

宁德核电基地容控箱压力控制偏高的原因分析

赵玉 于自由 张达雷

福建宁德核电有限公司

DOI:10.12238/etd.v3i3.5015

[摘要] 宁德核电基地程序要求容控箱压力0.7bar.g,同时设计手册中容控箱参数表也要求其压力为0.17Mpa.a(即0.7bar.g),但宁德核电基地1/2/3/4号机容控箱压力均高于程序要求值,才能保证一回路氢含量在25~35 ml/kg的期望值之间。本文从容控箱喷头结构、相关管线布置、影响溶氢因素、上充泵不同类型等多角度进行原因分析、定位。

[关键词] 容控箱; 一回路溶氢; 结构差异

中图分类号: TL82 **文献标识码:** A

Analysis on Cause of High Pressure Control of Volume Control Tank in Ningde Nuclear Power Station

Yu Zhao Ziyou Yu Dalei Zhang

Fujian Ningde Nuclear Power Co., Ltd

[Abstract] In Ningde nuclear power station, the procedure requires the pressure of the volume control tank to be 0.7 bar.g, at the same time, the parameter table of volume control tank in the design manual also requires its pressure to be 0.17 MPa.a (i.e. 0.7 bar.g). But actually, the pressure in the volume control tank of unit 1, 2, 3 and 4 in the Ningde nuclear power station must be higher than the required value of the procedure, so as to ensure that the hydrogen content in the primary circuit is between the expected value of 25 – 35 ml/kg. This paper analyzes and locates the reasons from many angles, such as the structure of the volume control tank nozzle, the layout of relevant pipelines, the factors affecting the dissolution of hydrogen, and different types of charging pumps.

[Key words] volume control tank; primary circuit dissolved hydrogen; structural differences

引言

宁德核电基地(以S1RCV004程序为例)S程序要求RCV容控箱压力0.7bar.g,同时SDM设计手册中容控箱参数表也要求其压力为0.17Mpa.a(即0.7bar.g),但宁德核电基地1/2/3/4号机容控箱压力均高于程序要求值,才能保证一回路氢含量在25~35ml/kg的期望值之间。4台机组容控箱压力和一回路氢含量历史高值见表1:

表1 容控箱压力与一回路氢含量对应表(宁德基地)

机组	N1	N2	N3	N4
容控箱压力	0.141Mpa.g	0.164Mpa.g	0.159Mpa.g	0.142Mpa.g
一回路氢含量	32ml/kg	26.5ml/kg	32.4ml/kg	30ml/kg

一直以来宁德基地容控箱压力相比大亚湾、阳江偏高,才能保证一回路溶氢量。本文对该原因进行分析探讨。具体各电站参数如下表2:

表2 容控箱压力与一回路氢含量对应表(多基地)

基地	容控箱压力 (bar.g)	一回路氢含量 (cm ³ /kg)	上充泵类型
宁德	1.4~1.6	27~29	KSB
红沿河	1.3~1.6	29~33	KSB
防城港	1.4~1.6	28~30	KSB
大亚湾	0.82/0.87	32/34	克莱德
岭澳	0.7/0.77	33/33	克莱德
岭东	1.07/0.81	33.7/28.59	克莱德
阳江	1~1.1	26~28	克莱德/重庆水泵
福清1/2	1.2/0.9	32.02/28.35	三菱
福清3	1.8	33.2	KSB

1 溶氢控制原因

1.1 一回路氢含量控制

反应堆功率运行时, 由于堆芯辐射的存在, 当冷却水经过堆芯区域时, 会受到伽马或中子等射线的照射, 从而吸收辐射能量, 并导致水的辐照分解, 水的辐照分解会生成一系列的离子和分子产物^[1], 总的化学反应式: $H_2O + \gamma \leftrightarrow H_2 + \frac{1}{2}O_2$ 。氧本身是一种很活泼的腐蚀元素, 且它还是其它元素侵蚀不锈钢材的催化剂。

根据亨利定律: 一容器内水中溶解的气体量与水面上该气体的分压力成正比^[2]。因此为了抑制水的辐照分解而产生对结构材料完整性有害的氧, 需要向一回路注入氢气; 机组通过在RCV002BA内充入氢气, 保持氢环境, 从而提高一回路冷却剂的氢含量向RCP(反应堆冷却剂系统)加入氢气, 正常运行时RCP(反应堆冷却剂系统)水中氢含量的要求为: $25\text{cm}^3/\text{kg} < H_2 < 35\text{cm}^3/\text{kg}$ (STP)。

为了保证氢气很好的溶解在一回路冷却剂中, 下泄流从容控箱顶部喷嘴喷出, 有利于一回路主冷却剂与氢气进行有效的接触, 达到有效除氧的目的。根据亨利定律, 需要保持RCV容控箱一定的氢气压力覆盖。

1.2 容控箱压力要求:

S程序中的压力调节要求: 氢气减压阀058VY调节容控箱压力到整定值0.7bar.g。

SDM设计手册中容控箱参数表要求: 容控箱正常压力为0.17Mpa.a(即0.7bar.g)。

2 宁德核电基地容控箱压力控制偏高原因分析

根据机组系统设备类型和布置以及影响一回路冷却剂溶氢因素进行分析, 导致宁核基地容控箱压力偏高才能保证一回路溶氢的可能原因如下:

2.1 容控箱喷头的结构与其他基地不同

根据RCV002BA结构图上尺寸、材料、型号(都是上海辅机厂外购的上海斯普瑞喷雾有限公司的喷头, 材料为0Cr18Ni12Mo2 T1 GB/T1220-1992, 重量都为3.3kg), 确认岭东、阳江和宁德电站的喷头设计要求一致。同时专业查看宁德备件库的RCV002BA喷头备件, 如图1所示, 喷头里面旋叶是固定的, 介质通过喷头后呈圆锥状。同时各个基地容控箱喷头结构一致, 该因素可能性低。

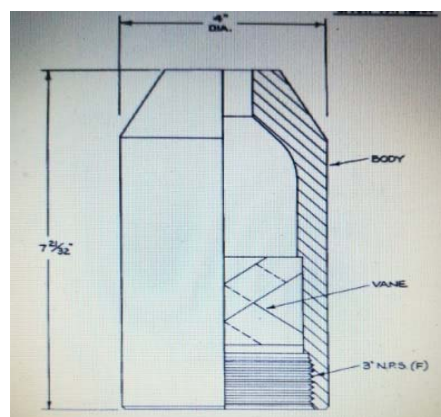
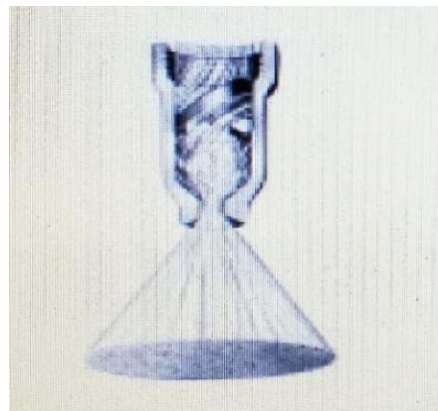


图1 RCV002BA喷头结构

2.2 RCV286VY存在内漏

RCV286VY是容控箱排气阀, 容控箱压力高时(2.8bar.g)自动开启, 压力恢复后(0.6bar.g)RCV287VY(容控箱背压控制阀)自动关闭, 保证容控箱压力范围为0.60~2.80bar.g。如果RCV286VY内漏, 将导致容控箱气体泄漏去TEP头箱, 从而影响一回路氢含量。根据机组RCV286VY关闭后TEG头箱的压力趋势(1TEG001MP及2TEG002MP)无变化判断, 可排除RCV286VY内漏可能性。

2.3 氢气供给管线、RCV058VY结构、下泄管道布置与其他基地对比

氢压控制阀RCV058VY结构以及氢压供给管线布置不同, 可能影响氢气供应压力以及纯度, 下泄管道布置不同, 可能影响氢气与下泄流的混合, 从而影响一回路氢含量。经过核查管道布置等轴图进行对比, 管线布置宁德、红沿河、阳江均一致。而RCV058VY结构宁德、红沿河、阳江也是一致的, 该原因可能性低。

2.4 一回路溶氢影响因素分析(如温度、压力、PH值、氢气纯度等)

(a) 溶解氢气与温度和压力的参考关系

经查阅HACH仪表厂家官方给出理论氢气在温度与压力条件下不同溶解关系可知: 依据物理化学原理, 理论上随着氢气压力提高, 温度降低, 都会提高溶氢的能力, 但温度影响幅度较小(宁德核电RCV002BA温度约35℃)。

(b) 水质控制条件对溶氢的影响

依据《化学与放射化学技术规范》中要求, 硼锂需控制在一

定的对应区间,此区间包含理论中值,期望值范围和限值范围^[3],宁德、红沿河和大亚湾都是以期望值范围为要求执行每日控制的,实际执行中均存在实际值在期望值范围内的中线值上下范围内的分布,即不存在单一固定偏低或偏高而带来的pH值范围有差异问题,故可以排除因pH值不同,导致三个厂的RCV溶氢数值区别的原因。

(c)关于主回路中离子含量差别的对比

经比对三个电厂RCP(反应堆冷却剂系统)中钠、钙、镁、铝、硅、氟、氯和硫酸根的数值基本都是几个ppb,乃至低于检出限的结果(硅基本是1~200个ppb水平,都相当),远低于技术规范要求(如钠<200ppb,硅<1000ppb等限值要求)。由此可以排除三个电厂因水质指标不同带来溶氢含量变化的影响。

(d)SHY制氢站氢气纯度对比

各个电厂的氢气纯度都是十分高的,差别化不足以引起RCV容控箱溶解氢气含量的区别(依据气体溶解亨利定律和道尔顿分压定理,该气体含量带来的溶解影响差别控制在千分之一水平)。

综上,通过一回路溶氢影响因素分析(如温度、压力、PH值、氢气纯度等)可能带来影响,但影响很小,可能性低。

2.5上充泵的类型不同影响

由于泵结构不同,泵实际汽蚀余量不同,使得容控箱不同压力下,通过上充泵进入一回路的介质的溶氢量达到期望值。

选取克莱德与凯士比上充泵各一台(见图2、图3),经查询上充泵完工报告,克莱德上充泵在160m³/h流量工况下,其必须汽蚀余量为7.08m;凯士比上充泵在159.2m³/h流量工况下,其必须汽蚀余量为7.59m。根据2.7.1章节中的必须汽蚀余量理论可知,凯士比上充泵在160m³/h流量工况下,其必须汽蚀余量>7.59m。说同样流量工况下,NPSHr(凯士比上充泵)>NPSHr(克莱德上充泵),即凯士比上充泵比克莱德上充泵更易汽蚀,凯士比上充泵在保证泵不汽蚀情况下需要更大压头才能将溶液压进泵腔。

根据不同结构离心泵相同流量工况下的NPSHr值不同可知,相同压力流量工况下,相同温度溶液在凯士比上充泵进口析出气体更多,使得上充泵注入一回路的溶液的溶氢量达不到期望值(25~35cm³/kg)。因此为了使一回路溶氢量达到期望值,需要提高容控箱压力来达到。

通过HACH仪表厂家提供的氢气在不同温度与压力下理论溶解关系表,根据容控箱温度35℃,查找表格对应容控箱压力为1.5bar.g时,容控箱里的溶氢量理论上应达到41.53cm³/kg,而该压力下,宁德核电一回路溶氢量为27~30cm³/kg,侧面说明了溶液在注入一回路之前有氢气析出回到容控箱。

因此,从各基地参数来看,由于泵结构不同导致宁德基地容控箱氢气压力偏高的可能性最高。

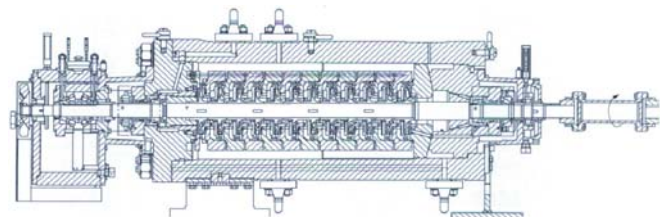


图2 KSB上充泵结构

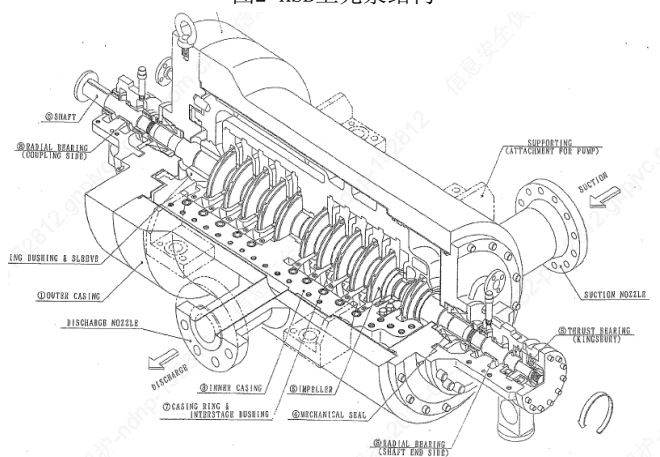


图3 克莱德、三菱、重庆水泵厂的上充泵

3 结论

综上所述,造成宁德核电容控箱压力相对大亚湾基地偏高原因为:由于上充泵结构不同,上充泵进口处低压区压力不同,导致从溶液中析出气体量不同(析出气体通过上充泵进口处向上倾斜的联合排气管线回到容控箱达到平衡),全抽芯式上充泵析出更多气体回到容控箱,因此宁德核电容控箱需要相对大亚湾基地偏高压力才能使进入上充泵打到一回路溶液的溶氢量达到期望值。

【参考文献】

[1]王晓东,水辐照分解对活化腐蚀产物源项计算影响研究[D],华北电力大学,2020.
 [2]傅献彩,沈文霞,姚天扬,等.物理化学(第五版)上册[M]:高等教育出版社,2005.
 [3]宋利君,刘飞华,李成涛,等.B-Li水化学对核电金属材料腐蚀的影响[J].核科学与工程,2014,34(02):257-262.

作者简介:

赵玉(1986—),男,汉族,河南省安阳市人,本科,工程师,从事核电厂运行工作。