试点设置以上的一种或者几种传感器,关键测试点如下:

[0087] 在容控箱下泄流进口处,布置多种传感器实时测量下泄流的温度、压力、流量和含氧量;

[0088] 在容控箱箱体上,布置气体取样管线,用于连续测量容控箱气体空间的气体含氧量;

[0089] 在容控箱箱体上,布置液位测量传感器,用于测量容控箱的液位。

[0090] 在容控箱出口处,布置多种传感器实时测量上充流的温度、压力、流量和含氧量。

[0091] 可以理解的是,本发明中对温度、流量、压力、液位的控制,都可以是根据相应的传感器监测的数据,对相应的控制设备(比如阀门、电加热锅炉等)进行反馈控制实现。举例来

说,要控制下泄流的流量稳定在某一设定流量值,则可以根据下泄流管线上的流量传感器监测的流量数据对下泄流流量调节阀进行反馈控制;若监测的流量数据表示流量大于设定流量值,则将下泄流流量调节阀关小,反之,将下泄流流量调节阀打大。其他温度、压力、液位的控制同理,此处不再赘述。

[0092] 可见,本实施例的系统能够实现容控箱的上充下泄流量控制、手动补水控制、下泄流水温控制、下泄流含氧量控制、氮气补给以及气体排放等诸多功能。在这些功能的基础上,本发明所述的测试系统可开展多项测试内容,根据测试工况不同,主要开展的测试内容见下表1所示:

[0093] 表1测试内容表

测试工况	被测内容	“间歇吹扫”除氧效果测试	“憋压排气”除氧效果测试
	静置工况	测试内容一	
[0094]	下泄流含氧量稳定工况		测试内容二
	模拟实际机组工况	测试内容三	测试内容四

[0095] 可以理解的是以上各个测试内容是独立执行的,测试内容一、二可以提供理论可行的测试数据以给实际机组除氧策略提供参考,测试内容三、四,可以提供实际可行的测试数据以给实际机组除氧策略提供参考,而且,测试内容三、四可以优选为是在测试内容一、二提供的数据的基础上进行进一步测试。下面针对以上各种测试内容,分别提供相应的方法实施例。

[0096] 与测试内容一对应的,本发明的一个方法实施例提供一种核电厂容控箱除氧测试方法,基于前述的系统实施例实现。

[0097] 本实施例的方法包括:基于测试参数的多组取值执行多次测试实验,每一次测试实验取所述测试参数的一组取值执行,测试参数包括:测试液位L、单次等待时间T以及单次排气时间t。也就是说,本实施例就L、T、t提供了 $n(n \geq 2)$ 种取值: $[L1, T1, t1]$, $[L2, T2, t2]$, $[L3, T3, t3] \cdots [Ln, Tn, tn]$,针对每一组取值进行了一次测试实验,下面以其中的一组取值 $[Li, Ti, ti]$ 为例,详细介绍所述测试实验,测试实验包括:

[0098] 准备步骤:向容控箱中注入具有规定含氧量 W_1 的除盐水,且通过蒸汽加热系统将容控箱内液体的温度维持在恒定。具体的,除盐水的注入可以从缓冲容器注入,本实施例优选为通过关闭除氧设备后从补水管线注入。

[0099] 测试步骤一:将容控箱的液位调节至所述测试液位 L_i ,通过所述上充下泄控制单元将下泄流和上充流的流量控制为零,通过所述吹扫系统将所述容控箱内压力维持在第一预设压力。

[0100] 具体的,将下泄流和上充流的流量控制为零,是通过保持上充泵和下泄泵停运,同时关闭上充隔离阀033VP和下泄隔离阀V1实现。容控箱内压力维持在第一预设压力是通过氮气吹扫管线上的稳压阀024VZ实现。

[0101] 另外可以理解的是,其他未提及的管线相关的设备,如未特别说明,都是处于关闭状态,比如掺气管线相关的空气压缩机、调节阀V7等,同理,还有其他的排水管线、补水管线

等相关的设备都是出于关闭状态。

[0102] 测试步骤二:执行间歇吹扫直至所述参数监控系统监控到容控箱内气体含氧量达到稳定,所述间歇吹扫包括:每间隔一个所述单次等待时间 T_i 通过所述吹扫系统控制所述容控箱内的气体按照所述单次排气时间 t_i 进行一次排气,也即间隔一个所述单次等待时间 T_i ,开启一次排气阀286VY,排气阀286VY每次开启的时间为达 t_i 。

[0103] 需要说明的是,吹扫的过程中,会导致整个循环的下泄流、上充流、容控箱内液体、容控箱内气体的含氧量变化,最终行间歇吹扫完毕会达到一个动态平衡,达到平衡时,缓冲容器内液体、下泄流、上充流、容控箱内液体、容控箱内气体的含氧量均会达到稳定,而且,此时循环中的液体中的含氧量是相同的。

[0104] 测试步骤三:确定执行间歇吹扫的时间 T_{oi} ,以及基于所述参数监控系统确定在执行间歇吹扫前后容控箱内的液体含氧量的变化。

[0105] 具体的,执行间歇吹扫前,控箱内的液体含氧量即上述准备步骤中提到的 W_1 ,根据上文可知,终行间歇吹扫完毕会达到一个动态平衡,所以可以通过溶氧量测量传感器监测到容控箱内的液体含氧量 W_{2i} ,则执行间歇吹扫前后容控箱内的液体含氧量的变化为 $\Delta W_i = W_1 - W_{2i}$ 。

[0106] 也就是说,本实施例可以获取执行间歇吹扫的时间 T_{oi} ,以及这段时间内容控箱内的液体含氧量的变化为 ΔW_i ,这两个数据即可表明间歇吹扫的除氧效果,因为不同批次的测试实验所获取的结果数据 T_{oi} 、 ΔW_i 不同,所以基于计算式 $X_i = \frac{\Delta W_i}{T_{total}} = \frac{W_1 - W_{2i}}{T_{total}}$ 计算得到每一次测试实验所得到的单位时间内时容控箱内液体含氧量的变化量 X_i 来作为除氧效率的判断指标。然后比较所有批次的测试实验所得到的 X_i ,即可确定除氧效果最好的一次测试实验,那么该次测试实验所基于的测试参数的取值可以认为是一个最优取值。

[0107] 与测试内容二对应的,本发明的另一个方法实施例提供一种核电厂容控箱除氧测试方法,基于前述的系统实施例实现,本实施例的方法包括如下步骤:

[0108] 准备步骤:向容控箱中注入经过除氧后的水,且通过蒸汽加热系统将容控箱内液体的温度维持在恒定。本实施例中,优选为通过开启除氧设备,从补水管线往容控箱中注入除氧后的水。

[0109] 测试步骤一:通过所述上充下泄控制单元维持所述上充流的流量稳定以及维持所述下泄流的流量、压力稳定,通过所述吹扫系统将所述容控箱内压力维持在第二预设压力;

[0110] 具体的,一方面,启动上充泵并打开阀033VP,并调节阀046VP维持上充流的流量稳定,另一方面,启动下泄泵并打开阀V1、V2、013VP、030VP1,并调节阀V2和013VP维持下泄流的流量和压力稳定;调节氮气吹扫管线上的稳压阀024VZ维持容控箱内压力维持在第二预设压力。

[0111] 测试步骤二:通过含氧量调节系统调节下泄流中的含氧量至预设稳定值 W_1 ;

[0112] 具体的,启动空气压缩机,并调节阀V7,根据容控箱入口处的溶氧量测量传感器监测下泄流中的含氧量,最终将下泄流中的含氧量稳定在预设稳定值 W_1 。与前一方法实施例同理,本实施例最终也会达到一个动态平衡,达到平衡时,内液体、下泄流、上充流、容控箱内液体、容控箱内气体的含氧量均会达到稳定,而且此时循环中的液体中的含氧量是相同的都为 W_1 ,我们可以将此时容控箱内上方气体空间的气体含氧量记录下来,假设为 W_{1a} 。

[0113] 测试步骤三:通过所述上充下泄控制单元控制上充流、下泄流的流量以使得容控箱的液位抬高到第一液位,通过所述吹扫系统将所述容控箱内的气体排出并使所述容控箱内压力维持在第三预设压力。

[0114] 具体的,第一液位一般为90%水位,通过调节阀046VP可以调节上充流的流量,通过调节阀V2可以调节下泄流的流量,我们可以通过此方法控制使得上充流流量小于下泄流流量,从而逐步升高容控箱水位至90%水位,再开启排气阀286VY,所述容控箱内压力降低至第三预设压力,关闭排气阀286VY。

[0115] 测试步骤四:通过所述上充下泄控制单元控制上充流、下泄流的流量以使得容控箱的液位降低并维持在第二液位。

[0116] 具体的,第二液位一般为50%水位,同理,我们可以通过调节阀046VP、V2,控制使得上充流流量大于下泄流流量,逐步降低容控箱水位至50%水位。

[0117] 测试步骤五:静置,静置过程中通过含氧量调节系统调节下泄流中的含氧量至预设稳定值 W_1 ,调节过程可以参考上述测试步骤二的阐述;且静置过程中基于所述参数监控系统实时记录所述气体含氧量以及液体含氧量的变化情况。

[0118] 假设整个静置过程中,记录得到的液体含氧量的数据为 $[T_{Si}, W_{2i}]$,气体含氧量的数据为 $[T_{Si}, W_{2ai}]$, $i \leq N$, N 表示整个静置过程的记录次数, T_{Si} 表示第 i 次记录时的静置时间, W_{2i} 表示第 i 次记录到的液体含氧量, W_{2ai} 表示第 i 次记录到的气体含氧量,则可以得到不同的静置时间 T_{Si} 对应的液体含氧量的变化为 $\Delta W_i = W_1 - W_{2i}$,如此可以计算得到不同的静置时间 T_{Si} 对应的液体含氧量的除氧效率为 $X_i = \frac{\Delta W_i}{T_{Si}} = \frac{W_1 - W_{2i}}{T_{Si}}$,同理,气体含氧量的除氧效率为 $X_{ai} = \frac{W_{1a} - W_{2ai}}{T_{Si}}$ 。然后比较所有静置时间 T_{Si} 所对应的 X_i 或者 X_{ai} ,即可确定除氧效果最优的静置时间。

[0119] 可以理解的是,上述举例是以离散数据的处理方式选定最优的静置时间,实际上,也可以通过曲线拟合,得到 X_{ai} 与 T_{Si} 之间的函数关系,然后找到函数的极大值对应的静置时间即可。

[0120] 上述的离散数据分析分挨个发,

[0121] 与测试内容三对应的,本发明的另一个方法实施例提供一种核电厂容控箱除氧测试方法,基于前述的系统实施例实现,本实施例的方法包括:基于测试参数的多组取值执行多次测试实验,每一次测试实验取所述测试参数的一组取值执行,测试参数包括:测试液位 L 、单次等待时间 T 以及单次排气时间 t 。

[0122] 同测试内容一对应的方法实施例,下面以测试参数的一组取值为例,详细介绍本实施例的所述测试实验,测试实验包括:

[0123] 准备步骤:向容控箱中注入具有规定含氧量的除盐水,且通过蒸汽加热系统将容控箱内液体的温度维持在恒定。具体可以参考测试内容一对应的方法实施例部分的准备步骤,此处不再赘述。

[0124] 测试步骤一:将容控箱的液位调节至所述测试液位,通过所述上充下泄控制单元维持所述上充流的流量稳定以及维持所述下泄流的流量、压力稳定,通过所述吹扫系统将所述容控箱内的气体排出并使所述容控箱内压力维持在第四预设压力;

[0125] 具体的,一方面,启动上充泵并打开阀033VP,并调节阀046VP维持上充流的流量稳

定,另一方面,启动下泄泵并打开阀V1、V2、013VP、030VP1,并调节阀V2和013VP维持下泄流的流量和压力稳定;调节氮气吹扫管线上的稳压阀024VZ维持容控箱内压力维持在第四预设压力。

[0126] 测试步骤二:执行间歇吹扫直至所述参数监控系统监控到容控箱内气体含氧量达到稳定,所述间歇吹扫包括:每间隔一个所述单次等待时间通过所述吹扫系统控制所述容控箱内的气体按照所述单次排气时间进行一次排气。具体可以参考测试内容一对应的方法实施例部分的测试步骤三,此处不再赘述。

[0127] 测试步骤三:确定执行间歇吹扫的时间,以及基于所述参数监控系统确定在执行间歇吹扫前后容控箱内的液体含氧量的变化。具体可以参考测试内容一对应的方法实施例部分的测试步骤四,此处不再赘述。

[0128] 与测试内容四对应的,本发明的另一个方法实施例提供一种核电厂容控箱除氧测试方法,基于前述的系统实施例实现,本实施例的方法包括如下步骤:

[0129] 准备步骤:向容控箱中注入经过除氧后的水,且通过蒸汽加热系统将容控箱内液体的温度维持在恒定;具体可以参考测试内容二对应的方法实施例部分的准备步骤,此处不再赘述。

[0130] 测试步骤一:通过所述上充下泄控制单元维持所述上充流的流量稳定以及维持所述下泄流的流量、压力稳定,通过所述吹扫系统将所述容控箱内压力维持在第五预设压力。具体可以参考测试内容二对应的方法实施例部分的测试步骤一,此处不再赘述。

[0131] 测试步骤二:通过所述上充下泄控制单元控制上充流、下泄流的流量以使得容控箱的液位抬高到第一液位,通过所述吹扫系统将所述容控箱内的气体排出并使所述容控箱内压力维持在第六预设压力。具体可以参考测试内容二对应的方法实施例部分的测试步骤三,此处不再赘述。

[0132] 测试步骤三:通过所述上充下泄控制单元控制上充流、下泄流的流量以使得容控箱的液位降低并维持在第二液位。具体可以参考测试内容二对应的方法实施例部分的测试步骤四,此处不再赘述。

[0133] 测试步骤四:静置,静置过程中通过含氧量调节系统调节下泄流中的含氧量至预设稳定值,且静置过程中基于所述参数监控系统实时记录所述气体含氧量以及液体含氧量的变化情况。具体可以参考测试内容二对应的方法实施例部分的测试步骤五,此处不再赘述。

[0134] 综上所述,本发明的核电厂容控箱除氧测试系统以及方法,具有以下有益效果:本发明的测试系统提供上充流和下泄流的流量控制、下泄流温度调节、下泄流含氧量控制、氮气补给以及气体排放等功能,基于这些功能,可以实现“间歇吹扫”、“憋压排气”的测试,并且本发明还分别就“间歇吹扫”、“憋压排气”在不同工况的情形分别设计了相应的测试方法,以测试“间歇吹扫”、“憋压排气”对容控箱除氧的效果,并通过测试获得容控箱液位、单次等待时间和单次吹扫时间这些关键因素对“间歇吹扫”除氧效果的影响规律;以及通过测试获得静置时间对“憋压排气”除氧效果的影响规律;并且通过两种方法的测试数据的比较,可以获得“间歇吹扫”和“憋压排气”两种方法在除氧效果上的差异,为实际机组除氧策略调整提供更优的数据支撑。

[0135] 上面结合附图对本发明的实施例进行了描述,但是本发明并不局限于上述的具体

实施方式,上述的具体实施方式仅仅是示意性的,而不是限制性的,本领域的普通技术人员在本发明的启示下,在不脱离本发明宗旨和权利要求所保护的范围情况下,还可做出很多形式,这些均属于本发明的保护之内。

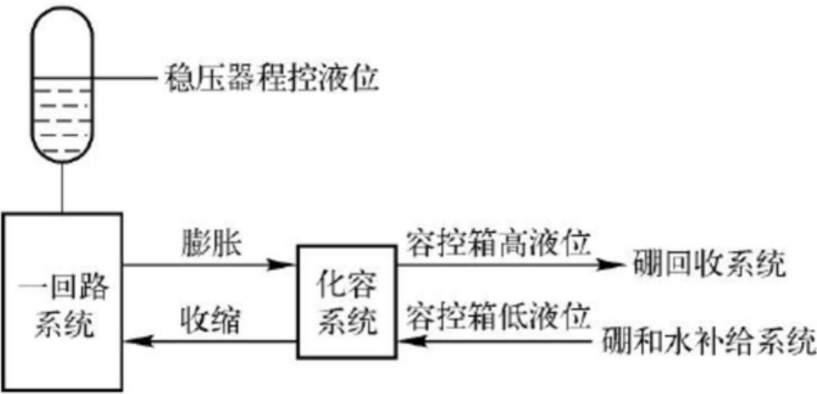


图1

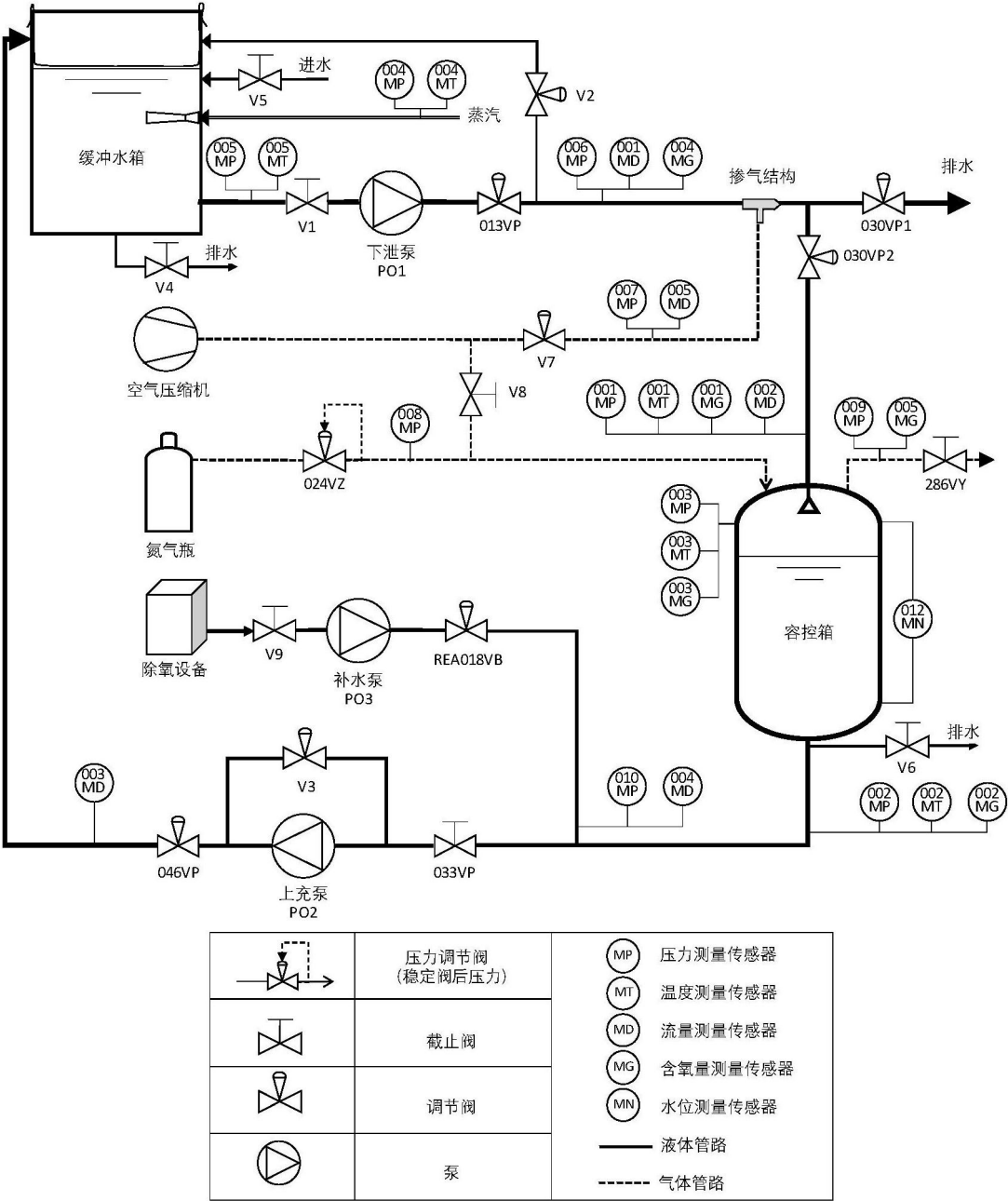


图2