



图1 生物滤池处理技术

3.7 氧化塘与人工湿地

氧化塘与人工湿地也是十分有效地处理污水的技术。主要是利用填料对污水进行物理和生物降解的一项技术。通过打造良好的水生生态系统，发挥水生植物和微生物的共同作用，达到良好的处理效果。微生物吸收污水中的有机污染物，从中获取能量，发挥新陈代谢等作用，藻类通过光合作用固定二氧化碳，从有机污染物中获取能量，和有机物合成新的细胞，释放出氧，供好氧细菌代谢利用，适用于中低浓度污水处理的场合。

4 微生物在污水处理应用中存在的问题

微生物在污水处理应用中存在诸多的优势，但也有一些不足之处。分析目前市场可以发现，现有的污水处理菌剂多种多样，但大多数只包含一种或者两种不同种类的微生物，也是比较常见的微生物种群。因此，在处理污染物成分十分复杂的污水时，效果并不理想。这也是当前微生物技术发展所存在的难题。

①低温下微生物处理效率低。在污水处理的过程中，需要考虑到温度条件。微生物的种类不同，适应的环境温度也有很大的差异。在具体的污水处理中，一些人员忽略了温度这一环境条件带来的影响，监测工作中缺乏对环境的监测。外部环境中温度发生变化，尤其是处于低温环境中，会影响到微生物的活性，进一步影响到污水处理的效果。②微生物制剂的筛选周期长，在培育工作中面临着诸多不确定的因素，导致应用效果并不稳定，无法确定具体的应用条件。很多微生物制剂直接取材于大自然或者人工培育，活性强弱不同，在常规污水处理方面效果比较明显。③相关制度不健全。环境污水处理工作中，涉及相关国家和地方政府出台的技术标准章程等文件，相关单位需要结合自身情况，完善制度内容，加强约束管理。然而在一些项目中，相关单位的制度并不健全，并未更新技术标准，导致微生物技术应用的流程不规范，过程不严谨，影响到最终的处理成果。

5 微生物在环境污水处理中的发展

通过分析微生物在环境污水处理中的作用和具体应用，

可以认识到其有足够的优势。近些年，随着技术水平不断提升，微生物也有着更为广阔的发展前景。微生物在应用中存在一些不足之处，因此相关部门和企业需要加强技术研发，推动微生物技术朝着多元化方向发展，例如，固态微生物、基因工程菌、特定菌群等技术。可以充分发挥微生物的应用优势，弥补以往的不足。确保微生物有着良好的适应性，控制投入成本，达到良好的应用效果，满足环境污水处理的需求。与此同时，还需要丰富微生物制剂的种类，应对污染物成分复杂的污水情况，适应性能强，加强环境管理与保护建设。此外，相关单位要提高重视，加强日常管理。结合国家出台的技术章程，进一步细化管理制度，规范技术的应用流程，安排专业的技术人员，严格遵守相关的技术标准，设置合理的温度湿度，加强过程监测工作，有效控制处理过程中存在的影响因素，提高微生物技术的应用效率。

5 结语

综上所述，在环境污水处理工作中微生物技术的应用越来越广泛，也是当下市场中的热点内容。微生物能够充分发挥降解、祛毒和代谢作用，控制污水中污染物的含量，达到净化的目的。相关单位需要考虑到污水的特点，根据处理要求选择合适技术，优化整体设计，编制完善方案，顺利推进取得显著效果。同时也要认识到该技术存在的不足之处。相关部门和企业加大对微生物技术的研发工作，提高微生物技术的环境适应性，丰富微生物制剂种类，提高净化效率，从而满足我国环境污水处理的多元化需求，达到良好的净化效果，实现经济效益和生态效益的并重，促进社会的可持续发展。

参考文献

- [1] 颜宏亮. 环境污水处理中微生物的应用研究[J]. 农村科学实验,2021(4):32-33.
- [2] 陈苏文,李志,蒋国龙. 环境污水处理中微生物的应用[J]. 化工管理,2021(5):25-26.
- [3] 季晓艳. 环境污水处理中微生物的应用研究[J]. 中国资源综合利用,2021,39(11):189-191,201.

Optimizing the operation mode of seawater desalination system to reduce the concentration polarization of reverse osmosis membrane

Ping Yang Jinglin Li Zefeng Yu Tiejun Guo Jing Liao

Fujian Ningde Nuclear Power Co., Ltd., Fuding, Fujian, 355200, China

Abstract

This paper analyzes the causes of the concentration polarization of reverse osmosis membrane in seawater desalination system and the measures to reduce the concentration polarization. Combined with the actual operation of the current seawater desalination system in the power station, without changing the system operation process, The operation mode adjustment measures are adopted to periodically adjust the water production of seawater desalination system and recycle the seawater reverse osmosis water produced. Through the actual operation of 2 years, it is verified that the above measures can effectively slow down the scale on the surface of the reverse osmosis membrane, reduce the influence of concentration polarization on the reverse osmosis membrane, and extend the chemical cleaning cycle of the seawater reverse osmosis membrane to more than 2 years. The operation performance of reverse osmosis is effectively improved.

Keywords

seawater desalination; Reverse osmosis membrane; Weaken; Concentration polarization

优化海水淡化系统运行方式减弱反渗透膜浓差极化探索

杨平 李静林 虞泽锋 郭铁军 廖靖

福建宁德核电有限公司, 中国·福建 福鼎 355200

摘要

本文通过分析海水淡化系统反渗透膜浓差极化产生的原因和减弱浓差极化的措施, 并且结合电站目前海水淡化系统的实际运行情况, 在不对系统运行工艺流程进行改动情况下, 采取对海水淡化系统产水量进行周期性调整同时对海水反渗透产水进行回收利用的运行方式调整措施, 通过2年的实际运行, 验证采取以上措施能有效减缓反渗透膜表面结垢, 减弱了浓差极化对反渗透膜的影响, 海水反渗透膜的化学清洗周期延长至2年以上, 有效提高了反渗透运行性能。

关键词

海水淡化; 反渗透膜; 减弱; 浓差极化

1 引言

海水淡化系统采用的是膜法脱盐, 浓差极化和膜污染是影响反渗透膜脱盐率的两个重要因素, 其中浓差极化伴随着反渗透的整个运行周期, 浓差极化不仅导致反渗透膜表面迅速结垢, 而且造成反渗透膜脱盐率降低, 减轻浓差极化对反渗透运行有重要意义。

海水淡化系统运行一段时间之后运行压力、压差、脱盐率等参数都会缓慢上涨, 此时需要根据运行参数进行化学清洗, 海水淡化系统化学清洗指标如下: 反渗透运行工作压力上升 10%~15%、进水与浓水之间的压差较初始压差增加 0.25MPa、脱盐率低于 98% 需要进行化学清洗。化学清洗主

要使用强酸性和强碱性试剂对反渗透膜进行浸泡、冲洗, 清洗掉膜表面沉积的污染物, 频繁的化学清洗会迅速降低反渗透膜性能, 因此如果能减轻浓差极化对减缓反渗透膜结垢, 不仅能提高反渗透膜出水水质, 而且对降低化学清洗频率, 延长反渗透膜寿命有积极的意义。

2 浓差极化影响因素

浓差极化是离子分离过程中的一种现象, 溶液中的溶剂在压力驱动下透过膜, 溶质(离子或不同分子量溶质)被截留, 在临近膜界面区域浓度越来越高, 在浓度梯度作用下, 溶质又会由膜面向本体溶液扩散, 形成边界层, 使流体阻力与局部渗透压增加, 从而导致溶剂透过通量下降。^[1]

改善膜表面的流体力学条件的方法主要有: 错流过滤、稳态湍流、不稳定流体流动、流化床、反冲、附加场和机械方法等, 可以采取多种方法对膜过滤过程中的浓差极化和膜

【作者简介】杨平(1988), 男, 学士, 高级工程师, 福建宁德, 主要从事核电站化水系统运行管理工作。

污染进行控制和改善。^[2]

浓差极化不能消除只能减弱其影响，并且高压、高浓度和稳定运行的流体浓差极化现象越明显，越容易发生结垢。因此，从原理上可归纳为三种方法减弱浓差极化：1) 降低压力可避免增加沉淀层厚度和密度，可减弱浓差极化；2) 降低流体中溶质浓度，可减弱浓差极化；3) 降低膜表面溶质的浓度，也可减轻浓差极化。

3 减弱浓差极化方案

电站海水淡化系统产水仅供生产区内的工业用水和生活用水，白天和夜间下游用水量差异较大，由于海水淡化系统水箱容积较小，海水淡化系统采用连续运行方式，系统日常运行时会有少量淡水被溢流损失掉。

因此，根据海水淡化系统实际运行情况制定了如下两种减弱浓差极化影响的措施：1) 海水淡化系统正常运行回收率40%~45%，每日周期性调整系统运行产水流量，通过周期性改变系统运行压力和流量，对膜表面浓海水形成的边界层产生扰动来减薄边界层，以此来减弱浓差极化；2) 海水淡化系统水箱溢流水进行回收利用，将溢流淡水引至反渗透入口与海水混合降低海水含盐量，通过低浓度的海水减薄边界层，间接达到对膜表面自动“冲洗”的目的，通过破坏膜表面边界层的稳定性来减弱浓差极化的影响。

4 离线试验

海水淡化系统一级反渗透使用的是海水膜，如果进水电导过低将导致系统无法建立稳定的渗透压和运行模式，因

此进水电导按照大于25000 $\mu\text{s/cm}$ 进行控制。为验证优化海水淡化系统运行方式减弱浓差极化方案的可行性，模拟了系统实际运行各种工况下的水量情况，进行了淡水与海水混合后的电导率试验。

根据试验结果按照理论上的最大淡水回流量试验反渗透膜的进水电导仍大于30000 $\mu\text{s/cm}$ ，因此将海水淡化系统产水溢流回收具备可行性。

5 运行方式优化试验

在进行充分的风险分析和离线试验后，对海水淡化系统运行方式进行了上述的优化调整，所有调整都是在系统允许运行范围内进行。下表2中选取了2022~2024年相近月份海水反渗透部分运行数据，可以看出海水反渗透在溢流淡水回收后运行压力有明显降低，并且脱盐率最高提升0.2%，证明淡水回收对降低浓差极化的影响效果明显。同时2022年海水淡化系统按新模式运行，截至2024年初未进行化学清洗，同时在海水反渗透运行产水流量不变的情况下，海水反渗透膜压差由0.90bar上升至约0.95bar，远低于需要进行化学清洗压差(2.5 bar)，并且同期脱盐率没有明显变化，各项参加均在正常范围内。

对海水淡化系统同一列海水反渗透近5年的运行数据进行汇总分析，海水反渗透运行脱盐率和压差变化趋势如下图1和图2，从趋势图可以看出目前海水淡化系统整体运行趋势正常，海水反渗透运行脱盐率和压差随海水水温呈周期性变化，优化海水淡化系统运行方式且长时间未进行化学清洗海水反渗透无异常。

表 1. 海水反渗透淡水回收模拟试验数据

序号	海水 (mL)	淡水 (mL)	混合比例 (海水 / 淡水)	混合后电导率 ($\mu\text{s/cm}$)	电导率降低幅度
1	300	0	300 \ 0 (原海水)	43500	0.00%
2	210	120	7 \ 4 (最大淡水回流量)	30900	28.97%
3	210	90	7 \ 3	31100	28.51%
4	220	80	11 \ 4	33900	22.07%
5	270	30	9 \ 1	37800	13.10%
6	280	20	14 \ 1	38900	10.57%
7	290	10	29 \ 1	40400	7.13%
8	295	5	59 \ 1	42400	2.53%

表 2. 海水反渗透淡水回收前后运行参数对比

日期	进水电导 ($\mu\text{s/cm}$)	进水压力 (bar)	运行压差 (bar)	产水电导 ($\mu\text{s/cm}$)	产水流量 (t/h)	脱盐率 (%)
2022.2.24 (淡水回收前)	42400	45.7	0.89	371	130	99.1%
2022.2.24 (淡水回收后)	33900	37.4	0.90	276	130	99.2%
2023.1.26 (淡水回收前)	43800	47.3	0.93	334	130	99.2%
2023.1.26 (淡水回收后)	35700	39.1	0.95	267	130	99.3%
2024.1.31 (淡水回收前)	43600	47.2	0.94	378	130	99.1%
2024.1.31 (淡水回收后)	36300	39.6	0.95	226	130	99.3%