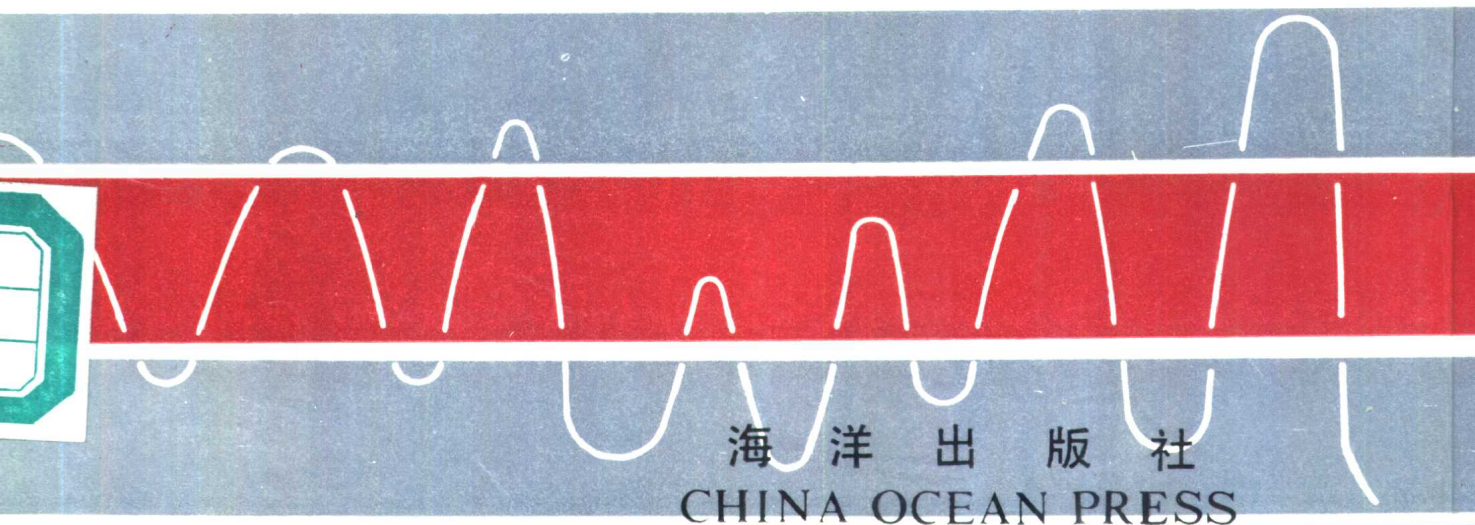




中国海平面变化

CHINA SEA LEVEL CHANGES

国际地质对比计划第200号项目中国工作组
(International Geological Correlation Programme
Project No. 200 China Working Group)



海洋出版社
CHINA OCEAN PRESS

中国海平面变化

国际地质对比计划第 200 号项目中国工作组

海洋出版社

1986年·北京

内 容 简 介

该书主要反映了我国沿海各地晚更新世以来海相地层、海面变化和岸线变迁的研究成果。许多成果与数据资料都是首次发表,基本上代表了目前国内对海平面变化的研究水平,对高等院校的师生、生产单位和科研单位的研究者具有一定的参考价值。

责任编辑:盖广生

责任校对:刘兴昌

中 国 海 平 面 变 化

国际地质对比计划第200号项目中国工作组

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 北京印刷三厂印刷

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张: 17.25 字数: 40千字

1986年7月第一版 1986年7月第一次印刷

印数: 1000册

统一书号: 13193·0795 定价: 5.00元

编者的话

国际地质对比计划第200号项目的研究内容为：晚更新世以来的海面变化，测量、对比及其应用。该项目的中国工作组于1984年12月在青岛正式成立。目前的中国工作组由18人组成，秦蕴珊和谢在团任正副组长，林观得教授、杨怀仁教授和周慕林高级工程师为该项目的顾问，赵松龄为秘书长。中国工作组的成立，标志着我国晚更新世以来海面变化的研究，将进入到一个新的阶段，中国工作组将尽力协调各方面的力量开展该项目的研究，并努力加强与国外的学术交流活动。

大约从七十年代中期，我国就已在较大的范围内开展了晚更新世以来海面变化的研究，迄今已经积累了丰富的资料。为了进一步提高研究水平，中国工作组决定出版“中国海平面变化”文集，以展示我国近几年来对该问题研究的现况。

这本论文集共收集论文三十篇，其中有三篇属综述性文章；二十一篇属于沿海各省对晚更新世以来海面变化的研究；一篇系根据历史文献记载来恢复近几千年来海面变动问题；五篇属于对近百年来的海面变化的趋向研究。

三篇综述性文章，主要根据中国陆架海的调查资料，较详细地讨论了世界洋面变化与中国陆架海沉积模式间的关系，同时还讨论了世界洋面变化的机制问题。此外，还回顾了近百年来中国海面变化问题的研究史，并对今后的研究提出了看法。

二十一篇有关晚更新世以来海面变化的研究论文，集中地反映了我国沿海地区晚更新世以来的海面变化史。从目前的研究程度来看，最早的海侵大约在距今30万年左右。在最后间冰期期间，世界洋面曾发生过一次为期5000年的波动期，海面曾一度降低，使大部分陆架出露，在海退后的地区沉积了具有一定厚度的陆相地层；尔后，海水再度入侵，重新沉积了海相地层，故中国北方沿海地区的最后间冰期海侵，往往由两期海相地层所组成。在最后冰期时期，即所谓玉木冰期时期，共发生了两次亚间冰期海侵，早期规模较小，晚期规模较大。全新世海侵的发生，是10000年来最大的地质事件，它改变着中国陆架海的沉积格局，控制着中国岸线的变迁，影响着中国沿海平原的发生与演化。这些论文大体上反映了目前国内对该项目的研究状况。

本论文集中还编入一篇利用历史学和考古学的研究成果，来探讨近几千年以来的海面变动史，作者把在世界各民族中流传的洪水灭世的故事串连起来，发现这些传说似乎具有同时性的特征，因此认为：在世界各民族间流传的洪水期的传说，有可能与全新世气候最佳期相对应，这一问题值得进一步研究。

最后，在本论文集中还编入了五篇利用近百年来的潮位变化资料，来探讨近代的海面变化趋势的文章。根据这项研究，中国境内近百年来的海面趋向于持续而缓慢地抬升。

综上所述，中国对晚更新世以来海面变化的研究，基本上可以概括为三种研究

方法：即地质学的方法，历史考古学的方法和现代潮位观测法。

值得注意的是：中国北方地区晚更新世以来的海面变化，主要通过埋藏海相地层的研究来恢复古海面的位置。在分析方法上，多采用年代地层学（古地磁测量、 ^{14}C 测年、热发光断代法）、生物地层学（有孔虫、介形虫和硅藻分析以及软体动物鉴定）和气候地层学（孢粉分析、海洋生物组合的变化），这种“三位一体”式的同步性研究，往往可以得到较好的效果。但由于中国北方沿海平原往往处于下沉状态，仅仅依靠生物组合面貌来恢复古海面高度，可能存在一定困难，这是值得今后进一步改进研究方法，提高研究水平的地方。而中国南方多基岩港湾海岸，对上升了的海滨阶地的认识尚无统一意见。目前也有逐渐转入对埋藏海相地层研究的趋势。

本论文集的编审工作由赵松龄、苍树溪负责，海洋出版社的盖广生同志给予了大力的协助。值此本论文集出版之际，中国工作组对其成员所给予的支持，以及广大“海面变化”研究者所给予的热情帮助，以及中国科学院海洋研究所李清、蒋孟荣、严理、薛胜吉等对本论文集的出版作出的技术上的协助，都表示最衷心地感谢。由于编者缺乏经验，时间仓促，本论文集中还难免存在不少问题，期待着广大读者予以批评指教，并提供宝贵意见，中国工作组表示热烈地欢迎。

国际地质对比计划第 200 号项目中国工作组

组 长：秦蕴珊

秘书长：赵松龄

1985年5月，于青岛

目 录

中国陆架海的沉积模式与晚更新世以来的陆架海侵问题	秦蕴珊 赵松龄 (1)
近百年来中国东部沿海地区海面变化研究状况	赵松龄 (15)
中国晚第四纪海平面变化研究的进展	赵叔松 赵希涛 (28)
渤海晚更新世以来的海侵与海面变动	苍树溪 黄庆福 张宏才 赵松龄 (35)
十五万年来渤海西、南岸平原海岸线变迁	王 强 李凤林 李玉德 高秀林 (43)
十五万年来渤海西、南岸平原海平面变化及古气候	王 强 高秀林 李玉德 仇志琴 薛 莉 齐棟华 (53)
唐宋以来渤海湾西岸歧口—狼坨子贝壳堤的发育与岸线变化	徐家声 刘刻福 李肇基 张金溪 孙德全 邱肯堂 秦曙光 (61)
据历史文献及考古资料论证5000年以来渤海湾西、北岸海岸线变迁	翟乾祥 李凤林 王 强 (70)
山东庙岛群岛的黄土与海面变迁	曹家欣 李培英 石 宁 赵叔松 (81)
莱州湾东南岸的全新世海侵	庄振业 李建华 (91)
山东半岛沿海地区晚第四纪海相地层、古海岸线及海平面变化初步研究	韩有松 孟广兰 王少青 (98)
全新世海州湾岸线的变迁	张传藻 杨达源 黄志强 (106)
中国东部沿海近三十万年以来的海侵与海面变动	赵松龄 秦蕴珊 (115)
全新世以来长江口潮位的变化	杨达源 (124)
关于全新世以来长江水下三角洲的沉积结构问题	赵松龄 (132)
杭嘉湖平原晚更新世以来海侵及其海平面变化	林景星 (140)
东海陆架区晚更新世海面变动与地层接触关系	曾成开 金长茂 王小波 (149)
福建沿岸晚更新世以来的海侵	谢在团 邵合道 陈 峰 陈子臻 窦亚伟 (156)
古雷半岛海滩岩的形成及闽南沿海海平面变化	陈 峰 (166)
湄洲湾地区现代海岸升降问题	张德泉 (173)
华南晚更新世以来的海平面变化	黄镇国 李平日 张仲英 宗永强 (178)
海南岛三亚市鹿回头连岛坝的发育与海面变化	黄金森 祝仲蓉 (195)
礁坪发育与海平面变化	丘世钧 (205)
西沙群岛晚更新世晚期以来海平面相对变化的探讨	韩春瑞 吴建政 李 浩 鞠连军 (213)
长牡蛎层和渤海全新世最高海平面	翟乾祥 (221)
近二十年来中国海面变化趋势初步分析	于道永 (226)
二十世纪的海平面	王志豪 (237)
平均海面的变化与沿海地壳的升降	王志豪 (246)
中国的海平面	刘天珍 王志豪 (250)
海面水准转测发现的几个问题	刘天珍 (259)

CHINA SEA LEVEL CHANGES

(International Geological Correlation Programme Project No.200 China National Working Group)

CONTENTS

A sedimentary model of China shelf sea and the problem of shelf transgressions since late pleistocene	<i>Qin Yunshan and Zhao Songling</i> (12)
A progress of sea-level study in the eastern coastal region in the past 100 years	<i>Zhao Songling</i> (27)
The progress of study in sea-level changes of the late Quaternary, China.....	<i>Zhao Shusong and Zhao Xitao</i> (34)
Transgression and sea-level changes in the late pleistocene in Bohai sea.....	<i>Cang Shuxi, Huang Qinfu, Zhang Hongcai and Zhao Songling</i> (42)
The Changes of shorelines in west southern plain of the Bohai sea since 15×10^4 years.....	<i>Wang Qiang, Li Fenglin, Li Yude and Gao Xiulin</i> (51)
The sea-level Changes and paleoclimate in west-southern plain of the Bohai sea since 150×10^4 years	<i>Wang Qiang, Gao Xiulin, Li Yude, Qin Zhiqin, Xu Li and Qi Dihua</i> (59)
Development of cheniers and variation of coast line along the western coast of Qikou-Langtuozi in the Bohai sea since the dynasties of Tang and Song	<i>Xu Jiasheng, Liu Kefu, Li Zhaoji, Zhang Jinxi, Sun Dequan, Qiu Kengtang and Qin Shuguang</i> (69)
Demonstration on shoreline changes in western and northern coast since 5000 years -based on History documents and archaeology data	<i>Zhai Qianxiang, Li Fenglin and Wang Qiang</i> (79)
The loess and sea-level changes in shandong miaodao archipelago	<i>Cao Jiaxin, Li Peiying, Shi Ning and Zhao Shusong</i> (90)
The Holocene transgression in the southeast part of the Lai-Zhou bay	<i>Zhuang Zhenye and Li Jianhua</i> (97)
A study of the marine strata, the ancient coastline and the sea level changes in the Shandong Peninsula coastal areas during late Quaternary	<i>Han Yousong, Meng Guanglan and Wang Shaoqing</i> (105)
Changes of shoreline of the Hai-Zhou gulf during Holocene	<i>Zhang Chuanzao, Yang Dayuan and Huang Zhiqiang</i> (114)

Transgressions and sea-level changes in the eastern coastal region of China in the last 300 000 years	<i>Zhao Songling and Qin Yunshan</i> (122)
Tidallevel changes near the Changjiang Estuary since Holocene.....	<i>Yang Dayuan</i> (131)
On sedimentary structure of underwater delta of Chang Jiang River since Holocene	<i>Zhao Songling</i> (139)
The marine transgression and the sea level changes in Hanjiahu Plain of Zhejiang Province, since late Pleistocene.....	<i>Lin Jingxing</i> (148)
The contact relation between the sea-level changes and stratum on the continental shelf of East China Sea...	<i>Zong Chongkai, Jin Changmao and Wang Xiaobo</i> (155)
Transgressions since late Pleistocene in Fujian Coast	<i>Xie Zaituan, Shao Hedao, Chen Feng, Chen Zishen and Dou Yawei</i> (165)
The formation of beachrock in the Gulei Peninsula and the sealevel changes in the coastal region of the Southern Fujian.....	<i>Chen Feng</i> (172)
The question on the coasts of emergence and submergence on Meizhou Bay in modern times.....	<i>Zhang Dequan</i> (177)
Changes of sea-level in the late Pleistocene in South Sea coasts	<i>Huang Zhenguo, Li Pingri, Zhang Zhongying and Zong Younqang</i> (194)
Tombolo development and sea level changes in Luhuitou of the Sanya City, Hainan Island.....	<i>Huang Jinsen and Zhu Zhongrong</i> (204)
Coral reef-flat development and sea level changes.....	<i>Qiu Shijun</i> (212)
Preliminary study on sea level relative changes after late Pleistocene in Xisha Islands.....	<i>Han Chunyui, Li Hao, Wu Jianzheng and Jui Liajun</i> (219)
Flood legends and the highest sea level in Holocene.....	<i>Zhai Qanxiang</i> (224)
The trend analysis of changes in sea-level during the past 20 years ...	<i>Yu Daoyong</i> (236)
The sea-level changes in 20th century.....	<i>Wang Zhihao</i> (245)
On the mean sea-level changes and the crustal in the coastal region.....	<i>Wang Zhihao</i> (249)
The sea-level of China.....	<i>Liu Tianzhen and Wang Zhihao</i> (258)
The discoveries on the observation of sea-level datum.....	<i>Liu Tianzhen</i> (265)

中国陆架海的沉积模式与晚更新世以来的陆架海侵问题

秦蕴珊 赵松龄

(中国科学院海洋研究所)

根据希曾(B. C. Heezen)的研究,世界大陆的边缘海,归纳起来可分为两种类型,其一为太平洋型;其二为大西洋型^[1]。东海和南海位于太平洋西北部,基本上属于大西洋型边缘海,但又具有某些太平洋型边缘海的特征。通常认为:大陆边缘由沿岸平原、陆架、大陆坡和陆基所组成。限于本文讨论的范围,只涉及与沿岸平原和陆架海的沉积模式、第四纪海侵和岸线变迁有关的第四纪地质问题。

中国陆架海的研究始于三十年代初期,1932年谢帕德(F. P. Shepard)曾编绘了中国海沉积物分布略图^[2]。1949年谢帕德和埃默里(K. O. Emery)对东亚大陆架沉积物的分布作了初步研究^[3]。1961年新野弘(N. Niino)和埃默里对中国陆架海的沉积特征作了补充研究,并绘制了中国陆架海的底质分布图^[4]。我国对陆架海的系统研究始于1958年。当时的研究成果总结在“中国陆架海的地形及沉积类型的初步研究”^[5]中,目前这项工作仍在进行中。近十余年来,各兄弟单位都在陆架海作了大量的调查研究工作,取得了重要成果。此外,近几年来还开展了中国陆架海的更新世海侵与海相地层的分布,特别是晚更新世以来的海侵与海退、岸线变迁以及海面变化的研究。

一、陆架海沉积模式

世界陆架海的沉积模式,最早曾由约翰逊(D. Johnson, 1919)提出,他认为:陆架水体和水下沉积物间会处于动力均衡状态,陆架上每个部位的粒径大小与地形坡度都要受波能的控制。因此,最终的陆架应该是越近海岸,坡度越大,而会成为向上的“凹”字形曲线。粒径大小又要随水深的加大和离岸路程的加长而逐渐变细,以致达到均衡状态。后来,随着海上调查资料的积累,终于证明这种沉积模式与实际不符。

到了1932年,谢帕德开始向约翰逊的沉积模式展开了挑战。他认为大部分陆架都具有薄层而又复杂的沉积类型,它们不是现代海洋沉积物,而是更新世低海面时的沉积物。埃默里(1952, 1968)在谢氏模式基础上又加以补充。他根据从世界若干大陆架收集来的大量地质资料,将世界陆架海的沉积类型划分为:自生沉积(如海绿石、磷灰石沉积);有机沉积(有孔虫、软体动物壳等);残余沉积(由海底基岩风化形成的沉积);残留沉积(为过去各种沉积环境中所保存下来的沉积物);碎屑沉积(现代河流、海岸侵蚀、风成沉积、冰川沉积)^[7,8]。

七十年代以来,斯维夫特(Swift. D. J. P.,1972) 又将前两种模式结合起来,提出了第三种陆架海的沉积模式。作者认为既要考虑陆架面随着时间的推移会逐渐处于动力均衡状态,也要考虑更新世末期以来的海面升起。简言之,现代陆架海的沉积模式应是过去各种环境的沉积与现代浅海环境沉积共同作用的结果,所以将其称为“海侵-海退”型沉积模式^[9]。

中国陆架海的沉积模式基本上由两个不同时期的沉积物所组成:其一为现代的浅海沉积;其二为早期低海位时的大陆沉积、海陆过渡相沉积和低海位时的滨海沉积。总的说来,它们构成了今日陆架海的沉积格局(以东海最为典型,见图1)。

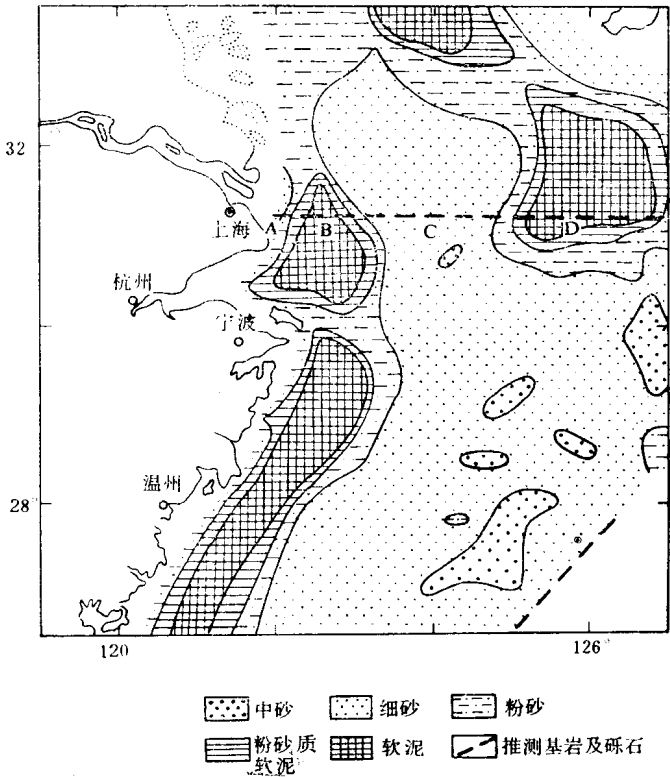


图1 东海陆架沉积类型的分布

Fig. 1 The distribution of sedimentary patterns and types on the East China Sea shelf

(一) 现代海洋沉积

1. 三角洲沉积及浅海碎屑沉积

流入中国陆架海的河流很多,它们每年从亚洲大陆上带来大量的泥砂沉积于河口、三角洲及广阔的浅海地带,构成很多类型的地貌组合,是我国浅海沉积的重要物质来源(表1)。由它所形成的三角洲及浅海碎屑沉积是我国广阔陆架沉积的主要沉积类型。

2. 风化、剥蚀沉积

可分为两种类型:其一为波浪、潮流、地面径流冲蚀基岩海岸,海底礁石、岛屿周围而带来的碎屑,就近沉积而形成近岸地貌组合,如我国辽东半岛、山东半岛一带的近岸沉积和一些岛屿附近的沉积;其二为波浪、潮流、地面径流冲蚀三角洲海岸、淤泥质海岸、黄土海

表1 流入东海的主要河流、年径流量、输砂量表

Table 1 The annual river runoff and annual river load of the major rivers flowing into the East China Sea

河流名称	流域面积 (平方千米)	年径流量 (亿立方米)	年输砂量 (吨)
黄河	745 100	482	12亿
海河	265 000	154	600万
辽河	219 000	165	2000—5000万
长江	1 808 500	9847	4.8亿
钱塘江	49 930	320	540万
闽江	60 800	600	800万

岸,则会形成该沉积环境的地貌组合(如苏北海岸、渤海湾沿岸、山东蓬莱附近的黄土海岸)。

3. 自生沉积

主要指在现代海洋环境中形成的沉积物,如黄铁矿、海绿石、磷灰石等矿物。如在东海大陆架的广大地区内,普遍地分布着海绿石,主要有两种类型,其一是生物状,即海绿石自生于有孔虫、介形虫等生物介壳内,主要分布于北纬 30° 以南的海域内;其二是颗粒状的,主要分布于北纬 30° 以北的海域。在台湾西南海域,海绿石含量很高,形成了有远景的矿点区^[10]。

4. 现代海洋生物沉积

在东海海底沉积物中,含有大量多种底栖生物(主要有软体动物壳、管栖多毛类、珊瑚和苔藓虫等),种数多达1700种以上。此外,还有30种以上的浮游有孔虫和200种以上的底栖有孔虫,每克样品的生物数量可达1000个以上,如此繁多的生物数量,死亡后的遗壳自然会成为现代海洋沉积物的重要来源。此外,在我国南海还有珊瑚礁及其碎屑沉积,也是中国陆架海重要物质来源之一。

5. 其他沉积

在现代海洋沉积物中,除了上述几种主要来源以外,还应当包括海洋化学沉积,生物化学沉积,火山灰沉积,风成沉积,以及现代人类活动所形成的各种沉积。

(二) 早期低海面时的陆架沉积

1. 冰期河流沉积

林德贝格(Линдберг)一直主张在冰期低海面时,东海陆架区应存在古长江-黄河水系,最后流入古东海^[11]。最近,海底浅层剖面仪测量结果表明:在现代长江口东南记录有长江古河道的断面。遗憾的是,目前尚没有岩芯分析资料加以证实。

2. 冰期黄土沉积

在冰期低海面时,出露的陆架与我国东部平原区连成一片。这时正是马兰黄土形成时期,来自我国西北的风成黄土,除在沿海地区的岛屿上堆积以外,还在中国陆架的广阔地区堆积了黄土沉积,其中有的还直接出露于现今的海底,构成现代中国陆架海海底沉积的一部分。如北黄海海底,山东蓬莱附近的水下黄土沉积。

3. 生物沉积

(1) 生物遗骨沉积

在东海陆架上,曾多次发现有大型哺乳动物的遗骨沉积(如猛犸象齿、原始牛头骨、披毛犀头骨及其他一些遗骨沉积),据目前可以查到的大型哺乳动物骨骼的发现地点为:1967年东京水产大学“海鹰”号在男女列岛附近发现了猛犸象齿;1968年早川正己等曾在东海海底样品中,发现过陆相哺乳动物的残骸^[12];新野弘曾报道在虎皮礁附近采集到北方原始牛的下颌骨^[13]。六十年代末,我国在渤海海底距岸200多千米处,曾捕捞过一枚披毛犀的左侧第二上臼齿^[14]。山东长岛县北隍城岛附近曾捞到过披毛犀下臼齿;中国科学院海洋研究所曾在东海H78孔(孔深68厘米处)的沉积岩芯中,找到过三块哺乳动物骨骼碎片。

在东海陆架区,这些大型陆生哺乳动物化石的相继发现,表明在玉木冰期最盛时期,辽阔的陆架地区,曾经是湖沼遍布,水草丰盛,动物繁多的场所,也是更新世末期世界洋面曾发生过大幅度降低的有力佐证^[15]。

(2) 生物贝壳沉积

在东海的广阔海域内的海底沉积物中,含有大量软体动物群的遗壳。从拖网资料来看,它们主要富集于水深120—100米之间。除含有适于水深较深的种外,还有许多适于浅海和潮间带环境的种,如红螺、玉螺、蜆、牡蛎、毛蚶、扇贝、竹蛏、蛤蜊、帘蛤等。对这些标本的¹⁴C测年结果为,在水深110米处,埋藏于3.2米的贝壳富集带,用混合贝壳样品得到年龄为 14440 ± 750 年,水深174米的白扇贝,年龄为 15030 ± 750 年。

4. 泥炭沉积

在世界陆架海的冰后期海侵之前,普遍地发育着泥炭沉积。在北海、波罗的海、墨西哥湾等地都有发现,我国渤海、黄海、东海北部的海底亦有发现。对其¹⁴C测年结果为:北黄海水深52米处,埋藏于3米处的泥炭层年龄为距今12240年;渤海湾西岸南排河孔14米处泥炭层的¹⁴C年龄为 8590 ± 170 年。在现代长江口外水深50米处,泥炭层埋藏于2.4米深处。位于水深24米处的Ch₁孔,泥炭层埋藏于孔深36.14—36.16米;位于水深13.4米处的Ch₂孔,泥炭层位于孔深47.1米附近;而位于水深31米处的Ch₃孔,在34.35—34.37米处含有轻度泥炭沉积;位于崇明岛南门港附近的Ch₁孔,则见于孔深53.30米处。显然,这些淡水泥炭的存在也是冰期海面降低的重要标志。

5. 滨岸砂、贝壳砂、河流相砂质沉积

在东海这些砂质沉积主要出露于水深50—60米以下的外陆架上,部分为现代浅海粉砂质软泥所覆盖。该砂质沉积在东海海底底质图上,为东北—西南向成带状分布。

6. 其他沉积

在更新世末期的陆架沉积物中,还有风成沉积、火山沉积、化学沉积等沉积类型。

上述两个不同时期的沉积物,在陆架海区应当构成先后沉积的地层序列,但实际上由于外陆架区以外,现代海洋沉积物的厚度非常之薄,甚至缺失沉积,以致无法掩盖早期低海位时的滨岸砂与贝壳沉积。现代形成的少量陆源物质和生物介壳,往往充填于粒径较粗的滨岸砂中。

因此,如果我们从长江口向东到冲绳海槽,不难发现,东海陆架的沉积模式,具有砂—泥—砂—泥—砂的沉积特征(如图1所示)。对于这种沉积模式的成因,据目前的认识,可提出如下的解释:位于长江口地区的砂—泥沉积结构,与长江三角洲的沉积模式密切相关。

根据 Gibert, G. K. 的研究, 典型的三角洲沉积具有以下三个沉积单元: 顶积沉积、前积沉积和底积沉积。对于长江三角洲来说, 它的顶积沉积已经成陆, 如崇明岛和上海市东部地区等; 它的前积沉积系由砂质所组成, 覆盖在早期形成的底积沉积之上, 目前它构成长江水下三角洲的近岸部分, 图 1 上的 A 区; 由细粒软泥组成的底积沉积, 相当于图 1 上的 B 区, 分布在长江三角洲的前积沉积之外缘, 来不及在底积沉积地区沉积下来的其他细粒物质, 则受来自苏北方向的沿岸流的影响, 而沿着舟山群岛的东侧南下, 在所流经的陆架地区逐渐沉积下来, 构成东海内陆架地区的泥质条带。根据位于舟山群岛外侧的东海 D_{c1} 孔和 D_{c2} 孔的钻井资料分析, 该泥质条带的沉积厚度可达 19.4 米和 18.3 米。

在长江三角洲的底积沉积的东部地区, 相当于虎皮礁的东部地区 (图 1 上的 C 区), 又形成了新的宽阔的砂质条带, 一般认为该砂质条带构成了东海陆架的基本格局, 它系早期低海位时的沉积物, 目前陆源物质均不能到达这里, 现代的生物沉积可以与砂质沉积混合起来, 产生了混存沉积。值得注意的是, 在这些混存沉积之上的贝壳年龄, 大部分在 10 000 年以上。

在上述砂质沉积带的外侧, 还形成另一泥质沉积块, 相当于图 1 上的 D 区, 对于 D 区细粒沉积的形成原因, 据目前的调查, 可能系由于在南黄海和东海北部存在一个反时针方向的沉积物流, 它把苏北老黄河口一带的细粒物质搬运到济州岛东南地区沉积下来, 构成济州岛西南部的软泥沉积区。由此看来, 中国东海陆架海海底底质图上的砂—泥—砂—泥这种近似于带状分布的特征, 系由于不同时期和不同成因的沉积物相叠的结果。这种多成因的复杂沉积体系, 共同构成了今日东海陆架海的沉积模式。

还必须指出: 在自然界中, 既不存在约翰逊的沉积模式, 也不存在斯维夫特的折中模式。各陆架海都有其自己形成的沉积模式, 就以中国陆架海而论, 不同的海区, 不同的部位, 都有其自身的沉积规律。根据目前东海沉积物流的运移规律, 很难改变现在的沉积模式, 而导致所谓动力均衡状态的形成。

二、第四纪海侵问题

1. 第四纪海洋沉积岩芯中的微体生物群

近二十余年来, 不少海洋地质学者利用深海岩芯中的某些冷水种/暖水种 (有孔虫、放射虫、硅藻等) 的比例变化, 来探讨更新世古气候变化和划分冰期/间冰期地层。最有成效的研究者要推拉蒙特地质观测站的艾尼克森 (Ericson, 1961, 1964, 1968), 他曾根据大西洋沉积岩芯中浮游有孔虫 *Globorotalia Menadiei* 的存在 (暖期=间冰期) 和缺失 (冷期=冰期), 以及在垂直方向上的交替变化绘成曲线, 并与阿尔卑斯和波罗的海沿岸的经典冰期/间冰期地层相对比^[17, 18, 19]。后来, 拉迪曼 (Ruddiman, W. F.) 对赤道大西洋的一组 15 个岩芯, 也用冷/暖水种有孔虫的比率变化, 作了类似的研究, 获得了近于一致的结论^[20]。此外, 艾尼克森还用深海岩芯中的浮游有孔虫 *G. truncatulinoides* 的旋向变化 (卷曲方向) 加以统计, 同样也绘成柱状变化表, 用更新世气候具有周期性变化进行解释。1968 年比格尔 (Berggren) 对北大西洋南部沉积岩芯中暖水种和冷水种的相对丰度作了自古地磁奥尔都维事件以来的地层划分 [*Pulleniatina Obliqui Loculata* 和 *Sphaeroidinella dehiscentis* (暖水种) 与 *Globorotalia inflata Ghirsuta* (冷水种)], 获得了与艾尼克森类似的结论^[21]。多数研究者认为: 深海沉积岩芯具有连续沉积特征, 它能系统地记录更新世以来的微体生物群的演化史与变化史。

由于一定的水温环境要求与之相适应的微体生物群与之适应,因此,那些对水温变化具有敏感性的生物种在洋底留下的遗壳,就有可能为我们提供更新世气候变化的可靠信息。上述资料的获得为我们进一步研究陆架地区的海水进退、洋面变化、海侵海退、岸线变迁等问题,都提供了可靠的背景资料。

2. 海洋沉积岩芯中有孔虫介壳的 ^{18}O 测量

具有连续沉积的深海岩芯,对其所含浮游有孔虫进行 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 值变化的研究,可以提供全球性气候变化的连续记录,有人把这种方法称为氧同位素地层学。艾米尼安(Emiliani, C.)最早用深海岩芯中有孔虫介壳所含 ^{18}O 含量变化,进行更新世古温度研究,取得了显著成效。近二十年来又有不少人从事这方面的研究,也相继绘成更新世的古温度变化曲线。但是,到目前为止人们对于 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 值变化的实质是什么含意,尚有不同的见解。1) 以艾米尼安为代表,认为 ^{18}O 变化曲线是相当于全球性气候变动中海洋温度变化,而不是大陆温度变化^[22]; 2) 以奥拉森(Olsson, 1965)、萨克里东(Shackleton, 1967)等为代表,它们认为 ^{18}O 曲线不是海水温度变化,而是冰期控制了海水中同位素组成的变化^[23, 24]。所以,它是大陆冰川体积变化的直接函数。他们还认为,古温度曲线的锯齿形状是大陆冰帽的地理位置向南移动的函数; 3) 认为 ^{18}O 曲线变化是海水温度变化和海水中氧同位素组成共同变化的结果。如达斯格(Dansgaard, W.)和道比(Tallber, H.)曾估算: ^{18}O 曲线变化的 30% 以下是由于海水温度变化所致,70% 以上是海洋中同位素成份发生变化所带来的后果^[25]。而赫其(Hecht, A.)则持完全相反的见解,他认为70%与海水温度变化有关^[26]。

尽管对曲线的解释仍没有取得统一的意见,但是都利用所得的曲线来解释更新世的气候变化。艾米尼安根据 ^{18}O 曲线变化,认为在更新世存在大约以10万年为周期的气候变化。另外还估算了冰期/间冰期时世界各海洋和大陆上的温度变幅。1) 在大西洋和太平洋冰期/间冰期的年平均温差分别为 4°C 和 2°C 。赤道太平洋、加勒比海和赤道大西洋分别为: $5-6^{\circ}\text{C}$ 、 $7-8^{\circ}\text{C}$ 和 $3-4^{\circ}\text{C}$; 2) 在中纬度的大陆,冰期/间冰期温差为 $6-10^{\circ}\text{C}$ 。萨克里东和奥布代克(Shackleton et al., 1973)根据赤道太平洋 V_{28-238} 的氧同位素分期,将岩芯上部14米分为22个氧同位素期。据古地磁测量结果,该孔布容正极性世的底部位于第19分期处(图2)^[27]。

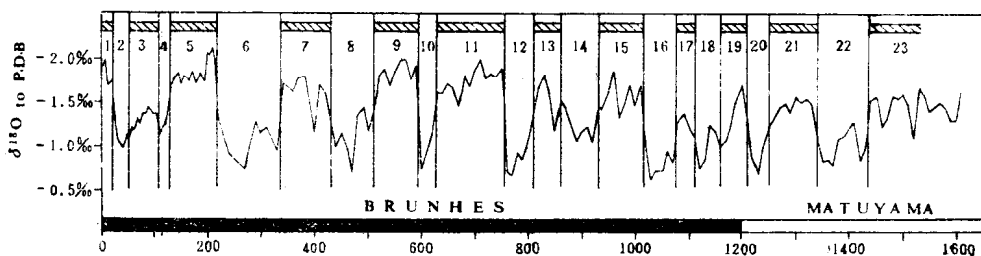


图2 V_{28-238} 孔氧同位素及古地磁测量结果及分期 (Shackleton and Opdyke, 1973)

Fig. 2 The records of V_{28-238} Oxygen isotope and magnetic measurement

3. 海洋沉积物中碳酸盐含量变化的研究

阿赫尼斯(Arrhenius, 1952)对东太平洋的深海岩芯进行了碳酸盐含量在垂直方向上变化的研究,结果发现在冰期时含量偏高,间冰期时含量偏低(在大西洋则为相反的规律)^[28]。后

来艾米尼安用 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 测量结果支持了阿赫尼斯的研究成果。海斯等(Hays, 1969)对赤道太平洋的沉积岩芯作了类似的研究, 获得了同样的结论^[29]。海斯结合古地磁测量资料, 进而提出在布容正极性时中, 存在 8 个完整的变化轮回, 上部三个轮回以 10 万年为周期, 下部五个轮回大约以 75 000 年为周期, 从而提出了在近 69 万年以来至少存在 8 次冰期/间冰期相交替这一多冰期观点, 同时也支持了古温度研究的结论。

4. 冰期/间冰期划分与海面变动

第四纪期间世界洋面变动的最显著地质后果是在陆架海的近岸地区形成海、陆相地层的相互重叠。因此, 海、陆相地层在沉积岩芯中的交替出现, 便是世界洋面升降变化的可靠记录, 也是冰期/间冰期地层划分的重要依据。冰期时海面降低, 间冰期时复又回升, 这种简单的对应关系早为人知。中欧的阿尔卑斯山、北欧的波罗的海沿岸和北美五大湖区是更新世冰期/间冰期地层划分的经典地区。其中只有北欧的间冰期地层是以海相地层为代表, 这是在本世纪初就逐渐形成的地层系统。地中海地区的五级海成阶地, 也是研究较早的地区, 并与上述经典地区的划分作严格对比。

关于更新世冰期/间冰期的划分到目前为止, 可分为两类划分方法: 其一为经典的划分法, 认为更新世的冰期只有 4 次, 最多为 6 次; 其二为多冰期轮回法, 如艾米尼安主张更新世存在大约以 10 万年为周期的温度变化轮回; 萨克里东、奥布代克也根据古温度研究的成果, 提出在布容正极性时中存在 8 次完整的冰期轮回; 海斯等根据海洋沉积物中碳酸盐含量变化也得到同样的结论; 库克拉还根据中欧黄土的研究, 认为在近 170 万年中, 存在 17 次冰期/间冰期轮回, 也相当于 10 万年的变化周期^[30]; 古地磁学的研究, 也提出了在布容正极性时中, 可能存在大约以 10 万年为周期的短期反极性游移。由此看来, 关于更新世冰期/间冰期的研究, 尽管已有几十年的历史, 但是对于更新世期间究竟有过多少次变动尚无定论, 许多研究者从不同角度都试图寻找一个大约以 10 万年为周期的统一变化规律, 是目前海洋第四纪研究的基本趋向之一。

四、中国陆架海晚更新世以来的海侵问题

按照上述讨论, 更新世的气候变化可能存在一个以 10 万年为周期的变化轮回。可以认为: 这种变化轮回的发现, 有可能为进一步查明更新世的气候变化, 弄清更新世冰期、间冰期; 雨期、间雨期的地层划分; 阐明陆架地区的海侵与海退, 都具有十分重要的价值。根据中国东部沿海平原区和东海陆架海研究的状况, 让我们首先讨论一下更新世最后一个变化轮回, 即所谓近 10 万年以来的海侵、海退以及冰期、间冰期的地层划分问题。也就是说, 在更新世内不仅存在以 10 万年为周期的较长时间的变化, 也可能存在一个更短周期的次一级变化。

为简便起见, 我们将东海陆架海和东部平原区的大量钻井分析资料, 划分为两个研究区进行讨论:

(一) 渤海地区

该区包括下辽河地区、渤海湾西岸、莱州湾一带和黄河口附近晚更新世以来地层中所发现的三期海相地层, 它们在水平方向上都具有特定的分布范围, 在垂直分布上具有明显的可比性, 如图 3 所示。

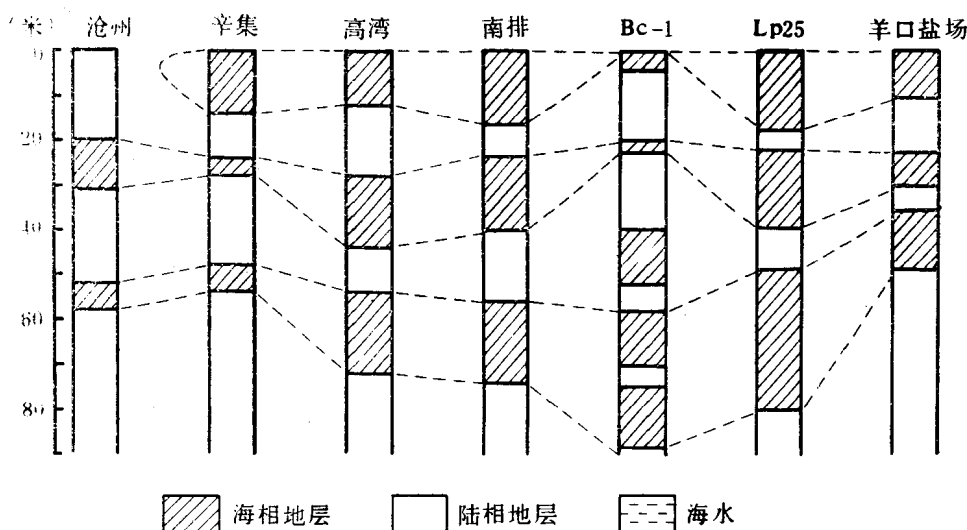


图3 渤海地区晚更新世以来三次海侵横向对比图(B_{c-1} 孔垂直比尺1:2000)

Fig. 3 The correlation of three transgresses since the late pleistocene in Bohai area

对渤海地区历次海相地层的研究表明,当沧州海侵时(相当于里斯/玉木间冰期海侵),海侵范围可达河北省沧州地区。在这次海侵中,世界气候曾发生过一次明显波动,海水曾一度退出渤海,沉积了薄层陆相地层。而后,海水再度入侵,沉积了新的一层海相地层。所以沧州海侵层中,往往夹有2米厚的陆相地层,其原因就在于此。另外,在这次海侵中,带来了大量暖水种属,如目前只能生活于浙江省南部以南海域中的骨螺属(*Murex* sp.)、榧螺(*Oliva ornata* Marrat)、笔螺属(*Mitra* sp.)和依萨伯利雪蛤(*Chione Isabellina* Cphilippi)等。根据这些暖水种软体动物群的出现,表明当时的水温较全新世海侵为高,当时的海面也较今日海面为高,可惜它们也都深埋于地层中,今日已难以判别当时的海面究竟有多高。

在献县海侵层中(相当于玉木冰期中的上亚间冰期海侵),也含有沧州海侵层中的暖水种化石群,不过其数量要少。值得注意的是,这次海侵范围最广,西部可到达河北省献县附近,故得名。这次海侵范围最广,是代表当时的海面较今日为高,还是当时的渤海处于快速下沉阶段。参照大洋深处氧同位素的研究资料,当时的气温偏低,故后者可能是造成这次大范围海侵的真正原因。

渤海地区的黄骅海侵(相当于全新世海侵),是海侵范围最小,留下痕迹最多的一次海侵。在这次海侵地层中,完全没有上述地层中所含的暖水种海相软体动物群和微体动物群,表明晚更新世以来,全新世海侵是水温最低的一次海侵^[31]。

(二) 苏北—长江三角洲地区

根据苏北—长江口地区若干沉积岩芯的系统分析资料,发现研究区晚更新世以来的环境变迁史与渤海地区有着明显的不同,其不同点可归纳为以下几个方面:

- ①在历次海侵层中均未发现有暖水种软体动物群;
- ②这里的海侵规模有越来越大的趋势,即时代越新,海侵范围越广;

③东台—盐城以北见有三期海相地层，而其南面仅有全新世海相地层；

④长江水下三角洲地区的钻井资料，也表明仅有全新世海侵可能是范围最广，厚度最大的海相层，玉木冰期中的上亚间冰期海侵层（相当于猷县海侵层），在某些钻孔中，仅有微弱的反映^[32]。

从上述分析，可以发现苏北—长江口一带具有更为复杂的环境变迁史和构造变动史。现将苏北—长江口地区的钻孔对比资料绘于图4。

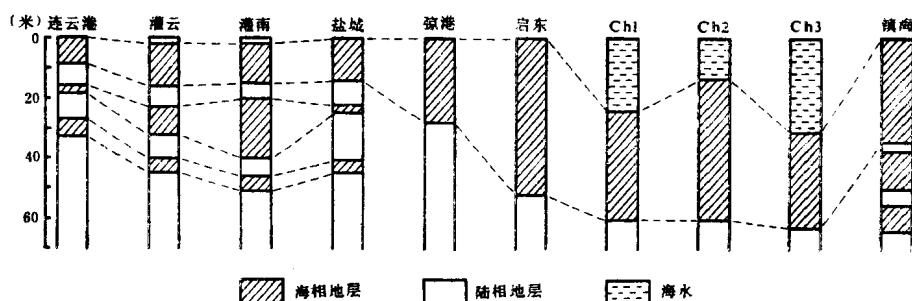


图4 苏北—长江口地区海相地层对比图

Fig. 4 The correlation map of marine stratigraphic column

五、关于晚更新世海侵与海退发生原因的探讨

(一) 地心非偶极子场的变化与海侵之关系

由于大地水准面是地球重力场的等位面，地球的密度差和内部的流动方式引起了不规则的大地水准面的形态和地磁场的规则变化。不少人认为地球内部的非偶极子场具有不规则的漂移，大地水准面也要经历着类似的变化。

七十年代初，根据卫星测量资料而编绘的斯密司尼安标准地球Ⅲ大地水准面图（精度±3米）和哥达德地球模型Ⅳ两图测量结果近于一致。该图表明，目前世界洋面存在着凹凸不平的“洋峰区”和“洋谷区”。两个极端值分布位于：1）印度南部马尔代夫群岛附近(Maldives Islands)，该处要低于平均海面104米（在 GeM₁ 图上为-112米）；2）新几内亚附近，该处要高于平均海面76米(GeM₁ 图上为+73米)。两地径差为50°—60°，海面高差达180米。如果由于地心非偶极子场发生漂移，使目前的图式发生50°—60°径差，那么将会产生明显的地质后果，即在马尔代夫群岛附近将发生80米高的海侵，新几内亚则要发生180米海退^[33]。如果这种状况在更新世期间确实发生过，将会改变我们已经形成的许多概念。

(二) 地磁场短期游移与海侵层的关系

1. 发生于距今114 000—108 000年的布莱克游移(Blake event)^[34]

该游移为 Smith, J. D. 发现于北大西洋外布莱克洋脊附近^[34]，后来在地中海东部海底^[35]，日本琵琶湖^[36]、北欧黄土沉积、日本下末吉海相海层中，渤海湾西岸的辛集孔都证实了该游移的存在^[37]。从游移的年龄可以判断，它们与最后间冰期的起始时间大体相当。目前