

船舶与海洋工程专业规划教材

海岸工程水文学

喻国良 李艳红 庞红犁 王协康 编

HAI AN GONGCHENG SHUIWENXUE

上海交通大学出版社

船舶与海洋工程规划教材

海岸工程水文学

喻国良 李艳红 编
庞红犁 王协康

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书共分8章,主要阐述河口与海岸工程所涉及的水文学的基本原理与方法。内容有入海河口、海岸与海洋的基础知识,降水的时空分布特征,水文信息采集方法与设备,水文分析计算基础知识,径流形成的过程和影响因素,产流汇流计算方法,洪水和降雨量特征的区域分析方法,明渠的洪水演算方法,海岸工程设计的水文要素计算内容与方法,我国近岸海流的特点,近岸波浪流系统及海岸工程设计中的近岸海流特征值等。

本书适宜作为港口、航道与海岸工程专业本科教材,也可供从事水利工程和市政工程的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

海岸工程水文学/喻国良等编. —上海:上海交通大学出版社,2009

ISBN978-7-313-05845-4

I. 海... II. 喻... III. 海岸工程—工程水文学—高等学校—教材 IV. P753

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 084978 号

海岸工程水文学

喻国良 等编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

上海锦佳装璜印刷发展公司 印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:14.75 字数:361千字

2009年8月第1版 2009年8月第1次印刷

印数:1~2030

ISBN978-7-313-05845-4/P 定价:38.00元

版权所有 侵权必究

前 言

我国有长达 18 000km 的海岸线,得到合理利用的长度不到 4%。目前,港口建设与海岸开发正成为我国国民经济发展的巨大动力。海岸开发与保护,包括圈围造地、油气资源开发与输送、水资源开发利用、农业与渔业资源利用、滨海城市建设、滨海旅游资源综合开发等都需要海岸工程水文学知识。

由于海岸带的地理、气候、地质、地貌、水相与海洋和大陆均不同,所以,海岸带的水文规律有着自身的特点,其内容涵盖既不同于海洋水文,也有别于陆地水文。海岸工程水文学是水文学的一个分支,是专门介绍河口与海岸工程规划设计、施工建设及运行管理所涉及的水文知识的一门学科,其主要内容包括河口、海岸与海洋基础知识,降水的时空分布特征,水文信息采集方法与设备,水文分析计算基础知识,径流形成的过程和影响因素,产流汇流计算方法,洪水和降雨量特征的区域分析方法,明渠洪水演算方法,海岸工程水文要素计算内容与方法,我国近岸海流的特点,近岸波浪流系统及海岸工程设计中的近岸海流特征值等。

目前,我国的水文学著作基本上都是陆地水文学、工程水文学,尚缺乏专门针对海岸带的水文学书籍。本书旨在弥补此缺陷,为港口、航道与海岸工程专业提供本科教材,也可供从事水利工程和市政工程的技术人员参考。

本书是在综合国内陆地水文学、工程水文学和海洋水文学的相关书籍,以及《海港水文规范》等相关规范的基础上,紧密围绕海岸工程规划设计、施工建设及运行管理需要,并翻译吸取国外相关著作的精华内容编写而成的。

本书在编写过程中得到了上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院,上海交通大学出版社,上海交通大学港口、航道与海岸工程系全体老师和 2005 级研究生的支持,在此表示感谢!

编 者

2009 年 1 月

目 录

1 水文基础知识	1
1.1 河川与海洋	1
1.1.1 河川	1
1.1.2 海洋	4
1.2 水资源	5
1.2.1 我国水资源现状	5
1.2.2 滨海城市的水资源问题	6
1.3 入海河口、海岸与湿地	7
1.3.1 入海河口	7
1.3.2 海岸	7
1.3.3 湿地	8
1.3.4 河口海岸湿地	8
1.4 径流形成过程及其主要影响因素	11
1.4.1 径流的概念	11
1.4.2 径流的形成过程	12
1.4.3 流域暴雨径流过程的影响因素	15
1.5 水文学与海岸工程	16
1.5.1 水文循环	16
1.5.2 水文学	16
1.5.3 海岸工程水文学	21
2 基本水文原理	22
2.1 降水	22
2.1.1 地球大气运动	22
2.1.2 降雨的定量描述	24
2.2 降水的时间空间变化	25
2.2.1 降雨的时空分布	25
2.2.2 暴雨分析	30
2.2.3 降水原始资料及判断	32
2.3 水文吸收	33
2.3.1 植物截流	33
2.3.2 渗透	34
2.3.3 地表或洼地截流	36

2.3.4	蒸发	37
2.3.5	蒸发蒸腾损失总量	42
2.4	流域特征	47
2.4.1	流域面积	47
2.4.2	流域形状	47
2.4.3	流域高差	47
2.4.4	流域长度	49
2.4.5	水系形状	50
2.5	径流	51
2.5.1	径流组成	51
2.5.2	河流类型和基流	51
2.5.3	前期湿度	52
2.5.4	降雨和径流关系	52
2.5.5	汇流	52
2.5.6	汇流时间	53
2.5.7	径流扩散和河川流量过程线	54
2.5.8	水文过程线的解析	56
2.5.9	明渠流	56
3	水文计算基础知识	61
3.1	随机变量及其概率分布	61
3.1.1	水文统计的意义	61
3.1.2	事件和概率的基本概念	61
3.1.3	随机变量及其概率分布	63
3.2	水文频率曲线线型	67
3.2.1	正态分布	67
3.2.2	对数正态分布	68
3.2.3	皮尔逊Ⅲ(P-Ⅲ)型曲线	68
3.2.4	经验频率曲线	70
3.2.5	频率与重现期的关系	71
3.3	频率曲线参数的估计方法	72
3.3.1	矩法	72
3.3.2	三点法	72
3.3.3	权函数法	74
3.3.4	概率权重矩法	74
3.4	水文频率计算适线法	75
3.4.1	目估适线法	75
3.4.2	优化适线法	78
3.4.3	统计参数对频率曲线的影响	79

3.4.4 抽样误差	80
3.5 频率计算中的几个特殊问题	82
3.5.1 基准面变化对参数的影响	82
3.5.2 负偏态线型($C_s < 0$)的频率计算	82
3.5.3 特大值处理问题	83
3.6 相关分析	86
3.6.1 相关关系的概念	86
3.6.2 简单直线相关	87
3.6.3 曲线相关	92
3.6.4 复相关	93
3.7 现代数学在水文学中的应用	95
4 水文测量	96
4.1 降雨测量	96
4.1.1 自动雨量计	97
4.1.2 遥测降雨传感仪	98
4.1.3 降雨量的雷达测量	98
4.2 积雪的测量	99
4.3 蒸发量的测量	99
4.3.1 A类盆	99
4.3.2 蒸发蒸腾计	100
4.4 渗透和土壤湿度的测量	101
4.4.1 渗透计	101
4.4.2 渗透率的分析	101
4.4.3 土壤湿度的测量	102
4.5 流速及流量的测量	102
4.5.1 水位测量	102
4.5.2 流量的测量	103
4.5.3 流速测量计	104
4.5.4 洪峰流量的间接测量	106
4.6 海洋水文要素的观测	108
4.6.1 波浪的观测	109
4.6.2 潮汐的观测	109
4.6.3 海流的观测	109
4.6.4 海啸的观测	110
4.6.5 风暴潮的观测	110
4.7 水文观测的现代技术及手段	110

5 海岸工程设计的水文要素计算	112
5.1 设计洪水与水位	112
5.1.1 洪水及其基本要素	112
5.1.2 洪水的设计标准	113
5.1.3 设计洪水计算的基本途径	125
5.1.4 流量与潮位序列插补延长的基本方法	126
5.1.5 由流量资料推求设计洪水的基本步骤	127
5.1.6 统计参数及其对频率曲线的影响	127
5.1.7 经验频率曲线及理论频率曲线的特点	128
5.1.8 洪水特大值处理的意義和方法	128
5.2 设计波浪与潮位	129
5.2.1 港口工程设计潮位标准	129
5.2.2 设计潮位的统计与计算方法	129
5.2.3 设计波浪标准	133
5.2.4 典型累计频率波高间的换算	134
5.2.5 不同重现期设计波浪的推算	135
5.3 设计通航水位	137
5.3.1 设计最高通航水位	137
5.3.2 设计最低通航水位	138
5.3.3 通航设计保证率	138
5.3.4 感潮航道的设计通航水位	139
5.3.5 计算所需样本年限	143
5.4 近岸波浪要素	143
5.4.1 近岸波浪要素	143
5.4.2 我国近岸波况特点	145
5.5 近岸带泥沙运动	147
5.5.1 泥沙的起动	147
5.5.2 泥沙的沿岸运动	148
5.5.3 泥沙的横向运动	149
5.5.4 波浪作用下的浮泥运动	149
5.5.5 近岸带水下沙波	150
6 区域分析	152
6.1 联合概率分布	152
6.2 边缘概率分布	152
6.3 条件概率	153
6.4 二元正态分布	155
6.5 回归分析	156

6.5.1 单变量回归	156
6.5.2 多元回归	159
6.6 洪水和降雨量特征的区域分析	160
6.6.1 基于集水面积的洪峰流量	160
6.6.2 指数洪水法	160
6.6.3 多年平均洪水	160
6.6.4 区域频率曲线	161
6.6.5 水文相似测试	162
6.6.6 指数洪水法的局限	162
6.6.7 降雨强度时间频率	163
7 明渠的洪水演算	165
7.1 Muskingum 法	165
7.2 运动波法	171
7.2.1 运动波方程	171
7.2.2 运动波方程的求解	172
7.2.3 凸面法	176
7.2.4 运动波速度	177
7.2.5 侧向流的运动波	178
7.2.6 运动波的判别	178
7.3 扩散波法	178
7.3.1 扩散波方程	179
7.3.2 扩散波的判别	180
7.4 Muskingum-Cunge 法	181
7.4.1 分辨率要求	184
7.4.2 非线性 Muskingum—Cunge 法	184
7.4.3 Muskingum—Cunge 法评价	185
7.5 动力波法	185
8 近岸海流	187
8.1 近岸波浪流系统及其生成机理	187
8.1.1 近岸波浪流系统	187
8.1.2 近岸波浪流系的生成机理	188
8.2 我国近岸海流的特点	189
8.2.1 黑潮流系	189
8.2.2 沿岸流系	190
8.3 海流观测与资料分析	196
8.3.1 海流的观测	196
8.3.2 海流资料的整理和计算	197

8.4 海洋工程设计中的近岸海流特征值	199
8.4.1 海流最大可能流速的计算	199
8.4.2 近岸海区风海流的估算	199
8.4.3 海流随深度的变化	200
8.5 海流对海洋建筑物的作用	200
附录	201
附表 1 水在不同温度下的饱和蒸气压	201
附表 2 $p = \frac{m}{n+1} \times 100\%$ 表	205
附表 3 P-Ⅲ型累积频率曲线的离均系数 Φ_p 值表	207
附表 4 P-Ⅲ型累积频率曲线的模比系数 k_p 值表	210
附表 5 第Ⅰ型极值分布律的 λ_{pn} 值表	218
附表 6 三点法用表—— s 与 C_s 关系表	220
参考文献	223

1 水文基础知识

1.1 河川与海洋

河川及海洋环境是生物栖息的重要环境,也是民众休闲娱乐的重要场所。人类追求文明社会与物质生活的行为,已对环境产生重要影响。水作为大地之母,滋养万物众生,是有限而不可替代的民生必需品,也是急需保护的珍贵资源。

1.1.1 河川

河流分为外流河与内流河。我国境内河流众多,大小河流总长度达 $4.2 \times 10^5 \text{ km}$,流域面积在 1000 km^2 以上的多达1500余条。注入海洋的外流河,流域面积约占我国陆地总面积的64%,太平洋流域面积约占全国总面积的56.7%,长江、黄河、黑龙江、珠江、辽河、海河、淮河等向东流入太平洋;分布于青藏高原东南部、南部和西南一角的外流河主要有怒江、雅鲁藏布江和印度河等。西藏的雅鲁藏布江向东流出国境再向南注入印度洋,新疆的额尔齐斯河则向北流出国境注入北冰洋。流入内陆湖或消失于沙漠、盐滩之中的内流河,流域面积约占我国陆地总面积的36%。我国主要河川与湖泊分布如图1.1所示,主要河流及其特征如表1.1所示。

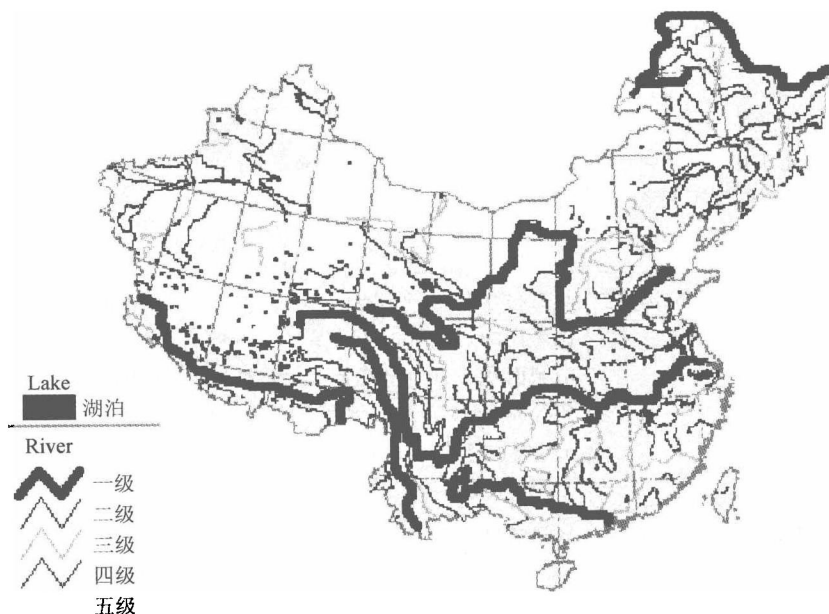


图 1.1 我国主要河川与湖泊分布

表 1.1 我国主要河流及其特征

名 称	流经地域	主要参数	主要支流	备 注
长江 Yangtze River	发源于青海省,干流流经青、藏、川、滇、渝、鄂、湘、赣、皖、苏、沪等 11 个省市、自治区,最后注入东海	干支流通航里程 7×10^4 km,流域面积总面积 1.8×10^6 km ² ,干流长 6 300 km,年均径流量 9.7×10^{11} m ³	主要支流有雅砻江、岷江、嘉陵江、乌江、湘江、汉江、赣江	世界第三长河,我国第一大河
黄河 Yellow River	发源于青海省,干流流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东九个省区,最后于山东省东营垦利县注入渤海	流域面积 7.52×10^5 km ² ,干流河道全长 5 464 km,年均径流量 5.92×10^{10} m ³	主要支流有白河、黑河、天丑河、湟水、祖厉河、清水河、大黑河、窟野河、无定河、渭河、汾河等	世界著名的多沙河流,河长为我国第二、世界第五
淮河 Huaihe River	发源于河南省桐柏山的主峰太白顶,蜿蜒于长江、黄河之间。一路东行,过洪泽湖,分别流入长江或黄海	流域面积 2.69×10^5 km ² ,干流全长 1 000 余千米,年均径流量 6.11×10^{10} m ³	主要支流有白露河、洪河、汝河、史河、灌河、颍河、涡河、沱河、安河等	中部的的主要河流,我国七大江河之一
海河 Haihe River	流经天津、北京、河北、山西、山东、河南、内蒙古和辽宁八个省市、自治区,最终流入渤海	流域面积 3.18×10^5 km ² ,干流长 1 090 km,年均径流量 2.28×10^{10} m ³	主要支流有漳卫河、子牙河、大清河、永定河、潮白河、北运河、马颊河等	华北地区主要河流,我国七大江河之一
珠江 Pearl River	干流流经云南、贵州、广西、湖南、江西、广东等省	年均径流总量为 3.36×10^{11} m ³	主要支流有西江、北江、东江	又称粤江,我国七大江河之一
辽河 Liaohe River	发源于河北平泉县七老图山脉的光头山,流经河北、内蒙古、吉林、辽宁四省、自治区	流域面积 2.19×10^5 km ² ,全长 1 345 km,年均径流量 1.48×10^{10} m ³	主要支流有招苏台河、清河、柴河、泛河、柳河等	东北地区主要河流,我国七大江河之一
黑龙江 Heilong- jiang River	它穿越我国、俄罗斯和蒙古	从海拉尔河河源算起在我国境内的长度为 3 474 km,流域面积 8.87×10^5 km ² 。年径流总量达 2.7×10^{11} m ³ ,仅次于长江、珠江,居全国第三位	主要支流有结雅河、布列亚河、呼玛河、逊河、松花江、乌苏里江等	重要的国际界河,长度仅次于长江、黄河,我国七大江河之一
松花江 Songhua- jiang River	分南北两源,南发源于长白山,北发源于大兴安岭。流经黑龙江省、吉林省、内蒙古自治区、辽宁省	区间流域面积 5.568×10^5 km ² ,干流长 2 309 km,年均径流量 7.42×10^{10} m ³	主要支流有拉林河、呼兰河、蚂蚁河、牡丹江、倭肯河、汤旺河、梧桐河等	黑龙江的最大支流

1.1.1.1 长江

长江是我国第一大河,全长 6 300 余千米,仅次于非洲的尼罗河和南美洲的亚马逊河,为世界第三长河。长江水系发达,其中雅砻江、岷江、嘉陵江和汉江等大支流流域面积都超过 $1.0 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。支流流域面积以嘉陵江为最大,年径流量、年平均流量以岷江最大,长度以汉江最长。

长江干流宜昌以上为上游,长 4 504 km,占长江全长的 70.4%,控制流域面积 $1.0 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。宜宾以上称金沙江,长 3 464 km,落差约 5 100 m,约占全江落差的 95%,河床比降大,滩多流急,主要支流有雅砻江;宜宾至宜昌长 1 040 km,主要的支流:北岸有岷江、嘉陵江;南岸有乌江。宜昌至湖口为中游,长 955 km,流域面积 $6.8 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。主要支流:南岸有清江及洞庭湖水系的湘、资、沅、澧四水和鄱阳湖水系的赣、抚、信、修、饶五水;北岸有汉江,该河段枝城至城陵矶为著名的荆江。湖口以下称为下游,长 938 km,面积 $1.2 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。主要支流有南岸的青衣江、水阳江水系、太湖水系和北岸的巢湖水系。

长江是我国东西水上运输大动脉,长江干线的上海、南通、苏州、镇江、南京、马鞍山、芜湖、安庆、九江、黄石、武汉、岳阳、荆州、宜昌、重庆、泸州等主要港口有“黄金水道”之称。在交通部 2006~2020 年的规划中,长江水系高等级航道布局方案为“一横一网十线”。“一横”是指长江干线;“一网”是指长江三角洲高等级航道网[以长江干线和京杭运河为核心,三级航道为主体,四级航道为补充,由 23 条航道组成“两纵六横”高等级航道网,两纵是指京杭运河—杭甬运河(含锡澄运河、丹金溧漕河、锡溧漕河、乍嘉苏线),连申线(含杨林塘);六横是指长江干线(南京以下),淮河出海航道—盐河、通扬线,芜申线—苏申外港线(含苏申内港线),长湖申线—黄浦江—大浦线,赵家沟—大芦线(含湖嘉申线),钱塘江—杭申线(含杭平申线)];“十线”是指岷江、嘉陵江、乌江、湘江、沅水、汉江、江汉运河、赣江、信江、合裕线。长江水系主要港口布局方案为 16 个:泸州港、重庆港、宜昌港、荆州港、武汉港、黄石港、长沙港、岳阳港、南昌港、九江港、芜湖港、安庆港、马鞍山港、合肥港、湖州港、嘉兴内河港。

1.1.1.2 黄河

黄河为我国第二大河,干流河道全长 5 464 km,仅次于长江,为我国第二长河,世界第五长河。黄河流域面积为 $7.52 \times 10^5 \text{ km}^2$,若包括鄂尔多斯内流区面积,则为 $7.94 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。黄河的河段长和流域面积,因泥沙淤积,河口延伸而处于不断变化之中。黄河断流的情况近年来不断加剧,断流时间也不断延长,这对黄河流域下游地区,对海河流域和淮河流域的社会发展和经济建设带来了巨大损害和威胁。

1.1.1.3 黑龙江

黑龙江是我国北部的大河,它是一条重要的国际界河,它穿越我国、俄罗斯和蒙古,从海拉尔河河源算起,全长 4 374 km,流域总面积 $1.843 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。在我国境内的长度为 3 474 km,流域面积 $8.87 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。黑龙江的长度,在我国仅次于长江、黄河而居第三位。年径流总量达 $2.7 \times 10^{11} \text{ m}^3$,仅次于长江、珠江,居全国第三位。

在交通部 2006~2020 年的规划中,黑龙江和松辽水系高等级航道布局为“二线”:黑龙江、松花江。黑龙江和松辽水系主要港口布局方案为两个:哈尔滨港、佳木斯港。

1.1.1.4 珠江

珠江是我国南方的一条大河,横贯华南大地,全长 2 214 km,是我国七大江河之一。珠江跨越云南、贵州、广西、广东、湖南、江西等省(自治区),总面积为 $4.536 \times 10^5 \text{ km}^2$,珠江流域在

我国境内面积为 $4.421 \times 10^5 \text{ km}^2$, 另有 $1.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ 在越南境内。

珠江年均河川径流总量为 $3.36 \times 10^{11} \text{ m}^3$ 。径流年内分配极不均匀, 汛期 4~9 月约占年径流总量的 80%, 6、7、8 三个月则占年径流量的 50% 以上。珠江流域洪水特征是峰高、量大、历时长。每年的暴雨洪水多出现在 6、7、8 月。

珠江流域枯水期一般为 10 月至第二年 3 月, 枯水径流多年平均值为 $8.03 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 仅占全流域年径流量的 24% 左右。西江梧州站枯水期出现的最小流量为 $720 \text{ m}^3/\text{s}$, 北江角石为 $130 \text{ m}^3/\text{s}$, 东江博罗站为 $31.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

珠江属少沙河流, 多年平均含沙量为 $0.249 \text{ kg}/\text{m}^3$, 年平均含沙量 $8.872 \times 10^7 \text{ t}$ 。据分析, 每年约 20% 的泥沙淤积于珠江三角洲网河区, 其余 80% 的泥沙分由八大口门输出到南海。

在交通部 2006~2020 年的规划中, 珠江水系高等级航道布局为“一横一网三线”。“一横”是指西江航运干线; “一网”是指珠江三角洲高等级航道网[以海船进江航道为核心, 以三级航道为基础, 由 16 条航道组成“三纵三横三线”高等级航道网(三纵是指西江下游出海航道, 白坭水道—陈村水道—洪奇沥水道, 广州港出海航道; 三横: 东平水道, 潭江—劳龙虎水道—莲沙容水道—东江北干流, 小榄水道—横门出海航道; 三线是指崖门水道—崖门出海航道, 虎跳门水道, 顺德水道]; “三线”是指右江, 北盘江—红水河, 柳江—黔江。珠江水系主要港口布局方案为五个: 南宁港、贵港港、梧州港、肇庆港、佛山港。

1.1.1.5 其他河流

新疆南部的塔里木河是我国最长的内流河, 全长 2179 km。

除天然河流外, 我国还有一条著名的贯穿南北的人工大运河。它始凿于公元 5 世纪, 北起北京, 南抵浙江杭州, 沟通海河、黄河、淮河、长江、钱塘江五大水系, 全长 1801 km。

此外, 我国台湾有河川 115 个水系, 除了供应饮用水之外, 还有灌溉、水力发电、游息、教学等功能。河流河身短、坡度大、水流急, 最长的浊水溪长仅 186 km。枯水期的时候水量小, 洪峰流量大, 河流含沙量大, 不适合航行。

1.1.2 海洋

全球海洋的总面积为 $3.61 \times 10^8 \text{ km}^2$, 占地球表面积的 70.8%, 平均深度 3729 m, 最深处是西太平洋的马里亚纳海沟(11034 m)。

1.1.2.1 海和洋的区分

广阔的海洋, 从蔚蓝到碧绿, 美丽而又壮观。海和洋不完全相同。

洋是海洋的中心部分, 是海洋的主体。世界大洋的总面积, 约占海洋面积的 89%。大洋的水深一般在 3000 m 以上, 最深处可达一万多米。大洋离陆地遥远, 不受陆地影响。它的水文特征和盐度的变化不大。每个大洋都有自己独特的洋流和潮汐系统。大洋水色蔚蓝, 透明度高, 水中的杂质少。世界共有四个大洋, 即太平洋、印度洋、大西洋、北冰洋。

海在洋的边缘, 是大洋的附属部分。海的面积约占海洋的 11%, 海的水深比较浅, 平均深度从几米到两三公里。海临近大陆, 受大陆、河流、气候和季节的影响, 海水的温度、盐度、颜色和透明度都存在明显的变化。夏季海水变暖, 冬季水温降低, 有的海域甚至结冰。在大河入海的地方或多雨的季节, 海水会变淡。河流夹带着泥沙入海时, 造成近岸海水混浊。海没有自己独立的潮汐与海流。海可分为边缘海、内陆海和地中海。边缘海不仅是海洋的边缘, 也临近大陆前沿; 这类海与大洋联系广泛, 一般由一群海岛把它与大洋分开。我国的东海、南海就是太

平洋的边缘海。内陆海,即位于大陆内部的海,如欧洲的波罗的海等。地中海是几个大陆之间的海,水深一般比内陆海深些。世界主要的海接近 50 个。太平洋最多,大西洋次之,印度洋和北冰洋差不多。

1.1.2.2 海洋的形成

现在的研究证明,大约在 50 亿年前,从太阳星云中分离出一些大大小小的星云团块,它们一边绕太阳旋转,一边自转。在运动过程中,互相碰撞,有些团块彼此结合,由小变大,逐渐成为原始的地球。星云团块碰撞过程中,在引力作用下急剧收缩,加之内部放射性元素蜕变,使原始地球不断受到加热增温,当内部温度达到足够高时,地内的物质包括铁、镍等开始熔解。在重力作用下,重的下沉并趋向地心集中,形成地核;轻者上浮,形成地壳和地幔。在高温下,内部的水分汽化与气体一起冲出来,飞升入空中在地球周围成为气水合一的圈层。

位于地表的一层地壳,在冷却凝结过程中不断地受到地球内部剧烈运动的冲击和挤压,因而变得褶皱不平,有时还会被挤破,形成地震与火山爆发,喷出岩浆与热气。大约在 45 亿年前,地壳经过冷却定形之后,地球表面皱纹密布,凹凸不平,形成了高山、平原、河床、海盆等各种地形。

在很长的一个时期内,天空中水气与大气共存于一体,浓云密布。随着地壳逐渐冷却,大气的温度也慢慢地降低,水气以尘埃与火山灰为凝结核,变成水滴,越积越多。由于冷却不均,空气对流剧烈,形成雷电狂风,暴雨浊流。滔滔的洪水,通过千川万壑,汇集成巨大的水体,这就是原始的海洋。

原始的海洋,海水不咸,而是带酸性且缺氧的。水分不断蒸发,反复地形云致雨,重又落回地面,把陆地和海底岩石中的盐分溶解,不断地汇集于海水中,经过亿万年的积累融合,才变成了大体均匀的咸水。同时,由于大气中当时没有氧气,也没有臭氧层,紫外线可以直达地面,靠海水的保护,生物首先在海洋里诞生。大约在 38 亿年前,海洋里就产生了有机物,先有低等的单细胞生物。在 6 亿年前的古生代,有了海藻类,它们在阳光下进行光合作用,产生了氧气,慢慢积累,逐渐形成了臭氧层。

1.2 水资源

水资源对于保持经济繁荣和社会稳定以及国家的可持续发展至关重要。目前世界上许多国家,包括发达国家和发展中国家,都面临着水资源短缺的严峻考验,社会和经济的发展受到制约。在我国沿江沿海地区,由于人口的过度集中和经济的迅猛发展,工业废水和城市污水被大量排放,从而导致了地表水污染、地下水资源破坏和水域生态系统退化等诸多环境问题。

1.2.1 我国水资源现状

我国的淡水资源总量为 $2.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 占全球水资源的 6%, 仅次于巴西、俄罗斯和加拿大, 名列世界第四位。但是, 我国的人均水资源量只有 2300 m^3 , 仅为世界平均水平的 1/4, 是全球人均水资源最贫乏的国家之一。

从水资源对社会经济发展的支撑能力上讲, 我国是一个中度缺水的国家。据统计, 我国目前缺水总量估计为 $4.0 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 每年受旱面积 $2.0 \times 10^6 \sim 2.6 \times 10^6 \text{ km}^2$, 影响粮食产量 $1.5 \times 10^{10} \sim 2.0 \times 10^{10} \text{ kg}$, 影响工业产值 2000 多亿元, 全国还有 7000 万人饮水困难。

从人口和水资源分布统计数据可以看出,我国水资源南北分配的差异非常明显。长江流域及其以南地区人口占了我国的 54%,但是水资源却占了 81%。北方人口占 46%,水资源只有 19%,北方资源性缺水日益严重。南方地区由于不注意污水的处理,把未经处理的污水大量排到天然河道,污染了水体,影响了水资源的有效性,造成“有水不能用”的现象,水质性缺水状况严重。

我国是世界上用水量最多的国家,用水量逐年增长。仅 2002 年,全国淡水取用量达到 $5.497 \times 10^{11} \text{ m}^3$,大约占世界年取用量的 13%,大约是美国 1995 年淡水供应量 $4.7 \times 10^{11} \text{ m}^3$ 的 1.2 倍。1949~2002 年,全国总用水量增加了 4 000 多亿立方米,大约每 10 年增加 $1.0 \times 10^{11} \text{ m}^3$,年平均增加约 $1.0 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。1980 年以后,全国总用水量的增长幅度略有下降,但年平均增长量仍在 $6.2 \times 10^9 \text{ m}^3$ 左右。

1.2.2 滨海城市的水资源问题

滨海城市地区虽然相对于大陆内部有较丰富的地表径流和地下水资源,但由于径流量在时间和空间分布上的不均匀性,尤其是随着沿海资源的开发,对水资源的需求量日益增加,大连、秦皇岛、天津、青岛、温州、厦门、北海市等相继出现缺水和水质恶化现象,成为影响滨海城市和地区经济发展的重要限制因素。

大连,位于辽东半岛的南端,三面环海,拥有着丰富的海水资源,却面临着淡水资源严重匮乏的困扰。中水是指各种排水经处理后达到规定的水质标准,可在生活、市政、环境等范围内杂用的非饮用水。为了节约水资源,大连市凡建筑面积在 $2.0 \times 10^4 \text{ m}^2$ 以上的大型公建,必须建设独立的中水处理装置,以保证该公建的污水资源化。此外,大连市鼓励企业直接利用海水,以缓解大连市淡水资源的不足。

天津市是一个水资源严重短缺的滨海城市。近年来,该市水利部门以“建设节水型城市、发展大都市水利”为治水目标,开展节水灌溉工程建设。天津市节水灌溉工程的快速发展,取得了显著的经济和社会效益。

紧贴长江与东海的上海,有水,但缺的是好水。环境部门曾对上海主要河道的断面监测,发现上海符合饮用水水源国家标准的地表水只剩下 1%,劣 V 类水质却占到 68.6%。同时,又因黄浦江是潮汐型河流,咸潮入侵使得黄浦江下游污水上溯,对城区的水厂取水口造成极大威胁。

位于浙江省东部的舟山市是严重缺水的城市,为了解决生产和生活用水,当地政府不得不花费巨大的成本大规模进行海水淡化。

珠江三角洲水网密布,但是从 20 世纪 80 年代中后期开始,江河水污染日益严重,城市河道几乎有河必污,水生态环境恶化。

为了应对水质型缺水的困境,一些地方因为长期超采地下水,引起了区域性地面沉降与地裂缝等地质灾害。如长三角地区 1/3 范围内累计沉降已超 200 mm,面积近 $1.0 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中上海市区,江苏苏、锡、常地区,浙江杭、嘉、湖等地已经形成三个区域性沉降中心,最大累计沉降量分别达到 2.63 m、1.08 m 和 0.82 m。

1.3 入海河口、海岸与湿地

1.3.1 入海河口

入海河口是河流入海的交汇处,简称河口,河流与海洋相互作用显著,主要由径、潮流相互作用和咸、淡水混合控制。河口段处于河海连接、过渡的特殊位置,常成为人口密集、经济发达地区。我国的主要河口包括长江口、黄河口、珠江口、鸭绿江口、辽河口等,成为内地对外交流的主要门户。

河口地区又有其特殊性:一方面,咸、淡水混合时产生异重流;另一方面,上游来沙到河口多为细颗粒泥沙,细颗粒泥沙在遇到海水入侵时,易发生絮凝,产生淤积,从而堵塞航道。

人类活动也不断改变着我国河口地区的自然演化。如在江河上兴建大规模水利工程,使得入海泥沙大量减少,大量的营养物质流失;围海造田改变了河口地区的自然状况;另外,生活与工业污水的排放使得入海污染物急剧增加,从而引起水体的富营养化,破坏河口地区的生态平衡;大规模的渔业发展使得生物的多样性减少;挖沙则加重了水土的流失。由此导致生态系统退化、海滨湿地大量减少、自然灾害加重。例如,随着黄河上游来水来沙量的减少,洪峰流量也大幅度削减,近年来黄河口断流现象频繁发生,破坏了生态环境;长江河口则扩大了拦门沙的范围,加剧了咸潮入侵问题;珠江口的过度挖沙也人为造成了河床的不均匀加深。

1.3.2 海岸

海岸带是指海洋与陆地相互交接、相互作用的过渡地带,包括潮间带、潮上带、潮下带三部分。联合国经济与社会理事会(1988)认为,海岸带的一般定义是陆地与海洋相互作用的地带,它包括向陆部分、大陆架被淹没的土地及其上覆水域。这个定义对海岸带向陆一侧的范围界线是模糊和不明确的,向海一侧范围可扩大陆架和专属经济区,而海岸线向海和陆延伸一定距离所形成的区域作为海岸带,具体范围全世界尚无统一规定,我国于20世纪80年代中将由海岸线向海至-5 m等深线,向陆10 km的范围称为海岸带。有时根据海岸带区域的特点和海洋产业开发状况,将平均低潮线到-10 m等深线之间的浅海区域规定为潮下带。

测绘学采用的海岸带概念与此类似,如《1:5000、1:10000地形图航空摄影测量外业规范》规定,海洋与陆地的接壤部分称为海岸带,海岸带由沿岸地带、潮浸地带及浅海地带所组成。

我国是一个海陆并存的国家,拥有广阔的海疆。北起鸭绿江口,南至北仑河口,我国的海岸线长达18000 km,其间纵跨寒带、温带、亚热带、热带四个不同的气候区,由于受波浪、潮汐、海流、台风、海平面的变化等因素对海岸的作用,从而形成复杂多样的海岸地貌,因此也具备了众多的海岸带资源:

我国海岸带的滩涂资源约 $2.1704 \times 10^6 \text{ hm}^2$,目前仅利用20%左右。

我国近海蕴藏着丰富的油气资源。普查勘探发现,在海岸带和沿海大陆架上有十几个大型沉积盆地,预计油气资源量可达数百亿吨,是环太平洋巨大含油气带西部的主要分布区之一。

能源资源为海洋能,海洋能有潮汐能、波浪能、海流能、温差能和盐差能等。我国海洋能资