



海洋化工实用技术丛书

HAIYANG HUAGONG SHIYONG JISHU CONGSHU



海水淡化技术

伍丽娜 主编 刘菊 副主编

HAISHUIDANHUA JISHU



化学工业出版社



日乳和点... 海水淡化... 伍丽娜... 刘菊... 李兆魁... 主编... 副主编... 主审... 化学工业出版社

海洋化工实用技术丛书

海水淡化技术

伍丽娜 主编 刘菊 副主编

李兆魁 主审

本书... 伍丽娜... 刘菊... 李兆魁... 化学工业出版社... 2015年... 167千字... 16开... 9787122222222



化学工业出版社

北京... 邮编...

· 北京 ·

定价... 元

本书的编写是以适应海水淡化行业对从事一线岗位生产的专业技术人员的需求为培养目标进行编写的。全书共七章，包括绪论、海水前处理技术、蒸馏法海水淡化、反渗透法海水淡化、电渗析法海水淡化、其他海水淡化技术和海水淡化技术经济分析等内容。

本书适合海水淡化行业，特别是一线岗位生产的人员阅读，也可作为海洋化工等相关专业的教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

海水淡化技术/伍丽娜主编. —北京: 化学工业出版社, 2015.3
(海洋化工实用技术丛书)
ISBN 978-7-122-23059-1

I. ①海… II. ①伍… III. ①海水淡化-高等职业教育-教材 IV. ①P747

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 034106 号

责任编辑: 张双进 窦 臻
责任校对: 边 涛

文字编辑: 孙凤英
装帧设计: 关 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: 三河市万龙印装有限责任公司

710mm×1000mm 1/16 印张 9 字数 167 千字 2015 年 5 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: 27.00 元

版权所有 违者必究

前言

面对淡水资源的缺乏，如何补充淡水资源已成为人们日益关心的问题，作为补充淡水资源有效途径之一的海水淡化技术越来越受到重视。

随着科技进步，能量回收和综合利用技术的发展，使得海水淡化的成本越来越低。截止到2010年，世界上已有150多个国家和地区在应用海水淡化技术。国家的“十二五”规划中明确提出了我国海水淡化的发展目标，海水淡化产业将成为支撑国民经济稳定发展的现代化节能产业。

国家海洋经济发展规划的出台，促进了对海水淡化行业人才的需求，特别是对从事一线岗位生产的专业人才需求更加紧张。本书对蒸馏法、反渗透法、电渗析法、太阳能法、核能和冷冻法海水淡化的工艺进行了介绍，并对海水淡化的经济性进行分析，补充以具体工程实例，既可以服务于广大师生又能够为工程技术人员提供参考。

本书由天津渤海职业技术学院伍丽娜、刘菊、赵久艾三位老师进行编写，国家海洋局天津海水淡化与综合利用研究所李兆魁工程师对本书内容提出了诸多建议和指导。此外在本书编写过程中，得到了杨永杰、经立江、王璐琳等同志的指导和大力支持。同时在编写过程中参考了海水淡化技术方面的教材、专著和论文等资料，在此一并向有关专家、作者表示由衷的谢意。

由于编写时间仓促及编者水平、经验所限，书中难免存在缺点和疏漏之处，敬请广大读者和专家批评指正，以便进一步研究、修改和完善。

编者

2015年1月

目 录

第一章 绪论 1

第一节 水资源概况及水危机形势	1
一、水资源概况	1
二、水危机形式	1
第二节 海洋资源	5
一、生物资源	5
二、矿产资源	5
三、化学资源	8
四、能源资源	8
第三节 水质分析	9
一、海水的组成	9
二、水质指标及标准	10
三、水质分析	11

第二章 海水前处理技术 17

第一节 海水的取水方式	17
一、海滩井取水	18
二、深海取水	19
三、浅海取水	19
四、取水工程应用实例	20
第二节 絮凝、沉淀技术	22
一、絮凝、沉淀的概念及基本原理	22
二、絮凝剂	23
三、影响絮凝、沉淀效果的因素	24
四、絮凝剂的选择	25
五、絮凝沉淀法的简单流程	25
第三节 过滤技术	30
一、过滤的概念	30

	二、过滤的方法	30
第四节	软化技术	34
	一、软化技术	34
	二、软化技术的方法	34
第五节	消毒技术	35
	一、消毒	36
	二、消毒剂及处理方法	36
第六节	脱气技术	37
	一、脱气	37
	二、脱气的方法	37
第七节	前处理工艺流程	38
	一、电渗析法海水淡化前处理	38
	二、反渗透法海水淡化前处理	39
	三、蒸馏法海水淡化前处理	39

第三章 蒸馏法海水淡化 40

第一节	多级闪蒸法海水淡化	40
	一、多级闪蒸的原理	40
	二、多级闪蒸的工艺	41
	三、多级闪蒸技术的特点	43
	四、多级闪蒸海水淡化技术应用实例	43
第二节	低温多效蒸馏法海水淡化	47
	一、低温多效蒸馏法的原理	47
	二、低温多效蒸馏法的工艺及流程	47
	三、低温多效蒸馏法的特点	48
	四、低温多效海水淡化的应用	49
第三节	压汽蒸馏法海水淡化	50
	一、压汽蒸馏法的概念	50
	二、压汽蒸馏法的原理	50
	三、压汽蒸馏法的工艺	51
	四、压汽蒸馏法的特点	51
第四节	膜蒸馏法海水淡化	52
	一、膜蒸馏法的概念	52
	二、膜蒸馏法的原理	53
	三、膜蒸馏法的形式	54
	四、膜蒸馏法的工艺流程	56

五、膜蒸馏的应用	57
第五节 蒸馏法海水淡化应用实例	58

第四章 反渗透法海水淡化 61

第一节 反渗透技术概况	61
第二节 反渗透基本原理	63
一、渗透与反渗透	63
二、反渗透的分离机理	64
第三节 膜装置	65
一、反渗透膜	65
二、工业膜分离装置	71
第四节 反渗透处理工艺及操作模式	78
一、一级一段式	78
二、一级多段法	79
三、两级一段法	79
四、组件的多级多段配置	80
第五节 反渗透技术应用实例	81
一、海水和苦咸水淡化	81
二、纯水和超纯水的制备	83
三、在废水处理中的应用	85
四、食品工业	87

第五章 电渗析法海水淡化 89

第一节 电渗析法概述	89
第二节 电渗析法基本原理	90
一、电渗析法的原理	90
二、电渗析的基本理论	92
三、电渗析过程中的传递现象	94
四、电渗析器	94
第三节 几种常见的电渗析过程	97
一、倒极电渗析	97
二、填充床电渗析	98
三、液膜电渗析	99
四、高温电渗析	99
五、离子隔膜电渗析	99
六、双极性膜电渗析	99

七、无极水电渗析技术	100
八、无隔板电渗析器	101
九、卷式电渗析器	101
第四节 电渗析技术的应用实例	102
一、电渗析技术在废水处理中的应用	103
二、化学工业的应用	105
三、海水及苦咸水的淡化	106
四、饮用水及过程水的应用	107
五、食品工业的应用	108

第六章 其他海水淡化技术 109

第一节 太阳能蒸馏法海水淡化	109
一、太阳能蒸馏法概述	109
二、太阳能蒸馏法的原理	111
三、太阳能采集装置	115
第二节 核能法海水淡化	115
一、核能海水淡化概况	116
二、核能海水淡化技术	116
三、核能海水淡化方式	117
四、核能海水淡化工程实例	119
第三节 冷冻法海水淡化	120
一、冷冻法海水淡化原理	120
二、冷冻法海水淡化技术的分类	121
三、冷冻法海水淡化技术	121
四、冷冻法海水淡化的特点	123

第七章 海水淡化技术经济分析 125

第一节 海水淡化成本及能耗	125
一、透平能量回收装置	126
二、正位移式能量回收装置	128
第二节 海水淡化技术经济分析	130
一、多级闪蒸海水淡化系统技术经济分析	131
二、低温多效蒸馏海水淡化系统技术经济分析	131
三、反渗透法海水淡化系统技术经济分析	132

参考文献 133

第一章 绪论



第一节 水资源概况及水危机形势

一、水资源概况

地球上的水资源，从广义上讲是指水圈内的水量总体，约 $1.36 \times 10^9 \text{ km}^3$ ，其中海水约占 97%，覆盖了地球表面积的 71%；其余 3% 为淡水，淡水中约有 70% 被固存在两级冰盖和高山冰川中，剩余 30% 存在地下含水层和永久冻土层中，能被人类利用的湖泊、河流、土壤中所容纳的淡水只占十万分之三，约有 $4.1 \times 10^9 \text{ km}^3$ 。

联合国教科文组织 (UNESCO) 和世界气象组织 (WMO) 在 1988 年定义的水资源为“作为资源的水应当是可供利用或有可能被利用，具有足够数量和可用质量，并适合某地水的需求而能长期供应的水源”。我国对水资源的理解在《中国大百科全书》不同卷中，具有不同的描述——“地球表层可供人类利用的水，包括水量 (质量)、水域和水能资源，一般指每年可更新的水量资源”；“自然界各形态 (气态、液态或固态) 的天然水，供评价的水资源是指可供人类利用的水源，即具有一定数量和颗粒利用的质量，并在某一地点能够长期满足某种用途的水资源”；“地球上目前和近期人类可直接或间接利用的水，是自然资源的一个重要组成部分”。

二、水危机形式

1. 世界水危机形式

世界上作为资源的水总量为 410220 亿立方米，人均水资源量为 7342 m^3 。在

全球范围内面临着非常严峻的水资源问题。

(1) 全球淡水资源匮乏, 时空分布不均 随着人口的增加, 全球用水量逐年增加。联合国教科文组织 2006 年 3 月 13 日公布的《世界水资源开发报告》的数据显示, 1900~1995 年, 全球用水量从 5790 亿立方米增加到 37880 亿立方米, 增加了 6 倍, 是同期人口增幅的 2 倍以上。

水资源的时间性和区域性决定了水资源时空分布不均。降水、河川径流、冰川消融等具有明显的年际变化和年内分配。许多干旱地区最大年径流与最小年径流之比在几倍甚至 10 倍以上, 年与年之间存在明显差异, 一年之中也存在着明显的丰季。从各大洲水资源的分布来看, 年径流量亚洲最多, 其次为南美洲、北美洲、非洲、欧洲、大洋洲。

(2) 世界水资源环境趋于恶化 工业的污染造成了发达国家和发展中国家环境的恶化, 由此带来地表水和地下水水质下降, 威胁着人类健康和自然价值。

2. 中国水危机形式

中国年人均水资源拥有量约为 2151m^3 , 只占世界水平的 $1/4$, 是世界上人均拥有水资源量最低的国家之一。

全国半数以上的城市缺水, 北方地区人均水资源拥有量每年只有 757m^3 , 几乎所有城市都严重缺水。北京、天津、河北、山西、辽宁、上海、江苏、山东、河南和宁夏人均水资源量低于 500m^3 ; 1993 年以来, 已有 300 个沿海城市缺水, 大连、天津、烟台、青岛等城市人均水资源量在 200m^3 左右。

水资源年际分布不均, 旱涝灾害频繁, 连续丰水年或连续枯水年较为常见。

水环境恶化。2000 年污水排放总量 620 亿吨, 约 80% 未经任何处理直接排入江河湖泊, 90% 以上的城市地表水体, 97% 的城市地下含水层受到污染。由于过度利用, 引发地面沉降、海水入侵等一系列生态问题。

3. 中国水资源开发利用

为了缓解中国水资源危机形势, 中国政府出台了一系列保护水环境、解决水危机的政策, 并开发多种途径缓解水短缺现状。

(1) 政策

① 《中华人民共和国水法》(以下简称《水法》)。《水法》于 2002 年 8 月 29 日第九届全国人民代表大会常务委员会第二十九次会议通过, 2002 年 10 月 1 日起施行。

《水法》一共八章。

第一章 总则

第二章 水资源规划

第三章 水资源开发利用

第四章 水资源、水域和水工程的保护

第五章 水资源配置和节约使用

第六章 水事纠纷处理与执法监督检查

第七章 法律责任

第八章 附则

②《中华人民共和国水污染防治法》。《中华人民共和国水污染防治法》由中华人民共和国第十届全国人民代表大会常务委员会第三十二次会议于2008年2月28日修订通过，该法自2008年6月1日起施行。

《中华人民共和国水污染防治法》一共八章。

第一章 总则

第二章 水污染防治的标准和规划

第三章 水污染防治的监督管理

第四章 水污染防治措施

第五章 饮用水水源和其他特殊水体保护

第六章 水污染事故处置

第七章 法律责任

第八章 附则

③《中华人民共和国水土保持法》。《中华人民共和国水土保持法》由中华人民共和国第十一届全国人民代表大会常务委员会第十八次会议于2010年12月25日修订通过，该法自2011年3月1日起施行。

《中华人民共和国水土保持法》一共七章。

第一章 总则

第二章 规划

第三章 预防

第四章 治理

第五章 监测和监督

第六章 法律责任

第七章 附则

④ 国务院令 第496号：《中华人民共和国水文条例》。《中华人民共和国水文条例》经2007年3月28日国务院第172次常务会议通过，该法规自2007年6月1日起施行。

⑤ 国务院令 第604号：《太湖流域管理条例》。《太湖流域管理条例》经2011年8月24日国务院第169次常务会议通过，该法规自2011年11月1日起施行。

⑥《国家农业节水纲要（2012~2020年）》。该《纲要》对推动我国农业节水工作，促进现代农业发展和实现水资源可持续利用发挥重要作用。

⑦《长江流域综合规划（2012~2030年）》、《辽河流域综合规划（2012~

2030年)》。《辽河流域综合规划》实施要以科学发展观为指导,认真贯彻落实2011年中央1号文件精神,以完善流域防洪减灾、水资源综合利用、水资源与水生态环境保护、流域综合管理体系为目标,坚持全面规划、统筹兼顾、标本兼治、综合治理,注重科学治水、依法治水,协调好生活、生产和生态用水关系,促进辽河流域水资源的合理开发、优化配置、全面节约、有效保护和综合利用,为实现经济持续健康发展和社会和谐稳定提供有力支撑。

(2) 缓解水危机工程

① 远程调水。解决水资源空间分布不均匀比较有效的方式是采用远程调水。我国已有的远程调水工程有南水北调工程、引滦入津工程、引黄济青工程等。

但是远程调水耗资巨大并且会带来一系列环境问题。

② 海水直接利用和非常规水资源利用。海水直接利用就是直接利用海水代替淡水作为工业用水和生活用水。对于沿海淡水资源极度匮乏的地区和城市,海水直接利用可以有效地代替宝贵的淡水资源。

海水的直接利用工程主要有:

a. 在电力、石化、化工等行业替代淡水作为工业用冷却水,2003年中国利用海水作为冷却水用量达330亿立方米左右,到了2010年海水直接利用量新增200亿立方米以上,尤其是电力企业,利用海水作为冷却水量约占全国海水冷却水总量的85%。

b. 生活用水直接利用海水。2010年青岛成为生活用海水技术示范省市,主要利用海水冲厕、消防等。

非常规水资源利用主要有:

a. 污水资源化。中国在污水资源利用上起步较早,“六五”期间在大连、青岛进行试验探索;“七五”“八五”“九五”期间,污水资源化列入国家重点科技攻关计划,建成了一批示范工程。代表性的工程就是“中水回用示范工程”。

b. 苦咸水淡化。中国的苦咸水主要分布在北方和东部沿海地区,苦咸水分布地区不同,含盐量不同,覆盖国土面积的16%,可开采的苦咸水资源每年有198.48亿立方米。中国自20世纪60年代末开始用电渗析进行苦咸水淡化,技术日趋成熟;从20世纪80年代开始用反渗透苦咸水淡化,反渗透法苦咸水淡化具有竞争优势。

③ 海水淡化。面对中国北方沿海地区的资源型缺水和南部沿海周边水质型缺水、水资源保护和科学利用的严峻形势,中国除了以上解决措施之外,借鉴国际先进经验,开发海水淡化技术,海水淡化作为一种开源方式,已成为补充淡水资源的有效手段之一。中国的海水淡化技术研究始于1958年,近60年发展很快,取得了长足的进步和显著的成绩。主要的技术方法有蒸馏法、电渗析法、反渗透法、太阳能法以及核能法。

2013年12月23日,国家海洋局海洋科学技术司发布了《2012年全国海水

利用报告》(以下简称《报告》)。《报告》指出,全国海水利用工作进展顺利,截至2012年底,全国已建成海水淡化工程95个,日产淡化水总规模达到77.4万吨。最大海水淡化工程规模达到日产20万吨,淡化水广泛应用于沿海电力、石化、钢铁等高耗水行业及海岛生产生活用水。海水淡化主要采用反渗透和低温多效蒸馏技术,每吨淡化水平均成本6~8元。

在海水淡化方面,沿海9个省市的城市及海岛都分布有全国海水淡化工程,主要集中在天津、河北、浙江、辽宁、山东等水资源严重短缺的地区。

第二节 海洋资源

地球表面71%被海水覆盖,海洋中蕴含着丰富的生物资源、矿产资源和水资源,并且海洋是能量的源泉,也是世界可持续发展的重要基地。

一、生物资源

据生物学家统计,海洋中约有20万种生物,其中已知鱼类约1.9万种,甲壳类约2万种。许多海洋生物具有开发利用价值,专家用全球海洋净初级生产力(浮游植物年产量)作为估算世界海洋渔业资源数量的基础,其结果为:世界海洋浮游植物产量5000亿吨,折合成鱼类年生产量约6亿吨。假如以50%的资源量为可捕量,则世界海洋中鱼类可捕量约3亿吨,能够养活300亿人口。

世界最著名的四大渔场是北太平洋渔场、东北大西洋渔场、西北大西洋渔场和秘鲁沿海(东太平洋)渔场。这些渔场中出产的主要经济鱼种有:鲱鱼(青鱼)、鳕鱼(明太鱼)、鲑鱼(鲑鱼、马鲛鱼)、大马哈鱼(鲑鱼)、鳀鱼(比目鱼)、金枪鱼、沙丁鱼以及乌贼(鱿鱼)、虾、蟹和鲸等。

中国海洋生物资源约有2万种,其中鱼类3000余种。中国东、南两面被海洋环绕,大陆架渔场几乎占世界大陆架已开发渔场的1/4,主要渔场有黄渤海渔场、吕泗渔场、大沙渔场、舟山渔场、南海沿岸渔场、东沙渔场、北部湾渔场、中沙渔场、西沙渔场、南沙渔场等。其中的黄渤海渔场、舟山渔场、南海沿岸渔场、北部湾渔场由于产量高,被称为中国的四大渔场。

二、矿产资源

1. 海底油气资源

海底蕴藏着丰富的石油和天然气资源。据估计,世界石油极限储量1万亿

吨,可采储量 3000 亿吨,其中海底石油 1350 亿吨;世界天然气储量(255~280)亿立方米,海洋储量占 140 亿立方米。20 世纪末,海洋石油年产量达 30 亿吨,占世界石油总产量的 50%。

中国海洋资源中蕴藏着丰富的石油和天然气。中国在临近各海域油气储藏量 40 亿~50 亿吨,其中石油储量达 22 亿吨,天然气储量达 480 亿立方米,而且不断有新的油气田发现。预计在 21 世纪,海底油气开发将从浅海大陆架延伸到千米水深的海区。

中国南海油气资源潜力巨大。据中国海南省政协提案提供的数据,到目前为止,南海勘探的海域面积仅有 16 万平方千米,而发现的石油储量有 55.2 亿吨,天然气储量有 12 万亿立方米。据初步估计,整个南海的石油地质储量为 230 亿~300 亿吨,约占中国总资源量的 1/3,属于世界海洋油气主要聚集中心之一。

2. 煤、铁等固体矿产资源

海岸线蕴含丰富的煤、铁等矿产资源,世界许多近岸海底已进行煤铁矿的开采。日本海底煤矿开采量占其总产量的 30%,智利、英国、加拿大、土耳其也有开采。日本九州附近海底发现了世界上最大的铁矿之一;亚洲一些国家还发现许多海底锡矿。已发现的海底固体矿产有 20 多种。中国大陆架浅海区广泛分布有铜、煤、硫、磷、石灰石等矿产资源。

3. 多金属结核和富钴锰结壳

多金属结核矿是一种富含铁、锰、铜、钴、镍和钼等金属的大洋海底自生沉积物,呈结核状,主要分布在水深 4000~6000m 的平坦洋底。世界海洋 3500~6000m 深的洋底储藏的多金属结核约有 3 万亿吨。其中锰的产量可供世界用 18000 年,镍可用 25000 年。

中国在太平洋 CC 区(Clarion-Clipperton Zone, 克拉里昂-克利伯顿断裂区)内申请到 30 万平方千米区域拥有详细勘探权和开采权。经计算获得约 4.2 亿吨多金属结核矿资源量,含 1.11 亿吨锰、406 万吨铜、98 万吨钴和 514 万吨镍的资源量,可满足年产 300 万吨多金属结核矿开采 20 年的资源需求。

富钴锰结壳又称钴结壳、铁锰结壳,是生长在海底岩石或岩屑表面的皮壳状铁锰氧化物和氢氧化物,因富含钴,名富钴结壳。富钴铁锰结壳氧化矿床遍布全球海洋,集中在海山、海脊和海台的斜坡和顶部。数百万年以来,海底洋流扫清了这些洋底的沉积物。这些海山有一些和陆地上的山脉一样大。太平洋约有 50000 座海山,其富钴结壳储存量最丰富。大西洋和印度洋的海山要少得多。

在中国南海也发现有富钴结壳。所发现的富钴结壳钴含量一般比大洋锰结核

高出 3 倍左右，而镍是锰结核的 1/3，铜含量比较低，而铂的含量很富，变化于 0.3~2mg/kg 之间，最高可达 4.5mg/kg，稀土元素含量很高，稀土总量可达数千毫克/千克，以轻稀土为主。

4. 海滨矿砂

海滨沉积物中有许多贵重矿物，如：含有发射火箭用的固体燃料钛的金红石；含有火箭、飞机外壳用的铌和反应堆及微电路用的钽的独居石；含有核潜艇和核反应堆用的耐高温和耐腐蚀的锆铁矿、锆英石；某些海区还有黄金、白金和银等。中国近海海域也分布有金、锆英石、钛铁矿、独居石、铬尖晶石等经济价值极高的砂矿。

中国海岸线漫长、大陆架宽阔、岛屿众多，发育了各种不同地质单元和地貌类型，有良好的成矿条件，形成了丰富的矿砂资源。各类砂矿床 191 个，总探明储量达 16 亿多吨，矿种多达 60 多种，几乎世界上所有的海滨矿砂矿的矿物在中国沿海都能找到。

5. 海底热液矿藏

热液矿藏又称“重金属泥”，含有大量金属的硫化物，是由海脊（海底山）裂缝中喷出的高温熔岩，经海水冲洗、析出、堆积而成的，并能像植物一样，以每周几厘米的速度飞快地增长。20 世纪 60 年代中期，美国海洋调查船在红海首先发现了深海热液矿藏。而后，一些国家又陆续在其他大洋中发现了三十多处这种矿藏。它含有金、铜、锌等几十种稀贵金属，而且金、锌等金属品位非常高，所以又有“海底金银库”之称。目前，已发现 30 多处矿床。仅美国在加拉帕戈斯裂谷储量就达 2500 万吨，开采价值 39 亿美元。在当今技术条件下，虽然海底热液矿藏还不能立即进行开采，但是，它却是一种具有潜在力的海底资源宝库。一旦能够进行工业性开采，那么它将同海底石油、深海锰结核和海底砂矿一起，成为 21 世纪海底四大矿种之一。

6. 可燃冰

可燃冰是一种被称为天然气水合物的新型矿物，是在 20 世纪科考中发现的。碳氢化合物与水分子在低温、高压条件下形成的冰态固体物质。外貌极像冰雪或固体酒精，点火即可燃烧，故称为“可燃冰”。其能量密度高，杂质少，燃烧后几乎无污染，矿层厚，规模大，分布广，资源丰富。据估计，全球可燃冰的储量是现有石油、天然气储量的两倍。在 20 世纪，日本、苏联、美国均已发现大面积的可燃冰分布区。

中国在南海和东海发现了可燃冰。据测算，仅中国南海的可燃冰资源量达 700 亿吨油当量，约相当于中国目前陆上油气资源量总数的 1/2。

三、化学资源

海洋化学资源指海水中所含的大量化学物质。海水中含有大量盐类，平均每立方千米海水中含 3500 万吨无机盐类物质，其中含量较高的有氯（1900 万吨/千米³）、钠（1050 万吨/千米³）、镁（135 万吨/千米³）、硫（88.5 万吨/千米³）、钙（40 万吨/千米³）、钾（38 万吨/千米³）、溴（6.5 万吨/千米³）、碳（2.8 万吨/千米³）、铯（0.8 万吨/千米³）和硼（0.46 万吨/千米³），以及锂、铷、磷、碘、钡、铟、锌、铁、铅、铝等。它们大都呈化合物状态存在，如氯化钠、氯化镁、硫酸钙等，其中氯化钠约占海洋盐类总重量（约 500 太吨）的 80%。

海洋化学资源的利用主要有两个途径：海水制盐及卤水综合利用。此外，20 世纪 60 年代以来，随科学技术的进步，海洋天然有机物质的研究和利用（如从海洋动植物中提取天然有机生理活性物质）也得到了迅速发展。随着科技的进步与发展，人们对海水的认识逐渐加深，现已确定海水中含有 80 多种元素，中国目前开发利用海洋化学资源主要是从海水中提取海盐和镁、溴、碘等化学元素，以及淡化海水等。

四、能源资源

海洋能源是真正意义上取之不尽，用之不竭的。它既不同于海底所储存的煤、石油、天然气等海底能源资源，也不同于溶于水中的铀、镁、锂、重水等化学能源资源，它有自己独特的方式与形态。潮汐能、波浪能、海水温差能、海流能及盐度差能等是主要利用的海洋能源。海洋能源是一种“再生性能源”，永远不会枯竭，也不会造成任何污染。

潮汐能是潮汐运动时产生的能量，是人类利用最早的海洋动力资源。中国在唐朝时期沿海地区就出现了利用潮汐来推磨的小作坊。后来，到了 11~12 世纪，法、英等国也出现了潮汐磨坊。到了 20 世纪，潮汐能的魅力达到了高峰，人们开始懂得利用海水上涨下落的潮差能来发电。据估计，全世界的海洋潮汐能有二十多亿千瓦，每年可发电 12400 万亿度。

波浪能主要是由风的作用引起的海水沿水平方向周期性运动而产生的能量。一个巨浪就可以把 13t 重的岩石抛出 20m 高；一个波高 5m、波长 100m 的海浪，在 1m 长的波峰片上就具有 3120kW 的能量。据计算，全球海洋的波浪能达 700 亿千瓦，可供开发利用的为 20 亿~30 亿千瓦。每年发电量可达 9 万亿度。

海流遍布大洋，纵横交错，川流不息，所以它们蕴藏的能量也是可观的。据估算世界上可利用的海流能约为 0.5 亿千瓦，而且利用海流发电并不复杂。

海洋温差能是把温度的差异作为海洋能源，又叫海洋热能。由于海水是一种热容量很大的物质，海洋的体积又如此之大，所以海水容纳的热量是巨大的。这些热能主要来自太阳辐射，另外还有地球内部向海水放出的热量；海水中放射性物质的放热；海流摩擦产生的热，以及其他天体的辐射能，但 99.99% 来自太阳辐射。因此，海水热能随着海域位置的不同而差别较大。海洋热能是电能的来源之一，可转换为电能的为 20 亿千瓦。但 1881 年法国科学家德尔松石首次大胆提出海水发电的设想竟被埋没了近半个世纪，直到 1926 年，他的学生克劳德才实现了老师的夙愿。

在江河入海口，淡水与海水之间还存在着鲜为人知的盐度差能。全世界可利用的盐度差能约 26 亿千瓦，其能量甚至比温差能还要大。盐差能发电原理实际上是利用浓溶液扩散到稀溶液中释放出的能量。

第三节 水质分析

一、海水的组成

海水是一个复杂的多组分的多相体系，包括多种有机和无机的、溶解态的和悬浮态的物质，其含量约为 3.5%。

海水中的化学元素达 80 多种，依其含量可分为三类：常量元素（每升海水超过 100mg 的元素）、微量元素（每升海水含有 1~100mg 的元素）和痕量元素（每升海水含有 1mg 以下的元素）。有时，后两类也通称微量元素。最主要的常量元素有氧、钠、镁、硫、钙、钾、溴、碳、锶、硼、氟 11 种，约占化学元素总含量的 99.8%~99.9%。其他化学元素含量极少，如铁、铝、钾、铀、碘等属于微量元素。金、银、镉等含量更少为痕量元素。溶解于海水中的化学元素绝大多数是以盐类离子的形式存在的，其中氯化钠最多，占 88.6%，硫酸盐占 10.8%。无论海水中所溶解的盐类浓度大小如何，其常量离子间的比值是恒定。

表 1-1 列出了海水的主要盐分。

表 1-1 海水的主要盐分

盐类组成成分	含量/(g/kg 海水)	百分比/%
氯化钠	27.2	77.7
氯化镁	3.8	10.9
硫酸镁	1.7	4.9
硫酸钙	1.2	3.4
硫酸钾	0.9	2.5
碳酸钙	0.1	0.3
溴化镁及其他	0.1	0.3
总计	35.0	100.0