

Key Technologies for Brackish Water Desalination and
Comprehensive Utilization

苦咸水脱盐与 综合利用关键技术

沈全锋 李小宁 张涛 罗双全 ©著



化学工业出版社

Key Technologies for Brackish Water Desalination and
Comprehensive Utilization

苦咸水脱盐与 综合利用关键技术

沈全锋 李小宁 张涛 罗双全 著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书针对某苦咸水脱盐工程项目规划中提高系统回收率所面临的能耗、药剂消耗、可靠性等问题,基于反渗透系统的设计计算及运行试验,得到了提高沙漠苦咸水淡化回收率、降低能耗、浓水处理及综合利用的方法,提出了设计优化建议,对类似的水处理能耗、药剂消耗、稳定性、自动控制等关键问题的解决有很强的参考性和指导性。

本书可供从事苦咸水淡化处理项目的工程技术人员和科研人员阅读,也可供环境工程、海水淡化等相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

苦咸水脱盐与综合利用关键技术/沈全锋等著.
北京:化学工业出版社,2017.2
ISBN 978-7-122-28577-5

I. ①苦… II. ①沈… III. ①给水处理-脱盐
IV. ①TU991.26

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第287855号

责任编辑:张兴辉 曾越
责任校对:王静

文字编辑:陈喆
装帧设计:韩飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印装:三河市延风印装有限公司
710mm×1000mm 1/16 印张11¼ 字数210千字 2017年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:69.00元

版权所有 违者必究

苦咸水脱盐技术已经有 50 年左右的研究应用历史,相继发展了蒸馏、电渗析、反渗透等脱盐技术。与之配套的预处理、后处理、浓水处理等技术也相继发展,在缓解缺水问题、保障工业和生活用水方面发挥了重大作用。

随着反渗透(RO)设备成本的不断降低,反渗透(RO)已成为目前苦咸水淡化的首选工艺。各种规模的反渗透设备应用于不计其数的工程。但也有众多的反渗透系统存在设计、操作、维护等问题,甚至产生对反渗透系统的排斥心理。随着脱盐工程规模的不断扩大,浓水处理等问题也日益凸显。因此,对反渗透等苦咸水脱盐技术进行深入系统的研究十分必要。

笔者长期从事国际工程 EPC 总承包,先后从事若干油田水处理、苦咸水开采输送、脱盐等工程。基于阿尔及利亚某苦咸水脱盐工程中间性试验装置的设计、制造、安装、运行、维护进行了系统的研究。

本书共 8 章,对苦咸水处理研究现状、反渗透系统设计、中试装置的研究过程、问题及处理方法、系统选材、浓水利用、大型化建议、正渗透技术等进行了介绍。本书以高回收率反渗透设计研究过程为中心,对多种脱盐工艺进行了对比,对操作维护、浓水处理、蒸发塘、太阳能淡化、正渗透(FO)等进行了介绍,将工程实践中出现的污垢、腐蚀等问题及解决方法进行了总结,对煤层气产出水处理、油砂采出水脱盐进行了介绍。这些内容理论结合实际,可供工程技术人员、研究人员和大专院校师生阅读和参考。

书中引用了许多单位和作者的资料,在此一并致谢。由于水平所限,书中难免有不足之处,敬请读者批评指正。

著者

第 1 章 绪论

1

- 1.1 苦咸水处理的重要性 1
- 1.2 撒哈拉沙漠苦咸水淡化需求 3
- 1.3 国内外苦咸水处理研究现状 4
 - 1.3.1 苦咸水概述 4
 - 1.3.2 反渗透技术研究现状及发展趋势 5
- 1.4 阿尔及利亚因萨拉脱盐处理站工程介绍 6
 - 1.4.1 招标文件基本要求 6
 - 1.4.2 工艺流程描述 7

第 2 章 反渗透系统设计

11

- 2.1 概述 11
 - 2.1.1 半透膜概念 11
 - 2.1.2 干膜与湿膜 11
 - 2.1.3 膜污染 13
- 2.2 预处理工艺设计 14
 - 2.2.1 概述 14
 - 2.2.2 预处理出水水质 14
 - 2.2.3 多介质过滤器 15
 - 2.2.4 保安过滤器 15
 - 2.2.5 工艺流量梯度 15
 - 2.2.6 预处理工艺选择 16
- 2.3 膜系统工艺设计 17
 - 2.3.1 膜分离性能指标 18
 - 2.3.2 反渗透膜的选择 19
 - 2.3.3 设计导则 21

2.3.4	理论与实际设计模式	21
2.3.5	优化设计数学模型	23
2.3.6	设计软件	24
2.3.7	方案优选	25
2.4	辅助设施设计要点	25
2.4.1	压力容器	25
2.4.2	加压水泵	25
2.4.3	辅助设备、变频器、仪表及控制系统等	26
2.5	后处理设计	27
2.6	膜法水处理厂节能降耗	27
2.6.1	能耗分析	27
2.6.2	节能降耗途径	27
2.7	反渗透系统的回收率	27
2.7.1	难溶盐结垢	28
2.7.2	浓水流量	31
2.7.3	浓差极化	31
2.7.4	通量平衡	33
2.7.5	提高回收率的措施	34

第3章 高效苦咸水脱盐中试装置设计和改造

36

3.1	工艺设计条件	36
3.1.1	原水水质	36
3.1.2	产水水质	37
3.1.3	设计水量	37
3.2	工艺方案优选	37
3.2.1	化学法去硬度	37
3.2.2	膜系统配置	38
3.2.3	浓水回流	38
3.2.4	产水勾兑	38
3.2.5	工艺流程	38
3.3	膜系统设计	40
3.3.1	难溶盐极限回收率的确定	40
3.3.2	膜系统计算模拟	42
3.3.3	不同原水总含盐量下的全厂回收率	44

3.4 药剂的选型	44
3.4.1 药剂的作用	44
3.4.2 药剂配制及添加	46
3.5 制造、检验、安装及试运	47
3.5.1 中试装置主要配置	47
3.5.2 撬块制作及工厂检验	48
3.5.3 撬块现场安装	49
3.5.4 撬块现场试运	52
3.5.5 撬块现场试验	54
3.5.6 装置产水水质分析	55
3.6 控制系统优化	55
3.6.1 泵站旧水处理装置控制系统缺陷	55
3.6.2 控制系统研制与升级改造	56
3.6.3 控制模式	57
3.6.4 仪表控制系统组成和特点	57
3.6.5 沙漠苦咸水淡化装置运行现状	61
3.7 中试装置运行情况及技术要求	61

第4章 苦咸水脱盐装置运行考核及检验

64

4.1 装置操作运行要点	64
4.1.1 装置日常维护	64
4.1.2 膜的保存	67
4.1.3 装置化学清洗方案	68
4.2 装置运行测试	70
4.2.1 装置6个月工业运行考核	71
4.2.2 中试装置经济性分析	75
4.2.3 测试结论	76
4.2.4 中试装置投用1年运行状态	76
4.3 预处理段故障	76
4.3.1 保安过滤器故障	76
4.3.2 气泡导致压力波动	77
4.3.3 启停阶段压力波动	78
4.3.4 预处理段流量及压力不足	78
4.3.5 加药不适导致RO装置性能下降	79
4.3.6 RO膜机械污堵	79

4.3.7 RO膜化学及微生物污堵	80
4.4 RO膜解剖分析	82
4.4.1 取样	82
4.4.2 外观检查	83
4.4.3 微观检查	83
4.4.4 化学清洗试验	86
4.4.5 处理建议	87
4.5 水温监测	87
4.5.1 水源地水温	87
4.5.2 水温变化因素分析	88
4.5.3 装置水温检测	88
4.6 试验 RO浓水反冲洗多介质过滤器	88
4.6.1 试验目的	88
4.6.2 试验方法	89
4.6.3 运行记录表格	90
4.6.4 断水后检查情况	91
4.7 苦咸水淡化橇运行要点	94

第5章 沙漠高温地区苦咸水处理系统选材

96

5.1 苦咸水对不锈钢的腐蚀	96
5.1.1 腐蚀情况	96
5.1.2 针对腐蚀问题的实验室分析	97
5.1.3 不锈钢腐蚀机理分析	101
5.2 不锈钢腐蚀处修复	102
5.2.1 修复方案的确定过程	102
5.2.2 修复施工方案	103
5.2.3 修复特点	104
5.2.4 Belzona 修复层微观分析	105
5.2.5 Belzona 缺陷的建议措施	108
5.2.6 试验报告结论	108
5.3 苦咸水处理系统选材建议	109

第6章 浓水处理及资源化利用

111

6.1 概述	111
--------------	-----

6.1.1	浓水利用	111
6.1.2	深井注射	112
6.1.3	蒸发塘	112
6.1.4	液体零排放 (ZLD)	112
6.2	蒸发塘的设计	114
6.2.1	国内外研究现状	114
6.2.2	蒸发塘面积计算	115
6.2.3	蒸发塘的分级设计	117
6.2.4	各蒸发单元水深确定	118
6.2.5	蒸发塘防渗	118
6.2.6	浓盐水输送管道选材	119
6.2.7	雨水阻断	119
6.2.8	混凝土结构设计	119
6.2.9	收泥设施	119
6.3	基于太阳能淡化温室的浓水处理技术	119
6.3.1	太阳能淡化温室的基本结构	120
6.3.2	太阳能淡化温室的性能	122
6.3.3	太阳能淡化温室的缺陷	122
6.4	利用表面蒸发降低厂房温度	123
6.4.1	影响膜间温度的因素	124
6.4.2	液体表面蒸发的设想	124
6.5	浓盐水资源化利用	125
6.5.1	浓盐水排放的地下散水池方案	125
6.5.2	利用湿地生物处理技术稳固沙漠	126

第7章 高效反渗透脱盐装置大型化和模块化

130

7.1	系统设计	130
7.1.1	运行压力的确定	130
7.1.2	膜间温度控制	131
7.2	因萨拉脱盐处理站主要处理工艺	131
7.2.1	进水室	131
7.2.2	原水提升池	131
7.2.3	砂碳过滤器	131
7.2.4	反渗透系统 (RO)	132

7.2.5	产品水池及外送泵	133
7.2.6	加药系统	134
7.3	大型脱盐处理站控制系统	134
7.3.1	扩大控制系统规模	134
7.3.2	增加在线水质分析系统	134
7.3.3	扩大生产工艺自动化规模	135
7.3.4	恒压和恒流量控制概念	135
7.4	因萨拉脱盐处理站操作维护	135
7.4.1	保安过滤器	135
7.4.2	化学药剂的选择及准备	136
7.4.3	脱盐处理站 RO 系统加药及能耗计算	136
7.4.4	浓水生物处理	137
7.5	煤层气产出水对比研究	138
7.5.1	水质比较	138
7.5.2	煤层气产出水处理与模块化	139
7.5.3	可移动式水处理组合装置	139
7.6	苦咸水淡化技术产业化建议	140
7.7	技术创新和应用前景	141

第 8 章 高效苦咸水脱盐技术发展新趋势

143

8.1	浓水综合利用集成技术	143
8.1.1	浓盐水处理方案优化	143
8.1.2	浓水综合利用集成技术的展望	147
8.2	正渗透 (FO) 淡化技术	147
8.2.1	正渗透 (FO) 原理	147
8.2.2	正渗透 (FO) 的应用	149
8.2.3	正渗透膜材料	155
8.2.4	正渗透技术的展望	157
8.3	油砂产出水 FO 处理技术研究	157
8.3.1	油砂产出水处理技术现状	158
8.3.2	不同汲取液下 FO 性能比较	158
8.3.3	油砂产出水 FO 技术展望	159

附录

161

附录 1 符号和缩略词说明	161
附录 2 术语解释	162

参考文献

164

后记

166

第1章

绪论

1.1 苦咸水处理的重要性

有关方面的数据显示,我国苦咸水分布面积为160万平方公里,约占全国国土面积的16.7%;全国地下水资源中有三分之一是不适宜或需经处理才可以饮用的苦咸水。

目前,我国农村有3亿多人为水所困,有1亿多人口在饮用苦咸水等不安全的水,仅在西部地区就有2000多万的人口、5000多万的牲畜饮水困难且水质不安全。在我国北方干旱、半干旱地区的部分地方,地下苦咸水是唯一的水源。由于缺水和水质问题,克山病、大骨节及慢性砷或氟中毒等一些地方病严重影响了人体健康。世卫组织一项调查的相关结论称,80%的疾病和50%的儿童死亡都与饮用水水质不良有关。因此,充分利用西部地区的苦咸水资源,生产出清洁和安全的淡水,是提升地区性饮水安全的重要选择。让受水之困的人、畜能够有安全的饮用水,为西部地区的人民创造良好的生产和生活环境,保障生态安全,是惠及民生、关系人民福祉、全面建设小康社会十分重要而紧迫的任务。

随着经济社会发展和人口的增长,生态破坏和环境污染严重,以及气候变化等影响,使得我们不得不面临资源性缺水 and 水质性缺水的严峻形势。目前,全国近600个城市中,有近400个供水不足,其中100多个严重缺水。特别是西部的干旱地区,部分省区人均水资源量低于 500m^3 的极度缺水线。同时,我国水污染带来的水质性缺水日益严重,2012年的中国环境状况公报显示,全国198个城市的地下水监测点位中,较差或极差水质的监测点比例占到了57.3%。水资源的供需矛盾已成为制约我国经济社会可持续发展的重要因素之一。

因此,转变传统水资源利用的理念、方式,积极推进苦咸水、微咸水、海水等非常规水资源的开发利用,提高水资源的利用效率,可以在存量资源不变的条

件下,有效增加新的水资源供给量,是缓解水资源供需矛盾的重要途径。

地球表面虽然有 2/3 被水覆盖,但是其中的 97% 为无法饮用的海水,只有不到 3% 是淡水,淡水中又有 2% 封存于极地冰川之中。在仅剩的 1% 淡水中,25% 为工业用水,70% 为农业用水,只有约 5% 可供饮用和其他生活用途。淡水资源的 30% 为地表水,剩余 70% 为地下水。地下水虽储量丰富,但由于溶解了地下岩层中的矿物,很多地区的地下水含盐量超过 1000mg/L,被称作苦咸水,无法直接饮用。随着全球人口增加、经济发展,水资源不断被开发,世界上缺水现象十分普遍,全球淡水危机日趋严重。目前世界上 100 多个国家和地区缺水,缺水人口达 23 亿,占总人口的 41%。中国是联合国公布的 13 个贫水国家之一。

溶解在水中的盐分对健康无明显危害,但是影响口感及日常使用。这些盐分无法通过传统的水处理方法进行去除,考虑到脱盐的成本,WHO 给出了允许低于 1000mg/L、建议低于 500mg/L 的推荐值,各国水质标准在此基础上稍有调整。

将海水或苦咸水中过多的盐类去除,即可以制取饮用水,这就是所谓的淡化或者脱盐。脱盐方法有蒸馏、离子交换、电渗析、反渗透等。热法脱盐工艺经历了约 60 年的发展,膜法脱盐工艺经历了约 40 年的发展。基于膜分离技术的反渗透工艺由于具有造价低、电耗低、效率高的特点,逐渐成为海水或苦咸水脱盐的首选工艺。目前全球大约有 15000 座脱盐工厂,其中约 80% 采用的是膜法工艺。

苦咸水淡化方法主要有蒸馏法、膜法、电渗析法。蒸馏法主要有多效蒸馏(ME)、多级闪蒸(MSF)、压气蒸馏(VC);膜法主要有反渗透(RO)、纳滤(NF);电渗析法主要有电渗析(ED)、频繁倒极电渗析(EDR)等。目前,世界上苦咸水淡化产量达 $7.0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ 左右。2010 年美国统计的各种膜工艺在实际工程中的应用比例见表 1-1。

表 1-1 美国膜技术调查数据

种 类	比例/%
BWRO	73
NF	11
ED	11
SWRO	5

注: BWRO 全称为 brackish water reversed osmosis, 即苦咸水反渗透; SWRO 全称为 sea water reversed osmosis, 即海水反渗透。

地处北非的阿尔及利亚也是一个严重缺水的国家,北部靠海、人口集中但缺乏淡水资源,中南部地区地处撒哈拉沙漠,缺水尤为突出。撒哈拉沙漠一些区域地下蕴藏着丰富的地下水资源,每年可开采量约为 $53 \times 10^8 \text{ m}^3$,为阿尔及利亚南部供水提供了可靠的保证。但是这里的地下水含盐量一般都超过 2000mg/L,不能直接饮用,需要进行脱盐处理。

1.2 撒哈拉沙漠苦咸水淡化需求

由于全球气候变暖,预计到 2050 年阿尔及利亚的降水量将比目前减少 20%,这将加大淡水供需缺口。随着常规水资源的日益短缺,脱盐、污水回用等非常规水源开发方式将得到进一步的发展。

图 1-1 为阿尔及利亚水资源分布图。



图 1-1 阿尔及利亚水资源分区图

表 1-2 阿尔及利亚水资源分布表格

地 区	地表水/ 10^9 m^3	地下水/ 10^9 m^3	总计/ 10^9 m^3
Oranie Chott Chergui	0.65	0.6	1.25
Chelif Zahrez	1.71	0.83	2.54
Algérois Hodna Soummam	1.69	0.74	2.43
Constantinois Seybouse Mellegue	3.00	0.43	3.43
Sahara	0.37	5	5.37
总计	7.42	7.6	15.02

由表 1-2 可知,撒哈拉盆地蕴藏着大量的地下水,Ait Mimoune 等人报道了地下水的埋藏深度分别为 100~400m 以及 1000~1500m,地下水总储量为 $3\times 10^{13}\sim 4\times 10^{13}\text{ m}^3$,但是由于地下水渗流较慢,年可开采量仅为 $5\times 10^9\text{ m}^3$ 。

阿尔及利亚从 2005 年开始大规模实施海水淡化和苦咸水脱盐项目,规划建成后总处理能力将达到 $2310000\text{ m}^3/\text{d}$ 。该国的苦咸水主要位于沙漠及半沙漠地带。该国从 2000 年开始陆续开发苦咸水。目前每年开采苦咸水 $5.1\times 10^9\text{ m}^3$,其中 $1.6\times 10^9\text{ m}^3$ 用于饮用。目前投用了 12 座海水淡化和苦咸水脱盐工厂,位于 Tlemcen, Oran, Tizi Ouzou, Bejaia, Illizi, Biskra, Ouargla, Medea and Ain De-fla 等地,年处理量为 $2.42\times 10^7\text{ m}^3$;计划新建 35 座海水淡化和苦咸水脱盐工

厂,将年处理能力增加至 $4.289 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2007年,阿政府招标实施南部沙漠腹地 In Salah 至 Tamanrasset 的引水工程,投资高达 20 亿欧元。为达到全线提前通水的政治目标,业主在未按照合同规定建设水源地脱盐处理站的前提下,直接将地下原水输送至沿线泵站和终端水池,原水中氯离子含量高于 WHO 标准 3 倍以上,对部分不锈钢管道造成了腐蚀;终端水池所在处的居民对水质多有抱怨。政府要求加快水源地脱盐处理站的建设以将地下原水处理到 WHO 饮用水标准,同时要求解决因高含盐水对不锈钢造成的腐蚀问题。

阿尔及利亚于 2012 年发布了 5 个苦咸水脱盐处理项目招标计划,其中因萨拉脱盐处理站位于南部撒哈拉沙漠腹地因萨拉(In Salah)地区,对南部输水项目的地下水进行脱盐处理。因萨拉脱盐处理站是一个对地下原水进行脱盐的饮用水处理工程,根据该项目技术规格书要求,该项目的水处理规模为一期 $50000 \text{ m}^3/\text{d}$ 、二期 $100000 \text{ m}^3/\text{d}$,出水水质达到世界卫生组织和阿尔及利亚的饮用水标准。招标文件要求工艺方案采用反渗透法,脱盐系统的水回收率力求达到 85%,不能低于 75%,而常规的反渗透水回收率为 75%。

在北非,与阿尔及利亚水资源情况类似的还有利比亚、突尼斯、马里等多个国家,开发利用地下苦咸水是解决内陆地区缺水问题的最佳途径,因此该地区地下苦咸水处理市场巨大。

1.3 国内外苦咸水处理研究现状

1.3.1 苦咸水概述

目前对苦咸水还没有统一的界定标准,通常所说的苦咸水是针对水体的含盐量而言的。水文地质学上将苦咸水按含盐量进行的划分见表 1-3。

表 1-3 苦咸水分类

含盐量 $TDS/(\text{mg/L})$	名 称	含盐量 $TDS/(\text{mg/L})$	名 称
<1000	淡水	$10000 \sim 50000$	盐水
$1000 \sim 3000$	微咸水	>50000	卤水
$3000 \sim 10000$	咸水		

就全球范围而言,苦咸水主要分布于各大洲的内陆干旱区、沙漠、草原及沿海一带。这里一般年均降水量小于 250 mm ,其中内蒙古西部和新疆塔里木盆地等区域年均降水量还不足 100 mm ,而蒸发量高于降水量几倍甚至几十倍。这些区域地下水主要由降水补给形成,地表水难以形成持续性补给源,地下水溶解了含水层介质中大量的盐类,使含盐量增高而形成苦咸水。

苦咸水表现为高浓度盐碱成分,甚至表现为高硬度、高氟、高砷、高铁锰、低碘、低硒特征,不仅饮用口感差,且长期饮用高含盐量的苦咸水会引起腹泻、腹胀等消化系统疾病和皮肤过敏,还可能诱发肾结石及各类癌症。

苦咸水会使土壤颗粒结构变坏,影响土壤透气性能及保水性能。同时长期灌溉苦咸水会造成农作物不能正常生长,甚至枯萎。

1.3.2 反渗透技术研究现状及发展趋势

人类很早就发现了渗透现象,而反渗透膜技术(RO)是20世纪后半叶才开始迅速发展的新型水处理及分离技术。1784年法国学者 Abbe Nollet 发现水能够自发地扩散到装有酒精的猪膀胱内。1964年美国GE公司制成了卷式反渗透膜组件,20世纪80年代出现了芳香聚酰胺复合型卷式膜。20世纪90年代开始,RO技术在全球进入了更加广泛和高速的开发与应用时代。世界上在用最大的反渗透苦咸水淡化厂位于美国尤马市,生产能力为 $37 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (淡水),用的是卷式反渗透膜组件。

膜分离工艺与蒸馏、离子交换、离心、混凝-沉淀、硅藻土及陶瓷玻璃等其他过滤及分离工艺相比,具有常温环境、低工作压力、无相变、无滤料溶出、高效、节能、环保、单元化、模块化、占地面积小、施工周期短、启停灵活、能耗仅为热法脱盐的一半等特点,从而具有显著的市场竞争优势。在大多数项目中,仅占地面积小一项优势,就已很大程度地抵消其设备价格偏高的劣势。

反渗透膜产品自20世纪80年代中期开始进入中国市场,最早用于电子、医药等行业的高纯水制备,并逐步用于其他工业及民用给水深加工。随着RO膜和相关技术的进步,RO技术在苦咸水淡化中的竞争能力越来越强。2000年在河北沧州建设了 $18000 \text{ m}^3/\text{d}$ 苦咸水淡化厂,原水含盐量为 12402.25 mg/L ,反渗透装置主体电力消耗为 $2.0 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ (产水),加入引水及其他附属设备用电共计 $2.5 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$,单位造水成本为 $2.48 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。甘肃定西 $10000 \text{ m}^3/\text{d}$ 苦咸水脱盐RO示范项目,原水含盐量为 3500 mg/L ,制取淡水的含盐量为 150 mg/L ,水回收率大于70%,估算成本为 $0.77 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。据资料介绍,大庆油田RO苦咸水处理量已近 $1.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,处理后的水主要是作为生活饮用水。北京安国水道自控技术公司承担了鄂尔多斯纳滤净水厂的建设运营交钥匙(BOT)工程,该工程总设计处理能力为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,建成后将成为世界最大的纳滤净水厂。

反渗透技术的高速发展源于六个重要促进因素:一是反渗透膜自身拥有的技术先进性,使原有的蒸发/蒸馏、离子交换、电渗析等纯水制备工艺全面让位于反渗透工艺;二是经济的飞速发展,使膜技术市场呈现迅猛的发展速度和巨大的发展潜力;三是水资源的日益短缺和水环境的日益恶化,使膜法水处理的应用从给水深度处理扩展到废水的资源化利用;四是人民币汇率稳定,关税下调,使进口膜元件及其相关产品价格不断降低;五是反渗透工艺配套产品国产化,使相关

工程成本及运行成本不断降低；六是国内不断引进及开发膜生产技术，试图实现反渗透产品的国产化。

我国海水、苦咸水淡化利用虽然发展迅速，但与世界先进的海水、苦咸水淡化利用国家、地区相比还有一定的差距，主要体现在资金投入不足、成本高、技术水平低、国产化率低等方面。在工程可行性研究、设计与咨询方面，国内主要是国家海洋局天津海水淡化与利用研究所、杭州水处理技术研究中心、武汉凯迪公司等 6 家公司，其能力只能承担中小型海水、苦咸水淡化工程项目； $15000\text{m}^3/\text{d}$ 以上大型淡化工程项目一般是由国外公司承担，主要有以色列 IDE 技术公司、新加坡 HYFLUX 公司、法国 Sidem 公司和威立雅公司、德国西门子公司、GE 公司、陶氏公司等 10 家公司。尽快吸收和掌握大型脱盐工厂关键技术势在必行。

“七五”以来，国家通过科技支撑计划、863 计划、973 计划和海洋公益性行业科研专项等科技计划的部署实施，重点支持海水淡化与综合利用技术设备研发应用，使我国具备了百吨级、千吨级、万吨级海水淡化成套技术支撑能力，基本能够满足国内海水淡化工程建设需求。“十五”以来，国家和一些沿海地方政府相继出台了一系列鼓励海水淡化与综合利用技术和产业发展的规划、政策与措施，为我国海水淡化与综合利用技术和产业发展提供了重要支撑。

目前，我国海水淡化单机产能达到国际通用水平，具备了单机规模达 $25000\text{m}^3/\text{d}$ 的低温多效蒸馏法装置和单机规模达 $20000\text{m}^3/\text{d}$ 的反渗透膜法海水淡化装置的制备能力，海水淡化设备国产化率由 40% 上升到现在的 85% 左右。截止到 2012 年底，全国已建成投产和在建工程总装机规模近 $100 \times 10^4\text{m}^3/\text{d}$ ，与“十五”末相比，增加了十多倍。与此同时，海水淡化与综合利用新技术研发也取得了重要进展：电吸附海水淡化新技术已经进入中试阶段；浓海水提钾、提溴技术已能满足工业化生产要求；新能源-海水淡化系统研究迅速发展，新研制的兆瓦级非并网风电海水淡化系统在江苏盐城建成 $5000\text{m}^3/\text{d}$ 示范工程，现已调试出水；国内海水淡化企业创新能力逐步提升，并在国际海水淡化市场上逐渐崭露头角。

1.4 阿尔及利亚因萨拉脱盐处理站工程介绍

因萨拉反渗透脱盐处理站一期处理能力为 $5 \times 10^4\text{m}^3/\text{d}$ ，并可在二期扩展至 $10 \times 10^4\text{m}^3/\text{d}$ 。合同内容包括：设计和详细研究、土建工程施工、设备供货和安装、试运，并承担 5 年质保期间的运营服务。

1.4.1 招标文件基本要求

取自因萨拉水源地的地下水是可以短期饮用的。在大项目规划阶段，业主已