

# 海岸动力地貌

王宝灿 黄仰松 编著

华东师范大学出版社

1737  
1

# 海岸动力地貌

王宝灿 黄仰松 编著

华东师范大学出版社

**海岸动力地貌**

王宝灿 黄仰松 编著

---

华东师范大学出版社出版

(上海中山北路3663号)

新华书店上海发行所发行 江苏阜宁印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 19 字数: 470千字

1989年10月第一版 1989年10月第一次印刷

印数: 001—3,000本

---

ISBN7-5617-0351-1/K·033 定价: 3.85 元

## 前 言

海岸动力地貌学是一门与生产实践紧密结合的学科。随着我国社会经济的发展和为实现四个现代化建设高潮的兴起，海岸带自然资源的开发利用，已引起地理、地质、地貌、海洋、生物、环境保护、交通、水利以及海岸工程等部门的日益重视。作者长期从事海岸科学研究和教学工作，在学习和吸取国内外海岸科学研究新成果的基础上，编写了本书。本书内容以阐述海岸地貌的动力过程为主，并注意结合生产实践方面的应用。我们力求本书适合于河口海岸的研究生和地理系地貌专业学生的教材，并可供有关科研和生产单位的研究工作者参考。

本书主要由王宝灿教授、黄仰松讲师编著。胡方西教授参加本书第二章的编写和修改，陈卫跃和沈健两位讲师参加本书第二章、第六章、第七章、第八章及第十一章中的部分章节编写和修改。学部委员施雅风教授对第三章进行了审阅，并提出宝贵意见；金庆祥副教授对本书初稿进行了审阅，并提出宝贵修改意见；彭仕齐副编审对全书文字和图件逐一详细审核；附图由浦美燕、宋德芳、戴仲美三位同志清绘，在此一并表示衷心感谢。

由于我们的经验不足，水平有限，错误和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	( 1 )
<b>第二章 潮汐、波浪和水流</b> .....	( 5 )
一、潮汐的成因及其变化规律 .....	( 5 )
(一) 潮汐类型 .....	( 6 )
(二) 潮汐的成因 .....	( 6 )
(三) 潮汐的周期性变化 .....	( 9 )
(四) 地形对潮汐的影响 .....	( 10 )
(五) 潮流 .....	( 12 )
(六) 中国近海潮汐 .....	( 14 )
二、波浪 .....	( 19 )
(一) 波浪要素 .....	( 19 )
(二) 基本方程 .....	( 20 )
(三) 小振幅波理论 .....	( 21 )
(四) Stockes 波 .....	( 25 )
(五) 近岸波 .....	( 26 )
三、大洋环流和沿岸流 .....	( 32 )
(一) 大洋环流系统 .....	( 32 )
(二) 渤海、黄海、东海的环流 .....	( 37 )
(三) 沿岸流系 .....	( 39 )
<b>第三章 海平面变化</b> .....	( 41 )
一、影响海平面变化的因素 .....	( 41 )
(一) 地壳运动及其对海面变化的影响 .....	( 41 )
(二) 海面升降运动 .....	( 43 )
(三) 海盆容积的变化 .....	( 43 )
二、海面的长周期性变化 .....	( 44 )
(一) 冰期和间冰期的海面升降变化 .....	( 44 )
(二) 全新世海侵过程 .....	( 47 )
三、现代海面变化过程及其对海岸的影响 .....	( 52 )
(一) 现代海面的变化趋势 .....	( 52 )
(二) 海面的季节性变化 .....	( 52 )
(三) 海面变化与海滩塑造的关系 .....	( 57 )
<b>第四章 海滩物质</b> .....	( 59 )
一、海滩物质的组成与物性 .....	( 59 )

(一) 机械成分 .....	( 59 )
(二) 孔隙度 .....	( 61 )
(三) 渗透性 .....	( 62 )
(四) 物质的组成与来源 .....	( 63 )
二、取样与测试 .....	( 65 )
(一) 取样的代表性 .....	( 65 )
(二) 砾石的野外量测与统计 .....	( 66 )
(三) 筛析法 .....	( 68 )
(四) 沉降法 .....	( 68 )
(五) 光电分析法 .....	( 70 )
(六) 石英颗粒表面特征研究 .....	( 72 )
三、海滩物质结构 .....	( 75 )
(一) 正态分布(高斯分布) .....	( 75 )
(二) 粒度分布曲线 .....	( 76 )
(三) 粒度参数的计算(矩值法) .....	( 77 )
(四) 粒度参数及其环境意义 .....	( 83 )
四、海滩物质的分异作用 .....	( 87 )
(一) 粗颗粒(砾)的形状分异 .....	( 88 )
(二) 细颗粒的沉降分异 .....	( 89 )
<b>第五章 基岩海岸 .....</b>	<b>( 91 )</b>
一、海岸轮廓与地质构造的关系 .....	( 91 )
(一) 板块运动与海岸发育的关系 .....	( 91 )
(二) 中国海岸轮廓与地质构造的关系 .....	( 94 )
二、组成海岸的岩性与海蚀作用的关系 .....	( 96 )
(一) 不同岩石性质对海蚀作用的影响 .....	( 96 )
(二) 海蚀地貌 .....	( 97 )
三、海滩岩 .....	( 105 )
<b>第六章 沿岸泥沙的横向运动和海滩剖面塑造 .....</b>	<b>( 108 )</b>
一、波场中的泥沙运动 .....	( 108 )
二、中立线或平衡线 .....	( 110 )
三、海滩平衡剖面的塑造过程 .....	( 114 )
(一) 海滩剖面塑造的理论分析 .....	( 114 )
(二) 涌浪和暴风浪海滩剖面塑造过程 .....	( 117 )
(三) 海滩剖面塑造模式 .....	( 120 )
<b>第七章 沿岸泥沙的纵向运移 .....</b>	<b>( 127 )</b>
一、波浪的斜向入射和沿岸流的形成 .....	( 127 )

二、泥沙的沿岸输移 .....	(131)
(一) 沿岸输沙的定性描述及其与海岸地貌演变的关系 .....	(131)
(二) 沙质海岸沿岸输沙率的计算 .....	(134)
(三) 悬推比和淤泥质海岸输沙率 .....	(138)
三、海岸廓线变形的数学模拟 .....	(139)
四、泥沙输移的示踪研究方法 .....	(142)
五、沿岸输沙计算实例 .....	(145)
<b>第八章 沙质堆积地貌</b> .....	(147)
一、主要由泥沙横向运动所形成的地貌 .....	(147)
(一) 海滩 .....	(147)
(二) 水下沙坝及其形成过程 .....	(150)
(三) 脊槽型海滩 .....	(152)
二、主要由泥沙纵向移动所形成的地貌 .....	(154)
(一) 沙嘴及其形成过程 .....	(154)
(二) 连岛沙洲及其形成过程 .....	(156)
三、韵律地形与边缘波 .....	(157)
(一) 对韵律地形成因的几种看法 .....	(159)
(二) 边缘波与韵律地形的关系 .....	(160)
(三) 边缘波类型和海滩地形特征 .....	(163)
四、海岸沙丘 .....	(166)
(一) 风沙起动和影响因素 .....	(167)
(二) 海岸沙丘的沉积特征 .....	(169)
(三) 沙丘类型 .....	(170)
<b>第九章 堡岛——泻湖海岸</b> .....	(174)
一、堡岛的成因和沉积特征 .....	(175)
二、潮汐通道和潮流三角洲 .....	(183)
(一) 潮汐通道 .....	(183)
(二) 潮流三角洲 .....	(184)
三、泻湖和泻湖沉积环境 .....	(185)
<b>第十章 河口和三角洲</b> .....	(188)
一、河口概念 .....	(188)
二、河口分类 .....	(189)
(一) 自然地理的分类法 .....	(189)
(二) 盐度结构分类法 .....	(190)
三、河口过程与泥沙沉积规律 .....	(195)
(一) 惯性力支配下的水流及其沉积规律 .....	(196)

(二) 浮力支配下的水流及其沉积规律 .....	(198)
(三) 摩擦效应支配下的水流及其沉积规律 .....	(200)
四、三角洲 .....	(203)
(一) 影响三角洲形态的因素 .....	(204)
(二) 三角洲分类及主要类型 .....	(208)
<b>第十一章 淤泥质海岸 .....</b>	<b>(217)</b>
一、淤泥质潮滩发育的过程 .....	(217)
(一) 概述 .....	(217)
(二) 潮间带的水动力特征与泥沙输移 .....	(218)
(三) 潮滩动力条件与沉积结构和构造的关系 .....	(226)
二、不同类型的淤泥质潮滩的基本特征 .....	(229)
(一) “瓦登”海潮滩的基本特征 .....	(229)
(二) 河口—海湾型潮滩的基本特征 .....	(231)
(三) 开敞海岸型潮滩的基本特征 .....	(233)
三、沉积速率的测定 .....	(236)
四、平原海岸的发育过程 .....	(242)
(一) 路易斯安娜沼泽沙脊 (Chenier Plain) 平原的发育过程和沉积特征 .....	(242)
(二) 墨西哥纳亚里特滩脊 (Beach ridges) 平原的发育过程 .....	(245)
(三) 中国渤海湾西部和江苏北部的平原海岸 .....	(247)
<b>第十二章 生物型海岸 .....</b>	<b>(250)</b>
一、海岸过程中的生物作用 .....	(250)
二、红树林海岸 .....	(251)
三、珊瑚的生态与珊瑚礁 .....	(253)
四、珊瑚礁的形态及其结构 .....	(255)
(一) 岸礁 .....	(255)
(二) 堤礁 (堡礁) .....	(257)
(三) 环礁 .....	(257)
五、珊瑚礁海岸的发育与演化 .....	(259)
<b>参考文献 .....</b>	<b>(263)</b>



# 第一章 绪 论

海岸动力地貌学是一门与海岸自然资源的开发利用紧密结合的学科。它是研究在海与陆这两个主要对立因素相互作用下，海岸地貌的发生和发育过程以及演变趋势。

世界海岸线（包括北极区和南极区）的总长度约为44万公里。它是全球的海洋和陆地的分界线。在新近的地质历史时期里，与海岸发育紧密相关的是全球性气候曾发生多次冷、暖交替变化及其所伴生的海面升降变化，从而导致海岸线也相应地发生多次较大幅度的水平迁移。直至全新世时期，气候回暖，积聚在大陆上的大部分冰盖和冰川消融，滔滔的溶流又汇入海洋，海面迅速上升，大约在距今6000年左右抵达现海平面。在海、陆交会的特殊地带内，组成这一地带的地质构造和岩性与波浪、潮汐等海洋动力条件相抗衡，与此同时，气候因素、河川径流、生物活动都以不同的方式与海岸过程结合在一起。在这错综复杂的过程中，构成了现代海岸线蜿蜒曲折的形态，不论是在陡峭崎岖的基岩侵蚀海岸，或者是在泥沙活动频繁的堆积海岸和河口三角洲，千姿百态的地貌和沉积物的构造及结构都是海岸过程的记录。从这些记录可以看出：海岸是指处在陆地、海洋、大气和生物等四大圈层相互交会的特殊地理位置。这一特殊的地理位置赋予海岸动力地貌学在学科性质上具有边缘学科的特性。

海岸，对人们来说它具有很大的魅力，这并不仅是它具有引人入胜的千姿百态的地貌特征，更重要的是它的地理位置和特殊的自然资源，所以海岸早已成为人类经济活动频繁的地区。从我国沿海地区多处发掘的古文化遗址来看，海岸也是人类最早的开发地之一。当橹、帆一出现，海洋成为人们捕取鱼类和通往彼岸的时候，海岸便日趋繁荣。由于海岸本身所具有的重要资源价值，而且给人们带来重大的经济效益，在那里有一些天然的河口、海湾可供发展航运和对外贸易的港口，还蕴藏着丰富的水产、土地、矿产等资源以及旅游胜地，都日益引起人们对海岸资源开发利用的重视。同时，海岸又是国家的门户，更显示出它的地理位置对国家的重要性。世界上有海岸的国家为一百多个。这些国家都在沿海地区兴建海港、工商业城市、海陆交会的交通运输网。目前，世界上有将近2/3的人口居住在海岸及其邻近的内陆地区。许多国家已经把开发利用海岸和海洋资源作为基本国策之一。随着人类社会和经济发展，向海洋开发新资源是必然的趋势，许多政治家和经济学家都预言21世纪将是“海洋经济时代”。海岸的开发利用也将达到更高的程度，同时，人为因素对海岸环境的影响更加突出。目前，海岸及其邻近的浅水海域环境正遭受沿海城市和工农业污水、废物的污染、海岸工程设施、矿产资源开采等重大影响，已经引起各国的重视，也使海岸动力地貌学增加了新的研究课题。

全世界的海岸类型是多种多样的，仅就它们的物质结构来说，就有明显的差异，有些海岸是由不同的岩性、不同抗蚀强度的岩石组成的；有些海岸是由不同泥沙粒级、不同固结程度的沉积物组成的，如砂砾沉积、粉砂质粘土或粘土质粉砂沉积物；有些海岸是由珊瑚礁构成的；有的海岸则生长着耐盐碱的植物群落。不同物质结构的海岸都有各自的水下岸坡宽度，它们促使来自外海的潮波和波浪在性质上产生变化，与此同时，水下岸坡也在被改变的海洋动力作用下产生冲淤变化和调整剖面形态。水下岸坡是海岸或海岸带活动频繁的地带，也是海岸动力地貌学研究领域中的重要地带。

从海岸的发育过程和动力环境来看，海岸带是由几个不同的环境单元组成的。试就理想的结构图式来表达海岸带各环境单元的界线以及有关专业名词的基本概念（图1—1）。

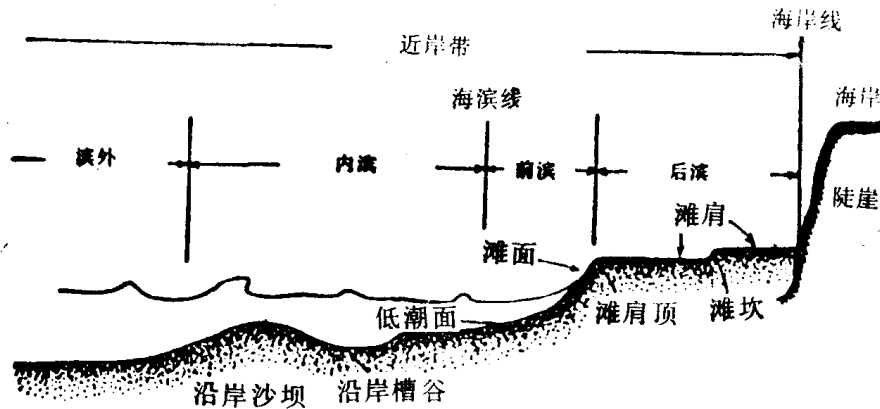


图1—1 海岸带结构图

**海岸带：**包括海岸地区和近岸带。从海岸陡崖向陆延伸至海成阶地或沙丘地等为海岸地区。海岸带有一些较大的地形，如大小海湾、泻湖、海岸沙丘、河口和三角洲。因此，海岸带的向陆界线很不固定。1980年我国为了确定全国海岸带调查的范围，将内界暂定为向陆延伸10公里。从海岸陡崖的基部或海岸线向海方向穿过海滩至波浪、水流频繁活动的破波带外缘，这一范围为近岸带。对近岸带外侧界限的深度，一般取水深等于 $\frac{1}{2}$ 波长的深度，也即为海岸带的外界。我国取10米—15米水深处作为海岸带向海延伸的界线。

英曼 (Inman D.L.) 曾提出：海岸带的水域可以考虑包括浅海和整个陆架。虽然近岸浅海的底部是整个陆架的组成部分，水域也是相互依存的，陆架沉积物中仍留有新近地质时期海陆交替变化的残迹，但是，从学科的性质来看，海岸动力地貌学研究领域的海岸带，其外界只好限于与海岸发育直接相关的、泥沙运移和冲淤变化频繁的地带。

根据近岸带或海滨带的环境特征，可以划分为后海滨、前海滨和内海滨等三个部分：

**后海滨：**从前海滨的顶部向陆延伸至自然地理特征改变的地方，如海岸陡崖、沙丘或植物生长带。由于沉积物堆积作用和波浪作用是从后海滨逐渐向海方向推移的，并形成一种近于水平的堆积面，有的海滩具有一个以上的堆积面。这种地形称为滩肩 (Beach berm)。滩肩的前沿是一种近于垂直的小陡崖，高度有小于1米的，也有高于1米的，这种地形称为滩坎 (Beach scarp)；滩肩向前海滨转折处，称为滩肩顶 (Berm Crest) 或滩肩边缘 (Berm edge)。在淤泥质海岸上，与沙质海岸相应的后海滨，称为超潮滩或潮上带。

**前海滨：**从滩肩顶或高潮时波浪上冲的界线至低潮时回流消散的界线。前海滨与滩面近乎同义，但前海滨的范围还包括滩面剖面向下延伸的平坦部分。在淤泥质海岸上，相当于沙质海岸的前海滨地带，称为潮间带泥滩或潮间带。

**内海滨：**从低潮位向海延伸到波浪破碎带外缘的水深处，这个地带是破波活动频繁的地带。在沙质的水下斜坡上，通常可以发现一些与岸线走向相平行的沿岸槽 (Longshore trough) 和沙脊 (Sand ridges) 地形，或沙坝 (Sand bars)。在淤泥质海岸上，把内海滨称为潮下浅滩或潮下带。

从内海滨的外缘至大陆架的边缘，称为外海滨。

海岸线和海滨线在学术上的定义是有差别的。海岸线是指海岸与海滨之间的分界线，亦

即海岸陡崖基部的纵向连线。而海滨线是指海面与出露海滩之间的分界线，在有潮海的海滨则有高潮位和低潮位与海滩形成的交切面，分别称为高海滨线和低海滨线。实际上，海岸线的长度和领海范围都是以低海滨线确定的。

波浪从外海滨向岸传播过程，在近岸带的内海滨和前海滨，波浪性质发生明显变化，可以分为破波带，激浪带和溅浪带或爬坡带或上冲带（图1—2）。

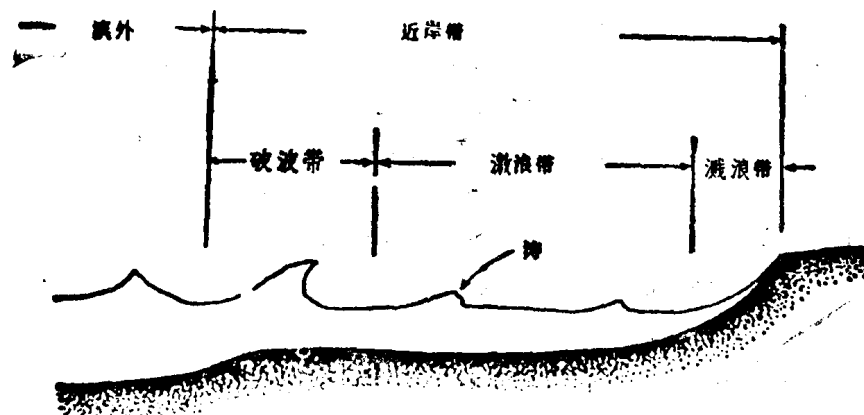


图1—2 波浪在近岸带破碎过程分带示意图

海岸动力地貌学作为一门独立的分支学科，是随着海岸的开发利用而逐渐地充实其科学内容和完善学科体系的。在本世纪初期，海岸研究是在地质构造的基础上对地貌形态进行经典性描述或地理现象的推论。1900年，戴维斯(W.M.Davis)考虑任何天然的地貌形态，可以看作是主动的和不断发育的一个写照，从“构造、变迁和阶段”的推论，把地貌形态划分为“幼年期”、“中年期”和“老年期”的发育循环。1919年，约翰逊(D.W.Johnson)在他的著作《海岸过程和海岸线发育》一书中，对海岸地貌形态进行了较系统的论述。这部著作是海岸研究中一部较早的科学文献，虽然其中许多概念已经过时了，但是仍有一些概念一直沿用至今。如他将海岸领域划分为海岸、海滨、海滨坡面和外海滨等四个带。同时，他按戴维斯的理论，把所有海岸分成两类，即以堡岛为特征的上升海岸和以溺谷、峡湾为特征的下沉海岸。这样分类法是取决于海岸的地貌形态和地质构造，虽然能解释某些宏观的海岸形态，但是它没有考虑海岸泥沙补给和冲离之间的不平衡所引起的海岸快速发育。这种不平衡的结果，可使上升式海岸因侵蚀而表现为下沉海岸的现象。相反地，下沉式海岸因快速淤积而呈现上升海岸的现象。

本世纪三十年代，为了海防和舰艇活动的需要，对海岸研究成为重要课题，开辟了近岸带的泥沙运移、水下地形冲淤变化以及它们与近岸带水动力条件内在联系的探索。在地中海和英国南部开展水下沙坝动态的研究，并开展了室内模型试验。海岸地貌的研究已从形态描述进入动态分析和形成机制研究的阶段。这一阶段的代表性著作，如苏联海岸地貌学家曾科维奇(В. П. Зенкович, 1946)的《海岸动力学与地貌学—波浪过程》论著，比较系统地论述了海岸侵蚀和堆积及其与水动力条件的关系；英国地理学家史蒂尔斯(J.A.Steers, 1954)的《海岸》，对水下沙坝和滩脊的成因从泥沙来源和波浪条件进行了探索。

五十年代以来，海岸自然资源的开发利用已日渐引起各国科学界的注视，交通运输和对外贸易事业的发展，国防建设等都需要大规模的港口建设，以适应国防和经济发展的需求；

特别是大陆架石油钻探和产油对海岸的开发利用提出新的要求；海岸的侵蚀、堆积与防护；航道和港口泥沙来源问题；围海造陆等等。海岸的研究工作进入现场数值观测与室内物理模拟相结合。采用新的仪器设备着重研究沿岸的海洋动力条件与泥沙运移的关系，输沙计算，使海岸研究进入半定量的阶段。一些探讨性的假设已得到实践的检验，并在理论上有了创新。这个发展时期的代表性著作有：英国学者金(C.A.M.King, 1972)的《海滩和海岸》，她结合自己的研究成果和其他研究者的实验成果，系统地论述了海岸与海滩发育的过程；克列因(George Devries Klein, 1976)主编的《全新世潮汐沉积》，搜集了淤泥质潮滩研究的部分论文，其中论述了悬浮物质迁移和堆积过程中的冲刷滞后和沉积滞后的动力机制；科马尔(P.D.Komar, 1976)的《海滩过程和沉积作用》，系统地讨论了波浪、潮汐、沿岸流与海滩泥沙输移的关系，并采用经验关系式和数学模式计算输沙量和海滩的冲淤规律；戴维斯(R.A.Davis, 1978)的《海岸沉积环境》和利德尔(M.R.Linder, 1982)的《沉积学》都涉及河口的动力机制与三角洲沉积的关系。

从近岸带的海洋动力条件与海滩冲淤变化紧密结合的研究中，已获得重大的进展。由于海岸带的自然现象是相当复杂的，仅就近岸带的水体运动和泥沙运移而论，二者在破波带的活动是相当紊乱的，要想在破波带建立水动力与侵蚀、堆积、泥沙活动之间的关系是相当困难的，还有待于新技术和实验设施的运用和充实。

近几年来，对破波带的研究，采用现场观测，积累资料，并与物理模型、数学模型相结合；遥感卫片的分析以及其它新的测试仪器已应用在这一复杂的地带。这些研究方法有助于海岸研究从半定量进入定量阶段，并预报海岸变化的趋向。

我国大陆的海岸线长度有18000公里，沿海有6000多个大小不一的岛屿，这些岛屿的岸线总长度约为14000公里。海岸类型繁多，自然资源丰富。但是，我国海岸的系统研究工作起步较晚。早期的研究也是着重于海岸的地质构造基础和地貌形态的描述，如1912年德国学者李希霍芬(F.V.Richthofen)在其著作《中国》一书中提出：“中国海岸线以杭州湾—舟山群岛为转折点，在该群岛以北的海岸属于上升海岸，以南则属于下沉海岸”的论点。这实际上是沿用戴维斯的理论，从地质和地貌形态划分中国海岸类型，鉴于当时的研究条件，忽视了冰后期海面上升幅度、沿岸泥沙冲淤不平衡等对海岸过程的影响。1951年，陈国达在《中国岸线问题》一文中，从地质构造的观点，论述我国海岸升降问题。1959年，陈吉余在《长江三角洲地形发育》一文中，论述长江三角洲发育的规律。1959年为探索天津新港的泥沙来源问题，组织全国部分高等学校的地貌研究工作者及部分研究单位的水文、海洋物理学研究人员一起，在渤海湾西岸开展了海洋水文、地貌和泥沙运移的综合调查。此后，结合我国国民经济的需要，海岸动力地貌研究人员在港址选择、航道疏浚、港口扩建、围垦护岸等等作出卓有成效的工作，并对各相关岸段开展较系统的研究。继1979年在浙江温州地区的全国海岸带和海涂资源综合调查之后，1980年开始全国沿海省市的海岸带资源综合调查，为摸索和开发利用我国海岸资源积累了丰富的资料。现场观测与室内模型试验相结合的研究方法已在我国海港、护岸工程的实践中得到检验，数模计算和新技术设备以及遥感信息处理也在海岸带的研究中加以应用。在我国河口、海岸的研究中，尚存在着许多问题，如我国河口沉积的动力机制，淤泥质潮滩的冲淤规律，沿岸泥沙活动的机制等等，必须进一步进行现场测试，积累基本数据，才能建立具有中国河口、海岸特色的学科体系。

## 第二章 潮汐、波浪和水流

在海岸水域活动的潮汐、波浪和水流过程，它们相互作用所产生的能量对海岸形态的形成和改变起着重要的作用。在有潮海区，潮汐对海滩过程的影响表现在两个主要方面：首先是通过水位的升降扩大或缩小对海滩范围的影响，同时增大或降低波浪抵达海滩的高度，且波浪作用的位置随着潮汐变化而不断迁移；其次是通过水体的水平运动搬移泥沙，当潮流流动方向与波浪传播方向一致的时候，可以增大搬运泥沙的能力，相反地，不仅可削弱波浪的强度，而且减少搬运泥沙的能力。潮流周期性进出的海湾、河口和泻湖的通道口门附近的流速较大，对它们的入海口门水深起一定的维护作用。而无潮海区，波浪对海滩作用的范围很小，而且它的作用范围是受波浪的大小所限制的，只要波浪保持恒定，破浪点和冲涌的范围也将是恒定的。从有潮海区与无潮海区的特征差异来看，这些差别对海滩剖面塑造和海蚀平台的发育有重要的影响。在近岸地带和河口以及海湾，由各种因素引起的水流，它们通常有足够的流速去搬移相当数量的泥沙沿岸迁移或进出河口和海湾，在海岸地带形成各种侵蚀的和堆积的地貌。

### 一、潮汐的成因及其变化规律

潮汐是海水的一种周期性运动，它包括海面的周期性升降和海水的周期性水平运动。通常前者称为潮汐，后者称为潮流。有的地方每昼夜海面有两次高潮和两次低潮，而有的地方则只有一次高潮和一次低潮。

在潮汐升降或涨落的每一周期内，当水位上涨到不能再升高时，叫高潮或满潮；当水位下降到不能再下降时，叫低潮或干潮。从低潮到高潮的过程中，水位逐渐上升，叫涨潮；从高潮到低潮的过程中，水位逐渐下降叫落潮（图2—1）。在高潮或低潮的时候，海面在一段时间内既不上升也不下降，分别称为高平潮和低平潮。高平潮的中间时刻，称为高潮时；低平潮的中间时刻，称为低潮时。相邻的高潮与低潮的水位差，称为潮差。由月球的上中天时刻到其后的第一个高潮时和低潮时，分别称为高潮间隙和低潮间隙，统称为月潮间隙。

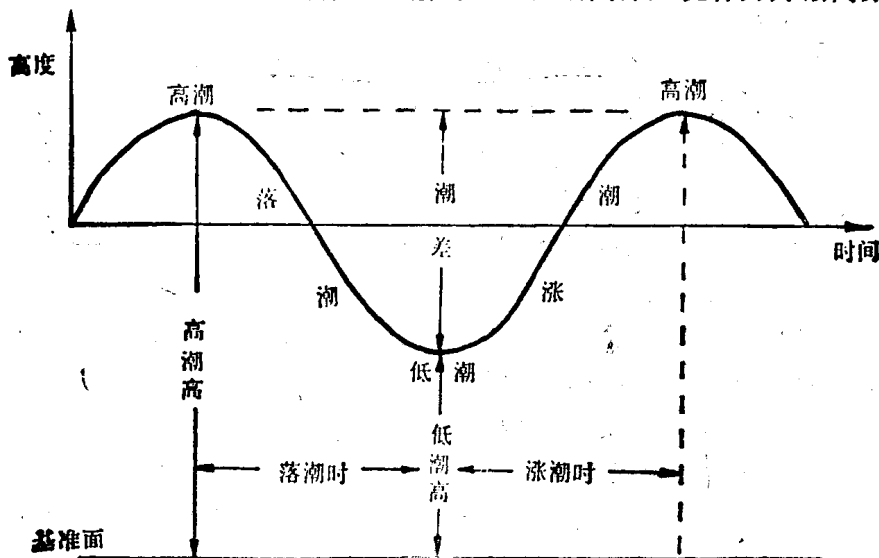


图2—1 潮汐基本要素

### (一) 潮汐类型

潮汐现象复杂多变，有的地区一天出现一次潮汐循环，有的地区一天发生两次潮汐循环或者两种情况兼而有之。根据调和理论，潮汐是由许多分潮振动组合而成的，其中最主要的是 $M_2$ 、 $S_2$ 、 $K_1$ 、 $O_1$ 四大分潮。由此，可以以主要日分潮与半日分潮的平均振幅比来确定一天中出现的潮汐循环次数并以此来区分潮汐类型，通常把潮汐划分为三种或四种类型，其方法亦有两种即：

正规半日潮	$0 < \frac{H_{K_1} + H_{O_1}}{H_{M_2}} \leq 0.5$	$0 < \frac{H_{K_1} + H_{O_1}}{H_{M_2} + H_{S_2}} \leq 0.25$		
正规全日潮	$4.0 < \frac{H_{K_1} + H_{O_1}}{H_{M_2}}$	$3.0 < \frac{H_{K_1} + H_{O_1}}{H_{M_2} + H_{S_2}}$		
混合潮	{	不正规半日潮	$0.5 < \frac{H_{K_1} + H_{O_1}}{H_{M_2}} \leq 2.0$	$0.25 < \frac{H_{K_1} + H_{O_1}}{H_{M_2} + H_{S_2}} \leq 1.5$
		不正规全日潮	$2.0 < \frac{H_{K_1} + H_{O_1}}{H_{M_2}} \leq 4.0$	$1.5 < \frac{H_{K_1} + H_{O_1}}{H_{M_2} + H_{S_2}} \leq 3.0$

1. 正规半日潮：在一个太阴日内（24小时50分）发生两次高潮和两次低潮。两个相邻高潮和两个相邻低潮的高度几乎相等，而且涨、落潮的历时也几乎相等。平均大潮差大约等于 $2(H_{M_2} + H_{S_2})$ 。

2. 正规全日潮：最主要的特点是在一个月多数日期在一个太阴日内只有一次高潮和一次低潮，当月球通过天赤道平面附近时，则为一天两次潮。平均大潮差等于 $2(H_{K_1} + H_{O_1})$ 。南海有许多地区的潮汐属全日潮类型，其中北部湾是世界上最典型的全日潮海区之一。

3. 混合潮：又可分为不正规半日潮和不正规日潮两类。不正规半日潮基本上还具有半日潮的特性，但在一日内相邻的两个高潮或低潮的潮高相差很大，涨潮历时和落潮历时也不等。在月球赤纬最大时，这种不等现象最为显著，平均大潮差等于 $2(H_{M_2} + H_{S_2})$ 。不正规日潮则在一个月的大多数日子为不正规半日潮，但随着月球赤纬接近或到达最大值的时期内，在一天内也发生一次高潮和低潮的现象，平均大潮差接近 $2(H_{K_1} + H_{O_1})$ （图2—2）。

### (二) 潮汐的成因

潮汐是地球和月球及太阳之间的相互吸引相互运动所引起的，即由引潮力问题引起的。虽说月球质量远小于太阳，但它与地球的距离远较太阳近，因此它对地球的引潮力要比太阳大得多。这里仅以月球引潮力作一说明。所谓月球引潮力，即地球上单位质量的物体受月球引力和地球绕地一月公共质心运动所产生的惯性离心力的合力。其产生的力学过程如下：

对地一月系统来说，地球受到两个力的作用：一是月球对地球的引力，它与地、月质量的乘积成正比，而与它们之间距离的平方成反比；二是地球与月球绕它们的公共质心运动所产生的惯性离心力。地球和月球以相同的力彼此吸引，它们所以不互相碰撞，是因为地球和月球都围绕公共质心运动，由此产生的惯性离心力与引力平衡，使地月系统保持平衡（图2—3）。

设图中 $E$ 为地心， $M$ 为月球， $G$ 为公共质心， $P$ 为地球表面上任一点，实线圆圈表示地球。以 $G$ 为圆心， $GE$ 为半径所画的虚线圆，表示地心 $E$ 绕其公共质心 $G$ 旋转时的轨迹。过 $P$ 点作 $PG'$ ，使 $PG'$ 等于并平行于 $EG$ ，以 $G'$ 为圆心， $G'P$ 为半径所画的虚线圆，表示地表上任一点 $P$ 的轨迹。依离心力的公式可知，离心力的大小与物体的质量、速度的平方成正比，与半径成反比。如

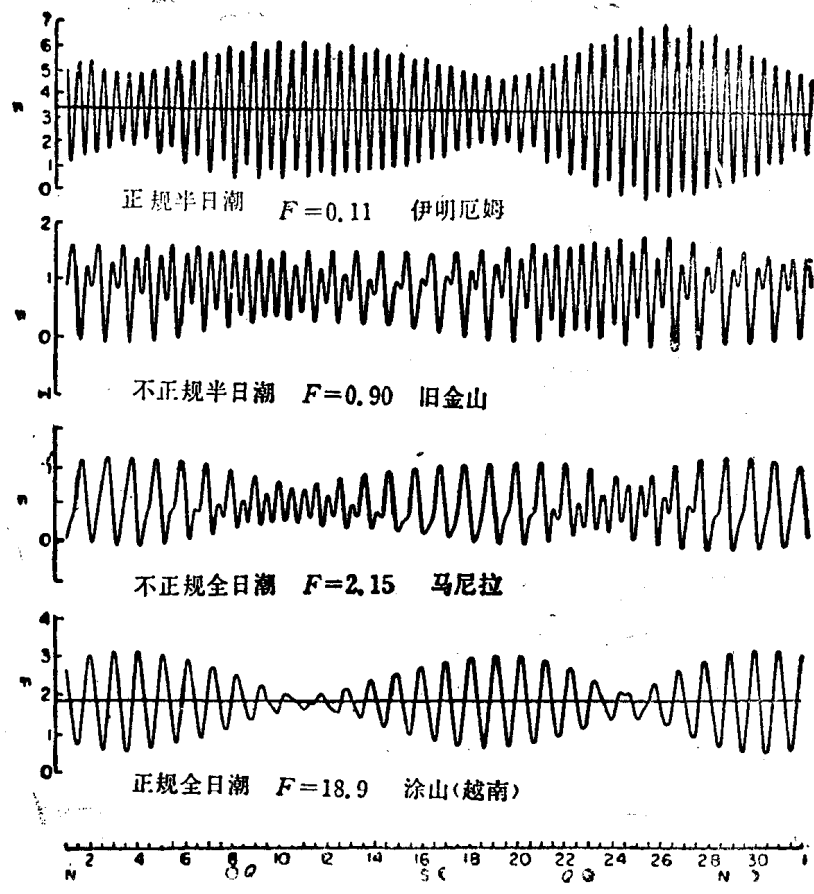


图2—2 潮汐类型图( $F = \frac{H_{K_1} + H_{O_1}}{H_{M_2}}$ , 1936年3月潮位曲线, 按Dafant)

- O(O) 月球位相
- S, N 月球到达南北赤纬时刻
- Q 月球通过天赤道时刻

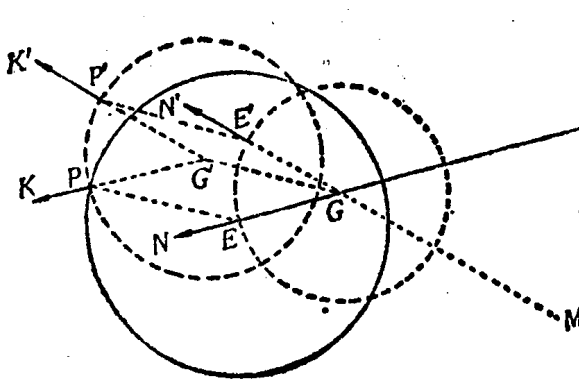


图2—3 地月系统绕其公共质心旋转时所产生的惯性离心力

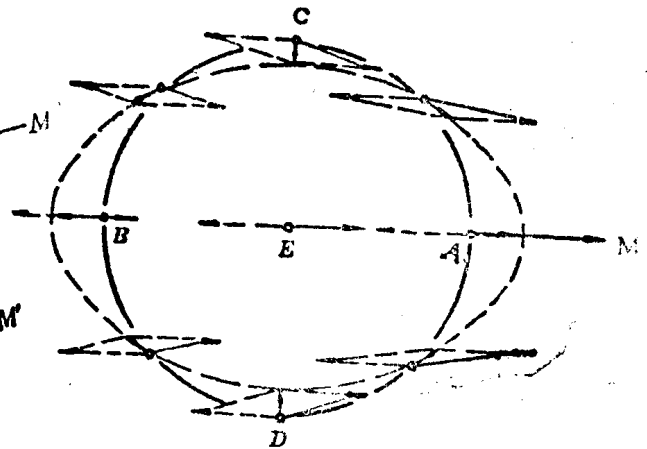


图2—4 月球对地球各部分的引潮力

对地面上任一点P和地心E均取一个单位质量, 由图可知, 地面上P和E点的速度和半径皆相等, 因此, 地面上任一点的离心力就等于地心处的离心力。由于地心处的离心力恰好与月球

的引力相平衡，因此地面上任一点的离心力也就等于月球对地心处的引力，但离心力方向皆与月球引力方向相反。当月球运行到 $M'$ 处，地心 $E$ 运行到 $E'$ 处，地面上任一点 $P$ 运行到 $P'$ 处。同理可证 $P'K' = E'N'$ ，并与月球引力方向相反。由此可以得出结论，地面上任一水质点的离心力大小都等于月球对地心的引力，其方向在各地都一样，都与月球对地心处的引力方向相反。

地球上各点由于离月球远近的不同，因而所受的引力也是不同的，从而，各地的引潮力也有差别。如图2—4所示，在月球的直射点 $A$ ，因距月球最近，引力最大，引力大于离心力，两力合成的结果使海水上涨，涨潮方向与月球引力方向一致，故称顺潮；在 $B$ 点，因距月球最远，引力最小，离心力大于引力，两者合力的结果也使海水上涨，但涨潮方向与月球引力方向相反，故称对潮；在 $C$ 、 $D$ 两点，引力和离心力合成的结果，将产生落潮，因而形成了潮汐椭圆，如图2—4中虚线椭圆。

根据上述引潮力定义，可以推算出引潮力大小：

仍用前面的符号，并设月球中心 $M$ 至地球表面任一点 $P$ 的距离为 $X$ ， $D$ 为月球天顶距。则地球表面 $P$ 点处（图2—5）单位质量物体所受到的月球引力为：

$$f_P = G \frac{M}{X^2} = g \frac{M}{E} \frac{r^2}{X^2}$$

$g$ 为地球表面重力，等于 $G \frac{E}{r^2}$ 。将 $f_P$ 和 $f$ 分解为水平分量 $f_h$ 、 $f' h$ 和垂直分量 $f_v$ 和 $f' v$ ，则：

$$f_h = G \frac{M}{X^2} \sin(\theta + \phi)$$

$$f_v = G \frac{M}{X^2} \cos(\theta + \phi)$$

$$f' h = G \frac{M}{D^2} \sin\theta$$

$$f' v = G \frac{M}{D^2} \cos\theta$$

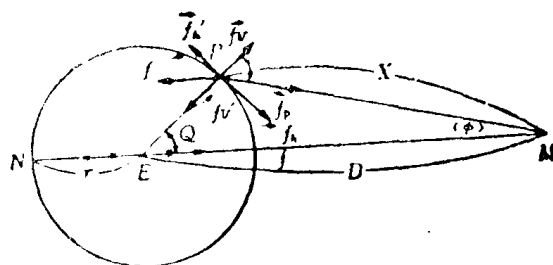


图2—5 地球上任一点的引潮力分量  
(据彦板繁雄, 1977)

根据引潮力定义，得水平和垂直引潮力分别为：

$$F_h = f_h - f' h = \frac{GM}{X^2} \sin(\theta + \phi) - \frac{GM}{D^2} \sin\theta$$

$$F_v = f_v - f' v = \frac{GM}{X^2} \cos(\theta + \phi) - \frac{GM}{D^2} \cos\theta$$

经过简单的三角运算，并略去包含 $\left(\frac{r}{D}\right)^2$ 项，便得：

$$F_h = \frac{3}{2} g \frac{M}{E} \frac{r^3}{D^3} \sin 2\theta \quad (2-1)$$

$$F_v = g \frac{M}{E} \frac{r^3}{D^3} (3 \cos^2 \theta - 1) \quad (2-2)$$

将太阳的质量 $S$ 、日地距离 $D'$ 和太阳天顶距 $\theta_1$ 分别代替上面公式中的 $M$ 、 $D$ 和 $\theta$ 便得太阳引



潮力的水平和垂直分量为：

$$F' h = \frac{3}{2} g \frac{S}{E} \frac{r^3}{D'^3} \sin 2\theta_1 \quad (2-3)$$

$$F'_{\nu} = g \frac{S}{E} \frac{r^3}{D'^3} (3\cos^2\theta_1 - 1) \quad (2-4)$$

由月球和太阳引潮力公式讨论得知，引潮力量值与天体的质量成比例，而和天体到地球中心距离的三次方成反比。由表2—1知： $S = 333400E$ ， $E = 81.5M$ ， $D' = 389D$ ， $D = 60.3r$ 故当 $\theta = \theta_1 = 0$ 时，

$$\frac{F'_{\nu}}{F'} = \frac{MD'^3}{SD^3} = 2.17$$

另外月球引潮力

$$F' = \sqrt{F'^2_{\nu} + F'^2 h}$$

$$= 1.29 \times 10^{-8} g (6\cos 2\theta + 10)^{1/2}$$

而太阳引潮力

$$F' = \sqrt{F'^2_{\nu} + F'^2 h} = 1.29 \times 10^{-8} g (6\cos 2\theta_1 + 10)^{1/2}$$

当 $\theta = \theta_1$ 时， $F = 2.17F'$ ，这表明

月球引潮力是太阳引潮力的2.17倍，可见，海洋潮汐主要由月球引潮力引起。根据上述理论计算，太阴潮的平均潮差为0.535米，太阳潮的相应量为0.246米，二者之和为0.78米，之差为0.29米，即前者为大潮平均潮差，后者为小潮平均潮差。大洋里许多水域潮差接近1米，其量阶接近计算结果。

### (三) 潮汐的周期性变化

潮汐现象是由月球和太阳的引潮力引起的，而引潮力又直接与天体和地球的周期性运动有关，因而潮汐也有相应的周期性变化。

#### 1. 潮汐的日变化：

当只考虑天文因素对潮汐的影响时，潮汐有如下日变化规律：月球的赤纬为零时，即月球运行在天球赤道上时，地球各点的海面，在一个太阴日内，将发生两次高潮和两次低潮，两次高潮的时间间隔为12时25分，涨、落潮时间各为6小时12.5分，而且潮差相等(图2—6)。当月球在A点上中天时，A点发生第一次高潮；当A点处于 $A_1$ 时，出现第一次低潮；处于

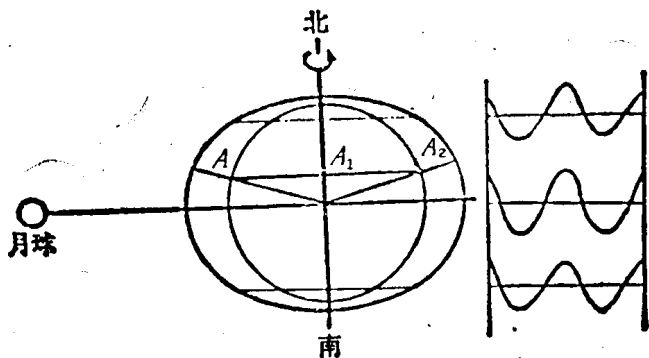


图2—6 半日周期潮

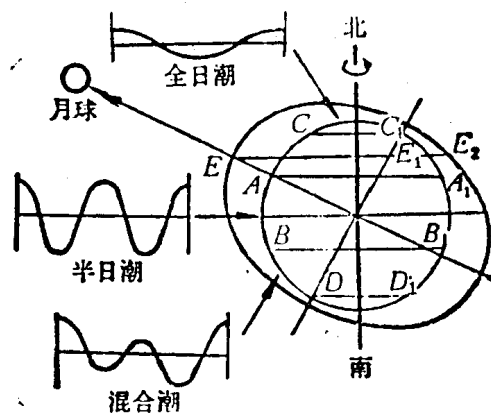


图2—7 日潮不等和日周期潮