

12. 阀控式能量回收技术与装备

海水淡化已成为解决全球水资源短缺的重要战略手段之一，有着广阔的发展前景。在能源价格不断攀升的形势下，反渗透海水淡化凭借相对较低的成本、设备简单、易于维护和设备模块化的优点迅速占领市场，逐步取代蒸馏法成为应用最广泛的方法。

反渗透海水淡化属于压力驱动的膜分离过程，根据盐浓度的不同，原料海水进入反渗透膜组件之前由高压泵将压力提升到 5.5~8.0MPa 之间。其中约 45% 的原料海水被淡化成产品水，剩余约 55% 被浓缩为浓海水。浓海水中含有与反渗透给水相同的压力品位，直接排放将造成巨大的能量浪费。因此通过能量回收装置高效回收利用高压浓海水中的余压能量，对大幅降低反渗透海水淡化产水成本具有重要意义。

早在上世纪 80 年代，国外就开始采用水力涡轮式能量回收装置回收浓水的能量，浓海水余压能经过“压力能—机械能(轴功)—压力能”两步转化过程，能量回收效率约 30%~75%，使反渗透海水淡化制水能耗由原来的 10~12kWh/m³ 下降到 6~8kWh/m³。到 90 年代末，反渗透海水淡化膜制备技术不断提高，性能不断改善，基于功交换原理的能量回收装置也开始进入了商业化应用，该能量回收装置只需“压力能—压力能”一步转化过程，能量回收效率高达 90% 以上，制水能耗下降到 4~5kWh/m³。

本海水淡化能量回收装置采用等压正位移原理，通过直接接触的压力交换方式，高效回收利用反渗透海水淡化系统排出的高压浓海水的余压能，并将其转化为反渗透系统进料海水的压力能，实现系统浓海水余压能的高效直接利用，有利于大幅降低高压泵的输出流量及系统制水的电能消耗。该装置主要由切换器、压力交换缸和止回阀组三部分组成，通过切换器周期性往复运动，实现高压浓海水与低压原海水间压力交换过程的连续进行。具有往复行程短、驱动力小、运行效率高等优点。

经过国家“十五”、“十一五”科技支撑计划项目研究，形成了具有我国自主知识产权的阀控式能量回收技术与装备。装置单机处理负荷最高可达 2000m³/d (以系统产水量计)，装置最高工作压力 6.9MPa，能量回收效率 95~98%。该

技术装置 2006 年在天津塘沽 1000 m³/d 反渗透海水淡化示范工程首次得到示范应用（见图 1.12.1）。



图 1.12.1 天津塘沽 1000 m³/d 反渗透海水淡化能量回收装置示范现场

典型案例一

【案例名称】

能量回收装置在纳滤海水淡化工程的应用

【项目概况】

该项目得到了国家科技支撑计划（2002BA313B10，2006BAB03A021）和天津市科技攻关重大项目（043185211-4）的资助。

2012 年，中国海洋大学在青岛黄岛电厂建设了一套 100 m³/d 纳滤海水软化系统，采用胶州湾地区海水为原海水。该系统装置需要回收利用的高压浓海水的最高压力为 3.8MPa，流量为 3.5 m³/h。

该能量回收装置于 2012 年 6 月完成现场安装和调试运行，至今已连续稳定运行 2 年时间。图 1.12.2 为能量回收装置现场应用图片。



图 1.12.2 能量回收装置在纳滤海水淡化工程的应用（青岛）

【工艺与装备】

海水纳滤软化系统排放的高压浓海水全部进入海水淡化能量回收装置进行压力交换和回收利用，经能量回收装置加压后的增压海水需再经系统提升泵进一步补充少量压头，使其达到纳滤膜组器的操作压力水平，并与高压泵输出的高压海水汇合后共同作为纳滤膜组件的系统进料。能量回收装置与海水淡化纳滤软化系统间通过 Profibus 通讯协议方式实现一体化运行控制。

【应用情况】

2013 年和 2014 年该技术装置在天津锐马兰盾科技有限公司 NF-ERD 海水淡化工程一期和二期中分别获得了工程推广应用。

【技术信息咨询单位及联系方式】

联系单位：天津大学海水淡化与膜技术研究中心；

联系人：王 越

地 址：天津市南开区卫津路 92 号天津大学化工所

邮政编码：300072

电 话：022-27406889

E-mail: tdwy75@tju.edu.cn

典型案例二

【案例名称】

千吨级插装阀控式能量回收装备

【装备概况】

为提升我国海水淡化技术核心竞争力，2008 年项目组在浙江省重大科技计划项目“千吨级反渗透海水淡化能量回收装置开发（2008C13045）”的支持下，深入研究大中型能量回收装置能量传递机理，提出等压交换式能量回收工艺原理，自主开发出四通旋转阀、电液换向阀、水压驱动阀、压力交换管以及换向控制系统等关键部件与技术，研制出千吨级插装阀控式能量回收装置。经测试，装置负载（浓海水）处理量为 65m³/h 时，能量回收效率达 97.7%，达国际先进水平。图 1.12.3 为 ER-DY65 型插装阀控式能量回收装置。

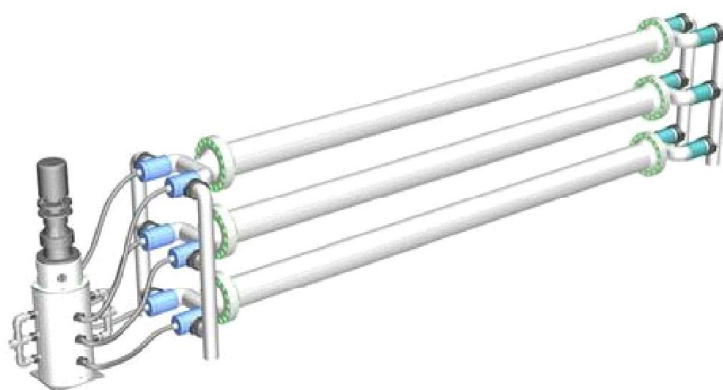


图 1.12.3 插装阀控式能量回收装置（ER-DY65）

【原理与结构】

ER-DY 是一款用于大中型规模反渗透海水淡化系统的高效能量回收装置。ER-DY 通常与反渗透系统高压泵并联使用，利用浓海水余压能直接增压部分进料海水，降低了通过高压泵增压的进料海水的流量，从而减小高压泵的规模和能耗。

ER-DY65 由三个压力交换单元组成，并可以随系统处理量增大而增加压力交换单元。每个压力交换单元由 1 只电液换向阀、2 只水压驱动执行阀、2 只配流单向阀、1 根压力交换管构成。电液换向阀独立控制对应 2 只水压驱动执行阀执行高低压浓水换向。ER-DY65 采用模块化设计，换向瞬间压力流量波动小，结构简单，易于实现标准化。

插装阀控式能量回收装置 ER-DY65 通过控制电液换向阀动作，利用压力海水

作为启闭水压驱动阀、单向阀的动力，使低压海水进入低压缸，同时排出低压浓水；高压浓水进入高压缸，同时推动高压海水进入反渗透装置，即让高压浓水压力直接传递给低压海水，完成海水、浓水的输送过程，使高压的反渗透浓水的余压能量予以回收。

图 1.12.4 为插装阀控式能量回收装置工作原理示意图。

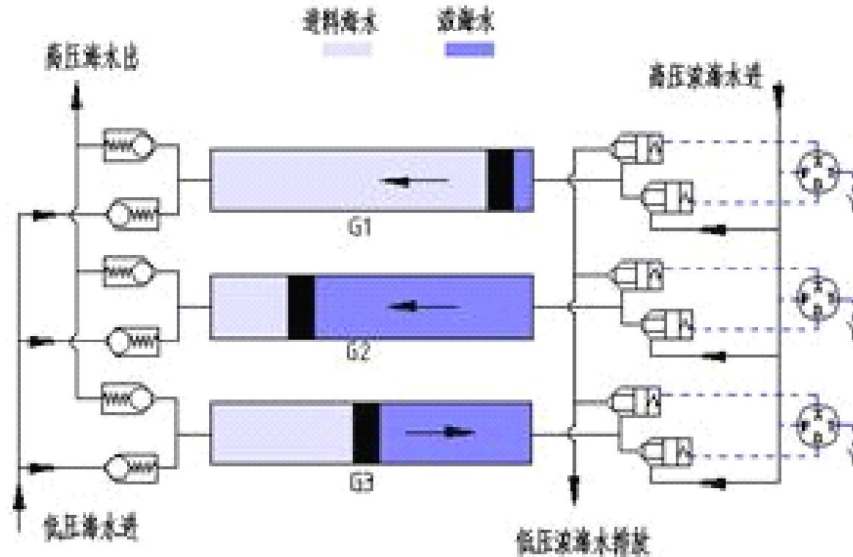


图 1.12.4 插装阀控式能量回收装置（ER-DY65）工作原理

关键技术：

(1) 项目首次提出插装阀控式能量回收装置工艺原理，采用插装式结构及多根压力交换管耦合技术，利用高压浓海水直接推动压力交换管中的活塞来增压进料海水，实现海水淡化浓海水余压能高效回收再利用。

(2) 项目针对能量回收装置过流介质浓海水的特性及能量回收过程工况特点，对高低压浓海水换向控制技术、摩擦副材料配对优选、自润滑及密封技术等关键技术进行研究，自主研制出与能量回收装置工况匹配的水压单向阀、水压插装阀、电液换向阀、压力交换管等关键水压部件及技术，保证了大中规模能量回收装置得以实现。

【主要技术经济指标】

经浙江省计量科学研究院检测（报告编号：LL-2010040396），研制的插装阀控式能量回收装置（ER-DY65）性能测试结果如下：

- 1) 单套能量回收装置负载处理量：65m³/h；

2) 对应有效能量转换效率: 97.7%;

3) 噪音: 78dB。

能量回收装置的应用可以大幅降低海水淡化系统制水能耗, 经济效益十分明显。以应用一套 ER-DY65 能量回收装置(与日产淡水 1000m³/d 海水淡化工程配套)为例:

吨水可节约用电: 3.5kW·h/m³; 电价: 0.8 元/kW.h; 开工率: 90%计

则每年节电总费用为:

$$\xi = 1000 \times 365 \times 0.8 \times 3.5 \times 0.9 / 10000 = 91.98 \text{ (万元/年)}$$

目前, 与 1000m³/d 海水淡化工程配套的美国产 PX 型能量回收装置售价约 50 万人民币, 预计 6 个月即可回收设备投资。同时与不用能量回收装置的系统相比, 可以减少高压泵规模的 60%, 大大降低高压泵的投资, 基本不会增加设备总投资。

【应用情况】

该能量回收装置已在舟山海岛中小型海水淡化工程中得到推广应用。

【技术信息咨询单位及联系方式】

联系单位: 杭州水处理技术研究开发中心有限公司

联系人: 张希建

地址: 杭州市西湖区文一西路 50 号

邮政编码: 310012

电话: 0571-88935372

E-mail: 13958008566@126.com