



长江下游通州沙河段洪枯季水沙特性观测分析*

王钟寅, 曹杰, 程晨, 王元叶, 李为华

(上海河口海岸科学研究中心, 河口海岸交通行业重点实验室, 上海 201201)

摘要: 为增进对长江下游通州沙河段暗沙、浅滩滩面水沙特性及近底泥沙运移现状的认识, 首次在该河段引入坐底式综合观测系统, 通过各型自动水沙观测仪器获取通州沙河段洲滩及主槽的洪枯季近底层水沙运动过程并展开分析。实测数据表明: 该河段落潮水动力>涨潮; 涨潮动力深槽 \geq 高滩>低滩, 落潮动力深槽 \geq 低滩>高滩, 大潮>中潮>小潮; 水流旋转性则表现为低滩>高滩>深槽; 且水动力与潮差间有较好的线性相关关系, 相关系数基本均大于0.9; 近底悬沙含沙量表现为落潮>涨潮, 大潮>中潮>小潮, 深槽>低滩>高滩, 洪季为枯季的1.5~2倍, 该河段枯季期间近底悬沙含沙量与水动力因子 $v^2/(gh)$ 的线性相关系数为0.5左右, 洪季在0.6~0.7, 据此建立的输沙能力公式可用于该河段浅滩及深槽的近底层悬沙输沙能力推算。

关键词: 12.5 m深水航道; 通州沙河段; 洪枯季; 水沙特性

中图分类号: TV 148

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)11-0070-06

Measurement and analysis of water and sediment characteristics during flood and dry seasons of Tongzhousha reach of the Yangtze River

WANG Zhong-yin, CAO Jie, CHENG Chen, WANG Yuan-ye, LI Wei-hua

(Key Laboratory of Estuarine & Coastal Engineering, Ministry of Transport, Shanghai Estuarine and Coastal Science Research Center, Shanghai 201201, China)

Abstract: It is the first time that the bottom tripod survey system is deployed in Tongzhousha reach of the Yangtze River for the purpose of studying the existing water and sediment characteristics and near bottom sediment transportation conditions during flood and dry seasons of this reach. The field data shows that the distribution of velocity is ebb tide > flood tide, deep channel \geq high shoal > low shoal during flood tide, deep channel \geq low shoal > high shoal during the ebb tide and spring tide > middle tide > neap tide. There is a good linear correlation between the mean velocity of flood or ebb tide and tide range with the correlation coefficient above 0.9. The distribution of SSC near bottom is ebb tide > flood tide, deep channel > low shoal > high shoal and spring tide > middle tide > neap tide. SSC during the flood season is about 1~1.5 times bigger than that during the dry season. The correlation coefficient between near bottom SSC and dimensionless coefficient $v^2/(gh)$ is about 0.5 during the dry season and about 0.6~0.7 during the flood season, a series of formula based on this correlation can be used to estimate the near bed sediment transport capacity of the Tongzhousha reach.

Key words: 12.5 m deep water channel; Tongzhousha reach; flood and dry season; water and sediment characteristics

长江口12.5 m深水航道三期工程竣工并开通运行后, 长江太仓以下河段实现了5万吨级船舶全

潮通航及10万t以上船舶乘潮、减载通航, 航运的通畅与便捷为沿岸地区的经济发展提供了蓬勃的

收稿日期: 2013-08-25

*基金项目: 交通运输部科技项目(2011-329-A06-130)

作者简介: 王钟寅(1986—), 男, 硕士, 主要从事河口海岸水动力学、现场水文泥沙观测研究。

动力。为满足长三角地区的生产力发展要求, 全面实现《长江三角洲地区区域规划》, 交通运输部和江苏省决定联合组织实施长江南京以下12.5 m深水航道建设工程, 拟分为3个阶段开展实施^[1]。其中一期工程位于长江太仓—南通河段, 该河段同时受径潮流作用, 区域内分布有通州沙、狼山沙、新开沙、白茆沙等多个沙体, 是长江南京以下河段的重要碍航区段。

本研究首次在长江下游河段引入坐底式综合观测系统, 通过各型自动水沙观测仪器获取通州沙河段洲滩及主槽的洪枯季近底层水沙运动过程, 实测资料的分析有助于增进对这一河段暗沙、浅滩滩面水沙特性及近底泥沙运移现状的认识, 对工程方案的设计、优化及施工组织设计具有重要的借鉴意义。

1 现场观测实施

1.1 观测站点及时间

本研究在通州沙河段共布置3套坐底式观测系统, 其中ZT1位于一期工程拟建通州沙整治工程头部附近的高滩, ZT3位于狼山沙沙头左沿、通州沙东水道至中水道入口处, ZT4位于通州沙东水道主槽及新开沙之间的深槽段, 以3个站点的观测数据分别表征工程段高滩、低滩及深槽的水沙条件(图1)。现场观测分洪枯季开展, 每次观测均从大潮开始连续观测至小潮, 其中枯季观测于2012年

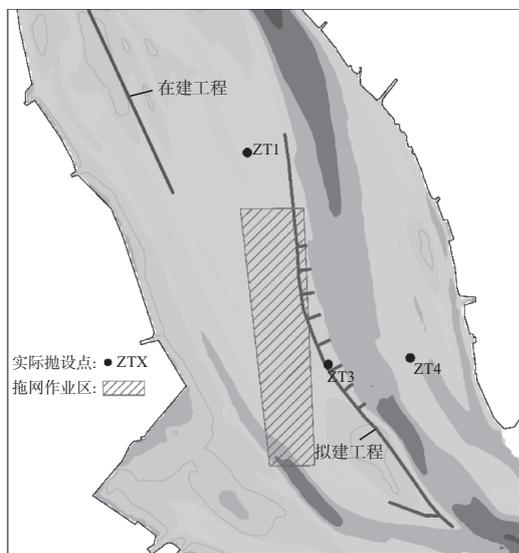


图1 观测站点概况

3月8日—17日期间实施, 洪季观测于2012年9月2日—10日期间实施。

1.2 观测手段

为适应现场观测需要, 本研究采用坐底式观测系统开展。坐底观测系统为一套集成了水流、泥沙、温盐深等仪器的综合观测系统(图2), 观测期间抛设于水底、无需人工干预, 可实现不同水深条件下的连续自动观测, 无论观测精度或观测数据的时空分辨率均明显优于传统船载式水文测量, 现已广泛应用于河口、沿海地区的全水深水文观测及近底边界层观测研究^[2-3]。

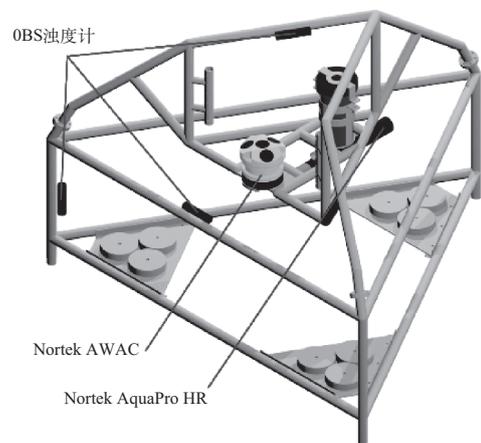


图2 坐底观测系统示意图

观测系统架体统一采用不锈钢建造以防止干扰测流仪器内的罗盘, 同时在架体底部设置不锈钢底板及配重铅块, 从而增加架体的稳定性。系统采用声学多普勒流速仪观测水流, 具体为: 采用Nortek AWAC 1 MHz观测坐底系统三脚架上部水流剖面, 观测单元分层厚度为0.5m; 采用Nortek AquaPro HR 2 MHz观测坐底系统三脚架下部近底高分辨率水流剖面, 单元分层厚度为0.01~0.02 m。并采用OBS3+或OBS5+光学浊度计观测近底区域分层含沙量, 具体测点位置为: 各站点床面以上0.25, 0.5, 1.2 m处。同时, 由各仪器内置三轴姿态感应器及压力感应器测量坐底系统稳定性及水深过程。各数据采样间隔设为2 min。

2 洪枯季水流特性

2.1 流速数据整编

现场各站点全水深水流观测由观测上部水体

的Nortek AWAC及观测下部水体的Nortek AquaPro HR同步观测得到。由于声学测流仪器存在一定的近场盲区，故床面以上0.6~1.4 m存在一个高度约0.8 m的测量盲区，同时水面附近由于介质界面效应亦存在0.5~1.0 m的测量盲区（图3左侧）；尽管如此，坐底系统测量流速的盲区亦明显优于船载声学多普勒剖面流速仪（ADCP）测量时存在的上下各1.5~2.0 m盲区，且实测流速垂向分辨率优于船载ADCP及传统6点法流速计测量（图3右侧），使用坐底系统还可获得较长时段内高时间分辨率的水流数据^[4]，综合优势明显。

流速整编中首先需将两台仪器观测数据拼合并补全盲区数据，补全方法主要为：使用线性内插法补全床面以上0.6~1.4 m区域的测量盲区，并使用最靠近水面的实测流速补全表面盲区（图3）。得到补全的全水深流速数据后，根据需要整编为6点法数据或其他分层方式的流速成果。

2.2 水流特征

为比较洪、枯季水动力异同，结合农历日期

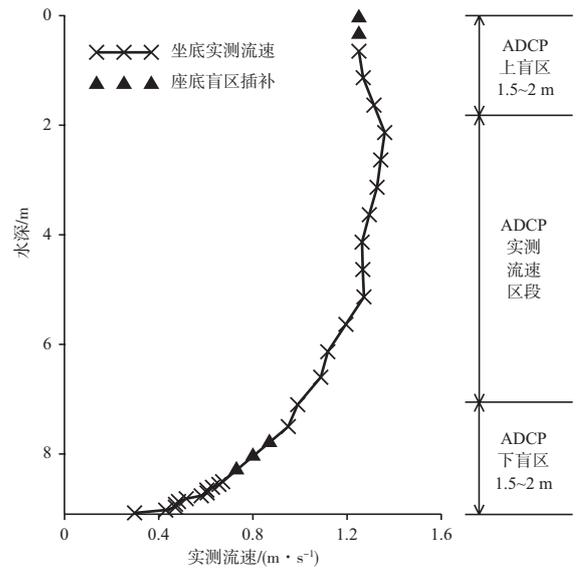


图3 坐底系统实测流速剖面与船载ADCP实测区段比较

对应并利用长江口地区不规则半日潮的特性，根据潮差过程将洪、枯季垂线平均流速过程准确对应。数据表明各站水流特征存在以下的共性规律（图4）：

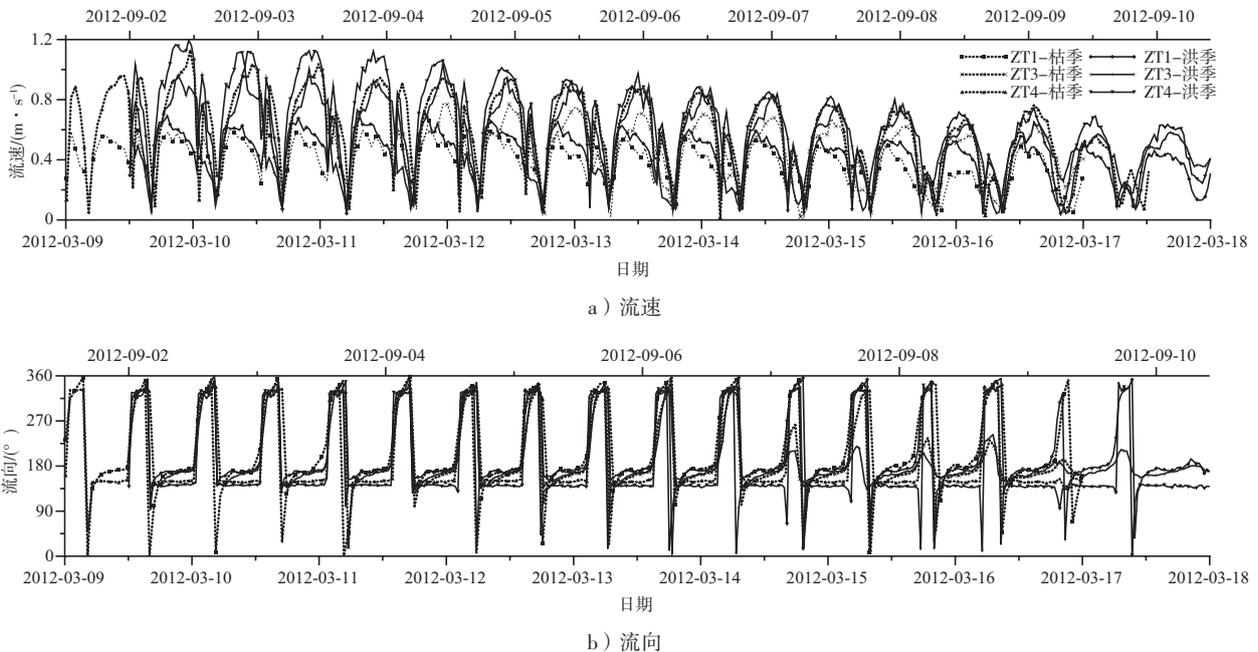


图4 各站垂线平均流速流向比较

1) 水流动力时间分布方面。除ZT1站点大潮期间涨潮动力大于落潮外，各站涨潮动力均明显弱于落潮，总体来说该河段主要受落潮动力控制；从大潮至小潮过程中由于潮流动力减弱，各站水动力特别是涨潮动力呈现明显下降趋势，即

水动力：大潮>中潮>小潮。

2) 水流动力空间分布方面。水深较深的站点水动力总体上强于水深较浅的站点，涨潮时段ZT1和ZT4动力较为接近，且大于ZT3站点，即涨潮动力：深槽≥高滩>低滩；落潮时段ZT4大于或与

ZT3动力相当、ZT1动力最弱, 即落潮动力, 深槽 \geq 低滩 $>$ 高滩。

3) 水流流态方面。ZT1和ZT3位于较浅的高滩、低滩水域, 受水流漫滩的影响其平面流态均为具有一定的旋转流特性的往复流; ZT4位于较深的深槽水域, 其流动受主流影响, 平面流态呈明显的往复流特性, 旋转性质不明显, 即各站水流

旋转性: 低滩 $>$ 高滩 $>$ 深槽。

2.3 水动力与潮差、径流量关系

统计各站洪枯季、涨落潮期的潮平均流速及其对应的潮差大小, 分别点绘成图并进行线性拟合, 数据表明研究区域内水动力与潮差呈现良好的线性相关关系, 各拟合方程的相关系数 R 基本大于 0.9 (表 1)。

表 1 各站水动力与潮差相关性

站号	枯季	洪季
ZT1涨潮	$v_m=0.128 6 \Delta T+0.015 4, R=0.966 3$	$v_m=0.157 1 \Delta T-0.000 7, R=0.969 1$
ZT1落潮	$v_m=0.103 1 \Delta T+0.168 9, R=0.952 1$	$v_m=0.089 3 \Delta T+0.265 7, R=0.962 6$
ZT3涨潮	$v_m=0.260 4 \Delta T-0.331 1, R=0.976 6$	$v_m=0.247 4 \Delta T-0.424 4, R=0.976 3$
ZT3落潮	$v_m=0.106 4 \Delta T+0.295 3, R=0.911 8$	$v_m=0.095 2 \Delta T+0.415 0, R=0.799 9$
ZT4涨潮	$v_m=0.299 8 \Delta T-0.234 4, R=0.970 9$	$v_m=0.252 5 \Delta T-0.182 6, R=0.993 2$
ZT4落潮	$v_m=0.191 4 \Delta T+0.243 1, R=0.981 8$	$v_m=0.234 3 \Delta T+0.170 0, R=0.979 7$

注: v_m 为涨潮或落潮平均流速, ΔT 为潮差。

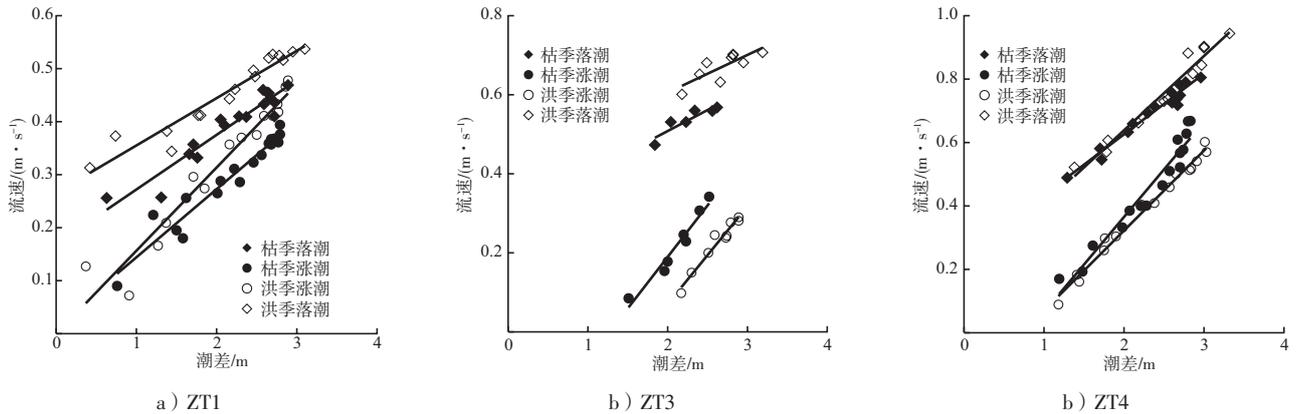


图 5 各站潮差与流速相关性

通过一系列数据可得到以下几点认识:

1) 前文已述各站落潮动力普遍大于涨潮, 这一性质在水动力与潮差的关系中亦有体现, 即各站同一时期内的潮差-落潮数据点均位于潮差-涨潮数据点以上 (图 5)。

2) 受洪季径流流量增大的影响, 滩面各站洪季潮差-落潮数据均高于枯季数据, 即同样潮差条件下, 径流量越大则落潮动力越强; 滩面站点的洪枯季潮差-涨潮关系亦存在一定差异, 但无明显的规律性。另一方面, 深槽站点潮差-落潮、潮差-涨潮的差异并不明显。

3 洪枯季近底层泥沙特性

3.1 含沙量数据整编

现场观测采用 OBS 光学浊度计开展含沙量观测。该型仪器观测数据实际为水体浊度信息, 需要利用浊度与含沙量率定关系反算含沙量, 故需利用现场悬沙样品开展室内率定试验。考虑到该型仪器的浊度与含沙量率定关系受现场泥沙性状 (主要为粒径、矿物成分等) 影响较大^[5-6], 观测期间同步采集现场水样及对应的浊度值从而得到现场率定关系, 以校核室内率定的成果 (图 6)。实测资料表明室内率定成果较为可靠, 利用该成

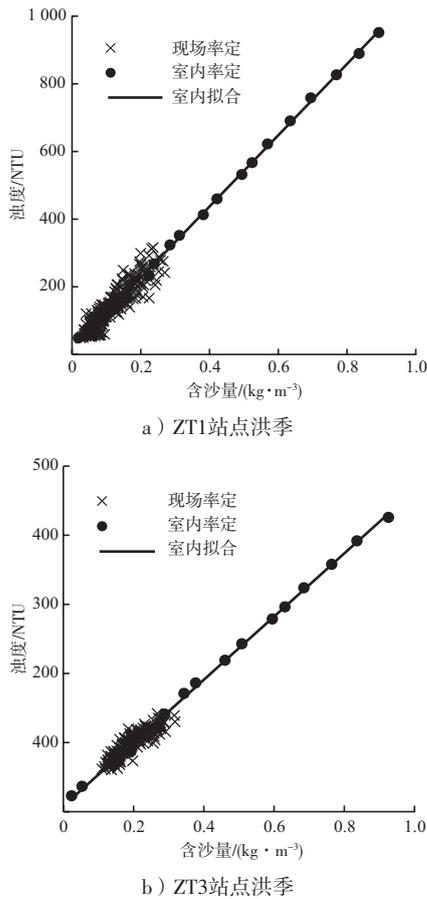


图6 OBS室内、现场率定成果

果计算各站点OBS浊度计实测含沙量数据，并根据需要整编为6点法数据或其他分层方式的含沙量成果。

3.2 近底层悬移质泥沙特性

与水流数据类似地，将洪枯季近底区域（床面以上1.2 m范围内）平均含沙量过程绘制成图（图7），可见研究区域各站点洪枯季近底层泥沙时间分布与水动力分布特性较为一致，即各站落潮含沙量>涨潮含沙量，大潮含沙量>中潮含沙量>小潮含沙量；而空间分布总体表现为深槽（ZT4）含沙量>低滩（ZT3）含沙量>高滩（ZT1）含沙量，与落潮动力分布情况类似。由于洪季河段水动力的增强，各站洪季近底区域的水体悬沙浓度均有明显的增大，量级从0.1~0.15 kg/m³增至0.2~0.45 kg/m³，增幅在1.5~2倍。

3.3 近底层悬移质输沙能力

国内外的悬移质泥沙输沙能力研究中，常使用现场观测数据建立研究区域近地层悬移质含沙量S与无因次水动力因子v²/(gh)的线性关系，即可得到反映该河段的悬移质泥沙输沙能力公式^[7]：

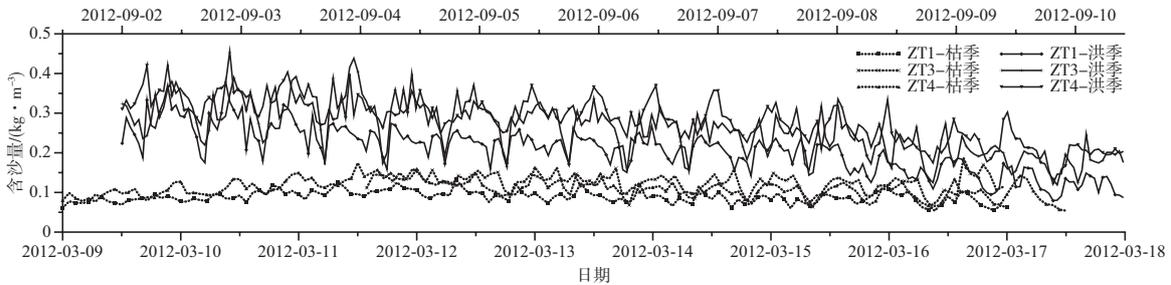


图7 各站近底层平均含沙量比较

$$S=Av^2/(gh)+B \quad (1)$$

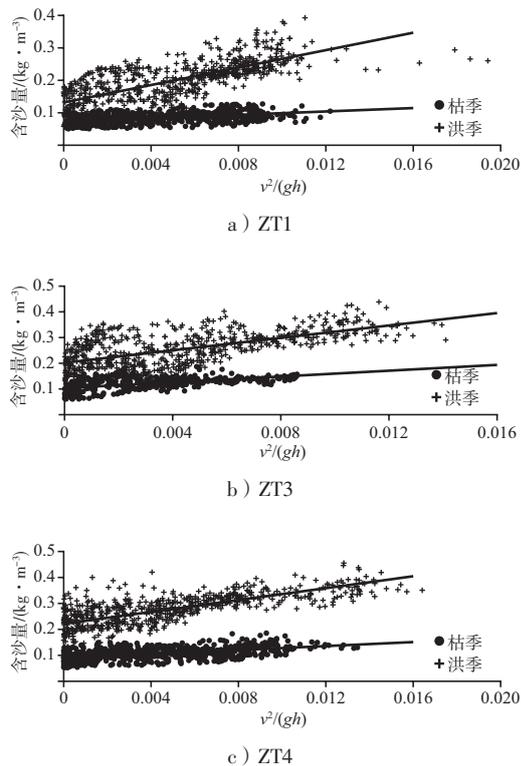
式中的系数A,B利用实测数据进行回归分析得到。

根据现场实测数据得到本研究河段各代表站点的洪枯季悬移质泥沙输沙能力（表2,图7），可见各站洪枯季公式的系数明显不同，洪季期间公式斜率及截距（截距可认为是水体的背景含沙

量）均大于枯季，此现象同样表明在水动力相同的条件下洪季含沙量会明显高于枯季。另一方面，枯季期间回归公式的相关系数为0.5左右，洪季期间的相关性好于枯季，相关系数在0.6~0.7，总体来说回归公式具有一定的可信度，可用于该河段浅滩及深槽的输沙能力推算。

表2 各站水动力与含沙量相关性

站号	枯季	洪季
ZT1	$S=2.6227v^2/(gh)+0.0726, R=0.4617$	$S=13.4349v^2/(gh)+0.1318, R=0.7261$
ZT3	$S=5.6490v^2/(gh)+0.1032, R=0.5361$	$S=12.0833v^2/(gh)+0.2020, R=0.6165$
ZT4	$S=3.8429v^2/(gh)+0.0895, R=0.5112$	$S=11.4437v^2/(gh)+0.2214, R=0.7257$

图7 各站近底含沙量及 $v^2/(gh)$ 的关系

4 结语

本研究采用现代化仪器和科学的坐底观测方案, 观测得到了长江下游通州沙河段暗沙、浅滩及深槽位置的洪枯季水沙等实测资料。通过计算、分析, 得到了以下几点结论:

1) 本研究中采用的坐底观测方案克服了传统水文测量手段的种种不足, 首次获得了研究区域滩槽河床枯季、洪季高时、空分辨率的近底水流、泥沙等定量数据成果, 填补了该区域的观测空白, 为工程设计优化、建设施工提供了重要支撑。

2) 研究河段水动力分布情况表现为落潮>涨潮; 涨潮动力深槽 \geq 高滩>低滩; 落潮动力深槽 \geq 低滩>高滩, 大潮>中潮>小潮; 水流旋转性则表现为低滩>高滩>深槽。分析表明各站水动力与潮

差呈现良好的线性相关关系, 各拟合方程的相关系数 R 基本大于0.9; 该关系曲线表明浅滩位置受径流影响洪季落潮动力大于枯季, 但涨潮动力洪枯季差异无明显规律性, 而深槽洪枯季涨潮、落潮动力的差异不明显。

3) 各站近底层泥沙分布规律与水动力分布特性较为一致, 即近底含沙量落潮>涨潮, 大潮>中潮>小潮, 深槽>低滩>高滩。由于洪季水动力的增强, 各站洪季近底悬沙浓度明显增大, 量级从 $0.1 \sim 0.15 \text{ kg/m}^3$ 增至 $0.2 \sim 0.45 \text{ kg/m}^3$, 增幅在1.5~2倍。各站输沙能力分析表明, 枯季期间水动力因子与近底悬沙浓度的相关系数为0.5左右, 洪季在0.6~0.7, 该回归公式具有一定的可信度, 可用于该河段浅滩及深槽的输沙能力推算。

参考文献:

- [1] 肖大选. 长江南京以下12.5 m深水航道建设工程暨一期工程简介[J]. 水运工程, 2012(11): 1-4.
- [2] 王元叶, 何青, 刘红. 长江口浑浊带近底泥沙浓度变化[J]. 泥沙研究, 2009(6): 6-13.
- [3] Cacchione D A, Sternberg R W, Ogston A S. Bottom instrumented tripods: History, applications, and impacts[J]. Continental Shelf Research, 2006, 26(17-18): 2 319-2 334.
- [4] 徐俊杰, 何青, 王元叶. 底边界层水沙观测系统和应用[J]. 海洋工程, 2009(1): 55-61.
- [5] 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.
- [6] 刘杰, 纪为刚, 王元叶, 等. 长江口北槽表层悬沙粒径变化及其对OBS标定的影响[J]. 水利水运工程学报, 2010(3): 84-88.
- [7] 陈珺, 嵇敏, 张洪记, 等. 甬江洪枯季水沙特性分析[J]. 水利水运工程学报, 2012(5): 48-49.

(本文编辑 武亚庆)