

# 渤海湾西岸全新世沉积速率对河流供给的响应

陈永胜<sup>1,2</sup>, 王福<sup>1,2</sup>, 田立柱<sup>1,2</sup>, 李建芬<sup>1,2</sup>, 商志文<sup>1,2</sup>, 王宏<sup>1,2</sup>, 齐乌云<sup>3</sup>  
CHEN Yong-sheng<sup>1,2</sup>, WANG Fu<sup>1,2</sup>, TIAN Li-zhu<sup>1,2</sup>, LI Jian-fen<sup>1,2</sup>,  
SHANG Zhi-wen<sup>1,2</sup>, WANG Hong<sup>1,2</sup>, QI Wu-yun<sup>3</sup>

1. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170;  
2. 中国地质调查局泥质海岸带地质环境重点实验室, 天津 300170;  
3. 中国社会科学院考古研究所, 北京 100710

1. *Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China;*  
2. *Key Laboratory of Muddy Coast Geo-environment, China Geological Survey, Tianjin 300170, China;*  
3. *Institute of Archaeology, Chinese Academy of Social Sciences, CASS, Beijing 100710, China*

**摘要:**渤海湾西岸由北向南获取了3个钻孔,以全新世海相岩心为研究对象,采用AMS <sup>14</sup>C(Accelerator Mass Spectrometry <sup>14</sup>C, 加速器质谱 <sup>14</sup>C)测年方法建立年代框架并计算平均沉积速率,结合沉积物粒度组成及沿岸古河流三角洲发育历史,探讨了沉积速率对沿岸河流供给变化的时空响应。结果表明,早全新世—中全新世初期(11~6ka),渤海湾西岸整体沉积速率偏低,仅0.03~0.07cm/a,沉积物粒度较粗;中全新世6.43~4.97ka cal BP期间, NP3孔平均沉积速率为0.60~0.93cm/a,高于同期沿岸南部的CH110孔和BT113孔。沉积物组成以粉砂为主,粘土含量低,向上逐渐变粗,具三角洲反粒序特征。该时段的高沉积速率系渤海湾西北岸对潮白河、永定河及滦河沉积物供给的响应;中全新世晚期3.68~2.67ka cal BP期间,BT113孔沉积速率为0.27~1.4cm/a,高于同期沿岸北部CH110孔和NP3孔,沉积物组成以粉砂为主,粘土含量较NP3孔高,向上逐渐变粗,具三角洲反粒序特征。该时段的高沉积速率系渤海湾西岸南部对黄河沉积物供给的响应;晚全新世2.29~0.24ka cal BP期间,沿岸中部CH110孔沉积速率为0.55~0.91cm/a,高于同期沿岸南部的BT113孔和北部的NP3孔,该高沉积速率为渤海湾西岸中部对黄河和海河供给沉积的先后响应。

**关键词:**渤海湾西岸;全新世;沉积速率;河流供给

**中图分类号:**P534.63<sup>+2</sup>; P731.21<sup>+3</sup>      **文献标志码:**A      **文章编号:**1671-2552(2014)10-1582-09

**Chen Y S, Wang F, Tian L Z, Li J F, Shang Z W, Wang H, Qi W Y. Holocene sedimentation rates and their response to fluvial supply on the west coast of Bohai Bay. *Geological Bulletin of China*, 2014, 33(10):1582–1590**

**Abstract:** Taking cores from three drill holes along the western coast of Bohai Bay as the study basis and collecting materials through cutting through the upper marine bed deposited during Holocene as samples, the authors dated shells and charcoals by AMS <sup>14</sup>C and calculated the average sedimentation rate. The spatial-temporal relationship between the Holocene sedimentation rates of drill holes and sediments transported by rivers was discussed combined with grain size and development of adjacent ancient river delta. The results indicate that various sedimentation rates occurred in different periods in Holocene and such a variety reveals different sediment supplies along the western coast of Bohai Bay. From early Holocene to early period of mid-Holocene, the low sedimentation rate (0.03~0.07cm/a) and coarse sediments along the whole western coast presented less impotent fluvial input at that time. During 6.43~4.96ka cal BP, the rising sedimentation rate (0.59~0.93cm/a) and upward-coarse grain size succession implied that Chaobai River, Yongding River and Luanhe River dumped sediments in the northern part of the west coast of Bohai Bay. In 3.68~2.67ka cal BP,

收稿日期:2014-02-18; 修訂日期:2014-07-22

资助项目:国家自然科学基金项目(批准号:41372173)和中国地质调查局项目(编号:12120113005800、1212011120169)

作者简介:陈永胜(1975-),女,博士,助理研究员,从事第四纪海岸带地质环境变化研究。E-mail: yongsheng20052005@163.com

the Yellow River downloaded its sediments in the southern part of the area indicated by the high sedimentation rate (0.27~1.4cm/a) and upward-coarse grain size succession, while Haihe River emptied its sediments to the middle part of the area in 2.29~0.24ka cal BP with sedimentation rate being 0.55~0.91cm/a.

**Key words:** western coast of Bohai Bay; Holocene; sedimentation rate; sediment supply

河口海岸地区作为海陆过渡带,是记录海陆交互作用的敏感地区。中全新世海面上升趋缓并保持相对稳定以来,海岸带的地貌、沉积环境,尤其是三角洲的演化等主要受控于沿岸沉积物供给及由此引发的沿岸水动力变化。中国北部湾西岸的红河三角洲(Red River delta),在过去9ka期间,由于红河的输沙量从17~27Mt/a(9~2ka cal BP)上升至49Mt/a(2~0ka cal BP),导致三角洲快速进积,河口形态历经斗状、平直,最终发育为朵状<sup>[1]</sup>。日本中部Mikawa Bay经历早全新世快速海侵后,距今约7ka cal BP发育Yahagi delta,三角洲前缘的坡度和粒度变化记录距今5~4ka cal BP和约3ka cal BP分别发生2次快速沉积过程,指示了下切河谷分段水深差异和人类活动的影响<sup>[2]</sup>。加拿大Beaufort Sea东北部晚全新世距今4.6ka以来海面保持相对稳定,同一时期的沉积速率约为140cm/ka,主要是Mackenzie River供给的贡献<sup>[3]</sup>。越南南部湄公河水下三角洲(sub-aqueous Mekong River)现代沉积速率变化复杂,变化幅度在1~10cm/a之间,是海底地貌和沿岸流作用的结果<sup>[4]</sup>。长江口现代沉积速率研究表明,在20世纪60~70年代,沉积物供给较少,与长江上游大量水库截流有关<sup>[5]</sup>。渤海湾西岸现代沉积速率的变化指示了河道的迁移及人类活动的影响<sup>[6]</sup>。

上述研究表明,河流供给对沿岸沉积环境演化具有控制作用。长期以来,大型河口三角洲的沉积速率倍受关注,而对于多河流供给的沿海平原,开展全新世河流供给地质记录研究还鲜有报道。本文以多河流注入的渤海湾沿海平原为例,以取自沿岸不同沉积区的机械钻孔岩心为研究对象,通过对比不同钻孔全新世沉积速率的差异,结合沿岸古河流三角洲发育历史,探讨渤海湾沿海平原全新世海相沉积对河流供给的记录。本次研究对进一步研究渤海湾西岸全新世以来的相对海平面变化、岸线变迁、环境演化等具有重要意义。

## 1 区域地质背景

渤海湾及相邻沿海低地位于渤海西部。黄河、海河和滦河是渤海湾沿岸三大入海河流,为渤海湾地

区输送巨大的沉积物通量,全新世中期以来发育若干个古三角洲(图1)。前人根据贝壳堤等地貌演化过程推断的历史时期古黄河三角洲叶瓣1~4依次发育于6~5ka BP、5~4.5ka BP、4.5~3.4ka BP和3.4~3.0ka BP。据史料记载<sup>[7~9]</sup>,有确切历史记录的三角洲叶瓣5~10依次发育于3.0ka BP~602BC、602BC~AD11、AD11~1048、AD1048~1128、AD1128~1855和AD1855至今。西汉以前,海河长期被黄河徙夺入海,未形成独立水系。今海河水系中大清河及其以南各水系都曾流入黄河,北部永定河和潮白河水系都曾分流入海。公元1~6世纪,随着黄河逐渐向南改道,海河水系初步形成,但各河系之间联系不稳定,至六朝以后海河的范围形成如今的局面<sup>[10~11]</sup>。晚更新世以来,滦河在渤海湾东北部主要形成6个冲积扇—三角洲,1~6冲积扇—三角洲依次发育于晚更新世晚期、全新世早期(10~7ka BP)、全新世中期(7~3ka BP)、历史早期(3~1ka BP)、历史晚期(约

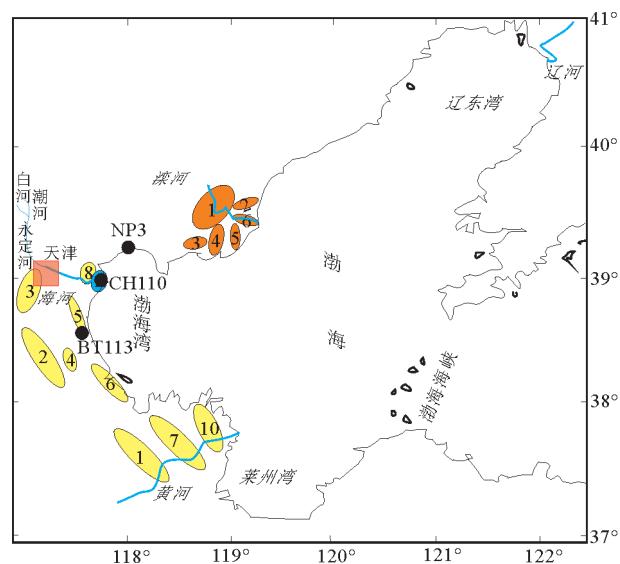


图1 渤海湾西岸钻孔位置及古河流三角洲分布

Fig. 1 Location of drill holes and distribution of palaeodelta on the western coast of Bohai Bay

黑色圆点代表文中钻孔位置;黄色椭圆代表不同时期

古黄河三角洲<sup>[7~9]</sup>,其中古黄河三角洲9位于苏北地区,

本图未标出;蓝色椭圆代表海河入海位置<sup>[10~11]</sup>;

棕色椭圆代表不同时期滦河冲积扇—三角洲<sup>[12~13]</sup>

1ka BP以来)和最新三角洲(1915年至今)<sup>[12-13]</sup>。

## 2 材料与方法

本次以渤海湾西岸由北向南分布的3个钻孔NP3孔、CH110孔和BT113孔上部20m岩心为研究对象(图1,表1)。采用AMS<sup>14</sup>C测年和激光粒度测量方法,分析全新世海相地层沉积速率及沉积物粒度组成变化。为能更近似地代表地层的沉积年龄,AMS<sup>14</sup>C测年选取岩心中受搬运作用影响较小的、相对完整的贝壳或壳体较薄、不耐搬运的贝壳碎片。

测年样品在美国BETA实验室采用AMS<sup>14</sup>C法测量,定年结果根据INTCAL04数据库进行校正后,以日历年表达(a cal BP),该校正数据应用3次样条函数运算法得出<sup>[14-15]</sup>。文中<sup>14</sup>C半衰期以5568a计,海相样品的地区贮存库数值与全球平均贮存值之间的差值DR=-178a±50a<sup>[16]</sup>。激光粒度测量由天津地质调查中心实验测试室完成,沉积物分类和命名采用谢帕德(Shepard)<sup>[17]</sup>分类系统。

## 3 测年结果

### 3.1 渤海湾西岸NP3孔

在NP3孔埋深18m以上岩心中选取6个贝壳样品用于AMS<sup>14</sup>C测年,结果显示地层自下而上逐渐年轻(表2),埋深17.8~0m地层为距今约8.4ka cal BP以来的全新世沉积。

### 3.2 渤海湾西岸CH110孔

在CH110孔埋深19m以上的岩心中选取7个贝壳样品用于AMS<sup>14</sup>C测年,结果显示地层自下而上逐渐变年轻(表3)。在深19.0m和18.6m之间厚度

表1 渤海湾西岸钻孔信息

Table 1 List of information of drill holes along the western coast of Bohai Bay

钻孔编号	位置	坐标		孔口高程/m
		纬度/北纬	经度/东经	
NP3	汉沽长芦盐场	39°14'23.6"	118°00'09.9"	+2.1
CH110	天津港	39°01'25.1"	117°45'00.5"	+3.2
BT113	大港油田发电厂	38°44'53.8"	117°31'07.3"	+1.4

注:孔口为黄海85高程

约0.4m的地层中测得的3个贝壳年龄分别为4.89ka cal BP、2.29ka cal BP和2.87ka cal BP,测年材料均取自贝壳砂层。该贝壳砂层在渤海湾西岸海河以北地区普遍发育,沉积速率低<sup>[18-19]</sup>,推测其起止时间远超过4.890~2.29ka cal BP范围,因此取相对年轻的2.29ka cal BP年龄代表贝壳层的结束时间。8.04m和6.7m处的年龄同为0.52ka cal BP,前者较后者沉积物粒度偏细,环境稳定,再搬运作用较弱,其年龄更可信。

### 3.3 渤海湾西岸BT113孔AMS<sup>14</sup>C测年结果

在BT113孔17m以上的岩心中选取12个贝壳样品用于AMS<sup>14</sup>C测年,AMS<sup>14</sup>C年龄显示地层自下而上逐渐年轻(表4)。埋深16.7m以上地层为距今约8.5ka cal BP以来的全新世沉积<sup>[20]</sup>。

## 4 讨论

### 4.1 渤海湾西岸NP3孔全新世沉积速率与潮白河、永定河和滦河的供给关系

NP3孔全新世以来的沉积速率变化可分为3个

表2 渤海湾西岸NP3孔AMS<sup>14</sup>C测年结果

Table 2 AMS<sup>14</sup>C dating materials and dating results of drill hole NP3 along the western coast of Bohai Bay

实验编号 /BETA	埋深/m	测年材料	直接测定值	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	惯用年龄 /a BP	校正年龄/a cal BP
			/a BP			中值
305307	1.1	Potamocorbula laevis 碎片	1390±30	-0.8	1790±30	1524 1679~1378
305308	3.3	Potamocorbula laevis 单瓣	3070±30	-1.5	3460±30	3550 3680~3400
305309	5.7	Potamocorbula laevis 单瓣	4180±30	-2.6	4550±30	4970 5143~4828 5194~5146
305310	9.3	Nassarius variciferus 完整壳体	4710±30	-6.3	5020±30	5570 5660~5450
305311	17.3	Crassostrea pistigris 单瓣	5450±30	-1.5	5840±30	6430 6950~6300
BA08832	17.8	木炭	7626±30	-24.49	7625±40	8417 8483~8371

注:表中BA08832样品测量由北京大学考古文博学院AMS<sup>14</sup>C实验室完成,测量结果经CALIB6.0程序校正

表3 渤海湾西岸CH110孔AMS<sup>14</sup>C测年结果Table 3 AMS<sup>14</sup>C dating materials and dating results of drill hole  
CH110 along the western coast of Bohai Bay

实验编号 /BETA	埋深/m	测年材料	直接测定值 /a BP	$\delta^{13}\text{C}$ /‰	惯用年龄 /a BP	校正年龄/a cal BP 中值 范围/2σ
305295	5.5	Potamocorbula laevis 碎片	40±30	-4.2	380±30	240 300~40
305297	6.7	Potamocorbula laevis 单瓣	360±30	-1.7	740±30	520 630~450
305296	8.04	Potamocorbula laevis 单瓣	360±30	-1.3	750±30	520 630~460
305298	15.1	Nassarius variciferus 完整壳体	1560±30	-4.6	1890±30	1650 1800~1510
305299	18.6	Crassostrea pestigris 单瓣	2540±30	-1.4	2930±30	2870 3050~2750
305300	18.6	Nassarius variciferus 完整壳体	2000±30	-0.4	2400±30	2290 2350~2110
305301	19.0	Crassostrea pestigris 单瓣	4140±30	-2.2	4510±30	4890 5060~4810

阶段。第1阶段:8.42~6.43ka cal BP,沉积速率0.03cm/a,为低沉积速率时期;第2阶段:6.43~4.97ka cal BP,沉积速率0.60~0.93cm/a,为高沉积速率时期;第3阶段:4.97~1.52ka cal BP,沉积速率0.11~0.17cm/a,为低沉积速率时期(图2)。

NP3孔全新世海相层底界埋深19m,有确切定年的8.42~6.43ka cal BP(直接测定年龄7.62~5.45ka BP)期间平均沉积速率0.03cm/a,沉积物以粉砂—

砂质粉砂为主。约8.5ka cal BP,全新世海侵到达渤海湾西岸后,海面持续上升,岸线迅速后退,形成了新的可容空间<sup>[21~22]</sup>。但早全新世—中全新世初期该地区仍保持0.03cm/a的沉积速率,且沉积物粒度较粗,砂质含量20%~40%,表明该时段由于海侵时岸线后退,受海水顶推作用,大量沉积物泄载于河流中上游,导致NP3孔所在的现代岸线附近记录到的河流输入作用较弱。同时因受潮滩—浅海环境下

表4 渤海湾西岸BT113孔AMS<sup>14</sup>C测年结果Table 4 AMS<sup>14</sup>C dating materials and dating results of drill hole  
BT113 along the western coast of Bohai Bay

实验编号 /BETA	埋深/m	测年材料	直接测定值 /a BP	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	惯用年龄 /a BP	校正年龄/a cal BP 中值 范围/2σ
296005	4.40	Potamocorbula laevis 单瓣	1180±30	-0.8	1580±30	1300 1410~1220
296006	4.90	Potamocorbula laevis 单瓣	1730±30	-2.6	2100±30	1880 2030~1760
296007	5.40	Potamocorbula laevis 单瓣	2300±30	-1.6	2680±40	2670 2740~2440
296008	6.10	Potamocorbula laevis 单瓣	2350±30	-0.9	2750±40	2720 2810~2590
296010	7.10	Potamocorbula laevis 单瓣	2520±40	-1.2	2910±40	2850 3020~2740
296011	7.50	Potamocorbula laevis 单瓣	2650±40	-2.5	3020±40	3000 3190~2840
296003	10.20	Potamocorbula laevis 单瓣	3020±30	-1.3	3410±30	3470 3630~3350
296012	11.20	Nassarius variciferus 完整壳体	3190±40	-1.7	3570±40	3680 3830~3540
296004	13.20	Nassarius variciferus 完整壳体	4980±40	-3.1	5340±40	5900 6010~5750
297743	14.00	Nassarius variciferus 完整壳体	6010±40	-4.6	6340±40	7010 7170~6880
297741	15.70	Potamocorbula laevis 碎片	6790±40	-3.0	7150±40	7790 7920~7660
297742	16.70	Potamocorbula laevis 碎片	7520±40	-6.0	7830±40	8450 8590~8360

水体反复簸选作用,沉积物粒度较粗。6.43~4.97 ka cal BP(5.45~4.18 ka BP)期间,沉积速率上升至0.60~0.93 cm/a,沉积物组成以粉砂为主,向上逐渐变粗至粉砂质砂,呈典型的三角洲反粒序特征,揭示三角洲的进积过程。中全新世末至今,沉积速率从0.17 cm/a持续降低至0.11 cm/a,沉积物粒度逐渐变细,以粘土质粉砂为主。

位于NP3钻孔西北的潮白河,上游有白河和潮河2个分支,公元前1万年—3千年的早中全新世,潮、白二河汇入永定河。永定河自七八千年出石景山后,多次迁徙,史前分别自通县以北、通县以南至天津以北和天津以西的北、中、南三道,在天津北附近入海<sup>[11]</sup>。全新世中期7~3 ka BP,滦河河道南迁,位于NP3孔东北部的滦河冲积扇3形成<sup>[11,23]</sup>。滦河入海沉积物虽不能对渤海湾西北部产生直接堆积作用,但沉积物可随该地区的逆时针沿岸流向西南方向运移<sup>[24]</sup>。

综上推断,中全新世NP3孔沉积速率增大,沉积速率的增加与潮白河和永定河的河道变迁及古滦河三角洲的发育在时空上存在响应关系(图1、图2),可能系永定河和滦河水系供给的结果。沉积物整体偏粗,粘土含量偏低,亦符合近源的永定河和滦河冲积扇—三角洲供给特征。但如何区分永定河和滦河水系的供给时段和贡献率,有待于物源分析的进一步研究。

#### 4.2 渤海湾西岸CH110孔全新世沉积速率与黄河和海河的供给关系

CH110孔全新世以来的沉积速率可分为3个阶段。第1阶段:4.89~2.29 ka cal BP,沉积速率0.02 cm/a,为低沉积速率时期;第2阶段:2.29~0.52 ka cal BP,沉积速率0.55~0.62 cm/a,高沉积速率时期;第3阶段:0.52~0.24 ka cal BP,沉积速率0.91 cm/a,高沉积速率时期(图3)。

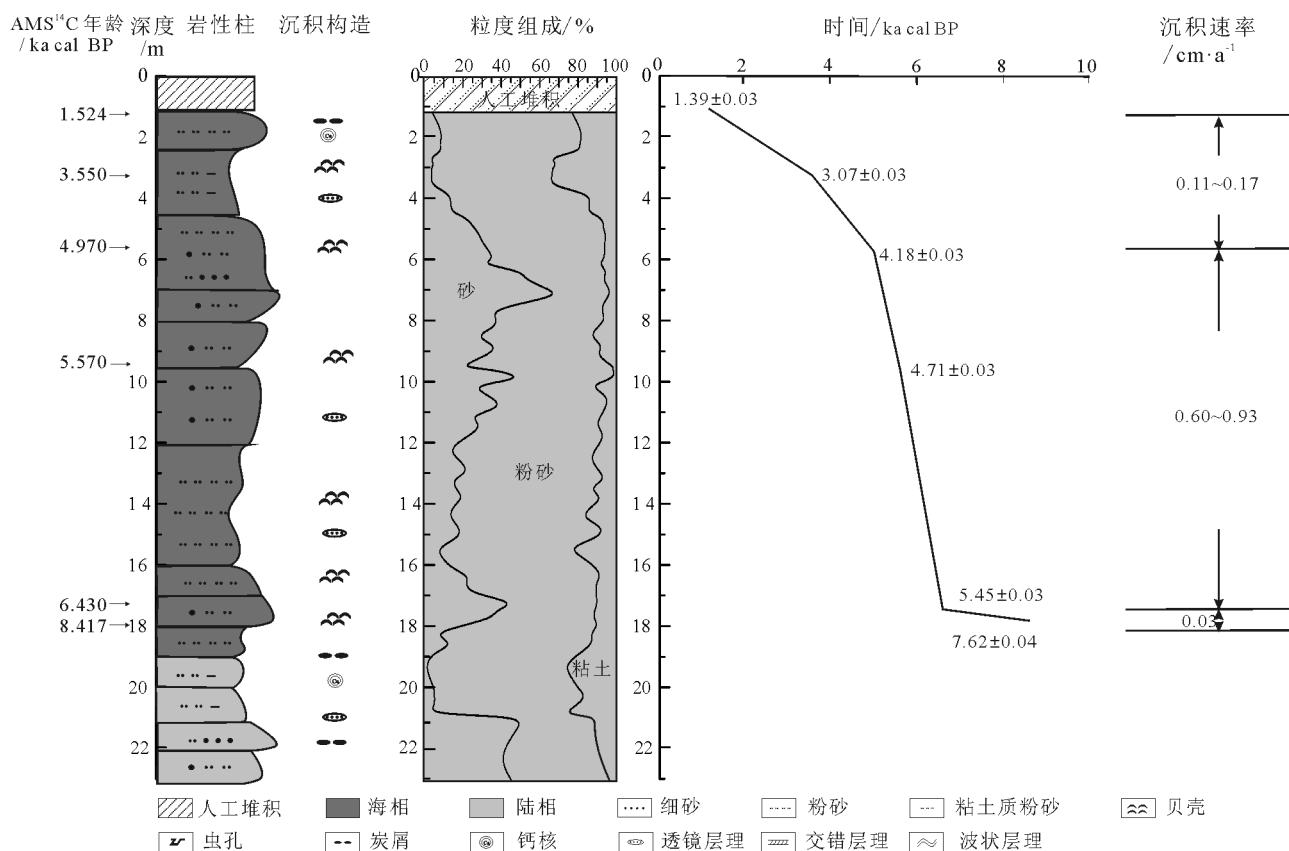


图2 渤海湾西岸NP3孔粒度组成和沉积速率

Fig. 2 Size composition and sedimentation rate of drill hole

NP3 along the western coast of Bohai Bay

为与前人研究中的古滦河三角洲发育时间相对比<sup>[12~13]</sup>,沉积速率

曲线拐点处以未经  $\delta^{13}\text{C}$  校正的直接测定年龄标注

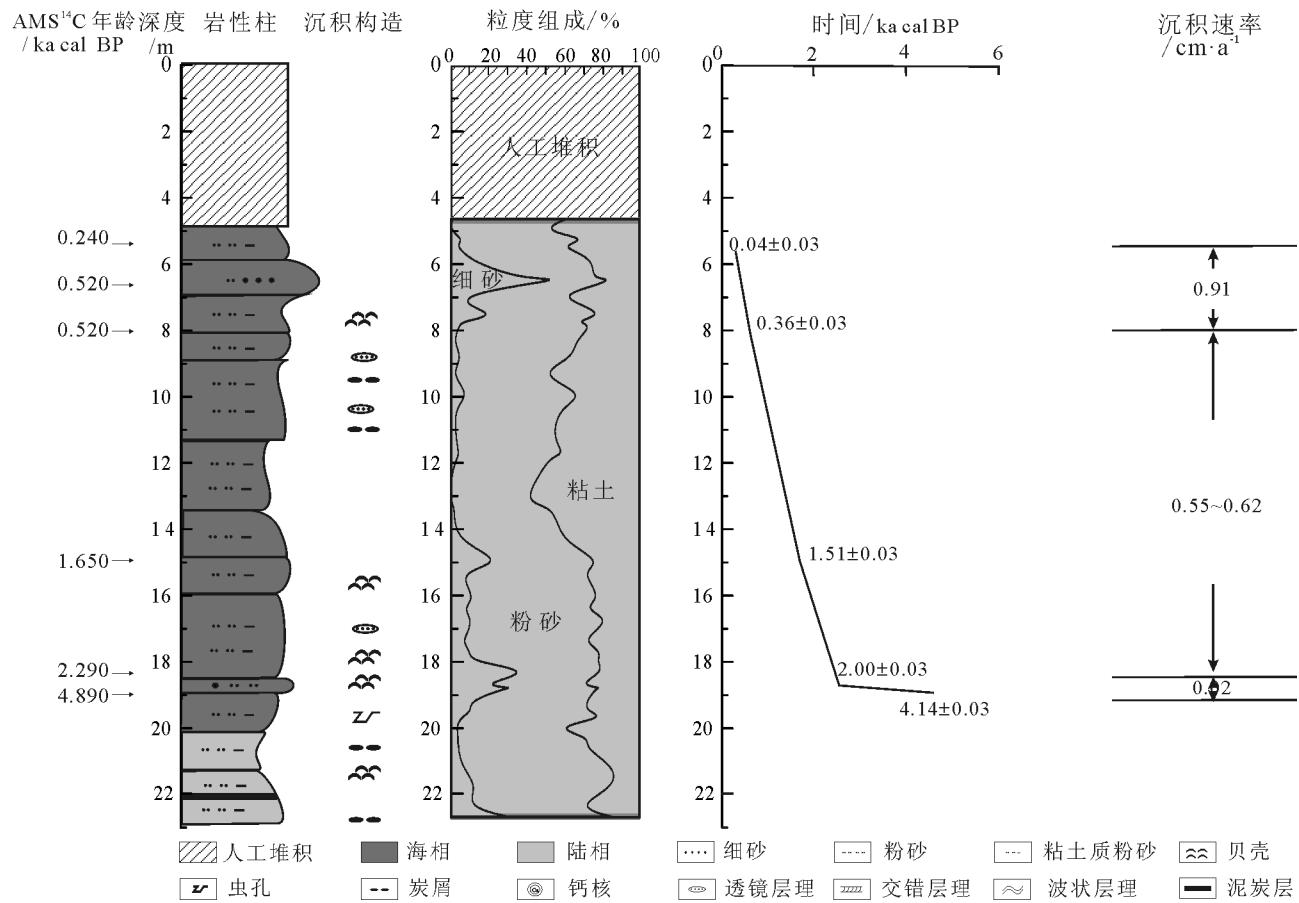


图3 渤海湾西岸CH110孔粒度组成和沉积速率

Fig. 3 Size composition and sedimentation rate of drill hole

CH110 along the western coast of Bohai Bay

为与前人研究的古黄河<sup>[7~9]</sup>、古海河三角洲发育时间<sup>[10,11]</sup>相对比,  
沉积速率曲线拐点处以未经  $\delta^{14}\text{C}$  校正的直接测定年龄标注

全新世初期海侵到达渤海湾西岸之前,沿海低地湖沼环境发育,区域内全新统底部覆盖泥炭层或富含有机质的炭质泥层<sup>[25]</sup>。作为全新世的底界标志,底泥炭层发育时间主要集中在11~9.5ka cal BP之间<sup>[26~28]</sup>。CH110孔埋深22.05m处见底泥炭层(无确切定年结果),根据区域内底泥炭层发育时间,推测从埋深约22m到埋深19m处,厚度3m地层发育用时4.6~6.1ka,平均沉积速率0.05~0.06cm/a。有确切定年的4.89~2.29ka cal BP(4.14~2.0ka BP)期间的贝壳砂层平均沉积速率只有0.02cm/a,沉积物以贝壳碎屑为主,夹杂粉细砂混乱堆积。由于该贝壳砂层发育时间可能超过4.89~2.29ka cal BP范围,推测该时段的实际平均沉积速率将更低,反映了一期低供给和高动能的沉积环境。距今约3.0ka cal BP,中

国东部相对海面已稳定于现代海面高度<sup>[29~30]</sup>。而距今2.29ka cal BP,CH110孔所在位置的地表高程只有-15.4m(孔口高程+3.2m减去地层埋深18.6m),说明至中全新世结束时该地区尚有足够的可容空间,但沉积速率仍较低,揭示该时段缺少物源供给,河流作用较弱。2.29~0.52ka cal BP(2.0~0.36ka BP)期间,平均沉积速率上升至0.55~0.62cm/a,沉积物粒度偏细,以粘土质粉砂为主,粘土含量超过40%。0.52~0.24ka cal BP(0.36~0.04ka BP)期间,平均沉积速率进一步上升至0.91cm/a,沉积物粒度变粗,以粉砂为主,细砂含量高。

3.0ka BP~602BC 和 AD1048~1128期间,距离CH110孔较近的黄河三角洲超级叶瓣5和超级叶瓣8先后发育<sup>[8]</sup>,同时,西汉以前,海河长期被黄河

徙夺入海,说明距今2~1ka cal BP古黄河携海河南支水系在钻孔CH110所在区域形成长期稳定的供给作用。公元1128年,黄河南徙,海河水系初步形成<sup>[10~11]</sup>,即距今约800a以来,海河供给起主导作用。

综上推断,晚全新世CH110沉积速率的增大,与古黄河三角洲的发育和海河水系的形成时空上存在响应关系(图1、图3),系黄河和海河供给先后作用的结果。黄河影响时期沉积物粒度偏细,海河影响时期沉积物粒度偏粗可能与物源远近有关。

#### 4.3 渤海湾西岸BT113孔全新世沉积速率与黄河供给的关系

BT113孔全新世以来的沉积速率变化较大,可分为3个阶段。第1阶段:8.45~3.68ka cal BP,为低沉积速率时期,速率0.07~0.15cm/a;第2阶段:3.68~2.67ka cal BP,高沉积速率时期,速率0.27~1.40cm/a;第3阶段:2.67~1.3ka cal BP,低沉积速率时期,速率0.06~0.09cm/a(图4)。

BT113孔全新世底界埋深16.9m<sup>[20]</sup>,有确切定年的8.45~3.68ka cal BP(7.52~3.19ka BP)期间平均沉积速率0.07~0.15cm/a,沉积物组成偏粗,以细砂和砂质粉砂为主。陈永胜等<sup>[20]</sup>根据BT113孔微体生物组合推测的8~6ka cal BP期间的该地区相对海面上升速率0.4~0.6cm/a,并在6ka cal BP相对海面上升到-6.8~-1.8m。而距今3.68ka cal BP,BT113孔所在位置的地表高程只有-9.8m(孔口高程1.4m减去地层埋深11.2m),说明在此期间尽管有足够的可容空间,但仅维持了低水平的沉积供给,无明显河流输入作用,表层沉积物经长期筛选,导致粗化。3.68~2.67ka cal BP(3.19~2.3ka BP)期间,BT113孔沉积速率波动上升,平均沉积速率0.27~1.4cm/a。沉积物以粉砂为主,向上逐渐变粗为粉砂质砂或砂质粉砂,具三角洲反粒序特征,揭示三角洲的进积过程。3.4~3.0ka BP和3.0ka BP~602BC期间,距离BT113孔较近的古黄河三角洲超级叶瓣4和超级叶瓣5先后发育<sup>[8]</sup>,说明3.68~2.67ka

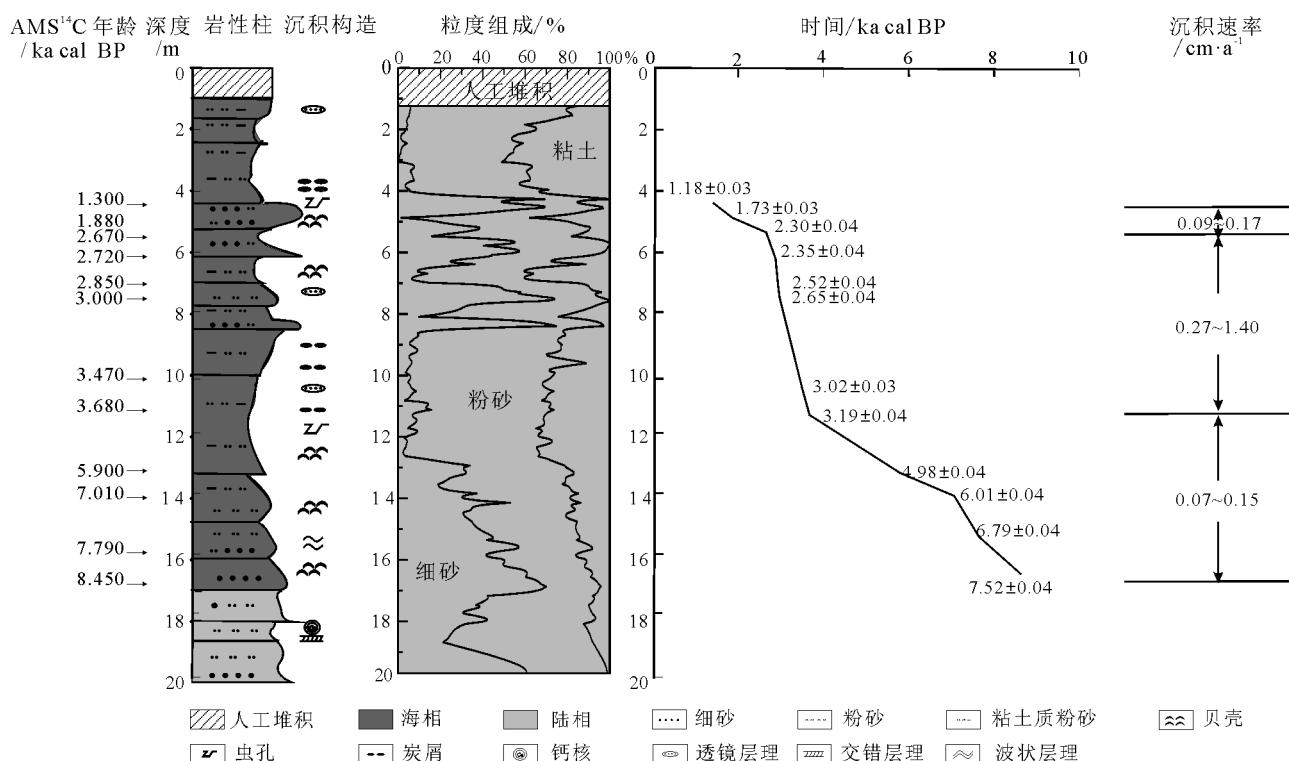


图4 渤海湾西岸BT113孔粒度组成和沉积速率

Fig. 4 Size composition and sedimentation rate of drill hole

BT113 along the western coast of Bohai Bay

为与前人研究中的古黄河三角洲发育时间<sup>[7~9]</sup>相对比,沉积速率

曲线拐点处以未经 $\delta^{13}\text{C}$ 校正的直接测定年龄标注

cal BP期间黄河供给对钻孔BT113所在区域起主导作用。2.67~1.88ka cal BP(2.3~1.73ka BP)期间, BT113孔沉积速率下降至0.06~0.09cm/a, 沉积物以粘土质粉砂为主。此期间黄河改道, 岸线停止向海推进, 保持相对稳定, 沿大潮高潮线位置发育贝壳堤<sup>[10,31]</sup>。

综上推断, 中全新世晚期BT113孔沉积速率的增加, 与古黄河三角洲的发育时空上存在响应关系(图1、图4), 系与黄河输入增强有关。物探资料显示, BT113孔以东邻近的浅海区同一时期也有古黄河三角洲发育记录, 进一步证明黄河此时对研究区的影响<sup>[32]</sup>。

## 5 结 论

通过对比渤海湾西岸由北向南分布的3个钻孔全新世的沉积速率, 揭示了沿岸多河流供给的时空变化特征。

(1)早全新世—中全新世初期, 渤海湾西岸整体沉积速率偏低, 平均沉积速率多维持在0.03~0.07cm/a之间, 沉积物粒度偏粗, 以粉细砂为主, 未发育大规模的三角洲。

(2)中全新世6.43~4.97ka cal BP期间, NP3孔平均沉积速率为0.60~0.93cm/a, 明显高于同期沿岸南部的CH110孔和BT113孔。沉积物组成以粉砂为主, 粘土含量低, 向上逐渐变粗, 具三角洲反粒序特征。这一时期沉积速率的增加与潮白河、永定河和古滦河三角洲的发育在时空上存在响应关系, 揭示了该时段潮白河、永定河及滦河供给对渤海湾西岸北部的影响。

(3)中全新世晚期3.68~2.67ka cal BP, BT113孔的平均沉积速率为0.27~1.4cm/a, 高于同期沿岸中部CH110孔和北部NP3孔。沉积物以粉砂为主, 向上逐渐变粗, 具三角洲反粒序特征。这一时期沉积速率的增加与邻近的古黄河三角洲的发育时空上存在响应关系, 揭示了该时段黄河供给对渤海湾西岸南部的影响。

(4)晚全新世2.29~0.24ka cal BP期间, 沿岸中部CH110孔沉积速率为0.55~0.91cm/a, 高于同期BT113孔和NP3孔。这一时期沉积速率的增加与邻近的古黄河三角洲的发育和海河水系的形成时空上存在响应关系, 揭示该时段黄河和海河供给先后对渤海湾西岸中部存在影响。黄河影响

时期沉积物粒度偏细, 粘土含量较高, 海河影响时期沉积物偏粗, 以粉砂、细砂为主, 可能与物源远近有关。

文中沉积速率变化与沿岸多河流供给的响应关系, 可作为深入认识渤海湾西岸全新世河流改道、岸线变迁、地貌演化及沿岸水动力变化的重要依据。

**致谢:**中国地质调查局天津地质调查中心阎玉忠研究员为本文测年贝壳提供属种鉴定, 小组其他成员参与了该项研究, 匿名审稿人提出了宝贵的修改意见, 在此一并表示感谢。

## 参 考 文 献

- [1] Tanabe S, Saito Y, Vu L Q, et al. Holocene evolution of the Song Hong (Red River) delta system, northern Vietnam[J]. *Sedimentary Geology*, 2006, 187: 29~61.
- [2] Sato T, Masuda F. Temporal changes of a delta: Example from the Holocene, Yahagi delta, central Japan[J]. *Estuary, Coastal and Shelf Science*, 2010, 86: 415~42.
- [3] Bringue M, Rochon A. Late Holocene paleoceanography and climate variability over the Mackenzie Slope (Beaufort Sea, Canadian Arctic)[J]. *Marine Geology*, 2012, 291/294: 83~96.
- [4] Unerricht D, Szczucinski W, Stattegger K, et al. Modern sedimentation and morphology of the subaqueous Mekong Delta, Southern Vietnam[J]. *Global and Planetary Change*, 2013, 110: 223~235.
- [5] Wei T Y, Chen Z Y, Duan L Y, et al. Sedimentation rates in relation to sedimentary processes of the Yangze Estuary, China[J]. *Estuary, Coastal and Shelf Science*, 2007, 71: 37~46.
- [6] Wang F, Wang H, Zong Y, et al. Sedimentary dynamics along the west coast of Bohai Bay, China, during the Twentieth Century[J]. *Journal of Coastal Research*, 2014, 30(2): 379~388.
- [7] Xue Chun-ting. Historical changes in the Yellow River Delta, China[J]. *Marine Geology*, 1993, 113:321~329.
- [8] 薛春汀, 周永青, 朱雄华. 晚更新世末至公元前7世纪的黄河流向和黄河三角洲[J]. *海洋学报*, 2004, 26 (1): 48~61.
- [9] 薛春汀, 李绍全, 周永青. 西汉末—北宋黄河三角洲(公元11~1099年)的沉积记录[J]. *沉积学报*, 2008, 26 (5): 804~812.
- [10] 黄盛璋. 历史时期的水系变迁, 海河[C]//中国科学院《中国自然地理》编辑委员会. 中国自然地理, 历史自然地理. 北京: 科学出版社, 1982: 152~182.
- [11] 海河志编纂委员会. 海河志(第一卷)[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997: 91~138.
- [12] 高善明. 全新世滦河三角洲相和沉积模式[J]. *地理学报*, 1981, 36 (3): 303~314.
- [13] 大港油田地质研究所, 海洋石油勘探局研究院, 同济大学海洋地质研究所. 滦河冲积扇—三角洲沉积体系[M]. 北京: 地质出版社, 1985.
- [14] Hughen K A, Baillie M G L, Bard E, et al. Marine04 marine radio-

- carbon age calibration, 26~0ka BP[J]. Radiocarbon, 2004, 46: 1059–1086.
- [15]Talma A S, Vogel J C. A simplified approach to calibrating <sup>14</sup>C dates [J]. Radiocarbon, 1993, 35: 317–322.
- [16]Southon J, Kashgarian M, Fontugne M, et al. Marine reservoir corrections for the Indian Ocean and Southeast Asia[J]. Radiocarbon, 2002, 44:167–180.
- [17]Shepard F. Nomenclature based on sand–silt–clay ratios[J]. Journal of sedimentary petrology, 1954, 24: 151–158.
- [18]商志文, 田立柱, 王宏, 等. 渤海湾西北部 CH119 孔全新统硅藻组合、年代学与古环境[J]. 地质通报, 2010, 29(5): 675–681.
- [19]商志文, 田立柱, 李建芬, 等. 渤海湾西岸 CH114 孔全新世沉积环境演化与海陆作用[J]. 海洋通报, 2013, 32(5): 527–534.
- [20]陈永胜, 王宏, 李建芬, 等. 渤海湾西岸 BT113 孔 35ka 以来的沉积环境演化与海陆作用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(增 1): 344–354.
- [21]Liu J, Saito Y, Wang H, et al. Sedimentary evolution of the Holocene subaqueous clinoform off the Shandong Peninsula in the Yellow Sea[J]. Marine Geology, 2007, 236: 165–187.
- [22]陈永胜. 渤海湾西岸中更新世晚期以来的海相地层与沉积环境演化[D]. 长春: 吉林大学博士学位论文, 2012.
- [23]张宗祜, 邵时雄, 陈云, 等. 中国北方晚更新世以来地质环境演化与未来生存环境变化趋势预测[M]. 北京: 地质出版社, 1999.
- [24]赵保仁, 庄国文, 曹德明, 等. 渤海的环流、潮余流及其对沉积物的分布和影响[J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(5): 466–473.
- [25]王宏. 渤海湾泥质海岸带近现代地质环境变化研究(II): 成果与讨论[J]. 第四纪地质, 2003, 23(4): 393–403.
- [26]赵华, 卢演伟, 张金起, 等. 天津大直沽晚第四纪沉积物红外释光测年及环境变迁年代学[J]. 地质科学, 2002, 37(2): 174–183.
- [27]李建芬, 王宏, 李凤林, 等. 渤海湾牡蛎礁平原中部兴坨剖面全新世地质环境变迁[J]. 地质通报, 2004, 23(2): 169–176.
- [28]胥勤勉, 袁桂邦, 张金起, 等. 渤海湾沿岸晚第四纪地层划分及地质意义[J]. 地质学报, 2011, 85(8): 1352–1367.
- [29]沈明洁, 谢志仁, 朱诚. 中国东部全新世以来海平面波动特征探讨[J]. 地球科学进展, 2002, 17(6): 886–894.
- [30]Zong Y Q. Mid-Holocene sea-level highstand along the Southeast Coast of China[J]. Quaternary International, 2004, 117: 55–67.
- [31]薛春汀. 7000 年来渤海西岸、南岸海岸线变迁[J]. 地理科学, 2009, 29(2): 217–222.
- [32]田立柱, 王东, 裴艳东, 等. 天津滨海新区中全新世以来地形地貌演化[J]. 地质调查与研究, 2011, 34(1): 53–62.