

# 海平面

SEA LEVEL

林观得 孙亨伦 编著

地质出版社

# 海 平 面

SEA LEVEL

林观得  
孙亨伦 编著

地质出版社

# 海 平 面

SEA LEVEL

林观得 编著  
孙亨伦

•  
责任编辑：李鄂荣

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

•  
开本：850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印张：5<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 字数：130,000  
1985年7月北京第一版·1985年7月北京第一次印刷

印数：1—1,455册定价：1.50元

统一书号：13038·新153

## 前 言

十年前，当人类第一次实现了海平面研究的全球性合作时，海平面变化研究就被联合国教科文组织列为一个重要课题。

海平面，由于它的特殊位置，它的变化不仅直接影响到海岸的建设和保护，影响到海上的交通和生产，因而对人类社会的发展具有密切的关系；而且可以引起地球内外层构造的一系列连锁反应，进而影响地球本身的运动，在这个方面，海水的流体性质使海平面表现为地球表面的一个敏感的标志面。

研究现代的海平面变化，可以直接解决海岸建设、环境保护、矿藏勘探以及气象学、海洋学、地震学和大地测量学等方面的问题，研究地质时期的海平面变化，对于地质学、地理学、地球物理学、沉积学、气候学、古生物学、历史学、人类学和考古学等学科具有极大的意义。随着海岸带开发事业的纵深发展，随着向海洋进军的迅猛步伐，人类对海平面变化的关切有增无已。

研究全球性的海平面变化已经有一百多年的历史。近三十年来，由于现代科学技术的广泛应用，使海平面变化研究的成果焕然一新。全球性的合作标志着海平面变化研究进入一个崭新的阶段。在一个多学科交叉研究的领域，任何一个方面的进展都可能具有深刻的含义。本书试图介绍与海平面变化及其研究有关的基础知识和基础理论，并反映近十年来国际海平面变化研究的新动向，作为目前国际海平面合作研究的主题——晚第四纪海平面变化，将是本书的重点。我们希望我国年青的科学家和未来的科学家能够认识海平面变化对我国四化建设的重大意义，从而关心和重视海平面变化问题。

在过去的几年里，我国的海平面变化研究也取得了新的进展。从1981年，我国参加了国际海平面研究组织以来，出现了全国海

平面研究单位互相合作的空前大好形势。1983年，福建师范大学林观得教授被聘为国际海平面组织的顾问，这一方面是对林教授五十多年来坚持海平面研究的高度评价，另一方面也表明我国在国际海平面变化研究中的重要学术地位。我们希望这本书将有助于有关的专业工作者掌握国际海平面变化研究的全貌，在研究海平面变化中获得更多的新成果，为我国的四化建设服务。

# 目 录

## 前言

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| <b>第一章 海平面</b> .....           | 1  |
| 一、海平面在地球上的位置.....              | 1  |
| 二、海平面的概念.....                  | 3  |
| 三、海平面的形状.....                  | 6  |
| 四、海平面和海岸线.....                 | 9  |
| 五、海平面的意义.....                  | 11 |
| <b>第二章 海平面随时间的变化</b> .....     | 14 |
| 一、现代海平面变化.....                 | 15 |
| 二、一百年来的海平面变化.....              | 23 |
| 三、冰后期的海平面变化.....               | 27 |
| 四、第四纪的海平面变化.....               | 32 |
| 五、前第四纪的海平面变化.....              | 37 |
| <b>第三章 海平面变化的原因</b> .....      | 43 |
| 一、海水体积的变化.....                 | 44 |
| 二、海盆容积的变化.....                 | 54 |
| 三、海平面分布的变化.....                | 65 |
| 四、相对海平面变化的分析.....              | 70 |
| <b>第四章 海平面变化过程及其指示物</b> .....  | 74 |
| 一、现代海平面变化过程.....               | 74 |
| 二、冰后期海平面上升过程.....              | 76 |
| 三、第四纪海平面变化过程.....              | 79 |
| 四、海平面指示物的评价.....               | 81 |
| <b>第五章 研究海平面变化的方法与技术</b> ..... | 97 |
| 一、建立海平面变化曲线.....               | 97 |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 二、研究海平面变化的主要方法·····         | 107        |
| 三、研究海平面变化的主要技术·····         | 113        |
| <b>第六章 海平面变化研究发展简况·····</b> | <b>125</b> |
| 一、海平面变化研究史略·····            | 125        |
| 二、海平面变化研究组织·····            | 130        |
| 三、我国第四纪海平面变化研究简况·····       | 133        |
| <b>第七章 研究海平面变化的意义·····</b>  | <b>136</b> |
| 一、多学科的敏感课题·····             | 136        |
| 二、海平面变化趋势预测·····            | 142        |
| 三、海底矿物资源的开发·····            | 148        |
| 四、海岸环境保护·····               | 151        |
| 五、利用海平面资料进行地震预报·····        | 153        |

# 第一章 海平面

## 一、海平面在地球上的位置

如果你有机会站在海滨，极目眺望，海平面在天边的地平线上。你在海滩上玩耍，追波逐浪，海平面就在你的脚下。如果你跃身大海，潜入水中，海平面就在你的头顶，那乘船遨游的朋友却在海平面之上。

人类生活在陆地上。尽管攀登高峰的探险队到达了海拔8848米的陆地最高峰，尽管在海平面之上5,000余米的高原也散布有游牧民族的居民点，但是全世界一半以上的人口居住在和海平面的垂直距离不到500米的平原低地上，海平面以上100米以内是人口最稠密的高度。海平面对人类活动具有强烈的吸引力。即使是在现代先进的技术条件下，真正能脱离地球升入太空的也只是屈指可数的少数宇航员。飞机的飞行高度都在海平面之上10,000米左右，潜水艇的航行深度多在海平面之下1,000米以内。只有创记录的飞行达到110,000米的高空，而深海潜水器曾经把探险家送到海平面之下10,919米。

在地球上，人类活动的范围只是岩石圈表面大约20公里以内的高度。这个高度也是水圈集中的范围。岩石圈表面凹凸不平，陆地和海盆是地球表面最大的起伏。在水圈里97.2%的水分以液态储存在海盆里，2.15%的水分以固态储存在极地和高山的冰川中，其余极少的部分或保存于陆地江湖，或散布在大气层中。海盆中的液态水依靠地球的引力覆盖在海盆岩石圈的崎岖面上，在水体的上表面与大气圈交界，形成海平面。通常，人们把海平面和陆地表面组成的近似椭球体的表面称为地球表面。这个近似椭球

体，就是地球的形状。

地球的平均半径约为6,371公里,其中赤道地区半径较长,约

为6,378公里,两极地区半径较短,约为6,357公里。

海洋中海水的平均深度约为3,800米。在地球的表面上还有一层1,200公里厚的大气圈。这就是说,

在海平面之下,是平均厚度为3.8公里的水圈和平均半径约为6,367公里的岩石圈,在海平面之上,是1,200公里的大气圈。在图1.1中,海洋的深度只相当于地壳厚度(10—40公里)的十分之一。

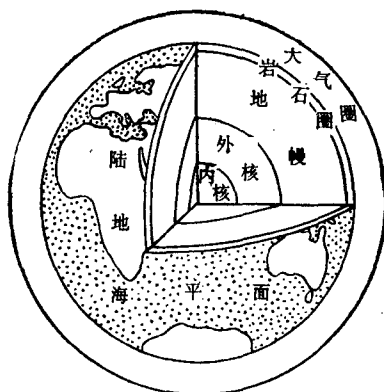


图 1.1 海平面在地球上的位置

在地球的剖面结构图上,地幔包括岩石圈的下部,地壳厚度相当于岩石圈上界线的粗细,海水平均深度相当于该线的1/10粗

从地球岩石圈表面的高程分布累积曲线图(图1.2)上看,

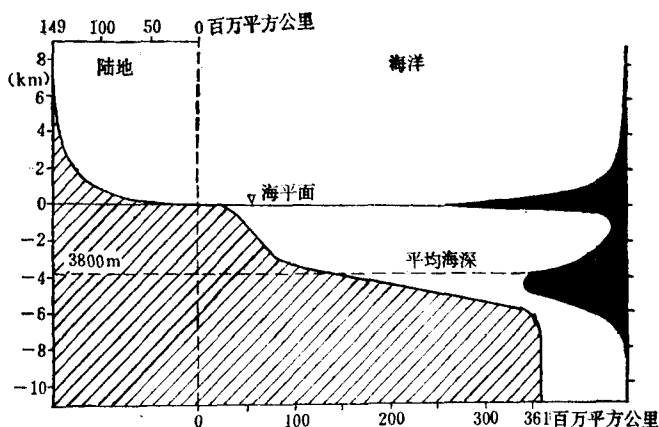


图 1.2 全球海深陆高分布图

右边为高程频率分布

明显地存在着两级台地,较高的一级位于海平面附近,从海平面以上500米到海平面以下200米的高程范围,地表面积占地球总表面积的五分之一。另一级台地在海平面以下4,000—5,000米之间,占地球表面积的四分之一。海平面以上地形平均高程为875米,最高峰为8,848米。海平面以下的平均地形高程为-3,800米,最低的海沟为-11,055米。

地球的表面积为 $5.11 \times 10^8$ 平方公里,其中陆地面积 $1.49 \times 10^8$ 平方公里,占29.1%,其余 $3.62 \times 10^8$ 平方公里就是海平面。海平面覆盖着地球表面积的70.9%,它包围了地球表面的陆地。海平面上点缀着众多的大小岛屿。海平面与大陆、海岛交界,形成海岸线。

## 二、海平面的概念

海平面的全称叫平均海平面,它的精确定义是随着大地测量学的发展而确定的。基于人类对海水表面位置的传统观念,为了确定大地测量高程的零点,人们假定在一定长的时间周期内,海水表面的平均高程是静止不动的。这个海水表面的平均高程就是平均海平面,它可以作为大地测量的基准面。陆地上各个点同这个基准面的相对高程,就是各个点的绝对高程,又叫海拔高程。根据各个点的海拔高程可以编绘地形图,平均海平面成为地形图上的零点高程。

确定平均海平面的高程依赖于对沿海的潮汐观测记录。现代潮汐观测使用沿着海岸或与开放海域能自由连通的水域设置的验潮仪。这种验潮仪可以将敷设在能与海洋相沟通的专用测潮井内的可上、下浮动的浮体的高程变化自动地记录下来,从而获得每小时的潮位读数。每年的平均海平面是近九千个潮位读数的算术平均值。某个验潮站的平均海平面是根据该站在特定年限内的潮位读数的平均值推算出来的。这种平均海平面高程经确认,即可作为大地测量的高程基准面。

在英国，大地测量基准面是根据纽林验潮站在1951年到1956年间对平均海平面的测量结果确定的。我国的大地测量基准面是根据青岛验潮站在1950年至1956年间的观测值所确定的“黄海平均海平面”。1929年，美国为了确定大地测量基准面，规定采用一定数量的验潮站在十九年内的观测值去推算平均海平面，这种平均海平面不是任何一个地方的平均海平面，它是一种校准基准面。

由于各个国家确定为大地测量基准面的平均海平面高程，从测定时间和地点到测量方法和技术上都不相同，所以存在着普遍的不吻合。例如，在英国和法国之间，仅隔一个多佛尔海峡。1963年，通过两个国家的大地水准网联测，发现设在纽林的英国国家高程基准面，比设在马赛的法国国家高程基准面低了20厘米。为此，在确定地形高程时，必须进行修正。

水文学家认为，平均海平面除了作为大地测量的基准面以外，并没有什么实际的意义。在海岸防护、港口建设，航道测量和滩涂开发等方面，更重要的是海平面位置出现的一些极端状况和发生几率。他们规定了不同潮位的海平面定义。（表1.1）

在地球物理学上，平均海平面被近似地作为地球表面的重力等位面，称为大地水准面。地球重力位是由地球质量引力和地球自转所引起的位势的总和。由于海水的流体力学性质，海洋里的重力位在平均海平面上趋于平衡。因此，在剔除了波浪、潮汐和海流等方面作用的平均海平面，就是重力等位面。

自然界的海平面由于日、月引力，气象和水文学方面的因素，产生了潮汐作用和其它动态变化过程，所以平均海平面并不完全符合大地水准面。各地观测到的瞬时海平面是大地水准面、潮位和其它动态海面高程迭加的结果。全球大地水准面的高程起伏大致为180米，潮汐作用产生的高差不到20米，其它气象和水文因素引起的海面高差大约为2米。可见，大地水准面是决定各地海平面位置的主导因素，它的高程变化范围分别比后两个因素大一到二个数量级。

表 1.1 水文学上潮位术语的定义

(根据 A. M. M. Wood 等, 1981)

| 术语 (英语缩写)     | 定义                   | 注 释                               |
|---------------|----------------------|-----------------------------------|
| 平均海平面 (MSL)   | 特定19年内所有高水位和低水位的平均值  | 根据30天内每小时读数推算, 精确定义要求有 18.6 年的读数  |
| 平均水位 (MWL)    | 特定19年内所有高水位的算术平均值    | 根据美国海洋和大气管理局 (NOAA)               |
| 平均高水位 (MHW)   | 特定19年内所有高水位的算术平均值    | 同上                                |
| 平均低水位 (MLW)   | 特定19年内所有低水位的算术平均值    | 同上                                |
| 平均大潮高潮 (MHWS) | 24小时内二个连续最高高水位平均值    | 对半日潮, 根据一年每个大潮周期的记录               |
| 平均大潮低潮 (MLWS) | 24小时内二个连续最低低水位平均值    | 同上                                |
| 平均小潮高潮 (MHWN) | 24小时内二个连续最低高水位平均值    | 对半日潮, 根据一年每个小潮周期的记录               |
| 平均小潮低潮 (MLWN) | 24小时内二个连续最高低水位平均值    | 同上                                |
| 平均高高潮 (MHHW)  | 每天 (两个) 高水位中较高水位平均值  | 对具有强的周日成分的潮汐, 根据一年内的每天的记录         |
| 平均低低潮 (MLLW)  | 每天 (两个) 低水位中较低低水位平均值 | 同上                                |
| 平均高低潮 (MLLW)  | 每天 (两个) 低水位中较低低水位平均值 | 同上                                |
| 平均高高低潮 (MHLW) | 每天 (两个) 低水位中较高高水位平均值 | 同上                                |
| 最低天文潮位 (LAT)  | 在平均气象条件下推算的最低潮位      | 根据充分长期记录进行调和常数计算, 不存在比LAT低0.1米的情况 |
| 最高天文潮位 (HAT)  | 在平均气象条件下推算的最高潮位      | 根据充分长期记录进行调和常数计算, 每年可能超过1-2次      |

### 三、海平面的形状

对海平面形状的认识是随着人类对地球形状的认识发展的。二千多年前，古希腊人首先提出地球是球形的。1687年，牛顿推算地球具有扁球形，并且计算了地球的扁率。1849年，斯托克思使用观测到的全球重力异常值，开始计算大地水准面相对于参考椭球的起伏量。本世纪60年代以来，由于海上重力仪和卫星导航接收器技术的发展，提高了从地球上测量重力异常值的精度。同时又从人造地球卫星轨道上确定了大地水准面的形状。人造卫星本身质量小，离开地表较远，具有不受干扰地测定全球范围的重力等位面的有利条件，它所测定的地球大地水准面是比较精确而可靠的。

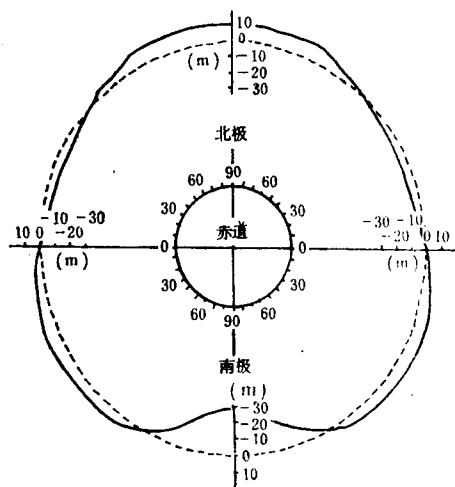


图 1.3 大地水准面的平均子午线剖面 (实线) 和扁率 $1/298.25$ 旋转椭球体 (点线) 的关系

(引自King—Hele等人, 1969)

1959年，苏联发射的先锋 $\beta_2$ 卫星根据轨道偏心率的周期变化，修订了地球大地水准面的形状，指出地球的平均子午线剖面是一个梨状体。在参考椭球体上，南极凹入30米，北极凸起10米，南半球中纬度地区凸出7.5米。(图1.3)

60年代以来，根据卫星轨道和地面重力异常测量，参考了不同扁率的椭球，提出了很多卫星大地水准面图形。根据美国史密松协会提出的全球大地水准面形状，在扁率为 $1/299,255$ 的标准椭

球上,新几内亚附近隆起81米,非洲西部的加纳附近隆起31米,北大西洋隆起61米,秘鲁隆起30米,马达加斯加以南隆起56米。加利福尼亚南部大地水准面下凹45米,马尔代夫附近下凹113米,新西兰东南部下凹73米。北极位于标准椭球面上25.8米,南极低于标准椭球面25.8米(图1.4)。在这种情况下,赤道不是一个真正的圆形,而是在西经10°和东经140°附近呈现外拱,在西经120°和东经80°附近有点内弯。

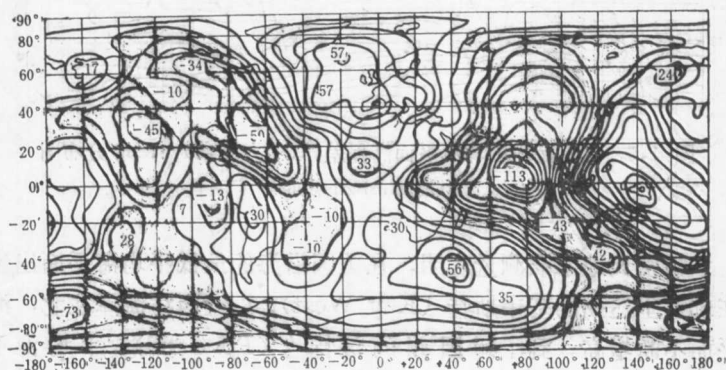


图 1.4 相对于扁率为1/299.255的椭球的大地水准面高程 (m) 分布图

大地水准面的高低起伏分布与地球的地壳特征(大陆和海洋的分布)没有明显的对应关系,它通常被解释为地球内部的密度构造或上地幔对流作用的结果。海格(Hager, 1982)指出,非洲的大地水准面高峰对应了低密度(热异常)的地幔物质,西伯利亚和哈得逊湾的大地水准面洼地对应了高密度(比较冷)的地幔物质。由于地幔对流过程的延续,大地水准面不可能保持不变。

海平面的高低不平早已为沿海的潮汐观测和大地水准测量所发现。1941年,迪范特(Defant)指出,即使海洋完全平静,海平面也从来不是水平的。他推算大西洋的“绝对动态地形”高差达1.5米。1965年,利西特津(Lisitzin)发表了世界平均海平面高

程分布图(图1.5),它大致反映了全球平均海平面对大地水准面的多年平均偏离值。

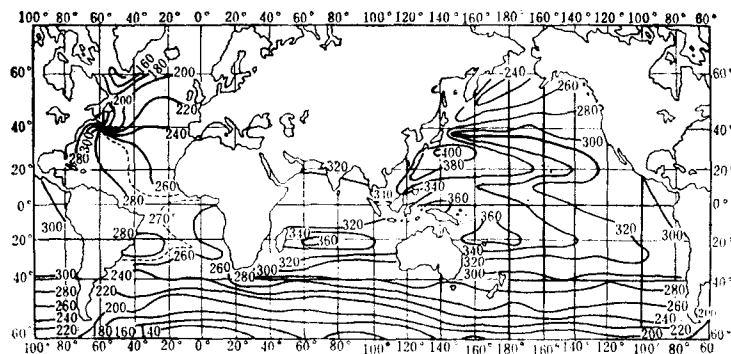


图 1.5 世界海洋平均海平面高程差异(动力厘米dyn.cm)分布图

(根据Lisitzin 1965)

精密大地水准测量表明,在美国沿海的最低平均海平面出现在佛罗里达州的基韦斯特(Key West),沿大西洋海岸往北,海平面不断增高。到了缅因州的波特兰(Portland),平均海平面共升高了58厘米。海平面的升高产生于湾流的泄水量和沿岸逆流的作用。由于海水密度差异,太平洋海岸的海平面高于大西洋海岸。例如,美国华盛顿州太平洋海岸的尼湾(Neah Bay),平均海平面高于大西洋岸的波特兰(Portland)71厘米。旧金山高于弗吉尼亚州(Virginia)的诺福克(Norfolk)62厘米,圣迭戈高出佛罗里达州的费尔南迪纳(Fernandina)65厘米,巴拿马运河南端(太平洋岸)高于北端(大西洋岸)22厘米。沿太平洋海岸,从南部的圣迭戈到北部的尼湾,平均海平面升高了46厘米。

在波罗的海地区,平均海平面倾斜达30厘米,其中从北海到波罗的海之间的过渡地区,平均海平面升高16厘米,波罗的海本身海面倾斜10厘米,波的尼亚湾海平面有4厘米的高差。

在地中海地区,由于存在强烈的蒸发作用,平均海平面低于

周围海域。测量表明，直布罗陀海峡水面向东倾斜，坡度达每100公里0.6厘米。从爱琴海到黑海，海平面升高了35厘米。在苏伊士运河两端，塞得港的平均海平面低于苏伊士城25厘米。红海的平均海平面从南到北降低了30厘米。

在我国沿海也存在平均海平面的倾斜现象。据报道，渤海沿岸的平均海平面高于“1957年的黄海平均海平面”10厘米左右，比黄海沿岸高4厘米左右，比东海沿岸高出20厘米左右，比南海沿岸高出40厘米左右，平均海平面表现出从南海向北升高从渤海向南下倾的趋势，黄海地区是平均海平面的洼地。

摩勒尔 (Mörner, 1981)指出，“动态海平面”可以产生2米的高差，它是气象、水文和海洋学因素作用的结果。

#### 四、海平面和海岸线

如果说，海平面是海水和大气层的交界面，那么，海岸线只是海水和陆地的交界线。海岸线曲折蜿蜒，环绕着陆地。绝大部分的陆地地面都高于海平面，也有面积不大的陆地地面被包围在海岸线以内，高程低于海平面。

地图上的海岸线，是根据大地水准测量确定的相对于国家测量基准面的零值等高线，它大致地划分了海洋和陆地的位置。实际的海岸上并不存在一条海水和陆地的固定接触线。由于潮汐和波浪等因素的作用，海平面发生周期性升降，海水和陆地的交界线也在周期性变动。例如，在高潮位时，海岸线向大陆推进，发生海进；在低潮位时，海岸线向海洋后退，发生海退。这样，在岸坡上形成一条具有一定宽度的海岸带。

海岸带的上界是高潮大浪时海水所达到的地方，一般由风成砂丘、海蚀崖和被植被覆盖的滨岸堤组成。海岸带的下界是波浪可以推动海底泥砂运动的最低深度，叫作波浪基面，相当于水深为波长一半的地方。广义的海岸带包括沿海平原低地和内大陆架地区。

在潮汐海岸，海岸带可以划分为潮上带、潮间带和潮下带。潮间带位于高低潮位之间的岸坡，在高潮位时被海水淹没，在低潮位时露出；潮上带位于高潮位以上地带，不会被潮水位淹没，只是受到破浪和上冲流的影响；潮下带始终被海水淹没。(图1.6)

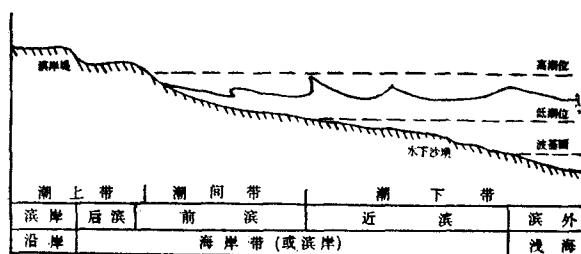


图 1.6 海岸剖面的划分

海岸带的宽度各地不同。在陡峭的基岩海岸，海岸带一般较窄，有时在水平方向重合成一条海岸“线”。在平缓的砂泥质海岸上，海岸带相当宽阔，特别在潮汐活跃的地区，海岸带宽度可以达到几百米或几千米，最大的达到15公里。

海岸线作为海平面和大陆面相互作用的产物，不仅受到海平面变化的影响，而且受到大陆面变化的影响。瓦伦丁(Valentin, 1952)指出，海平面上升和海岸陆地下降的综合作用引起海岸线的淹没与后退，海平面下降和海岸陆地上升的综合作用导致海岸线的抬升和推进，只有海岸的堆积和侵蚀作用可以改变这种过程。实际上，海岸线的水平进退是垂直方向海平面相对变化(包括全球性海平面升降和海岸地区地壳升降变化)速率和沉积(或侵蚀)速率的函数。当沉积速率大于海平面相对上升速率时，可以产生海退；当侵蚀速率大于海平面相对下降速率时，可以引起海侵。

(图1.7)

现在，全世界海岸线总长为44万公里，其中大约80%为基岩海岸，其余20%为砂泥质海岸。海平面的相对变化引起海岸线垂直升降，基岩海岸的水平进退相对较小，而在平缓的砂泥质海岸，