



全球海面变化

赵希涛 杨达源 等 编著

科学出版社

全球海面变化

赵希涛 杨达源 等 编著

科学出版社

1992

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书共分四编十六章,全面叙述了海面变化的研究历史与方法,并详细地介绍了古海面的各种标志。书中应用大量资料讨论了全球前第四纪、更新世、全新世和现代海面变化,以及各洋区晚第四纪以来的区域海面变化。最后探讨了新构造运动、气候变化、环境变迁和海面变化的关系,并进一步讨论了海面变化原因、变化趋势与海面上升对自然环境与经济建设的影响。

本书内容丰富,论述全面,是一本可供科研人员及有关高等院校的教学参考书。

全 球 海 面 变 化

赵希涛 杨达源 等 编著

责任编辑 刘延敏

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100707

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1992年11月第一版 开本:787×1092 1/16

1992年11月第一次印刷 印张:12

印数:1—1200 字数:270000

ISBN 7-03-003018-4/P·596

定 价: 11.00 元

前 言

世界海面约占地球总面积的 71%。它作为地球的基本界面,对地球各个圈层、各种自然营力的作用及其相互关系与环境的变化,具有最为灵敏的反映和表现。

晚近地质时期的海面变化,曾引起全球海陆相对位置和地球环境的巨大变更,特别是对沿海与陆架地区的侵蚀与堆积作用,气候与生态环境的变化,各种自然资源的形成与分布等,曾产生极为深刻的影响,因而与人类社会的发展有着十分密切的关系。

近年来,关于大气中 CO₂ 与其他微量气体浓度的增加及其所造成的全球气候变暖、海面上升与其他环境条件的大变化,已为多数科学家所肯定,这是对世界各国,尤其是对沿海国家与地区的严重挑战。沿海地区人口稠密,经济发达,大、中城市林立,即使海平面仅有数十厘米至一二米的微小变化,也势必会带来严重的、以至灾难性的后果。因此,研究海面变化的历史、规律、模式与机理,特别是预测未来几十年至百年海面变化的趋势及其对环境与经济的影响,以期人类适应、预防以至改造这种变化与影响,不仅在科学上有着重要的理论意义,而且对国计民生也有着重大的现实意义。

为了迎接未来气候与海面变化的严重挑战,联合国世界气象组织制订了世界气候计划(WCP),已于 1986 年开始执行。中国也于 1987 年成立了国家气候委员会。著名气象学家、中国科学院学部委员叶笃正教授,倡导并在中国科学院及有关部门的支持下,组织了以中国科学院有关研究所部分科学家为主体,吸收有关院校和部门部分专家参加的调研小组,从 1986 年 5 月起,对世界气候与海面变化研究的历史、现状、方法、思路、已有成果与未来发展趋势等进行了全面调查与分析。本书即是海面变化研究方面的调查研究成果之一。

面对十分广泛的科学内容和浩如烟海的文献资料,要用有限的时间和篇幅去进行全面、系统和深入的概括和总结几乎是不可能的。选编一二部译文集,也难以达到系统介绍海面变化研究历史与现状的目的。因此,我们试图通过综述的方式从较多方面介绍全球海面变化研究所取得的进展;并向读者提供一份较为齐全的参考文献目录。

本书共分四编十六章。第一编着重介绍海面变化研究的历史与方法;第二编从全球角度综述晚近地质历史时期和现代海面的变化;第三编主要叙述各洋区晚第四纪海面变化的研究途径与基本特征;第四编概述海面变化与构造运动、气候和环境变化的关系,海面变化的原因与新理论以及未来海面变化趋势及其影响等。

本书由赵希涛主持与构思。各章节编写人员是:第一章赵希涛;第二章王绍鸿、吴学忠、杨建明、曾从盛、俞鸣同、谢起炎、郑晓云;第三章刘素华、杨达源、孙亨伦;第四章第一节杨达源、陈俊仁;第二节庄武艺、杨达源;第五章宗永强、杨达源、徐家声;第六章黄金森、杨达源;第七章陈特固、刘长发;第八章第一节徐家声、彭卫国;第二节赵希涛、杨达源;第三节和第五节杨建明;第四节苏广庆、杨建明;第九章第一节杨建明;第二节李国胜;第三节赵叔松、李国胜;第十章黄金森、谢志仁、毛树珍、包蛎彦、张文国、赵希涛;第十一章赵根

模、张文国;第十二章杨达源;第十三章曾从盛、赵希涛;第十四章赵希涛、吕炳全、徐国强;第十五章谢志仁;第十六章朱季文、孙顺才、季子修、蒋自巽。初稿汇集之后,赵希涛、杨达源对全书作了校订、调整和统稿,张文国参加了全书的参考文献的部分校核工作,周玉卿协助清绘大部分图件。由于篇幅限制,部分章节作了删节。

值得指出的是,著名地理学家、中国科学院学部委员施雅风教授在国家自然科学基金委员会与中国科学院联合支持与资助下,正在实施大型基金项目《中国气候和海面变化及其趋势与影响的初步研究》(1988年6月—1992年6月)工作。中国科学院地质研究所等十多个单位的50位科学工作者参加了该项目中的《中国海面变化及其趋势与影响的初步研究》课题。由于海面变化问题是一个涉及地域广,学科、内容与手段多,需要解决的问题难度大的重大课题,因此,我们愿借本书出版的机会,向同行和关心海面变化问题的读者致意,希望大家对本书的错误与不足之处提出批评建议,更希望在工作上得到大家的支持与配合,以便共同努力把这一既有重要科学意义又与国计民生有密切关系的课题做得更好。

赵希涛 杨达源

1990年2月

目 录

前言

第一编 海面变化研究的历史与方法

第一章 人类对海面变化科学认识的发展	(1)
一、“海面变化”概念的由来	(1)
二、海面变化曲线的建立	(4)
三、海面变化理论的发展	(4)
第二章 古海面标志	(8)
一、生物标志	(9)
二、沉积与地貌标志	(19)
第三章 海面变化曲线的编制	(28)
一、海面变化曲线的类型	(28)
二、海面变化曲线编制的原则	(28)
三、利用电子计算机编制海面变化曲线	(30)

第二编 地质时期与现代海面变化

第四章 前第四纪海面变化	(32)
一、前第三纪海面变化	(32)
二、第三纪海面变化	(34)
第五章 更新世海面变化	(37)
一、早更新世—中更新世海面变化	(37)
二、晚更新世海面变化	(40)
第六章 全新世海面变化	(47)
一、10kaB.P.的古海面位置及早全新世海面变化	(47)
二、中全新世海面变化	(50)
三、晚全新世海面变化	(53)
四、全球海面变化的分区	(54)
第七章 仪测时期海面变化	(56)
一、关于近百年来“全球”海面变化的趋势	(56)
二、区域性海面变化趋势的一些统计结果	(57)
三、现代海面变化的可能原因	(59)

第三编 晚第四纪区域海面变化

第八章 太平洋区	(63)
一、 东北亚沿海	(63)
二、 中国沿海	(71)
三、 东南亚沿海	(75)
四、 大洋洲沿海与太平洋岛屿	(76)
五、 北美洲西部沿海和南美洲西部沿海	(82)
第九章 大西洋与北冰洋区	(86)
一、 北美洲东部沿海和南美洲东部沿海	(86)
二、 欧洲沿海和非洲西部沿海	(91)
三、 北冰洋沿海	(101)
第十章 印度洋区	(103)
一、 亚洲南部沿海	(103)
二、 澳大利亚西部沿海	(106)
三、 非洲东部沿海	(107)

第四编 海面变化研究的新思路与新进展

第十一章 新构造运动与海面变化	(110)
一、 新构造运动对海面变化的影响	(110)
二、 新构造运动对古海面遗迹分布的影响	(112)
三、 海面变化曲线的构造校正	(114)
第十二章 海面变化与气候、环境变化	(116)
一、 海面变化与气候变化的相互关系	(116)
二、 海面变化对环境的影响	(121)
第十三章 关于海面变化的原因	(128)
一、 海洋水量的变化	(129)
二、 洋盆容积的变化	(131)
三、 海面的相对变化	(133)
四、 海洋水体物理性质的变化	(134)
五、 天文与地球物理因子的变化	(135)
第十四章 全球海面变化研究的新理论和模式	(138)
一、 均衡作用与负荷模式	(138)
二、 大地水准面变化与重力模式	(142)
第十五章 未来海面变化趋势	(148)
一、 研究简史	(148)
二、 趋势预测的科学依据	(149)
三、 趋势预测的主要途径	(151)
四、 存在问题与发展方向	(154)

第十六章 未来海面上升对自然环境与经济建设的影晌	(156)
一、海面上升对自然环境的影响	(156)
二、海面上升对经济建设的影响	(158)
三、预防海面上升的对策与措施	(159)
四、发展趋势	(160)
参考文献	(161)

第一编 海面变化研究的历史与方法

~~~~~

## 第一章 人类对海面变化科学认识的发展

沿海地区以其优越的自然条件,逐步发展成为地球上人口密集、工农业发达的精华地区。海面的波动变化,与人类的生存及发展有着十分密切的关系。早在古代,人们在实践中就产生了“沧海桑田”海陆变迁的朴素认识。把海面变化作为一门学科进行研究,只是近几个世纪的事。人们为了解释这一自然变化的规律,找出其变化原因,提出了种种概念、设想和理论,甚至产生了不同观点之间有时相当激烈的争论。正是通过不断深入的调查,不断产生的设想,及其讨论和争论,才使人类对海面变化逐步建立起科学的认识。

据估计,近二三十年来涉及区域或全球海面变化的标志、方法、证据、特征、规律、概念、原因、理论、模式、预测、影响、应用及与有关学科的关系等方面的文献,已不下数千篇,仅书籍、专著就达数十种。对于海面变化研究的国际情况,已有一些文献作过介绍(任美镠,1965;杨怀仁、杨达源,1981;赵希涛、赵叔松,1985;施雅风,1986)。本章仅从历史发展的脉络,简要评述在海面变化研究中,最主要的概念和理论的产生、发展的历程及其内在的联系。

### 一、“海面变化”概念的由来

据 Mörner (1979a, 1987b) 和 Devoy (1987) 报道,早在 15 世纪,著名画家、工程师 Leonardo da Vinci 就认为,在海拔高处的海相地层与其他生物化石的存在,是陆地和海面两者随时间变化的证据。Ericus Erixi 于 1625 年指出,波罗的海许多地方水面已经下降,使原先在水下看不见的礁石现已出现在水上高处。Vrban Hjarna 1702 和 1706 年发表了他 1694 年对芬诺斯堪的亚 (Fennoscandia) 的调查结果。他描述了滨线明显的向海运动,并认为所观察到的相对海面降低,仅限于波罗的海。然而,Swedenburg 在讨论 1719 年再次观察到的现象时,认为这些早期波罗的海的高海面遗迹,证实了圣经中所说的诺亚时代的“大洪水”(Deluge)。

18 世纪和 19 世纪前期,学术界已用海水量、地壳运动和地球自转速率等 3 个参量的变化来解释所观察到的相对海面变化现象(图 1-1)。如, Celsius (1743) 用全球水量因“蒸发作用和被植物用于形成腐殖质”而减少来解释瑞典海岸海面相对下降的现象,著名植物分类学家 von Linne (1745) 则认为他的结论符合圣经创世纪中所说的大洪水以后的水量减少,并赞成全球供水的连续减少是观察到的海面变化的原因这种说法。

Runeberg (1765) 在研究波的尼亚湾 (Bothnia, Gulf of) 周围陆地抬升时,认为是地壳运动的反应。Playfair (1802) 和 von Buch (1810) 及 Berzelius (1822, 1843) 则将其系统化

为所谓的“抬升理论”，认为海岸线变形原因可能是地球长期冷却和伴随的地壳皱缩所决定的。著名地质学家 Lyell(1835)后来同意这一理论，并使它获得了人们的普遍承认。

对海面变化的第三种解释是 Frisi(1785)提出的。他认为所记录到的地中海地区的海面上升和芬诺斯堪的亚的海面下降，与地球自转速率的加快相一致。这一理论暗示了旋转椭球体的变形，但他的建议并未得到人们的响应。

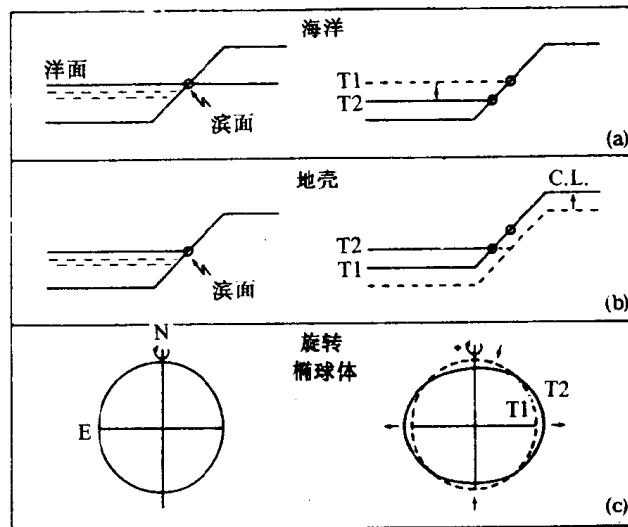


图 1-1 18 世纪至 19 世纪前期解释相对海面变化的 3 种模式

据 Mörner, 1987b。左图表示变化以前的情况(相当于右侧图中的 T1), 右图表示导致海面发生变化以后的情况(T2)。(a)洋面(即水体积)变化;(b)地壳面的变化;(c)地球自转速率的变化

19 世纪中叶,人们已清楚地意识到,不仅“大洪水”,其他原因也可引起洋面随时间的变化。Mörner(1987b)将其归纳为:(1)铅垂线的偏斜,即大地水准面;(2)冰期;(3)洋盆(图 1-2)。作者认为,第四纪冰川作用遗迹的发现与鉴别和冰期理论的提出与发展(de Charpentier, 1835; Agassiz, 1840)是其主要原因。Maclaren 是公认的“冰川性海面变化”(glacio-eustasy)理论的奠基者,尽管他当时还未提出 eustasy 一词。他在《The glacial theory of Professor Agassiz of Neuchatel》(Maclaren, 1841)一文中指出,“如果我们设想从 35° N 纬线到北极的地区披上一层厚到足以掩盖侏罗山顶的冰壳,.....显然这样大量来自海洋的水将直接影响到它的深度。”这一理论后来由 Tylor(1868)和 Penck(1882),特别是 Daly(1910, 1934)发挥得更加完美,认为海面变化是由于气候变化引起的。温度的变化破坏了大洋水、大气水和陆地降水(通过河流返回海洋)之间的平衡。当温暖的间冰期气候变为寒冷的冰期气候,大面积的降水由雨变为雪,停留在陆上积累成冰盖而不返回大洋,从而海面下降。这种机制长期以来被称为海面变化的冰川控制论。

铅垂线的偏斜是 1735—1745 年间,由 Bouguer 领导的法国考察队对秘鲁的安底斯山(Andes Mts)和芬诺斯堪的亚的拉普兰(Lapland)考察时所建立的。von Bruckhausen(1846)第一个认识到铅垂线偏斜应当暗示洋面(由于水质量吸引)沿大陆上升。Fischer(1868)曾计算出这种“大陆波”总计能达到数百米(每秒偏差 8m)。而 Listing(1873)则引入了“大地水准面(geoid)”的概念。著名的阿尔卑斯经典冰期划分者 Penck(1882),曾把

铅垂线的偏斜和水质量的吸引(大陆波)理论应用于冰期理论。他认为冰川质量必然引起冰川边缘附近地区海面的明显上升。他提出冰川性海面下降约为 100m,而冰盖边缘的局部大地水准面上升约为 90m。不过 Hergesell(1887)认为 Penck 的大地水准面上升数字太大了。von Drygalski(1887)和 Woodward(1888)也对冰川作用引起的大地水准面变形作了详细计算,不过所有这些研究都建立在刚性地球的假定之下。

由气候变化所产生的冰盖的消长,引起了地壳的载荷作用而产生的变形。这种地壳变形作用,称为冰川均衡(glacio-isostasy)。这一想法是在苏格兰工作的 Jamieson(1865, 1882)首先提出来的。他曾写道,“它使我想到了,施加于陆地之上的巨大冰体重量,可能与这种(陆面)下沉有关。”至于“均衡”一词及其地球物理概念,是 Partt 和 Airy 分别于 1855 年提出的。后来,一系列研究者(如 De Geer, 1888,1990; Liden, 1913; Nansen, 1922, 1928; Daly, 1934; von Post, 1952; Sauramo, 1955)讨论过由于冰川载荷所引起地壳变形的各种模式。这意味着地球并非是刚性的。这一结论从根本上改变了以前基于刚性地球所作的计算值。

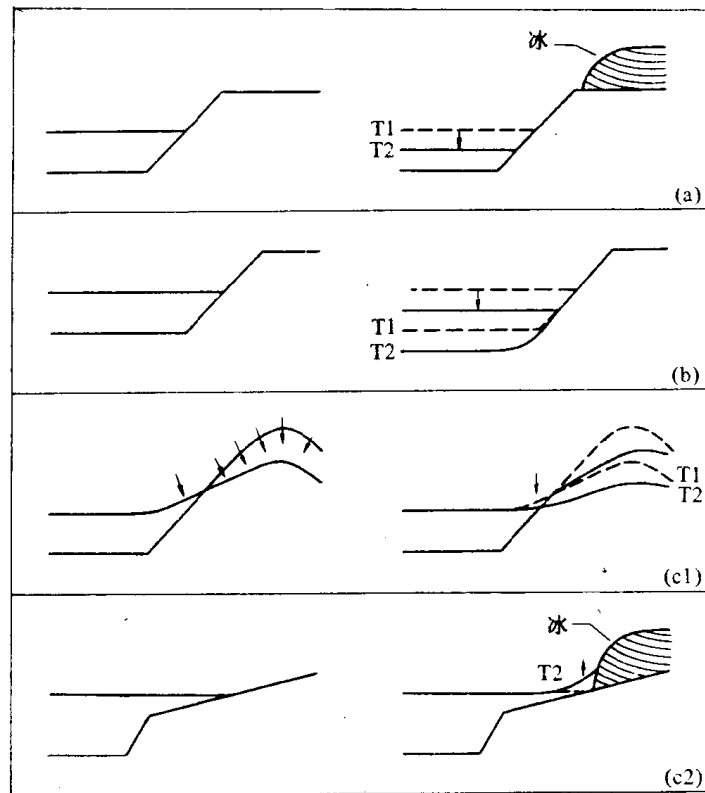


图 1-2 19 世纪解释绝对或 eustatic 海面变化的 3 种模式  
 据 Mörner, 1987b, (a)冰川性海面变化; (b)构造性海面变化(即洋盆容积);  
 (c)水的重力质量吸引(即水分布): (c1)由于大陆质量,或(c2)由于冰质量

进化论提出者 Darwin(1842)认为,珊瑚礁的形成标志着洋底的下沉。这为后来太平洋的研究所证实(Dana, 1849)。Chambers(1848)提出,这种下沉将引起整个洋盆容积

的膨胀,因而将导致海面下降。这就是我们今天所说的构造性海面变化(tectono-eustasy)。然而,上面反复提到的“eustasy”一词本身却出现较晚,是 Suess (1888, 1906)提出的。该词长期以来被广大海面研究者作为海洋表面全球性的垂直移动或海面变化,中文往往译作“绝对海面变化”、“全球海面变化”和“水动型海面变化”,或简单地直接译作“海面变化”,其实均不甚贴切。Suess 的原意, eustatic 并非海水量的增减,而是地壳下沉形成洋盆时引起的海面下降(即后来人们所说的 tectono-eustasy),而沉积物的充填则会引起海面上升[即人们所说的沉积性海面变化(sedimento-eustasy)],他还否认除山脉与洋盆形成以外的各种垂直地壳运动。

由 Maclaren, Jamieson 和 Suess 等人提出,又被 Daly 所发展的海面变化概念和理论,一直持续到 20 世纪 50 年代。Kuenen(1950)在其权威性著作《海洋地质学》一书中,综合了关于海水体积变化的各种观点,列举了海面 eustatic 变化的原因如下:

(1)洋盆形状的变化(洋底的沉积作用、均衡运动与造山运动);(2)大陆上水量的变化(冰川的消长);(3)地球表面水质量的变化(火山作用和其他内部来源的水,部分被矿物在风化和光合作用中吸收水而平衡)。

## 二、海面变化曲线的建立

从海面变化概念诞生的那一天起,人们就力图定量地描绘海面的具体变化。在测年方法和海底探测技术发展之前,人们主要采用第四纪地质与地貌学方法确定冰期、间冰期的时序和大体时代;根据海岸阶地和古海岸线高度判断历次间冰期的古海面位置;根据古冰川遗迹推断冰期最盛期古冰川的面积、厚度,进而推算其体积与相应的海面降低值;根据现代冰川的面积、厚度和体积估算全球冰川全部融化时相应的海面上升高度。

为了尽量做到定量和对比,人们又将孢粉分析和生物地层学方法引入海面变化研究,如芬诺斯堪的亚滨螺(Littorina)海的研究工作等。

海面研究从定性到定量的革命性转变,也象其他晚第四纪地质与考古研究一样,首先应归功于诺贝尔奖金获得者 W. Libby。他于 1950 年左右发现了放射性碳同位素和发明了 $^{14}\text{C}$  测年方法。从本世纪 50 年代到 70 年代前期,沿海与大陆架地质工作的广泛开展,和包括 $^{14}\text{C}$  测年方法在内的一系列新方法、新技术的应用,使海面变化研究取得了空前的发展和长足的进步,并有可能在时间和高度坐标系中用曲线描绘海面变化的历程以及把不同地区的海面变化曲线进行对比(图 1-3)。

## 三、海面变化理论的发展

关于全新世海面变化,由于接近现代、历时又短、古海面遗迹保留最好和与人类关系最为密切。因而研究最为广泛和深入。对于全新世早期海平面的运动,人们看法较为一致。而对近 6ka 来的海面变化,则存在许多争论,基本上可归纳为如下三种基本对立的意见。一种意见认为,至大西洋期结束时,海面迅速上升到目前海面之上大约 3m,并从那时以来具有幅度达 6m 的振荡。这就是以 Fairbridge (1961)为代表的关于 6ka 来海面振荡的学说。另一种意见认为,全新世的海面是连续上升的,直至今天由于时间的前进而

逐步减小, 否认在全新世时期有任何比现今海面要高的高海面的存在。这种意见以 Shepard (1964) 为代表, 可称为连续上升的学说。第三种意见则认为, 全新世的海面先是稳定地上升, 并约在 5-3.6ka.B.P 间达到目前的海面的高度, 且稳定至今。这就是 3.6ka 来海面稳定的学说 (Fisk, 1951)。

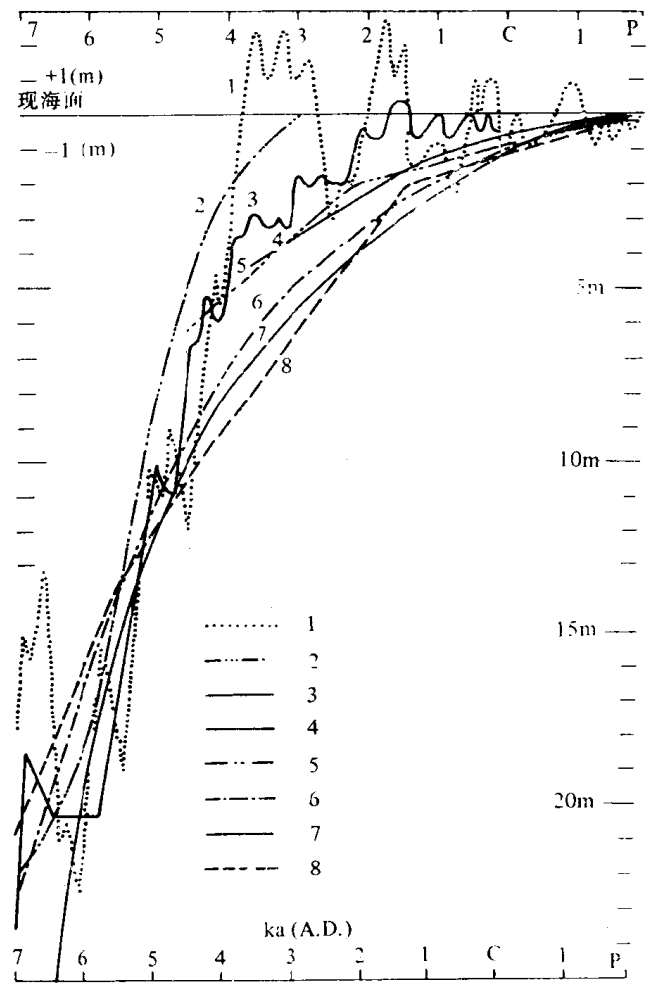


图 1-3 世界各地全新世海面变化曲线

- 据 Mörner, 1971a.
- |                                  |                             |
|----------------------------------|-----------------------------|
| 1. 综合曲线 (Fairbridge, 1961);      | 1. 综合曲线 (Fairbridge, 1961); |
| 2. 新西兰 (Suggate, 1968);          | 3. 计算曲线 (Mörner, 1969);     |
| 4. 美国佛罗里达 (Scholl et al., 1969); | 5. 密克罗尼西亚 (Bloom, 1970a);   |
| (Florida)                        | (Micronensia)               |
| 6. 平均曲线 (Shepard, 1963);         | 7. 荷兰 (Jelgersma, 1961);    |
| 8. 百慕大群岛 (Neumann, 1971).        |                             |
| (Bermuda Is.)                    |                             |

上述不同观点的争论剧烈而且持久, 其焦点集中在是否存在比现今海面为高的全新世高海面问题上。持高海面观点者认为, 连续上升观点的依据来自下沉地区, 而持连续上升观点则认为, 高海面观点的依据来自造山带。不言而喻, 既然 Eustatic 的海面变化是全球性和同时性的, 而具体的、特别是区域性的海面变化曲线则是根据古海面遗迹的高度

和 $^{14}\text{C}$ 年代资料点绘出来的。那么,由于据此得出结论的研究地区的地壳升降运动与沉积物压实的性质与程度不同,研究样品代表古海面位置及其测年的可靠性与精确程度不同,因此必然产生种种分歧与对立意见。

20世纪70年代以前,大多数海平面研究者都认为,由于冰盖消长或洋盆容积的变化所引起的海面升降变化,应是全球同步的,并赋予 *eustasy* 一词以特殊的涵义。一方面各研究者不断补充区域资料,力图找出一条代表全球海面变化的曲线,从而产生了上节所述的种种争议。要解决这场争论,只有两条可能的途径:或者找出一条大家都能接受的 *eustatic* 曲线,或者是找出解释这些差别的原因的模型。于是,地质学家、地球物理学家以及有关学科的专家,或者分别从实际的经验研究与理论、模式研究两条路径去寻求自己的答案,或者是二者的配合来共同解决问题。另一方面是试图找出一个地壳稳定地区,采集一些既能指示古海面准确位置、又能进行可靠测年,还能排除或估量构造、压实、潮汐等影响,从而得出代表全球一致的海面曲线。也有些研究者,试图通过区域间的对比,找出共同的趋势与规律,以消除局地或区域因素的干扰。国际地质对比计划(IGCP)的两个项目,即第61项“最后冰消半周期即15ka来的海面变化”(1974—1982)和第200项“晚更新世海面变化的对比和应用”(1983—1987)的进行则产生了预料之外的结果。

IGCP第61项领导者 Bloom(1977, 1983)编辑了一本全球不同地区的海面曲线图集和附录。但是,这些曲线在年代和高程方面都缺乏一致性,并认为其原因,过去是,将来仍然是由于缺乏统一的方法和同等的资料基础所造成的。这就使海洋事件的对比变得捉摸不定。

由于地质学、地球物理学、力学和数学,以及航天事业的迅速发展和相互渗透,使海面研究进入了新的境界,从而产生了一系列新的思路与模式。

Fairbridge(1961)描绘了有些因素鉴别 *eustatic* 曲线的可能性,在 Daly(1934)之后,定义了:①冰川消长对水均衡的影响[这一因素后来被 Bloom(1967, 1971)精确地定义了];②海洋表面大地水准面的影响[包括软流圈通道(Channel)流,表面与沉层物质传递所引起的重力异常],随后,这些思想被 Mörner(1976b, 1980)所发展;③沉积物负荷对海面变化的均衡影响。

近20年来,海面变化的理论与模式,主要可概括为如下两大体系。一大体系主要从扩大了均衡作用出发,认为地球在一个以千年为单位的力的作用下,是一个粘弹性体。在冰川、水以至沉积物的均衡作用下,根据流变学原理进行计算,即使在同一条假想的 *eustatic* 曲线的前提下,也存在6个具有不同特点的海面变化曲线的带。以 Clark(1980b)为首所提出的这个模式被 Mörner(1987b)称为负荷模式或均衡模式。另一体系从卫星大地测量所得到的全球大地水准面图存在较大的起伏(近200m)出发,认识到地球质量分布的不均匀性及其随时间的变化具有不同的周期性,导致了全球海面变化的不一致,从而引出了大地水准面海面变化(*geoidal eustasy*)的概念。由于大地水准面海面变化的发现, *eustasy* 一词已失去其原有的全球性、同时性海面变化的涵义, Mörner(1976b, 1980)为了保存这一众所熟知术语的存在,重新定义它为简单的“洋面变化”,作为广义的大地水准面变化的同义词。按照因果关系,新定义的 *eustasy* 被分为:①冰川性海面变化(*glacial-eustasy*, 洋水体积的变化);②构造性海面变化(*tectono-eustasy*, 洋盆体积的变化),和③大地水准面变化(*geoidal-eustasy*, 即洋水分布变化或大地水准面起伏的变

形)。后来, Mörner (1986, 1987 a, b) 又把动力海面变化 (图 1-4, Menard, 1981; Mörner, 1983) 也纳入其中 (参见表 13-1), 由于大地水准面变化主要受重力分布的控制, 因而由该模式提出者 Mörner (1987a) 本人称为重力模式。

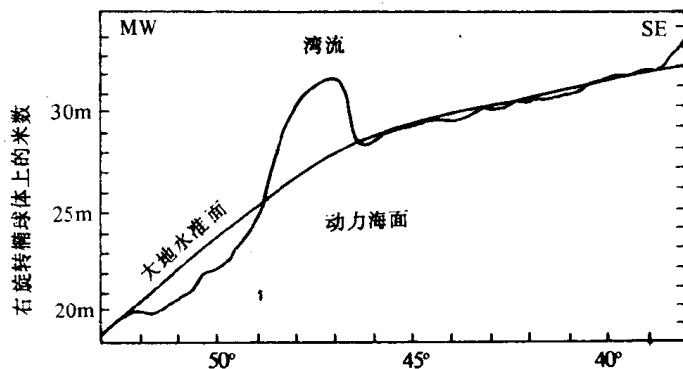


图 1-4 穿过湾流的海面剖面  
据 Menard, 1981; Mörner, 1983

80 年代以来, 海面变化研究进入了以预测与影响研究为主要目标的新阶段。仪器观测资料表明, 从 1880—1980 年的一个世纪中, 全球平均温度上升了  $0.4^{\circ}\text{C}$  左右, 海面上升了 10cm 左右, 人们解释为气温升高引起海洋上层水体热膨胀和冰川少量融化的结果。观测资料表明, 大气  $\text{CO}_2$  浓度已从 1958 年的 315ppm 增加到 1984 年的 343ppm, 比由冰岩芯等所测定的 1860 年左右的  $270 \pm 10\text{ppm}$  增加了  $1/4$  以上。由此可以看出,  $\text{CO}_2$  浓度、气温和海面之间存在着一定的相关关系。到 2030 年左右, 估计  $\text{CO}_2$  浓度可达 420ppm, 并在下世纪末加倍。同时, 有几种具有温室效应的微量气体的浓度将比  $\text{CO}_2$  增加更快, 若以当前观测到的数据外推 50a, 则  $\text{CO}_2$  与其他温室气体的等价  $\text{CO}_2$  浓度的总浓度将达到 580ppm。为此, 出席联合国环境署、世界气象组织和世界科学联盟 1985 年 10 月奥地利菲拉赫 (Villach) 会议的科学家, 对  $\text{CO}_2$  浓度增加, 温室效应加强所引起的气候与环境变迁问题作了如下估计: 2030 年左右, 大气中  $\text{CO}_2$  和其他温室气体的总浓度将相当于工业发达前的 2 倍, 全球表面平均温度将上升  $1.5-4.5^{\circ}\text{C}$ , 海面将升高 20—140cm。近年来, 科学家们又作出了一系列新的估计, 其数值较此要小。

## 第二章 古海面标志

要查明海面变化的历史,首要的问题是要找出能用以确定不同时期海面高度的具体标志及其年代。几十年来,国内外学者关于古海面标志问题已进行了很多十分具体的研究,其中,荷兰地质学家、国际地质对比计划(IGCP)第200项执行局委员 O.van de Plassche(1986)主编的《海面研究》(Sea Level Research)专著中,讨论了海岸障壁砂、海岸软体动物、海滩岩、鲕石、珊瑚与珊瑚礁、珊瑚藻、蛇螺类腹足动物、海洋碳酸盐沉积、海蚀龛、埋藏的树林、大型植物遗体、有孔虫化石、硅藻、介形虫、贝冢等作为古海面标志的价值及存在问题。原苏联莫斯科大学的 Badyukov(1986)也刊出了一篇题为“作为海面指示物的古海岸线”论文,讨论了种种海岸侵蚀与海岸堆积地形在确定古海面位置方面的意义和价值(图2-1)。

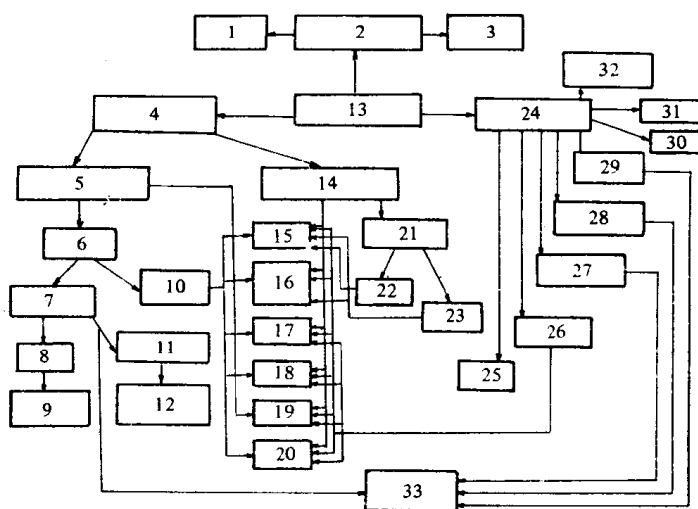


图2-1 主要的古海岸指示物和它们的相互关系

Badyukov, 1986

1. 古海岸残遗; 2. 考古资料; 3. 贝冢、木炭等; 4. 地质标志; 5. 地形标志; 6. 海岸阶地; 7. 海蚀现象; 8. 海蚀崖; 9. 波切槽穴; 10. 海积阶地; 11. 海蚀平台; 12. 锅穴; 13. 沉积岩相; 14. 海滩; 15. 上部水下岸坡; 16. 泻湖; 17. 三角洲; 18. 河口; 19. 沼泽、泥滩; 20. 古海岸线指示物; 21. 化学形成物; 22. 海滩岩; 23. 鲕石; 24. 藻类; 25. 泥炭; 26. 贝壳; 27. 造礁珊瑚; 28. 珊瑚藻类; 29. 叠层石类; 30. 碎骨; 31. 树木藻类; 32. 滨海掘穴; 33. 溶蚀穴

事实上,各种不同的古海面标志,由其本身的形成环境与具体特点所决定,还与对它研究的详细程度有关,它们对古海面位置的指示及其所能达到的精确程度,有着比较大的差别。一般来说,要获得比较精确的(如几十厘米精度)古海面位置实非易事。本章主要介绍在国内外古海面研究中常用的一些古海面标志,它们作为古海面指示物的意义和价



值,及其存在的问题。

## 一、生物标志

### 1. 有孔虫

有孔虫是单细胞海洋原生动物的一个重要门类,它们的介壳有钙质壳、胶结壳、瓷质壳和有机模 4 种类型。除有机模外,其他 3 种能作为化石保存下来。已知最早的有孔虫化石出现于寒武纪。

有孔虫按其生活方式可分为浮游有孔虫和底栖有孔虫两类。浮游有孔虫现生存的大约只有 30 多种,均为钙质壳。底栖有孔虫报道的现生存的有 1000 种左右,4 种介壳类型均有。

有孔虫个体细小,壳径从 0.02—110mm 不等,一般都在 10mm 以下。

在现代海洋沉积物中有丰富的有孔虫,每平方米面积多达  $10^2$ — $25 \times 10^6$  个 (Loeblich & Tappan, 1964)。在大洋底的抱球虫软泥中每平方米可达到  $9 \times 10^4$  个 (Saidova, 1967)。

有孔虫化石在古地理研究中具有十分突出的意义和价值,但对古海面位置的确定,并非所有的有孔虫都能成为良好的标志。浮游有孔虫分布于开阔的大洋水体,主要受温度与潮流的影响,对于海面变化没有明显的反应。底栖有孔虫几乎分布于所有的海洋环境。在边缘海环境中,有孔虫主要受盐度、温度和水深等因素的影响。在稳定的近岸海域,生物的竞争对有孔虫也有较大的影响。在河口港、瀉湖区,有孔虫组合类型主要受盐度的控制。在沼泽地区,有孔虫组合对于水深的变化十分敏感,用来恢复古海面位置,其精确度可达  $\pm 10\text{cm}$  (Scott & Medioli, 1978, 1980)。

#### (1) 潮汐沼泽地带的有孔虫

潮汐沼泽(亦称盐沼)是植被覆盖的潮坪区之高高潮和平均海平面高度之间的地带。若潮差超过 7m,盐沼的基底就不会下伸到平均海平面高度。在沼泽的垂向层序中,主要部分是低位沼泽,但似乎总保持着 30—80cm 的高位沼泽带。在较温和、雨量中等的气候条件下,沼泽的整个植物系列中 *Spartina* sp. 占优势。在干旱气候的海岸沼泽中 *Salicornia* sp. 占优势。据英国 Murray (1973),一个沼泽带的向海部分以 *Spartina* 占优势,向陆部分以 *Salicornia* 占优势,在最高部位有鳀藜属 *Batis* 和 *Distichlis*。化石状态的大米草属沼泽往往形成泥炭,而盐角草属沼泽通常成为有机泥。大多数沼泽的 pH 值比较低。

大多数广布的沼泽有孔虫为胶结壳类型,这种胶结壳较抗溶解。滨海沼泽的底栖有孔虫组合的现存量很大,从 0 个 / 10cm 到 8600 个 / cm 不等,且种数较少。其中常见的有孔虫有:棕硅粟虫 (*Miliammina fusca*)、胖砂轮虫 (*Trochamina inflata*)、瘦瘪砂轮虫 (*T. macrescens*)、盐砂虫 (*Ammotium salsum*)、窄瓣砂轮虫 (*Tiphotrocha comprimata*)、砂竖口虫 (*Arenoparella meyvana*)、毕克卷转虫 (*Ammonia beccarii*)、企虫(希望虫) (*Elphidium* spp.)、不称砂巧虫 (*Ammonoastuta inepta*) (Phleger, 1966)。Murray 总结欧洲和北美十几个地区的资料后提出,沿海沼泽的遍生种是盐砂虫、砂竖口虫、棕硅粟虫、胖砂