

黄学勇,张戈,高茂生,等. 现代黄河口南岸海洋沉积环境分析[J]. 海洋地质前沿,2019,35(1):12-21.

现代黄河口南岸海洋沉积环境分析

黄学勇^{1,2,3},张戈¹,高茂生^{2,3*},侯国华^{2,3},陈广泉^{4,5},庄海海^{2,3,6},于大涛⁷

(1 辽宁师范大学城市与环境学院,大连 116029;2 自然资源部海洋环境地质重点实验室,青岛 266071;

3 中国地质调查局青岛海洋地质研究所,青岛 266071;4 海洋沉积与环境地质自然资源部重点实验室,

自然资源部第一海洋研究所,青岛 266061;5 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋地质过程与环境功能

实验室,青岛 266061;6 青岛大学环境科学与工程学院,青岛 266071;7 国家海洋环境监测中心,大连 116029)

摘要:根据在现代黄河口南岸采集的 45 个表层沉积物样品与 5 个柱状沉积物样品的粒度测试结果,研究了现代黄河口南岸沉积物的类型与空间分布特征。通过粒度参数计算和聚类分析方法绘制了粒度概率累积曲线,探讨了沉积物粒度分布特征与物源和沉积动力环境间的关系。现代黄河口至广利河河口的沉积物颗粒呈“粗—细—粗”分布,表层沉积物分为粉砂质砂和砂质粉砂 2 种类型。通过分析对比柱状沉积物不同深度粒度频率曲线与概率累积曲线,结合对沉积环境和沉积速率的分析,认为黄河河道摆动是影响沉积环境的主导因素。通过对比典型潮滩剖面丰枯季节粒度概率累积曲线发现,广利河在局部区域对沉积环境产生一定的影响。研究表明:黄河改道是影响沉积环境的主导因素,同时,广利河等沿岸河流在河口局部区域对原有沉积环境有一定的改造作用,至莱州湾南岸,沿岸小清河、弥河等河流取代黄河成为影响沉积环境的主导因素。

关键词:现代黄河口南岸;广利河口;沉积环境;粒度;概率累积曲线

中图分类号:P736.2 **文献标识码:**A **DOI:**10.16028/j.1009-2722.2019.01002

0 引言

粒度作为沉积物最基本的物理特征被广泛应用于判定物质运动方式和识别沉积环境类型^[1,2]。沉积物粒度特征反映环境因素对沉积环境

的影响,特别是物质来源和动力环境,同时可以用来判定沉积物输送方式^[3,4]。海岸带是陆地和海洋的结合部,是水圈、生物圈、岩石圈和大气圈在地球表层的交汇地带^[5],河流入海的沉积物在海陆相互作用下塑造了不同类型的河口三角洲和淤涨型海岸^[6],黄河三角洲是我国最为典型的三角洲之一。

含沙量大是黄河最明显的水文特征,黄河入海泥沙对黄河三角洲发育具有决定性的影响。黄河入海泥沙对三角洲发育的影响可以通过沉积物粒径分布来反映^[7]。黄河自 1855 年夺大清河入渤海至今,由于人为因素或自然因素,入海流路发生 50 余次的决口改道,其中较大的改道有 10 余次^[8]。现代黄河三角洲的研究,主要集中于黄河三角洲北部岸滩的蚀退^[9]与演变^[10]以及现代黄河口碳累积^[11]、湿地景观^[12]、冲淤状况^[13]以及相关工程建设^[14]。目前对现代黄河口南岸潮滩

收稿日期:2018-08-13

基金项目:科技部基础性工作专项(2014FY210600);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金“莱州湾南岸地下水中镭同位素的运移机制及其对海水入侵的指示作用”(2017Q02);国家重点研发专项(2016YFC0402801);中国地质调查局项目“渤海湾西部等重点海岸带综合地质调查”(DD20160144)

作者简介:黄学勇(1991—),男,在读硕士,主要从事海岸带方面的研究工作。E-mail:hxydongying@foxmail.com

* **通讯作者:**高茂生(1966—),男,博士,研究员,博士生导师,主要从事海岸带环境水文地质和海洋环境方面的研究工作。E-mail:gms532@163.com

和浅海区域的研究相对较少,表层沉积特征与沉积环境演化过程尚需要进一步深入研究。本文以黄河三角洲南部广利河口北潮滩为对象,基于在当地采集的 45 个表层沉积物样品和 5 个柱状沉积物样品的粒度测试结果,结合前人关于黄河改道、海岸线变迁和沉积速率研究成果,对现代黄河口南岸海洋沉积环境进行了初步分析。

1 研究区概况

采样点位于现代黄河三角洲河口南部广利河口北潮滩附近(图 1),范围为 37°15′—37°33′N, 118°54′—119°18′E。该区潮汐属不正规半日潮,潮差<2 m。潮滩冲淤相对稳定。潮滩分带性

好,潮滩顺岸线变化小。剖面为平缓的斜坡,靠近剖面起点有因修筑防波堤形成的侵蚀沟。

广利河曾是黄河入海的河道,后黄河归流后,经多年河流改造作用,演变为现在的河道,其下段有溢洪河汇入,在河口区有支脉河汇入,从而形成了三河相通的内河水系^[16]。其中,1897—1904 年、1929—1934 年、1934—1938 年、1947—1953 年入海流路位于或接近本文研究区域(图 2a)。

本文研究区域位于现代黄河三角洲第 5 个叶瓣上^[17],黄河三角洲叶瓣沉积速率极高,在沉积年份每年可沉积数十厘米至数米,一旦废弃,则无沉积甚至被侵蚀^[18]。在渤海海域,莱州湾西部沉积速率最高^[19],黄河口附近海区沉积速率 1.29~9.59 cm/a^[20]。尹延鸿等^[21]通过对比不同年代的

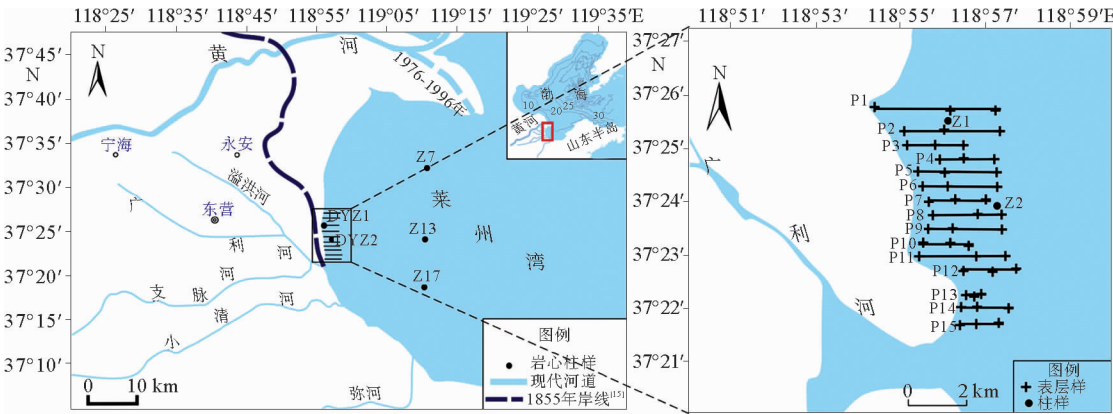


图 1 研究区位置及取样站位示意图
Fig. 1 Study area and sampling sites

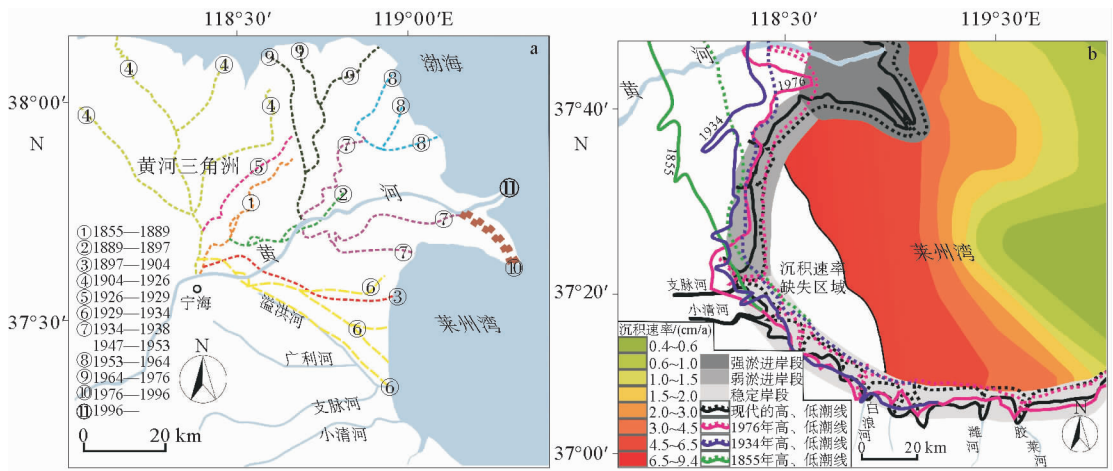


图 2 黄河三角洲河道变迁(a)、岸线位置和沉积速率变化(b)示意图(据文献[15,20,22]修改)
Fig. 2 Changes of Yellow River channel(a)、coastline and sedimentation rates(b)
(modified from references [15,19,21])

海图、地形图、卫星图片、潮滩剖面测量数据等发现,广利河口附近岸段处于弱淤进状态(图 2b),甚至局部岸段低潮线附近有时处于弱蚀退状态,而在 1855—1988 年,广利河口蚀退 6 km^[22]。广利河口北潮滩 Z5 孔中²¹⁰Pb 和¹³⁷Cs 同位素计算出的沉积速率与现实情况不相符,说明该区域在黄河行水期结束后,岸线在弱淤进与弱蚀退交互的状态时,沉积处于停滞。

2 材料与方法

2.1 样品采集与测试

2012—2014 年在莱州湾西部和广利河口北潮滩布设 15 条洪季表层沉积物调查剖面(P1—P15)和 5 个柱状样。每条剖面上布设 3 个表层取样站位,共采集了 45 个站位的沉积物样品。从中选取 5 条用于枯季表层沉积物调查取样,分别是 P1、P4、P7、P10 和 P13,柱状样按 2 cm 厚度等间距取样。取样地点如图 1 和表 1 所示。

所采样品利用 Mastersizer 2000 激光粒度仪进行粒度组分测试。首先,取沉积物样品放置在烧杯中,加入 H₂O₂ 除去有机质;然后,分别加入盐酸除去碳酸盐,注入蒸馏水除去絮凝性较强的 Ga²⁺、H⁺ 等离子,加入分散剂后用超声波清洗震荡 10 min;最后,将处理后的样品用激光粒度仪进行测量。

表 1 柱状样沉积物取样位置与岩心长度
Table 1 Statistic information of core samples
used in this study

站位号	坐标	岩心长度/m	来源
DYZ1	37°25′22″N,118°55′47″E	1.2	2014 年采样
DYZ2	37°23′47″N,118°56′57″E	1.08	2014 年采样
Z07	37°31′53″N,119°10′34″E	2.5	2012 年采样
Z13	37°23′47″N,119°10′19″E	2.68	2012 年采样
Z17	37°18′21″N,119°10′07″E	3.06	2012 年采样

2.2 研究方法

根据测试结果,计算砂、粉砂、黏土、泥(黏土+粉砂)含量和黏土/泥比值,绘制样品粒度概率累积曲线,提取各样品粒度曲线上累积含量 5%、

16%、25%、50%、75%、84% 和 95% 对应的粒径。用 Folk 和 Ward^[23] 公式计算各个样品中的平均粒径(M_z)、分选系数(S_o)、偏态(S_k)和峰度(K_g),绘制各粒级构成比例与粒度参数变化曲线。

在各粒度参数中,平均粒径和分选系数与沉积物来源关系密切,偏态和峰度反映沉积环境对粒度的改造结果^[24,25]。平均粒径反映潮滩平均动能强弱,二者呈正相关;分选系数反映潮滩动能的波动性,二者呈负相关;偏态反映平均粒径相对于中值粒径的位置,正偏说明细颗粒富集,负偏说明粗颗粒富集^[25,26];峰度对潮滩的沉积动力不敏感^[26,27],反映潮滩物源多样性程度,峰度大小体现了包含来自附近环境未经改造的碎屑组分数目多少。

3 结果

3.1 表层沉积物粒度组成与粒度参数

45 个表层样样品的砂、粉砂、黏土含量及平均值分别为 16.4%~80.8%(43.4%)、17.3%~76.5%(52.1%)、0%~10.1%(4.6%)。不同位置上沉积物粒度组成和粒度参数如表 2 所示。潮滩自潮上带、潮间带至潮下带,砂的含量逐渐增大,粉砂和黏土的含量逐渐减少,平均粒径逐渐变小,沉积颗粒物逐渐变粗。由陆向海,沉积物样品由以粉砂为主,逐渐过渡为以砂质为主。分选系数、偏态、峰度均由潮上带至潮下带逐渐变小,分选性逐渐变好,偏态多为极正偏态,峰度多呈窄峰态。

表层沉积物中的砂、粉砂、黏土含量和平均粒径分布如图 3 所示。不同潮滩位置粒度组分与粒度参数变化如图 4 所示。由图 3 和图 4 可以看出:现代黄河口至广利河河口方向,沉积物颗粒呈“粗—细—粗”分布;分选系数、偏态、峰度数值变化趋势与平均粒径分布趋势大体一致。

3.2 柱状沉积物粒度组成与粒度参数

各柱样粒度组分与粒度参数如图 5 所示,DYZ1 粒度参数垂向变化明显。从上至下可分为 3 段:第 1 段(0~55 cm)从上到下粒度逐渐变细,黏土和粉砂增加,砂减少。各粒度参数自上而下呈递增趋势,平均粒径处于 4.33 Φ ~5.87 Φ 之间,

表 2 不同潮滩位置粒度组分与粒度参数

Table 2 Lithology and grain size parameters of the surface sediments

		粒度组分/%			粒度参数			
		砂	粉砂	黏土	平均粒径/ Φ	分选系数	偏度	峰度
潮上带	最大值	52.9	72.8	10.1	5.3	1.8	11.8	5.0
	最小值	18.1	44.7	2.3	4.0	0.6	0.5	0.7
	平均值	28.3	64.4	7.3	4.8	1.4	8.4	3.1
潮间带	最大值	61.9	68.1	6.4	4.7	1.3	8.2	2.7
	最小值	25.5	3.9	2.1	3.8	0.6	0.5	0.8
	平均值	44.5	51.6	3.8	4.2	1.0	4.6	1.7
潮下带	最大值	80.8	56.5	4.4	4.34	1.1	5.7	2.0
	最小值	39.3	17.3	0	3.5	0.5	0.1	0.5
	平均值	58.9	38.6	2.6	3.9	0.8	2.8	1.3

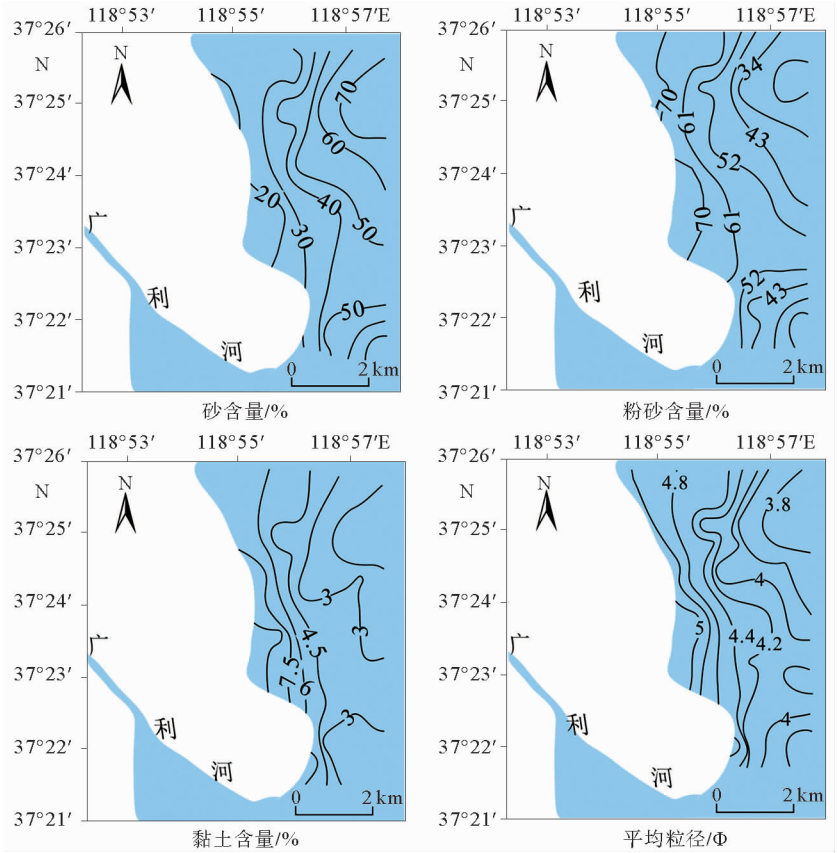


图 3 研究区表层沉积物粒度组分与平均粒径平面分布特征

Fig. 3 Distribution maps of sediment types and mean grain size of the surface sediments

分选系数变化于 1.14~1.73 之间,偏态值大多变化于 2.89~11.29 之间,峰态值变化于 2.21~4.62 之间。第 2 段(55~92 cm)从上到下粒度逐渐变粗,黏土和粉砂减少,砂增加。粒度参数较第 1 段与第 3 段数值偏小且变化不大,平均粒径处于 3.73 Φ 左右,分选系数变化于 0.89 左右,偏态值变化于 2.1 左右,峰态值变化于 1.51 左右。第 3 段(92~120 cm)从上到下粒度逐渐变粗,黏土

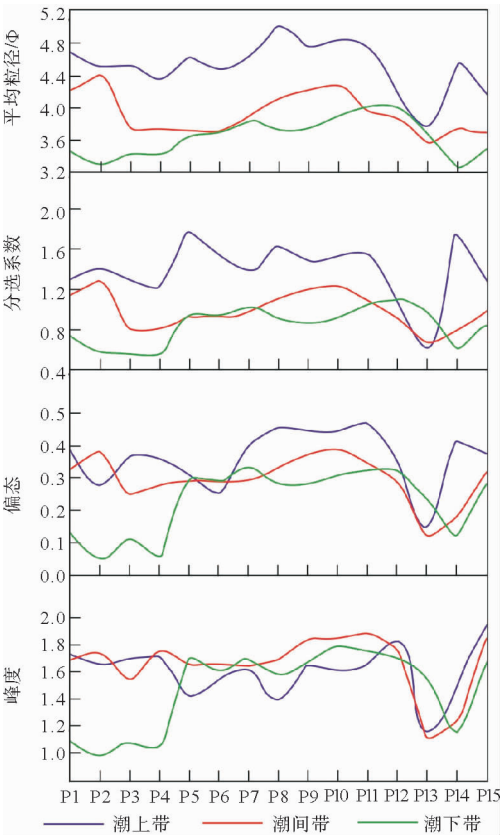


图 4 研究区表层沉积物粒度参数沿岸变化曲线
Fig. 4 Grain size parameters of tidal flat deposits

和粉砂含量减少,砂增加。各粒度参数自上而下呈递减趋势,平均粒径处于 $4.53\Phi\sim5.47\Phi$ 之间,分选系数变化于 $0.73\sim1.26$ 之间,偏态值变化于 $0.65\sim5.39$ 之间,峰态值变化于 $0.97\sim2.72$ 之间。DYZ2 从上到下,粒度组分呈多旋回变化。各粒度参数变化较为频繁。反映了较为动荡的沉积环境。平均粒径处于 $4.03\Phi\sim5.47\Phi$ 之间,分选系数变化于 1.06 左右,分选性较好。偏态值大多变化于 5.16 左右。峰态值大多变化于 1.98 左右(个别数值除外),属于低峰态特征。

Z07 自上而下, $0\sim80$ cm 砂质含量较高, $80\sim120$ cm 砂的含量逐步减少并在 120 cm 以下深度含量基本变为 0 , 平均粒径垂向上呈变细的趋势。分选系数在 1.6 左右,偏态在 0.4 左右,峰度在 1.2 左右。Z13 大致以 130 cm 深度为界,自上而下砂含量先增加后减少,粉砂和黏土含量先减少后增加,各粒度组分与参数上下大致对称分布。Z17 以 180 cm 为界分为明显的 2 段:第 1 段($0\sim180$ cm)各粒度组分经短暂波动后在 38 cm 处达到基本稳定的状态且成分以砂质为主;第 2 段($180\sim306$ cm)各粒度成分与参数变化较为频繁,这一深度范围内,粒度组分以粉砂为主。

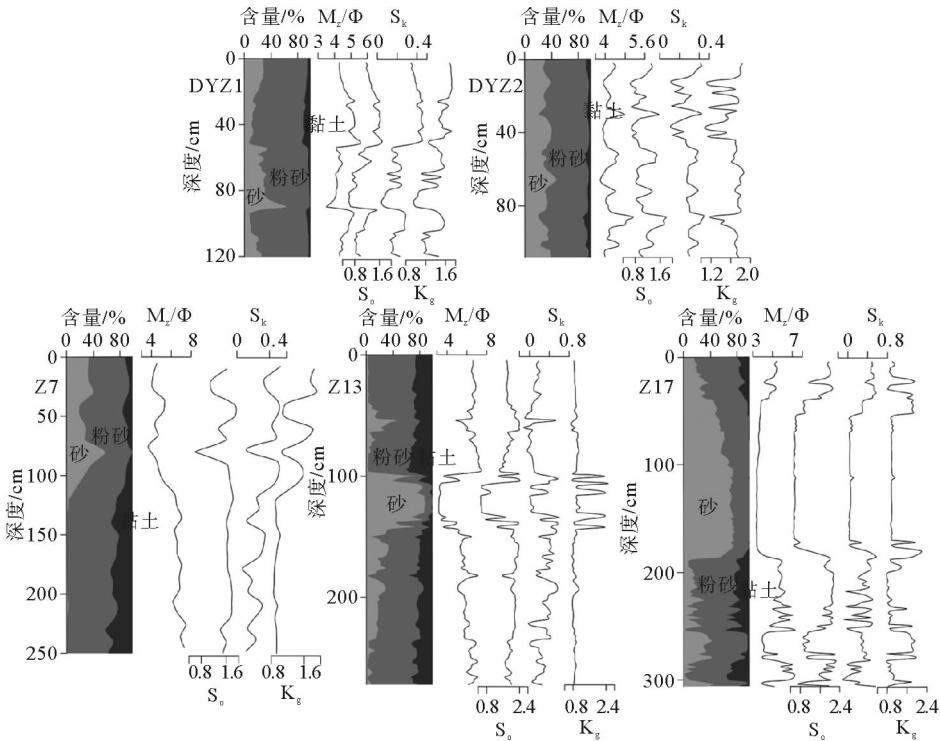


图 5 柱状样粒度组分与粒度参数变化示意图
Fig. 5 Grain size composition and parameters of core samples

4 讨论

4.1 沉积环境分异

莱州湾西岸海岸线呈向西凹的弧形,受地形的影响,为往复流,涨潮流方向指向岸边,落潮流为离岸流。为了区分潮流作用和黄河入海泥沙对沉积环境的影响程度,依据沉积物粒度组成与粒度参数,利用 SPSS 软件对研究区 45 个表层样品进行了系统聚类分析。根据聚类结果结合沉积物 Fork 分类方法,按照沉积物类型将研究区划分为

粉砂质砂和砂质粉砂 2 个区域(图 6)。粉砂质砂总体上分布于距岸较远的区域,并以 P10 剖面为界,分为 2 部分;砂质粉砂靠近岸边分布,在 P9—P11 剖面范围内向海延伸最远,至广利河口其分布范围逐渐变小。

粉砂质砂区受现行河流入海泥沙的影响,北部位于现代黄河口的侧缘,南部位于广利河口侧缘,沉积颗粒物较粗,分选性较好,偏态与峰度数值低。砂质粉砂区黄河行水期时接受沉积,行水期结束后则受潮流作用影响,细粒物质向岸运动,而粗粒物质向海运动,沉积颗粒物较细,分选性差,偏态与峰度数值较高。

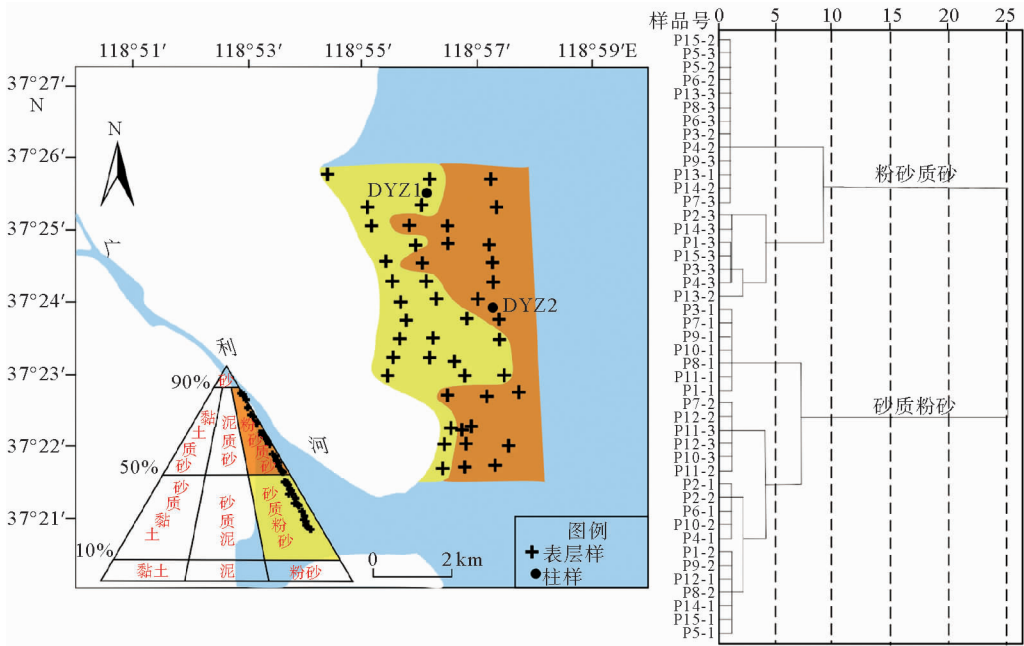


图 6 研究区聚类分区图
Fig. 6 Cluster partition used in the study area

4.2 黄河河道变化对沉积环境的影响

沉积物粒度主要受搬运介质、搬运方式、沉积环境等因素的控制^[1]。粒度概率累积曲线可以揭示沉积物与搬运营力之间的关系以及搬运条件的变化。粒度概率累积曲线给出了优势粒径区间及其含量、次总体的类型、粒度区间百分含量和粒度分选程度等^[28]。通过系统收集现代黄河口南海域已公开发表的有关短柱样品的²¹⁰Pb 测年和沉积速率的研究文献^[20,29-31],对 Z7、Z13 沉积年代进

行了大致划定(图 7)。Z7 粒度组分垂向变化较为剧烈,以 120 cm 为界分为明显的上下两层。Z7 频率曲线为单峰型,由上至下逐渐成对称趋势,概率累积曲线为两段式,分为悬移质和跃移质,集中体现了 2 次行水期的影响。Z13 在 100~130 cm 深度范围内的砂含量相对较高,所在区域物质来源多样,沉积类型复杂,频率曲线多为尖锐的负偏态,有 2~3 个峰值,概率累积曲线多为三段式和多段式。

由于广利河口北潮滩及附近海域沉积速率缺

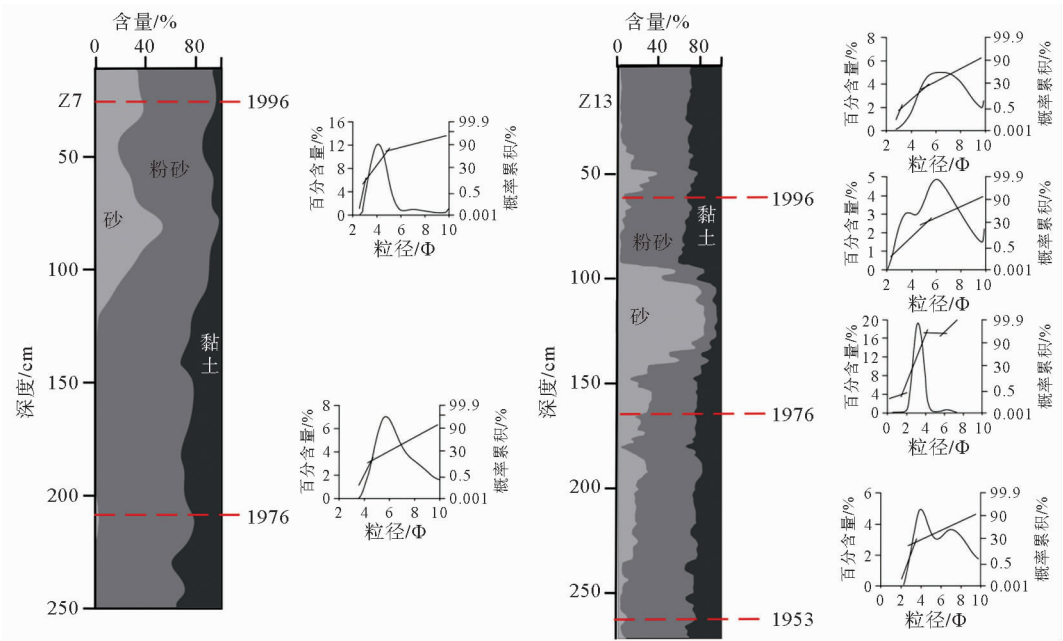


图 7 Z7、Z13 粒度组分变化示意图

Fig. 7 Vertical distribution of the grain size in the core of Z7 and Z13

失,为说明 DYZ1、DYZ2 和 Z17 沉积环境,采用萨胡判别公式^[32]并结合河流与海岸线年代变化对沉积环境进行判别:

$$Y=0.285\ 2M_z-8.760\ 4S_o^2-4.893\ 2S_k+0.048\ 2K_g$$

(1)

式中: Y 为判别参数;

M_z 为平均粒径;

S_o 为分选系数;

S_k 为偏态;

K_g 为峰度。

当 $Y>-7.419\ 0$ 时为浅海沉积;当 $Y<-7.419\ 0$ 时为河流沉积。浅海沉积物平均值为 $-5.316\ 7$,河流沉积物平均值为 $-10.441\ 8$ 。因此,根据萨胡判别公式所计算的数值,孔深 80 cm 附近为浅海沉积。前人研究结果显示,1855 年以来,广利河口附近沉积厚度约 5.7 m,而 1934 年广利河口附近海岸线呈明显蚀退,DYZ1、DYZ2 孔深 80 cm 处可判定为 1934 年(图 8a)。

4.3 沿岸河流对沉积环境的影响

莱州湾南岸小清河、弥河等沿岸河流在 1980 年左右由于降水偏少和人为清淤,流量急剧减少^[33],对 Z17 沉积物采用萨胡判别公式进行沉积

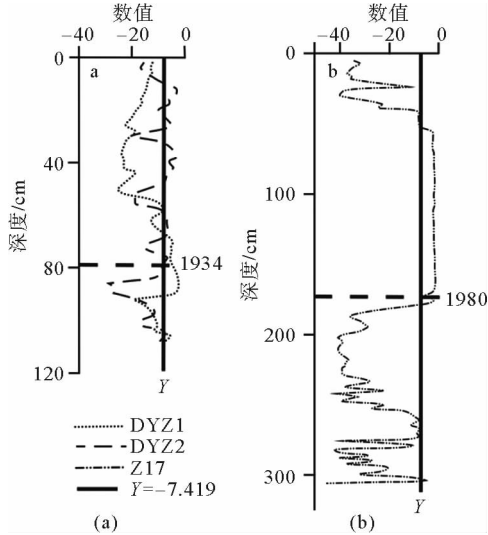


图 8 DYZ1、DYZ2 和 Z17 沉积类型变化示意图

Fig. 8 Changes in sediment type for Z4, Z5 and Z17

环境判别后显示,孔深 180 cm 沉积环境从河流沉积演变为浅海沉积,因此,可将 180 cm 处判定为 1980 年(图 8b)。在孔深 0~40 cm 处沉积环境再次演变为河流沉积则与降水增多和小清河、弥河流量增加有关^[34,35]。

广利河经人工改造后的现主要功能为防洪排涝,因此,广利河对沿岸沉积环境的影响与降水的

丰枯季直接相关,本文选取 DYP10 和 DYP13 两条剖面的丰季和枯季粒度概率累积曲线进行对比(图 9)。通过对比可以发现:DYP10 累积曲线受季节变化影响较小,丰季和枯季差异不大,仅在潮下带(DYP10-3)粒径 $>3.5\Phi$ 时,相同粒径的累积含量,丰季明显大于枯季。DYP13 累积曲线受季节变化影响较大,丰枯季节有明显的差异,由潮上带(DYP13-1)到潮下带(DYP13-3)枯季累积曲线由低于丰季到高于丰季。潮上带(DYP13-1)丰季累积曲线高于枯季。在潮间带(DYP13-2),当粒径 $<3\Phi$ 时,枯季累积含量高于丰季;当粒径为 $3\Phi\sim8\Phi$ 时,丰季累积含量高于枯季;当粒径 $>8\Phi$ 时,枯季累积含量与丰季持平并逐渐高于丰季。潮下带(DYP13-3),相同粒径下,枯季含量明显高

于丰季。

DYP10 位于聚类分区中的 B 区,DYP13 位于聚类分区中的 A 区且靠近广利河口。DYP10 剖面所在的 B 区在黄河行水期结束后,来自陆地的水和泥沙断绝,主要受潮流的影响,因此,丰季和枯季粒度概率累积曲线差异较小。DYP13 剖面位于广利河口北侧,广利河水流量存在丰枯差异,丰季水流量大,入海泥沙多;枯季水流量小,入海泥沙少。根据概率累积曲线,DYP13 剖面丰季广利河入海水量和泥沙量增加,潮上带至潮下带累积曲线跃移质与悬移质的转折点粒径均为 5Φ ,水流强度相对稳定。枯季受海水动力作用影响,潮上带、潮间带、潮下带累积曲线跃移质与悬移质转折点分别为 5.5Φ 、 5Φ 、 4.5Φ ,水流强度逐渐增强。

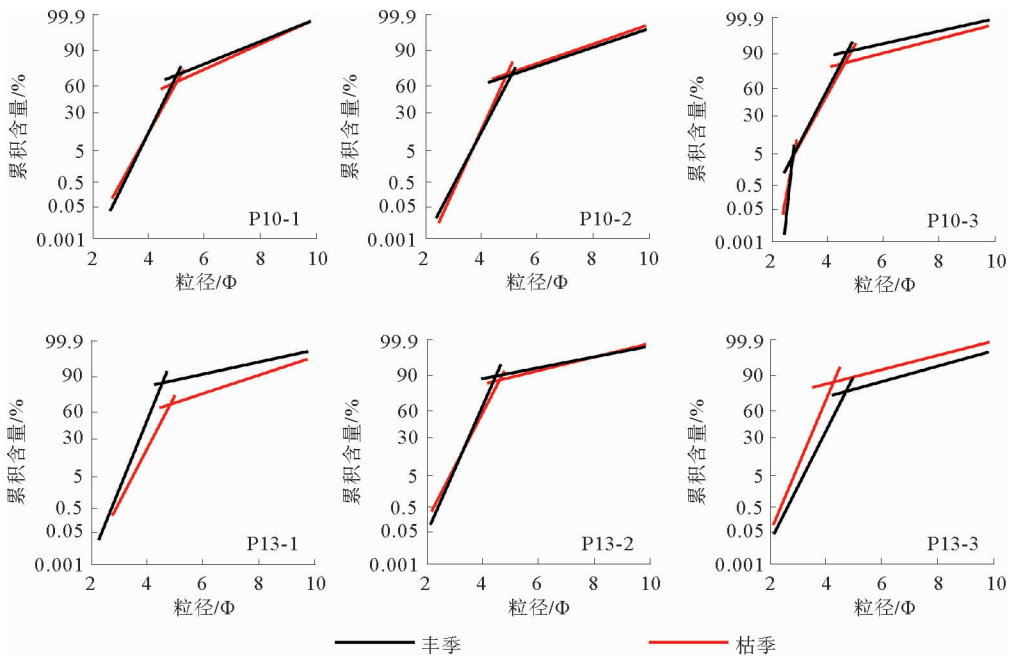


图 9 DYP10、DYP13 剖面丰枯季节粒度累积曲线

Fig. 9 Grain size probability accumulative curves of beach profiles DYP10 and DYP13 in different periods

5 结论

(1)黄河入海泥沙数量变化是影响现代黄河口南岸沉积物成分含量与粒度参数变化的主导因素。黄河在本文研究区内行水期的变化对沉积环境有直接影响。在测年数据缺失的情况下,根据黄河入海的年代变化以及海岸线变化可以对沉积

序列作初步判别。

(2)表层沉积物根据受现代黄河入海泥沙影响程度,划分为不同的沉积分区。研究区北部靠近现代黄河口,受黄河入海泥沙影响明显。广利河在河口附近对沉积环境也产生一定的改造作用,中部和近岸细粒组分的分布区是在黄河行水期结束后,粗颗粒物受到海水侵蚀作用向海搬运形成的。因此,由现代黄河口至广利河口,沉积

颗粒物呈现“粗—细—粗”的分布特征。

(3)沿岸河流在水流量变化对沉积环境影响明显。作为季节性的防洪排涝河道,广利河水流量在丰水期与枯水期的差异,使得河口附近区域内沉积动力具有季节性特点,沉积环境更为复杂。

参考文献:

[1] 成都地质学院陕北队. 沉积岩(物)粒度分析及其应用[M]. 北京:地质出版社,1978.

[2] Mcmanus J. Grain size determination and interpretation [M]// Tucker M. Techniques in Sedimentology. Oxford: Wiley Blackwell, 1988: 63-85.

[3] McLaren P, Bowles D. The effects of sediment transport on grain-size distributions [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1985, 55(4): 457-470.

[4] 王伟,李安春,徐方建,等. 北黄海表层沉积物粒度分布特征及其沉积环境分析[J]. 海洋与湖沼,2009,40(5): 525-531.

[5] Cohen J E, Small C, Mellinger A, et al. Estimates of coastal populations [J]. Science, 1997, 278: 1209-1213.

[6] 陈影影,张振克,徐华夏,等. 沿海不同年限围垦区土壤剖面有机碳同位素与粒度特征——以江苏省东台市为例[J]. 地理科学,2015,35(6): 782-789.

[7] 陈沈良,杨世伦,吴瑞明. 杭州湾北岸潮滩沉积物粒度的时间变化及其沉积动力学意义[J]. 海洋科学进展,2004, 22(3): 299-305.

[8] 庞家珍,司书亨. 黄河河口演变(I)——近代历史变迁[J]. 海洋与湖沼,1979,10(2): 136-141.

[9] 周良勇,高茂生,徐刚,等. 黄河三角洲潮滩的侵蚀和再沉积:示踪砂棒法的应用[J]. 地质通报,2014,33(10): 1602-1608.

[10] 杨忠年,单红仙,贾永刚,等. 黄河三角洲北部岸滩蚀积演变特征研究[J]. 岩土工程学报,2011,33(1): 159-169.

[11] 魏梦杰,叶思源,丁喜桂,等. 黄河三角洲滨海湿地沉积环境演化与碳的累积[J]. 海洋科学,2015,39(4): 64-72.

[12] 王永丽,于君宝,董洪芳,等. 黄河三角洲滨海湿地的景观格局空间演变分析[J]. 地理科学,2012,32(6):717-724.

[13] 陈小英. 陆海相互作用下现代黄河三角洲沉积和冲淤环境研究[D]. 上海:华东师范大学,2008.

[14] 冯秀丽,沈渭铨,杨荣民,等. 现代黄河口区沉积环境与沉积物工程性质的关系[J]. 中国海洋大学学报:自然科学版,1994(s3): 21-28.

[15] Ye Q H, Chen S L, Huang C, et al. Characteristics of landscape information Tupu of the Yellow River swings and its subdeltas during 1855-2000[J]. Science in China, 2007, 50(10):1566-1577.

[16] 杨荣民,李广雪,李安龙,等. 广利河口拦门沙的沉积特征与冲淤过程的研究[J]. 中国海洋大学学报:自然科学版,

2005,35(2): 339-343.

[17] 薛春汀. 现代黄河三角洲叶瓣的划分和识别[J]. 地理研究,1994, 13(02):59-66.

[18] 王福,王宏,李建芬,等. 渤海地区²¹⁰Pb、¹³⁷Cs同位素测年的研究现状[J]. 地质论评,2006,52(2):244-250.

[19] 李军,胡邦琦,窦衍光,等. 中国东部海域泥质沉积区现代沉积速率及其物源控制效应初探[J]. 地质论评,2012, 58(4):745-756.

[20] Li F Y. Modern sedimentation rates and sedimentation feature in the Huanghe River estuary based on ²¹⁰Pb technique [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 1993, 11(4):333-342.

[21] 尹延鸿,周永青,丁东. 现代黄河三角洲海岸演化研究[J]. 海洋通报,2004, 23(2):32-40.

[22] 王志豪,黄世光. 利用近年施测海图及古海图研究黄河三角洲变迁[J]. 海岸工程,1988(2):47-58.

[23] Folk J, Ward W C. A study in a significance of grain size parameters [J]. Journal of Sedimentary Research, 1957, 27(1): 2-26.

[24] 尉建功,冯秀丽,林霖,等. 秦皇岛附近海域表层沉积物粒度分布特征及运移趋势分析[J]. 中国海洋大学学报:自然科学版,2013,43(7): 66-71.

[25] Pmlaren. An interpretation of trends in grain size measures [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1981, 51: 611-624.

[26] 王庆,王小鲁,李雪艳,等. 黄河三角洲南部废弃三角洲潮间滩涂表层沉积粒度特征及其粗化现象[J]. 第四纪研究,2017, 37(2): 353-367.

[27] Sahu B K. Depositional mechanism from the size analysis of classic sediments [J]. Journal of Sediment Research, 1964, 34(1): 73-83.

[28] 刘桂卫,黄海军,刘艳霞,等. 风暴潮前后莱州湾西岸岸滩演化特征研究[J]. 海洋科学集刊,2010: 32-39.

[29] 李凤业,袁巍. 近代黄河三角洲海域²¹⁰Pb多阶分布与河口变迁[J]. 海洋与湖沼,1992,23(5):566-571.

[30] 任寒寒,范德江,张喜林,等. 黄河入海口变迁的沉积记录:来自粒度和²¹⁰Pb的证据[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2014,34(4):21-29.

[31] 董太禄. 渤海现代沉积作用与模式的研究[J]. 海洋地质与第四纪地质,1996, 16(4):43-53.

[32] Sahu B K. Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1964,34(1):73-83.

[33] 阎新兴,郑丽霞. 山东潍坊北港近海区地貌特征及泥沙来源分析[J]. 海洋通报,1992, 11(4):65-72.

[34] 金玉休,朱龙海,吴建政,等. 小清河感潮河段与河口区温排水模拟及对地貌的响应[J]. 海洋科学,2014,38(11): 74-83.

[35] 于海霞. 气候变化对莱州湾地区水资源影响及对策研究[D]. 济南:山东师范大学,2001.

MARINE SEDIMENTARY ENVIRONMENTS ON THE SOUTH BANK OF MODERN YELLOW RIVER ESTUARY

HUANG Xueyong^{1,2,3}, ZHANG Ge¹, GAO Maosheng^{2,3*}, HOU Guohua^{2,3},
CHEN Guangquan^{4,5}, ZHUANG Haihai^{2,3,6}, YU Datao⁷

(1 College of Urban and Environmental Science, Liaoning Normal University, Dalian 116000, China; 2 Key Laboratory of
Marine Environmental Geology, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266071, China;

3 Qingdao Institute of Marine Geology, CGS, Qingdao 266071, China; 4 Key Laboratory of Marine Sedimentology

& Environmental Geology, MNR, the First Institute of Oceanography, MNR, Qingdao 266061, China;

5 National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Laboratory of Marine Geology and Environment.

Qingdao 266061, China; 6 College of Environmental Science and Engineering, Qingdao University, Qingdao 266071, China;

7 National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116000, China)

Abstract: 45 surface samples and 5 short cores are collected from the south bank of the modern Yellow River Estuary. Sediment types and their spatial distribution patterns are studied. Based on probability accumulative curves, grain size parameters are computed and the clustering method is adopted to reveal the spatial distribution and transport path of the sediments. Sediments vary in a pattern of “coarse-fine-coarse” from the modern Yellow River mouth to the Guangli Estuary. The study area is thus subdivided to two parts according the grain size distribution pattern. Frequency and probability cumulative curves in different depth of core sediments, combined with the data of coastline changes, types of sedimentary environment and sedimentation rate, suggest that the tempo-spatial variation in sediment discharge from the Yellow River are the major cause to the changes in sedimentary environments. The influence of Guangli River may be observed through the correlation of the probability cumulative curves of beach profiles in wet and dry seasons. The Guangli river system plays an obvious role in changes of the original sedimentary environment, while the Xiaoqing River and Mihe River on the southern bank of the Laizhou Bay also play certain roles to the changes in sedimentary environment.

Key words: south bank of modern Yellow River Estuary; Guangli River Estuary; sedimentary environment; grain size; probability cumulative curve