

海水淡化浓盐水排海的环境影响与对策

李 鹏

杭州水处理技术研究开发中心有限公司 浙江 杭州 310000

摘 要：海水淡化是将海水中盐分和水分离开来，从而生产生活用水或工业用水的过程，通过这种技术可以增加淡水资源的总量，改善全球淡水资源稀缺的状况。常用的海水淡化工艺技术主要包括膜法海水淡化（反渗透RO技术和电渗析技术）和热法海水淡化（多效蒸馏MED技术、多级闪蒸MSF技术）两大类。无论使用哪种方法淡化海水，海水变成淡水的转换率约50%，而剩下的生成浓盐水排放。如果产生的浓盐水直接排入海洋，将会对沿海地区的生态环境带来一定的影响。也就是因为这个问题的存在致使海水淡化产业的大规模推广产生了瓶颈。在现阶段，浓盐水综合利用不仅可以有效的解决排放污染的问题，而且形成一套综合利用的产业链，实现发展的循环经济。

关键词：海水淡化；浓盐水；排海；环境影响与对策

引言

我国是水资源严重短缺的国家之一，合理的利用海水资源是解决这个问题的重要的途径。近年来国家高度重视海水淡化发展，随着沿海地区海水淡化工程的建造和投产，如何处理产生的浓盐水也成为了人们关注的问题。海水中还有丰富的矿物质，经过海水淡化处理以后，浓盐水的含盐量显著提高，并且还含有海水在预处理的过程中投入的一些化学药剂，如果不能正确的处理浓盐水，会导致周边的土壤、水资源以及周边的生态造成影响。

1 国内外浓盐水排放状况与管理

目前全球海水淡化项目中东和北非海湾国家约占60%，其中大部分浓盐水直接排入海洋。在浓盐水排放管理方面，只有少数国家和地区建立了浓盐水排放许可证制度，并对浓盐水排放和盐度影响程度等指标作出了具体规定。比如澳大利亚要求50米排放范围内的盐度增加值小于1.2，扩散1000米后的增加值小于0.8，并要求项目开始前进行环境影响评估。以色列规定在建造海水淡化项目之前应制定排放计划、排水设施环境监测计划和排放成分分析计划，明确排放条件，鼓励深水排放。指导污水坑的位置和排水管道的设计，以便在海水淡化项目的建立和运行过程中控制排放；美国颁布了联邦、州和地方法律，要求海水淡化产生的浓盐水排放到深海，并且在排放点还需要安装专门的扩散器或者通过其他的措施稀释浓盐水。

我国的海水淡化产业正处在快速发展阶段，国家相继出台《环境保护法》《海洋环境保护法》《防治海洋工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》等多部法律法规，对海洋环境加大了的保护和防治力度，同时减轻

工程项目建设造成的污染，降低对海洋环境影响。按照《全国海洋功能区划（2011—2020年）》分析海水淡化与各个功能区的兼容性，除工业与城镇建设区外，海水淡化排放的浓盐水对港口航运区和矿产与能源区等特定区域的影响也是可以耐受的；在《海水淡化浓盐水排放要求》（HY/T0289—2020）中，对浓盐水的一般规定、取样与监测频率、检测方法、水质等提出了明确的规定，规定浓盐水排放口应安装排放装置以加快浓盐水的稀释与扩散，建议浓盐水与冷却海水、满足排放要求的污水等一起混合后排放，确定了浓盐水排放水质要求。建有海水淡化工程的城市，以地方法规的形式对浓盐水排放做出了要求，例如青岛市要求胶州湾附近海域，海水淡化所产生的浓盐水在海水交换良好的海域可以离岸达标排放，也可稀释后近岸排放，但稀释后的海水盐度必须得低于胶州湾海水盐度。

2 海水淡化技术类型

早在20世纪50年代初，美国已经意识水资源的重要性，专门设立盐水局主攻脱盐技术。70年代日本也成立了专门的造水促进中心，推动海水淡化技术的进步和发展。我国在1958年开始进行电渗析海水淡化的研究，1967年国家组织海水淡化大会战，研究解决水资源短缺问题，并在1981年在西沙建成我国第一座200吨/日电渗析海水淡化工程。进入二十一世纪以来，我国在海水淡化关键设备上取得了一定的成就，且具有自主知识产权，比如海水淡化的反渗透膜元件、能量回收装置、反渗透膜壳以及水泵等等，并建立了多个万吨级单机示范工程。

2.1 反渗透膜法（RO）

反渗透技术，是当今最先进和最节能有效的膜分离

技术,也是最常用的膜法海水淡化工艺。其原理是在浓度高的盐水侧施加压力,当压力超过渗透压时,水分子会透过渗透膜进入低压侧形成淡水,而无法透过的物质留在高压侧是形成盐度更高的浓盐水。这个过程的就是压力使水分子的迁移,不经过能量的交换产生任何的相变,能耗较低、且效率高,产水较为稳定,自动化程度高操作简单。反渗透技术应用广泛,如海水淡化、苦咸水处理、医药用水、工业废水、纯水和超纯水等。

2.2 蒸馏法(热法)

蒸馏法又称为“热法”,主要包括多效蒸馏(MED)和多级闪蒸工艺(MSF),其原理是加热-蒸发-冷凝。多效蒸发是将第一个蒸发器加热,产生的蒸汽下一个蒸发器中,利用蒸汽冷凝成淡水的过程释放出来的热能加热第二个蒸发器中,以此类推,使得热能能够得到充分的利用的蒸发系统。常见的有双效蒸发、三效蒸发等。其中低温多效蒸馏最高蒸发温度低于70℃,是蒸馏法中最节能的方法之一。多级闪蒸海水淡化是将海水进行加热后,通过多个压力逐渐降低的闪蒸室中,进行蒸发,使蒸汽冷凝后产生淡水。多级闪蒸单机的容量较大,并且技术可靠、稳定、成熟,多与火力发电站同步联合建设。

蒸馏法是较早投入到工业应用的海水淡化技术,对水质、水温要求不高,热利用率高,化学药剂使用少,维护工作小,产水水质好,是当前海水淡化的主流技术之一。

2.3 电渗析技术(ED)

电渗析技术(ED)是指在电场作用下,利用膜的选择透过性来分离不同的电解质离子的定向迁移过程。通常电渗析器由多个阴膜、阳膜组成的小水室组成,阳离子透过阳膜、阴离子透过阴膜,使部分小水室离子迁移形成淡水室,产生淡水,是膜分离技术的一种,在浓盐水的浓缩处理和纯水的制备中利用率比较高。电渗析仅仅是在电能的驱动下,驱动水中电解质离子迁移的过程,不发生相变,能耗低,设备简单、操作也方便。但是电渗析对解离度小的离子和不解离的离子去除比较难,如水中的硅、硼以及有机物粒子则不能去除,解离度小的物质难以分离,对于水中的重碳酸根去除效率也较低,因此电渗析技术用于海水淡化时,逊于其他技术。

根据自然资源部海洋战略规划与经济司发布的《2021年全国海水利用报告》统计,截至2021年底,全国现有海水淡化工程144个,工程规模1856433吨/日。其中使用反渗透技术的工程数量为126个,工程规模合计1228803吨/日,占总规模的66.19%;使用低温多效技术的

工程数量为16个,工程规模合计620530吨/日,占总规模的33.43%;使用多级闪蒸技术的工程数量为1个,工程规模6000吨/日,占总规模的0.32%;使用电渗析技术的工程数量为1个,工程规模合计600吨/日,占总规模的0.03%;使用正渗透技术的工程数量为1个,工程规模合计500吨/日,占总规模的0.03%;

3 海水淡化浓盐水排海的环境影响

在热法海水淡化过程中,通过热交换的原理使得排放的浓盐水温度升高,导致排放口附近海域的海水温度也随之升高,从而造成一定的热污染。另外,海水温度的升高会影响氧气在水中的溶解度,导致海水含氧量偏低。不过反渗透工艺就不存在这个问题,它是通过物理渗透原理,水温变化不大,影响相对较小。

海水盐度的变化对生态的影响也得重视。目前海水淡化技术的淡水产出率仍然不高,回收率一般在40%~50%,这就意味着50%~60%的浓海水要重新排回大海,而经过处理后的浓盐水的盐度成倍增加,这样导致周边海水的盐度升高。半封闭海湾水交换能力差,直排放的浓盐水会造成排放口附近海域的盐度升高且分布不均匀,在一定程度上影响海洋生态。

在系统运行过程中,海水中含有有机物和大颗粒、大分子物质,为了防止设备结垢、污堵,海水在进入设备之前需要进行多次的预处理,并且在这些过程需要添加一定量的杀菌剂、阻垢剂、还原剂、酸、碱等,以及设备定期的清洗维护中也需要添加清洗剂(酸、碱、次钠等)来完成。浓缩后的有机物、以及药剂随着浓盐水一起排入大海,造成海水的富营养化等;同时海水的腐蚀还有化学清洗带出的金属离子随着废水排入大海,富集后会出现毒害作用,导致海洋生态发生变化。

4 海水淡化浓盐水排海的对策

4.1 加大零排放的投入研究 推行零排放工艺

海水中含有很多钙、镁、钾、溴和盐(氯化钠)等,已黄海沿岸的水质为例,正常海水盐度TDS=28000mg/L,利用海水反渗透技术的淡化,排放的浓盐水TDS≥80000mg/L,且各离子的浓度也大大提高。详细变化见下表。

积极推动海水淡化&制盐生产一体化循环发展模式。根据现在海水淡化工艺,每生产1m³淡水则需要排放1-2m³浓盐水。如果能对浓盐水加以利用,则可形成钾肥、溴素、镁盐材料和精盐等的产业链,带来综合的经济效益,补充了国内这些物资的需求,同时对海洋生态环境起到积极作用。

| 浓度 (mg/L, 离子态) | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|---------|
| | 进水 | 浓水 | | | 产水 | | | 混合产水TDS |
| | | 第一段 | 第二段 | 第三段 | 第一段 | 第二段 | 第三段 | |
| NH ₄ ⁺ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| K ⁺ | 302.7 | 540.3 | 694.6 | 918.2 | 0.41 | 0.90 | 2.75 | 0.88 |
| Na ⁺ | 8,298 | 14,812 | 19,042 | 25,175 | 9.81 | 21.20 | 63.21 | 20.44 |
| Mg ²⁺ | 1,153 | 2,058 | 2,647 | 3,501 | 0.31 | 0.66 | 2.01 | 0.65 |
| Ca ²⁺ | 430.5 | 768.8 | 988.6 | 1,308 | 0.11 | 0.25 | 0.74 | 0.24 |
| Sr ²⁺ | 4.84 | 8.64 | 11.11 | 14.69 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| Ba ²⁺ | 0.12 | 0.21 | 0.28 | 0.37 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CO ₃ ²⁻ | 30.73 | 57.20 | 74.32 | 98.33 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| HCO ₃ ⁻ | 218.6 | 386.5 | 495.2 | 653.3 | 0.39 | 0.78 | 2.21 | 0.74 |
| NO ₃ ⁻ | 0.28 | 0.50 | 0.64 | 0.84 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| F ⁻ | 0.46 | 0.82 | 1.05 | 1.39 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Cl ⁻ | 15,171 | 27,082 | 34,818 | 46,035 | 16.18 | 34.96 | 104.3 | 33.72 |
| Br ⁻ | 45.00 | 80.32 | 103.3 | 136.4 | 0.06 | 0.16 | 0.63 | 0.17 |
| SO ₄ ²⁻ | 2,496 | 4,457 | 5,731 | 7,583 | 0.27 | 0.57 | 1.74 | 0.56 |
| PO ₄ ³⁻ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| SiO ₂ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Boron | 2.21 | 3.89 | 4.95 | 6.42 | 0.07 | 0.16 | 0.42 | 0.15 |
| CO ₂ | 45.54 | 81.60 | 105.1 | 139.0 | 0.81 | 1.56 | 2.58 | 1.23 |
| TDS ^a | 28,162 | 50,275 | 64,636 | 85,461 | 27.97 | 60.42 | 180.0 | 58.24 |
| pH | 8.6 | 8.4 | 8.4 | 8.6 | 6.1 | 6.1 | 6.4 | 6.2 |

常规的盐田法（太阳能蒸发法）将含盐量高的海水引入修好的盐田中，通过太阳能让海水蒸发，这样是海水的浓度逐渐增大，形成中度卤水。通过空气吹溴法提取中度卤水的溴素，随后将剩下的卤水再进入蒸发池，继续蒸发为饱和卤水，饱和卤水分别进入结晶池和真空制盐厂，生产原盐和精制盐。制盐母液通过盐化工分盐生产技术，将海水中的各类盐分分离加以利用，比如氯化镁、氯化钾、硫酸镁等，不仅循环利用还能保护环境和减少污染。随着膜分离技术发展产生了新的制盐方法——电渗析制盐法，其主要是通过选择性离子交换膜浓缩制卤，然后真空蒸发制盐。与常规盐田日晒法相比，电渗析法能够大大节省土地，而且不受天气影响，自动化程度高。

4.2 优化现有直排工艺

借鉴国外海水淡化项目管理措施和中国海水淡化经验，加大对排放周边环境的检测，对排水设施和排放方式进行优化处理，可以保证污水的清洁。增加疏散港，选择海洋水力较好的开放区，避免因开普敦等特定地形造成的波浪破碎和动荡，以确保最大化的混合率。中国有关标准要求浓盐水处置管道末端50~100米处采用多通道扩散，分散位置处水深不少于7米，低潮线起点不少于200米。与此同时，排放点与大陆坡之间的角度介于30至45之间，也有助于提高浓盐水排放后的稀释率和分散率。

4.3 优化海水淡化技术 引领科技创新

现行的海水淡化工艺不管是热法还是膜法，回收率都不高。如何完善现有的海水淡化工艺，保证系统稳定

可靠的运行，提高系统的回收率，减少浓盐水的排放。

一是加强产业链协同创新，充分发挥企业在科技创新中的主体作用，组建创新联合体，统筹推进补齐短板和锻造长板，重点攻克反渗透膜、高压泵、能量回收装置等“卡脖子”技术装备的研究和聚砜、无纺布等关键基础原材料研制，增强产业链、供应链自主可控能力，构建绿色技术创新体系。

二是加强产业孵化集聚创新，加快海水利用创新基地和海水淡化试验场建设，尽快形成中试转化、集成验证和检测评价能力，同时进一步创新“大水务”运营管理模式，打通技术、生产、流通、消费等各环节，推动产业基础高端化、产业链现代化。

三是推动能源绿色创新，针对海水淡化成本主要在用电的实际，与海上风电、波浪能、潮汐能等分布式发电技术和海水淡化自身特点相结合，推动海洋技术综合应用和海上能源淡化一体化供给体系建设，为碳达峰碳中和目标实现贡献力量。

结束语：

我国用占全球7%的水资源，而人口占全球的21%。随着全球变暖，人均年水资源总量在不断降低，淡水资源严重缺乏，海水是取之不尽、用之不竭的资源，这也给了海水的综合利用提供了发展空间，向大海要水喝是解决淡水资源的必然选择。然后浓盐水排放对生态环境的影响还没有明确统一的定论，但是加大对浓盐水的综合利用，减少排放，使得海水淡化产业健康、绿色、可持续发展是一个必然趋势。希望政府部门加大对海水淡化的政策扶持，完善政策标准体系，促进规范化的发展。

参考文献：

[1]黄岩,宋鑫,邹昌明,刘春雨,石保忠.海洋石油海水淡化产生的浓盐水排放探讨[J].精细与专用化学品,2020,28(07):17-19.

[2]徐显,张拂坤,邹川玲,刘淑静.晋江海域海水淡化工程浓盐水排海方案研究[J].海洋技术学报,2019,38(04):91-96.

[3]赵鹏达.海水淡化热浓盐水排放对流扩散规律数值模拟研究[D].大连理工大学,2018.

[4]孙腾.海水淡化浓盐水制盐过程的模拟和优化设计[D].中国海洋大学,2015.

[5]马学虎,兰忠,王四芳,李璐.海水淡化浓盐水排放对环境的影响与零排放技术研究进展[J].化工进展,2011,30(01):233-242.