

# 图解法和矩值法估计海岸带沉积物粒度参数的差异

徐兴永<sup>1</sup>, 易亮<sup>1,2,3</sup>, 于洪军<sup>1</sup>, 李乃胜<sup>1,4</sup>, 石学法<sup>1</sup>

(1. 国家海洋局 第一海洋研究所 海洋地质与环境地质国家海洋局重点实验室, 山东 青岛 266061; 2. 中国科学院烟台海岸带可持续发展研究所, 山东 烟台 264003; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 4. 国家海洋科学研究中心, 山东 青岛 266071)

**摘要:** 粒度参数的计算方法主要有图解法和矩值法两种, 为了比较不同方法计算结果的差异, 利用新近在莱州湾南岸获取的 LZ908 孔岩心, 在粒度分析的基础上, 综合运用相关分析、回归分析、聚类分析等统计方法, 从参数计算过程、沉积物粒度分布形态(多峰态粒度特征)等方面讨论了两种参数估计方法对计算结果的可能影响及其影响因素。结果表明: 平均粒径、标准偏差相互替代的程度高, 而偏度、峰度相互替代的程度低, 或者不可替代; 两者的差异是由各自本身的计算过程引起的, 是沉积物粒度分布特征的一种反映, 并且与沉积水动力条件密切相关。

**关键词:** 粒度参数; 图解法; 矩值法; 海岸带; 莱州湾

中图分类号: P67, P367

文献标志码: A

文章编码: 0253-4193(2010)02-0080-07

## 1 引言

粒度分析是恢复沉积物来源、沉积物输送过程和沉积历史的重要手段<sup>[1-3]</sup>, 在风尘、湖泊、河流、海洋等环境研究中有广泛的应用<sup>[1-6]</sup>。粒度分析涉及的统计参数主要有中值、众数、平均值、分选系数(标准偏差)、偏度、峰度等。除中值和众数外, 其他参数需经过一定的计算过程方能获得。现在计算粒度参数比较流行的方法主要有两种))) 图解法和矩值法。受计算技术的限制, 早期研究多采用图解法估计参数。随着计算机技术的发展和普及, 矩值法逐渐成了主要的参数估计方法, 并且作为一种行业标准加以推广<sup>[7]</sup>。

由于计算过程不同, 由图解法和矩值法求得的粒度参数在数值大小、指示意义等方面有着许多差异, 因此有必要对这两种方法求得的参数进行比较。Blott 等<sup>[8]</sup>在介绍粒度分析软件 GRADISTAT 时比

较了多种方法计算结果的差异。贾建军等<sup>[9]</sup>利用在山东半岛月湖和荣成湾取得的 270 个样品, 比较了由这两种方法计算不同沉积环境下沉积的沉积物粒度参数的差异。徐树建等<sup>[10]</sup>, 毛江龙等<sup>[11]</sup>分别对南京下蜀黄土、黄土高原西部黄土的粒度参数计算结果进行了比较。从上述对这两种计算方法的应用情况可以看出, 前人的研究是针对相对确定环境中的样品进行的, 同时受研究样本的限制, 对偏度和峰度两个参数的讨论也比较少。

海岸带是由陆地向海洋的过渡带, 是水圈、岩石圈、生物圈和大气圈相互作用的交集地带, 包括潮滩/潮坪、港湾、潟湖、滨岸沙丘、河口和三角洲等多种沉积环境和地貌单元<sup>[12]</sup>。海岸带沉积的物源多样, 沉积动力复杂, 粒度所反映的环境信息非常丰富。那么在提取这些环境信息的过程中, 用不同的计算方法估计参数可能产生怎样的影响, 而这些影响是否也反映了一定的环境信息, 为此本文对新近

收稿日期: 200920211; 修订日期: 201020202。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40602018); 国家/9080 专项资助项目(908022H2); 国家海洋公益专项资助项目(200805063)。

作者简介: 徐兴永(1975), 男, 山东省鄄城县人, 副研究员, 博士, 从事海洋地质与第四纪地质、地质灾害研究。E-mail: xuxingyong@fio.org.cn

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

在莱州湾南岸获取的 LZ908 孔岩心进行详细的沉积学分析, 尝试在钻孔沉积环境未知的情况下讨论参数的不同估计方法对计算结果的可能影响及其影响因素, 并在此基础上探寻这些差异的环境意义。

## 2 研究区和样品

莱州湾南岸位于渤海南部, 南邻鲁中山地, 西面为现代黄河三角洲, 东接胶莱平原。区内分布弥河、潍河、白浪河、胶莱河等入海河流。地面高程一般在海拔 50 m 以下, 地势向北倾斜。自南而北的地貌类型依次为冲洪积平原、河海积平原和海积平原。研究表明, 晚更新世以来区内共发育三个海侵层位, 埋藏深度为 50~ 60 m<sup>[13]</sup>。

LZ908 孔位于山东省寿光市大家洼镇(37°09'N, 118°58'E, 平均海拔约 6 m), 于 2007 年钻井取心, 孔深 101.30 m。上部 55 m 粒度分析按 2 cm 间距取样, 共获得样品 2 108 个。样品的测量在国家海洋局第一海洋研究所海洋沉积与环境地质国家海洋局重点实验室完成。采用了较彻底的前处理方法<sup>[14-15]</sup>: 在每个样品中取约 0.5 g 放入烧杯, 加 10~ 15 mL 浓度为 30% 的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 使其充分反应; 冷却后加入 5~ 10 mL 浓度为 10% 的 HCl, 使其充分反应; 给烧杯注满蒸馏水, 静置 24 h 后抽去蒸馏水, 用超声波清洗机振荡后测量。

测量粒度的仪器为英国 MALVERN 公司生产的 MASTERSIZER2000 型激光粒度仪, 测量范围为 0.02~ 2 000 Lm, 重复测量误差小于 3%。设定输出的粒度为 0.2~ 2 000 Lm, 组分间距为 0.135, 共获得 100 个粒级的百分含量数据。

## 3 粒度参数

### 3.1 图解法

图解法求解粒度参数就是从频率累积曲线上取得 5%, 16%, 25%, 50%, 75%, 84%, 95% 对应的粒径值, 然后按照 Folk 等<sup>[1]</sup>提出的公式计算出粒度参数:

图解法 5 值计算  $S = -\log_2 d$ ;

图解法均值计算  $M_z = \frac{U_6 + U_0 + U_4}{3}$ ;

图解法分选系数计算  $R = \frac{U_4 - U_6}{4} + \frac{U_5 - U}{6.6}$ ;

图解法偏度计算  $Sk_1 = \frac{U_6 + U_4 - 2U_0}{2(U_4 - U_6)} + \frac{U_5 + U_5 - 2U_0}{2(U_5 - U)}$ ;

图解法峰度计算  $K_G = \frac{U_5 - U}{2.44(U_5 - U_5)} - 1$

上述各式中,  $d$  为粒径(mm);  $U$ ,  $U_5$  是 5%, 16%, 25%, 50%, 75%, 84%, 95% 对应的粒径 5 值, 本研究中以样本标准差反映分选性。

### 3.2 矩值法

矩值法求解粒度参数是考虑整个粒度的样本分布, 计算变量的各阶中心矩。为简化计算过程, 一般采用分组计算的方法。本研究采用的是 McMannus<sup>[16]</sup>提出的公式:

矩值法 5 值计算  $m_U = -\log_2 m_d$ ;

矩值法均值计算  $\bar{x}_U = \frac{\sum f m_U}{100}$ ;

矩值法分选系数计算  $R_U = \sqrt{\frac{\sum f (m_U - \bar{x}_U)^2}{100}}$ ;

矩值法偏度计算  $Sk_U = \frac{\sum f (m_U - \bar{x}_U)^3}{100 R_U^3}$ ;

矩值法峰度计算  $K_U = \frac{\sum f (m_U - \bar{x}_U)^4}{100 R_U^4}$

上述各式中,  $m_d$  是各粒级组分的中值(mm);  $f$  为各粒级的百分含量,  $\sum f = 100$ 。

## 4 结果和讨论

### 4.1 平均粒径的差异

平均粒径主要受两个因素的影响: 源区物质的粒度分布以及搬运介质的动力条件。在源区一致的情况下, 平均粒径可以作为搬运介质动力条件的替代性指标。从图 1 可以看出, 图解法的平均粒径  $M_z$  与矩值法的平均粒径  $\bar{x}_U$  非常接近, 相关系数为 0.996, 说明两种方法计算的平均粒径几乎相同, 这与之前的研究结果是一致的<sup>[9-11]</sup>, 但是更仔细地考察发现, 图 1 中大致上可以分为两个部分。为了将这两个部分区分出来, 我们以两者的比值为依据, 采用 TwoStep Cluster TM 算法<sup>[17-18]</sup>进行聚类分析, 然后根据分类结果分别进行回归分析, 结果表明(见图 1, 表 1), 在  $\tilde{N}$  类中沉积物为细泥到粉砂(依中值粒径划分<sup>[8]</sup>, 下同), 图解法的均值与矩值法的均值完全相同, 可以相互替代; 在  $\tilde{O}$  类中沉积物以细砂、粉砂为主, 图解法的均值较矩值法的均值低估约 0.315, 将平均粒径作为沉积物分类标准时应予注意。

粒度参数结果的差异是由各自计算过程的不

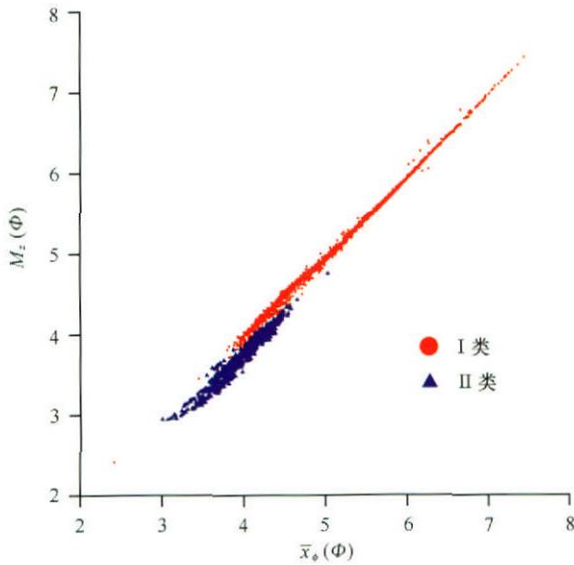


图1 图解法和矩值法计算获得的平均粒径的关系

同造成的。图解法求解粒度参数是从频率累积曲线上取得关键分位(7个分位数)对应的粒径值,然后再进行计算,这样处理实际上隐含了频率曲线与理想分布相吻合的假设,而矩值法估计是将整个频率分布纳入计算范围,因此两种参数的差异也是沉积物粒度分布特征的反映,与沉积动力和过程相关。

研究沉积物粒度表明,单峰态粒度分布曲线反映了较单一、稳定的沉积物源和介质动力条件,多峰态则可能是同一物源在不同沉积动力过程作用下的不等比率混合,或者是不同物源和不同沉积动力综合的结果<sup>[19-20]</sup>。

图2给出了两种类别沉积物的平均频率分布。由于多组分总体是单组分的自然累积,多峰态分布函数可以表示为各组分原型函数与其百分比乘

表1 图解法与矩值法估计的平均粒径的相关关系

类别	占总体比率(%)	$M_z/\bar{x}_U$ 的平均值	回归方程	拟合优度 $r^2$	中值粒径(φ)
$\tilde{N}$	69.4	0.990	$M_z = 0.01 + 0.99\bar{x}_U$	0.998	2.42~7.37
$\hat{0}$	30.6	0.936	$M_z = -0.31 + 1.01\bar{x}_U$	0.956	2.93~4.65
$\tilde{N}$ 和 $\hat{0}$	100	0.974	$M_z = -0.41 + 1.06\bar{x}_U$	0.992	2.42~7.37

积和的函数<sup>[19]</sup>。正态分布和 Weibull 分布是沉积物粒度分布函数中常用的两种类型。正态分布的特点是分布曲线的形态只由一个参数控制,计算较简单,但是曲线的可塑性和变化都较小<sup>[20]</sup>。两参数 Weibull 分布的自由度较大和可塑性较强,近年来在气象要素的分布<sup>[21]</sup>和沉积物粒度分布<sup>[22]</sup>等研究中得到了广泛应用。我们应用两参数 Weibull 分布函数对两种类别的平均频率分布进行拟合。拟合函数如下:

$$f_n(x) = c_1 \frac{a_1}{b_1^{a_1}} x a_1^{-1} e^{-\left(\frac{x}{b_1}\right)^{a_1}} + c_2 \frac{a_2}{b_2^{a_2}} x a_2^{-1} e^{-\left(\frac{x}{b_2}\right)^{a_2}} + \left[1 - c_1 - c_2, -c_n\right] @ \frac{a_n}{b_n^{a_n}} x a_n^{-1} e^{-\left(\frac{x}{b_n}\right)^{a_n}}, \quad (1)$$

式中,  $n$  是粒度组成的组分数;  $a, b$  分别是两参数 Weibull 分布函数的形状和位置参数;  $c$  为各组分占总体的百分比;  $f$  为各粒级的概率值,即百分含量;  $x$  为对应的粒级数值。

拟合结果显示(见图2)两类的平均频率分布具有显著的差异。在  $\tilde{N}$  类中超细粒组分粒径众数为

11.90 Lm, 占总体的 5.13%, 细粒组分粒径众数为 8.42 Lm, 占总体的 23.88%, 粗粒组分粒径众数为 74.43 Lm, 占总体的 70.98%。在  $\hat{0}$  类中超细粒组分在统计上不显著, 细粒组分粒径众数为 4.81 Lm, 占总体的 6.75%, 粗粒组分粒径众数为 97.6 Lm, 占总体的 93.22%。

$\tilde{N}$  类和  $\hat{0}$  类的细粒组分在粒径上比较接近, 但是  $\tilde{N}$  类的含量远比  $\hat{0}$  类的高; 对比粗粒部分,  $\tilde{N}$  类的比  $\hat{0}$  类的更细, 而且含量也显著小于  $\hat{0}$  类的。由此推断,  $\tilde{N}$  类沉积物的水动力条件要显著弱于  $\hat{0}$  类的, 或者说, 当水动力条件增强时, 由两种方法估计的平均粒径的差异也逐渐增大。

$\tilde{N}$  类和  $\hat{0}$  类都具有细尾特征, 但是含量差异很大。由于图解法中最小分位数为 5%, 含量小于 5% 的组分不能进入图解法参数计算, 这就使  $\hat{0}$  类中细粒组分信息很容易被忽略, 或者说  $\hat{0}$  类细尾在图解法参数计算中被视为/噪声 0。早期对黄土的研究并未涉及超细粒组分<sup>[22]</sup>, 然而后来的研究指出超细粒组分可能与成壤作用有关<sup>[23]</sup>; 沉积物超细粒组分在新近对湖泊的研究中也被分解出来<sup>[24]</sup>, 但是对它的环境意义尚未明确。如果海岸

带沉积物粒度分布的细尾反映的是沉积过程中的 / 噪声 $\sigma$ , 那么图解法参数将具有更明确的环境指示意义; 如果细尾隐含了某些环境要素的稳定信息, 那么矩值法参数将更全面地指示环境变化的

过程。虽然如此, 但海岸带沉积的物源多样, 沉积动力复杂, 对于粒度参数及其各粒度组分的环境意义, 需要今后更全面细致的研究。

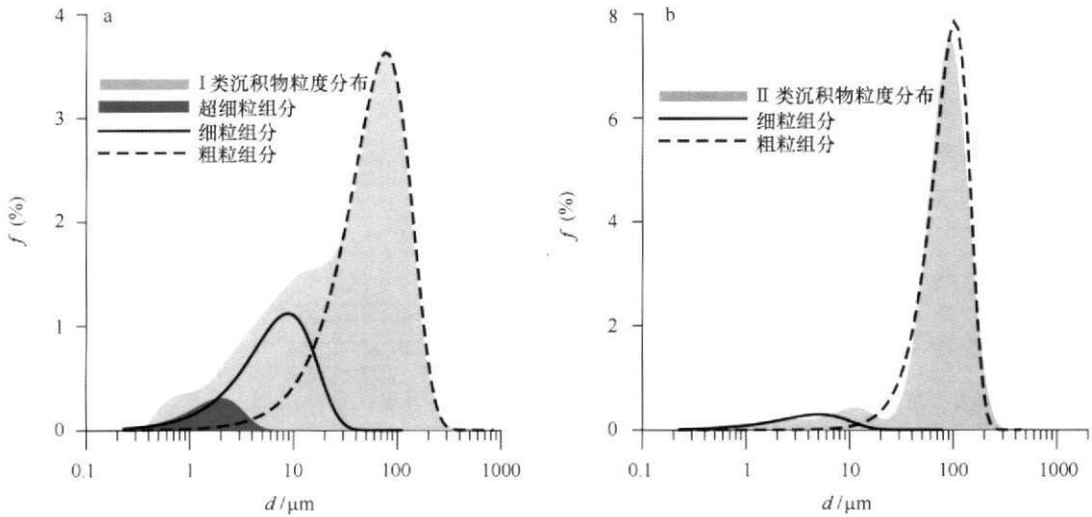


图2  $\tilde{N}$ 类(a)和 $\tilde{O}$ 类(b)沉积物粒度的Weibull函数拟合结果

#### 4.2 分选性的差异

粒度分布的分选性通常用分选系数或标准偏差来表示, 本文以标准偏差表示分选性。两种方法计算的标准偏差要比平均粒径离散一些, 但是也显示了很好的线性关系(图3), 这与前人的研究是一致的<sup>[9-11]</sup>。与平均粒径的关系相似, 标准差的散点图(图3)也可大致分成两个部分。为了将两者区分出来, 我们采用TwoStep Cluster<sup>TM</sup>算法, 以两者的比值为依据进行聚类分析, 结果表明(图3, 表2),  $\tilde{N}$ 类沉积物为细泥到粉砂,  $\tilde{O}$ 类以细砂、粉砂为主。这一结果与平均粒径的分类结果极为相近, 两者差异小于1%, 表明由图解法和矩值法得到的各粒度参数的差异具有一致性。由于划分出来的两类仍具有各自的特征, 为更精确地辨别两种方法的差异, 仍以比值为依据进行二次聚类分析, 然后根据分类结果分别进行回归分析(见表2):  $\tilde{N}$ 类的两种标准差大致上是可以相互替代的, 其中 $\tilde{N}24$ 的差异相对较大, 图解法的分选系数比矩值法的约低估0.25;  $\tilde{O}$ 类的差异比 $\tilde{N}$ 类的更大一些, 其中 $\tilde{O}27$ 的差异最大, 图解法的分选系数和矩值法的分选系数不可相互替代。

应用Weibull函数对粒度平均频率分布进行拟合, 分解出各组分的众数及含量, 结果(见表3)显示

(1)在 $\tilde{N}$ 类中普遍含超细粒组分, 粒径为2 Lm, 含量约为5%; (2)在 $\tilde{O}$ 类中超细粒组分不显著, 与含量很少的细粒组分混合在一起, 总含量约为5%; (3)由于细尾特征相近,  $\tilde{N}$ 类中细粒组分可能是造成两种计算方法结果差异的主要原因, 即当水动力条件较强、细粒组分大部分被带走或者细粒组分来源不足时, 由两种方法估计的标准偏差将产生显著差异。

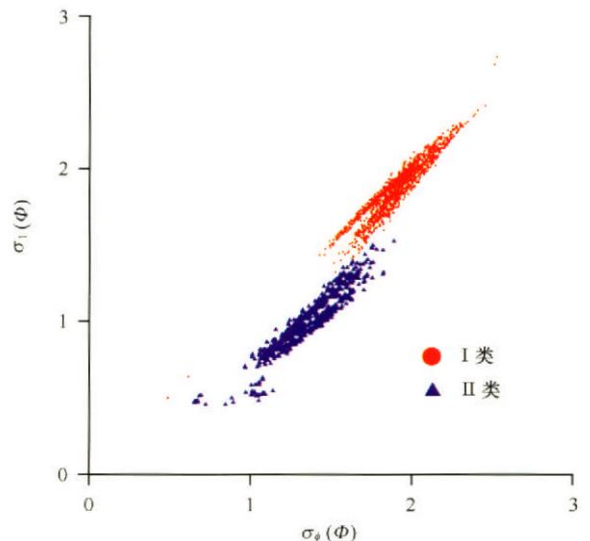


图3 图解法和矩值法计算获得的粒度标准偏差的关系

表 2 图解法与矩值法的标准偏差的相关关系

类别	占总体比率(%)	$R_1/R_3$ 的平均值	回归方程	拟合优度 $r^2$	中值粒径(5)
$\tilde{N}$	69.29	0.98	$R_1 = -0.07 + 1.02R_3$	0.90	2.42~7.37
$\tilde{N}_{21}$	29.17	1.01	$R_1 = -0.01 + 1.01R_3$	0.99	2.42~7.37
$\tilde{N}_{22}$	16.84	0.98	$R_1 = 0.03 + 0.97R_3$	0.99	3.45~6.89
$\tilde{N}_{23}$	15.03	0.96	$R_1 = -0.06 + 0.99R_3$	0.98	3.22~5.03
$\tilde{N}_{24}$	8.25	0.92	$R_1 = -0.21 + 1.04R_3$	0.94	3.12~5.01
$\hat{0}$	30.71	0.74	$R_1 = -0.25 + 0.93R_3$	0.89	2.93~4.65
$\hat{0}_{25}$	14.52	0.78	$R_1 = -0.15 + 0.89R_3$	0.96	2.96~4.65
$\hat{0}_{26}$	14.85	0.71	$R_1 = -0.02 + 0.93R_3$	0.97	2.93~4.05
$\hat{0}_{27}$	1.34	0.53	$R_1 = 0.20 + 0.33R_3$	0.25	2.93~4.00
$\tilde{N}$ 和 $\hat{0}$	100	0.91	$R_1 = -0.76 + 1.36R_3$	0.94	2.42~7.37

表 3 各类粒度频率分布的 Weibull 函数拟合结果

类别	超细粒组分		细粒组分		粗粒组分	
	众数/Lm	含量(%)	众数/Lm	含量(%)	众数/Lm	含量(%)
$\tilde{N}_{21}$	1.86	5.08	7.13	20.48	40.78	74.44
$\tilde{N}_{22}$	1.54	4.11	7.19	20.87	74.38	75.02
$\tilde{N}_{23}$	2.11	6.63	8.44	12.15	93.57	81.22
$\tilde{N}_{24}$	2.31	6.50	8.93	7.92	99.61	85.58
$\hat{0}_{25}$	-	-	3.94	6.39	90.85	93.61
$\hat{0}_{26}$	-	-	5.27	6.33	102.83	93.67
$\hat{0}_{27}$	-	-	3.02	2.52	93.75	97.48

### 4.3 偏度与峰度的差异

偏度和峰度的差异比平均粒径和分选性的都要大,总体上看缺乏相互替代性。将平均粒径的分类结果应用于偏度和峰度发现(见图4), $\tilde{N}$ 类有较好的替代性, $\hat{0}$ 类非常离散,没有替代性,这说明各粒度参数的差异具有一致性。由于矩值法的粒度参数是各阶样本矩,随阶数的增加, $\hat{0}$ 类中的差异随之增大,由一阶矩(平均粒径)的可完全替代到三阶矩(偏度)、四阶矩(峰度)的不具替代性,甚至是反相关(见图4),此外 $\tilde{N}$ 类中的离散程度也有所增加,说明各粒度参数差异又具有延续性,并且数学计算过程对这些差异具有放大效应。

上文已经阐述的 $\tilde{N}$ 类与 $\hat{0}$ 类的差异是由各自计算过程的差异产生的,并且与沉积物粒度分布形态有关,尤其反映在对尾部信息的提取。Blott等<sup>[8]</sup>指出,由图解法计算的粒度参数值要比矩值法计算的更加稳健,这是由于图解法忽略了尾部信息,故计算过程中舍去各种异常值而不会产生较大偏差,矩值法则不同,由于它将整个样本纳入计算过程,尾部特

征(细尾和粗尾),尤其是各种异常值、极端值会对计算结果产生非常大的影响。另外,部分样品含有极少量的粗粒物质,这些样品在MASTERSIZER2000型激光粒度仪测量过程中,粗粒物质被检测出的概率较小。在这一情况下,粗粒是否被检测出对矩值法的结果将产生重大影响,而对图解法的结果则影响有限。因此,由图解法和矩值法计算的粒度参数并没有严格的优劣问题:图解法计算过程简单易行,结果稳健,并且方便与前人研究进行对比,但是无法提供整个样本的信息;矩值法结果精确,信息全面,但是易受极端值的影响,对取样、测量环节提出了更高的要求。

## 5 结论

本文利用在莱州湾新近获取的LZ908孔岩心,在样品具体沉积环境未知的情况下,讨论了两种粒度参数估计方法(图解法和矩值法)计算结果的差异,并且从参数计算过程、沉积物粒度分布形态(多峰态粒度特征)等方面探讨了产生差异的原因。

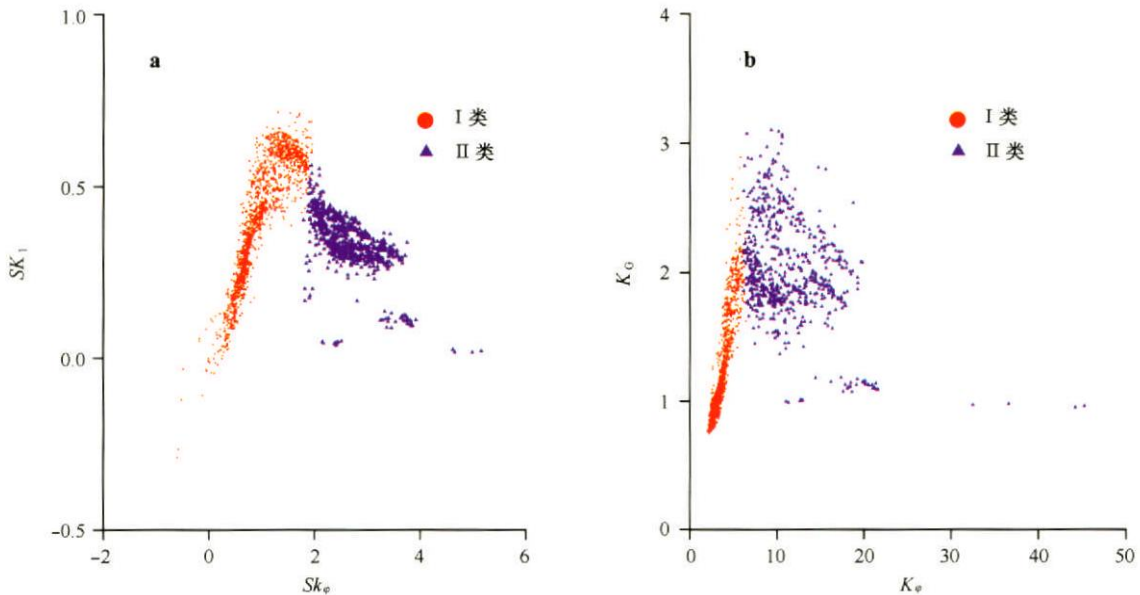


图4 图解法和矩值法计算获得的偏度(a)、峰度(b)的关系

(1)由图解法和矩值法计算得到的平均粒径、标准偏差基本可以相互替代,但是由于离散程度高,计算得到的偏度、峰度无法相互替代。

(2)根据图解法和矩值法计算获得的参数间的相互关系,可将沉积物大致分为两类,其中Ⅰ类沉积物的四个沉积物粒度参数具有显著线性关系,Ⅱ类沉积物的平均粒径、标准偏差相关程度高,而偏度、峰度不相关或为负相关。

(3)根据 Weibull 函数拟合结果,Ⅰ类沉积物粒级频率分布为三峰态,其中超细粒众数为 1.90 Lm,细粒众数为 8.42 Lm,粗粒众数为 74.43 Lm;Ⅱ类沉积物为双峰态,超细粒组分与细粒组分混合,众数为 4.81 Lm,粗粒众数为 97.60 Lm。

(4)由图解法和矩值法计算的参数值的差异是由各自本身的计算过程引起的,是沉积物粒度分布特征的一种反映,并且与沉积水动力条件密切相关,即当水动力增强时,由图解法和矩值法计算参数值的差异也随之增大。

(5)由图解法和矩值法计算的粒度参数并没有

严格的优劣问题:图解法计算过程简单易行,结果稳健,并且方便与前人研究进行对比,但是无法提供整个样本的信息;矩值法结果精确,信息全面,但是易受极端值的影响,对取样、测量环节提出了更高的要求。

根据上述结论,我们认为在进行与已有研究对比的过程中应当使用图解法粒度参数,而进行单一研究时应当采用矩值法粒度参数。受研究样本限制,研究分析的样品不可能包含所有海岸沉积物类型,本文的结论有局限性;由图解法和矩值法计算得到的粒度参数之间的关系以及由此划分的两大类七小类沉积物是否具有沉积学意义,是否对应了一定区域的沉积环境,这些问题需要在今后的工作中解决。

赵松龄研究员在许多方面给予了指导,刘焱光博士在粒度测试中给予帮助,姚菁、苏乔、姜兴钰、陈广泉、徐元芹等协助分样工作,在此一并表示感谢!

## 参考文献:

- [1] FOLK R L, WARD W C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1957, 27: 3) 26.
- [2] FRIEDMAN G M. Differences in size distributions of populations of particles among sands of various origins [J]. *Sedimentology*, 1979, 26: 3- 32.
- [3] BULE N, MAZULLO J, WILDING L P. Using quartz grain size and shape analysis to distinguish between aeolian and fluvial deposits in



- the Dallol Bosso of Niger ( West Africa ) [ J ]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1989, 14(4): 157) 166.
- [4] 刘东生. 黄土与环境 [M]. 北京: 科学出版社, 1985: 475.
- [5] 沈吉, 刘兴启, MATSUMOTO R, 等. 晚冰期以来青海湖沉积物多指标高分辨率的古气候演化 [J]. *中国科学*, 2004, 34(6): 582) 589.
- [6] PRINSMA A, POSTMA G, WELTJE G J. Controls on terrigenous sediment supply to the Arabian Sea during the late Quaternary: the Markran continental slope [J]. *Marine Geology*, 2000, 169: 351) 371.
- [7] 国家海洋局/九〇八〇专项办公室. 海洋底质调查技术规程 [S]. 北京: 海洋出版社, 2006.
- [8] BLOTTS J, PYE K. GRADISTAT: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments [J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2001, 26: 1237) 1248.
- [9] 贾建军, 高抒, 薛允传. 图解法与矩法沉积物粒度参数的对比 [J]. *海洋与湖沼*, 2002, 33(6): 577) 582.
- [10] 徐树建, 潘保田, 张慧, 等. 末次冰期旋回风成沉积物图解法与矩值法粒度参数对比 [J]. *干旱区地理*, 2005, 28(2): 194) 198.
- [11] 毛江龙, 庞奖励, 刘晓燕. 南京下蜀黄土图解法与矩值法粒度参数对比研究 [J]. *陕西师范大学学报: 自然科学版*, 2007, 35(3): 95) 99.
- [12] 赵澄林, 朱筱敏. 沉积岩石学 [M], 第 3 版. 北京: 石油工业出版社, 2001: 407.
- [13] 赵松龄. 陆架沙漠化 [M]. 北京: 海洋出版社, 1995: 194.
- [14] 鹿化煜, 安芷生. 前处理方法对黄土沉积物粒度测量影响的实验研究 [J]. *科学通报*, 1997, 42(23): 2535) 2538.
- [15] KONERT M, VANDENBERGHE J. Comparison of laser grain size analysis with pipette and sieve analysis: a solution for the underestimation of the clay fraction [J]. *Sedimentology*, 1997, 44: 523) 535.
- [16] McMANUS J. Grain size determination and interpretation [M] // TUCHER M. *Techniques in Sedimentology*. Oxford: Wiley-Blackwell, 1988: 63) 85.
- [17] 张文彤, 董伟. SPSS 统计分析高级教程 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 424.
- [18] 祝迎春. 二阶聚类模型及其应用 [J]. *市场研究*, 2005, 1: 10) 12.
- [19] ASHLEY G M. Interpretation of polymodal sediments [J]. *Journal of Geology*, 1978, 86: 532) 535.
- [20] 孙东怀, 安芷生, 苏瑞侠, 等. 古环境中沉积物粒度组分分离的数学方法及其应用 [J]. *自然科学进展*, 2001, 11(3): 269) 276.
- [21] 张秀芝. Weibull 分布函数估计方法及其应用 [J]. *气象学报*, 1996, 54(1): 108) 116.
- [22] 孙东怀, 鹿化煜, DAVID R, 等. 中国黄土粒度的双峰分布及其古气候意义 [J]. *沉积学报*, 2000, 18(3): 327) 335.
- [23] 孙东怀. 黄土粒度分布中的超细粒组分及其成因 [J]. *第四纪研究*, 2006, 26(6): 928) 936.
- [24] 殷志强, 秦小光, 吴金水, 等. 湖泊沉积物粒度多组分特征及其成因机制研究 [J]. *第四纪研究*, 2008, 28(2): 345) 353.

## The differences of grain size parameters estimated with graphic and moment methods in coastal sediments

XU Xingyong<sup>1</sup>, YI Liang<sup>1,2,3</sup>, YU Hongjun<sup>1</sup>, LI Naisheng<sup>1,4</sup>, SHI Xuefa<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of State Oceanic Administration for Marine Sedimentology and Environmental Geology, First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China; 2. Yantai Institute of Coastal Zone Research for Sustainable Development, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China; 3. Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 4. National Oceanographic Center, Qingdao 266071, China)

**Abstract:** There are two methods- graphic method and moment method for grain size parameters calculation. To estimate the result differences between these two methods, a new borehole LZ908 collected in the south coast of the Laizhou Bay in Shandong Province, China, was used for comparison. Based on the grain size analysis, statistical methods were employed here, including correlation analysis, regression analysis, and cluster analysis, to detect possible influence through comparing the difference in the mathematical process and grain size distribution. The conclusions are drawn as follow: the mean and sorting of grain size estimated from the two methods can be almost substituted by each other; the skewness and kurtosis of the two methods cannot or can partially be substituted; and these differences came from estimation functions, reflect some characteristics of the grain size distributions, and are correlated with the hydrodynamic conditions significantly.

**Key words:** grain size parameter; graphic method; moment method; coastal sediment; Laizhou Bay