

文章编号: 1000-0550(2004)01-0124-06

江苏王港潮间带表层沉积物特征及输运趋势

王爱军 汪亚平 杨

(南京大学海岸与海岛开发教育部重点实验室 南京 210093)

摘要 潮滩沉积物粒度参数可以用来反映沉积物沉积的水动力条件和沉积环境。根据对江苏王港潮间带采集的 154 个表层样品的粒度资料进行分析,结果表明,沉积物类型以粉砂为主;随着水动力环境由海向陆的减弱,沉积物粒度参数表现出有规律的变化趋势,即由岸向海粒径具有粗化趋势,分选变好,逐渐正偏并达到近对称。研究区与世界其他地区的潮滩在沉积特征上有较大差异,主要是由于沉积物来源、水动力环境及受生物作用的强弱程度不同所致。沉积物输运趋势分析显示,该地区沉积物输运主要受当地潮波特征、大型人工建筑物、地貌形态及生物作用的影响;在低潮线附近主要向西北方向输运,随着向陆地方向的延伸,沉积物由向西输运逐渐转变为向南输运。

关键词 沉积物类型 粒度参数 粒径趋势分析 王港潮间带

第一作者简介 王爱军 男 1977 年出生 硕士研究生 沉积动力学

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

1 引言

沉积物粒度是描述沉积环境的重要参数之一,特定的沉积环境必具有特定的沉积物粒度参数特征及其组合。沉积物粒度参数可用来提取沉积物的沉积环境和物质来源信息,如 Halls^[1]曾利用粒度参数之间的关系进行沉积环境的判别;Wang & Ke^[2]对江苏潮滩沉积物类型及粒度参数进行了统计分析,并对它们之间的关系做了分析。此外,粒度参数还可以反映沉积物发生沉积时的水动力条件^[3]。

沉积物粒度参数在其搬运过程中由于物理化学作用,常发生沿程变化,故对研究区粒径空间分布趋势信息进行提取和分析,可反演沉积物的净输运趋势。Mclaren & Bowles 于 1985 年提出了一个一维粒径趋势模型^[4];Gao & Collins^[5]改进并提出了二维粒径趋势模型,从而使粒径趋势分析技术趋于成熟^[6]。近年来,粒径趋势模型(GSTA)在国内也获得了较广泛的应用^[7~8]。本文通过对江苏王港潮间带与世界其他地区潮滩系统的沉积物类型及粒度参数等的比较,分析沉积动力环境的差异,并利用粒径趋势模型计算本地区沉积物输运趋势。

2 研究区概况

王港潮滩位于江苏沿海中部地区(图 1),受东海前进潮波和南黄海旋转潮波系统控制。本区潮滩与岸

外辐射沙脊群之间为向北开敞的西洋海域,其环境与开敞海岸基本上相似^[9],因此,潮间带宽 10 km,平均坡度 0.55‰,属典型淤泥质海岸,区内以潮汐作用为主,为典型半日潮,平均高潮位为 3.97 m,平均低潮位为 0.29 m,平均潮差为 3.68 m,属中潮海岸。根据实测资料,研究区内具有涨潮流占优势的特征,流速由海向陆衰减,涨潮最大流速出现在涨潮初期,落潮最大流速出现在落潮初期,涨潮流速大于落潮流速,表层流速大于底层流速;潮滩受海水淹没的时间短、水深小,涨落潮历时不对称性增大,波浪作用减小;涨潮含沙量大于落潮含沙量,底层含沙量大于表层^[10]。

3 研究方法

3.1 样品的野外采集与室内分析

2002 年 7 月 24 日至 8 月 5 日,在江苏王港潮滩的各种类型地貌单元采集 154 个样品,其中潮间带中下部的砂质粉沙滩(图 1A) 48 个、盐蒿滩(图 1B) 27 个、互花米草滩(图 1C) 19 个、低潮线附近粉砂质沙滩(图 1D) 30 个、潮间带下部泥沙混合滩(图 1E) 20 个及盐蒿滩内潮水沟底部的样品 10 个;其中,滩面表层样采集厚度约为 1 cm,潮沟底部采集厚度约为 5 cm。在采样过程中,用 GARMIN GPS 12C 手持 GPS 定位,精度为 ±10 m。

从野外采集回来的样品中分别取出 2 g 左右放入小烧杯,加入 0.5% 的六偏磷酸钠((NaPO₃)₆)浸泡 24

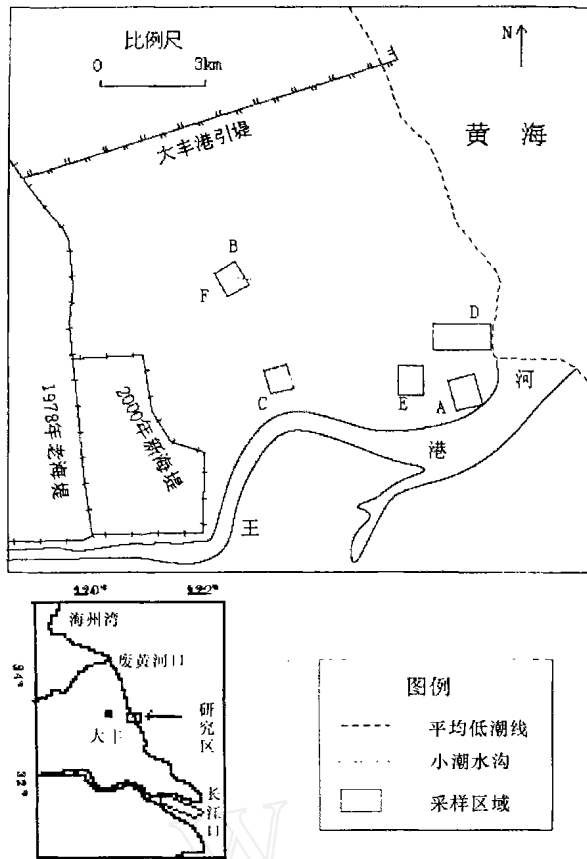


图 1 研究区位置及采样区域

Fig. 1 The location of the study area and sampling sites

小时,利用 Mastersizer 2000 型激光粒度仪进行粒度分析,获得 1/4 间隔的粒度分布数据;沉积物分类与命名与海洋调查规范相同,采用 Shepard 的分类系统^[11];中值粒径(Md)可以从粒度分析结果直接读出,其他粒度参数(平均粒径 Mz 、分选系数 So 、偏态 Sk 、峰态 Kg)的计算采用矩值法^[12],粒度参数的等级划分根据贾建军等提出的方法^[13]。

3.2 沉积物粒径趋势分析

根据沉积物的 3 种粒度参数(平均粒径、分选系数及偏态)平面分布特征,用相邻的两个采样点进行比较可以定义 8 种粒径趋势,其中有两种类型的粒径趋势在沉积物的净搬运方向上有较高的出现概率,即(1)沉积物在运移方向上分选变好、粒径变细且更加负偏;(2)沉积物在运移方向上分选变好、粒径变粗且更加正偏^[5]。将每个采样点的粒度参数与周围相邻采样点的粒度参数进行一一比较,确定各采样点的粒径趋势矢量(为方便起见,所有相邻点之间确定的矢量都为无量纲单位矢量),对每个采样点得到的矢量进行合成,得到该采样点在平面上的粒径趋势矢量;矢量合成消除噪声,从而得到研究区沉积物二维搬运格局^[5]。

4 研究结果

4.1 沉积物粒度参数特征

根据采自王港潮间带不同地貌单元的样品的粒度资料数据进行相关分析。研究表明,除了 Kg 与 Sk 之间是显著的线性关系外,其他各参数之间都是一种非线性关系,可以用多项式来表示(图 2)。表 1 给出了不同粒度参数之间的相关系数。

表 1 王港潮间带表层沉积物粒度参数之间的相关系数($n = 154, a = 0.001$)

Table 1 Correlation coefficient between grain - size parameters of surface sediments collected at the Wanggang intertidal flat ($n = 154, a = 0.001$)

粒度参数	Mz	So	Sk	Ku	$Mz - Md$
Mz	1				
So	0.855	1			
Sk	0.504	0.817	1		
Ku	0.609	0.892	0.967	1	
$Mz - Md$	0.656	0.896	0.832	0.824	1

根据沉积物粒度参数之间的关系图(图 2)可知,随着沉积物 Mz 的减小,分选逐渐变差,偏态由近对称迅速变为极正偏,峰态由非常窄迅速变化到宽;沉积物的偏态主要集中在正偏 - 极正偏,峰态主要集中在宽峰,两者之间呈现出高度的线性关系。

潮滩沉积物图解法参数中,中值粒径比平均粒径要粗^[2]。矩值参数计算结果表明, $Mz - Md$ 与各沉积物粒度参数之间有很好的相关关系(表 1),但 $Mz - Md$ 的值也有部分为负值,即有部分样品的中值粒径比平均粒径细。相关分析表明(图 3),随着差值的增加,沉积物分选变差,偏态由近对称逐渐变为极正偏,峰态由非常窄逐渐变化到宽。

4.2 沉积物分布特征

按照 Shepard^[11]的分类系统,江苏王港潮间带沉积物可细分为 5 类,即砂(S)、粉砂质砂(StS)、砂质粉砂(SSt)、粉砂(St)和粘土质粉砂(CSt)。沉积物分布呈现出由岸向海逐渐变粗的趋势。在采集的表层沉积物中,S 和 StS 所占比重为 42.21%,主要分布在小潮低潮线附近及潮间带下部的粉砂滩;SSt、St 和 CSt 所占比重 57.79%,主要分布在潮间带中下部的泥砂混合滩、潮间带中上部的互花米草滩、盐蒿滩,在小潮低潮线附近也有零星分布。沉积物的平均粒径的分布与沉积物类型分布有着比较好的对应关系,平均粒径全

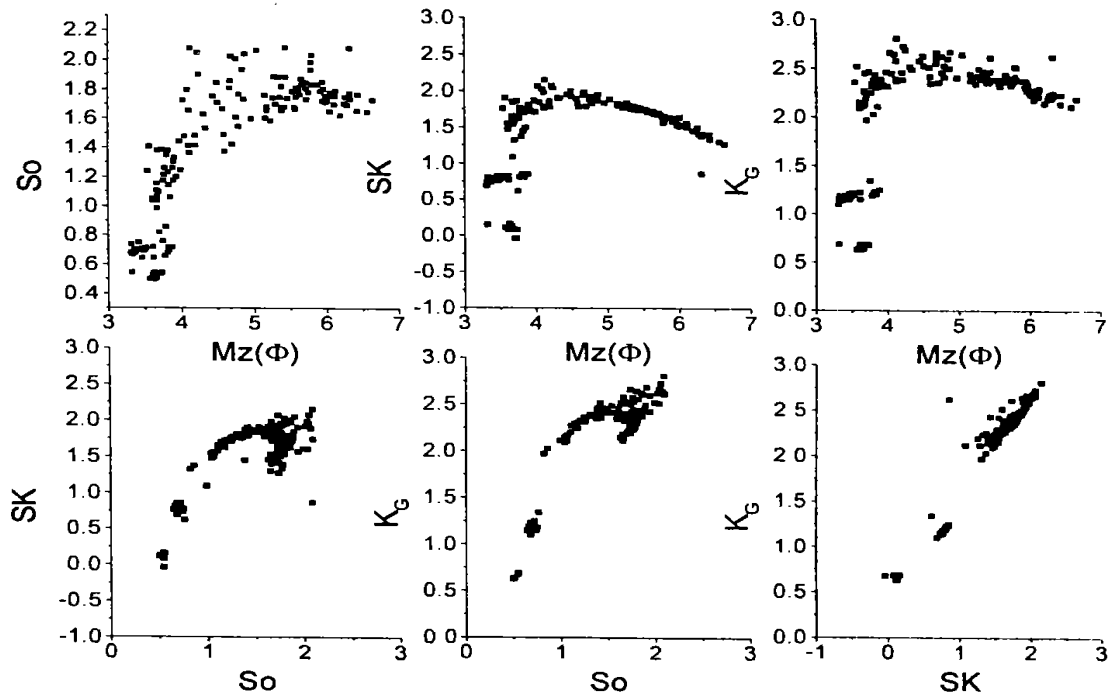


图2 王港潮间带沉积物粒度参数之间的关系

Fig. 2 Relationships between the grain size parameters associated with the intertidal flat, Wanggang Area

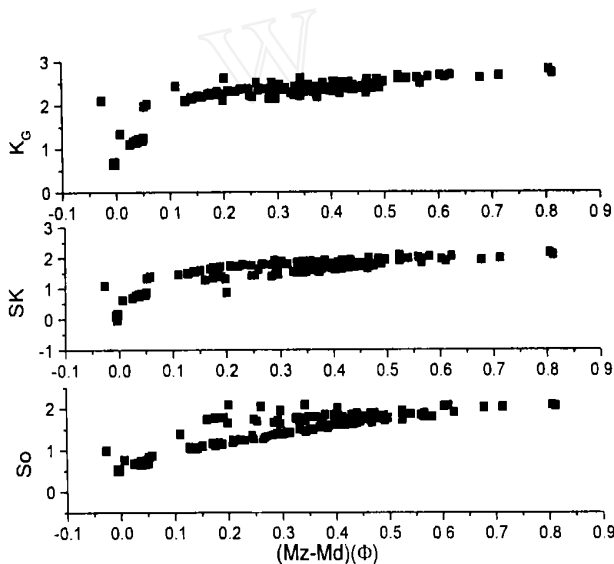


图3 (Mz - Md)与各粒度参数之间的关系

Fig. 3 Relationships between (Mz - Md) and grain size parameters

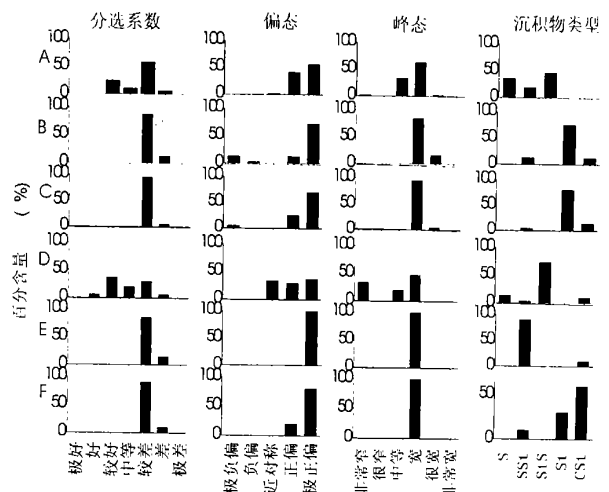


图4 不同地貌单元沉积物类型及粒度参数频率柱状图

Fig. 4 Sediment types and grain size parameters distribution of the sediments associated with the different geomorphic units

部落在 3 ~ 7 之间,其中,S 和 StS 平均粒径主要是 3.3 ~ 4.9 之间,SSt、St 和 CSt 平均粒径主要是 4.4 ~ 6.8。沉积物其它粒度参数分布也表现出一定的规律性(图 4)。

4.3 沉积物运移趋势

根据采样区域与间距,将整个采样区域划分为 A、B、C、D、E 五个研究区(图 1),各分区应用 GSTA 模型,

去除“边缘效应”影响的粒径趋势矢量后,将其余搬运趋势矢量表示于图 5,图中矢量箭头表示沉积物净搬运方向,矢量长度仅表示粒径趋势的显著性,并不代表搬运速率的大小^[6-7]。

由图 5 可以看出,在低潮线附近,沉积物搬运主要向西北方向运移,有少量表现出向东北方向搬运;随着向岸方向的延伸,沉积物主要向西运输,并逐渐转变为

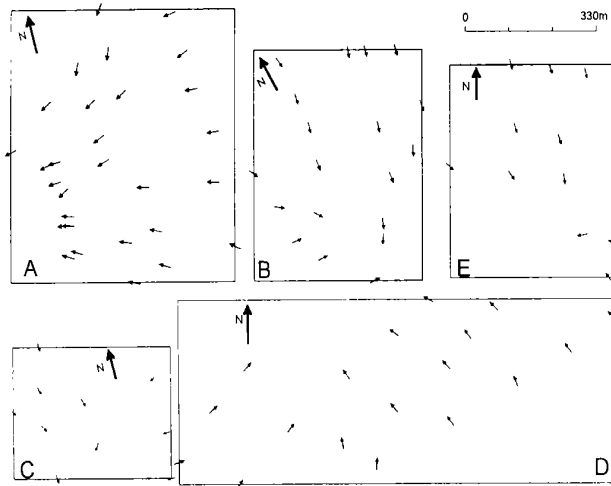


图 5 王港地区潮间带沉积物粒径趋势

Fig. 5 Grain size distribution trends on intertidal flat of Wanggang Area

向南输运,到潮间带中上部互花米草区,沉积物输运趋势稍有混乱,有向南输运的趋势,也有向西输运的趋势;在潮间带上部盐蒿滩地区,沉积物主要向南及东南方向输运。潮滩沉积物向南运移的趋势,其结果使必然使潮间带南部潮滩淤高,与实测地形资料验证一致。

5 讨论与结论

沉积物粒度参数由陆向海有规律的变化过程与世界其他潮滩粒度参数变化相似^[14~18]。沉积物粒度参数随地貌单元的变化而发生变化(图 6),与沉积动力环境有密切关系。在低潮线附近,潮流作用强烈,并伴有波浪作用^[19],滩面微地貌广泛发育,只有粗颗粒物能在滩面维持稳定,细颗粒都被再悬浮并向海岸方向输送;潮流在向岸传播的过程中,由于底部摩擦作用

而使水力逐渐减弱,能量逐渐损失减小,滩面上能被起动的颗粒变的越来越细,而悬浮物质也潮流流速减缓而发生分选沉降;到潮间带上部,水力变的非常弱,同时受植被影响,细颗粒物质大量沉降。可见,沉积物粒度参数的上述变化趋势与水动力向岸减弱有关。

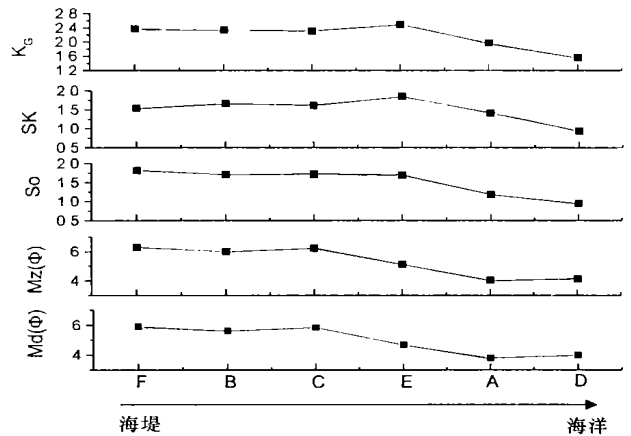


图 6 王港潮间带表层沉积物不同地貌单元粒度参数变化趋势

Fig. 6 Variation of sediment grain size parameters in the different geomorphic units of intertidal flat, Wanggang Area

沉积物粒度参数的上述变化趋势还与沉积物类型有密切关系。王港潮间带表层沉积物可以分为 5 种类型:砂、粉砂质砂、砂质粉砂、粉砂和粘土质粉砂,即主要为粉砂(57.79%)和砂(42.21%),这与世界其他地区的潮滩物质组成不一样(表 2)。

造成这种差异的因素有很多,如沉积物来源、沉积动力环境、生物作用、潮滩地貌特征等。沉积物的来源不同,决定了沉积物的组成不同;潮滩水动力环境的不同造就了沉积物的分布特征,它是决定潮滩沉积物在纵向和横向上分选变化程度的一个重要指标;而潮间带潮沟地貌系统是否发育也对滩面沉积动力环境有很

表 2 不同地区潮间带表层沉积物类型

Table 2 Surface sediment types of intertidal flats in the world

地 点	潮间带表层物质组成		来 源
	潮间带中上部	潮间带中下部	
中国江苏王港潮滩	主要为砂质粉砂、粉砂及粘土质粉砂	主要为砂、粉砂质砂及砂质粉砂	本文
韩国 Nam Yang 潮滩	主要为粉砂和粘土	主要为砂质粉砂、粉砂质砂	文献[17]
英国 Wash Bay 潮滩	主要为粉砂,有部分极细砂,平均粒径 3.7~7.6	主要为细砂和极细砂,平均粒径 2.9~3.7	文献[14,19]
爱尔兰 Newtownards 潮滩	主要为极细砂,有部分粉砂和少量粘土	主要为细砂,有部分中砂和粗砂	文献[20]
丹麦 Grdyb 潮滩	主要为粉砂和粘土,平均粒径 4~9	主要为细砂,平均粒径 2~3	文献[21]
荷兰 Groningen 潮滩	主要为粉砂和粘土(占 50%以上),其余为细砂	主要为细砂,粉砂和粘土 < 5%,中砂 < 10%	文献[15,22]
德国 Elbe 河口潮滩	主要为砂质粉砂和砂质粘土(约 58%),其次为细砂	主要为中、细砂(约 90%),粉砂和粘土含量很少	文献[18]
法国 Saint - Michel 潮滩	主要为粉砂、粘土,有部分极细砂	主要为极细砂、细砂	文献[16,18]
加拿大 Fundy Bay 潮滩	砾石和砂	砾石、砂、粉砂和粘土	文献[23]
美国 San Francisco Bay 潮滩	主要为粘土(95%),中值粒径 8.2~9.5	主要为粘土(44%),其次为粉砂,另含少量细砂	文献[24~25]
南美 Suriname 潮滩	主要为粘土,发育中、粗砂沙脊	主要为粘土和粉砂,发育细砂沙脊	文献[26]
西非塞拉里昂潮滩	主要为细砂和粉砂	主要为细砂,发育沙脊和沙坝	文献[27]

大影响^[28],因为潮水沟将潮间带与外海连通,是两者之间物质和能量传输的通道,使得潮滩水文泥沙状况变的非常复杂,影响潮滩的发育;此外,生物作用对沉积物的类型及在潮间带的分布有一定影响。

王港潮滩沉积物主要来源于黄河与长江,两者均以粉砂为主,其含量分别为83%和79%^[2],这决定了该地区沉积物类型以粉砂为主。研究区水动力环境以潮流作用为主,且潮沟地貌系统发达,水动力过程非常复杂;受地形因素的影响,沉积物在横向和纵向上表现为明显的分带性。研究区属中潮海岸,生物作用影响显著,这对潮间带沉积物类型及分布有很大影响,主要表现在:(1)生物个体的沉积作用。微体古生物研究表明^[29],本地区潮滩表层沉积物中有孔虫具有较高的丰度,是本地区沉积物的一个重要来源;(2)植被对滩面水流的阻碍作用降低了滩面水流流速和紊流程度,使水流携带的泥沙发生堆积。研究区植被覆盖面积广,类型多样,由美国引进的互花米草株高茎粗且植株密度大,起到了很好的消能作用,其沉积环境为低能环境,因此,在被互花米草围着的滩面表层沉积物类型主要为粉砂,在互花米草滩内的表层沉积物主要为粘土质粉砂。

沉积物的这种规律性变化不仅受到以上各种因素的作用,还受沉积物搬运趋势的影响。图5给出了研究区不同地貌单元的沉积物搬运趋势,这种输运趋势可以从动力学上得到解释。东南方向来的东海前进波和东北方向来的南黄海旋转波在江苏沿海中部交汇,对该地区的潮流及沉积物输运产生了重要影响^[10]。在夏季,东南方向来的东海前进波占主导作用,南黄海旋转波作用居次,因此,在低潮线附近,使沉积物表现出了向西北方向的搬运趋势;随着向岸方向的推进,受大丰港引堤的影响,南黄海旋转潮波被屏蔽,而东海前进波则被阻挡不能继续向前传播,潮波被反射后有部分向西南方向运动,受地形因素影响,潮波开始变形,滩面上潮水沟网发达,涌上滩面的潮水被潮水沟向各处输送,因此,沉积物的输运在很大程度上被改造,开始变为向南、西南及东南方向输运;到潮间带上部地区,因有不同植被覆盖,受植被生长状况的影响,沉积物输运表现形式不同,如在高大的互花米草地区,因潮流作用强度被大大削弱,沉积物输运趋势不是很明显,只有比较弱的向南输运趋势;而到低矮的盐蒿滩地区,潮流作用还有一定强度,潮滩表层沉积物的运动受潮流作用相对比较大,因此沉积物的运移趋势比较显著。

致谢 南京大学城市与资源学系高建华协助进行野外采样及室内样品分析,参加野外采样的还有李占海、陈一宁、左浩,谨致谢忱!

参考文献 (References)

- Halls J R. Significance of statistical parameters for distinguishing sedimentary environments in New South Wales, Australia. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1967, 37:1059 ~ 1069
- Wang X Y, Ke X K. Grain size characteristics of the extant tidal flat sediments along the Jiangsu coast, China. *Sedimentary Geology*, 1997, 112:105 ~ 122
- Friedman G M. Address of retiring President of the International Association of Sedimentology: difference in size distributions of populations of particles among sands from various origins. *Sedimentology*, 1979, 26: 3 ~ 22
- Mclaren P, Bowles D. The effects of sediment transport on grain size distributions. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1985, 55:457 ~ 470
- Gao S, Collins M B. Net sediment transport patterns inferred from grain size trends, based upon definition of "transport vectors". *Sedimentary Geology*, 1992, 81(3/4):47 ~ 60
- Gao S, Collins M B, Lanckneus J, et al. Grain size trends associated with net sediment transport patterns: an example from the Belgian continental shelf. *Marine Geology*, 1994, 121:171 ~ 185
- 汪亚平, 高抒, 贾建军. 胶州湾及邻近海域沉积物分布特征和运移趋势. *地理学报*, 2000, 55(4):449 ~ 458 [Wang Y P, Gao S, Jia J J. Sediment distribution and transport patterns in Jiaozhou Bay and adjoining areas. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(4):449 ~ 458]
- 薛允传, 贾建军, 高抒. 山东月湖的沉积物分布特征和搬运趋势. *地理研究*, 2002, 21(6):707 ~ 714 [Xue Y C, Jia J J, Gao S. Sediment distribution and transport patterns in Lagoon Yuehu at the eastern tip of Shandong Peninsula, China. *Geographical Research*, 2002, 21(6):707 ~ 714]
- Ren M E, Zhang R S, Yang J H. Sedimentation on tidal mud flat of Wanggang Area, Jiangsu Province, China. *Collected Oceanic Works*, 1983, 6(2):84 ~ 108
- 任美镒主编. 江苏省海岸带和海涂资源综合调查. 北京:海洋出版社, 1986, 25 ~ 37 [Ren M E, ed. *Comprehensive Investigation of the Coastal Zone and Tidal Flat Resources of Jiangsu Province*. Beijing: Ocean Press, 1986, 25 ~ 37]
- Shepard F P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1954, 24:151 ~ 158
- McManus J. Grain size determination and interpretation. In: *Techniques in Sedimentology*. Oxford: Blackwell, 1988. 63 ~ 85
- 贾建军, 高抒, 薛允传. 图解法与矩法沉积物粒度参数的对比. *海洋与湖沼*, 2002, 33(6):577 ~ 582 [Jia J J, Gao S, Xue Y C. Grain size parameters derived from graphic and moment methods: a comparative study. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, 23(6):577 ~ 582]
- Evans G. Intertidal flat sediments and their environments of deposition in the Wash. *Quarterly Journal of Geological Society of London*, 1965, 121:209 ~ 245
- De Jong J D. Dutch tidal flat. *Sedimentary Geology*, 1977, 18:13 ~ 23
- Davis R A. *Coastal Sedimentary Environments (2nd)*. New York: Springer - Verlag Inc, 1985. 208 ~ 213
- Alexander C R. Macro-tidal mudflats of the southwestern Korean coast: a model for interpretation of inter-tidal deposits. *Journal of*

- Sedimentary Petrology, 1991, 61:805 ~ 824
- 18 Reineck H E, Singh I B. Depositional Sedimentary Environments(2nd Ed.). Berlin: Springer, 1980. 430 ~ 456
- 19 Ke X K, Evans G, Collins M B. Hydrodynamics and sediment dynamics of the Wash embayment, eastern England. Sedimentology, 1996, 43:157 ~ 174
- 20 Malvarez G C, Cooper J A G, Jackson D W T. Relationships between wave-induced currents and sediment grain size on a sandy tidal-flat. Journal of Sedimentary Research, 2001, 71:705 ~ 712
- 21 Bartholdy J, Madsen P P. Accumulation of fine-grained material in a Danish tidal area. Marine Geology, 1985, 67: 121 ~ 137
- 22 Janssen-Stelder B. The effect of different hydrodynamic conditions on the morphodynamics of a tidal mudflat in the Dutch Wadden Sea. Continental Shelf Research, 2000, 20:1461 ~ 1478
- 23 Klein G D. Bay of Fundy intertidal zone sediments. Journal of Sedimentary Petrology, 1963, 33:844 ~ 854
- 24 Pestrong R. Tidal-flat sedimentation at Cooley landing, Southwest San Francisco Bay. Sedimentary Geology, 1972, 8:251 ~ 288
- 25 Stumpf R P. The process of sedimentation on the surface of a salt marsh. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1983, 17:495 ~ 508
- 26 Augustinus P G. Actual development of the chenier coast of Suriname (South America). Sedimentary Geology, 1980, 26:91 ~ 113
- 27 Anthony E J. Coastal progradation in response to variations in sediment supply, wave energy and tidal range: examples from Sierra Leone, West Africa. Geodynamique, 1991, 6(1):57 ~ 70
- 28 Le Hir P, Roberts W, Cazaillet O, *et al.* Characterization of intertidal flat hydrodynamics. Continental Shelf Research, 2000, 20:1433 ~ 1459
- 29 朱晓东, 施丙文, 朱大奎. 一种适用于微体古生物沉积动力分析的沉积物粒径指数及其应用例证. 沉积学报, 1997, 15(3):145 ~ 149 [Zhu X D, Shi B W, Zhu D K. A new sediment grain size index designed for sedimentological study of microfossils with demonstrations of foraminifera in Jiangsu Coast, China. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(3):145 ~ 149

Surface Sediment Characteristics and Transport Trends on the Wanggang Intertidal Flat, Jiangsu Province

WANG Ai-jun WANG Ya-ping YANG Yang

(Ministry of Education Key Laboratory for Coast and Islands Development, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract Sediment parameters of inter-tidal flat are related to the depositional hydrodynamic conditions associated with the local sedimentary environment. During July-August, 2000, 154 surface sediment samples were collected on the intertidal flat of Wanggang. The sediment samples are then analyzed using Mastersize2000. Further, the regression analysis shows that the significant relationships are present between the sediment parameters, and as well with ($Mz - Md$). In addition, the grain size diameters decrease landward with the decreasing of the hydrodynamics. Five types of sediments have been identified for the Wanggang intertidal flat: fine sand, silty sand, sandy silt, silt and clayey silt. In brief, there are two main sediment types, i. e. silt and sand with the percentages of 57.8% and 42.2% respectively. These results differ from other intertidal flats associated with different sediment sources, hydrodynamic environments and bio-influences. The results of grain size trends show that the sediments mainly transport northwestward near the sub-tidal zone; but southward, southwestward and southeastward, which are related to tide regimes, local landscape, large human constructions and the biological activities.

Key words Sediment types, grain size parameters, grain size trends analysis, Wanggang inter-tidal flat