

# 黄河三角洲利津超级叶瓣时空范围的再认识

何 磊<sup>1,2,3</sup>, 叶思源<sup>1,2,3</sup>, 袁红明<sup>1,2,3</sup>, 薛春汀<sup>3</sup>

(1. 中国地质调查局滨海湿地生物地质重点实验室, 青岛 266071; 2. 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 青岛 266061; 3. 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071)

**摘要:** 黄河三角洲是世界著名的河流三角洲之一。自有学者首次系统地提出黄河三角洲全新世10期超级叶瓣的时空分布范围后, 这一观点近30年来未见明显的改进。借助渤海湾南岸研究区获得的4个20~30 m钻孔地层资料和相应的AMS <sup>14</sup>C测年数据, 以及前人部分钻孔的研究成果, 本文对黄河三角洲利津超级叶瓣的沉积演化框架和时空分布特征进行了重新厘定: 研究区全新世沉积环境由早期的河道和泛滥平原沉积, 逐渐向海侵过程中盐沼、潮坪和浅海相演化。海平面上升速率减缓之后三角洲开始发育并逐步成陆, 直至最后被陆相沉积所覆盖。黄河下游古河道在9000-8000 cal a BP左右可能在黄骅南部入海; 大约8000 cal a BP之后, 黄河主河道南迁到滨州—惠民一带, 并在7000-5500 cal a BP之间发育利津超级叶瓣; 利津超级叶瓣的北界可能在马山子和阳信一界, 而南界在郭井子和弥河之间; 约5500 cal a BP之后, 黄河下游古河道可能重新过黄骅入海, 于5500-3500 cal a BP左右形成黄骅超级叶瓣; 约3500 cal a BP之后, 黄河古河道北迁至天津, 直至~700 BC左右主流河道入海口再次南迁至河北歧口附近。

**关键词:** 黄河三角洲; 超级叶瓣; 河道变迁; 贝壳堤; 沉积演化

DOI: 10.11821/dlxb201901011

## 1 引言

渤海湾沿岸为世界上河道变迁和全新世三角洲活动期与废弃期交替最为复杂的地区, 弄清楚黄河三角洲早期的叶瓣时空展布对研究海陆相互作用有重要的科研意义。全新世以来, 黄河以其巨量的泥沙和“善淤、善决、善徙”的特性在渤海湾沿岸形成了多期次的三角洲沉积<sup>[1-2]</sup>, 其发育情况类似于美国的密西西比河三角洲<sup>[3-4]</sup>。薛春汀等<sup>[1]</sup>1989年首次提出并在之后梳理完善了黄河三角洲共10期次超级叶瓣大致的分布范围和发育时间<sup>[2, 5]</sup>: 第1期(利津)超级叶瓣发育时间为7000-5000 a BP; 第2期(黄骅)超级叶瓣为5000-4500 a BP; 第3期(巨葛庄)超级叶瓣为4500-3400 a BP; 第4期(沙井子)超级叶瓣为3400-3000 a BP; 第5期(泥沽)超级叶瓣为3000 a BP至公元前4世纪中叶; 第6期(歧口)超级叶瓣为公元前7世纪中叶至公元11年; 第7期(垦利)超级叶瓣为11-1099年; 第8期(塘沽)超级叶瓣为1048-1128年; 第9期(苏北)超级叶瓣为1128-1855年; 第10期(现代黄河三角洲)超级叶瓣为1855年至今。这一观点首次较系统地厘清了渤海湾沿岸复杂混乱的全新世地层和沉积现象(特别是数条贝壳堤)的关系, 因此得到

收稿日期: 2017-09-30; 修订日期: 2018-12-02

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(DD20189503, DD20160144); 科技部国际合作重点项目(2016yfe0109600); 国家自然科学基金项目(41706057) [Foundation: China Geological Survey Project, No.DD20189503, No.DD20160144; Key Program for International S&T Cooperation Projects of China, No.2016yfe0109600; National Natural Science Foundation of China, No.41706057]

作者简介: 何磊(1987-), 男, 湖北仙桃人, 博士, 助理研究员, 主要从事海洋地质与第四纪地质的研究。

E-mail: hel\_qimg@sina.com

了国内外学者们的广泛认同<sup>[6-10]</sup>。

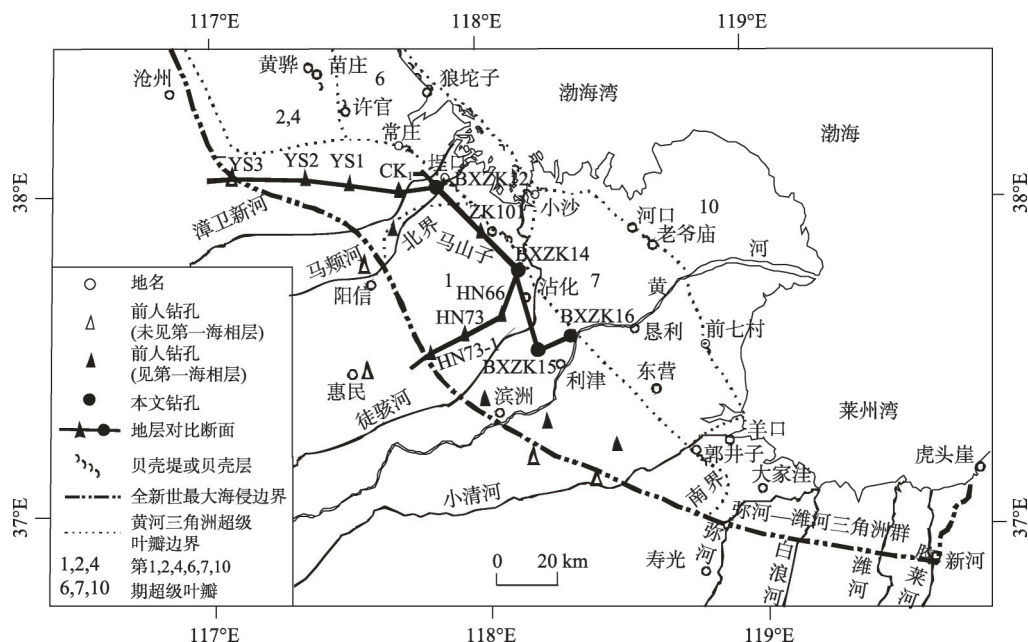
然而,由于历史原因,薛春汀等是在广泛利用历史资料以及已有的贝壳堤测年数据的基础上完成上述工作,真正使用的钻孔资料和有效的测年数据并不太多(少量钻孔见<sup>[2, 11-12]</sup>)。不但一些“确切”的历史资料需要仔细考证(如公元前602年第一次大改道时间问题<sup>[13]</sup>),贝壳堤因存在如贝壳堤的定义<sup>[7]</sup>及贝壳死亡和建堤之间时间滞后等问题<sup>[14-15]</sup>,在数据和材料的使用也得谨慎。因此,除歧口、垦利、苏北及现代黄河三角洲的超级叶瓣时空展布较可信外,其余的三角洲叶瓣分布范围或发育时间均存在一定的不确定性。

大量钻孔资料和可信的测年结果是解决上述问题最可行的方法。事实上,渤海湾沿岸是中国第四纪海陆交互沉积作用研究程度相对较高的地方之一。除了少数前人钻孔是用于晚更新世以来三次海侵的研究外<sup>[8-9, 16-17]</sup>,大多数钻孔为研究全新世地层的浅孔(约20~30 m)<sup>[6, 10, 18-24]</sup>。虽然如此,许多钻孔缺乏可靠的测年数据或者令人信服的解释<sup>[11, 18-19, 24]</sup>。同时,由于陆域技术手段(如利用探地雷达技术(GPR)<sup>[25-26]</sup>)目前仍然难以比拟海上的浅地层剖面技术<sup>[10, 27]</sup>,因此陆上区域地层对比显然比海域要困难许多。

因此,本文借助中国地质调查局综合地质调查项目于2016年在渤海湾南岸利津和沾化附近获得的四口20~30 m钻孔,以及前人的钻孔资料和数据,综合钻孔沉积相、软体动物化石组合和AMS <sup>14</sup>C测年结果,重新梳理了黄河三角洲利津超级叶瓣的沉积演化特征及时空分布范围。

## 2 区域背景

研究区位于渤海湾南岸,地势平坦。区内自南向北主要分布小清河、黄河、徒骇河、马颊河和漳卫新河(图1)。研究区域整体位于华北盆地东南部,是新生代乃至第四



注:全新世最大海侵边界和各期次超级叶瓣的边界以及贝壳堤外露位置引自文献<sup>[2]</sup>,钻孔CK1、YS1、YS2、YS3引自文献<sup>[24]</sup>,钻孔HN73和HN66引自文献<sup>[18, 25]</sup>,第1期叶瓣北界线为本文观点。

图1 研究区概况及钻孔位置分布图

Fig. 1 Background and location of boreholes in the study area

纪的沉降区，区域次一级大地构造包含济阳坳陷和埕宁隆起<sup>[25]</sup>。早第三纪堆积了厚约1300~4800 m的河湖及滨海相砂岩、泥岩、油页岩及生物碎屑岩，而晚第三纪沉积了750~1700 m的陆相河流砂岩和粉砂岩。第四纪区域整体缓慢沉降，表现出继承性的差异沉降，沉积厚度300~450 m不等<sup>[28]</sup>。其中全新世地层为冲海积层，厚度10~32 m左右，主要是全新世海侵后形成的海相层和三角洲沉积层，底部为海侵前陆相河流和湖泊沉积<sup>[28]</sup>。

3 材料与方法

研究区的4个钻孔于2016年6月钻取，钻孔点位坐标及高程测量由中海达H32 RNSS RTK获取。钻孔采用单管回旋钻探取芯，取芯管直径90 mm。钻孔具体位置、孔深及取芯率如表1所示。钻孔沉积物分样过程对沉积物描述并照相及备份，同时对钻孔软体动物贝壳化石进行采集，洗净后进行鉴定及照相。选取其中保存较完整且磨损程度较低的贝壳和少部分泥炭或植物根茎碎屑样品进行AMS <sup>14</sup>C测年。该年龄测试在美国迈阿密Beta实验室完成。渤海湾地区校正值为 $\Delta R = -178 \pm 50 \text{ a}^{[29]}$ ，校正版本CALIB 7.0.2<sup>[30]</sup>，具体结果如表2所示。

表1 渤海湾南岸各钻孔位置、高程、孔深及取芯率

Tab. 1 Location, elevation, depth and coring rate of each borehole in the coastal plain of South Bohai Bay

钻孔名称	钻孔位置		高程(m)	孔深(m)	取芯率(%)
	纬度	经度			
BXZK12	38°03'57.71"E	117°42'00.66"N	6.33	20.8	91.3
BXZK14	37°52'39.71"E	118°02'02.40"N	2.68	22.25	91.9
BXZK15	37°30'39.99"E	118°09'57.84"N	6.91	23.3	95.2
BXZK16	37°35'50.49"E	118°19'12.96"N	10.27	21.8	92.8

4 结果分析

4.1 渤海湾南岸钻孔沉积相分析

- 4.1.1 河道相** 河道相在渤海湾南岸钻孔中广泛分布，以灰黄色—浅黄色粗粉砂—极细砂—细砂为主（图2a），局部平行层理发育，偶见钙质结核及少量的贝壳碎屑，碎屑含毛蚶（*Arca subcrenata*）等，破碎和磨损程度极高，疑为后期搬运再沉积。
- 4.1.2 盐沼相** 该相在渤海湾南岸钻孔中较发育，以灰黄色粉砂质粘土为主，夹灰色粉砂薄层，泥炭层及虫孔较发育（图2b），常见植物根茎碎屑（疑似芦苇），偶见光滑蓝蛤（*Potamocorbula laevis*）和蛤蜊属（*Macra* sp.）碎屑。芦苇是盐沼中常见的植被，且虫孔通常在盐沼中比淡水湖沼中更发育<sup>[31-32]</sup>。偶见的海相或海陆交互环境中发育的软体动物化石也暗示该相局部受到海水影响。
- 4.1.3 潮坪相** 该相以灰色—深灰色粉砂夹灰色粘土质粉砂和极细砂为主，较发育贝壳碎屑（图2c），含光滑蓝蛤（*Potamocorbula laevis*），纵肋织纹螺（*Nassarius variciferus*），扁镜亚哈属（*Phacosoma* sp.），小牡蛎碎屑等，偶见燕麦筒螺（*Tornatina avenaria*）。以上贝壳碎屑为黄渤海沿岸潮间带附近常见的属种<sup>[33]</sup>。现代黄河三角洲潮坪极其发育，但是本区钻孔中潮坪厚度较薄（< 1 m），且典型的潮坪层理（如透镜状层理）不太发育，可能与全新世初海平面较快的上升速率有关<sup>[34-35]</sup>。
- 4.1.4 浅海陆架相** 该相以灰色粉砂质粘土和含粘土粗粉砂为主，发育虫孔，常富含大量

表2 研究区钻孔测年结果表  
Tab. 2 Dating results of boreholes in the study area

钻孔号	样品号	深度(m)	实验室编号	实验材料	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	惯用年龄	矫正年龄(cal a BP)	
						(a BP)	中值	范围值(1 $\sigma$ )
BXZK12	BXZK12S1	3.55	462380	<i>Potamocorbula</i> sp.	-9.9	3680±30	4025	3974-4083
	BXZK12S2	9.39	462381	<i>Anomia</i> sp.	-1.6	4330±30	4700	4632-4799
	BXZK12S3	11	462382	泥炭	-25.4	7680±30	8465	8419-8513
BXZK14	BXZK14S1	3.23	470415	<i>Littorina</i> sp.	-6.6	2940±30	2900	2810-2970
	BXZK14S5	9.75	472299	<i>Potamocorbula laevis</i>	-3.1	5530±30	6115	6031-6192
	BXZK14S2	10.78	470416	<i>Potamocorbula laevis</i>	-1.8	5530±30	6115	6031-6192
	BXZK14S3	12.28	470417	<i>Potamocorbula laevis</i>	-1.2	5440±30	6020	5934-6091
BXZK15	BXZK14S4	13.4	470418	泥炭	-21.5	8120±30	9055	9009-9086
	BXZK15S1	8.55	470419	腹足碎屑	-4.8	5210±30	5760	5692-5847
	BXZK15S2	11.77	470420	贝壳碎屑	-2.6	6390±30	7085	7005-7157
	BXZK15S3	16.9	470421	<i>Corbicula fluminea</i>	-8	8110±30	9040	9006-9082
BXZK16	BXZK16S1	9.87	462389	<i>Potamocorbula laevis</i>	-3.2	5400±30	6020	5934-6091
	BXZK16S4	10.4	470422	<i>Umbonium thomasi</i>	-2.2	5310±30	5845	5779-5928
	BXZK16S2	11.3	462390	贝壳碎屑	-2.4	5160±30	5700	5608-5758
	BXZK16S5	16.3	472300	<i>Potamocorbula laevis</i>	-1.5	5220±30	5770	5705-5855
	BXZK16S3	17.3	462391	贝壳碎屑	-1.6	5240±30	5790	5727-5869

的贝壳碎屑(图2d),见毛蚶(*Arca subcrenata*)、四角蛤蜊(*Macra veneriformis*)、中国蛤蜊(*Macra chinensis*)、饼干镜蛤(*Dosinia biscocta*)、光滑蓝蛤(*Potamocorbula laevis*)、焦河蓝蛤*Potamocorbula ustulata*)、朝鲜笋螺(*Terebra koreana*)、红带织纹螺(*Nassarius succinctus*)、纵肋织纹螺(*Nassarius variciferus*)等。其中朝鲜笋螺和红带织纹螺为浅海砂质或泥砂质海底常见底栖种,而其他种属多为潮间带—浅海广泛分布种<sup>[33, 36]</sup>。现代渤海近岸的浅海区多以砂质泥和粘土质粉砂等细粒沉积物为主<sup>[37]</sup>,而研究钻孔上部沉积颗粒相对较粗以及富含贝壳碎屑,可能反映了浅海相沉积物在沉积过程中受到了波浪和潮流的搬运改造作用。

**4.1.5 三角洲相** 该相可以细分为下部的三角洲前缘亚相和上部的下三角洲平原亚相。三角洲前缘亚相沉积岩性下部以粉砂质粘土与灰色粗粉砂—粉砂互层为主(图2e),属远端沙坝沉积,局部发育虫孔,见毛蚶(*Arca subcrenata*)、光滑蓝蛤(*Potamocorbula laevis*)、中国蛤蜊(*Macra chinensis*)、不等蛤属(*Anomia* sp.)、秀丽织纹螺(*Nassarius festiva*)、丽小笔螺(*Mitrella bella*)、葶拟沼螺(*Assiminea violacea*)、小牡蛎碎屑等;上部以灰色—灰黄色—深灰色粗粉砂—极细砂为主,见云母类和碳酸盐矿物(图2f),为河口沙坝沉积,常见光滑蓝蛤(*Potamocorbula laevis*)、托氏瑁螺(*Umbonium thomasi*)、中华拟蟹守螺(*Cerithidea sinensis*)、河蚬(*Corbicula fluminea*)等。以上化石属种多为潮间—潮下带的底栖种,少量属种如托氏瑁螺为泥砂质潮间带优势属种,而光滑蓝蛤、河蚬和中华拟蟹守螺为有淡水注入的潮间带或河口地区常见种<sup>[33, 36]</sup>。

下三角洲平原亚相以浅灰黄色—灰色粉砂与粉砂质粘土互层为主,透镜体发育,常见生物扰动和锈状斑块(图2g),发育光滑蓝蛤(*Potamocorbula laevis*)、托氏瑁螺(*Umbonium thomasi*)、滨螺属(*Littorina* sp.)等贝壳碎屑。下三角洲平原为受潮汐影响的环境,因此发育典型的潮汐透镜状层理,同时也发育有锈色斑块等暴露构造<sup>[17]</sup>。钻孔



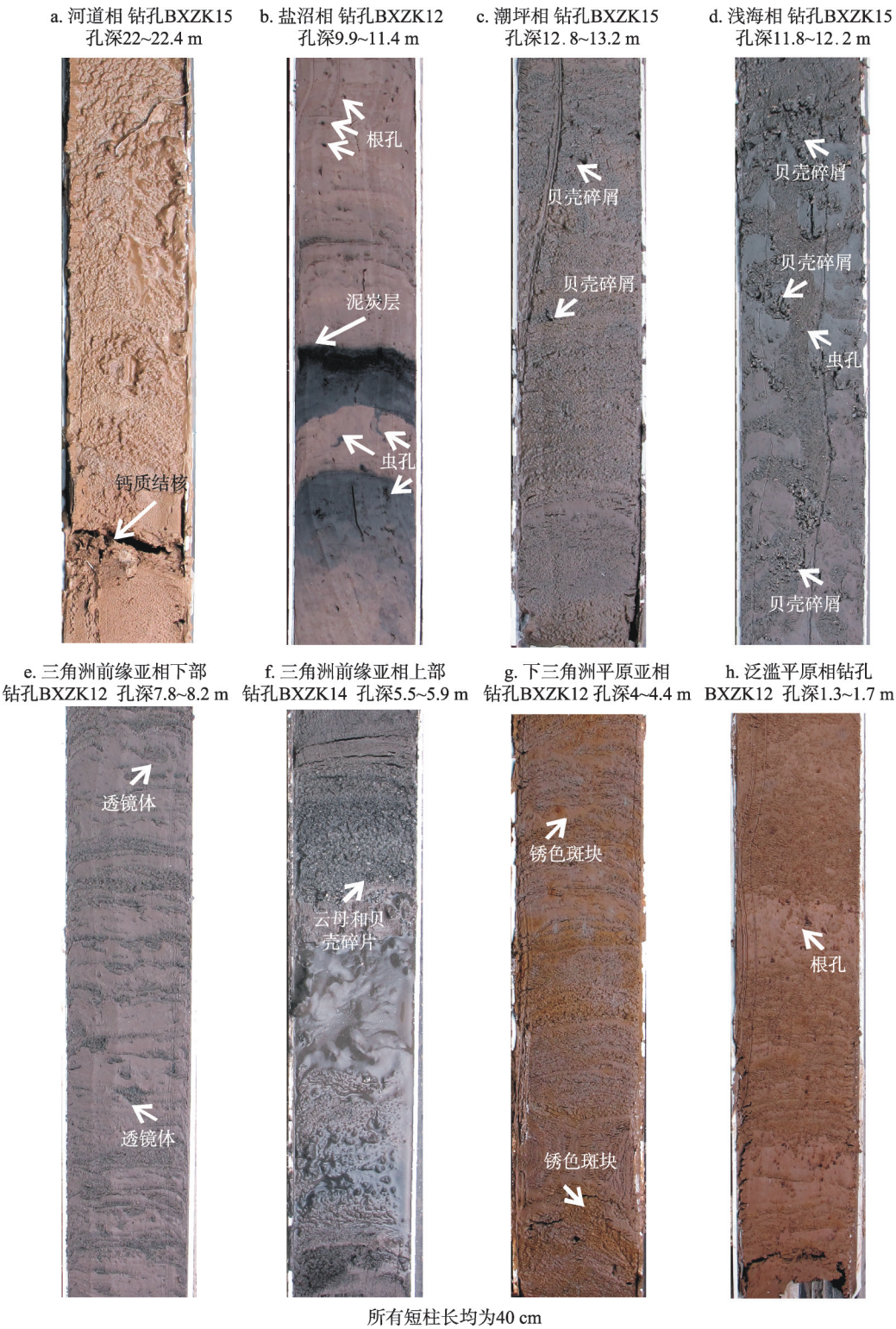


图2 渤海湾南岸钻孔中典型的沉积相及沉积特征

Fig. 2 Typical sedimentary facies and characteristics in the cores of the coastal plain of South Bohai Bay

中三角洲平原亚相沉积整体偏黄,可能与黄河陆源泥沙输入偏黄色有关<sup>[28]</sup>。

研究区所有钻孔中未见典型的前三角洲沉积,相反该区域钻孔三角洲前缘沉积基本直接覆盖在浅海陆架上。因为前三角洲为河流泥沙极细粒悬浮体的远端沉积,而渤海整体水深较浅,平均水深约18 m<sup>[38]</sup>,所以无法比拟密西西比河,其在墨西哥湾形成极厚的前三角洲沉积(如St. Bernard叶瓣前三角洲沉积平均厚度约12 m左右)<sup>[4]</sup>。

**4.1.6 泛滥平原** 泛滥平原沉积以灰黄色—棕黄色灰黄色粉砂与粉砂质粘土为主,见植物根孔碎屑(图2h),局部富含有机质,可见非拟沼螺(*Assiminea latericea*)、椭圆萝卜螺(*Radix swinhoei*)、赤豆螺(*Bithynia fuchsiana*)、白旋螺(*Gyraulus albus*)等螺类。上述腹足化石多为淡水沼泽、湖泊、池塘常见的腹足类生物,少数如非拟沼螺(*Assiminea latericea*)常生活在咸淡水入海河流或高潮泥滩或芦苇地里<sup>[39]</sup>,暗示钻孔区域或部分受海水潮流影响。

4.2 渤海湾南岸全新世以来的沉积环境演变

综合前人的钻孔地层资料,本文对研究区多个钻孔进行地层对比和分析,并分3个地层断面进行沉积环境演变和框架结构分析。

**4.2.1 YS3-BXZK12孔地层断面** 此断面为研究区最北边的5个孔联接而成(图3),地理位置跨度从河北孟村县南至山东无棣县埕口镇附近,其中YS3、YS2、YS1和CK1孔来自Xu等的研究<sup>[24]</sup>。从该地层断面图可分析得出:全新世以前,该区域以河道和泛滥平原沉积为主。全新世海侵之初,最东边钻孔BXZK12逐渐受到海洋影响,表现为由泛滥平原/淡水湖沼相渐变成间歇性受海水影响的盐沼沉积。随着海侵进一步加剧,西侧更多的钻孔接受海相/海陆交互相的沉积,沉积环境变为潮坪—浅海沉积。全新世中晚期,黄河摆动到附近,带来巨量的泥沙形成三角洲叶瓣,部分钻孔(如BXZK12孔)发育有较典型的三角洲沉积。随着河口的迁移和海岸线向海推进,三角洲沉积结束之后泛滥平原和

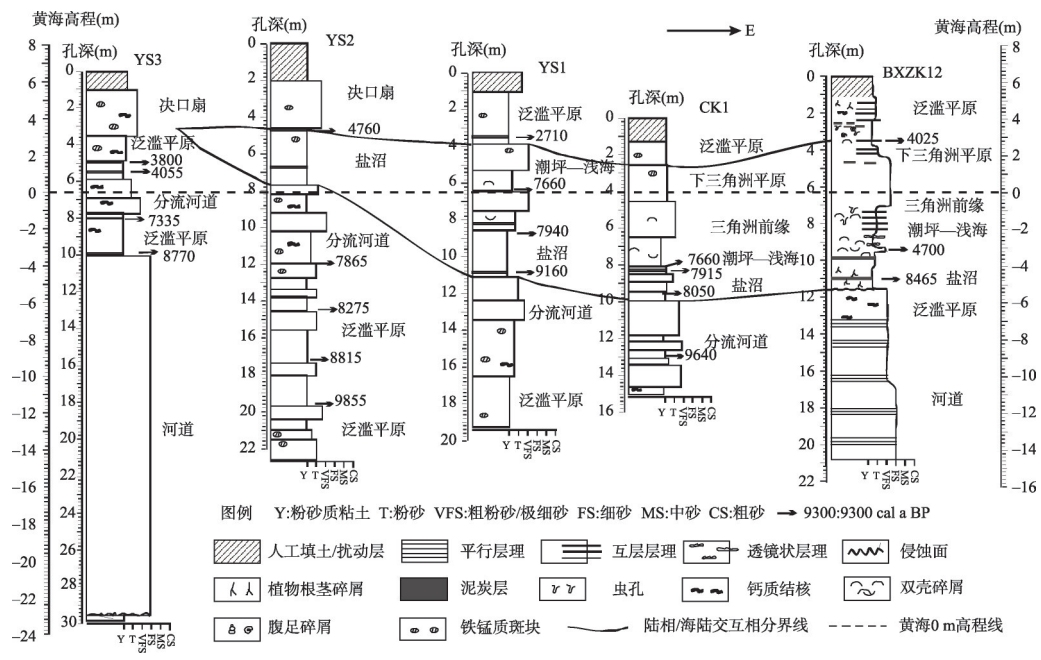


图3 YS3-BXZK12孔地层断面图  
Fig. 3 Stratigraphical profile from cores YS3 to BXZK12

决口扇沉积占据了研究区域北部地层的主导地位。在此断面中,陆相/海陆交互相的界面可能在YS3孔和YS2孔之间尖灭,而海相层(含海陆交互相)沉积厚度在3~8 m左右。

**4.2.2 HN73-1~BXZK14孔地层断面** 此断面为研究区中部的4个孔联接而成(图4),钻孔位置均在沾化县境内,其中钻孔HN73-1、HN73和HN66来自杨怀仁等<sup>[18]</sup>和刘艳霞等<sup>[25]</sup>的研究。本文研究的钻孔BXZK14孔显示,区内全新世沉积环境演化与北部区域钻孔类似,由晚更新世晚期的河道和泛滥平原沉积转变为全新世早中期的盐沼、潮坪和浅海环境,而在黄河带来的巨量泥沙后该区域接受三角洲沉积并逐渐成陆。HN73-1孔附近为刘艳霞等<sup>[25]</sup>通过探地雷达技术推测的全新世海相层的尖灭点,其中黑色淤泥层可能为最大海泛面时期此处受海水影响的标志。值得一提的是,HN73孔海相层(含海陆交互相)沉积厚度(> 23 m)明显较HN66和BXZK14孔厚(平均9 m左右),其特点与何磊等<sup>[40]</sup>在大凌河流域分析的GCZ07孔类似,因此推测该孔可能位于下切的古河道内,全新世发育巨厚的河口湾—三角洲沉积。

**4.2.3 BXZK12~BXZK16孔地层断面** 该断面由北西至南东的5个孔组成(图5),地理位置跨度从无棣县埕口镇至利津县,整体沿前人研究的渤海湾南岸最老一期的贝壳堤布设<sup>[19]</sup>。该5个钻孔的整体沉积演化特征类似,也与上述两地层断面全新世以来的沉积环境

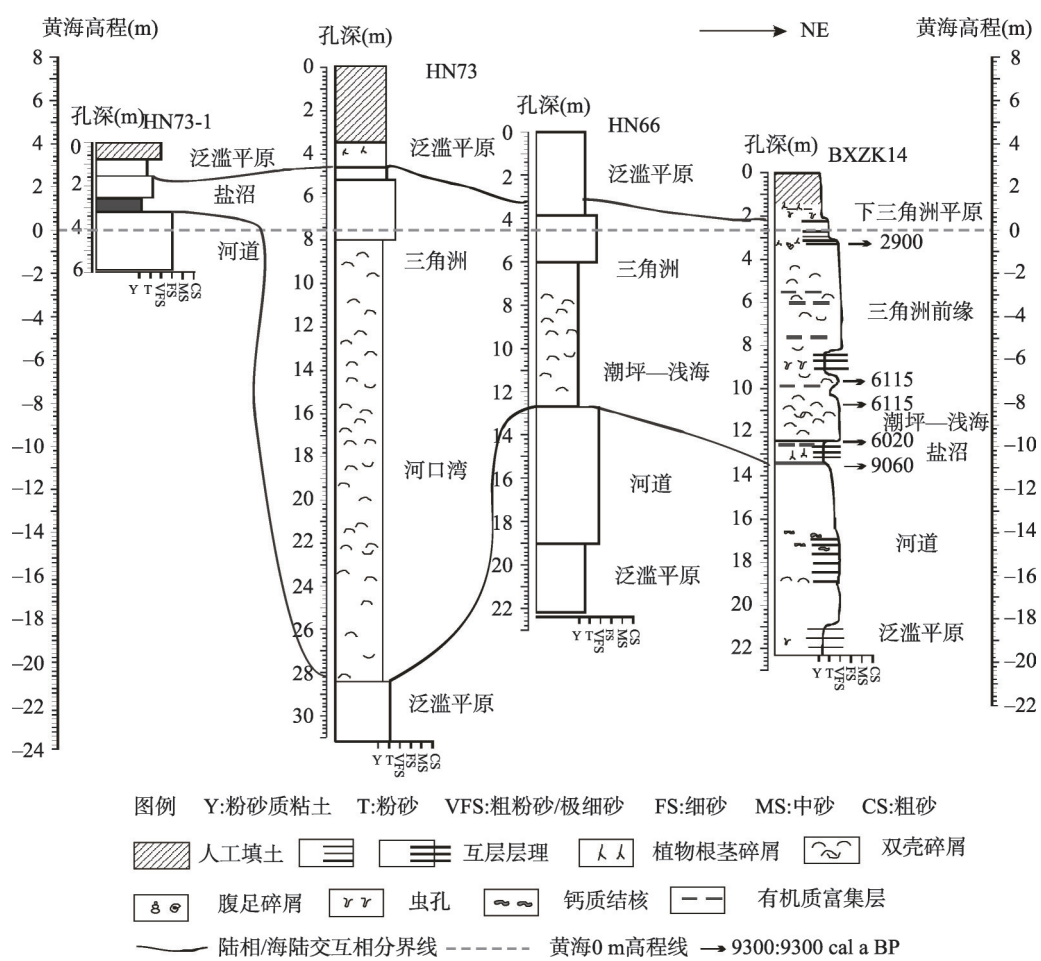


图4 HN73-1~BXZK14孔地层断面图

Fig. 4 Stratigraphical profile from cores HN73-1 to BXZK14







技术，如探地雷达技术（GPR）以及航空地形地貌测绘技术（SRTM）需要进一步验证<sup>[25, 42]</sup>。遗憾的是，目前为止渤海湾地区少见此类系统的研究，近些年来已有研究大多范围偏小且过于简单笼统<sup>[10, 24, 27]</sup>。尽管本研究缺少古河道变迁直接的证据，但本文认为在 7000-5500 cal a BP 之间黄河下游古河道应该渤海湾南岸即山东北部入海，间接证据如下：

**5.1.1 研究区钻孔沉积物均为黄河物源** 前文结果中显示：BXZK12-BXZK16 钻孔均存在较典型的三角洲沉积。钻孔下部河道相和上部的三角洲平原相沉积物整体颜色偏黄，且河道相以粗粉砂—极细砂为主。现代黄河入海泥沙约 90% 为中游的黄土高原黄土侵蚀所致<sup>[28]</sup>，导致河道沉积物普遍偏黄色。薛春汀等<sup>[12]</sup>统计发现黄河三角洲河口附近河床以极细砂（3~4 Φ，占 65.32%）和粉砂（4~8 Φ，占 31.92%）为主。因此，上述 4 个钻孔上部和下部推测应为来自黄河的沉积物。此外，研究钻孔中部三角洲河口沙坝相沉积中含有丰富的云母类和盐酸盐类矿物（图 2），而上述两种矿物也是黄河携带泥沙中的主要特征矿物之一<sup>[43]</sup>。因此研究区域三角洲沉积泥沙可能也主要是由黄河提供。

然而，山东北部水系丰富，有多条入海河流（图 1），三角洲沉积是否为这些一系列入海小河流形成？虽然黄河三角洲在地质历史泥沙含量较现今常引用的（1950-1988 年）每年 9.97 亿 t 少很多<sup>[28]</sup>，据 Wang 等估算可能每年的泥沙总量不足 1 亿 t<sup>[44]</sup>，但此输沙量依然远远超过现今渤海岸南岸这些短源河流的总和。已有的资料统计显示<sup>[45]</sup>：以上小河流（徒骇河、马颊河、小清河等）每年泥沙合计仅 270.1 万 t。这些短源河流供应的泥沙量显然无法形成从马山子到郭井子范围大约 7000 km<sup>2</sup> 的陆地面积。相反，由于渤海近岸水浅，就算古黄河输沙量较现今减少 10 倍，但将近 1500~2000 年的沉积时间足够形成陆地面积如此大的三角洲叶瓣。

**5.1.2 利津超级叶瓣发育时间与渤海湾南岸最早一期贝壳堤的形成** 薛春汀等<sup>[11]</sup>将全新世以来黄河三角洲第一期命名为利津超级叶瓣，其三角洲的沉积年龄在 7000-5000 a BP 之间。本文的钻孔年代—高程图显示（图 6）：研究区域全新世早期（10000~9000 cal a BP），研究区域以河道和泛滥平原沉积为主；7000 cal a BP 之后，研究区域南部钻孔普遍接受三角洲沉积，其整体发育时间估计在 7000-5500 cal a BP；三角洲沉积结束之后为陆相河流和泛滥平原沉积。

渤海湾南岸最老一期贝壳堤年龄数据如表 3 所示<sup>[19]</sup>，经过矫正后年龄多在 5000-6000 cal a BP 左右。上文已提及，贝壳堤中贝壳死亡年龄（测试年龄）与成堤年龄之间有较长的残留时间。Shang 等估计渤海湾西岸老一期的贝壳堤的残留时间约 600 年左右<sup>[15]</sup>。因此，经过简单估算后（表 3），渤海湾南岸最老一期贝壳堤形成年龄整体推测在 5000-5500 cal a BP 左右，其形成时间正好与黄河三角洲利津超级叶瓣发育结束期相吻合（图 6）。

贝壳堤是海岸带相对稳定或遭受弱侵蚀时，由风浪或潮流作用堆积在平均高潮线附近的堆积体，在地质历史时期可以作为古海岸线的标志<sup>[19, 47-48]</sup>。利津超级叶瓣发育时间在 7000~5500 cal a BP 之间，揭示黄河此段时间可能过渤海南岸入海，在此加积成最早一期

表 3 渤海湾南岸最老一期贝壳堤测年结果及矫正年龄  
Tab. 3 Dating results and corrected ages of the oldest chenier in the coastal plain of south Bohai Bay

地理位置	采样位置	测试材料	<sup>14</sup> C 年龄(a BP)	日历矫正年龄(cal a BP)	贝壳堤估算年龄(cal a BP)
无棣马山子	顶层	贝壳	5175±85	5621-5837	5021-5237
无棣马山子	底层	贝壳	5370±88	5833-6094	5233-5494
无棣杨庄子	中层	贝壳	5500±80	5974-6189	5374-5589
寿光郭井子	上层	贝壳	5680±110	6152-6416	5552-5816
寿光郭井子	下层	贝壳	5005±90	5431-5655	4831-5055

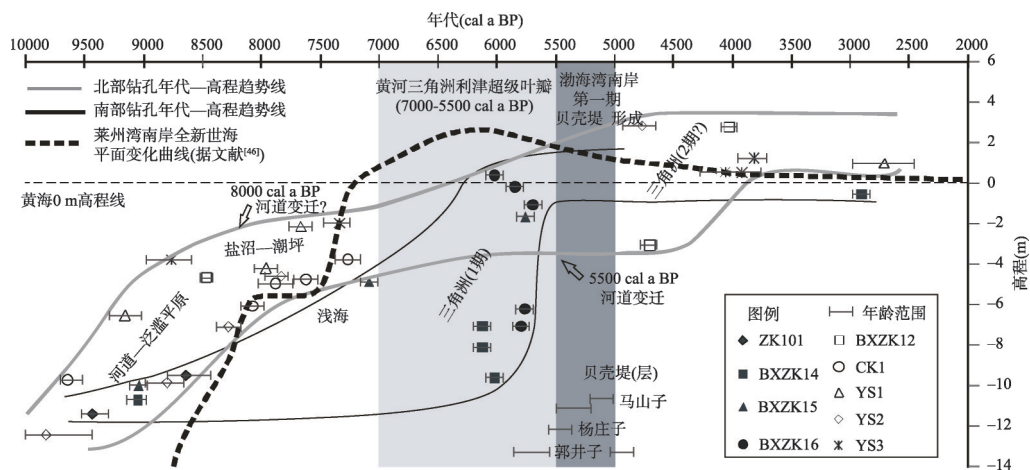


图6 本文涉及的钻孔年代—高程图

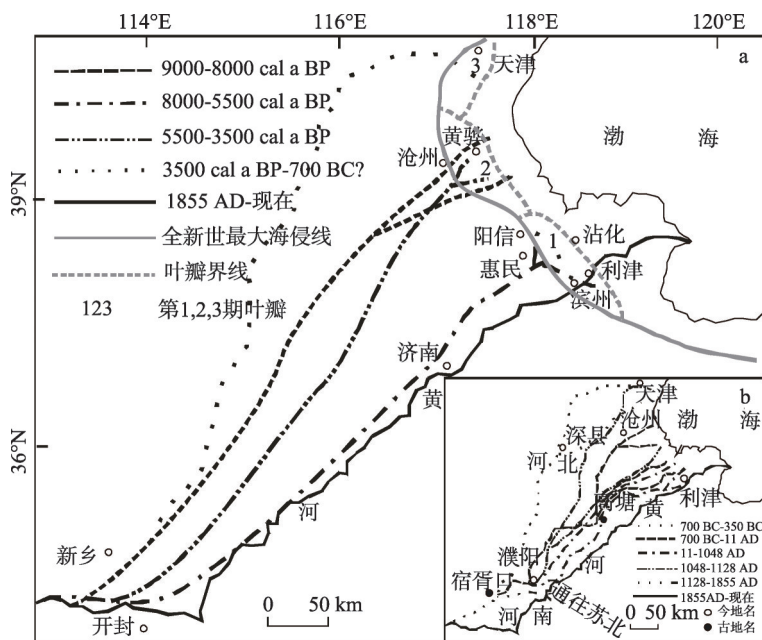
Fig. 6 Age-depth curves in this study

的三角洲。渤海湾南岸第一期贝壳堤的形成时间则暗示在5500 a BP左右黄河下游河道发生巨大变迁, 古黄河不再从渤海湾南岸入海, 因此此处古海岸线逐渐稳定, 从而贝壳堤开始发育。

**5.1.3 9000 cal a BP-700 BC 之间黄河下游古河道的变迁** 前文已论述, 8500 a BP-700 BC 之间从渤海湾西岸宽阔的平原入海, 而利用已有资料大致推测其古流向大致可分为三种流向: 北上天津入海, 中部在沧州—黄骅附近入海, 而南部在沾化—滨州入海<sup>[12-13]</sup>。据 Xu 等在黄骅地区多个钻孔的研究表明<sup>[24]</sup>: 在9000-7500 a BP 之间黄骅和海兴县之间广泛发育河道沉积。8000 cal a BP 之后该区的钻孔大多转变为盐沼和潮坪沉积, 未见明显的河口湾沉积, 暗示黄河下游古河道入海口可能已经发生迁移。

黄河在历史时期从河南省郑州附近进入华北平原后, 由于地势平坦, 大量泥沙容易在平原地区泛滥淤积下来, 造成在古河道位置附近两侧通常地势很高。在9000-8000 cal a BP 之间古黄河从河北沧州—黄骅附近入海, 因此势必造成中部古地势较高。当河道在河南中部附近发生决口时, 黄河古河道既可以北上天津也可以南下山东。最近 Tian 等在天津近海钻孔沉积物中发现该区域7000-3400 cal a BP 以正常浅海沉积为主, 暗示在这近4000年之间没有黄河沉积物北上注入天津<sup>[10]</sup>。

在中国历史地图集第一分册西周部分 (~700 BC), 除了被认为是古黄河的河道在天津和沧州黄骅之间入海外 (古称“河水”), 还有另外一条有记录的河流, 称“济水”。《禹贡》记载: “导沬水东流为济, 入于河 (黄河), 溢为滎 (滎泽), 东出于陶邱 (定陶) 北, 又东至于荷 (菏泽), 又东北会于汶, 又北东入于海。” 现代河南境内的济河发源于济源市区, 流经沁阳、温县分支, 分别入黄河和沁河。在相信古代文献关于人文活动记载的前提下, 符合自然法则的推测是: 善淤的黄河分出了一条河汉, 而这条河汉在低洼处汇集了其他一些流程较短的河溪, 积蓄为滎泽; 再从东面流出, 一路汇集其他来水流向大海。该流路在商周时期就存在且过济南和淄博后入海, 且与古黄河似乎关系密切。因此虽然无法断定古济水是否在700 BC 之前某个时期可能为古黄河曾经的主路线, 但至少说明在有史料记载前, 黄河下游古河道存在过渤海湾南部入海的可能。根据本文前段关于三角洲和贝壳堤的论述, 可以初步推测在8000 cal a BP 左右, 古黄河可能南偏从渤海湾南岸地区入海, 并于7000-5500 cal a BP 形成利津超级叶瓣 (图7)。



注: a. 推测的9000 cal a BP-700 BC的黄河下游古河道变迁图, 据文献<sup>[24]</sup>修改;

b. 700 BC至现在的黄河下游古河道变迁图, 引自文献<sup>[13]</sup>。

图7 9000 cal a BP以来的黄河下游古河道变迁示意图

Fig. 7 The change of the lower Yellow River channel since 9000 cal a BP

据Xu等的钻孔研究, 约3500-4600 a BP之后黄骅以西地区又发育了古河道沉积<sup>[24]</sup>。据本文图6所显示, 可能在5500-3500 cal a BP之间, 古黄河河道在中部黄骅附近入海, 形成了第2期黄河三角洲超级叶瓣。现今天津近海钻孔3500 cal a BP之后见古黄河三角洲沉积<sup>[10]</sup>, 因此按古地形推测, 古黄河3500 cal a BP-700 BC可能北流过天津(古低地势)入海。

## 5.2 黄河三角洲利津超级叶瓣的空间分布范围再认识

薛春汀等1989年认为利津超级叶瓣地理跨度北至孟村和常庄, 南至郭井子, 其主要依据是利用从常庄至郭井子之间一系列间断的古贝壳堤(层)遗迹和其相近的测年数据(参见文献<sup>[19]</sup>中表1)。

那么利津超级叶瓣的北界是否在孟村和常庄一线了? 本文的YS3-BXZK12孔地层断面(图3)显示, 孟村县南部的YS3孔全新世以来一直以河道和泛滥平原沉积为主, 未受明显的海水影响; YS2和YS1孔则未见典型的三角洲沉积相, 全新世海侵到达此处是多为盐沼和潮间一潮下带沉积; 虽然CK1孔三角洲沉积相无年龄数据, 但与之很接近向海一侧的BXZK12孔中三角洲沉积时间在4000-4700 cal a BP左右, 揭示此处的三角洲沉积与第一期的超级叶瓣无关, 可能属于更年轻一期的三角洲超级叶瓣。

事实上, 常庄附近贝壳堤(层)中贝壳(四角蛤蜊)测年年龄为 $3495 \pm 115$  a BP<sup>[49]</sup>, 如进行CALIB 7.0.2矫正, 中值约为3600 cal a BP, 远比第一期超级叶瓣形成时期要晚。另一方面, 在埕口镇附近的贝壳堤中, 选取的贝壳砂测试年龄为 $5610 \pm 85$  a BP<sup>[19]</sup>, 矫正年龄中值约为6200 cal a BP, 似乎在最早一期贝壳堤年龄范围之内。不过, 贝壳从死亡到搬运成堤存在较长的残留时间<sup>[14-15]</sup>, 同时也存在老地层中贝壳被搬运到年轻地层中可能(如本文的BXZK16孔)。因此, 埕口地区贝壳堤用贝壳砂获得测年数据可能存在较大误



差,而埕口附近的BXZK12孔所揭示的三角洲沉积结束时间(4000 cal a BP左右)可能是该地区贝壳堤形成的最早时间。综上所述,黄河三角洲利津超级叶瓣的北界不应该在孟村和常庄一线,而应该在埕口偏南。考虑到继承了新生代以来的差异沉降<sup>[50]</sup>(埕宁隆起和济阳拗陷)可能对研究区域晚更新世以来微地貌的影响,比如最大海侵线在阳信附近(埕宁隆起区)有明显的向海突出(图1),黄河三角洲利津超级叶瓣的北界推测可能在阳信至马山子一线。

前人在现今黄河和小清河之间获得了许多钻孔资料,其少量的测年数据暗示这一期是黄河最早一期的三角洲叶瓣<sup>[2]</sup>。小清河东岸寿光郭井子地区发育有贝壳堤,该堤上下层两个贝壳测年数据分别为 $5608 \pm 110$  a BP和 $5005 \pm 90$  a BP(参见文献<sup>[19]</sup>中表1),与无棣马山子附近等地的测年数据相近。郭井子一带的贝壳堤外侧见龙山文化古遗址,该堤与最大海侵面附近较集中的龙山文化遗址群之间有近20 km的距离<sup>[19]</sup>。以龙山文化的发展水平,郭井子贝壳堤和最大海侵线界线之间应该已基本成陆。小清河是山东省境内的短源且少泥沙的河流,平均年输沙量仅36.9万t<sup>[45]</sup>,很难想象若没有黄河泥沙的注入,能在2000年时间里进积到此处。

那么黄河三角洲利津超级叶瓣的南界能到达弥河—潍河附近吗?已有研究显示:注入莱州湾的若干古河道中埋藏着6000-5000 a BP的牡蛎礁<sup>[51]</sup>。现代牡蛎礁群通常生活在河流泥沙相对较低的河口附近<sup>[52]</sup>,大量的泥沙注入并不利于牡蛎礁的生长发育<sup>[53]</sup>。弥河至胶莱河附近古河道中6000-5000 a BP之间牡蛎礁较发育,暗示了该时期的黄河泥沙应该未到达此处。薛春汀等2008年将小清河至胶莱河之间一系列的小河流三角洲集合起来统称为潍河—弥河三角洲<sup>[54]</sup>,很显然是将之与黄河三角洲沉积分离开来。

## 6 结论

利用渤海湾南岸多个钻孔的全新世地层对比和分析,本文认为利津超级叶瓣的发育时间在7000-5500 cal a BP之间,并重新厘定该超级叶瓣的北界可能在马山子和阳信一界,而南界在郭井子和弥河之间。同时在9000 cal a BP-700 BC之间,黄河下游古河道在渤海湾西岸可能经历了3次大的摆动,分别在8000 cal a BP、5500 cal a BP和3500 cal a BP左右,大致对应了黄河三角洲前3期超级叶瓣发育的起止时间,即利津叶瓣(7000-5500 cal a BP)、黄骅叶瓣(5500-3500 cal a BP)和泥沽叶瓣(3500 cal a BP-700 BC)。

本文的研究表明:综合利用已有的钻孔地层资料及最新的测年数据,黄河三角洲老一期的叶瓣时空展布有重新进行厘定的可能,这对进一步加深认识渤海湾西部全新世复杂的地层框架,理解黄河三角洲全新世以来叶瓣发育和废弃的时空演变,以及黄河下游古河道的变迁对超级叶瓣的控制等有重要意义。

**致谢:**感谢两位匿名评审人在评审过程中提出的宝贵建议和意见,同时感谢青岛海洋地质研究所同事孔祥淮、杨士雄、赵广明、丁喜桂、王锦以及中国地质大学(武汉)博士生裴理鑫以及山东科技大学研究生郭若舜等在野外及室内分样过程中给予的帮助!

## 参考文献(References)

- [1] Xue Chunting, Cheng Guodong. Shelly ridges in west coast of Bohai Sea and Holocene Yellow River delta system// Yang Zigeng, Lin Hemao. Quaternary Processes and Events in China Offshore and Onshore Areas. Beijing: China Ocean Press, 1989: 117-125. [薛春汀, 成国栋. 渤海西岸贝壳堤及全新世黄河三角洲体系//杨子庚, 林和茂. 中国沿

- 海及近海地区第四纪进程与事件. 北京: 海洋出版社, 1989: 117-125.]
- [2] Xue C. Historical changes in the Yellow River Delta, China. *Marine Geology*, 1993, 113(3): 321-330.
- [3] Penland S, Suter J R. The geomorphology of the Mississippi River chenier plain. *Marine Geology*, 1989, 90(4): 231-258.
- [4] Penland S, Suter J R, Boyd R. Barrier island arcs along abandoned Mississippi River Deltas. *Marine Geology*, 1985, 63(1): 197-233.
- [5] Xue Chunting. Historical changes of coastlines on west and south coasts of Bohai Sea since 7000 a B.P. *Scientia Geographica Sinica*, 2009, 29(2): 217-222. [薛春汀. 7000 年来渤海西岸、南岸海岸线变迁. *地理科学*, 2009, 29(2): 217-222.]
- [6] Saito Y, Wei H, Zhou Y, et al. Delta progradation and chenier formation in the Huanghe (Yellow River) Delta, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2000, 18(4): 489-497.
- [7] Wang Qiqiang, Yuan Guibang, Zhang Shu, et al. Shelly ridge accumulation and sea-land interaction on the west coast of the Bohai Bay. *Quaternary Sciences*, 2007, 27(5): 775-786. [王强, 袁桂邦, 张熟, 等. 渤海湾西岸贝壳堤堆积与海陆相互作用. *第四纪研究*, 2007, 27(5): 775-786.]
- [8] Liu J, Saito Y, Wang H, et al. Stratigraphic development during the Late Pleistocene and Holocene offshore of the Yellow River Delta, Bohai Sea. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2009, 36(4/5): 318-331.
- [9] Chen Yongsheng, Wang Hong, Li Jianfen, et al. Sedimentary environment since 35 ka and terrestrial-marine interaction revealed by boreholes BT113 in the western coast of Bohai Bay, China. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2012, 42(Suppl.1): 344-354. [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. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2012, 42(Suppl.1): 344-354.]
- [10] Tian L, Chen Y, Jiang X, et al. Post-glacial sequence and sedimentation in the western Bohai Sea, China, and its linkage to global sea-level changes. *Marine Geology*, 2017, 388: 12-24.
- [11] Xue C, Zhu Z, Lin H. Holocene sedimentary sequence, foraminifera and ostracoda in west coastal lowland of Bohai Sea, China. *Quaternary Science Reviews*, 1995, 14(5): 521-530.
- [12] Xue Chunting, Zhou Yongqing, Zhu Xionghua. The Huanghe River course and delta from end of Late Pleistocene to the 7th century BC. *Acta Oceanologica Sinica*, 2004, 26(1): 48-61. [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. *海洋学报*, 2004, 26(1): 48-61.]
- [13] Xue Chunting, Zhou Yongqing, Wang Guiling. Reviews of the Yellow River Delta superlobes since 700 BC. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2003, 23(3): 23-29. [薛春汀, 周永青, 王桂玲. 古黄河三角洲若干问题的思考. *海洋地质与第四纪地质*, 2003, 23(3): 23-29.]
- [14] Shang Zhiwen, Wang Fu, Li Jianfen, et al. A preliminary study of the residence time effect of the Holocene reworked shells on the west coast of Bohai Bay. *Geological Bulletin of China*, 2014, 33(10): 1596-1601. [商志文, 王福, 李建芬, 等. 渤海湾西岸全新世再搬运贝壳驻留时间效应初探. *地质通报*, 2014, 33(10): 1596-1601.]
- [15] Shang Z, Wang F, Li J, et al. New residence times of the Holocene reworked shells on the west coast of Bohai Bay, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2016, 115: 492-506.
- [16] Yan Yuzhong, Wang Hong, Li Fenglin, et al. Sedimentary environment and sea-level fluctuations revealed by Borehole BQ1 on the west coast of the Bohai Bay, China. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(3): 357-382. [阎玉忠, 王宏, 李凤林, 等. 渤海湾西岸 BQ1 孔揭示的沉积环境与海面波动. *地质通报*, 2006, 25(3): 357-382.]
- [17] Liu J, Wang H, Wang F, et al. Sedimentary evolution during the last ~1.9 Ma near the western margin of the modern Bohai Sea. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 2016, 451: 84-96.
- [18] Yang Huaiaren, Wang Jian. Quaternary transgression and coastline changes in Huanghe River (Yellow River) Delta. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1990, 10(3): 1-14. [杨怀仁, 王建. 黄河三角洲地区第四纪海进与岸线变迁. *海洋地质与第四纪地质*, 1990, 10(3): 1-14.]
- [19] Zhuang Zhenye, Xu Weidong, Li Xuelun. The coastline evolution on the south coast of the Bohai Sea since 6 ka B.P. *Journal of Ocean University of China (Natural Science Edition)*, 1991, 21(2): 99-110. [庄振业, 许卫东, 李学伦. 渤海南岸 6000 年来的岸线演变. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 1991, 21(2): 99-110.]
- [20] Wang Qiang, Zhang Yufa, Yuan Guibang, et al. Since MIS3 stage the correlation between transgression and climatic changes in the north Huanghua area, Hebei. *Quaternary Sciences*, 2008, 28(1): 79-95. [王强, 张玉发, 袁桂邦, 等. MIS 3 阶段以来河北黄骅北部地区海侵与气候期对比. *第四纪研究*, 2008, 28(1): 79-95.]
- [21] Shang Zhi, Tian Lizhu, Li Jianfen, et al. Evolution of the Holocene sedimentary environment and terrestrial-marine

- interaction revealed by the borehole CH114 in the west coast of the Bohai Bay of China. *Marine Science Bulletin*, 2013, 32(5): 527-534. [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. *海洋通报*, 2013, 32(5): 527-534.]
- [22] Chen Yongsheng, Wang Fu, Tian Lizhu, et al. 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. [陈永胜, 王福, 田立柱, 等. 渤海湾西岸全新世沉积速率对河流供给的响应. *地质通报*, 2014, 33(10): 1582-1590.]
- [23] Wang F, Li J, Chen Y, et al. The record of mid-holocene maximum landward marine transgression in the west coast of Bohai Bay, China. *Marine Geology*, 2015, 359: 89-95.
- [24] Xu Q, Yang J, Yuan G, et al. Stratigraphic sequence and episodes of the ancient Huanghe Delta along the southwestern bohai bay since the LGM. *Marine Geology*, 2015, 367: 69-82.
- [25] Liu Yanxia, Huang Haijun, Dong Huijun, et al. Geomorphic characteristics and location of the maximum Holocene transgression boundary in the southwestern coast of the Bohai Sea. *Quaternary Sciences*, 2015, 35(2): 340-353. [刘艳霞, 黄海军, 董慧君, 等. 渤海西南岸全新世最大海侵界线及其地貌特征. *第四纪研究*, 2015, 35(2): 340-353.]
- [26] Liu Yanxia, Qi Yali, Huang Haijun, et al. Reconstruction and differentiation factor of paleoshoreline for the southwestern of the Bohai Sea in 6 ka B.P. *Quaternary Sciences*, 2015, 35(2): 265-274. [刘艳霞, 祁雅莉, 黄海军, 等. 渤海西南岸 6000 年古海岸线重建及影响因素解析. *第四纪研究*, 2015, 35(2): 265-274.]
- [27] Liu S, Feng A, Du J, et al. Evolution of the buried channel systems under the modern Yellow River Delta since the Last Glacial Maximum. *Quaternary International*, 2014, 349: 327-338.
- [28] Cheng Guodong, Xue Chunting. *Sedimentary Geology of Yellow River Delta*. Beijing: Geological Publishing House, 1997: 1-8. [成国栋, 薛春汀. *黄河三角洲沉积地质学*. 北京: 地质出版社, 1997: 1-8.]
- [29] Southon J, Kashgarian M, Fontugne M, et al. Marine reservoir corrections for the Indian Ocean and Southeast Asia. *Radiocarbon*, 2002, 44: 167-180.
- [30] Reimer P, Bard E, Bayliss A, et al. Intcal13 and marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50000 years Cal BP. *Radiocarbon*, 2013, 55(4): 1869-1887.
- [31] Frey R, Basan P. Coastal salt marshes//Davis R A. *Coastal Sedimentary Environments*. New York: Springer, 1985: 225-301.
- [32] Pemberton S, MacEachern J, Frey R. Trace Fossil Facies Models: Environmental and Allostratigraphic Significance. Waterloo: Geological Association of Canada, 1992: 47-72.
- [33] Zhang Suping. *Atlas of Marine Mollusks in China*. Beijing: China Ocean Press, 2008. [张素萍. *中国海洋贝类图鉴*. 北京: 海洋出版社, 2008.]
- [34] Liu J P, Milliman J, Gao S, et al. Holocene development of the Yellow River's subaqueous delta, north Yellow Sea. *Marine Geology*, 2004, 209(1-4): 45-67.
- [35] Hori K, Saito Y. An early Holocene sea-level jump and delta initiation. *Geophysical Research Letters*, 2007, 34(18): L18401.
- [36] Xu Fengshan, Zhang Suping. *An Illustrated Bivalvia Mollusca Fauna of China Seas*. Beijing: Science Press, 2008. [徐凤山, 张素萍. *中国海产双壳类图志*. 北京: 科学出版社, 2008.]
- [37] Qiao Shuqing, Shi Xuefa, Wang Guoqing, et al. Discussion on grain-size characteristics of seafloor sediment and transport pattern in the Bohai Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 2010, 32(4): 139-147. [乔淑卿, 石学法, 王国庆, 等. 渤海底质沉积物粒度特征及输运趋势探讨. *海洋学报*, 2010, 32(4): 139-147.]
- [38] Institute of Oceanography, Chinese Academy of Sciences. *Geology of Bohai Sea*. Beijing: Science Press, 1985. [中国科学院海洋研究所. *渤海地质*. 北京: 科学出版社, 1985.]
- [39] Liu Yueying, Zhang Wenzhen, Wang Yuexian, et al. *Economic Fauna of China: Freshwater Mollusca*. Beijing: Science Press, 1979. [刘月英, 张文珍, 王跃先, 等. *中国经济动物志: 淡水软体动物*. 北京: 科学出版社, 1979.]
- [40] He Lei, Xue Chunting, Ye Siyuan, et al. Sedimentary environmental evolution of the Dalinghe Estuary area since the Late Pleistocene. *Acta Oceanologica Sinica*, 2016, 38(5): 108-123. [何磊, 薛春汀, 叶思源, 等. 大凌河河口地区晚更新世晚期以来的沉积环境演化. *海洋学报*, 2016, 38(5): 108-123.]
- [41] Li Guangxue, Zhuang Zhenye, Han Deliang. Stratigraphic sequences and characteristics of geological environment since the late period of Last Glacial Age along southern shore of Bohai Sea. *Journal of Ocean University of China (Natural Science Edition)*, 1998, 28(1): 161-110. [李广雪, 庄振业, 韩德亮. 末次冰期晚期以来地层序列与地质环境特征: 渤海南部地区沉积序列研究. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 1998, 28(1): 161-110.]



- [42] Syvitski J, Kettner A. Sediment flux and the Anthropocene. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 2011, 369: 957-975.
- [43] Sun Baiyun. Detrital mineral assemblages in the Huanghe, Changjiang and Zhujiang river delta sediments. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1990, 10(3): 23-34. [孙白云. 黄河、长江和珠江三角洲沉积物中碎屑矿物的组合特征. *海洋地质与第四纪地质*, 1990, 10(3): 23-34.]
- [44] Wang H, Yang Z, Saito Y, et al. Stepwise decreases of the Huanghe (Yellow River) sediment load (1950-2005): Impacts of climate change and human activities. *Global and Planetary Change*, 2007, 57: 331-354.
- [45] Editorial Board of China Bay Survey. Survey of China Bays (Vol. 14). Beijing: China Ocean Press, 1998. [中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志. 第14分册. 北京: 海洋出版社, 1998.]
- [46] Tian Lizhu, Tao Youbing, Jiang Xingyu, et al. Reconstruction of the Holocene relative sea level change for the south coast of Laizhou Bay. *Geological Bulletin of China*, 2016, 35(10): 1679-1691. [田立柱, 陶有兵, 姜兴钰等. 莱州湾南岸全新世相对海平面变化重建. *地质通报*, 2016, 35(10): 1679-1691.]
- [47] Wang H, Strydonck M. Chronology of Holocene cheniers and oyster reefs on the coast of Bohai Bay, China. *Quaternary Research*, 1997, 47(2): 192-205.
- [48] Su Shengwei, Shang Zhiwen, Wang Haifeng, et al. Holocene cheniers: Spatial and temporal distribution and sea level indicators in Bohai Bay. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(9): 1382-1395. [苏盛伟, 商志文, 王海峰, 等. 渤海湾全新世牡蛎礁: 时空分布和海面变化标志点. *地质通报*, 2011, 30(9): 1382-1395.]
- [49] Peng Gui, Zhang Jingwen, Jiao Wenqiang, et al. Chronology of Late Quaternary deposits along the coast of the Bohai Bay. *Seimology and Geology*, 1980, 2(2): 71-78. [彭贵, 张景文, 焦文强, 等. 渤海湾沿岸晚第四纪地层  $C^{14}$  年代学研究. *地震地质*, 1980, 2(2): 71-78.]
- [50] Qiao Hansheng, Ji Youliang, Jiang Zaixing. East China Continental Rifting and Oil and Gas. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999. [谯汉生, 纪友亮, 姜在兴. 中国东部大陆裂谷与油气. 北京: 石油工业出版社, 1999.]
- [51] Zhao Xitao, Chen Zongyong, Zhu Jiwen. Sea level changes in China//Shi Yafeng et al. Climate and Sea Level Changes and Its Trend and Impacts in China. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 1996. [赵希涛, 陈宗镛, 朱季文. 中国海面变化//施雅风, 等. 中国气候与海面变化及其趋势和影响. 济南: 山东科学技术出版社, 1996.]
- [52] Geng Xiushan, Fu Mingzuo. Development of modern reef and ecological characteristics and its paleoenvironment implication. *Science in China*, 1991, 8: 867-875. [耿秀山, 傅命佐. 现代牡蛎礁发育与生态特征及古环境意义. *中国科学*, 1991, 8: 867-875.]
- [53] Fang Changfu, Pei Yandong, Wang Hong, et al. Correlation of oyster shell from and sediment environment from two buried oyster reefs on the northwest coast of Bohai Bay. *Quaternary Sciences*, 2007, 27(5): 806-813. [范昌福, 裴艳东, 王宏, 等. 渤海湾西北岸埋藏牡蛎礁体中的壳体形态与沉积环境. *第四纪研究*, 2007, 27(5): 806-813.]
- [54] Xue Chunting, Ding Dong. Weihe River-Mihe River Delta in south coast of Bohai Sea, China: Sedimentary sequence and architecture. *Scientia Geographica Sinica*, 2008, 28(5): 672-676. [薛春汀, 丁东. 渤海莱州湾南岸潍河—弥河三角洲: 沉积序列和沉积格架. *地理科学*, 2008, 28(5): 672-676.]

## Rethinking the spatio-temporal distribution of Lijin superlobe in the Yellow River Delta

HE Lei<sup>1,2,3</sup>, YE Siyuan<sup>1,2,3</sup>, YUAN Hongming<sup>1,2,3</sup>, XUE Chunting<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Coastal Wetland Biogeosciences, China Geologic Survey, Qingdao 266071, Shandong, China; 2. Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266061, Shandong, China; 3. Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, Shandong, China)

**Abstract:** The Yellow River Delta is one of the most famous river deltas in the world. Since Xue and Cheng (1989) first systematically proposed the spatio-temporal distribution of ten Holocene superlobes in the delta, this hypothesis remains unchanged in the last three decades. To redefine the characteristics of sedimentary evolution and spatial-temporal distribution of Lijin superlobe in the Yellow River Delta, 4 boreholes with a length of 20-30 m were obtained in the coastal plain of South Bohai Bay. Combined with the achievements of previous boreholes in the study area, the stratigraphical data and AMS<sup>14</sup>C dating results in these boreholes revealed that the river channel and flooding plain dominated the study area in the early Holocene. It turned to be saltmarsh, tidal flat and shallow sea environments in the chronological order when the Holocene transgression reached the study area. Delta progradation began as the sea level decelerated, and was finally capped by the terrestrial sediments in this area. The ancient river channel of the Yellow River might enter the sea by the southern area of Huanghua during 9000-8000 cal a BP. After ~8000 cal a BP, the main river channel shifted southward between Binzhou and Huiming, which led to the development of Lijin superlobe from 7000 cal a BP to 5500 cal a BP. The northern boundary of Lijin superlobe may link Mashanzi with Yangxin while the southern one was located between Guojingzi and Mihe River. The ancient Yellow River mouth might return to Huanghua after ~5500 cal a BP and formed the Huanghua superlobe ranging from 5500 cal a BP to 3500 cal a BP. The Yellow River changed its main course to Tianjin earlier than 3500 cal a BP and might turn back to Qikou in Hebei province after ~700 BC.

**Keywords:** Yellow River Delta; superlobe; shifting of river channel; chenier; sedimentary evolution