

图解法与矩法沉积物粒度参数的对比*

贾建军¹ 高抒² 薛允传²

¹(南京大学海岸与海岛开发教育部重点实验室 南京 210093)

²(中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室 北京 100101)

提要 采用 Folk-Ward 图解法公式和 McManus 矩法公式,分别计算了山东半岛月湖地区 270 个底质样品的粒度参数(粒度分析用 Cilas 940L 型激光粒度仪与筛析法相结合)并进行了比较。分析结果显示,两种方法所获的平均粒径和分选系数基本相同,偏态值相差较大(但仍存在显著相关性),而峰态值不能相互转换。偏态值差异的原因在于,图解法的偏态指示了主要粒度组分的尾部特征,而矩法的偏态反映了样品总体的尾部特征。峰态值的差异是由于图解法所反映的往往只是样品的某一组分的粒度特征,计算方法比较粗略,而矩法反映了样品的总体特征,计算方法比较精确。在沉积环境分析、粒径趋势分析、历史数据解译时,应充分考虑这两种方法的差异。

关键词 粒度参数,图解法,矩法,荣成湾

中图分类号 P736.21

长期以来,沉积学家试图从沉积物的粒度特征中提取沉积环境的有关信息,或进行沉积环境的辨识(Visher, 1969; Friedman, 1979; McLaren *et al.*, 1985)。表征粒度特征的粒度参数包括平均粒径、分选系数、偏态和峰态等。计算粒度参数的方法主要有图解法和矩法两类,图解法是根据粒度分析结果绘制出累积分布曲线,从曲线上直接读取某些具有代表性的累积百分数所对应的粒径值,进行参数计算。矩法将样品的平均粒径、分选系数、偏态值和峰态值分别定义为粒度分布的一阶矩、二阶矩、三阶矩和四阶矩的函数,其计算公式也有多个。

由于早期研究广泛采用的大多是图解法的粒度参数,而矩法和图解法的粒度参数的数值大小及其指示意义不尽相同,因此,有必要对两种方法的结果进行对比。作者选择 Folk-Ward (1957) 公式和 McManus (1988) 公式进行图解法与矩法粒度参数的比较。在众多的图解法公式中, Folk-Ward 公式物理意义明确,精确度很高,应用最为广泛,也是国家海洋局海洋地质调查规范(国家海洋局, 1975)规定的计算公式;在矩法公式中, McManus 公式采用分组计算的方法,减少了计算量,并对高阶矩进行了削阶处理,使其输出的粒度参数与图解法参数有相同的数量级,便于进行比较。

1 材料与方法

粒度分析的样品取自山东半岛月湖和荣成湾,共 270 个,包括有砾、砂、粉砂及粘土成

* 国家杰出青年基金资助项目: 49725612 号。贾建军, 出生于 1973 年 6 月, 男, 博士, E-mail: jijia@nju.edu.cn

收稿日期: 2001-12-18, 收修改稿日期: 2002-7-11

分的各种组合¹⁾。粒度分析方法是:将样品烘干,称重备测;粒径大于 1.4 mm 的组分进行筛分,小于 1.4 mm 的组分用法国产 Cilas 940L 激光粒度仪进行粒度分析,该仪器可测量 0.3—2000 μm 的沉积物,其分析结果与前处理方法有关(孙有斌等, 2001)。由于本项研究主要是针对沉积环境和沉积动力学问题,因此分析时采用了全样(不去除有机质和碳酸钙)。对每个样品均绘出 1/4 ϕ 间隔的频率分布直方图,用三次样条插值和线性插值相结合的方法计算出图解法和矩法所需的数据(徐士良, 1992),代入 Folk-Ward 公式和 McManus 公式计算出粒度参数;其中,对 McManus 公式应用 1/4 ϕ 分组间隔。用作图法及线性回归分析的方法评估两种计算方法所得粒度参数的相关性。

2 结果

平均粒径主要受两个因素影响:物源物质的原始大小,及搬运流体的平均动能(流速)。从图 1a 可看出,矩法平均粒径与图解法平均粒径几乎都落在直线 $y = x$ 上;线性回归分析表明,二者的相关系数达到 0.998,说明两种方法计算出的平均粒径几乎相同。

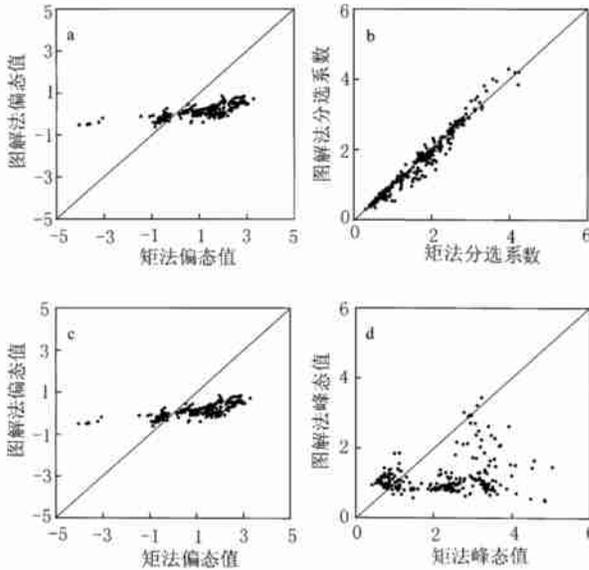


图 1 两种方法计算的粒度参数对比(图中直线为 $y = x$)

a. 平均粒径; b. 分选系数; c. 偏态; d. 峰态

Fig. 1 Comparison between the grain size parameters derived from graphic and moment methods: a. mean grain size; b. sorting coefficient; c. skewness; and d. kurtosis

两种方法计算的分选系数的关系要离散一些,但基本上围绕直线 $y = x$ 分布,图解法的分选系数略大(图 1b)。对二者进行线性回归分析,所得相关系数为 0.985。因此,两种方法的分选系数基本上能够相互替换。

从偏态值的对比来看,两种方法的结果与直线 $y = x$ 有明显的偏离,图解法偏态值是矩法的 20% 左右(图 1c),分布较集中,线性相关的趋势比较明显。线性回归分析的结果,二者的相关系数达到 0.771,仍为显著相关。两种方法计算出的偏态值具有一定的可比性,可以互相换算。

两种方法所得的峰态值离散程度很大,没有明显的相关趋势(图 1d)。根据线性回归分析,二者的相关系数仅有 0.248。因此,两种方法的峰态值不具有可转换性。

3 讨论

3.1 两种方法差异的原因及海洋沉积学意义

图解法与矩法粒度参数的差异,根本原因是计算方法的不同。按照计算公式, Folk-Ward 公式所计算的其实是样品的一个子样(累积含量为 5%—95% 之间,占总体 90%)的粒度特征,

1) 贾建军, 2001. 小型潮汐河道系统的沉积动力过程与演化. 中国科学院海洋研究所博士论文

而矩法则反映了样品的总体特征。在大多数情况下, 90%的主体子样基本上与总体的特征相符, 这也是两者的平均粒径和分选系数基本相同的原因。对于高阶的粒度参数, 两者的差异迅速增大。例如, 虽然两种方法计算出的偏态值显著相关, 但对部分样品的偏态指示相反。表1中第一组数据显示了矩法偏态值为负、图解法偏态值为正的情况; 第二组数据显示了矩法偏态值为正、图解法偏态值为负的情况。从粒度的频率分布直方图(图2)可以看出, 这些样品都是主体(5%—95%)尾部与总体尾部的延伸方向相反的情况。

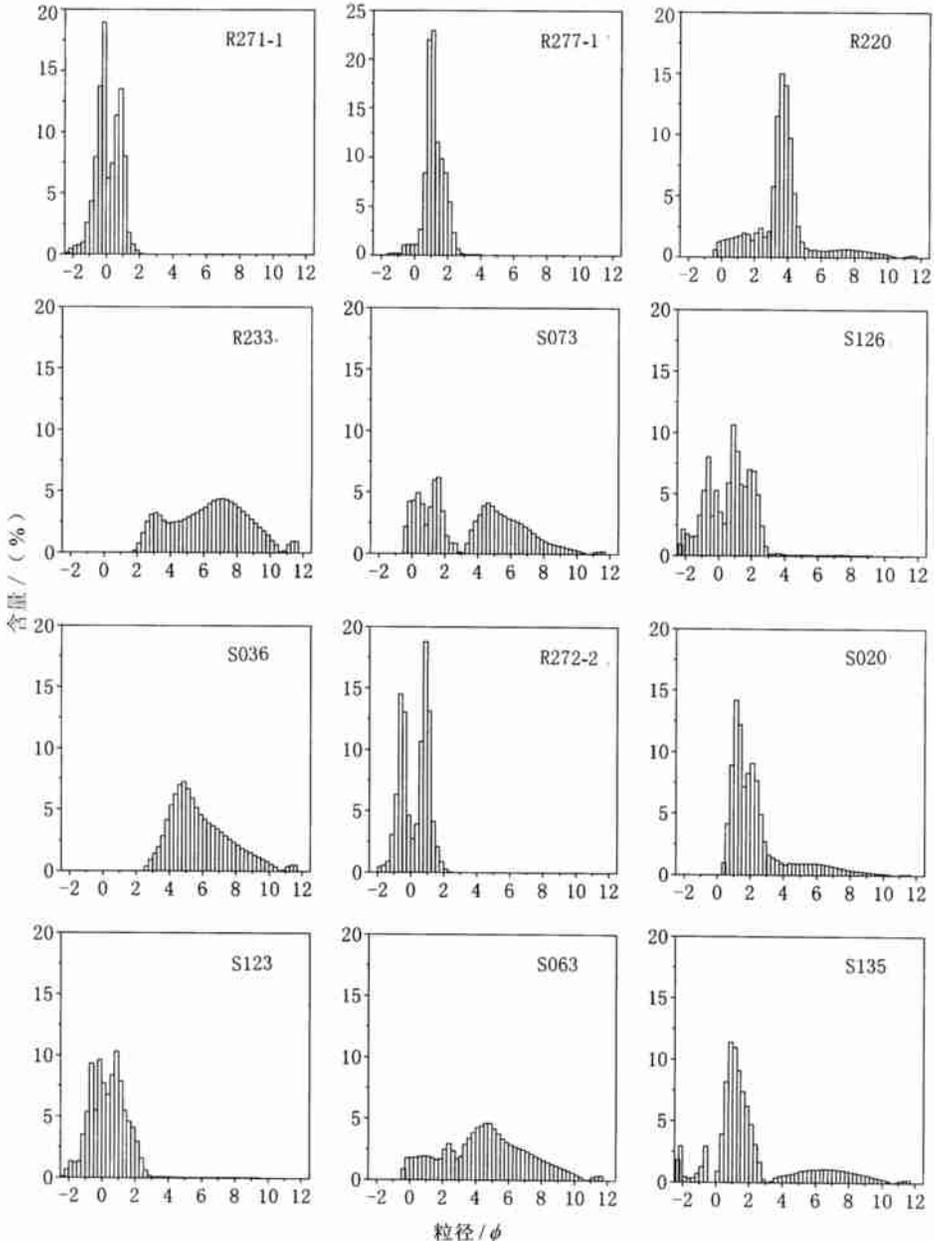


图2 表1所列三组底质样品的矩法的粒度频率分布直方图

Fig. 2 Histograms of the sediment samples listed in Table 1

两种方法的偏态值的差异有其沉积方面的原因,可能是多物源不等比混合,或动力条件改变较大,使得推移质与悬移质相混。对于月湖来说,表1第一组样品均为海滩砂,而第二组主要是泻湖沉积。月湖湾内原本以来自海滩的砂质沉积占主体,而海滩砂以负偏为特征(Friedman, 1979)。近20年来,由于人为活动等因素的影响,湾内动力条件显著减弱,混入了较细的泥质沉积,但所占比例不大,这就造成了两种方法的偏态值的差异。对于第一组样品,矩法更准确地反映了海滩砂的负偏特征;对于第二组样品,其图解法偏态值为负,与主体成分(海滩砂)的特征相符,但细粒尾部的加入使得矩法偏态值为正,与总体特征相符。

表1中第三组矩法与图解法峰态值(样品粒度直方图见图2)的对比显示,无论是单峰、双峰或多峰的情况,随着粒度分布范围的增加和直方图陡峭程度的降低,矩法的峰态值有规律地增大;另外,对于沉积环境类似的样品,双峰的峰态值要大于单峰。而图解法的峰态值基本与其陡峭程度成反比,对于单峰分布比较敏感,对于双峰和多峰的情况,规律性并不显著。矩法的分选系数与其峰态值呈正相关,表明峰态不明显的样品其分选也差,这与二者的物理意义是一致的。对矩法的峰态值和分选系数进行绘图,可以看出二者显著相关(图3),三次多项式回归分析表明,二者相关系数达到0.97。这是一个有趣的现象:峰态值和分选系数有着统计意义上的关系,而在理论上,样本的各阶矩之间在数学上是线性独立的。

表1 矩法与图解法粒度参数的对比

Tab. 1 Comparison between the grain size parameters derived from graphic and moment methods

组号	样号	平均粒径		分选系数		偏态		峰态	
		矩法	图解法	矩法	图解法	矩法	图解法	矩法	图解法
I	R27I-1	0.11	0.11	0.73	0.69	-0.46	0.15	0.80	0.94
	R27I-1	1.18	1.19	0.62	0.56	-0.36	0.26	0.96	1.12
II	R220	3.69	3.43	1.88	1.67	1.85	-0.08	2.89	2.90
	R233	6.36	6.28	2.25	2.33	0.73	-0.10	2.76	0.86
	S073	3.65	3.69	2.77	2.78	1.89	-0.06	3.35	0.75
	S126	0.74	0.72	1.55	1.35	1.64	-0.19	2.66	0.80
III	S036	5.88	5.81	1.79	1.76	1.66	0.30	2.40	0.98
	R27I-2	0.24	0.28	0.83	0.78	-0.46	-0.28	0.97	0.67
	S020	2.38	2.18	1.86	1.56	2.33	0.52	3.01	1.74
	S123	0.43	0.41	1.22	1.04	1.45	0.02	2.28	0.95
	S063	4.64	4.59	2.58	2.68	1.30	-0.01	3.26	0.99
	S135	2.19	2.46	2.78	2.79	2.94	0.51	3.94	2.63

由于矩法和图解法的偏态值在数量上差异较大,可能出现指示相反的情况,而峰态值基本不可比较,因此,分别用两种方法计算出的粒度参数组合,可能会对对应出相差很大的沉积环境。对于这种情况,在文献阅读及历史数据解译时应予充分考虑。

粒度参数的另一项重要应用是粒径趋势分析,即在同一沉积动力环境体系内,粒度参数在平面的变化能指示沉积物的净输运方向(McLaren *et al.*, 1985; Gao *et al.*, 1992)。已有的粒径趋势分析方法只应用了平均粒度、分选系数和偏态值三个粒度参数的组合,并未涉及峰态值;此种情形下,矩法参数与图解法参数的粒径趋势分析结果是一致的(汪亚平等, 2000),这是有其原因的。从上文可知,无论应用何种方法计算粒度参数,所得平均粒径及分选系数几乎没有差异;偏态值虽有数量上的差异,但仍有显著的线性呈正相关关系。至于峰态值,由于两种方法的结果不可转换,因此,如果在粒径趋势分析中引入峰态值,那么

使用矩法参数时,由于分选系数与峰态值显著相关,峰态值的引入并不能提供新的信息;如果使用图解法参数,就会造成搬运趋势分析结果的混乱,并且与矩法参数所得粒径趋势分析结果不相符。

随着计算机技术的普及,以及自动粒度分析仪器的广泛使用,矩法逐渐成为粒度参数的标准算法。需要指出,如果需要了解沉积物的总体粒度特征,矩法参数无疑是首选。不过,在参考对比历史资料时,用图解法更易于提取所需信息。此外,在月湖的沉积环境下,如果粒径趋势分析的对象是推移质,则反映推移质特征的图解法参数似乎更合乎分析的要求(月湖沉积物的多数样品有细粒物质混入,矩法参数为正偏,但其主体是推移质,图解法为负偏)。

3.2 关于粒度参数的分级问题

Folk等(1957)对于图解法粒度参数的等级给出了详细分类;结合上述讨论,作者尝试着根据图解法与矩法的对应关系,给出一个矩法粒度参数的分级表(表2)。

表2 矩法粒度参数(McManus, 1988)的定性描述术语

Tab. 2 Qualitative descriptions for the grain size characteristics, on the basis of the moment parameters (McManus, 1988)

分选		偏态		峰态	
定性描述术语	分选系数值	定性描述术语	偏态值	定性描述术语	峰态值
分选极好	< 0.35			非常窄	< 0.72
分选好	0.35—0.50	极负偏	< - 1.50	很窄	0.72—1.03
分选较好	0.50—0.71	负偏	- 1.50~ - 0.33	中等	1.03—1.42
分选中等	0.71—1.00	近对称	- 0.33—+ 0.33	宽	1.42—2.75
分选较差	1.00—2.00	正偏	+ 0.33—+ 1.50	很宽	2.75—4.50
分选差	2.00—4.00	极正偏	> 1.50	非常宽	> 4.50
分选极差	> 4.00				

4 结论

根据对山东半岛月湖地区沉积物样品的图解法和矩法的粒度参数的对比分析,得到以下认识:

4.1 图解法与矩法计算的粒度参数,从平均粒径、分选系数、偏态值到峰态值,二者的相关性逐渐变差,而差异性逐渐增加。两者的平均粒径和分选系数基本相同,偏态值相差较大,但仍存在显著相关性,而峰态值不能相互转换。其原因在于图解法所反映的是样品的一个子样的粒度特征,而矩法则反映了样品的总体特征。

4.2 两种方法所得偏态值可能出现符号相反的情况,图解法的偏态值指示了样品主体的尾部,而矩法的偏态值反映了样品总体的尾部特征。对于峰态值,随着粒度分布范围的增加和直方图陡峭程度的降低,矩法的峰态值有规律地增大,对于沉积环境类似的样品,多峰直方图

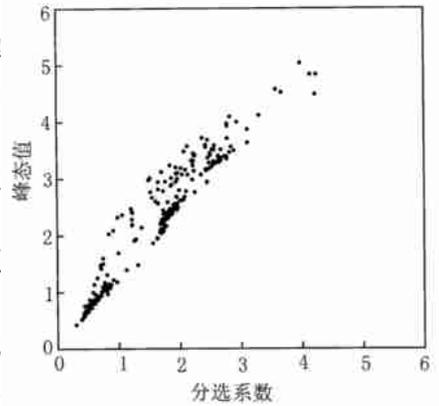


图3 矩法的分选系数与峰态值的关系

Fig. 3 Relationship between skewness and kurtosis on the basis of moment method

的峰态值要大于单峰;图解法的峰态值基本与其陡峭程度成反比,对于单峰分布比较敏感。

4.3 图解法与矩法计算的粒度参数的差异,在沉积环境分析、粒径趋势分析、历史数据解译及文献阅读时,应予以充分考虑。

致谢 中国科学院海洋研究所官晨钟、李坤业等及山东荣成马山实业(集团)公司银滩养殖厂协助进行了采样,谨致谢忱。

参 考 文 献

- 孙有斌,高抒,鹿化煜, 2001. 前处理方法对北黄海沉积物粒度的影响. 海洋与湖沼, 32: 665—671
- 汪亚平,高抒,贾建军, 2000. 胶州湾及邻近海域沉积物分布特征和运移趋势. 地理学报, 55(4): 449—458
- 国家海洋局, 1975. 海洋调查规范(第四分册——海洋地质调查). 北京: 海洋出版社, 9—88
- 徐士良, 1992. Fortran 常用算法程序集(第二版). 北京: 清华大学出版社, 433
- Folk R L, Ward W C, 1957. Brazos river bar: a study in the signification of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27: 3—27
- Friedman G M, 1979. Address of the retiring President of the International Association of Sedimentology: difference in size distributions of populations of particles among sands from various origins. *Sedimentology*, 26: 3—32
- Gao S, Collins M, 1992. Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of “transport vectors”. *Sedimentary Geology*, 81: 47—60
- McLaren P, Bowles D, 1985. The effects of sediment transport on grain-size distributions. *Journal of Sedimentary Petrology*, 55: 457—470
- McManus J, 1988. Grain size determination and interpretation. In: Tucker M ed. *Techniques in Sedimentology*, Backwell, Oxford. 63—85
- Visher G S, 1969. Grain size distributions and depositional processes. *Journal of Sedimentary Petrology*, 39: 1074—1106

GRAIN-SIZE PARAMETERS DERIVED FROM GRAPHIC AND MOMENT METHODS: A COMPARATIVE STUDY

JIA Jian-Jun^{*}, GAO Shu^{*}, XUE Yun-Chuan^{**}

^{*} (Ministry of Education Key Laboratory for Coast and Island Development, Nanjing University, Nanjing, 210093)

^{**} (State Key Laboratory of Land and Resources Information System, Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101)

Abstract Grain-size parameters of 270 seabed sediment samples from the Rongcheng Bay region, Shandong Province, China, were calculated using graphic and moment methods. A comparison between the graphic-moment-derived parameters (including mean grain size, sorting coefficient, skewness and kurtosis) shows that the mean grain sizes and the sorting coefficients are almost identical. However, the skewness values vary considerably, although there is a significant linear relationship between the two data sets. No clear relationship between graphic and moment kurtosis values is found. The differences in the skewness values are caused by the fact that graphic measures reflect the characteristics of a main part of a sample, whilst moment measures provide an overall pattern of the sample. Hence, the differences in the two methods must be taken into account in sedimentary environment and sediment dynamic studies and historical data comparisons.

Key words Grain-size parameters, Moment measures, Graphic measures, Rongcheng Bay