

长江口北槽表层悬沙粒径变化及其 对 OBS 标定的影响

刘 杰, 纪为刚, 王元叶, 程海峰, 赵德招

(上海河口海岸科学研究中心, 上海 201201)

摘要: 利用2007年5月–2008年6月在长江口水域每月一次的现场取样资料,研究了长江口北槽表层水体泥沙粒径的时空变化特点及其对OBS标定的影响。结果表明:①北槽表层悬沙粒径存在中段粗,上下游细的纵向分布特点;②位于北槽中段的北槽中和W3两站泥沙粒径受潮汐影响较为明显,存在大潮粗、小潮细的周期性变化特点;③泥沙中值粒径与OBS标定曲线的斜率 k 值呈正相关关系。对于长年连续观测的长江口水文、泥沙、波浪监测系统而言,为提高其泥沙观测精度,北槽中和W3两站应根据潮差的大小给定不同的标定曲线 k 值,而位于上游的横沙与下游的牛皮礁和口外站,因泥沙粒径在径流内、潮周期内变化不明显,可给定一个固定的标定曲线 k 值。本文提出的由潮差计算OBS标定曲线 k 值的方法可在类似的河口海岸泥沙监测系统中参考应用。

关 键 词: 长江口; 北槽; 悬浮泥沙; OBS 标定

中图分类号: TV149

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2010)03-0084-05

OBS(Optical Back Scattering, 光学后向散射浊度计)是一种测量悬浮物质浊度的光学仪器,近20多年来已广泛应用于河口海岸水体含沙量的测量。OBS光学输出信号需通过标定才能转换成含沙量。标定曲线的有效性取决于研究人员对特定测量环境与OBS测量原理的了解,并决定着泥沙通量的计算精度^[1]。现场悬浮泥沙的时空变化意味着OBS应用时需进行多次标定或连续标定^[2]。

泥沙特性对OBS测量影响的研究主要是提高OBS标定曲线的可靠性和精度。影响OBS测量的因素有泥沙粒径、质量分数浓度和颜色等,其中泥沙粒径和质量分数通常是最主要的因素^[1,3-4]。目前,国内外学者和工程师对OBS的应用研究开展了大量的工作,建立了OBS对不同泥沙质量分数等级的响应关系^[3]。泥沙粒径变化对OBS测量的影响在许多文献中亦有报道^[5-7],但二者之间系统性的定量关系目前尚未建立^[6]。

本文主要利用现场大量的水体采样数据,进一步探讨长江河口拦门沙水域表层悬沙粒径的时空变化特点及其对OBS测量标定的影响,并针对长江口水文、泥沙、波浪监测系统,给出考虑泥沙粒径变化影响的OBS标定曲线计算方法。

1 资料与方法

2005年交通部长江口航道管理局在长江口建立了水文、泥沙、波浪监测系统,其中在长江口水、沙运动相对较为复杂的北槽水域纵向布设了5个浮标,浮标站位见图1。各浮标水面以下1.5 m处放置一台OBS-3A,全天连续整点采集水体的浊度值。

2007年5月以来,每月一次在各浮标站位进行现场人工水体采样,水体采样深度为水体表面以下1.5 m,采样水体体积要求浓缩后的泥沙样品不少于400 g。现场水样经室内沉淀,采用各站位沉淀浓缩后的泥沙样品和沉淀后“清水”在室内分别对OBS-3A进行标定,并采用LA-950激光粒度仪测量标定水样的泥

收稿日期: 2009-09-20

基金项目: 西部交通建设科技项目(200632800074)

作者简介: 刘杰(1975-),男,安徽亳州人,副研究员,博士,主要从事河口海岸演变研究。E-mail: eesrc@163.com

沙粒径.室内标定时,从浊度值 20 NTU (Nephelometric Turbidity Unit) 开始,每次增加 50 左右,至浊度值 600 ~ 650 时结束,记录各次的浊度值,并同步取出 500 ml 水样,经过滤、烘干,测量含沙量.在 Excel 下,点绘各次标定样品的浊度值与含沙量.长江口表层水体含沙量通常小于 1.5 kg/m^3 ,因此,可采用线性关系式拟合浊度值与含沙量的关系曲线^[3].理论上讲,浊度值趋于 0 时,含沙量亦应为 0.因此,设置线性关系式的截距为 0,取斜率 k 作为该次标定曲线的斜率.

另外,为了解北槽的泥沙粒径变化,还从交通部长江口航道管理局收集了 2002 年以来位于北槽中段的 CS2 垂线大、中、小潮 10 次水文测验资料.垂线点位置见图 1.

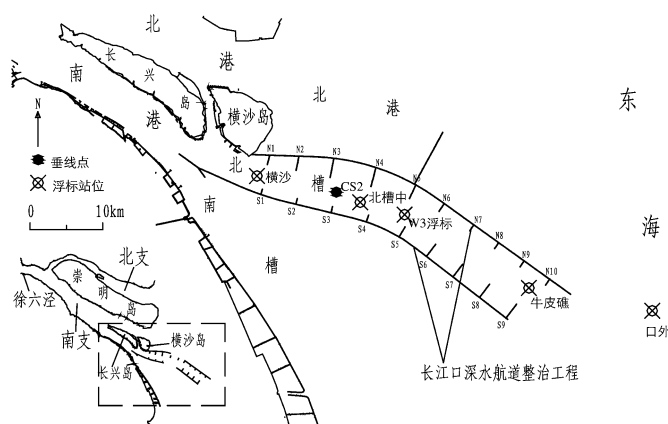


图1 采样站位

Fig.1 Sampling location

2 泥沙粒径变化

2.1 空间变化

由 2007 年 5 月~2008 年 6 月北槽各站表层 1.5 m 含沙水体取样资料分析可知(见图 2),北槽表层悬沙中值粒径在 0.005 ~ 0.020 mm 之间,从各站取样时的泥沙中值粒径的平均值来看,位于口外的牛皮礁站和口外站的泥沙中值粒径略低于口内的 3 个站.从泥沙中值粒径特征值来看,口外两站的变化总体较为均匀,最大与最小值相差不大,横沙站次之,W3 和北槽中的差异最大.

2.2 时间变化

2.2.1 季节性变化 长江口流域来水来沙存在明显的季节性变化,5~10 月为洪季,11 月至次年 4 月为枯季,洪季半年的来水量占全年的 71.7%,输沙量占全年的 85% (1950~2006 年).长江口拦门沙水域,表层水体含沙量受流域来水来沙的影响不明显^[8].从泥沙中值粒径的时间变化来看(图 3),北槽各站泥沙中值粒径大小亦无明显的洪、枯季季节性变化特征.

2.2.2 大小潮变化 长江口拦门沙水域表层水体含沙量主要受潮汐和波浪等外海动力条件控制.考虑安全因素,现场取样时通常选择外海波浪不大时进行,因此,暂不考虑“波浪掀沙”对泥沙粒径的影响.而潮汐则具有明显的大、中、小潮周期性变化.各次取样时的中值粒径与潮差对比发现,W3 和北槽中站泥沙中值粒径粗细与取样时的潮动力条件有关(见图 4),呈潮差大、粒径粗,潮差小、粒径细的变化特点.上述变化特点在 CS2 垂线(见图 1)亦有所体现(见图 5).而口外、牛皮礁和口内的横沙站泥沙中值粒径粗细随潮差的变化则不明显.

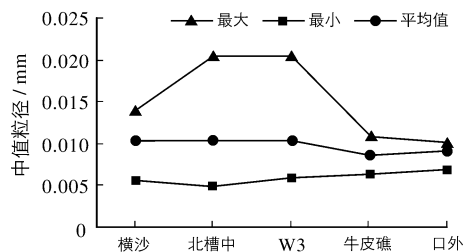


图2 北槽表层悬沙中值粒径的纵向变化

Fig.2 Longitudinal changes of surface suspended median diameter in the North Passage

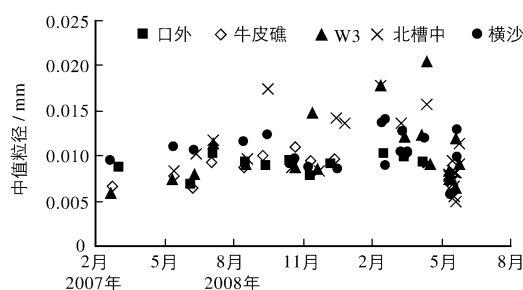
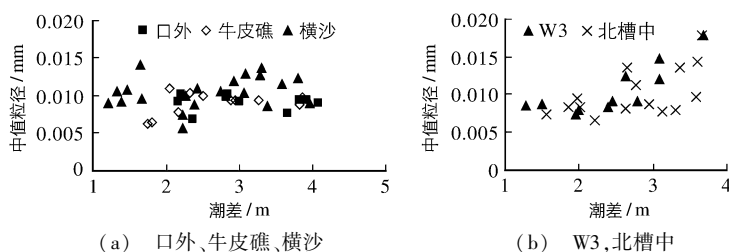


图3 北槽表层悬沙中值粒径的季节性变化

Fig.3 Seasonal changes of surface suspended median diameter in the North Passage



(a) 口外、牛皮礁、横沙

(b) W3、北槽中

图 4 北槽表层悬沙中值粒径与潮差的关系

Fig. 4 Relationship between tidal range and SSMD in the North Passage

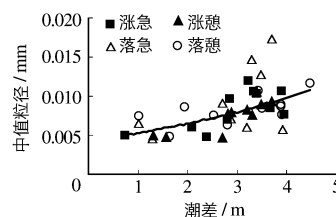


图 5 北槽 CS2 垂线 0.2 H 层水体泥沙中值粒径与潮差的关系

Fig. 5 Relationship between tidal and 0.2 H layer SSMD of CS2 vertical in the North Passage

2.2.3 涨落急、涨落憩变化 受涨、落潮的影响,在一个潮周期内,水流速度存在由小到大、再由大变小的周期变化。北槽 CS2 垂线表层泥沙中值粒径与对应时刻垂线表层流速的变化关系表明(见图 6),由于细颗粒泥沙存在明显的起动滞后与沉降滞后,在一个潮周期内,尽管流速存在明显的变化,但表层悬沙中值粒径变化却不明显。

综上所述,长江口北槽拦门沙水域表层悬沙粒径主要受外海动力条件控制,进口段和口外段泥沙粒径总体较为稳定,不同季节、潮情和潮况泥沙粒径变化不大,而北槽中段则存在明显的大小潮周期性变化。

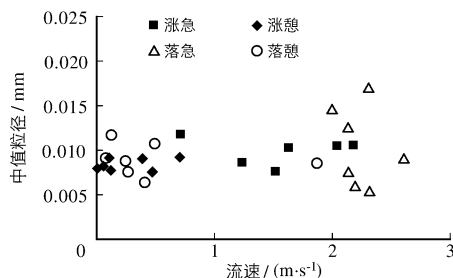


图 6 北槽 CS2 垂线大潮周期内表层泥沙中值粒径与流速的关系

Fig. 6 Relationship between surface velocity and SSMD of CS2 vertical in the North Passage

3 泥沙粒径对 OBS 标定的影响

泥沙粒径变化会影响 OBS 对泥沙质量分数的光学响应^[9]。特定含沙量情况下,反射强度与泥沙粒径成反比^[10]。北槽各站位的标定曲线斜率与泥沙中值粒径的关系(见图 7)表明,标定曲线斜率 k 值与泥沙中值粒径大小成正比,即泥沙越粗,OBS 标定曲线的斜率 k 值越大。

4 长江口水文泥沙波浪监测系统 OBS 标定实践

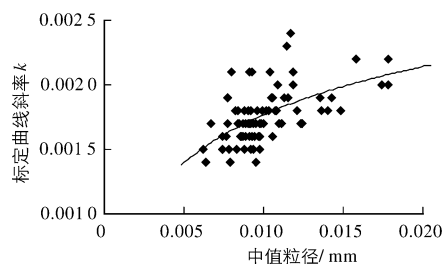
4.1 标定曲线的确定

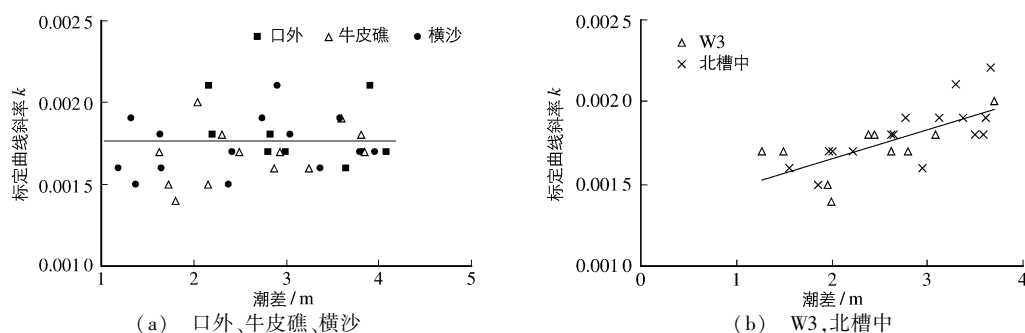
长江口水文、泥沙、波浪监测系统 5 个浮标站位观测的浊度值需经过可靠的 OBS 标定曲线转换为含沙量,才可有效地开展泥沙通量的计算。

各站位泥沙粒径的时空变化分析表明,W3 和北槽中站水体泥沙粒径受潮汐影响较为明显(图 4),大、中、小潮时应根据潮差变化给定不同的标定曲线斜率 k 值。由北槽中和 W3 站潮差与标定曲线斜率 k 值之间的相关关系(图 8(b)),得出潮差 ΔH 与标定曲线斜率 k 值之间的线性关系式为:

$$k = 0.0002\Delta H + 0.0013$$

牛皮礁和口内的横沙站泥沙粒径相当且随潮动力变化不明显,可不必考虑洪枯季、大小潮和涨落急、涨落憩水流变化对标定曲线斜率 k 的影响。取上述 3 站多次标定曲线斜率的平均值(图 8(a)),得 $k = 0.0017$ 。

图 7 中值粒径与标定曲线斜率 k 的关系Fig. 7 Relationship between SSMD and k

图8 标定曲线斜率 k 值与潮差(北槽中站)的关系Fig. 8 Relationship between the slope k value of OBS calibration curve and tidal range

4.2 误差检验

为检验标定曲线的合理性,2008年4–6月采用船载OBS-3A对各站位浊度值进行连续13h的整点观测,并同步采集现场水样在室内采用传统方法测量对应时刻的含沙量.利用各站位对应的标定曲线将现场OBS测量的浊度值转换为含沙量(称之为计算值),其中W3和北槽中2站根据潮差大小,按公式(1)计算相应的标定曲线斜率 k 值,口外的牛皮礁和口内的横沙站标定曲线斜率 k 值均采用0.0017.含沙量的计算值与现场实测值比较结果见表1.由表1可知,采用标定曲线计算的含沙量比实测值总体上略有偏大,但各站位的相对误差都在30%以内.计算误差的大小与现场背景水体的含沙量或潮差大小有关.现场水体的含沙量约小于 0.2 kg/m^3 (或潮差约小于2 m)时,计算误差相对较大;反之,计算误差多在10%以内.

表1 含沙量计算值与现场实测值比较

Tab. 1 Comparison of the calculated values and site measured values of suspended sediment concentration

站名	采样日期	含沙量/ $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$		相对误差/%	采样期间的潮差/m
		实测值	计算值		
牛皮礁	2008-04-19	0.26	0.28	4.1	3.17
W3	2008-04-17	0.41	0.37	-11.2	2.63
W3	2008-04-23	0.56	0.55	-1.0	3.19
W3	2008-04-27	0.22	0.27	18.7	2.47
W3	2008-05-22	0.35	0.40	11.2	2.43
W3	2008-05-30	0.23	0.22	-6.2	2.25
北槽中	2008-04-22	0.35	0.37	4.3	2.77
北槽中	2008-05-22	0.29	0.36	18.9	3.16
北槽中	2008-05-23	0.15	0.18	18.3	2.37
北槽中	2008-05-25	0.17	0.21	17.0	1.97
北槽中	2008-05-27	0.07	0.10	25.9	1.56
北槽中	2008-05-29	0.16	0.20	16.3	2.22
北槽中	2008-05-31	0.19	0.21	11.1	2.50
北槽中	2008-06-04	0.25	0.28	9.6	2.77
横沙	2008-04-21	0.17	0.21	17.7	2.63
横沙	2008-05-24	0.11	0.14	22.2	2.10
横沙	2008-06-01	0.12	0.13	8.3	2.14

注:含沙量为13h整点采样的平均值.

5 结 语

本文通过潮差与粒径、粒径与OBS标定曲线斜率 k 值的系统分析,给出了考虑泥沙粒径时空变化影响的长江口水文泥沙波浪监测系统OBS标定曲线的斜率 k 值,提高了该系统观测含沙量的可靠性和有效性.

河口海岸泥沙问题是港口航道回淤和岸滩资源开发利用中的重要技术难题.由于泥沙运动的复杂性,获取长系列可靠的现场数据是分析、判断和解决泥沙问题的前提.OBS可连续观测水体的浊度,但要获取有效

的含沙量数据,仍需深入了解特定水域的泥沙特性及其对 OBS 的定量影响,提出可靠的标定曲线. 本文提出的由潮差计算 OBS 标定曲线 k 值的实践方法可在类似的河口海岸水域 OBS 泥沙测量中参考应用.

参 考 文 献:

- [1] BUNT J A C, LARCOMBEA P, JAGO C F. Quantifying the response of optical backscatter devices and transmissometers to variations in suspended particulate matter[J]. *Continental Shelf Research*, 1999(19): 1199-1220.
- [2] STERNBERG R W, KINEKE G C, JOHNSON R. An instrument system for profiling suspended sediment, fluid and flow conditions in shallow marine environments[J]. *Continental Shelf Research*, 1991(11): 109-122.
- [3] KINEKE G C, STERNBERG R W. Measurements of high concentration suspended sediments using the optical backscatterance sensor[J]. *Marine Geology*, 1992, 108: 253-258.
- [4] CAMPBELL C G, LAYCAK D T, HOPPES W, et al. High concentration suspended sediment measurements using a continuous fiber optic in-stream transmissometer[J]. *Journal of Hydrology*, 2005, 311: 244-253.
- [5] BAKER E T, LAVELLE J W. The effect of particle size on the light attenuation coefficient of natural suspensions[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1984, 89(C12): 8197-8203.
- [6] BAKER E T, TENNANT D A, FEELY R A, et al. Field and laboratory studies on the effect of particle size and composition on optical backscattering measurements in hydrothermal plumes[J]. *Deep-Sea Research*, 2001, 48(2): 593-604.
- [7] THOMAS S, RIDD P V, RENAGI O. Laboratory investigation on the effect of particle size, water flow and bottom surface roughness upon the response of an upward-pointing optical backscatter sensor to sediment accumulation[J]. *Continental Shelf Research*, 2003, 23(16): 1545-1557.
- [8] 金鏐, 虞志英, 何青. 关于长江口深水航道维护条件与流域来水来沙关系的初步分析[J]. *水运工程*, 2006(3): 46-51. (JIN Liu, YU Zhi-ying, HE Qing. On the relationship between maintenance condition of Yangtze Estuary deepwater channel and water & sediment transport from the valley[J]. *Port & Waterway Engineering*, 2006(3): 46-51. (in Chinese))
- [9] BATTISTO G M, FRIEDRICH S T, MILLER H C, et al. Response of OBS to mixed grain size suspensions during Sandy Duck'97[C]//Coastal Sediment Conference 99. New York: ASCE, 1999: 297-312.
- [10] D&A Instrument Company. OBS-3A instruction manual[M]. USA: D&A Instrument Company, 2004
- [11] 刘红, 何青, 王元叶, 等. 长江口浑浊带海域 OBS 标定的实验研究[J]. *泥沙研究*, 2006(5): 52-58. (LIU Hong, HE Qing, WANG Yuan-ye, et al. OBS situ calibration research in the turbidity maximum of the Changjiang Estuary, China[J]. *Journal of Sediment Research*, 2006(5): 52-58. (in Chinese))
- [12] 薛元忠, 何青, 王元叶. OBS 浊度计测量泥沙浓度的方法与实践研究[J]. *泥沙研究*, 2004(4): 56-60. (XUE Yuan-zhong, HE Qing, WANG Yuan-ye. The method and application of OBS in the measurement of sediment concentration[J]. *Journal of Sediment Research*, 2004(4): 56-60. (in Chinese))

Changes in suspended sediment particle size in the north passage of Yangtze Estuary and the impact on the OBS calibration

LIU Jie, JI Wei-gang, WANG Yuan-ye, CHENG Hai-feng, ZHAO De-zhao

(Shanghai Estuarine and Coastal Science Research Center, Shanghai 201201, China)

Abstract: According to the in-situ sediment concentration data in the Yangtze Estuary, the paper analyzed the spatial and temporal variation characteristics of suspended sediment particle size (SSPS) and the influence of OBS calibration. The results show: (a) the vertical distribution characteristic of SSPS is thick in the middle and fine in the upstream and downstream. (b) in the middle of North Passage, SSPS is obvious effected by the tides. (c) the slope k value of OBS calibration curve and SSPS is positively correlated. In the middle of North Passage, the slope k value is determined by the tidal range, and according to this method, the precision of sediment concentration can be improved. This study proposes the slope computational method which based on the tidal range, and the method can be applied in the similar estuarine and coastal sediment monitoring system.

Key words: Yangtze Estuary; north passage; suspended sediment; OBS calibration