



长江口南北槽鱼嘴护底结构物水毁原因分析

程 晨, 曹 杰

(上海河口海岸科学研究中心, 上海 201201)

摘要: 通过走航测量及坐底观测等方法, 对长江口南北槽分流鱼嘴工程护底结构物水毁区域进行测量。所得数据资料分析结果表明, 引起导堤南侧水毁的主要原因在于近底垂向紊动水流造成排体间隙淘刷和护肩块石失稳, 修复工程应兼顾护底结构物的稳定性及护底作用。

关键词: 长江口; 护底结构物水毁; 水文观测; 紊动水流

中图分类号: U 617.8 文献标志码: A 文章编号: 1002-4972(2015)10-0096-05

Flood damage of fish mouth bottom structure in south and north passage diffluence pass in the Yangtze estuary

CHENG Chen, CAO Jie

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

Abstract: By ship board measurement and the bottom tripod survey system, we investigate the flood damage area of fish mouth bottom structure in the south and north passage diffluence pass in the Yangtze estuary. The data analysis shows that the main reason for the south side flood damage is the scouring under the flexible mattress and the instability of concrete stone caused by the bottom vertical turbulent flow. The repair work should guarantee both the stability and the bottom protection effect of the bottom structure.

Keywords: the Yangtze estuary; flood damage of bottom protection structure; hydrological observation; turbulent flow

长江口南北槽分流鱼嘴工程为长江口深水航道整治工程的一部分(图1), 由3.2 km潜堤和两侧各80 m宽护底结构物组成。自1999年竣工以来,

距离堤头1 km左右的堤身结构及南侧混凝土联锁排体水毁较为严重, 有关管理机构已对此进行了多次修复, 但收效不佳^[1], 修复范围见图2。

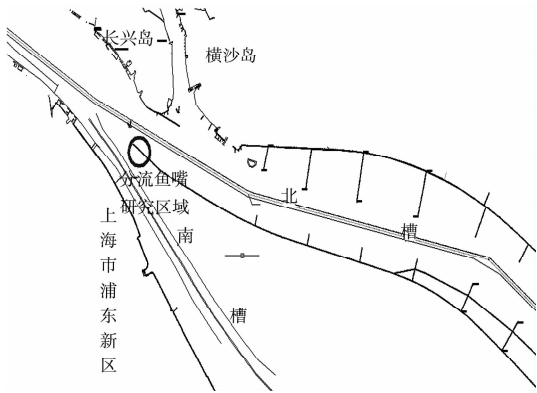
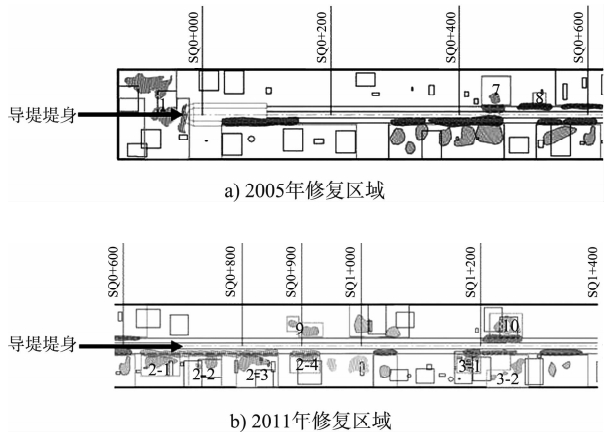
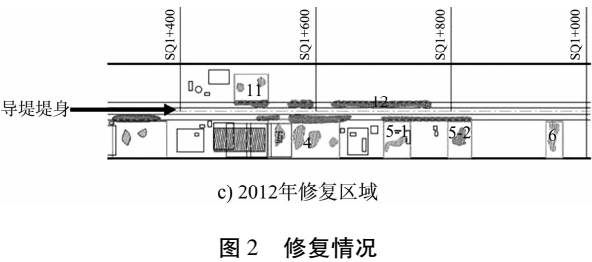


图1 长江口南北槽分流鱼嘴研究区域位置



收稿日期: 2015-03-15
作者简介: 程晨(1987—), 男, 硕士, 工程师, 从事河口海岸水文泥沙研究。



1 数据和方法

近底水流强度及紊动强度对泥沙的起动和河底的冲刷起重要作用^[2]。分流鱼嘴的水毁与导堤附近近底水流的强度及紊动强度密切相关, 研究分流鱼嘴部分区域水毁机理, 必须对水毁区附近近底水流强度及紊动强度进行勘测。用 U 表示水流的瞬时流速, $\bar{U}$ 为瞬时流速 U 的时均值, U' 为脉动流速。脉动流速的均方根为水流紊动强度^[7], 即

$$\sigma_{vi} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U'^2_i} \tag{1}$$

则相对于导堤, 某点三维紊动强度表示如下:

平行于导堤方向紊动强度

$$\sigma_{ui} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2} \tag{2}$$

垂直于导堤方向紊动强度

$$\sigma_{vi} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2} \tag{3}$$

垂向紊动强度

$$\sigma_{wi} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (w_i - \bar{w})^2} \tag{4}$$

式中: u 、 v 、 w 分别表示水流中某一点平行于导堤方向、垂直于导堤方向以及垂向的瞬时流速; $\bar{u}$ 、 $\bar{v}$ 、 $\bar{w}$ 表示对应的时均流速。

为进一步了解该工程护底结构物发生水毁现象的原因, 上海河口海岸科学研究中心分别于 2013 年 3 月及 9 月开展了系统的现场水文观测。本文基于该现场观测数据资料, 分析护底结构物水毁区域的水动力特征, 探究该河底结构物发生水毁的动力原因, 为相应工程修复措施提供理论依据。于 2013 年 3 月 26 日, 在潜堤南北两侧近堤 30 m 的平行断面上开展了 14 h 同步 ADCP 走航测

验, 并在位于水毁典型区域内, 距潜堤南侧近堤 5 m 处 (TR1 测点) 布设了一同步坐底式三维水流测点 (图 3)。为证实 3 月测量结果, 且进一步分析垂直于水毁区域导堤方向近底紊动强度变化, 于 2013 年 9 月 22 日布置垂直于水毁区域导堤底方向的 5 测点断面, 研究近底水流三维特征。

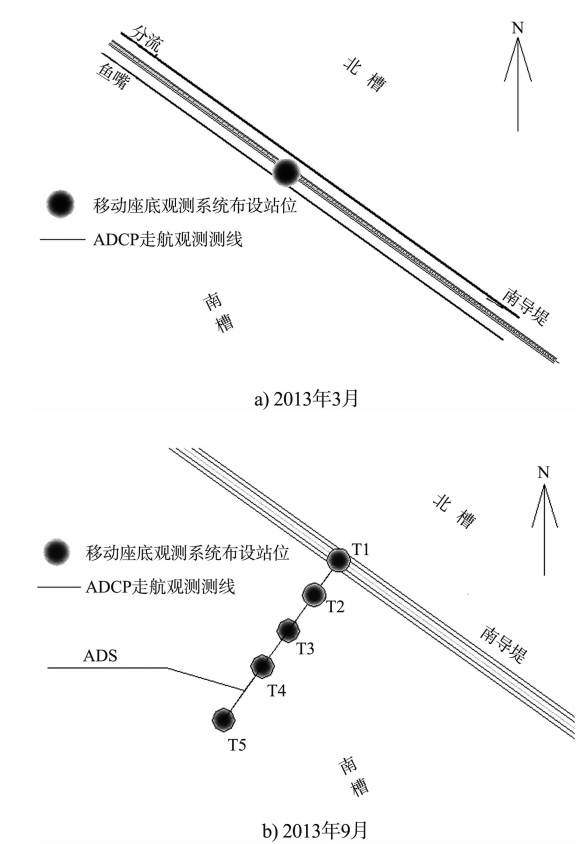


图 3 测量断面及点位

2 结果分析

2.1 南北侧水流条件对比

涨、落潮过程流态呈明显沿堤方向的往复流特征, 流速玫瑰图见图 4。

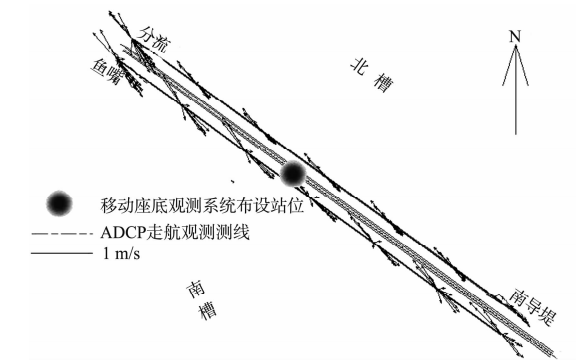


图 4 导堤南北侧断面流速玫瑰图

水毁区域导堤南北侧水流特征值见表 1，南、北侧水毁区域涨落急流速相近。涨急近底最大流速南侧为北侧的 1.03 倍，垂线平均流速南侧为北侧的 1.04 倍；落急近底最大流速南侧为北侧的 0.98 倍，垂线平均流速南侧为北侧的 1.17 倍。因此，由于分流嘴水毁区域主要集中在导堤南侧，北侧相对较为完好，而南北侧流速无明显差异，因此涨落潮近底时均流速大小并不是引起水毁的主要原因。

2.2 近底水流紊动特性

2013 年 3 月 28—29 日大潮期间，导堤南侧位于混凝土联锁排体上的 TR0 坐底三维水流观测流速特征见表 2，结果表明，近底垂向紊动强度明显，且与法向及沿堤方向紊动强度无量级差别，因此在此区域存在明显跌水现象。TR0 测点近底紊动强度时间变化过程绘于图 5，近底时均流速流向时间变化过程绘于图 6，不难发现落潮时极为明显的跌水过程出现在落急时刻，使得导堤南侧水体紊动强度显著增大，尽管落急流速明显小于涨急流速，但落急时导堤法向紊动强度高于涨急时刻，最高为涨急时的 1.45 倍，因此落潮跌水是引起水毁区域紊动增强的主要原因。其次，在落急时刻，法向紊动强度高于导堤方向紊动强度，最大为导堤方向紊动强度的 1.45 倍，因此，法向紊动对造成导堤南侧水毁贡献较大。

表 1 水毁区域导堤南、北侧涨急时刻流速特征计

涨落急	南北侧	相对水层	最大流速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	最小流速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	平均流向/ ($^{\circ}$)
涨急	南侧	表层	1.36	0.83	320.0
		0.2 层	1.34	0.80	319.9
		0.4 层	1.10	0.78	319.7
		0.6 层	0.93	0.65	316.8
		0.8 层	0.87	0.59	315.2
		底层	0.61	0.36	302.0
		垂线平均	1.03	0.68	318.5
涨急	北侧	表层	1.39	0.86	327.8
		0.2 层	1.33	0.85	323.2
		0.4 层	1.05	0.83	321.1
		0.6 层	0.99	0.65	316.5
		0.8 层	0.91	0.63	313.5
		底层	0.59	0.34	312.5
		垂线平均	0.99	0.77	318.7
落急	南侧	表层	1.75	0.58	142.2
		0.2 层	1.73	0.58	141.4
		0.4 层	1.53	0.58	137.3
		0.6 层	1.42	0.60	133.4
		0.8 层	1.08	0.57	131.0
		底层	0.58	0.31	129.5
		垂线平均	1.35	0.57	135.7
落急	北侧	表层	1.44	0.70	135.6
		0.2 层	1.44	0.70	135.5
		0.4 层	1.36	0.66	134.0
		0.6 层	1.14	0.60	133.4
		0.8 层	0.80	0.47	131.4
		底层	0.59	0.27	133.2
		垂线平均	1.15	0.59	134.0

表 2 2013 年 3 月 28—29 日 TR0 测点近底流速特征统计

潮流	水平流速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	水平流向/ ($^{\circ}$)	垂向流速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	导堤方向紊动强度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	导堤法向紊动强度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	垂向紊动强度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
落潮平均	0.25	123.3	-0.03	0.07	0.09	0.06
落急	0.40	124.8	-0.11	0.13	0.16	0.10
涨潮平均	0.26	297.0	0.00	0.08	0.09	0.07
涨急	0.44	318.5	0.06	0.13	0.14	0.11

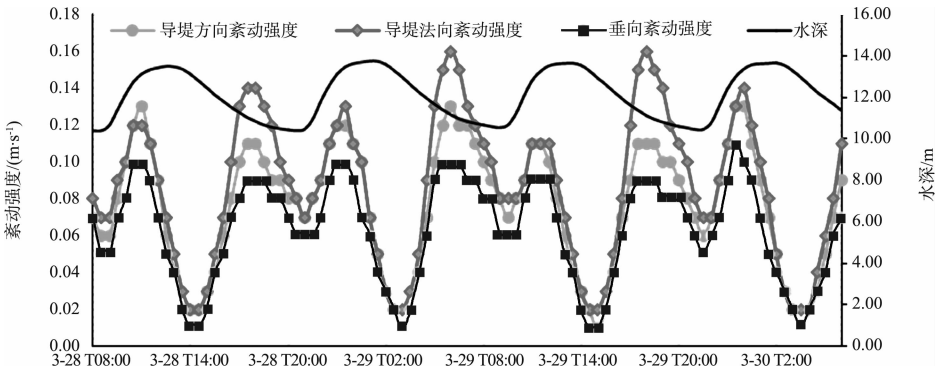


图 5 2013 年 3 月 28—29 日 TR0 测点近底紊动强度时间变化过程

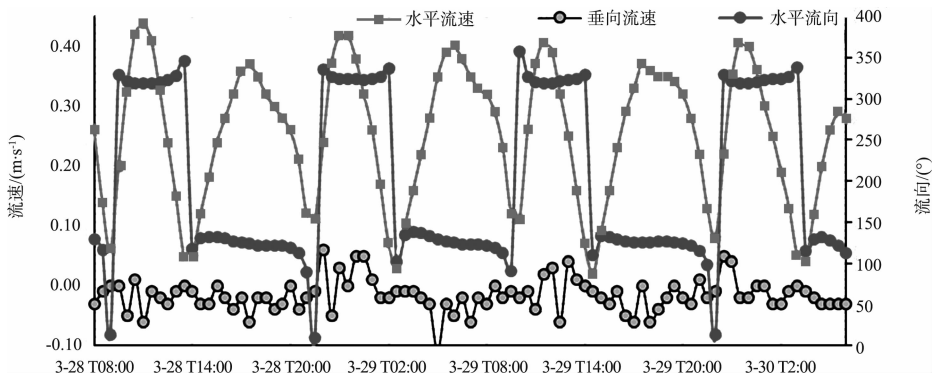


图 6 2013 年 3 月 28—29 日 TR0 测点近底时均流速、流向时间变化过程

对 2013 年 9 月 22 日大潮期间垂直导堤断面测量结果进行分析, 流速玫瑰图见图 7, 流速剖面分布绘于图 8, 近底紊动强度变化过程绘于图 9。

落潮时垂直导堤方向近堤侧水流流速略大(位于来流方向), 远离导堤侧流速趋于减弱; 涨潮时反之。但受落潮时越堤跌水影响, 近底水流涨、落潮时水流紊动强度横向差异明显, 远离堤身方向呈递减趋势, 近堤 40 m 及 90 m 处紊动强度较高, 在 140 m 处开始明显减弱, 290 m 处近底法向紊动强度已减弱为 40 m 处的 23%, 涨潮过程紊动强度变化与落潮相近, 主要由于近底来流受导堤阻挡引起水流紊动增强。然而鱼嘴水毁区域集中在南侧距堤身轴线 80 m 内, 因此, 远离导堤的垂向变化中, 水流近底时均流速逐渐增强, 近底紊动强度逐渐减弱, 水毁严重程度也随之减弱, 由此进一步说明近底紊动是引起南侧导堤水毁的主要原因。

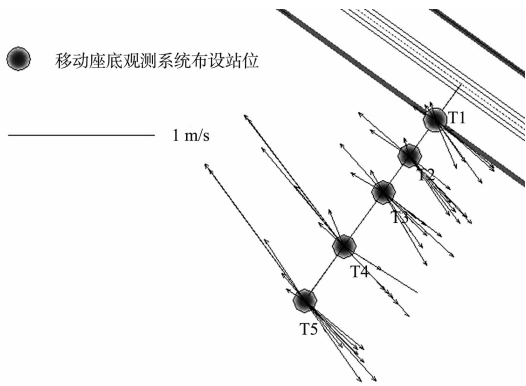
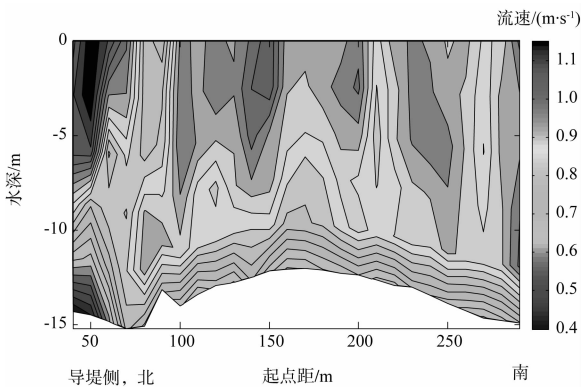
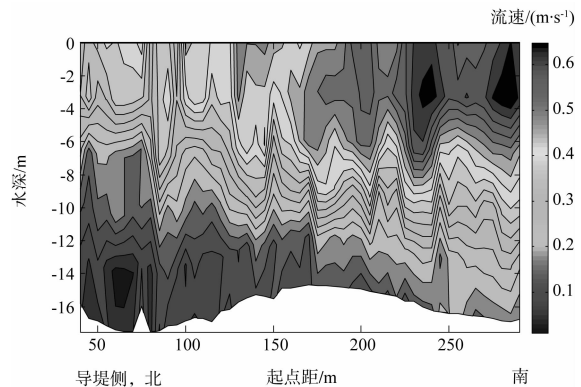


图 7 南侧水流垂向导堤流速玫瑰图

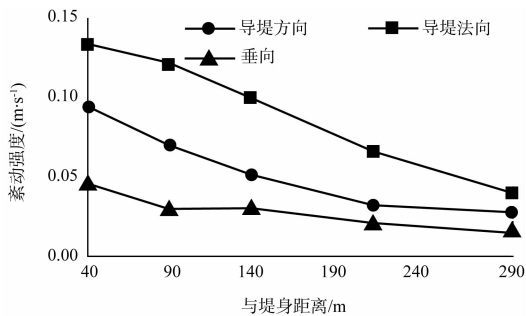


a) 落急



b) 涨潮

图 8 南侧近底水流时均流速横向分布



a) 落急

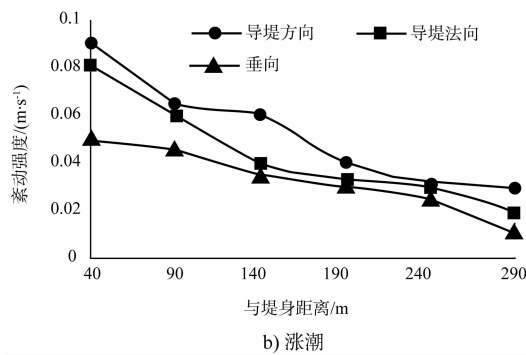


图9 涨潮时南侧近底水流紊动强度横向分布

3 结语

综上,引起导堤南侧护肩块石及混凝土联锁排体被破坏的原因主要有:

1) 落潮时越堤流跌水造成导堤南侧产生一强紊动区,强紊动能量作用于水下结构物时,易发生排体间隙淘刷和护肩块石失稳,其中垂向紊动贡献较大,垂直于导堤方向紊动次之。这是造成南北槽分流导堤南侧护肩块石及混凝土联锁排体被破坏的首要原因。

2) 对水毁区域的修复工程应采用立体消能的思路,注意兼顾两翼护底结构物的稳定性与护底

作用,防止由于水体紊动造成护底结构物底部淘刷失稳现象出现。

参考文献:

- [1] 上海河口海岸科学研究中心. 2013 年度长江口航道养护南北槽分流口导堤现场水文测验技术报告[R]. 上海: 上海河口海岸科学研究中心, 2014.
- [2] 张秀芳, 王平义, 梁碧, 等. 护心滩鱼骨坝工程的紊动特性与水毁特征研究[J]. 水运工程, 2010(2): 139-142.
- [3] 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, 27(1): 55-60.
- [4] 刘月琴, 万艳春. 弯道水流紊动强度[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2003(12): 89-93.
- [5] 郭维东, 魏爽, 孙红梅. 矩形明渠中矩形边墩周围紊动强度和雷诺应力分布特性试验[J]. 水利水电科技进展, 2010, 30(1): 14-19.
- [6] 曹艳敏, 张华庆, 蒋昌波, 等. 丁坝冲刷坑及下游回流区流场和紊动特性试验研究[J]. 水动力学研究与进展: A 辑, 2008, 23(5): 560-570.
- [7] 袁新明, 郑国华. 浑水紊动强度的探讨[J]. 泥沙研究, 1997(3): 19-23.

(本文编辑 武亚庆)

(上接第 87 页)

4 结语

1) 工程河段内洲滩演变剧烈, 主要变化表现在天星洲头部及左缘、陀阳树边滩、倒口窑心滩以及藕池口心滩上。特别是进口段洲滩的变化直接影响进口段主流及航槽的稳定。

2) 从目前的航道条件看, 藕池口水道航道条件较好, 且滩体位置有利于航道整治工程的布置, 属于整治的有利时机, 但陀阳树边滩和倒口窑心滩演变速度较快, 应抓紧实施相关守护工程。

3) 通过工程措施对河道内关键洲滩、岸线部位进行控制, 稳定基本的滩槽格局, 避免三峡水库蓄水运用后不利局面的出现, 维持目前较为有利的滩槽形态和较好的航道条件。

4) 工程设计中尝试采用了新型结构, 如单元排护滩结构、混合式护岸结构等, 丰富了航道整治工程设计领域。

参考文献:

- [1] 闫军, 付中敏, 陈婧, 等. 长江中游藕池口水道河床演变及航道条件分析[J]. 水运工程, 2012(1): 99-104.
- [2] 李明, 刘林, 郑力. 长江藕池口水道平面二维水沙数学模型研究[J]. 人民长江, 2011(15): 63-65.
- [3] 付中敏, 刘怀汉. 长江中游藕池口水道航道整治一期工程工程可行性研究报告[R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院, 2009.
- [4] 渠庚, 刘心愿, 刘亚, 等. 长江中游藕池口水道航道整治一期工程初步设计方案河工模型试验研究[R]. 武汉: 长江科学院, 2010.
- [5] 张俊锋, 杨卫. 长江中游藕池口水道治理与整治效果[J]. 水运工程, 2014(11): 92-96.
- [6] 耿嘉良, 冷乐飞, 岳志远, 等. 斜坡-直立混合式护岸结构形式在长江航道整治工程中的应用[J]. 水运工程, 2014(11): 101-104.

(本文编辑 郭雪珍)