

潮滩悬沙粒度参数的动力沉积学意义*

蒋国俊

(杭州大学河口与港湾研究室, 杭州 310028)

提要 根据 1983 年 10 月和 1984 年 5 月两次大潮期悬沙粒度和流速的同步观测资料及细颗粒泥沙絮凝沉积试验成果,分析悬沙粒度参数的动力沉积学意义。结果表明,在以细颗粒泥沙絮凝临界流速 (21cm/s) 为界的两组悬沙样中,悬沙偏态系数和小于 $4.0\mu\text{m}$ 粒级悬沙的百分含量在散点图中有显著分离;中值粒径和峰态系数有一定的分离;分选系数和大于 $16\mu\text{m}$ 粒级悬沙的百分含量几乎无分离;但中值粒径、分选系数、偏态系数和大于 $16\mu\text{m}$ 粒级悬沙的百分含量有良好的对应关系。粒度参数的变化是悬沙动力沉积特性的反映,其中偏态系数、中值粒径和分选系数的变化可以作为判别单颗粒沉积与絮凝沉积的依据,峰态系数的变化则较复杂,应用时须十分慎重。

关键词 潮滩 悬沙 粒度参数 动力沉积学

纵观前人对沉积物粒度参数的研究,大多数学者只注重于根据不同现代沉积环境中沉积物粒度参数的分析比较,确定鉴别沉积环境的判别参数,并“将今论古”,分析研究古代沉积环境 (Rogers et al., 1959; Friedman, 1967; Folk, 1966)。近年来,对沉积物粒度参数的研究也多局限于分析讨论不同统计方法之间的相关关系(黄建东,1988),很少注意沉积物粒度参数自身的动力沉积学指示意义。

本文以最新动水絮凝研究成果为楔机,根据潮滩两次大潮期悬沙粒度和流速的同步观测资料(蒋国俊等,1992),从动力沉积学的观点,对悬沙粒度参数进行分析研究,以期认识悬沙粒度参数的动力沉积学指示意义。

1 研究方法

根据 1983 年 10 月和 1984 年 5 月浙江台州湾潮滩两次大潮 6 条垂线的实测资料,共计 321 组悬沙样。应用 TA-II 型库尔特计数器作悬沙粒度分析,求得各沙样的粒度级配;采用自编计算机程序,用矩法计算各悬沙样的粒度参数。将样品以 21cm/s 流速为界分成 2 组。应用 PB-700 计算机点绘出悬沙样的中值粒径、平均粒径、分选系数、偏态系数、峰态系数及小于 $4.0\mu\text{m}$ 粒级悬沙百分含量和大于 $16\mu\text{m}$ 粒级悬沙百分含量共 7 个参数相互关系图,借以分析粒度参数在不同动力条件下的变化及其所反映的悬沙动力沉积特性。

2 研究结果

2.1 中值粒径 (Md) 对偏态系数 (Sk) 图 1 显示,当流速 $< 21\text{cm/s}$ 时,约 93% 的

* 国家自然科学基金资助项目,0924 号。蒋国俊,男,出生于 1961 年 7 月,博士生。

本文承蒙张志忠副教授、冯怀珍教授审阅,并提出宝贵意见,谨致谢忱。

收稿日期: 1993 年 3 月 8 日,接受日期: 1994 年 3 月 12 日。

样品中值粒径 $< 8.0\phi$, 平均为 7.7ϕ ; 偏态系数 > -0.3 , 平均为 -0.26 。在流速 $> 21 \text{ cm/s}$ 时, 约 91% 的样品中值粒径 $> 7.7\phi$, 平均为 8.0 ; 偏态系数 < -0.3 , 平均为 -0.62 。分析该散点图, 可见两组样品有显著的分离。细心观察还可以发现, 偏态系数引起的分离比中值粒径引起的分离更显著, 且偏态系数与中值粒径有良好的相关关系, 其相关系数为 -0.67 , 在 99% 的置信水平上显著负相关, 其回归方程为: $Md = -0.6329Sk + 7.57 \pm 0.39$ 。

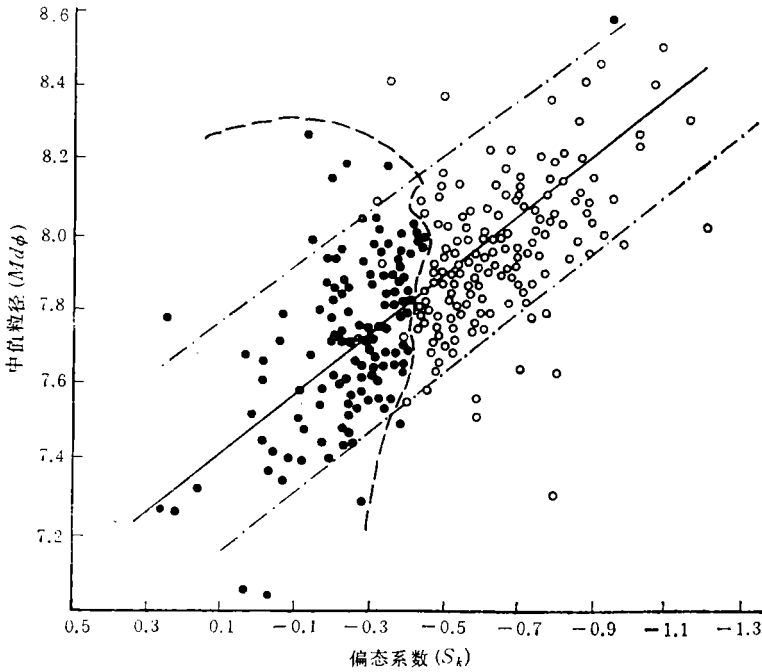


图 1 中值粒径与偏态系数关系图

Fig. 1 Relation between median diameters and skewness

—为相关线; - - - 为误差范围; - · - 为临界线; ●为小于临界絮凝流速; ○为大于临界絮凝流速。图 2—图 6 同。

2.2 偏态系数 (Sk) 对小于 $4.0\mu\text{m}$ 粒级百分含量 (P) (图 2) 流速 $< 21\text{cm/s}$ 的悬沙样品组, 偏态系数与小于 $4.0\mu\text{m}$ 粒级百分含量关系点, 位于偏态系数为 -0.60 与百分含量为 47% 构成曲线的左下方, 平均含量为 40%, 流速 $> 21\text{cm/s}$ 所对应悬沙样品的关系点则位于该曲线的右上方, 其平均含量为 51%; 图中散点分离显著, 且偏态系数与百分含量呈负相关, 相关系数为 -0.77 , 置信水平为 99%, 回归方程为: $Sk = -0.0264P (< 4.0\mu\text{m}) + 0.75 \pm 33$ 。可见随着细颗粒含量的增加, 负偏加强。

2.3 分选系数 (So) 对峰态系数 (KG) 该组关系点如图 3 所示, 在两组点群中, 悬沙的分选系数几乎无分异, 峰态系数有一定的分离。在流速 $< 21\text{cm/s}$ 时, 平均峰态系数为 3.40, 平均分选系数为 1.18。流速 $> 21\text{cm/s}$ 时的关系点群中, 平均峰态系数和分选系数分别为 3.80 和 1.20, 有 10%—15% 的关系点分别落在另一组的点群中, 回归分析显示, 分选系数与峰态系数有一定的相关, 相关系数为 0.63, 在 99% 置信水平显著, 回归方

程为: $S_o = 0.1149KG + 0.78 \pm 0.15$ 。可见,悬移质分选性越差,峰态系数越大。

2.4 平均粒径 (M) 对大于 $16\mu\text{m}$ 粒级的百分含量 (P) (图 4) 该组关系点在两种水流条件下几乎无分离,在流速 $> 21\text{cm/s}$ 的悬沙样组中, $> 16\mu\text{m}$ 悬沙的平均含量为

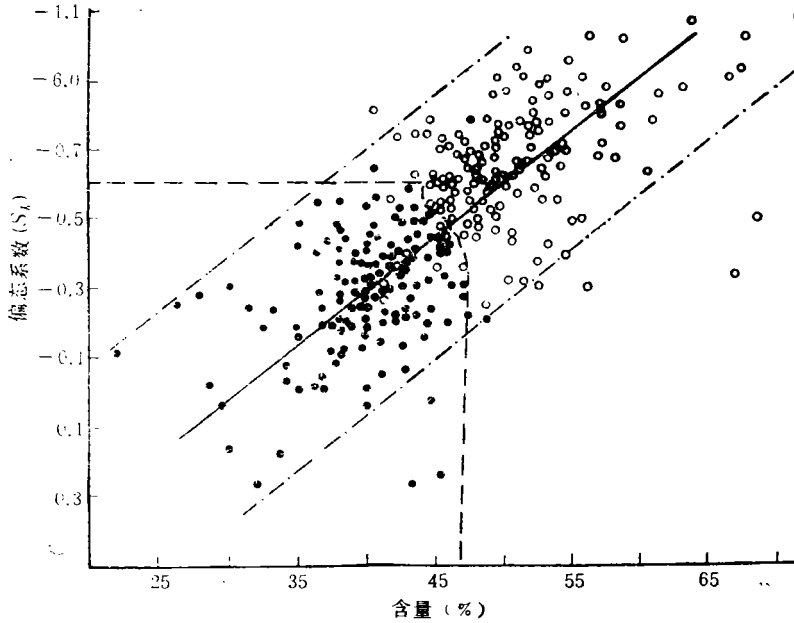


图 2 偏态系数与小于 $4.0\mu\text{m}$ 粒级百分含量关系图

Fig. 2 The plot of skewness vs. $< 4.0\mu\text{m}$ percentage

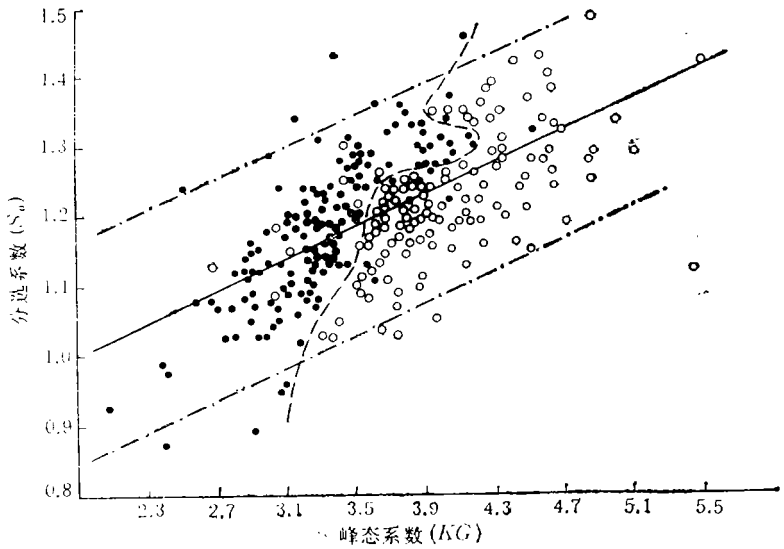


图 3 分选系数与峰态系数关系图

Fig. 3 The plot of standard deviation vs. kurtosis

8.5%，平均粒径的平均值为 7.9ϕ 。在流速 $< 21\text{cm/s}$ 所对应的悬沙样组中，则分别为 9.1% 和 7.7ϕ 。可见在潮滩低流速时，悬沙中粗颗粒的含量较高流速时的含量多，粒径也较粗。回归分析表明，平均粒径与大于 $16\mu\text{m}$ 粒级的百分含量间在 95% 的置信水平显著相关，相关系数为 0.54，回归方程为： $M = -0.0378P(> 16\mu\text{m}) + 8.18 \pm 0.38$ 。

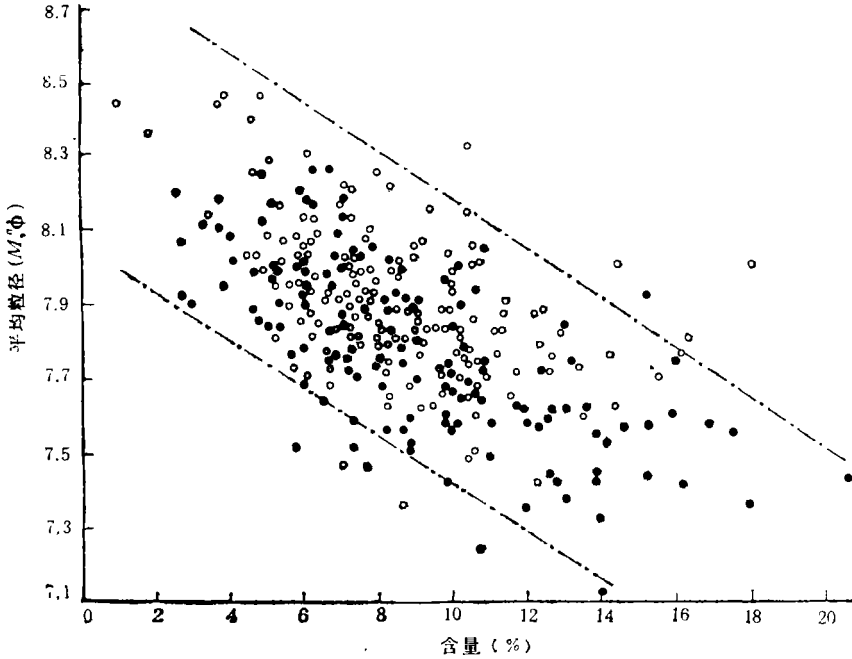


图 4 平均粒径与大于 $16\mu\text{m}$ 粒级的百分含量关系图

Fig. 4 The plot of the mean diameters vs. $>16\mu\text{m}$ percentages

2.5 分选系数 (S_o) 对大于 $16\mu\text{m}$ 粒级的百分含量 (P) 该关系点在不同水流条件下混杂分布,但随着粒径 $> 16\mu\text{m}$ 粒级的百分含量的增加,分选系数增大,分选性变差,其回归方程为： $S_o = 0.0188P(> 16\mu\text{m}) + 1.04 \pm 0.16$ 。相关系数为 0.61，在 99% 置信水平上显著相关(图 5a)。与之相反，分选系数与小于 $4.0\mu\text{m}$ 粒级百分含量的关系点在不同的动力条件下有一定的分异，但分选系数与小于 $< 4.0\mu\text{m}$ 粒级百分含量的变化无相关关系，相关系数为 0.08 (图 5b)。可见粗粒尾部的变化引起悬沙的分选，细粒尾部的沉降不引起泥沙的分选。

综上所述,在不同的水动力条件分成的两组悬沙样中,偏态系数和小于 $4.0\mu\text{m}$ 粒级百分含量有显著的分异,中值粒径、平均粒径和峰态系数有一定的分异,分选系数和大于 $16\mu\text{m}$ 粒级的百分含量基本无分异。

值得注意的是,悬沙的分选系数与大于 $16\mu\text{m}$ 粒级的百分含量、偏态系数与小于 $4.0\mu\text{m}$ 粒级百分含量、中值粒径(或平均粒径)与大于 $16\mu\text{m}$ 粒级的百分含量和小于 $4.0\mu\text{m}$ 粒级百分含量均显著相关,峰态系数则与大于 $16\mu\text{m}$ 粒级的百分含量(图 6a)和小于 $4.0\mu\text{m}$ 粒级百分含量(图 6b)均无相关关系(图 6)。沉积物粒度参数的这种特性,反映了悬沙的动力沉积特性。

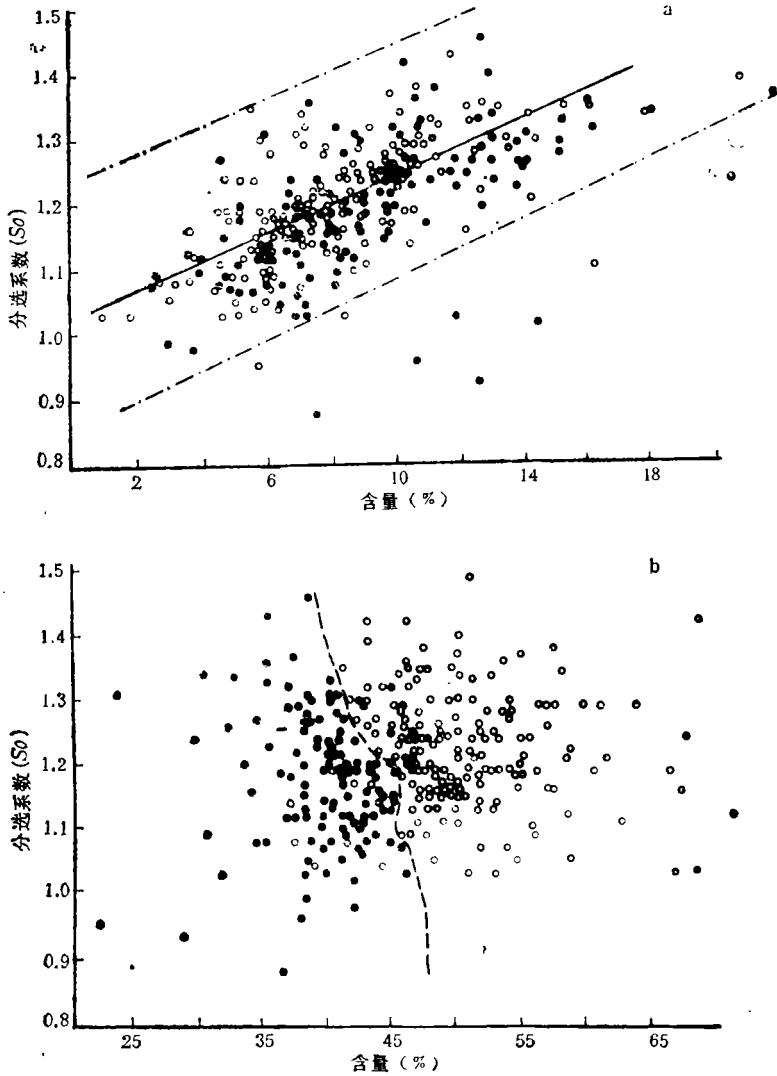


图 5 分选系数与大于 16 μm (a) 和小于 4.0 μm (b) 粒级的百分含量关系图

Fig. 5 The plot of standard deviation vs. >16 μm (a) and <4.0 μm (b) percentages

3 讨论

潮滩悬沙的动力沉积特性研究发现¹⁾, 悬移泥沙在水动力作用下有两种沉积方式, 粒径 > 32 μm 的粗颗粒物随着挟沙水流的减小, 在动力作用下由粗到细依次发生分选沉积; 粒径 < 16 μm 的细颗粒泥沙, 在挟沙水流小于某一临界流速时, 发生动水絮凝沉积, 不同粒径的颗粒大小混杂, 同时落淤。沉积物粒度参数的变化, 充分反映了悬沙的这种沉降特性。

随着流速的减小, 当悬沙发生单颗粒重力分选沉积时, 由于较粗颗粒首先沉积, 悬沙

1) 蒋国俊等, 1990, 不同粒级细颗粒泥沙的沉积特性。

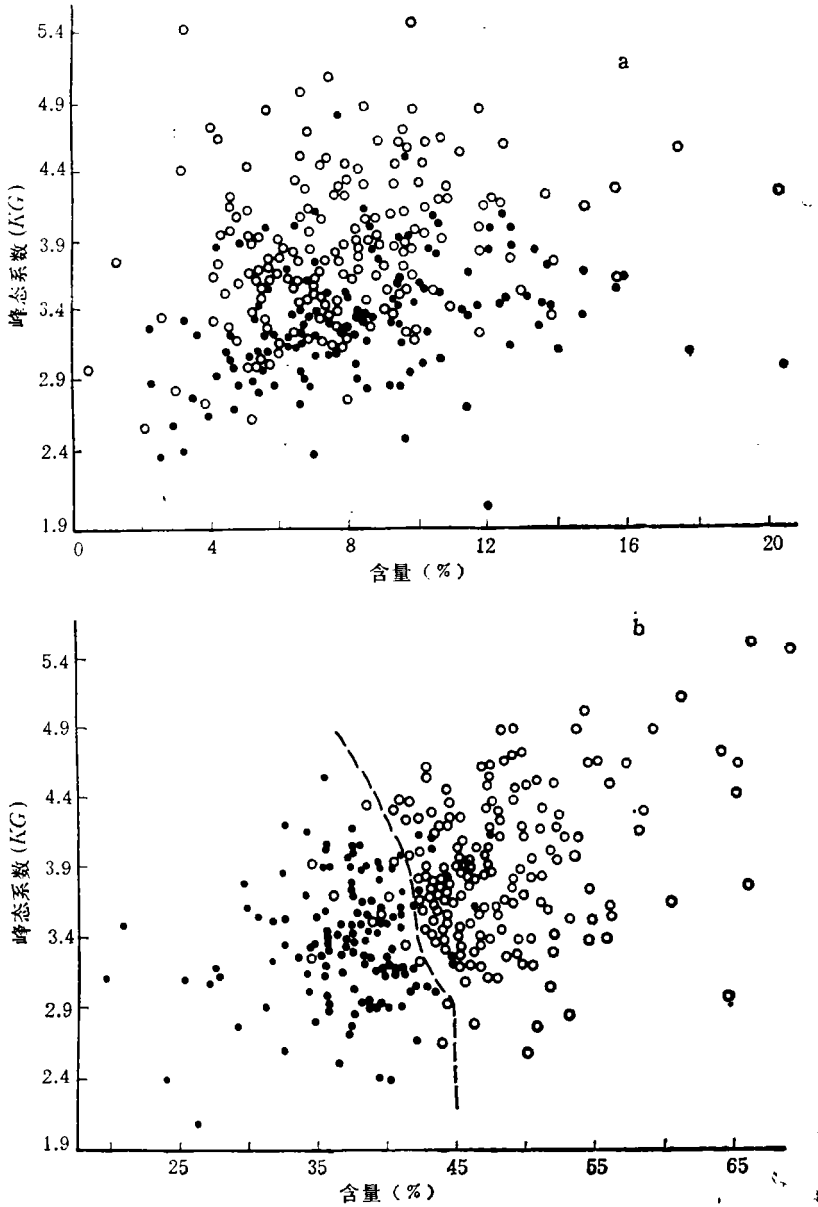


图 6 峰态系数与大于 16 μm (a) 和小于 4.0 μm (b) 粒级百分含量关系图
Fig. 6 The plot of kurtosis vs. >16 μm (a) and <4.0 μm (b) percentage

中值粒径和平均粒径将逐渐降低,以适应动力条件的改变;但在浙闽沿海受河流注入淡水影响的港湾淤泥质潮滩上,以粘性细颗粒为主的悬沙发生动水絮凝沉降,悬沙中值粒径和平均粒径不仅没有随流速减小而变细,却随着细颗粒的沉降而变粗(图 1、图 4)。因此,悬沙中值粒径的细化,标志着悬沙发生重力分选沉积;悬沙中值粒径的粗化,则意味着发生了细颗粒物质的絮凝沉积。但是,在低流速时,尤其是在流速小于细颗粒泥沙的临界絮凝流速时,在细颗粒泥沙絮凝沉积的同时,因流速已小于粗颗粒的沉降流速,中值粒径和平

均粒径的变化不太显著。

偏态系数是反映沉积物粒度分布对称性的参数,负偏标志着沉积物众数偏细;正偏则反映众数偏粗。当悬沙发生单颗粒分选沉积时,粗颗粒减少,将使正偏减弱,负偏加强。而发生絮凝沉积时,因沉积主体物质是细颗粒,反映在偏态系数上则负偏减弱(图 1、图 2),正偏加剧。在潮滩上,悬沙主体是细颗粒泥沙,粗颗粒含量较少,因此偏态系数与小于 $4.0\mu\text{m}$ 粒级百分含量显著相关(图 2),而与大于 $16\mu\text{m}$ 粒级百分含量几乎不相关。此外,细颗粒泥沙的絮凝沉积是在小于临界流速时,迅速完成的,在散点图上呈现以临界流速为界的显著分异(图 1、图 2)。

分选系数是反映沉积物粒度分布离散程度的参数,其变化深受沉积特性的影响。由于单颗粒动力沉积是由大到小随着水力减弱依次分选沉积,因此分选性逐渐变化,分选系数随着粗颗粒含量的减小而减小(图 5a)。但在絮凝沉积时,形成絮团的颗粒粗细均有,分选系数几乎不发生变化,分选系数与小于 $4.0\mu\text{m}$ 粒级百分含量几乎无相关关系(图 5b)。潮滩上,以粘性细颗粒泥沙的沉积为主,因此分选系数无分异(图 3),但在河流和海滩,以砂级泥沙分选沉积作用为主,其分选系数有显著的变化 (Friedman, 1967)。

峰态系数反映了沉积物粒度分布的集中程度,在悬沙的动力沉积过程中,因对应不同水动力条件,沉降粒级不同而使变化十分复杂。在单颗粒动力分选沉积中,若沉积的悬沙是粗粒尾部,随着该粒级的减少,峰态升高;但当沉降粒级是众数粒级,悬沙的峰态系数又随之降低;同样,絮凝沉积时,若絮凝主体为细粒尾部悬沙,峰态将升高,若絮凝主体是众数,则峰态降低。因此,在悬沙动力沉积过程中,峰态系数处在不断变化之中,其与粗、细尾部的关系十分复杂,不具有相关关系(图 6)。所以峰态系数的变化不仅与悬沙的动力沉积形式有关,也与悬沙的原始级配和动力沉积主体的变化有关。

由此可见,各沉积物粒度参数从不同的方面反映了悬沙的动力沉积特性,且各参数之间具有一定的相关关系(图 1、图 3)。根据各参数的综合分析,能有效地判断悬沙的动力沉积特性。若悬沙以粗颗粒的动力分选沉积为主,其中值粒径和平均粒径将变细,分选性将变好,偏态系数值减小。反之,悬沙以细颗粒絮凝沉积为主,悬沙的中值粒径和平均粒径将粗化,偏态系数值增大,分选性几乎不发生变化。

4 结论

4.1 潮滩悬沙以两种方式沉降,粒径 $> 32\mu\text{m}$ 的粗颗粒泥沙呈单颗粒沉降,遵循动力机械分异规律;粒径 $< 16\mu\text{m}$ 的粘性细颗粒泥沙,当流速小于动水絮凝临界流速时,则发生絮凝沉积,两者交替作用,形成潮滩薄层理互层。

4.2 以临界絮凝流速 (21cm/s) 为界,悬沙可分成两组,悬沙粒度参数散点图呈现分异特性。悬沙粒度参数的变化反映了悬沙的动力沉积特性。中值粒径和平均粒径细化,分选系数减小,分选变好,偏态系数减小,负偏增强,意味着悬沙以单颗粒动力分选沉积为主;平均粒径和中值粒径变粗,偏态系数增大,负偏减弱,分选系数不变,则标志着以细颗粒泥沙动力絮凝沉积为主。峰态系数变化十分复杂,应用时须十分慎重。

4.3 Rogers 等(1959)的研究成果,仅适用于泥沙发生物理变化的环境区分,而以粘性泥沙补给为主的潮滩,其粒度参数的变化是由物理和化学作用共同引起的,本文仅初步揭示了它的动力沉积学意义,其动力的定量指标,亟待深入。

参 考 文 献

- 黄建东, 1988, 几种沉积物粒度参数间的相关关系, 台湾海峡, 7(3): 282—289。
- 蒋国俊、冯怀珍, 1992, 浙江台州湾金清潮滩水力泥沙特性, 杭州大学学报(自然科学版), 19(2): 215—222。
- Friedman, G.M., 1967, Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands, *J. Sedim. Petrol.*, 37(2):327—354.
- Folk, R.J., 1966, A review of grain-size parameters, *sedimentology*, 6:73—93.
- Rogers, J. J. W. and Strong, C., 1959, Textural difference between two types of shoestring sands: Transactions, *Gulf Coast Geol. Socie.*, 9:167—170.

THE DYNAMIC SEDIMENTOLOGICAL MEANING OF GRAIN-SIZE PARAMETERS OF TIDAL FLAT SUSPENDED SEDIMENTS

Jiang Guojun

(*Estuarine and Harbor Studies Division, Hangzhou University, Hangzhou 310028*)

ABSTRACT

Based on Oct., 1983 and May, 1984 synchronically measured sediments and tidal flat velocity data and the floc-depositional test data on fine sediments in flowing water, the dynamical sedimentological meaning of grain-size parameters of suspended sediments is analysed. The results show that there are significant separation in the plot of skewness to $< 4.0\mu\text{m}$ grain-size percentage content, a certain separation in the plot of median to kurtosis and almost no separation in the plot of the standard deviation to $> 16\mu\text{m}$ grain-size percentage in two suspended sediments groups divided according to the critical flocculation velocity of fine sediments; but that there are significant correlations among the median, standard deviation, skewness and $> 16\mu\text{m}$ grain-size percentage content. The changes of grain-size parameters reflect the characteristics of dynamical deposition of suspended sediments among which skewness, median and standard deviation may be used as the criterions to decide whether the suspended sediments settle as single grains or in floc forms; but the changes of kurtosis are extremely complex and should be careful used.

Key words Tidal flat Suspended sediments Grain-size parameters
Dynamical sedimentology