

某核工程海水淡化工艺比选

王瑞 韩蕊

(中国核电工程有限公司, 北京 100840)

摘要 通过分析目前主流海水淡化工艺的优缺点和某核工程自身的特点,并参考已建和在建核电工程海水淡化系统的相关经验,确定某核工程采用反渗透海水淡化工艺。根据该核工程厂址所在地附近海域海水水质情况,选用絮凝反应沉淀池+V型滤池+超滤的预处理工艺,以保证反渗透海水淡化工艺的穩定运行。

关键词 海水淡化 核工程 反渗透 预处理

DOI:10.13789/j.cnki.wwe1964.2017.0327

海水淡化工艺主要有热法和膜法两种。热法海水淡化工艺主要包括低温多效蒸馏、多级闪蒸和压汽蒸馏等^[1]。膜法海水淡化工艺主要包括反渗透和电渗析。压汽蒸馏主要用于中小型装置,电渗析更适用于含盐量低于3 000 mg/L的苦咸水。目前,低温多效蒸馏、多级闪蒸和反渗透是海水淡化领域的三大主流技术^[2]。本文根据某核工程的特点,针对上述三种主流海水淡化工艺进行海水淡化工艺比选,并对相应的预处理工艺进行分析比较。

1 工程概况

某核工程厂址所在地无淡水水源,其生产用水

水资源,存在与当地农耕争水的可能。

3.7 从运行可靠性分析

水库方案均需敷设十几公里输水管线,福鼎地区地质灾害、水毁严重,管理麻烦,供水可靠性难以保证;海水淡化的所有设施都布置在核电站厂区内,管理方便,可靠度较高。

综上所述,赤溪引水方案造价、运行费用都比海水淡化高,且地方政府也反对核电在桑园水库下游赤溪流域建坝取水;从进度方面考虑,赤溪引水方案竣工通水时间不能满足核电要求;专用水库方案本应是最佳方案,但是由于专用水库方案有许多技术工作没有开展,而且与地方政府沟通也比较困难,具体供水时间不能确定。根据上述分析,最终确定了在核电站内建海水淡化系统,电站正常运行期间工业用水以及除盐系统用水均由海水淡化系统供给,瑞云水库作为核电厂的备用水源及生活用水水源。

和部分人员生活用水需要通过海水淡化方式获得。该核工程拟建设2台机组,一期工程建设1台600 MW示范工程,二期工程建设1台1 000 MW级核电工程。海水淡化系统按照2台机组共用考虑,最大设计规模为6 800 m³/d,一期工程正常设计出力约2 000 m³/d、最大设计出力约3 400 m³/d。海水淡化厂房土建一次完成,设备一次安装。

2 海水淡化工艺

2.1 多级闪蒸

多级闪蒸是将海水加热到一定温度后,使其依次流经若干个压力逐渐降低的闪蒸室,由于闪蒸室

4 结束语

宁德淡水工程的设计充分考虑了当地的地形特征及水资源分布情况,因地制宜地解决了宁德核电的淡水供给问题。同时由于它是一个能动的调节系统(海水淡化与瑞云水库供水互为备用),所以也提高宁德核电厂供水的保证率。本设计可以作为濒海核电站淡水供给系统设计思路的参考。

参考文献

- 1 GB 50013—2006 室外给水设计规范
- 2 JGJ 63—89 混凝土拌合用水标准
- 3 中广核工程设计有限公司. 淡水水源技术分析论文报告
- 4 福鼎市鸿展水利水电勘察设计公司. 备用水源所在区域水资源状况

E-mail:huangjiesheng@cgnpc.com.cn

收稿日期:2017-06-09

内的压力低于海水温度所对应的饱和蒸汽压,故部分海水会急速扩容迅速汽化,所产生的蒸汽冷凝成为所需的淡水,而海水自身温度会降低,直至温度接近于天然海水的温度^[2]。

多级闪蒸的优点在于加热与蒸发过程分离,并未使海水真正沸腾(仅是表面沸腾),从而大大改善了一般蒸馏的结垢问题;其技术简单,运行安全性高,设备单机容量大,使用寿命长,出水品质好(含盐量可降到 5 mg/L 以下),热效率高。但多级闪蒸也存在设备传热面积大,动力消耗大,原水利用率低,设备操作弹性小(设计值的 80%~110%),不适应于制水量要求可变的场合,传热管腐蚀易污染水质,设备的腐蚀和结垢速度快,设备造价高等缺点。此外,多级闪蒸一般与电站联合运行,以汽轮机低压抽汽作为热源。

2.2 低温多效蒸馏

低温多效蒸馏是将一系列的水平管降膜蒸发器串联起来,分成若干效组,用一定量的蒸汽输入通过多次的蒸发和冷凝,从而得到多倍于加热蒸汽量的蒸馏水海水淡化技术。

低温多效蒸馏的特点是:海水的最高蒸发温度约为 70℃,可以避免或减缓设备的腐蚀和结垢。相比于多级闪蒸,低温多效蒸馏的设备占地面积小,动力消耗小,弹性较大(设计值 40%~110%),且传热管的泄漏不会影响水质,系统操作更为安全可靠。同多级闪蒸一样,低温多效蒸馏一般也与电站联合运行,以汽轮机低压抽汽作为热源。

2.3 反渗透

反渗透膜是一种半透膜,只透水不透溶解固形物(盐),在外加压力作用下,水溶液中的水可通过反渗透膜,而不允许水溶液中的盐分通过,从而达到淡化、净化或浓缩分离的目的。

反渗透的优点在于适用于大、中、小型规模的海水淡化系统,能耗低(无相变),不需要蒸汽源,建设期短,占地面积小,系统的操作弹性大,后停操作简单,能够灵活应对产水量的变化。但反渗透对预处理的要求比较严格,且需要定期更换反渗透膜。相比于热法,反渗透的出水水质稍差,海水经一级反渗透处理的出水含盐量 $<500\text{ mg/L}$,需要设置两级反渗透才能很好地降低出水的含盐量^[4,5]。

2.4 工艺选择

上述核工程海水淡化系统设计规模较小,且仅一期工程运行时设计出力仅为最大设计规模的 30%~50%;该核工程换料周期短,机组正常运行和启动工况的用水量差异较大,机组运行工况切换较频繁,海水淡化系统需要经常做出减少设备运行数量和间断运行的工况调整。因此该工程海水淡化系统应选择运行更灵活、维护更方便、操作更简单的海水淡化工艺。

根据类似项目经验,核电工程运行期淡水用水的绝大部分是除盐水,除盐水需要利用淡化海水进行进一步处理后获得,而机组启动工况除盐水用水量将达到正常运行时的 2 倍,此时海水淡化系统的运行负荷也要相应提高。在仅一期工程投运阶段,当机组换料、大修后重新启动时,机组无法提供热源蒸汽,若采用热法海水淡化工艺,则另需设置备用蒸汽源或设置大型储水设施。核工程系统繁多,若采用热法海水淡化工艺,将涉及多个相关系统和子项的设计优化和改造。另外,考虑到核工程汽轮机抽气的放射性潜在危害,该蒸汽不应直接作为热法海水淡化装置的热源,而需要设置中间换热回路对放射性物质进行有效隔离,以保证核工程用水安全和稳定运行。

海水淡化在我国核电领域已有较多应用,目前已投运或在建的红沿河、三门、海洋等核电工程采用了反渗透海水淡化工艺,拟建的海南小堆示范工程拟采用低温多效蒸馏海水淡化工艺。

结合上述海水淡化工艺的优缺点、该核工程自身特点和类似核电项目经验,综合考虑采用反渗透海水淡化工艺。

3 反渗透海水淡化的预处理工艺

3.1 预处理的主要措施和工艺

反渗透海水淡化工艺对原水预处理要求高,海水在进入反渗透系统前进行适当的预处理,可延长膜的使用寿命、减缓海水进水杂质对膜的污染,保证反渗透系统长期稳定运行。针对海水中污染物对反渗透膜的影响,海水预处理以防止微生物滋长,控制进水污泥密度指数(SDI_{15})为主要目的。针对该核工程厂址所在地附近海域海水水质特点,预处理需要采取的主要措施有杀菌、除悬浮物、胶体和有机

物,海水预处理主要手段包括加化学药剂、澄清、过滤等。

目前核工程中已采用或拟采用的海水淡化预处理工艺主要有常规预处理(絮凝反应沉淀+过滤)、膜法预处理(超滤、纳滤和微滤)和 Actiflo 高效沉淀。常规预处理工艺运行相对可靠,技术成熟,但占地面积大^[6]。膜法预处理占地面积小,出水水质优,但运行费用高,其中超滤的应用更为广泛^[7]。Actiflo 高效沉淀池改进了常规预处理工艺中的混凝沉淀部分,对原水适应性强,构造紧凑,占地面积小,处理效果好,操作简便,但设备投资较高^[8]。

3.2 预处理工艺选择

3.2.1 絮凝反应沉淀池+V 型滤池与 Actiflo 高效沉淀池

絮凝反应沉淀池适用于原水悬浮物较高或水质变化较大的海水,其可以有效去除原水中的悬浮物,保证 V 型滤池的稳定运行,且耐冲击负荷能力强,出水水质好($SDI_{15} < 3$)。

Actiflo 高效沉淀池是一种集含砂絮凝和斜板澄清优势于一体的高速沉淀工艺。相对于常规的絮凝反应沉淀,Actiflo 技术能更好地应对原水水质的一些突发状况,如进水污染物和水量变化较大(突发的浊度和悬浮物浓度升高等)、低温或者温度变化剧烈导致的絮凝困难、原水中藻类生长旺盛等^[9,10]。

经过连续 1 年的逐月监测,上述核工程厂址所在地附近海域海水水质较为稳定,海水水温在 12.5~29.5℃,悬浮物在 36.5~59.7 mg/L。常规絮凝反应沉淀+过滤和 Actiflo 高效沉淀工艺均能达到处理效果,但 Actiflo 高效沉淀池设备投资较高。因此选用常规的絮凝反应沉淀+过滤工艺。

3.2.2 细砂过滤器与超滤

为保证核工程反渗透系统的稳定运行,在一级预处理后通常增加过滤处理。

细砂过滤器经过了大量的运行实践检验,其出水基本可以满足反渗透进水水质要求,但也存在占地面积较大、出水水质不稳定等缺点。

超滤是一种能够有效去除水中悬浮物、微粒、胶体、大分子有机物和细菌的膜法分离技术,对降低进水浊度及污泥密度指数(SDI_{15})有显著作用^[8]。该

工艺具有性能可靠、抗污染能力强、透水性强、占地面积小、操作简便、出水水质优异等特点。采用超滤设备后可减轻后续系统的运行负荷,反渗透系统能持续稳定地运行,化学清洗周期延长^[11]。因此,超滤已成为目前反渗透工艺预处理使用较多的工艺之一。

经过综合对比,该核工程选用絮凝反应沉淀池+V 型滤池+超滤作为反渗透海水淡化的预处理工艺。

4 结论

结合 3 种主流海水淡化工艺的优缺点、某核工程自身特点和类似核电项目经验,综合考虑确定该核工程海水淡化采用反渗透工艺。根据该核工程厂址所在地附近海域海水水质情况,选用絮凝反应沉淀池+V 型滤池+超滤的预处理工艺,以保证反渗透海水淡化的稳定运行。

参考文献

- 阮国岭,冯厚军. 国内外海水淡化技术的进展. 中国给水排水, 2008,20:86~90
- 郑晓英,王翔. 三种主流的海水淡化工艺. 净水技术, 2016, (06):111~115
- 郝彦光,张波,刘雨. 低温多效蒸馏海水淡化工艺的应用. 节能与环保, 2012,12:60~61
- 姚吉伦,胡海修,吴恬,等. 反渗透海水淡化的预处理工艺选择. 中国给水排水, 2001, (08):34~35
- 孙永超,解利昕,高婷婷,等. 反渗透海水淡化预处理工艺. 化工进展, 2016,11:3658~3662
- 刘耀麟,胡国付,顾平. 混凝/微滤用于反渗透海水淡化的预处理. 中国给水排水, 2005, 21(11):50~52
- Ralf Krueger, Ultrafiltration competitive technology for seawaterpretreatment, World Water and Environmental Engineering, 2009(1~2):41~42
- 陈秀华. ACTIFLO~工艺用于钢铁厂海水淡化预处理. 中国建设信息(水工业市场), 2008,09:58~61
- 常利峰,李雪民. 海水淡化预处理系统的比较和选择. 一重技术, 2010,04
- 张振华,王新鹏. 膜法海水淡化预处理中混凝沉淀工艺的选择. 锅炉制造, 2016, (05):60~62
- 潘献辉,赵亮. 反渗透海水淡化膜法预处理技术研究进展. 工业水处理, 2007, 27(6):13~15

E-mail: whuwangrui@qq.com

收稿日期: 2017-06-09