

某核电站除盐水处理系统调试

顿小宝¹, 张瑞祥¹, 叶志强², 赵峰², 彭伟超²

(1. 西安热工研究院有限公司, 陕西 西安 710000; 2. 华能山东石岛湾核电有限公司, 山东 威海 264200)

摘要: 核电站调试较常规电厂有着明显区别, 简要介绍了某核电站除盐水处理系统工艺流程、调试过程, 详细描述了调试过程中出现的问题, 如 SDI 不合格、产生虹吸现象、管道位置不合理等, 提出了包括确定细砂规格、增加背压阀、改变阀门位置及优化设计等解决方案, 验证了方案的可行性, 可为同类系统提供参考。

关键词: 核电站; 除盐水处理; 调试

中图分类号: TU99 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)04-0119-04

Commissioning of a Demineralized Water System in a Nuclear Power Plant

DUN Xiao-bao¹, ZHANG Rui-xiang¹, YE Zhi-qiang², ZHAO Feng², PENG Wei-chao²

(1. Xi'an Thermal Power Research Institute Co. Ltd., Xi'an 710000, China; 2. Huaneng Shandong Shidao Bay Nuclear Power Co. Ltd., Weihai 264200, China)

Abstract: The commissioning of a demineralized water system in a nuclear power plant is markedly different from that in the conventional power plant. The technological process and commissioning process of the demineralized water system in a nuclear power plant were briefly introduced. The problems in the commissioning process were described in detail, including unqualified silt density index, siphonage, and the controversial pipeline positions. The proposed solutions, including specified fine sand size, adding back pressure valves, valve position adjustment and design optimization, were validated and can be used as a reference for similar system.

Key words: nuclear power plant; demineralized water system; commissioning

1 系统简介

山东某核电厂高温气冷堆示范工程为清华大学球床高温气冷实验堆产业化项目, 一期建设 1×200 MW 高温气冷堆核电机组, 远期还将采用第三代核电技术 AP1000 进行压水堆扩建, 规划容量将达到 9 000 MW。本工程除盐水处理系统将原水处理系统来的清水进行过滤、除盐处理, 产水水质满足全厂各用户的水质要求, 并输送到核岛、常规岛及电厂辅助设备 (Balance of Plant, BOP) 内的各用户。除盐水处理系统采用全膜法, 该法在常规电厂中应用较为广泛, 但在核电站水处理中应用较少^[1]。该系统主要由清水加热器、细砂过滤器、活性炭过滤器、一级

反渗透装置、二级反渗透装置和 EDI 装置组成, 并包括完整的反洗、清洗、加药等辅助系统。主要处理工艺流程见图 1。

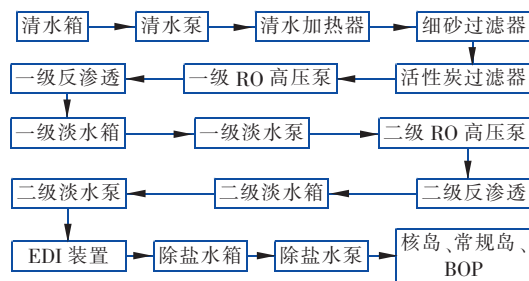


图1 除盐水处理系统工艺流程

Fig. 1 Flow chart of demineralized water treatment process

除盐水处理系统设计处理水量为 $2 \times 25 \text{ m}^3/\text{h}$, 出水 $\text{SiO}_2 < 20 \text{ }\mu\text{g/L}$, 电导率 $< 0.2 \text{ }\mu\text{S/cm}$ ($25 \text{ }^\circ\text{C}$)。主要设备技术参数如表 1 所示。

表 1 除盐水处理系统主要设备技术参数

Tab. 1 Technical parameters of demineralized water treatment system equipment

| 项目 | 设备 | 数量 | 参数 |
|-------|----------|-----|---|
| 预处理 | 清水泵 | 3 台 | $Q = 50 \text{ m}^3/\text{h}, H = 500 \text{ kPa}$ |
| | 清水加热器 | 2 台 | $Q = 50 \text{ m}^3/\text{h}$ |
| | 细砂过滤器 | 3 台 | 石英砂滤层厚为 800 mm |
| | 活性炭过滤器 | 3 台 | 活性炭滤层厚为 2 000 mm |
| | 絮凝剂投加设备 | 1 套 | 一箱两泵 |
| | 次氯酸钠投加设备 | 1 套 | 一箱两泵 |
| 一级反渗透 | 一级反渗透高压泵 | 2 台 | $Q = 40 \text{ m}^3/\text{h}, H = 1.1 \sim 1.6 \text{ MPa}$ |
| | 一级反渗透装置 | 2 套 | $Q = 30 \text{ m}^3/\text{h}$ |
| | 阻垢剂投加设备 | 1 套 | 一箱三泵 |
| | 还原剂投加设备 | 1 套 | 一箱三泵 |
| 二级反渗透 | 一级淡水泵 | 3 台 | $Q = 33 \text{ m}^3/\text{h}, H = 500 \text{ kPa}$ |
| | 二级反渗透高压泵 | 2 台 | $Q = 33 \text{ m}^3/\text{h}, H = 1.1 \sim 1.6 \text{ MPa}$ |
| | 二级反渗透装置 | 2 套 | $Q = 28 \text{ m}^3/\text{h}$ |
| | 碱投加设备 | 1 套 | 一箱三泵 |
| EDI | 二级淡水泵 | 3 台 | $Q = 28 \text{ m}^3/\text{h}, H = 500 \text{ kPa}$ |
| | EDI 装置 | 2 套 | $Q = 25 \text{ m}^3/\text{h}$ |

2 调试流程

2.1 系统移交流程

在常规火电项目调试过程中,调试人员在安装

表 2 一级反渗透、二级反渗透及 EDI 装置主要指标

Tab. 2 Main indexes of primary RO, secondary RO and EDI equipment

| 项 目 | 一级反渗透 | | 二级反渗透 | | EDI | |
|---|--------|--------|--------|--------|----------|----------|
| | A 列 | B 列 | A 列 | B 列 | A 列 | B 列 |
| 进水温度/ $^\circ\text{C}$ | 17.4 | 17.5 | 20.8 | 21.0 | 20.2 | 20.9 |
| 进水 pH 值 | 7.49 | 7.49 | 8.5 | 8.4 | — | — |
| 进水压力/MPa | 1.09 | 1.16 | 1.19 | 1.13 | 进淡水 0.32 | 进淡水 0.32 |
| 段间压力/MPa | 0.95 | 1.01 | 1.05 | 1.00 | 进浓水 0.20 | 进浓水 0.14 |
| 产水压力/MPa | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.07 | 产水 0.16 | 产水 0.13 |
| 浓水压力/MPa | 0.85 | 0.90 | 0.92 | 0.88 | 出浓水 0.15 | 出浓水 0.11 |
| 进水流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$ | 40.7 | 35.4 | 30.7 | 28.6 | 27.3 | 28.9 |
| 产水流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$ | 31.0 | 26.5 | 27.1 | 25.9 | 24.6 | 25.5 |
| 浓水流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$ | 10.8 | 8.2 | 3.0 | 2.5 | 3.0 | 3.2 |
| 进水电导率/ $(\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1})$ | 1 352 | 1 352 | 14.720 | 13.090 | 1.531 | 1.485 |
| 产水电导率/ $(\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1})$ | 12.780 | 12.170 | 1.289 | 1.476 | 0.055 | 0.056 |
| 产水硅含量/ $(\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$ | — | — | — | — | 15.5 | 16.6 |

3 调试问题及解决方法

3.1 反渗透进水管因取样管引起虹吸抽走药液

调试期间发现,当设备正常停运后,根据设备停

阶段已经介入,此种方式能够提早发现问题,尽早处理;随着安装工作的进行及单体调试工作的完成,牵头单位由安装逐步向调试过渡,但是没有明显的移交概念,工作责任人概念也相对不清晰,工作记录不完善,存在一定的安全隐患^[2]。

安全生产是重中之重,因此核电站项目各阶段有着明确的分工及责任。各系统应首先由安装承包商提交安装完工状态报告(EESR)初始文件,确定机械、电气、仪控的边界清单及流程图,并提出保留项;EESR 签字即设备的责任由安装承包商转移到调试的过程。此后调试方开展调试工作,完成后进行隔离移交(TOB)及维修移交(TOM),TOB 即设备的运行、安全责任由调试方向运行部转移;TOM 即设备的维修、管理责任由调试方向维修部转移。当调试方完成全部试验项目并证明系统能够安全运行,即可进行临时运行移交,将责任转移到生产部门。

2.2 调试试验程序

根据除盐水处理系统的实际情况,考虑功能性、隔离性、调试逻辑等原则,将除盐水处理系统划分为细砂过滤器、活性炭过滤器、一级反渗透、二级反渗透、EDI 五个分系统,分别编制启动试验程序,并根据分系统设备情况,进行控制系统调试、滤料浸泡、管道及设备冲洗、滤芯安装、相应加药系统调试、EDI 装置调整等试验。一级反渗透、二级反渗透及 EDI 装置调试完成后各项主要指标见表 2。

运时间长短不同,还原剂及阻垢剂计量箱内存在不同程度的药液液位降低现象;碱药品同样存在上述情况。调试人员首先检查现场,排除了计量箱排污

阀等处药品泄漏的可能。当打开一级反渗透保安过滤器前不合格水排放阀,管道存水排入排水沟,能够闻到带有明显刺鼻的还原剂药品气味,经分析认为反渗透进水管道的取样管引起虹吸抽走药液。一级反渗透进水母管为 OD159 管道,安装高度约 5 m,在一级反渗透支路前集中存在电导率、pH 值、SDI、温度、余氯、流量等测点,其中电导率、pH 值、余氯为连续取样,取样管为 OD20 不锈钢管道,药品计量箱高度约 2 m,设备停运后取样管依然因高度差的原因有水流过,取样点前约 3 m 处即为还原剂及阻垢剂加药点,此时反渗透进水管产生虹吸现象,将药液抽取至反渗透进水母管。经调试人员验证,设备停运后关闭各取样阀,未再发生药液液位降低现象,后期运行增加背压阀,选型满足能够克服约不大于 0.1 MPa 压力,即可避免药品浪费。

3.2 化验室自用除盐水泵再循环管道过短致发热

经化验室自用除盐水泵将除盐水箱的除盐水送至化验楼,供生产所需;自用除盐水泵设计有一路再循环管道,既能维持水泵出口一定压力,又能防止泵出口超压,但再循环管道为与母管一致的 OD25 不锈钢管,从泵出口直接连接至泵入口,管道总长度不足 3 m,当水泵运行 2~3 min 后再循环管道即明显发热,同时泵体存在温度升高现象,无法长时间连续运行。建议将再循环管道改至由泵出口送回除盐水箱。

3.3 因细砂规格不符引起SDI超标

细砂过滤器运行期间,在保证进水浊度 < 3.0 NTU 的前提下,出水浊度基本维持在 2.10~2.40 NTU,淤泥密度指数(SDI)在 4.3~3.7 范围变化,细砂对浊度的去除效果不明显;投加絮凝剂后,细砂过滤器内形成良好的絮凝体,但产水浊度下降较少,在反洗过程中细砂膨胀率较低,初步分析为细砂规格不符,无法起到过滤效果。

将细砂样本送至化验室,利用标准试验筛进行粒径分析,所用石英砂粒径 90% 为 0.4~0.8 mm,大于设计值(0.3~0.5 mm),经协调,将原有装填高度为 800 mm、粒径为 0.4~0.8 mm 的石英砂保留 200 mm 的装填高度,上层更换为 600 mm 高度、粒径为 0.3~0.5 mm 的石英砂,在确保较小粒径的石英砂不会穿过水帽后,验证出水浊度及 SDI,在絮凝剂投加量不变的情况下,出水浊度为 0.07~0.10 NTU,SDI < 2.7,满足反渗透进水要求。细砂更换前

后水质如表 3 所示。

表 3 细砂更换前后细砂过滤器水质

Tab. 3 Influent & effluent quality of fine sand filter

| 细砂过滤器 | | 进水浊度/ NTU | 产水浊度/ NTU | SDI |
|-------|-----|--------------|--------------|-----|
| 1 号 | 换砂前 | 3.0 | 1.40 | 3.5 |
| | 换砂后 | 2.7 | 0.08 | 2.7 |
| 2 号 | 换砂前 | 3.0 | 1.49 | 3.5 |
| | 换砂后 | 2.8 | 0.07 | 2.4 |
| 3 号 | 换砂前 | 2.9 | 1.55 | 4.0 |
| | 换砂后 | 2.7 | 0.09 | 2.5 |

3.4 过滤器正洗过程中无法取样

过滤器进水、正排均为 OD133 衬塑管道,且正排管无手动截止阀,在过滤器正冲过程中,设备内无正压,此时打开取样阀,则该处因水流较快,形成一定的真空度,取样阀处气体被抽入过滤器中,无法取样并判断正冲效果。经协调后增加正排管道手动截止阀,对正排进行一定的截留,维持过滤器内一定的正压,实现连续取样监测。

3.5 反渗透浓水回收管位较低,有虹吸回流可能

二级反渗透运行时,浓水经回收管道送至清水箱(见图 2),管道连接位置为清水箱底部约 0.5 m 处;清水箱高度为 4 m,回收管道最高处约 3 m,当设备停运且清水箱处于高液位时,存在清水箱内水回流入反渗透浓水侧的可能,考虑到清水箱内加入次氯酸钠药品,有较高的余氯值,若回流后即引起反渗透膜氧化破坏,而回流管道上的逆止阀无法彻底杜绝回流的可能。EDI 浓水回收至一级淡水箱,同样存在回收管道位置较低的现象。因此建议将回流管道改至水箱顶,高于水箱溢流管道的预留口处,彻底避免回流的可能,保护反渗透膜不被氧化破坏。

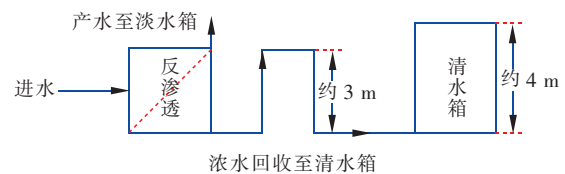


图 2 二级反渗透回收管道

Fig. 2 Sketch of secondary RO recycling pipeline

3.6 过滤器及反渗透无法实现自动投运

清水经细砂过滤器、活性炭过滤器后直接进入反渗透。单列运行时,过滤器出水先由反渗透保安过滤器前不合格水排放管道排放,当测定 SDI 合格后切换至反渗透进水管;但不合格水排放管道无

气动门,只通过手动门无法实现自动控制,且手动操作极为不便。双列运行,当一列正常运行,另一列投入过滤器进行正冲时,由于正冲管道无手动截止阀,过滤器出水母管处无法维持压力,会触发正在运行的反渗透高压泵入口低压力保护导致反渗透停运。经改造,在过滤器正排管道增加手动截止阀,在不合格水排放管道增加气动门,并对工艺步序进行对应的修改,实现过滤器及反渗透的自动投运。

3.7 反渗透浓水差压式流量计无流量显示

反渗透采用孔板流量计测量流量,孔板流量计利用就地变送器测量流体流过孔板时在孔板前后产生的压差,并换算成流量值^[3]。调试期间发现就地变送器正负极导管无水样且吸入空气。分析其原因,是由于反渗透浓水管道压力为 0.90 ~ 1.00 MPa,流速约 1.2 m/s,压力高,流速快,形成文丘里效应,差压变送器取样管道形成较大的抽吸力,无法准确进行压力的测量,且孔板流量计的安装需满足一定的条件,如管道位置、管径及管道长度等。

3.8 SDI 值偏高原因分析

调试期间反渗透进水 SDI 约 2.7,虽然满足设计规范 $SDI \leq 5$ 的规定,但相较于其他电厂该系统进水 SDI 约 1.0 ~ 2.0 仍处于偏高的范围,通过投产运行后对 SDI 长期的观察及数据积累发现,首先在冬季运行时,过滤器投运后较短时间的冲洗后 SDI 即可下降,最低至 1.7,但在夏季运行时,SDI 最高可到 3 ~ 4;其次观察 SDI 膜片的颜色,能够观察到明显的黄绿色粘液。分析其原因,主要是由于本工程水源为水库水,处于入海口,微生物繁殖快,输送水管道长,会造成微生物二次污染。将该问题反馈至净水站,根据不同季节以及微生物量控制不同的杀菌剂投加浓度,在源头上减缓因微生物原因引起的 SDI 偏高。

4 系统前期设计问题及解决方法

因加药管道与设备连接端无隔离检修阀,当加药管道因泄漏或损坏需隔离更换时,只能对系统管道甚至设备进行放水,待放空后方可更换加药管道,既增加了工作量,又无法实现系统的分别隔离,影响

系统正常运行。经改进后增加了隔离检修阀,避免了上述问题的产生。此外,反渗透设备安装布局过于紧凑,影响反渗透膜的安装。EESR 前调试方经现场巡查,发现反渗透高压泵距离反渗透膜壳位置较近,没有反渗透膜安装的空间,通过协调设计、安装等各方对设备位置、管道走向等进行了变更,满足了反渗透膜安装条件,保证了安装调试工作的顺利进行。

5 结语

由于核电站设计、施工周期长,在调试前、调试过程中发现了较多的问题,对上述问题进行了深入分析,提出了可行的解决方法,并对系统进行了相应的改造,实现了除盐水处理系统安全、稳定运行。

参考文献:

- [1] 郑金慧. 全膜法技术在核电厂水处理系统应用的可行性分析[J]. 科技展望,2015,(27):85-86.
- [2] 朱慧敏,张岩,杨莉莉,等. 核电厂除盐水处理系统调试[J]. 山东电力技术,2014,(1):65-68,80.
- [3] 郭非. 孔板流量计取压方式的探讨[J]. 石油化工自动化,2011,47(5):69-71.



作者简介:顿小宝(1988-),男,河北承德人,硕士,工程师,主要从事核电站、火电厂化学及环保系统的调试、研究工作。

E-mail: dunxiaobao@tpri.com.cn

收稿日期:2017-08-16