

文章编号: 1000-0550(2012)03-0530-06

激光粒度仪转速对河流砂质沉积物测量的影响^①

丁召静^{1,2} 申洪源¹ 贾玉芳^{1,2}

(1. 临沂大学资源环境学院 山东临沂 276005; 2. 山东师范大学人口资源环境学院 济南 250014)

摘要 激光粒度仪是沉积物粒度测量中常用的仪器,通过对河流沉积物的粒度测量发现,激光粒度仪的转速会影响粒度测量结果。实验结果表明:被测样品的颗粒易受撞击而破碎,激光粒度仪转速对样品遮光度有影响;转速太大会使大颗粒的破碎严重,转速太小又会导致样品颗粒不能均匀分散于溶液中,综合分析得出河流砂质沉积物应用 Mastersizer 2000 激光粒度仪测量的较适宜转速为 1 900 ~ 2 000 r/min 左右,且不宜加超声波震荡。

关键词 转速 河流砂质沉积物 激光粒度仪 影响

第一作者简介 丁召静 女 1986 年出生 硕士研究生 第四纪环境与全球变化研究 E-mail: zhaojing198610@163.com

通讯作者 申洪源 E-mail: shhongyuan@126.com

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

长期以来,沉积物粒度因其存在的普遍性,测量方法的简便性以及应用的广泛性,而受到众多研究者的青睐,尤其是随着激光粒度仪的出现及其方法技术的不断改进,粒度指标在各领域中的应用更加成熟,它在第四纪古环境^[1-3]和现代环境^[4,5]等诸多领域都有应用。

众多前人研究成果显示了不同前处理方法^[6-10]对沉积物粒度分析有重要影响,激光粒度仪上的超声波振荡分散时间会影响测量结果^[11],测量仪器对沉积物粒度分析也有重要影响^[12]。同时,贾红娟等^[13]还针对“上机操作中水量多少不同、遮光度不同、转速不同对细粒样品的图形分析有较大影响”这一问题进行了研究。但河流沉积物多由石英砂粒组成,且大多情况下颗粒比黄土、湖泊沉积物颗粒粗,激光粒度仪的湿法测量是通过进样器螺旋桨的高速旋转将沉积物颗粒泵入进样器的,较大的沉积物颗粒会不会在这一过程中被高速旋转的螺旋桨击碎?转速会对砂质沉积物遮光度产生什么影响,又会对测量结果造成什么影响,转速为多少较为适宜呢?针对这些问题,笔者进行了一系列的实验、分析,旨在探讨激光粒度仪转速对河流砂质沉积物测量的影响。

1 材料与方 法

实验仪器为应用较为广泛的英国 Malvern 公司

生产的 Mastersizer 2000 激光粒度仪,粒度测量范围为 0.02 ~ 2 000 μm ,重复测量误差小于 2%,可提供每一粒度组分的百分含量、频率曲线、累计曲线及其它各种粒度参数。测试样品为经过处理的砂样和普通河流砂质沉积物,如下:

样品 1: 选取定量的砂样,此砂样取自沂河的河漫滩,为漫滩沉积物,为了实验效果更加明显,故将沉积物中的细颗粒部分去掉,方法为:用水洗法筛取粒径为 0.18 ~ 1.70 mm 的砂粒,所以样品 1 颗粒粒级包括细砂、中砂、粗砂、极粗砂,将处理过的砂质沉积物分组分别上机测试。

样品 2: 普通河流砂质沉积物,其频率分布曲线如图 1,沉积物粒度范围为 1.4 ~ 785.4 μm 。图 2 为其概率累积曲线,呈现三段式。从图 2 中可以看出,推移总体所占百分含量最大且分选较好,说明水流较强;跃移总体分选差且粒度区间宽,其粗截点在 2.0 ~ 3.0 ϕ 之间,说明是属扰动强的递变悬浮沉积物;悬移总体分选较好,主要由细粉砂及黏土组成。沉积物的概率累积曲线图表明,此沉积物的沉积动力条件为受扰动的具有较强水动力的牵引流,很可能为洪水沉积物。

2 实验结果及分析

2.1 颗粒易破碎

^①国家自然科学基金(批准号: 41072138)、山东省自然科学基金(批准号: ZR2010DM020)和临沂师范学院博士科研基金(批准号: BS07007)项目资助。

收稿日期: 2012-01-20; 收修稿日期: 2012-04-21

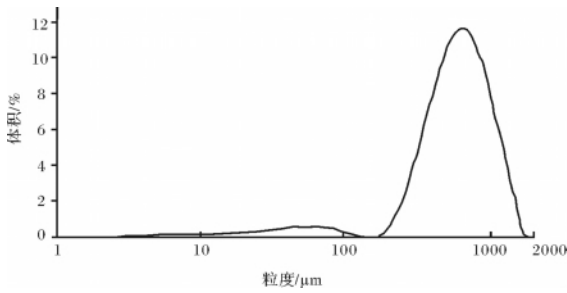


图 1 样品 2 频率分布曲线

Fig. 1 Frequency distribution curve of sample 2

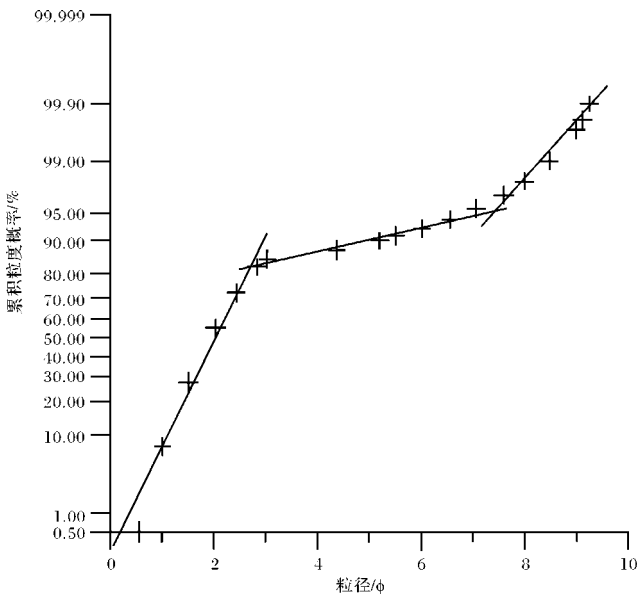
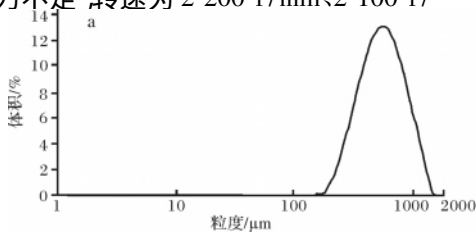


图 2 样品 2 概率累积曲线

Fig. 2 Cumulative probability curve of sample 2

将样品 1 用四分法分成若干份,分别测量其在不同转速下颗粒粒径变化,转速分别为 2 200 r/min、2 100 r/min、2 000 r/min、1 900 r/min、1 800 r/min、1 700 r/min、1 600 r/min、1 500 r/min、1 300 r/min,上机测量结果表明样品 1 的粒度范围约为: 180 ~ 1 700 μm。在测量过程中发现: 转速为 1 300 r/min 时砂子的输移动力不足,转速为 2 200 r/min、2 100 r/



min 时其频率分布曲线在 32 ~ 87 μm 之间出现一个小峰(转速为 2 100 r/min 时上机测试前后其粒度频率分布曲线如图 3),转速降到 2 000 r/min 时,此小峰消失,但在加上强度为 12.5 的超声波之后,仍会出现一个 32 ~ 87 μm 或 3 ~ 17 μm 的细粒小峰,3 ~ 17 μm 的细粒小峰很小,其众数值未超过 1.3%,新增的细粒小峰可能是由于颗粒破碎所致。张红艳等^[11]发现黄土在前处理之后等待测量的短暂时间内极有可能发生了再凝聚,因此在进行测量时应该经过粒度仪自身的超声波振荡 2 min 以上开始测量。为研究超声波震荡对河流砂质沉积物颗粒破碎的影响,选取较低转速: 1 600 r/min 转速下分别加强度为 12.5、10、7.5、5 的超声波震荡,测试结果发现,即使在强度为 5 的情况下,新的细粒小峰还是会出现,这说明超声波震荡也会将石英颗粒震碎,因此砂粒的上机测试过程中不宜再加超声波震荡。

图 4 为转速为 2 200 r/min 时样品 1 在 d(0.1)、d(0.5)、d(0.9) 下的颗粒粒径随时间变化曲线。从图 4 中可以看出,拟合的三条趋势线系数均为负值,表明 d(0.1)、d(0.5)、d(0.9) 的颗粒粒径均随时间变化呈现变小的趋势,其斜率分别为 -0.042、-0.1177、-0.267,这也反映了累计百分含量越高处,颗粒粒径变小幅度越大。由此说明,砂样中不同粒级颗粒均有不同程度的破碎,而且颗粒越大,破碎程度越严重,同时表 1 表明:随着转速的减小,样品 1 不同含量下颗粒粒径均有增大的趋势。

2.2 转速对遮光度的影响

图 5 为不同转速下样品 2 遮光度随时间变化的散点图。贾红娟等^[13]研究发现,水的黏滞系数影响溶液中气泡的运动,测量过程中易产生气泡假峰,为使大于 100 μm 的不稳定假峰消失,遮光度低的样品转速应降到 2 000 r/min。河流砂质沉积物黏土含量极低,其遮光度通常偏低,所以本实验中将转速由 2 200 r/min 逐渐减小,分别为 2 200 r/min、2 000 r/min

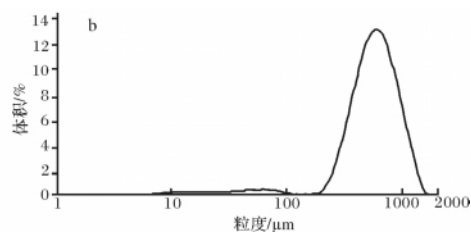


图 3 转速为 2100 r/min 时 样品 1 上机测试过程中其频率分布曲线前后对比图: (a) 之前 (b) 之后

Fig. 3 Contrastive figure concerning frequency distribution curve of Sample 1 before and after the test procedure under the condition of 2100r/min: (a) Before (b) After

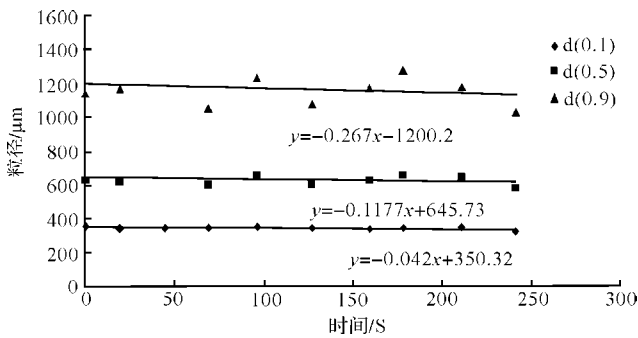


图4 转速为2 200 r/min时样品1在d(0.1)、d(0.5)、d(0.9)下的颗粒粒径随时间变化曲线

Fig.4 Grain size change curve of d(0.1), d(0.5) and d(0.9) accompanied by the changing time under the condition of 2 200 r/min

表1 不同转速下d(0.1)、d(0.5)、d(0.9)粒径平均值(μm)
Table 1 Mean grain size of d(0.1), d(0.5) and d(0.9) at different speeds (μm)

转速/(r/min)	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)
2 200	345.5234	632.2695	1169.6786
2 100	347.8193	637.0337	1180.7722
2 000	349.6584	648.5165	1212.2494
1 900	360.1195	677.6643	1252.2512
1 800	362.6168	701.0255	1298.9962
1 700	373.3918	698.4189	1279.8490
1 600	400.6199	788.1425	1411.8117
1 500	394.1833	757.5218	1365.9966
1 300	406.7324	781.7314	1398.9105

1 900 r/min、1 800 r/min、1 700 r/min、1 600 r/min、1 500 r/min、1 000 r/min、500 r/min。

从图5中可以看出,转速为2 200 r/min、2 000 r/min、1 900 r/min、1 800 r/min、1 000 r/min时遮光度和蓝光遮光度都随时间变化呈上升趋势,并且转速为1 000 r/min时,遮光度和蓝光遮光度波动很大;转速为1 700 r/min、1 600 r/min、1 500 r/min、500 r/min时,遮光度和蓝光遮光度随时间变化略有波动,趋势基本水平,当转速为500 r/min时,遮光度最稳定;随着转速的减小,蓝光遮光度与遮光度的差值越来越大,转速为2 200 r/min时,两者差值约为0.6%,转速为500 r/min时,两者差值接近2.5%。

遮光度和蓝光遮光度随时间变化的增大可能与部分砂粒被打碎有关,随着时间的延长,更多的颗粒破碎,致使遮光度和蓝光遮光度值不断升高,所以过高的转速会影响测试结果;随着转速减小,蓝光遮光度与遮光度的差值变大,当转速为500 r/min时,差值达到2.5%,所以转速过小也会影响测试结果,并

且虽然当转速为500 r/min时,遮光度较稳定,但遮光度值变小。这可能是由于转速过小导致水动力不足而不能使样品均匀分散于溶液中,从而使泵入进样器的样品减小所致。当转速为1 000 r/min时,遮光度和蓝光遮光度波动很大,这说明由于某种原因使得泵入进样器的溶液浓度极不稳定。

2.3 转速对测量结果的影响

图6为样品2的不同粒径颗粒百分含量随时间变化曲线及其不同百分含量下颗粒粒径随时间变化曲线。从图6中可以看出:(1)转速为1 000 r/min和500 r/min时,各含量粒径发生突变,转速为1 000 r/min时,粉砂含量骤降,粉砂以上颗粒含量及d(0.1)、d(0.5)、d(0.9)的值突增;转速为500 r/min时出现相反的变化趋势,同时黏土含量上升。(2)转速从2 200降到1 500 r/min时:黏土含量基本不变,粉砂含量逐渐上升,粉砂以上颗粒含量逐渐下降,d(0.1)、d(0.5)、d(0.9)的值也有微弱的下降趋势;当转速降到1 800 r/min时,各含量颗粒粒径波动幅度开始变大,且其粉砂及粉砂以上颗粒含量的上升或下降趋势较前段更加明显。

从2 200 r/min降到1 500 r/min过程中,各含量粒径的变化可能受较大颗粒破碎的影响,但当转速降到1 800 r/min时各含量粒径波动幅度开始变大,并且转速降为1 000 r/min时,粉砂含量大幅下降,粉砂以上颗粒含量及d(0.1)、d(0.5)、d(0.9)值突增,这说明除了颗粒被击碎以外,还有其他不可忽视的原因影响着测量结果。

3 讨论

河流沉积物以石英砂成分为主,有研究表明^[14]石英砂的硬度是7,性脆无解理,易受机械力作用断裂,同时石英砂颗粒的实际强度与其尺寸因素有关,随着颗粒越来越细的变化,其粉碎难度也急剧增大。在上机测量过程中,进样器螺旋桨高速旋转时伴有较为尖锐的“砰砰”声,这表明砂粒在测量过程中可能受到撞击,测量后样品1新增的细粒小峰进一步说明在测试过程中砂粒可能是受到撞击后破碎而产生新的细小颗粒,而且样品1的实验结果所表现出来的:颗粒越大,破碎程度越严重,这一特点也正好和石英砂颗粒的实际强度与其尺寸因素的关系特点相一致,这些特点均证明了在测量过程中确实存在石英砂颗粒被击碎的情况。

样品2粉砂含量的上升和粉砂以上组分的下降

可能是由于较大的颗粒被粉碎为小颗粒所致,但当转速减小为 1 800 r/min 时,这两者的变化幅度增大,同时不同百分含量下颗粒粒径变化的波动性也增强,这说明,颗粒的破碎并不是造成这一变化的主要原因。结合遮光度变化,推断得出,随着转速的减小,水动力减弱,沉积物样品未能均匀分散于溶液中,从而使测试结果的波动性增强,不同粒级颗粒百分含量变化幅度也增大。

样品 2 在转速为 1 000 r/min 和 500 r/min 时各含量粒径及 $d(0.1)$ 、 $d(0.5)$ 、 $d(0.9)$ 值的突变可能与进样器的构造有关。仪器的进样器附带烧杯容量是 1 000 ml,进样孔位于 600 ml 刻度处,当转速减小时,水动力减弱使得大颗粒沉于溶液下部,导致进样孔附近的大颗粒含量增多,从而使得转速减小时,泵入进样器的大颗粒比例升高,这与表 1 的实验结果相吻合;随着转速的不断减小,更多的大颗粒向下部集

中,同时溶液呈现下部浓度偏高、上部浓度偏低的特点,这使泵入进样器的样品浓度极不稳定,所以导致样品 2 转速降为 1 000 r/min 时遮光度极不稳定,各含量粒径曲线也发生突变;但当转速继续减小,大颗粒沉于 600 ml 刻度之下时,只有较少的大颗粒泵入进样器,即由于水动力不足导致了样品 2 在转速降到 500 r/min 时,黏土、粉砂含量上升和 $d(0.1)$ 、 $d(0.5)$ 、 $d(0.9)$ 的值及粉砂以上颗粒含量下降。

上述分析得出:转速越大,撞碎颗粒的可能性就越大;转速越小,水动力越小,导致样品在溶液中的均匀分散程度就越低。样品 1 的实验结果表明,在无超声波震荡的情况下,激光粒度仪转速降到在 2 000 r/min 时,不再出现新增的细粒小峰;样品 2 的实验结果说明激光粒度仪转速在 1 900 r/min 以上时溶液分散较为均匀,综合分析得出:河流砂质沉积物粒度测量的较适宜转速为 1 900 ~ 2 000 r/min 左右。

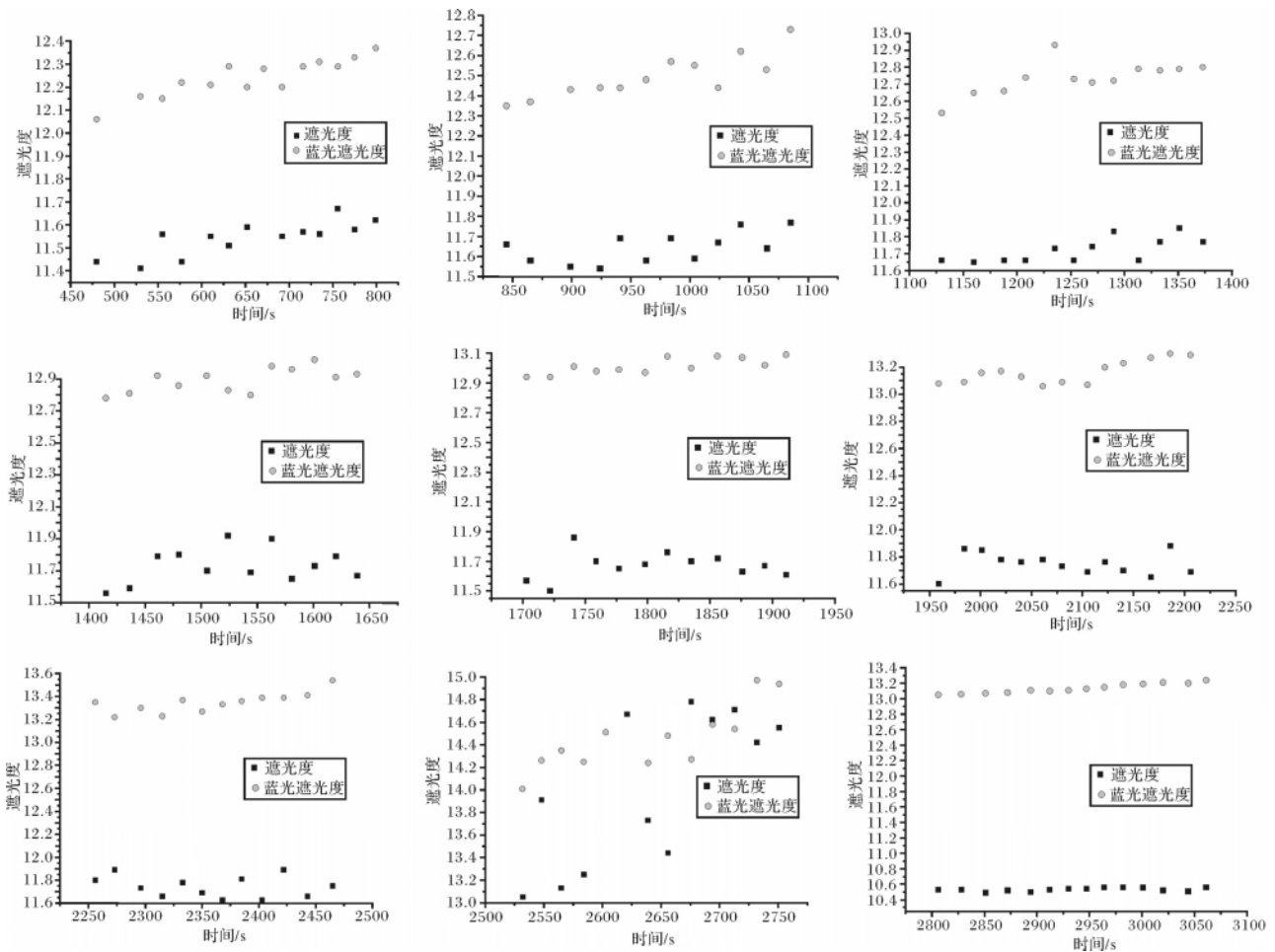


图 5 样品 2 在不同转速下遮光度随时间变化的散点图

Fig. 5 Scatter diagram of shading degree changes with various rotating-speed of sample 2

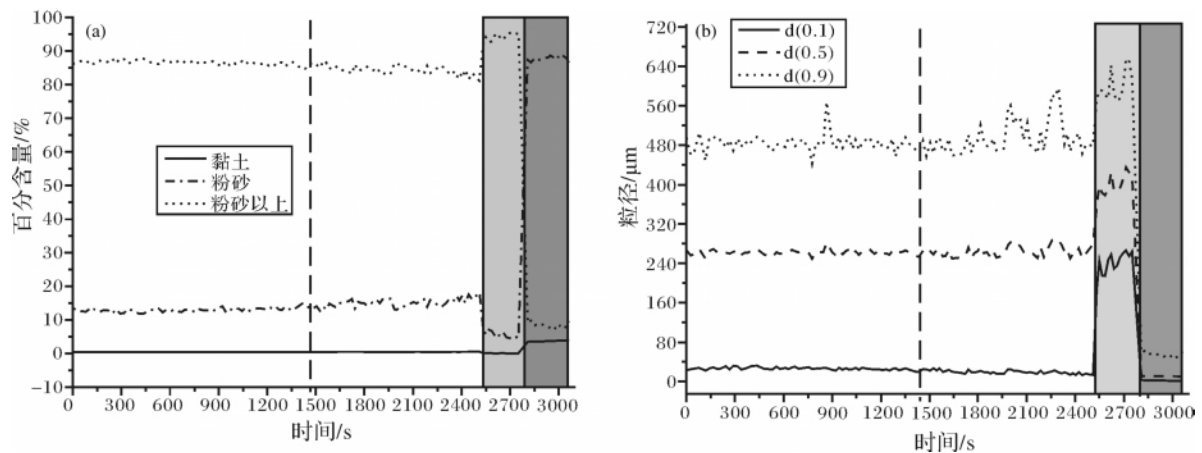


图6 (a) 样品2的不同粒级颗粒百分含量随时间变化曲线; (b) 样品2的不同百分含量下颗粒粒径随时间变化曲线(较浅灰色柱所覆盖的区域的转速为1 000 r/min 较深灰色柱所覆盖的区域的转速为500 r/min, 虚线表示转速降为1 800 r/min)

Fig.6 (a) Content change curves with different grain size of sample 2; (b) Grain size change curves of $d(0.1)$, $d(0.5)$ and $d(0.9)$ of sample 2 (The rotate-speed of the area with light grey is 1 000 r/min, the rotate-speed of the area with dark grey is 500 r/min and the dashed line shows the speed declines to 1 800 r/min)

4 结论

通过实验研究,分析了河流砂质沉积物测试过程中 Mastersizer2000 激光粒度仪转速对其测试结果的影响,结果表明:

(1) 颗粒易受撞击破碎。激光粒度仪的螺旋桨高速旋转时会将部分较大颗粒打碎而产生一个 $32 \sim 87 \mu\text{m}$ 的细小小峰;同时,超声波震动也会将颗粒震碎而产生细小小峰。

(2) 在测试过程中,转速越小,遮光度的波动性越小,但随着转速的减小,蓝光遮光度与遮光度的差值越来越大,而且虽然当转速为 500 r/min 时,蓝光遮光度和遮光度最稳定,但两者的值均较之前变小,这是由于转速过低导致水动力不足而不能将较大颗粒泵入进样器所致,并且此时蓝光遮光度和遮光度的差值也最大,达到 2.5%。

(3) 转速太大会使大颗粒的破碎更严重,转速太小又会导致样品颗粒不能均匀分散于溶液中,并且考虑其测试结果的稳定性,综合遮光度和各含量颗粒粒径变化得出,河流砂质沉积物粒度测量的较适宜转速为 1 900 ~ 2 000 r/min 左右。

参考文献 (References)

- Prinsa M A, Mirjam V, Govert N, *et al.* Late Quaternary aeolian dust input variability on the Chinese Loess Plateau: inferences from unmixing of loess grain size records [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2007, 26: 230-242
- 申洪源,贾玉连,张红梅,等. 内蒙古黄旗海湖泊沉积物粒度指示的湖面变化过程 [J]. *干旱区地理*, 2006, 29(4): 457-462 [Shen Hongyuan, Jia Yulian, Zhang Hongmei, *et al.* Environmental change inferred from granular size character of lacustrine sediment in Inner Mongolia Huangqihai, during 8.0 ~ 2.2ka BP [J]. *Arid Land Geography*, 2006, 29(4): 457-462]
- 毛龙江,莫多闻,周昆叔,等. 湖南澧阳平原玉成土壤剖面粒度组成及其环境意义 [J]. *土壤通报*, 2010, 41(1): 13-16 [Mao Longjiang, Mo Duowen, Zhou Kunshu, *et al.* Grain-size characteristics of Yucheng soil profile and its environmental significance in the Liyang Plain, Hunan [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2010, 41(1): 13-16]
- 王赞红. 现代尘暴降尘与非尘暴降尘的粒度特征 [J]. *地理学报*, 2003, 58(4): 606-610 [Wang Zanhong. Particle size analysis of aeolian dust derived from duststorm and non-duststorm [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(4): 606-610]
- 曹银贵,周伟,王静,等. 三峡库区30a间土地利用景观特征的粒度效应 [J]. *农业工程学报*, 2010, 26(6): 315-321 [Cao Yingui, Zhou Wei, Wang Jing, *et al.* Effects of spatial grain size on landscape pattern of land use in Three Gorges Reservoir area in 30 years [J]. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(6): 315-321]
- 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 [Lu Huayu, An Zhisheng. The influence of pre-treatment to grain size analysis results of loess [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1997, 42(23): 2535-2538]
- 孙有斌,高抒,鹿化煜. 前处理方法对北黄海沉积物粒度的影响 [J]. *海洋与湖沼*, 2001, 32(6): 665-671 [Sun Youbin, Gao Shu, Lu Huayu. Influence of different pretreatment procedures on the particle-size distribution of surficial sediments in the Northern Yellow Sea

- [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2001, 32(6): 665-671]
- 8 鹿化煜, 苗晓东, 孙有斌. 前处理步骤与方法对风成红黏土粒度测量的影响[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2002, 22(3): 129-135 [Lu Huayu, Miao Xiaodong, Sun Youbin. Pretreatment methods and their influences on grain size measurement of aeolian "red clay" in North China [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2002, 22(3): 129-135]
 - 9 王德杰, 范代读, 李从先. 不同预处理对沉积物粒度分析结果的影响[J]. *同济大学学报*, 2003, 31(3): 314-318 [Wang Dejie, Fan Daidu, Li Congxian. Influence of different pretreatments on size analysis and its implication [J]. *Journal of Tongji University*, 2003, 31(3): 314-318]
 - 10 王君波, 朱立平. 不同前处理对湖泊沉积物粒度测量结果的影响[J]. *湖泊科学*, 2005, 17(1): 17-23 [Wang Junbo, Zhu Liping. Influence of different pre-treatments on grain-size measurement of lake sediments [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2005, 17(1): 17-23]
 - 11 张红艳, 鹿化煜, 赵军, 等. 超声波振荡对细颗粒黄土样品粒度测量影响的实验分析[J]. *沉积学报*, 2008, 26(3): 494-500 [Zhang Hongyan, Lu Huayu, Zhao Jun, et al. Effects of ultrasonic dispersion on granulometry of fine-grain loess [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2008, 26(3): 494-500]
 - 12 王君波, 鞠建廷, 朱立平. 两种激光粒度仪测量湖泊沉积物粒度结果的对比[J]. *湖泊科学*, 2007, 19(5): 509-515 [Wang Junbo, Ju Jianting, Zhu Liping. Comparison of lake sediment grain size results measured by two laser diffraction particle size analysis [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2007, 19(5): 509-515]
 - 13 贾红娟, 秦小光, 刘嘉麒. 激光粒度仪分析结果中假峰形成的原因及消除方法[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2009, 29(5): 145-152 [Jia Hongjuan, Qin Xiaoguang, Liu Jiaqi. What causes the fake kurtosis and how to avoid it in grain-size measurement [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2009, 29(5): 145-152]
 - 14 周岩, 严高, 龚莉, 等. 机械法制备石英纳米粉技术的试验探讨[J]. *粉末冶金工业*, 2006, 16(4): 31-35 [Zhou Yan, Yan Gao, Gong Li, et al. Test discussion on mechanical manufacture of nano-size quartz powder [J]. *Power Metallurgy Industry*, 2006, 16(4): 31-35]

Impact of the Laser Grain-size Equipment Speed on Measuring River Arenaceous Sediment

DING Zhao-jing^{1 2} SHEN Hong-yuan¹ JIA Yu-fang^{1 2}

(1. College of Resources and Environment, Linyi University, Linyi, Shandong 276005;

2. College of Population Resources and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250014)

Abstract: The experimental results show that: (1) the sediment particles are vulnerable to be broken because of the brunt. When the propeller of the laser grain-size equipment rotates quickly, larger particles would be broken to smalls with grain size of 32 ~ 87 μm , at the same time, the ultrasonic disaggregating of the laser grain-size equipment would also shatter the sediment particles; therefore, the ultrasonic disaggregating of the laser grain-size equipment should not be available. (2) The sample shading degree would be influenced by the rotate-speed of the laser grain-size equipment. During the test, we found that the slower rotational speed of the equipment, the less instability of the measure result. But with the slowing rotate-speed, the differences of the shading degree and blue light shading degree of the samples become bigger. The sample shading degree is mostly stable when the rotational speed of the laser grain-size equipment is 500 r/min, but the water power is so inadequate that the larger particles can't be pumped into sample injector, hence the sample shading degree is lower, and the differences of the shading degree and blue light shading degree of the samples become bigger. (3) It would contribute to more serious damage of large particles if the rotational speed is too fast, on the contrary, the low speed would lead the sediment particles not to disperse equably in the solution. Analyses that accounted for the stability of measure results, the sample shading degree, the grain size changes and content changes during the test shows that the appropriate rotational speed is about 1 900 ~ 2 000 r/min. So the comprehensive analysis can be concluded is that the appropriate rotational speed of Mastersizer 2000 laser particle analyzer is about 1 900 ~ 2 000 r/min for the river arenaceous sediment, and the ultrasonic disaggregating of the laser grain-size equipment should not be available.

Key words: rotational speed; river arenous sediment; laser particle analyzer; impact