



# 我国海水淡化及综合利用技术研发现状及展望

---

阮国岭

国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所

2016年11月26日



# 提纲

---

1. 我国海水淡化发展现状
2. 海水淡化技术研究
3. 工程设计
4. 典型案例
5. 展望

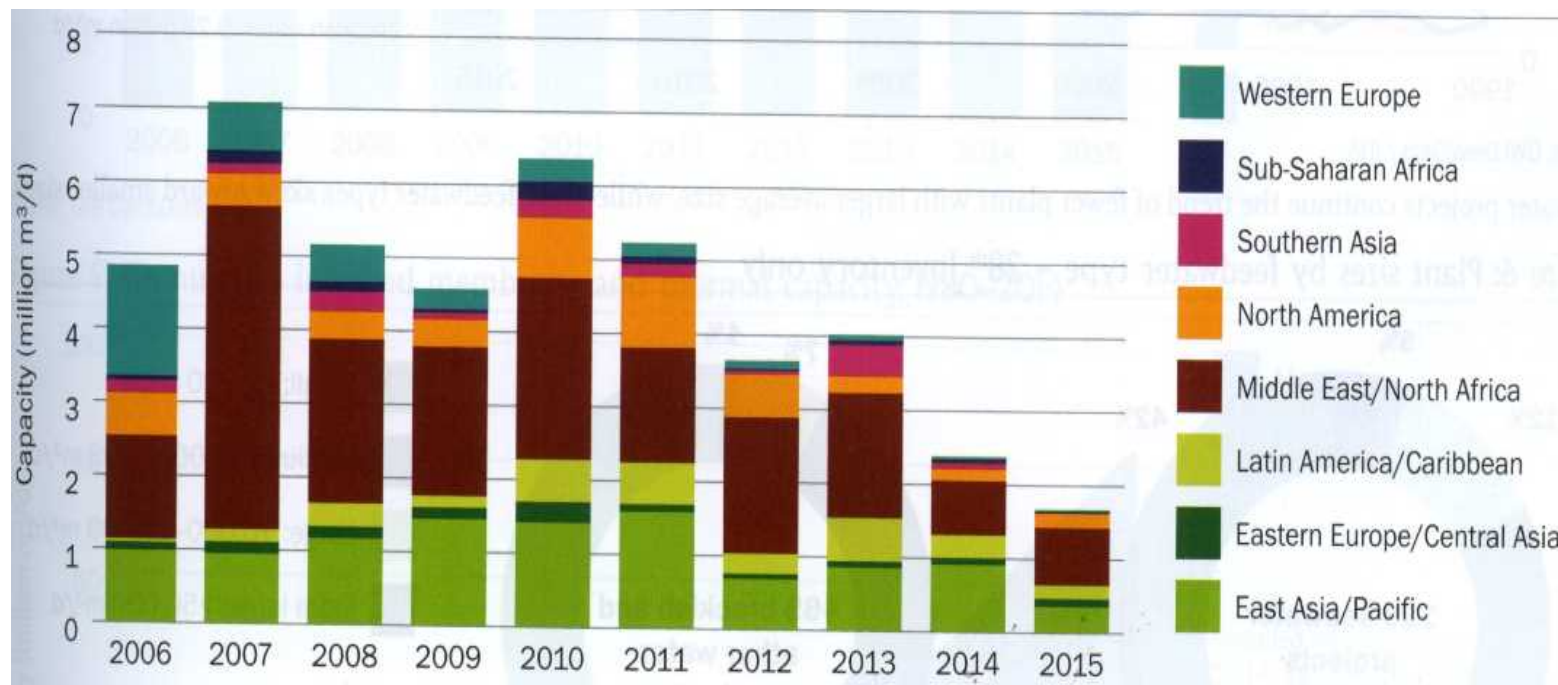


# 1. 我国海水淡化发展现状



# 1. 我国海水淡化发展现状

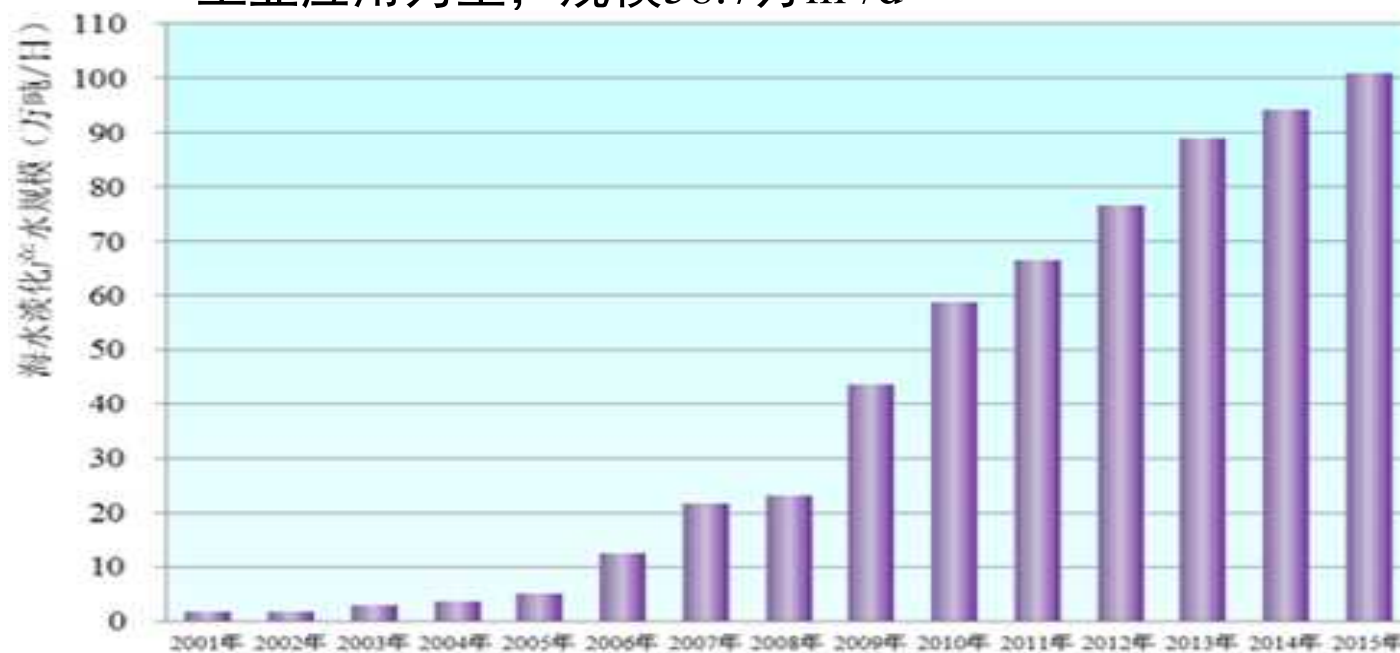
- 海水淡化在世界范围内获得广泛应用，市场遍布全球沿海及内陆缺水地区，中东和亚太市场相对活跃
- 多级闪蒸（MSF）、低温多效（MED）、反渗透（RO）是三大主流技术，其中RO的市场占有率最高，但MSF、MED在中东地区的接收程度更高





# 1. 我国海水淡化发展现状

- 我国根据自身能源供给情况，经过20多年技术攻关，形成MED与RO并驾齐驱的海水淡化技术发展战略
- 截至2015年底，
  - 投建海水工程121个，总规模100.9万m<sup>3</sup>/d，MED占34.5%，RO占64.9%
  - 主要分布北方沿海，天津产业发展位列全国之首，但淡化水用途单一，以工业应用为主，规模58.7万m<sup>3</sup>/d

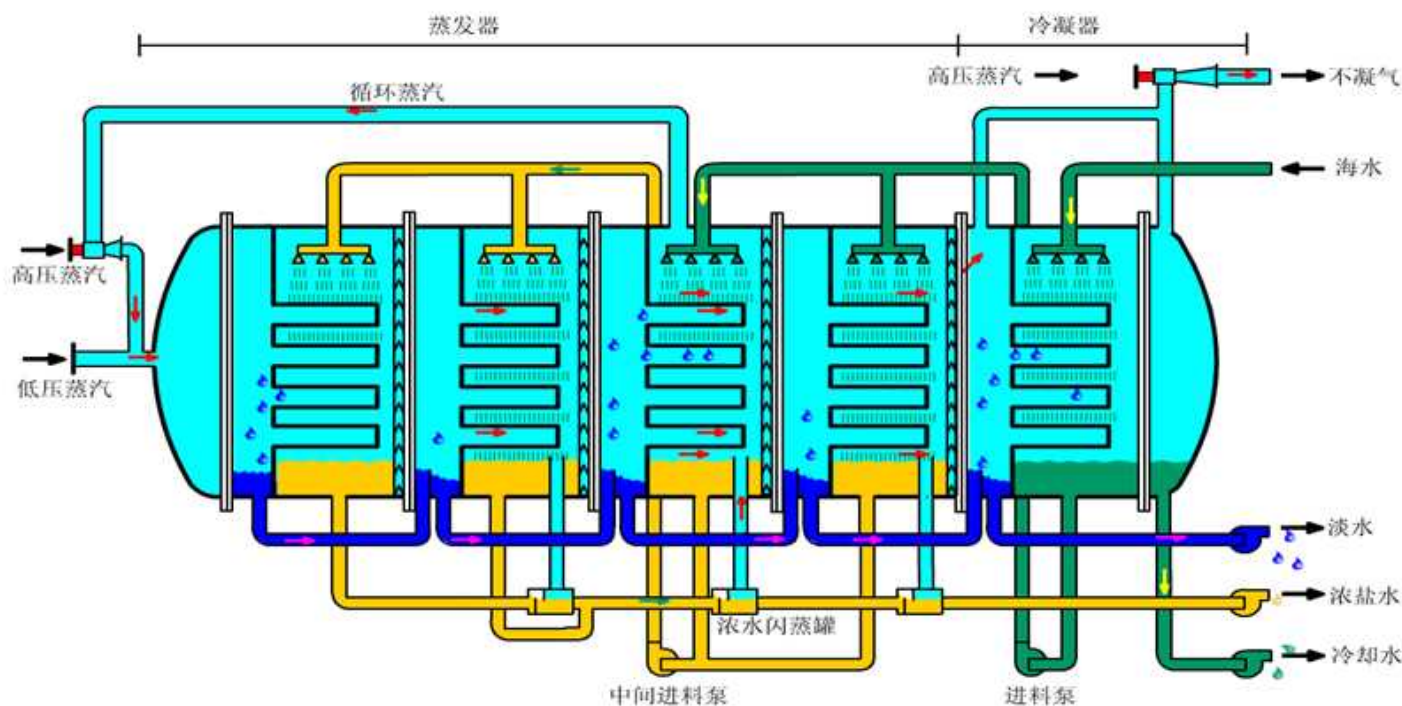


我国海水淡化工程规模  
20年间变化趋势图

# 1. 我国海水淡化发展现状

## ■ 低温多效海水淡化 (MED)

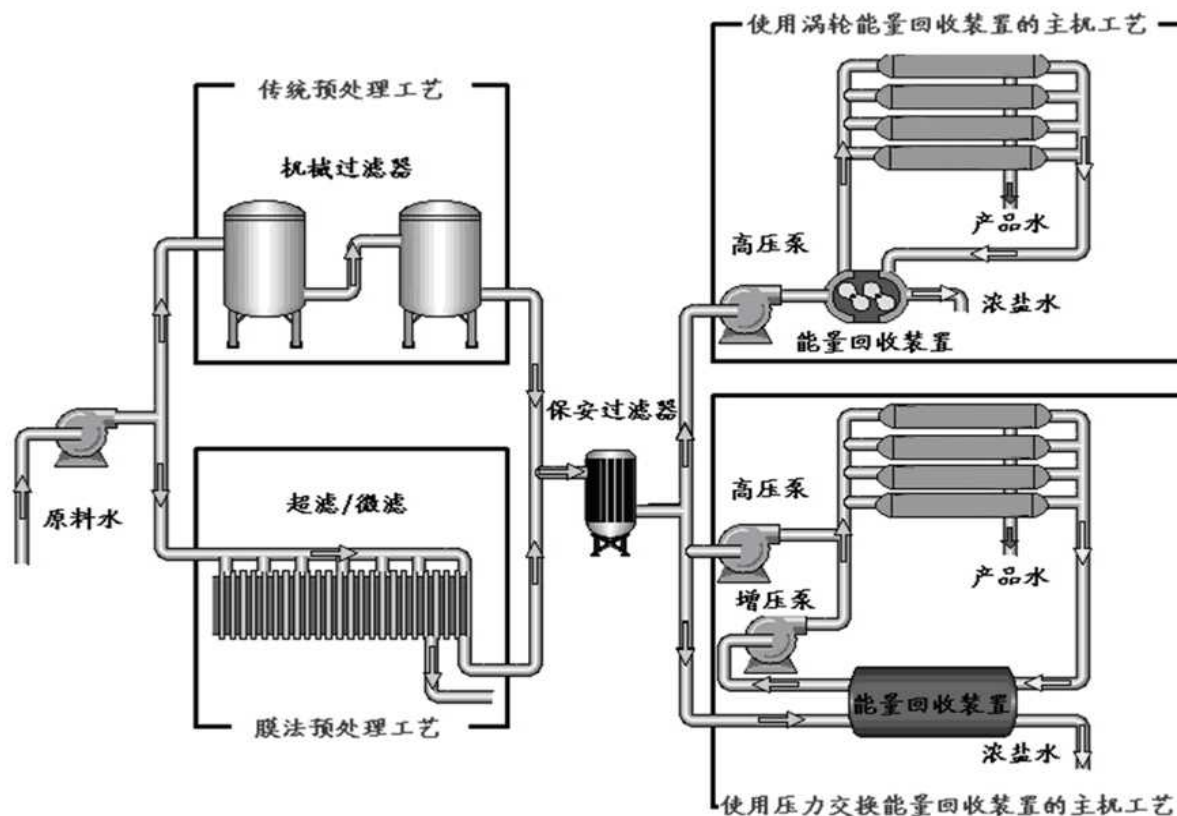
- 现代MED技术，是利用传热管内外蒸汽冷凝和海水受热蒸发的双侧相变传热，因而具有较高的热能利用效率
- 适于利用工业余热、废热进行海水淡化，降低造水成本



# 1. 我国海水淡化发展现状

## ■ 反渗透海水淡化 (RO)

- RO技术是以压力驱动溶剂（水）通过反渗透膜，产生淡水
- 淡化过程无相变，系统操作和控制方便
- 仅依靠电能输入，整体能量利用效率高





## 2. 海水淡化技术研究

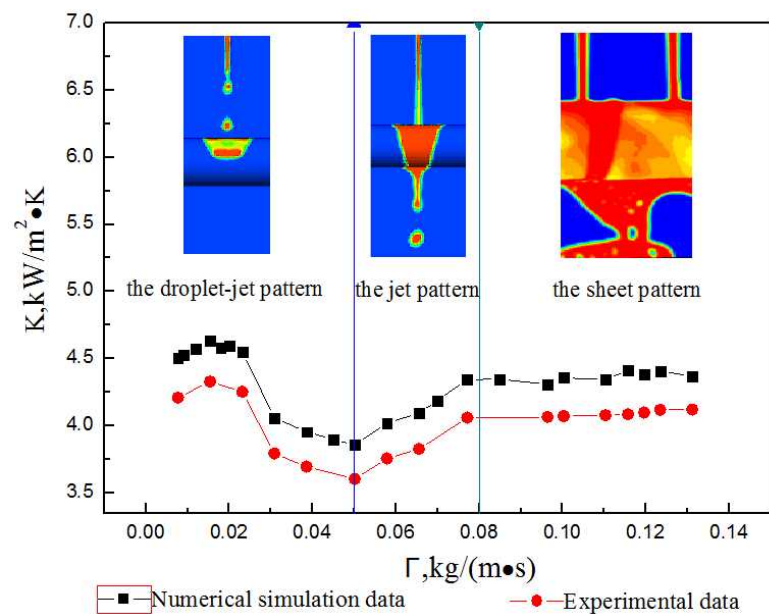


## 2. 海水淡化技术研究——热法

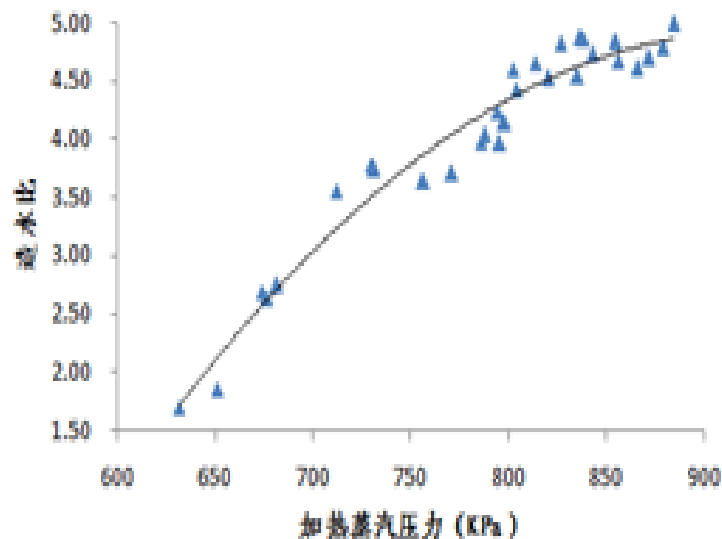
### 2.1 热法淡化关键技术研究

#### ■ 热法淡化蒸发工艺技术

- 通过数值模拟和试验研究，分析了水平管降膜蒸发、板式升膜蒸发等过程中的相变传热影响因素，为工程设计提供优化的工艺参数



水平管降膜蒸发传热试验结果



板式升膜蒸发传热试验结果

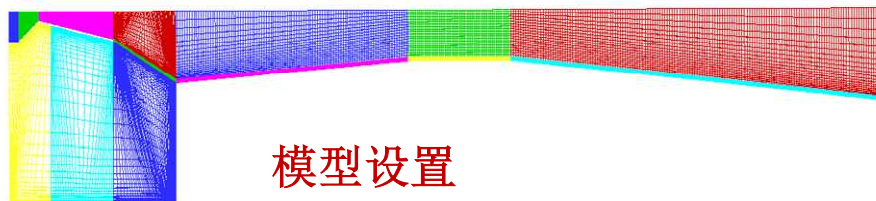


传热试验平台

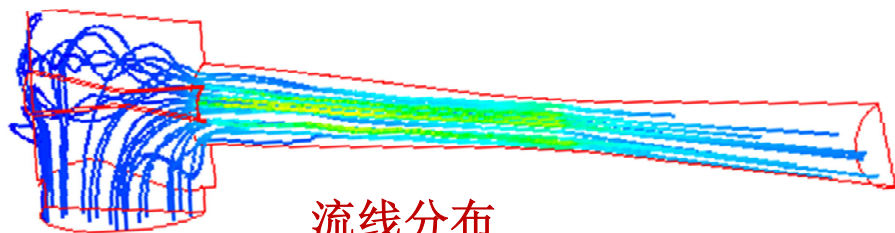
## 2. 海水淡化技术研究——热法

### ■ 蒸汽喷射泵 (TVC) 开发

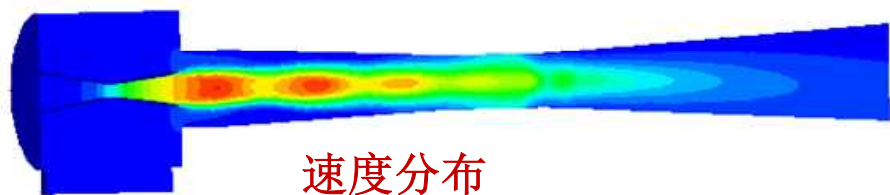
- 建立热压缩试验平台，验证设计参数
- 通过优化的动力学模型，设计开发大型TVC



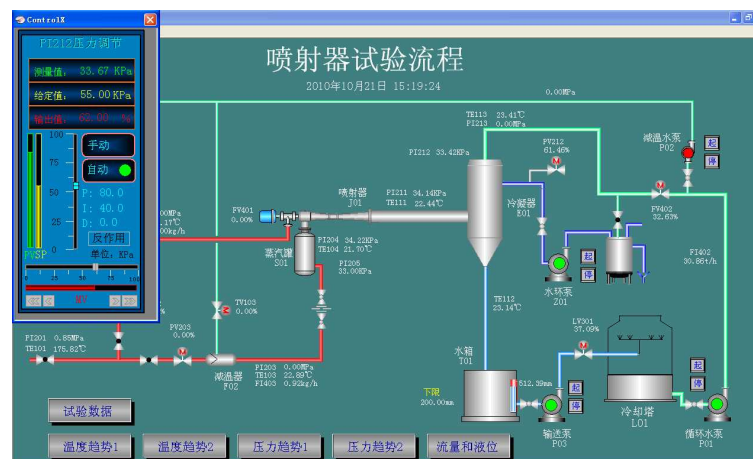
模型设置



流线分布



速度分布



试验平台  
控制界面



大型TVC

## 2. 海水淡化技术研究——热法

### ■ 工艺集成及优化

- 基于高效相变传热及蒸汽循环利用、废热回收等技术，形成节能工艺
- 建设基于水平管降膜、板片升膜传热的MED中试装置，完成综合性试验，检验优化了工艺设计参数



水平管式MED中试装置



板式MED中试装置

## 2. 海水淡化技术研究——热法

### ■ 低成本材料开发及应用技术研究

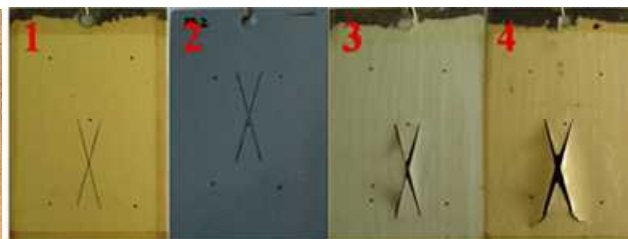
- 建立了铝合金传热管、表面钝化不锈钢换热元件、蒸发器内防腐涂料、钛钢复合板蒸发器等低成本材料的加工质量控制、性能评价及配套工程应用技术指标体系
- 形成高、中、低档方案，满足业主在苦咸水淡化、海水淡化、工业废水处理方面的不同需求



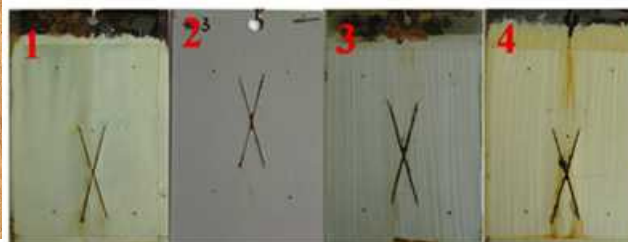
铝管盘拉加工



钝化处理前后的316L板片



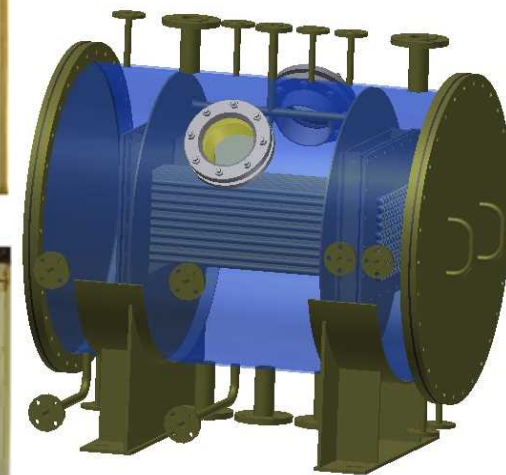
(a) Results of damp heat test



(b) Results of salt spray test

1. THD; 2. Rilsan; 3. Interzone 954;  
4. XHDAC

与国内外同类涂料的耐蚀性比较



钛钢复合板蒸发器



## 2. 海水淡化技术研究——膜法

### 2.2 膜法海水淡化技术及关键装备开发

#### ■ 反渗透膜材料

- 我国生产反渗透膜的厂家主要有杭州水处理中心、贵阳时代沃顿等；其中时代沃顿公司2012年国内市场占有率为11%，在国际膜供应商中居第4位；全球市场占有率为4%，在国际膜供应商中居第6位

#### 时代沃顿主要海水淡化反渗透膜

型号	SW21-8040	SW22-8040
产水量gpd(m <sup>3</sup> /d)	5000 (18.9)	6000 (22.7)
脱盐率(%)	99.7	99.7
有效膜面积ft <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )	330 (30.6)	380 (35.2)
测试标准溶液(ppmNaCl)	32800	32800
测试操作压力psi (MPa)	800(5.5)	800(5.5)





## 2. 海水淡化技术研究——膜法

### ■ 超滤膜

- 为应对受污染的海水水质，中空纤维膜超滤膜被广泛用于我国反渗透海水淡化预处理，取得了良好的效果
- 最常用的膜材料为PVDF，主要制膜工艺为相转换法和热致相法
- 部分厂商产品性能已经接近国际先进水平，膜通量、使用寿命等指标仍有待提高，缺乏大型工程验证



## 2. 海水淡化技术研究——膜法

### ■ 反渗透膜壳

- 哈尔滨乐普实业发展中心等国内玻璃钢企业长期从事反渗透膜壳的研发和生产，产品性能与国际先进水平相当
- 国内已建反渗透海水淡化工程多采用自主产品，并实现部分出口





## 2. 海水淡化技术研究——膜法

### ■ 能量回收装置、高压泵、增压泵

- 国内开展海水淡化能量回收装置研发的机构主要为国内科研机构及部分专业企业，开发压力交换式能量回收装置
- 我国水泵行业能够生产满足反渗透海水淡化扬程、流量、耐压等级的水泵，在部分项目中得到了应用

能量回收



杭州水中心开发能量回收



海水淡化研究所开发



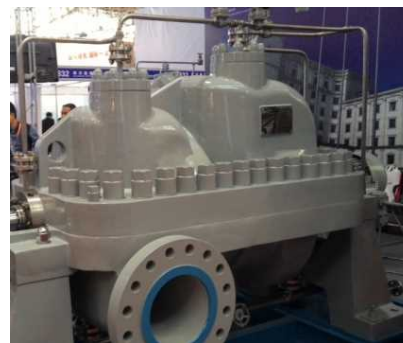
天津大学和中冶开发

淡化用水泵

南方泵业



浙江沃尔



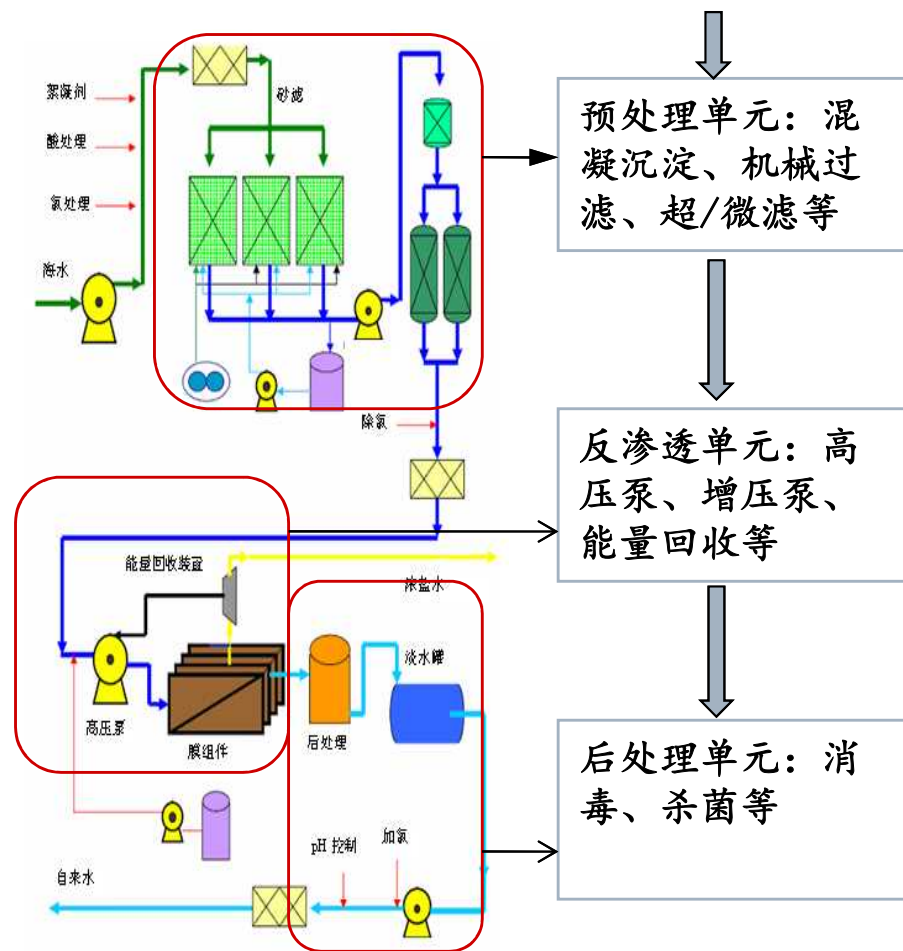




## 2. 海水淡化技术研究——膜法

### ■ 技术集成及工程建设

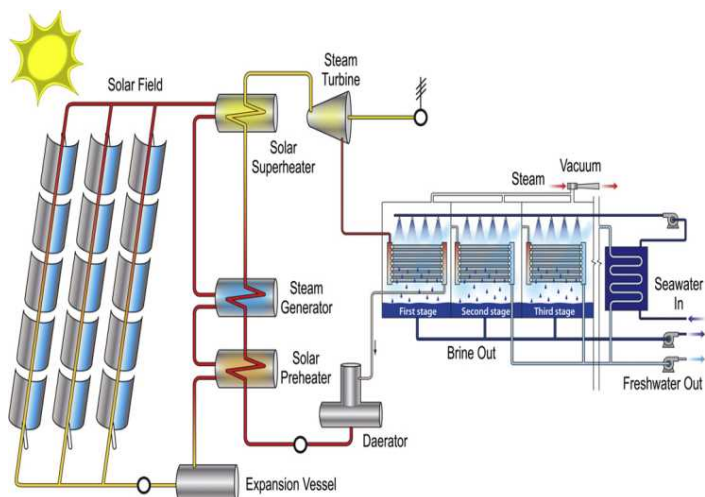
- 形成成熟的一级反渗透、二级反渗透及产水后处理方案
- 具备针对国内外各类品牌膜组件、高压泵、增压泵、能量回收等的优化集成能力，满足业主的不同需求
- 我国自主设计建设了多项大型反渗透海水淡化工程，积累了一定的工程经验



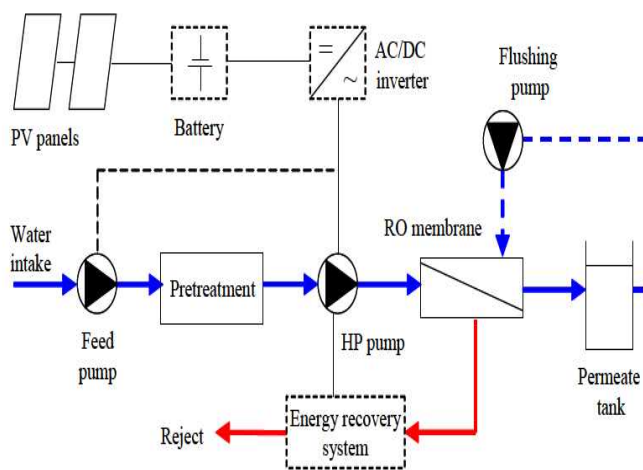
## 2. 海水淡化技术研究——新能源淡化技术

### 2.3 新能源海水淡化技术研究

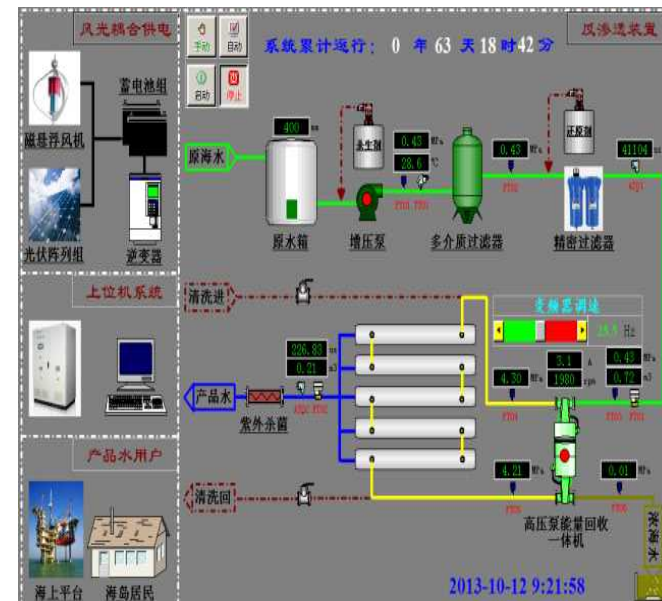
- 形成了针对光伏、光热、风电及多能互补供能的多种可再生能源海水淡化耦合技术，满足大陆滨海、离岸海岛地区对新能源海水淡化技术的需求



聚光光热海水淡化（热法）



光伏海水淡化（膜法）

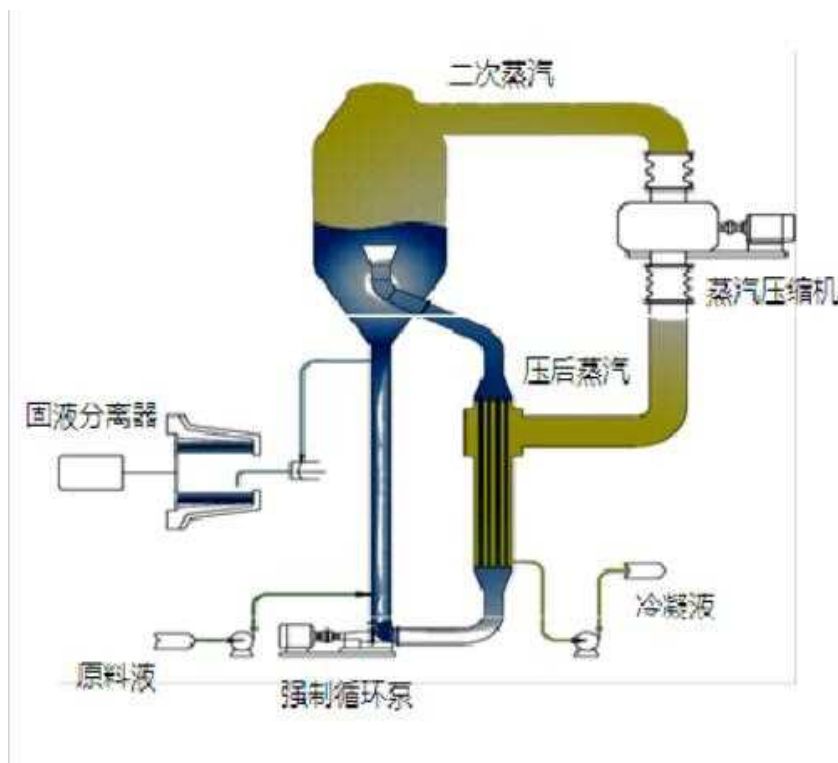
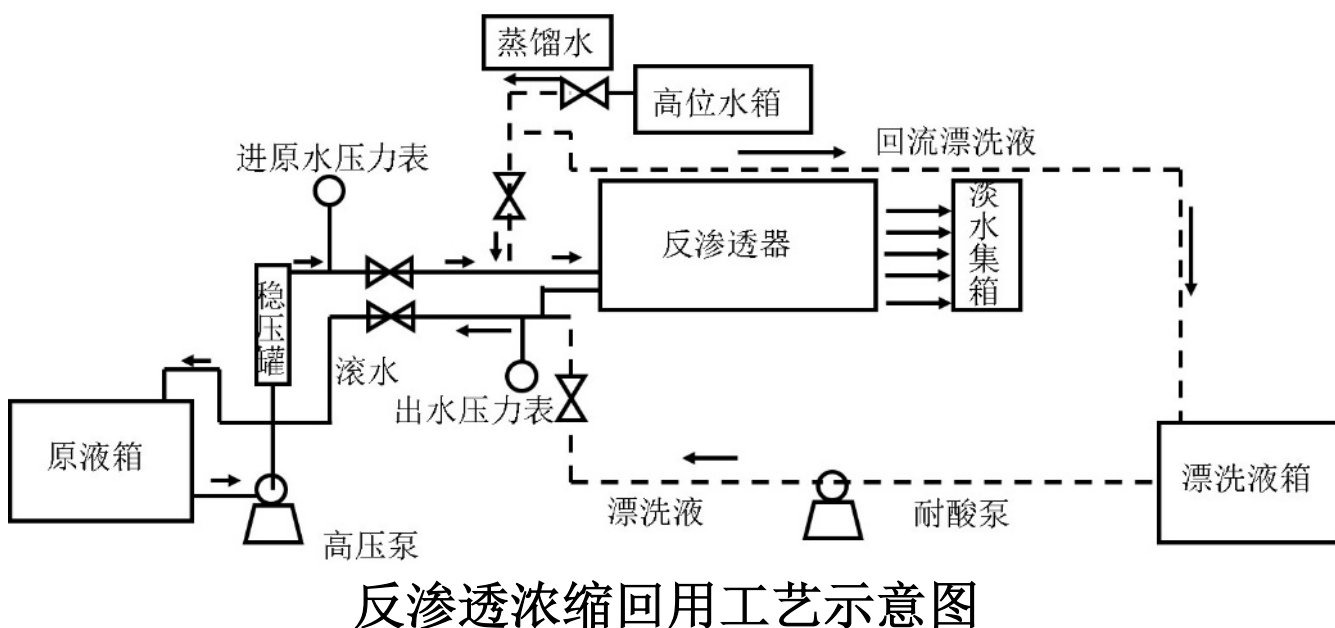


风光耦合海水淡化（膜法）

## 2. 海水淡化技术研究——工业废水处理

### 2.4 基于淡化技术的工业废水处理技术

- 开发了基于反渗透、机械压缩蒸馏（MVC）的工业废水浓缩处理技术，适用于中水回用、废水浓缩资源回收、废水浓缩零排放等方面





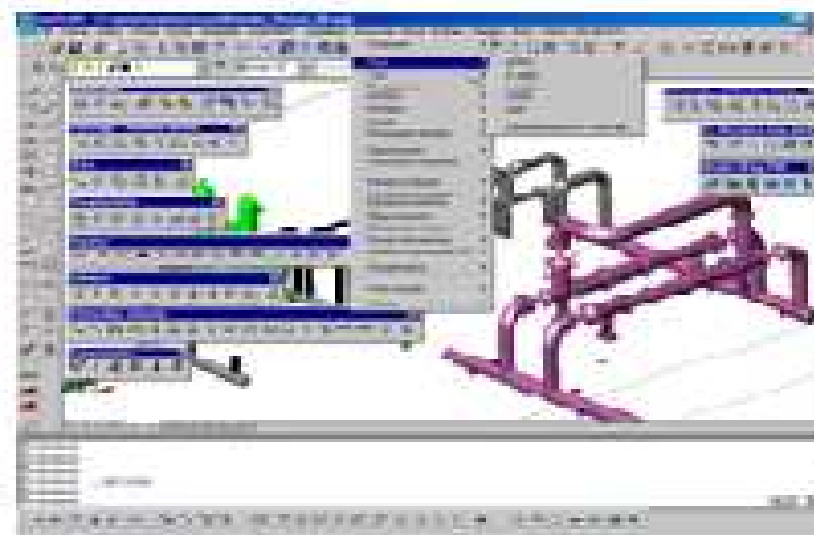
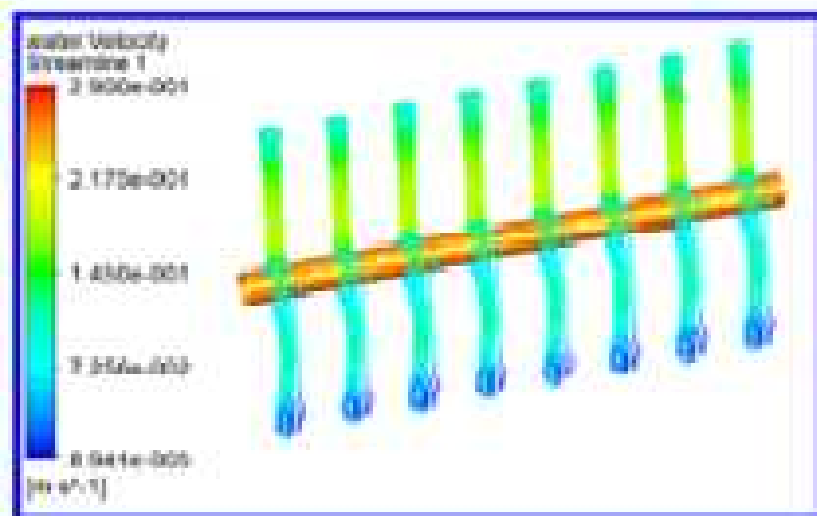
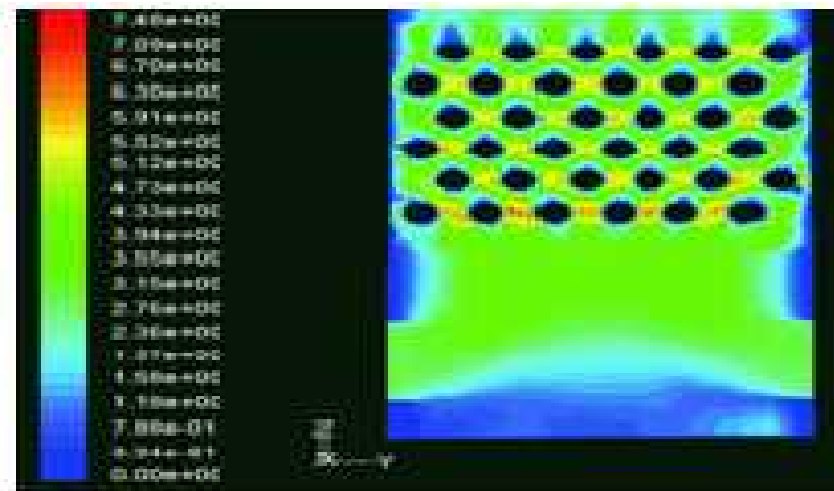
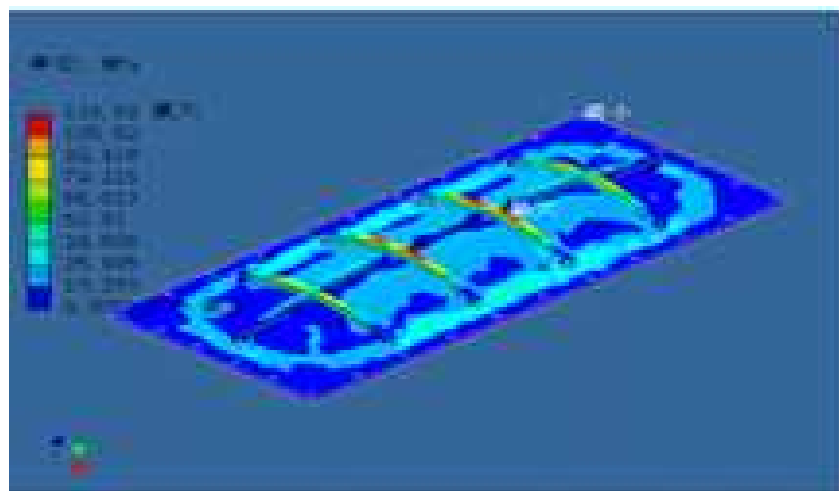
### 3. 工程设计



### 3. 工程设计

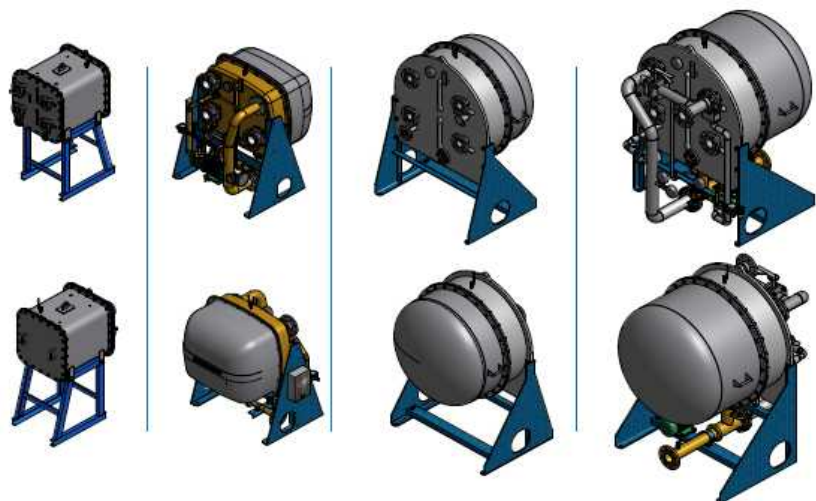
- 整合分析、设计软件及二次开发数据库，形成专业、高效的开发设计平台
  - 结构分析软件(SW6, PV-Elite, ANSYS)、三维装置设计软件(Inventor)、工艺设计软件(PDMS)、系统控制设计软件(PIW, Promis.e)
- 设计平台可参照国家标准或国际标准（如ASME、DIN、JIS等）要求，进行装备开发设计，满足国内外用户的需求
- 已形成系列化装备设计方案，其中
  - 形成热法淡化装置规模 $5\text{m}^3\text{day} \sim 5 \times 10^4 \text{m}^3\text{day}$ ，满足船舶、海岛、滨海电厂应用需求
  - 适用于300MW, 600MW 和1000MW 机组的大型电水联产耦合的成套方案
  - RO装备规模 $5 \text{m}^3\text{day} \sim 1 \times 10^5 \text{m}^3\text{day}$ ，满足海岛、工业区、城市供水需求

### 3. 工程设计

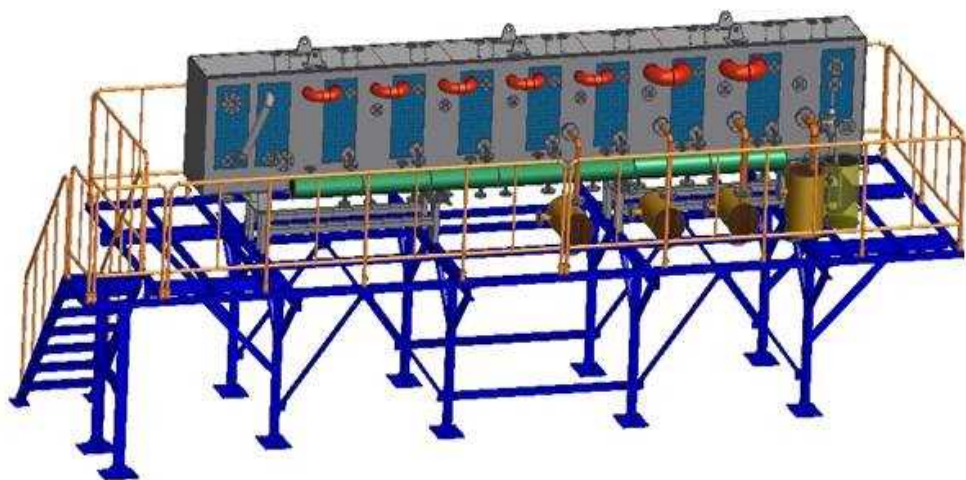


结构及流体分析软件

### 3. 工程设计——热法淡化工程

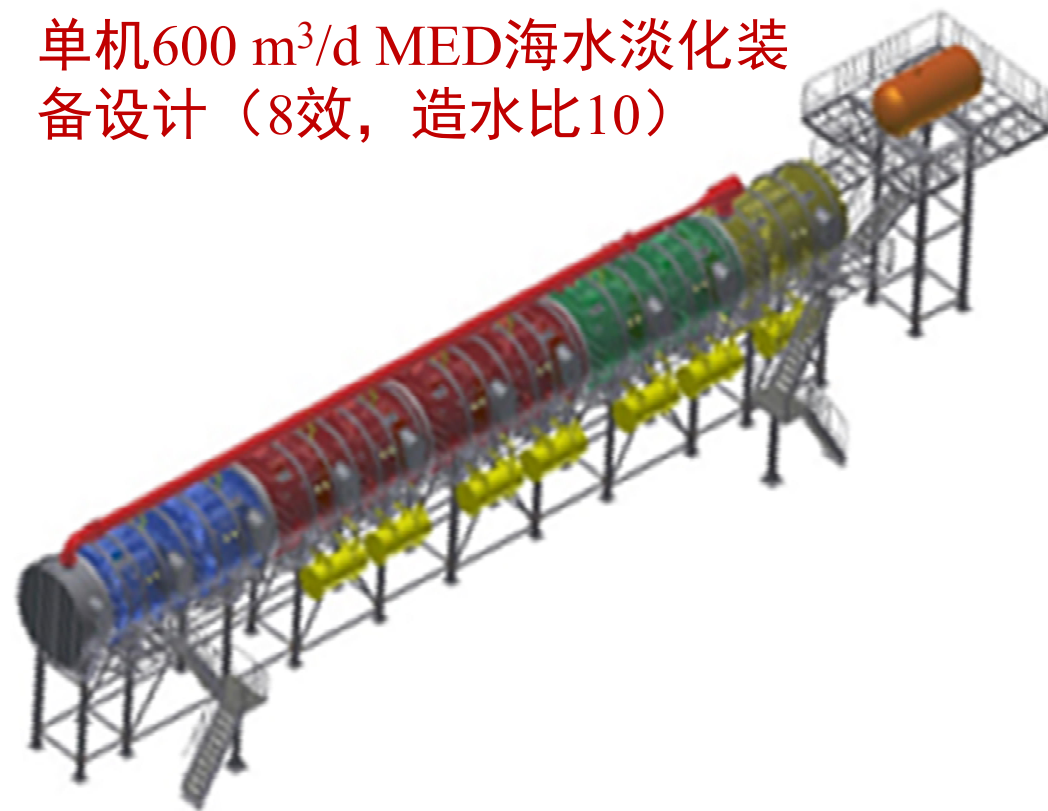


5~20m<sup>3</sup>/d板式蒸馏海水淡化装置



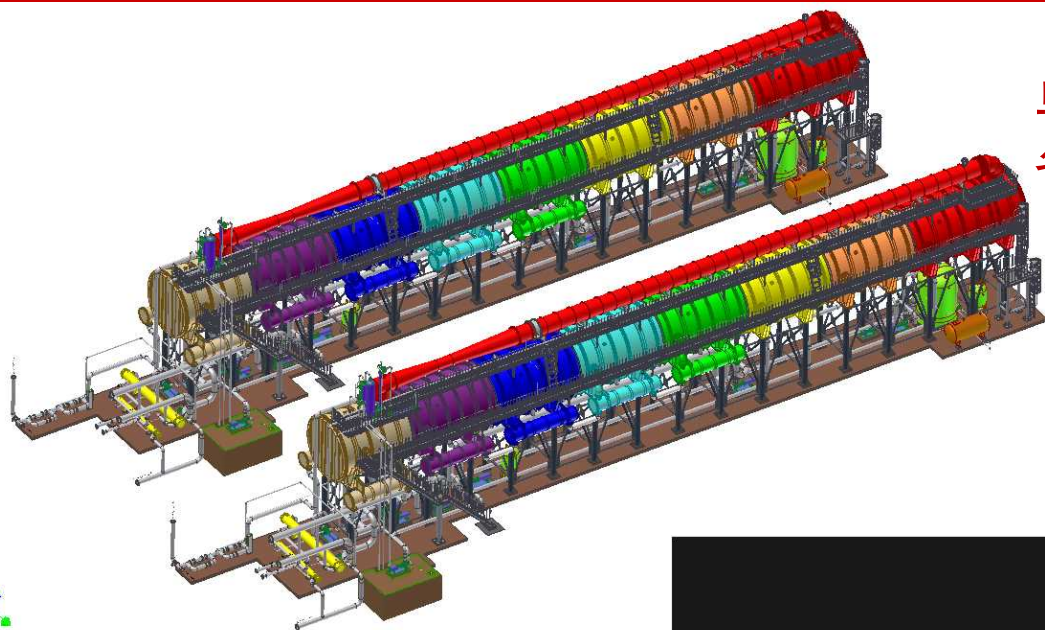
20~200m<sup>3</sup>/d多效板式蒸馏海水淡化装置

单机600 m<sup>3</sup>/d MED海水淡化装置设计（8效，造水比10）



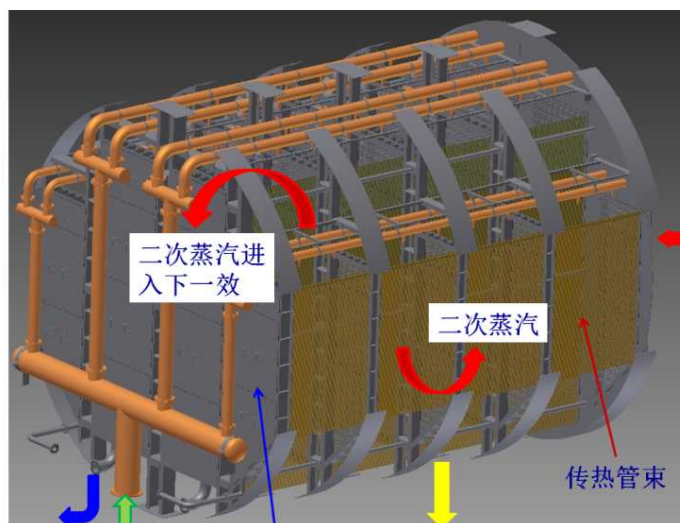
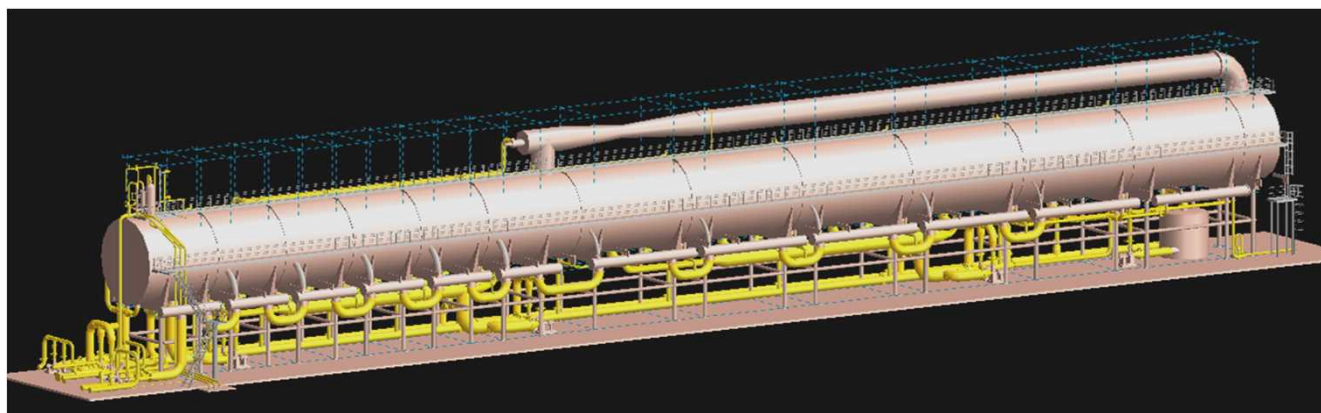


### 3. 工程设计——热法淡化工程



单机4500 m<sup>3</sup>/d MED海水淡化装备设计（7效，造水比8）

单机25000 m<sup>3</sup>/d MED海水淡化装备设计（11效，造水比12.5）



蒸发器内部构造图

原料海水 淡水箱 浓盐水

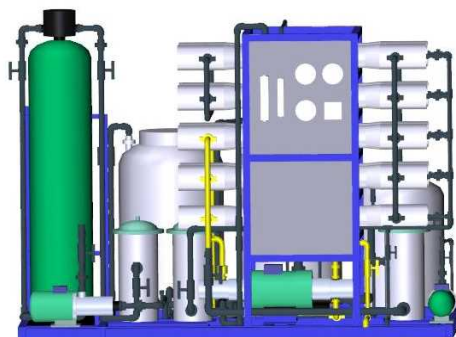




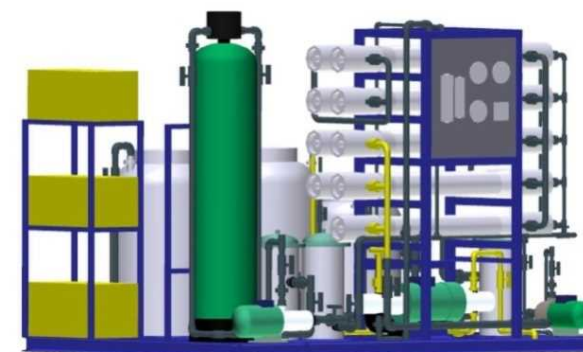
### 3. 工程设计——膜法淡化工程



5 m<sup>3</sup>/d



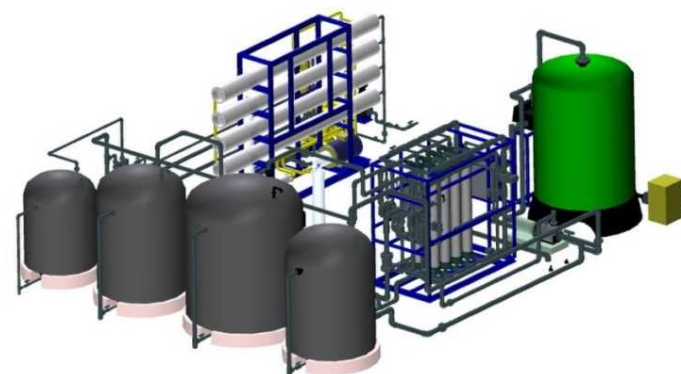
10 m<sup>3</sup>/d



20 m<sup>3</sup>/d



500 m<sup>3</sup>/d

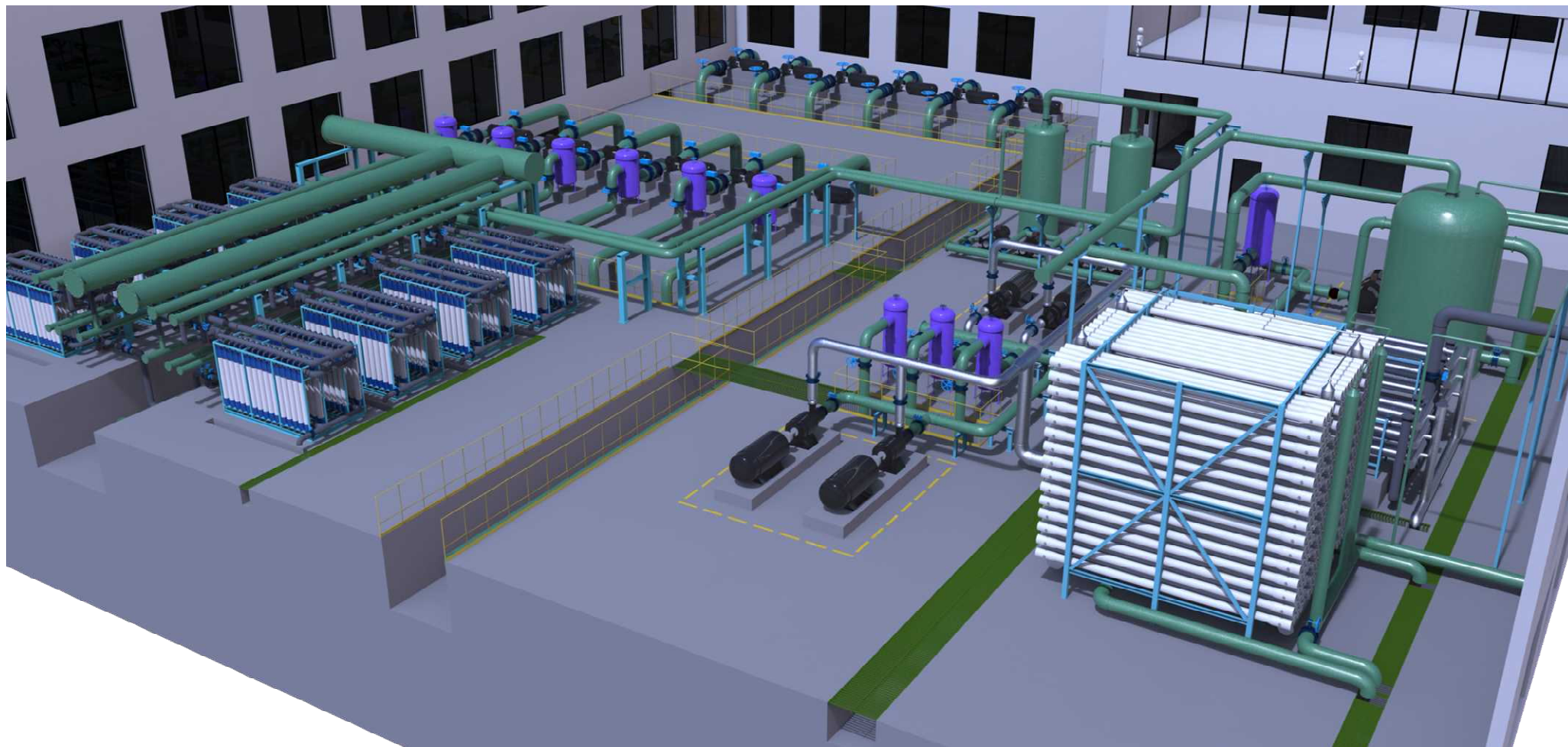


100 m<sup>3</sup>/d

5 ~ 500 m<sup>3</sup>/d系列反渗透海水淡化装备



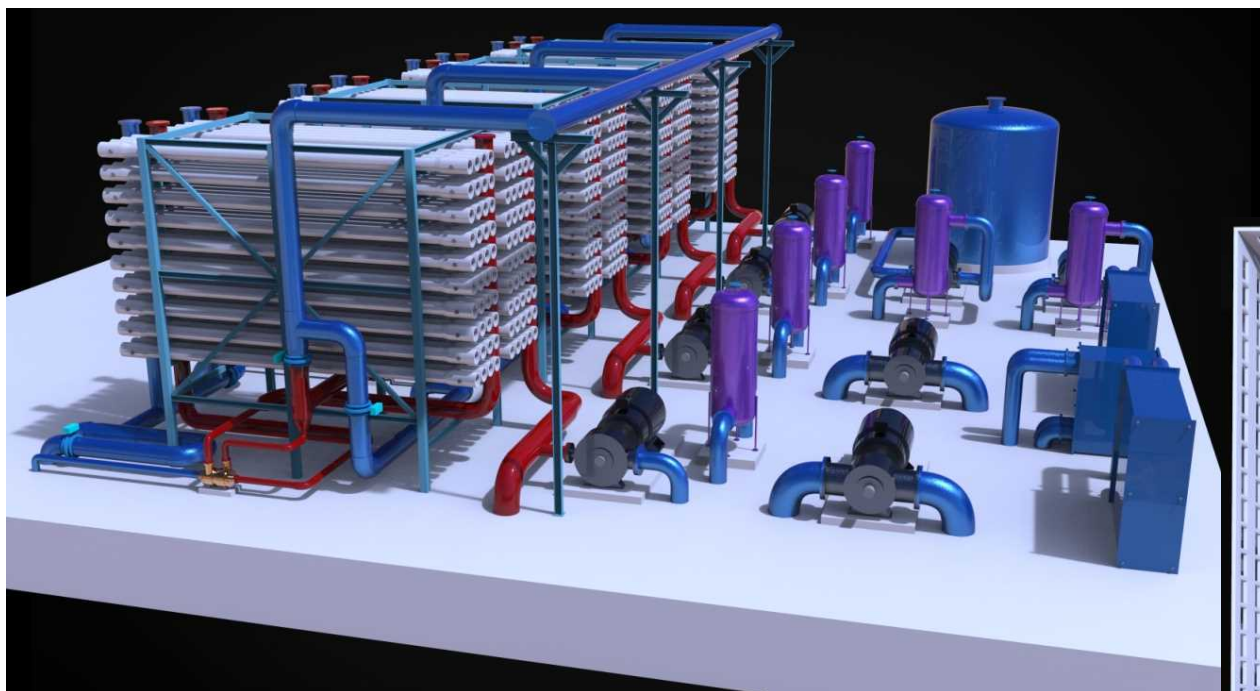
### 3. 工程设计——膜法淡化工程



20000m<sup>3</sup>/d反渗透海水淡化装备效果图

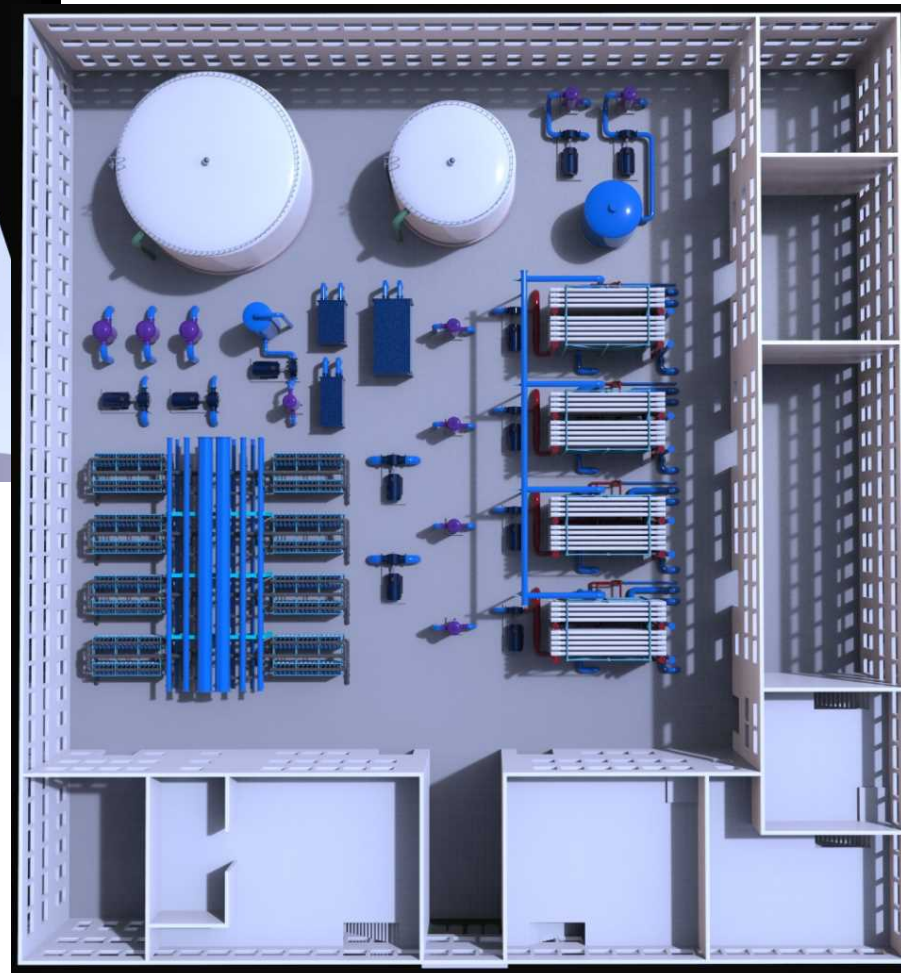


### 3. 工程设计——膜法淡化工程



40000m<sup>3</sup>/d反渗透海水淡化RO模组系统效果图

40000m<sup>3</sup>/d反渗透海水淡化  
厂区俯视效果图





## 4. 典型案例



## 4. 典型案例——热法海水淡化

### ■ 出口印尼6台/套MED蒸馏海水淡化装置

- 满足印尼英德拉玛尤、龙湾、巴齐丹电厂用水需求
- 采用7效蒸发器设计，造水比 $\geq 8$ （4500m<sup>3</sup>/d装置造水比为10），吨水能耗 $\leq 1.8\text{kWh/m}^3$
- 依靠国内自主技术力量完成咨询、设计、建造和调试，是我国首次出口大型MED海水淡化装置



出口印尼（2×4500m<sup>3</sup>/d+4×3000m<sup>3</sup>/d）MED海水淡化装置



## 4. 典型案例——热法海水淡化

- 我国已投运的自主开发最大单机规模MED蒸馏海水淡化装置

河北国华沧电2.5万吨/日低温多效海水淡化工程





## 4. 典型案例——膜法海水淡化

- 大连长海县1500吨/日反渗透海水淡化装置（中国最早的二个RO海水淡化工程之一，该项目荣获国家海洋工程设计银奖，1999）
- 青岛黄岛电厂（3000+10000）吨/日反渗透海水淡化装置（该项目荣获国家海洋局科技进步一等奖 2006）
- 巴基斯坦500吨/日反渗透海水淡化装置（中国首次出口，2004）



大连长海县RO海水淡化工程



黄岛电厂 RO海水淡化工程



自主研发的能量回收装置



## 4. 典型案例——膜法海水淡化

### ■ 我国最大自主技术反渗透海水淡化工程

#### 浙江六横 2万吨/日反渗透淡化工程







## 4. 典型案例——可再生能源海水淡化

### ■ 聚光光热蒸馏淡化系统



新疆托甫基地太阳能光热+燃气发  
电机尾气余热耦合供能多效板式  
蒸馏淡化装置，24吨/日



海南乐东太阳能光热低温多效海水  
淡化装置，30吨/日

## 4. 典型案例——可再生能源海水淡化

### ■ 海南600吨/日太阳能蒸馏海水淡化工程——执行中

- 项目地点：海南省东方市感城镇
- 海水淡化产能：600t/d
- 产水水质：≤10ppm



## 4. 典型案例——可再生能源海水淡化

### ■ 多元耦合供能反渗透海水淡化系统



大管岛5m<sup>3</sup>/d 多元耦合供能反渗透海水淡化装置

5m<sup>3</sup>/d风光柴储反渗透海水淡化装置





## 4. 典型案例——其他

### ■ 苦咸水、工业废水及中水处理工程



苦咸水淡化

沧州化工集团18000吨/日



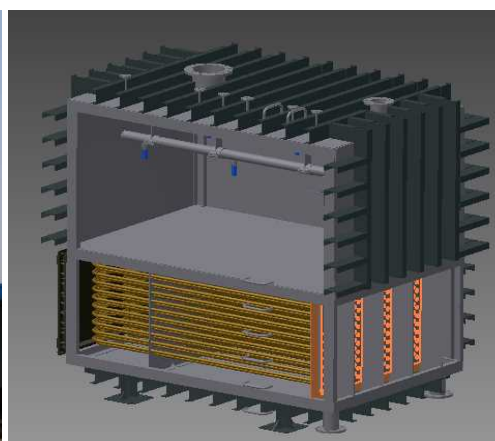
工业废水处理回用

鲁南化肥厂3500吨/日氯化铵废水处理项目



中水回用

天津市经济技术开发区40000吨/日



采油废水零排放

60吨/日机械压缩蒸馏废水处理  
中试装置



---

## 5. 展望



## 5. 展望——合作前景

- 合作拓展海水淡化技术在各自国内市场的应用领域，包括
  - 利用废气、电厂乏汽、烟气等低品位废热的蒸馏海水淡化技术
  - 大规模反渗透海水淡化集成工艺
  - 基于热法、膜法淡化的废水资源回收、零排放处置技术
  - 探索新能源海水淡化的耦合模式
- 合作拓展国际市场
  - 凭借中日双方在装备材料开发、工艺集成、项目承接、工程建设方面的互补优势，合作拓展国际淡化市场



海水淡化研究所

谢谢!