

浙江近海表层沉积物粒度参数图解法和矩法计算成果的对比研究

李金铎, 蒋叶娟, 余海俊

自然资源部宁波海洋中心, 浙江 宁波

收稿日期: 2025年4月27日; 录用日期: 2025年6月24日; 发布日期: 2025年7月2日

摘 要

海底沉积物采用矩法计算粒度参数逐渐普遍, 根据浙江近海表层沉积物采样测试资料, 对研究区图解法和矩法粒度参数结果进行对比研究。结果表明: 浙江近海表层沉积物图解法与矩法得出的平均粒径相关性显著, 可以通用, 分选系数能够相互换算, 偏态和峰态相关性较差, 在一定程度上可以互相转换。将沉积物分为砂质沉积、混合沉积和泥质沉积, 针对特定的沉积物类型, 两种方法的粒度参数对比仍有一定规律, 可以建立转换关系。砂质沉积粒级较为集中, 粒级分布曲线较为接近正态分布, 其偏态和峰态相关性较高, 而对于混合沉积和泥质沉积, 粒级分布曲线比较复杂多变, 尾部含量较高, 造成矩法和图解法结果差异较大, 二者的换算关系较差。图解法与矩法计算成果的转换关系可以用于该区沉积特征和沉积环境的研究。

关键词

粒度参数, 图解法, 矩法, 浙江近海

Comparative Study on the Graphic and Moment Methods Results for Calculating the Grain Size Parameters of Surface Sediments in the Zhejiang Offshore Area

Jinduo Li, Yejuan Jiang, Haijun Yu

Ningbo Marine Center, Ministry of Natural Resources, Ningbo Zhejiang

Received: Apr. 27th, 2025; accepted: Jun. 24th, 2025; published: Jul. 2nd, 2025

文章引用: 李金铎, 蒋叶娟, 余海俊. 浙江近海表层沉积物粒度参数图解法和矩法计算成果的对比研究[J]. 自然科学, 2025, 13(4): 708-715. DOI: 10.12677/ojns.2025.134074

Abstract

The use of the moment method to calculate the grain-size parameters of seafloor sediments is gradually becoming common, and the results of the graphic method and the moment method were compared in the study area according to the sampling and testing data of the surface sediments in the Zhejiang offshore area. The results show that the grain size derived from the graphic method and the moment method are significantly correlated and can be exchanged, the sorting coefficients can be converted to each other, and the correlations between the skewness and kurtosis are relatively poor, which can be converted to each other to a certain extent. Divide the surface sediments in the study area into sandy sediment, mixed sediment and mud sediment. For a specific sediment type, there are still certain patterns in comparing the results of two methods, which can be used to establish conversion relationships. The grain size of sandy sediment is more concentrated, the grain size distribution curve is closer to normal distribution, and its skewness and kurtosis correlation is higher, while for mixed sediment and mud sediment, the grain size distribution curve is more complicated and variable, and the tail content is higher, which results in the big difference between the results of the moment method and the graphic method, and the conversion relationship between the two methods is poor. The conversion relationship between the results calculated by the graphic method and the moment method can be used for the study of sedimentary characteristics and depositional environment in this area.

Keywords

Grain-Size Parameters, Moment Method, Graphic Method, Zhejiang Offshore Area

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

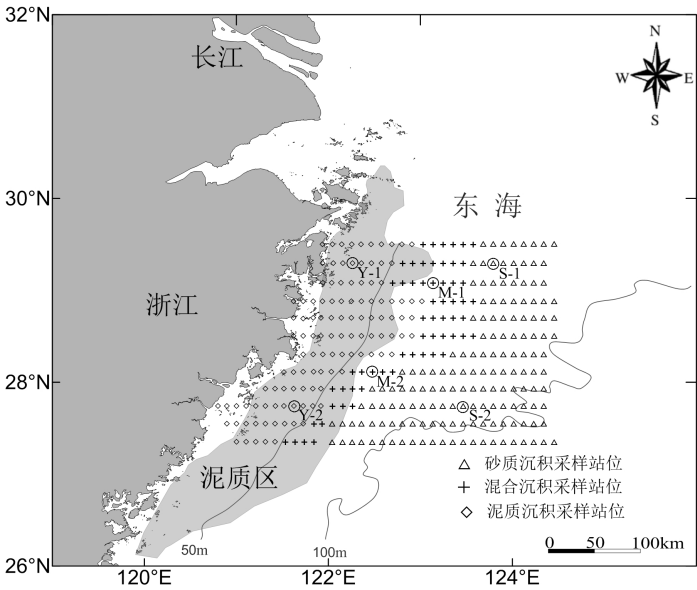


Open Access

1. 引言

利用粒度特征,可以辨识出海底沉积物物源、搬运和沉积过程以及沉积环境的信息[1]-[3]。表征粒度特征的粒度参数的计算通常有两种方法,一种是图解法[4],读取粒度累积曲线上某些代表性的累积百分比所对应的粒径值,根据公式进行算术计算得出平均粒径、分选系数、偏态、峰态等粒度参数,比较直观简便,但不够全面精确。另一种是统计学方法,能反映沉积物粒度分布的总体特征,计算量大,最常用的是矩法[5][6]。上世纪90年代之前,海底沉积物粒度分析一般采用筛析法-沉析法[7],粒级间隔一般取 1Φ ,数据量较少,计算机又不普及,因此普遍采用图解法计算粒度参数。我国多个版次的海洋调查规范采用图解法[8][9],大量的海底沉积物粒度资料和相关研究成果都建立在此粒度参数基础上。上世纪90年代之后,随着计算机和激光粒度仪广泛使用,粒级间隔一般取 0.25Φ ,数据量大大增加,采用矩法计算粒度参数逐渐普遍[10]。很多学者对海底沉积物以及沙漠、河流、湖泊等沉积物粒度参数不同计算方法成果进行了对比研究[1]-[3][11]-[13],比较一致的结论是:图解法结果代表了累积含量5%~95%主要粒级组分特征,而矩法则覆盖了全部粒级,因而在统计学意义上更准确;两种方法得到的平均粒径和分选系数一般都比较接近,显著相关,与沉积环境无关,可互换;而偏态和峰态则相差比较大,与受物源、沉积环境等控制的沉积物粒级分布,即沉积物粒度曲线的特征密切相关,对于具有接近平尾、单峰、对称的频率分布曲线的沉积物,两种方法得出的粒度参数差异小,而当沉积物中含有较多粗的砂粒级或细的粘土粒级造成高的正偏态或负偏态,或者混入其他粒级造成多峰态曲线时,二者的差异较大[1]-[3][11]-[13],因此有必要对不同类型的沉

积物的粒度参数特征进行分别研究。浙江近海表层沉积物种类较多，从近岸到外海分布内陆架泥质带和大陆架砂质沉积以及其混合带的砂泥混合沉积[14](见图 1)，不同时期的采用不同方法计算粒度参数的海底沉积物调查研究成果很多，但两种方法结果的对比和通用性研究尚比较缺乏。本文根据浙江近海调查资料，将沉积物分为砂质沉积、砂泥混合沉积和泥质沉积三种不同种类分别采用图解法和矩法得到的粒度参数进行对比研究，并尝试给出二者转换关系并评价其适用性，可以用于该区沉积特征和沉积环境的研究。



注：由作者本人使用 Surfer 制图软件制作。

Figure 1. Investigated area and sampling position [14]
图 1. 研究区域位置和采样站位[14]

2. 资料与方法

利用浙江近海共 335 站表层沉积物采样测试资料(见图 1)，样品的采集、贮存、预处理按有关规范进行[9]。实验室内，沉积物样品加入适量的 H_2O_2 溶液和 HCL 溶液浸泡 24 小时，去除有机质和钙质胶结物及生物贝壳，加蒸馏水洗盐，超声波振荡充分分散，使用 Microtrac S3500 型激光粒度仪测试分析，测量范围 $0.01\sim 2800\ \mu m$ ，重复测量相对误差小于 3%。输出以 $0.25\ \Phi$ 为粒级间隔， $-1\ \Phi\sim 10\ \Phi$ ($2\ mm\sim <0.001\ mm$)范围共 45 通道粒度分析数据，采用等比制值 Φ 粒级标准，采用 Shepard 三角图分类命名[9]。

分别采用全面图解法(Folk and Ward 1957) [4] [8] [9]和矩法(McManus 1988) [6] [10] (见表 1)计算平均粒径(Mz)、分选系数(σ_i)、偏态(Sk_i)和峰态(K_g)，分别以 Mz_{57} 、 σ_{i57} 、 Sk_{i57} 、 K_{g57} 和 Mz_{88} 、 σ_{i88} 、 Sk_{i88} 、 K_{g88} 表示。应用 SPSS19.0 软件进行统计分析，图件采用 Suffer 16.0 和 Origin 2018 软件制作。

Table 1. The formulae of grain-size parameters for graphical-method and moment-method
表 1. 图解法和矩法粒度参数公式

粒度参数	图解法(Folk and Ward 1957) [4]	矩法(McManus 1988) [6]
平均粒径	$Mz = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3}$	$Mz = \left(\frac{1}{100} \right) \sum_{i=1}^n M_i f_i$
分选系数	$\sigma_i = \frac{\Phi_{94} - \Phi_{16}}{4} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6.6}$	$\sigma_i = \sqrt[2]{\left(\frac{1}{100} \right) \sum_{i=1}^n (M_i - Mz)^2 f_i}$

续表

偏态	$Sk_i = \frac{\Phi_{94} + \Phi_{16} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{94} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_{95} + \Phi_5 - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)}$	$Sk_i = \sqrt[3]{\left(\frac{1}{100}\right) \sum_{i=1}^n (M_i - Mz)^3 f_i}$
峰态	$kg = \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{2.44(\Phi_{75} - \Phi_{25})}$	$kg = \sqrt[4]{\left(\frac{1}{100}\right) \sum_{i=1}^n (M_i - Mz)^4 f_i}$

注：Φ₅，Φ₁₆，Φ₂₅，Φ₅₀，Φ₇₅，Φ₈₄，Φ₉₅ 分别为粒级分布累积频率曲线上 5%，16%，25%，50%，75%，84%和 95% 对应的粒径值，M_i 为各粒级粒径中值，单位为 Φ，f_i 为各粒级百分含量。

3. 结果与讨论

3.1. 砂质沉积

研究区砂质沉积以细砂或粉砂质砂为主，共 157 站，分布于水深大于 70 m 的外陆架(见图 1)，一般都含有贝壳碎片和碎屑。粒级集中在 2~4 Φ (0.25~0.063 mm)，其他粒级都在 5%以下(见图 2)，沉积物粒度分析结果分别采用表 1 中所列图解法、矩法计算粒度参数，分别表示为 Mz₅₇S、σ_{i57}S、Sk_{i57}S、K_{g57}S 和 Mz₈₈S、σ_{i88}S、Sk_{i88}S、K_{g88}S，做散点图(见图 3)。

两种方法得到四个参数之间相关性都较高(p 值均小于显著性水平 0.01) (见表 2、图 3)，尤其是平均粒径和分选系数。这主要是由于沉积物粒级比较集中，粒度频率分布曲线较为对称，接近于正态分布，其两端即粗粒级和细粒级含量都较少，因此代表了累积含量 5~95%主要粒级组分的图解法结果，和代表全部粒级的矩法结果较为接近。前人的研究也表明，砂质沉积物一般分选较好，粒级较为集中[1] [11]，两种方法得到的平均粒径和分选系数与沉积环境无关，一般都显著相关，可互换[1]-[3]，而偏态和峰态则与沉积物粒级频率分布曲线的形态密切相关，粒度曲线接近正态分布时，两种方法得出的粒度参数差异较小[2] [3] [13]。

Table 2. Grain-size parameters characteristics of surface sediments in Zhejiang offshore area (Φ)

表 2. 浙江近海表层沉积物粒度参数特征(Φ)

沉积物类型	粒度参数(平均值(最大值 - 最小值)) (Φ)			图解法与矩法相 关系数
		图解法	矩法	
砂质沉积 (n = 157)	Mz	2.93 (4.08~1.81)	3.03 (4.01~2.03)	0.9442
	σ _i	1.28 (2.30~0.44)	1.47 (2.80~0.64)	0.9255
	Sk _i	0.57 (1.04~0.01)	0.71 (3.04~0.19)	0.8100
	K _g	1.90 (3.96~1.34)	2.16 (3.83~0.96)	0.7682
混合沉积 (n = 62)	Mz	5.12 (6.51~3.51)	5.19 (6.67~3.54)	0.9958
	σ _i	2.46 (3.06~1.57)	2.55 (3.08~1.77)	0.8889
	Sk _i	0.48 (0.94~0.40)	1.97 (2.83~1.78)	0.7445
	K _g	0.96 (1.78~0.62)	2.88 (3.39~2.30)	-0.6508
泥质沉积 (n = 116)	Mz	6.83 (7.81~5.78)	6.95 (7.83~5.91)	0.9281
	σ _i	1.88 (2.30~1.54)	2.16 (2.55~1.58)	0.7624
	Sk _i	0.28 (0.47~0.08)	1.20 (1.90~1.36)	0.5447
	K _g	1.15 (1.66~0.91)	2.48 (2.92~1.92)	0.2609

根据线性拟合结果，给出了浙江近海表层沉积物砂质沉积物图解法参数和矩法参数的互换关系(置信区间 95%，n = 157) (见表 3)。平均粒径和分选系数互换公式的决定系数(R²)大于 0.85，关系式精确度较高。偏态和峰态具有一定的可比性，可以互相换算。

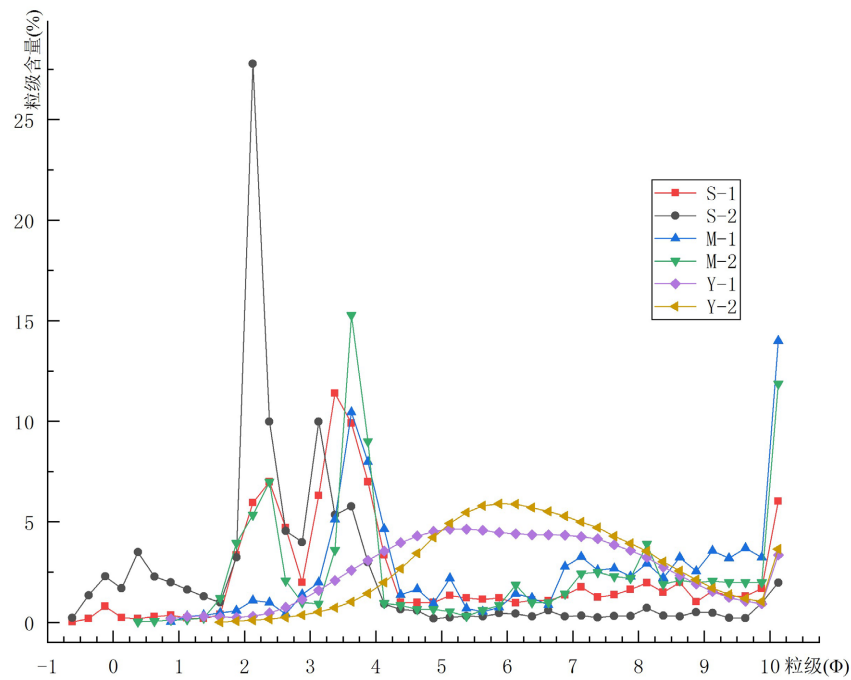


Figure 2. Grain-size frequency curve of typical surface sediments in the study area (sampling positions see **Figure 1**)
图 2. 研究区典型表层沉积物粒度频率曲线图(沉积物站位见图 1)

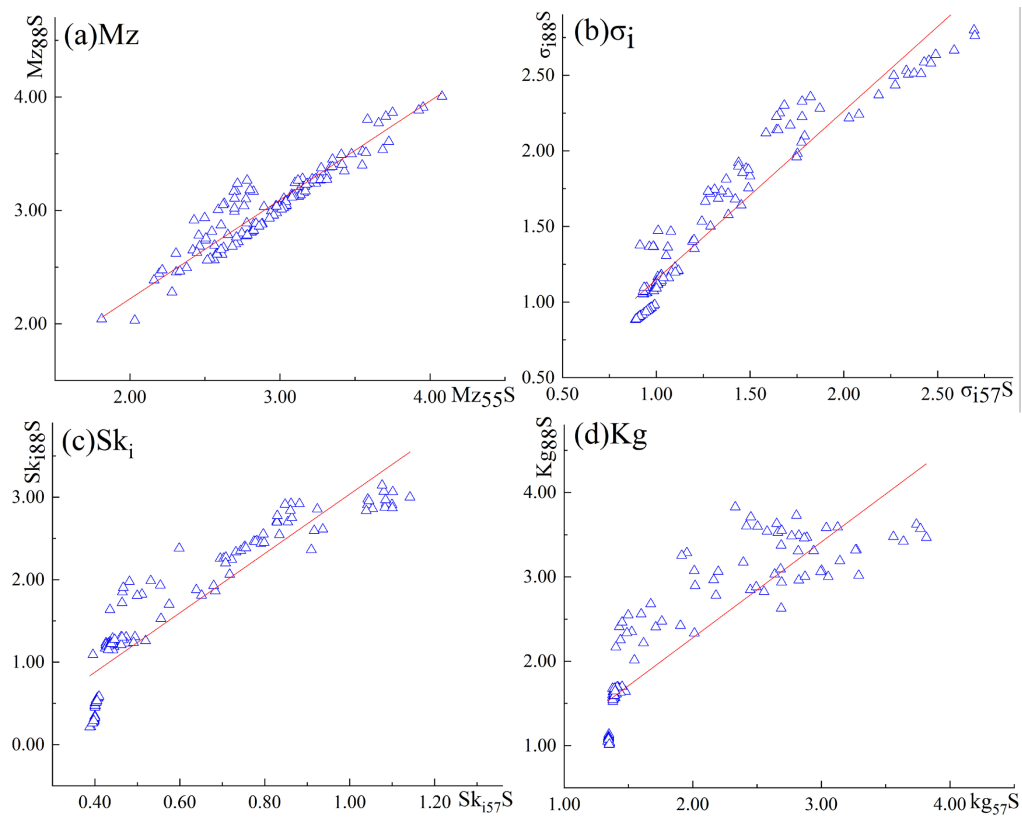


Figure 3. Grain-size parameters scatter plots of sandy sediments in the study area ((a) Mz ; (b) σ_i ; (c) Sk_i ; (d) Kg)
图 3. 砂质沉积物粒度参数散点图((a) Mz ; (b) σ_i ; (c) Sk_i ; (d) Kg)

Table 3. Grain-size parameters conversion between graphical-method and moment-method of surface sediments in Zhejiang offshore area (confidence interval 95%)

表 3. 浙江近海表层沉积物粒度参数图解法和矩法参数的互换关系(置信区间 95%)

粒度参数	砂质沉积(n = 157)	混合沉积(n = 62)	泥质沉积(n = 116)
Mz	$Mz_{57} = 0.8244Mz_{88} + 0.6172$	$Mz_{57} = 0.9636Mz_{88} + 0.2593$	$Mz_{57} = 0.9666Mz_{88} + 0.2310$
	$R^2 = 0.8780$	$R^2 = 0.9952$	$R^2 = 0.9962$
σ_i	$\sigma_{i57} = 0.1150\sigma_{i88} + 0.0343$	$\sigma_{i57} = 0.7300\sigma_{i88} + 0.8022$	$\sigma_{i57} = 1.0678\sigma_{i88} + 0.1552$
	$R^2 = 0.9182$	$R^2 = 0.9284$	$R^2 = 0.3163$
Sk_i	$Sk_{i57} = 3.5993Sk_{i88} - 0.5627$	$Sk_{i57} = 4.1318Sk_{i88} + 0.6389$	$Sk_{i57} = 5.3397Sk_{i88} + 0.1313$
	$R^2 = 0.8382$	$R^2 = 0.6605$	$R^2 = 0.5545$
K_g	$Kg_{57} = 1.1355Kg_{88} + 0.0070$	$Kg_{57} = -0.6482Kg_{88} + 3.4975$	$Kg_{57} = 0.3953Kg_{88} + 1.9668$
	$R^2 = 0.7672$	$R^2 = 0.3925$	$R^2 = 0.0681$

3.2. 混合沉积

研究区外陆架砂质沉积和内陆架泥质沉积的混合地带分布粘土质砂、砂 - 粉砂 - 粘土等砂泥混合沉积(见 图 1), 沉积物分选差, 粒级较为分散, 粒度频率曲线上出现多个峰值(见 图 2)。图解法和矩法计算平均粒径和分选系数相关性较高(p 值均小于显著性水平 0.01)(见 表 2、图 3), 互换公式的决定系数(R^2)大于 0.85, 换算关系式精确度较高(见 表 3)。矩法的偏态值大于图解法(见 表 2), 与其他学者的研究一致[2][3]。

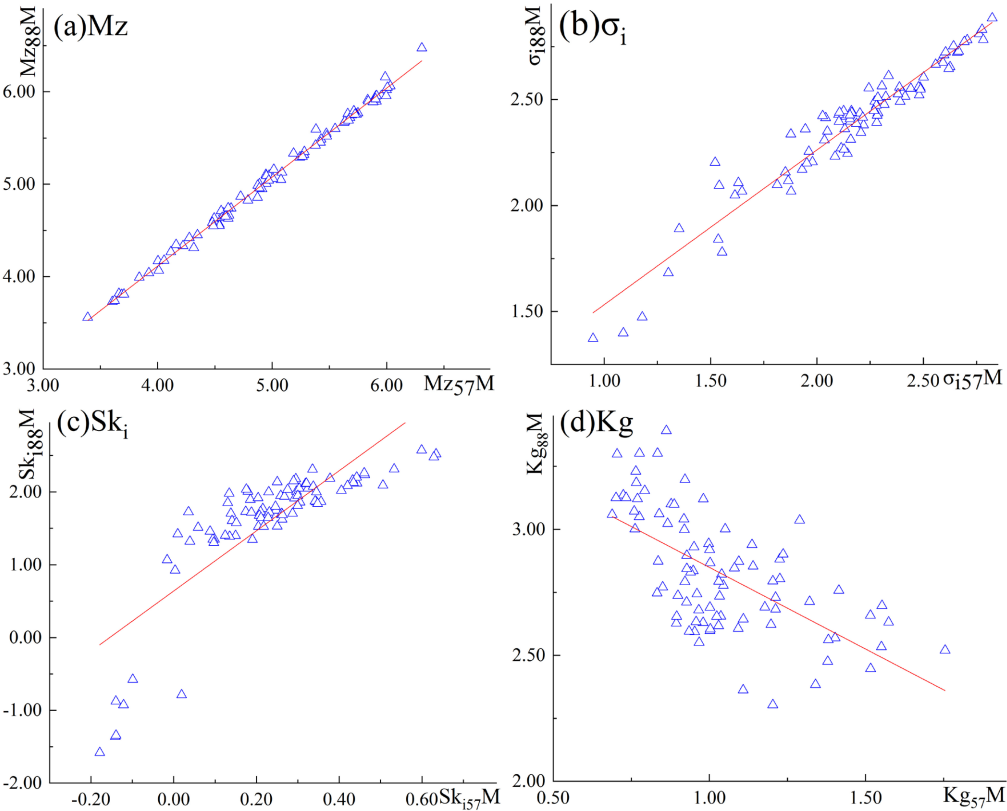


Figure 4. Grain-size parameters scatter plots of sand-mud-mixed sediments in the study area ((a) Mz ; (b) σ_i ; (c) Sk_i ; (d) Kg)

图 4. 混合沉积物粒度参数散点图((a) Mz ; (b) σ_i ; (c) Sk_i ; (d) Kg)

值得注意的是,其散点图显示,沉积物分别呈负偏态和正偏态时,两种方法的对比结果分处两个分隔的区域,偏态接近于零的沉积物很少(见图 4(c))。前人的研究表明,沉积物偏态接近于零时,即粒级接近正态分布时,两种方法得出的粒度参数差异较小[2][3][13],而当沉积物中含有较多粗的砂粒级或细的粘土粒级时,容易造成高的正偏态或负偏态,二者的差异较大[1][3][11][13]。混合沉积物粒级显然偏离正态分布,可能主要是因为混合了多种粒级的物质,粒级分布比较复杂多变。矩法的峰态也显然高于图解法,而且二者呈现负相关(见表 2),前人的研究表明,沉积物混入其他粒级造成偏态不正常或者多峰态曲线时,峰态值的相关性较小,本次研究表明,对于研究区的混合沉积,峰态值离散程度较大,换算关系拟合效果较差,仅供参考。

3.3. 泥质沉积

泥质沉积主要分布于水深小于 60 m 的内陆架,沉积物类型为粉砂粘质土、粘土质粉砂等,粒级分布频率曲线单峰型为主,粒级集中在 5~8 Φ (0.032~0.004 mm),但在细颗粒端有一个明显的翘尾(见图 2)。图解法和矩法计算平均粒径和分选系数相关性较高(p 值均小于显著性水平 0.01)(见表 2、图 5),换算关系式精确度较高(见表 3)。与混合沉积相似,两种方法得到的偏态值和峰态值在散点图上都比较离散,相关性和换算关系比较差,前人在其他海域沉积物的研究有相似的结论[2][3][15][16]。

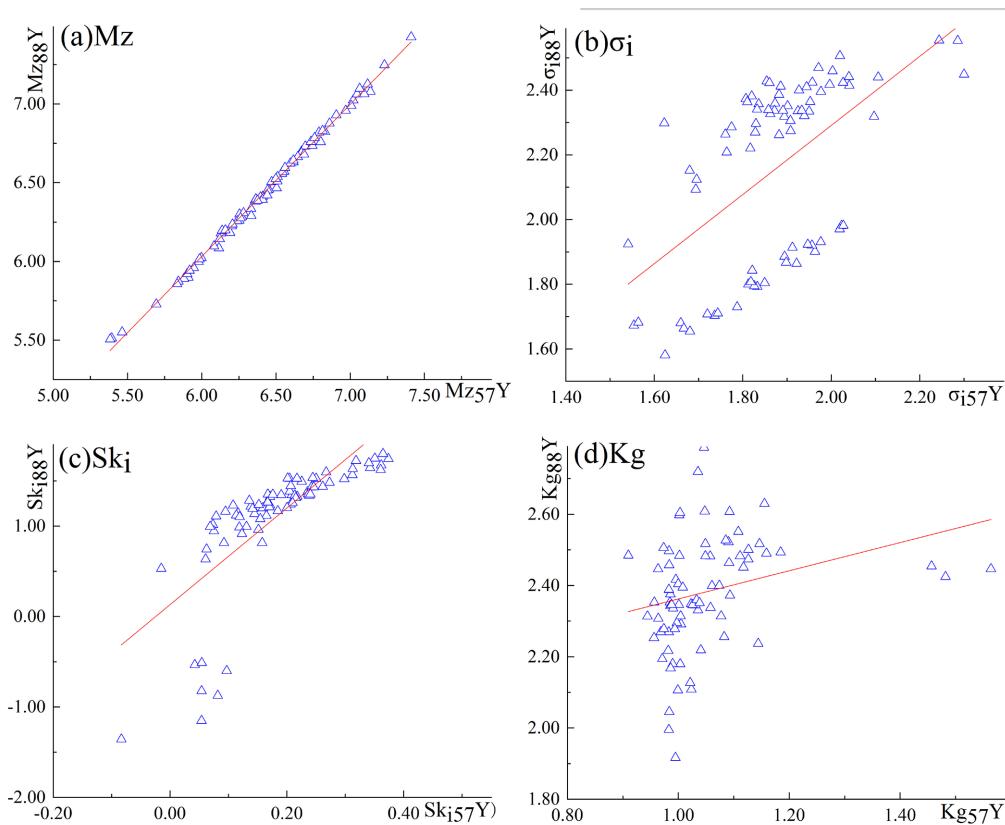


Figure 5. Grain-size parameters scatter plots of mud sediments in the study area ((a) Mz ; (b) σ_i ; (c) Sk_i ; (d) Kg)

图 5. 泥质沉积物粒度参数散点图((a) Mz ; (b) σ_i ; (c) Sk_i ; (d) Kg)

不同计算方法得到的海洋沉积物粒度参数还是存在一定的差异[1]-[3]。近海海底沉积物大多是多种来源多个时期的产物,经受多种海洋动力的影响,因此成分都较为复杂多变,含有多种粒级。图解法计算得到的其实是样品的一个子样(累积含量为 5%~95%)之间的粒度特征,而矩算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,因此,两者的平均粒径和分选系数基本相同。矩法是将平均粒径、分选系数、偏态、峰态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,对于高阶的粒度参数(偏态和峰态),两者的差异迅速增大。对于砂质沉积,粒级较为集中,粒级分布曲线较为接近正态分布,其偏态和峰态相关性较高,而对于混合沉积和泥质沉积,粒级分布曲线比较复杂多变,尾部含量较高,造成矩法和图解法结果差异较大,二者的换算关系较差。本文尝试将浙江近海海底表层沉积物样品分为砂质沉积、混合沉积和泥质沉积三大类,分别对比讨论其粒度参数图解法与矩法计算成果,虽然偏态和峰态差别较大,但具体到每一类沉积物而言,粒度参数仍大致集中于某一区域,对大量样品采用两种方法得出粒度参数仍有规律可循,其比较精确的转换关系,可以用于不同时期研究区海底沉积物资料的对比和海洋沉积的研究。

4. 结语

(1) 浙江近海表层沉积物图解法与矩法得出的平均粒径相关性显著,可以通用,分选系数能够相互换算,偏态和峰态相关性较差,在一定程度上可以互相转换。

(2) 将沉积物分为砂质沉积、混合沉积和泥质沉积,两者方法的粒度参数对比仍有一定规律,可以建立转换关系。砂质沉积粒级较为集中,粒级分布曲线较为接近正态分布,其偏态和峰态相关性较高,而对于混合沉积和泥质沉积,粒级分布曲线比较复杂多变,尾部含量较高,造成矩法和图解法结果差异较大,二者的换算关系较差。

(3) 利用大量样品分别探讨不同种类沉积物粒度参数图解法与矩法计算成果的规律及其比较精确的转换关系,以用于不同时期研究区海底沉积物资料的对比。

参考文献

- [1] 张惠兰,李志亮. 沉积物粒度参数求解方法探讨[J]. 计量, 2008(1): 18-19.
- [2] 刘志杰,公衍芬,周松望,等. 海洋沉积物粒度参数 3 种计算方法的对比研究[J]. 海洋学报, 2013, 35(3): 181-190.
- [3] 王兆夺,于东生,罗福生,等. 图解法和矩法计算泉州湾表层沉积物粒度参数的对比[J]. 海洋地质前沿, 2016, 32(7): 23-31.
- [4] Fork, R.L. and Ward, W.C. (1957) Brazos River Bar: A study in the Significance of Grain Size Parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-26. <https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- [5] Collias, E.E., Rona, M.R., McManus, D.A., et al. (1963) Machine Processing of Geological Data. University of Washington Press, 119-120.
- [6] McManus, J. (1988) Grain Size Determination and Interpretation. In: Tucker, M., Ed., *Techniques in Sedimentology*, Blackwell, 63-85.
- [7] 陈秀法,冯秀丽,刘冬雁,等. 激光粒度分析与传统粒度分析方法相关对比[J]. 青岛海洋大学学报, 2002, 32(4): 608-614.
- [8] 国家技术监督局. GB/T13909-92 海洋调查规范——海洋地质地球物理调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准管理委员会. GB/T12763. 8-2007 海洋调查规范——第 8 部分: 海洋地质地球物理调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [10] 国家海洋局“908”专项办公室. 我国近海海洋综合调查与评价专项—海洋底质调查技术规程[M]. 北京: 海洋出版社, 2006.
- [11] 马茜茜,肖建华,姚正毅. 风成沉积物 3 种粒度参数计算方法比较[J]. 中国沙漠, 2020, 40(4): 95-102.
- [12] 陶敏,邓山,王婷乐,等. 矩值法和图解法计算山区河流沉积物粒度参数的差异[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2011, 33(6): 27-32.
- [13] 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, 23(6): 577-582.
- [14] 李家彪. 东海区域地质[M]. 北京: 海洋出版社, 2008.
- [15] 赵珍清. 南黄海沉积物粒度分布参数计算方法的比较[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1992, 12(3): 95-107.
- [16] 李高聪,梁荣鑫,全长亮,等. 图解法和矩值法粒度参数的定性对比: 以琼州海峡岸滩表层沉积物为例[J]. 海洋学报, 2023, 45(2): 98-109.