

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.07.015

某核电凝汽器热井内过滤模块改造分析

桑钱锋, 王 珂

(中广核工程有限公司, 广东 深圳 518000)

摘要:针对某核电现场安装的凝汽器热井内过滤模块仅存在磁性过滤模块、无机械滤网模块的缺陷,在全面分析了该缺陷带来后果的基础上,提出了多种改进方案。在分析各改进方案适用性的基础上,结合现场实际,确定了该过滤模块的改造方案,即增加 1 mm 的机械滤网的复合过滤模块,并采取沿热井全长布置的方式;在热井内疏水口过滤功能增加的改造方案中,采用了增加机械过滤罩的方案,并通过分析对后续机组的方案优化提供了建议。研究结果表明,通过上述改造可以彻底解决该核电凝汽器热井内过滤模块无机械滤网模块的缺陷,保障了机组调试及正常运行过程中凝结水的水质及凝结水泵的运行安全。

关键词:疏水立管;机械滤网;机械过滤罩;磁性过滤模块

中图分类号:TK05;TH137.8⁺5;

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)07-0852-05

Analysis about improvement process of filter module within the hot well in condenser used in nuclear power station

SANG Qian-feng, WANG Ke

(China Guangdong Nuclear Power Engineer Co., Ltd., Shenzhen 518000, China)

Abstract: Aiming at the defect without mechanical filter module in the hot well of the condenser in a nuclear power station, some improvement process were proposed base on the comprehensive analysis of the above defect. The final improvement program to add the mechanical filter and mechanical filter cover of hydrophobic filter standpipe were accomplished by applicability of each improvement program and actually condition of the site, meanwhile the optimization program for followed unit were recommended. The results indicate that the defect about lace of mechanical filter module in the hot well can be solved thoroughly, which ensure the water quality and safety operation of the condensate pump in the process of commissioning and normal operation of the unit.

Key words: hydrophobic riser; mechanical filter; mechanical filter cover; magnetic filter module

0 引 言

凝汽器内凝结水的水质净化功能是通过设置在凝汽器内的联合过滤装置(一般为机械滤网+磁性过滤器)来使凝结水达到一定的纯度。由于核电机组二回路一般不在凝结水泵前的管道上设置滤网,那么凝汽器内滤网将承担着进入凝结水泵的凝结水的水质净化任务,从而起到保护凝结水泵的作用^[1-2]。另外,在核

电调试期间,ATO 冲洗(二回路系统联合冲洗)过程中^[3-4],凝汽器内滤网就显得尤为重要。一般 ATO 过程都采取闭式流程,凝结水通过凝结水泵通向二回路的各个部分,最后再回到凝汽器内,进行循环流动,即整个二回路水质的初始净化由凝汽器内的滤网来实现,这就要求凝汽器内的滤网除了前述所说的净化功能之外,还必须具备可达性(能够进入)、可拆卸性(便于滤网的清洗操作),以满足 ATO 冲洗过程中的凝结水中杂质去除操作。

收稿日期:2016-03-07

作者简介:桑钱锋(1984-)男,江苏南通人,硕士研究生,工程师,主要从事核电厂常规岛系统调试方面的研究. E-mail: sangqianfeng@cgnpc.

com. cn

本研究针对某核电凝汽器热井内过滤模块缺少机械过滤功能的缺陷,在分析缺陷带来后果的基础上,对滤网改造过程进行介绍,并对相关的改造方案进行分析。

1 核电凝汽器过滤模块简介

与常规火电相比,核电凝结水系统的过滤功能一般是由安装在凝汽器热井内的复合过滤模块来实现的^[5-6]。复合过滤模块一般由 3 部分组成:

(1)模块壳体组件,由带有孔板的不锈钢材料制成,主要起支撑整个复合过滤模块的作用,另外还具体拦截较大机械杂质(主要为设备安装过程中引入的异物)的功能;

(2)磁性过滤模块,磁性过滤模块由永磁材料制成,安装在净化模块之中,所有模块中的磁性功能组件共同组成一个全封闭磁场,当水流通过净化模块时,水中的铁质杂质即被磁场筛选出来,实现对凝结的磁性除铁净化,从而达到改善凝结水水质,加快机组启动进度,节省机组运行费用,保护机组的长期安全运行;

(3)机械滤网模块,由特定大小孔径的机械滤网组成,按照已商运的大亚湾、岭澳等电站的良好经验反馈,一般机械滤网取1 mm的孔径即能达到良好的机械过滤精度,达到保护凝泵安全运行的目的。

凝汽器内复合过滤模块的示意如图 1 所示。

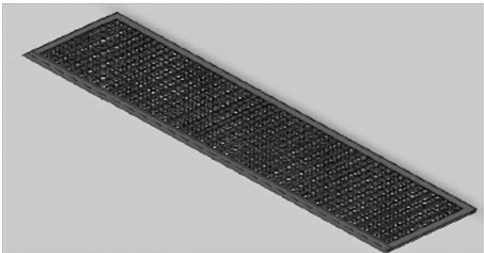


图 1 过滤模块示意图

上述 3 个部分即构成了凝汽器内的主滤网,为保证滤网的可达性(能够进入),一般在凝汽器本体上存在人孔使得进入热井内部的滤网模块成为可能。另外,为保证可拆卸性,各个小的过滤模块可以从骨架上分开拆下,以便于调试过程及核电大修期间的清洗。

2 现场凝汽器过滤模块缺陷简介

该核电现场在安装调试期间凝汽器热井内的过滤器的磁性过滤器下面无机械滤网,这将影响凝结水水质及凝泵的安全运行。后经确认是由于设计未考虑凝结水的过滤精度导致采购合同中无该机械滤网。

2.1 过滤模块机械过滤不能达到水质的要求精度

改造前阳江核电凝汽器热井内过滤模块的示意图如图 2 所示。

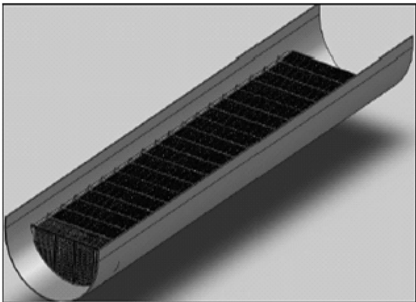


图 2 过滤模块示意图
现场实物图如图 3 所示。

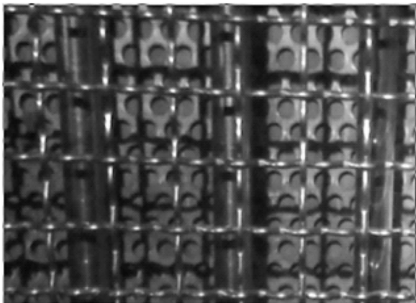


图 3 现场实物图

由图 2、图 3 可以看出,过滤模块中,仅有模块壳体上的骨架刚网格起微弱的机械过滤作用(骨架刚网格的尺寸为 8 mm),无法达到 1 mm 的过滤精度。

上述过滤模块的相关参数如表 1 所示。

表 1 过滤模块参数表

序号	名称	数值	备注
1	外形尺寸水平部分(长 x 宽)	8 460 mm × 1 925 mm	根据现场情况,略微调整 从热井地面向上计算
2	外形尺寸垂直部分(高)	700 mm ~ 740 mm	
	重量	约 1 150 kg	
3	材质	304 不锈钢、钕铁硼稀土元素	
4	设计工作温度	≤120 ℃	
5	磁场表面 磁场强度	≥5 000 GS	理论值
6	设计使用寿命	60 年	
7	设计流量下 运行阻力	0	

而阳江核电凝汽器热井长 19 300 mm、宽 2 000 mm、高 1 000 mm + 200 mm。由此可知,整个卧式半圆筒形过滤模块占热井空间面积的 42%,仍有约 58% 的空间可用于设备的升级改造,考虑到净化装置过滤面积与其过滤效果成正比例关系,因此设计上预留设备优化,

增加净化面积的接口,给设备改造提供可能。

2.2 热井给水槽内的疏水立管口无相应的过滤功能

该核电站为国内首次采用西门子技术的凝汽器,与其他参考 CPR1000 电站相比,在凝汽器的相关设计

上有所其中有一个改变为 2 台凝汽器上有 5 根疏水立管接收进入凝汽器的疏水排气,另外在热井 1 内还有一个与疏水扩容器相连的接口。该核电 2 台凝汽器的疏水立管如图 4 所示。

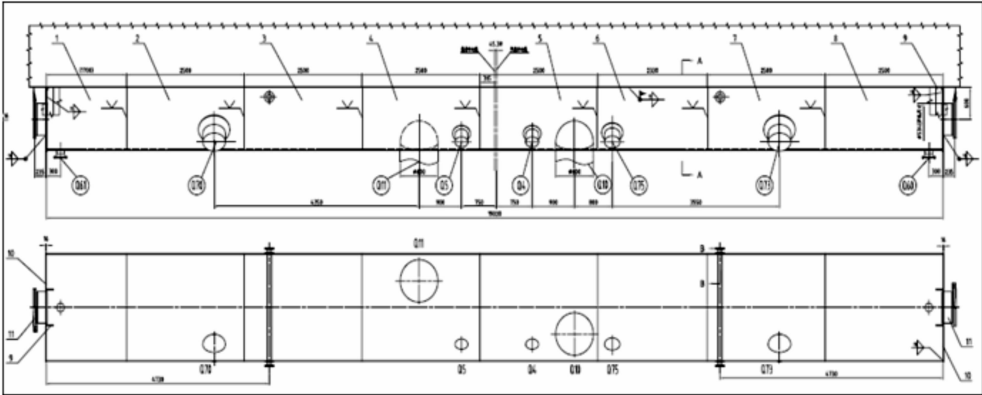


图 4 1#热井内管道接口图

Q4—汽机疏水 4#立管;Q5—汽机疏水 5#立管;Q75—疏水扩容器的疏水管;
Q73—2#疏水立管;Q70—1#疏水立管;Q76—3#疏水立管

凝汽器本体的示意图如图 5 所示。

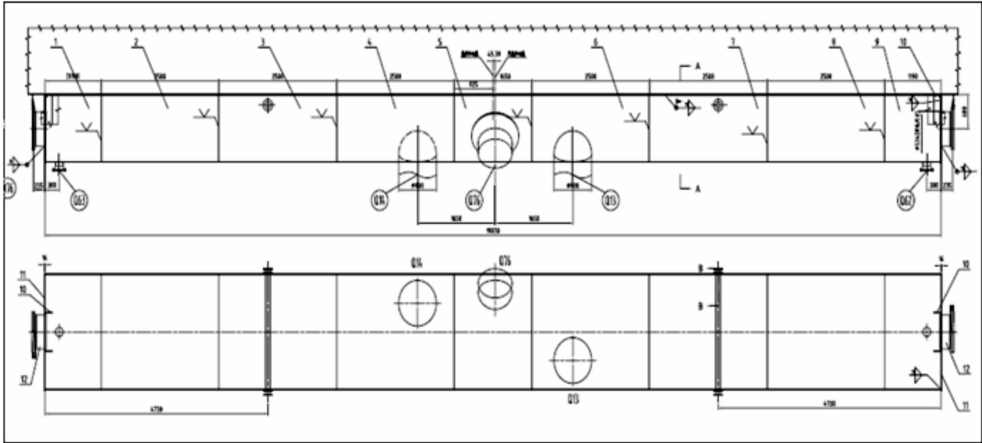


图 5 2#热井内管道接口图

由图 4、图 5 可以看出,在热井 1 内,汽机疏水立管 4、汽机疏水立管 5 及疏水扩容器的疏水均在过滤模块内部,从而不能得到充分过滤直接经由热井流入凝泵中,影响凝泵的安全运行;热井 2 内,立管 3 的疏水也同上述 3 根立管一样缺乏必要的疏水过滤功能。

3 问题导致后果及初步原因分析

很显然,凝汽器热井内的过滤模块缺乏机械过滤功能必然将导致凝结水的过滤精度不够,当热井内过滤精度不够的凝结水进入凝结水泵后,凝结水中的较大颗粒将引起凝泵叶轮的损坏,甚至引起气蚀现象,严重影响了凝泵的安全运行。另一方面,尽管一般认为通过立管的疏水含有较少的杂质,但将该类疏水完全

不经过过滤直接进入热井内集水槽到达凝泵,也有影响凝泵安全运行的隐患。考虑到核电机组的特殊性——一般(按照现在 CPR1000 机组的标准)18 个月为一个换料周期^[7-9],进行一次大修,平时运行过程中是不进行停机检修的,一旦出现疏水精度不够(含有大量超过凝泵能接受精度的颗粒)的情况,必将严重影响凝泵甚至是整个机组的正常运行。因此,有必要对相关立管进入凝汽器热井的疏水进行过滤处理。

笔者认为,出现本研究上述所提及的凝汽器热井内过滤模块存在缺少机械过滤功能的缺陷主要是因为设计、采购人员与厂家之间的沟通不足造成的。该核电首次采用西门子技术的常规岛设备,厂家对于核电的特点也不甚了解,还是按照常规火电的思路以为凝泵前会装有机械滤网,因此在热井内仅需装配磁性过

过滤模块即可。若安装调试期间未发现该问题,必将造成更大的工期拖延,由于该电站后续机组均采用相同的设备,上述缺陷将造成大规模的影响。

4 改造方案介绍及分析

本节中笔者将对该核电凝汽器热井内滤网的改造过程进行介绍,并对相关改造方案进行简要分析。

4.1 凝泵前加装机械滤网

对于核电而言,由于机组特殊性,一般不采取凝泵前加装机械滤网的方式。

为保证机械滤网长时间内均保持可用,必须考虑滤网的通流面积要尽可能大一点,使得在运行过程中即使有部分面积被凝结水中的杂质堵塞,也不影响整体的凝结水流动性能,即凝结水流经滤网时不发生“水堵”现象;另一方面,核电机组对于凝结水精度的要求较高,在调试过程中会经常性清洗滤网,这就需要机械滤网具有可达性和可拆卸性。

4.2 过滤模块加装机械过滤功能

根据 CPR 1000 机组运行经验反馈表明,在凝汽器热井内安装复合过滤模块(同时具有磁性过滤和机械过滤)能满足一个换料周期内的凝结水精度要求。另外,由于在凝汽器热井内设有人孔门,采用可拆卸的过滤模块给调试过程及大修时的滤网清洗带来便利。

该过滤模块厂家反馈,由其供货的过滤模块目前仅有磁性过滤模块,但在整个大的模块内是可以加装机械滤网模块以达到机械过滤功能的,因此最终决定在复合过滤模块中加装 1 mm 的机械滤网模块,已达到过滤精度要求。

4.3 过滤模块长度确定

根据滤网厂家的设计文件,由于开始仅考虑磁性过滤功能,在过滤模块长度的计算过程中由于仅考虑磁性过滤效果的影响,滤网长度设计为 8.46 m(如表 1 所示),该长度在仅考虑磁性过滤功能时能使磁场覆盖整个热井出水区域。在过滤模块中加装机械滤网模块后,凝结水在复合过滤模块中磁性过滤模块与机械滤网模块之间的流阻将增大,因此过滤模块长度的确定必须重新考虑。

尽管热井内出水口的管径是确定的(800 mm),但对于复合过滤模块中有效通流面积的选取目前并没有理论或经验公式可以借鉴^[10]。由于核电机组运行的特殊性,为保证复合过滤模块在整个换料周期内不会因为通流面积太小而出现“水堵”现象,应尽量增加复合过滤模块的通流面积。在国内相关参考电站如岭澳

核电、大亚湾核电均在热井内布置了覆盖热井全长的复合过滤模块,在实际运行过程中也取得了较好的结果。参照参考电站的做法,为保证复合过滤模块具有足够的通流面积,该核电热井内复合过滤模块也将改造为覆盖热井全长的样式。

4.4 热井疏水过滤方式的确定

在热井内采用复合过滤模块及热井全长布置的方案确定后,热井内过滤模块的改造还需解决热井内立管接口未经过滤直接进入集水槽(通过集水槽进入凝泵)的缺陷。在确定复合过滤模块沿热井全长布置后,凝汽器本体上所有的 5 根疏水立管口(另外还包括 1 根疏水扩容器的疏水管口)均需要进行改造,以达到将疏水经过过滤再排入集水槽的目的:

热井疏水过滤的改造有以下 3 种方案。

(1)改变疏水口的位置。将疏水口的位置提升至热井上方(原来直接与集水槽侧面相接),使得疏水与凝结水一起通过复合过滤模块进入集水槽。该方案为参考岭澳二期方案,应该说疏水过滤的效果比较好且对热井内凝结水流场的影响较小,但目前该核电凝汽器整体制造及现场安装已完成,现场改动较为困难。

(2)增加疏水隔墙滤网。在 2#热井内移动 4#、5#疏水立管及疏水扩容器的接口位置,向热井两端集中,在疏水口两端增加疏水隔墙,以方便疏水过滤。该方案从技术方面讲较优,但鉴于该方案需要协调厂家修改疏水立管的布置设计及力学计算,同时需要现场更改与热井接口位置。改造周期较长,现场进度紧张。因此最终 1#、2#机的改造未采取该方案。后期 3#、4#机将考虑采取该方案。

(3)增加疏水机械过滤罩。2#热井内由于仅有一个 3#立管的接口,较为简单,可直接在 3#立管口上增加疏水机械过滤罩。1#热井的最终方案为在不移动既有的疏水接口位置的情况下,对 5 个疏水接口加装机机械过滤罩。

4.5 热井 1 内疏水机械过滤罩的增加

1#热井内有 5 个疏水接口,情况较为复杂,为使增加疏水口机械过滤罩的方案更为优化,在改造过程中必须考虑到加入疏水机械过滤罩后的流阻问题及疏水隔墙的通流面积。根据现场疏水口的布置情况,将 Q75(疏水扩容器接口)和 Q73(2#立管接口)设置一个机械过滤罩,Q5(5#立管接口)和 Q4(4#立管接口)设置一个机械过滤罩、Q70(1#立管接口)单独设置一个机械过滤罩,1#集水槽内疏水隔墙改造如图 6 所示。

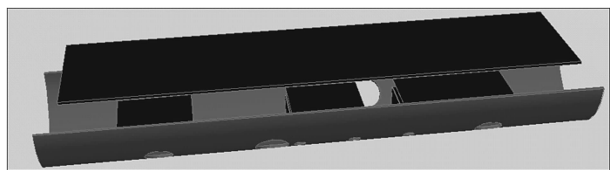


图 6 1#热井内疏水口疏水隔墙位置示意图

这样布置机械过滤罩能使 1#集水槽内的流阻减少,并使得相邻的疏水接口均能得到更大的通流面积,一定程度上使 1#热井内的流场得到优化。

4.6 热井 2 内疏水机械过滤罩的增加

在布置 2#热井内 3#立管疏水口的疏水隔墙滤网时,考虑到 3#立管接口与两个热井集水槽出水口距离较近,为减小集水槽内的水流扰动,尽可能减少流阻,本研究最终在 3#立管接口两侧各增加一块疏水滤网隔墙,取消 3#立管接口上方的复合过滤模块,2#集水槽内疏水隔墙改造如图 7 所示。

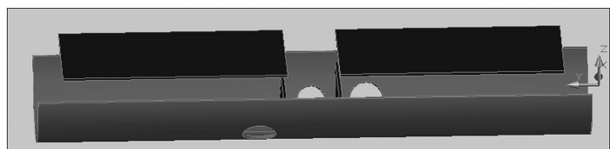


图 7 2#热井内疏水口疏水隔墙位置示意图

5 改造实际效果

目前该核电站 1#、2#机组均采用增加 1 mm 机械滤网的复合过滤模块,并采取沿热井全长布置的方案,针对热井内疏水口过滤功能增加的改造方案则采用增加机械过滤罩的方式。从上述 2 台机组 1 个换料周期的运行情况来说,改造效果是满足要求的。在机组 18 个月的换料周期运行过程中,凝泵及整个凝汽器均能保证稳定、安全运行,未出现过可能因异物进入造成的凝泵汽蚀等异常工况。

在对凝汽器内的过滤模块检查过程中可以发现,过滤模块中的机械滤网可以阻挡一些系统内残留的异物,保证不会出现异物进入凝泵,造成凝泵汽蚀、叶片损坏的事故,即过滤模块在改造后功能上满足要求;在整个过滤模块的其他检查中也未发现任何异常,证明过滤模块在改造后强度及工艺上也是满足机组运行要求的。

6 结束语

本研究针对现场安装的凝汽器热井内过滤模块存在的缺陷,分析了该缺陷的影响后果及产生原因,并对多种过滤模块的改造方案进行分析。对比多种改造方案,笔者认为采用增加 1 mm 的机械滤网的复合过滤模块,并采取沿热井全长布置的方案可以满足要求。鉴于目前 1#、2#机组的进度实际情况,在最终热井内疏水口过滤功能增加的改造方案中,采用了增加机械过滤罩的方案。通过机组后续运行过程的实际验证,证明上述改造是可行的,改造结果能完全满足机组运行过程中对于凝泵的保护,并且不会影响核电机组二回路水系统的安全运行。

通过上面的分析,笔者在对热井疏水过滤方式的改造中可以采用改变疏水口位置及增加疏水隔墙的方案,该方案理论上更优,但无法在现场实施,如需在后续机组中进行改造,必须同凝汽器制造厂家提前沟通,以满足相关接口尺寸与管道现场匹配的要求。

参考文献 (References):

- [1] 翟德双. 凝汽器的安全经济运行[J]. 上海电力, 2005, 18(1): 101-103.
- [2] 周李军, 侯志蓉, 李 振. 核电凝汽器钛管焊典型缺陷原因分析及处理[J]. 机电工程技术, 2015, 44(2): 91-94.
- [3] 秦建华. 秦山第二核电厂二回路水质问题及对策研究[D]. 上海: 上海交通大学材料科学与工程学院, 2008.
- [4] 许国宏. 浅谈火力发电厂汽水管道的内部清洁的重要性[J]. 魅力中国, 2009, 4(29): 145.
- [5] 杨镇海. 核电凝汽器磁栅除铁过滤器的应用[J]. 汽轮机技术, 2007, 49(4): 264-263.
- [6] 李 权, 莫才颂. 600MW 凝汽器节能改造分析[J]. 液压气动与密封, 2015, 35(5): 47-49.
- [7] 邓平超. 核电厂燃料管理改进项目技术经济评价研究[D]. 大连: 大连理工大学管理学院, 2015.
- [8] 苏松. 秦山核电厂换料大修高风险作业控制应用及优化[J]. 中国安全生产科学技术, 2014, 10(7): 170-173.
- [9] 马文君. 压水堆核电厂堆芯换料模式研究及管理系统实现[J]. 中国核电, 2014, 7(4): 372-377.
- [10] 中国机械工程学会. 机械设计手册. 北京: 电子工业出版社, 2007.

[编辑: 张 豪]

本文引用格式:

桑钱锋, 王 珂. 某核电凝汽器热井内过滤模块改造分析[J]. 机电工程, 2016, 33(7): 852-856.

SANG Qian-feng, WANG Ke. Analysis about improvement process of filter module within the hot well in condenser used in nuclear power station[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016, 33(7): 852-856.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>