



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111192702 A

(43)申请公布日 2020.05.22

(21)申请号 202010107232.2

(22)申请日 2020.02.21

(71)申请人 三门核电有限公司

地址 317112 浙江省台州市三门县健跳镇
三门核电厂区

(72)发明人 侯涛 孟宪波 姜磊 范赏
吴旭东 吴元明 潘宗鹏 刘高勇
钟铁 李敏华

(74)专利代理机构 浙江千克知识产权代理有限
公司 33246

代理人 任婷婷

(51)Int.Cl.

G21D 1/00(2006.01)

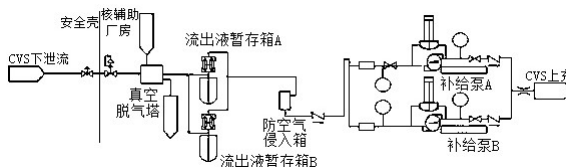
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

基于酸性条件的压水堆核电厂首循环启动
一回路除氧方法

(57)摘要

本发明涉及冷却剂除氧技术领域,具体为一种基于酸性条件的压水堆核电厂首循环启动一回路除氧方法,包括L1流出液暂存箱氮气吹扫;L2一回路冷却剂系统抽真空;L3一回路充水;L4一回路动态排气;L5建立流出液暂存箱氮气覆盖;L6建立真空脱气塔与流出液暂存箱脱气循环;L7启动主泵总气体含量测量;L8计算联氨的添加量;L9通过稳压器主喷淋的方式添加联氨;L10逆止阀泄露判断以确认联氨是否已经加入并混匀,是,则关闭稳压器喷淋并进入L11;否,则返回L9。本申请在没有容积控制箱及酸性条件的前提下,通过结合改进的物理除氧技术和化学除氧工艺,大幅度提升了除氧速度,减少了占用的关键路径时间,缓解了没有容积控制箱及酸性条件的除氧困难。



1. 基于酸性条件的压水堆核电厂首循环启动一回路除氧方法,其特征在于:包括
 - L1流出液暂存箱氮气吹扫;
 - L2一回路冷却剂系统抽真空;
 - L3一回路充水;
 - L4一回路动态排气;
 - L5建立流出液暂存箱氮气覆盖;
 - L6建立真空脱气塔与流出液暂存箱脱气循环;
 - L7启动主泵总气体含量测量;
 - L8 计算联氨的添加量;
 - L9通过稳压器主喷淋的方式添加联氨;
 - L10逆止阀泄漏判断以确认联氨是否已经加入并混匀,是,则关闭稳压器喷淋并进入L11;否,则返回L9;
 - L11稳压器使用电加热器最大速度升温至110℃,当稳压器溶解氧小于100ppb时,稳压器开始建立汽腔;同时一回路使用主泵升温至110℃,当一回路溶解氧小于100ppb时,稳压器汽腔建立完成,否则,返回L9;
 - L12除氧完成。
2. 根据权利要求1所述的基于酸性条件的压水堆核电厂首循环启动一回路除氧方法,其特征在于:所述L1具体包括
 - 11. 将流出液暂存箱A、B的溢流口封堵;
 - 12. 在流出液暂存箱A、B与VAS排气管线的接口法兰处安装盲板;
 - 13. 对流出液暂存箱A、B安装入口管线排气阀(3),并对所述入口管线排气阀(3)安装临时压力表;
 - 14. 对流出液暂存箱A、B安装入口管线疏水阀(2),并将所述入口管线疏水阀(2)与VAS排气管线连接;
 - 15. 对流出液暂存箱A、B安装三通入口阀前管线疏水阀(1),并将所述三通入口阀前管线疏水阀(1)与供氮管线连接;
 - 16. 将入口管线排气阀(3)打开;将入口管线疏水阀(2)打开;
 - 17. 打开三通入口阀前管线疏水阀(1)以对所述流出液暂存箱A、B上部空气进行吹扫;
 - 18. 吹扫n个小时,且当所述入口管线疏水阀(2)的出口氧气浓度小于a%时关闭所述入口管线疏水阀(2);
 - 19. 关闭所述三通入口阀前管线疏水阀(1)。
3. 根据权利要求1所述的基于酸性条件的压水堆核电厂首循环启动一回路除氧方法,其特征在于:所述L2具体包括
 - 21. 将主泵定子腔抽真空;
 - 22. 将真空系统与稳压器顶部的排气管线连接,启动真空系统以将一回路冷却剂系统中的空气排至安全壳净化系统;且抽真空后,一回路冷却剂系统的绝对压力小于20kpa。
4. 根据权利要求1所述的基于酸性条件的压水堆核电厂首循环启动一回路除氧方法,其特征在于:所述L3具体将一回路充水至稳压器窄量程液位的96%,然后对压力容器顶盖管线、辅助喷淋管线、稳压器排气管线进行排气。

5. 根据权利要求1所述的基于酸性条件的压水堆核电厂首循环启动一回路除氧方法, 其特征在于: 所述L4具体为顺序点动四台反应堆冷却剂泵, 并提高主泵的转速至50%以排出蒸汽发生器传热管内的气体, 主泵在50%转速平台运行30秒停止, 蒸汽发生器传热管大部分气体排出到反应堆压力容器上封头, RCS降压后, 溶解气体逸出到反应堆压力容器上封头和稳压器, 最后通过ADS排气阀将气体排出。

6. 根据权利要求1所述的基于酸性条件的压水堆核电厂首循环启动一回路除氧方法, 其特征在于: 所述L5具体包括

51. 将与所述三通入口阀前管线疏水阀(1)连接的供氮管线拆除并与入口管线排气阀二(4)连接;

52. 打开所述入口管线排气阀二(4);

53. 调节供氮管线开度以使所述流出液暂存箱 A、B内微正压保持在0.01Mpa至0.02MPa。

7. 根据权利要求1所述的基于酸性条件的压水堆核电厂首循环启动一回路除氧方法, 其特征在于: 所述L6具体包括

61. 一回路冷却剂下泄进入真空脱气塔, 在真空脱气塔中完成除气和除氧;

除气除氧水进入流出液暂存箱A、B进行除氧;

流出液暂存箱A、B出来的除氧水经过防空气侵入箱后通过化学容积控制系统的补给泵A、B重新进入一回路。

8. 根据权利要求1所述的基于酸性条件的压水堆核电厂首循环启动一回路除氧方法, 其特征在于: 所述L7具体为, 主泵启动后, 分析一回路的总含气量, 当总气体含量 $\geq 119\text{cc/kg}$, 禁止主泵转速超过50%; 当总气体含量 $> 40\text{cc/kg}$ 时, 重新进行L4; 当总气体含量 $< 40\text{cc/kg}$ 时, 表明一回路动态排气完成。

9. 根据权利要求1所述的基于酸性条件的压水堆核电厂首循环启动一回路除氧方法, 其特征在于: 所述L8具体为

当 $5\text{ppm} < \text{一回路溶解氧浓度} \leq 8\text{ppm}$ 时, 添加联氨的目标浓度 $= 2 * [\text{O}_2] + (2-4)\text{ppm}$;

当 $2\text{ppm} < \text{一回路溶解氧浓度} \leq 5\text{ppm}$ 时, 添加联氨的目标浓度 $= 3 * [\text{O}_2]$;

当 $0.1\text{ppm} < \text{一回路溶解氧浓度} \leq 2\text{ppm}$ 时, 添加联氨的目标浓度 $= [\text{O}_2] + (2-4)\text{ppm}$;

其中 $[\text{O}_2]$ 为一回路溶解氧含量。

10. 根据权利要求1所述的基于酸性条件的压水堆核电厂首循环启动一回路除氧方法, 其特征在于: 所述L10具体为在联氨加入到一回路20分钟后使用快速显色剂进行显色判断。

基于酸性条件的压水堆核电厂首循环启动一回路除氧方法

技术领域

[0001] 本发明涉及冷却剂除氧技术领域,具体为一种基于酸性条件的压水堆核电厂首循环启动一回路除氧方法。

背景技术

[0002] 压水堆电站一回路冷却剂中存在溶解氧,溶解氧在高温条件下会导致系统设备均匀腐蚀,增加金属材料SCC(应力腐蚀开裂)的敏感性,缩短设备的使用寿命。且腐蚀产物在一回路辐照条件下会生成活化产物,增加大修期间人员的辐照剂量。因此,一回路升温至121℃之前,要求溶解氧的含量小于100ppb。

[0003] 现有的压水堆电站一回路的除氧方式有物理预除氧法、物理除氧法和化学除氧法。预除氧是指一回路抽真空、静动排气等操作除氧。物理除氧方法主要两种,一种为容控箱氮气吹扫方式:一回路下泄流至容控箱,通过容控箱上部进行氮气吹扫,利用亨利定律去除溶液中的溶解氧;另一种为采用除氧水上充下泄稀释方式:通过采用除氧除盐水对一回路冷却剂上充下泄,不断稀释冷却剂中的氧浓度,达到一回路除氧目的。目前压水堆电站在启动阶段广泛使用的化学除氧方式为:使用一定浓度的联氨和溶解氧发生反应,达到除氧的目的。化学除氧时,根据机组的化学控制策略不同,可以分为酸性条件除氧和碱性条件除氧。对于升温至约80℃时,即可添加氢氧化锂的机组,联氨和溶解氧的反应在碱性条件下进行,即为碱性除氧。对于在余热排出系统退出后,才能添加氢氧化锂的机组,联氨和溶解氧在酸性条件下反应,即为酸性除氧。

[0004] AP1000机组设计上没有容控箱,无法像传统电站一样使用容控箱的氮气吹扫来减少一回路的溶解氧;另外,部分核电的化学控制策略要求在酸性条件下除氧。根据公开资料显示,酸性条件联氨和溶解氧的反应速度小于碱性条件下的反应速度。在一回路首循环启动升温的除氧过程中,没有辐照条件,极大的制约了化学除氧速度,并严重影响机组启动的关键路径。因此急需一种新的除氧工艺来加快除氧速度。

发明内容

[0005] 本发明针对现有技术存在的问题,提出了一种基于酸性条件的压水堆核电厂一回路除氧方法,改善和量化了化学除氧工艺,大幅度提升了除氧速度,减少了占用的关键路径时间,缓解了没有容积控制箱及酸性条件的除氧困难。

[0006] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:基于酸性条件的压水堆核电厂首循环启动一回路除氧方法,包括

- L1流出液暂存箱氮气吹扫;
- L2一回路冷却剂系统抽真空;
- L3一回路充水;
- L4一回路动态排气;
- L5建立流出液暂存箱氮气覆盖;

L6建立真空脱气塔与流出液暂存箱脱气循环；

L7启动主泵总气体含量测量；

L8 计算联氨的添加量；

L9通过稳压器主喷淋的方式添加联氨；

L10逆止阀泄漏判断以确认联氨是否已经加入并混匀，是，则关闭稳压器喷淋并进入L11；否，则返回L9；

L11稳压器使用电加热器最大速度升温至110℃，当稳压器溶解氧小于100ppb时，稳压器开始建立汽腔；同时一回路使用主泵升温至110℃，当一回路溶解氧小于100ppb时，稳压器汽腔建立完成，否则，返回L9；

L12除氧完成。

[0007] 作为优选，所述L1具体包括

11. 将流出液暂存箱A、B的溢流口封堵；

12. 在流出液暂存箱A、B与VAS排气管线的接口法兰处安装盲板；

13. 对流出液暂存箱A、B安装入口管线排气阀3，并对所述入口管线排气阀3安装临时压力表；

14. 对流出液暂存箱A、B安装入口管线疏水阀2，并将所述入口管线疏水阀2与VAS排气管线连接；

15. 对流出液暂存箱A、B安装三通入口阀前管线疏水阀1，并将所述三通入口阀前管线疏水阀1与供氮管线连接；

16. 将入口管线排气阀3打开；将入口管线疏水阀2打开；

17. 打开三通入口阀前管线疏水阀1以对所述流出液暂存箱A、B上部空气进行吹扫；

18. 吹扫n个小时，且当所述入口管线疏水阀2的出口氧气浓度小于a%时关闭所述入口管线疏水阀2；

19. 关闭所述三通入口阀前管线疏水阀1。

[0008] 作为优选，所述L2具体包括

21. 将主泵定子腔抽真空；

22. 将真空系统与稳压器顶部的排气管线连接，启动真空系统以将一回路冷却剂系统中的空气排至安全壳净化系统；且抽真空后，一回路冷却剂系统的绝对压力小于20kpa。

[0009] 作为优选，所述L3具体将一回路充水至稳压器窄量程液位的96%，然后对压力容器顶盖管线、辅助喷淋管线、稳压器排气管线进行排气。

[0010] 作为优选，所述L4具体为顺序点动四台反应堆冷却剂泵，并提高主泵的转速至50%以排出蒸汽发生器传热管内的气体，主泵在50%转速平台运行30秒停止，蒸汽发生器传热管大部分气体排出到反应堆压力容器上封头，RCS降压后，溶解气体逸出到反应堆压力容器上封头和稳压器，最后通过ADS排气阀将气体排出。

[0011] 作为优选，所述L5具体包括

51. 将与所述三通入口阀前管线疏水阀1连接的供氮管线拆除并与入口管线排气阀二4连接；

52. 打开所述入口管线排气阀二4；

53. 调节供氮管线开度以使所述流出液暂存箱 A、B内微正压保持在0.01Mpa至

0.02MPa。

[0012] 作为优选,所述L6具体包括

61. 一回路冷却剂下泄进入真空脱气塔,在真空脱气塔中完成除气和除氧;

62. 除气除氧水进入流出液暂存箱A、B进行除氧;

63. 流出液暂存箱A、B出来的除氧水经过防空气侵入箱后通过化学容积控制系统的补给泵A、B重新进入一回路。

[0013] 作为优选,所述L7具体为,主泵启动后,分析一回路的总含气量,当总气体含量 $\geq 119\text{cc/kg}$,禁止主泵转速超过50%;当总气体含量 $> 40\text{cc/kg}$ 时,重新进行L4;当总气体含量 $< 40\text{cc/kg}$ 时,表明一回路动态排气完成。

[0014] 作为优选,所述L8具体为

当 $5\text{ppm} < \text{一回路溶解氧浓度} \leq 8\text{ppm}$ 时,添加联氨的目标浓度 $= 2 * [O_2] + (2-4) \text{ppm}$;

当 $2\text{ppm} < \text{一回路溶解氧浓度} \leq 5\text{ppm}$ 时,添加联氨的目标浓度 $= 3 * [O_2]$;

当 $0.1\text{ppm} < \text{一回路溶解氧浓度} \leq 2\text{ppm}$ 时,添加联氨的目标浓度 $= [O_2] + (2-4) \text{ppm}$;

其中 $[O_2]$ 为一回路溶解氧含量。

[0015] 作为优选,所述L10具体为在联氨加入到一回路20分钟后使用快速显色剂进行显色判断。

[0016] 有益效果

本申请在没有容积控制箱及酸性条件的前提下,通过结合改进的物理除氧技术和化学除氧工艺,大幅度提升了除氧速度,减少了占用的关键路径时间,缓解了没有容积控制箱及酸性条件的除氧困难;本申请通过确定联氨添加量、加药温度、反应温度、化学药品添加方式和快速检测方法来改进化学除氧工艺,有效提高了一回路冷却剂的化学除氧效果,缩短了一回路的除氧时间,实现了减少除氧关键路径的目的;本申请的物理除氧技术采用真空脱气原理,将真空脱气塔除气和流出液暂存箱不间断循环组合,该方式能够有效降低一回路的溶解氧,不占用关键路径,不引入药剂,没有异物风险,且初始氧浓度低,大大减少了除氧时间。

附图说明

[0017] 图1为本申请脱气塔循环除氧示意图;

图2为本申请流出液暂存箱氮气吹扫示意图;

图3为本申请流出液暂存箱氮气覆盖示意图;

图4为本申请除氧速度和联氨浓度的关系示意图。

具体实施方式

[0018] 下面结合附图并通过具体实施方式来进一步说明本发明的技术方案。

[0019] 实施例一

一种基于酸性条件的压水堆核电厂首循环启动一回路除氧方法,包括

L1流出液暂存箱氮气吹扫。如图2所示,具体包括11.将流出液暂存箱A、B的溢流口封堵。12.在流出液暂存箱A、B与VAS排气管线的接口法兰处安装盲板。在上充下泄的过程中流出液暂存箱A、B会吸收空气中的氧,导致溶解氧升高,无法达到除氧的目的,因此需要对流

出液暂存箱在不影响设备功能的基础上进行密封。13. 对流出液暂存箱A、B安装入口管线排气阀3,并对所述入口管线排气阀3安装临时压力表。14. 对流出液暂存箱A、B安装入口管线疏水阀2,并将所述入口管线疏水阀2与VAS排气管线连接。15. 对流出液暂存箱A、B安装三通入口阀前管线疏水阀1,并将所述三通入口阀前管线疏水阀1与供氮管线连接。16. 将入口管线排气阀3打开,将入口管线疏水阀2打开。17. 打开三通入口阀前管线疏水阀1以对所述流出液暂存箱A、B上部空气进行吹扫。18. 吹扫至少两个小时,且当所述入口管线疏水阀2的出口氧气浓度小于2%时关闭所述入口管线疏水阀2。19. 关闭所述三通入口阀前管线疏水阀1。最后,使用肥皂泡检查供氮管线以及流出液暂存箱A、B相关法兰无氮气泄漏。

[0020] L2一回路冷却剂系统抽真空。真空注入系统连接到稳压器顶部的排气管线,真空系统启动并将反应堆冷却剂系统中的空气排至安全壳净化系统,需注意的是主泵定子腔在主泵启动前也要抽真空,并且操作要先于一回路抽真空或者与一回路抽真空同时进行,当主泵定子腔压力高于一回路压力6.9kpa以上时,主泵可能损坏,因此不能超过该限值。

[0021] 抽真空后,一回路冷却剂系统绝对压力小于20kpa。假设在一回路充水时存在V体积的气相空间,可以使一回路的溶解氧升高 C_0 ppm,根据经验 $C_0=5-10$ ppm。当以抽真空的方式充水时,绝对压力是表征一回路残余气体含量的指标,在 <20 kPa绝对压力下充水,可以减少80%的残余溶解氧,溶解氧的升高值仅 $<0.2C_0$ ppm,根据经验该值仅有1-2ppm。因此采用抽真空启动的方式可以有效的降低一回路初始溶解氧。

[0022] L3一回路充水。使用运行程序将一回路充水至稳压器窄量程液位的96%,然后对压力容器顶盖管线、辅助喷淋管线、稳压器排气管线进行排气。

[0023] L4一回路动态排气。顺序点动4台反应堆冷却剂泵,之后提高主泵的转速至50%,排出蒸汽发生器传热管内的气体。主泵在50%转速平台最多运行30s后停止,蒸汽发生器传热管大部分气体排出到反应堆压力容器上封头,RCS(反应堆冷却剂系统)降压后,溶解气体逸出到反应堆压力容器上封头和稳压器,最后通过ADS排气阀(自动排气阀)将气体排出。

[0024] L5建立流出液暂存箱氮气覆盖。如图3所示,具体包括51.将与所述三通入口阀前管线疏水阀1连接的供氮管线拆除并与入口管线排气阀二4连接。52.打开所述入口管线排气阀二4。53.调节供氮管线开度以使所述流出液暂存箱A、B内微正压保持在0.01Mpa至0.02MPa。最后,使用肥皂泡检查供氮管线以及流出液暂存箱A、B相关法兰无氮气泄漏。另外,还需要对流出液暂存箱A、B进行定期巡检,确认无氮气泄漏,流出液暂存箱A、B压力正常,保持在0.01Mpa至0.02MPa之间。

[0025] L6建立真空脱气塔与流出液暂存箱脱气循环。如图1所示,具体包括61.一回路冷却剂下泄进入真空脱气塔,在真空脱气塔中完成除气和除氧。62.除气除氧水进入流出液暂存箱A、B进行除氧。63.流出液暂存箱A、B出来的除氧水经过防空气侵入箱后通过化学容积控制系统的补给泵A、B重新进入一回路。除氧速度和脱气循环流量有关,执行过程中真空脱气塔的脱气循环流量应大于 $14\text{m}^3/\text{h}$ 。

[0026] 脱气塔的除氧原理为真空除气,通过抽真空的方式,维持脱气塔一定的真空度,当流出液呈雾状进入脱气塔顶部时,经过充分混合后扩大液体表面暴露在脱气塔内气相空间,并分为小股水流沿壁面流下。根据亨利定律,不凝气体在真空下分压降低,使液体中的不凝气体不断释放至气相中,不凝气体通过真空接口排出。由亨利定律可知,除气效果和真空度有关,真空度越高,除气效果也越好。但是因为气相空间中氧气始终存在分压,因此不

会将液体中的溶解氧全部去除。而真空脱气塔与流出液暂存箱配合使用后,能够得到高效的除氧效果。

[0027] L7启动主泵总气体含量测量。主泵启动后,分析一回路的总含气量,如果总气体含量 $\geq 119\text{cc/kg}$,禁止主泵转速超过50%。一般情况下,如果总气体含量 $< 40\text{cc/kg}$,则说明一回路的排气效果较好。若结果显示总气体含量 $> 40\text{cc/kg}$,应考虑是否再次执行排气。

[0028] L8 计算联氨的添加量。当 $5\text{ppm} < \text{一回路溶解氧浓度} \leq 8\text{ppm}$ 时,添加联氨的目标浓度 $= 2 * [\text{O}_2] + (2-4) \text{ppm}$;当 $2\text{ppm} < \text{一回路溶解氧浓度} \leq 5\text{ppm}$ 时,添加联氨的目标浓度 $= 3 * [\text{O}_2]$;当 $0.1\text{ppm} < \text{一回路溶解氧浓度} \leq 2\text{ppm}$ 时,添加联氨的目标浓度 $= [\text{O}_2] + (2-4) \text{ppm}$;其中 $[\text{O}_2]$ 为一回路溶解氧含量。

[0029] 对于联氨添加量的确定,化学除氧速度和溶液中的联氨及溶解氧浓度积成正比。当联氨浓度过剩量增加时,可以加快除氧速度。

$$\frac{-d[\text{O}_2]}{dt} = A[\text{N}_2\text{H}_4] \times [\text{O}_2]$$

[0030] 其中, $\frac{-d[\text{O}_2]}{dt}$ 为反应速度, $\text{mmol}/(\text{L} \cdot \text{s})$,A为反应速度常数, $[\text{N}_2\text{H}_4]$ 为联氨的浓度, mmol/L , $[\text{O}_2]$ 为氧气的浓度, mmol/L 。理论上,联氨和溶解氧的相对分子质量都是 $32\text{g}/\text{mol}$,联氨和氧反应的化学计量比应该是1:1,但实际上,联氨的消耗量比溶解氧多,原因是:

- 热试期间使用催化除氧单元出口水源上充下泄,导致联氨被稀释;
- 一回路中存在汽腔聚集溶解氧。例如在计算联氨的添加时,会计算气相中的氧气含量,一般会增加1-2ppm 的联氨含量。

[0031] 本申请在经过大量试验后获得了实际反应的联氨消耗量与初始溶解氧浓度的关系为,联氨反应量大致为初始溶解氧浓度2.1倍。

[0032] 随着反应的进行,溶解氧降低至较低水平时,除氧速度变慢,联氨和溶解氧的比值却不断增大,如图4所示,a)在溶解氧浓度在2-6ppm时,按照3倍溶解氧浓度添加联氨,可以维持整个除氧过程较高的反应速度;b)当溶解氧浓度接近600ppb时,残余联氨浓度为4ppm左右。联氨浓度是溶解氧的 7倍。但是此时,反应速度也仅有200ppb/小时。因此当溶解氧含量较低时,联氨的添加量不限于联氨和溶解氧的倍数,而应以残余3-4ppm联氨,计算加药量。

[0033] 结合大量实验数据,确定联氨添加量为,当 $5\text{ppm} < \text{溶解氧浓度} \leq 8\text{ppm}$ 时,添加联氨的目标浓度 $= 2 [\text{O}_2] + (2-4) \text{ppm}$;当 $2\text{ppm} < \text{溶解氧浓度} \leq 5\text{ppm}$ 时,添加联氨的目标浓度 $= 3 [\text{O}_2]$;当 $0.1\text{ppm} < \text{溶解氧浓度} \leq 2\text{ppm}$,添加联氨的目标浓度 $= [\text{O}_2] + (2-4) \text{ppm}$ 残余;其中, $[\text{O}_2]$ 为一回路溶解氧含量。

[0034] L9通过稳压器主喷淋的方式添加联氨。稳压器采用主喷淋添加的方式进行联氨添加。

[0035] 现有技术大都采用辅助喷淋添加方式:通过CVS(化学容积控制系统)辅助喷淋管线,将联氨溶液加入到稳压器中。该方式的优点是可以调节稳压器中的联氨浓度,保持较高的联氨浓度加快稳压器的除氧速度,以尽早建立汽腔。但是该方式具有明显的缺点:辅助喷淋流量低添加药品速度慢,联氨全部加入到稳压器需要约2小时;通过辅助喷淋加药时,需

调节主泵转速至50%，系统操作风险大，工作流程复杂，升温速度明显偏慢。因此，本申请采用主喷淋添加的方式进行联氨添加，具体为通过上充管线将联氨加入到一回路中，在一回路主泵快速混匀后，通过主喷淋进入稳压器中。该方式的优点为主喷淋流量大，联氨在稳压器中混合速度快，仅需约半小时；主泵转速不需要调低，升温速度快。但这种方式无法调节稳压器的联氨浓度，无法保持较高的联氨浓度加快稳压器的除氧速度以尽早建立汽腔。本申请在采用主喷淋添加方式的基础上结合本申请其他步骤的改进来克服主喷淋添加方式的不足，从而使本申请一回路化学除氧方法的除氧效果得到整体提高。

[0036] L10逆止阀泄漏判断以确认联氨是否已经加入并混匀。在联氨加入到一回路20分钟后使用快速显色剂对联氨进行快速检测。联氨添加过程中，因净化回流管线止回阀和流出液至CVS补水入口止回阀有可能发生泄漏，导致联氨没有加入到系统中，严重影响关键路径。因此在添加联氨后，应快速判断药品是否已正常加入。传统的核岛取样、热区外送、实验室分析测量等，最快需约2小时出结果，才能判断止回阀是否故障、药品是否已加入到系统。本申请采用联氨的快速检测方法，在联氨加入后约20分钟，使用快速显色剂进行显色判断，可以缩短关键路径。当一回路和稳压器的联氨浓度被快速检测表明药剂已经加入系统中，且浓度基本一致（显色后颜色基本一致）后，通知主控停止加药，关闭稳压器喷淋，最大化稳压器升温速度，直至升温至110℃。

[0037] L11稳压器使用电加热器最大速度升温至110℃，当稳压器溶解氧小于100ppb时，稳压器开始建立汽腔；同时一回路使用主泵升温至110℃，当一回路溶解氧小于100ppb时，稳压器汽腔建立完成，否则，返回L9。确认联氨加入到一回路和稳压器中后，关闭稳压器喷淋阀，最大化稳压器升温速度至目标反应温度110℃平台，同时一回路也尽可能快的升温至110℃。目的是最大化稳压器除氧速度，以利于尽早建立汽腔（关键路径）。在稳压器除氧和建立汽腔的同时，最大化一回路除氧速度，降低其成为关键路径的风险。

[0038] 对于除氧温度的确定，在2号机组热试除氧过程中，当温度在80-100℃时，除氧速度355ppb/h；温度升高至110℃时，除氧速度是561ppb/h。在除氧后期，因为溶解氧已经降低至很低水平，反应动力减少，导致除氧速度又重新变慢。因此联氨和溶解氧的反应温度平台应维持在110-120℃之间，最大化除氧速度。

[0039] L12除氧完成。除氧合格后，持续监督一回路的溶解氧浓度，直至氢气浓度建立。投运除盐床前，应使用除氧水冲洗树脂，避免向一回路引入含氧水。热试期间，应维持补给水催化除氧单元可用，随时具备向一回路中补充除盐水的的功能。首次启动期间，应维持流出液暂存箱的氮气覆盖，直至氢气浓度满足要求。

[0040] 上面所述的实施例仅是对本发明的优选实施方式进行了描述，并非对本发明的构思和范围进行限定。在不脱离本发明设计构思的前提下，本领域普通人员对本发明的技术方案做出的各种变型和改进，均应落入到本发明的保护范围，本发明请求保护的技术内容，已经全部记载在权利要求书中。

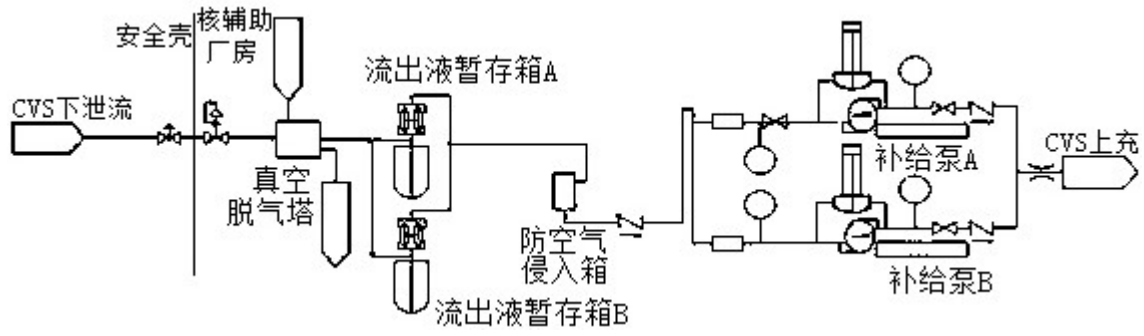


图 1

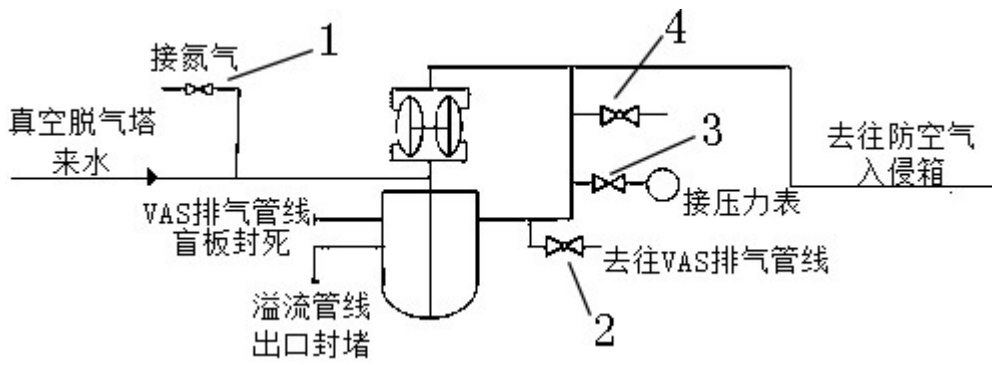


图 2

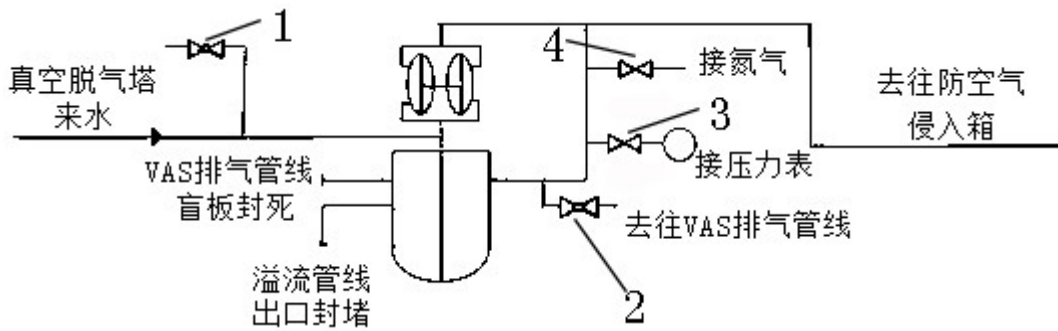


图 3

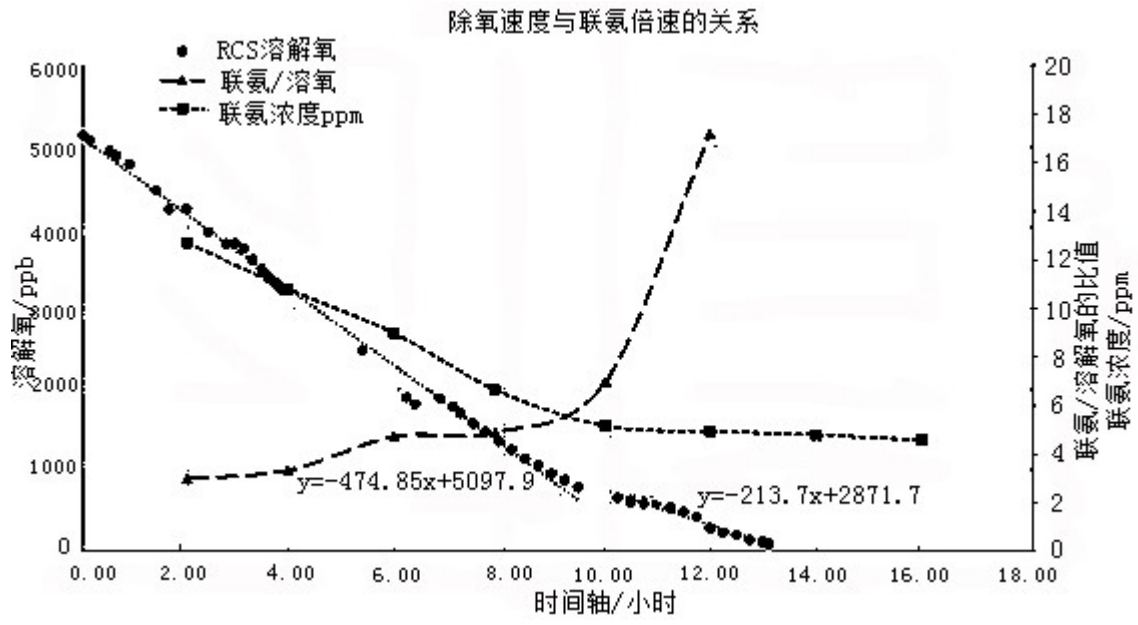


图 4