

浅析热法海水淡化浓盐水对环境的影响及综合利用

于金旗, 胡永健, 王子健, 刘宇坚, 程方琳, 张松建
(北京赛诺膜技术有限公司, 北京 100083)

[摘 要]热法海水淡化浓盐水具有温度高、盐度高和 TDS 浓度高等特点, 其不合理排放会对环境造成一定的危害。文章简要介绍了热法海水淡化的各种工艺方法及特点, 对热法海水淡化浓盐水排入环境中的影响进行评述, 并讨论热法海水淡化浓盐水的处理方法, 包括直接排放、综合利用及零排放技术等。

[关键词]热法海水淡化; 浓盐水; 综合利用; 零排放

[中图分类号]TQ

[文献标识码]A

[文章编号]1007-1865(2017)15-0193-02

Brief Analysis on Environmental Influence and Comprehensive Utilization of Brine from Thermal Desalination

Yu Jinqi, Hu Yongjian, Wang Zijian, Liu Yujian, Cheng Fanglin, Zhang Songjian
(Beijing Scinor Membrane Technology Company, Beijing 100083, China)

Abstract: The brine from thermal desalination has the characteristics with high temperature, high salinity and high TDS concentration. The brine can damage the environment if it is discharged without reasonable disposal. Brief introduction of the methods and characteristics of thermal process of seawater desalination were discussed. The environmental influence of brine from thermal desalination was reviewed and the methods of brine disposal, including direct discharge, comprehensive utilization and zero liquid discharge were also discussed.

Keywords: thermal desalination process; brine; comprehensive utilization; zero liquid discharge

随着全球人口和经济的快速发展, 人类对水资源的需求日益增多, 越来越多的地区变得干旱缺水, 以致引发全球性的淡水危机。甚至有人预言, 第三次世界大战将会因争夺淡水资源而起。寻求能够解决淡水资源危机的经济、有效措施、方法及技术已成为相关业内人士竞相谈论和研究的课题, 其中得到广大专家认可的技术之一为海水淡化。海水淡化是利用电能、热能和机械能等能源, 将地球上丰富的海水资源转化为稀缺的淡水资源过程。目前海水淡化的方法主要有热法和膜法^[1]。热法即蒸馏法, 其工艺是利用加热技术控制温度条件, 使海水中溶解性盐及固体杂质等残留在固相, 水汽化进入气相, 再使水蒸汽冷凝后得到纯净的淡水。膜法是利用压力强制迫使海水中的淡水透过膜面进入另一侧, 浓盐水截留在原侧, 从而得到淡化后的水。

海水淡化是解决淡水资源短缺的最佳方法, 然而, 现行海水淡化回收效率低, 热法海水淡化回收率一般为 15%~50%, 膜法海水淡化回收率一般为 30%~40%, 产生的大部分浓盐水直接排放至大海^[2]。海水淡化浓盐水中含盐量高, 并且含有生产过程中所投加的防腐剂、阻垢剂等化学药剂, 尤其是热法浓盐水中还带有热量, 若其不经合理的处理就直接排放, 则会对环境造成一定的影响。我国《全国海水利用“十三五”规划》提出的总体目标是, 到“十三五”末, 全国海水淡化总规模达到 220 万吨/日以上。海水淡化总规模的提高必将导致产生的浓盐水量增加, 大量海水淡化浓盐水排入附近海域, 可能导致海水盐度升高, 当盐度超过一定范围, 生物体的生长、发育、生殖、行为和分布都会受到影响^[3]。热法海水淡化浓盐水的处理措施和方法更加引起人们和相关政府工作人员的关注。

1 热法海水淡化主要方法及特点

热法海水淡化技术主要基于蒸发原理进行海水脱盐, 包括多效蒸发(Multi-effect Distillation, MED)、多级闪蒸(Multi-stage Flash, MSF)和压气蒸馏(Vaporcompression, VC)等。

1.1 多效蒸发(MED)

MED 是指将多个蒸发器串联运行的蒸发操作, 前一蒸发器内蒸发时所产生的二次蒸汽用作后一蒸发器的加热蒸汽, 多次重复利用热能, 从而提高热能的利用率。常用的有双效蒸发、三效蒸发和四效蒸发等。MED 受其换热表面易结垢的限制, 很难得到广泛的推广, 直至上世纪六十年代, 低温多效蒸馏(Low temperature MED, LT-MED)技术的开发才缓解了 MED 技术的结垢和腐蚀问题。LT-MED 操作温度在 70℃ 以下, 远低于多级闪蒸 110℃ 左右的蒸汽温度, 其具有腐蚀率低、热动力效率高、结垢率低和灵活性高等优点^[4], 是目前最为适用的蒸发技术之一, 该工艺适用于水电联产。首钢京唐日产 5 万吨低温多效蒸馏海水淡化工艺通

过水电联产, 实现了能量的梯度利用, 达到了较好的经济效益、环境效益和社会效益^[5]。但 LT-MED 单台规模较小, 投资较大, 对水质要求严格, 如发生较严重结垢处理比较麻烦。

1.2 多级闪蒸(MSF)

闪蒸是指海水在一定温度下, 压力突然降低, 部分海水瞬间蒸发的现象。MSF 就是基于此原理发展起来的, 将加热后的海水依次流经多个压力逐渐降低的闪蒸室, 在此过程中, 海水蒸发降温, 浓盐水逐渐增加, 最终将蒸汽冷凝得到淡水。

MSF 主要利用热能和电能, 具有工艺成熟, 海水结垢倾向小、设备简单可靠、易于大型化、操作弹性大、运行安全性高以及可利用低位热能和废热等优点^[6]。但 MSF 也存在以下缺点:

- (1)加热温度高(最高工作温度高达 110℃), 对设备材料要求高, 易发生设备腐蚀等问题;
- (2)调试期间和除垢过程工作量大;
- (3)投资规模大和设备成本高。

MSF 适合于大型和超大型海水淡化装置, 通常与火力发电厂联合建设与运行, 主要在严重缺水的地区(如海湾国家等)使用。

1.3 压气蒸馏(VC)

VC 海水淡化技术与 LT-MED 技术类似, 不同的是 VC 利用热泵压缩蒸汽来驱动盐水进行分离。其工作原理是海水经预热后进入蒸发器, 并在蒸发器内部分蒸发, 所产生的二次蒸汽经压缩机压缩增大压力后引入蒸发器的加热侧。蒸汽冷凝后作为产品水引出, 如此实现热能的循环利用。VC 技术具有海水预处理工艺简单, 对海水污染不敏感; 结构简单紧凑, 易于模块化构造, 可设计成舰载、车载等便携式装置^[7]; 整个系统构成闭合循环, 蒸汽潜热在系统内循环使用, 能量利用率高、经济性好等优点。

2 热法海水淡化浓盐水对环境的影响

热法海水淡化浓盐水主要成分为经海水淡化工艺高度浓缩后的高浓度盐分, 另有少量成分为预处理工艺中投加的某些化学添加剂(如阻垢剂、防腐剂、杀菌剂和絮凝剂等)。未经处理或处理不完全的浓盐水一旦排入周围环境, 则会对环境和生态造成一定的影响。

2.1 热污染对环境的影响

热法海水淡化工艺产生的浓盐水具有较高的温度, 其一旦直接排入周围海域, 则会对局部海水造成一定的热污染。具体表现为: 局部海域出现水温升高的现象, 导致水中溶解氧降低, 形成缺氧状态, 再加上水温升高会加速生物新陈代谢, 新陈代谢所需氧量增加, 情节严重者, 可导致水生动物和植物因缺氧而死亡, 严重影响当地的水环境和生态平衡。另外, 水温升高可能给某些传染性致病微生物提供良好的生存环境, 使其大量繁殖、泛滥,

[收稿日期] 2017-05-08

[基金项目] 大中型海水淡化产业化技术研发及应用——5 万 t/d 水电联产与热膜耦合研发及示范(2015BAB10B00)

[作者简介] 于金旗(1988-), 男, 山东高密人, 硕士研究生, 主要研究方向为水污染控制工程和海水淡化。

引发流行性疾病,威胁水生生物及人类的健康。

2.2 高盐度对环境的影响

热法海水淡化生产中,一般热法海水淡化产生的浓盐水与冷却海水一起混合后排放,其排水浓度比海水约高10%~15%^[8],低温多效蒸馏法海水淡化产生的浓盐水浓度一般为原海水的1.5倍,若这些浓盐水排放不当,则可能导致附近排放海域盐度的升高^[9]。盐度是海洋生态环境中最重要的生态因子之一,其对生物的生长大小、发育情况、生殖、行为和分布均有直接或间接的影响^[10]。海洋生物通过细胞内外的离子转运机制来维持细胞内结构组分的动态平衡,维持渗透压的稳定,从而能在一定盐度范围内生存^[11]。海水中盐度的升高会导致海洋中某些没有渗透调节机制的生物细胞发生脱水,细胞质壁分离,从而引发代谢失调而死亡。过高盐度的海水还会抑制浮游植物的光合作用,引起浮游动物生物量的降低、种类数的减少和多样性指数的降低,引发底栖动物幼体的大量死亡及群落稳定性降低,导致鱼类死亡、种类数和种群密度降低和抑制水生植物的光合作用、呼吸作用等^[3]。浓盐水不合理排放至地表水或地下水,可能会导致局部河流、湖泊含盐量高,不再适合淡水鱼类生存,水生植物也会因盐胁迫而枯萎。

2.3 化学药剂对环境的影响

在热法海水淡化过程中,为了去除原进水的悬浮物,需加入絮凝剂;为了防止细菌、藻类和其它生物对管道等造成腐蚀,需加入杀菌剂和消毒剂;为了预防高温对蒸发器及其管道的腐蚀,需要加入阻垢剂和还原剂;为了调节进水的pH,需要加入酸或碱药剂。另外,在MSF过程中,还需加入消泡剂以去除蒸发器中的泡沫。投加到热法海水淡化过程中的药剂,大部分会与所处理的目标物发生反应,但也有少部分会残留在浓盐水中,随浓盐水直接或间接的排放到附近水域,很可能对水环境造成影响。

排入水体的铝盐絮凝剂若达到一定的浓度,则会对水生生物、植物和人体都会有毒性效应^[12]。杀菌剂一般为氯和次氯酸盐,其副产物氯代有机物具有致癌和致畸变作用,若直接排入海洋,可致水生生物诱发癌变或基因突变。阻垢剂一般含有聚磷酸盐,磷酸盐是水生植物的营养物质,可能导致海洋富营养化,引发赤潮。还原剂成分一般为亚硫酸钠,其可消耗海水中的溶解氧,导致海水缺氧,影响水生生物的呼吸作用。消泡剂为聚乙二醇类物质,其可破坏细胞内膜,与卤素化合物生成致癌和致畸变物质。

3 热法海水淡化浓盐水的处理

考虑到热法海水淡化浓盐水对环境和生态都有一定的危害,如何使热法海水淡化浓盐水达到无害化、减量化和循环利用逐渐得到人们的关注和研究。目前,热法海水淡化浓盐水处理方法主要是直接排放和综合利用。

3.1 直接排放

直接排放即直接将未做任何处理的热法浓盐水排放到厂区周围的海域、河流等,使其中污染物质得到稀释,然后利用水体的自净作用对其污染物质分解和降解,从而达到污染物的去除目的。此类方法几乎不需要采取任何措施,费用很低,一般仅包括浓盐水的运输或管道费用,适合于小规模浓盐水的排放,是目前大部分热法海水淡化浓盐水的处理方式。然而,水体的自净能力毕竟是有限的,随着人们对海水淡化需求量的加大,产生的浓盐水量也必将越来越多,并且考虑到浓盐水对环境和生态的影响、国家对海洋环境排放标准越来越严格的约束等因素,直接排放的方式将会逐渐被历史或相关法律所淘汰和禁止。

3.2 综合利用

与直接排放相比,热法海水淡化浓盐水的综合利用则是比较环保的处理方式,得到广大环保人士的认可。综合利用即利用热法海水淡化浓盐水进行制盐和提取化工原料等,此方法可有效利用资源,并能够为海水淡化公司创造一定的经济效益。海水淡化浓盐水受其排放量、组成、排放地的物理或地理环境、公众接受度、投资成本和操作费用等限制^[13],不同海水淡化厂所选择的处理方式不尽相同。

海水制盐是一种传统的制盐方法,其主要是利用太阳能将海水蒸发得到粗盐。但海水制盐有一定的局限性,如蒸发速度低、占地面积大和气候需温暖且干燥等^[14]。热法海水淡化浓盐水量高、温度也较高,将其引入蒸发池,可以有效利用其余热和太阳能加快制盐过程。国内外研究表明,将浓盐水中的钙、镁等易形成结垢的离子提前提取出,有利于后续浓盐水的进一步利用。有关研究者将浓盐水进行了资源化利用,首先利用碱液将海水淡化浓盐水中的镁沉淀,制得镁盐,然后利用磷酸处理浓盐水制得肥料或动物饲料添加剂,最后的澄清卤水用于制盐^[15]。为了充分利用热法海水淡化过程中的能源,解决单一海水淡化装置能源利用率低、水回收率低的问题,可采用多种海水淡化工艺相耦合的技术,如MSF-RO相耦合^[16],耦合工艺产生的浓盐水盐度高,更

适宜脱钙、镁后制盐生产。

零排放技术是热法海水淡化浓盐水处理的最理想途径,它不仅能够保护内海环境、保持生态平衡,还能回收利用浓盐水资源,为经济发展提供资源保障^[17]。它通过利用清洁生产技术,实现对热法浓盐水的完全循环利用,从而不给水、大气和土壤环境造成任何破坏。在零排放技术中,一般要用蒸发器、盐水浓缩机和结晶器来完成化工产品从水中的分离,可从浓盐水中提炼氢氧化镁、氯化钙、碳酸钙、石膏、硫酸钠^[18]、碳酸氢钠、碳酸钠和氯化铵^[19]等化工产品。考虑到零排放技术存在工艺不够成熟、复杂且耗能高,投资成本和运行费用高等缺陷,要想将其应用在大规模生产中尚是难题。

4 结语与展望

海水淡化技术是解决水资源短缺的有效途径之一,但其产生的浓盐水不经适当处理就直接排放,会对水环境和水生态造成一定的危害。热法海水淡化浓盐水具有温度较高、盐度高和含有残留化学试剂等特点,随着人们对环保意识的增强和政府相关环境法律的制约,其直接排放的处理方法不符合长远发展的道路。热法海水淡化浓盐水的综合利用是比较环保的处理方法,尤其是零排放技术,可从浓盐水中提炼多种化工产品,是一条可持续发展道路。然而,零排放技术不够成熟,投资成本和运行维护费用较高,很难在大规模生产中得到应用,如何将热法海水淡化和零排放技术有效相结合,并降低投资成本和运行费用,是未来热法海水淡化浓盐水处理的主要研究方向。

参考文献

- [1]Einav R, Hamssib K, Periy D. The footprint of the desalination processes on the environment[J]. Desalination, 2002, 152: 141-154.
- [2]马学虎, 兰忠, 王四芳, 等. 海水淡化浓盐水处理对环境的影响与零排放技术研究进展[J]. 化工进展, 2011, 1: 233-242.
- [3]黄逸君, 陈全震, 曾江宁, 等. 海水淡化排放的高盐废水对海洋生态环境的影响[J]. 海洋学研究, 2009, 27(3): 103-108.
- [4]刘乾坤. 低温蒸馏工艺在海水淡化中的应用和优点[R]. 第九届海洋科技与经济发展国际论坛, 2008, 150-154.
- [5]郝彦光, 张波. 日产5万吨低温多效蒸馏海水淡化工艺在首钢京唐的应用[J]. 水处理技术, 2012, 38(12): 130-132.
- [6]李长海, 张雅潇. 海水淡化技术及其应用[J]. 发电设备, 2011, 27(1): 48-51.
- [7]Chou Q L, Jin C Z, Shu P C. Recent advances in the study of a pressurized steam flash evaporation method for seawater desalination (in Chinese)[J]. Eng Therm Energy Power, 2009, 24: 554-559.
- [8]Tisiouris, Nicos X. Desalination and the environment[J]. Desalination, 2001, 141: 223-236.
- [9]李峰, 龙潇, 刘克. 浅谈海水淡化浓盐水的处理及利用[J]. 应用能源技术, 2012, 1: 13-16.
- [10]Champalbert G, Pagano M, Sene P, et al. Relationships between meso- and macro-zooplankton communities and hydrology in the Senegal River Estuary[J]. Estuar. Coast. Shelf Sci., 2007, 74: 381-394.
- [11]Pequeux A. Osmotic regulation in crustaceans[J]. J. Crust. Biol., 1995, 15: 1-6.
- [12]崔福霞, 肖锦. 铝盐絮凝剂及其环境效应[J]. 工业水处理, 1998, 18(3): 6-9.
- [13]Mickley M, Hamilton R, Gallegos L, et al. Membrane concentration disposal[C]. Denver, Colorado: American Water Works Association Research Foundation, 1993.
- [14]Brandhuber P. Options for inland membrane concentrate disposal[J]. Water & Wastes Digest, 2007: 26.
- [15]张宁, 苏蕾, 苏华. 海水淡化中浓海水的综合利用研究[J]. 海洋科学, 2008, 6: 85-88.
- [16]El-Sayed E, Ebrahim S, Al-Saffar A, et al. Pilot study of MSF-RO hybrid systems[J]. Desalination, 1998, 120: 121-128.
- [17]王会娟, 张竹, 颜亚盟. 海水淡化浓海水零排放技术研究[J]. 盐业与化工, 2014, 11: 11-15.
- [18]Dydo P, Surma A. Zero discharge utilization of saline waters from Wesola coal-mine[J]. Desalination, 2005, 185: 275-280.
- [19]Jibril B E-Y, Ibrahim A. Chemical conversions of salt concentrates from desalination plants[J]. Desalination, 2001, 139: 287-295.

(本文文献格式:于金旗,胡永健,王子健,等.浅析热法海水淡化浓盐水对环境的影响及综合利用[J].广东化工,2017,44(15):193-194)