

连云港附近岸滩表层沉积物的动态判别*

唐寅德

(华东师范大学河口海岸研究所, 上海)

提要 本文用多元统计分析阐述了连云港附近岸滩表层沉积物的粒度特征, 以及沉积物的平均粒径与波浪、潮流最大底切速之间的密切关系, 从而得到沉积物运动的判据, 它对预测岸滩冲淤亦具有一定的实际意义。

任何一种沉积物的粒度特征, 都依赖于水动力的作用, 这已被人们充分认识和广泛应用。早在1936年, 希尔兹 (shilds, A.) 把量纲分析方法应用到泥沙运动中, 提出了著名的希尔兹曲线, 确定了泥沙粒径与起动流速的关系。以后, 国内外的泥沙专家又从理论上推导出用实验成果加以修正的粘性土粒径与动力关系的公式^[1], 但由于动力环境、底部糙度和颗粒粘结程度的差异, 需调整各个公式推导中所包含的特定系数, 设法使公式所代表的曲线尽可能地通过实测点群的中心, 以致在实际运用中, 不尽十分吻合并适宜各种地区。另外, 在沉积学方面, 曾以水动力的作用对江苏北部潮滩沉积物的特征作了解释并提出了它们的沉积模式^[2], 但尚未涉及沉积物粒径与动力的定量关系。因此, 本文拟通过对连云港附近岸滩沉积物的粒径与动力关系的分析求得经验关系式, 从而进行沉积物运动的经验判别。

一、表层沉积物的聚类及其粒度分布特征

(一) 表层沉积物粒度的聚类分析

为揭示沉积物在动力作用下粒度特征的分布规律, 首先要进行分类。连云港附近岸滩沉积物的粒度差异甚微 (见图1)。

按传统方法分类, 连云港岸滩沉积物大多属粉砂质粘土类型。据此, 以56个表层沉积物样品的级配资料, 取11种变量, 经数据标准化处理后, 用欧氏距离系数公式:

$$D_{ik} = \sqrt{\frac{\sum_{j=0}^V (X_{ij} - X_{kj})^2}{V}}$$

$$ik = 1, 2, \dots, N; i \neq k$$

式中, X_{ij} 为第 i 块样品第 j 个变量的观测值; N 是样品的数目; V 是变量数。

计算所得的矩阵, 作为聚类分析的基本统计量, 以后进行最长距离法聚类, 得到二维聚类的枝状图式 (见图2)。以距离系数 $D = 5.4$ 为界, 可聚类成两大类, 并进一步聚类成八种亚类。

(二) 表层沉积物聚类粒度的分布特征

1. 横向断面分布特征。连云港附近岸滩沉积物聚类分析的平面分布见图3。

从图3可见, 由于-2m等深线以内的岸滩主要受破坏作用的影响^[1], 滩面物质受到强烈簸选, 使粘粒物质不断进入水体, 而粗粒物质相应地增加。同时, 破波带内潮流具有较强的

* 本文承蒙虞志英教授、刘苍宇副教授提出宝贵的意见, 谨致谢意。

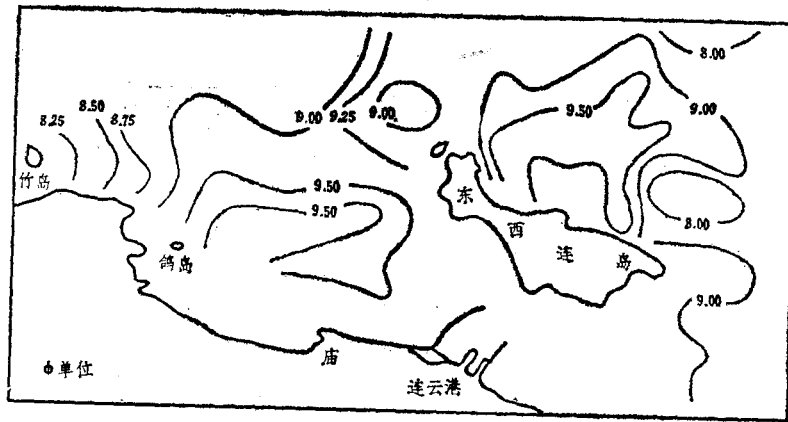


图1 沉积物平均粒径等直线的平面分布 (据1983年9月资料)
 Fig.1 Distribution of isomegathy of sediment mean grain size (in Sept. 1983)

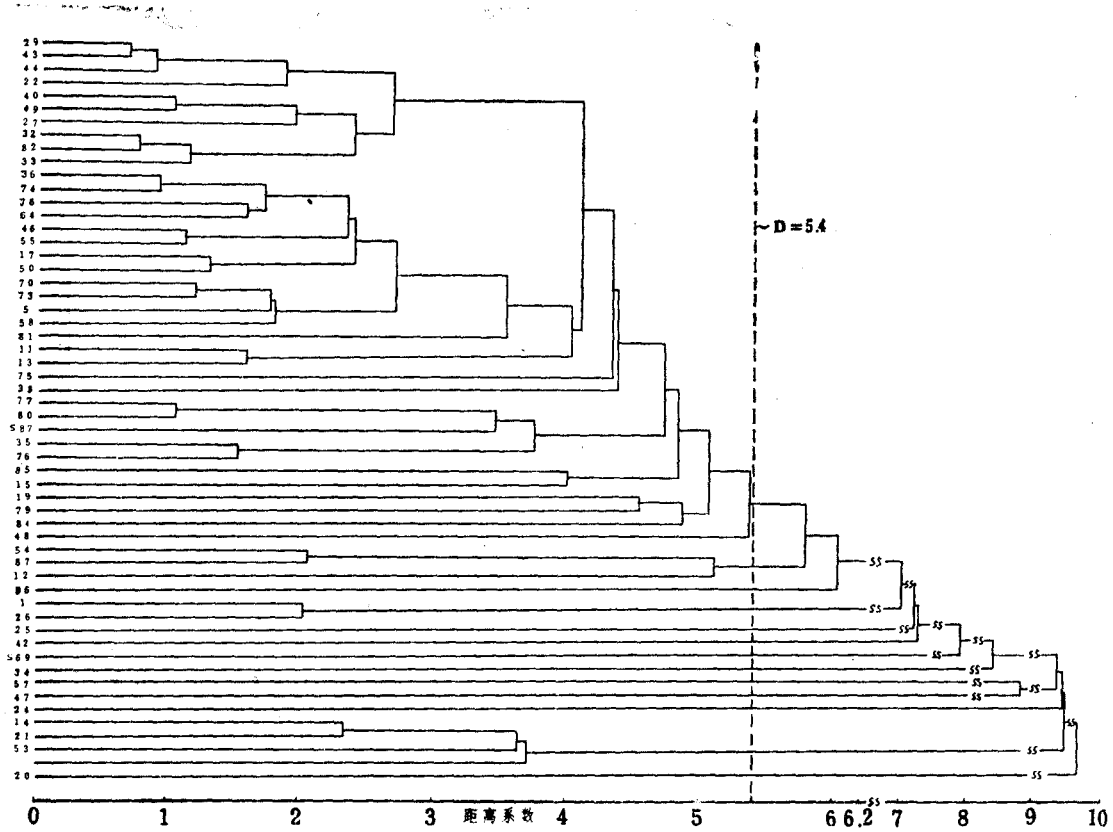


图2 沉积物Q型聚类分析枝状图
 Fig.2 Dendrography of Q type cluster analysis of sediments

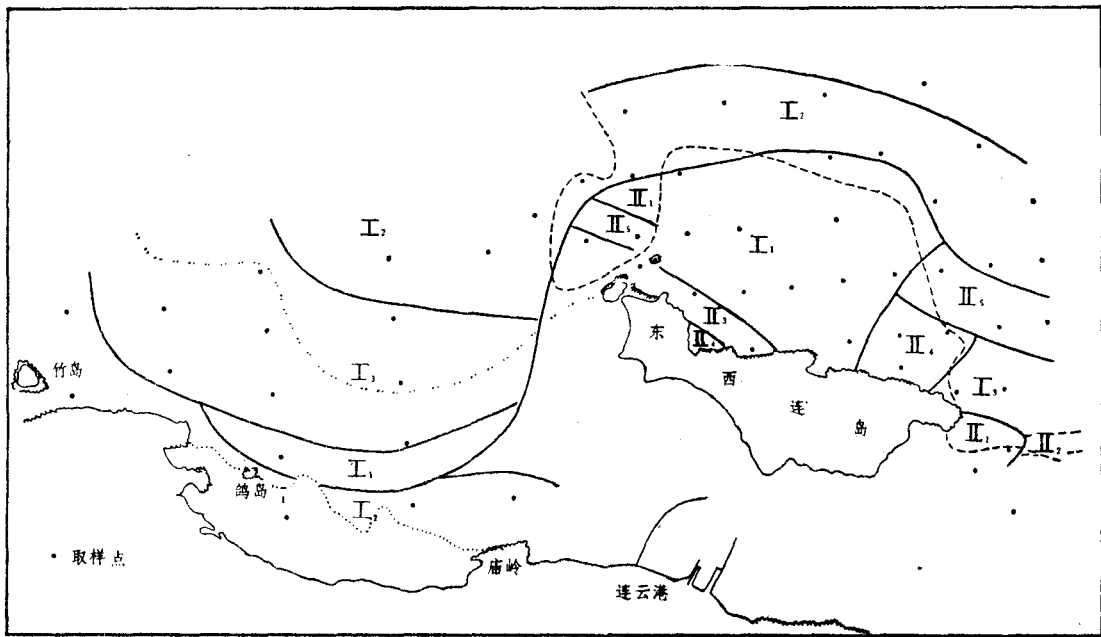


图3 沉积物聚类的平面分布

Fig.3 Distribution of sediment cluster

顺岸方向往复运动的能力,使水体中的悬浮泥沙往复输移而不易落淤。因此,受经常性破波作用和顺岸潮流运动较强的地带,沉积物将发生粗化。在连岛北面,以吹泥出口横断面为例, -2m等深线以内的岸滩物质,平均粒径 $6-7\phi(0.016-0.008\text{mm})$,标准偏差系数3.5左右,分选很差;它们中的粗粒组分含量(大于 0.004mm)较高,一般在60%;粘粒组分(小于 0.004mm)含量占35%左右,偏度值为0.5,呈正偏态;属砂-粉砂-粘土类型的沉积物。根据欧氏距离系数9.5分类,它可聚为 II_4 类。

-2m--4m等深线之间的岸滩,由于破波作用逐渐由潮流作用取代,并向海逐渐增强;同时由往复运动转为旋转流动,但随着潮流增强的同时水深也随之增大。因而,在相当宽广的地带,潮流对岸滩物质的冲蚀强度差异甚小,物质一般较细,平均粒径在 $9.3-9.5\phi(0.002-0.0015\text{mm})$ 之间,标准偏差在3.0以下,分选性较差。物质中粗粒很少,其中砂粒(大于 0.063mm)含量不足3%, $0.5-0.125\text{mm}$ 粒级的物质缺失,而粉砂组分($0.063-0.004\text{mm}$)

含量占35%左右,绝大部分是60%以上的粘粒组分(小于 0.004mm)含量,它是属于粉砂质粘土类的沉积物。按距离系数的分类指标, $D=2.68$ 聚类为 I_1 类。分布在-4m等深线以外的岸滩沉积物,处在一般不受波浪掀沙作用的影响,在以潮流作用为主的环境下,平均粒径基本上在 8.5ϕ 左右,标准偏差系数在3.0-3.5,分选性较 I_1 类沉积物差。但在粒组含量上,其中砂粒组分含量可达10%以上,粉砂和粘粒组分含量减少5-10%。所以它是粉砂质粘土类型,为颗粒相对较粗的沉积物。因此它们的分类指标 $D=2.71$,为 I_2 聚类。综上所述,在横向断面分布上,沉积物的平均粒径由岸向海,从 6.5ϕ 增至 9.0ϕ 而又减为 8.5ϕ ,分选性由差到较差而又转变为差的交替变化特征。

在墟沟湾段,岸滩宽阔平缓,水动力作用微弱。因此,从沉积物的横向断面分布上(图1), M_ϕ 值普遍提高,且变化甚微,基本变

1) 张勇, 1984。关于连云港地区淤泥质岸滩侵蚀剖面演变模式的探讨。

化仅在 $9.0\phi(0.002\text{mm})$ 左右。如黄莺嘴至江家嘴一线平均粒径均在 9.0ϕ 以上,它们的分类指标欧氏距离系数值均小于5.4,为I类型的细颗粒沉积物。归纳起来,零m等深线附近为 I_2 类,平均粒径 $8.5-9.0\phi$;零m线至-1m等深线为 $9.0-9.5\phi$ 的 I_1 聚类;-2m等深线附近是 9.0ϕ ,它属于 I_3 类型;-2m等深线以外又回到 I_2 聚类,平均粒径为 8.5ϕ 左右的分布状况(见图3)。

2. 纵向沿岸分布特征。连云港附近岸滩沉积物的纵向沿岸分布,从东往西,由于沿岸水动力对各岸段作用强度的差别而随之变异。总体来说,因东口附近水流较强,沉积物的平均粒径为 $6-7\phi$,分类指标以大于5.4的 II_4 和 II_5 类为主,它们以占65%左右的砂和粉砂物质所组成;连岛北部岸段的岸滩,大部分是平均粒径 $8.5-9.0\phi$ 的 I_2 聚类的沉积物;西端小龟头附近深槽水流强劲为平均粒径 $7-8\phi$ 的 II_1 和 II_5 聚类的沉积物;在西口门外墟沟湾内附近,滩坡平缓,动力作用强度微弱,沉积物以平均粒径 9.0ϕ 左右,分类指标 $D=5.38$ 的 I_3 聚类占主要分布地位。它们在粒组成份上砂粒含量很少,粉砂含量占30%左右,其余是占55%以上的粘粒。这种沉积物粒径粗细相间的

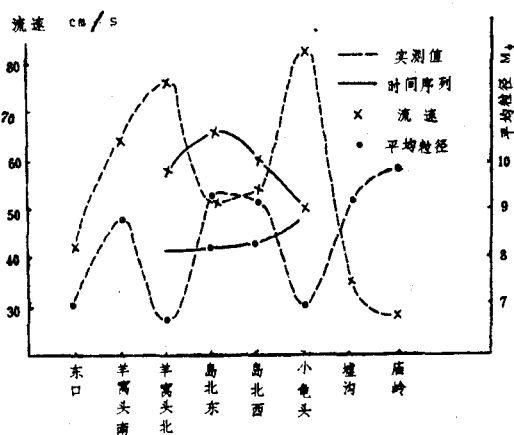


图4 流速和沉积物平均粒径沿岸的变化
Fig.4 The longshore variation of tide current and mean grain size of sediments

变化和动力强度的空间分布特点,据数字滤波分析的等权滑动平均的时间序列统计,以下式计算:

$$X'_i = \sum_{i'-i-1}^{i+1} X_i / (2L+1)$$

式中, L 为步长。

从分析结果(图4)可看出沉积物的平均粒径由东(8.0ϕ)往西(9.0ϕ)变化,它和动力逐渐减弱呈相对应的变化趋势。

二、表层沉积物的粒径分布与底切速的关系

从一般规律而言,表层沉积物的粒径往往随着水动力强度的增大而相应加大;反之水动力强度减弱,粒径也就减小,因此,考虑致使沉积物粒径变化的动力作用时,应取决于底部水动力作用的强度,其直接作用于岸滩沉积物的水动力可以分别用波浪和潮流底切速来表达。

连云港地区近岸的破波属崩波型,它对岸滩的作用可近似地采用线性波理论给出最大波浪底流速所产生的最大底切速表示;同时因破波带内波能耗散^[3],经统计分析^[2],得衰减系数,其底切速过程近似地认为:

$$U_{*0} = \sqrt{\frac{f\omega}{2}} \frac{\pi H_b}{\tau \cdot \sinh(kh_b)} - \alpha \left(1 - \frac{h}{h_b}\right)$$

式中, $f\omega$ 是底摩擦系数取0.015, τ 是波周期, h 是水深, H_b 是临界破波高, h_b 是临界破波点水深, α 是 H_b 的经验函数为 $0.022 + 0.015H_b$ 。

若以破波带内经常性作用的2m波高时,相应的破波水深3.3m起算,破波点最大底切速为13cm/s,不同水深处的波浪最大底切速如表1所示。

从表1可见,破波带内波浪底切速由破波点向岸逐渐减小,但与此相应的表层沉积物粒径分布变化并不明显,粒径范围基本在 $6-7\phi$

2)张勇,1984。关于连云港地区淤泥质岸滩侵蚀剖面演变模式的探讨。

之间。

在破波带外, 波浪作用逐渐减弱, 沉积物粒径的分布主要受潮流作用所控制, 由于连云港地区潮波属于纯碎驻波型, 潮流最大底切速可由下式表示:

$$U_{*0} = \bar{U}_{\max} n \sqrt{g} h^{-1/6}$$

式中, n 是滩面糙度, 取 0.025。

根据实测水文资料计算各测站潮流最大底切速, 如表 2 所示。

表 2 各测站潮流最大底切速

Tab.2 Maximum tide bottom shearing force at different stations

测 站	9号连岛东	1号连岛东	2号连岛东	小龟头	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₇	E ₉	E ₁₄	E ₁₅	E ₁₆
底切速 U_{*0} (cm/s)	2.92	3.36	3.21	5.03	2.98	2.20	2.75	2.23	2.28	2.33	2.39	2.36	2.30	2.65

从表 2 可见, 潮流所引起的最大底切速一般比较小, 因此, 由潮流作用所控制的岸滩沉积物粒径比较细, 一般为 9ϕ 左右。

对点绘各计算得最大底切速与其平均粒径之间的良好关系 (图 5) 进行回归分析得:

$$M_{\phi} = 5.53 + 9.22 \frac{1}{U_{*0}}$$

上式经检验, 置信程度达 99% 以上。

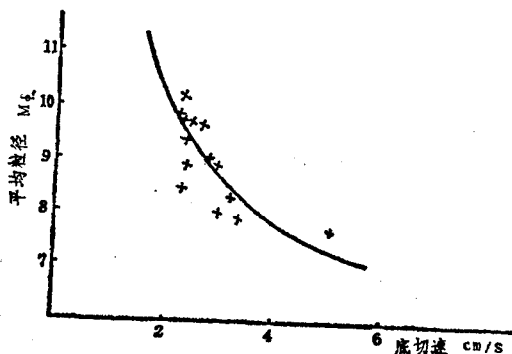


图 5 沉积物平均粒径与最大底切速的关系
Fig.5 The relationship between mean grain size of sediments and bottom shearing force

表 1 破波带内不同水深处的最大波浪底切速
Tab.1 Maximum wave bottom shearing force at different water depth inside break-wave zone

水深 h(m)	3.3	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0
底切速 U_{*0} (m/s)	13.0	12.5	11.7	10.95	10.16	9.41	8.55	7.8

上式经验方程反映了当本区沉积物粒径 $M_{\phi} > 5.5$ 时, 细颗粒物在底切速作用下的变化关系; 同时也显示了, 由于沉积物本身的粒径组成以细颗粒物为主, 因此当最大底切速超过 7—8cm/s 以上时, 虽然岸滩产生明显的冲刷, 但是沉积物的平均粒径变化并不明显。

三、人工吹泥情况下岸滩沉积物的动态判别

1983年, 连云港东西连岛大路口建立吹泥站以后, 每年约有 180 万 m^3 以上的疏浚泥土呈 17.8% 浓度的泥浆, 经过管道就近吹入连岛北侧附近岸滩, 进入海水以后, 顺沿滩坡流动或由波浪及潮流扩散运移, 逐渐沉积下来, 从而改变了吹泥区附近岸滩沉积物粒径的分布, 它的变化规律同样与该地区由波浪和潮流所产生的底切速之间具有较好的关系, 因此, 我们亦可采用上述的回归方程来对该地区沉积物的粒径变化动态作出判别。

(一) 人工吹泥前后沉积物粒径的变化

长期以来, 连云港地区岸滩处于冲淤平衡, 略有冲刷状态; 沉积物的粒径变化基本上已达到稳定阶段。根据 1982 年 9 月连云港连岛

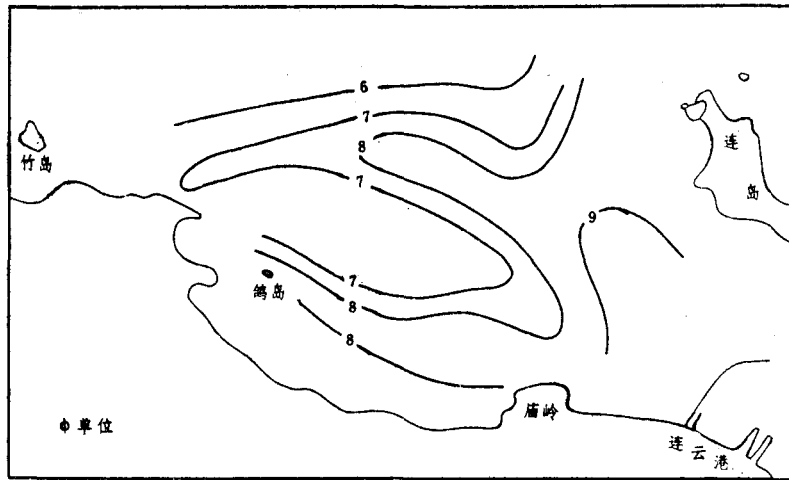


图6 沉积物平均粒径等值线的平面分布 (据1982年9月资料)
Fig. 6 Distribution of isomegathy of sediment mean grain size (in Sept. 1982)

大路口吹泥站排泥之前, 整个墟沟湾内表层沉积物的平均粒径为6—8 ϕ 之间 (图6)。

表3 不同时期的波高出现率
Tab.3 Wave height frequency at different time

频率 时期 (%) (年.月)	波高 (m)			
	<1.0	1.0—1.4	1.5—2.0	>2.0
1982. 4—8	93.55	5.29	0.83	0.33
1983. 4—8	95.36	3.96	0.48	0.20
1983. 9—10	84.10	10.55	2.95	2.4

表4 各测站最大潮流底切速与平均粒径
(据1983年8月资料)

Tab.4 Maximum tide bottom shearing force and sediment mean grain size at different station (1983.8)

测 站	A ₁	D ₁	B ₁	C ₁	A ₂
U _∞ (cm/s)	3.12	3.80	3.07	4.17	3.12
M ϕ (ϕ 单位)	9.35	9.17	8.96	10.26	8.7

1983年4月—8月为吹泥期, 由于该期间大于1m的波高 ($\bar{H}^{1/10}$) 的出现率仅占4.64% (见表3), 为波浪作用的静稳季节。

由此分析, 吹泥中大部分细颗粒泥土就近落淤, 仅少量被潮流运移扩散。表层沉积物的平均粒径: 在墟沟湾基本上为9.0 ϕ 以上 (见图1)。与吹泥前的1982年4—8月相比, 虽然波浪条件基本相似, 但其平均粒径的分布普遍要比吹泥前的平均粒径6—8 ϕ ($M\phi$) 大1—2 ϕ 值。显然, 这种变化现象的出现主要是由于大量细颗粒物被吹入海后, 泥量显著增加, 暂时不能被水流搬运而增加淤积的

结果。

鉴于上述人工吹泥的原因, 沉积物的粒径变化与所在地区的底切速之间的关系 (表4) 就与图5所示不同。

从表4可以分析出, 在吹泥前岸滩处于自然平衡状态时所形成的相关关系。亦就是说, 在同一测站底切速基本不变化的情况下, 吹泥期间的平均粒径值均要大于吹泥以前的平均粒径值 ($M_{\phi\text{吹泥期}} > M_{\phi\text{吹泥前}}$)。

(二) 人工吹泥结束后沉积物粒径的恢复

大路口吹泥站吹泥结束以后, 由于没有泥沙进入附近岸滩, 而风浪作用普遍要比吹泥期间的4—8月份作用要强, 底切速亦相应加大, 这样就加强了对底部沉积物的冲刷作用, 沉积物的粒径逐渐在动力作用下不断进行调整。由于冲刷的结果, 吹泥前比较粗的物质亦逐渐得以暴露, 这样沉积物的平均粒径又恢复到吹泥前的情况, 平均粒径的分布如图7所示。

图7与图6所示情况基本类同。这时平均粒径的变化与底切速之间的关系又恢复到吹泥前所出现的那种良好的相关关系。这种由人工吹泥所引起的岸滩沉积物的粒径变化, 同样亦

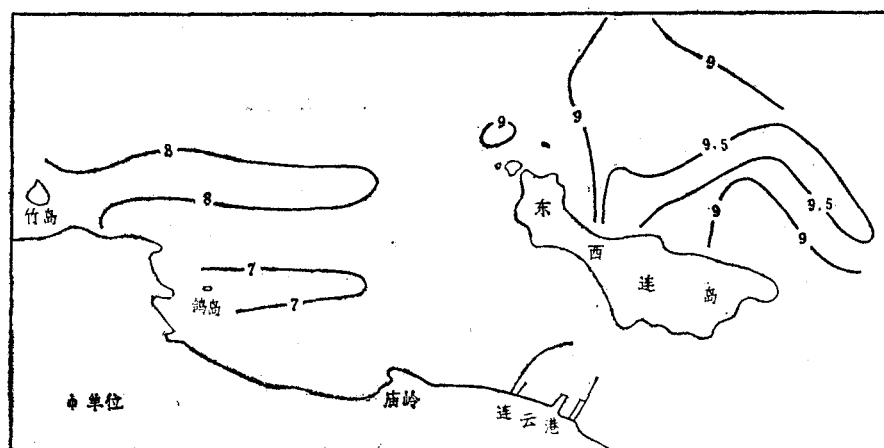


图7 沉积物平均粒径等值线的平面分布 (据1984年1月资料)

Fig. 7 Distribution of isomegathy of sediment mean grain size (in Jan. 1984)

反映了岸滩的冲淤变化趋势。

四、小 结

1. 根据聚类分析, 连云港附近的沉积物可分成种类单一和众多的两大沉积物类型。以它们的欧氏距离系数和粒度参数, 又可细分成八种亚类。

2. 通过水动力特征的分析, 沉积物粒度的分布规律与水动力的空间分布特征相吻合, 在破波内, 一般物质较粗, 破波带外物质普遍较细。沉积物的横向分布, 从岸向海表现为粗—细—较细的变化规律; 纵向分布为粗—细—较细的变化规律, 并由东往西逐渐变细。

3. $M\phi > 5.5$ 以上的细颗粒沉积物, 平均粒径变化与波浪、潮流作用所产生的底切速关

系为: $M\phi = 5.53 + 9.22 \frac{1}{u_{*0}}$, 当底切速大于7

—8 cm/s以上, 沉积物的平均粒径变化并不明显。

4. 通过对人工吹泥前后沉积物粒径的变化分析可知, 由于局部供沙, 沉积物的平均粒径与底切速的关系不符合经验式; 但当没有泥沙供应时, 它们的关系又符合经验式的关系。这种关系的变化也反映了岸滩的冲淤变化趋势。

参 考 文 献

- [1] 钱宁、万兆蕙, 1982。泥沙运动力学。科学出版社, 253—256页。
- [2] 刘苍宇、虞志英、陈德昌, 1980。江苏北部淤泥质潮滩沉积物特征和沉积模式的探讨。华东师范大学学报 (自然科学版) 2:78—90。
- [3] 虞志英等, 1986。淤泥质海岸近岸带水动力特征及人工吹泥条件下的岸滩演变。华东师范大学学报 (自然科学版) 3:93。

A MOVEMENT DISCRIMINATION OF SURFACE SEDIMENT NEAR BEACH OF THE LIANYUNGANG AREA

Tang Yinde

(Institute of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University)

Abstract

This paper discusses mean grain size character of surface sediments near beach of the Lianyungang. Better relationships between mean grain size and maximum bottom shearing force of wave and current is found using a multivariate statistical analysis. As a result, sediment movement can be discriminated. Which is of practical significance for predicting beach erosion and deposit variations.