

文章编号 : 0258-0926(2017)01-0082-03; doi: 10.13832/j.jnpe.2017.01.0082

三门核电厂高压加氢系统改进

王 旭

三门核电有限公司, 浙江台州, 317112

摘要: 核电厂运行期间, 一回路内的冷却剂会在辐照条件下分解为氢气和氧气。氧气会加剧一回路不锈钢材料腐蚀, 降低设备可靠性的同时增加放射性活化产物。国内核电厂普遍使用一回路加氢技术抑制一回路冷却剂的辐照分解。传统核电厂采用容积控制箱(容控箱)对一回路冷却剂降压, 然后使用低压加氢技术为一回路冷却剂加氢。由于非能动百万千瓦级先进压水堆 AP1000 核电厂一回路取消容控箱, 需要采用高压加氢技术为一回路冷却剂加氢。本文介绍了 AP1000 核电厂目前使用的高压加氢方案, 对其在运行过程中可能出现的问题进行分析, 并提出了改进方法。

关键词: AP1000; 高压加氢; 容控箱

中图分类号: TM621 **文献标志码:** A

Improvement of High Pressure Hydrogen Injection System in Sanmen Nuclear Power Plant

Wang Xu

Sanmen Nuclear Power Co. Ltd., Taizhou, Zhejiang, 317112, China

Abstract: During nuclear power plant operation, the coolant in the primary loop will decompose to hydrogen and oxygen under radiation condition. Oxygen will aggravate the corrosion of stainless steel in the primary loop, reducing the equipment reliability and increasing the radioactive activation products. Normally nuclear power plants use the primary loop hydrogen injection to inhibit the radiation decomposition of the primary coolant. Traditional nuclear power plant uses the chemical and volume control tank to reduce the pressure of coolant and inject low pressure hydrogen. AP1000 use the high-pressure hydrogen injection technology, because there is no chemical and volume control tank in AP1000 nuclear power plant. This paper introduces the current high-pressure hydrogen injection scheme used by AP1000, analyzes the possible problems during operation, and suggests the improved scheme.

Key words: AP1000, High pressure hydrogen injection, Volume condition box

0 前 言

核电厂正常运行期间, 一回路处在高温、高压、高辐照剂量的环境下, 一回路冷却剂在辐照条件下会分解产生氢气和氧气。溶解氧与一回路的不锈钢材质发生电化学腐蚀, 在降低设备可靠性的同时产生大量的腐蚀产物, 腐蚀产物在高辐照环境下极易被活化为放射性的活化产物; 这些活化产物在系统内不断积累并在局部富集, 易造

成电厂人员辐射剂量的增加, 对环境和人员产生危害。

在辐照条件下, 一回路冷却剂分解产生氢气和氧气, 同时也可以逆向生成水。增加水中的氢的浓度可以抑制水由于辐照分解产生的氧^[1], 从而减少一回路中的溶解氧, 减少腐蚀产物和活化产物。传统二代或二代加核电厂中通过在下泄回路中设置容积控制箱(容控箱)将一回路冷却剂

降温降压后采用低压加氢技术将氢气加入一回路内，抑制水的辐照分解。由于冷却剂在降温降压过程中浪费了能量，增加了设备，所以非能动百万千瓦级先进压水堆 AP1000 核电厂取消了容控箱，下泄流无降压过程，这要求 AP1000 核电厂必须采用高压加氢技术实现一回路加氢。

1 目前方案

目前 AP1000 核电厂高压加氢的氢气来自电厂气体系统 (PGS) 的高压氢气站。高压氢气站为单机组设置 (图 1)；每座高压氢气站内安装有 4 只高压氢气瓶；每支高压氢气瓶容积为 37.4 L。高压氢气瓶额定充装压力为 41.4 MPa^[2]，经调节阀后维持注入一回路的氢气在 19.32 MPa。高压氢气站内 4 支高压氢气瓶，分为 2 组，每 2 支气瓶为 1 组，2 组气瓶连接至自动切换阀。正常运行期间，由其中 1 组气瓶为化学和容积控制系统 (CVS) 加氢模块供气；当供气瓶压力低于 19.3 MPa 时，自动切换阀将自动切换至另一组气瓶，同时向主控室发出报警，提醒运行人员更换气瓶。

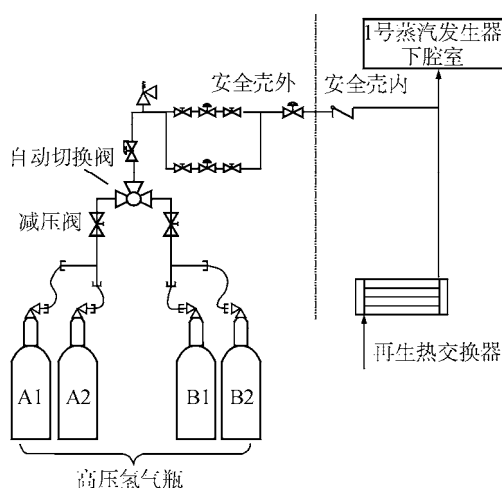


图 1 目前高压加氢方案

Fig. 1 High Pressure Hydrogen Injection Method at Present

由于无法从市场上直接采购到 41.4 MPa 的高压氢气，所以目前国内 AP1000 核电厂均在场内设置了氢气增压站，将低压氢气站提供的压力为 2.28~19.32 MPa 的低压氢气增压至 41.4 MPa，为高压氢气瓶充气。

氢气增压站布置在低压氢气站内，设计为全厂 6 台机组共用。氢气增压站分为压缩机间、罐瓶间、实瓶间、空瓶间。氢气增压站为模块化设

备，模块内集成控制单元和增压泵，并配有氢气泄漏报警装置。氢气增压站由 6 台独立的活塞式气动增压泵组成，可根据需要充气的高压氢气瓶数量同时投运不同数量的增压泵。增压泵出口接至汇流排；该汇流排最多可同时为 10 支高压氢气瓶充气。氢气增压站采用低压氢气站内的低压氢气作为氢气源，厂用压缩空气作为动力源，通过气动增压泵将 2.28~19.32 MPa 的低压氢气增压至 41.4 MPa 后经过汇流排充至高压氢气瓶内。每台机组设计配有 12 支高压氢气瓶。机组正常运行期间，4 支高压氢气瓶放在高压氢气站内使用，8 支高压氢气瓶放在氢气增压站的空瓶间或实瓶间用于备用。

氢气增压站为高压氢气瓶充气时，首先需要运行员将空瓶间内的空瓶（内部氢气压力 19.3 MPa）搬运至罐瓶间并连接在汇流排上，然后充气人员在氢气增压站柜内的控制面板上进行操作，待高压氢气瓶充满后，充气人员再将高压氢气瓶从汇流排上拆下，将充满的高压氢气瓶运至实瓶间，整个充装过程中均需要人员值守和操作。当高压氢气站内的高压氢气瓶出现压力低报警时，运行人员需要将氢气增压站内的实瓶使用气瓶推车运至高压氢气站，然后将高压氢气站内的空瓶从系统中拆除并安装运来的实瓶，最后将空瓶运回至氢气增压站的空瓶间。

4 支高压氢气瓶可为 CVS 供气 9.6 d。为了保证供气的连续性，当有 2 支氢气瓶出现低压报警时就需要进行更换，实际每台机组每 4.8 d 就需要更换一次高压氢气瓶。按照 6 台机组的厂址计算每天需要更换 2.5 支高压氢气瓶。按照氢气增压站每次为 10 支高压氢气瓶充气计算，需要每 4 d 启动一次氢气增压站。

2 改进方法

AP1000 核电厂一回路正常运行压力为 15.4 MPa。目前 CVS 高压加氢要求的最低压力为 19.3 MPa，所以只需保持高压加氢系统内氢气压力高于 20 MPa 便可以满足 CVS 高压加氢的要求。

改进方案 (图 2) 中将高压氢气站和氢气增压站整合在高压氢气站内。采用 2 支公称工作压力为 30 MPa、容积为 80 L (水容积) 的中容积气瓶^[3]。机组正常运行期间，2 支高压氢气瓶均可投入使用，待氢气瓶需要进行定期检验时，可将其

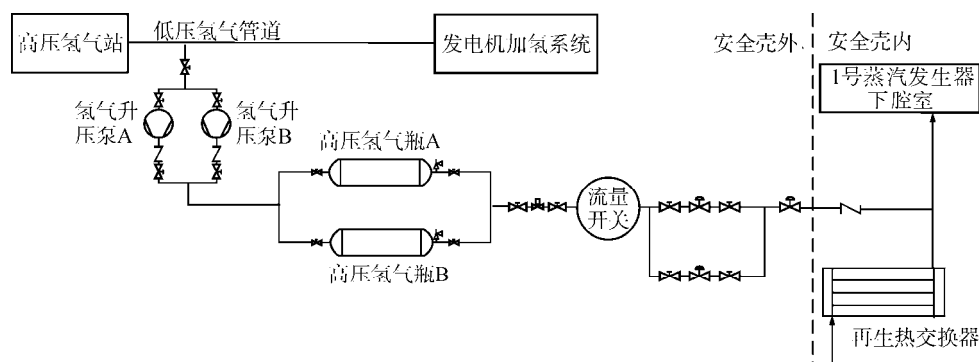


图2 改进后的高压加氢方法示意图

Fig. 2 Scheme of High Pressure Hydrogen Injection Improvement Method

中1支高压氢气瓶拆除外运检验,另1支继续运行;待检验气瓶检验合格回装后,另1支气瓶便可拆除外运检验,保持高压氢气瓶为CVS持续注氢。高压氢气站采用2台 $10\text{ m}^3/\text{h}$ 氢气升压泵,机组正常运行期间1台升压泵运行,另外1台备用。

氢气升压泵从低压氢气站至发电机加氢系统的低压氢气管网上引出一路管道作为氢气升压泵的气源,通过氢气升压泵将低压氢气管网内 $2.28\sim 19.32\text{ MPa}$ 的低压氢气升压至 25 MPa 并储存在高压氢气瓶中。

由计算可知,1只 80 L 的 25 MPa 氢气瓶可满足1台机组1d的用气需求。高压氢气站运行过程中无需人员值守,降低可能发生的事故中人员安全风险。高压氢气瓶入口安装压力变送器与氢气升压泵连锁,当高压氢气瓶压力降低至 20 MPa 时连锁启动氢气升压泵,当高压氢气瓶压力升至 25 MPa 时连锁停运氢气升压泵。氢气升压泵入口设置氢中氧分析仪,当氢气中氧含量超过 0.5% 时^[4],连锁停运氢气升压泵。氢气升压泵入口设置氮气管线接口,用于设备初次启动、检修过后设备投运、设备解体检修前等工况下系统内氢气的吹扫和置换。高压氢气瓶设置安全阀及爆破盘,以保证高压氢气瓶不会超压爆炸。高压氢气瓶出口设置电磁截断阀和流量开关,当流量大于设定值时电磁阀自动关闭,切断氢气供应,以防止下游管线破口导致大量氢气外漏积聚爆炸,同时流

量开关发出报警,提醒运行人员氢气可能发生泄漏。

3 结束语

改进方案不但能够满足CVS的高压加氢需求,同时可以避免目前方案中可能出现的问题。由于运行压力从 41.4 MPa 降低至 25 MPa ,降低了设备的设计制造和运行维护的难度,提高了设备可靠性。由于不需要人员频繁的更换高压氢气瓶,降低了运行人员的劳动强度,同时也降低了运行成本。由于改进方案中高压氢气站的运行采用无人值守的方式,降低了人员风险。在高压氢气站出口增加流量开关并联锁出口电磁阀,可避免高压氢气管网下游出现破口时大量氢气泄漏并在厂房内积聚造成火灾或爆炸。

改进方案降低高压氢气系统的运行压力,在满足用户需求的同时避免了目前方案中可能出现的问题。

参考文献:

- [1] 王凤军,刘红英,彭彦龙.压水堆核电厂一回路水化学控制[J].堆谷,2011,12(2):35-36.
- [2] 顾军.AP1000核电厂系统与设备[M].北京:原子能出版社.2010.
- [3] GB 5099-94.钢质无缝气瓶[S].1994.
- [4] GB/T4962-2008.氢气使用安全技术规程[S].2008.

(责任编辑:王中强)