

动态图像法应用于海滩沉积物粒度粒形测试 及其与筛析法的比较

罗章¹ 蔡斌² 陈沈良¹

(1.华东师范大学河口海岸学国家重点实验室 上海 200062;2.德国莱驰科技 上海 201204)

摘要 筛析法是海滩沉积物粒度分析较经典和常用的方法。随着科学技术的发展,利用动态图像法分析沉积物粒度逐渐得到推广。本文利用动态图形法和筛析法对海南岛5个海滩剖面20组沉积物样品进行粒度粒形测试,并将两种方法所测得的粒度进行比较。测试分析结果显示,该方法的测试结果重复性好,精度高;通过与筛析法的对比显示,动态图像法与筛析法的测试结果非常接近,粒度级配曲线基本一致,各个粒度参数值很接近且相关性非常好($R^2 > 0.94$);由动态图像法得出的粒形参数可以看出,粒径相当的不同海滩沉积物粒形参数有很大差别,同一海滩不同部位的球形度和宽长比变化很大,对称度和凹凸度变化稍小。研究表明,动态图像法与筛析法之间的粒度分析差异主要来自于两者测量原理的不同和天然海滩砂颗粒形状的不规则;动态图像法解决了不规则沉积物粒度的测量。因此,动态图像法可以替代筛析法来测量沉积物粒度,应用前景广阔。

关键词 动态图像法 Camsizer XT 海滩沉积物 粒度参数 筛析法

第一作者简介 罗章 男 1990年出生 硕士研究生 港口、海岸及近海工程 E-mail: 51142601034@ecnu.cn

通讯作者 陈沈良 男 教授 E-mail: slchen@sklec.ecnu.edu.cn

中图分类号 P736.21 **文献标识码** A

由砂或砾等松散沉积物组成的海滩是砂质海岸重要的沉积地貌单元,其中沉积物粒度是一个重要的沉积动力和地貌动力参数^[1]。海滩沉积物粒度参数包含沉积动力条件和沉积物运移方面的丰富信息^[2-5]。沉积物粒度分析是揭示海滩沉积动力和地貌演变的重要手段之一,并且颗粒形态对沉积动力也有显著影响^[6-7]。我国华南,特别是海南岛海滩分布广泛^[8]。海滩沉积物粒度分析对砂质海岸的沉积特征和稳定性研究具有重要的意义^[9],也是海滩旅游开发、科学管理和持续利用需要了解的一项基本参数^[10]。

沉积物粒度的分析方法很多,有直接测量法、筛析法、沉降法、图像分析法、X射线衰减法、电阻法、光散射法和激光法等^[11-13]。然而,海滩沉积物通常粒度较粗,现有激光粒度仪无法测试,目前最常用的方法仍是筛析法。近年来,随着科学技术的发展,德国莱驰科技(Retsch Technology)基于ISO13322-2标准,采用动态数字图像分析技术研发了一款新型的干湿两用多功能粒度粒形分析仪(Camsizer XT)^[14],并开

始在海岸沉积以及海洋地质领域得到应用^[15]。本文以海南岛典型海滩为例,选取若干海滩沉积物样品进行测试对比,分析动态图像法和筛析法在粒度曲线、粒度参数的异同及其相关性,从而综合评价动态图像法在海滩沉积物粒度分析中的适用性。

1 测量原理及实验方法

1.1 筛析法

筛析法是碎屑颗粒粒径测量的一种常用方法。其原理非常简单:根据需要要将不同筛孔直径的标准筛按孔径从小到大依次摞起,盖上筛盖,放在固定的振荡机上,选择适当的模式及时长让其振动即实现筛分。振动完成后,称得每层标准筛中的颗粒质量,即可求得试样以重量计的颗粒粒径分布,进而得出该沉积物样品的颗粒级配的频率分布或累积分布。

1.2 动态图像法

多功能粒径粒形分析仪(Camsizer XT)是德国莱驰科技公司最新一款基于ISO13322-2动态数字成像技术的粒度粒形分析仪。其拥有专利的双CCD成像技术,包括基准镜头(B-CCD)记录大颗粒的粒度和形

态信息,聚焦镜头(Z-CCD)记录小颗粒的粒度和形态信息。两个镜头既可单独使用也可同时使用^[14],因而能在一个很宽的粒度范围内得到具有重现性的数据结果。一次进样,同时测得粒度大小、粒度分布、球形度、对称性、凹凸度等颗粒综合信息。

Camsizer XT 的测量过程:将处理好的样品通过进样漏斗和进样槽分散,然后通过振动装置将样品振入测试腔,颗粒物被 CCD 镜头实时快速捕捉,系统将捕捉到的动态图像信息经过复杂的程序转化处理,进

而得出根据各种不同粒度直径定义的粒度分布曲线。主要包括投影宽度(X_c)、等效球径(X_{area})、弗雷特长度(X_{Fe})以及定向等分径(X_{Ma})等。 X_c 是指沿测量方向上的最大弦; X_{area} 是指等投影面积球形的直径; X_{Fe} 是指沿一定方向测得的颗粒投影轮廓两边界平行线间的距离; X_{Ma} 指的是投影面上在测量方向面积平分线的长度; X_{c_min} 是指沿投影面所有测量方向上的最大弦的最小值,从原理上来看, X_{c_min} 其数值大小接近于筛分值(图 1)。

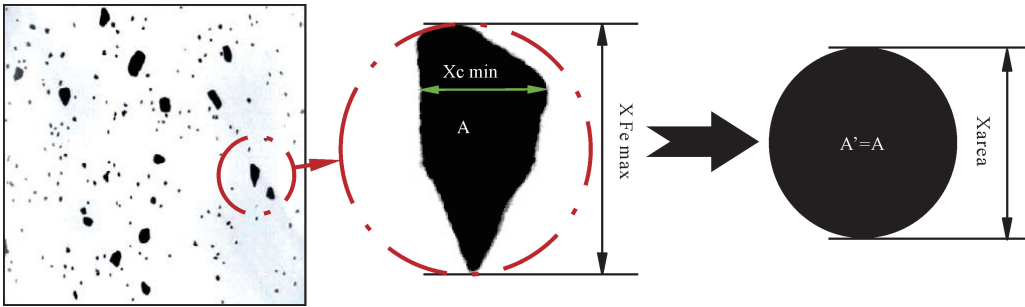


图 1 沉积物粒径示意图
Fig.1 Demonstration figure of grain sizes

1.3 实验方法

实验选取采自 2013 年 12 月海南岛崖州湾、莺歌海湾和洋浦湾 5 个代表性海滩断面的 20 组沉积物样品(图 2),其中五个样品来自崖州湾的一个断面,从后滨到水下部位(海滩断面采样图见图 3)依次编号为 YZW-1~YZW-5,以此类推来自莺歌海湾和洋浦湾的样品分别编号为 YGH-1~YGH-5、YPW-1~YPW-5 和 YPW-6~YPW-10;重复性实验的样品来自崖州湾的 YZW-1。测试前,先对样品进行预处理^[16]:用纯水浸泡清洗,洗去样品中的盐份,然后在烘箱中干燥 8~12 h,置于干燥器中冷却至室温。将同一组样品混匀后用二分器一分为二,分别用于多功能粒径粒形分析仪和筛析法测量。

动态图像法采用德国 Retsch 公司 2012 年最新研制的粒度粒形分析仪,使用其干法模块 X-FALL,测量范围是 1 μm~30 mm;测试时,首先打开软件,设置合适参数,用二分器对处理好的样品进行分样,然后把分好的样品放入进样漏斗中,点击软件进行测量。

筛分法采用德国 Retsch 公司生产的 AS200 control 型振动筛分仪,分析筛最大直径为 203 mm,粒度测量范围 20 μm~25 mm。根据国家海洋调查规范^[17],实验选取的筛网孔径分别是 63 μm、90 μm、

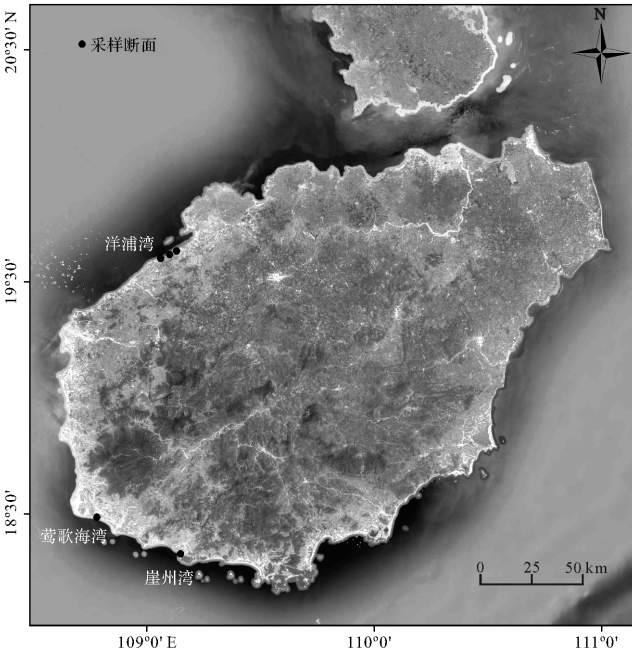


图 2 海南岛海滩测试样品来源
Fig.2 Sample source of Hainan beaches

106 μm、125 μm、250 μm、315 μm、500 μm、1 000 μm,将适量预处理后的样品放在套筛最上层,振筛机振动 15 分钟后分别称量各层筛面上的沙重。

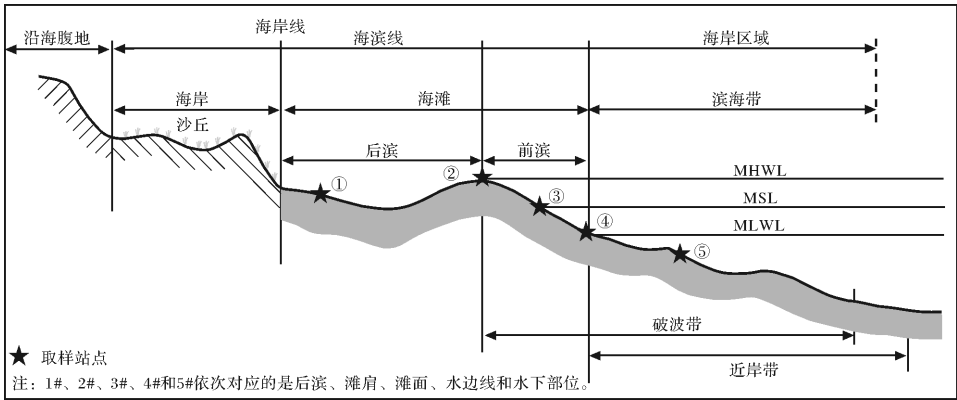


图 3 采样断面图

Fig.3 The figure of sampling section

2 实验结果分析

2.1 Camsizer XT 粒度重复性分析

重复性是反映仪器测量精度的一个重要指标。重复性指的是使用同样的方法在正确操作下由同一操作人员在同一实验室内使用同一仪器,并在短期内对相同试样做多个单次测试,所得测试结果之间的重合程度。本文采用两种实验方案分析对比来说明此仪器的重复性:①将 YZW-1 号样品重复测量 10 次,得出结果编号为 1#~10#;②取它的 10 个子样(将样品充分混合,保证子样的随机性)分别用此仪器测量 10 次,得出结果编号为 11#~20#。分别绘制前 10 组和后 10 组样品的累积频率曲线,然后进行对比。

前 10 组和后 10 组的累积频率曲线分别如图 4 和图 5;测量得到 D10、D50、D90 三个粒度参数,平均粒径(M_z)、分选系数(σ_1)、偏度(Sk_1)和峰度(Kg)这 4 个参数采用 Folk-Ward 图解法公式求得^[18],各参数见表 1。 Q_3 是体积累积分布曲线,指的是粒径小于 X 的颗粒体积与总体积的比值; q_3 是体积密度曲线,指的是各颗粒体积与总体积的比值 ($q_3(x) = \frac{dQ_3(x)}{dx}$)。

图 4 中 10 种不同颜色的曲线分别表示同一样品重复测量 10 次的结果,可以看出 10 条曲线几乎完全重合;各密度曲线之间的纵向和横向差值都十分微小,基本可以忽略不计;从直方图可以看出单样每次测量在不同的粒径区间有微小的差别。图 5 是分别选取 10 组子样进行测量得到的曲线,各曲线的重合度较 1#~10#的曲线图差,各曲线稍微要分散一些;从密度分布曲线来看最大峰值和最小峰值相差 10%~15%,累积频率曲线图的最大差值在 0.1%~0.2%之间。

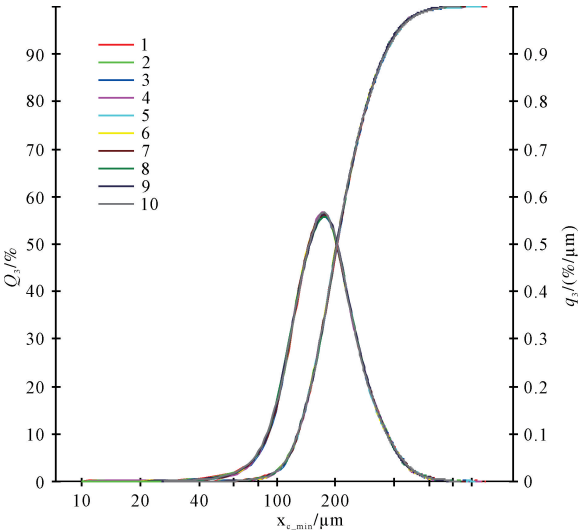


图 4 单样 10 次重复测量得到的累积频率曲线和密度分布曲线

Fig.4 Cumulative frequency curves and density distribution curves of the same sample No. 1 to 10

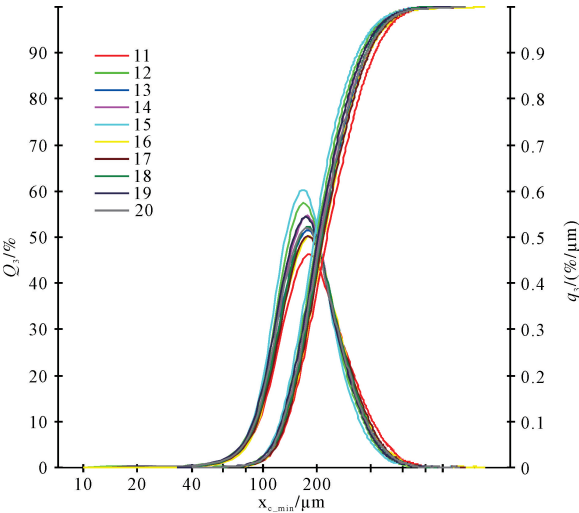


图 5 不同子样测得的累积频率曲线和密度分布曲线

Fig.5 Cumulative frequency curves and density distribution curves of sub-samples No. 11 to 20

从表 1 中 1#~10#可以看出:D10、D50、D90 和 M_z 这 4 个参数 10 次测量结果非常稳定,10 组数据的标准偏差很小(<0.65),D90 略大为 2.15;从相对标准偏差来看,4 个参数的相对标准差都小于 0.6%;由分选系数、偏度和峰度 3 个统计参数来看:分选系数的变化在千分位,偏度和峰度在百分位变化,它们的相对标准偏差都小于 2%,其中峰度和分选系数都只有百分之零点几的波动,这表明数据的稳定性极好,说明 Camsizer XT 仪器的重复性高。由 10 个子样的测量结果可以得到类似于前 10 组数据的结论,但各指标数值都略有偏大。其主要原因是取样所带来的误差,二分取样不能保证样品充分均匀,也不能保证样品的总量绝对相等,并且各子样相对于样本总体也很难具有绝对的代表性,所以各子样的测量结果会有一定偏差。从上述两组测试结果来看,与仪器自身性能所带来的误差相比,取样误差更为显著,即子样的选取是影响 Camsizer XT 测量精度的主要因素。

表 1 粒度参数测量结果

Table 1 Measured grain size parameters

| 样品编号 | D10 / μm | D50 / μm | D90 / μm | M_z / μm | σ_1 / μm | Sk_1 | K_g |
|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------|-------|
| 1 | 128 | 203 | 358 | 220 | 0.587 | 0.355 | 1.112 |
| 2 | 128 | 203 | 358 | 219 | 0.587 | 0.347 | 1.116 |
| 3 | 128 | 203 | 360 | 220 | 0.585 | 0.357 | 1.117 |
| 4 | 128 | 203 | 356 | 219 | 0.589 | 0.345 | 1.115 |
| 5 | 129 | 203 | 360 | 219 | 0.585 | 0.355 | 1.134 |
| 6 | 128 | 202 | 355 | 218 | 0.587 | 0.349 | 1.111 |
| 7 | 129 | 203 | 357 | 219 | 0.587 | 0.351 | 1.116 |
| 8 | 128 | 203 | 355 | 219 | 0.589 | 0.343 | 1.115 |
| 9 | 127 | 203 | 354 | 218 | 0.589 | 0.339 | 1.108 |
| 10 | 128 | 203 | 359 | 219 | 0.589 | 0.354 | 1.141 |
| 平均值/ μm | 128.1 | 202.9 | 357.2 | 219.1 | 0.587 | 0.349 | 1.119 |
| 标准偏差/ μm | 0.57 | 0.32 | 2.15 | 0.649 | 0.002 | 0.006 | 0.011 |
| 相对标准偏差/% | 0.44 | 0.16 | 0.60 | 0.30 | 0.27 | 1.70 | 0.94 |
| 11 | 136 | 227 | 419 | 230 | 0.545 | 0.360 | 1.069 |
| 12 | 126 | 199 | 351 | 215 | 0.586 | 0.356 | 1.121 |
| 13 | 132 | 213 | 376 | 230 | 0.571 | 0.342 | 1.063 |
| 14 | 129 | 207 | 364 | 223 | 0.583 | 0.343 | 1.105 |
| 15 | 124 | 193 | 336 | 207 | 0.596 | 0.356 | 1.150 |
| 16 | 133 | 218 | 391 | 236 | 0.568 | 0.350 | 1.113 |
| 17 | 134 | 217 | 390 | 236 | 0.563 | 0.356 | 1.080 |
| 18 | 131 | 212 | 374 | 229 | 0.575 | 0.347 | 1.101 |
| 19 | 127 | 204 | 362 | 220 | 0.577 | 0.349 | 1.109 |
| 20 | 129 | 210 | 378 | 227 | 0.567 | 0.358 | 1.113 |
| 平均值/ μm | 130.1 | 210 | 374.1 | 225.4 | 0.573 | 0.352 | 1.102 |
| 标准偏差/ μm | 3.78 | 9.83 | 23.11 | 8.932 | 0.014 | 0.006 | 0.026 |
| 相对标准偏差/% | 2.91 | 4.68 | 6.15 | 3.96 | 2.48 | 1.82 | 2.36 |

2.2 动态图像法与筛析法的比较

分别用动态图像法和筛析法对样品粒径进行测量,然后将得到的两组实验结果的颗粒参数、级配曲线进行分析对比。

2.2.1 累计频率曲线对比

对比测试共 20 组样品,这里以其中 4 组样品的级配曲线为例,得到筛析法和 Camsizer XT 动态图像法的级配曲线(图 6)。从体积级配曲线对比图可以看出,动态图像法和筛分法的级配曲线基本一致,只在拐点上下略有差别。

两种方法测量的测量结果出现微小差别的主要原因是:

(1) 累积频率曲线的横坐标表示粒径大小,曲线越靠近左边说明颗粒越细,所以由图 6 可知筛分曲线的大颗粒部分在动态图像法所得曲线的左边,小颗粒在动态图像法的右边。所以筛分曲线大颗粒部分测出来的结果比动态图像法的结果偏小,小颗粒部分测得的结果较动态图像法的结果偏大。首先从筛析法本身来看,理论上通过筛孔的最大圆球体颗粒,其直径将等于筛孔直径,所以对于不规则的沉积物颗粒,只要中径小于或等于筛孔边长的粒径都能通过筛子^[11]。如果筛子孔径为 a ,那么筛孔沿对角线方向的长度为 $\sqrt{2}a$,因此在某些特殊情况下中径或者最大宽度介于 a 与 $\sqrt{2}a$ 的颗粒也可以通过筛子。由于海滩沉积物颗粒形状并不规则,其中存在片状、扁状和尖状的大颗粒,筛分测量时这些颗粒通过筛孔的对角线掉到下一级筛子;而动态图像法所测量颗粒投影宽度 X_{e_min} ,原理上得出的结果是颗粒实际的筛分值。综上所述,由于筛析法本身的理论缺陷造成了两种测量方法的微小差异,反映在级配曲线上也就出现了图 6 的情况。

(2) 筛子的合理选取也会影响筛分曲线的圆滑程度,如果筛子选取合理,筛分曲线就越接近理想的标准级配曲线;如果选取的筛子孔径和样品的粒径分配范围差别太大,就会造成级配曲线的尖点和凹点。因此,在做筛分实验时,需要通过样品的大致粒径分配来选择实验的筛子个数和目数。

2.2.2 粒度参数对比

粒度参数及其组合特征可用于判断沉积水动力条件及沉积环境的参考依据。沉积物研究中常用的粒度参数包括:D10、D50、D90、平均粒径、分选系数、偏度和峰度。下面分别来讨论两种测量方法的粒度参数,并进行对比。

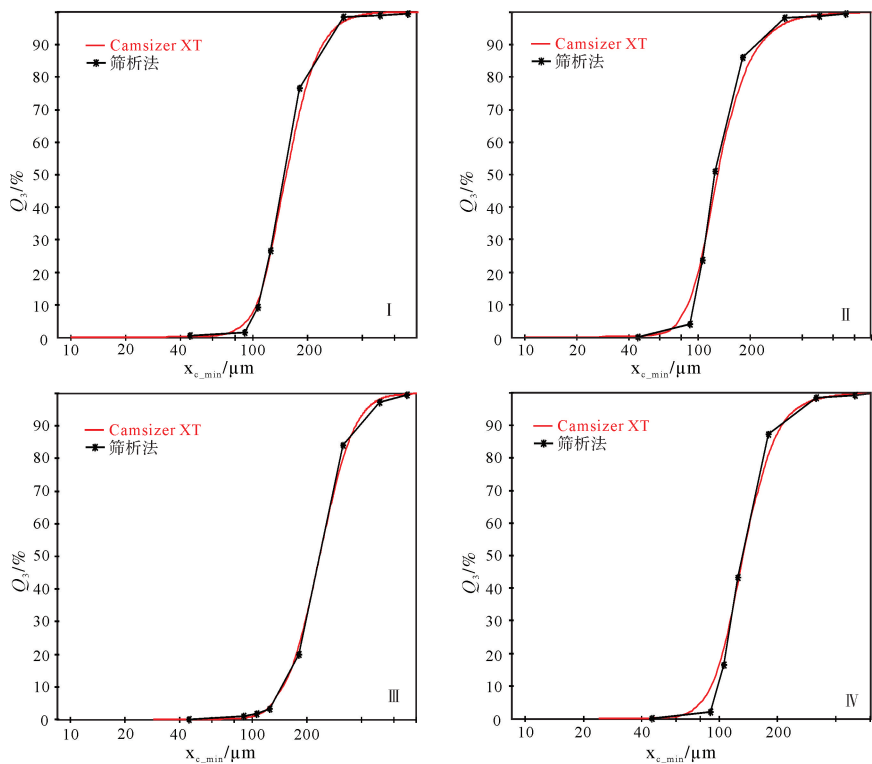


图6 筛析法与动态图像法的体积级配曲线对比

Fig.6 Comparison diagrams of grain-size grading curves using the sieving and dynamic image methods

筛分法和动态图像法测量的D10、D50、D90和平均粒径的对比如图7所示,图中的1-20分别表示YZW-1~YZW-5、YGH-1~YGH-5和YPW-1~YPW-10。总体来看,两种方法测量的粒径值变化趋势基本一致,20组样品的D10、D50、D90和平均粒径的走向一致,都在7号点处表现为最大值,5号点处出现最小值。D50和平均粒径两种方法的偏差很小;D10和D90的偏差略大一些,不过误差也都在几十微米甚至几微米范围内。由此可见,这两种方法测得的D50和平均粒径的吻合度较D10和D90好,图像也出现了交叉,这个结论和图6所得到的结论一致。

图像法与筛析法得出的峰度、偏度和分选系数变化趋势也基本一致(图8)。两种方法得出的峰度和分选系数相差非常小,误差均在百分位和千分位之间;偏度之间的误差稍大一些,但基本也在百分位变化,少数误差大的在十分位变化,但总体都很接近,都表现为正偏。结合图7和图8来看峰度和偏度较大的粒径也比较大,基本上有相同的变化趋势,相对于峰度和偏度来看20组样品的分选系数则比较稳定,大都在0.4~0.6之间变化,这说明实验所选取得5个断面的样品颗粒的分选性比较一致。

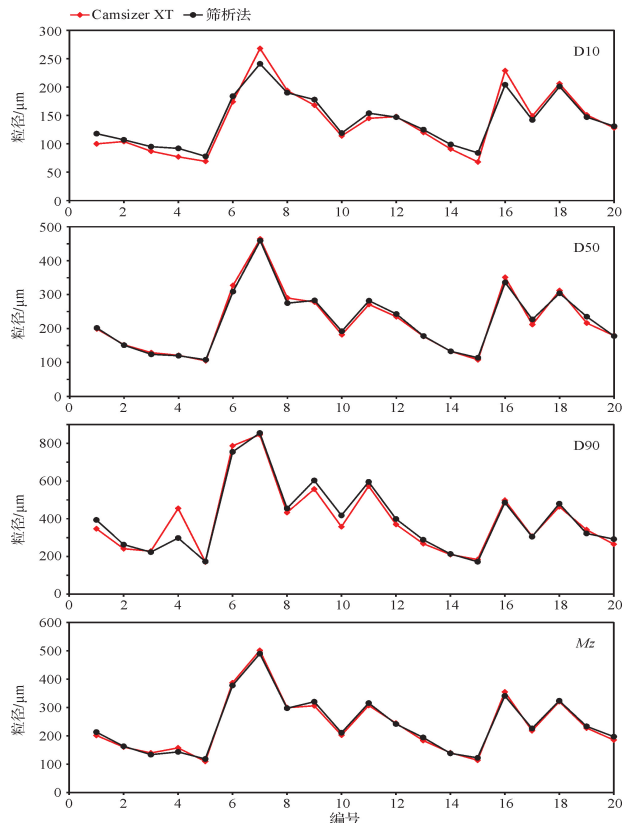


图7 筛分法和动态图像法的粒径对比

Fig.7 Comparison of particle size parameters of sieving analysis and Camsizer XT

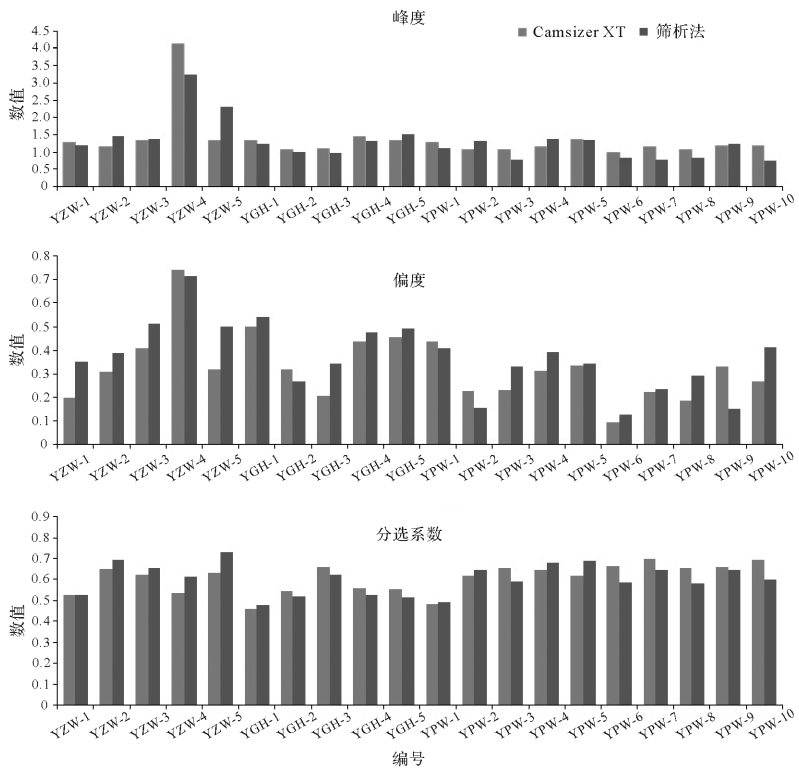


图 8 筛分法和动态图像法得到的峰度、偏度和分选系数的对比

Fig.8 Comparison of kurtosis, skewness and sorting using the sieving and Camsizer XT

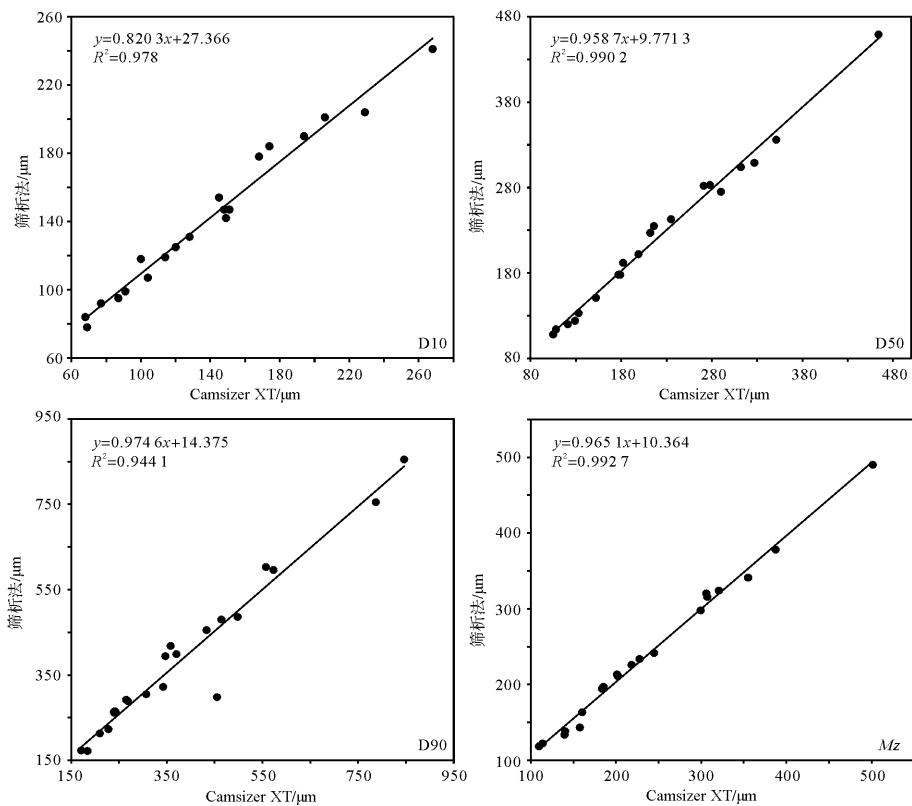


图 9 两种方法 D10、D50、D90 和平均粒径的相关性

Fig.9 Correlationship analysis of D10, D50 and D90 and average size measured by two different methods

2.2.3 粒度参数对比

对两种方法所得到的4个粒径参数进行回归分析(图9)。D50和平均粒径相关图的相关系数 R^2 都达到0.99以上,相关性极好;D10和D90的相关系数分别是0.978和0.944 1,相关性也非常好。从这4个参数指标的接近程度来看,Camsizer XT动态图像法和筛析法测出的粒度参数基本是完全一致的。

从图7、8、9看来两种方法的测试结果基本一致,但也略有偏差。略有偏差的原因主要是实验样本量比较小,仪器本身的误差和操作的误差还存在较大的比重。因此在改进测量技术的基础上如果在增加测量的样本量和测量的次数,那么测量结果就更能具有说明性。

2.3 粒形参数分析

球形度、对称度、宽长比和凹凸度等是颗粒的重要粒形参数,这些粒形参数的大小直接影响着颗粒沉降和流体的流动性能;因此在海滩沉积和海岸动力学研究中,对沉积物粒形资料的分析十分重要。本文使用动态图像法测量的海滩砂样的平均粒形参数见图10、11、12和表2,表中数据来自崖州湾、莺歌海湾和洋浦湾的三个粒径大小相当的断面,在每个断面的后滨、滩肩、滩面、水边线和水下部位采表层样,分别编号为1#、2#、3#、4#和5#。

表2 各样品平均粒形参数^[19]

| Table 2 Average grain shape parameters for each sample | | | | | |
|--|--------------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| 样品来源 | 编号 | 球形度 (SPHT) | 对称度 (SYMM) | 宽长比 (B/L) | 凹凸度 (CONV) |
| 崖州湾 | YZW-1 | 0.860 | 0.899 | 0.717 | 0.993 |
| | YZW-2 | 0.851 | 0.896 | 0.709 | 0.993 |
| | YZW-3 | 0.835 | 0.895 | 0.697 | 0.990 |
| | YZW-4 | 0.822 | 0.895 | 0.685 | 0.989 |
| | YZW-5 | 0.836 | 0.901 | 0.698 | 0.990 |
| | 平均值/ μm | 0.841 | 0.897 | 0.701 | 0.991 |
| 莺歌海湾 | YGH-1 | 0.865 | 0.894 | 0.711 | 0.992 |
| | YGH-2 | 0.860 | 0.892 | 0.703 | 0.991 |
| | YGH-3 | 0.874 | 0.895 | 0.716 | 0.994 |
| | YGH-4 | 0.866 | 0.893 | 0.709 | 0.993 |
| | YGH-5 | 0.859 | 0.897 | 0.710 | 0.993 |
| | 平均值/ μm | 0.865 | 0.894 | 0.710 | 0.993 |
| 洋浦湾 | YPW-1 | 0.865 | 0.894 | 0.710 | 0.992 |
| | YPW-2 | 0.873 | 0.894 | 0.720 | 0.993 |
| | YPW-3 | 0.856 | 0.891 | 0.703 | 0.992 |
| | YPW-4 | 0.831 | 0.891 | 0.692 | 0.990 |
| | YPW-5 | 0.821 | 0.897 | 0.682 | 0.989 |
| | 平均值/ μm | 0.849 | 0.893 | 0.701 | 0.991 |
| 标准偏差/% | | 1.486 | 0.268 | 1.226 | 0.187 |
| 相对标准偏差/% | | 1.767 | 0.299 | 1.748 | 0.189 |
| 标准偏差/% | | 0.597 | 0.192 | 0.466 | 0.114 |
| 相对标准偏差/% | | 0.691 | 0.215 | 0.656 | 0.115 |
| 标准偏差/% | | 2.230 | 0.251 | 1.489 | 0.164 |
| 相对标准偏差/% | | 2.626 | 0.281 | 2.123 | 0.166 |

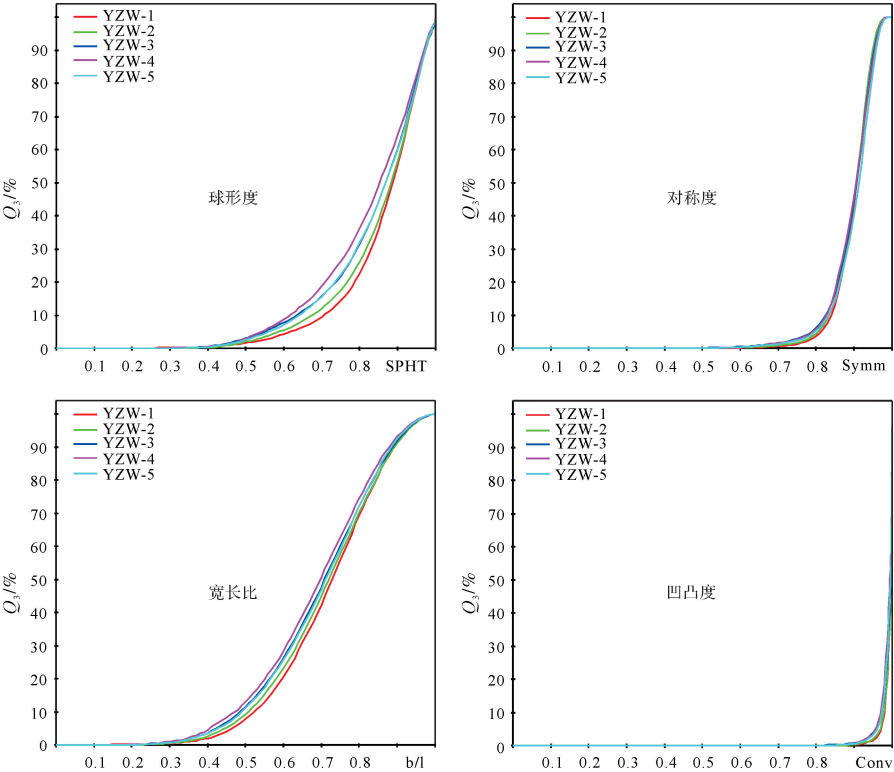


图10 崖州湾粒形参数累计曲线

Fig.10 Cumulative curve of shape parameter of Yazhou Bay

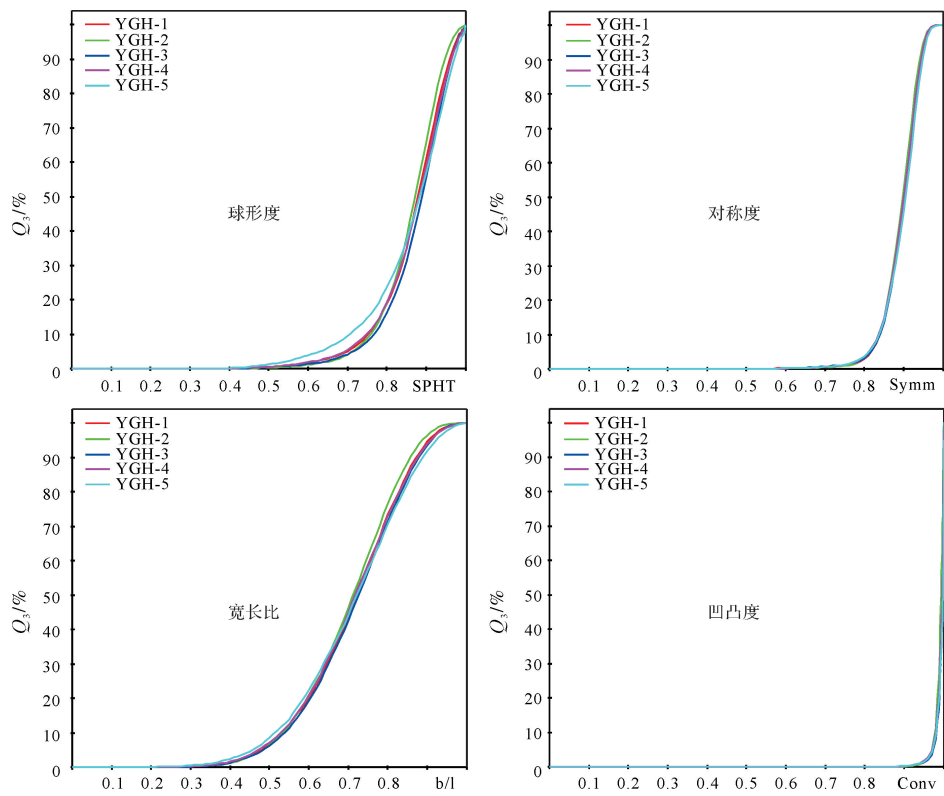


图 11 莺歌海沙滩粒形参数累计曲线
Fig.11 Cumulative curve of shape parameter of Yinggehai beach

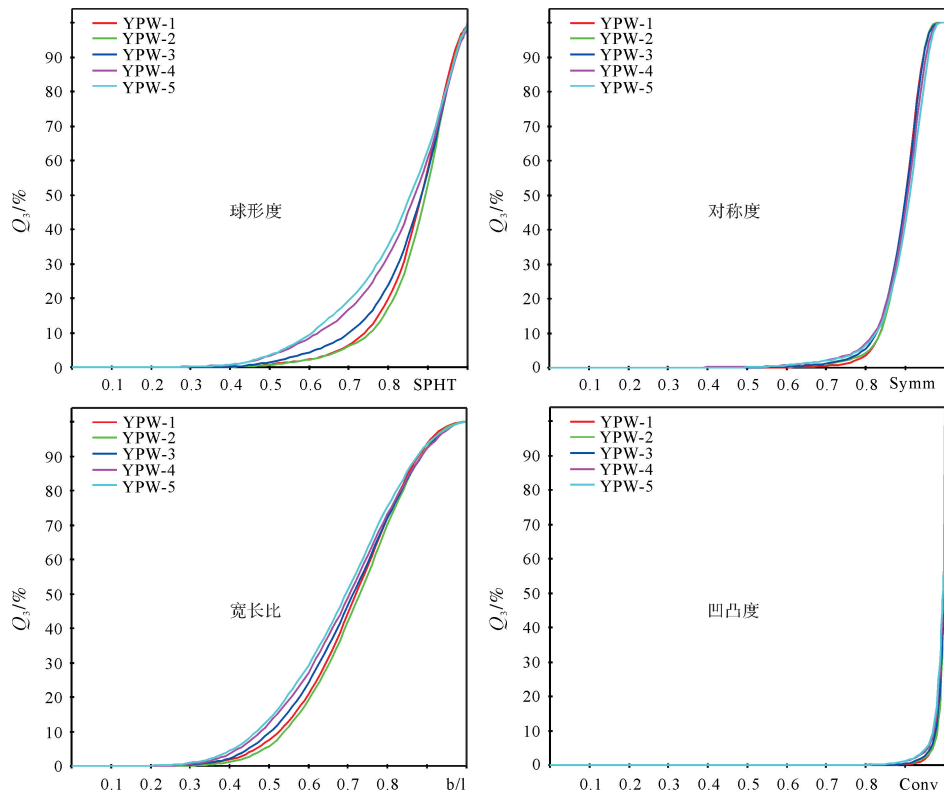


图 12 洋浦湾海滩粒形参数累计曲线
Fig.12 Cumulative curve of shape parameter of Yangpu Bay beach

图10、11、12分别示意了崖州湾、莺歌海湾和洋浦湾的粒形参数累计曲线。对比三个海湾断面的球形度、对称度、宽长比和凹凸度可以得出不同的海湾粒形参数有很大差别,间接地说明了各海湾的颗粒所受的水动力条件和岸上风化侵蚀有很大区别。对比同一断面不同岸滩部位的同一种粒形参数可以得出:后滨、滩肩、滩面、低潮线和水下部位的球形度相差最大,在同一 Q_3 值下最大差值接近0.2,其次是宽长比,对称度和凹凸度变化范围最小。

表2测量结果显示,崖州湾岸滩断面五个部位的球形度和宽长比的相对标准偏差都在1.75%左右;对称度和凹凸度的相对标准偏差都在0.2%附近,这相对于球形度和宽长比稳定了很多;说明了在同一岸滩断面不同部位,球形度和宽长比变化非常大,而对称度和凹凸度的变化相对较小,这个结论和颗粒形状参数累计曲线得到的结果一致。然后分析莺歌海湾和洋浦湾的数据结果也得到了类似于崖州湾的结论。

3 不同方法的优缺点和精确度分析

3.1 优缺点分析

振动筛析法是研究沉积物粒度较为经典常用的方法之一,准确率高,并一直沿用到现在,也是当今粒度分析最流行的方法之一。但筛析法也存在测量时间长、工作量大以及测量范围小等不足之处。

Camsizer XT 动态图像法测量沉积物粒度精度高、效率高,相比于筛析法具有如下优点:①提供更多的颗粒粒径定义和颗粒信息,诸如投影宽度、等效球径、弗雷特长度、球形度、对称度、凹凸度等,可以提供颗粒的三维信息;②重现性非常好;③测量范围广,精确测量范围是 $1\ \mu\text{m}\sim 30\ \text{mm}$,超出了筛分法的下限;④解决了不规则沉积物粒形难题,不仅得出不同的粒径值,还可得到颗粒的形状结构;⑤测量工作量小,步骤简单,测量速度快(2 min/样),大大提高了测量效率。

然而,动态图像法也存在其局限性,在沉积物研究中还涉及到亚微米级的极细黏土,由于受到光学技术的限制,动态图像法不能精确的进行亚微米级颗粒测量。

3.2 精确度和准确度分析

从方法本身来讲,筛析法是用标准筛通过振动分级来得到沉积物的粒度值,测量前的准备和测量过程中随机因素非常多,这些都有可能带来粒径的测量误差;Camsizer XT 动态图像法利用双CDD双摄像头拍

摄,用光学手段直接测量颗粒的粒径,准确度高于利用间接法获取颗粒粒径的筛析法。

由于沉积物颗粒形状不规则,如果用一个统一的粒径值来表述不规则颗粒的大小会存在很大的估计误差。筛析法是通过筛子孔径大小来估算颗粒的粒径值,它在测量微米级颗粒的沉积物粒度上具有较高的精度,这也是筛析法沿用至今的一个重要原因。但由于得出的结果只是一个估计值,并不知道具体单颗粒的粒形信息,所以在利用得到的结果来处理别的问题时准确度还是难以有很大提高。动态图像法在不规则颗粒的粒度测量上不仅解决了粒径的测量还得了出不规则颗粒的形态数据,完全可以用来替代传统的筛析法研究沉积物粒径。

动态图像法与筛析法相比,测试效率高、操作简单、参数多而且精度高,具有更强的优势。当然,不同方法测量的结果也是存在有差异的^[20]。通过多次实验测量比较,Camsizer XT 动态图像法在测量粒度粒形上优于筛析法。然而,在众多可选择的粒度分析方法和仪器面前,最重要的是要了解它们的缺陷和不足,以便合理使用、分析其测试结果^[11]。

4 结论

通过实验研究,分析讨论了动态图像法与筛析法测量海滩沉积物粒度的结果,并对二者进行了图形对比、参数对比和相关分析。结论如下:

(1) 多功能粒径粒形分析仪(Camsizer XT)的测试结果重复性非常好,测量精度高;影响测量精确度的最主要的因素是子样的选取。

(2) 动态图像法和筛析法测量结果基本一致,从频率曲线、粒度参数,以及两者测量结果的相关性来看,动态图像法完全可以替代筛析法测量。

(3) 动态图像法具有准确度高、效率高、参数多,而且操作简单的优点,与传统的筛析法相比具有绝对的优势。

(4) 天然沉积物颗粒形状不规则是影响筛析法测试结果的主要因素,动态图像法解决了不规则颗粒的测量问题,通过多个参数的测量结果来描述沉积物颗粒的三维信息;动态图像法将不规则颗粒的测量推向一个新的阶段。因此,对于微米级沉积物颗粒的测量,动态图像法可以完全代替筛析法。

(5) 粒径范围相当的岸滩断面沙粒,粒形参数差别比较大,同一岸滩断面的不同部位粒形参数也有差别。

鉴于这次实验所取样品平均粒径都是在百微米级以上,仅仅代表了较粗颗粒使用动态图像法的精确性和便利性。因此,进一步的研究工作有待开展,包括对动态图像法的其他参数进行研究,并且讨论这些参数的实际意义;对微米级以及亚微米级的颗粒进行测量论证,探讨动态图像法的实验量程;研究动态图像法和激光粒度仪的对比以及两种方法的优缺点分析和适用性分析;利用动态图像法得到的粒形数据对岸滩的沉积动力及岸滩演变进行分析,解决科学问题。

参考文献 (References)

- Komar P D. Beach Processes and Sedimentation [M]. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1998.
- Fieller N R J, Gilbertson D D, Olbricht W. A new method for environmental analysis of particle size distribution data from shoreline sediments[J]. Nature, 1984, 311(5984): 648-651.
- Friedman G M. Differences in size distributions of populations of particles among sands of various origins: addendum to IAS Presidential Address[J]. Sedimentology, 1979, 26(6): 859-862.
- Folk R L, Andrews P B, Lewis D W. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand[J]. New Zealand Journal of Geology and Geophysics, 1970, 13(4): 937-968.
- 陈沈良,杨世伦,吴瑞明. 杭州湾北岸潮滩沉积物粒度的时间变化及其沉积动力学意义[J]. 海洋科学进展, 2004, 22(3): 299-305. [Chen Shenliang, Yang Shilun, Wu Ruiming. Temporal changes in tidal flat sediment grain-size along the north bank of the Hangzhou Bay and their implication of sedimentation dynamics[J]. Advances in Marine Science, 2004, 22(3): 299-305.]
- Hyslip J P, Vallejo L E. Fractal analysis of the roughness and size distribution of granular materials[J]. Engineering Geology, 1997, 48(3/4): 231-244.
- Polakowski C, Sochan A, Bieganski A, et al. Influence of the sand particle shape on particle size distribution measured by laser diffraction method[J]. International Agrophysics, 2014, 28(2): 195-200.
- 王宝灿,陈沈良,龚文平,等. 海南岛港湾海岸的形成与演变[M]. 北京:海洋出版社,2006:32-114. [Wang Baocan, Chen Shenliang, Gong Wenping, et al. Formation and Evolution of Embayment Coasts Around Hainan Island[M]. Beijing: China Ocean Press, 2006: 32-114.]
- 周晗宇,陈沈良,钟小菁,等. 海口湾西海岸海滩沉积物与海滩稳定性分析[J]. 热带海洋学报, 2013, 32(1): 26-34. [Zhou Hanyu, Chen Shenliang, Zhong Xiaojing, et al. Sedimentary characteristics and stability analysis of the beach in west coast of Haikou Bay[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2013, 32(1): 26-34.]
- Bird E, Lewis N. Beach renourishment for coast protection[M]//Bird E, Lewis N. Beach Renourishment. Berlin, Germany: Springer International Publishing, 2015: 101-106.
- 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. [Cheng Peng, Gao Shu, Li Xusheng. Evaluation of a wide range laser particle size analyses and comparison with pipette and sieving methods[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(3): 449-455.]
- 冷伟,范代读. 联用筛析法与激光法进行粒度接序分析的界面选择[J]. 沉积学报, 2014, 32(3): 478-484. [Leng Wei, Fan Daidu. Selecting nodal size for the application of combined using sieving and laser methods in grain-size analysis[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2014, 32(3): 478-484.]
- 冉敬,杜谷,潘忠习. 沉积物粒度分析方法的比较[J]. 岩矿测试, 2011, 30(6): 669-676. [Ran Jing, Du Gu, Pan Zhongxi. Study on methods for particle size analysis of sediment samples[J]. Rock and Mineral Analysis, 2011, 30(6): 669-676.]
- Anonymous. Optimising the measurement of fine particles[J]. Metal Powder Report, 2013, 68(4): 34-37.
- Moore A, Nishimura Y, Gelfenbaum G, et al. Sedimentary deposits of the 26 December 2004 tsunami on the northwest coast of Aceh, Indonesia[J]. Earth, Planets and Space, 2006, 58(2): 253-258.
- 钟小菁,陈沈良,陈燕萍,等. 海南高隆湾海滩生物碎屑分布及其对沉积物粒度特征的影响[J]. 沉积学报, 2012, 30(5): 891-899. [Zhong Xiaojing, Chen Shenliang, Chen Yanping, et al. Biodetritus distribution and its effect on sediment size characteristics on Gaolong Bay beach[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2012, 30(5): 891-899.]
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 12763.8-2007 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, 2008. [General Administration of Quality Supervision and Quarantine of the People's Republic of China. GB/T 12763.8-2007 Specifications for oceanographic survey-Part 8: marine geology and geophysics survey[S]. Beijing: China Standard Press, 2008.]
- 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(1): 3-26.
- 涂新斌,王思敬. 图像分析的颗粒形状参数描述[J]. 岩土工程学报, 2004, 26(5): 659-662. [Tu Xinbin, Wang Sijing. Particle shape descriptor in digital image analysis[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2004, 26(5): 659-662.]
- Singer J K, Anderson J B, Ledbetter M T, et al. An assessment of analytical techniques for the size analysis of fine-grained sediments[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1988, 58(3): 534-543.

Grain Size and Shape Analysis of Beach Sediment using Dynamic Image Analysis and Comparison with Sieving Method

LUO Zhang¹ CAI Bin² CHEN ShenLiang¹

(1. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

2. Retsch Technology, Shanghai 201204, China)

Abstract: The sieving analysis is a classic and common method used to measure the particle sizes of beach sediments. With the development of scientific technology, grading analysis by dynamic digital imaging has been widely popularized. We analyzed the particle size and the shape of 20 sediment samples from 5 beaches of Hainan Island by the methods of dynamic image analysis and sieving analysis, and then compared the testing results of the particle size analyzing from the two methods. The results of the dynamic image analysis indicate that this technique has good repeatability and high accuracy. By comparing the results obtained from digital dynamic imaging with those from sieving analysis, we can conclude that the results match well; the grading curves intersect, the particle size parameter values are close and their relevance is rather good ($R^2 > 0.94$). Analyzing the particle shape parameter values from the digital dynamic images, we learn that there are obvious differences between different coastal segments with similar particle sizes. The sphericity and aspect ratio of particles from different parts of the same beach change greatly, while their symmetry and convexity change slightly. The study indicates that the different results obtained from the two methods mainly derived from their different measurement principles and the irregular particle shapes of beach sediments. The digital dynamic imaging method has completely solved the problems caused by particle shape irregularity, so it can nearly replace sieving analysis in measuring particle size, which has a broad application prospect.

Key words: dynamic image analysis; Camsizer XT; beach sediment; grain-size parameters; sieving analysis