

DOI: 10.3724/SP.J.1140.2014.05025

黄河三角洲北部全新世地层及古环境演变

赵广明^{1,2,3}, 叶青^{2,3}, 叶思源^{1,2,3}, 丁喜桂^{1,2,3}, 袁红明^{1,2,3}, 王锦^{1,2,3}

(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. 国土资源部 海洋油气资源与环境地质重点实验室, 青岛 266071; 3. 青岛海洋地质研究所, 青岛 266071)

摘要:根据2007年在黄河三角洲北部布设的一口31 m浅钻和9个探槽的沉积学观测、微体古生物鉴定等资料,通过对黄河三角洲北部ZK3孔的地层分析,将其全新世地层自上而下划分为现代黄河三角洲沉积、浅海沉积、潮坪沉积和河流沉积4层,将现代黄河三角洲沉积进一步划分为4个亚层,并解释了古环境演变。结合黄河频繁改道的详细历史记录,运用历史地理学和沉积地质学综合分析的方法对现代黄河三角洲沉积部分进行了精确的年代划分,其他层位也进行了年代推测,并与黄河三角洲北部其他钻孔进行了对比分析。

关键词:全新世;古环境演变;黄河三角洲北部

中图分类号:P736.21 文献标识码:A 文章编号:0256-1492(2014)05-0025-08

近年来,关于黄河口地区古地理和古环境变化的研究越来越多^[1-5]。黄河三角洲地区全新世海侵只发生一次,大约在8 000 aBP全新世海侵到达现在的海岸线,在6 000~7 000 aBP达到海侵的最大边界:无棣的柳堡,经天津的牛庄至昌邑以北。1855年黄河在河南兰阳铜瓦厢决口,在山东利津、宁海东北入渤海,形成现代黄河三角洲。Bornhold等和Prior等都对现代黄河三角洲的水下三角洲进行了研究,他们将水下三角洲划分为三角洲平台、三角洲前缘斜坡和三角洲隆起^[6-7],这样的划分只反映了黄河口前方的地貌变化,而对两侧并不适用,很难将上述划分应用于钻孔岩心的沉积环境分析。成国栋等根据河控三角洲传统的沉积环境划分并结合黄河三角洲河口侧部黏土质粉砂特别发育的特点,对现代黄河三角洲沉积环境进行了划分^[8],本研究采用该沉积环境划分模式对ZK3孔进行沉积层序分析。

虽然黄河三角洲地区全新世地层研究的成果很多,但现代黄河三角洲沉积物的年代研究不够详细,很多沉积年代的研究利用了现代的同位素方法,但存在很多弊端。现代黄河三角洲是1855年以后形成的,到现在也只有150多年的历史,这已经不在¹⁴C测年的有效范围之内。虽然²¹⁰Pb是百年尺度内

测年的一种好方法,但需要具有稳定的物源、稳定的沉积速率及沉积后未受改造。冰川和湖泊沉积更易满足这些条件,陆架沉积物只能基本满足^[9],黄河三角洲分流河道频繁改动,一个地区并不稳定连续地接受沉积物,常常出现沉积间断,沉积年代也不连续,无法满足上述条件。然而黄河分流河道摆动有清晰的历史记录,1934年以来的记录尤其清晰,三角洲的沉积物空间分布有明显的规律可循。为此,薛春汀等(2009)提出应用历史地理学和沉积地质学综合分析确定年代的科学方法,本文在此方法基础上,结合海平面变化等资料,来确定不同沉积环境的沉积年代。

1 材料与方法

1.1 样品获取

研究所用ZK3孔沉积柱样,系中国地质调查局2007年执行“黄河三角洲滨海湿地综合地质调查与评价”项目所获样品,孔深31 m,岩心直径76 mm,采心率81.9%。钻机型号为XY-100,为了确保有足够的动力进行较长的单回次取心,选择了100 m钻机。该孔位于东营黄河三角洲北部湿地保护区北端(38°08'40"N,118°49'00"E)(图1),孔口高程1.77 m,室内对该岩心进行了详细的描述。

ZK3孔最上部的上三角洲平原沉积由于后期的人类改造扰动很大,破坏了其最初的沉积层序,为此我们在黄河三角洲北部沿着钓口流路布置一条傅窝农场—老10排涝站剖面,在该剖面上挖了9个

基金项目:国家自然科学基金项目(41406082);国土资源部地质调查项目(1212010611402);国土资源部公益性行业基金(201111023);国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室基金(MRE2012030);海洋地质保障工程项目(GZH201200503)

作者简介:赵广明(1984—),男,助理研究员, E-mail: guangming_210@163.com

收稿日期:2013-09-14;改回日期:2013-11-25. 文凤英编辑

1.5~2.5 m 深的探槽,分别为 DY3-132、DY3-129、DY3-125、DY3-86、DY3-54、DY2-A、DY2-D、DY2-B、DY2-C,具体见图 1,以揭示现代黄河三角洲北部上三角洲平原的沉积层序。每个站点点都选择天然地面(无人类改造),采用人工挖坑的方式,一直挖到浅表层地下水结束。

1.2 微古分析

微体古生物分析由国土资源部海洋地质实验检测中心完成。鉴定仪器为奥林巴斯 SZX7 型体视显微镜,分析样品为 20 g 干样,使用 0.063 mm 孔径的铜筛,按常规方法对 33 个样品进行分析、鉴定。

1.3 沉积学观测与年代确定方法

根据分流河道变迁图、不同年代的地形图和海区水深图,可判断沉积环境,追踪物质来源,判断沉积物是从哪一个分流河道输送来的,该分流河道的

活动年代就是该层沉积物的年代。分流河道改道后,新河口沉积物位于老河口的侧部或两个老河口之间,年轻的三角洲前缘粉砂覆盖在老三角洲侧缘黏土质粉砂之上,年轻的三角洲侧缘黏土质粉砂覆盖在老三角洲前缘粉砂之上,这是黄河三角洲常见的沉积层序,根据历史上河口的位置及海区水深图可以精确地确定沉积年代。高程是沉积环境和年代判断的另一个非常重要的因素^[10]。

1.4 RTK 高程测量

利用 4 台 RTK5700 和 4 台 RTK5800 通过 3 个 3~4 级控制点对研究区 15 个点进行同步静态测量,测量结果经 Trimble Geomatics Office (TGO) 软件进行控制点平差处理后,得到该区 7 个参数。通过 15 个控制点,采用一个基准站、两个流动站的方法,对 9 个站位进行高程点测量。

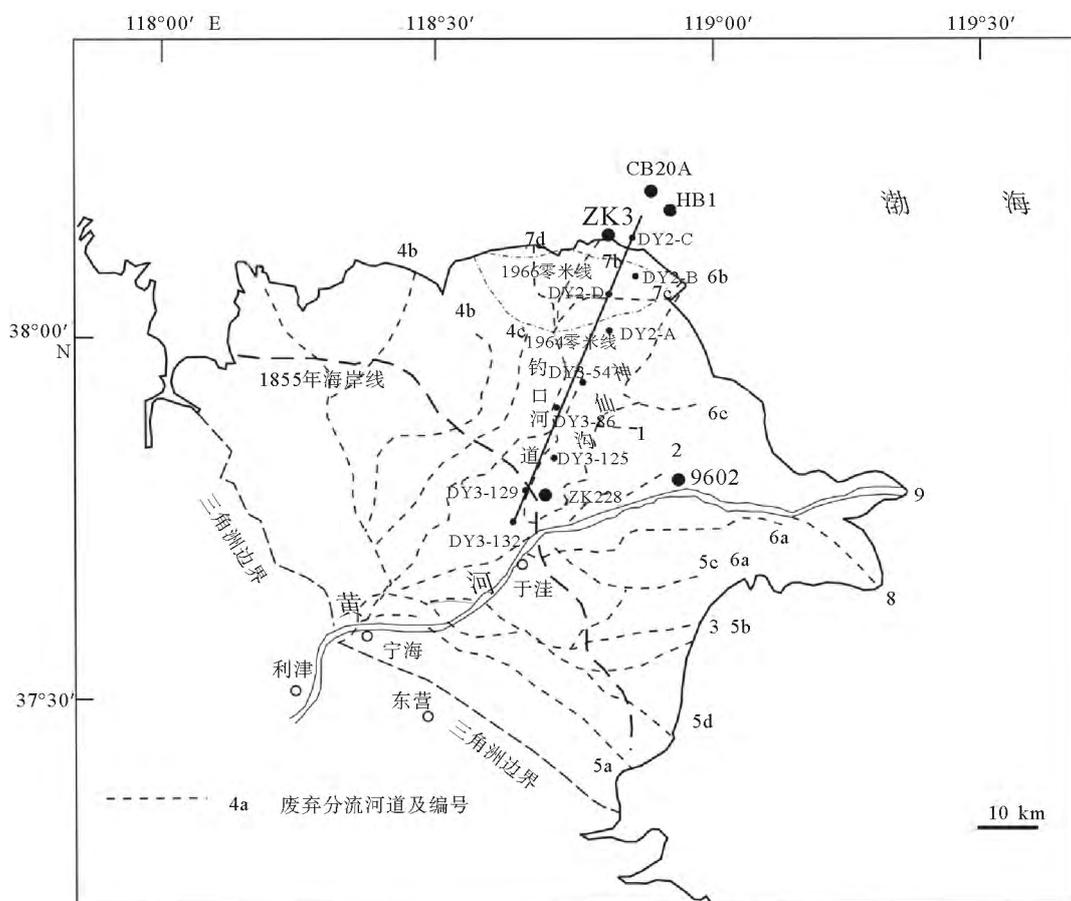


图 1 钻孔位置及现代黄河三角洲分流河道历史变迁

(分流河道时间顺序以阿拉伯数字表示,其后的英文字母表示分流河道活动的先后顺序。1. 1855—1889 年;2. 1889—1897 年;3. 1897—1904 年;4a-c. 1904—1929 年;4a. 1904—1917 年;4b. 1917—1926 年;4c. 1926—1929 年;5a-d. 1929—1934 年;6a-c. 1934—1964 年;6a. 1934—1953 年;6b. 1934—1960 年;6c. 1960—1964 年;7a-d. 1964—1976 年;7a. 1964—1966 年,处于漫流和频繁改道状态,未标明具体位置;7b. 1967—1972 年;7c. 1972—1974 年;7d. 1974—1976 年;8. 1976—1996 年;9. 1996—2006 年)

Fig. 1 Location map showing the channel shifting history of modern Yellow River and coring site

2 结果与讨论

2.1 全新世地层

ZK3 孔全新世地层自上而下可分为 1855—1976 年的现代黄河三角洲沉积 (I)、8 600 aBP 至 1855 年的浅海沉积 (II)、8 800~8 600 aBP 的潮坪沉积 (III)、8 800 aBP 前的河流沉积 (IV), 其中现代黄河三角洲又可分为 1964—1966 年河口沙坝和 1966—1976 年的三角洲平原 (I₁)、1934—1938 年和 1947—1960 年三角洲侧缘 (I₂)、1926—1929 年的三角洲前缘 (I₃)、1855—1889 和 1917—1926 年的前三三角洲 (I₄) 4 个亚层 (图 2)。

2.1.1 8 800 aBP 前的河流沉积 (IV 层)

该层位于孔深 28.19~31 m 处, 高程 -26.42~-29.23 m, 厚 2.81 m, 灰黄色粉砂, 成分及颜色很均一, 含水量大, 无分层, 偶见黑色有机质, 反映了河流环境, 为晚更新世末至全新世早期海侵前的河流沉积。据 ZK228 孔^[11] 河流沉积与上层潮坪沉积的界限处样品¹⁴C 测年为 8 835 aBP, 我们估算该层为约 8 800 aBP 之前形成的河流沉积。

2.1.2 8 800~8 600 aBP 的潮坪沉积 (III 层)

该层位于孔深 23.5~28.19 m 处, 高程 -21.79~-26.42 m, 厚 4.63 m, 该层多见黑色有机质夹层, 含红褐色氧化铁物质, 灰黄色黏土质粉砂, 成分、颜色均一, 含水量大, 在 27.26 m 处见一完整淡水螺及贝壳碎片, 反映了潮坪环境, 为全新世早期海侵过程中形成的潮坪和潮区间河流沉积。对于该层沉积物形成的年限, 我们尝试着用以下方法进行推算。Till J J Hanebuth 通过收集南海南部巽他陆架的钻孔资料, 重建了 21 000 aBP 到现在海平面的变化历史^[12], 从中我们看到 21 000 aBP 到现在海平面基本在不断上升, 20 000 aBP 海平面大约在 -125 m, 到 7 000 aBP, 海平面上升到 0 m 的位置, 作者估算海平面上升的平均速率为 $12\ 500\text{ cm} \div 13\ 000\text{ a} = 0.96\text{ cm/a}$ 。渤海西部的平均潮差为 2 m 左右, 因此, 海侵过程中形成的这层潮坪沉积物形成年限 = 平均潮差 / 海平面上升平均速率, 即 $200\text{ cm} \div 0.96\text{ cm/a} = 208\text{ a}$, 即该层潮坪沉积形成的时间大约为 8 800~8 600 aBP。

2.1.3 8 600 aBP 至 1855 年的浅海沉积 (II 层)

该层位于孔深 17.7~23.56 m 处, 高程 -15.93~-21.79 m, 厚 5.86 m, 该层上部多见黄褐色黏土质粉砂, 有机质含量较高, 在 18.96 m 处

见贝壳碎片; 19.3~20 m 以灰色黏土质粉砂为主, 夹有黄色黏土质粉砂及灰色粉砂, 见大量虫孔构造, 有机质从上往下土质颜色变深; 下部以黄褐色黏土质粉砂为主, 见虫孔构造及透镜体, 有大量生物扰动构造; 本层主要种属之一 *P. turberculacum*, 对盐度比较敏感, 在河口等盐度低的地方分布很少, 主要生活在浅海环境, 表明该层黄河淡水的影响显著小于上部诸层。另外, 有孔虫的种数和丰度均较其他层位高, 指示水动力条件较为稳定、沉积速率低的浅海环境, 因此, 此层位为海侵体系域和高位体系域形成的浅海沉积, 其形成的年代范围为 8 600 aBP 至 1855 年。

2.1.4 1855—1889 年和 1917—1926 年的现代黄河三角洲的前三角洲沉积 (I₄ 层)

该层位于孔深 13.77~17.7 m 处, 高程 -12~-15.93 m, 厚 3.93 m, 该层黄褐色黏土质粉砂, 含水量少, 成分均一, 致密, 在 14.77~14.82 m 处见 -2 mm×5 mm 灰色粉砂透镜体; 17.3~17.4 m 见黑色有机质泥与灰色粉砂及灰褐色黏土质粉砂互层; 本层有孔虫数量急剧减少, 13.77~16.85 m 有孔虫种数和丰度均为 0, 仅在 17.35 m 处检测出 4 种有孔虫, 其中主要种属之一 *Quinqueloculina acneriana rotunda* 是现代黄河水下三角洲表层沉积物中最主要的种。该层位整体较上下层沉积物都细 (是所列岩心中颗粒最细的), 如此细的颗粒物在高程 -12~-15.93 m 的位置上出现只能是前三三角洲的沉积物。微体古生物资料进一步证实了这一点, 该层有孔虫的种数和丰度比下层急剧减少, 说明当时该段沉积速率相对下层快, 不会是浅海环境, 应为黄河三角洲的沉积物。有资料显示, 西汉末—北宋 (公元 11—1099 年) 在渤海西岸形成过老的黄河三角洲^[13], 但老的黄河三角洲只在很浅的水域发育, 无论是整个黄河三角洲还是水下三角洲各个组成部分都比现代黄河三角洲相应部分薄很多。在离 1855 年海岸线内侧数千米处三角洲的厚度也只有 12 m, ZK3 孔距 1855 年海岸线约为 40 km, 老黄河三角洲的沉积物不会到达这里, 因此综合判断该层为现代黄河三角洲的前三角洲沉积, 其底界年龄为 1855 年。由图 1 我们可以看出 1889—1897、1897—1904 和 1904—1917 年黄河分别在中部、南部和西北部入海, 其形成的水下三角洲不会到达这里, 1855—1889 年和 1917—1926 年黄河河口位置距 ZK3 相对较近, 因此该层沉积的年代为 1855—1889 年和 1917—1926 年。其结论与该孔附近薛春汀分析的 ZK227 孔^[10] 一致。

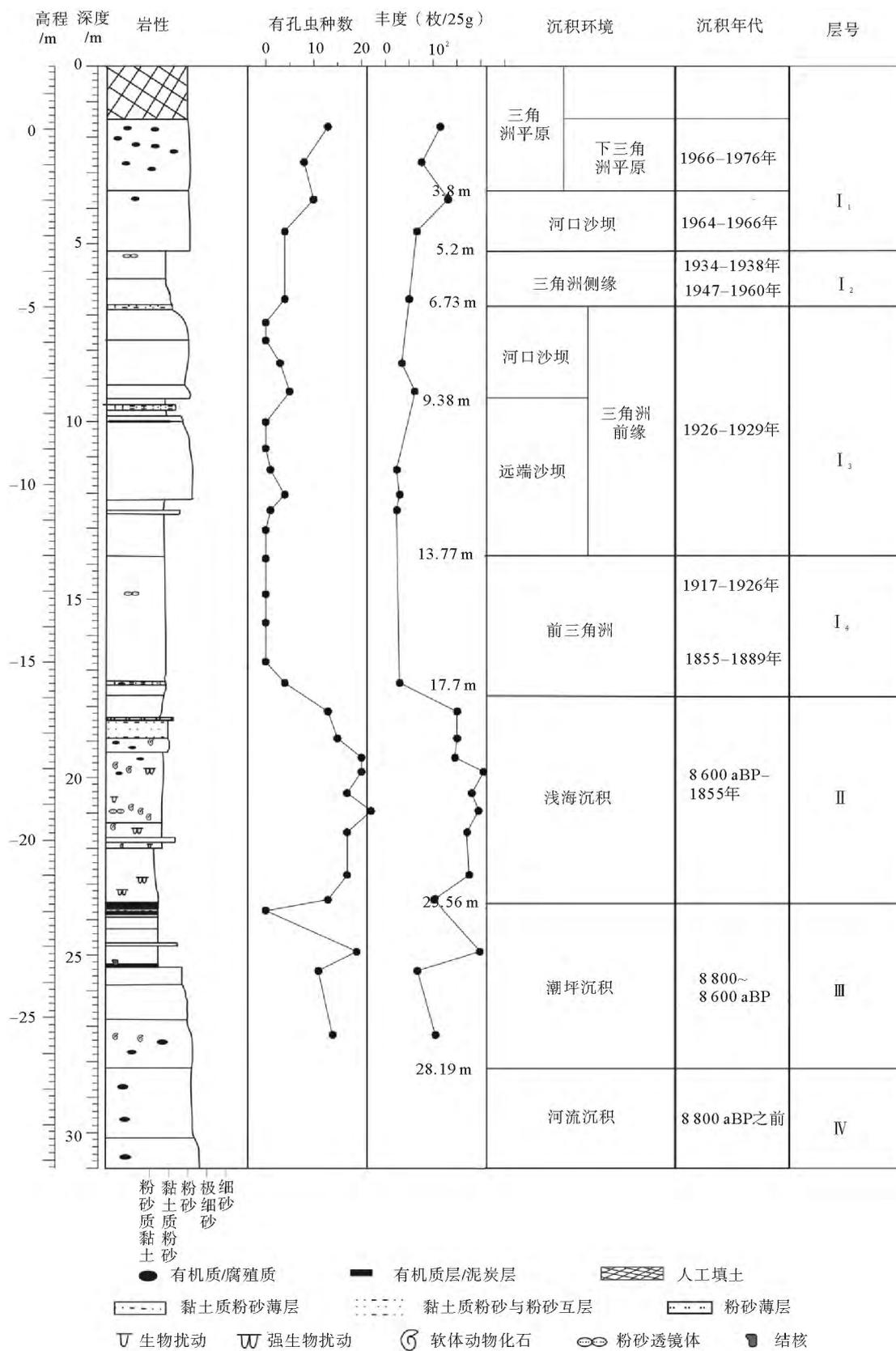


图2 黄河三角洲北部 ZK3 孔全新世沉积环境及形成年代

Fig. 2 Holocene depositional environment and time framework of northern Yellow River Delta deduced from hole ZK3

2.1.5 1926—1929年的现代黄河三角洲的三角洲前缘沉积(I₃层)

该层位于孔深 6.73~13.77 m, 高程 -4.96~-12 m, 厚 7.04 m, 该层 6.73~6.85 m 为黄褐色黏土质粉砂与粉砂互层, 黏土含量低, 灰黄色黏土质粉砂, 12.78~12.82 m 处有一灰色粉砂团; 该层主要有孔虫种为 *Ammonia beccari* vars、*Ammonia koelkebeckensis*、*Elphidium asiaticum* 和 *Quinqueloculina akneriana rotunda*, 其中更能适应微咸水环境的 *Ammonia beccari* var 丰度向上增加。该层位较下层前三角洲沉积相粒度变粗, 根据水下三角洲的上下叠置关系, 该层位应为三角洲前缘沉积。三角洲前缘分为两部分, 上部为河口沙坝, 沉积物为粉砂, 下部为远端沙坝, 以粉砂为主夹黏土质粉砂, 因此我们将该三角洲前缘分为两层, 9.38 m 以上为河口沙坝, 9.38 m 以下为远端沙坝。1926—1929年分流河口(图1)距离 ZK3 孔最近, 属于这条分流河道提供物质形成的三角洲前缘的可能性最大, 因此, 该层形成的年代确定为 1926—1929年。

2.1.6 1934—1938年和1947—1960年现代黄河三角洲的三角洲侧缘沉积(I₂层)

该层位于孔深 5.2~6.73 m, 高程 -3.43~-4.96 m, 厚 1.53 m; 黄褐色粉砂质黏土, 见透镜体, 含水量大, 扰动性强。沉积物粒度较下层的三角洲前缘相变细, 黏土含量高, 且含水量大。该站位于神仙沟流路河道的西北侧, 1934—1953年作为3条分流河道之一的神仙沟河道在河口的两侧形成了分流间湾沉积, 1938年7月至1947年3月黄河未注入渤海。1953—1960年神仙沟作为单一的分流河道继续活动, 形成了河口两侧的三角洲侧缘沉积。1960年形成神仙沟东分流, 与老的北分流同时活动, 1961年6月东分流入海物质成为主道, 1961年6月至1964年东分流河口位置更加靠南, 其形成的侧缘沉积无法到达这里, 因此, 该层位形成的年代为 1934—1938年和 1947—1960年。另外, 参照王志豪(1988)换算的 1959年测量的歧口至龙口港 1:150 000 海图中^[14] ZK3 孔位海底的高程大约是一 5.4 m(以平均海面为深度基准面, 水深为 -5.4 m), 与该层顶界高程 -4.8 m 接近。

2.1.7 1964—1966年现代黄河三角洲的河口沙坝沉积和1966—1976年的三角洲平原沉积(I₁层)

该层位于孔深 0~5.2 m, 高程 1.77~-3.43 m, 厚 5.2 m, 该层大多为土黄色黏土质粉砂, 1.63~1.75 m、2.6~2.9 m 以及 3.67~3.8 m 处见黑褐

色有机质, 含水量大。1964年黄河改道钓口流路, 1976年改走清水沟流路。1964年和1966年海岸线的位置见图1, 由此可见1964年时北部还是一个向内凹的河口湾, ZK3孔位于低潮线以下, 黄河改道钓口流路后, 海岸线迅速向海迁移, 到1966年, ZK3接近低潮线, 钻孔中3.8 m以上有机质含量高, 因此判断, 3.8 m以下为1964—1966年形成的河口沙坝, 3.8 m以上为1966年以后形成的三角洲平原沉积。钻孔中0~1.4 m为人工填土, 1.4~1.6 m样品缺失, 1.6 m对应的高程为0 m左右, 因此1.6~3.8 m层位基本为下三角洲平原沉积。1976年改道清水沟流路后, 黄河河道两旁都修起了大坝, 特别是1976年以后的主河道与ZK3孔之间的大坝修建时间都早于1976年, 其泛滥范围不会越过大坝到达ZK3的位置, 即该处没有再接受1976年以后的沉积物了, 因此最上部为1966—1976年的下三角洲平原沉积。

2.2 现代黄河三角洲北部上三角洲平原沉积层序

早期黄河改道频繁, 如果来水来沙量大, 则到处决口, 形成决口扇或形成大的分流河道。广义上讲, 决口扇也是分流河道的一种, 只是影响范围小, 两者的沉积物差别也很少, 单从一个剖面很难将两者完全区分, 因此, 在此将分流河道和决口扇分为一个沉积环境, 统称为河道-决口扇沉积。河流在泛滥过程中, 离河道越远, 水动力越弱, 携带的沉积物越细, 形成泛滥平原。傅窝农场一老10排涝站剖面(图3)穿过钓口流路老河道, DY3-132、DY3-129和DY3-86站位, 垂向剖面上沉积物都为土黄色粉砂, 为河道-决口扇沉积。DY3-125顶部有25 cm厚的土红色黏土质粉砂, 为泛滥平原, 下层也以粉砂为主, 沉积环境为河道-决口扇沉积。DY3-54、DY2-A、DY2-D三个站位顶部为土红色黏土质粉砂组成的泛滥平原, 下部为河道-决口扇沉积。DY2-C顶部40 cm为土黄色粉砂, 见有气孔构造, 互层状层理, 为潮坪沉积, 从该层沉积物的岩性判断, 此处应为大潮才能影响的范围。DY2-A、DY2-B、DY2-C三个站位剖面底部为灰黑色粉砂(图3虚线以下), 参照DY2-A、DY2-D、DY2-B和DY2-C所在的位置, 结合1964—1966年海岸线向海推移的速度(图1), 推测虚线以下主要为1964年之前神仙沟流路形成的沉积物, 虚线以上为1964年钓口流路的沉积物。总之, 现代黄河三角洲北部上三角洲平原沉积物以河道-决口扇沉积的土黄色粉砂为主, 常见交错层理和爬升层理。分流河道两侧随着距离河道变远, 沉积物变细, 在低

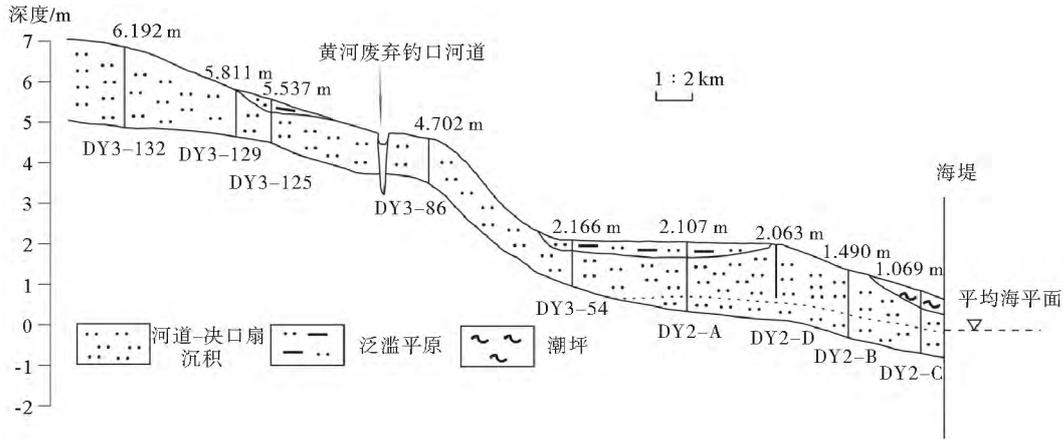


图 3 现代黄河三角洲北部上三角洲平原沉积层序

Fig. 3 Depositional sequence of upper delta plain in the northern modern Yellow River Delta

洼处形成以黏土质粉砂为主的泛滥平原,但其分布面积不大。

2.3 与其他钻孔地层对比分析

ZK3 孔能够很好地与黄河三角洲北部地区研

究比较好的 ZK228、9602、HB1 以及 CB20A 孔各沉积环境对应起来(图 4)。本区环境在全新世里发生过重大的变化:约 20 kaBP,进入末次冰期盛冰期,气候变冷,海平面下降 100 多米,海水退出渤海,本区裸露出平原,其上分布浅湖和宽缓的河流,沉积了

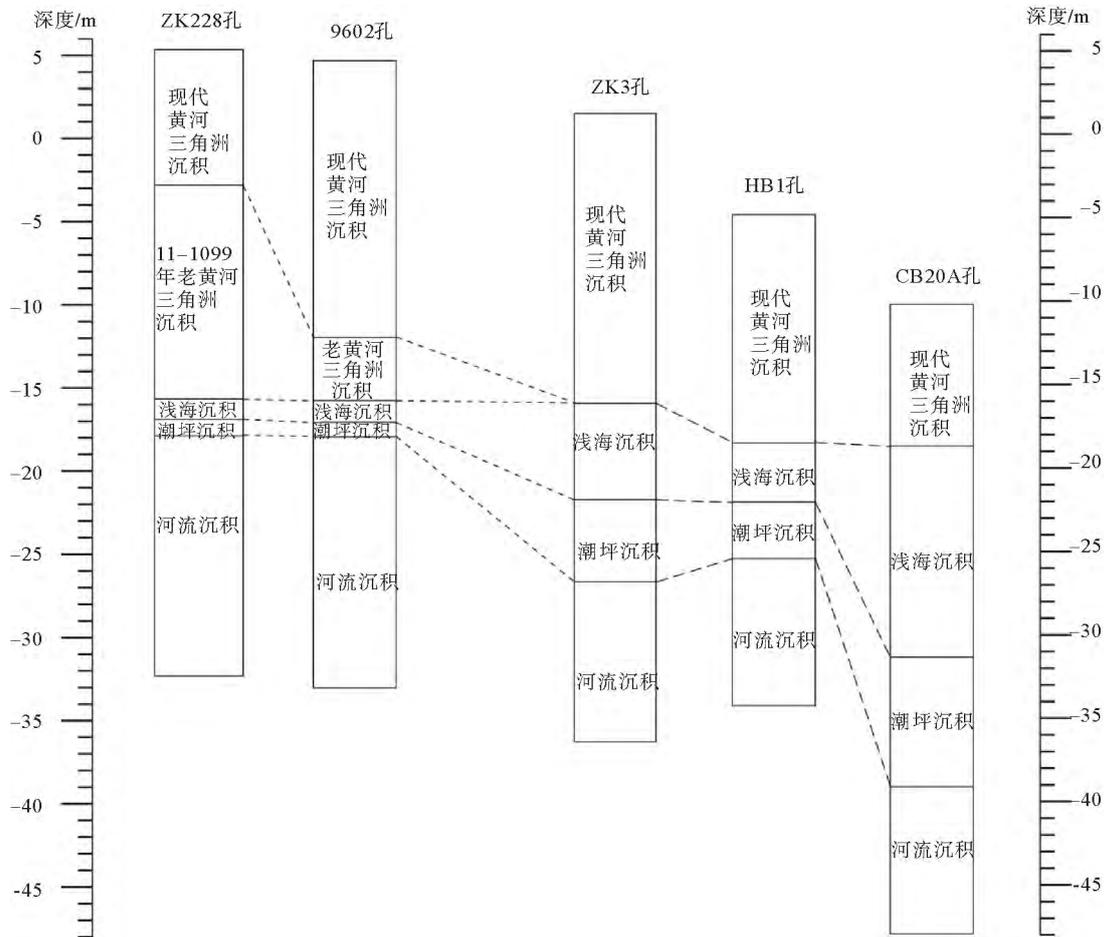


图 4 黄河三角洲北部全新世地层对比(ZK228 孔^[10]、9602 孔^[12]、HB1 孔^[1]以及 CB20A 孔^[3])

Fig. 4 Comparison of Holocene deposits in the northern Yellow River Delta

一层陆相层(河流沉积,ZK3 中Ⅳ层)。8 500 kaBP,气候变暖,进入冰后期全新世,随着大洋海面的上升,海水开始到达本区,沉积了一层潮坪沉积(ZK3 中Ⅲ层)。随着海平面继续上升,海水彻底淹没本区,沉积了一层浅海相地层(ZK3 中Ⅱ层)。7 kaBP 海面趋于稳定,黄河三角洲开始形成。大约 7~5 kaBP,在渤海西岸形成了最老的黄河三角洲。西汉末—北宋黄河三角洲从公元 11 年起发育在老黄河三角洲之上(ZK228 和 9602 孔),于 1099 年废弃^[12]。1855 年黄河三角洲再次注入渤海,形成了现代黄河三角洲(ZK3 中Ⅰ层)。从图 4 中我们可以看出,由内陆向潮坪沉积和浅海沉积厚度基本逐渐变小,黄河三角洲沉积厚度逐渐变大。7~5 kaBP 形成老的黄河三角洲并未到达本区,公元 11—1099 年形成的黄河三角洲也只到达 ZK228 孔和 9602 孔,在更靠近海的 ZK3、HB1 和 CB20A 孔并未出现。ZK228 和 9602 孔的浅海沉积和潮坪沉积顶底界线接近,沉积厚度相当。但 ZK3 孔的潮坪沉积厚度比 HB1 孔大,而且底界线更低。底界线的位置与当时沉积的微地貌有关,而潮坪的沉积厚度与沉积物供应有很大关系。可能当时 ZK3 的位置位于一个河流浅湾内,HB1 位于河流浅湾外,虽然 HB1 距海更近,但由于 ZK3 地势低,海水更易沿着河流浅湾先到达 HB1,所以,ZK3 孔的潮坪沉积底界线更低,而河流浅湾内相对沉积物供应充足,从而使 ZK3 的潮坪沉积厚度较大。

3 结论

(1)通过 ZK3 孔和 9 个沉积探槽重建了黄河三角洲北部全新世以来的古环境演变,其地层自上而下划分为现代黄河三角洲沉积、浅海沉积、潮坪沉积和河流沉积 4 层,现代黄河三角洲沉积可进一步划分为 4 个亚层。

(2)运用历史地理学和沉积地质学综合分析的方法可对现代黄河三角洲沉积部分进行精确的年代确定。ZK3 孔潮坪沉积年代推测为 8 8~8 6 kaBP,其上的浅海沉积年代范围为 8 6 kaBP—1855 年。

(3)现代黄河三角洲北部上三角洲平原沉积物以河道—决口扇沉积的土黄色粉砂为主,远离分流河道分布着以黏土质粉砂为主的泛滥平原,但分布面积不大。

(4)潮坪沉积的底界位置与当时沉积的微地貌有关,而其沉积厚度与当时沉积物供应多少有很大

关系。

致谢:特别感谢薛春汀研究员在钻孔分样和论文写作过程中给予的指导和帮助!

参考文献(References)

- [1] Liu J,Saito Y,Wang H,et al. Stratigraphic development during the Late Pleistocene and Holocene offshore of the Yellow River delta, Bohai Sea[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2009,36:318-331.
- [2] 刘升发,庄振业,刘海青,等. 埕岛及现代黄河三角洲海域晚第四纪地层与环境演变[J]. 海洋湖沼通报,2006(4):32-37. [LIU Shengfa, ZHUANG Zhenye, LIU Haiqing, et al. The strata and environment evolution in the late Quaternary in the Chengdao area and Modern Yellow River Delta[J]. Transactions of Oceanology and Limnology,2006(4):32-37.]
- [3] 徐家声,孟毅,张效龙,等. 晚更新世末期以来黄河河口古地理环境的演变[J]. 第四纪研究,2006,26(3):327-333. [XU Jiasheng, MENG Yi, ZHANG Xiaolong, et al. Palaeogeographic environmental evolution in the Huanghe River estuary since late Pleistocene[J]. Quaternary Science,2006,26(3):327-333.]
- [4] 鲜本忠,姜在兴. 黄河三角洲地区全新世环境演化及海平面变化[J]. 海洋地质与第四纪地质,2005,25(3):1-7. [XIAN Benzong,JIANG Zaixing. Environment evolution and eustatic change of Holocene in the Yellow River Delta[J]. Marine Geology and Quaternary Geology,2005,25(3):1-7.]
- [5] 丁喜桂,叶思源,宫少军,等. 黄河三角洲 ZK1 孔岩心环境敏感粒度组分及沉积环境分析[J]. 世界地质,2010,29(4):575-581. [DING Xigui, YE Siyuan, GONG Shaojun, et al. Analysis on environmentally sensitive grain-size population and sedimentary environment of ZK1 drilling core in Yellow River delta[J]. Global Geology,2010,29(4):575-581.]
- [6] Bornhold B D, Yang Z G, Keller G H, et al. Sedimentary framework of Modern Huanghe (Yellow River) Delta[J]. Geo-Marine Letter, 1986,6(2):77-83.
- [7] Prior D B, Yang Z S, Bornhold B D, et al. The subaqueous delta of the Modern Huanghe (Yellow River) [J]. Geo-Marine Letter, 1986,6(2):65-75.
- [8] 成国栋,薛春汀. 黄河三角洲沉积地质学 [M]. 北京:地质出版社,1997:48-55. [CHENG Guodong, XUE Chunting. Sedimentary Geology on the Yellow River Delta [M]. Beijing: Geological Publishing House,1997:48-55.]
- [9] 范德江,杨作升,郭志刚. 中国陆架²¹⁰Pb 测年应用现状与思考[J]. 地球科学进展,2000,12(3):297-302 [FAN Dejiang, YANG Zuosheng, Guo Zhigang. Review of ²¹⁰Pb dating in the continental shelf of China[J]. Advance in Earth Science,2000,12(3):297-302.]
- [10] 薛春汀,叶思源,高茂生,等. 现代黄河三角洲沉积物沉积年代的确定[J]. 海洋学报,2009,31(1):117-124. [XUE Chunting, YE Siyuan, GAO Maosheng, et al. Determination of depositional age in the Huanghe Delta in China[J]. Acta Oceanologica Sinica,2009,31(1):117-124.]

- [11] 成国栋,薛春汀,周永青. 黄河三角洲地区晚更新世晚期及全新世地层[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1987, 7(增刊): 63-73. [CHENG Guo dong, XUE Chun ting, ZHOU Yong qing. Stratum of late stage of Late Pleistocene and Holocene epoch in the Yellow River delta [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1987, 7 (Suppl.): 63-73.]
- [12] Till J J Hanebuth, Harold K Voris, Yusuke Yokoyama, et al. Formation and fate of sedimentary depocentres on Southeast Asia's Sunda Shelf over the past sea-level cycle and biogeographic implications[J]. Earth-Science Reviews, 2011, 104: 92-110.
- [13] 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. [XUE Chun ting, LI Shaoquan, ZHOU Yongqing. Sedimentary record of Yellow River delta superlobe in 11—1099AD[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2008, 26(5): 804-812.]
- [14] 王志豪,黄世光. 利用近年实测海图及古海图研究黄河三角洲变迁[J]. 海岸工程, 1988, 7(2): 47-58. [WANG Zhihao, HUANG Shiguang. Using recent years' sea chart and the ancient map to study Yellow River variance[J]. Coastal Engineering, 1988, 7(2): 47-58.]

Holocene Stratigraphy and Paleoenvironmental Evolution of the Northern Yellow River Delta

ZHAO Guangming^{1,2,3}, YE Qin^{2,3}, YE Siyuan^{1,2,3}, DING Xigui^{1,2,3},
YUAN Hongming^{1,2,3}, WANG Jin^{1,2,3}

(1. Key Laboratory of Coastal Wetlands Biogeosciences, China Geological Survey, Qingdao 266071, China;

2. Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resource and Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao 266071, China;

3. Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China)

Abstract: A 31-meter-sediment core, obtained from the northern Yellow River Delta in 2007, was analyzed for sedimentary characteristics and benthic foraminiferal assemblages in order to document the environmental history of the region. Nine trench profiles were dug for better understanding the upper 1.5~2.0 m of the deposits. There are four layers of deposits in the area, namely, the modern Yellow River delta deposit, the shallow sea deposit, the tidal-flat deposit and the fluvial deposit. Based on the fact, the paleoenvironmental evolution of the region was discussed. Precise chronological framework of the modern Yellow River delta (MYRD) was built upon the detailed records of paleo-geography and sedimentary geology left by the shifting of Yellow River course, while the time framework before the MYRD was deduced by comparing the core with the others nearby from available literatures.

Key words: the northern Yellow River delta; Holocene stratigraphy; paleoenvironmental evolution