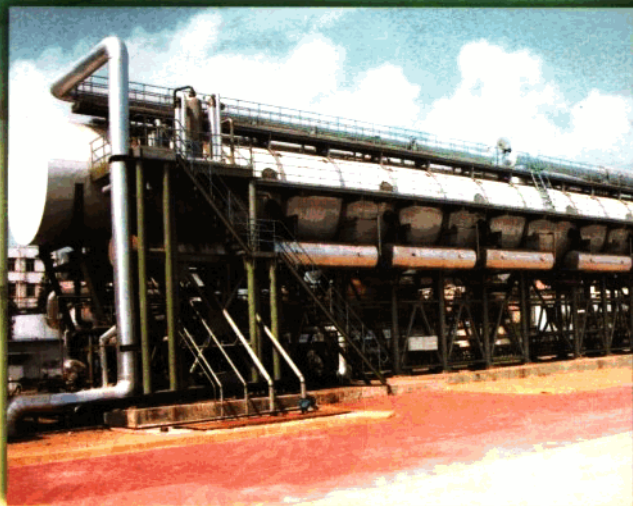


中国海洋科技创新丛书

海水淡化与循环经济

HAISHUI DANHUA YU XUNHUANJINGJI

惠绍棠 阮国岭 于开录 编著



天津人民出版社
TIANJIN RENMIN CHUBANSHE

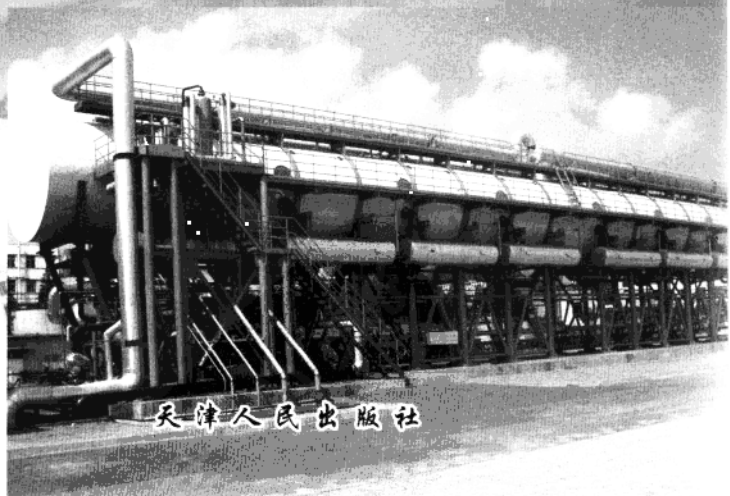
中国海洋科技创新丛书

Keji Chuangxin

海水淡化与循环经济

HAISHUI DANHUA YU XUNHUANJINGJI

惠绍棠 阮国岭 于开录 编著



天津人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

海水淡化与循环经济 / 惠绍棠, 阮国岭, 于开录编著
天津: 天津人民出版社, 2005.12
(中国海洋科技创新丛书)
ISBN 7-201-05174-1

I.海… II.①惠…②阮…③于… III.海水淡化—研究 IV.P747

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第140921号

天津人民出版社出版

出版人: 刘晓津

(天津市西康路35号 邮政编码: 300051)

邮购部电话: (022)23332446

网址: <http://www.tjrm.com.cn>

电子信箱: tjrmchbs@public.tpt.tj.cn

天津市益中汽车安全带厂(天津市一中印刷厂)印刷

新华书店经销

2005年12月第1版 2005年12月第1次印刷

787×1092毫米 20开本 20.5印张 2插页

字数: 400 000字 印数: 1-3000

定价: 38.00元

中国港口经济大丛书总顾问

成思危 马 洪

中国港口经济大丛书编委会

主 任 方 放

副 主 任 王海平

委 员 (以姓氏笔画为序)

于汝民	马力强	王庆云	田贵明
孙光忻	李泊溪	李连仲	李罗力
李悟洲	李克麟	刘福垣	刘培强
刘秉镰	刘鼎铭	刘明哲	刘晓津
迟福林	苏新刚	张炳汉	张 良
陈家源	杨志刚	郑 化	周叔莲
宗蓓华	茅伯科	郭信昌	郝寿义
徐剑华	逢锦聚	黄有芳	黄国胜
曹忠喜	屠德铭	龚 正	熊性美

《中国港口经济大丛书》
中国海洋科技创新丛书编委会

主 任

王海平

副主任

邹觉新 谢世楞 惠绍棠 陶德馨 孙 斌
李悟洲 包起帆

成 员 (以姓氏笔画为序)

王志民 王明志 孙 宏 孙光忻 阮国岭
刘秉镰 吕子林 肖汉斌 杨 赞 杨志刚
杨德全 张海河 陈建华 郑见粹 费维军
赵冲久 徐剑华 陶建华 梁一如 黄力军
黄有芳 康寿岭 盛维正 蒋 千 蔡明玉

总 编 王海平

副 总 编 郑 化 刘秉镰 刘晓津

编辑部成员 尹 靖 杨德全 吕子林 赵 艺
张 洁 董维忠 白雪洁 安卫兵
张 明

序

水是基础性自然资源和战略性经济资源,水资源的可持续利用是关系到我国经济社会发展的重大战略问题。

21世纪,人口膨胀、资源短缺与环境的恶化使人们愈来愈认识到合理开发利用海洋是维护人类社会可持续发展的重要保障。沿海各国均以新的目光关注海洋,纷纷制定和调整海洋战略,大规模开发利用海洋资源,扩大海洋产业,发展海洋经济,海洋的地位急剧上升,开发和利用海洋已成为共识,世界已步入和平利用和全面管理海洋的新时代。

作为世界13个贫水国之一的中国,随着社会经济的高速发展,淡水资源紧缺已经成为我国经济社会可持续发展过程中的最大瓶颈之一,严重影响了人民的正常生活和经济社会的发展。其中,以沿海地区尤为严重。据统计,我国每年因缺水造成的直接经济损失达数千亿元。

解决我国沿海地区(海岛)的淡水资源短缺问题,除了大力开展节水,提高水利用效率和实施必要的跨流域调水外,大力发展海水淡化,充分利用海水资源替代淡水,优化我国水资源整体结构,是解决沿海地区水资源紧缺的一项必然战略选择。

此外,发展海水淡化产业,也是促进海洋经济发展的迫切要求。作为一个海洋大国,我国海洋自然条件优越,资源丰富,开发潜力巨大,但海洋经济对国民生产的贡献率仍显偏低。近年来,海水淡化越来越得到党和国家领导人、国家各部委、地方政府以及社会各界的高度重视,温家宝、曾培炎、邹家华、韩启德、吴阶平等领导同志或作过批示、指示,或亲临视察海水淡化工程,2003年颁布的《全国海洋经济发展规划纲要》明确提出要把我国建设成为海洋强国,逐步使海洋产业成为国民经济的支柱产业战略目标。其中,包括海水淡化在内的海水利用被列为重点发展的八大产业之一。2005年,国务院又明确提出了“推进沿海缺水城市海水淡化和海水直接利用”的要求。同年8月,

2 海水淡化与循环经济

我国首部《海水利用专项规划》历经三年多的反复论证、修改,由国家发改委、国家海洋局、财政部正式颁布。由此,标志着国家在“十一五”期间将大力扶植和推动海水淡化工作,可以预见,未来海水淡化产业将对海洋经济的发展起到极其重要的推动作用。

我国海水淡化技术经过四十多年的发展,特别是“九五”以来,取得了重大关键性技术突破,全面掌握了海水淡化的各种主流技术,技术水平达到国际先进。通过规模示范,目前已进入产业化推广阶段。随着科学技术的进步,海水淡化市场也步入了快速发展时期。

当前,国家对循环经济非常重视,已把发展循环经济作为今后经济发展重要原则。发展循环经济是实施资源战略,促进资源永续利用,保障国家经济安全和人民健康的重大战略措施;是防治污染、扭转防治思路的重要途径;也是我国调整产业结构,扩大就业的一条有效途径;更是应对入世挑战,增强国际竞争力的重要途径和客观要求。在循环经济理念指导下,国家已经加快了节能、节水、资源综合利用、再生资源回收利用等循环经济重点领域的工作。

而海水淡化作为符合循环经济理念的新兴产业,正在以其低能耗、低污染以及在工业废水处理、浓盐水综合利用和化工等领域的崭新应用前景受到越来越多的重视。其发展模式将是企业实现经济与环境“双赢”的重要选择。

本书是由惠绍棠、阮国岭等一批国内知名海水淡化专家,在总结多年科研和产业化推广经验基础上,面向有志于海水淡化事业的有识之士而撰写的一部专著,该书全面系统地介绍了国内外海水淡化技术发展的历史,海水淡化的主要技术、水平以及在世界范围内推广应用情况。同时,该书还首次从循环经济角度出发,系统分析阐述了海水淡化在循环经济中的作用,是一部专业及非专业人士均可一读的难得著作。在我国海水淡化业正在蓬勃发展之际,《海水淡化与循环经济》的出版很有意义,相信会对我们很有启发和帮助。

王曙光

第一篇 海水淡化技术	(1)
1.1 前言	(1)
1.1.1 海水淡化的发展历史	(2)
1.1.2 海水淡化发展现状	(4)
1.2 电渗析技术	(6)
1.2.1 概述	(6)
1.2.2 基本原理	(8)
1.2.3 发展前景	(10)
1.3 反渗透技术	(12)
1.3.1 发展历史	(12)
1.3.2 基本原理	(14)
1.3.3 反渗透膜材料	(15)
1.3.3.1 非对称反渗透膜	(16)
1.3.3.2 复合反渗透膜	(16)
1.3.3.3 动力成膜	(16)
1.3.3.4 荷电型反渗透膜	(17)
1.3.4 反渗透海水淡化工艺	(17)
1.3.4.1 海水预处理	(18)
1.3.4.2 反渗透系统	(19)
1.3.4.3 反渗透结垢与膜清洗	(20)
1.3.4.4 后处理	(24)
1.4 蒸馏技术	(25)
1.4.1 多级闪蒸	(26)
1.4.1.1 基本原理	(26)

1.4.1.2 多级闪蒸操作参数	(30)
1.4.1.3 多级闪蒸的组成	(33)
1.4.1.4 多级闪蒸的技术缺陷及发展	(35)
1.4.2 多效蒸馏	(36)
1.4.2.1 概述	(36)
1.4.2.2 低温多效蒸馏	(37)
1.4.2.3 低温多效蒸馏海水淡化的工艺路线	(38)
1.4.2.4 工业应用	(39)
1.4.2.5 低温多效技术的发展趋势	(41)
1.4.3 压汽蒸馏	(44)
1.4.3.1 概述	(44)
1.4.3.2 压汽蒸馏海水淡化的工艺路线	(45)
1.4.3.3 低温压汽蒸馏的发展趋势	(47)
1.5 海水冷冻法	(48)
1.5.1 冷冻法淡化原理	(48)
1.5.2 冷冻法技术分类	(50)
1.5.3 冷冻法之优缺点	(52)
1.6 其他新型方法	(53)
1.6.1 迅速喷雾蒸发技术	(53)
1.6.2 纳米结晶技术	(53)
1.6.3 超声波技术	(54)
1.6.4 分子筛膜蒸馏技术	(54)
第二篇 海水淡化与非传统能源的结合	(55)
2.1 前言	(55)
2.2 太阳能海水淡化	(55)
2.2.1 概述	(55)
2.2.2 太阳能海水淡化发展历史	(57)
2.2.3 太阳能集热系统	(58)
2.2.3.1 平板集热器	(58)
2.2.3.2 真空管集热器	(59)
2.2.3.3 聚光集热器	(59)

2.2.4 太阳能与海水淡化的结合方式	(61)
2.2.4.1 太阳能蒸馏淡化技术	(61)
2.2.4.2 太阳能反渗透淡化技术	(62)
2.2.5 发展趋势	(64)
2.3 核能海水淡化	(65)
2.3.1 概述	(65)
2.3.2 核能与海水淡化装置的结合	(67)
2.3.2.1 淡化装置和核电站连接	(68)
2.3.2.2 淡化装置和供热用核反应堆连接	(68)
2.3.2.3 淡化装置和热电联产的核反应堆连接	(71)
2.3.2.4 输送蒸汽方法	(73)
2.3.3 核反应堆与淡化装置连接的设计要求	(74)
2.3.3.1 设计的安全要求	(74)
2.3.3.2 设计的使用年限	(75)
2.3.3.3 运行弹性	(75)
2.3.3.4 可靠性与实用性	(76)
2.3.3.5 设计限制	(77)
2.3.4 工程实例	(77)
2.3.4.1 哈萨克斯坦核能淡化	(77)
2.3.4.2 日本的核能淡化	(78)
2.3.4.3 摩洛哥核能海水淡化示范工程	(80)
2.4 风能海水淡化	(82)
2.5 地热能海水淡化	(84)
2.6 波浪能海水淡化	(86)
第三篇 国际海水淡化技术及实践	(89)
3.1 前言	(89)
3.1.1 私有化进程	(89)
3.1.2 BOT 类型融资方式	(94)
3.1.2.1 BOT 项目的内容特征	(95)
3.1.2.2 BOT 项目的参与机构及主要内容	(97)
3.1.2.3 BOT 方式在海水淡化领域的应用	(102)

4 海水淡化与循环经济

3.1.3 海水淡化的政策支持	(104)
3.1.3.1 海水淡化研究	(104)
3.1.3.2 水价补贴	(106)
3.1.3.3 海水淡化投资	(107)
3.2 中东地区	(108)
3.2.1 概述	(108)
3.2.1.1 现状	(110)
3.2.1.2 私有化进程	(111)
3.2.2 沙特阿拉伯	(114)
3.2.3 阿联酋	(115)
3.2.4 科威特	(118)
3.3 地中海地区	(120)
3.3.1 以色列	(121)
3.3.2 西班牙	(124)
3.3.3 阿尔及利亚	(128)
3.3.3.1 水资源分布	(129)
3.3.3.2 海水淡化历史	(131)
3.3.3.3 发展现状	(131)
3.4 美洲地区	(133)
3.4.1 美国	(133)
3.4.1.1 加利福尼亚	(134)
3.4.1.2 德克萨斯	(136)
3.4.1.3 佛罗里达	(138)
3.4.2 美属维尔京群岛	(140)
3.5 亚太地区	(144)
3.5.1 新加坡	(144)
3.5.2 澳大利亚	(146)
3.5.3 日本	(148)
第四篇 中国海水淡化技术的发展	(151)
4.1 中国海水淡化的技术进展	(151)
4.1.1 电渗析	(152)

4.1.2 反渗透	(152)
4.1.3 多级闪蒸	(156)
4.1.4 多效蒸馏和压汽蒸馏	(157)
4.1.4.1 小型压汽蒸馏装置的研制和理论研究阶段 (1960~1990)	(157)
4.1.4.2 多效蒸馏的研究阶段(1990~2002)	(158)
4.1.4.3 多效蒸馏自主技术示范和装备的引进阶段 (2003年以后)	(159)
4.1.4.4 面临的形势和发展方向	(160)
4.2 中国海水淡化的工程进展	(162)
4.2.1 嵊山 500 m ³ /d 反渗透海水淡化示范工程	(162)
4.2.1.1 海水预处理	(163)
4.2.1.2 反渗透淡化	(164)
4.2.1.3 考核运行	(165)
4.2.2 长岛 1000 m ³ /d 反渗透海水淡化示范工程	(166)
4.2.2.1 取水部分	(166)
4.2.2.2 海水淡化部分	(166)
4.2.3 天津 1000 吨/日反渗透海水淡化试验平台	(167)
4.2.3.1 技术路线	(168)
4.2.3.2 成本分析	(170)
4.2.3.3 二期工程	(170)
4.2.3.4 工程运转情况、解决的主要问题及重要启示	(171)
4.2.4 长海县反渗透海水淡化工程	(173)
4.2.4.1 背景介绍	(173)
4.2.4.2 技术路线	(174)
4.2.4.3 建设及运行情况	(175)
4.2.4.4 意义及效益	(177)
4.2.5 华能威海电厂海水淡化工程	(178)
4.2.5.1 预处理系统	(178)
4.2.5.2 反渗透系统	(179)
4.2.5.3 运行情况	(181)

4.2.6 荣成万吨级反渗透海水淡化示范工程	(182)
4.2.6.1 海水取水	(183)
4.2.6.2 海水预处理	(183)
4.2.6.3 反渗透海水淡化系统	(184)
4.2.6.4 调试结果与成本分析	(186)
4.2.7 黄岛电厂 3000 吨 / 日低温多效海水淡化示范工程 ..	(187)
4.2.7.1 项目背景	(187)
4.2.7.2 工艺及装置	(188)
4.2.7.3 运行情况	(191)
4.2.7.4 成本分析	(193)
4.3 中国海水淡化的发展规划	(193)
4.3.1 海水淡化发展目标	(194)
4.3.2 发展重点、区域布局与重点工程	(195)
4.3.2.1 发展重点	(196)
4.3.2.2 区域布局	(196)
4.3.2.3 重点工程	(199)
4.3.3 投资分析	(201)
4.3.4 政策与措施	(202)
第五篇 海水淡化技术在循环经济中的应用	(209)
5.1 前言	(209)
5.2 电水联产海水淡化	(211)
5.2.1 蒸馏法海水淡化的水电联产	(212)
5.2.2 反渗透海水淡化的水电联产	(214)
5.2.3 水电联产的优点	(217)
5.2.3.1 避免新的取水结构	(217)
5.2.3.2 共享排水口	(217)
5.2.3.3 共建的其他好处	(219)
5.2.4 国内发展情况	(219)
5.2.5 水电联产的发展	(224)
5.2.5.1 利用非用电高峰期的电能运行海水淡化反渗透 系统	(225)

5.2.5.2 热膜耦合	(226)
5.3 利用废热的海水淡化工程	(227)
5.3.1 利用柴油发电机的热量	(228)
5.3.2 与固体废物燃烧炉结合	(228)
5.3.3 利用工业冷却水、工业废气造水	(228)
5.4 海水淡化浓盐水综合利用	(229)
5.4.1 概述	(229)
5.4.2 浓盐水制盐	(229)
5.4.3 浓盐水蒸发池用于养殖业	(232)
5.4.4 化学资源提取	(232)
5.4.4.1 海水淡化后浓缩水提钾	(233)
5.4.4.2 海水淡化后浓盐水提溴	(234)
5.5 苦咸水和海水淡化结合	(236)
5.6 海水淡化技术在工业废水处理中的应用	(237)
5.6.1 概述	(237)
5.6.2 多效蒸馏海水淡化技术在工业废水处理中的应用 ...	(239)
5.6.3 反渗透海水淡化技术在工业废水中的应用	(240)
5.6.4 反渗透与蒸发法结合应用于工业废水处理	(243)
5.6.4.1 背景概述	(243)
5.6.4.2 反渗透工艺流程	(244)
5.6.4.3 项目的建设及运行情况	(245)
5.6.4.4 该项目的社会与经济效益	(247)
5.6.4.5 成果验收情况	(248)
5.6.4.6 反渗透技术应用于氯化铵废水处理的前景评价 ...	(248)
5.7 海水淡化在钢厂和炼油厂中的应用	(249)
5.7.1 天津	(250)
5.7.2 大连	(252)
5.7.3 曹妃甸工业区	(252)
5.7.4 青岛	(254)
第六篇 海水淡化装备产业	(257)
6.1 前言	(257)

6.2 海水淡化装备制造制造业	(257)
6.2.1 热法(蒸馏法)	(257)
6.2.2 反渗透法	(260)
6.2.2.1 反渗透膜组件	(260)
6.2.2.2 能量回收	(265)
6.2.2.3 高压泵	(265)
6.2.2.4 膜壳	(268)
6.2.3 仪表	(269)
6.2.3.1 温度检测仪表	(269)
6.2.3.2 压力检测仪表	(271)
6.2.3.3 流量检测仪表	(272)
6.2.3.4 液位检测仪表	(274)
6.2.3.5 浊度检测仪表	(277)
6.2.3.6 固体悬浮物 / 污泥浓度检测仪表	(277)
6.2.3.7 pH 值检测仪表	(278)
6.2.3.8 溶解氧检测仪表	(278)
6.2.3.9 余氯检测仪表	(279)
6.3 海水淡化用材料	(280)
6.3.1 碳钢	(280)
6.3.2 不锈钢	(281)
6.3.2.1 应用在海水淡化中的不锈钢类型	(281)
6.3.2.2 不锈钢用在浓盐水空间	(283)
6.3.2.3. 不锈钢用在蒸汽空间	(284)
6.3.2.4 其他部分	(284)
6.3.3 铜合金	(286)
6.3.4 钛	(290)
6.3.5 铝合金	(292)
6.3.6 塑料	(292)
6.3.6.1 塑料换热器	(292)
6.3.6.2 塑料容器和管线	(294)
6.4 海水淡化专用设备	(295)

6.4.1 蒸发器	(295)
6.4.2 蒸汽压缩机	(297)
6.4.3 能量回收装置	(299)
6.4.3.1 离心式能量回收装置	(299)
6.4.3.2 正位移原理能量回收装置	(301)
第七篇 海水淡化工程建设程序	(307)
7.1 前言	(307)
7.2 海水淡化的立项	(308)
7.2.1 我国海水淡化工程建设的发展方向	(308)
7.2.2 我国海水淡化领域的发展重点	(308)
7.2.3 海水淡化的立项程序	(309)
7.2.3.1 企业投资	(309)
7.2.3.2 政府投资	(312)
7.3 海水淡化工程可行性研究及环境影响评价	(312)
7.3.1 必要性及目的	(312)
7.3.2 主要研究内容	(313)
7.3.3 海水淡化工程可行性研究的关键内容	(314)
7.3.3.1 厂址及取水方式的选择	(314)
7.3.3.2 水文、气象、地质资料的搜集	(316)
7.3.3.3 工艺选择的基本原则	(317)
7.3.3.4 经济分析	(318)
7.3.3.5 环境影响评价	(321)
7.4 海水淡化工程的设计	(322)
7.4.1 工艺设计	(322)
7.4.2 设备设计	(323)
7.4.3 土建设计	(325)
7.4.3.1 建筑设计	(325)
7.4.3.2 结构设计	(325)
7.4.3.3 采暖、通风、照明、室内给排水结构设计	(326)
7.4.4 电气与控制设计	(326)
7.4.5 造价	(326)

7.4.5.1 我国现行投资构成和工程造价的构成	(327)
7.4.5.2 世界银行工程造价的构成	(327)
7.5 海水淡化的工程建设及验收	(330)
7.5.1 设备加工	(330)
7.5.2 设备安装	(333)
7.5.2.1 安装准备工作	(333)
7.5.2.2 基础工作	(334)
7.5.2.3 设备安装	(334)
7.5.2.4 设备检验、调整与试运转	(335)
7.5.3 管路安装	(335)
7.5.3.1 管道分类与分级	(335)
7.5.3.2 海水淡化常用管件、部件、支吊架	(337)
7.5.4 电气安装	(337)
7.5.4.1 电气安装内容	(337)
7.5.4.2 电气施工准备	(338)
7.5.4.3 电气安装施工程序	(338)
7.5.5 控制系统的安装	(339)
7.5.6 工程试运行	(340)
7.5.6.1 设备的调试规程	(340)
7.5.6.2 设备的试运行	(343)
7.5.7 工程资料的整理及其他工作	(344)
7.5.8 验收及移交程序	(344)
7.6 海水淡化工程的后评估	(345)
附录:国外海水淡化工程简介	
附录 1 西班牙拉斯帕尔玛斯海水淡化工程	(347)
附录 2 意大利西西里岛特拉帕尼的大型多效蒸馏工厂	(351)
附录 3 阿联酋世界最大混合海水淡化项目的设计与运行	(355)
附录 4 日本冲绳反渗透海水淡化工程	(374)
附录 5 以色列阿什凯隆反渗透海水淡化项目	(381)
参考文献	(392)
编后记	(400)