

· 优秀论文三等奖 ·



长江口深水航道治理工程疏浚土扩散研究

冯 俊

(交通运输部长江口航道管理局, 上海200002)

摘要: 长江口深水航道治理三期工程疏浚工程建设过程中, 组织6艘装备ADCP的水文测验船, 在国内首次采用多固定断面法对耙吸作业过程的溢流疏浚土及北槽内贮泥坑、抛泥区涨落潮抛泥过程中的疏浚土扩散情况进行了观测。首次在长江口成功获取了水体中疏浚土扩散场的实测资料, 深化了对长江口疏浚土扩散特性的认识, 在此基础上, 改进了疏浚溢流和疏浚土处理的时间控制措施。

关键词: 长江口; 疏浚土; 扩散

中图分类号: TV 856

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972 (2013) S1-0092-06

Diffusion extension of dredging material in the improvement project of Deep-water Channel of the Yangtze estuary

FEN Jun

(Yangtze Estuary Waterway Administration Bureau, MOT, Shanghai 200002, China)

Abstract: During the construction of the third stage of Improvement Project of Deep-water Channel of the Yangtze estuary, 6 ADCP hydrologic survey vessels were arranged to measure the diffusion condition of the suspended sediment via fixed synchronous cross section measurements, which was carried out in China for the first time. The result of suspended sediment diffusion field was observed when the dredged sediment was overflowed during dredging in channel and deposited in the disposal area in the north passage of the Yangtze Estuary during the tidal fluctuation period. According to that, the optimized construction method was improved.

Key words: the Yangtze Estuary; dredging material; diffusion extension

长江口深水航道治理三期工程开工后, 航道年回淤量和回淤强度的沿程分布有了明显的变化。主要表现为回淤量大、回淤分布集中。对此, 长江口航道管理局于2006年底开始组织有关研究单位开展回淤原因分析。在研究中发现, 原有的疏浚抛泥施工工艺和疏浚溢流工艺不尽合理, 需要改进和完善以提高疏浚施工效率和航道增深效果。为此提出了抛泥时间控制、耙吸船溢流时间控制等工艺优化措施, 并于2008年1月8日起陆续开始实施。

为了了解工艺优化措施实施的效果, 掌握疏浚

溢流和抛泥作业过程中泥沙扩散的强度和范围, 了解泥沙扩散的时空变化, 并分析其对航道回淤的影响, 长江口航道管理局于2008年9月12日—20日, 组织了6条安装有ADCP、OBS、Lisst-100X等多种测验设备的水文测验船, 对3个重点淤积区段(H-I, K-L, N-O)的疏浚装舱、表底溢流以及3[#]贮泥坑、10[#]抛泥区抛泥期间的泥沙场的扩散进行了一系列的跟踪监测。文章主要介绍运用ADCP进行疏浚土扩散观测的方法, 给出了主要的观测结果。

收稿日期: 2010-08-04

作者简介: 冯俊(1957—), 男, 高级工程师, 从事航道工程管理工作。

1 声学方法测沙简介

文章所称的“ADCP测沙”或“声学方法测沙”，指通过率定，将ADCP测流中包含的声反向散射信号（Acoustic BackScatter，简称ABS）转换成水体悬移质含量。数据处理采用了荷兰Aqua Vision公司开发的ViSea DAS程序，该程序的PDT（Plume Detection Toolbox）模块，综合考虑了仪器参数、现场温度、盐度、水深、颗粒级配以及标准化转换等。

1.1 基本原理

ADCP（Acoustic Doppler Current Profiler）是根据声波的多普勒效应制造的，用于水流流速测量的专业仪器设备，通过发射固定频率的声波，同时接受水的后向散射信号，根据声学多普勒效应计算水体的流速（图1）。由于产生散射的主要是水体中的悬浮颗粒，其记录的回声强度信息还可反演悬浮物浓度。ADCP测量悬沙浓度（简称ADCP测沙）实际上正是利用ADCP测流得到的声学反射信号，通过率定，将其转换为水体悬沙浓度信息。与传统悬沙浓度的测量方法（现场采集水样和依据光学原理的浊度计测量）相比，ADCP测沙不需要采样，不干扰流场，具有较高的时空分辨率，可以实时、连续观测，获得悬沙浓度剖面的时间序列，故近年来得到迅猛发展。

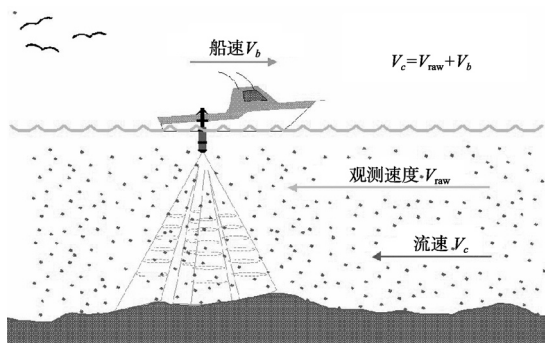


图1 ADCP测流原理

1.2 疏浚土扩散观测方法

国外应用ADCP进行疏浚土泥沙场扩散观测比较早，比较有代表性的是Douglas Clarke^[1]等利用ADCP对加利福尼亚州雷德伍德河清淤产生的悬移质羽状流的现象进行了研究，通过不同的观测断面，如“Z”字型、“尾随跟踪”以及“横

断面”等，对疏浚清淤过程进行监测。

上述利用ADCP测沙技术对疏浚土扩散观测的实践一般多采用单一固定断面法和“Z”字形法。单一固定断面法采用观测断面固定，泥沙源移动的方式进行观测。“Z”字形法采用观测断面和疏浚船都移动的方式进行，观测断面移动的速度较疏浚船大许多，所以可以理解为观测断面移动，泥沙源静止的观测方式。

本研究采用多固定断面法进行。即在一个研究区域内布设多个固定断面，每个固定断面上都布置观测船同步进行走航观测。这种创新的观测方法既可研究不同时刻通过单一固定断面的泥沙浓度变化，还可以得到同一时刻不同固定断面上的泥沙浓度，即可得到同步的泥沙浓度空间分布，可以更加直观地提供抛泥后泥沙的扩散过程和扩散范围，这是单一固定断面和“Z”字形法不能做到的。

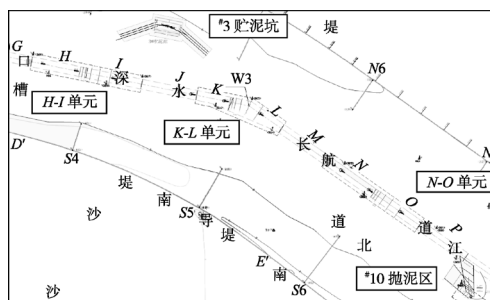


图2 现场测验区域

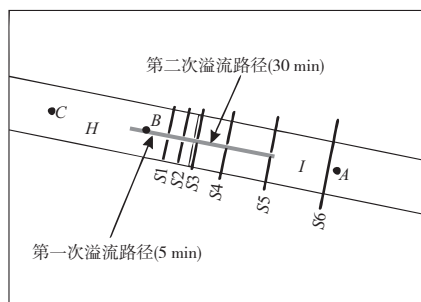
2 现场试验

本项研究的现场测验区域见图2。

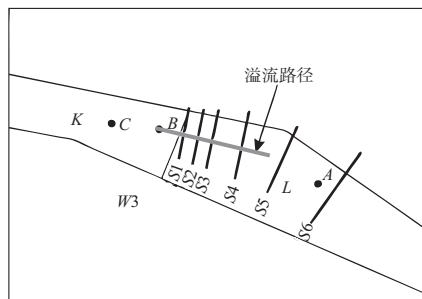
2.1 溢流疏浚土扩散观测

疏浚溢流泥沙扩散观测时间为2008年9月，在航道内安排了H-I单元、K-L单元和N-O单元3个观测区段（图2），主要观测内容为：1）无疏浚作业时的泥沙浓度背景场观测；2）疏浚船只航行不挖泥（螺旋桨转动）情况下的泥沙浓度的观测，目的是分析气泡对ADCP测量泥沙浓度的影响；3）疏浚装舱（不溢流）过程中的航道内泥沙浓度变化；4）溢流疏浚作业过程中的泥沙浓度变化。在溢流观测时，分点源（溢流5 min）和线源（连续溢流30 min）进行了观测。溢流疏浚土扩散观测断面布置见图3。其中在H-I单元还研究了上部溢流和底部溢流的差别，分别采用

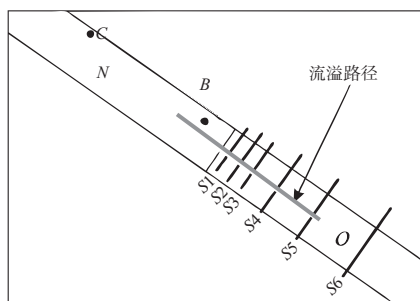
新海鲸轮（溢流口在船舷吃水线附近，称为上部溢流）和新海龙轮（溢流口在船底，称为底部溢流）两条疏浚船进行了观测。两船的平均船载量分别为 $4\,500\text{ m}^3$ 和 $6\,000\text{ m}^3$ 。



a) H-I单元



b) K-L单元



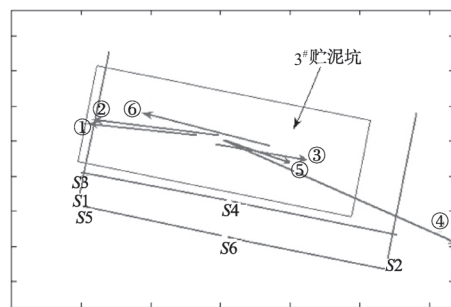
c) N-O单元

图3 溢流疏浚土扩散观测断面布置

图中A点为疏浚船不装舱航行的起点，行至B点开始进行疏浚装舱过程的观测，C点为疏浚装舱结束点。纵向线为耙吸船溢流路径，下游侧（图右侧）为起始点；其中HI单元开展了2次溢流观测，起始点分别靠近S2和S5断面。

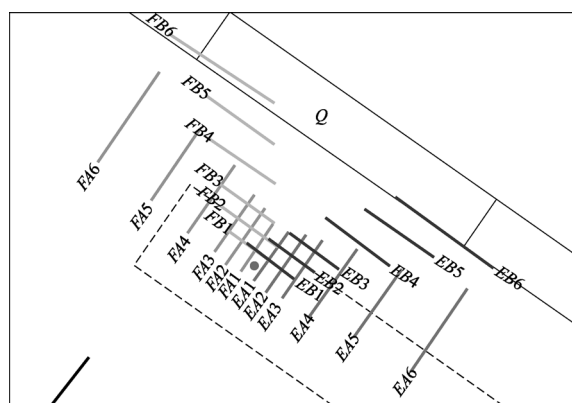
2.2 抛泥区抛泥扩散观测

疏浚抛泥现场观测区域为3#贮泥坑和10#抛泥区（图2），观测断面布置见图4和图5，2008年9月17日进行了10#抛泥区涨潮和落潮过程抛泥试验，9月18日进行了3#贮泥坑抛泥试验。



注：①~⑥分别表示第一次到第六次的抛泥路径，箭头方向为抛泥船的行駛方向。S1~S6断面为6个ADCP观测断面。

图4 3#贮泥坑抛泥扩散观测断面布置



注：FA和FB分别为涨潮时垂直及平行于航道走向的观测断面，EA和EB分别为落潮时垂直及平行于航道走向的观测断面。

图5 10#贮抛泥区抛泥扩散观测断面布置

3 观测成果

在疏浚溢流或疏浚抛泥过程中，固定测验断面上将会观测到和疏浚前背景浓度场不同的泥沙浓度分布情况。可以根据不同断面、不同时刻获得的浓度分布情况了解疏浚过程中的泥沙扩散情况。

3.1 溢流疏浚土扩散观测成果

图6是H-I单元疏浚施工上部溢流过程中，S1断面观测到的剖面浓度变化过程。图7是同一区段底部溢流过程中，观测到的剖面浓度变化过程。从图6和7可以清晰地看出溢流疏浚后的浓度分布和溢流前的差异。

表底溢流观测结果表明，底部溢流产生的溢流泥沙浓度（最大 16.33 g/L ），远大于上部溢流泥沙浓度（最大 5.57 g/L ），3次表层疏浚溢流试验过程中的水体表面平均流速为 $1.60\sim 1.82\text{ m/s}$ ，底层疏浚溢流试验过程中的船底溢流口高程水体平均流速为 0.66 m/s ，远小于水体表面的流速。但观测到的底部溢流泥沙输移影响范围为 $980\sim 1\,180\text{ m}$ ，也

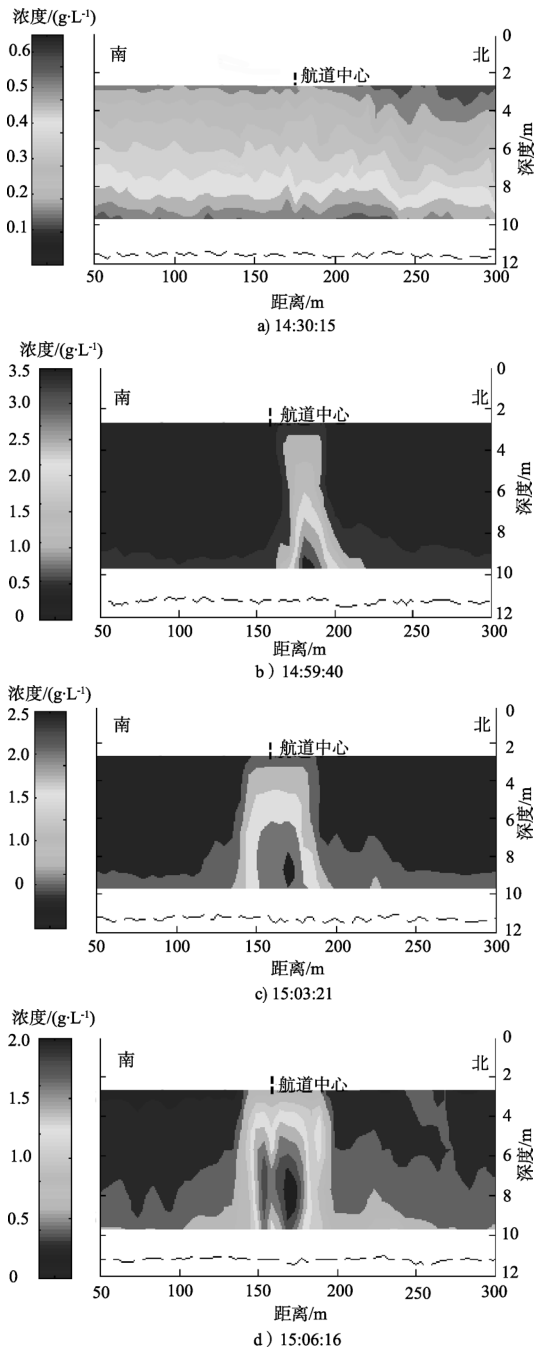


图6 H-I单元上部溢流疏浚S1断面泥沙浓度变化过程

超过上部溢流疏浚土的扩散范围500~900 m。综合分析可知,影响溢流泥沙扩散范围的一个主要因素是水流速度大小,水流速度越大,泥沙扩散混合越快,溢流泥沙影响的范围也越小,反之亦然。

从不同区域试验结果可知,不同区段无论表、底溢流,疏浚土的纵向(航道轴线方向)扩散范围与H-I区段相仿,均在500~1 180 m,运移距离很有限;两种溢流工况下的横向扩散范围

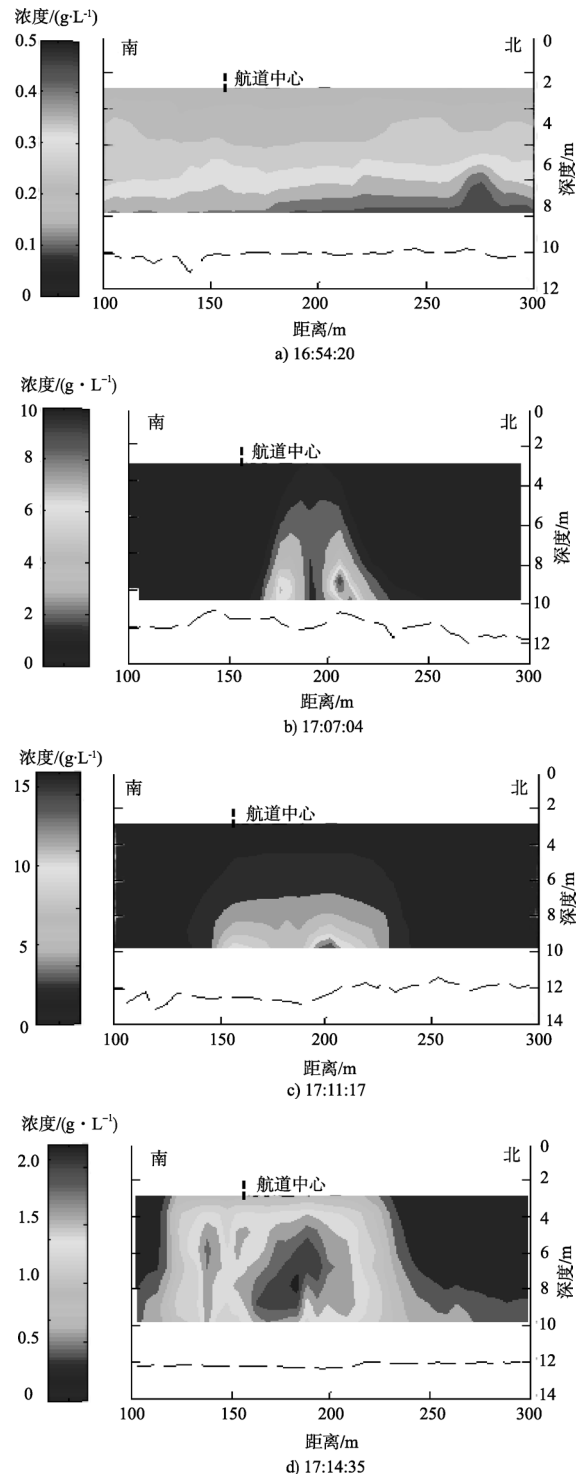


图7 H-I单元底部溢流疏浚S1断面泥沙浓度变化过程

也基本在100~150 m。与航道全长92 km及宽度350~400 m相比,泥沙扩散影响范围较小,难以达到通过溢流、籍北槽的落潮水流带走一部分疏浚土,以增大成槽效果的目的。通过现场实测得到的这一认识,在长江口的疏浚工艺制订的思路上一是一重要的突破。

3.2 贮泥坑抛泥扩散观测成果

3[#]贮泥坑涨落潮期间的抛泥试验结果表明,在流速为0.2~0.3 m/s时,S4断面观测到了明显的泥沙扩散过程(图8),扩散范围约为350 m,持续时间为30 min;在流速为0.7~1.0 m/s时,S4断面未能观测到泥沙的扩散过程。说明抛泥后泥沙的扩散范围和扩散时间受到抛泥量和流速大小的

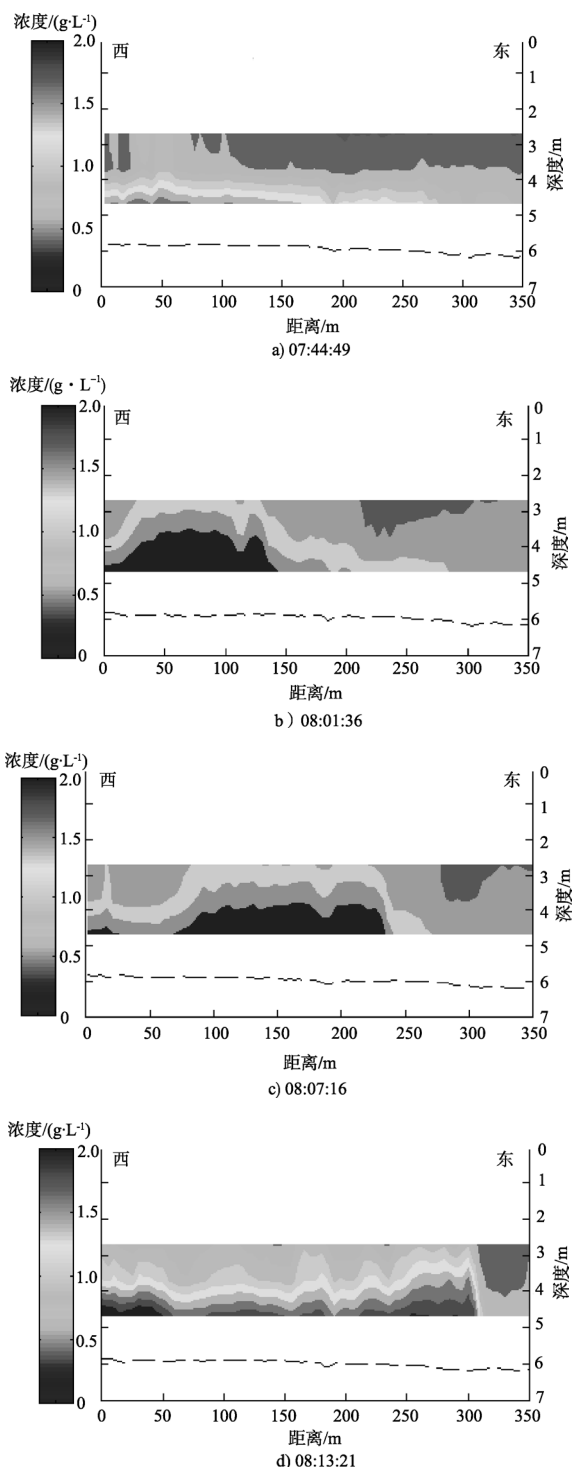


图8 3[#]贮泥坑S4断面抛泥前后泥沙浓度变化过程

影响,流速越小,ADCP能分辨出来的抛泥扩散范围也越大,持续时间越长。

根据落潮抛泥结果可知,当水流速度较小时(小于0.3 m/s),泥沙随流扩散的速度也慢,扩散时间较长。大量疏浚土主要沉降到坑内,泥沙向外流失量相对较小。因此,抛泥作业时段可以选择在流速小于0.3~0.5 m/s的时段进行,以减小抛泥疏浚土向贮泥坑外的流失量。

3.3 10[#]抛泥区抛泥扩散观测结果

根据在涨、落潮期进行的抛泥过程对纵、横向观测断面泥沙浓度的观测分析结果,可得出以下几点认识:

1) 涨潮和落潮纵向观测断面的结果均表明,抛泥结束后大约10 min左右,抛泥对观测区域的影响基本消失,抛泥后泥沙输移的方向和水流方向较为接近,抛泥后的疏浚土直接向航道方向输移的可能性较低。

2) 抛泥后高浓度水团影响的范围和抛泥期间及之后的水流大小有关系。在横向观测断面中,涨潮抛泥期间及之后的水体表层流速变化范围为0.71~1.37 m/s,平均为0.99 m/s,而落潮抛泥期间及之后的流速变化范围为1.15~1.77 m/s,平均为1.5 m/s,前者抛泥后高浓度水团影响的范围约为200 m,而后者影响到了S6断面,影响范围约为1 100 m,远大于前者。

综上所述,抛泥时间一般选择在落潮期间较为合适,尤其是落急期间。在落潮流速较大的情况下,抛泥后的泥沙能够比较充分地带向下游。

4 结论

1) 在3[#]贮泥坑抛泥后,泥沙的扩散范围和扩散时间受到抛泥量和流速大小的影响。当水流速度较小时,抛泥后泥沙向外扩散慢,扩散过程中大量泥沙沉降到坑内,泥沙向坑外的流失量相对较小。抛泥作业可以选择在流速较小的时段进行。

2) 10[#]抛泥区的观测结果表明,抛泥后泥沙输移的方向和水流方向较为接近,抛泥后的疏浚土直接向航道方向输移的可能性较低。抛泥后高浓度水团影响的范围与抛泥期间的流速大小有关系。流速越大,影响范围也越大,反之亦然。抛泥时间

一般选择在落潮期间较为合适,尤其是落急期间。

3) 溢流疏浚试验表明,影响溢流泥沙扩散范围的一个主要因素是水流速度大小,水流速度越大,泥沙扩散混合越快,溢流泥沙影响的范围也越小。由于溢流疏浚土扩散影响范围较小,难以达到通过溢流、籍北槽的落潮优势带走一部分疏浚土、以增大成槽效果的目的。因此应从提高船机的有效利用率和成本核算上综合考虑,制定经济合理的溢流时间。

根据上述成果,已对长江口深水航道治理三期工程疏浚施工的抛泥和溢流工艺提出了相应改进建议,完善了疏浚施工管理制度,取得了降低北槽疏浚土回槽率的明显效果。

参考文献:

- [1] Douglas C. Humboldt Harbor and Bay (Operations and Maintenance)[R]. Washington DC: U S Army Corps of Engineers, 2006.
- [2] 汪亚平,高抒,李坤业. 用ADCP进行走航式悬沙测量的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 1999, 30(6): 758-762.
- [3] 蒋建平,李树明. ADCP在泥沙扩散测验中的应用[J]. 水利水文自动化, 2005 (3): 42-44.
- [4] 戚定满,万远洋. 长江口深水航道治理三期工程抛吹泥工艺实施效果监测与研究: 现场试验与监测报告(分报告一)[R]. 上海: 上海河口海岸科学研究中心, 2008.

(本文编辑 武亚庆)

《水运工程》优秀论文评选

评委点评:

本文对长江航道口管理局2006年组织实施的航道回淤研究中所采用的调查测量设备、研究方法、观测成果、主要结论作了概要介绍和分析研究,向该领域研究人员介绍了一种新的泥沙分布和输移规律调查手段。以声学多普勒流断面实测数据为基础,对疏浚过程中泥沙输移特征进行了分析,增加了疏浚领域工程技术人员对涨落潮流作用下疏浚抛泥和耙吸船溢流过程中泥沙分布及其输移扩散规律的认识。所提出的泥沙扩散观测的多固定断面法具有创新性,观测成果为有关课题的研究者提供了对比分析的实测资料,所提出的疏浚工艺改进建议可供类似疏浚工程参考。

如果能采用数学可视化软件将各断面观测数据转换生成三维分布图示,再以不同时刻的图示对比来描述泥沙扩散情况,无疑将极大地方便读者对观测研究成果的理解和掌握。



2012年12月

评委简介:

李一勇, 教高, 中交第一航务工程局有限公司副总经理兼总工程师。

主持过多项工程施工项目和科研项目, 茅以升科学技术奖建造师奖获得者, 曾荣获多项省部级科学技术奖。