

# 1. 电化学海水淡化成套技术设备

本项目以电凝聚-过滤进行预处理，以流过式离子吸附器 (FTA: Flow Through Adsorption)、流过式电容器 (FTC: Flow Through Capacitor, 又称 CDI: Capacitive Deionization) 进行海水淡化，以低电压电解臭氧进行消毒处理。该工艺与现有蒸馏、膜法 (反渗透) 等海水淡化工艺不同，可实现海水淡化和盐一体化生产，且海水淡化生产全程无化学药剂使用，并期望将产水达到饮用水标准，作为城市饮用水并入城市供水管网，产水成本降至 3.5 元/m<sup>3</sup>。通过示范工程的建设、运行，确定适宜的工艺条件及与之相适应的系列化电化学海水淡化成套技术设备。

电化学海水淡化的核心技术为流过式电容去离子法 FTC (Flow Through Capacitor, 又称 CDI: Capacitive Deionization)。CDI 是在电场力的作用下，直接将水中相对量很小的离子吸附分离出来，而不是把大量的水从原水中分离出来，因而无需高温、高压，所以能耗相对较低，且浓水少、产水率高。

CDI 技术已在钢铁冶金、石化炼油等污水除盐处理中得到实际应用。目前电化学海水淡化技术因其低成本、低能耗、无二次污染等优势越来越受到人们的重视，但世界上尚无采用电化学技术实现海水淡化的成套技术。

淡化水色度 (度)  $\leq 15$ ；浑浊度 (度)  $\leq 1$ ；无异臭、异味；无肉眼观察可见杂物；pH 值 6.5~8.5；TDS/mg/L  $\leq 1000$ ；细菌总数 CFU/mL  $\leq 100$ ；总大肠菌群、粪大肠菌群 每 100mL 水样中不得检出。淡化水从海水的提取率高于 60%；每吨水生产成本为 3.5 元；海水淡化吨水耗电量可控制在 2.0kWh 以下。以 10000 m<sup>3</sup>/d 计，投资在 5000 万左右，占地 4800 m<sup>2</sup>。

辽宁营口市沿海产业基地建成大型电化学海水淡化示范基地，为我国以海水为水源生产饮用水提供示范。

## 典型案例

### 【案例名称】

240 m<sup>3</sup>/d 电化学海水淡化成套技术设备

### 【项目概况】

辽宁隆鑫高新能源开发有限公司开发了电凝聚-过滤、FTA-FTC 去离子、低电压电解臭氧消毒全新的海水淡化成套技术与设备。在实验室小试的基础上，已在辽宁营口市沿海产业基地建成可产水 240 m<sup>3</sup>/d 电化学海水中试生产线，采用苦咸水、大连海水及营口近海海水水样进行了为期 6 个多月的中试探索。本项目拥有自主知识产权的电化学海水淡化技术设备，开创了我国电化学海水淡化装置大规模开发利用工业化的先河，填补了电化学海水淡化领域技术空白，标志着中国海水淡化设备研发已达先进水平。

### 【工艺与装备】

本项目以电凝聚-过滤技术对海水进行预处理，去除悬浮固体（SS）、COD 以及部分金属离子等；以流过式离子吸附器 FTA、流过式电容器 FTC 进行海水淡化，去除 TDS，实现脱盐处理；以低电压电解臭氧进行消毒、深度净化处理，最终得到生活用淡水。同时利用超级电容器存储电能及可快速充放电的特性，实现对整套电化学海水淡化过程中残电回收。本项目核心技术-流过式电容去离子法 FTC（又称 CDI）与蒸馏、反渗透相比，所具有的优势体现在：CDI 是在电场力的作用下，直接将水中相对量很小的离子吸附分离出来，而不是把大量的水从原水中分离出来，因而无需高温、高压，所以能耗相对较低，且浓水少、产水率高。本项目所采用的技术工艺流程与部分装置设备见图 3.1.1 和图 3.1.2。

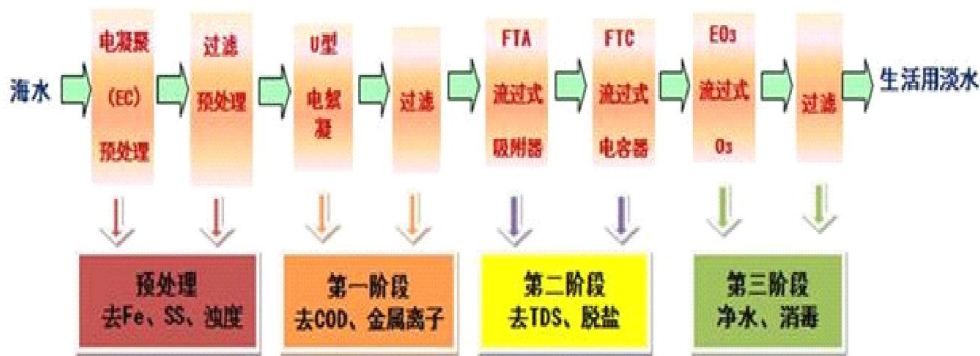


图 3.1.1 电化学海水淡化技术工艺流程图



a. 电凝聚 (EC) 单体内部实物图; b. 工程现场中试装置示意图

图 3.1.2 电化学海水淡化部分装置实物图

### 创新性和特色

1) 电凝聚-过滤预处理关键技术及设备。采用周期换向电凝聚-过滤工艺强化海水预处理,以期去除海水中的浊度、SS、Fe、Ca、Mg 等离子,并通过周期换向提高凝聚效率、防止极板钝化和省电。

2) 流过式吸附器 (FTA) 吸附材料与吸附去离子技术、设备。研究新型 FTA 吸附材料用于直接处理离子浓度高的海水 (同时吸附海水中的  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ ),用 FTA 吸附去离子工艺无须对海水原液进行稀释、调整 pH、或添加化学品 (如阻垢剂、石灰、酸与甲醛等)。

3) 超大型电容去离子 (FTC) 工艺关键技术及设备。与蒸馏、反渗透相比, FTC 是在电场力的作用下,直接将水中相对量很小的离子吸附分离出来,而不是把大量的水从原水中分离出来,因而无需高温、高压,所以能耗相对较低。FTC 去离子的核心是由许多片涂层防腐复合钛材料制成的平行电极,电极材料直接影响离子去除的效率。FTC 质量的优劣,水平的高低,关键在于电极之电双层建立 (充电) 与消散 (放电) 的效率。本项目主要开发钛-碳电极作为海水淡化工艺的电极材料,并采用双极性电极组装。

4) 超电容储存、回收 FTC 残电关键技术。本项目开发的超电容,具有快充快放和电流瞬间放大功能,因而可将从 FTC 上回收的残电,用于下一次充电 (吸离子) 作业。试验结果表明,用超电容可回收 FTC 电极 30% 以上的残电,保障 FTC 以低功率运转,吨水耗电量在反渗透用电量的 1/3 以下,海水淡化本体装置的吨水耗电量可在 2kWh 以内。

5) 超大型 FTA-FTC 装置的设计与优化。在现有的吸附法与电容去离子装备中,还没有能满足大流量、快速海水淡化的超大型电容去离子成套装备。在工艺

条件确定的条件下，借鉴现有装备中成熟可靠的设备进行组合集成，研制新的工艺设备。

6) 低电压电解臭氧消毒、深度净化技术及设备。臭氧反应器由臭氧阳极+金属阴极+容器+直流电源组成。特制阳极在通低压（12V 以下）直流电后，将产生臭氧催化剂，在出水中直接产臭氧，臭氧生成率达到 30%，远高于传统的辉光放电（3000V，4%），用其进行消毒和进一步深度净化去除有害物。

#### **【操作参数与运行结果】**

已在辽宁营口市沿海产业基地建成可产水 240 m<sup>3</sup>/d 电化学海水中试生产线，采用苦咸水、大连海水及营口近海海水水样进行了为期 6 个多月的中试探索，中试工艺装置可连续正常运行。同时海水淡化生产全程无化学药剂使用，并期望将产水达到饮用水标准，作为城市饮用水并入城市供水管网。

#### **【效益分析】**

电化学海水淡化的造水成本包括化学药品消耗、电力消耗、材料消耗、人工工资、福利及管理费用、维修费用、设备折旧费用以及银行贷款等。在进行造水成本分析时，工程的折旧年限以 15 年计，装置的设备利用率以 90% 计，每度电价以 0.6 元计，根据 2012 年 4 月至今中试实际运行情况，海水淡化单位生产经营成本为 2.8 元/m<sup>3</sup>，单位造水总成本为 3.45 元/m<sup>3</sup>。以 10000 m<sup>3</sup>/d 计，投资在 5000 万左右，占地 4800 m<sup>2</sup>。以日产 5 万吨淡化水工程估算，总投资约 39636 万元。

#### **【应用情况】**

工程化装置规模为 1000 m<sup>3</sup>/d~10000 m<sup>3</sup>/d，产水水质 TDS≤1000mg/L；吨水耗电<2.0 kWh；淡水收率达 70%以上。以上装置均可根据用户要求定制设计。

#### **【技术信息咨询单位及联系方式】**

联系单位：辽宁隆鑫高新能源开发有限公司

联系人：贾晓东

地址：辽宁省营口市沿海产业基地新联大街东 1 号

邮政编码：115004

电话：0417-3888990

E-mail：757151999@qq.com