

悬沙浓度标定相关性问题的探索

林振镇^{1,2}, 陈蕴真¹, 杨日魁¹, 贾良文¹

(1. 中山大学海洋科学学院, 广东 广州 510275;
2. 中山大学岩土工程与信息技术研究中心, 广东 广州 510275)

摘 要:为研究影响 OBS 悬沙浓度标定相关性的因素,通过大量的数据分析发现常用的两种瞬时式采样器存在自身局限,无法精确控制采集点位置,以及无法完全封闭已经采集的水样。这两个局限是导致悬沙浓度标定相关系数较低的关键因素。在流态复杂的河口区,采样器的局限导致的影响更加明显。建议现场采集水样并进行后续处理时,需要注意仪器观测对象与标定样品的一致性。

关键词:瞬时式采样器;悬沙浓度;浊度仪;回归标定

中图分类号:TV149

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2018)01-0053-05

1 引言

水体中悬沙浓度是水文调查的重要常规项目。一方面,由于悬沙浓度直接影响絮凝和沉降作用,对于水体物质的输运、河床冲淤演变具有重要意义^[1-2]。另一方面,由于悬浮泥沙是水体中污染物迁移的主要载体,对水质中可吸附性污染物的时空分布和迁移转化存在显著影响^[3-4]。

悬沙浓度测定有对应的规范^[5],目前普遍采用OBS浊度仪进行现场观测,配合水样的采集,通过序列的浊度值和浓度值进行相关性回归分析,得到相关函数,并借助相关函数对浊度仪里的全部浊度值进行转换,得到时空连续的水体泥沙实际含量^[6-9],该方法即为“浊度标定法”。OBS准确标定是获取高精度悬沙浓度数据的关键环节。通常分为现场标定与室内标定两种。现场标定需要在OBS测量时同步采集相同水层的水样,保证研究对象的一致性。室内标定可分为悬沙标定法与底沙标定法,两者均在室内进行配置水样,以使OBS测量到不同的浊度值。悬沙标定法研究的泥沙来自于研究水域中水样的悬浮泥沙,而底沙标定法则为表层底质。

现场标定的难度和准确性受多种因素影响,比如

现场流速、采样器设计、人工操作等。同时,由于以沙为主要成分的表层底质与以粉砂为主的悬沙两者间粒径存在较大差别^[10],泥沙粒径也是影响OBS测量精度的首要因素^[11]。即使使用悬沙标定法,因垂向上悬沙粒径存在变化,无法做到室内实验测量与现场测量时的研究对象保持一致,因此标定方法的准确性均有待检验。

跟踪分析珠江三角洲口门悬移质多年、多个测次的大批量数据,发现利用常用瞬时式采样器采集的水样,进行标定时效果偏差,相关系数在0.2~0.8之间,且发现有较多异常值,偏差较大。内河的现场采样标定效果相较河口区域存在明显的改善,但与仪器测试标定结果相比仍然不够理想。初步推测该类型采样器的结构特点及河口复杂的水动力条件均对标定相关性产生影响。

本文主要通过剖析两种常用瞬时式采样器(竖式和横式)的工作原理,设计实验跟踪分析采样器工作实际情况,试图从采样器结构特点上寻找到影响浊度标定的关键因素,并提供该问题的解决方案。

2 数据来源

2015~2016年,在珠江河口进行多个航次的水样

收稿日期:2017-02-15

基金项目:国家自然科学基金项目(41376101;41676076)

作者简介:林振镇(1994-),男,广东汕头人,本科,主要研究方向为近岸工程。E-mail: linzhzh3@mail2.sysu.edu.cn

通讯作者:杨日魁(1972-),男,福建莆田人,工程师,主要研究方向为海洋环境监测与数据处理。E-mail: essyrk@mail.sysu.edu.cn

采集,采样地点和样品数见表 1。现场观测时,浊度仪 OBS 和竖式采样器挂载在一个支架的同一水平面上,使用在线采集模式,通过绞车获取垂向剖面水体样品。浊度仪在线采集速率为 1Hz,采用同层位上下 20cm 的多个数据,利用三倍标准差法剔除异常数据后进行平均,作为该层位样品的 NTU 值。现场对采集的水样用抽滤法^[12]收集悬浮物,并装载 5L 以上浓缩水样回实验室做后续配比标定。

表1 具体采样地点和采样数
Table1 The sampling sites and samples

地点	层位	样数	经纬度
虎跳门 (六个全潮)	表、中 和底	655	21°56.4'113°07.5'
黄茅海 (两个全潮)	表、中 和底	471	22°29.0'113°40.8' 22°29.3'113°42.5'
东江 (两个全潮)	表、中 和底	324	23°06.3'113°51.2' 23°06.9'113°51.4'
西江 (八个全潮)	表、底	540	22°44.8'113°04.6'
伶仃洋西滩 (两个全潮)	表、中 和底	156	22°27.8'113°38.2'
伶仃洋东滩 (两个全潮)	表、中 和底	156	22°29.9'113°49.9'

3 实测现象与推测

3.1 采样器工作原理

使用竖式采样器(见图 1)时,通过绳缆下放采样器,在此过程中水流的冲击力会冲开采样器的上、下通道门。下放速度越快,通道门打开角度越大,并借此达到筒内水体和外界的交流。依据钢丝绳释放的长度或者捆绑的在线式浊度仪,可以确定其所达到的水深,放慢速度、停止、向上回收,借助水体流动方向的改变,封闭通道门,从而采集到指定深度的水样。

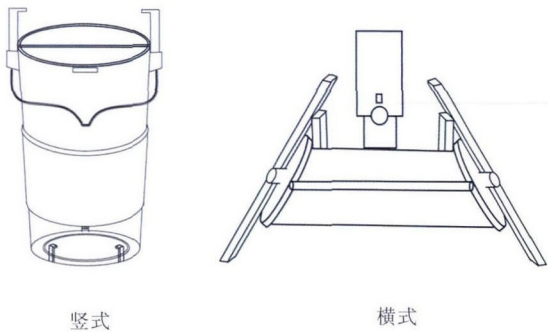


图1 竖式、横式采样器简易图

Fig.1 The vertical and horizontal water samplers

横式采样器则在下水前借助机械构件让两端通道门保持打开状态,利用绞车钢丝绳释放的长度估计所达到的水深位置。到达指定水深时,借助重力锤自由落下,击打机械构件,促使采样器通道门闭合。

横式采样器依靠重锤击打构件,搭载的仪器无法使用在线模式。而竖式采样器可以通过浊度仪获取实时水深数据,接近预定水深时,操作人员会减慢绞车的下放速度,直至采样器到达预定采集点。在这个慢速逼近目标水深的过程中,采样器的通道门由于水流冲击力减小而提前闭合,导致采集到的水样并非目标水深位置的水体。

3.2 河口与内河标定效果差异

对两年 12 个航次 1126 个水样品悬浮物浓度现场标定实验数据的跟踪调查,发现在河口动力条件比较复杂情况下,使用瞬时式采样器采集的水样进行标定时,相关系数仅在 0.2~0.8 之间(见图 2),且异常值较多,偏差较大。内河 11 个全潮 596 个数据标定的相关系数大部分在 0.9 以上。作为对比,基于不同泥沙形态的底泥,通过室内制作的 20 个批次 510 个浑样,进行仪器测试标定,相关系数均在 0.99 以上。

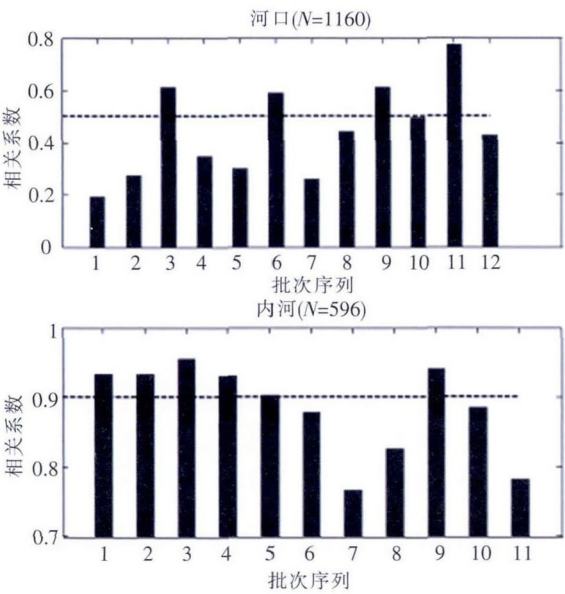


图2 河口和内河浊度数据回归效果汇总

Fig.2 The regression results of turbidity data of estuary and inland river

可见,内河的现场采样标定效果相较河口区域存在明显的改善,但与仪器测试标定结果相比仍然不够理想。工作中发现,在提取浊度仪数据 NTU 时,考虑采样器高度是 0.4 m,将采样点的水深数据人为分别减

少0.4、0.8和1.2m后,并根据更改后的水深数据去提取对应的浊度值。减少0.4m后的标定效果明显改善(见图3)。由此初步推测标定效果与内河和河口的垂向流态、竖式采样器适用环境的局限相关。

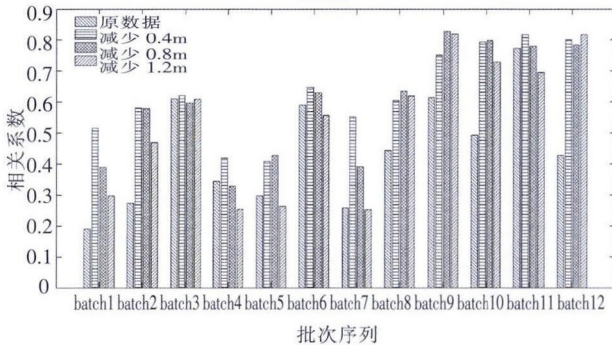


图3 12个批次中层和底层错位处理效果比较图

Fig.3 The dislocation treatment effect comparison of 12 batches of the middle and bottom

4 实验验证

4.1 采样器局限性验证

竖式采样器:由于在抵达预定水深前,操作人员会减慢绞车的下放速度,采样器的通道门因此已提前闭合,导致采集的水样并非目标水深位置的水体。

以常用的有机玻璃竖式采样器为例(下端通道门直径95mm、厚度4.3mm,入水口口径55mm,顶部通道门直径123mm),结合冲击力公式计算可知通道门被水流冲开的速度约为0.23m/s。在深水池做实验,配合搭载深高速水深仪和摄像机,观测数据结果表明,当下降速度 $<0.2\text{m/s}$ 时,水流无法冲开通道门;当下降速度保持在 $0.2\sim 0.4\text{m/s}$ 时,通道门介于不完全打开状态;当下降速度 $>0.4\text{m/s}$ 时,则完全打开。同时发现,竖式采样器在上升过程中,绞车的瞬间减速或者暂停,采样器通道门都会在水流惯性冲击下重新开、闭,导致在采样器上升过程中,其所封闭的水体与外界发生持续的交换。

横式采样器:一般通过绞车读数盘读取水深,在预定层位处下放重锤,击打机械构件,促使采样器闭合,采集对应水深的水样。因浊度仪在线模式需要电缆实时监测水深数据,在水流作用下,电缆常会与绞车缆绳缠绕,致使重锤无法下落,更可能损坏电缆。因此,配套横式采样器进行测量时只能采用自容模式。但即使有足够的铅块等重物压载的情况下,在水深较大、流速较急时,采样器在水流的水平拖电力作用下仍会有较大偏角 θ ,即横式采样器采集到的水体与浊度仪对应水深

的水体不一致。通过三角函数换算可知,采样器采集的水体比预设水位较浅,而后处理浊度值只能依据预设水深读取。图3中将浊度值读取水深点分别减少0.4、0.8和1.2m,标定效果明显改善验证了该推测。

4.2 内河与河口的流态差异

在河口地区,水体的流态垂向分布同时受到径流和涨落潮潮流影响,悬沙时空分布差异较大^[13-14]。以珠江河口内伶仃洋东、西滩为例(见图4),表、中和底层水体悬浮物浓度变化区间差异较大,表层和中层浊度数据变化在10~60 NTU之间,分布状态接近“单峰”,而底层浊度数据变化区间增大至110 NTU,呈明显的“多峰”状态,且底层出现极大值的概率增加,高浊度值的数据所占比例较大。

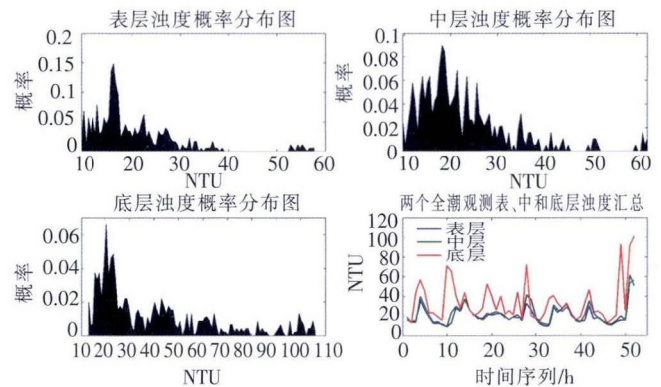


图4 伶仃洋河口定点表、中和底层浊度分布情况

Fig.4 The turbidity in fixed point's surface, middle and bottom in the Lingdingyang estuary

而在内河,由于受潮波影响较小,垂向上流速比较均匀,在正常天气条件,流速和水体含沙量的时空变化区间较小。以伶仃洋入海河流东、西江上游为例,绘制各层的概率分布图(见图5):可知虽然表、中和底

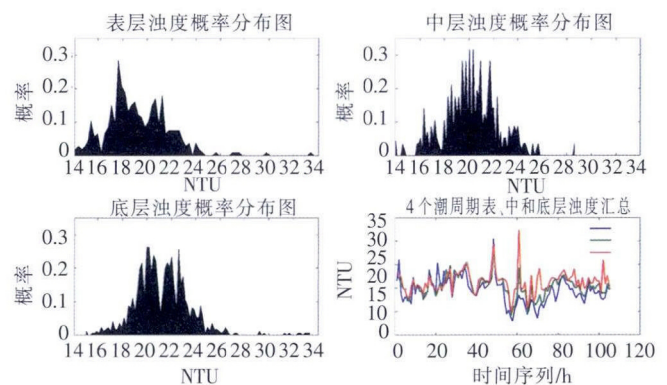


图5 伶仃洋内河定点表、中和底层浊度分布情况

Fig.5 The turbidity in fixed point's surface, middle and bottom in inland river of Lingdingyang

层浓度存在差异,但其浊度数据在一个较窄的区间(10~40 NTU)内变动,且众数均在 20 NTU 左右,垂向上悬浮物浓度分布较为均匀。

因此,在动力条件复杂,浊度垂向分布差异大的河口地区,上述采样器的局限性显得尤为突出,严重影响水样浓度,导致浊度标定的相关性和内河相比明显降低这与多年观测资料所反映的现象一致。

另外,一般认为,对于上下层混合较为均匀的河口,其表、中和底各层的悬浮物浓度相差较小,即垂线分布比较均匀,浊度变化区间较窄。而分析珠江口多年的实测数据发现,实际上水体内部存在大量微结构,以及采水测量过程中其他因素的影响,即使是流态平稳、混合均匀的水体,浊度值也会出现上下波动。标定所用的数据因此分布离散,导致相关系数一般不高(见图 6)。

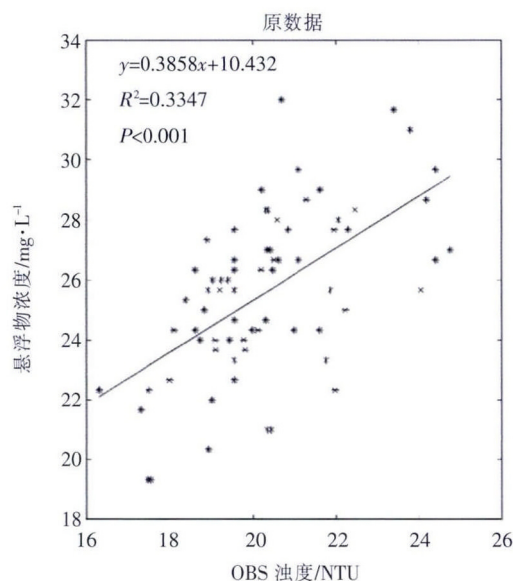


图 6 浊度区间对于 R^2 值的影响

Fig.6 The effect of turbidity interval on R^2

5 结论

综上所述,瞬时式采样器适用环境的局限导致采集水样与浊度仪所测量水体存在偏差,显著影响悬移质浓度标定相关性。采集点无法精确控制或无法完全封闭已经采集的水样,成为影响标定结果的重要原因。对于河口地区,由于受潮汐、径流等的影响,流态较为复杂,悬浮物浓度时空分布紊乱,采样器局限所带来的影响会被明显放大。而在内河地区,浓度时空分布比较均匀,该影响较小。为减少此类影响,建议在进行水样采集时,采用自带水深定位、全自动浊度记录控制的监测采样器,或者使用瞬时式采样器时,注意操作的规范

性,并结合实际情况在后续数据使用时进行相应的校正处理。

参考文献:

- [1] EYSINK W D, VERMAAS H. Computation methods to estimate the sedimentation in dredged channels and harbour basins in estuarine environment [A]. Colombo: International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing[C].1983:1072-1083.
- [2] 邵宇阳,严以新,马平亚,等. 长江口徐六泾河段洪季中水期悬浮泥沙沉降特性[J]. 泥沙研究, 2011,6(3):29-35. (SHAO Yuyang, YAN Yixin, MA Pingya, et al. Settling properties of fine sediment at mean water levels in flood season at Xuliujing station in Changjiang estuary[J]. Journal of Sediment Research, 2011,6(3):29-35. (in Chinese))
- [3] 杨清书,欧素英,谢萍,等. 珠江虎门潮汐水道水体中多环芳烃的分布及季节变化[J]. 海洋学报, 2004,26(6):37-48. (YANG Qingshu, OU Suying, XIE Ping, et al. Distribution and seasonal changes of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface water from Humen tidal channel [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2004,26(6): 37-48. (in Chinese))
- [4] 杨清书,麦碧娴,傅家谟,等. 珠江干流河口水体有机氯农药的时空分布特征[J]. 环境科学, 2004,25(2):150-156. (YANG Qingshu, MAI Bixian, FU Jiamo, et al. Spatial and temporal distribution of Organochlorine Pesticides (OCPs) in surface water from the Pearl River artery estuary [J]. Environmental Science, 2004,25(2):150-156. (in Chinese))
- [5] GB 50159-92, 河流悬移质泥沙测验规范[S]. (GB 50159-92, Code for Measurements of Suspended Sediment in Open Channels [S]. (in Chinese))
- [6] 张坚樑,刘冬雪. OBS-3A 浊度计在钱塘江涌潮观测中的应用研究[J]. 海洋科技学报, 2011,30(2):76-79. (ZHANG Jianliang, LIU Dongxue. Application of OBS-3A Nephelometer in observation of tidal bore in Qiantang River [J]. Ocean Technology, 2011,30(2): 76-79. (in Chinese))
- [7] 张文祥,罗向欣,杨世伦. ADP 与 OBS 观测悬沙浓度实验对比研究[J]. 泥沙研究, 2010,5:59-64. (ZHANG Wenxiang, LUO Xiangxin, YANG Shilun. Comparison between measurements of suspended sediment concentration using ADP and OBS [J]. Journal of Sediment Reseach, 2010,5:59-64. (in Chinese))
- [8] 邓才,竺红阳. OBS-3A 浊度仪在含沙量测验中的应用分析[J]. 水利水电快报, 2016,37(7):4-7. (DEND Cai, ZHU Hongyang. Application of OBS-3A turbidimeter in the test of sediment content [J]. EWRHL, 2016,37(7):4-7. (in Chinese))
- [9] 张文祥,杨世伦.OBS 浊度标定与悬沙浓度误差分析[J]. 海洋技术, 2008,27(4):5-8. (ZHANG Wenxiang, YANG Shilun. Turbidity calibration of OBS and errors analysis of suspended sediment concentration [J]. Ocean Technology, 2008,27(4):5-8. (in Chinese))
- [10] 魏晓,汪亚平. 浅海悬沙浓度观测方法的对比研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2013,33(1):161-170. (WEI Xiao, WANG Yaping. Suspended sediment concentrations in shallow sea: comparative

- study of methods [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2013,33(1):161–170. (in Chinese))
- [11] 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 Yuanzhong, HE Qing, WANG Yuanye. The method and application of OBS in the measurement of sediment concentration [J]. *Journal of Sediment Research*, 2004, (4):56–60. (in Chinese))
- [12] 林振镇,贾良文,杨日魁. 现场抽滤法在悬浮物浊度分析中的应用探讨 [J]. *水文*, 2017,(1):1–7. (LIN Zhenzhen, JIA Liangwen, YANG Rikui. The advantages of on-site membrane filtration method in the analysis of suspended matter turbidity [J]. *Journal of China Hydrology*, 2017,(1):48–53. (in Chinese))
- [13] 刘咪咪. 东海悬沙浓度垂向分布规律研究 [D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2008. (LIU Mimi. A Study on Vertical Distribution's Rule of Suspended Sediment Concentration in the East China Seas [D]. Qingdao: The Institute of Oceanology, Chinese Academy of Science, 2008.(in Chinese))
- [14] 刘建华. 长江口门附近海域悬沙时空变化和输运研究—以崇明岛东滩附件海域为例[D]. 上海: 华东师范大学, 2014. (LIU Jianhua. The Study of the Temporal and Spatial Variation and Transport of Suspended Sediment in Nearshore Water Area of Yangtze Estuary –A Case Study from Nearshore Waters off Eastern Chongming Island [D]. Shanghai: East China Normal University, 2014. (in Chinese))

Study on Correlation of Suspended Sediment Concentration

LIN Zhenzhen^{1,2}, CHEN Yunzheng¹, YANG Rikui¹, JIA Liangwen¹

(1. School of Marine Sciences of Sun Yat-sen University, Guangdong Guangzhou 510275, China;

2. Research Center for Geotechnical Engineering and Information Technology, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong 510275, China)

Abstract: Based on the analysis of a large number of data, where the suspended sediment concentration was taken as the research object, it was found that the limits of that the two kinds of the common instantaneous samplers, including the acquisition point, could not be accurately controlled and the samples could not be completely sealed. The limits are the key factors that leads to the low correlation coefficient between the turbidity value measured by the turbidity meter and concentration of the on-site collected water. In the complex flow region, the influence of the traditional instantaneous sampler's limits could be significantly enlarged. It is suggested that the precision of the instrument and calibration sample should be paid attention to when the samples are collected and processed.

Key words: instantaneous sampler; suspended sediment concentration; turbidimeter; regression calibration

(上接第 27 页)

Quantitative Identification of Major Factors Affecting Groundwater Change in Beijing–Tianjin–Hebei Plain

LI Xue^{1,2}, YE Siyuan^{1,2}, SONG Fan³, ZHOU Pengpeng⁴

(1. Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China; 2. Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China; 3. Information Center(Hydrology Monitor and Forecast Center), MWR, Beijing 100053, China;

4. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: The groundwater table in the Beijing–Tianjin–Hebei Plain has declined continuously since 1960, which has restricted the integration of development in this region. In the present study, the climatic and anthropogenic factors were represented by natural, economic, social indicators including precipitation, temperature, evaporation, gross value of industrial output, food production, population and surface runoff. The change trend of these indicators in the past 50 years were analyzed using M–K method. Moreover, the major factors that have contributed to groundwater table change were quantitatively identified using grey system theory and principal component regression analysis. The results show that the precipitation and surface runoff decreased due to reservoirs construction in the piedmont have declining trends while temperature, evaporation, industrial output, food production, population all have increasing trends. Furthermore, human activities should be considered as the primary force driving the groundwater table down with contribution ratio reaching as high as 60.6%, climate change enhanced the declining trend with 39.4% of the contribution ratio.

Key words: Beijing–Tianjin–Hebei Plain; M–K method; grey relational analysis; principal component regression; change of groundwater table