

DOI: 10.16788/j.hddz.32-1865/P.2021.02.012

引用格式: 黄学勇, 高茂生, 侯国华, 等. 黄河三角洲南部宁海—西双河叶瓣潮滩沉积物粒度特征与季节变化分析[J]. 华东地质, 2021, 42(2): 229-238.

# 黄河三角洲南部宁海—西双河叶瓣潮滩沉积物 粒度特征与季节变化分析

黄学勇<sup>1</sup>, 高茂生<sup>2,3</sup>, 侯国华<sup>2,3</sup>, 张 戈<sup>1</sup>, 党显璋<sup>2,3</sup>

(1. 辽宁师范大学地理科学学院, 辽宁 大连 116029;

2. 中国地质调查局湿地生物地质重点实验室, 山东 青岛 266071;

3. 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 山东 青岛 266071)

**摘要:** 根据 15 个表层沉积物丰、枯季粒度数据, 综合运用 Pejrup 粒度三角图、粒径-标准偏差曲线以及粒度参数分析法, 对现代黄河三角洲南部宁海—西双河叶瓣潮滩丰、枯季沉积物粒度特征进行了分析。结果表明: 沉积物粒度存在季节性变化, 且空间分布不同。丰季由于降水量大, 总体沉积环境相对稳定; 枯季沉积环境相对动荡, 受现代黄河影响明显。粒度参数相互关系显示, 沉积物在形成前经历了较长时间的分选, 物质来源多样性与潮滩动力关系不大, 且丰季与枯季物质来源不同。对比丰季和枯季沉积环境函数值, 发现丰季受潮汐余流影响较强, 以浅海沉积为主; 枯季在黄河及沿岸河流影响下, 以河流(三角洲)沉积为主。

**关键词:** 宁海—西双河叶瓣; 潮滩; 粒度; 丰、枯季节; 黄河三角洲

**中图分类号:** P736.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2096-1871(2021)02-229-10

黄河三角洲潮滩是入海河道与沿岸海域交互的场所, 具有可观的物质交换量<sup>[1]</sup>。潮滩带粒度特征对反映物质来源、运移机制以及河海交互特征具有指示意义<sup>[2-4]</sup>。自 1855 年铜瓦厢决口改道至今, 黄河入海河道经历了 10 余次较大改变<sup>[5]</sup>, 其中 1889—1904 年、1929—1934 年、1934—1938 年、1947—1953 年、1976—1996 年几次行水期塑造了目前莱州湾西岸整体沉积环境。1929 年 8 月—1930 年 4 月, 黄河于淄脉沟(现广利河口)入海, 成为现代黄河三角洲南部边界<sup>[6]</sup>。

20 世纪 80 年代以来, 相关学者针对黄河三角洲河道变化、岸线变迁及三角洲演化规律展开了一系列研究, 取得的研究成果为进一步研究黄河三角洲提供了理论依据<sup>[7-10]</sup>。近年来, 关于黄河三角洲

的研究主要集中于现代河口淤进<sup>[11]</sup>、北部岸线蚀退<sup>[12]</sup>以及护坡工程建设<sup>[13]</sup>等方面。

宁海—西双河叶瓣位于黄河三角洲最南端, 与莱州湾南岸潍河—弥河集群三角洲毗邻, 目前主要作为黄河三角洲或莱州湾沿岸的组成部分, 当前主要研究内容包括港口建设<sup>[14-15]</sup>和环境质量评价<sup>[16]</sup>等。2014 年以来, 依托科技部基础性工作专项“我国典型潮间带沉积物质量本底调查及图集编研”, 笔者对宁海—西双河叶瓣潮间带潮滩进行了野外考察与采样, 并对沉积物粒度与地球化学特征<sup>[17-18]</sup>进行了分析, 但沉积特征年内季节变化目前尚未进行深入研究。本文在 2014—2015 年丰、枯季沉积物样品粒度数据对比分析的基础上, 选取相关指标, 通过粒度分析以期丰、枯季降水量变化对沉积环

\* 收稿日期: 2020-03-04 修订日期: 2020-09-14 责任编辑: 叶海敏

**基金项目:** 国家自然科学基金“晚更新世以来莱州湾地下卤水成因及恢复性研究(编号: 41977173)”、科技部基础性工作专项“我国典型潮间带沉积物质量本底调查及图集编研(编号: 2014FY210600)”、国家重点研发专项“沿海地区海水入侵现状调查评价(编号: 2016YFC0402801)”和中国地质调查局“渤海湾西部等重点海岸带综合地质调查(编号: DD20160144)”项目联合资助。

**第一作者简介:** 黄学勇, 1991 年生, 男, 硕士研究生, 自然地理学专业。Email: hxyong@21CN.com。

境的影响提供证据。

## 1 研究区概况

研究区属温带季风气候,地势低平,年平均降水量约 600 mm,全年降水集中在夏秋季节。东营气象观测站多年气象资料统计显示:黄河三角洲及莱州湾海域累年年均气温为 12℃左右,年均温变化幅度一般为 1.5 年以下<sup>[19]</sup>。常风向为 SE 向、SSE 向和 S 向,为离岸风;次常风向为 NE 向,为向岸风。

本次研究采样地点位于现代黄河三角洲宁海—西双河叶瓣南部潮滩,地理坐标为:118°54′~119°18′ E, 37°15′~37°33′ N (图 1)。潮滩冲淤相对稳定,分带性好,顺岸线变化小。采样剖面为平缓的斜坡,靠近剖面起点有因修筑防波堤形成的侵蚀沟。研究区南部广利河曾是黄河入海河道,黄河行水期结束后,经多年改造,演变为现在的河道。广利河与溢洪河在淄脉沟入海与支脉河形成三河相通的水系<sup>[20]</sup>。

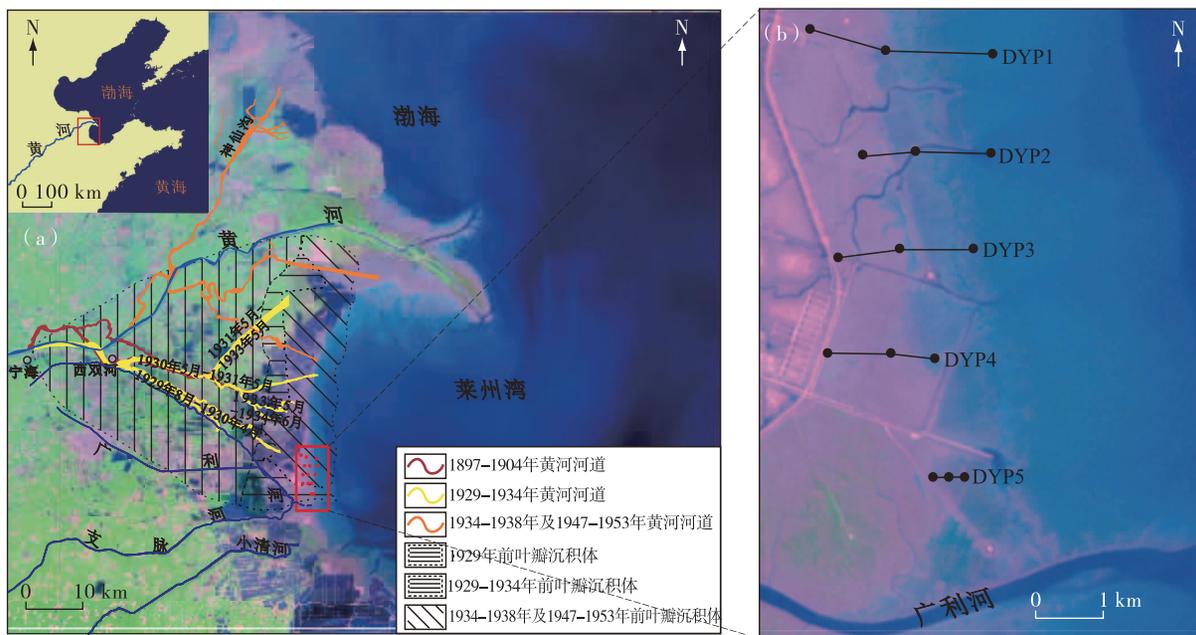


图1 研究区地质概况图(a)与采样位置示意图(b)

Fig. 1 Geological sketch map (a) of the study area and sketch map (b) of sampling positions

黄河于 1897—1904 年、1929—1934 年在该区直接入海,其中 1929—1934 年影响最直接,期间黄河河道多次变化,短则 7—8 个月,长则 2 年<sup>[5]</sup>。1934 年后,黄河逐渐改道向北,对宁海—西双河叶瓣潮滩影响逐渐变小。1953 年,随着黄河由神仙沟单独入海,宁海—西双河叶瓣潮滩逐渐废弃<sup>[21]</sup>。

## 2 样品采集与数据分析

2014 年 9 月(丰季)和 12 月(枯季),中国地质调查局青岛海洋地质研究所在宁海—西双河叶瓣南部潮滩布设 5 条表层沉积物调查剖面(编号为 DYP1—DYP5)。尽量选择底质相对均匀完整、人为扰动较小的剖面进行采样,剖面间距约 1.5 km,长 1.5~3.0 km,由潮上带至潮下带布设 3 个采样

站位,间距约 600 m,采集 15 组(30 个)表层沉积物样品(图 1),丰季表层沉积物相关信息如表 1 所示。每个样品厚约 5 cm,根据不同剖面 and 站位对样品进行标号(如 DYP1 剖面潮上带、潮间带和潮下带分别命名为 DYP1-1、DYP1-2 和 DYP1-3),密封保存,用标签标注采样时间及地点等信息。

沉积物粒度由英国 Malvern 公司生产的 Mastersizer 2000 型激光粒度仪进行测试,误差 $\leq 1$ 。采用 Udden-Wentworth  $\Phi$  值粒级标准<sup>[22-23]</sup>表示粒度分级结果,粒级间隔 0.25  $\Phi$ 。实验过程为:取沉积物样品放置在烧杯中,用过氧化氢除去有机质;分别用盐酸除去碳酸盐,注入蒸馏水除去絮凝性较强的钙、氢等离子,加入分散剂后用超声波清洗震荡 10 min;将处理后的样品用激光粒度仪进行测量。

根据不同粒度含量,绘制粒度频率曲线和概率累积曲线,计算砂、粉砂、黏土含量,用 GRADISTAT 粒

度处理软件<sup>[24]</sup> 计算平均粒径( $M_z$ )、分选系数( $\sigma$ )、偏态( $S_k$ )、峰度( $K_g$ )等。

表 1 丰季表层沉积物采样记录

Table 1 Sampling records of the surface sediments in wet season

样品编号	实验编号	纬度	经度	岩性
DYP1-1	DYP01-2014F-1	37°25'43.28" N	118°54'04.33" E	灰色、黄灰色粉砂质黏土
DYP1-2	DYP01-2014F-2	37°25'30.40" N	118°55'52.51" E	灰黄色黏土质粉砂
DYP1-3	DYP01-2014F-3	37°25'27.95" N	118°56'57.00" E	黄色粉砂、细粉砂
DYP2-1	DYP02-2014F-1	37°24'40.48" N	118°55'37.67" E	灰色、黄灰色粉砂质黏土
DYP2-2	DYP02-2014F-2	37°24'42.12" N	118°56'09.67" E	灰黄色黏土质粉砂
DYP2-3	DYP02-2014F-3	37°24'40.48" N	118°56'54.54" E	黄色粉砂、细粉砂
DYP3-1	DYP03-2014F-1	37°23'52.55" N	118°55'21.67" E	灰色、黄灰色粉砂质黏土
DYP3-2	DYP03-2014F-2	37°23'55.71" N	118°55'58.99" E	灰黄色黏土质粉砂
DYP3-3	DYP03-2014F-3	37°23'54.98" N	118°56'42.80" E	黄色粉砂、细粉砂
DYP4-1	DYP04-2014F-1	37°23'07.13" N	118°55'14.55" E	灰色、黄灰色粉砂质黏土
DYP4-2	DYP04-2014F-2	37°23'06.09" N	118°55'52.31" E	灰黄色黏土质粉砂
DYP4-3	DYP04-2014F-3	37°23'03.27" N	118°56'18.71" E	黄色粉砂、细粉砂
DYP5-1	DYP05-2014F-1	37°22'06.89" N	118°56'16.15" E	灰色、黄灰色粉砂质黏土
DYP5-2	DYP05-2014F-2	37°22'06.31" N	118°56'25.34" E	灰黄色黏土质粉砂
DYP5-3	DYP05-2014F-3	37°22'06.89" N	118°56'34.80" E	黄色粉砂、细粉砂

### 3 研究方法

#### 3.1 Pejrup 粒度三角图

Pejrup 粒度三角图由丹麦学者 PEJRUP M<sup>[25]</sup> 在 1988 年提出图(2)。首先用平行砂端元对边,即砂/泥(粉砂+黏土)比分别为 9、1、1/9 的 3 条界线将沉积物分为 A、B、C、D 四类,然后用粉砂/黏土比为 4、1、1/4 的 3 条辐射线将上述四类沉积物分为 I 类、II 类、III 类和 IV 类,据此将沉积物分为 16 类。

Pejrup 粒度三角图可很好地解释沉积物成因。A、B、C、D 反映沉积物中砂、泥(粉砂+黏土)含量比,该比值受物源区远近、搬运介质强弱和介质浑浊度影响。I 类、II 类、III 类和 IV 类反映了沉积介质受扰动程度: I 类沉积物悬浮组分均为黏土质,代表平静介质; IV 类沉积物悬浮组分均为粉砂,代表扰动环境; II 类和 III 类沉积物悬浮组分介于 I 类和 IV 类之间。

#### 3.2 粒径-标准偏差曲线

粒径-标准偏差曲线是依据每一粒级对应含量

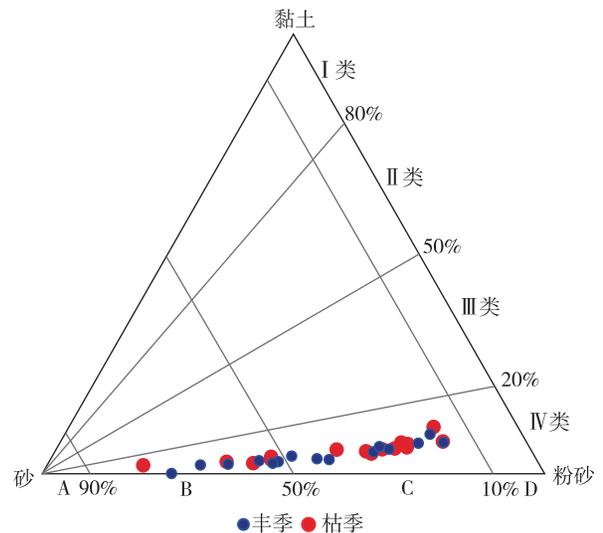


图 2 Pejrup 粒度三角图<sup>[25]</sup>

Fig. 2 Pejrup grain size triangular diagram<sup>[25]</sup>

的标准偏差变化提取环境敏感因子<sup>[26-27]</sup>,通过计算每一粒级在样品中的标准偏差值获得粒度组分的个数和分布范围,标准偏差值最大的粒级为环境敏感因子。标准偏差计算公式为

$$s = \sqrt{\left[ \sum_{i=1}^n (s_i - \bar{s})^2 \right] / n} \quad (1)$$

式中: $s$  为偏差; $s_i$  为样本值; $\bar{s}$  为样本平均值; $n$  为样本数,个。

### 3.3 粒度参数及萨胡判别函数

粒度参数中,平均粒径( $M_z$ )和分选系数( $\sigma$ )与潮间带动力关系密切,平均动能越强,平均粒径越粗,外部动力波动越大,分选性越好。偏态( $S_K$ )反映平均粒径与中值粒径的关系,细颗粒富集为正偏,粗颗粒富集为负偏<sup>[28]</sup>。峰度( $K_G$ )与潮间带动力环境关系密切程度不大,主要反映物质来源的多样性,较窄峰度说明来自附近环境中未经改造的碎屑组分较少<sup>[29]</sup>。

SAHU<sup>[28]</sup>通过对大量沉积物样品进行分析,运用粒度参数求得了各种类型的沉积环境判别函数。

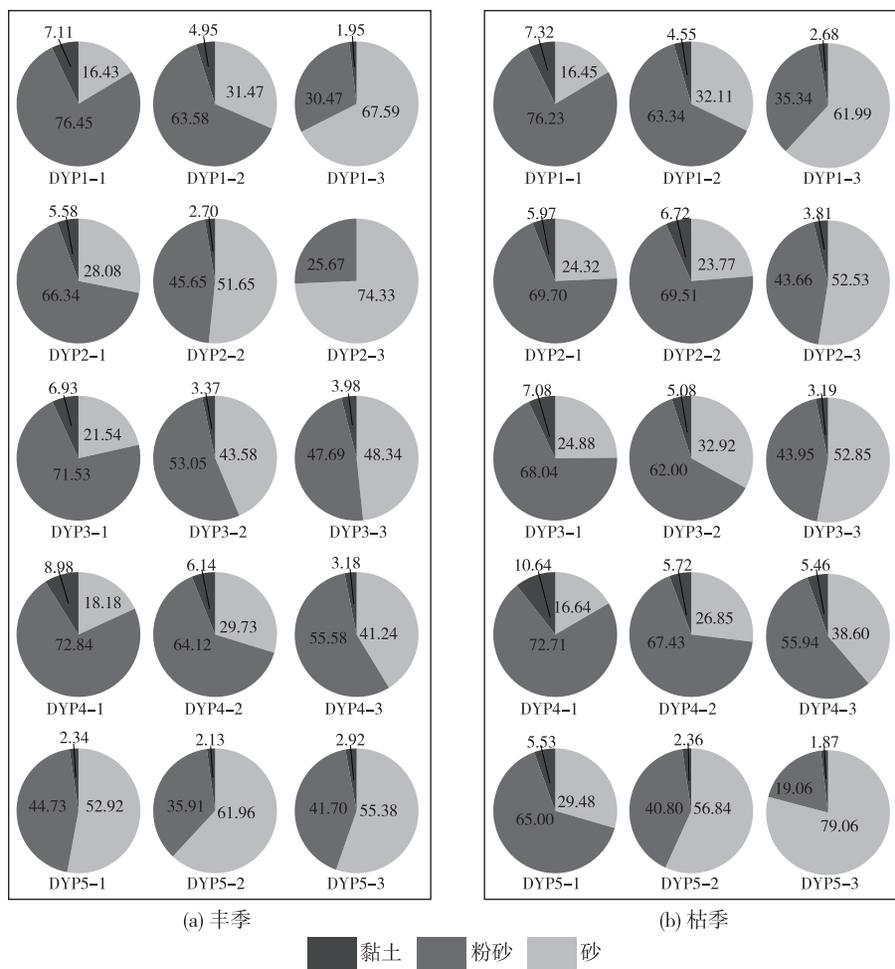
研究区主要沉积环境为浅海和河流(三角洲),其判别公式为

$$Y = 0.285 2M_z - 8.760 4\sigma^2 - 4.893 2S_K + 0.048 2K_G \quad (2)$$

式中: $Y$  为判别参数, $Y > -7.419 0$  为浅海沉积, $Y < -7.419 0$  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 $-10.441 8$ 。

## 4 结果分析

沉积物粒度组分主要以粉砂质和砂质为主,黏土质含量相对较少。由潮上带至潮下带,粉砂质含量最大转变为黏土质含量最大。5条沉积剖面中,DYP2和DYP5丰、枯季节粒度组分变化程度最大,潮上带和潮间带砂质含量明显减少。DYP2潮下带砂质含量明显减小,而DYP5潮下带砂质含量明显变大(图3)。



图中数据单位%

图3 表层沉积物丰、枯季粒度组分统计图

Fig. 3 Grain size compositions of surface sediments in wet and dry seasons

表层沉积物丰季和枯季粒度参数如表 2 所示。表层平均粒径主要为 3.00~5.00  $\Phi$ ,按照相关分级标准<sup>[22-23]</sup>,属于细粉砂和粉砂。按照 FORK R L 等<sup>[30]</sup>分级标准,分析系数为 0.50~2.00,属于分选较好、分选中等和分选较差;DYP1~DYP4 剖面偏态数值大多 >0.30,属于极正偏,DYP5 剖面偏态数值明显小于其他剖面,大致为对称偏。峰度数值范围为 1.00~1.84,大多为窄峰和很窄峰,少数为中等峰。

表层沉积物样品丰、枯季粒度曲线(图 4)显示:DYP1 和 DYP4 丰季及枯季粒度曲线大致重合,DYP2 丰季粒度频率曲线最大百分含量明显高于枯季。相比枯季,丰季曲线明显偏窄,潮上带枯季概率累积曲线呈三段式分布,有一定的底面推移质,而潮下带丰季概率累积曲线明显高于枯季,说明枯季水动力较弱,物质搬运能力变弱。DYP3 和 DYP5 粒度曲线丰季和枯季变化明显,由潮上带至潮下带,枯季粒度曲线逐渐高于丰季,DYP3 潮上带概率累积曲线呈一定的底面推移质。

表 2 表层沉积物丰、枯季粒度参数

Table 2 Grain size parameters of surface sediments in wet and dry seasons

样品编号	平均粒径/ $\Phi$		分选系数		偏态		峰度	
	丰季	枯季	丰季	枯季	丰季	枯季	丰季	枯季
DYP1-1	4.67	4.73	1.31	1.34	0.38	0.39	1.73	1.64
DYP1-2	4.21	4.19	1.15	1.13	0.33	0.31	1.70	1.65
DYP1-3	3.45	3.57	0.74	0.97	0.13	0.27	1.07	1.48
DYP2-1	4.32	4.48	1.21	1.32	0.36	0.29	1.72	1.63
DYP2-2	3.75	4.50	0.81	1.32	0.28	0.40	1.77	1.71
DYP2-3	3.40	3.79	0.54	1.09	0.05	0.34	1.00	1.71
DYP3-1	4.60	4.51	1.36	1.40	0.39	0.34	1.62	1.68
DYP3-2	3.91	4.18	0.97	1.16	0.29	0.35	1.65	1.75
DYP3-3	3.87	3.74	1.07	0.97	0.34	0.29	1.69	1.67
DYP4-1	4.84	5.07	1.53	1.67	0.44	0.48	1.59	1.43
DYP4-2	4.29	4.35	1.25	1.21	0.39	0.37	1.84	1.75
DYP4-3	3.93	4.04	0.92	1.17	0.31	0.36	1.80	2.00
DYP5-1	3.73	4.26	0.62	1.18	0.14	0.36	1.14	1.79
DYP5-2	3.58	3.65	0.66	0.89	0.11	0.22	1.10	1.53
DYP5-3	3.68	3.23	0.99	0.67	0.24	0.10	1.56	1.05

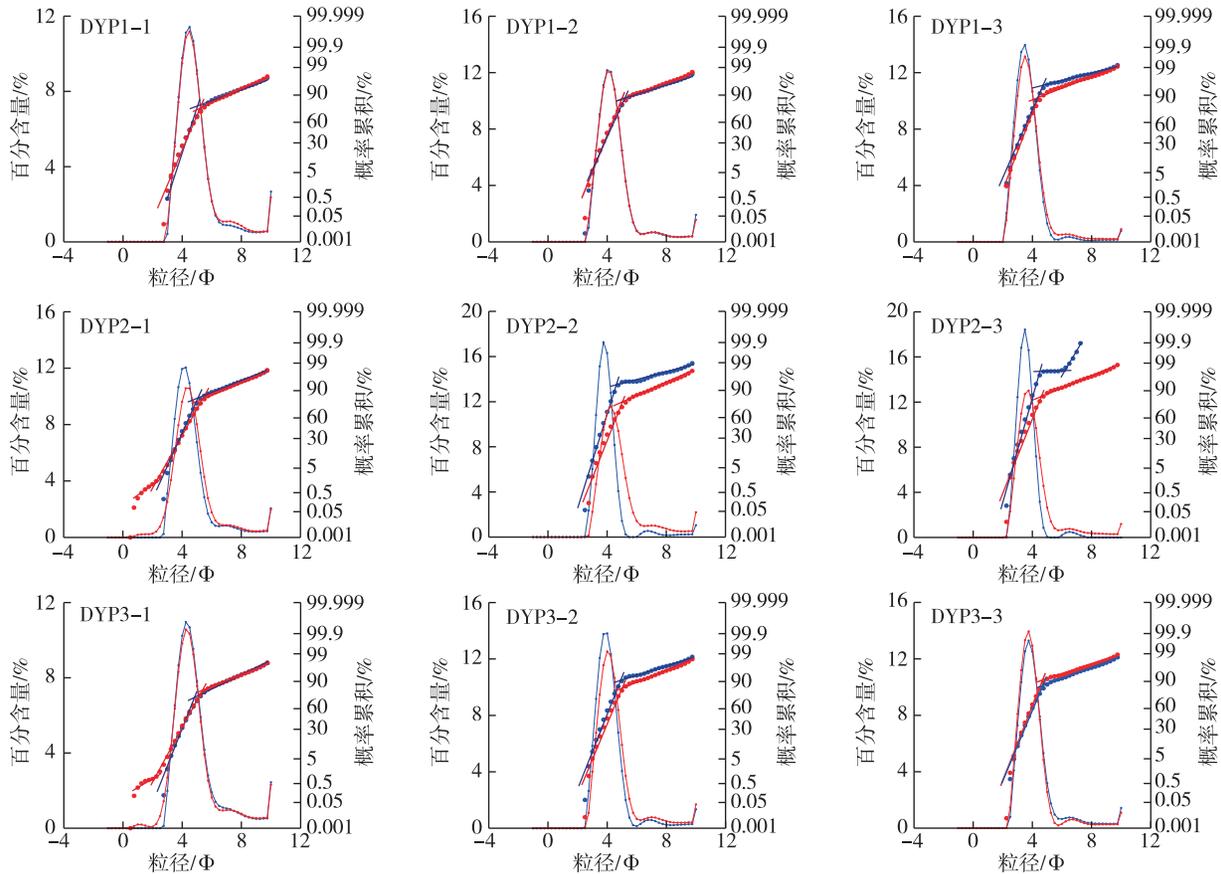


图 4-1 表层沉积物丰、枯季粒度曲线

Fig. 4-1 Grain size curves of surface sediments in wet and dry seasons

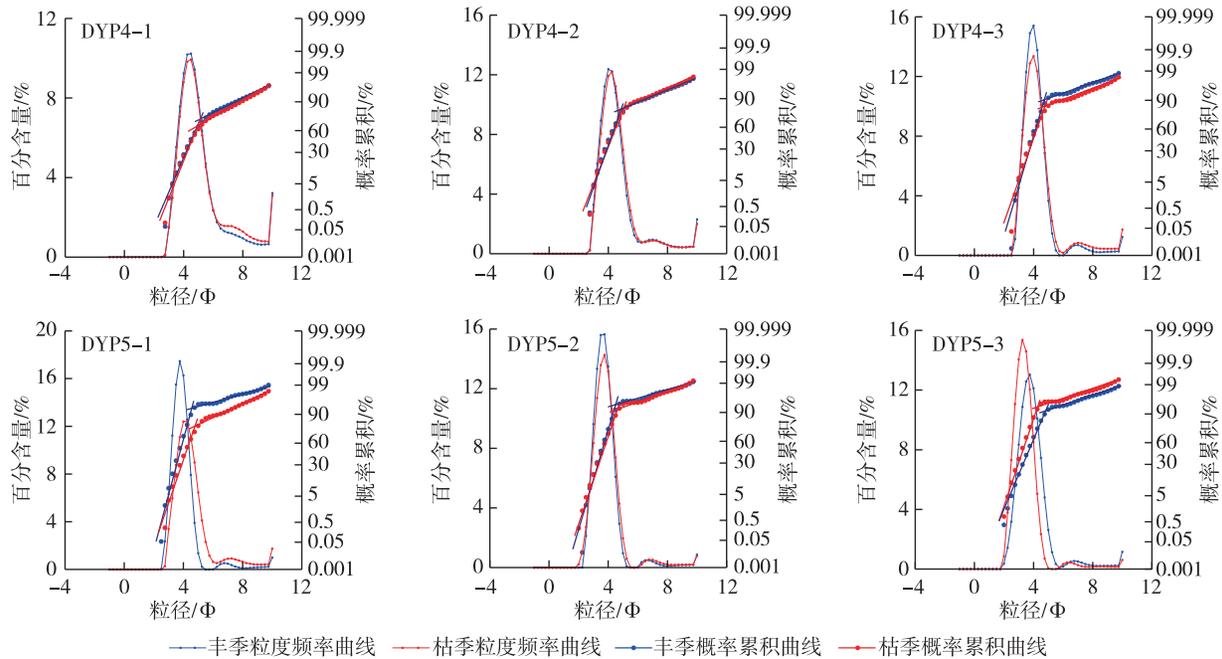


图 4-2 表层沉积物丰、枯季粒度曲线

Fig. 4-2 Grain size curves of surface sediments in wet and dry seasons

## 5 讨论

表层沉积物样品在 Pejrur 粒度三角图上处于 B-III 和 C-III 两个沉积动力区(图 2),是由静水环境向扰动环境过渡的阶段。丰季沉积物分布相对均匀,由 B-III 逐渐过渡至 C-III,枯季沉积物分布呈现向 A 端和 D 端集中的趋势,说明枯季潮滩外部动力空间差异明显,导致沉积物粒径差异变大。

表层沉积物粒径-标准偏差曲线(图 5)表明,丰季粗粒敏感组分为 3.25~3.50  $\Phi$ ,枯季粗粒敏感组分为 3.00~3.25  $\Phi$ 。研究表明,黄河沉积物粒径敏感组分约为 3.00  $\Phi$ ,因此粗粒组分与黄河关系密切。除黄河外,影响研究区的河流主要为广利河水系,细粒敏感组分主要受广利河水系影响,由于广利河目前主要职能为防洪排涝,因此受丰季和枯季影响明显,丰季细粒的粒级敏感组分(4.75~5.00  $\Phi$ )明显大于枯季的敏感组分(4.75  $\Phi$ )。极细粒的敏感组分(10  $\Phi$ )与莱州湾海水动力作用有关<sup>[21]</sup>。

莱州湾内海流主要为潮汐余流,在湾内呈顺时针流动<sup>[31]</sup>,即水体从莱州湾口东部流入,向莱州湾南岸作顺时针运动后由现代黄河口流出(图 6),在潮汐余流作用下莱州湾内沉积物自东向西运移。

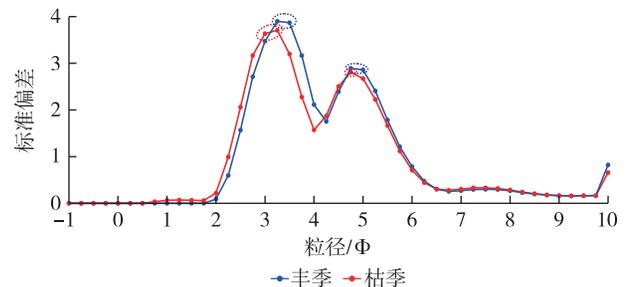


图 5 表层沉积物粒径-标准偏差曲线

Fig. 5 Grain size-standard deviation curves of surface sediments in wet and dry seasons

莱州湾属于典型季风区,冬夏风向不同,风生环流在莱州湾环流中占一定比例,在冬季风场作用下莱州湾风生环流呈不封闭的逆时针环流<sup>[32-33]</sup>,黄河入海物质被风生环流带入莱州湾。

表层沉积物丰季和枯季平均粒径-分选系数关系图(图 7(a))、平均粒径-偏态关系图(图 7(b))、分选系数-偏态关系图(图 7(d))具有明显的相关性( $R^2 > 0.50$ ),颗粒越粗分选性越好,说明沉积物经历了长期的分选,潮滩动力越强,富集的颗粒越粗。在平均粒径-峰度关系图(图 7(c))中,沉积物样点零星分布,不存在相关性,表明物质来源多样性与潮滩动力变化无关。丰季分选系数-峰度关系图(图

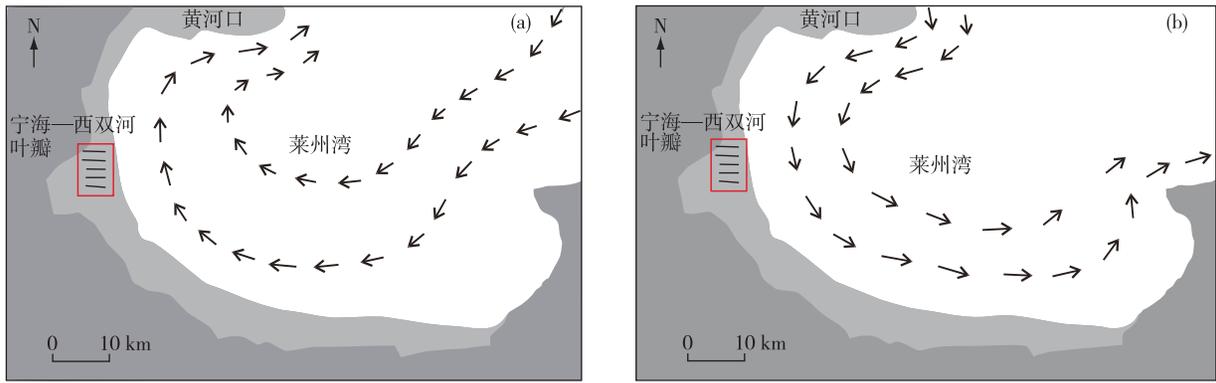


图 6 莱州湾潮汐余流(a)与冬季风生环流(b)示意图<sup>[29-31]</sup>

Fig. 6 Tidal residual current (a) and winter wind-driven current (b) in Laizhou Bay<sup>[29-31]</sup>

7(e))、偏态-峰度关系图(图 7(f))显示明显的相关性,分选较好的样品物质来源具有多样性。枯季不

存在相关性,反映丰季与枯季在物质来源上存在一定差异性。

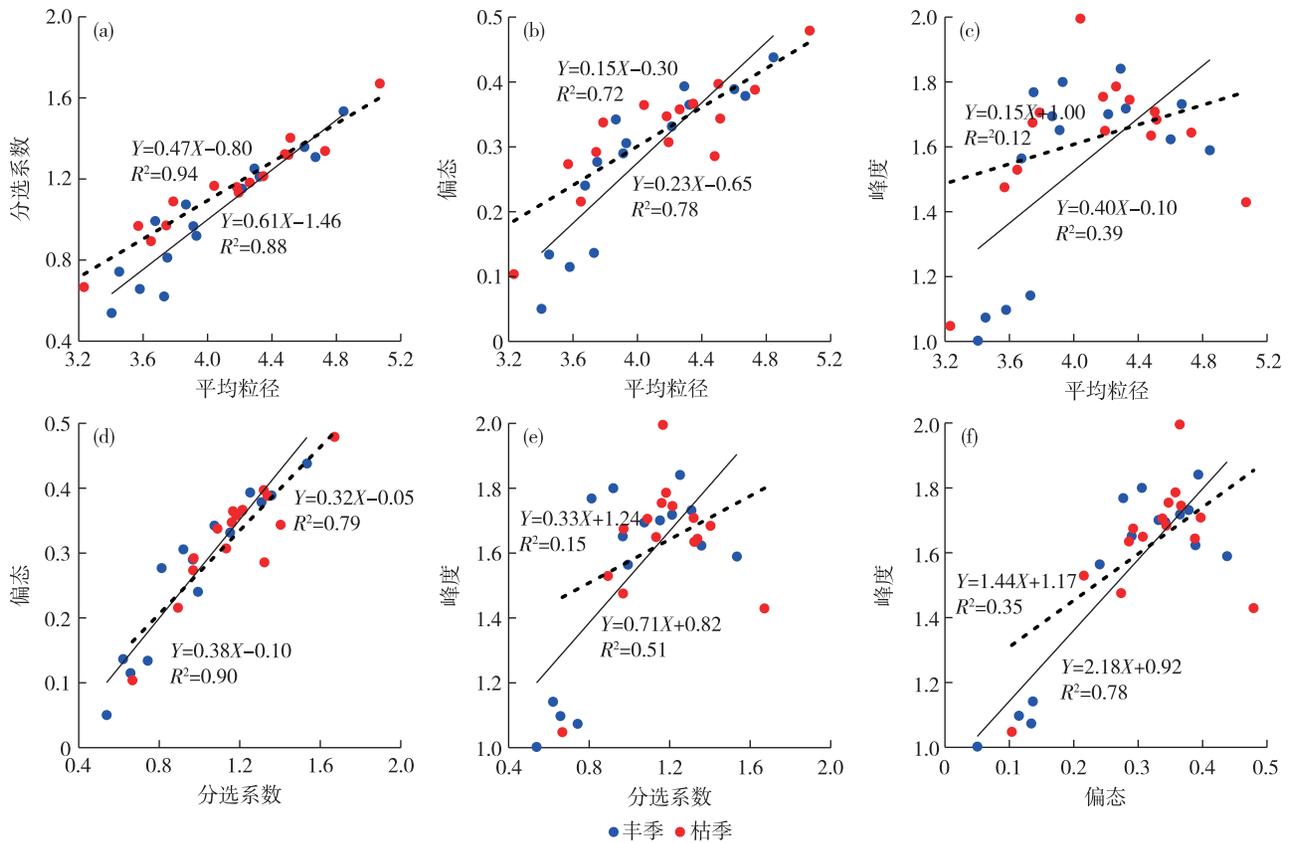


图 7 宁海—西双河叶瓣潮滩表层沉积物粒度参数之间的关系

Fig. 7 Relation between different grain size parameters of the surface sediments in Ninghai-Xishuanghe lobe tidal flat

根据表层沉积物样品粒度参数值,运用萨胡判别函数计算的沉积环境数值丰、枯季空间分布如图 8 所示。由岸向海,沉积环境由河流(三角洲)沉积环境逐渐过渡为浅海沉积环境,研究区夏季为丰季,降水量

大,受沿岸潮汐余流、风暴潮等天气影响<sup>[34]</sup>,Y=-8.410 等值线大致分布在潮间带位置,在 DYP4 位置向海凸起(图 8(a))。枯季河流(三角洲)沉积环境占主导,浅海沉积环境局限于研究区东南角(图

8(b)),这一现象与黄河泥砂运移关系密切。研究区冬季为枯季,在北向大风作用下,黄河南下泥砂影响范围甚至能够到达更远的小清河口<sup>[35]</sup>。

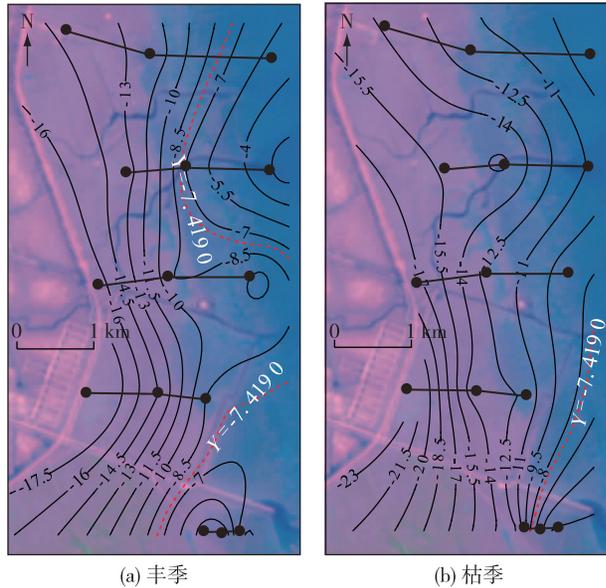


图8 宁海—西双河叶瓣潮滩萨胡Y值空间分布示意图  
Fig. 8 Spatial distribution of Sahu Y values for Ninghai-Xishuanghe lobe tidal flat

## 6 结论

(1)宁海—西双河叶瓣南部潮滩沉积物主要类型为砂和粉砂,沉积物粒度特征丰季和枯季存在一定差异,DYP2、DYP5剖面丰季和枯季变化最剧烈。该区水动力环境整体较强,枯季潮滩外部动力差异更为明显。丰季样品在Pejrup粒度三角图上分布相对均匀,枯季样品呈现向砂端和粉砂端集中的趋势。

(2)粗粒粒级敏感组分与黄河关系密切。相比丰季,枯季受沿岸风生洋流作用影响,黄河入海泥砂流入莱州湾,粒级敏感组分与黄河更接近。除了黄河外,广利河水系以及莱州湾海水动力作用也影响粒级敏感组分的分布。宁海—西双河叶瓣南部潮间带沉积物经历了长时间的分选,物质来源存在一定的季节性差异。

(3)宁海—西双河叶瓣以河流(三角洲)沉积环境为主。丰季由于潮汐余流作用,整体数值偏小,反映了海水动力作用较强。冬季风作用下形成的逆时针环流将更多黄河入海泥砂带入莱州湾。

## 参考文献

- [1] 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.
- [2] 蒋仁,曾剑威,刘凯,等. 江苏洋口港地区埋藏古潮成砂脊年代学特征及古环境意义[J]. 华东地质, 2019, 40(1):11-18.
- [3] 陶春军,贾十军,陈富荣,等. 安徽北淮阳沙坪沟铅矿区水系沉积物粒级试验研究[J]. 华东地质, 2017, 38(1): 58-65.
- [4] 蔡雄飞,罗中杰. 湘西北张家界四都坪陡山沱组沉积特征新发现及古地理意义[J]. 华东地质, 2018, 39(1): 11-17.
- [5] 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.
- [6] 高善明,李元芳,安凤桐,等. 黄河三角洲形成和沉积环境[M]. 北京: 科学出版社, 1989: 51-91.
- [7] QIAO S Q, SHI X F, SAITO Y, et al. Sedimentary records of natural and artificial Huanghe (Yellow River) channel shifts during the Holocene in the southern Bohai Sea[J]. Continental Shelf Research, 2011, 31(13):1336-1342.
- [8] CUI B L, LI X Y. Coastline change of the Yellow River estuary and its response to the sediment and runoff (1976—2005) [J]. Geomorphology, 2011, 127(1/2):32-40.
- [9] 成国栋,任于灿,李绍全,等. 现代黄河三角洲河道演变及垂向序列[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1986, 6(2):1-15.
- [10] 杨怀仁,王建. 黄河三角洲地区第四纪海进与岸线变迁[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1990, 10(3):1-14.
- [11] ZHOU L Y, LIU J, SAITO Y, et al. Modern sediment characteristics and accumulation rates from the delta front to prodelta of the Yellow River (Huanghe) [J]. Geo-Marine Letters, 2016, 36(4): 247-258.
- [12] 王奎峰,李念春,王薇. 黄河三角洲多年海岸线动态变迁特征及演化规律[J]. 应用海洋学学报, 2018, 37(3): 330-338.
- [13] 李广雪,刘守全,姜玉池,等. 黄河三角洲北部海底刺穿初步研究[J]. 中国科学:地球科学, 1999, 29(4): 379-384.
- [14] 林维田,吴永亭,刘建立. 广利港河道水位变化及河口拦门沙地形变化分析研究[J]. 海岸工程, 2008, 27(3): 9-14.

- [15] 陈静,冯秀丽,李安龙,等. 广利港口拦门沙航道开挖后淤积强度预测[J]. 海洋科学, 2003, 27(6): 47-50.
- [16] 刘爱菊,李坤平,黄易畅. 广利河口至港池段潮波的传播及变形[J]. 黄渤海海洋, 1989, 8(2): 94-99.
- [17] 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.
- [18] 黄学勇,张戈,高茂生,等. 广利河口北潮滩重金属分布特征及评价[J]. 海洋地质前沿, 2018, 34(9): 43-50.
- [19] 于永海,张盼,林霞,等. 莱州湾现代沉积特征及中全新世以来沉积环境演变研究[M]. 南京: 河海大学出版社, 2017: 1-50.
- [20] 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.
- [21] 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物粒度特征及其粗化现象[J]. 第四纪研究, 2017, 37(2): 353-367.
- [22] UDDEN J A. Mechanical composition of clastic sediments[J]. Geological Society of America Bulletin, 1914, 25(1): 655-744.
- [23] WENTWORTH C K. A scale of grade and class terms for clastic sediments[J]. Journal of Geology, 1922, 30(5): 377-392.
- [24] BLOTT S J, PYE K. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments[J]. Earth Surface Processes & Landforms, 2001, 26(11): 1237-1248.
- [25] PEJRUP M. The triangle diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach[M]//Tidal-influenced Sedimentary Environments and Facies. Dordrecht: Reidel Publishing Company, 1988: 289-300.
- [26] 孙有斌,高抒,李军. 边缘海陆源物质中环境敏感粒度组分的初步分析[J]. 科学通报, 2003, 48(1): 83-86.
- [27] 陈桥,刘东艳,陈颖军,等. 粒度-标准偏差法和主成分因子分析法在粒度敏感因子提取中的对比[J]. 地球与环境, 2013, 41(3): 319-325.
- [28] SAHU B K. Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments[J]. Journal of sedimentary Petrology, 1964, 34(1): 73-83.
- [29] FRIEDMAN G M. Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics[J]. Sedimentary Petrology, 1961, 31(4): 514-529.
- [30] FOLK R L, WARD W C. A study in a significance of grain size parameters [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1957, 27(1): 3-26.
- [31] 赵保仁,庄国文,曹德明,等. 渤海的环流、潮余流及其对沉积物分布的影响[J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(5): 466-473.
- [32] 黄大吉,苏纪兰,张立人. 渤海冬夏季环流的数值研究[J]. 空气动力学学报, 1998, 16(1): 115-121.
- [33] 李国胜,王海龙,李柏良. 渤海风驱-潮致拉格朗日余流的数值模拟与季相时空变异[J]. 地理研究, 2005, 24(3): 359-370.
- [34] 刘桂卫,黄海军,刘艳霞,等. 风暴潮前后莱州湾西岸滩演化特征研究[J]. 海洋科学集刊, 2010, 50: 32-39.
- [35] 陈炳安. 小清河河口近海区泥沙动态分析[J]. 海洋通报, 1982(5): 60-73.

## Grain size characteristics and seasonal variation of the Ninghai-Xishuanghe lobe tidal flat sediments in southern Yellow River Delta

HUANG Xueyong<sup>1</sup>, GAO Maosheng<sup>2,3</sup>, HOU Guohua<sup>2,3</sup>, ZHANG Ge<sup>1</sup>, DANG Xianzhang<sup>2,3</sup>

(1. *School of Geography Science, Liaoning Normal University, Dalian 116029, Liaoning, China;*

2. *Key Laboratory of Coastal Wetland Biogeosciences, CGS, Qingdao 266071, Shandong, China;*

3. *Qingdao Institute of Marine Geology, CGS, Qingdao 266071, Shandong, China*)

**Abstract:** According to the grain size data of 15 groups of surface sediment samples in wet and dry seasons, the methods of Pejrup grain size triangle, grain size-standard deviation curve and grain size parameter analysis are used to analyze the sedimentary characteristics of Ninghai-Xishuanhe lobe tidal flat in the south of modern Yellow River Delta in wet and dry seasons. The results indicate that the grain size of sediments change with season and the spatial distribution is different as well. Due to the large precipitation in wet season, the general sedimentary environment is stable, while the sedimentary environment in dry season is relatively turbulent, more obviously affected by the modern Yellow River. The correlation of grain size parameters shows that the sediments undergo long-time sorting before formation. The diversity of material sources has little to do with tidal flat dynamics, and the material sources are different in wet and dry seasons. By comparing the function values of sedimentary environment in wet and dry seasons, it is found that the wet season is strongly affected by tidal residual current, with neritic sediments dominated, while the dry season is dominated by fluvial (delta) deposits under the influence of Yellow River and nearby rivers.

**Key words:** Ninghai-Xishuanghe lobe; tidal flat; grain size; wet and dry seasons; Yellow River Delta