

海阳核电厂海水淡化技术选择

宿伟成

(山东核电有限公司,山东 烟台 265116)

摘要:介绍目前常用的海水淡化的方法和特点,结合海阳核电厂海水水质以及核电站自身特点阐述核电厂海水淡化方案选择需考虑的环境因素、需求因素、经济因素,最终给出海阳核电厂海水淡化的建议方案,为海阳核电厂海水淡化方案选择提供技术支持。

关键词:海水淡化;可行性报告;多效蒸馏(MED);反渗透(RO)

中图分类号:X703 **文献标识码**:A **文章编号**:1672-2442(2017)11-0053-04

DOI:10.19298/j.cnki.1672-2442.201711053

Selection of Seawater Desalination Technology in Haiyang Nuclear Power Plant

SU Weicheng

(Shandong Nuclear Power Co., Ltd, Haiyang 265100, China)

Abstract:This paper introduces the methods and characteristics of commonly used seawater desalination. Combined with the water quality of Haiyang nuclear power plant and the characteristics of nuclear power plant, describes the environmental, demand and economic factors that should be considered in the selection of seawater desalination schemes for nuclear power plants. Finally, gives the proposal for seawater desalination of Haiyang nuclear power plant, in order to provide technical support for desalination scheme selection.

Keywords:seawater desalination; feasibility report; Multi Effect Distillation(MED); Reverse Osmosis(RO)

1 引言

根据海阳核电一期工程可行性研究报告中需水量分析,海阳核电厂一期拟使用盘石水库中的淡水,二期、三期工程使用海水淡化水。在设计供水保证率为97%、校核保证率为99%的条件下,盘石水库只能向核电厂每年最大提供350万 m^3 的淡水,仅能满足一期工程的需要。由于厂外淡水资源受外部条件影响较大并且远距离供水增加了管理和投资成本,为保证海阳核电厂的供水安全性和稳定性,建设海水淡化项目是十分必要的。海水淡化项目涉及到装置的布置、海水取水、浓盐水排水、淡水供水、设施配电等厂址相关的重

大接口等,因此及早研究确定海水淡化技术方案而给厂址总平面规划提供技术支持具有十分重要的现实意义。

2 主要海水淡化方法及特点

目前,世界上海水淡化的方法主要有热法和膜法两种。热法的工作原理是加热海水产生蒸汽,然后再把蒸汽冷凝生产淡水。膜法主要是利用膜的选择透过性进行盐分离达到海水淡化的目的。热法主要有多级闪蒸(MSF)、多效蒸馏(MED、MED-TVC)两种方法。膜法主要有反渗透(RO)法和电渗析法(ED)。热法中由于MED与MSF相比具有投资小、能耗低、产水率高、低温操作、不易结垢等优点,已逐渐取代了传统的MSF方法,是目前热法的主要发展方向,因此,在这里我们只对MED和RO进行分析比较。

作者简介:宿伟成,男,生于1976年,河南南阳人,工程师,主要从事核电站设计管理工作。

收稿日期:2017-09-11

阳海水平均温度基本上在10℃以下,单从水温因素考虑,显然不利于反渗透(RO)过程,而选择多效蒸馏(MED)法比较适合。如果要在海阳核电现场采用反渗透(RO)工艺,冬春季海水使用从冷却水系统排出的经升温后的海水,是一个较好的解决办法(但要注意核安全,严防核污染),因为这时的水温升高了约10℃。如果采用反渗透(RO)工艺,冬春季海水来自循环水泵房,则需要将海水预热至15℃以上,需要消耗一定的能源。

(2) 盐度的影响

与多效蒸馏(MED)相比,盐浓度对反渗透(RO)的影响较大,多效蒸馏(MED)几乎适用于任何盐浓度海水。在盐度为30g/L时,海水的渗透压力约为2MPa,但当盐度为50g/L时,海水的渗透压力增加了约一倍,达到4MPa,反渗透(RO)法所需的能量消耗则会激增。

从表2可看出,海阳海水的年平均盐度约为32g/L,对热法和膜法都是适合的。

表2 海阳海水各月平均盐度(1997.4~1998.3)单位:‰

月份	1	2	3	4	5	6
盐度	32.29	32.10	32.07	31.91	31.95	31.79
月份	7	8	9	10	11	12
盐度	32.04	31.08	31.67	32.01	32.11	32.17
年平均盐度 31.93						

(3) 水质

海水水质的污染程度对热法不敏感;但对反渗透(RO)而言,会使反渗透压力和单位电耗率增大,因此大大增加了海水预处理难度和成本;对于较小的规模一般也容易处理,而对大型淡化厂则有可能影响到总体的技术方案。海阳地区周边没有大型工矿企业,海水污染较轻,水质很好,因此,海阳的水质对于反渗透(RO)法和多效蒸馏(MED)法均是适用的。但对于反渗透(RO)而言,海水的预处理是很关键的环节,必须要有复杂的预处理过程。

总之,从海水因素考虑,对于北方高污染、高盐度海水,多效蒸馏(MED)法较反渗透(RO)法更适合,但经过热能综合利用和一定的预处理,反渗透(RO)法也可用于北方海域海水淡化。

3.1.2 能量来源

热法使用的能源为蒸汽和很少量电能,而反渗透(RO)法使用的能源全部为电能。

核电站即可产生蒸汽也可以产生电能,因此核电站与海水淡化装置的耦合方式比较灵活,即可采用热法也可采用膜法或采用热法与膜法的组合。但是选择合适的反应堆型及其与淡化装置的耦合方式是确定核能海水淡化的一个关键因素。

但是核能热法淡化海水,需要采取严格措施,设置多道屏障和辐射监测措施,防止产品水被放射性物质污染。从核安全的角度考虑,核能热法工艺产品水存在被核污染的可能,但概率很小,因而产品水核污染的可能性很小。

但无论如何,反渗透(RO)法却是最安全的,从理论上讲产品水被放射性污染的概率是极微小的。但是从减少温室气体排放的角度考虑,核能较化石燃料更具有优势。

3.2 需求因素

需求因素主要指生产规模,是确定最佳淡化方法的重要因素之一。一般而言,海水淡化装置规模越大,其经济性越好,热法比RO法尤为明显。多效蒸馏(MED)主要适合于中型和大型淡化装置,单机容量范围3000m³/d~35000m³/d。反渗透(RO)无论大型、中型或小型都适用。

根据可研报告中水量需求分析,海阳核电厂一期两台机组最大年需水量为350万m³/年,一、二期最大年需水量为558万m³/年,一、二、三期最大年需水量为796万m³/年,如果均考虑采用海水淡化,则一期可上一套规模为10000m³/d的装置,二期可再上一套规模为10000m³/d的装置,三期的规模采用5000m³/d的装置就足够了。可根据工程的实际情况,考虑地方利益和供水安全,在一定时期先上一套规模较小的淡化装置,例如,规模为2000m³/d~3000m³/d的装置,保证枯水期或紧急事故情况下的供水安全。在此规模下,采用多效蒸馏(MED)法或反渗透(RO)法都是适合的。

3.3 经济因素

经济因素是决定海水淡化方案最重要的因素之一,考察经济因素主要是分析淡化装置的制水成本。由于热法和膜法的工艺不同,因此两种方法的成本构成差别很大。

3.3.1 多效蒸馏(MED)海水淡化成本构成

多效蒸馏(MED)海水淡化成本主要由蒸汽、投资、化学药品、电力、人工等要素构成。以青岛黄岛电厂3000m³/d多效蒸馏(MED)海水淡化工程为例,海水淡化成本构成如图3所示:

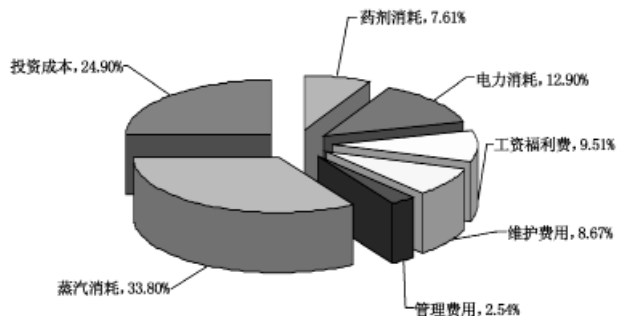


图3 黄岛电厂3000m³/d多效蒸馏(MED)海水淡化工程成本构成

从图3可看出,蒸汽消耗和设备投资是影响多效蒸馏(MED)制水成本的关键因素,蒸汽占总成本的33.8%,设备投资占总成本的24.9%。蒸汽的价格对制水成本起着举足轻重的作用。一般情况下,多效蒸馏(MED)的制水成本约在5~6元/m³,吨水投资约为850美元/m³/d。

3.3.2 反渗透(RO)海水淡化成本构成

反渗透(RO)海水淡化成本主要由电力、投资、化学药品、维护、人工等要素构成。以山东荣成5000m³/d反渗透(RO)海水淡化工程为例,海水淡化成本构成如图4所示:

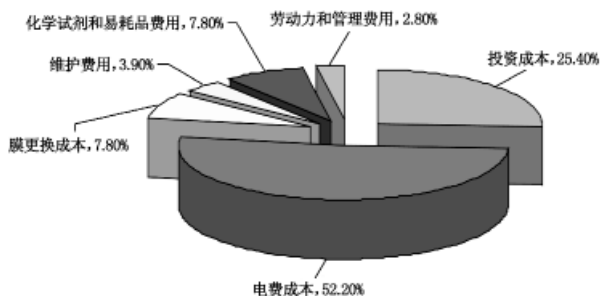


图4 山东荣成5000m³/d反渗透(RO)海水淡化工程成本构成

从图4可看出,电力消耗和设备投资是影响反渗透(RO)制水成本的关键因素,电费占总成本的52.2%,设备投资占总成本的25.4%,因此,电价是制水成本中最为敏感的因素,对水价有决定性的作用。一般情况下,反渗透(RO)的制水成本约在5元/m³左右,吨水投资约为600美元/m³/d。

3.3.3 MED和RO制水成本比较

对两种方法的投资、折旧、运行、总成本等方面进行比较,一般情况下,比较结果如表3示:

从表3可看出,反渗透(RO)法的投资和制水成本较MED法稍低。目前,一套10000m³/d规模的海水淡化厂,多效蒸馏(MED)的投资约人民币8000万元,制水成本约5~6元/m³;反渗透(RO)的投资约人民币7000万元,制水

表3 多效蒸馏(MED)和反渗透(RO)主要经济技术参数比较
单位:元/m³/d

	多效蒸馏(MED)	反渗透(RO)
投资	5695	4020
折旧	1.61	1.01
能源	2.21	1.68
人工	0.34	0.40
化学药品	0.40	0.54
运行维护	0.47	0.67
合计	5700.03	4024.30

成本约4~5元/m³。

3.3.4 核能海水淡化成本考虑

对于成熟反应堆型核能海水淡化项目,由于与核电站共用取排水构筑物并可利用循环冷却水预热海水,可减少投资,已具备与常规能源海水淡化厂竞争的条件。研究表明:(1)重水堆具有绝对的竞争优势而压水堆与常规能源经济性相当;(2)淡化水厂规模对制水成本影响很大,规模越小,成本越高;(3)RO法成本最低,MED法次之,MSF法成本最高;(3)贴现率、核燃料价格及化石燃料价格是制水成本中的敏感性因素。

海阳核电一期工程为全球AP1000示范项目,属于先进非能动压水堆型,大部分设备购自国外,国产化率低,核能产生的蒸汽或发电成本较高,如采用自身核能淡化海水则是一个不利的竞争因素。

4 结 语

通过上述分析,从环境、需求、成本等因素综合考虑,海阳核电厂海水淡化技术方案宜选择膜法(RO),可利用核电站已有取排水设施及循环冷却水系统(冬春季预热海水)降低设备投资。▲

参考文献

- [1] 上海核工程研究设计院.山东海阳核电厂工程可行性研究报告[R].2008.
- [2] 核工业第五研究设计院.对阿联酋、法国和意大利有关海水淡化厂调研报告[R].2006.
- [3] 赵国华,童忠东.海水淡化工程技术与工艺[M].北京:化学工业出版社,2012.
- [4] 田里,王永庆,郭吉林,等.核能与常规能源海水淡化的经济竞争性的比较[J].清华大学学报(自然科学版),2001(10).