

海 岸  
河 口  
动 力  
学

赵今声 赵子丹 秦崇仁  
王超员 瑛 编著  
海 洋 出 版 社

# 海岸河口动力学

赵今声 赵子丹 页 瑛 编著  
秦崇仁 王 超

海洋出版社

1993年·北京

## 内 容 简 介

本书分为海岸动力学和河口动力学两大部分。前一部分包括波浪理论、波浪的形成和发展，潮汐、风暴潮、波浪变形、海岸泥沙运动与岸滩演变及各种动力因素与海岸工程及海滩的相互作用，后一部分主要论述河口潮汐动力学、河口盐水入侵、河口的污染、河口泥沙运动及航道改善。最后一章介绍了海岸及河口模型试验。

本书可供从事海岸及海洋工程设计研究人员参考，亦可供大专院校有关专业的研究生使用。

(京)新登字087号

### 海岸河口动力学

赵今声 赵子丹 员 瑛 编著  
秦崇仁 王 超

\*

海洋出版社出版(北京市复兴门外大街1号)  
新华书店北京发行所发行 海洋出版社印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 38 字数: 950千字

1993年9月第一版 1993年9月第一次印刷

印数: 1—1000

\*

ISBN 7-5027-2442-7/P·209 定价: 30.00元

# 前 言

地球表面约有70.8%是海洋。随着人口的增长,开发海洋资源是大势所趋。我国大陆海岸线长达18 000公里,水深在200米以内的大陆架面积41.42亿亩,位于理论基准面以上的海涂面积约为2997万亩,从理论基准面至水深15米之间的面积为1.81亿多亩。我国大陆架及海涂石油天然气、砂矿、水产、发电、制盐、航运、旅游等资源丰富。新中国建立后,全国已围垦海涂一千多万亩,沿海各省市正在进行海岸及海涂资源调查,准备进行全面规划,综合开发。我国在沿海从事渔业、开展航运、抽水晒盐、围海造田和筑塘防灾,历史悠久,经验丰富。今后开发海岸及海涂资源,需要进行大量的海岸工程和科学研究。

海岸工程包括海岸稳定及防护工程、河口及海口稳定和改善措施、港口工程 and 环境保护。为使海岸工程达到经济合理,取得良好效果,必须对海岸及河口的演变规律、影响演变的各种动力因素,海岸工程及动力因素的相互作用等,进行研究。海岸主要动力因素包括风、浪、潮汐及海流,在河口还有淡水径流。研究内容包括:(1)现场动力因素资料的搜集;(2)各种动力因素的运动规律;(3)各种动力因素与海岸工程建筑物及海滩的相互作用。这些内容可通过现场观测、理论及数学分析和试验室研究取得。海岸及河口动力学的任务在于研究上述各种问题。本书是为海岸及河口动力学专业研究生编写的参考书,亦可供从事海岸、河口、港口、航道及海洋工程和海洋科学、地理地貌、水文观测的工程技术、科学研究人员参考。本书以海洋水文、流体力学、河流动力学和高等数学为基础,和海洋物理、地貌学、计算科学、港口工程及海洋工程有密切关系,有些内容已在上述课程学过,本书从略。

本书由赵今声主编。第一、六、十四、十五章由赵今声编写,第五、十章由赵今声、秦崇仁共同编写,第二、七、八、九章由赵子丹编写,第三、四章由王超编写,第十一、十二、十三章由员瑛编写。插图由杨锦贤绘制。肖玉芳协助誊清了部分底稿。

本书初稿由中国科学院海洋研究所尤芳湖、李磊、乐肯堂三位同志进行了审阅,提出了许多宝贵意见。根据审阅意见,由编写者对初稿进行了修改。对于审阅人所付出的辛勤劳动和认真负责态度,在此表示深切感谢。限于编写人水平,本书仍然难免错误及缺点,希望读者批评指正。

赵今声

1983年3月于天津大学

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	( 1 )
第一节 海岸及河口动力学所包括的内容.....	( 1 )
第二节 海岸带及海岸分类.....	( 2 )
第三节 河口区及河口分类.....	( 6 )
第四节 海岸带和海涂资源开发.....	( 7 )
第五节 海岸及河口动力学的发展.....	( 11 )
<b>第二章 波浪理论</b> .....	( 14 )
第一节 概述.....	( 14 )
第二节 微小振幅波理论.....	( 15 )
第三节 余摆线波理论.....	( 25 )
第四节 斯托克斯 (Stokes) 波理论.....	( 32 )
第五节 流函数波理论.....	( 41 )
第六节 推进波的极限条件.....	( 47 )
第七节 椭圆余弦波理论.....	( 47 )
第八节 孤立波理论.....	( 52 )
第九节 各种波浪理论的比较.....	( 55 )
第十节 波浪的紊动.....	( 59 )
第十一节 波浪的底部边界层.....	( 62 )
第十二节 波浪的传质速度、粘性效应.....	( 66 )
<b>第三章 海浪的形成和发展</b> .....	( 73 )
第一节 海浪的成长.....	( 73 )
第二节 海浪能量的增长与消耗.....	( 87 )
第三节 风要素与波浪要素的关系.....	( 91 )
第四节 风浪的统计特征及风浪要素的概率分布.....	( 96 )
第五节 我国沿岸海域的波浪.....	( 101 )
<b>第四章 海浪推算和设计波浪</b> .....	( 104 )
第一节 海浪谱理论概述.....	( 104 )
第二节 各种形式的海浪谱.....	( 109 )
第三节 谱值估计与海浪要素计算.....	( 120 )
第四节 利用风场要素推算波浪.....	( 126 )
第五节 移动风区的海浪推算.....	( 131 )
第六节 海浪的长期分布规律与设计波要素的推算.....	( 134 )
<b>第五章 潮汐、风暴潮及港湾振动</b> .....	( 139 )
第一节 潮汐.....	( 139 )
第二节 平衡潮理论.....	( 144 )
第三节 潮流.....	( 150 )
第四节 漂流.....	( 156 )

第五节	风暴潮·····	( 163 )
第六节	湖泊及港湾水面振动·····	( 169 )
第七节	海啸·····	( 174 )
<b>第六章</b>	<b>波浪变形</b> ·····	<b>( 179 )</b>
第一节	水深变浅造成的波浪变形·····	( 179 )
第二节	能量损失造成的波浪变形·····	( 188 )
第三节	波浪折射·····	( 195 )
第四节	波浪绕射·····	( 198 )
第五节	波浪反射·····	( 216 )
第六节	波浪破碎·····	( 220 )
第七节	波浪在水流中的变形·····	( 226 )
<b>第七章</b>	<b>建筑物和波浪的相互作用</b> ·····	<b>( 234 )</b>
第一节	波浪力·····	( 234 )
第二节	作用在直立墙上的立波波压力·····	( 234 )
第三节	作用在孤立墩柱上的波浪力 ( $d/L > 0.2$ )·····	( 239 )
第四节	作用在桩上的波压力 ( $d/L \leq 0.2$ )·····	( 243 )
第五节	作用在水下潜体上的波压力·····	( 245 )
第六节	作用在建筑物上的破碎波波压力·····	( 249 )
第七节	作用在直立桩、柱上的近破波波压力·····	( 257 )
第八节	作用在建筑物上的不规则波波浪力的概率分布·····	( 260 )
第九节	作用在建筑物上的不规则波波浪力的力谱·····	( 264 )
第十节	波浪的爬高·····	( 268 )
第十一节	越波·····	( 275 )
第十二节	波浪的穿透·····	( 277 )
<b>第八章</b>	<b>波浪作用下的泥沙运动</b> ·····	<b>( 281 )</b>
第一节	概述·····	( 281 )
第二节	波浪作用下的泥沙起动·····	( 284 )
第三节	波浪作用下的底沙输送·····	( 290 )
第四节	波浪作用下的悬移质运动·····	( 299 )
第五节	拜格诺的输沙模型·····	( 302 )
<b>第九章</b>	<b>海岸泥沙运动和岸滩演变</b> ·····	<b>( 308 )</b>
第一节	概述·····	( 308 )
第二节	近岸区的流场·····	( 315 )
第三节	沿岸流·····	( 328 )
第四节	海岸泥沙的纵向输送·····	( 338 )
第五节	海岸泥沙的横向输送·····	( 345 )
第六节	岸滩的冲淤演变·····	( 358 )
第七节	海岸建筑物对岸滩演变的影响·····	( 360 )
第八节	海岸的防护措施·····	( 363 )
第九节	风沙·····	( 364 )
<b>第十章</b>	<b>河口潮汐动力学</b> ·····	<b>( 373 )</b>
第一节	概述·····	( 373 )

第二节	矩形无摩擦河口的潮波运动	( 374 )
第三节	矩形有摩擦河口的潮波运动	( 378 )
第四节	矩形有摩擦河口的复合潮波运动	( 382 )
第五节	天然河口的潮波运动	( 385 )
第六节	河口潮波运动数值解	( 390 )
第七节	海岸潮汐运动的有限差分计算	( 401 )
<b>第十一章</b>	<b>水流中的物质扩散过程</b>	<b>( 407 )</b>
第一节	概述	( 407 )
第二节	分子扩散	( 408 )
第三节	紊动扩散	( 412 )
第四节	剪切流中的分散	( 422 )
第五节	分层水流中的一维紊动扩散	( 433 )
<b>第十二章</b>	<b>河口区的混合及盐水入侵</b>	<b>( 439 )</b>
第一节	概述	( 439 )
第二节	河口区的混合	( 439 )
第三节	盐水楔的力学性质	( 452 )
第四节	缓混合型河口的盐水入侵	( 472 )
第五节	强混合型河口的盐水入侵	( 478 )
<b>第十三章</b>	<b>河口的污染</b>	<b>( 483 )</b>
第一节	概述	( 483 )
第二节	河口区污染分析的潮楔体概念	( 484 )
第三节	河口区污染物分布的扩散分析法概念	( 486 )
第四节	河口区氧的平衡	( 493 )
第五节	射流和羽流的动力分析	( 494 )
<b>第十四章</b>	<b>河口泥沙运动及航道改善</b>	<b>( 504 )</b>
第一节	河口地貌特征	( 504 )
第二节	河口泥沙来源	( 506 )
第三节	河口水沙流特征	( 507 )
第四节	河口泥沙特征	( 510 )
第五节	河口泥沙运动	( 515 )
第六节	河口的淤积	( 522 )
第七节	河口航行条件的改善	( 538 )
第八节	沉积平原海岸的海口	( 543 )
<b>第十五章</b>	<b>海岸及河口水力模型试验</b>	<b>( 553 )</b>
第一节	量纲分析法	( 553 )
第二节	动力相似理论	( 555 )
第三节	定床河流模型	( 558 )
第四节	摩擦因子与糙率的缩尺关系	( 564 )
第五节	不稳定流河流模型	( 568 )
第六节	动床河流模型	( 570 )
第七节	床沙运动的缩尺	( 575 )
第八节	河口模型试验的实施	( 577 )

# 第一章 绪 论

## 第一节 海岸及河口动力学所包括的内容

地球表面面积之70.8%是海洋,约为 $361\,059 \times 10^6$ 平方公里。海洋与陆地邻接部分为海。渤海为我国内海,黄海、东海、南海则为边缘海。四个海的水域面积共为470余万平方公里。靠近海岸的海域底坡一般比较平缓,直到水深200米处,平均坡度为7',称为大陆架。大陆架以外为大陆坡,它的范围直到水深2000米处,平均坡度为4°左右。大陆架和大陆坡面积分别占海洋总面积的7.6%和8.5%。太平洋的平均水深为4300米,最大水深11034米。渤海为浅海,平均深度为18米,最大水深为70米,大陆架平均坡度37"。黄海平均深度43米,最大深度为140米。渤海和黄海全部在大陆架上。东海大陆架宽度200~600公里。南海大陆架宽度180~250公里。我国大陆架面积(包括岛屿大陆架)共约41.42亿亩。

海岸及河口资源丰富、交通便利,自古以来即为人类生活、生产、贸易、息游场所。世界人口的三分之二居住在沿海地区,我国东半部沿海地区的人口密度比西半部内陆地区高8倍,南方沿海地区人口密度更大,如福建省沿海23个县市有人口1500多万,耕地仅有830万亩<sup>1)</sup>,平均每人半亩地。近代工业发展之后,在海岸及河口建设了许多大城市,成为重要的政治、经济、文化、教育中心和交通运输枢纽。为了开发资源、发展经济、便利交通、保护人民生命财产,在海岸及海口进行了许多工程措施,统称海岸工程。海岸工程属于土木工程范畴,可概分为四类:

(1) 海岸稳定及防护工程。包括海塘、海堤、护岸、丁坝、顺坝等防护建筑物,以及人工补沙等措施,目的为防止岸滩侵蚀及潮水泛滥。

(2) 河口及海口稳定和改善措施。包括整治、疏浚、人工输沙等,目的为防止河口及海口淤积和改善航道。

(3) 港口工程。包括防波堤、导堤、码头、船坞、滑道、护岸、灯塔等建筑物,以及港池、航道的开挖和维护等措施,目的为便利船舶装卸货物及修理避风。

(4) 环境保护。包括对排入河口及沿海的污水和冷却水的输送及扩散,对溢漏石油的回收及围控,目的为保护生态平衡及人民健康。

为使海岸工程达到经济合理,取得良好效果,必须对海岸及河口的演变规律和影响演变的各种动力因素有深入的了解,对海岸工程建筑物所承受的外力及其对环境地形产生的影响有正确的估计。主要动力因素包括风、浪、潮汐及海流,在河口还有淡水径流。需要研究和了解的内容包括:(1)各种动力因素在工程地点的发生状况,即现场资料;(2)各种动力因素的运动规律;(3)各种动力因素与海岸工程建筑物及海滩的相互作用。这些内容可通过现场观测、理论及数学分析和试验室研究取得。

海岸及河口动力学的任务在于研究上述各种问题。本书主要讲解波浪理论、风浪的成

1) 1亩=666.6米<sup>2</sup>。



长及其统计规律、海浪要素计算、波浪传播中的变形、波浪与建筑物的相互作用、海洋及河口潮汐、风暴潮、海岸泥沙运动及岸滩演变、河口泥沙运动及航道改善、河口盐水入侵、分层流的混合及扩散、河口污染、海岸及河口模型试验等。海岸防护及港口工程建筑物的平面布置和设计计算等在有关港口工程的书中讲解，本书中不包括这些内容。本书内容以海洋水文、流体力学、河流动力学和高等数学等为基础，与海洋学、地貌学及计算科学等有密切关系。

海洋工程是开发海洋资源的工程技术，目前主要是采取海底石油和天然气，正在由大陆架向大陆坡及深海发展。本书内容可供从事海洋工程的科学技术人员参考。

## 第二节 海岸带及海岸分类

陆地与海水的边界称为海岸线。由于受潮汐风浪等的影响，海面高程不断变化，所以海岸线位置不是固定的，移动范围各地不同，这个地带称为海滩（图1.1）。海滩一般由松散物质组成。海滩可分为前滩及后滩。前滩是由低潮水位至台地边缘，而台地边缘则是普通高潮水位时破碎波水流上卷的界限。只在特大暴风时，特别是与特大大潮同时发生的情况下，台地才受到波浪侵袭。有时将最高水位时的陆海边界称为海岸线。后滩有一级或多级台地，多级台地交界处有台阶。海滩之外为外滩、波浪在这里破碎。外滩之外为滨海或近海。海滩之外有一个近岸区，为近岸水流流动的地带。它的宽度远较破碎波带为大，但没有明确的外界。海滩以内为海岸。海岸范围也不十分明确，有时将海蚀崖，海相台地、海滨沙丘及沼泽地等也包括在内。海岸、海滩及外滩合称为海岸带。在低潮与高潮水位间的潮间带，滩面周期性地暴露与浸没，我国习惯称为海涂。滩涂泛指海滩及近岸区。在外滩，常存在平行于海岸的沿岸沙坝和沿岸谷，有时不只一条。它们是由破碎波造成的。海滩上的沙被风吹到岸上，可形成沿岸沙丘。在风浪、潮汐、海流的动力作用下，海岸带泥沙产生向岸、离岸和沿岸运动，岸滩无时不在变化之中，最好情况是处于动力平衡状态。

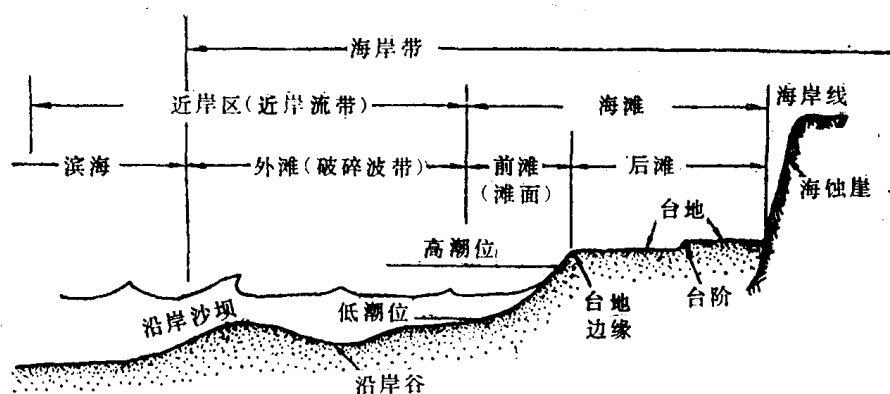


图1.1 海岸带横断面图

为了科学研究和开发利用的需要，对海岸进行了分类。分类方法很多，这里择要介绍三种。

## 一、按照海岸的形成和发展过程分类

(1) 沉降海岸。无论是由于海面上升或陆地沉降的结果，海水面变成与部分淹没的陆地接触。

(2) 隆起海岸。无论是由于海面下降或海底上升的结果，海水面变成与部分暴露的海底接触。

(3) 中立海岸。这类海岸的形成既不是由于以前陆地的沉降，也不是由于以前海底的上升，而是由于堆积、冲刷、生物原因或地质原因而形成，如河口三角洲，洪积平原，冲刷平原，珊瑚礁、火山海岸及断层海岸。

(4) 合成海岸。这类海岸至少为上述海岸中的两种合成。

地壳的升降和洋面的变动对海岸演变有重要影响。我国沿岸地形的格局和海岸轮廓深受地质构造的制约，尤其是中生代以来形成的新华夏构造体系和第三纪末期以来的新构造运动。新华夏构造体系由一系列走向为北北东的相互平行的隆起和沉降构造组成，又和阴山、秦岭及南岭纬向构造穿插交接，构成了我国东部地质构造的格架。新华夏构造的第一隆起带为西太平洋岛弧褶皱带，台湾位于琉球弧及菲律宾弧的扭结点上。第一沉降带由于拗陷作用，形成了东海、南海等边缘海。我国长白山及东南沿海的低山丘陵属第二隆起。松辽平原、渤海海盆、华北平原向南可能直至北部湾为第二沉降带。第三隆起带仅局部显露于辽西、冀东沿海（图1.2）。

在新华夏构造发生的同时，形成了北北东-北东和北北西-北西向的两组断裂相互交叉的X型断裂构造。我国山地丘陵海岸的走向深受北北东-北东向大断裂的影响，如辽东半岛东西两岸，辽西、冀东海岸，山东半岛南部的日照-荣城海岸和浙江、闽北至粤东的海岸。中小型X断裂构造在我国沿海地区广泛发育，不少岛屿、半岛和港湾在两组交叉断裂的分割下，常有矩形和菱形外廓，如舟山群岛、长山群岛、雷州半岛、大连湾、三门湾、兴化湾、大鹏湾、大亚湾等。

第三纪末期以来的新构造运动具有间歇性特点，对于老构造有显著的继承性，表现为新华夏隆起带的间歇上升和沉降带的间歇性下沉。我国山地丘陵海岸由于间歇性台升，剥夷面和海成阶地广泛分布，构成层状地形，但台升幅度各地不同。胶辽半岛、浙闽粤沿海因台升较多，加之X断裂的制约，形成了山地港湾式海岸。平原海岸的下沉为大河口三角洲的发展提供了有利地形。华北平原、辽河平原和苏北平原自新第三纪以来持续拗陷，堆积了厚达400至600米的沉积物。

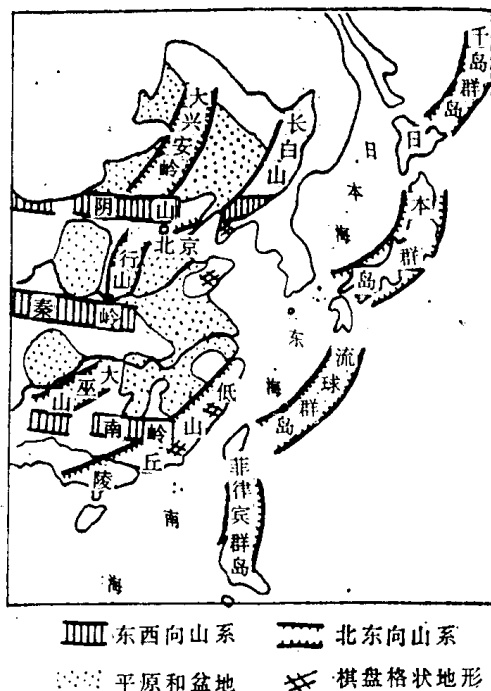


图1.2 我国东部地质构造示意图

洋面的变动主要是由于大陆冰川的变动。大约在一百万年前大陆冰川形成时，洋面从现在洋面以上约50米下降到现在洋面以下约160米。以后大陆冰川有几次大的变化，影响洋面升降和海水进退，但高程变化及发生时间只能估计。最近一次大陆冰川消融的最好估计是洋面从18 000年前的一100米上升到9000年以前的一20米，上升率大约为每千年9米。以后上升率减慢，大约3000年前，洋面大概在现在洋面以下3米。更后，上升率进一步减慢，平均上升率小于每千年1米。在海水前进时，曾达到河北省的白洋淀、江苏省的洪泽湖和浙江省的杭州。在海水后退时，古海岸线退却到现在东海大陆架155米等深线的位置。

## 二、按照海岸的形态分类

(1) 平原海岸。由巨厚而松散的细颗粒物组成，岸线比较平直。岸上地形平坦，坡度缓和海涂宽阔，岛屿较少，缺乏天然良港。这类海岸大多处在由大河冲积而成的平原地区及大河河口附近。

(2) 港湾海岸。由基岩组成，岸线曲折，多岬湾，岸上多山，地势陡峻，岸坡急陡，岛屿众多，天然良港甚多。

(3) 生物海岸。包括珊瑚礁海岸和红树林海岸。前者由造礁珊瑚虫的遗骸聚积而成。珊瑚虫只能在温度和含盐量高的清水中生长，故珊瑚礁海岸只在热带、亚热带和受暖流影响的某些温带海区才有。红树林是一种灌木丛林，生长于水温较高的淤泥质滩涂中。

## 三、按照岸滩的物质组成分类

(1) 砂质海岸。海滩为砂、砾、粗砾、卵石等粗颗粒物组成。

(2) 淤泥质海岸。海滩为淤泥、粉砂、粘土等细颗粒物组成。

(3) 岩石海岸。海滩为基岩被海浪冲成的海蚀岩台或珊瑚礁。

## 四、海岸的侵蚀

除地壳运动和洋面升降造成的海岸变化外，动力、风化、化学侵蚀、生物作用等也经常改变着海岸地貌。波浪对岸滩演变有突出作用，海蚀崖和海滩台地主要是波浪作用的结果。波浪的作用表现为冲击淘刷、磨损及搬运。破碎波以强大的压力和很高的速度冲击着崖岸，淘刷出一条水平海蚀穴，上面的岸石因失掉支持而坍塌下来。坍塌下来的物质可能迅速被波浪及水流带走，崖脚前面形成有向海缓坡的海蚀台地(图1.3(a))；另一种情况是坍塌物质的较粗部分聚集在崖脚，较细部分被带往离岸较远之处(图1.3(b))。有的海岸不存在海蚀崖，海岸物质坍塌很快，形成斜坡，波浪作用只是将坍塌下来的物质运走(图1.3(c))。海蚀崖前的块石受波浪作用、继续分解或因滚动而不断磨损，变成砾石及粗砂。海滩台地亦同时受到磨损。

浪花的飞溅和潮汐涨落使崖岸的一部分间湿间干，使岩石风化，产生剥蚀，岩石表面风化后出现许多孔洞。风化作用起因于海水和岩石矿物间的化学反应。含有大量碳酸化合物的岩石对于海水的化学作用特别敏感，海岸石灰岩每年可蚀掉0.5到1.0毫米。生物对海岸既有侵蚀作用，又有建设作用。对于岩石海岸，侵蚀作用较为显著。最著名的是一种蓝绿海藻，它分泌草酸，可溶解碳酸钙，对于热带石灰岩的侵蚀作用显著，孔洞深达数毫

米。这为啃食岩石的生物，主要是软体动物，提供了进一步破坏岩石的条件。有些无脊椎动物钻入岩石，寻求食物及隐避场所。

崖岸侵蚀速度与岩石种类及岩层走向有关。整体火成岩、多数变质岩和某些石灰岩能耐波浪侵蚀，海角常是这种岩石构成。沙岩和页岩比较容易粉碎。层理甚多并夹有软弱层的岩岸或存有断层的岩岸，均易受波浪侵蚀；如图1.4的海岸岩层夹有软弱层，岩层走向与海岸线正交，结果是坚硬的岩层形成海角及海芽，有时还可形成海门，软弱的岩层形成海湾。如果岩层走向与海岸线平行，侵蚀情况将不同。侵蚀最快的是古冰川遗留的没有固结的沙石海岸，每年后退可达1.75米。

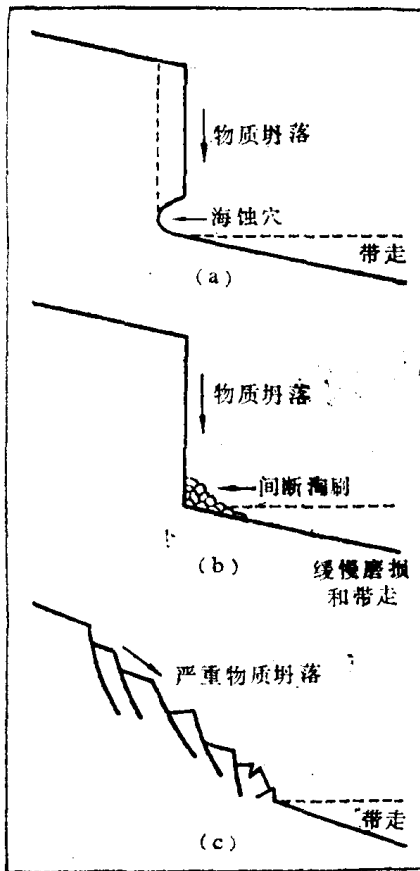


图1.3 波浪对海岸的侵蚀

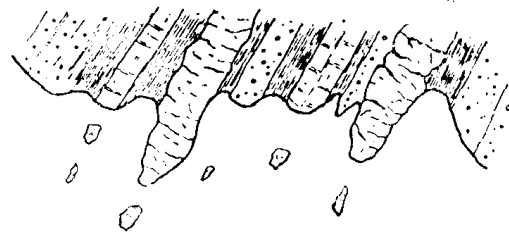


图1.4 岩层与海岸线正交并夹有软弱层的岩岸侵蚀情况

## 五、海岸的堆积

崖岸或斜坡岸受到侵蚀，岸前堆积物质逐渐增多，形成海滩。海滩及外滩物质受波浪作用，使它的横断面发生周期性变化，这将在后面详讲。除海滩之外，还有各种由于物质堆积而存在于海岸的地貌特征。一种是沙咀，它的一端与岸连接，另一端则自由发展，发展方向与沿岸输沙占优势的方向相同，并且是临近海滩的继续，如图1.5；但有时沙咀脱离海岸的走向，几乎与常见的波向成直角。沙咀的自由端常形成钩状或反向弯曲（图1.5），这是由于在自由端发生波浪绕射或由于不同方向波浪的存在。旧钩与发展中的新钩方向相

同(图1.6)。沙咀常出现在曲折海岸,它们横着湾口生长,有时可将海湾封死,使岸线向平直发展。当沙咀发展到岸外岛屿时,即形成沙颈岬(或称连岛坝)。沙颈岬亦可由三角岬发展形成(图1.5)。这种三角岬的形成是因为海岸的一段受岛屿荫蔽,沿岸输沙能力减弱之故。形成三角岬的另一原因是两向沿岸输沙的交聚(图1.5)。世界上许多低陆海岸存在着与大陆海洋平行的沙岛(或称沙坝),沙坝与大陆之间有泻湖或海湾(图1.5)。在海潮比较小和波能比较弱的海岸,沙岛最容易发展。沙岛的形成一说是由于破碎波搅起的海底沙堆积而成;另一说是由于与海岸平行沙咀的延伸。还有其他说法,尚未最后定论。另外一种堆积特征是沿岸古堤,它们的走向与海岸平行,高度不大。每条堤代表了当时的海岸线位置。它的形成过程和沙岛相似,最初是外滩水下沿岸沙坝,以后在高潮水位和特大风暴中增高,低潮水位时露出水面,把原来的海滩隔离起来。沿岸古堤一般由砾石或贝壳构成,很少由沙构成,因为细颗粒泥沙均被暴风波卷往深水中去了。

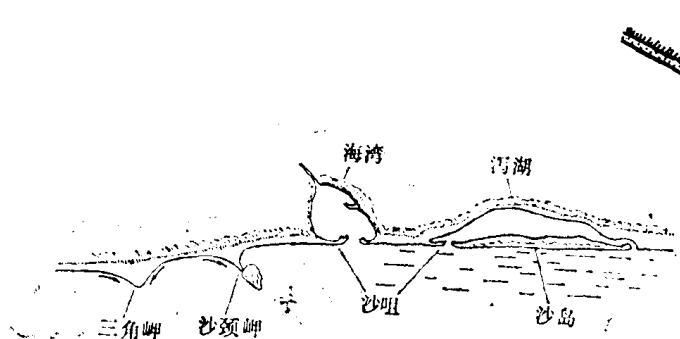


图1.5 堆积海岸地貌特征

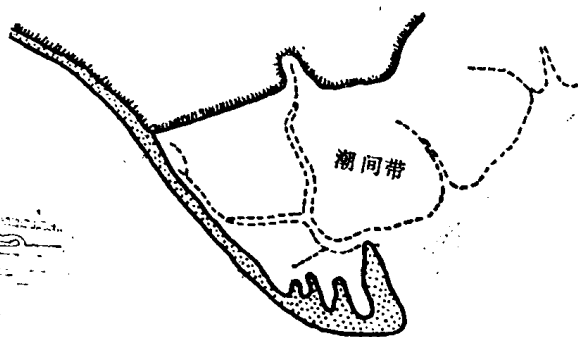


图1.6 有钩沙咀

### 第三节 河口区及河口分类

流入海洋的河道受海洋潮汐的影响,有潮波和盐水入侵。潮波到达的尽头称为潮区界,这里潮差等于零。盐水到达的尽头称为盐水界或潮流界。海水的含盐量平均为30‰,淡水的含盐量一般小于0.1‰。从河口向上,河水含盐量逐渐减小,当河水含盐量减到0.1‰时,即为潮流界。潮流界以下为河口段,由潮区界至潮流界为近口段。口门至水下拦门沙前坡边缘,为口外海滨段。口门是指多年中期平均水位纵向坡降线与平均海平面的交点。近口段、河口段和口外海滨段合在一起称为河口区。口外潮差大于4米者,称强潮河口;在2至4米者,称中潮河口;小于2米者,称弱潮河口,河口平面形状有的成喇叭状,河心有浅滩或沙洲,称为三角港;有的分汊很多,形成三角洲。河口的形态和河道径流流量及输沙量大小、潮汐的强弱及口外风浪情况等有密切关系。当径流量和输沙量很大,而进潮量较小时,常形成三角洲。当径流量与进潮量的比值小于0.1时,常形成三角港。河口区的河槽容积和潮差决定进潮量,钱塘江口潮差大、榕江牛田洋的水域面积宽广,进潮量都很大。两个河口均为三角港。黄河输沙量很大,河口潮差很小,故形成河口三角洲。在河口以外的滨海区,因淡水流入而使海水含盐量减小,因河流扩散而使挟沙沉积,沿岸流和沿岸输沙在河口以外因受河流干扰而落淤,故常在河口外形成拦门沙。

根据河口地貌或其形成过程,河口可分为四种类型:溺谷、峡湾、沙岛、构造。在有宽

广平原的海岸，溺谷河口最多，我国多数河口属于这种类型。峡湾河口的横断面成U形，是受冰川冲蚀而成；河口一般有很高的门坎，是由冰川带到河口的物质堆积而成。门坎水浅，门坎以内则很深，有的达到300~400米。峡湾的顶端常有河川流入，湾内盐淡水汇合，具有河口特征。在门坎很高的情况下，峡湾下部水体长期处于停滞状态。有些河口在口外存在一系列沙岛，径流和潮流从沙岛间的缺口进出。沙岛之内为与海洋平行的狭长水域，往往不只一条河流流入；这些河流的流域一般均不太大，它们的下游由于洋面上升而被淹没，所以也可认为是一种复合河口，部分是由沙岛包围的外湾，部分是溺谷。沙岛内的水域常比较宽浅、潮差不大。我国大清河口外有一系列沙岛，有几条小河同时流入外湾，属于沙岛河口。构造河口是由于地壳活动，如地层断裂或局部沉降而形成的河口。凡不属于上述三类的河口均可列入这一类。

#### 第四节 海岸带和海涂资源开发

我国海岸带和海涂资源丰富。由于人口不断增长，为满足人类对食物、原料、能源等的需要，向海洋进军的呼声日益高涨。合理开发和利用海岸带和海涂资源，可促进国民经济的发展。

##### 一、航运

海洋运输在国民经济中占有重要地位。1978年，我国铁路占货物周转量的54.44%，公路占2.79%，水运占38.49%（包括内河运输）。1980年，交通部直属三大海运单位完成货运量9596万吨，货物周转量2381亿吨海里<sup>1)</sup>。我国有远洋运输船舶约1300万吨，有80多个大小沿海港口，年吞吐量约2~3亿吨。目前，海港吞吐能力仍然是海运中的薄弱环节，压船、压货、压车现象相当严重，影响对外贸易，经济上也造成很大损失。我国计划建造更多的深水泊位，除扩建原有港口外，还要开辟一些新的港口。近年来，货船吨位和吃水深度不断增加，油轮和散货轮增加更快。目前，远洋油轮最多的为20~30万吨级，远洋散货轮运费较经济的为10万吨级。海港入港航道不断浚深，世界上许多老港的航道已浚深到13米。最近设计的海岸及河口深水港航道多为18米，再过20年，估计可能增加到30米。我国大陆及沿海岛屿的深水岸线和港湾是国家的宝贵财富，必须留作开发海洋资源和开展海洋航运的基地，千万不可滥填滥用，或不顾航行要求，任意堵港建闸，损害航道深度。海运运量大、耗能少、成本低、劳动生产率高，有许多优点。我国沿海货轮与铁路机车相比，每完成千吨公里周转量所耗的柴油，前者为4.53公斤，后者为5.61公斤。1978年，上海和广州海运局的平均运输成本为3.82元/千换算吨公里，而全国铁路为8.99元/千吨公里。1978年，我国沿海运输的劳动生产率为310~383万吨公里/人年，远洋运输为524万吨公里/人年，全国铁路只有47.8万吨公里/人年。海运是对外贸易的主要和无法替代的运输手段。海运航道是天然的，航船数月在海上几乎是不受限制的。开辟海运航线，只需花费少量勘测和设置导航设备费，而无论是公路或铁路，建筑费都很高，并且需占用大量土地。长江在汉口以下可通航万吨轮船，还有几条河流的河口段可通航三千至五千吨级轮船，所以发展海运

1) 1海里=1.85公里。

和江海联运在我国大有前途，潜力很大。

## 二、围垦

我国河流每年输入海的泥沙有20多亿吨，使河口三角洲及附近海岸不断向海增长。我国地少、人多、沿海人口稠密，有的地区每人平均拥有土地不到一亩，所以当海涂增长到适宜高度时，围海促淤，洗盐造田，是完全合理、并且必要的。据初步估计，新中国成立后，全国已围垦海涂一千多万亩。海涂适于围垦的高度各地不同。在珠江三角洲，海涂高度达到0~+1米时，最适宜围垦。这里高潮时引淡灌田，低潮时排碱出围，围内排灌渠道进出口设闸控制，必要时用电力排灌。滩面没有达到适当高度就围垦，不仅需建高堤，从而提高工程费，被围的水面也不能充分利用。例如，广东汕头地区的澄饶联围，框围总面积72 600亩，实用面积28 800亩，有20 000亩水深为-1~-3米，既不能耕种，也不能养殖。新中国成立后，汕头地区共围垦44.2万亩，效益较好的占40%，效益不显著的占30%，并使海水养殖面积减少10万亩。围堤高度有的高达十余米，每亩土地投资高达千元以上。广东湛江地区为丘陵岗地，不能建造蓄水较多的水库，围海造田56万余亩，因缺水不能种植的12.6万亩，已经种植的也因灌溉用水不足而产量很低。福建宁德县兰田海涂原是蛤苗基地，年产蛤苗近2万担<sup>1)</sup>，由于东湖塘围垦，致使蛤苗绝产。而过去片面强调以粮为纲，不顾水产、航运、制盐等方面的利益，盲目地进行农业围垦，造成不良后果。今后应在深入调查研究的基础上，统筹规划，做到因地制宜，充分利用海涂资源，提高经济效益。

## 三、植物

海滩及海涂天然植被可分为盐生植被及砂生植被。盐生植被又可分为陆生、沼生及水生三类。陆生、盐生植物分布在沿岸盐渍地，随着土壤盐分递减和有机质递增而变化种类。以江苏省海岸带为例，从盐蒿、大穗结缕草、獐毛，硷蒿、茵陈蒿，发展到白茅群落。演替进程到白茅落阶段，土壤盐分已低，有机质则高，即可开垦为农田。沼生盐生植被分布在潮间带、沿岸低洼沼泽地，主要有大米草、糙叶苔、扁秆蔗草、芦苇群落等。大米草1963年从欧洲引进。演替发展到芦苇群落阶段，开沟排水、即可开垦利用。水生盐生植物有川蔓藻、狐尾藻、金鱼藻群落。砂生植被有筛草，窝食群落、蔓荆子群落。海岸带盐生植被起着改良盐渍土的作用，对海岸带有保护作用。芦苇为造纸及建筑材料，大米草可作猪饲料。人工栽培的纤维植物有芦竹、桑、红麻、黄麻、碱水草等。海岸带野生植物可供药用的有100种左右，常见的栽培植物有30多种，如茵陈蒿、车前草、远志、枸杞、大蓟、知母、柴胡、桔梗、丹参、杜仲等。香料植物主要有薄荷、留兰香等。油脂植物有蓖麻及乌桕。

## 四、海洋生物

渔业是我国的传统海洋事业，有着悠久的历史。我国大陆架宽广，水产资源丰富。仅大陆架渔场面积就有150余万平方公里，约合22亿亩，超过全国耕地面积。栖息在我国

1) 1担=100市斤=50公斤。

海域的鱼类有1500多种。其中最主要的经济鱼类有几十种，如带鱼、大黄鱼、小黄鱼、鲅鱼，以及虾、蟹、乌贼等。我国还有小于15米水深的近海水域和滩涂2亿多亩，可养殖鱼、贝、虾、藻等人民喜爱的海产珍品。海洋生物是再生资源，是受生态规律制约的。据估计，我国海洋鱼类的自然捕捞能力为每年1000万吨左右。1980年，我国渔获量近450万吨（不包括台湾省，台湾1979年捕鱼92万吨），比建国初期增长9倍。这年我国渔获量占全世界的6%，居世界第三位，年产值20多亿元，占全国农业生产的1.25%。1980年，全国海水养殖面积已达207万亩，人工养殖的生物有鱼、虾、贝类、海马、海带、紫菜等，年产量达46万吨。海洋生物对海水有机物质及氮、氧、磷、盐、含沙量、温度、流速、风浪、海涂土质等自然环境有一定要求。破坏了所需要的环境，就影响海洋生物的繁殖和生长。我国海洋渔业存在的问题是对渔业资源缺乏深入的调查研究，对渔场形成与变化规律掌握不够清楚，对现有渔场缺乏科学管理，滥捕幼鱼幼虾，造成资源破坏，还有局部海域遭受污染，使渔业受到影响。深水和外海远洋渔业急需发展。

### 五、海水化学资源

海水溶有3.5%的无机盐，全球13.7亿立方公里的海水含盐量高达 $5 \times 10^8$ 亿吨之多。各种元素的浓度和总含量见表1.2，氯和钠两种元素占总含量的85%。公元4千年前，“宿沙氏煮海为盐”（见《世本》），我先祖就已掌握了晒盐技术，至今仍然是从海水中取盐的最经济手段。1980年，我国盐田面积已扩展到478.7万亩，生产海盐1356万吨，居世界首位。现在我国已有50多个盐化工厂，产品超过32种。不少品种为我国重要出口物资，如氯化钡畅销58个国家。我国海水淡化的研究取得了可喜成绩，日产200吨淡水的电渗析淡化器已在西沙群岛投入生产，水质符合国家标准。我国每年从苦卤中提氯化钾3万多吨，提溴3千多吨，都还不能完全满足我国需要，必须进口一部分，我国还缺碘，每吨碘的价格在1981年已上涨到16000美元，盐化工业还大有发展余地。

表1.2 海水部分化学元素的含量

元 素	浓度 (mg/L)	海水中的总含量 (t)	元 素	浓度 (mg/L)	海水中的总含量 (t)
氯	19 000	$29.3 \times 10^{15}$	锶	8	$1.2 \times 10^{13}$
钠	10 500	$16.3 \times 10^{15}$	硼	4.6	$0.71 \times 10^{13}$
镁	1 350	$2.1 \times 10^{15}$	锂	11	$0.026 \times 10^{13}$
钾	380	$0.6 \times 10^{15}$	铀	0.003	$5 \times 10^9$
溴	65	$0.1 \times 10^{15}$	金	0.00004	$6 \times 10^6$

### 六、水利

海岸带可以开发利用的淡水资源有河道带来的内陆径流和地下淡水，开发时应采取慎重态度，天津新港吸取地下水，引起了陆地的下沉。为了拦蓄淡水和防止海水及风暴潮入侵，发展农田灌溉，解决城市及工业用水，我国在许多中小河口建了挡潮闸，防咸蓄淡。建闸以后，闸上下普遍淤积，影响航行、泄洪和渔业生产。海河和甬江情况比较突出。西



辽河于1969年在距河口61.3公里的盘山镇建挡潮闸，闸的泄洪能力为3000米<sup>3</sup>/秒，滩地泄洪2000米<sup>3</sup>/秒，除汛期泄洪外，平时不开闸。到1980年，闸下3.7公里河段主槽淤积，过水面积缩小19.3%，泄洪能力降低40%。福建省九龙江由西溪、北溪汇合而成，两溪均在河口建了挡潮闸，枯水蓄水、洪水泄洪，也引起了闸下严重淤积，威胁着厦门西水道新建东渡码头的航道和港池水深。

## 七、矿产

我国大陆架海底的石油、天然气资源非常丰富，目前还处于勘探阶段，实际蕴藏量尚未摸清。渤海从1964年开始勘探，已打井百余口，有30多口井获得工业油流。在渤海南部中日合作区已发现三个含油构造。1981年打的一口高产井，日产原油1000吨，天然气60万立方米。1963年起，在南海珠江口盆地、北部湾东北部、莺歌海等海域进行钻探，油气显示良好。在北部湾、中、法合作区打出了高产油气井。我国的黄海、东海、台湾海峡和钓鱼岛海底可能是最大的石油产区，我国地质部在东海打的探井，油气显示甚优。

我国沿岸矿砂资源也相当丰富，具有重要的工业经济价值。例如：广东省沿岸有金红石、独居石、锆英石等，其中含钛的金红石是发射火箭的固体燃料；独居石中所含的稀有元素铈可用于飞机及火箭外壳，钍可用于反应堆和微型电路；锆英石中的锆能耐高温、抗腐蚀，是核潜艇、反应堆所需的重要材料。辽东半岛发现金钢石矿床。广泛分布于海岸带的石英砂是建筑材料。闽江砂含二氧化硅95%以上，平潭砂含二氧化硅97%以上，可用于制造玻璃。福建沿海发现大型钼矿，我国广东、山东和辽宁沿海有类似的地质条件，有待勘探。海洋底部发现锰结核，含有20种以上的金属元素，以锰、镍、铜的含量最高，均超过陆地矿石的品位，在国际上引起重视。我国在太平洋3000至5000米水深的洋底采集到锰结核。有人估计洋底锰结核储量可达 $3 \times 10^{12}$ 亿吨。随着潜水技术的发展，开发海洋矿产资源，正在由浅海向深海发展。

## 八、能源

利用潮汐能量、波浪能量和海洋表层和深层水温不同，均可发电。我国沿海蕴藏的潮汐能源估计为1.1亿千瓦，其中可开发利用的约为3580万千瓦，每年可发电870亿度。潮差愈大，潮汐能量愈大。我国闽浙两省潮差大的海湾及河口较多，潮汐能源丰富，其中以钱塘江口最大。1978年，山东省乳山县白沙口潮汐电站开始发电，装机容量960千瓦，年发电量230万度。1980年，浙江江厦潮汐试验电站开始发电。该电站为单库双向，有6台500千瓦机组，年平均发电量1070万度，但造价较高，水库逐年淤积，库容在缩小；还有设备腐蚀和生物附着问题，有待研究解决。总之，潮汐发电在我国还处在试验阶段。波浪能量与波高的平方成正比。我国波浪能量大约为1.5亿千瓦，迄今只做过些小型试验。我国南海位于热带，全年表面水温25—28℃，比深层高20℃左右，估计可开发的发电容量为20亿千瓦，但尚未开展这方面的研究工作。海洋能源蕴藏量大，不造成污染，相对安全，可以再生，有许多优点；缺点是密度小，稳定性差，开发费用高，潮汐发电站每千瓦的投资约为3000~3500元，为内河水力发电站的2~3倍，火力发电站的5~6倍。