

doi:10.12097/j.issn.1671-2552.2022.2-3.004

滦河口北部七里海地区中晚全新世沉积演化过程

李敏^{1,2,3}, 胥勤勉^{2,3*}, 程丽玉^{2,3}, 杨宁⁴, 刘建兵⁵, 郭进京²LI Min^{1,2,3}, XU Qinmian^{2,3*}, CHENG Liyu^{2,3}, YANG Ning⁴, LIU Jianbing⁵, GUO Jinjing²

1. 中建安装集团有限公司, 江苏 南京 210023;

2. 天津城建大学地质与测绘学院, 天津 300384;

3. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170;

4. 河北省区域地质调查院, 河北 廊坊 065000;

5. 河北省地矿局第二地质大队, 河北 唐山 063000

1. China Construction Industrial & Energy Engineering Co., Ltd., Nanjing 210023, Jiangsu, China;

2. School of Geology and Geomatics, Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin 300384, China;

3. Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China;

4. Hebei Regional Geological Survey, Langfang 065000, Hebei, China;

5. The Second Geological Brigade of Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources, Tangshan 063000, Hebei, China

摘要:滦河口北部七里海地区全新世演化过程是划分滦河三角洲范围的依据,也是认识陆海相互作用的有益补充。通过对七里海地区6个钻孔进行详细的沉积学、微体古生物研究和年代测定,分析了中晚全新世以来的沉积环境演化过程。滦河口北部七里海地区发育中晚全新世冲积扇-湖相三角洲、晚全新世砂坝-潟湖和海相三角洲及近现代砂坝-潟湖地貌沉积体系。6~5 ka B.P.,七里海西部发育冲积扇湖相三角洲沉积体系,东部为湖相三角洲前缘。5~1 ka B.P.,七里海南部形成潟湖,推断现今海岸线外侧发育一道滨海砂坝,区域形成第一期砂坝-潟湖地貌沉积体系。10~19世纪,区域受滦河泛滥的影响,逐渐成陆,发育潟湖-潮上带-分支河道的三角洲沉积组合。19世纪,第一期砂坝-潟湖地貌沉积体系中砂坝不断向陆迁移至翡翠岛,七里海地区形成浅水湖沼。1883年,滦河洪水在七里海新开口冲破海岸沙丘,形成七里海潟湖,区域形成现今砂坝-潟湖地貌沉积体系。1915年,滦河冲开翡翠岛南部沙丘入海,发育现代三角洲。

关键词:中晚全新世;七里海地区;湖相三角洲;砂坝-潟湖地貌沉积体系;地质调查工程

中图分类号:P534.63⁺2;P512.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2022)02/03-0242-11

Li M, Xu Q M, Cheng L Y, Yang N, Liu J B, Guo J J. Mid-Late Holocene sedimentary evolution process in the Qilihai area, northern Luanhe Estuary. *Geological Bulletin of China*, 2022, 41(2/3): 242-252

Abstract: The Holocene evolution process of the Qilihai area in the northern part of the Luanhe Estuary is the basis for division of the Luanhe River Delta. It is also a useful addition to understanding the interaction between land and sea. Detailed sedimentology, microfossils (foraminifera and ostracods), of six boreholes in the study area were analyzed, combined with ¹⁴C dating, to reveal the Late Holocene sedimentary environment evolution. In the Qilihai area, the lacustrine delta-alluvial fan was developed in the Mid-Late Holocene. The barrier-lagoon geomorphology depositional system and Marine delta were developed in the Late Holocene. The barrier-lagoon geomorphology depositional system was developed in present. 6~5 ka B.P., the alluvial fan and the lacustrine delta developed in the west, and the lacustrine delta front was developed in the east. 5~1 ka B.P., the first barrier-lagoon geomorphology depositional system was developed to form lagoon in the southern and sand barrier in the outside of the present coastline. From 19th century to 10th

收稿日期:2020-10-09;修订日期:2022-01-17

资助项目:中国地质调查局项目《河北怀安—内蒙古凉城地区幅区域地质调查》(编号:DD20190035)

作者简介:李敏(1993-),女,硕士,技术员,从事工程地质和建筑工程工作。E-mail:leemin58@163.com

*通信作者:胥勤勉(1979-),男,硕士,高级工程师,从事华北晚新生代地层的调查和研究。E-mail:xuqinmian@163.com

century, delta depositional system comprised of lagoon, supratidal zone and branch channel was formed as flooding of the Luanhe River. In 19th century, with the migration of first barrier-lagoon geomorphology depositional system landward to the Feicui Island, a shallow lake was developed in the Qilihai area. In 1883, a crevasse was developed in coastal sand dunes as the action of Luanhe River floods, and then the Qilihai lagoon was formed as the seawater flowing backward, which resulted in the formation of the current barrier-lagoon geomorphology depositional system. In 1915, the Luanhe River burst through the sand dunes south of the Emerald Island into the sea, forming the current delta.

Key words: Mid-Late Holocene; Qilihai area; lake delta; sand barrier-lagoon geomorphology depositional system; geological survey engineering

滦河三角洲被认为是典型的波浪型三角洲^[1-2]。海岸线附近分布着一系列沙坝潟湖^[2-4],尤其是北部翡翠岛,其形态、沉积等均有深入研究^[5-6]。但是翡翠岛-七里海的沙坝潟湖海岸地貌在其地貌沉积体系归属上存有疑问,高善明^[4]认为其属于全新世早期三角洲体系,随后又认为滦河北部砂体为冲积扇,七里海潟湖南部的洼地为早全新世三角洲^[4,7]。而李从先等^[8]和薛春汀^[9]均将七里海潟湖南部洼地排除在三角洲范围之外。七里海沙坝潟湖地貌沉积体系形成于明代^[10],其下伏的地貌沉积体系,应该是划分滦河冲积扇-三角洲体系的依据。

滦河三角洲作为典型的波浪型三角洲^[11],其全新世沉积演化过程和模式的研究远低于黄河三角洲^[12-13]和长江三角洲^[14-15],更缺少其对海平面变化的响应过程的研究。为此,本文利用滦河三角洲七里海的 6 个钻孔,进行了沉积学、年代学和微体古生物的调查研究,重建了七里海中晚全新世以来的沉积演化过程,确定了翡翠岛-七里海砂坝潟湖的成因,探讨了与海平面变化、滦河冲积扇-三角洲的关系。

1 地质概况

滦河口北部七里海地区在构造上属于黄骅拗陷北部^[16-18],新生代以来持续沉降,尤其是新近纪以来整体沉降^[19-22],形成厚达 1000~2000 m 的沉积物^[16],第四系厚 300~400 m^[18,23-24],包括 4 个海相层^[25-26]。

该区为砂质海岸,海岸向陆依次分布有海滩、沙丘、现代潟湖、潟湖平原、冲积扇等地貌类型^[27-28]。现代潟湖有潮流通道与海相通,无常年河流注入,仅有一些季节性河流注入其中^[1,29]。七里海附近为不正规半日潮区。七里海属中国东部暖温带半湿润季风气候^[30],年平均气温 10.1~11.0℃,

年降水量为 600~680 mm;年平均风速为 4.5~5.5 m/s,全年春季(3~5 月)风最大,NE、NNE 向向岸风为该区域优势风向,是沉积物搬运的主要动力^[31](图 1)。

2 研究方法

本次选用中国地质调查局天津地质调查中心在滦河三角洲实施的区域地质调查项目中的 6 个钻孔对七里海砂坝潟湖地貌沉积体系进行研究,其中 JZK01~JZK03 孔深为 50 m, LQZ02、LQZ08 和 LQZ11 孔深为 3~5 m(表 1)。本次研究以中晚全新世以来的地层为主,JZK01~JZK03 孔仅选用埋深 0~10 m 的岩心。

2.1 微体古生物样品分析

按沉积物的岩性采集可能有孔虫和介形类的微体古生物样品,同一岩性采样间距约为 0.5 m,特殊层位采样加密,LQZ02、LQZ08 和 LQZ11 三个孔的样品数量分别为 10 个、9 个和 8 个。从每个沉积物样品中称取 20 g 干样(对于含水分较多的样品取 20~25 g),用纯净水浸泡,再加入几滴双氧水(H₂O₂),样品充分散开后,用纯净水在孔径为 0.065 mm 的标准铜筛上过筛冲洗,筛上部分在温度为 50℃的烘干

表 1 七里海地区分布钻孔信息
Table 1 Information of boreholes in the Qilihai area

钻孔编号	位置	经度(E)	纬度(N)	孔口高程/m	孔深/m
LQZ02	毛河北村	119°09'37"	39°34'39"	4.3	3.5
LQZ08	小滩东村	119°09'46"	39°30'10"	3.6	5.0
JZK01	张家铺村东	119°10'26"	39°29'47"	3.8	50
LQZ11	东坨榆树村北	119°10'22"	39°29'04"	3.1	5.0
JZK02	王家铺村北	119°12'30"	39°27'20"	3.3	50
JZK03	九间房村东北	119°14'22"	39°25'57"	1.3	50

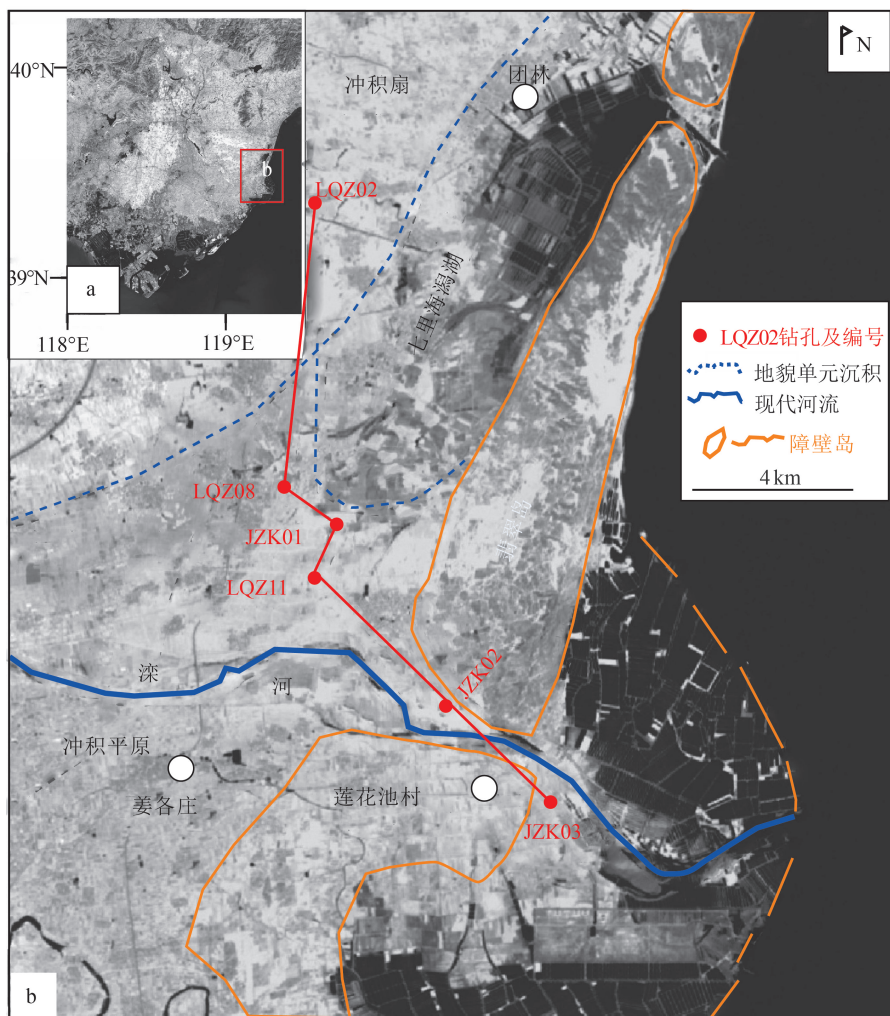


图 1 滦河口北部七里海及相邻地区地貌和钻孔分布图

Fig. 1 Geomorphological map of the Qilihai area and Luanhe Estuary showing the location of boreholes

a—渤海湾北岸遥感影像图;b—底图为研究区遥感影像灰度图

箱内烘干,烘干后在双目实体显微镜下进行挑选、鉴定与统计^[32-33]。LQZ02 钻孔样品内经挑选无微体,LQZ08 和 LQZ11 钻孔内由于微体数量较多,样品的挑选采用缩分法进行统计,不足 200 个壳体的样品则全样统计。有孔虫鉴定标准据郑守仪等^[34]和汪品先等^[35],介形类鉴别标准据侯佑堂等^[36]。

2.2 粒度样品测量

按沉积物岩性采集粒度样品,同一岩性采样间距约为 0.3 m,LQZ02、LQZ08 和 LQZ11 三个孔的样品数量分别为 13 个、14 个和 9 个。粒度样品在泰山学院实验室测试分析。样品中含较多有机质、钙质结核、贝壳碎屑等,首先用 H_2O_2 和 HCL 对样品进行有机质去钙质。测试仪器为英国生产的

Mastersizer 2000 粒度仪,测量范围为 0.2~2000 μm ,重复测量的相对误差小于 3%^[32]。粒度参数采用 McManus 提出的矩法粒度参数^[37],使用的粒度参数有平均粒径^[38]、标准差、偏差和峰态^[39],用福克沉积物分类体系命名沉积物名称。

2.3 年龄测试

选取钻孔中有机质含量较多的样品,利用纯净水浸泡分散,不易分散的样品用超声波清洗机震荡分散,样品充分分散后用纯净水过 180 目筛冲洗掉泥质部分,在双目实体显微镜下挑选筛上部分的植物残体,进行¹⁴C 测年;无植物残体采用全样有机质测年,其中对 JZK01 孔的植物残体和有机质分别进行测年。实验在美国 BETA 实验室完成,采用 INTCAL13 校准^[40-41],测年结果见表 2。

表 2 七里海地区钻孔¹⁴C 年代Table 2 List of ¹⁴C ages from boreholes in the Qilihai area

序号	实验室编号	钻孔	埋深 /m	测年物质	测试年龄 /a B.P.	校正年龄 /cal.a B.P.
1	Beta-520160	LQZ08	2.8	植物残体	1170±30	1179~1047
2	Beta-484531	JZK01	1.4	植物残体	910±30	917~760
3	Beta-484532	JZK01	2.4	植物残体	230±30	315~266
4	Beta-491111	JZK01	1.4	腐殖质泥	1460±30	1398~1302
5	Beta-491112	JZK01	2.4	腐殖质泥	1290±30	1286~1180
6	Beta-484533	JZK02	2.4	植物残体	2060±30	2119~1946
7	Beta-484534	JZK03	5.5	植物残体	1210±30	1186~1057

3 研究结果

3.1 LQZ02 孔沉积相

LQZ02 孔全孔均不含有孔虫和介形类微体古生物化石。根据岩性、粒度和沉积构造特征, LQZ02 孔自上而下划分为 4 个沉积单元, 分别为 I、II、III 和 IV (图 2-a)。

沉积单元 I 埋深 0~0.80 m, 为灰黄色细砂, 顶部 30 cm 为耕作土, 含泥质成分和有机质; 与下伏地层之间具有冲刷面。沉积物平均粒径为 3.6~3.8 φ, 分选系数为 1.7~2, 偏差为 0.4~1.2, 峰态为 2.9~3.8; 细砂组分为优势组分, 含量为 52.6%~69.7%。该层砂粒度较粗, 但分选性较差, 峰态较小, 混有细颗粒物质, 对应滦河冲积扇上的分流河道。

沉积单元 II 埋深 0.80~1.35 m, 为灰黑色砂质粉砂夹灰色粉细砂, 多有机质; 与下伏地层渐变接触。沉积物平均粒径为 3.9~4.9 φ, 分选系数为 2.1~2.2, 偏差为 0.2~0.6, 峰态为 1.9~2.5; 砂含量较高, 为 37.4%~57.7%。该层沉积物颜色深、有机质含量高、粒度较细, 反映了湖沼相; 但砂含量高, 说明其受到冲积扇的影响, 应为扇前湖沼。

沉积单元 III 埋深 1.35~3.16 m, 为橄榄灰色粉细砂夹少量泥质条带, 具水平层理, 含植物碎屑; 和下伏地层渐变。沉积物平均粒径为 4~4.6 φ, 分选系数为 1.3~1.4, 偏差为 0.9~1.2, 峰态为 3.9~4.5, 粉砂组含量较高, 为 40.3%~61.1%。该层沉积物粒度较粗, 分选性较好, 且峰态较高, 为湖相砂体或水下河道。

沉积单元 IV 埋深 3.16~3.50 m, 为橄榄灰色细砂, 为水下河道。

LQZ02 孔自下而上依次为水下河道、扇前湖沼和分流河道, 反映了湖泊被填充、冲积扇进积的过程。

3.2 LQZ08 孔沉积相

LQZ08 孔根据岩性、粒度、微体和沉积特征, 自上而下划分为 4 个沉积单元, 分别命名为 I、II、III 和 IV (图 2-b、c)。

沉积单元 I 埋深 0~1.25 m, 为黄棕色粉细砂, 具水平层理; 与下伏地层具冲刷面。沉积物平均粒径为 3.8~4.7 φ, 分选系数为 1~1.3, 偏差为 1.1~2.1, 峰态为 3.8~8.9, 砂组分含量较高, 为 32.9%~66.7%。该层不含有微体古生物化石。该层沉积物粒度较粗, 分选性较好, 且峰态较高, 比 LQZ02 孔上部冲积扇分流河道相分选性好, 对应泛滥平原相中的分支河道。

沉积单元 II 埋深 1.25~2.25 m, 为黄棕色粉砂质泥, 含少量锈染; 与下伏地层突变。沉积物平均粒径为 6.7~7 φ, 分选系数为 1.2~1.7, 偏差为 -1.4~-0.6, 峰态为 3.5~5.2, 粉砂组分含量较高, 为 67.9%~73.7%; 该层不含微体古生物化石。该层沉积物粒度较细, 分选性较好, 应为静水洼地。

沉积单元 III 埋深 2.25~3.6 m, 岩性灰黄色、橄榄灰色泥质粉细砂夹暗灰色粉砂质泥, 下部多锈染和海相贝壳碎片, 中部有机质含量较高, 上部含豆螺; 与上覆地层渐变接触。沉积物平均粒径为 3.2~4.6 φ, 分选系数为 1.7~2.1, 偏差为 0.6~1.5, 峰态为 2.1~4.8; 砂组分为优势组分, 含量为 49.4%~79.2%。该层沉积物粒度较粗, 分选性较差。该组合有孔虫丰度为 400 枚/25 g, 简单分异度为 24, 以 *Ammonia takanabensis* (Ishizaki) (高锅卷转虫)、*Ammonia annectens* (Parker et Jones) (同现卷转虫)、*Ammonia pauciloculata* (Phleger and Parker) (少室卷转虫)、*Elphidium excavatum* (Terquem) (洞穴希望虫)、*Ammonia beccarii* (Linné) (毕克卷转虫)^[42]、*Cribronion* spp. (筛九字虫)、*Nonionella tersa* (He et Hu sp.nov.) (洁净小九字虫) 为优势属种, 所占比例为 61%。其他常见分子有 *Astrononion tasmanensis* (Carter) (塔斯曼星九字虫)、*Elphidium asiaticum* (Polski) (亚洲希望虫)、*Astrononion glabrum* (He et Hu sp.nov.) (光滑星九字虫)、*Rectoelphidiella aplata* (Ho, Hu et Wang) (扁平直小希望虫)、*Cellanthus ibericum limpidum* (Ho, Hu et Wang) (艾比里厄花室虫清晰亚

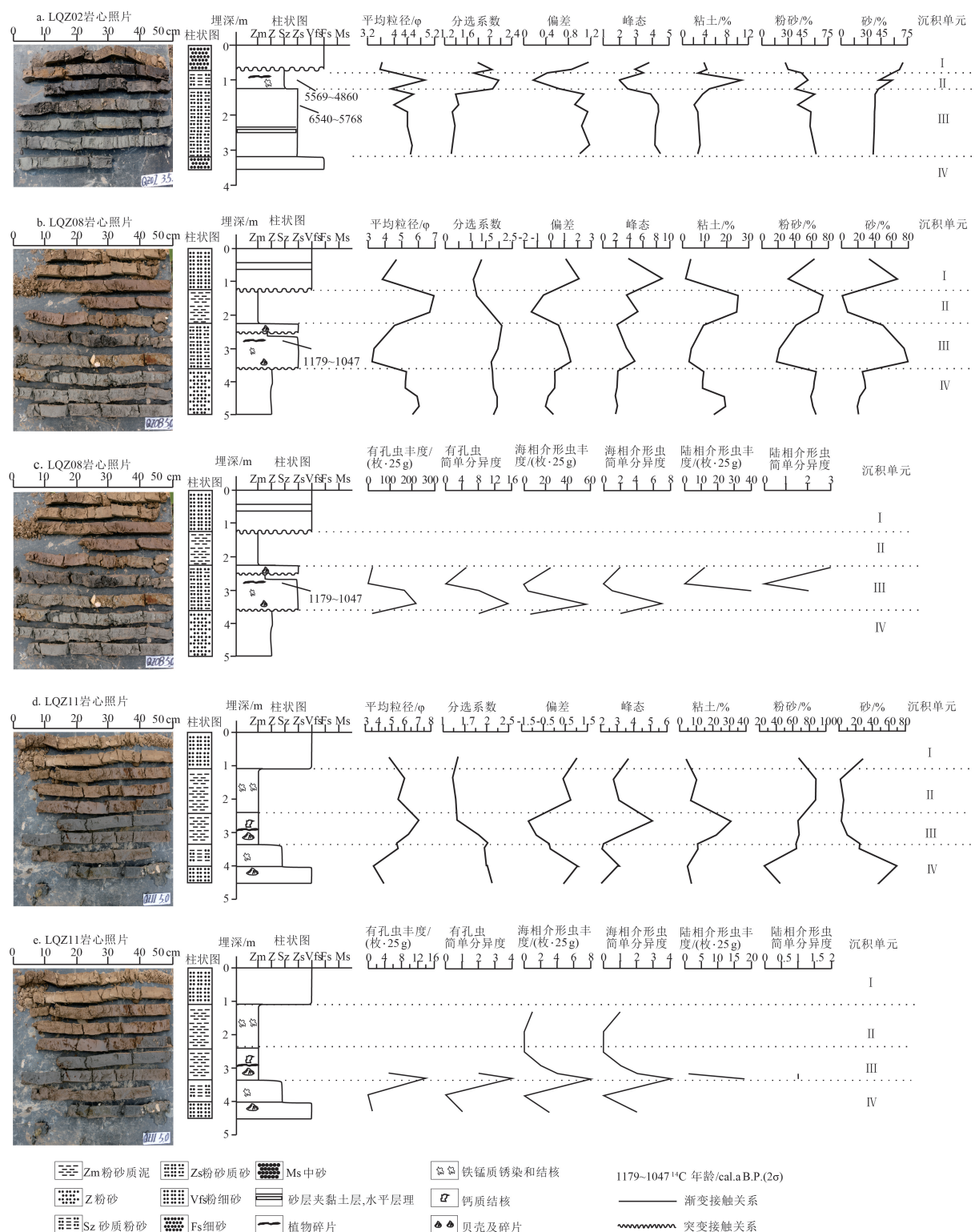


图2 LQZ02、LQZ08、LQZ11 钻孔岩性柱状图、粒度和微体化石分布

Fig. 2 Lithologic column, grain size and microfossil distribution of boreholes LQZ02, LQZ08 and LQZ11

种)、*Cribronion* sp.B (筛九字虫 B 种)。该组合海相介形虫主要有 *Loxoconcha ocellata* (Ho) (眼点弯贝

介)、*Sinocytheridea latiovata* (Hou et Chen) (宽卵中华美花介), 丰度为 84 瓣/25 g, 简单分异度为 8。陆相

介形虫以 *Ilyocypris bradyi* Sars (布氏土星介)^[43] 为优势属种, 所占比例为 69%, 丰度为 52 瓣/25 g, 简单分异度为 4。埋深 2.8~3.25 m 处的陆相介形虫多于海相介形虫。在 2.8 m 处, 以碳化植物残片为材料的 AMS¹⁴C 校正年龄为 1179~1047 cal.a B.P.。该层粒度较粗, 分选性差, 含有淡水和海相微体生物, 应为海岸砂坝相。

沉积单元 VI 埋深 3.6~5 m, 岩性主要为灰绿色粉砂质砂夹砂质粉砂, 粉砂质砂中含细砂颗粒, 见少量贝壳碎屑; 与下伏地层渐变接触。沉积物平均粒径为 5.2~5.9 ϕ , 分选系数为 1.8~1.9, 偏差为 -0.2~0.3, 峰态为 1.9~2.3, 粉砂组分为优势组分, 含量为 59.1%~65.4%。该组合化石的丰度、分异度只在 3.7 m 处体现出来, 3.7 m 以下没有微体化石。有孔虫丰度为 19 枚/25 g, 简单分异度为 8, 以 *Elphidium advenum* (Cushman) (异地希望虫)、*Ammonia annectens* (Parker et Jones) (同现卷转虫)、*Quinqueloculina seminula* (Linné) (半缺五块虫) 等广温广盐属种为优势属种。介形虫丰度为 6 瓣/25 g, 简单分异度为 3, 包含 *Loxoconcha ocellata* (Ho) (眼点弯贝介) 和 *Cushmanidea triangulata* (三角库士曼介)。该段沉积物较细, 但分选性差, 且含少量有孔虫, 应为滨海湖沼相。

LQZ08 孔自下而上依次为滨海湖沼、海岸砂坝、河间洼地和分支河道, 反映了海侵和海退的沉积层序。海平面上升时, LQZ08 孔逐渐受到海洋作用的影响成为海岸带, 形成海岸砂坝; 之后, 河流入海, 形成三角洲平原。

3.3 LQZ11 孔沉积相

LQZ11 孔根据埋深、岩性、粒度和微体特征, 自上而下划分为 4 个沉积单元, 分别命名为 I、II、III 和 IV (图 2-d、e)。

沉积单元 I 埋深 0~1.1 m, 岩性主要为黄色粉细砂, 顶部 30 cm 为细粒化耕作层。沉积物平均粒径为 4.8 ϕ , 分选系数为 1.3, 偏差为 1, 峰态为 3.7。粉砂组分为优势组分, 含量为 67.2%。该层砂粒度较粗, 但分选性较差, 峰态较大, 对应滦河冲积平原上的分支河道。

沉积单元 II 埋深 1.1~2.4 m, 岩性主要为棕色粉砂质泥, 夹 25 cm 厚的灰黄色粉细砂, 大量铁锰质锈染和结核; 与下伏地层渐变接触。沉积物平均粒径为 5.5~6.0 ϕ , 分选系数为 1.2~1.3, 偏差为 0.4~

0.7, 峰态为 2.8~3.1。粉砂组分为优势组分, 含量为 87.8%~88.3%。该层砂粒度较细, 但分选性较好, 峰态较小。综合岩性与典型样品粒度特征, 判断为河间洼地相, 埋深 1.3 m 处见个别海相微体, 反映其靠近海岸, 偶尔受到海洋的影响。

沉积单元 III 埋深 2.4~3.4 m, 岩性主要为绿灰色粉砂质泥, 下部颜色逐渐变为黄灰色, 偶见细小钙核, 砂质略增。含少量贝壳碎屑及炭斑; 与下伏地层突变。沉积物平均粒径为 5.4~7.1 ϕ , 分选系数为 1.3~2.0, 偏差为 -1.2~-0.2, 峰态为 2.1~5.1。粉砂组分为优势组分, 含量为 64.1%~68.0%。该层砂粒度较细, 但分选性较差, 峰态较小。埋深 3.15~3.3 m 微体化石连续分布, 壳体保存良好, 个别壳体表面被腐蚀成棕黄色。该孔埋深 3.15 m 处共见有孔虫 2 属 2 种, 为 *Cribronion porisuturalis* (孔缝筛九字虫)、*Ammonia beccarii* (Linné) (毕克卷转虫), 海相介形虫有 *Limnocythere levis* (Shi et Yang) (光亮湖花介)、*Loxoconcha ocellata* (Ho) (眼点弯贝介)。埋深 3.3 m 处以 *Nonionella tersa* (He et Hu sp. nov.) (洁净小九字虫)、*Cribronion incertum* (Williamson) (易变筛九字虫) 为优势属种, 平均含量占出现种群总量的 71%。有孔虫丰度为 14 瓣/25 g, 简单分异度为 4。介形虫以陆相介形类 *Ilyocypris bradyi* Sars (布氏土星介) 占绝对优势, 为 18 瓣/25 g。海相介形虫以 *Loxoconcha ocellata* (Ho) (眼点弯贝介) 为主。其他常见种有 *Tanella opima* (Chen) (丰满陈氏介)、*Spinileberis furuyaensis* (Ishizaki et Kato) (古屋刺面介)、*Munseyella pupilla* (Chen) (瞳孔穆赛介)。综合岩性与典型样品粒度特征, 判断为潟湖相。

沉积单元 IV 埋深 3.4~4.6 m, 岩性上部主要为黄灰色、灰黑色泥质粉细砂, 下部渐变见锈染, 下部多生物碎片, 多蛭、牡蛎等; 与上覆地层渐变接触。沉积物平均粒径为 3.6~4.4 ϕ , 分选系数为 2~2.1, 偏差为 0.4~1.1, 峰态为 2~3.1。砂组分为优势组分, 含量为 47.7%~69.7%。该层砂粒度较粗, 但分选性较差, 峰态较小, 混有细颗粒物质, 埋深 4.3 m 处见个别海相微体分布, 对应滨海砂坝相。

LQZ11 孔自下而上依次为滨海砂坝、潟湖、河间洼地和分支河流, 反映了海侵和海退的沉积层序。海平面上升时, 海侵形成滨海砂坝和潟湖, 之后, 滦河入潟湖逐步进积, 形成河间洼地和分支河道的反粒序三角洲旋回。

3.4 时空变化特征

以 LQZ02、LQZ08 和 LQZ11 孔为基准, 结合 JZK01 孔、JZK02 孔和 JZK03 孔, 组成一条西北—东南向剖面(图 3), 以此分析滦河口北部七里海地区中晚全新世沉积演化过程。

LQZ02 孔位于毛河北泥炭田边, 却未探测泥炭, 泥炭田应为局地沉积。LQZ02 孔地层和泥炭田为同期异相沉积。埋深 0~0.80 m 为滦河冲积扇上的分流河道。埋深 0.80~1.35 m 为扇前湖沼, 其旁边泥炭田埋深 0.7 m 处的年代为 5569~4860 a B.P.^[44]。埋深 1.35~3.16 m 为水下河道, 其旁边泥炭田埋深 1.9 m 处的年代为 6540~5768 a B.P.^[44]。LZK02 孔揭示约 6 ka B.P. 为水下河道, 5~6 ka B.P. 形成扇前湖沼, 5 ka B.P. 以来形成冲积扇。

LQZ08 孔埋深 0~1.25 m 为分选性和磨圆度均较好的分支河道相; 埋深 1.25~2.25 m, 为河间洼地; 埋深 2.25~3.6 m 为滨海砂坝, 其下为湖相粘土,

滨海砂坝中夹一段厚 5 cm 的泥炭, 其年代为 1179~1047 a B.P.。LZK08 孔中滨海砂坝至分支河道发育的时代为晚全新世, 其下的湖相可能和 LZK02 孔中冲积扇为同期沉积。

JZK01 孔埋深 0~1.1 m 为黄棕色粉砂质砂, 与下伏地层呈突变关系, 属于分支河道相。埋深 1.1~3.1 m 为暗灰色粉砂质泥, 质地均一, 含少量植物残体, 为潟湖相; 其中埋深 1.4 m 和 2.4 m 处分别用植物残体和腐殖质泥进行了¹⁴C 测定, 植物残体的年龄分别为 917~760 a B.P. 和 315~266 a B.P., 腐殖质泥样品年龄为 1398~1302 a B.P. 和 1286~1180 a B.P.。埋深 3.1~4.0 m 为黄灰色泥质粉细砂, 含海相贝壳碎片, 为滨海砂坝相; 其下为湖相砂体。

LQZ11 孔埋深 0~1.1 m 为分支河道相, 埋深 1.1~2.4 m 为河间洼地, 埋深 2.4~3.4 m 为潟湖相, 埋深 3.4~4.6 m 为滨海砂坝, 未钻透。该孔没有绝对年龄, 但其地层层序中滨海砂坝、潟湖和 JZK01、

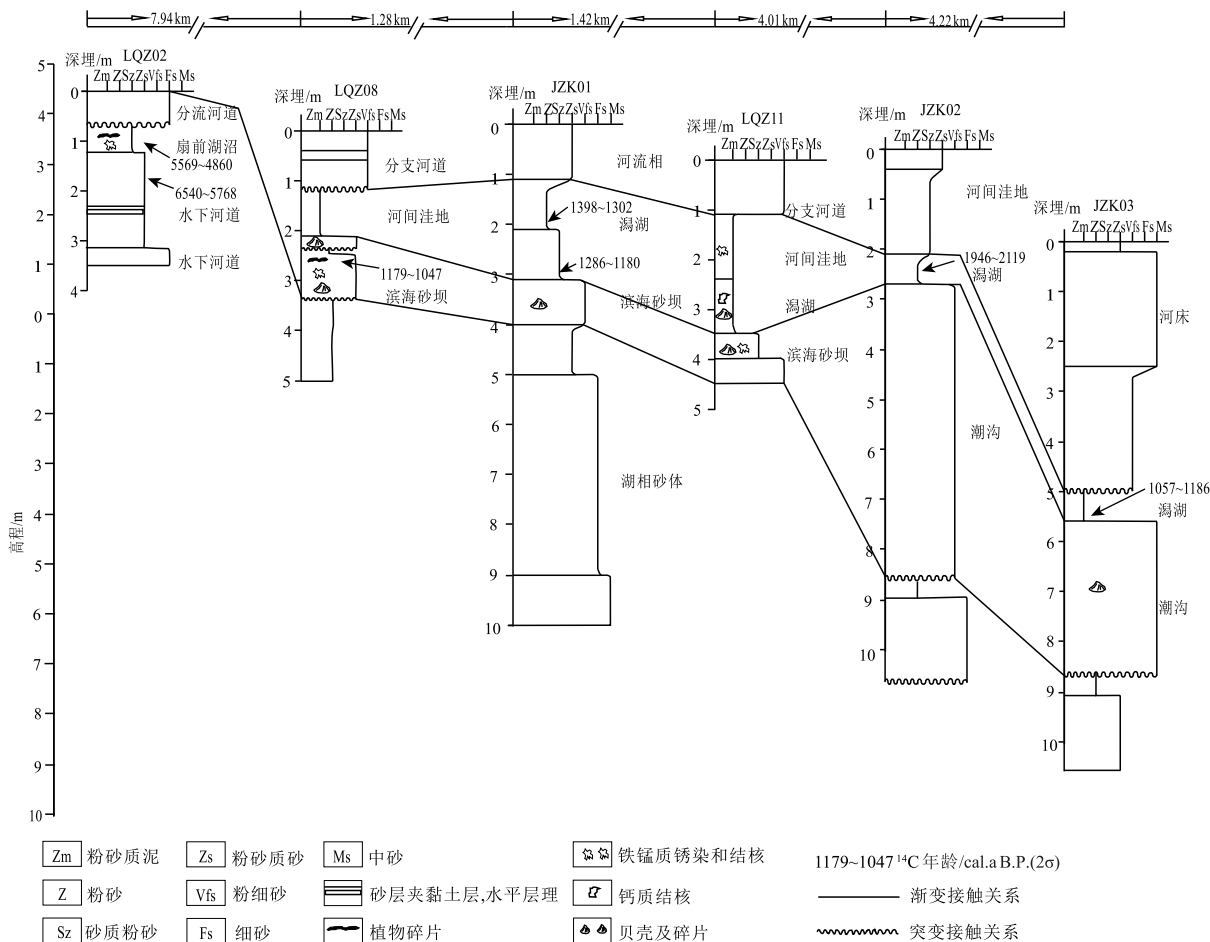


图 3 七里海地区钻孔联合剖面沉积相和地层特征

Fig. 3 Sedimentary facies and stratigraphic characteristics of boreholes of the Qilihai area

LQZ08 孔中对应的应为同期。

JZK02 孔埋深 0~2.1 m 为黄棕色粉砂质砂和砂质粉砂,含锈染和钙核,为河间洼地相;埋深 2.1~2.7 m 为暗灰色粉砂质泥,质地均一,为潟湖相,其中埋深 2.4 m 处植物残体年龄为 2119~1946 a B.P.;埋深 2.7~8.5 m 为橄榄灰色粉细砂,为潮沟相;其下为湖相。

JZK03 孔位于现代滦河河床中,埋深 0~5.1 m 为河床砂;埋深 5.1~5.5 m 为暗灰色粉砂质泥,质地均一,年龄为 1186~1057 a B.P.;埋深 5.5~8.6 m 为橄榄灰色粉细砂、细砂,多含海相贝壳碎片,为潮沟相;其下为湖相。

4 讨 论

4.1 沉积演化过程

约 6 ka B.P., 研究区以湖泊为主, LQZ08 至

JZK03 孔之间既有湖相粘土,也有湖相砂体, LQZ02 孔则为水下河道(图 4),说明此时区域为靠近山前的湖泊,物源供给丰富。渤海湾西岸、西北岸均在 7~6 ka B.P. 达到最大海侵^[16,33,42],但研究区为湖相,尤其是 LQZ02 孔附近的泥炭田中也未发现海相微体^[44]。滦河口外 H2 孔埋深 0~9 m 为近 300 年来的海相沉积物,埋深 9~14 m 为中、晚全新世的河流相,粒径粗、分选性差,多淡水介形类和螺类^[38]。中全新世,滦河口外河流相阻挡了海水入侵研究区。

5 ka B.P., LQZ02 孔附近形成扇前湖沼,以湖相粘土为主,但多含细砂颗粒,指示其受到冲积扇上颗粒沉积物的影响。其他钻孔也均为湖相。后随冲积扇进积, LQZ02 孔发育冲积扇上的分流河道(图 4)。这也说明现今滦河北部的砂垄形成于中全新世。扇前湖沼-冲积扇分流河道的沉积组合构成湖相三角洲-冲积扇模式。

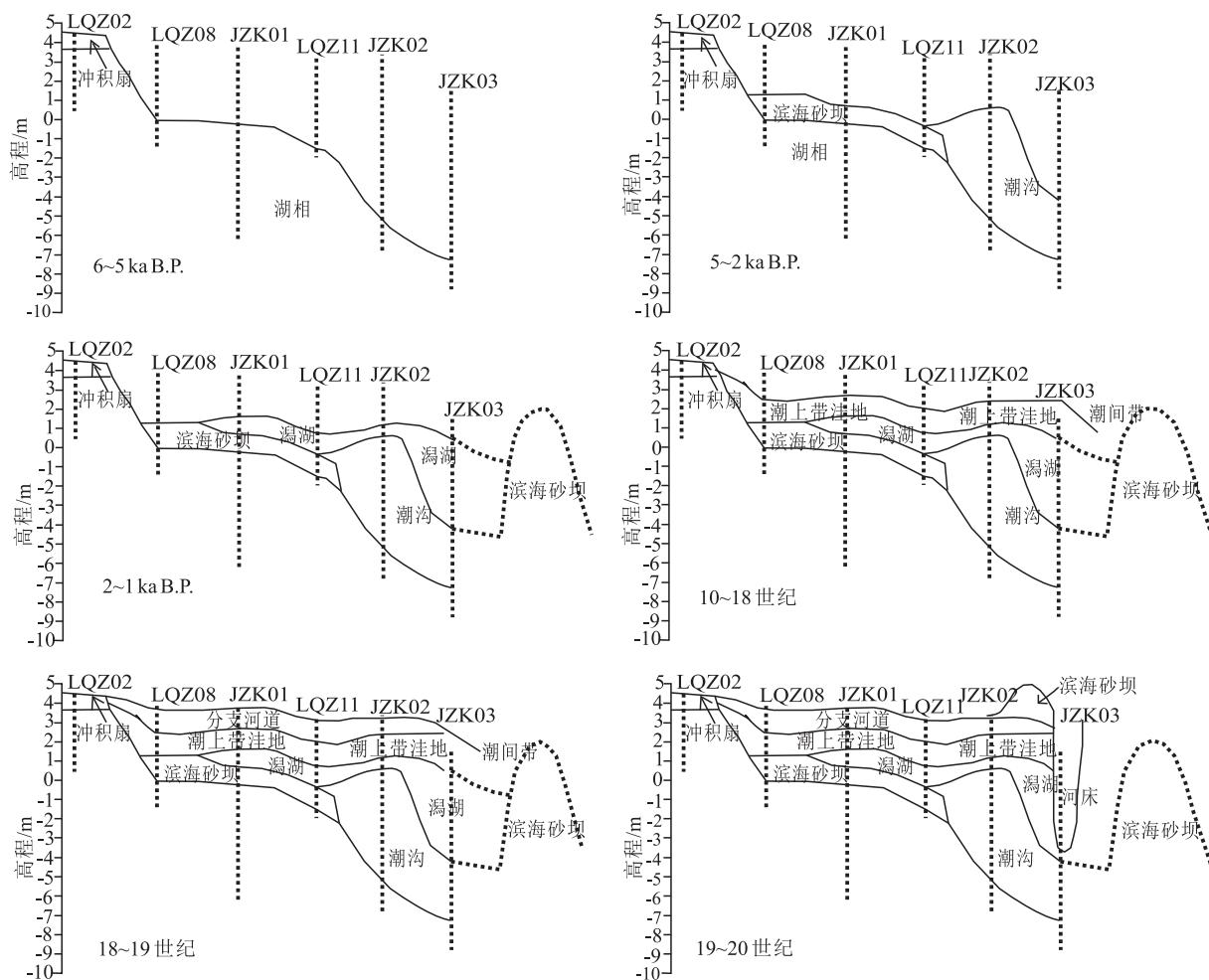


图 4 滦河口北部七里海地区中晚全新世演化过程

Fig. 4 Mid-Late Holocene sedimentary evolution process of the Qilihai area in northern Luanhe Estuary

5~2 ka B.P.,海平面缓慢上升或接近现今海平面^[42,45],研究区受到海洋动力的影响,LQZ08、JZK01 和 LQZ11 孔形成厚约 1 m 的滨海砂坝,其顶界高程约 1.35 m,向海一侧 JZK02 和 LZK03 孔发育潮沟(图 4)。7~6 ka B.P.之后,渤海湾西岸黄河入海形成三角洲和贝壳堤的地貌沉积体系^[32];西北岸西段海岸线开始逐渐退缩,形成牡蛎礁平原。研究区由于沉积物物源供给较少,仍发育海侵体系,至 2 ka B.P.形成较小规模的滨海砂坝。此时,滦河三角洲-冲积扇地貌沉积体系最东端大致在翡翠岛的北端。

约 2 ka B.P.,西汉末期,海平面上升发生海侵^[46],这次海侵可能延续到汉唐以后^[47-50]。研究区 JZK01~JZK03 孔均在 2~1 ka B.P.发育潟湖相,其顶板高程约 1.65 m(图 4)。推测此时 JZK03 孔外侧应发育滨海砂坝,和研究区的潟湖组成区内第一次砂坝-潟湖地貌沉积体系。

18 世纪以前,滦河在过马城、汀流河镇之后,多南行入海,较少向东侧流^[8,51]。研究区潟湖逐渐淤积,形成厚约 1 m 的潮上带(图 4)。18~19 世纪,滦河东流,在胡家坨、荷花池一带入海,测区内潮上带之上发育分支河流,砂磨圆度、分选性均较好。至此,滦河发育形成入潟湖的三角洲平原。

19 世纪,JZK03 孔外侧发育滨海砂坝,滦河入海泥沙在海洋动力作用下,泥沙向岸运移,被东北强风长期吹扬和改造成为翡翠岛一带的风成沙丘带,并部分覆盖在冲积平原之上。

滦河口北侧海岸砂坝、西部中全新世冲积扇、南部滦河冲积平原,将七里海一带的冲积扇前缘沼泽合围成湖沼。1883 年,滦河洪水东堤溃决,河水侵入七里海^[52],加之饮马河、潮河等河洪水注入,围封七里海湖沼的海岸砂坝最终被洪水冲开,七里海转变成潟湖。19 世纪,研究区第二道砂坝-潟湖地貌沉积体系形成。现今海岸砂坝-翡翠岛仍在缓慢向陆迁移^[53]。

1915 年,滦河北岸八爷铺沙丘被洪水冲决,埋藏的潟湖相泥炭层在河岸出露。岸线自王庄子推展至莲花池村一带^[54]。

4.2 沉积演化模式

研究区中晚全新世发育湖相三角洲-冲积扇,晚全新世发育砂坝-潟湖和海相三角洲,近现代发育砂坝-潟湖地貌沉积体系。

中全新世湖相三角洲-冲积扇体系中的湖相三角洲,在 LQZ02 孔中为水下河道,其粒度和分选系数与现今滦河冲积平原中的分支河道相似,说明其经历较长距离的搬运和分选,与上覆的冲积扇具有明显的差异。在 LQZ08 孔中为湖相粘土,粒度小,但分选性差,应是混合了水下河道的砂,属于前三角洲相。随着冲积扇的进积,LQZ02 孔成为湖沼,沉积物颗粒较细,但分选系数较差,应为冲积扇的粗颗粒物质混入湖沼中,形成扇前湖沼。之后,LQZ02 成为冲积扇,沉积物粒度较粗,分选较差。

晚全新世砂坝-潟湖地貌沉积体系,JZK01、LQZ11 JZK02 和 JZK03 孔中均发育潟湖相,JZK03 孔向海的外侧发育滨海砂坝。LQZ11 孔潟湖相显示粒度向上减小,分选性逐渐变好,偏差和峰态均有相应的变化。同样,介形类也显示向上减少的特征。这与沉积过程相关,潟湖相下伏滨海砂坝相,为海洋动力较强区域,沉积物颗粒粗,多有孔虫和介形类;当海水上升冲刷下伏滨海砂坝,水位逐渐上升后,沉积物的粒度和微体都逐渐减小。之后,潟湖被逐渐淤塞形成潮上带。

晚全新世海相三角洲则为潟湖-潮上带-分支河道(河间洼地)的地貌沉积体系。LQZ11 孔中海相三角洲明显为反粒序旋回,潮上带沉积物颗粒较细,分选较好,与上覆的分支河道中砂层基本相当,说明其经历了较长的分选和搬运。研究区的海相三角洲仅为上三角洲部分。

19 世纪末期,现今的翡翠岛-七里海砂坝-潟湖地貌沉积体系形成。潟湖是在冲积扇前缘洼地的基础,由冲积平原、海岸砂坝等合围而成,其基底仍为粗颗粒的砂层,并未发育潟湖相粘土。翡翠岛砂坝现今仍向陆缓慢迁移^[55-56],而七里海潟湖由于开垦和来水减少而不断萎缩^[10,46,51]。

滦河北部的砂垄应属于滦河三角洲-冲积扇体系,为冲积扇-湖相三角洲的组合模式。晚全新世七里海南部发育入潟湖的小型海相三角洲,仅发育上三角洲。现今翡翠岛-七里海潟湖为海侵地貌沉积体系。因此,七里海一带中晚全新世经历了不同的地貌沉积时期,整体应属于滦河三角洲-冲积扇体系。

5 结 论

(1)6~5 ka B.P.,研究区七里海以西区域发育

冲积扇-湖相三角洲,沉积组合为:三角洲前缘的水下河道,沉积物具有较好的分选性和磨圆度;上覆水下三角洲的扇前湖沼,分选性较差,混入冲积扇的粗颗粒物;最上层为冲积扇分流河道,沉积物较粗,但分选性差。七里海以东区域则为三角洲前缘的湖相粘土或湖相砂体。

5~2 ka B.P.,七里海南部和东部区域受到海洋作用的影响,南部区域形成滨海砂坝,粒度较粗,但分选性差,同时具有海洋和淡水 2 种类型的微体古生物;东部区域则为潮沟相,砂层中多含海相贝壳碎片。

2~1 ka B.P.,七里海东南部区域普遍形成潟湖,推断在现今海岸线外侧应分布一道海岸砂坝,形成第一次砂坝-潟湖地貌沉积体系,为海侵型浪控海相三角洲体系。至 18 世纪,滦河在南部马头营一带入海,七里海区域也逐渐被淤积,形成潮上带。18~19 世纪,滦河东流,先是形成老米沟、二滦河等河道,七里海南部区域也发育一些分支河道。七里海南部则形成潟湖-潮上带-分支河道(河间洼地)的三角洲沉积组合。同时,第一次的砂坝-潟湖地貌沉积体系中的海岸砂坝,不断向陆迁移至翡翠岛一带,并和西部中全新世扇前洼地沼泽、南部滦河冲积平原的分支河流和河间洼地,将七里海一带合围成浅水湖沼相。1883 年滦河洪水使七里海由淡水湖转变成潟湖。滦河于 1915AD 冲开翡翠岛南部沙丘形成现今滦河三角洲。

(2) 研究区中晚全新世发育冲积扇-湖相三角洲,晚全新世发育砂坝-潟湖和海相三角洲,近现代发育砂坝-潟湖地貌沉积体系。滦河北部的砂垄属于滦河冲积扇-三角洲体系。

致谢:感谢聊城大学刘开明共同参加野外工作。

参考文献

- [1] 刘振夏.现代滦河三角洲的影响因素和沉积物分区[J].黄渤海海洋,1989,7(4): 55-64.
- [2] 王颖,傅光翻,张永战.河海交互作用沉积与平原地貌发育[J].第四纪研究,2007,27(5): 674-689.
- [3] 李从先,陈刚,王秀强.滦河以北海岸风成砂沉积的初步研究[J].中国沙漠,1987,7(2): 12-22.
- [4] 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.
- [5] 董玉祥,黄德全.河北昌黎翡翠岛海岸沙丘移动的初步观测[J].中国沙漠,2013,33(2): 486-492.
- [6] 杨庆洪,左文喆,祝彬.河北滦县-滦南县段滦河冲积平原水文地

- 质特征分析[J].地质与资源,2020,29(4): 374-379+362.
- [7] 高善明.对滦河三角洲一些补充和再认识[J].地理学报,1982,37(4): 424-426.
- [8] 李从先,陈刚,王传广,等.论滦河冲积扇-三角洲沉积体系[J].石油学报,1984,5(4): 27-36.
- [9] 薛春汀.滦河冲积扇-三角洲的范围和类型及其演化[J].海洋地质与第四纪地质,2016,36(6): 13-22.
- [10] 冯金良.七里海泻湖的形成与演变[J].海洋湖沼通报,1998,(2): 6-11.
- [11] 许世远,陈中原.中国大河三角洲发育的共同性与差异性[J].地理学报,1995,50(6): 481-490.
- [12] Xu Q M, Yang J L, Yuan G B, et al. Stratigraphic sequence and episodes of the ancient Huanghe Delta along the southwestern Bohai Bay since the LGM[J]. Marine Geology, 2015, 367: 69-82.
- [13] He L, Xue C T, Ye S Y, et al. New evidence on the spatial-temporal distribution of superlobes in the Yellow River Delta Complex [J]. Quaternary Science Reviews, 2019, 214: 117-138.
- [14] Zhang X, Dalrymple R W, Lin C M. Facies and stratigraphic architecture of the Late Pleistocene to early Holocene tide-dominated paleo-Changjiang (Yangtze River) delta [J]. Geological Society of America Bulletin, 2017, 130(3/4): 455-483.
- [15] Wang Z H, Saito Y, Zhan Q, et al. Three-dimensional evolution of the Yangtze River mouth, China during the Holocene: impacts of sea level, climate and human activity [J]. Earth-Science Reviews, 2018, 185: 938-955.
- [16] 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.
- [17] 刘福寿.滦河下游冲积扇三角洲发育与构造特征的关系[J].海岸工程,1989,8(4): 44-50.
- [18] 胥勤勉,袁桂邦,秦雅飞,等.滦河三角洲南部 MT04 孔磁性地层研究及其构造与气候耦合关系的探讨[J].第四纪研究,2014,34(3): 540-552.
- [19] Qi J F, Yang Q. Cenozoic structural deformation and dynamic processes of the Bohai Bay basin province, China [J]. Marine and Petroleum Geology, 2010, 27(4): 757-771.
- [20] 漆家福,张一伟,陆克政,等.渤海湾盆地新生代构造演化[J].石油大学学报(自然科学版),1995,19(增刊): 1-5.
- [21] 郭兴伟,施小斌,丘学林,等.渤海湾盆地新生代沉降特征及其动力学机制探讨[J].大地构造与成矿学,2007,31(3): 273-280.
- [22] 汤良杰,万桂梅,周心怀,等.渤海盆地新生代构造演化特征[J].高校地质学报,2008,14(2): 191-198.
- [23] 袁桂邦,胥勤勉,王艳,等.渤海湾北岸 Bg10 孔磁性地层研究及其构造意义[J].地质学报,2014,88(2): 285-298.
- [24] 陈双喜,赵信文,黄长生,等.珠江三角洲晚第四纪环境演化的沉积响应[J].地质通报,2016,35(10): 1734-1744.
- [25] 李元芳,高善明,安凤桐.滦河三角洲地区第四纪海相地层及其古地理意义的初步研究[J].海洋与湖沼,1982,13(5): 433-439.
- [26] 高峰,胥勤勉,袁桂邦,等.渤海湾北岸 TZ02 孔晚新生代沉积环境演化过程[J].第四纪研究,2017,37(3): 667-678.
- [27] 杨会利,袁振杰,高伟明.七里海泻湖湿地演变过程及其生态环境效应分析[J].湿地科学,2009,7(2): 118-124.

- [28] 高善明,李元芳,安凤桐,等.滦河三角洲滨岸沙体的形成和海岸线变迁[J].海洋学报,1980,2(4): 102-114.
- [29] 陈刚,李从先.河北七里海砂坝-泻湖的沉积特征及发育过程[J].黄渤海海洋,1984,2(2): 39-48.
- [30] 周卫彪.七里海潟湖湿地生态系统健康评价[D].河北师范大学硕士学位论文,2014: 1-49.
- [31] 姜锋,李志忠,靳建辉,等.基于 GPR 图像的河北昌黎海岸横向沙脊中段沉积构造及其成因[J].地理研究,2015,34(8): 1559-1568.
- [32] 胥勤勉,胡云壮,袁桂邦,等.渤海湾西南岸古黄河三角洲全新世地层层序和演化过程[J].第四纪研究,2015,35(2): 326-339.
- [33] 闫晓洁,胥勤勉,范友良,等.渤海湾西北岸 HG01 孔晚更新世以来的微体化石特征及沉积演化过程[J].第四纪研究,2017,37(1): 97-107.
- [34] 郑守仪,郑执中,王喜堂,等.山东省打渔张灌区第四纪有孔虫及其沉积环境的初步探讨[J].海洋科学集刊,1978: 16-78.
- [35] 汪品先,章纪军,赵泉鸿,等.东海底质中的有孔虫与介形虫[M].北京:海洋出版社,1988: 1-307.
- [36] 侯佑堂,勾韵娴.中国介形类化石(第二卷)[M].北京:科学出版社,2007: 1-798.
- [37] McManus J. Grain size determination and interpretation[C]//Tucker M. Techniques in Sedimentology. Oxford: Blackwell, 1988: 63-85.
- [38] 于晓晓.现代滦河三角洲末次盛冰期以来层序地层学的初步研究[D].国家海洋局第一海洋研究所硕士学位论文,2016: 1-96.
- [39] 赵琳琳,胥勤勉,杨吉龙,等.渤海湾北岸 BG10 孔晚新生代沉积环境演化过程[J].第四纪研究,2016,36(1): 196-207.
- [40] Bronk Ramsey C. Bayesian analysis of radiocarbon dates [J]. Radiocarbon, 2009, 51(1): 337-360.
- [41] Reimer P J, Bard E, Bayliss A, et al. IntCal 13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal. B. P. [J]. Radiocarbon, 2013, 55(4): 1869-1887.
- [42] Xu Q M, Meng L S, Yuan G B, et al. Transgressive wave-and tide-dominated barrier-lagoon system and sea-level rise since 8.2 ka recorded in sediments in northern Bohai Bay, China [J]. Geomorphology, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106978>.
- [43] 李元芳,牛修俊,李庆春.海河河口地区全新世环境及其地层[J].地理学报,1989,44(3): 363-375.
- [44] 王宏,范昌福.环渤海海岸带¹⁴C 数据集(Ⅱ)[J].第四纪研究,2005,25(2): 141-156.
- [45] 李建芬,商志文,王宏,等.渤海湾西部现代有孔虫群垂直分带的特征及其对全新世海面、地质环境变化的指示[J].地质通报,2010,29(5): 650-659.
- [46] 杨静,曾昭爽.昌黎黄金海岸七里海泻湖的历史演变和生态修复[J].海洋湖沼通报,2007, (2): 34-39.
- [47] 韩嘉谷.西汉后期渤海湾西岸的海侵[J].考古,1982, (3): 300-303.
- [48] 王文,谢志仁.从史料记载看中国历史时期海面波动[J].地球科学进展,2001,16(2): 272-278.
- [49] 吴忱,魏福利.华北地区晚全新世初期环境变化分析[J].地理与地理信息科学,2003,19(2): 97-101.
- [50] 陈可畏.论西汉后期的一次大地震与渤海西岸地貌的变迁[J].考古,1979, (2): 181-185.
- [51] 郭文英,范成.滦河下游河道历史迁徙与相关河道水文特征[J].地理学与国土研究,1989,5(4): 45-51.
- [52] 徐兴永,李萍,刘乐军,等.河北七里海外海岸沙丘群成因新探[J].海洋科学进展,2006,24(3): 349-354.
- [53] 董玉祥,黄德全.海岸新月形沙丘移动与形态变化的典型研究[J].地理科学,2014,34(7): 863-869.
- [54] 刘福寿.现代滦河三角洲发育特征[J].海洋通报,1993,12(1): 54-60.
- [55] 黄德全,董玉祥,哈斯,等.海岸横向沙脊的移动与形态变化——以河北昌黎黄金海岸横向沙脊为例[J].地理研究,2011,30(12): 2229-2238.
- [56] 蓝先洪,徐晓达,王中波,等.渤海西部表层沉积物的稀土元素分布特征与物源约束[J].地球学报,2018,39(1): 37-44.