

· 观测研究 ·



长江口北槽深水航道整治工程 贮泥坑抛泥过程监测分析*

戚定满, 王元叶, 万远扬

(上海河口海岸科学研究中心, 上海 201201)

摘要: 对北槽航道维护使用的3#贮泥坑抛泥流失率进行现场监测和分析研究。监测内容包括应用多波束地形测量仪测得贮泥坑抛吹泥前后的准确容积变化, 采用表层取样法测量贮泥坑抛泥后的表层泥沙密度及采用柱状采样器测量贮泥坑不同深度的泥沙密度, 综合容积变化和密度结果可以得到实际入坑泥沙量, 结合实际抛泥量计算出贮泥坑的抛泥流失率。监测结果表明该贮泥坑的抛泥流失率达到76%。同步监测的流速结果表明贮泥坑周边动力强、流速快, 流速快是造成该贮泥坑抛泥流失率大的主要原因。建议该坑向附近动力弱的坝田掩护区移动以减少该贮泥坑泥沙流失率。

关键词: 长江口; 北槽深水航道整治工程; 贮泥坑; 流失率; 柱状采样

中图分类号: U 617.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)11-0043-06

Field measurement for dumped sediment transport at disposal zone of the Yangtze estuary deep navigation regulation project

QI Ding-man, WANG Yuan-ye, WAN Yuan-yang

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

Abstract: Dumped sediment transport at the dredge disposal site in the north passage of the Yangtze estuary is studied by field measurement. The volume of dredge disposal zone is obtained by multi-beam sonar. The density of surface is measured by sampler-collection and the density of different level is measured by stationary-piston sampler. The sediment loss ratio from the disposal zone can be calculated by the volume of dredge disposal zone and the total disposal dredge of the self-propelled trailing suction hopper dredgers. The result shows that the sediment loss ratio is about 76%. The flow velocity obtained by flow-measure-system is so big that much sediment can be carried out of the disposal zone, which can be used to explain the sediment loss ratio. The location of dredge disposal zone should be moved to the middle section of dams for reducing the sediment loss ration.

Key words: the Yangtze estuary; deep navigation regulation project; dredge disposal zone; sediment loss ratio; stationary-piston sampler

在河口航道建设维护过程中, 航道开挖及维护会产生大量的疏浚泥土, 疏浚泥土的处理一般有艙吹和抛吹两种工艺处理方法。1) 艙吹工艺是利用吹泥管线直接从挖泥船将疏浚土吹到陆地上去。具有环境影响小、疏浚土利用效率高等优

点, 但处理费用相对较大, 对挖泥船本身的要求也较高。2) 抛吹工艺是疏浚船只将挖出的疏浚泥土倾倒入预先指定的贮泥坑内, 再采用吹泥机具(主要是绞吸船)通过输泥管线将疏浚土输送到陆地上去。抛吹具有经济性好、疏浚效率高等特

收稿日期: 2013-08-25

*基金项目: 交通运输重大科技专项(2011328A0670), 国家自然科学基金面上项目(51279134); 交通运输部科技项目(2012329A0640)

作者简介: 戚定满(1972—), 男, 博士, 研究员, 从事港口航道工程研究。

点。但河口地区往往受到径流和潮流双向作用，泥沙运动复杂，采用抛吹工艺处理疏浚泥土必须研究贮泥坑内流失率、流失疏浚土的输移路径及其对航道回淤的影响，目前有许多学者关注这类问题^[1-3]。

国内外航道整治工程对抛吹工艺研究重点在于抛泥区的选划。如王长海^[4]采用欧拉-拉格朗日质点漂移法对抛泥扩散淤积分布进行模拟计算，模拟了长江口北槽拟选10#倾倒区抛泥的淤积情况，给出了倾倒区抛泥淤积范围和淤积厚度。陈祖华^[5]采用分布点源扩散模型结合平面二维黏性泥沙数学模型建立了模拟河口区开放水域抛泥输移的新方法，并对澳门水域疏浚抛泥的迁移过程进行了数值计算，表明抛泥过程受潮汐水流的影响淤积主要在抛泥点附近较小范围内，淤积量最大点不在抛泥点。徐宏明^[6]采用疏浚土扩散数值模型对黄骅港海区疏浚土水抛后扩散过程进行了模拟，得到不同时刻抛泥作业的疏浚土扩散范围。这些研究成果主要采取一些数值模拟的方法对抛泥扩散过程及其对航道的回淤影响进行研究，对现场抛泥过程中监测成果较少。本文以离长江口北槽航道维护困难段最近的3#贮泥坑为现场监测

研究对象，采用多波束地形测量技术得到贮泥坑抛吹泥前后的详细容积变化，采用表层取样法测量贮泥坑抛泥后的表层泥沙密度及柱状采样器测量贮泥坑不同深度的泥沙密度，根据容积和密度结果可以得到实际入坑泥沙量，结合实际抛泥量计算出贮泥坑的抛泥流失率。在3#贮泥坑附近同步安排2座近底观测架监测流速情况，了解导致泥沙流失率大的动力原因。

1 长江口北槽贮泥坑流失率现场监测情况

长江口深水航道整治工程整治区段达到50 km以上，如果全部采用整治区段外面抛泥区处理航道疏浚泥土，因为运距导致疏浚成本高昂。因此自二期工程开始疏浚工程利用一期导堤丁坝工程已形成的掩护水域设置4个贮泥坑（图1），采用抛吹工艺处理部分疏浚泥土。但抛吹工艺处理疏浚泥土带来的泥沙流失率问题需要引起重视，尤其是自长江口深水航道二期10 m航道开通后，北槽中段航道回淤量大，成为航道维护峰值区段。因此为了明确该疏浚工艺对航道维护影响，选择离航道维护峰值区段最近的3#贮泥坑抛泥流失率进行深入研究^[7]。

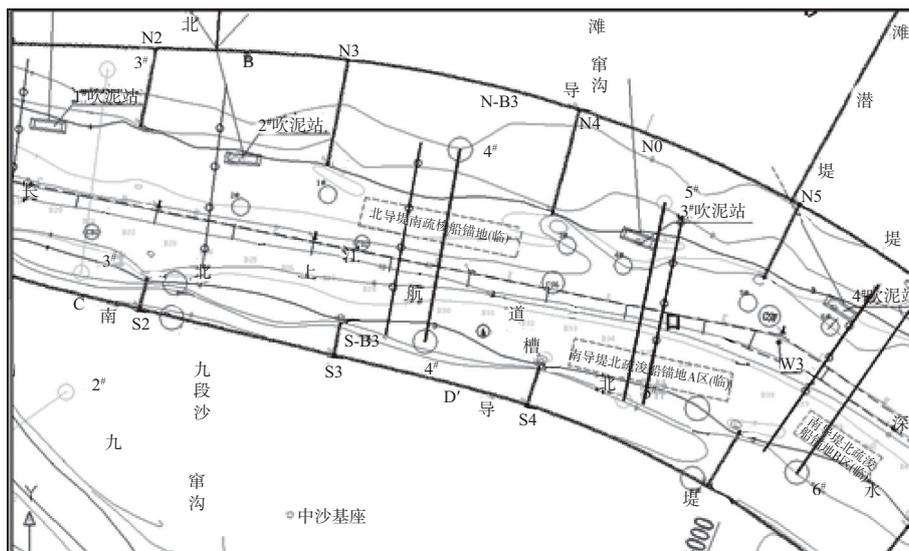


图1 长江口北槽内部4个贮泥坑位置

2007年10月底将3#贮泥坑全部吹空，贮泥坑的平均水深达到日常运行的10 m水深以上。11月4#利用多波束地形测量仪第1次测得贮泥坑初始水

深，11月5日开始抛泥作业，根据参与试验疏浚船只的抛泥能力，5 d时间基本上能达到抛泥坑容量的1/3。11月11日利用多波束地形测量仪第2次测

得贮泥坑真实水深。11月12日开始第2次抛泥作业, 11月19日完成第2次抛泥作业后, 11月20日利用多波束地形测量仪第3次测得贮泥坑真实水深。测量完成后开始第3次抛泥作业, 11月26日抛泥坑全部抛满, 同期利用多波束地形测量仪第4次测得贮泥坑真实水深。每次抛泥作业尽可能使疏浚泥土均匀分布于贮泥坑, 抛泥完成后采用多波束地形测量范围(图2), 测量比尺为1:1 000。通过抛泥前后贮泥坑水深的对比得到贮泥坑体积因抛泥作业的变化值。

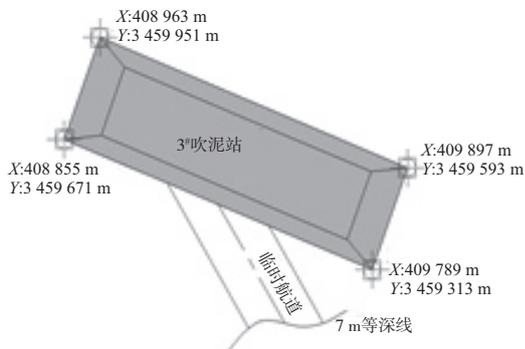


图2 抛泥过程地形测量范围

为了准确计算贮泥坑体积变化包含的疏浚土方量, 本次现场观测安排了6个点的表层取样和4个柱状取样以取得贮泥坑不同深度的密度, 6个点的表层取样和4个柱状取样点布置位置见图3。在第1次达到抛泥坑容量的1/3时(2007年11月10日)安排第1次6个点的表层取样和4个柱状取样, 在贮泥坑全部抛满后(2007年11月26日)安排了第2次6个点的表层取样和4个柱状取样。其中6个表层泥样密度见表1。

柱状采样利用水压固定活塞式薄壁取土器(图4)完成。水压固定活塞式薄壁取土器的取土方式不同于通过钻杆孔外加压或击打的常规方式, 是通过水体传递压力, 在孔底将取土器内的

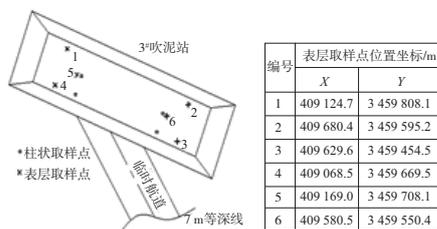


图3 表层取样点位置

点号	11月10日第1次	11月26日第2次
1	1.61	1.85
2	1.60	1.75
3	1.75	1.79
4	1.73	1.84
5	1.64	1.79
6	1.70	1.79
测点平均	1.67	1.80



图4 水压固定活塞式薄壁取土器

薄壁土样筒压入土层。该取土器设计有上、下2个活塞, 上活塞与薄壁土样筒相连, 上活塞的活塞体组成薄壁土样筒的套筒, 当高压水泵的压力通过水体传递到上活塞时, 上活塞即被下压, 使薄壁土样筒随之被压入孔底土层内; 下活塞装置在薄壁土样筒的底部, 也称底活塞, 并通过活塞杆与取土器的上接头连接在一起, 不能活动, 在薄壁土样筒被压入土内的同时, 下(底)活塞相对上升, 形成封闭, 使土样在提钻过程中不脱落。活塞杆上设计有泄流孔, 当薄壁土样筒全部压入土内, 取土器即通过活塞杆上的泄流孔泄流减压, 上活塞不再被下压。水压固定活塞式薄壁取土器, 不但具有薄壁取土器的功能, 还能有效地避免通常采用的通过钻杆孔外压入或打入的方法以及水上勘探作业船的晃动对取土可能造成的扰动影响。为避免原状土样受到人为的扰动破坏, 应做到轻放轻拿, 并及时封装和粘贴标签(图5), 拿回室内开展密度测量。

由于第1次所抛填的土层较薄(一般小于1.0 m), 上部为流泥, 上部密度较下部略大; 第2次所取抛填土层主要以砂性土和粉土为主, 上下密度变化不大。2次4个柱状取样平均密度见表2。



图5 原状试样的封装

表2 4个测点柱状样密度 g/cm³

点号	11月10日第1次	11月26日第2次
1	1.89	1.89
2	1.76	1.91
3	1.79	1.92
4	1.81	1.88

表3 抛泥量情况 m³

时间	3#坑(底层1/3)	时间	3#坑(中层1/3)	时间	3#坑(表层1/3)
11月5日	27 379	11月12日	27 308	11月20日	103 594
11月6日	85 830	11月13日	76 023	11月21日	79 328
11月7日	82 463	11月14日	68 422	11月22日	115 427
11月8日	79 297	11月15日	78 506	11月23日	104 155
11月9日	75 963	11月16日	82 433	11月24日	101 892
11月10日	27 367	11月17日	80 661	11月25日	94 460
		11月18日	69 517	11月26日	3 307
		11月19日	88 272		
小计	378 299		571 142		602 163

表4 抛泥流失率计算

日期	容积变化/m ³	平均密度/(t·m ⁻³)	换算容积/m ³	抛泥量/m ³	抛泥流失率/%
2007-11-5—11-10	81 414	1.760	80 354	378 299	79
2007-11-12—11-19	157 259	1.903	184 510	571 142	68
2007-11-20—11-26	79 520	1.903	9 300	602 163	85

2 泥沙流失率大的动力原因分析

为了研究3#贮泥坑抛泥流失率大的原因，在3#贮泥坑附近安排2座近底观测架监测流速情况。观测架放置位置见图6。

观测架由3部分组成（图7）：

第1部分为测量整个流速剖面的声学多普勒剖面流速仪。它由两个 Nortek Aquadopp Profiler 组成。1个探头向上，频率为1 MHz，最小单元分层为0.3 m；另外1个探头向下，频率为2 MHz，最

结合地形测量得到的容积变化及现场测得的平均密度，测量得到的贮泥坑土方量根据 JTJ 319—1999《疏浚技术规范》计算得到：

$$V_c = [(\rho_m - \rho_w) / (\rho_s - \rho_w)] V_m \quad (1)$$

式中： ρ_m 为抛泥区测量分析得到的密度； ρ_s 为本次疏浚区域的真实密度，1 670 kg/m³； ρ_w 为水的密度，1 002.5 kg/m³，流失率的计算公式

$$I = \frac{V_i - V_c}{V_i} \times 100\% \quad (2)$$

式中： V_c 为抛泥区两次测量期间方量的变化值； V_i 是总的抛泥量。抛泥量根据挖泥船均配置了装载量仪或排水量计算装置读取。测量期间每天抛泥量见表3，总合计抛泥155万m³，根据地形及密度的观测结果计算得到流失量总量118万m³，计算得到的各次抛泥流失率见表4。计算得到的平均流失率为76%。

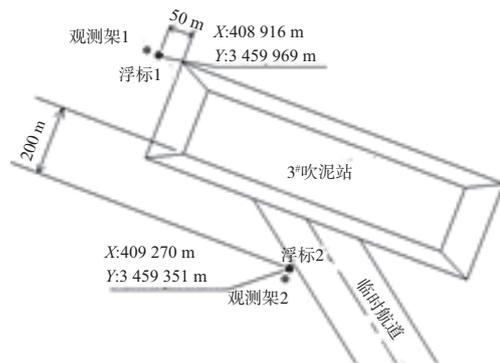


图6 近底水沙观测站点位置局部放大图

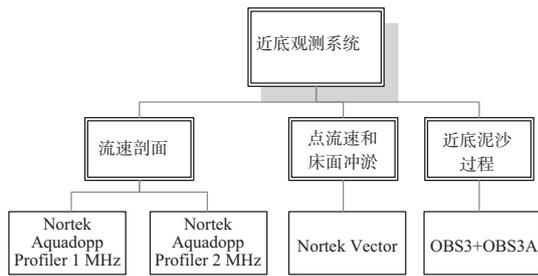


图7 近底观测系统

小单元分层为0.1 m, 可以获取较高空间分辨率(0.1 m)的近底流速剖面分布。通过结合这两个声学多普勒剖面流速仪, 可以获得高时空分辨率的整个水体流速剖面资料。

第2部分为声学多普勒点流速仪。它由1个Nortek Vector点流速仪组成。Nortek Vector的最高采样频率为64 Hz, 通过它的测量资料可以分析水流的紊动特性, 特别是可以通过测量得到的脉动流速直接计算水流剪切应力, 提供比较可靠的近底水流参数。另外, Vector的每个Burst都记录了探头和采样点到床面的距离, 所以Vector的观测资料可以用于分析底床的冲淤变化。

第3部分为近底悬浮泥沙浓度观测仪。它由2个OBS3+浊度探头和1个OBS3A组成。OBS3A探头的初始布置位置为距离床面0.3 m, 可以测量近底层泥沙浓度、盐度和温度变化过程; OBS3+浊度探头的初始布置位置为距离床面0.7 m和1.4 m。

近底观测系统上的仪器都自带存储模块和供电系统。如果每个仪器的采样间隔均设置为5 min, 观测仪器一般可以持续工作40~50 d, 所以系统的1个主要特点是测量的高时间分辨率(2~5 min)。观测系统的第2个特点是剖面流速的高空间分辨率(0.1~0.3 m)。第3个特点是观测系统可以在非常态天气条件下工作, 如台风天气条件, 所以近底观测系统经常应用于捕捉台风或寒潮天气下的水动力、泥沙运动过程和底床冲淤过程。第4个特点是近底观测系统可以用于观测床面的中短时间尺度的冲淤变化, 这个特点或功能的实现要归功于Nortek Vector点流速仪的一个附加功能。Vector观测的每一个Burst的开始和结束都会发射一类特殊的声波脉冲, 通过接收反射回来的声波强度

可以获取床面的位置。另外, 由于两个Aquadopp Profiler和Vector都带有压力探头, 所以近底观测系统也能获取观测期间的波浪资料。

两个测量架2007年10月31日开始测量, 2007年12月1日结束测量, 测量历时31d, 62个潮周期。本文利用涨潮期平均流速代表涨潮动力, 落潮期平均流速代表落潮动力, 全潮期平均流速代表全潮整体动力, 测量得到的观测站点1垂向平均流速统计情况见图8。整个观测期间站点1的垂向平均流速的潮周期平均变化范围为0.16~0.89 m/s, 平均为0.50 m/s; 涨潮阶段潮周期平均流速变化范围为0.16~0.89 m/s, 平均为0.53 m/s; 落潮阶段潮周期平均流速变化范围为0.20~0.67 m/s, 平均为0.48 m/s。观测站点1涨落急垂向平均流速情况见图9, 整个观测期间站点1的涨落急垂向平均流速变化范围为0.3~1.43 m/s, 平均为0.81 m/s, 涨急流速变化范围为0.3~1.43 m/s, 平均为0.86 m/s; 落急流速变化范围为0.33~1.05 m/s, 平均为0.77 m/s。

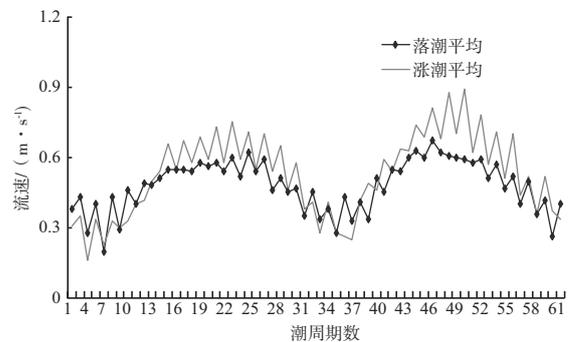


图8 站点1潮周期垂向平均流速

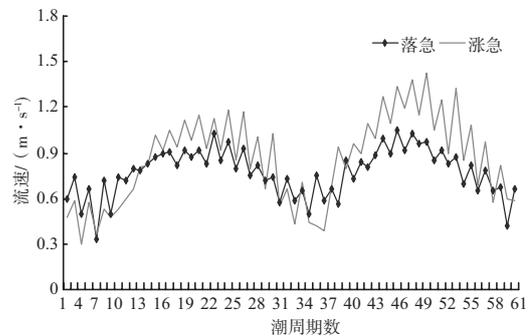


图9 站点1垂向平均流速涨落急过程

观测站点2垂向平均流速统计情况见图10。整个观测期间站点2垂向平均流速的潮周期平均变化

范围为0.29~0.80 m/s，平均为0.49 m/s；涨潮阶段潮周期平均流速变化范围为0.29~0.80 m/s，平均为0.53 m/s；落潮阶段潮周期平均流速变化范围为0.31~0.61 m/s，平均为0.45 m/s。观测站点2涨落急垂向平均流速情况见图11,整个观测期间站点2的涨落急垂向平均流速变化范围为0.45~1.29 m/s，平均为0.81 m/s；涨急流速变化范围为0.45~1.29 m/s，平均为0.87 m/s；落急流速变化范围为0.52~1.00 m/s，平均为0.74 m/s。

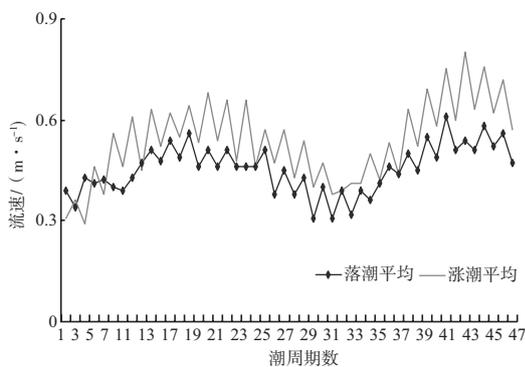


图10 站点2潮周期垂向平均流速

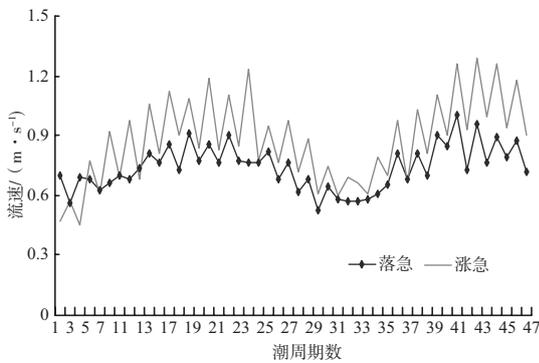


图11 站点2垂向平均涨落急流速

由于长江口泥沙淤积临界流速基本在0.1 m/s左右，该结果表明3#贮泥坑周围流速超过泥沙的临界淤积流速。泥沙很难落淤到贮泥坑，流速快是

造成抛泥流失率大的主要原因，为了减少3#贮泥坑泥沙流失率，建议3#贮泥坑向坝田掩护区移动。

3 结论

本文针对离长江口北槽航道维护困难段最近的3#贮泥坑抛泥流失率进行现场监测分析研究，监测结果表明该贮泥坑的抛泥流失率达到76%，同步流速监测结果表明3#贮泥坑周围流速较快。整个观测期间站点1涨急平均流速为0.86 m/s，落急平均流速0.77 m/s；站点2涨急平均流速为0.87 m/s，落急平均流速为0.74 m/s。流速快是造成抛泥流失率大的主要原因。为了减少3#贮泥坑抛泥泥沙流失率，建议3#贮泥坑向附近坝田掩护区移动。

参考文献:

- [1] 吴加学, 张叔英, 任来法. 长江河口北槽抛泥作业状态下悬沙浓度分布与扩散过程[J]. 海洋与湖沼, 2003, 34(1): 83- 93.
- [2] 吴华林, 严以新, 周宜林. 抛泥运动研究述评及展望 [J]. 泥沙研究, 2008 (10): 76-80.
- [3] 戚定满, 吴华林, 万远扬, 等. 长江口北槽泥沙运动现场示踪分析研究 [J]. 海洋工程, 2010 (1): 64-69.
- [4] 王长海, 丁红, 邱桔斐, 等. 抛泥扩散淤积分布计算 [J]. 水道港口, 2007(2): 86-90.
- [5] 陈祖华, 王志石. 河口抛泥数学模型及应用 [J]. 水利水运工程学报, 2003(1): 44-48.
- [6] 徐宏明. 疏浚土扩散数学模型及其应用 [J]. 海洋环境科学, 2000, 19(2): 34-37.
- [7] 戚定满, 吴华林, 顾峰峰, 等. 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[R]. 上海: 河口海岸科学研究中心, 2008.

(本文编辑 武亚庆)