

两种激光粒度仪测量结果的对比

肖尚斌^{1,2}, 李安春¹, 刘建国^{1,2}, 徐兆凯^{1,2}

(1. 中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院研究生院 北京, 100039)

摘要: 用两种型号(Cilas 940L 和 Malvern2000) 的激光粒度仪对 149 个沉积物样品进行了测量, 对测量结果作了对比分析, 包括各粒级间的对比、各种粒度参数的对比以及相关分析等。找出两种仪器在不同粒级之间的差异和相关性。分析结果表明, 两种仪器的分析数据在 13~14 μm 的粒度区间最为接近, 小于此粒级范围时 Cilas 940L 所测得数据大于同粒级内 Malvern2000 的观测值, 大于此粒级范围的分析结果则相反, 即 Cilas 940L 对细粒样品的敏感性更强一些。

关键词: 粒度分析; 激光粒度仪; 相关性; 粒度参数

中图分类号: P588.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2004)12-0011-05

沉积物粒度分析是沉积学和古环境研究的基本方法, 它对阐明沉积物的来源、沉积物的输运过程和沉积环境分析等具有重要的意义。沉积物粒度分布的空间变化, 至少反映两种沉积过程: 一是不同物源在不同搬运动力作用下的物理混合; 二是相同物源在单向输运过程中随搬运距离和沉积介质动力条件的变化而产生的选择性沉降。因此, 选择合适的方法准确地分析沉积物的粒度成分是非常重要的。

传统的沉降移液管法测量的粒级较窄又耗时; 筛析法的优点是经济、适用于粗颗粒, 但是对于粘滞性强的细颗粒难以测量。最近, 扫描电镜被应用于微米以下级的粒度定量分析中, 但是这种方法成本高且效率低。激光衍射法集 20 多年的发展优势, 被用于快速测量合成的、成分均匀材料的粒径, 且在粒径小到 0.02 μm 时精度可达 $\pm 1\%$, 此法操作简单方便, 快速。但是, 沉积物样品本身相当混杂的成分组成, 使得这种方法的应用变得复杂而难解。目前, 激光粒度仪对细粒物质的测量分析多采用 Mie 理论; 然而, 由于沉积物中不同的矿物光学性质和表面暗点各不相同, 影响了激光衍射仪输出能量, 这些最终导致了根据光能利用 Mie 理论来编译粒度分布结果的差异性。

激光粒度仪与其他粒度测试方法间的结果对比已经有报道^[1-6]。国外曾有人对多种粒度仪进行过比较, 相同样品用不同厂家生产的激光粒度仪来测量, 其结果存在一定的差异, 这是由于不同厂家对其产品的测量范围设定不同^[6], 或者厂家虚报了其产品的测量能力^[7]。Cilas 和 Malvern 型号的激光粒度仪是国内

目前应用相对频繁的仪器(特别是在沉积学研究领域), 但至今未见有关此二者测量结果的详细对比。作者对东海内陆架 149 个样品分别在两种型号的激光粒度仪上进行了分析, 将分析结果作相关对比, 找出二者的关系, 以便于有关研究者参考。

1 材料与方 法

1.1 激光粒度仪的原理

激光粒度仪利用的是光的衍射现象, 即光在传播过程中能绕过障碍物的边缘而偏离直线传播的现象, 一定粒径的球形颗粒以一定的角度向前散射光线, 这个角度接近于与颗粒直径相等的孔隙产生的衍射角, 衍射角与颗粒的大小成反比。激光粒度分析是在假定所测颗粒为球体的前提下进行的, 沿颗粒横断面的绕射被定为球形绕射。

1.2 样品前期处理工作

样品为取自东海内陆架泥质沉积区的 DD2 孔,

收稿日期: 2003-09-22 修回日期: 2003-10-28

基金项目: 中国科学院海洋研究所创新基金资助项目 (L61022811)

作者简介: 肖尚斌(1970-), 男, 湖北钟祥人, 讲师, 博士生, 从事海洋地质学研究, 电话: 0532-2898535, E-mail: acli@ms.qdio.ac.cn

长度 2 98 m, 按 2 cm 间隔分样。样品先用 30% 的双氧水处理, 再用浓度为 3 mol/L 的盐酸处理, 分别在法国产 Cilas 940L 激光粒度仪和英国产 Malvern 2000 激光粒度仪上分析。

2 两种仪器测量结果的对比

对 149 个按照上述方法处理的同一份样品分别用两种激光粒度仪分析, 得到两组数据, 并进行粒度参数对比, 分析这两种仪器的差异。

2.1 总体特征

图 1 为两种仪器在测量样品的全粒度范围内的

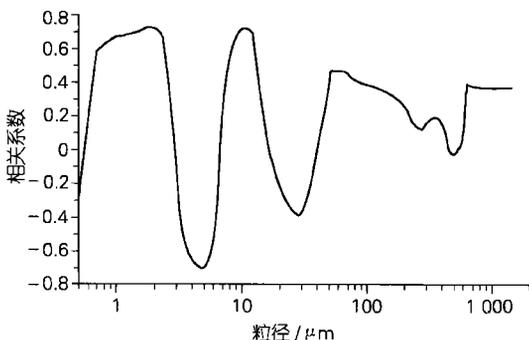


图 1 两种激光粒度仪测量结果的相关系数图

Fig. 1 Correlation of the results from two types of laser particle analyzers

质量分数相关系数图。可以看出, 两种粒度仪在全部粒径测量范围内的相关系数呈现出正弦曲线的变化趋势。相关系数的峰值在: 粒径为 0.7~ 2.4 μm 和 8~ 13 μm 左右呈良好的正相关性; 相关系数为 0.6~ 0.8, 粒径为 4~ 5.4 μm 左右时呈良好的负相关性; 相关系数为 -0.6~ -0.8, 粒径为 25~ 32 μm 时呈较好的负相关性; 相关系数约为 -0.4, 粒径从 56 μm 至 280 μm 时, 相关性逐渐降低。粒径大于 630 μm 以上, 两种仪器测量结果的相关性趋于稳定, 约为 0.4。

从图 2 可以看出, 尽管两种激光粒度仪在区间 1.8~ 2 μm 和 4.6~ 5 μm 所测得的质量分数有明显的差别, 但是二者具有良好的相关性, 前者呈现为同步变化的趋势, 为正相关, 而后者则为负相关。

程鹏等¹⁶对 Cilas 940L 激光粒度仪与筛析法和沉降法的结果对比表明, 前者对 < 4 μm 组分效率平均为 60%, 对 < 2 μm 部分为 37%。作者对此两个区间内 Cilas 940L 和 Malvern 2000 的测量结果对比表明, 两种激光粒度仪的测量结果具有较大的差异性, 对 < 4 μm

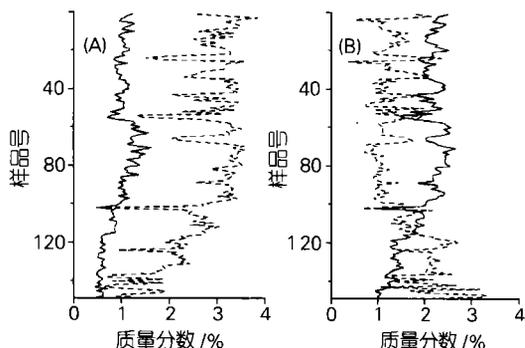


图 2 两种激光粒度仪在 1.8~ 2 μm 粒级(A)和 4.6~ 5 μm 粒级 (B) 的质量分数对比图

Fig. 2 Comparison in 1.8~ 2 μm (A) and 4.6~ 5 μm (B) between two types of laser particle analyzers
—Malvern 2000 - - - Cilas 940L (图 3 同)

部分 Malvern 2000 平均效率为 Cilas 940L 的 51%, 而对 < 2 μm 部分, Malvern 2000 平均效率则仅为 Cilas 940L 的 30.2% (图 3)。

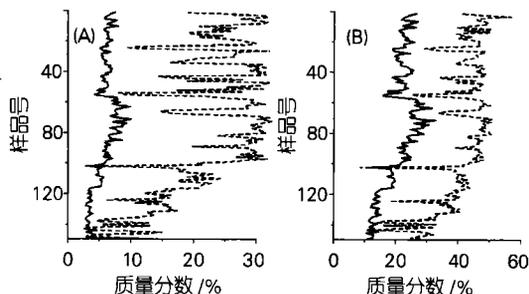


图 3 两种激光粒度仪在 < 2 μm (A) 和 < 4 μm (B) 的测量结果对比图

Fig. 3 Comparison of the results in less 2 μm (A) and less 4 μm (B) by two types of laser granular analyzers

2.2 各粒级相关性

鉴于两种激光粒度仪在所测量粒度范围内相关性随粒径变化的复杂性, 作者以相关系数 0 作为分界区间来回归二者在不同粒级段的关系。所有相关系数都是在显著水平为 0.01 时求得。

3 μm 以下粒级二者的相关系数为 0.77, 相关性较好 (图 4 (A)), 其回归方程为 $y = 0.2667x + 3.3352$ (y 为 Malvern 2000 所测得的质量分数, x 为 Cilas 940L 所测得的质量分数; 下同), 可以看出二组数值差别较大; 3~ 7 μm 二者的相关系数为 -0.61, 呈较好的负

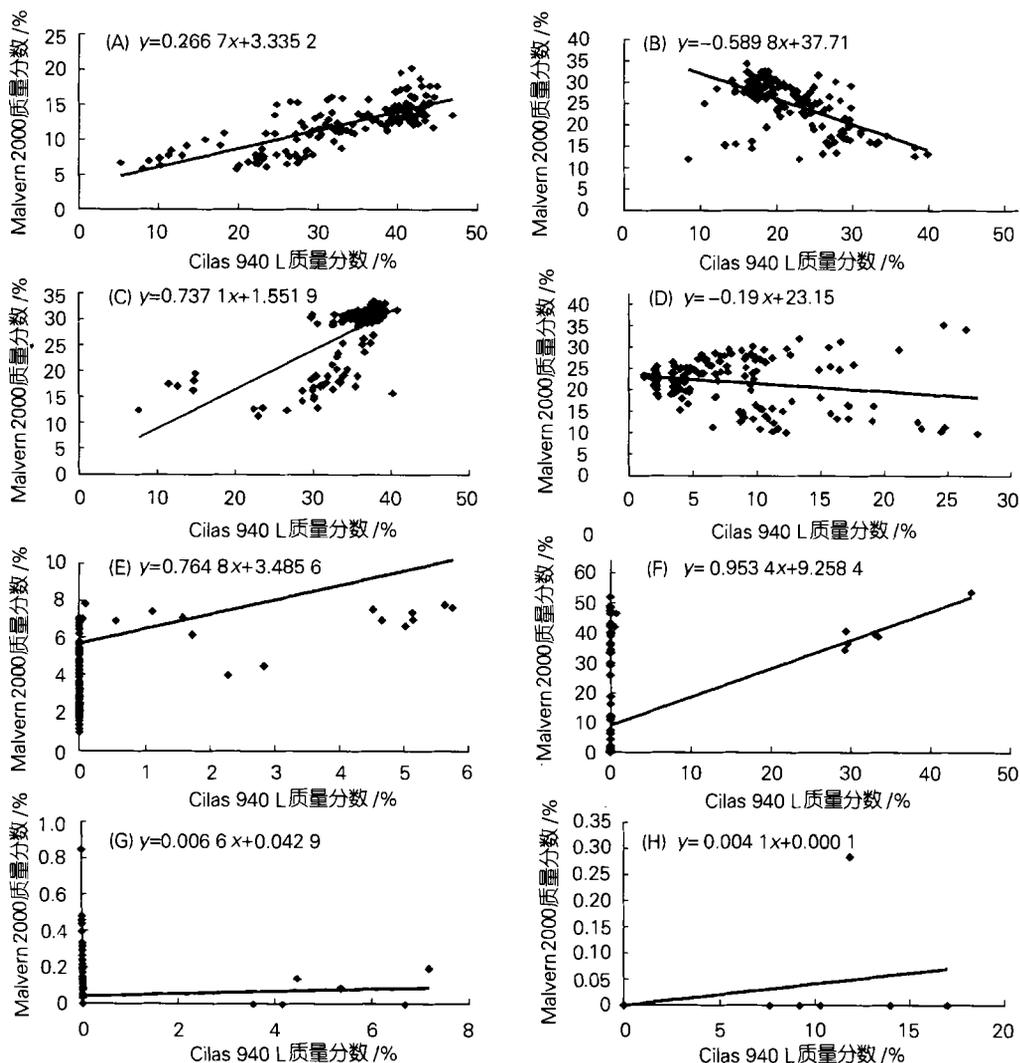


图 4 两种激光粒度仪在不同粒度区间测量结果的对比回归图

Fig. 4 Regression analysis in some particle ranges for two types of granular analyzers

(A) <math>< 3\mu\text{m}</math>; (B) $3\sim 7\mu\text{m}$; (C) $7\sim 16\mu\text{m}$; (D) $16\sim 40\mu\text{m}$; (E) $40\sim 63\mu\text{m}$; (F) $63\sim 400\mu\text{m}$; (G) $400\sim 600\mu\text{m}$; (H) $> 600\mu\text{m}$

相关性 (图 4(B)), 其回归方程为 $y = -0.5898x + 37.71$; $7\sim 16\mu\text{m}$ 二者的相关系数为 0.69, 相关性较好 (图 4(C)), 其回归方程为 $y = 0.7371x + 1.5519$; $16\sim 40\mu\text{m}$ 二者的相关系数为 -0.19, 呈负相关, 但是相关性较差 (图 4(D)), 其回归方程为 $y = -0.19x + 23.15$; $40\sim 63\mu\text{m}$ 二者的相关系数为 0.52, 相关性中等 (图 4(E)), 其回归方程为 $y = 0.7648x + 3.4856$; $63\sim 400\mu\text{m}$ 二者的相关系数为 0.37, 相关性中等到差 (图 4(F)), 其回归方程为 $y = 0.9534x + 9.2584$; $400\sim 600\mu\text{m}$ 二者的相关系数为 0.06, 相关性很差

(图 4(G)), 其回归方程为 $y = 0.0066x + 0.0429$; $600\mu\text{m}$ 以上粒级二者的相关系数为 0.39, 相关性变好 (图 4(H)), 其回归方程为 $y = 0.0041x + 0.0001$ 。

2.3 两种仪器的粒度参数对比

粒度参数常被用来判断沉积物的水动力条件与沉积环境。作者根据矩值法进行粒度参数的计算, 包括平均粒径、分选系数、偏态、峰态, 对粒度参数作了相关系数及回归方程的对比 (表 1)。

就平均粒径而言, Cilas 940L 观测值平均比 Malvern 2000 观测值大 1 Φ 左右, 即前者观测值的平均

表 1 两种仪器粒度参数的相关系数及回归方程

Tab. 1 Regression equation of grain size parameters for two types of granular analyzers

粒度参数	相关系数	回归方程
平均粒径	0.93	$y = 0.76x + 0.79$
分选系数	0.88	$y = 0.55x + 0.8$
偏态	0.85	$y = 1.17x - 0.09$
峰态	-0.17	$y = -0.27x + 2.94$

粒径要小(图 5)。由表 1 可以看出 4 个参数除峰态外相关关系都很显著, 其中尤以平均粒径的相关性最好, 峰态、分选系数次之, 而偏态相关性差。两种仪器观测值的分选系数对上部细粒沉积物吻合性很好, 而对下部较粗的沉积物存在一定偏差。149 个样品的偏态大部分对应较好(图 5), 但有 22 个样品正负偏态相反; 其中 4 个 Cilas940L 为负偏态, Malvern2000 为正偏态且主要是细粒沉积物, 另 18 个则反之, 且主要是偏粗的沉积物。

2.4 两种仪器观测结果的岩性对比

图 5 显示出两种仪器观测值对最后的岩性分析大部分是一致的, 但在某些层位存在偏差。原因在于

对细粒组分而言 Malvern2000 的观测值比 Cilas940L 总体偏粗, 导致了根据其分析值命名的岩性偏粗。

3 讨论

(1) 上述 Malvern2000 对细粒组分 (< 13 μm) 观测值比 Cilas940L 总体偏小, 特别是 3 μm 以下其平均效率仅为 Cilas 940L 的 30.2%, 这决定了根据两种仪器分析数据所解释的岩性差异。归根到底, 激光粒度仪的分辨率及其性能是由于各厂家自身科技水平决定的, 主要包括激光源的设置、光学设备、以及检测器的分辨率等硬件设备的不同所造成的 (Malvern2000 的激光光源波长为 0.63 μm, 而 Cilas940L 激光光源波长为 0.83 μm)。对于一组样品来说, 粒度分布的峰值的大小却与使用的透镜的位置有关, 这导致了其测定的粒度分布峰值与其他方法的结果出现差异。富粘土粒级的样品在测量中会出现错误的粒度分布, 这主要与光的扩散有关^[2]。McCave 等^[1]提出, 不同大小的透镜也可以造成其测量结果的不可对比。Singer 等^[2]发现 Malvern 激光粒度仪对“多峰”样品的测量结果中, 峰态有增加的趋势, 表明了其较低分辨率。因而, McCave 等和 Agrawal 等认为由 Malvern 仪器测

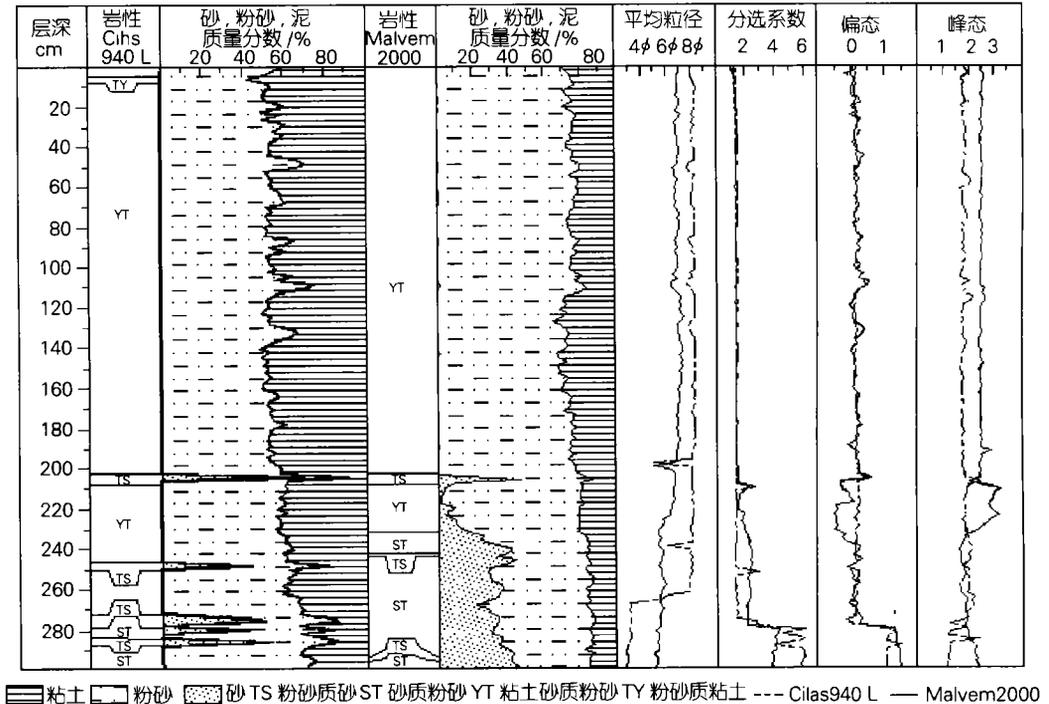


图 5 DD2 站两种仪器观测岩性及主要粒度参数的对比

Fig. 5 Comparison in lithology and grain size parameters of core DD2 for two types of laser granular analyzers

定的多峰分布结果最好不要用来进行子组分的分解^[1, 8]。另一方面, Syvitski 对各粒度仪测量多峰分布样品的结果进行对比, 发现 Malvern 激光粒度仪测量结果与其他仪器的可对比性良好^[3]。(2) 两种仪器的测量结果在 13~ 14 μm 的粒度区间最为接近, 小于此粒级范围 Cilas 940L 所测得样品的质量分数大都大于同粒级内 Malvern2000 的观测值, 大于此粒级范围观测结果则相反, 即 Cilas 940L 对细粒样品的敏感性更强一些。由不同的粒级组成的沉积物, 两种仪器测量结果在不同区间的相关性有较大的差异, 呈现出正弦曲线变化的趋势。因此, 对于细粒级沉积物选用 Cilas 940L 能够更真实地反映实际情况。(3) 根据两种仪器观测值计算的粒度参数对比, 按中值粒径、峰态、分选系数、偏态的顺序其相关性递减。

参考文献:

- [1] McCave IN, Bryant R J, Cook H F, *et al.* Evaluation of a laser- diffraction size analyzer for use with natural sediments[J]. **Sedimentary Petrology**, 1986, 56: 561- 564.
- [2] Singer J, Anderson J B, Ledbetter M T, *et al.* The assessment of analytical techniques for the analysis of fine-grained sediments[J]. **Journal of Sedimentary petrology**, 1988, 58: 534- 543.
- [3] Syvitski J P M. Factor analysis of size frequency distributions: Significance of factor solutions based on simulation experiments[A]. Syvitski J P. Principles, methods, and application of particle size analysis[C]. Cambridge: Cambridge University Press, 1991. 249- 263.
- [4] Loiseau J L, Arbouille D, Santiago S, *et al.* Evaluation of a wide range laser diffraction grain size analyzer for use with sediments[J]. **Sedimentology**, 1994, 41: 353- 361.
- [5] 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.
- [6] 程鹏, 高抒, 李徐生. 激光粒度仪测试结果及其与沉降法、筛析法的比较[J]. 沉积学报, 2001, 19(3): 449- 455.
- [7] McCave IN. Sedimentary processes and the creation of the stratigraphic record in the Late Quaternary North Atlantic Ocean[J]. **Phil Trans R Soc Lond(B)**, 1995, 348: 229- 241.
- [8] Agrawal Y C, McCave IN, Riley J B. Laser diffraction size analysis[A]. Syvitski J P. Principles, methods and application of particle size analysis[C]. Cambridge: Cambridge University Press, 1991. 119- 128.

Comparison between measurement results from two types of laser particle size analyzers

XIAO Shang- bin^{1,2}, LI An- chun¹, LIU Jian- guo^{1,2}, XU Zhao- kai^{1,2}

(1. Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Graduate School, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Received: Sep, 22, 2003

Key words: particle size analysis; laser granular analyzer; correlation; size parameter

Abstract : Grain size analysis for 149 samples was carried out with two types of laser size analyzers (Cilas 940L and Malvern2000). Measurement data was analyzed and compared in different particle ranges and grain size parameters. This paper gives the correlation of the two types of laser particle analyzers in different size. The results show that the measurement between the two types of instruments is closest in 13~ 14 μm , and measurement result of Cilas 940L is bigger than that of Malvern 2000 in the range below 13~ 14 μm and smaller in the range above 13~ 14 μm . It is indicated that Cilas 940L is more sensitive to finer particles than Malvern2000.

(本文编辑: 刘珊珊)