

中国东部晚第四纪海侵的新构造背景

王强 田国强

摘要：中国东部沉降海岸及近海钻孔研究表明，第四纪大部分时间里，福建—岭南隆起带基本阻挡了海水大规模进入东海—黄海盆地，约在160ka B P已有低海相性的海侵出现，但是自末次间冰期以来才开始发生大规模海侵，而此时青藏高原正以空前的速率隆升。晚第四纪福建—岭南隆起带大部沉降入海底，维持了青藏高原与日本—琉球岛弧之间的地壳应力平衡；海水在晚更新世前后进入东海—黄海盆地，使中国大陆处于与海洋更密切联系的状态，其本质原因是陆架盆地沉降与青藏高原隆起对应的地壳变形。自此以后，长江、黄河及滦河与全球海洋水圈变化引起的海侵发生了复杂的陆海相互作用。

关键词：中国东部；晚第四纪；海侵；新构造运动背景

中图分类号：P546

文献标识码：A

THE NEOTECTONIC SETTING OF LATE QUATERNARY TRANSGRESSIONS ON THE EASTERN COASTAL PLAIN OF CHINA

WANG Qing¹, TIAN Guo-qiang²

(1. Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, CAGS, Tianjin 300170, China;

2. Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing 100081, China.)

Abstract: The study of boreholes in the subsided coastal plain and in offshore area in China shows that at the most part of Quaternary sea water had been blocked from invading the Yellow Sea Basin and Eastern China Sea Basin as a result of the uplifting of Fujian-Lingnan when the Qinghai-Tibetan Plateau was rising at an unprecedented rate. The subsidence of most of Fujian-Lingnan uplift to the sea floor since Late Quaternary had kept the isostatic balance between the Qinghai-Tibetan Plateau and Japan- Ryukyu Island Arc. As sea water entered into the East China Sea and Yellow Sea Basins since about Late Pleistocene, China continent became closely linked to the sea, due to the crustal deformation of the subsidence of continental basins and the corresponding uplifting of the Qinghai-Tibetan Plateau. Since then there has occurred complex land-sea interaction between the Yangtze River, Yellow River, Luanhe River and transgressions caused by the eustatic changes.

Key words: East China; Late Quaternary; transgression; neotectonic setting

中国东部沉降海岸晚更新世以来3次大规模海侵的发生，是全球气候和海面变化对

中国大陆环境及生态系统产生重大影响的事件。此前中国大陆及东海—黄海盆地之所以基本为陆相沉积，系因福建—岭南隆起带阻挡了海水的进入^[1]。中更新世以来青藏高原的加速隆升，又以末次间冰期(130kaBP ~ 75kaBP)平均累积速率为次高^[2]。有理由相信，自此时前后福建—岭南隆起带沉陷海底，海水侵淹东海—黄海盆地，进而在我国大陆边缘发生周期性海进、海退，其本质既是水动型海面升降的反映，又是新构造运动维持青藏高原和日本—琉球岛弧之间地壳应力平衡的响应。在中国大陆现代三级阶梯状构造地貌形成过程中，我国东部平原后缘亦发生掀斜作用，以致在稍远于山前冲积扇裙的北京平原、河北平原、安徽淮北平原^[3]上，现代地面大多为晚更新世沉积，全新统仅见于部分洼地和一些河床中。从这个角度看，我国东部沉降海岸的形成和遭受海侵，是陆架盆地沉降与青藏高原隆升对应的地壳变形的必然结果；其间，沿海平原的新构造活动及河流作用开始与海洋发生了更密切的联系。

1 沿海新构造活动对海侵作用的叠加

晚更新世以来3次大海侵的年代，已分别确定为末次间冰期的128 ~ 75kaBP(据古地磁Blake亚时位于海侵层底)、始于近40kaBP和近10kaBP(据¹⁴C测年)。后两次海侵由于有较高精度的测年，可知其起始时间受到各地河流沉积或古地形的影响。3次海侵形成的地层由新至老依次称为第I、第II和第III海侵层。

据对渤海西岸至渤海^[4]、南黄海^[5]、江苏沿海^[6,7]、长江三角洲^[8,9,10]、浙江沿海^[11]基准孔海侵层对比，可见渤海中部存在明显的断陷现象(图1)，可将其归因于斜贯渤海中部的郟庐断裂中段的拉张作用^[12]。下辽河地区营口Lp25孔第III海侵层底板曾划在160m深度^[10]，由于其后发现附近两孔400 ~ 500m厚地层皆为正极性^[13]，故将同济大学原始微体生物鉴定结果重新分析，发现其中的海相微体生物层位基本可与渤海中部凹陷BC1孔海侵层^[4]对比。鉴于Lp25孔位于郟庐断裂带陆地延伸处，故作如图2所示的对比^[12]。

在沿海平原中更新世地层中见两层海侵(图1、图2、图3)，在渤海西岸将上层对比渤中凹陷BC1孔的160kaBP海侵层^[12]，将下层推测为300kaBP^[10]，从生物群看，这两期海侵层均未见暖水属种，且反映无多大水深。如是说来，约160kaBP时海水已经可以影响到海盆和沿海平原，但却没有发生海岸线变迁，也许仅是海水的短暂登陆，在渤海西岸仅出现在滨海狭长地带^[14]，在江苏平原深入较大；只是至末次间冰期时，由于有高海面的叠加，才在海域与陆地钻孔中见岩相特征明显的海侵层，并发现丰富的微体生物群变化，甚至有宏体海洋生物遗存，从而能确定大海侵的范围。300kaBP的海侵层的年代尚有待用新测年方法验证，因为现在该层位埋深距中国东部平原钻孔中古地磁极性柱的B/M界线(780kaBP)太近，除非其间有大的沉积间断，否则很难解释这一现象。

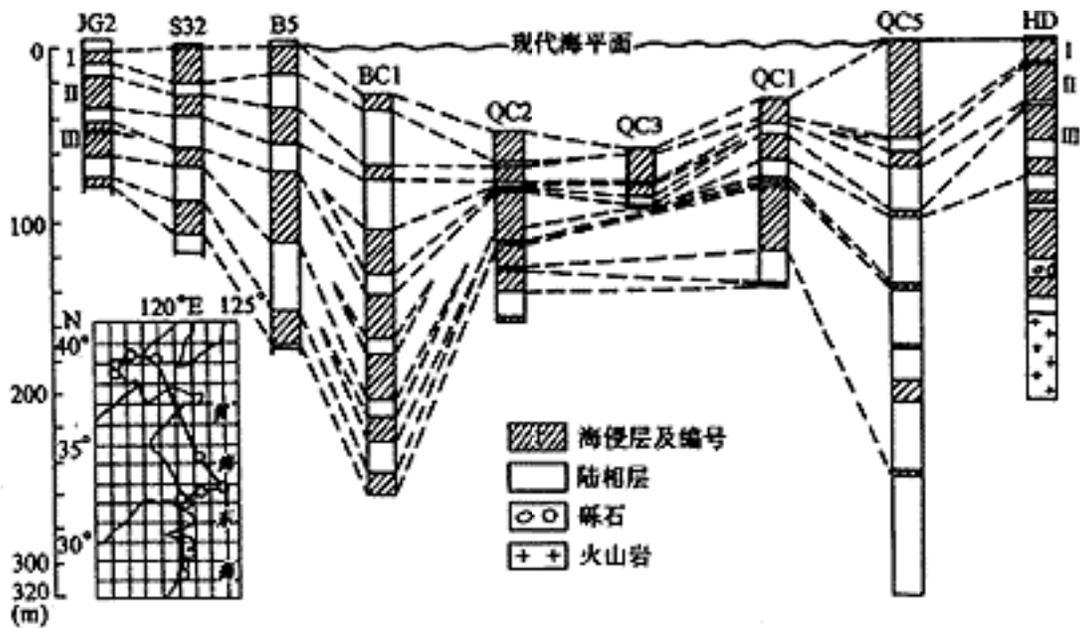


图1 渤海西岸晚第四纪海侵层与近海海域和苏、浙沿海基准孔海侵层对比
(据文献 [12])

Fig.1 The correlation of transgressional layers in the standard drilling holes on the western coast of the Bohai Sea, in offshore region, on the coast of Jiangsu and Zhejiang Provinces since Late Quaternary

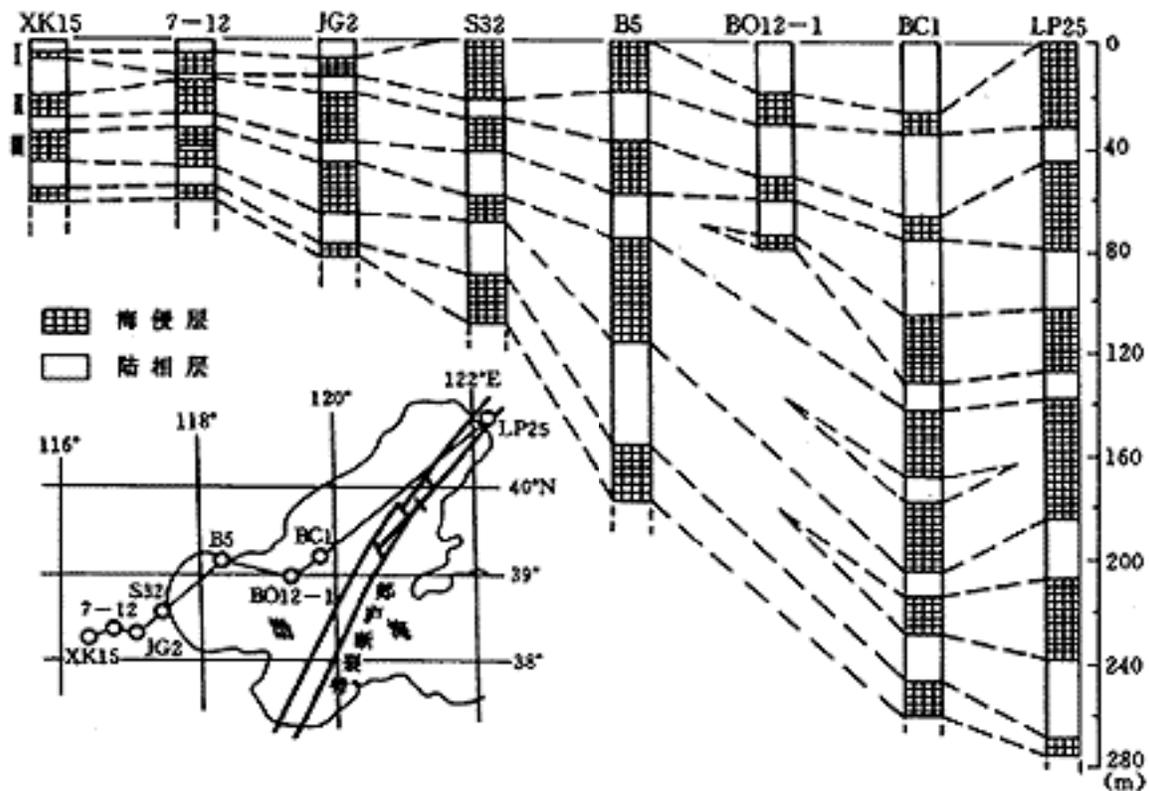


图2 渤海西、北岸钻孔与渤中凹陷BC1孔海侵层对比
(据文献 [12])

Fig.2 The correlation of transgressional layers between the drilling holes on the western and northern coasts of the Bohai Sea and borehole BC1 at the middle depression of the Bohai Sea

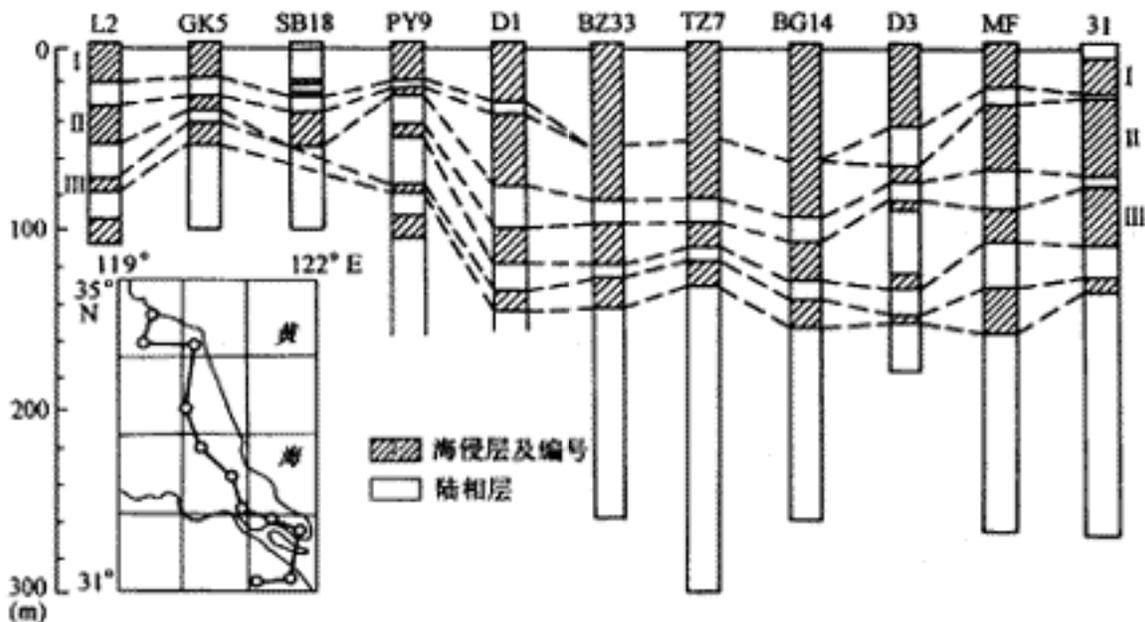


图3 江苏沿海平原与长江三角洲基准孔海侵层对比

Fig.3 The correlation of transgressional layers in the standard drilling holes on the coastal plain of Jiangsu Province and Yangtze delta

(L2孔据文献 [6] , GK5和SB18孔据文献 [7] , PY9孔据韩道华资料, D1、BZ33、TZ27和BG14孔据文献 [8] , D3和31孔据文献 [9] , 上海面粉厂MF孔据文献 [10])

图1与图2的对比关系显示,渤中凹陷是近200ka以来东海、黄海、渤海中的断陷沉降最大处,与之同处郟庐断裂中段的下辽河地区次之。与渤中凹陷相邻的南堡B5孔中,第三次海侵可能仅始于约100kaBP,BC1孔中128kaBP发生的海侵似乎并未淹及南堡地区,这可能是因进积的三角洲阻挡了海水的登陆。BC1孔100kaBP~75kaBP间海侵层中的陆相夹层,亦可能是因该地系沉降中心,易接受陆源物质,且一度出露于海面之上成为水上三角洲平原,后又沉降继续遭受海侵之故。有鉴于此,滨海钻孔除在古地磁资料或区域对比明显有较大出入外,第III海侵层底的年代可视为100kaBP,并作下列统计(表1),以示此次海侵地层形成后的沉降幅度及其差异。

表1 中国东部沉降海岸基准孔中第III海侵层底板深度统计

Table 1 The bottom depths of the No. transgressional layer at the standard drilling holes on the eastern subsided plain in China

地点	钻孔编号	深度/m	年代/kaBP	构造单元	资料来源
辽宁营口	Lp25	247	128	郟庐断裂延伸处	文献 [12]

辽宁营口	Lp25	103	100	郟庐断裂延伸处	文献 [12]
河北滦南南堡	B5	115	100	南堡凹陷	文献 [10]
天津汉沽大神堂	P5-1	89	100	南堡凹陷	文献 [15]
天津大港上古林	G3	63	100	歧口凹陷	本文
天津大港马棚口	S32	70	100	歧口凹陷	文献 [16]
山东老黄河口五号桩	S3	96	124		文献 [15]
山东沾化下河	ZN4	77	100		文献 [15]
山东东营电厂	DD1	82	100	东营凹陷	本文
江苏徐榆方洋港	L2	62	100		文献 [16]
江苏盐城兵化工厂	PY9	48	100		文献(1)•
江苏海安白甸	D51	50	100		文献 [8]
江苏南通	TZ27	108	100	南通江苏隆起	文献 [9]
上海面粉厂	MF	110	100		文献 [10]
浙江海宁斜桥	H24	54	100		文献 [11]
浙江温岭东浦	HD	78	110		文献 [11]

资料来源据韩道华等资料。

众多古地磁资料已显示，整个中国东部平原松山负极性带厚度小于布容正极性带，反映中国东部平原自中更新世以来沉降加快。鲁北平原第四系下限一般不到250m [16, 17]，长江三角洲地区该界线埋深亦不到280m [8, 9]。但由表1可见，这两地晚更新世以来海侵层及其间陆相夹层组成的层序厚度，已占当地整个第四系厚度的40%~60%，且前第四纪时这两个地区尚为隆起区。本文认为，鲁北及长江三角洲地区区域新构造活动背景由相对隆起向绝对沉降的转换应为早至中第四纪地壳应力场的转变和地表系统巨变的具体表现，加上河北南堡凹陷随渤中凹陷持续沉降，故而上述三地才成为现代三条大河——黄河、长江及滦河流入海洋的场所。

当然，沿海地区古地磁研究尚有欠缺，也有许多具体的采样困难，海侵层时代归属据现有古地磁资料尚有许多矛盾之处，测年问题还有待新方法、新技术来突破，表1中的年代数据，有的是据原资料报道或是经区域对比推测的可能年代。即便如此，晚更新世以来海侵层序仍不失为沿海平原和陆架地层对比的标志，第III海侵层底板的起伏为了解各断块间沉降差异提供了地质证据。另一方面，由滨海向陆所作海侵层对比剖面亦表现出不同地区海侵层向海倾伏程度不一(如苏北海岸 [7])，甚至江苏太湖地区可能仅有很薄的全新世海侵层 [18] 或没有全新统 [19]。

2 海侵过程中的陆海相互作用

晚第四纪青藏高原的加速隆升促使大量碎屑物质通过黄河、长江向东部搬运，从而塑造了现代中国东部大平原。这一物质输送过程与海侵相“碰撞”，除冲积扇前缘物质被海水改造而形成浅海和河口湾沉积物外，在个别地点尚有超出海平面堆积形成

陆地的可能。例如在山东沾化ZN4孔，据微体生物分析发现第III海侵层上部夹一池沼相沉积[15]；又如胜利油田科学研究院在山东东营DD1孔第III海侵层中亦发现两层池沼相夹层，似与深海氧同位素5阶段记录的两次气候变凉相符。

类似现象亦见于河北南皮境内。据微体生物分析可见图4所示的海侵层对比关系。即第III海侵层两次为河流及相关沉积穿插；此后，NQ25孔所在断块断陷出现第II海侵层，但海水向西南未能淹没NQ21孔所在地；随后的河流泛滥沉积填平了两孔之间的断块高差，因而全新世海侵发生时，皆出现淤泥质沉积。在河流沉积顶托住海水进一步西进后，海水再次淹没东部地区，却未能西进。南皮县城东侧的ND剖面，见西汉筒瓦的2kaBP层位的黑色粘土[20]，在两个钻孔中可能因过薄而未见记录。钻孔中记录的“粉土”系无粘粒的粘土粒级物质，未经过成壤作用，很像风力吹扬所致。

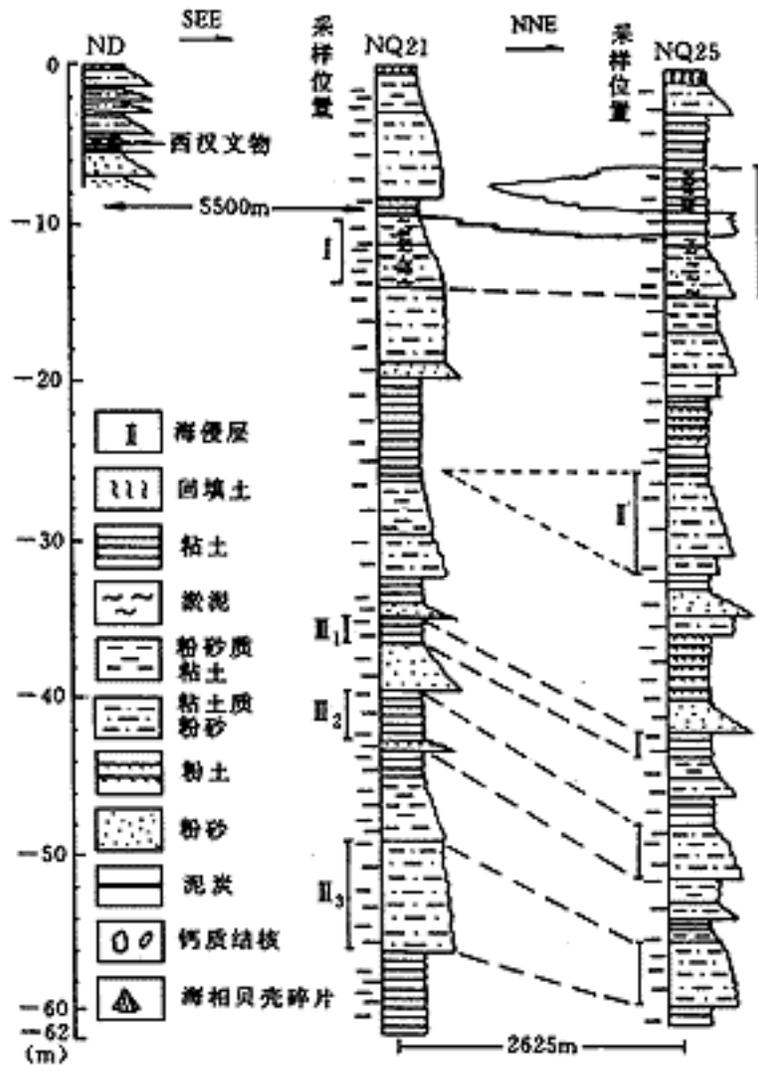
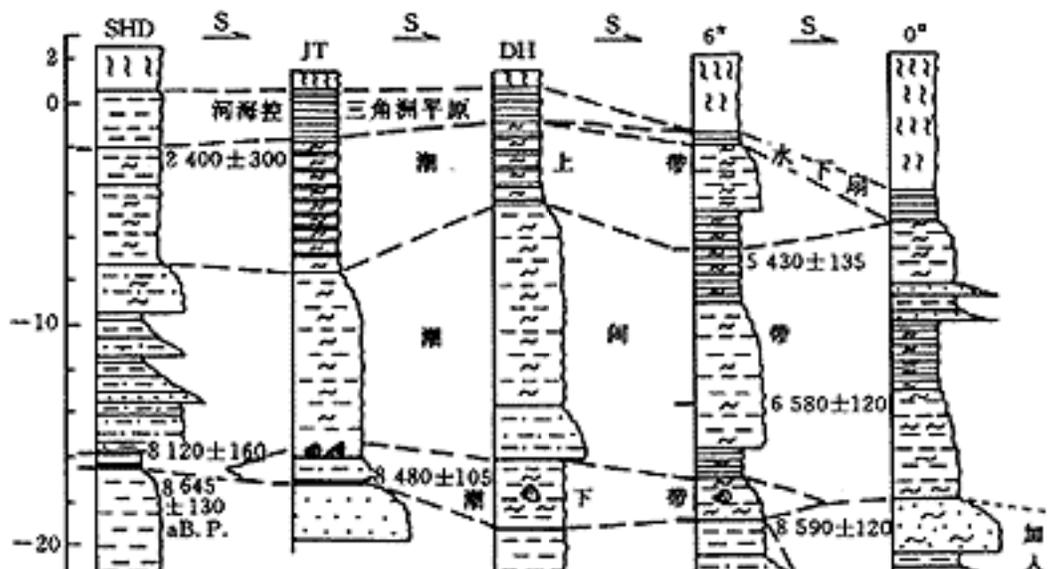


图4 河北南皮县钻孔中海侵层被进积的河流沉积阻断及对比关系

Fig.4 The transgressive layers at the drilling holes in Nanpi county of Hebei Province had been interrupted by progradational riverine sediments and their correlation relationship

间冰期的河流沉积不仅在三角洲平原后缘的河北南皮地区见及，它亦可在三角洲平原前缘的山东沾化、东营地区中断末次间冰期“高海面”作用下的海侵沉积。这首先表明海侵时海水深度没有多大，其次表明河流较高的输沙能力(如NQ21孔III₁和III₂海侵层间为河流砂层)，又有泥沙较快的堆积，这才形成高出海洋作用高度之上的三角洲平原上的淡水池沼。也许可据此追溯河流的行洪路线，即末次间冰期期间，黄河基本在现今山东东营和沾化一带入海。山东东营及河北黄骅部分钻孔早全新世依然为网状河道沉积，表明当时这些钻孔所在地仍有较多泥沙供给；大约自8kaBP时海水才全部淹没东营及黄骅地区，标志着海面上升速率开始超过了河流泥沙堆积形成水上三角洲平原的速率，亦可视为全新世大暖期陆海相互作用的结果。与天津塘沽沿海钻孔的全新统(图5)相比，东营及黄骅地区未见全新世海侵层下部与基底泥炭之间的潮下带沉积单元。故而，我国东部沿海全新世海侵层总体说来是海退序列^[19]，也并非完整的旋回。图5中泥炭及相关测年显示，难以讨论8kaBP前后千年尺度海平面变化的细节，它提供的信息是河流沉积与海平面上升之间的更重要的动态关系。



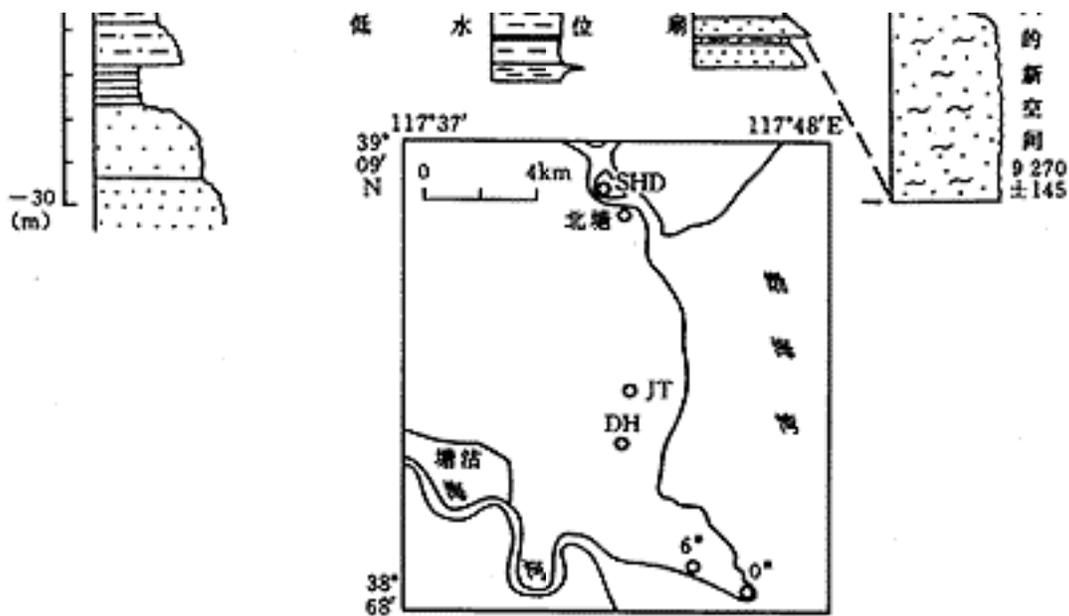


图5 天津塘沽沿海钻孔全新世海侵层对比及 ^{14}C 测年(图例同图4)

Fig.5 The correlation of Holocene transgressive layer at drilling holes on Tanggu coast of Tianjin and relative ^{14}C dating data (Legend as showing as in Fig.4)

进积的河流沉积阻挡和“干扰”海平面上升作用的现象，突出了河流沉积对海岸发育的贡献。实际上，地质历史时期河流输沙的变化及其对海岸和大陆架的影响，不仅是个理论问题，更直接关系到滨海平原和近岸浅海的开发与利用[21]。末次冰期最盛时的低海面直接影响到长江河口出现下切河谷[19]，大陆架也出现剧烈的环境变化。图3显示了由长江口向南通方向下切河谷造成最后两期海侵层相连。图5可见塘沽新港东突堤东端钻孔中的下切河谷，表明当时全球海洋水圈变化亦影响到半封闭的渤海湾西岸，导致地表系统巨变。

3 结语

(1)中国东部平原第四纪晚期才发生大范围海侵的现象，仅从海面变化的角度是解释不了的，陆架海域福建—岭南隆起带的沉降才可能为海水入侵东海和黄海盆地并进而在陆地发生海侵提供条件。

(2)福建—岭南隆起带的沉降又是青藏高原隆升并导致与日本—琉球岛弧之间地壳应力场变形的结果。故而，中国东部大平原晚第四纪海侵的发生是青藏高原隆升的必然结果及间接效应。

(3)青藏高原的隆升造成河流纵剖面变陡，大河水动力增强，泥沙搬运量加大，造陆过程加快，遂形成中国东部大平原。

(4)晚第四纪以来东部平原和陆架区的沉降，以及水动型海面升降作用的叠加，导致我国特定的海陆分布格局及陆海相互作用。

(5)全球大河流汇入海洋皆在沉降海岸，但我国长江、黄河、滦河自晚更新世以来至今在现代河口区入海，是由其所在构造单元的沉降背景决定的。不同背景下海侵作用的强度和幅度不同，而我国几条大河的沉积过程在不同时间尺度上对全球海洋水圈

变化的响应，更应给予足够的注意和研究。

承吴锡浩先生审阅文稿，并提出宝贵的意见，谨致谢意。

基金项目：国家自然科学基金研究项目(49672090)，原地质矿产部“九五”重点基础研究项目(9501113)、地质行业科学技术发展基金(959612)

作者简介：王强(1945—)，男，研究员，长期从事第四纪微体古生物及相关古环境研究。

作者单位：王强 国土资源部天津地质矿产研究所，天津 300170；田国强 中国地质科学院地质力学研究所，北京 100081。

参考文献

- [1] 秦蕴珊，赵一阳，陈丽蓉，等. 黄海地质 [M]. 北京：海洋出版社，1989. 244 ~ 247.
- [2] 吴锡浩. 青藏高原隆升幅度的初步研究 [A]. 见：刘东生等主编. 黄土、第四纪地质、全球变化(第四集) [C]. 北京：科学出版社，1996. 1 ~ 17.
- [3] 金 权，等. 安徽淮北平原第四系 [M]. 北京：地质出版社，1986. 1 ~ 4.
- [4] 中国科学院海洋研究所海洋地质研究室. 渤海地质 [M]. 北京：科学出版社，1986. 1 ~ 232.
- [5] 郑光膺. 南黄海第四纪层型地层对比 [M]. 北京：科学出版社，1989. 91 ~ 148.
- [6] 王绍鸿，韩有松. 海州湾南岸第四纪海侵的研究 [J]. 海洋科学，1980，(2)：19 ~ 23.
- [7] 陈希祥，等. 江苏省徐淮地区第四纪地质 [M]. 北京：海洋出版社，1988. 1 ~ 154.
- [8] 吴标云，李从先. 长江三角洲第四纪地质 [M]. 北京：海洋出版社，1987. 97 ~ 151.
- [9] 冯小铭，韩子章，方家骅，等. 南通市第四纪沉积特征及沉积相 [A]. 中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊，第八号(增刊) [C]. 北京：地质出版社，1990. 77 ~ 95.
- [10] 汪品先，闵秋宝，卞云华，等. 我国东部第四纪海侵地层的初步研究 [J]. 地质学报，1981，34(1)：1 ~ 13.
- [11] 陈荣华. 浙江沿岸地区第四纪海侵 [J]. 海洋学报，1993，14(3)：76 ~ 84.
- [12] 王 强，金 权. 中国东部第四纪间断地层学初步研究 [A]. 见：杨子赓，林和茂主编. 中国近海及沿海地区第四纪进程与事件 [C]. 北京：海洋出版社，1989. 132 ~ 142.
- [13] 陈德昌，顾尚勇. 下辽河平原第四纪磁性地层的初步研究 [J]. 同济大学学报，1988，16(2)：169 ~ 177.
- [14] 王 强，李凤林，李玉德，等. 对渤海西、南岸平原第四纪海侵命名的讨论 [J]. 海洋学报，1986，8(1)：72 ~ 82.
- [15] 王 强，李凤林，李玉德，等. 十五万年来渤海西南岸平原海岸线变迁 [A]. 见：赵松龄，苍树溪主编. 中国海平面变化(IGCP200项中国工作组论文集) [C]. 北京：海洋出版社，1986. 43 ~ 52.
- [16] 庄振业，许卫东，刘东生，等. 渤海南部S3孔及晚第四纪海相地层 [J]. 海洋地

质与第四纪地质, 1999, 19(2): 27 ~ 35.

[17] 陈孝燕. 山东平原第四纪早期不整合面研究 [A] . 见: 杨子赓, 林和茂主编. 中国近海及沿海地区第四纪进程及事件 [C] . 北京: 海洋出版社, 1989. 126 ~ 131.

[18] 杨怀仁, 王 强, 杨达源. 太湖827孔微体生物研究及其环境意义 [J] . 海洋地质与第四纪地质, 1988, 18(2): 67 ~ 76.

[19] 李从先, 汪品先, 等. 长江晚第四纪河口地层学研究 [M] . 北京: 科学出版社, 1998. 4 ~ 197.

[20] 田国强, 王 强. 安徽五河、河北南皮Propontocypris的发现——兼论2kaBP的突然变化事件 [J] . 地球学报, 1997, 18(4): 438 ~ 444.

[21] 李从先, 陈 刚, 姚 明. 我国河流输沙对海岸和大陆架沉积的影响 [J] . 同济大学学报, 1988, 16(2): 137 ~ 146.

收稿日期: 1999-09-10