

# 北部湾悬浮颗粒现场剖面测量与粒度分析

柏秀芳<sup>1,2</sup>, 龚德俊<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 海洋研究所 海洋环境工程技术研究发展中心, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

**摘要:**应用 LISST-100 现场激光粒度仪于 2006 年 8 月在北部湾首次进行了悬浮颗粒剖面测量, 获得了整个垂直剖面的悬浮颗粒现场粒径分布、体积比和光衰减系数, 并计算得到了垂直剖面的总浓度和各层的粒度参数及粒级组成。结果表明, 悬浮颗粒自上而下均为双峰分布, 只是表层的双峰位于 5.57 μm 和 34.4 μm, 中间层和底层的双峰位于 34.4 μm 和 129.4 μm。悬浮颗粒体积比自上而下逐渐增大, 到达底层时达到最大。光衰减系数的变化趋势与颗粒体积比非常相似, 且二者存在很好的相关性, 相关系数高达 0.98。整个垂直剖面上, 表层粒度较细, 随着深度增加粒度逐渐变粗, 到达底层时粒度最粗。悬浮体总体上正偏, 峰态值较小, 分选较差。粒度以砂为主, 粉砂含量次之, 不含黏土。

**关键词:**现场激光粒度仪; 悬浮体; 粒径分布; 北部湾

**中图分类号:** P736

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-3096(2008)07-0011-04

海洋悬浮体往往以大颗粒集合体为主<sup>[1]</sup>, 它们粒结构松散, 在外部应力的作用下极易发生破碎。研究表明, 传统的海水取样、抽滤甚至颗粒分析过程等都会引起颗粒大小、形态发生改变<sup>[2]</sup>。美国 SEQUOIA 公司生产的 LISST-100 可避免传统测试手段的误差, 对悬浮体进行现场观测分析。该系统具有快速、准确、多参数联测的优点。利用该仪器国外许多学者已经在海洋动力学及相关学科方面做了大量的工作<sup>[3~9]</sup>。国内也已有几位学者利用该仪器进行了粒径方面的测量<sup>[10,11]</sup>, 但在北部湾的应用未见报道。作者利用 2006 年 8 月在北部湾测得的数据, 系统分析了剖面悬浮颗粒粒径分布与体积比变化特征, 以及粒度参数及粒级组成在垂直剖面的变化情况。

## 1 实验与方法

2006 年 8 月 26 日利用 LISST-100B 现场激光粒度仪在北部湾(地理坐标为 108°15.614 E, 18°53.765 N, 测量位置水深 40 m)进行了悬浮物现场剖面测量, 测量时间为 17:40~19:00。测量方法为将 LISST 由海面徐徐沉至海底, 然后再由海底提升到海面, 如此反复进行, LISST 在下降和上升的过程中进行悬浮物的剖面测量。其中仪器的有效粒径测量范围为 1.25~250 μm。测量内容包括现场剖面悬浮沙的粒级谱、平均粒径和体积比。剖面测量的取样频率为 4 Hz, 即 1 s 采 4 个样, 然后对每 4 个样做一次平均化处理。

LISST-100 现场激光粒度仪发出的激光束(670 nm)照射到悬浮颗粒上后, 被悬浮颗粒所散射、吸收和反射, 散射的激光被一个多元探测器所记

录和存储, 该探测器由能测定 32 级不同激光散射角度的环形探测器所组成。水中的颗粒物将依据其粒径大小, 以不同角度散射激光束, 大颗粒以小角度, 小颗粒以大角度散射, 向前散射的角度从 0.1°~20°共分 32 级被记录和存储。运用 Mie 散射理论, 可以从数学上反推而获得悬浮体 32 个粒级的面积分布。每个粒组的面积乘以其平均直径即可得到粒子体积分布。没有发生散射的那部分光被位于环形检测器中央的发光二极管检测到, 从而得到光透射率, 根据光透射率利用公式(1)可计算光衰减系数  $c$  单位为  $m^{-1}$ 。

$$c = -\frac{1}{0.05} \ln \quad (1)$$

LISST-100 输出的数据包括 32 个粒级的体积分布、绝对体积比和光衰减系数, 还包括温度和压力。从颗粒体积分布可以计算出平均粒径、标准偏差等统计参数。其他粒度参数的计算采用矩值法, 同时计算出砂、粉砂和黏土等粒级组成。由于条件所限, 没有现场采集水样。使用的泥样为同一区域另一套测量系统回收时带出的底部浮泥, 对泥样进行过滤、烘干, 然后用 Cilas 940L 激光粒度仪对其进行粒度分析。

收稿日期: 2006-12-18; 修回日期: 2007-05-16

基金项目: 中国科学院重大科研装备研制项目(YZ0619)

作者简介: 柏秀芳(1979-), 女, 山东莱芜人, 博士研究生, 主要从事海洋环境监测技术和数据处理与分析的研究, 电话: 0532-82898737,

E-mail: bxf1979@126.com

## 2 结果和讨论

### 2.1 悬浮颗粒粒径分布

不同深度悬浮颗粒的粒径分布有所不同,测量结果如图 1 所示。由图 1 可以看出,表层、中间层和底层均为双峰分布。表层的双峰位于  $5.57 \mu\text{m}$  和  $34.4 \mu\text{m}$  处,且主峰在  $34.4 \mu\text{m}$ ,表明细粒级起主导作用。中间层和底层的双峰位于  $34.4 \mu\text{m}$  和  $129.4 \mu\text{m}$ ,主峰在  $129.4 \mu\text{m}$ ,表明粗粒级起主导作用。

作者使用的 LISST-100 现场激光粒度仪的颗粒检测范围为  $1.25 \sim 250 \mu\text{m}$ ,即它仅能反映大于

$1.25 \mu\text{m}$  小于  $250 \mu\text{m}$  颗粒的信息。对于超出这个粒径范围的颗粒集合或非矿物颗粒而言,其衍射信号会对  $1 \sim 250 \mu\text{m}$  颗粒粒级分布产生影响,导致粒径曲线上出现明显的“上升尾”。由图 1 可以看出,在细粒级端并未出现上升尾,说明悬浮体粒径均大于  $1.25 \mu\text{m}$ 。但由图 1a 中  $3 \sim 5 \text{ m}$  的粒径分布可以看出,在粗粒级端出现了明显的上升尾,这是由悬浮体中部分粒径大于  $250 \mu\text{m}$  所致。因此,在水深  $3 \sim 5 \text{ m}$  处,悬浮体的粒径略大于 LISST-100 测得的粒径。实际上,“上升尾”是一个比较常见的现象<sup>[12,13]</sup>,它对资料的分析应用不会产生明显的影响。

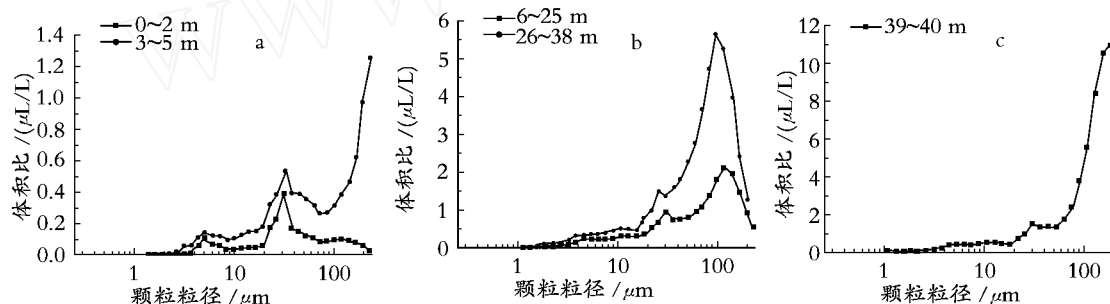


图 1 北部湾悬浮颗粒粒径谱

Fig. 1 Suspended particle size spectra in the Beibu Gulf

### 2.2 水柱剖面特征

对各层悬浮颗粒 32 个粒级的体积比求和便得到颗粒在垂直剖面的总体积比  $V_c$ ,如图 2 所示。 $V_c$  是随深度增加逐渐增大的,剖面表层水体中的  $V_c$  为  $3 \mu\text{L/L}$ ,而底层水体中的高达  $83 \mu\text{L/L}$ 。图 2 中

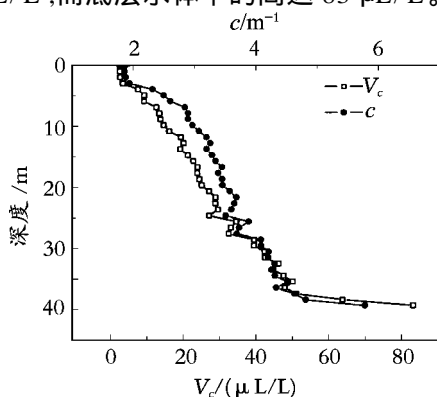


图 2  $V_c$  和  $c$  的剖面变化

Fig. 2 Profiling variations of  $V_c$  and  $c$

还显示了  $c$  的剖面特征,它的变化趋势与  $V_c$  的变化趋势非常相似。表层水体的  $c$  为  $1.8 \text{ m}^{-1}$ ,底层水体的  $c$  为  $5.8 \text{ m}^{-1}$ 。分析表明, $c$  同  $V_c$  之间存在很好的相关性,相关系数  $R$  高达 0.98,可以推断光衰减主要是由  $1 \sim 250 \mu\text{m}$  悬浮颗粒的散射作用引起的,这点与文献[11]报道的结论是一致的。如图 3 所示。

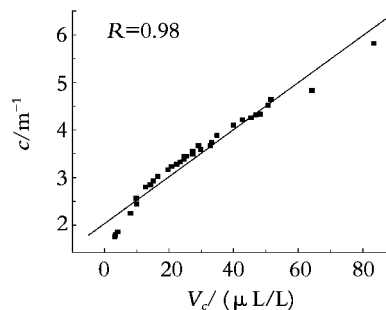


图 3  $V_c$  和  $c$  的散点分布

Fig. 3 Scatter plot between  $V_c$  and  $c$

### 2.3 粒度参数及其变化

在整个垂直剖面中,平均粒径总体上是随深度增加而变粗的,如图 4a 所示。在  $3 \text{ m}$  以上,平均粒径较小为  $53 \mu\text{m}$  左右,从  $3 \text{ m}$  开始平均粒径从  $66 \mu\text{m}$  开始逐步变大,到底层时达到最大  $119 \mu\text{m}$ 。中值粒径与平均粒径的变化趋势非常相似,只是在深度为  $3 \sim 5 \text{ m}$  间稍有不同,如图 4b 所示。原因从图 1a 即可清楚看出, $3 \sim 5 \text{ m}$  的粒径分布曲线在粗粒级端突然上升,势必造成粒径变粗,而中值粒径正是反映累积频率为 50% 的粒径,更能反映其真实粒径。平均粒径是整体取平均值,所以变化没中值粒径明显。

标准偏差可反映粒度的分选性,即颗粒大小的均匀性,其值越小,颗粒越均匀。从图 4c 可以看出, $3 \text{ m}$

以上的悬浮颗粒相对来说分选最好,3~5 m和底层深度分选最差,其他深度分选较差。由图 4d 可以看出,整个垂直剖面除了底层偏度小于 0 外,其余深度层均大于 0,说明悬浮颗粒整体为右偏态分布。峰度也可

反映粒度分选的集中程度,峰度值越大,分选越集中。从图 4e 可以看出,粒径越粗,峰度值越小。3 m 以上的峰度值接近于 5,反映粒径较集中,分选较好,而其他深度层的峰度值均小于 3,分选相对较差。

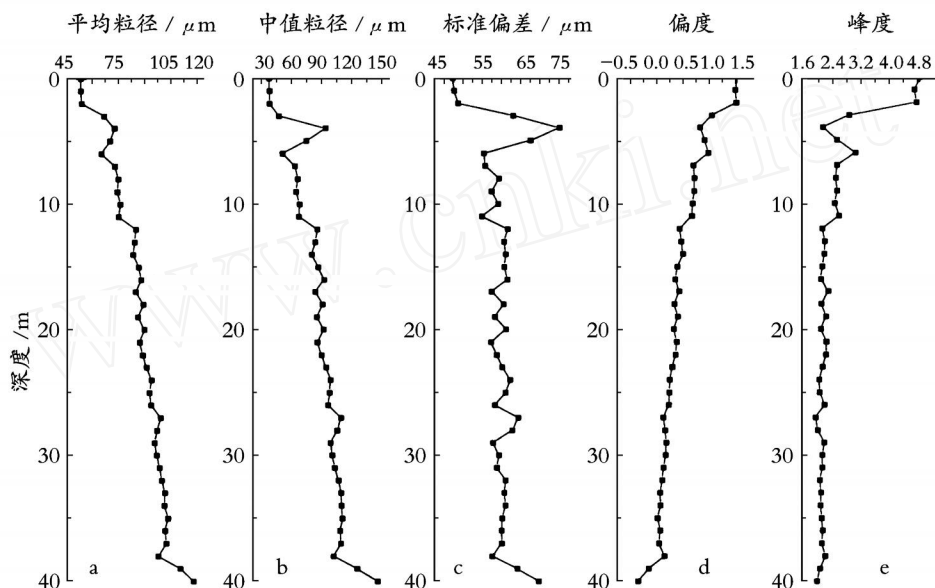


图 4 粒度参数的垂直剖面变化

Fig. 4 The depth variation of grain size parameters

## 2.4 粒度组成及其变化

在粒度组成上,北部湾悬浮体的粒度由砂和粉砂组成,不含黏土。这点与 Cilas 940L 激光粒度仪对泥样的分析结果完全一致。砂质体积分数随深度增加逐步增加,底层时达到最大,如图 5 所示。粉砂体积分数变化与砂体积分数变化恰好相反,随深度增加逐步减小。从整个垂直剖面来看,只有表层砂质体积分数小于 50%,中间层和底层的砂分数均大于 50%,整个垂直剖面的平均值为 61%,所以悬浮体主要是由砂组成,其次是粉砂。

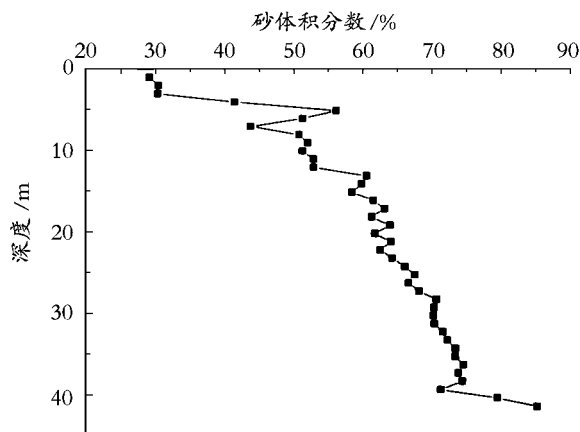


图 5 砂体积分数的垂直剖面变化

Fig. 5 The depth variation of sand volume content

## 3 结论

(1) 研究区内悬浮体的粒径分布特征在垂直剖面上非常相似,均为双峰分布。表层悬浮体的两个峰值均处于细粒级端,中间层和底层的主峰位于粗粒级部分,并且随着深度的增加主峰的力量越来越大。(2) 悬浮体的体积比和光衰减系数变化趋势非常相似,均随深度增加而增大,并且两者之间有很好的相关性,相关系数高达 0.98,可以推断光衰减主要是由 1~250 μm 悬浮颗粒的散射作用引起的。(3) 悬浮体的粒径随深度增加而增大,整体粒度较粗,由砂和粉砂组成,且主要粒级组成为砂,黏土含量为零。分选较差,正偏,峰态值较小。

### 参考文献:

- [1] Bale A J, Morri S A. In situ measurements of particle size in estuarine waters[J]. *Netherlands Journal of Sea Research*, 1986, 20: 183-199.
- [2] Gibbs R J, KONWAR L N. Sampling of mineral flocs using Niskin bottles[J]. *Environ Sci Technol*, 1983, 17 (6): 374-375.
- [3] Sternberg R W, Berhane I, Ogston A S. Measurement of size and settling velocity of suspended aggregates on the northern California continental shelf[J]. *Marine Ge-*

- ology, 1999, 154: 43-53.
- [4] Peter T, Rebecca J L, James D I. A laboratory evaluation of the laser in situ scattering and transmissometry instrument using natural sediments[J]. *Marine Geology*, 1999, 159: 355-367.
- [5] Mikkelsen O A, Pejrup M. In situ particle size spectra and density of particle aggregates in a dredging plume [J]. *Marine Geology*, 2000, 170: 443-459.
- [6] Jeffrey W G, Cheng R T, Wang P F, *et al.* Laboratory and field evaluations of the LISST-100 instrument for suspended particle size determinations[J]. *Marine geology*, 2001, 175: 199-219.
- [7] David C F, Carl T F. Determining concentration and fall velocity of estuarine particle populations using ADV, OBS and LISST[J]. *Continental Shelf Research*, 2002, 22: 1 867-1 886.
- [8] Ellis K M, Bowers D G, Jones S E. A study of the temporal variability in particle size in a high-energy regime [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2004, 61: 311-315.
- [9] Richard S. Laboratory evaluation of the LISST in a stratified fluid[J]. *Marine Geology*, 2006, 227: 151-162.
- [10] 程江,何青,王元叶. 利用 LISST 观测絮凝体粒径、有效密度和沉速的垂线分布[J]. *泥沙研究*, 2005, 1: 33-39.
- [11] 魏建伟,石学法,方习生,等. 胶州湾悬浮颗粒现场剖面测量与结果分析[J]. *海洋科学进展*, 2006, 24(1): 74-82.
- [12] Mikkelsen A. Examples of spatial and temporal variation of some fine-grained suspended particle characteristics in two Danish coastal water bodies[J]. *Oceanologica Acta*, 2002, 25: 39-49.
- [13] Mccandliss R R, Jones S E, Hearn M, *et al.* Dynamics of suspended particles in coastal waters (southern North Sea) during a spring bloom[J]. *Journal of Sea Research*, 2002, 47: 285-302.

## In-situ profiling of suspended particles in the Beibu Gulf and analysis of grain size

BAI Xiu-fang<sup>1,2</sup>, GONG De-jun<sup>1</sup>

(1. Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, R & D Centre of Ocean Environmental Engineering and Technology, Qingdao 266071, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Received:** Dec. , 18, 2006

**Key words:** a laser in-situ scattering transmissometry; suspended sediment; grain size distribution; the Beibu Gulf

**Abstract:** A laser in-situ scattering transmissometry (Lisst-100) was first used to make a profiling of suspended sediment in the Beibu Gulf in August 2006, and the grain size distribution, volume concentration and light attenuation coefficient were obtained. Further, the total concentration, grain size parameters and grain composition were calculated. The results show that the size distribution from surface to bottom is bimodal, and the surface peaks appear at 5.57  $\mu\text{m}$  and 34.4  $\mu\text{m}$ ; the peaks of the middle layer and bottom at 34.4  $\mu\text{m}$  and 129.4  $\mu\text{m}$ . The concentration increases with the increase of the depth, and is the biggest at the bottom. The tendency of light attenuation coefficient is very similar to that of the concentration, and between them there is a good correlation with the correlation coefficient up to 0.98, from which it is concluded that the light attenuation is mainly caused by the scattering of suspended sediment of grain size 1 ~ 250  $\mu\text{m}$ . Grain size analysis shows that the size increases with the increase of the depth. The suspended sediment consists of sand and silt, relatively poorly sorted with positive skewness and small kurtosis values.

(本文编辑:刘珊珊)