

中国工程院咨询项目（化工、冶金与材料工程学部）



高从增 主编

海水淡化及 海水与苦咸水利用

发展建议

Seawater



高等教育出版社

中国工程院咨询项目(化工、冶金与材料工程学部)

海水淡化及海水与 苦咸水利用发展建议

高从堦 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

内容提要

本书根据我国水资源状况、国内外海水淡化与综合利用的现状和发展趋势,比较了海水淡化方法的技术性和经济性,阐明了海水淡化与综合利用的重要性和必要性,提出了发展海水淡化与综合利用技术和产业的建议、对策和措施等,供有关领导和相关人员参考,另附有部分地方规划和考察报告供借鉴。由于反渗透和纳滤的广泛应用,在附件中也有较全面的介绍。

图书在版编目(CIP)数据

海水淡化及海水与苦咸水利用发展建议/高从堦主编.
—北京:高等教育出版社,2007.7
ISBN 978-7-04-020887-0

I.海… II.高… III.①海水淡化②海水-综合利用
IV.P747 P746.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第069494号

策划编辑 沈 俐 责任编辑 谭 燕 封面设计 张申申 责任绘图 朱 静
版式设计 余 杨 责任校对 姜国萍 责任印制 尤 静

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 化学工业出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 20.25
字 数 480 000
插 页 2

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2007年7月第1版
印 次 2007年7月第1次印刷
定 价 52.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 20887-00

编 委 会

主 编:高从堦

编 委:王世昌 侯纯扬 阮国岭 谭永文 贾海军 郭有智 王 铎

编 写 人 员

(以姓氏汉语拼音为序)

- 陈益棠 国家海洋局杭州水处理技术研究开发中心
成怀刚 中国海洋大学化学化工学院
初喜章 国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所
高从堦 国家海洋局杭州水处理技术开发中心
郭有智 中国化工集团公司
侯纯扬 国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所
黄西平 国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所
贾海军 清华大学核能与新能源技术研究院
解利昕 天津大学化工学院化学工程研究所
李保安 天津大学化工学院化学工程研究所
吕庆春 国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所
皮新燕 国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所
阮国岭 国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所
谭永文 国家海洋局杭州水处理技术研究开发中心
王 铎 中国海洋大学化学化工学院
王国强 国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所
王立国 济南大学化学化工学院
王世昌 天津大学化工学院化学工程研究所
王 越 天津大学化工学院化学工程研究所
吴礼光 国家海洋局杭州水处理技术研究开发中心
伍联营 中国海洋大学化学化工学院

II 编 委 会

- 武 杰 国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所
谢 峰 国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所
徐 佳 中国海洋大学化学化工学院
杨 昆 中国化工集团公司

编 写 分 工

- 第 1 章 高从堦 王 铎 王立国
第 2 章 王世昌 阮国岭 吕庆春 初喜章 谢 峰
第 3 章 高从堦 谭永文 吴礼光 陈益棠 王 铎 徐 佳
第 4 章 贾海军
第 5 章 郭有智 杨 昆
第 6 章 王世昌 解利昕 李保安 王 越 成怀刚
第 7 章 伍联营
第 8 章 侯纯扬 武 杰 皮新燕
第 9 章 王国强 黄西平

前 言

水是地球上不可替代的宝贵的自然资源,是人类赖以生存和生产的不可缺少的基本物质,同时也是重要的战略性资源和一个国家综合国力的有机组成部分。

水资源匮乏正在日益影响着全球的经济发展与生态环境,甚至导致国家和地区间的冲突。我国是一个水资源贫乏的国家,特别是在沿海地区表现更为明显,水和其他资源的匮乏已严重制约了该地区社会、经济的可持续发展和海防的安全。

海水淡化和综合利用技术是解决当今水和其他资源匮乏的重要手段,这包括海水淡化、海水直接利用和海水综合利用等。

全世界淡化水日产量约 $3\ 700 \times 10^4$ t,解决了 1 亿多人口(世界人口的 1/50)的供水问题。海水淡化能耗已降到 $4\ \text{kW} \cdot \text{h}/\text{t}$ 以下,淡化水成本在 0.5 美元/t 左右。

海水直接利用是用海水代替淡水作为工业用水和其他用水。经近百年的发展,世界海水冷却水用量已经超过 $7\ 000 \times 10^8\ \text{m}^3/\text{a}$,广泛用于发电、炼油、化工、钢铁等耗水量大的行业,所以用海水代替淡水作为工业冷却用水以及其他用水,对沿海城市十分重要。

海水综合利用涉及制盐、海水全利用(与海水淡化结合)、卤水全利用、海水中微量元素的提取以及相关元素的高附加值产品的开发等。这对于改造传统产业的旧工艺,提升盐化工的水平,保护海洋环境等,是非常重要和必要的。

经过四十余年的研究和开发,我国在海水淡化的蒸馏技术和反渗透(RO)技术方面都取得了长足的进步。我国海水淡化水日产量约 10×10^4 t,解决了诸多岛屿、沿海和西部一些地区的工业和人民生活饮用的供水问题。众多地区对海水淡化和苦咸水淡化的需求与日俱增。

我国的海水直流冷却技术,已有六十余年发展历史,但在技术和海水取用数量上较发达国家尚有很大差距。海水循环冷却技术是海水直接利用领域的一项新技术,始于 20 世纪 70 年代,我国海水循环冷却技术发展至今已达每小时十多万吨的规模,具有重要推广应用价值。

我国海水化学资源综合利用技术在海水提钾、提溴、提镁和零排放盐田卤水综合利用新工艺等方面均取得较大进展,提钾实现了产业化示范。

2003 年 5 月,国务院颁布实施的《全国海洋经济发展规划纲要》已将海水淡化与综合利用列为未来重点发展的新兴产业之一。为落实《全国海洋经济发展规划纲要》精神,加速海水开发利用产业化进程,2005 年国家发展和改革委员会、国家海洋局和财政部制定并颁布了《海水利用专项规划》,据此规划预计淡化水需求量到 2010 年将达到 $100 \times 10^4\ \text{t}/\text{d}$,年产值达到 50 亿元,海水淡化将成为我国沿海地区供水安全保障体系的重要组成部分,我国将成为世界海水淡化产业大国。海水冷却和脱硫等技术将进一步推广,海水循环冷却总规模达到 $50 \times 10^4 \sim 60 \times 10^4\ \text{t}/\text{h}$,年海水直接利用量达到 $500 \times 10^8\ \text{t}$ 。海水化学资源综合利用技术将在新兴制盐业和海洋化工业中推广,改变目前落后的盐化工生产方式,降低成本、减少污染、提高效益。

海水淡化是一个耗能的过程,排放大量 CO_2 ,还有 50% ~ 60% 的浓海水要排回大海,必须选择一种合适的技术使这些不利影响最小化。将发电、海水淡化与综合利用(包括盐化工)相结

II 前 言

合,三者互补,可产生最佳经济效益,并可降低海水淡化的成本,也利于环境保护。

在本书的编著过程中,国家海洋局杭州水处理技术研究开发中心、中国海洋大学、天津大学、国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所、清华大学等单位的多位同志参与材料的整理与编写工作,在此表示感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,书中的缺点和错误在所难免,敬请广大读者批评指正。

主编 高从堦

2006年11月于青岛

目 录

第 1 章 水资源与海水淡化	1	3.2.1 反渗透和纳滤膜	34
1.1 全球水资源概况	1	3.2.2 膜组件	35
1.2 我国水资源概况	2	3.3 反渗透和纳滤用关键设备	37
1.3 海水淡化是解决水资源 短缺的重要途径	6	3.3.1 高压泵	37
第 2 章 热法海水淡化	7	3.3.2 能量回收装置	38
2.1 多级闪蒸法	7	3.3.3 压力容器(膜元件的 承压壳体)	40
2.1.1 原理与技术特点	7	3.3.4 有关仪表	40
2.1.2 规模与选用情况	8	3.4 反渗透和纳滤淡化工艺过程及 工程设计和运行	40
2.1.3 投资与能耗	9	3.4.1 系统工艺过程设计	40
2.1.4 运行维护与安全性	9	3.4.2 工程设计和运行	41
2.1.5 多级闪蒸与水电一体化	9	3.5 反渗透和纳滤在海水和苦咸水 淡化中的应用	42
2.1.6 发展海水淡化产业,开拓 国际市场	10	3.5.1 海水淡化	42
2.1.7 附录:日产 $20 \times 10^4 \text{ m}^3$ 多级闪蒸 海水淡化装置设计方案和经济 比较	11	3.5.2 海水二级脱盐	44
2.2 低温多效蒸馏技术	13	3.5.3 纳滤在海水淡化中的应用 示例(高回收率海水淡化 工艺简介)	44
2.2.1 现状及发展趋势	13	3.5.4 苦咸水淡化	45
2.2.2 技术分析(主要关键技术和技术 可行性)	26	3.5.5 纳滤在苦咸水淡化中的应用 示例	47
2.2.3 经济分析(经济性和敏感性分 析)	29	3.5.6 反渗透和纳滤的其他应用 示例	47
2.2.4 面临的问题和发展模式	31	3.6 水电联产集成工艺和过程 优化	48
第 3 章 反渗透和纳滤	33	3.6.1 水电联产	49
3.1 概述	33	3.6.2 集成工艺	49
3.1.1 发展概况	33	3.6.3 过程优化	49
3.1.2 反渗透和纳滤过程的特点 及应用	34	3.7 浓海水的综合利用、环境与 生态影响评价及应对措施	49
3.2 反渗透和纳滤膜及其组件	34	3.7.1 浓海水的综合利用	49
		3.7.2 淡化浓海水对环境与生态影响	

评价	50	4.5 现阶段的主要问题和研究	
3.7.3 浓海水对环境与生态影响的		建议	99
应对措施	51	4.5.1 技术和安全	100
3.8 反渗透和纳滤的经济性	52	4.5.2 淡化水供应的保证	101
3.8.1 反渗透和纳滤的成本	52	4.5.3 经济性	101
3.8.2 国内外海水反渗透代表性成本		4.5.4 融资	102
示例	52	4.5.5 政府和公众的支持	102
3.9 存在的问题和建议	54	4.5.6 研究建议	102
3.9.1 主要存在的问题	54	4.6 结论	103
3.9.2 建议	55		
第4章 核能海水淡化研究及		第5章 我国苦咸水现状和资源化	
发展现状	57	利用	105
4.1 引言	57	5.1 前言	105
4.2 核反应堆及海水淡化技术		5.2 中国苦咸水的地理分布	
简介	59	及其资源量	106
4.2.1 核反应堆及核能利用	59	5.2.1 全国苦咸水资源量分布	106
4.2.2 海水淡化技术	60	5.2.2 各地下水资源区中可开采	
4.3 核能海水淡化的历史及		苦咸水资源量的分布	107
实际应用	62	5.2.3 各省级行政区地下苦咸水可	
4.4 核能海水淡化技术的研究		开采资源量分布	108
现状	64	5.3 苦咸水的形成特点及化学分布	
4.4.1 加拿大 CANDU 型重水堆与		特征	109
反渗透淡化系统的耦合	65	5.3.1 化学分布特征	109
4.4.2 中国 NHR—200 反应堆与多效		5.3.2 苦咸水形成的主要影响因素	111
蒸馏淡化系统的耦合	68	5.4 苦咸水开发利用现状及推广	
4.4.3 印度 HPWR 反应堆核能海水		经验	112
淡化项目	71	5.4.1 苦咸水开发利用现状	112
4.4.4 韩国 SMART 反应堆耦合热力		5.4.2 我国《农村饮水安全规划》提出	
蒸汽压缩多效蒸馏淡化系统	74	的解决饮用水目标	113
4.4.5 俄罗斯 KLT—40C 浮动式核能		5.4.3 河北沧州地区苦咸水资源化	
海水淡化系统	77	利用的推广经验	113
4.4.6 俄罗斯 RUTA 核供热反应堆		5.4.4 西北定西地区的苦咸水淡化	
海水淡化系统	87	推广经验	114
4.4.7 俄罗斯 NIKA—70 一体化强迫		5.5 苦咸水淡化技术	114
循环反应堆核能海水淡化系统	91	5.5.1 蒸馏法苦咸水淡化技术	114
4.4.8 阿根廷 CAREM 核反应堆	94	5.5.2 苦咸水电渗析淡化技术	115
4.4.9 其他国家的核能海水淡化研究	98	5.5.3 苦咸水反渗透淡化技术	115
		5.5.4 淡化成本是苦咸水技术推广的	

关键因素之一	116	6.3.3 今后的研究重点及发展前景	132
5.6 发展对策和建议	116	6.4 天然海冰淡化方法	133
5.6.1 继续加大苦咸水淡化的推广 力度	117	6.4.1 海冰形成及其自然脱盐原理	133
5.6.2 合理开发保证长期可持续 使用	117	6.4.2 我国渤海湾、辽东湾等海域海 冰的大致储量、每年的储冰 量(大致或平均)	134
5.6.3 因地制宜发展苦咸水综合 利用	117	6.4.3 海冰的捞取、储存	135
5.6.4 重视发展小规模分散供水设备 试点及配套政策的研究和推广	117	6.4.4 海冰淡化方法	135
5.7 附录:苦咸水淡化工程示例—— 万吨级反渗透苦咸水淡化 产业化示范工程	118	6.4.5 国内研究现状、估计成本与 前景评价	137
5.7.1 主要工艺流程	118	第7章 海水淡化技术集成与优化 的研究	138
5.7.2 反渗透装置的性能参数	118	7.1 引言	138
5.7.3 项目投资	118	7.2 海水淡化技术集成的研究 现状	139
5.7.4 设备选型	119	7.2.1 膜法与蒸馏法海水淡化技术的 特点及耦合性	139
5.7.5 苦咸水淡化和利用的经济 效益和社会效益分析	119	7.2.2 海水淡化技术的集成	140
第6章 新的海水淡化方法	121	7.3 海水淡化集成技术的优化	155
6.1 膜蒸馏	121	7.3.1 海水淡化集成优化涉及的问题	155
6.1.1 原理	121	7.3.2 海水淡化集成优化的解决策略	157
6.1.2 膜的要求	122	7.3.3 海水淡化集成的优化方法	158
6.1.3 膜蒸馏的优缺点	123	7.4 建议	159
6.1.4 膜蒸馏的研究现状和应用 前景	124	第8章 海水直接利用	160
6.1.5 膜蒸馏的应用	124	8.1 我国水资源状况及海水直接 利用的重要性和必要性	160
6.2 露点蒸发技术	125	8.2 国内外海水直接利用技术现状 及发展趋势	160
6.2.1 基本原理	125	8.2.1 海水直流冷却	160
6.2.2 研究现状	126	8.2.2 海水循环冷却	161
6.2.3 技术特点	127	8.2.3 海水脱硫	162
6.2.4 应用前景	128	8.2.4 大生活用海水	162
6.3 流动电容(吸附法)海水淡化 技术概况	129	8.3 海水直接利用技术分析	162
6.3.1 概述	129	8.3.1 海水冷却	162
6.3.2 电容去离子技术国内外研究 现状	130	8.3.2 海水脱硫	170
		8.3.3 大生活用海水	171

IV 目 录

8.4 海水直接利用技术工程的经济分析.....	171	9.3.5 海水微量元素提取	182
8.5 海水直接利用技术产业发展面临的问题和发展模式.....	173	9.4 海水化学资源利用技术工程的经济分析(经济性和敏感性分析等)	183
第9章 海水化学资源提取	174	9.5 海水化学资源利用技术发展面临的问题和发展模式.....	184
9.1 海水化学资源利用的重要性和必要性.....	174	9.6 政策措施和建议.....	184
9.2 国内外海水化学资源利用现状及发展趋势.....	175	附件	187
9.2.1 海水制盐	175	附件1 海水利用专项规划	189
9.2.2 海水卤水提钾	176	附件2 国外海水淡化发展现状、趋势及启示	209
9.2.3 海水卤水提溴及溴化物研发	177	附件3 高技术产业发展“十一五”专项规划发展重点咨询研究	215
9.2.4 海水卤水提取镁砂(氢氧化镁)及镁系物	178	附件4 浙江省海水利用发展规划	229
9.2.5 海水提取微量元素	180	附件5 青岛市创建国家海水综合利用示范城市实施方案	249
9.3 海水化学资源利用技术分析(关键技术和技术可行性)	181	附件6 反渗透和纳滤技术的其他应用	267
9.3.1 海水制盐	181		
9.3.2 海水提钾	181		
9.3.3 海水提溴	181		
9.3.4 海水提镁	182		
		插页	

1.1 全球水资源概况

水是生命的摇篮,是人类赖以生存和生产的不可缺少的基本物质,是地球上不可替代的宝贵的基础自然资源,是生态环境的控制性要素之一,同时也是战略性的经济资源和一个国家综合国力的有机组成部分。展望未来,水资源匮乏正日益影响全球的经济发展与生态环境,甚至可能导致国家和地区间的冲突。联合国有关机构指出“水将成为世界最严重的资源问题”,“缺水问题将严重制约 21 世纪经济和社会发展并可能导致国家间的冲突”,“供水不足将成为一个深刻的社会危机,世界上在石油危机之后的下一危机便是水的危机”。可见,缺水问题是一个世界性问题。

全球的水总储量为 $13.86 \times 10^{17} \text{ m}^3$,其中 96.5% 为海水,其他分布在陆地、大气和生物体中,约为 2.53%,其中多储存于冰川、雪盖和 750 m 深度以上的地下,而可取用的河、湖水及浅层地下水等仅占 0.2% 左右,这里还包括相当大一部分的苦咸水。如表 1-1 所示。

表 1-1 世界水储量

水的类型	分布面积 /(10^{10} m^2)	水量 /(10^{13} m^3)	水深/m	在世界储水量中的百分比	
				占总储量/%	占淡水储量/%
1. 海洋水	36 130	133 800	3 700	96.5	
2. 地下水(重力水和毛细管水)	13 480	2 340	174	1.7	
其中地下淡水	13 480	1 053	78	0.76	30.1
3. 土壤水	8 200	1.65	0.2	0.001	0.05
4. 冰川与永久雪盖	1 622.75	2 406.41	1 463	1.74	68.7
(1) 南极	1 398	2 160	1 546	1.56	61.7
(2) 格陵兰	180.24	234	1 298	0.17	6.68
(3) 北极岛屿	22.61	8.35	369	0.006	0.24
(4) 山脉	22.4	4.06	181	0.003	0.12

续表

水的类型	分布面积 /(10^{10} m^2)	水量 /(10^{13} m^3)	水深/m	在世界储水量中的百分比	
				占总储量/%	占淡水储量/%
5. 永冻土底冰	2 100	30.0	14	0.22	0.86
6. 湖泊水	206.87	17.64	85.7	0.013	
(1) 淡水	123.64	9.10	73.6	0.007	0.26
(2) 咸水	82.23	8.54	103.8	0.006	
7. 沼泽水	268.26	1.147	4.28	0.000 8	0.03
8. 河床水	148 800	0.212	0.014	0.000 2	0.006
9. 生物水	51 000	0.112	0.002	0.000 1	0.003
10. 大气水	51 000	1.29	0.025	0.001	0.037
水的总储量	51 000	138 598.461	2 718	100	
其中淡水储量	14 800	3 502.921	235	2.53	100

1.2 我国水资源概况

我国水资源总量为 $2.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 虽居世界第6位, 但人均水资源量 $2 220 \text{ m}^3$, 为世界人均的 $1/4$, 在世界上 153 个国家和地区的统计中, 排名 121 位, 表 1-2 和表 1-3 分别给出了一些国家人均亩^①均径流量以及我国分区多年平均年降水量和水资源量。另外, 我国水资源在区域分布上很不均匀, 特别是北方地区, 耕地面积占全国的 59.2%, 人口占全国的 44.3%, 而水资源仅占 14.7%; 由于我国处于东亚季风区, 水量(降水和径流)年内和年际变化大, 全国各地几乎每年都有旱灾发生, 黄淮海平原最甚; 目前, 全国 600 多个城市中, 有 400 多个城市缺水, 其中, 100 多个城市严重缺水, 尤其是北方地区, 几乎所有城市都严重缺水, 如大连、天津、烟台、青岛人均水资源占有量都在 200 m^3 左右, 均属极度缺水; 全国大于 500 m^2 的岛屿有 6 500 多个, 其中绝大部分属严重缺水。因缺水造成的直接经济损失达数千亿元。

表 1-2 一些国家人均亩均径流量

国家	平均年径流量 /(10^8 m^3)	人口 /(10^4 人)	人均水量 /($\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$)	耕地面积 /(10^8 亩)	亩均水量 /($\text{m}^3 \cdot \text{亩}^{-1}$)
巴西	51 912	11 909	43 591	4.85	10 704
苏联	47 140	26 880	17 537	34.00	1 386
加拿大	31 220	2 409	129 600	6.54	4 774

① 1 亩 = 666.7 m^2 。

续表

国家	平均年径流量 /(10^8 m^3)	人口 /(10^4 人)	人均水量 /($\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$)	耕地面积 /(10^8 亩)	亩均水量 /($\text{m}^3 \cdot \text{亩}^{-1}$)
美国	29 702	22 980	12 925	28.40	1 046
印度尼西亚	28 113	14 750	19 059	2.46	11 428
中国	27 115	103 100	2 630	15	1 808
印度	17 800	69 389	2 465	24.7	721
日本	4 500	11 765	3 825	0.65	6 923
墨西哥	4 100	6 920	5 925	2.70	1 518
澳大利亚	3 450	1 493	23 108	2.54	1 358
新西兰	3 000	317	94 640	0.07	42 857
法国	2 000	5 396	3 706	2.58	775
意大利	1 850	5 624	3 290	1.86	994
巴基斯坦	1 830	8 370	2 186	3.04	602
智利	1 770	1 140	15 526	0.72	2 458
联邦德国	1 700	6 170	2 755	1.16	1 466
英国	1 600	5 579	2 868	1.03	1 553
伊朗	1 170	3 745	3 124	2.85	410
埃及	555	4 293	1 300	0.50	1 110
阿富汗	500	2 204	2 270	0.70	714
全世界	468 900	451 000	10 397	198.9	2 357

注:表中数据为 1982 年数据。

表 1-3 2004 年我国分区平均年降水量及水资源量

单位: 10^8 m^3

水资源一级区	降水量	地表水资源量	地下水资源量	地下与地表水不重复量	水资源总量
全国	57 263.8	23 235.7	7 476	1 018.8	24 254.7
松花江	3 854.0	1 007.8	429.3	182.1	1 189.9
辽河	1 638.4	335.7	183.2	83.3	419.0
海河	1 686.6	137.9	237.7	161.6	299.6
黄河	3 353.7	518.5	352.4	109.5	628.0
淮河	2 573.6	511.6	391.9	240.7	752.2

续表

水资源一级区	降水量	地表水资源量	地下水资源量	地下与地表水不重复量	水资源总量
长江	18 546.8	8 633.6	2 259.5	100.9	8 734.6
太湖	387.4	109.4	39.8	15.6	125.0
东南诸河	2 945.4	1 313.3	388.3	10.4	1 323.8
珠江	7 359.3	3 500.9	860.9	12.0	3 512.9
西南诸河	9 404.8	5 969.3	1 547.3	0	5 969.3
西北诸河	5 513.8	1 197.7	785.7	102.7	1 300.4

图 1-1 给出了我国各省市人均水资源量以及多年平均降水量。据有关部门估计,2030 年前中国工业缺水量将达到 $600 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上。如果不采取有效措施,届时因缺水造成的损失将更加巨大。表 1-4 和表 1-5 分别表明全国用水增长情况和 2030 年全国各流域片供需分析预测。

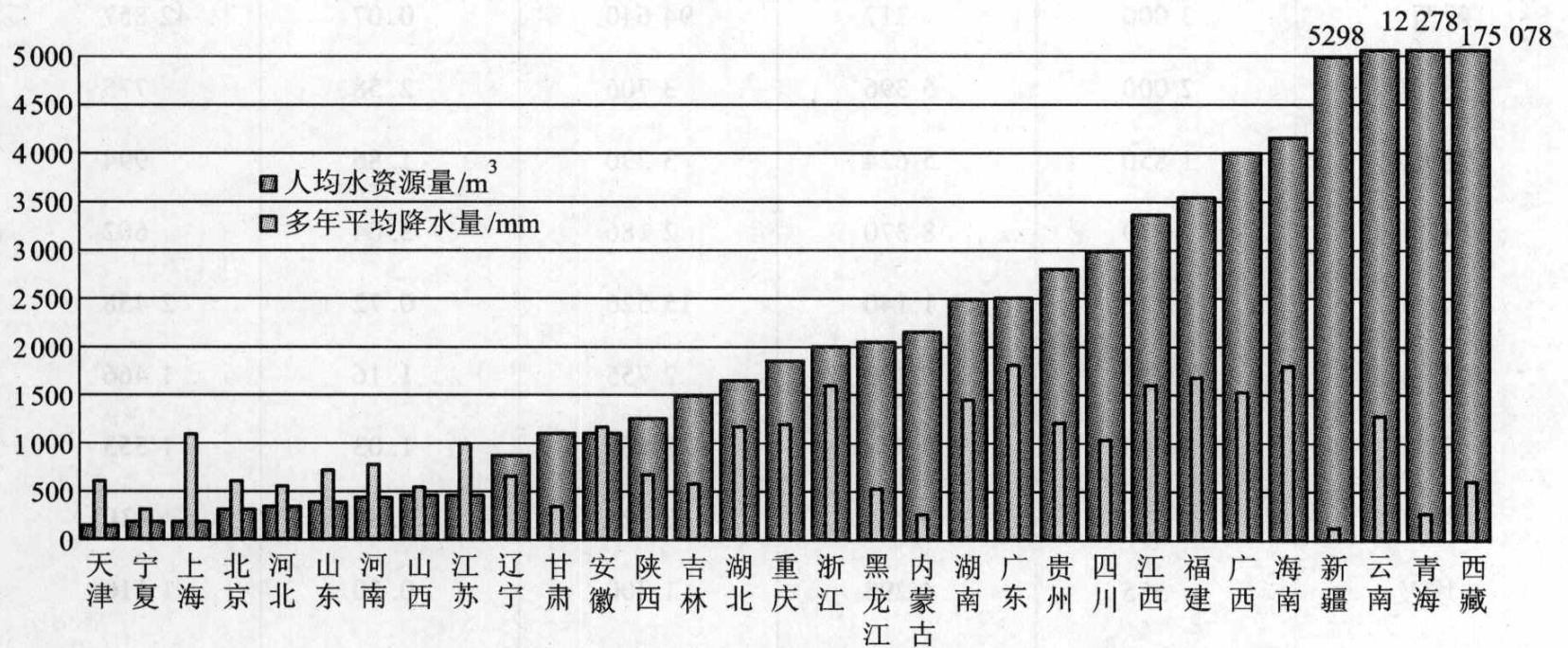


图 1-1 我国各省市人均水资源量以及多年平均降水量

表 1-4 全国用水增长情况

年份	农业和农村生活		工业		城市生活		总计 /(10^8 m^3)	人均用水量/ m^3
	用水量 /(10^8 m^3)	所占比例 /%	用水量 /(10^8 m^3)	所占比例 /%	用水量 /(10^8 m^3)	所占比例 /%		
1949 年	1 001	97.1	24	2.3	6	0.6	1 031	187
1959 年	1 938	94.6	96	4.7	14	0.7	2 048	316
1965 年	2 545	92.7	181	6.6	18	0.7	2 744	378
1980 年	3 912	88.2	457	10.3	68	1.5	4 437	450
1993 年	4 055	78.0	906	17.4	237	4.6	5 198	445
1997 年	4 198	75.4	1 121	20.1	247	4.4	5 566	458
2004 年	3 745	67.5	1 232	22.2	571	10.3	5 548	427

表 1-5 2030 年全国各流域片供需分析预测

水平年	分区	当地供水量 (10^8 m^3)	调入量 (10^8 m^3)	调出量 (10^8 m^3)	可供水量 (10^8 m^3)	利用量 (10^8 m^3)	利用率 /%	需水量 (10^8 m^3)	缺水量 (10^8 m^3)	缺水率 /%
2030 年	全国	6 640	350	350	6 990	6 800	24.7	7 119	129	1.8
	松辽河流域片	746			746	721	37.4	759	13	1.8
	海滦河流域片	352	135		487	311	73.8	539	52	9.7
	淮河流域片	644	130		774	600	62.4	815	41	5.1
	黄河流域片	443	85	30	528	443	59.6	535	7	1.3
	长江流域片	2 340		320	2 340	2 647	27.5	2 341	1	0
	珠江流域片	1 005			1 005	989	21.0	1 006	1	0.1
	东南诸河流域片	344			344	328	16.7	345	1	0.2
	西南诸河流域片	126			126	126	2.2	127	1	0.6
	内陆河流域片	640			640	635	48.7	652	12	1.8
	北方 5 片	2 825	350	30	3 175	2 710	50.6	3 300	125	3.8
	南方 4 片	3 815		320	3 815	4 090	18.5	3 819	4	0.1

1.3 海水淡化是解决水资源短缺的重要途径

在国际上,自从1972年联合国第一次人类环境会议指出“水将导致严重的社会危机”的问题以来,水资源的问题不仅没有得到根本解决,而且越来越严重。1994年,近80个国家的环境部长出席的国际首次饮用水和环境会议上,呼吁各国采取一致行动,像解决臭氧问题那样,认真解决水资源危机。2000年3月召开的第二届水资源论坛与部长级会议上,通过了《海牙宣言》,制定了确保水资源的相关计划。目前,世界上有80个国家约15亿人口面临淡水不足,其中26个国家(主要是发展中国家)约3亿人完全生活于缺水状态。解决水资源短缺的问题已成为世界各国关注的热点。

国内也面临着同样的日益缺水的形势。因此,中央和地方政府近年来加大投资力度,采取了一系列有效措施,如兴建大型蓄水工程,有计划实施跨流域调水工程,加大节约用水和废水回用力度等,使淡水紧缺形势得到一定程度的缓解。如1983年竣工的引滦入津工程,通过三次加压将滦河水引入天津,极大地缓解了天津市的工业生产和生活用水紧缺;大连市完成的引碧入连工程,将碧流河水引入大连,缓解了大连市的用水紧张;山东青岛的引黄济青工程,每年为青岛提供黄河水超过 $1 \times 10^8 \text{ m}^3$,为青岛市的经济发展和生活水平提高提供了保障。以上措施的采取,使我国的沿海城市和地区的供水状况得到较大改善,但是,由于我国沿海经济的快速发展以及人民生活水平的较大提高,部分沿海地区的供水仍然不能满足发展需求。

我国江河湖海普遍遭受到污染。七大水系,除珠海和长江外,其他水系水质多在Ⅳ类和Ⅴ类,湖泊富营养化严重,不少水质劣于Ⅴ类。沉积物也是严重的长期潜在的污染源。水质的恶化更加剧了水资源短缺的严峻形势。

全国城市供水30%靠地下水,北方城市达59%,水质普遍恶化,特别是北方有90%以上城市的地下水受到不同程度的污染;部分沿海地区,地下水超采引起海水入侵,土地盐碱化。另外北方和西北地区地下水中很大部分为苦咸水。

海水淡化是从海水中获取淡水的技术和过程。早在20世纪50年代,为解决“水的危机”,美国从1952年起专设盐水局,1974年后转为资源技术局,不断推进水资源和脱盐的技术进步。经过近50年的研究、开发和产业化,形成蒸馏法和膜法两大主流技术,海水淡化不仅技术上可行,而且经济上也可接受,发展十分迅速,已广泛并大规模地应用于中东、欧洲、美国和亚洲其他国家等,淡化水日产量达 $3700 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,解决了世界上1亿多人口所在地区的社会发展和生活用水问题。

经过四十余年的研究和开发,我国在海水淡化的蒸馏技术和反渗透技术方面都取得了长足的进步。我国海水淡化水日产量约 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$,解决了诸多岛屿、沿海和西部一些地区的工业和人民生活饮用的供水问题。众多地区对海水淡化和苦咸水淡化的需求与日俱增,仅对沿海地区一些城市的规划预计,近10~15年,淡化水需求量将达 $10 \times 10^8 \sim 15 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。海水淡化必将成为我国沿海地区供水安全保障体系的重要组成部分,为解决国内沿海地区和西部地区水资源缺乏的问题发挥更大的作用。