



第二集

第四纪冰川与  
第四纪地质论文集

地质出版社

# 第四纪冰川与第四纪地质论文集

第 二 集

杨怀仁 主编

地 质 出 版 社

## 内 容 简 介

本文集选登论文19篇，主要包括三个方面，第四纪海面变化、古气候与古环境以及活构造与地壳运动。

关于第四纪海面变化方面，论述了近年海侵海退与海面变化理论的进展(第1~7篇)，新生代海侵海退与古气候古环境，晚更新世及全新世气候变化与海面升降运动(第1~3篇)，气候变化及海面变化的影响及其变化趋向的预测(第4~6篇)。这七篇关于海面的论文，反映了70年代末至80年代初国内外海面变化机制研究的新成就，并联系到海面升降、海岸线与长江、太湖演变的关系及其对沿海经济建设可能发生的影响。内容上与中国气候变化、环境变化等互为印证。

关于第四纪气候和环境方面(第8~12篇)，论述近年第四纪气候变化理论研究的新进展，讨论我国东部及西部古气候古环境；冰期气候对黄土沙漠的影响。当第四纪冰期中，北半球两大冰原的发展，从北极到北纬38°及50°左右，为厚度达3000米的大陆冰流所覆盖。它们对地球气候发生深远的影响。我国气候带南移，干燥带扩大，堆积了大面积厚层黄土；中国东部冰期中受强烈而频繁的寒潮侵袭、雪线降低、冰川冰缘气候发展，北方动植物群南移、海面降低100~130米。西部高山高原隆起、东部海洋温度降低，发生大面积海退，凡此都使中国大陆环境发生变化。论文阐述了我国第四纪气候的性质，建立了我国冰期与干燥期对应的关系，并探讨了我国第四纪尤其全新世气候和海面变化的幅度和速度及人类活动对气候和海面变化的影响。

文集中又论述了中国近代构造地貌与气候地貌的理论发展(第14~16篇)，并对我国第三纪末至第四纪地壳运动的活动特征，中国地貌的内力基础——地貌运动以及活构造的发展和性状作了分析论述。

文集中分析了我国第四纪构造运动对气候变化的影响，以及气候与海面变化的关系，并强调我国岩石圈、冰雪圈与大气圈之间的反馈作用，深入探索第四纪气候、海面与环境演变的原因机制。

文集内的8、9、10、12诸篇为地质部长江中下游第四纪冰川及第四纪地质研究项目的一部分。第1、2、3、5诸篇是中国科学院科学基金资助的课题。

## 第四纪冰川与第四纪地质论文集

### 第 二 集

杨怀仁 主编

责任编辑：李鄂荣

地质出版社出版

(北京西四)

妙峰山印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本：787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张：12<sup>3</sup>/<sub>4</sub> 插页：1 字数：300,000

1985年6月北京第一版·1985年6月北京第一次印刷

印数：1—2,750册 定价：3.15元

统一书号：13038·新132

## 目 录

中国近20000年来的气候波动与海面升降运动.....	杨怀仁	谢志仁(1)
中国东部晚更新世以来的海面升降运动与气候变化.....	杨怀仁	赵英时 谢志仁(19)
新生代地球气候变化及海面升降的研究.....	杨怀仁	杨达源(31)
气候变化与海面升降的趋向.....	杨怀仁	谢志仁(44)
全新世海面变化与太湖的形成和演变.....	杨怀仁	谢志仁 杨达源(49)
长江下游晚更新世以来河道变迁的类型和机制 .....	杨怀仁	韩同春 杨达源 谢志仁(65)
世界海面变化研究的进展.....	杨怀仁	杨达源(74)
论全新世海面变化.....	杨怀仁	谢志仁(82)
中国第四纪古气候与古环境 .....	杨怀仁	徐馨(89)
中国东部第四纪自然环境的演变 .....	杨怀仁	徐馨(104)
第四纪冰期气候对中国黄土、沙漠的影响.....	杨怀仁	徐馨(126)
第四纪气候变化.....	杨怀仁	(135)
第四纪间冰期向冰期过渡的气候变化——关于新冰期来临的征兆.....	杨达源	(145)
一万年来青藏高原气候的变化及其发展趋势的初步研究.....	王富葆	(153)
镇江地区一万五千年来的古环境.....	南京大学地理系第四纪研究小组	(162)
中国造貌运动与地貌学基本理论问题.....	杨怀仁	(170)
近代构造地貌与气候地貌的基本问题.....	杨怀仁	杨达源(177)
海州湾西岸地层的C <sup>14</sup> 年代及其地质意义 .....	曹琼英	(186)
江西南昌西山东坞泥炭的孢粉分析.....	韩辉友	(191)

## Contents

- Sea-level changes and climatic fluctuations over the last 20,000 years in  
China  
.....*Yang Huai-jen and Xie Zhiren*( 1 )
- Eustatic movements and climatic variations since the Late Pleistocene in  
East China  
.....*Yang Huai-jen, Zhao Yingshi and Xie Zhiren*( 19 )
- Studies on the Cenozoic climatic variations and eustatic changes  
.....*Yang Huai-jen and Yang Dayuan*( 31 )
- Trends of the present climatic variation and sea-level change  
.....*Yang Huai-jen and Xie Zhiren*( 44 )
- Holocene sea-level changes and the origin and evolution of the Taihu  
Lake  
.....*Yang Huai-jen, Xie Zhiren and Yang Dayuan*( 49 )
- Processes and causal mechanism of migrations of the Changjiang (Yang-  
tze River) since the Late Pleistocene  
.....*Yang Huai-jen, Han Tongchun, Yang Dayuan and Xie Zhiren*( 65 )
- Progress of the study on global sea-level changes  
.....*Yang Huai-jen and Yang Dayuan*( 74 )
- On Holocene sea-level changes  
.....*Yang Huai-jen and Xie Zhiren*( 82 )
- Quaternary paleoclimates and paleo-environments in China  
..... *Yang Huai-jen and Xu Xin*( 89 )
- Quaternary climatic and environmental changes in East China  
.....*Yang Huai-jen and Xu Xin*(104)
- Effects of Quaternary glaciations on the expansion of loesses and  
deserts in China  
.....*Yang Huai-jen and Xu Xin*(126)
- Quaternary climatic changes  
.....*Yang Huai-jen*(135)
- The climatic changes of the transition period from interglacial to  
glacial (on the premonitory signals of a coming new glacial)  
.....*Yang Dayuan*(145)
- Preliminary study on the climatic changes and its developmental trends

- over the last 10,000 years on the Qinghai-Xizang Plateau  
 .....*Wang Fubao*(153)
- Environmental changes since 15,000 years before present in the Zheng-  
 jiang region.....*Quaternary  
 Research Group, Geography Department of Nanjing University* (162)
- Morphogenetic movements of China and basic problems on the theory  
 of Geomorphology  
 .....*Yang Huai-jen*(170)
- Basic problems in modern morphotectonics and climatic geomorphology  
 .....*Yang Huai-jen and Yang Dayuan*(177)
- C<sup>14</sup> dating of the Quaternary deposits and their geological significances  
 along the western coast of the Haizhou Bay  
 .....*Cao Qiongying*(186)
- Pollen analysis of Holocene peat from Dongwu Lake, Xishan mountain,  
 Nanchang, Jiangxi province  
 .....*Han Huiyou*(191)

# 中国近20000年来的气候波动 与海面升降运动\*

杨怀仁 谢志仁

(南京大学地理系)

## 一、前 言

在地球历史上,气候发生过多次剧烈波动。仅第四系的二百多万年中就曾发生过二十余次冰期,每个冰期旋回约十万年。在这种大尺度的气候波动过程中还包含着许多时间较短、幅度较小的波动,形成地球气候不同尺度与多旋回性的变化。与此同时,全球海面也曾经历过频繁的升降变化。引致海面升降的原因十分复杂,主要的原因有三种,即:气候波动、地壳运动及大地水准面变形。气候波动直接影响全球水循环过程,从而控制着大洋中海水量的变化,因此是全球海面升降的关键。海底扩张、均衡调整等地壳运动方面的原因通过改变洋盆容积也引起全球性的海面升降运动。同时,地壳运动还使各地的海面相对变化过程呈现出地区差异性。而大地水准面的变化则通过海面起伏的改变,使各地的海面绝对变化过程也呈现出强烈的地区差异性。海面变化忠实地记录了气候的冷暖变迁,因此它无疑是地球的“温度计”。又因为海面变化记录了海底扩张及地壳运动的强度,所以又可视作地球的“脉搏计”。至于海面变化记录中所包含的大地水准面变形的信息,更是涉及地球重力场变化以及地球运动状态变化等不同因素,这些因素与气候因素、构造因素之间又都互有联系,形成复杂的反馈机制。这些原因机制决定了海面变化的研究势必涉及第四纪地质学、气候学、海洋学、地球物理学等等不同学科的基本理论,因而是一项多学科性的理论课题。

海面变化研究力图恢复海面变化的历史过程,这不仅是理论发展的要求,也不只是大陆边缘地区矿产资源开发事业的要求,其重要意义还在于对海面变化的趋向作出科学的预测。人们现在已经认识到,未来的海面变化,无论是上升或下降,对人类都是一种潜在的威胁。因此,海面变化的预测研究近年来日益受到了人们的关注。在这方面,最近两万年海面变化的研究具有特殊的重要意义。因为这一时段是最近的一个海面旋回的半周期,对这一时段的研究主要是探索从冰期最低海面到间冰期最高海面变化过程中各种小尺度的气候——海面波动。我们固然要研究幅度达数十米乃至百米以上的,由冰期旋回引起的海面变化。然而,与人类关系最为密切的则是叠加在这种大尺度变化上的、幅度为几米乃至几十厘米的变化。大尺度气候—海面变化的研究有助于分析目前气候和海面的由来,及其在

---

\* 中国科学院基金资助的课题。

长期发展过程中所处的位置，而小尺度变化的研究则可以深入了解详细的气候—海面变化过程。二者相互印证，始有可能科学地预测今后海面发展的趋向。

我国东部为亚洲大陆濒临西太平洋的边缘地带，第四纪以来海面的频繁升降，岸线的多次进退都在地貌上或地层里留下了一定的遗迹。而且，我国东部地处中纬，是气候变化的敏感地区。这一特定的地理环境，决定了我国东部是为全球气候波动和海面升降运动研究的重要场所。我国东部具有大面积的长期沉降区，如华北平原和苏北平原，它们的厚层沉积地层中，较完整地保存了第四纪以来气候波动和海面升降的记录。我国还有极为丰富的考古资料和历史文献资料，其中包含着数千年来气候变化和海面变化的大量信息。发掘、整理这些记录和信息，对全球气候与海面变化研究具有深远的意义。

根据目前的研究，我国华北平原钻孔所反映的气候波动，二百多万年来有21次以上，与深海钻孔氧同位素分析所反映的冰期旋回基本一致。与此同时，我国华北地区所发生的海侵次数已定名者至少8~10次。其中晚更新世以来的三次大规模海侵在我国东部沿海地区普遍留下了三层海侵层，它们与最近的三次冰期气候波动相对应。对近两万年来我国气候及海面变化的过程，我们近年来根据陆架及沿海平原大量钻孔资料、考古资料以及历史记载，进行了以下几方面的研究。

## 二、气候波动与海面升降的频率与速度

距今18,000年前，是地球最近一个冰期中，气候最为严寒、冰流最大发展和海面降低最甚的时代，称之为盛冰期时代。盛冰期以来，海面升降运动的幅度、速度和频率，为近年来有关地球科学和生态学所十分关注的问题。但是世界不同科学家所获得的结果并不一致，近年正在致力于分析研究其差异的原因及意义。我国岸线绵长，陆架宽阔，地壳运动比较活跃，地壳强度差殊，对水均衡运动所引致的均衡调整数量也有差异。近年我们据大量钻孔资料、地壳形变测量结果，分析上地幔活动的性质，并运用丰富的考古及历史资料，消除各种复杂因素后，推算出代表世界性海面变化的数据，并进一步与气候变化综合对比，目的使我国海面曲线更有代表世界气候—海面变化的意义。

距今18,000年前至7,000年前为冰流融消的半周期，这段时间海面上涨最迅速。据A.L. Bloom (1971、1978)：10,000~7,000年前世界海面上升率为10毫米/年，而距今7,000年以后海面上升率为1~2毫米/年<sup>[18,19]</sup>。据Flint(1971)：10,000~9,000年前海面上升率为8毫米/年，而3,000年来上升率为0.35毫米/年<sup>[20]</sup>。又据Komar(1976)：10,000~7,000年前海面上升率为8毫米/年，7,000年以来海面上升率为1.4毫米/年，4,000~2,000年前海面接近今日<sup>[21]</sup>。以上数字多为世界有关科学家所引用。但是这些数字仅能表示变化的大致趋势，不能表示各时段波动的频率和正负运动的交替，与全新世气候的变化曲线也缺少紧密的联系。

我们通过对四百多个钻孔与四百五十个左右考古点及大量有关资料的整理分析，提出并运用了“海面遗迹峰值”、“微体成果多孔多点研究”、“最低居住面”、“最低密度线”、“文化层堆积间断”等概念及相应的研究方法，获得了一些重点研究地区的海面相对变化曲线（见图1、图2）。然后，对海面相对变化曲线中所包含的地面升降量，分别从均衡运动、构造运动和压实作用三方面进行了校正计算和验算。从而进一步获得了我国近两万年来



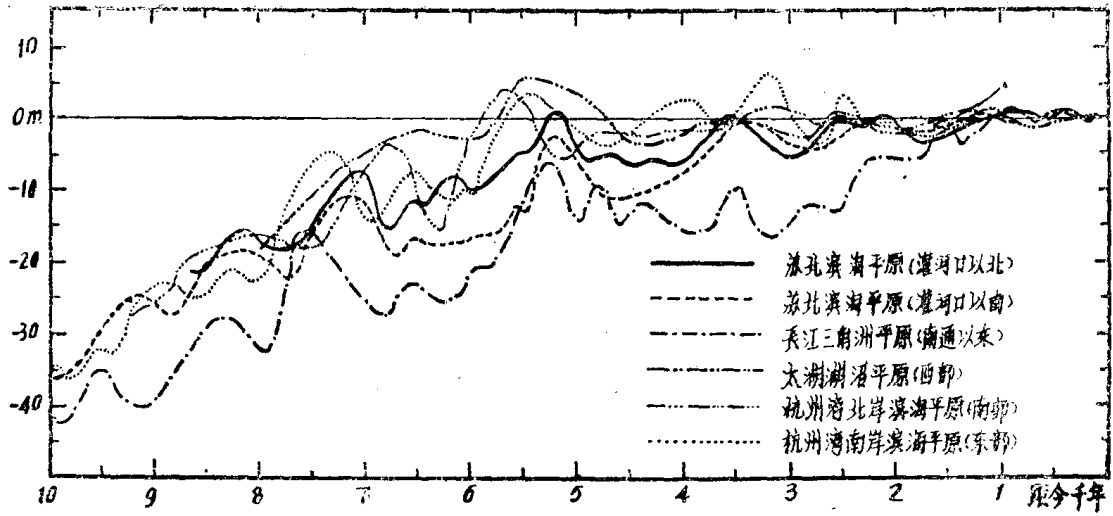


图 1 海面相对变化曲线比较图

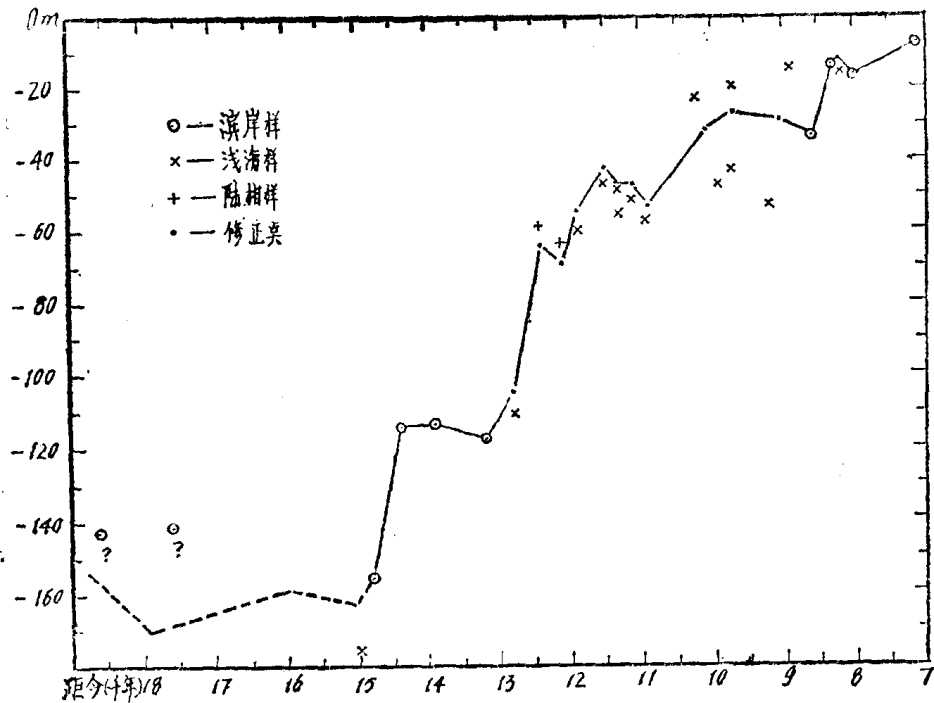


图 2 东海陆架区海面相对变化曲线图

(样品点数据系从近年发表的资料中收集而得, 陆架部分样品的数据根据国家海洋局二所)

的海面绝对变化曲线, 初步恢复了这一时期我国海面升降运动的历史(见图3)。

从图 3 所示的海面曲线和海面变化的平均速度值可以看出: 距今 2 万~1.5 万年前是海面处于最低位置的时期, 海面的最低值可能出现在距今 1.3 万年前, 1.8~1.5 万年间海面平均上升速度约为 3.3 毫米/年。距今 1.5~1.05 万年前是海面急剧升降与迅猛上升的时期, 上升的平均速度是 18.2 毫米/年, 我们称之为晚冰期海面高速上升期。进入全新世后至距今 6 千年前, 海面以平均 4.6 毫米/年的速度在波动中继续上升。距今 6 千年之后, 波动幅度明显减小, 海面渐趋稳定。海面上升的平均速度在距今 2.5 千年之前为 1.6 毫米/年, 此后

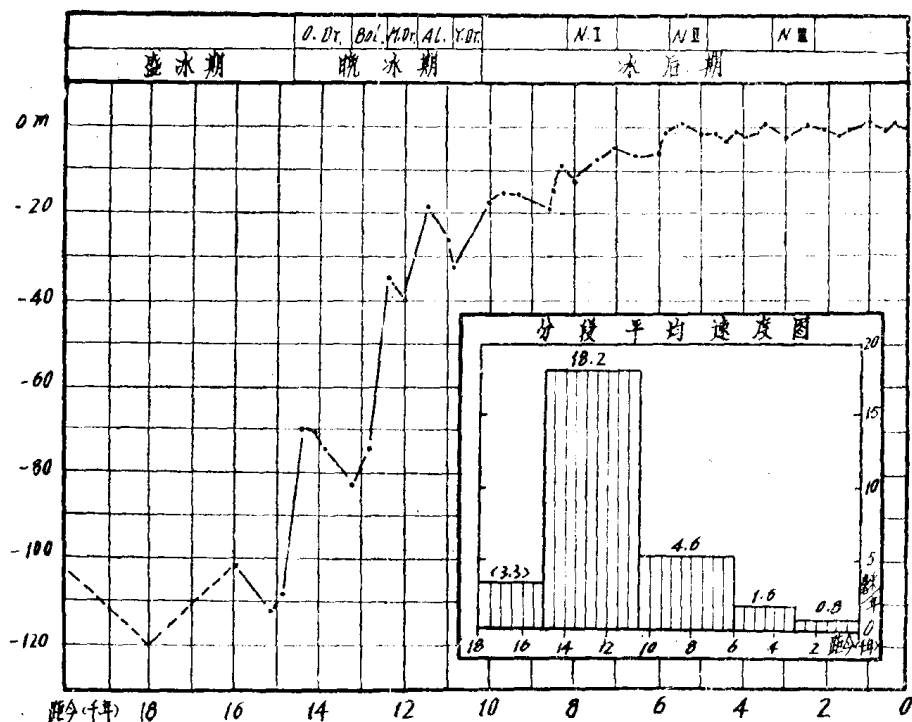


图3 中国东部二万年以来海面绝对变化曲线图

此曲线一万年以前部分主要根据陆架区相对曲线经地面升降校正后获得，一万年以后部分则主要根据江浙沿海平原6条相对曲线，经地面升降校正后获得；晚冰期的气候期划分据Woillard (1975) [22]。图中缩写O.Dr, M.Dr, Y.Dr分别代表老、中、新仙女木期；Bol, A1分别代表波林期和阿勒罗德期。N.I, N.II, N.III分别代表北半球新冰期第一、二、三期（据[22]、[23]）

进一步减小到0.8毫米/年。

图3所示的我国海面绝对变化曲线还表明：两万年来，海面升降运动的波动是十分频繁的，比较明显的波动至少有10次。将这十次波动与用统计方法获得的全球平均海面变化曲线所反映的全球性的海面波动加以对比，可以察见：二者在发生的时间上几乎是完全一致的，其吻合的程度决非偶然的巧合或其它原因所能解释（见图4）。由于全球平均海面的波动为气候控制的海面升降运动的波动，因此我国海面曲线上的这些波动也理应与气候的波动相一致。关于这方面的对应关系，在图4中也已得到明确的反映。

图4所示的我国气温曲线是综合了华北、华东十余个孢粉分析剖面的资料，应用“孢粉成果多孔多点研究”的概念和方法推算得来的。由于气候的短期变化或突然变化需要十分精细可靠的分析才能加以确定，现有孢粉资料的精度却往往不能满足这方面的要求。因此，我们所获得的这条气温曲线是一种综合曲线。分析结果表明：近两万年来我国东部的气温较明显地经历过十次波动，平均气温升降的总幅度约为10~12°C，而各次波动的温度升降幅度以2~3°C到6~7°C不等，每次波动中还伴有次数甚多的次一级波动，这种情况用锯齿状波折线描述比用园滑曲线似乎更为适宜。将我国的这条气温曲线与北半球中纬地区的气温曲线加以对比，可以看到二者在大的波动层次上是基本一致的，而我国的曲线在近六、七千年以来的部分则反映出更多的波动细节。

总之，通过对比可以说明：在气候波动与海面升降之间，以及在我国的变化与全球性

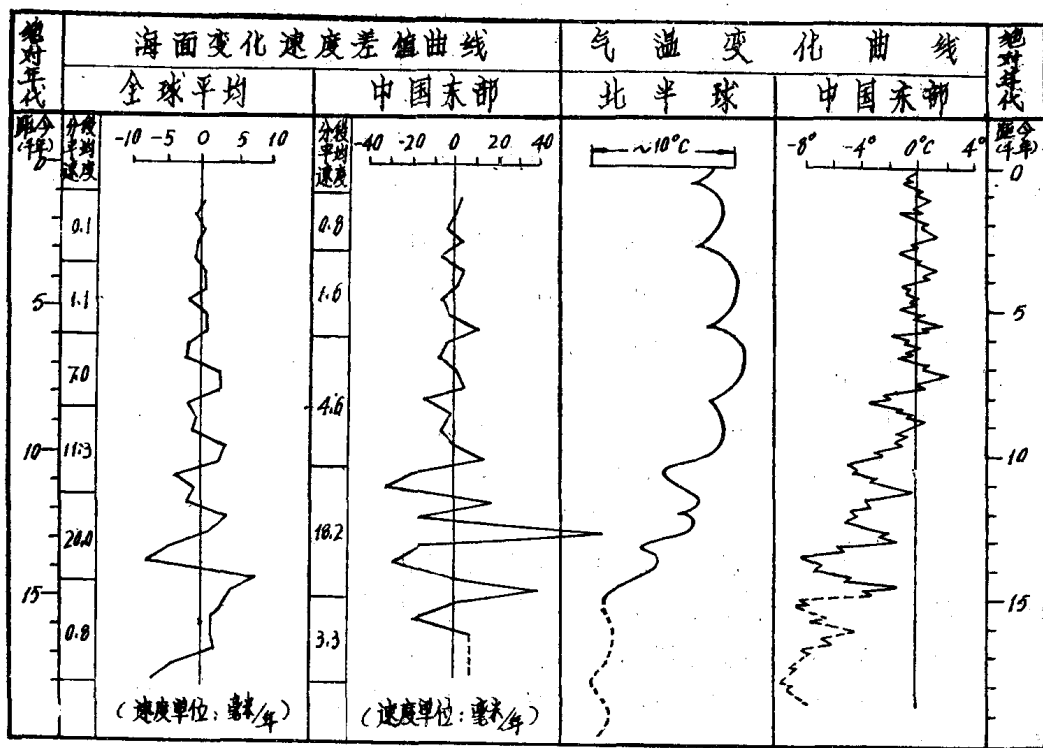


图 4 近二万年来气候波动与海面升降对比图

全球平均海面变化差值曲线系世界各地28条海面变化曲线统计所得，反映海水量变化过程的平均状况。中国东部气温曲线主要根据孢粉分析成果用统计分析方法获得，原始数据主要取自于〔1〕、〔2〕、〔4〕、〔3〕、〔5〕以及南大地理系徐攀、王富葆等人的成果。北半球气温曲线是根据森林界线的变化、冰川界线的变化以及孢粉记录的植物分布的变迁综合推断的，转引自〔25〕

变化之间均存在着极为良好的相关性。因此，我国海面绝对变化曲线所反映的各次海面波动应该是由气候控制的全球性海面升降运动的表现。我们利用丰富的地面和地下资料所获得的海面曲线，较详尽地反映了我国和西太平洋地区气候—海面变化的过程，为探求气候—海面变化规律，预测今后变化趋势，提供了可供依据的变化过程曲线。

### 三、盛冰期的最低海面位置

近两万年期间在气候分期上大致可以划分为盛冰期 (Pleniglacial)、晚冰期 (lateglacial) 及冰后期 (postglacial)。从全球情况看，第四纪最后一次冰期距今1.8万年前后发展最盛，海面降低达百米左右。此后，于距今16,500~15,500年间世界各地的冰流曾一致地后退，但接着于距今15,000年前后又再度前进，是为气候的又一冷峰〔26〕。

我国东部的孢粉资料也反映距今2.0~1.5万年前是晚更新世以来气候最为寒冷的时期，年平均气温较今降低6~8°C以上。此时，海面低降，广阔的陆架区为一片草原至森林草原景观。现有的C<sup>14</sup>资料表明：距今15,000年前后的古海面遗迹在东海陆架前缘坡折处，目前水深约150~160米。这一数据曾被认为是更新世末期东海最低海面位置的标志〔6〕。

如果此数据无误，则说明东海陆架前缘一万五千年以来的海面相对变化量为155米

上下。但是这一数据中必然包含着因水层厚度增加所引起的水均衡运动下沉量，在计算当时海面位置的标高时必须将其扣除。为了求得这一均衡下沉量，我们采用两种方法分别进行了计算。

W.S. Newman等人(1980)在推算美国东北海岸外陆架边缘的均衡下沉量时曾采用了如下公式<sup>[27]</sup>。

$$(T_w \times 1.03) + (T_s \times 1.9) = \Delta H \times 3.4$$

式中 $T_w$ 表示海面上升所增加的水深(米)， $T_s$ 表示同时期沉积层的厚度(米)， $\Delta H$ 表示水负荷及沉积物负荷所引致的均衡下沉量(米)；1.03、1.9、3.4分别为海水密度、沉积物容重及上地幔密度。

由于东海陆架前缘坡折处晚冰期以来形成的沉积物厚度很薄，因此对沉积物负荷所造成的均衡下沉未予估算。将水深155米代入上式，求出因水负荷引起的均衡调整量为47米。

此外，我们根据江浙沿海从平原边缘到现代海岸附近的東西向地层剖面，对更新世末古地面的倾斜率进行了统计分析，进而求得更新世末期以来东海陆架前缘坡折处的总下沉量约为49米。两种方法求得结果相比，相差仅2米。从155米中减去49米，可知15,000年前东海海面的标高是-106米。这一数值与根据南京附近埋藏的冰期古地貌推算的结果(100米左右)也十分接近。

但是，从全球情况来看，气温和海面的最低值出现在距今18,000年前后，而东海陆架前缘的贝壳和沉积物样品中也曾见到过氧化迹象。因此，我们认为：盛冰期东海最低海面应低于-106米，该海岸遗迹当在目前水深150~160米以下。

#### 四、晚冰期气候和海面的剧烈波动

盛冰期之后，气温明显回升，海面迅速上涨。但是在气温回升，海面上涨的过程中曾有过多次剧烈的波动。Woillard(1975)根据法国东北部的孢粉分析成果，阐明了晚冰期的三个冷期和两个暖期的气候明显波动<sup>[22]</sup>。三个冷期即老仙女木期(距今14,600~13,200年)、中仙女木期(距今12,400~11,700年)、新仙女木期(距今10,800~10,200年)，它们之间的两个暖期依次是波林期和阿勒罗德期。与这几次气候波动相应，世界海面也随之发生过较大幅度的波动。Flohn(1979)认为：阿勒罗德期中世界海面从-50米上升到-35米，这次短暂的海面大幅度上升可称为晚冰期的灾难性海面变化。在随后的新仙女木期，气候的急剧寒冷也是灾难性的。在不超过150年的时间内，气温下降达8~9°C。冰川的再度前进毁灭了已经发育成熟的森林。而与此同时，海面的下降幅度也达15米左右<sup>[28]</sup>。晚冰期的气候—海面剧变已引起有关科学家的注意。因为这种在短期内发生的剧变对于地球气候—海面变化趋向的预测研究方面，无疑具有重要的意义。因而，我们有必要对我国的情况进行较深入的研究。

晚冰期的气候—海面波动在我国的记录中有着明确的反映，而且其变化的急剧程度十分引人注目。华北地区在晚冰期的三次冷期中，现代生长在1500米以上山地的云杉、冷杉林都曾下降到丘陵乃至山前平原区。而在两次暖期中都出现了温带阔叶林，气温变化幅度

在6°C以上，而且其变化过程往往十分短促。例如根据北京地区资料，按C<sup>14</sup>年代和沉积率推算，结果发现：在阿勒罗德期中茂盛的以椴为主的阔叶林，随着气候进入新仙女木期，在大约120年的时间内即被云杉、冷杉林及草原植被所代替。华东地区的气候在晚冰期中也曾发生过几次大幅度的波动，其间还伴随有更多次数的较小波动。在暖期中，江南曾出现茂繁的暖温带—北亚热带混交植物群落，气温一度接近于现代。而在冷期中，则代之以干燥草原或森林草原植被，气温的最大波动幅度可能达7°C以上。初步推算的结果表明：我国晚冰期气候的这几次剧烈波动，代表了晚冰期中的几次全球性的气候急剧波动期，但其冷峰和暖峰出现的时间因我国地理位置而略有先后差别。

从图3所示的海面绝对变化曲线上可以看到，晚冰期气候的波动使我国海面也发生了相应的急剧升降。据我们所获得的海面绝对变化数据推算，我国海面在晚冰期的升降幅度及平均速度如表1所列：

表1 晚冰期中国海面升降数据表

气候期	老仙女木	波林	中仙女木	阿勒罗德	新仙女木
海面升降幅度(米)	-13	48	-5	14	-17
海面升降速度(毫米/年)	-10.1	64.0	-19.2	12.8	-46.7

注：负值表示海面下降。

我国海面在晚冰期的这几次急速升降中最引人注目的一次海面上升发生于波林期，海面从距今13150年的-83米上升到距今12400年的-35米，上升速度达64毫米/年。据江南的孢粉资料，此期间的气温上升幅度可能超过7°C，是晚冰期中最迅急的一次气温上升。在阿勒罗德期中，我国海面的上升幅度至少为14米，与Flohn推算的世界海面上升幅度相接近，但起落点高程相差将近10米，可能与古大地水准面的起伏有关。因此，我国海面变化的研究对地球古大地水准面的恢复很有意义。晚冰期我国海面最急速的一次下降发生于距今11,050~10,900年之间，短短150年内，海面从-26米下降到-33米，下降速度达46.7毫米/年。与大西洋海岸资料相比，海面下降的幅度相似，但是发生的时间比Woillard曲线上的新仙女木期稍偏早。

我国海面在距今15,000~10,500年间的平均上升速度是18.2毫米/年，而实际上，由于气候的剧烈波动，海面升降的“瞬时”速度往往数倍于此数。这样迅急的变化对于生态环境及人类生活的影响必然是十分剧烈的，因此称之为晚冰期的灾难性变化，并非过分之辞。气候—海面的这种急剧变化，可能反映晚冰期大陆冰流的特殊融化方式，这种变化反映了海洋—冰雪圈—大气圈之间的复杂反馈机制。我国晚冰期中所发生的几次大幅度、快速度的波动，已达到一次夭折冰期的水平。这些情况为气候—海面变化研究提供了一个有力的论据，即：从间冰期过渡到冰期的气候变化为时比较短急，大幅度的降温历程不足200年，近年从格陵兰冰流钻孔氧同位素变化曲线上也反映出上述气温变化的模式。但在我国东部，不仅在气温变化上，并且在海面变化上都有相应的迅急的变化。

## 五、冰后期的气候波动与海面升降

我国冰后期气候期的划分习惯上多采用布利特—谢尔南德分期 (Blytt-Seonander Climatic Periods), 亦即将冰后期一万多年来的气候发展过程划分为: 前北方期、北方期、大西洋期、亚北方期、亚大西洋期等五个阶段。但是由布利特于1876年提出的这一方案至今已有一百多年历史。近年来, 对全新世的研究已日益深入。大量事实表明: 冰后期的气候曾发生过多次强烈的变动。据北半球冰川进退等气候指标的研究, 全新世气候曾出现过四次寒冷期, 分别称之为新冰期第一至四期, 大约每隔2,500年发生一次新冰期的高峰, 前三次寒冷期的平均持续时间约1,000年。各次寒冷期及其冷峰出现的时代如表2所列:

表2 北半球全新世气候波动情况表

寒冷期名称	新冰期第一期	新冰期第二期	新冰期第三期	新冰期第四期 (小冰期)
持续时间 (年B.P.)	8200—7000	5800—4900	3300—2400	450—30
冷峰出现时间 (年B.P.)	7800	5300	2800	200

据Denton et al(1973)<sup>[23]</sup>, Sugden et al (1977)<sup>[24]</sup>

根据我国孢粉资料分析, 一万年来气候波动的序列大致与表2所列的北半球平均情况相似, 但我国冷峰出现的时间一般要提早200~500年, 而且气候波动过程较表2反映的情况更为复杂: 在一次寒冷期中往往还存在气温上升过程, 在寒冷期之间的温暖期中也发生过气温下降现象。初步推算的结果, 新冰期第一期的冷峰在我国出现在距今8,200年前后, 第二期的冷峰在距今5,800年前后最为明显, 而第三期的冷峰约出现在距今3,000年前后。此外, 在距今9000年及4,000年前后我国南北也曾出现明显的低温。

新冰期第一、第二期的这两次冷峰出现时, 北京地区的云杉、冷杉为代表的暗针叶林都曾再次下降到海拔500米左右的丘陵地带, 气温较今低5~6°C。新冰期第三期的冷峰即相当于竺可桢所称的“公元前十世纪寒冷期”。物候资料表明, 此次降温伴随着大旱<sup>[5]</sup>。孢粉资料也反映此次冷峰出现时, 我国气候明显恶化。北方地区的针叶林及麻黄、蒿等干旱植物大为扩张, 长江两岸原来亚热带成份较高的植物群也被针叶林或针阔混交林所替代。在这几次寒冷期之间的温暖期中, 气温曾数次超过现代1~2°C乃至2~3°C, 最明显的升温时期大致在距今7,500~7,000年及距今4,000~3,500年。

与这几次气候波动同时, 我国海面也发生了相应的升降运动。距今10,000~2,000年间海面升降发生的时间、幅度及速度如表3所列。

从表3数据可以看出, 一万年来我国海面最主要的上升时期是距今8,300年前及8,000~7,000年之间, 距今6,000~5,500年之间。距今5,500年之前(尤其是距今7,000年之前)海面在波动中呈现快速上升, 而距今5,500年以来海面在波动中趋于稳定。除了距今6,000~5,500年这次迅急而短暂的海面上升过程尚未发现明确的升温证据外, 其余各次海面升

冰后期中国海面升降数据表

表 3

峰值年代 (B.P.千年)	10.0	8.8	8.0	7.0	6.0	5.5	4.5	3.5	3.0	2.5	1.8
海面标高 (米)	-18.5	-9.3	-12.1	-5.5	-7.1	0.2	-3.7	0.1	-2.4	0	-1.6
升降幅度 (米)	9.2	-2.8	6.6	-1.6	7.3	-3.9	3.8	-2.5	2.4	-1.6	
升降速度 (毫米/年)	5.4	-9.3	6.6	-1.6	14.6	-3.9	3.8	-5.0	4.8	-2.3	

注：幅度及速度负值表示海面下降。

降均有较为确切的气候波动记录与之对应。例如，在所述几次寒冷期的冷峰出现前后，海面都曾下降，下降幅度约在 2~4 米之间。一般认为大西洋期为一高温期和高海面期，气温和海面均较今为高。现在看来这种说法是不够精确的。我们获得的气温曲线和海面曲线表明，在一般所称的大西洋期中，气温仍有 4~5°C 幅度的波动，而且有相当长的时间气温要比现代低。海面曾达到或一度略超出于现代海面高度，但仍有相当长的时间海面较今为低。

## 六、两千年以来的气候波动与海面升降

我国近两千年来的气候波动，因有大量历史和方志资料，近年来有关单位又作了年轮学分析，因此可进行较为细致的研究。根据现有的研究成果，近两千年来，我国最主要的冷期出现在公元十七~十九世纪，相当于北半球新冰期第四期，一般称之为“小冰期”，当时平均气温较今低 2~4°C。此外，在公元十三世纪及五~六世纪也曾出现过冷峰。两千年来最主要的暖期出现在公元八~十世纪，当时平均气温较今高 1°C 左右。这一暖期实际是新冰期第三期与第四期之间的暖峰，也称为小高温期 (little optimum)。

我们根据文献资料的论证和推算，获得了两千年来我国海面变化曲线 (见图 5)。

曲线表示，近两千年来大致以公元 11 世纪为界可划分为两个时期：11 世纪之前为相对高海面时期，之后转入相对低海面时期，其间各有过数次海面升降。海面上升的峰值年代约在公元四、九、十六世纪，下降的峰值年代约为公元六、十二、十八世纪。

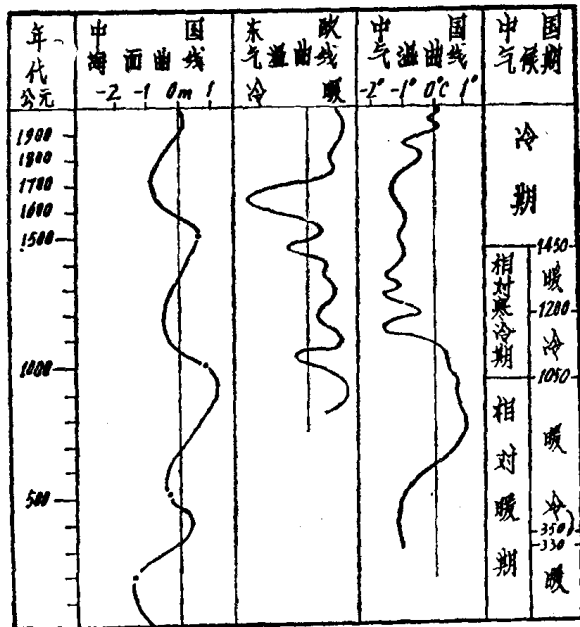


图 5 近二千年来气候波动与海面升降对比图  
欧洲气温曲线据 Lamb (1969) (转引自 29)；中国气温曲线据竺可桢 (1972) [5]；中国气候期据文焕然等 (1978) “近六、七千年来中国气候冷暖变迁初探” (打印本)

各次升降的幅度约在 2 米上下。将海面升降的情况与我国及欧洲的气候波动情况作一对比可以察见（见图5）：在主要的波动层位上，三者之间具有对应关系。例如在小高温期（公元八~十世纪）中，海面曾明显上升，从而在太湖流域造成三江倒灌，湖面扩大，在上海地区海水入侵约15公里，海面上升幅度约在1.5米左右。

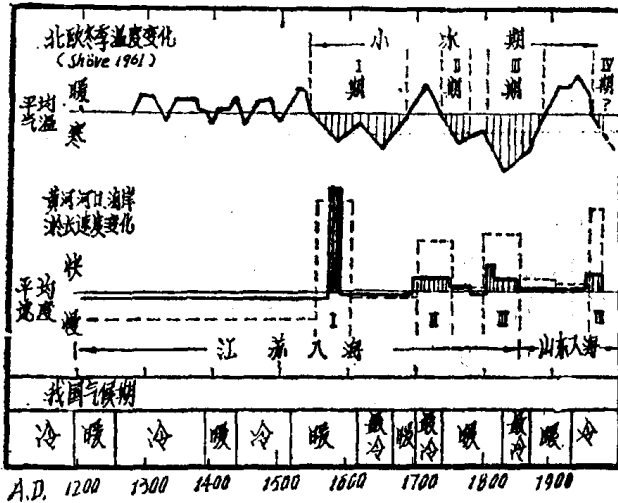


图 6 黄河河口淤长速度与气候变化对比图  
中国冷暖期划分据卓正大等 (1980) [18]

相应的海面降低相联系。图 6 实际上证实了：由气候变化引起的海面升降运动在数十年的时间尺度上确实是相互依存的。

图 6 所反映的情况是根据历史资料推断的，此外，我们还可以根据近百年对气候和海面的直接观测成果更为清楚地观察到海面升降与气候波动之间的依存关系。图 7 显示了近百年来气温变化与海面变化之间的紧密联系。

从图 7 的气温曲线可以看到：从本世纪二十年代到五十年代初是一个温暖期，即一般所说的“二十世纪温暖期”。气温的最高点出现在 1935~1940 年间，平均气温较十九世纪八十年代上升约  $1^{\circ}\text{C}$ 。值此温暖期，我国海面明显上升，海面的最高点也出现在 1935~1940 年间。与 1910~1920 年间相比，海面上升的幅度约为 20 厘米。可见海面变化对于气候波动的反应确实十分灵敏。

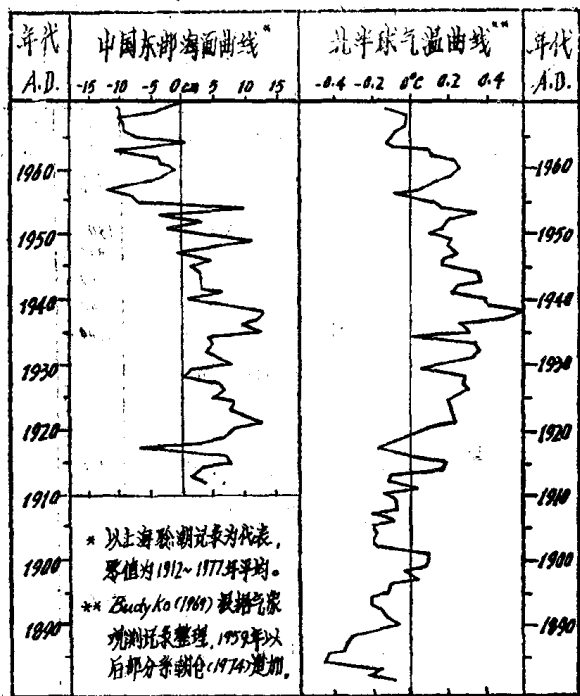


图 7 近百年来气候波动与海面升降对比图  
图中中国海面曲线系根据吴淞、黄浦公园两验潮站的潮位记录整理所得，零值为 1912~1977 年共 65 年的平均值。北半球气温曲线系 Budyko (1969) 根据气象观测记录整理所得 (1959 年以后系潮台 (1974) 追加)。本文转引自 [3]



## 七、气候—海面变化与地貌演变

地球历史步入新第三纪以后具有下列三个特点，密切影响地貌动力：（一）构造运动进入一个新阶段；（二）气候转入冰期，并且冰期与间冰期交替出现，地球气候带南北往复移动；（三）海面升降运动。因具有这三方面的特点，地球表面形态多具有多生性<sup>[9]</sup>，即近代地貌往往非近代气候所形成，而是当气候带移动、海面升降过程中经受不同的地貌动力所塑造形成。只有一些微地貌现象是全新世以后，更可能是8,000年以来所形成，即使这些微地貌现象也受到近代海面升降的影响。事实证明，当我们摆脱了静止的“侵蚀基面”的传统观念，而以运动中的基面观念来观察和分析一系列侵蚀与沉积动力过程，就会发现在影响地貌动力的各种因素中，海面是一个比较活跃的因素。关于海面变化对河道纵剖面的影响，为一般所注意。我们着重就全新世气候—海面变化对我国东部平原海岸线变迁过程、湖泊演变过程及河道水平移动的影响机制作出初步分析。

根据冰后期海侵在我国东部留下的古岸线，一般认为距今六、七千年前为最大海侵时代，其后的岸线逐步向海推移。我们根据古岸线及钻孔中海侵层等有关资料认为我国东部出现最大海侵的时代约在距今7,000年前，此后的岸线变迁过程并非一个单向过程，而是随着气候和海面的波动出现过多次往返摆动。岸线的摆动在地势平坦的沿海平原区足以形成规模不等的多次海侵海退。但是在地面坡度较大的地区，摆动幅度相应减小，则可能形成类似于上海西部“冈身”那种形式的古岸线遗迹。根据大量钻孔和考古资料所恢复的江浙沿海平原区（杭州湾以北）岸线变迁过程如图8所示。图上的各条岸线是按海面升降的峰值年代绘制的，这个图清楚地反映了气候—海面变化对海岸发育过程的影响，以及这种影响在古地貌条件不同地区的不同的表现。从图8可以确定：全新世最大海侵（距今约7,000年前）以来，苏北平原海岸向西推进的最大距离约为160公里。长江三角洲平原的最大推进距离则达240公里左右。

另外，我们注意到我国最大海侵与最高海面发生在不同时代的问题。如前所述，我国东部沿海平原冰后期的最大海侵发生在距今7,000年前后，此时海岸线向陆推进最远。但是从气候—海面变化过程看，距今7,000年前后并非最高海面时期，海面上升的高峰约在距今5,500年前后（见图3），然而此时的海侵范围在我国各地都明显地小于前期（参看图8）。我们认为，造成这种现象的原因除了我国东部平原的高沉积率外，一个更为重要的因素是大陆边缘水均衡调整所引起的掀斜运动。在冰后期海侵过程中，由于水负荷的作用，首先使大陆架发生均衡下沉，地幔物质随即发生向大陆一侧的流动，进而导致大陆边缘内侧发生鼓胀隆起，亦即出现掀斜运动。据Bloom研究，大陆边缘的掀斜运动大约发生在距今7,000年前后。据我们研究，华北及苏北大陆边缘的tilting发生于距今7,200~5,200年之间。我国东部平原的最大海侵发生于掀斜轴内侧的鼓胀隆起之前，故海侵范围深远，而当最高海面出现，鼓胀已经形成，致使海侵范围反而较前为小，岸线位置反而较前为低。因此，我国全新世海岸发育过程中的这一反常现象为大陆边缘均衡运动理论提供了又一证据。近年对边缘拗折对海面的意义，正予以重视。

我国东部平原上的许多湖泊洼地的演变过程往往与全新世气候—海面升降运动发生直接的联系。气候波动和海面升降通过对水量、水位的调节决定了湖泊扩张期（或高水位期）