

河口海岸科学系列教材

海岸工程与环境概论

贺松林 编



海洋出版社

河口海岸科学系列教材

海岸工程与环境概论

贺松林 编

海洋出版社

2003年·北京

内 容 简 介

本书以地学视角,注重海岸工程学与自然地理学的结合,阐述影响海岸工程的自然地理因素及其特征,与海岸工程有关的海岸动力地貌学问题,概述几类主要海岸工程(海港和航道工程、海堤和护岸工程、河口治理工程)的自然地理环境要求、工程结构形式和技术要求,介绍海岸工程立项的自然条件可行性评估中勘察、论证的步骤、要求和方法。

本书适合作海岸学科本科生和研究生的教材,也可作海岸研究人员、工程技术人员、海岸管理人员和大学教师的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

海岸工程与环境概论/贺松林编. —北京:海洋出版社,
2003.9

ISBN 7-5027-5930-1

I.海... II.贺... III.①海岸工程—研究②海洋
环境—研究 IV.①P753②X21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 079213 号

责任编辑:陈茂廷

责任印制:刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路8号)

北京海洋印刷厂印刷 新华书店发行所经销

2003年10月第1版 2003年10月北京第1次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:10

字数:240.3千字 印数:1~1000册

定价:35.00元

海洋版图书印、装错误可随时退换

前 言

海洋是人类生存发展的支柱之一,在世界面临人口、资源、环境严重问题之时,海洋对于人类的可持续发展将发挥越来越大的作用,各国对海洋的关注和开发保护的投入是以往任何时期无可比拟的。河口海岸带资源丰富,开发潜力巨大,开发海洋的前哨战主战场非海岸带莫属。同时,人类生存又受到海洋灾害的威胁,抗御海患不容丝毫懈怠。海岸工程面临机遇与挑战,肩负光荣而艰巨的任务。

海岸工程是人类求生存,求发展,开发利用和保护海岸带的必要手段,它包含极为广泛的内容,本书述及的海港工程、航道工程、海堤工程、护岸护滩工程、促淤围滩工程等仅是较为常见的海岸工程。随着人类对海洋功能认识的深化和工程实践的积累,海洋工程的知识宝库将愈来愈丰硕。

海岸工程与自然环境(特别是动力地貌环境)有十分密切的关系。在现有科学技术条件下,几乎没有什么工程是无法实施的。海岸工程规划、决策和设计的科学性、合理性问题及工程效益与经济效益、社会效益、环境效益有机统一的问题越来越受到决策层和工程界的重视。这要求海岸工程师对工程海域的动力地貌环境和其他自然因素有更深入的理解和知识底蕴。我国河口海岸学科几十年的实践证明,发挥本学科的特点和优势,博采相邻学科众长,为国家沿海地区重大工程服务是大有作为的。

理科学生学一些工科知识,工科学生也学一些理科知识,这对未来从事海岸工程理论和实践研究,提高海岸带开发、保护和管理素质是必要的、有益的。

基于上述的理念,本书力图在海岸工程学与动力地貌学的结合方面有所侧重,尽可能围绕海岸工程叙述海岸动力地貌知识。介绍各类主要海岸工程时,只能有所为,有所不为,着重叙述它们的动力地貌环境要求、功能和基本结构型式。诸如波浪和水流对建筑物的作用力、地基稳定性计算、施工技术等专业性很强的精深专业知识和计算方法可参阅有关的专著和规范手册。

为编写本书,编者参阅了严恺院士编著的《海岸工程》、《海港工程》及其他资深专家编著的有关海岸动力学、海岸动力地貌、海岸工程等方面的专业书籍,并在编写过程中采纳引用,在此表示真挚的敬意和谢忱。本书的编写承蒙华东师范大学河口海岸国家重点实验室和河口海岸研究所诸位同仁的指教和帮助,劳治声教授校阅了全部书稿,著名海岸工程学家薛鸿超教授审阅了全书,并提出了宝贵的修改意见,编者获益良多,在此一并致以由衷的感谢。

海岸工程环境涉及多门学科,由于本人才疏学浅,本书的编写难免会有不当之处,恳请批评指教。

本书的编写和出版得到了上海市“重中之重”学科建设项目的资助。

编 者

2002年12月

目 次

第一章 绪论	(1)
第二章 海岸工程的自然环境因素	(6)
第一节 气象因素.....	(6)
第二节 水文因素	(12)
第三章 海岸工程相关的动力地貌学	(29)
第一节 波浪概述	(29)
第二节 波浪在浅水区的变化	(30)
第三节 波浪的折射、绕射和反射及其地貌效应.....	(33)
第四节 波浪作用下的泥沙运动	(36)
第五节 海岸泥沙的粒度特征和海岸类型	(45)
第六节 沙质海岸地貌结构及其冲淤演变特征	(52)
第七节 淤泥质海岸的泥沙运动和岸滩冲淤	(59)
第八节 海岸工程与动力地貌环境的相互制约和适应	(66)
第四章 海岸环境和海港工程	(71)
第一节 港址选择与自然环境	(71)
第二节 港口水域的组成要素及其功能	(73)
第三节 码头类型及设计尺度	(77)
第四节 码头的基本结构	(81)
第五节 防波堤工程	(88)
第五章 海岸防护工程	(100)
第一节 海堤工程.....	(100)
第二节 护岸工程.....	(106)
第三节 促淤围垦工程.....	(116)

第六章 河口环境和河口治理工程	(118)
第一节 河口动力环境特点	(118)
第二节 河口治理的原则	(131)
第三节 主要河口治理工程	(132)
第七章 海岸工程勘测和论证	(140)
第一节 海岸工程项目的可行性研究	(140)
第二节 现场勘测和分析	(141)
第三节 工程水工模型试验简述	(150)
第四节 工程数值模拟简述	(152)
主要参考书目	(154)

第一章 绪 论

海洋覆盖了地球表面 71% 的面积，地球上有了水，才有生命，才有万千纷呈的世界。人类源于斯，而求于斯，海洋是人类生存发展的支柱之一。在世界面临人口资源环境严重危机之时，海洋于人类的可持续发展将发挥越来越重要的作用。1983 年，联合国环境与发展委员会提供的《我们共同的未来》报告中指出，21 世纪的持续发展将取决于海洋管理的进展。1998 年“国际海洋日”，我国政府发表的《海洋》白皮书全面阐述了 21 世纪我国和世界各国共同开发、利用和保护海洋的战略和政策。河口地区与海岸带素为经济发达、人口聚居之地带，世界人口约有 2/3 居住于沿海地区，河口地区与海岸带也是资源丰富、开发潜力巨大的地带。同时，人类还必须在不断抗御海洋灾害中求生存。海岸工程是人类开发利用海洋资源、防御海洋灾害的必要手段。

一、海洋资源——人类生存的重要支柱

人类利用海洋的历史悠久，初期以渔盐之利、舟楫之便为主。随着社会经济的发展和科技水平的提高，人类对海洋功能的认识不断深化，开发利用强度不断提高，海洋已成为人类重要的依赖领域。

海洋提供广阔的航运资源。在现代世界经济中，洲际之间的货物贸易 90% 以上是依赖海上运输实现的，海上运输能力迅速增长。为降低运输成本和提高港口的吞吐能力，船舶趋向大型化，出现了 10 万吨、20 万吨级的散货轮，20 万吨、30 万吨甚至 56 万吨级的超级油轮以及 6 000~8 000 TEU 大型集装箱专用船。国际主流的远洋油轮为 20 万~30 万吨级，运输费用较经济的远洋散货轮为 10 万吨级。作为货物集散的重要环节，港口的数量和规模迅速增大，进港航道相应加深，世界上许多老港口的航道已增深到 13 m，新建海港和河口港的航道多为 18 m。到 20 世纪 80 年代，英国每 40 km 海岸有一个港口，日本每 30 km 就有一个港口，荷兰鹿特丹港欧罗港区的进港航道水深分段达到 23.5 m，22.5 m 和 21.5 m 以满足超级油轮、大型集装箱船和散货轮进出港池。以港兴城，港口的发展也带动了地区经济的发展，世界上 2/3 的大、中城市分布在沿海地区，其中相当多的城市以港口城市为特征。船舶大型化、集装箱化的趋势使海港工程面临新的挑战。

海洋为人类提供丰富的生物资源，成为人类食物结构的重要组成部分。据粗略估计，全球海洋生物资源总量约有 600 亿~700 亿 t，在不破坏生态平衡的前提下，年捕捞量可在 1.5 亿~2.0 亿 t，若再利用滩涂、海湾，加上运用人工鱼礁技术，发展养殖业，人类从海洋摄取食物尚有很大潜力。我国大陆架渔场面积有 150 万 km²，水深小于 15 m 的浅水海域和滩涂 2 亿多亩（1 亩≈0.0667 hm²），可发展水产养殖。

滩涂、浅海是人类扩大生存空间的重要区域。1999 年 9 月 12 日，世界人口已达到 60 亿，随着人口的膨胀，经济活动的扩大，耕地不断被蚕食，尤其是沿海地区人口稠密，可持续发展需要后备土地的支撑。低地国家荷兰近 800 a 围海造地 8 000 km²，日本近 40 a

11/26/90/01

围海造地 2 000 km²。我国近 50 a 围垦滩涂 1.2 万 km²，开辟农业基地（如江苏大喇叭围区、辽宁大洼围区），建设大型工业企业和电站（如上海石油化工公司，浙江秦山核电站），新建大型机场（如上海浦东国际机场）等，增强了沿海地区社会经济发展的后劲和潜力。建造人工岛也已成为人类扩大生存发展空间的一种途径，如日本的神户人工岛（面积 436 hm²）、大阪南港人工岛（面积 937 hm²）、神户三甲人工岛（面积 580 hm²）、横滨大觉人工岛（面积 321 hm²）、横滨四日市人工岛（面积 387 hm²）。此外，还利用滩涂和浅海建造机场或其他基础设施，目前世界上已有十几个海上机场。

海洋蕴藏可再生的潮汐能、波浪能、温差能、海流能、盐差能等，这些能源可以再生，取之不尽、用之不竭，不污染环境，是宝贵的“绿色能源”。但是海洋能密度小，稳定性差，开发费用高。目前只有潮汐发电进入应用阶段，如法国的朗斯电站（年发电量 5.44 亿 kW·h），圣马洛湾电站（计划年发电量 250 亿 kW·h），俄罗斯的梅森电站（计划年发电量 350 亿 kW·h）。其他海洋能的利用尚处在试验研究阶段。我国沿海蕴藏潮汐能约为 1.1 亿 kW，其中可开发利用的约为 3 580 万 kW，每年可发电 870 亿 kW·h；我国的波浪能量约有 1.5 亿 kW。但是目前都还处在小型试验阶段。海洋能的利用成本比较昂贵，它的开发利用必须结合其他资源利用（如水产养殖、旅游、交通运输、水资源利用等）获取综合效益。

海岸自然景观优美壮观，风光多姿多彩，动感诱人，加之沿海地区多为文明发祥地，人文景观丰富，因此，海岸和海岛是现代旅游休闲的热线区域。我国山东蓬莱的“海市蜃楼”，海南东寨港的“海底世界”，辽宁长海的海蚀景观，青岛的碧波金滩，厦门鼓浪屿的“海上花园”，钱塘江河口的涌潮，浙江普陀山的“海天佛国”都是久盛不衰的游览胜地。

海洋对污染物质有比陆地强得多的扩散稀释能力和净化能力，也有一定的降解能力，对陆地生态起着很好的调节作用，是宝贵的环境资源。但是，向海洋排污必须控制在海域环境容量允许的界限之内，否则势必造成水质恶化、富营养化乃至赤潮。

二、海洋灾害——人类生存的隐患

1. 风暴潮和暴风大浪引起的灾害：台风、温带气旋、寒潮大风等强烈天气过程会引起水面异常增升，并伴有狂风巨浪。如遭遇大潮汛，潮助浪威，浪长潮势，风暴大浪具有巨大的冲击力，对天然海岸和海岸工程建筑物产生极大的破坏力。拍岸浪对海岸的压力可达 30~50 t/m²，巨浪可把千吨以上的混凝土块体移动 10 余米，把 200 t 重的物体从水下 4 m 卷到岸上。发生风暴潮、暴风浪时，常有堤岸决口冲垮、潮淹陆地，导致生命财产惨重损失。1970 年 11 月 12~13 日孟加拉湾风暴增水超过 6 m，巨浪高达 20 m，夷平整个哈提亚小岛，50 多平方公里里荡然无存，致使 20 余万人丧生，100 多万人无家可归。1972 年墨西哥湾的美国沿岸，一次风暴潮灾害的损失就达 31 亿美元。1981 年 11 月 26 日德国新造的全天候“爱玛特力斯”号集装箱货轮在百慕大海区突遇狂风巨浪而沉没。1983 年“爪哇海”号浮式钻井船遇台风大浪袭击而沉没，死亡 81 人，财产损失 800 万美元。1979 年，我国“渤海 2 号”钻井平台在拖航途中遭遇 30 m/s 的大风而翻沉，死亡 72 人，损失 1 亿元左右。1980 年 7 号台风风暴潮损坏渔船 3 133 艘，冲垮海塘 430 多千米，淹没农田 73 万亩，死亡 414 人。1997 年因遭受 9711 号台风袭击，浙江省海堤决口 13 894 处，损坏海堤 766 km，直接经济损失 193 亿元。

2. 海啸引起的灾害：海啸是由海底地震、火山喷发和大规模滑坡崩塌激起的巨浪，它是介于潮波与涌浪之间的重力长波，波长约几十至几百千米，周期2~200 min，一般为2~40 min。据统计，1900~1983年发生在太平洋的海啸记载就有405次，平均每年4~5次。1883年巽它海峡的喀拉喀托火山喷发引起的海啸，掀起35 m高的波浪，招致36 000余人殒命。1896年由海底地震引起的日本三陆大海啸使27 000人丧生。1958年7月9日阿拉斯加半岛里塞亚湾由地震诱发的海底滑坡引起浪高达50多米的海啸浪，把两条船只卷抛到500 m高的小山上。1960年5月23日在智利发生的海啸，曾将夏威夷群岛希洛湾内护岸砌壁约100 t的岩块抛到百米之外，附近一座钢质铁路桥被推离桥墩200多米。

3. 海冰引起的灾害：海冰对船舶、海上平台和其他海上工程设施造成的海损、海难危害不可低估。1912年“泰坦尼克”号大型客轮的海难事件即为典例。当时集造船技术之大成建造的4.6万t“泰坦尼克”号大型客轮在驶往美国途中，行至加拿大的纽芬兰南400 km处，因与浮冰相撞，客船沉没于400多米深的海底，1 500多名乘客遇难。1969年2~3月渤海特大冰封，整个渤海湾和渤海的大部被厚冰覆盖，流冰扩展到渤海海峡以西约10 n mile处，进出天津塘沽新港的货轮有7艘被流冰推到海滩上，港区外一座观测平台和两座钻井平台被流冰推倒。

除上述突发性的海洋灾害外，还有过程发展缓慢但对沿海地区影响深远的海洋灾害。全球变暖引起的海平面上升已为世界各国关注，近一个多世纪以来，世界平均海面上升了18 cm，平均每年上升1~2 mm。据1995年政府间气候变化专门委员会（IPCC）的评估报告预测，全球增温将加速海平面上升，预计至2050年海平面上升的最佳估计值为20 cm，至2100年海平面上升的最佳估计值为49 cm。某些岛国将无法居住，低洼的沿岸平原也将消失，世界上许多大河三角洲都将成为海平面上升过程中最易受到威胁的脆弱区域。国外有些专家的预测更是惊人，美国和荷兰的科学家认为，到2050年，世界上的一些大城市，如纽约、新奥尔良、上海、雅加达、东京、大阪、威尼斯、曼谷和台北等将面临海水淹没的危险。据国家海洋局公布资料，我国沿海海平面上升平均速率为2.6 mm/a，其中，渤海沿岸海平面上升速率为3.1 mm/a，黄海为2.8 mm/a，东海为2.1 mm/a，南海为3.0 mm/a。海平面的上升导致海岸侵蚀程度增大，沿海低平原海水倒灌、土壤盐碱化和河口盐水入侵加剧，沿海堤防的防潮能力和低平原的抗涝能力降低。为适应变化的环境，人类将不得不付出巨大的代价。

另外，由于全球气候变化和不断增大的人类生产、生活活动的影响，部分近海海域的生态平衡受破坏，引起次生灾害。例如，赤潮（海水中某些微小浮游植物、原生动物或细菌在一定的环境条件下，短时间内爆发性繁殖、聚集而引起海水变色，并导致海洋生物死亡）发生的频率和区域在增大，已对相关沿海地区的生物资源和人民生活产生影响。类似的次生灾害已对海岸带开发利用形成制约因素，在某些特殊区域甚至构成某些资源开发利用的阻断因素。

三、海岸工程——人类利用海洋、防御海患的必要手段

除了海上运输、远洋捕捞、海上采油外，现阶段和未来相当长的一段时间内，人类开发利用海洋的主要阵地还是在海岸带，防御海患的重点区域也是在海岸带。海岸工程是人类为海岸防护、海岸带资源开发和空间利用而采取的各种工程设施，主要包括港口航道、滩涂围垦、促

淤造陆、潮汐发电、临海工矿企业的取水排污、油气开发和海底输油气管、海底光电缆、海岸防护、河口治理、河口建闸挡潮御咸蓄淡以及人工岛、跨海大桥、人工鱼礁等工程。

海岸工程有其社会属性和自然属性。在社会经济发展的不同阶段，社会生产和生活需求是不同的，工程科学技术水平是不断发展的，海岸工程的规划设计必须与各阶段的社会需求和工程科技水平相适应，这是海岸工程的社会属性。自然属性是指海域作为一个自然地理单元，其环境和资源的客观条件，这是海岸工程是否可行的客观基础。海岸工程的规划和决策必须以这两种属性为出发点。因此，海岸工程的决策既要充分发挥当地的自然优势功能，又要充分考虑社会需要与可能的因素。一般取决于以下基本因素：一是自然环境条件是否具有值得开发的资源基础和值得保护的价值；二是社会迫切需要的程度；三是工程技术上是否可行；四是社会投资能力是否允许；五是在达到工程效益的情况下，是否具有较好的经济效益、社会效益和环境效益。

海岸带资源具有多价值、多功能的特点，同时海域环境具有流动的特征，一项工程可能对周边区域带来有利或不利的影 响，可能在利用某些资源的同时，制约甚至损害了其他资源。一项海岸工程实施后如果出现严重的负面影响，修复和挽回损失常是十分困难的。因此，任何海域的开发利用都必须建立在对区域功能和价值客观评估的基础之上，结合社会经济需求，统筹兼顾，综合平衡，确定海域的功能顺序。在开发项目互相冲突的情况下，在突出主功能的前提下，也必须把可能产生的负面影响减少到最低程度。

四、海岸工程环境的研究方法

人类利用海洋、抗御海患已有悠久历史。我国祖先在公元前 306~前 220 年就在渤海、黄海之滨的碣石（秦皇岛附近）、转附（芝罘附近）、琅琊（古镇口附近）筑港。汉、唐以后，在会稽、泉州、番禺分别筑港。我国古代最早的海塘建于东汉（公元 25~220 年），汉代也有小规模 的围海。但是，海岸工程作为一门学科还是直到 1950 年召开的第一届海岸工程国际学术会议上才问世。“海岸工程学”（coastal engineering）研究海岸工程建筑物与海岸动力、海岸地貌、海岸沉积物相互作用机制及其对海岸生态环境的影响。它与其他多种学科（如海洋学、海岸动力学、海岸地貌学、海岸沉积学、工程地质学、水文学、气象学、泥沙运动力学以及流体力学、结构力学、材料力学等）有着密切的关系，是自然科学和工程技术在海岸带开发规划、设计与工程建设上的应用。

工程活动是人类与自然的纽带。海岸工程与海岸自然环境的和谐是沿海地区社会经济可持续发展的重要条件。在诸多海岸自然环境因素中，海岸动力地貌环境与海岸工程有着非常密切的关系。正确把握动力地貌环境的大局观念加上巧夺天工的海岸工程规划设计，才可以获取最佳的工程效益、经济效益和环境效益。

海岸工程动力地貌环境的分析研究应采取理论分析与现场观测分析、实验室试验研究、数学模拟研究相结合的方法。

定性或定量的理论分析是正确认识海岸工程和动力地貌环境及其相互影响的基础，它是通过大量工程实践积累提炼、归纳演绎的精髓。当然，由于海岸环境涉及因素的复杂性，在分析问题时只能抓住主要因素，忽略其他次要因素，在数学表达上要作不同程度的近似处理，因而理论结果与实际结果会有一定的差别。

在海岸工程中，现场观测分析是不可缺少的手段。海岸环境的地区差异很大，各种环

境因素的特征、主次程度都因地而异，而且随时间的变化也十分明显，海岸工程必须以其所在地区的环境因素为依据进行布局设计，物理模型和数值模拟也必须有现场观测资料作为建模的依据和验证的标准，一些经验或半经验的关系式，在具体应用时，其参数也需通过现场观测提供。此外，现场观测的资料数据反映观测时段综合背景下的环境参量。但是，由于观测技术的局限，现场观测的时空跨度十分有限，许多环境因素在恶劣海况下无法获取，也无法获知海岸工程实施后的环境参数。

实验室试验研究（通常指物理模型或比尺模型试验）可与现场观测分析互补，它在时间和空间有很大的任选性，测取工程关键部位的各种参数，测定各参量之间的数量关系，并可把拟建的工程建筑物按比尺放入模型，预测一定时间范围内不同边界条件下某些参数的变化，以便对各种设计方案进行比选。但是，同样因为自然环境的复杂性，在模型中不可能包含所有的环境因素，还因比尺关系上的困难，模型试验结果与实际情况的吻合尚存问题。

近年来，在海岸工程实践中，数值模拟方法在研究波浪场、流场、泥沙场及岸滩冲淤变化方面得到越来越广泛的应用。数值模拟避免了物理模型中的比尺效应问题，能够模拟比物理模型大得多的空间范围，为小范围的物理模型提供边界条件，并可较方便地比选各种工程方案。由于数值模拟建立在严格的力学机理和物理关系之上，海岸环境中许多过程的力学机理的认识尚不够完善，即使能建立完整的数值模型，也还有是否存在数值解法的问题，通常需要作若干假设，以便简化数值解法，因而也会产生模拟结果与实际情况之间的差别。

总之，上述研究方法各有所长，也各有弊端，不宜单取其一，尽可能综合运用，取长补短，互为佐证。当然，在海岸工程决策、规划、设计的不同阶段，可侧重采用不同的分析研究手段。本书概略地介绍了一些常用的现场观测的内容和方法以及物理模型、数值模拟的基本知识，实际工作时需查阅专门书籍和规范，并通过亲身实践摸索和提高。

本书共有七章。第一章为绪论。第二章主要介绍与海岸工程有关的自然因素及其在我国沿海的时空分布特点。

第三章重点阐述与海岸工程有关的海岸动力地貌学问题，包括海岸动力的纵向、横向变化和泥沙运动，海岸地貌及其演变特征，并分析了海岸工程与动力地貌环境相互制约和影响的关系。该内容肯定不会像专门的海岸动力学、海岸地貌学教材那么系统全面，惟力求面向海岸工程，使海岸工程与海岸动力地貌学相互融通。

海岸工程类型众多，虽然各类工程的特点不同，但是它们与海岸动力地貌环境的依存和相互影响有许多共性。本书选择海港工程、海岸防护工程和河口治理工程予以重点介绍。这几类工程经验积累丰富，规范成熟，工程等级标准较高，对其他海岸工程有很好的示范作用和借鉴意义。第四章是海港及航道工程，扼要介绍海港的水下工程建筑物（如码头、防波堤、进港航道）的布局要求和主要结构型式。第五章是海岸防护工程，主要叙述海堤和护坡、护脚、护滩以及围垦、促淤工程的布局特点和结构型式。第六章主要介绍河口治理的原则及主要的河口治理工程。至于地基承载力、海岸动力对工程建筑物的作用力和工程稳定性分析计算等专业性极强的内容，有志研究者可参阅严恺编著的《海岸工程》、《海港工程》等有关专业书籍和规范。在理解和领悟第三章内容的基础上，进而掌握一些海岸工程的基本知识，对于未来从事海岸带开发研究和管理工作是有益的。

第六章是讲述海岸工程可行性研究中常用的现场勘测内容和方法，并扼要介绍物理模型和数值模拟的基本原理和方法。

第二章 海岸工程的自然环境因素

影响海岸工程的自然条件包括气象、水文、地质地貌等方面。其中，气象因素有风、雨、雾和冰等；水文因素有潮汐、波浪、海流和河流入海径流及其伴随的泥沙运动等；地质地貌因素有海岸、河口的地质构造和地貌形态以及地基的物理和力学特征等。本章主要叙述气象因素和水文因素。

第一节 气象因素

一、风

风是由空气水平运动产生的，风主要通过风成浪、风应力产生的漂流及风暴潮对海岸工程和环境产生影响，是重要的气象因素。

风况包括风向和风速，根据工程上的需要，常把风向分成16个方位，绘制风玫瑰图(图2-1)。风频率图绘出各个方向上不同风的出现频率，即占全年(或多年)各向风总次数的百分比。海岸工程中比较关注大风引起的影响，有时要求绘制大于某一风级的风玫瑰图，并收集和统计台风资料。风速最大的方向称为强风向，出现频率最高的方向称之为常风向。强风向和常风向在有些地区是一致的，也有很多地区是不一致的。常风向的风速

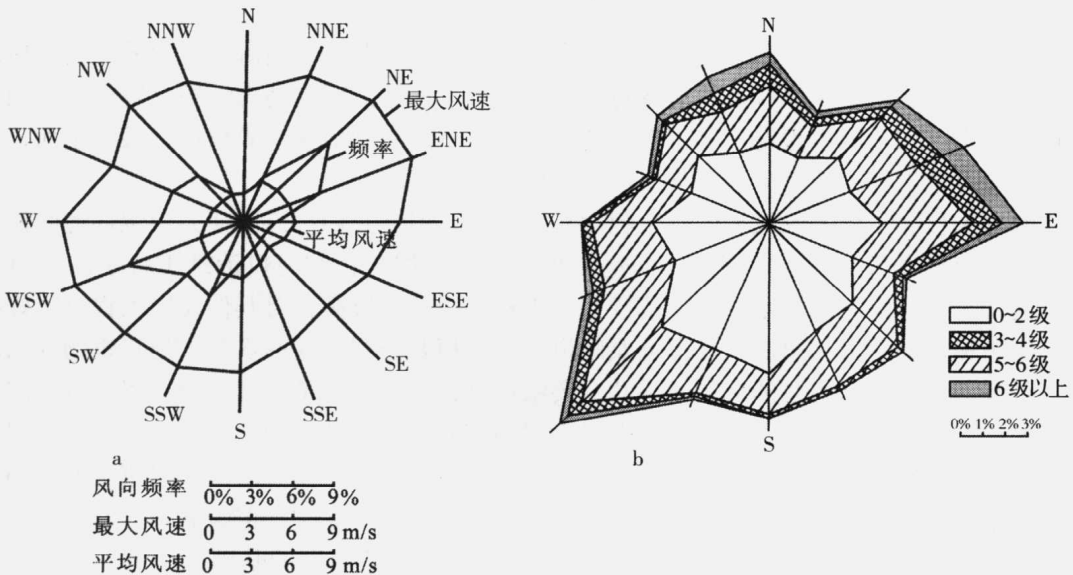


图2-1 风况图

a. 风玫瑰图; b. 风频率图

不一定都很大，强风向也不一定代表大风相对集中的方向。

风力或风速，根据其强弱分为12级（表2-1）。我国沿海，特别是华东、华南沿海经常遭受台风袭击，风力高达10~12级以上，多发生在7~9月份，被台风袭击地区常出现狂风暴雨和高潮、巨浪，对海岸工程建筑物有很强的破坏力。

表2-1 风力等级表

风级	0	1	2	3	4	5	6
风速 (kn)	1以下	1~3	4~6	7~10	11~16	17~21	22~27
(m/s)	0.0~0.2	0.3~1.5	1.6~3.3	3.4~5.4	5.5~7.9	8.0~10.7	10.8~13.8
风级	7	8	9	10	11	12	
风速 (kn)	28~33	34~40	41~47	48~55	56~63	64~71	
(m/s)	13.9~17.1	17.2~20.7	20.8~24.4	24.5~28.4	28.5~32.6	32.7~36.9	

由于气团发源地不同，全球各个地带的风况各异，我国近海风况的特点主要表现为：季风、寒潮大风和台风。

1. 季风

以海陆间热力差异为主导因素，随着季节变化而引起高、低压中心和风带的移动，形成冬、夏两季盛行方向几乎相反的风，夏季由海向陆吹，冬季由陆向海吹，称为季风。我国是季风国家之一，每年10月至翌年3月盛行偏北风，6月以后盛行偏南风，4、5月和8、9月为季风转换季节。冬季渤海和黄海多西、西北和北风，占60%；东海多北和东北风；南海多东北和东风，占88%左右。夏季多为东南、南和西南风，渤海、黄海占50%左右；东海、南海占56%左右。

2. 寒潮

寒潮是强冷空气的侵袭。中央气象台规定：冷空气入侵后，气温在24h内降低10℃以上，且最低气温降至5℃以下，称为寒潮。它是我国冬季主要的天气过程之一，其天气过程特点是：寒潮来临后，出现6~8级、阵风10级以上的偏北大风，并伴有雨和冰冻，一般持续3~5d。寒潮路径较稳定，发源于北极地区，经西伯利亚，主要从偏西北方向进入我国，影响我国沿海的寒潮主要发生在10月到翌年4月。寒潮大风在一些迎风的海岸引起增水现象（风暴潮），对港口、航道、海堤构成一定的威胁，如江苏海堤曾在1966年2月和1979年1月因遭受寒潮大风增水而破堤，因此，工程设计中应特别注意。

3. 热带气旋及台风

热带气旋是发生在热带或副热带海洋上的气旋性涡旋，它起源于赤道南北纬度5°~20°的海洋面上，以太平洋最多，约占66%，尤以西太平洋更多，占36%以上。中央气象台把热带气旋按气旋中心最大风力分为四级：中心风力8级以下（风速 $U < 17.2$ m/s）称为热带低压；8~9级（风速 U 介于17.2~24.4 m/s）称为热带风暴；10~11级（风速 U 介于24.5~32.6 m/s）称为强热带风暴；12级及以上（ $U \geq 32.7$ m/s）称为台风。1989年1月1日以前，我国使用的分级标准将热带风暴和强热带风暴称为台风，将台风则称为强台风。台风直径为600~1000 km，台风区内等压线分布近似圆形，中心气压可降至90000 Pa以下，气压梯度一般为15~16 Pa/km，地面最大风速可达50~60 m/s，

台风中心移动速度约 10~50 km/h。

我国沿海遭遇的热带气旋和台风主要集中在 7~9 月，尤以 8 月和 9 月为多，登陆我国的热带气旋最早在 5 月 3 日，最晚在 12 月 2 日，主要集中在广东、海南，其次是台湾、福建和浙江，在上海和长江以北沿海省市登陆相对较少（表 2-2）。

表 2-2 1981~1998 年沿海各省每年登陆大于等级 8 级的热带气旋频次数（参引《中国围海工程》）

省（区）	辽宁	河北	天津	山东	江苏	上海	浙江	台湾	福建	广东	广西	海南
平均登陆次数	0	0	0	1	1	1	11	28	10	56	1	33
平均影响次数	0	0	0	0.05	0.05	0.05	0.6	1.5	0.5	3.1	0.05	1.8

风力在 8 级以上的大风日数和最大风速是海岸工程规划设计的必要气象资料。一般可参照附近地区的沿海平台、岛屿站和岸边观测站多年观测资料，结合海岸工程地区情况确定。表 2-3 是我国沿海代表性台站的多年观测统计资料。

表 2-3 沿海站点各季大风日数及占全年的百分比（%）（参引《中国围海工程》）

海区	站名	春 天		夏 天		秋 天		冬 天	
		日数	%	日数	%	日数	%	日数	%
渤海	营 口	34.8	40	15.6	18	19.6	23	16.3	19
	秦皇岛	3.4	45	1.4	19	1.0	13	1.7	23
	塘 沽	17.7	36	9.3	19	9.7	20	12.2	25
黄海	丹 东	14.3	34	3.2	8	8.8	21	15.8	28
	大 连	27.4	34	8.9	11	19.5	24	25.1	31
	成山头	33.0	27	11.2	9	32.3	26	48.0	39
	青 岛	21.3	31	8.9	13	16.0	23	22.4	33
	石臼所	7.2	34	3.2	15	4.6	22	5.9	28
东海	西连岛	24.8	30	18.3	22	18.9	23	21.0	25
	嵎 泗	40.8	28	37.8	26	28.0	19	40.4	28
	乍 浦	4.5	32	4.0	29	1.7	12	3.7	27
	宁 波	1.3	22	2.2	37	1.4	23	1.1	18
	温 州	0.8	13	3.1	51	1.5	25	0.7	11
	南 鹿	45.2	25	31.6	18	48.1	27	53.5	30
	台 山	35.8	21	32.1	19	47.1	28	53.4	32
南海	平 潭	17.4	18	13.1	13	34.9	36	32.8	33
	南 澳	26.7	29	7.6	8	23.7	26	33.1	36
	汕 头	33.0	29	3.3	29	2.4	21	2.3	20
	湛 江	1.0	15	3.1	4.8	2.1	32	0.3	5
	三 亚	0.6	8	1.9	26	3.6	50	1.1	15
东 方	7.0	26	6.2	23	6.0	24	7.5	27	

二、雨

降水量是指一定时段内，降落到平地（假定无渗漏、蒸发、流失等）的降水（包括雨、雪、雹）所积成的水层深度（如为固态水须折合成液态水计算），以毫米计。雨的大小是以降水强度来衡量的，降水强度是单位时间内的降水量，通常以 10 min，1 h 或 1 d 为时间单位。我国国家气象局规定：日降水量大于等于 50 mm 小于 100 mm 为暴雨；日降水量大于等于 100 mm 小于 150 mm 为大暴雨；日降水量大于等于 150 mm 为特大暴雨。

港口规划时统计降水日数以及降水量的目的在于分析它对港口作业天数、装卸质量、排水设备、工程施工安排等的影响。降水强度还是道路布置、排水系统设计的重要依据。雨量及降雨延时的统计，用以分析降雨对港口作业天数的影响。对于煤炭、矿石、原油等货类的作业，雨的影响很小，可以不作为主要因素考虑，但对杂货、化肥、粮食等货类的作业，则应考虑雨日对作业天数的影响，日雨量大于 10~25 mm 可以作为雨日而不作业。暴雨强度是港口排水系统设计的依据。

我国大陆沿海的暴雨主要出现在夏季风盛行期间，主要由西风带天气系统和热带天气系统引起，前者以锋面降水为主，后者以台风降水为主。由于夏季多热带气旋活动，暴雨与狂风、巨浪、风暴潮遭遇，对海岸地区的工农业生产和海岸工程产生很大危害。浙江 1960 年 7~8 月两次受台风影响，北雁荡、乐清、平阳分别出现日雨量高达 460 mm，468 mm 和 449 mm 的特大暴雨；广西北海市 1971 年 5 月 31 日受 7106 号台风影响，出现日雨量 559.6 mm 的特大暴雨；辽宁丹东地区 1962 年 7 月 27 日受 6207 号台风袭击，黑沟日雨量达 657 mm。

1. 我国年降水量的地理分布

苏北废黄河口以北黄海、渤海沿岸，年降水量大多为 550~1 000 mm，其中丹东最大 (1 019 mm)。

废黄河口以南至杭州湾黄海、东海沿岸，年降水量大多为 1 000~1 200 mm，但沿海岛屿年降水量多在 1 000 mm 以下。

杭州湾至福建南部的东海沿岸，年降水量大多为 1 500~1 700 mm，其中宁德最大 (2 014 mm)，而海岛的年降水量大多为 1 000~1 300 mm。

南海大陆岸段的年降水量在 1 600 mm 以上，有 3 个多雨中心即：粤东海丰 (2 380 mm)、粤西阳江 (2 250 mm) 和广西防城、东兴 (2 800 mm 以上)，其中防城县的滩散最大达 3 512 mm，为全国海岸带降水量最大地区。

海南沿海的东部琼海、万宁一带年降水量为 2 100 mm 左右，而西部的东方仅为 993 mm。

中国沿海降水量分布见表 2-4。

表 2-4 中国沿海多年平均降水量 (参引《中国海岸带和海涂资源综合调查报告》)

站名	年降水量 (mm)	站名	年降水量 (mm)
丹东	1 019.1	南通	1 024.0
大连	658.7	上海	1 141.9
营口	667.4	宁波	1 374.7
锦州	547.7	温州	1 694.6
秦皇岛	691.0	福州	1 343.7
塘沽	602.9	厦门	1 143.5
利津	537.3	汕头	1 554.9
烟台	645.9	广州	1 681.1
青岛	775.6	湛江	1 567.3
日照	916.0	海口	1 684.5
连云港	966.0	钦州	2 103.4
盐城	990.2	白龙尾	2 324.1

2. 我国沿海年降水日数的地理分布

苏北废黄河口以北黄海、渤海沿岸，年降水日数多为 60~100 d，其中，渤海较少，为 59~75 d；黄海大多为 80~100 d。

废黄河口至闽江岸段，年降水日数为 110~187 d，其中江苏最少，仅 110~125 d；长江口以南多在 140 d 以上；宁德最多，达 187.5 d。

闽南至广西钦州岸段，年降水日数多为 110~150 d；钦州以西为 160 d 以上，东兴为 180 d，防城县马路高达 202 d，为我国海岸带之冠。

海南沿海降水日数：东部多，为 140~165 d，琼海最多，为 167 d；西部少，为 87~102 d。

3. 最长连续降水日数的时空分布

苏北废黄河口以北岸段，最长连续降水日数为 7~15 d，大多数岸段出现在 7、8 月。废黄河口以南大部分岸段为 16~30 d，其中广西东兴最长，达 32 d；广东多出现在 5、6 月，广西多在 7、8 月，海南多在 9 月。

4. 我国暴雨的地理分布

我国沿海全年各月都有暴雨发生，夏半年多，冬半年少，主要集中在 5~9 月，尤以 7~9 月为最多；但各海区沿岸的差别较大。

黄海、渤海沿岸，暴雨发生在 4~10 月，集中于 7、8 月。东海沿岸，温州以北暴雨大多在 4~11 月，6~9 月最多；温州以南以及南海沿岸全年都可能发生暴雨。

暴雨的季节分布由南向北发生月份滞后，暴雨日减少。

渤海沿岸暴雨日大多为 2 d 左右；黄河沿岸大部分为 3~4 d；东海沿岸，杭州湾以北大多为 2~3 d，以南多为 3~5 d，但宁德高达 8 d，是一个暴雨中心；阳江为 12.1 d，斗门为 12.4 d，上川岛为 11.8 d，海南万宁为 11 d，广西东兴为 15.3 d，东兴是我国海岸带暴雨之冠。

三、雾

大气中水汽凝结物质使能见距离 $d < 1000$ m 时，此种天气现象称为雾。它影响船舶航行安全、港口的正常作业和渔业生产安全。雾的大小用能见度来表示，能见度是指人正常视力在当时天气条件下，所能见到的最大距离。所谓“能见”是在天空背景上能将目标物的轮廓分辨出来。雾的大小按能见度分为 10 级（表 2-5）。气象部门规定：能见距离 $d \leq 1000$ m 和 $d \leq 4000$ m，分别为恶劣能见度（即能见度大于等于 3 级）和低能见度（即能见度大于等于 5 级）。能见度低于 3 级，属航行危险天气条件。

表 2-5 能见度等级表

等级	能见距离		等级	能见距离	
	(n mile)	(m)		(n mile)	(m)
0	小于 0.03	小于 50	5	1.0~2.0	2000~4000
1	0.03~0.10	50~200	6	2.0~5.0	4000~10000
2	0.10~0.25	200~500	7	5.0~11.0	10000~20000
3	0.25~0.50	500~1000	8	11.0~27.0	20000~50000
4	0.50~1.00	1000~2000	9	≥ 27.0	≥ 50000