

上海临港工业区芦潮港海域水文泥沙分析

佘小建, 崔 峥, 徐 啸

(南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

摘要: 根据芦潮港海域近年水文、泥沙、波浪及地形观测资料, 分析了芦潮港海域波浪、潮流及泥沙特征. 研究表明, 芦潮港附近海域为强潮流、高含沙量区域; 芦潮港海域潮流是控制海域含沙量和地形冲淤的主要因素, 而波浪作用处于次要位置; 芦潮港海域为淤泥质岸滩, 岸滩形态主要由潮流动力所塑造, 波浪主要对近岸区泥沙作用较明显. 通过分析研究含沙量与潮流及波浪的关系, 得到芦潮港海域波流共同作用下的水流挟沙力关系式. 验证结果表明, 关系式计算结果与实测含沙量吻合较好.

关键词: 波浪; 潮流; 泥沙; 水流挟沙力; 芦潮港

中图分类号: TV148

文献标识码: A

文章编号: 1009-640X(2009)01-0076-05

上海市临港工业区位于上海市南汇区东南沿海, 东临东海, 南依杭州湾口, 处于杭州湾与长江口的交汇处, 是上海市东南的水上门户. 随着临港新城的全方位开发建设, 国际物流园区和重装备产业区的启动, 上海南汇临港工业区岸线将规划为上海浦东重要港区, 由于杭州湾北岸水深主要为 8~9 m (当地理论深度基准面) 范围, 规划中的码头主要为 5 000 t 级码头. 芦潮港附近海域流急、含沙量大, 水流泥沙条件是码头能否建设的重要因素. 因此, 分析研究芦潮港海域水文泥沙条件对临港工业区岸线规划和码头建设具有重要意义.

1 芦潮港海域动力条件

1.1 潮汐水流条件

芦潮港海域受潮汐影响, 属非正规的浅海半日潮型, 1 天内有二高二低潮汐现象, 月内有大小潮变化. 杭州湾是典型的喇叭型河口, 地处湾口的芦潮港站是湾内潮差较小的地点. 根据 2005~2006 年芦潮港渡码头实测潮位资料, 绘制芦潮港潮差累积频率曲线见图 1. 芦潮港累积频率分别为 10%、50% 和 90% 的大、中、小潮潮差分别为 4.15、3.20 和 2.00 m, 潮汐强度属中等.

芦潮港海域历史上曾进行过多次水文泥沙测验工作, 由于边界条件的改变, 这些资料大部分已无太大实际价值; 本文选择近年芦潮港海域的 3 次水文测验资料进行分析, 分别是 2003-12-11~18 在重件码头邻近水域、2004-06-20~27 在芦潮港海域、2006-05-28~06-04 车客渡码头施测的, 各次水文测验测流点位置见图 2.

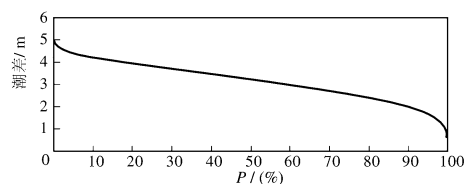


图 1 芦潮港潮差累积频率曲线(2005-2006 年)
Fig. 1 Cumulative frequency curves of tidal range in Luchaogang sea area

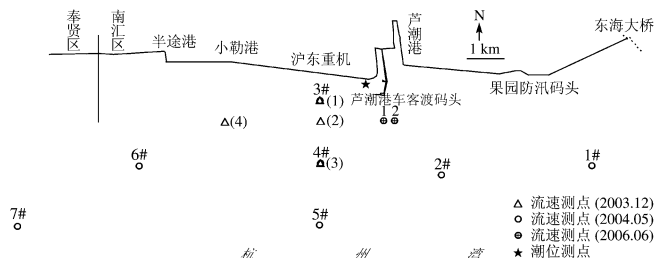
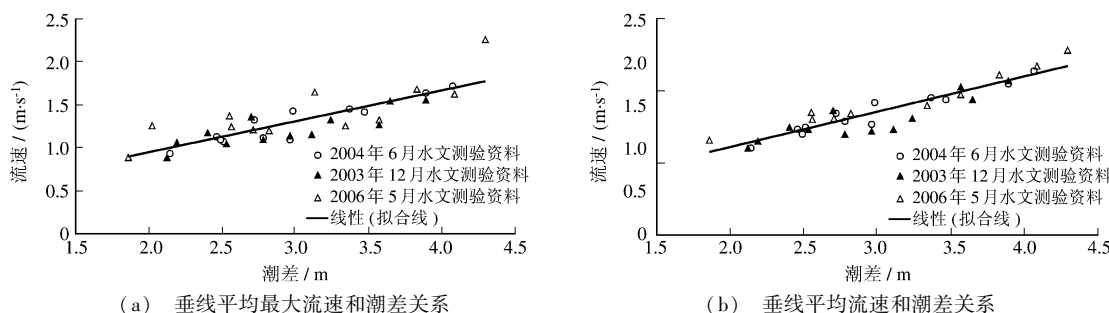


图 2 芦潮港水域近年 3 次水文测验测点布置
Fig. 2 Hydrological observation points in Luchaogang in recent years

收稿日期: 2008-02-16

作者简介: 佘小建(1972-), 男, 江苏如皋人, 工程师, 硕士, 主要从事海岸工程及港口水道工程泥沙研究. E-mail: xjshe@nhri.cn

分析这3次水文测验资料可见,芦潮港近岸海域潮流具有以下特点:(1)芦潮港附近海域为强潮海域,潮流场的流速大小与潮差有关,特别是半潮平均流速与潮差有较好的相关关系(见图3);(2)芦潮港海域大潮(累积频率10%)条件下,垂线平均最大流速为1.65~2.32 m/s,平均为2.0 m/s;全潮平均流速约1.25 m/s。中潮(累积频率50%)条件下,垂线平均最大流速约为1.45~1.55 m/s,平均值为1.5 m/s;全潮平均流速约0.95 m/s。小潮(累积频率90%)条件下,垂线平均最大流速为1.1 m/s;全潮平均流速约0.55 m/s;(3)芦潮港海域涨潮流强度稍大于落潮流,两者之比为1.1:1;(4)芦潮港附近水域涨潮流平均流向在 258° ~ 286° 之间,落潮流在 84° ~ 111° 之间;水流基本为平行于岸线的往复流。



(a) 垂线平均最大流速和潮差关系

(b) 垂线平均流速和潮差关系

图3 芦潮港海域垂线平均流速与潮差的关系

Fig. 3 Relationship between depth average velocities and tidal range in Luchaogang sea area

1.2 波浪

在沪东重机码头前离岸1 km水域于2005-04-01~2006-03-31进行了为期1年的波浪观测,观测点处水深约7.5 m。这1年中有部分时段资料缺失,2005-07-24~10-04和2006-01-04~03-31没有夜间资料,其中2005-08-28~09-16全天无资料。根据这1年观测资料统计得各向平均波高、出现频率及波能比结果见表1。图4为当地平均风速与平均波高相关情况,显然两者之间相关关系较好。芦潮港海域常浪向和强浪向一致,主要集中在E、ESE、SE三个方向,占31.1%。年平均波高 $H_{1/10}=0.42$ m,平均波周期 $\bar{T}=2.9$ s。表2为月最大波高及波向,可以看出,春夏季波浪较大,秋冬季波浪较小;大浪主要发生在ENE~SE范围内,而且主要集中在E、ESE和SE三个方向上。

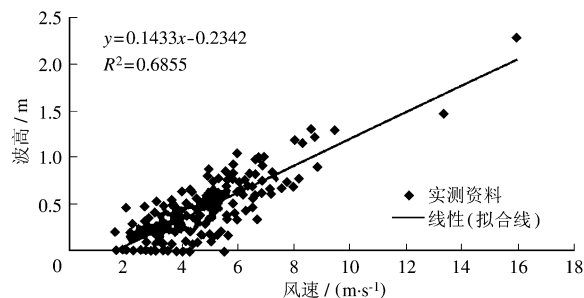


图4 日平均波高与日平均风速关系

Fig. 4 Relationship between daily average wave height and daily average wind velocity

表1 芦潮港各向平均波高、频率及波能比

Tab. 1 Average wave height, frequency and wave energy percentage of each direction in Luchaogang sea area

波向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	C
波高(m)	0.29	0.31	0.31	0.39	0.56	0.58	0.65	0.58	0.56	0.44	0.47	0.44	0.51	0.33	0.3	0.26	
频率(%)	5.8	5.4	5.9	5.7	11.4	8.5	11.2	5.9	6.8	2.8	3.0	2.4	2.5	2.4	4.8	4.7	11.0
波能比/%	2.3	2.6	2.9	4.6	17.4	14.4	22.0	8.2	9.4	2.6	3.0	2.1	3.0	1.1	2.0	1.5	0.8

表2 芦潮港月平均波高和月最大波高及波向情况

Tab. 2 Monthly average wave height, and maximum monthly wave height and corresponding wave direction in Luchaogang (单位: m)

月份	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
平均波高(m)	0.48	0.57	0.61	0.63	0.66	0.45	0.26	0.28	0.28	0.27	0.14	0.25
最大波高(m)	2.1	2.2	1.8	2.1	3.0	1.4	1.1	1.0	0.8	1.2	1.0	1.2
波向	E	ENE	W	ESE	SE	S	ENE	SSE	NW	NNE	N	SE

2 芦潮港海域泥沙条件

2.1 芦潮港悬沙条件

2003-12-11 ~ 18 资料分析表明,本海域大、中、小潮平均含沙量分别为 1.35, 1.22 和 0.78 kg/m³,这一资料可代表近期的冬季含沙量. 2004-06-20 ~ 27 资料分析表明,本海域大、中、小潮平均含沙量分别为 1.33, 1.18 和 0.72 kg/m³. 在测量期间,大、小潮期间基本为无风天,中潮期间有 5 级风,这一资料可代表近期夏季含沙量. 根据 2004-06-20 ~ 27 各潮期间悬沙沙样分析,芦潮港海域悬沙级配比较均匀,平均粒径为 0.007 ~ 0.009 mm,为粉沙质粘土. 从 2003 和 2004 年含沙量平面分布看,涨潮期间近岸区含沙量明显大于深水区,落潮期间含沙量分布相对均匀.

2.1.1 芦潮港车客渡码头前后沿含沙量 2005 年 5 ~ 7 月芦潮港车客渡码头测波的同时,还进行了表层含沙量的观测,与测波点相对应,含沙量观测点位于测波点所在位置紧靠码头前后沿. 从含沙量的平面分布看,码头前沿 A' 点最高,平均为 0.716 kg/m³,无挡浪板码头后沿 C' 点次之,平均为 0.701 kg/m³,有挡浪板码头后沿 B' 点最低,平均为 0.639 kg/m³. 受挡浪板掩护, B' 点位于波影区,波动力减弱,水体挟沙能力降低,特别是表层紊动减弱,悬沙沉降使表层含沙量明显减小. 因此,在挡浪板的掩护区可能出现泥沙淤积. 没有挡浪板条件下,码头后沿仍有较强的波动力,横向上码头前后沿有一定的水体交换. 因此, A'、C' 点含沙量差别不大.

2.1.2 台风期芦潮港海域含沙量 2005 年夏季测得 2 次台风过程波高和表层含沙量,海棠台风期间最大波高 $H_{4\%} = 1.3$ m,麦莎台风期间 $H_{4\%} = 2.5$ m,根据资料分析,麦莎台风对含沙量的影响更明显.

根据芦潮港海域潮差与流速关系可知,海棠台风期间和麦莎台风期间海域平均流速分别可达到 0.95 和 1.05 m/s,据此可以计算出当地潮流和波浪动能量级(见表 3). 海棠台风期间潮流动能是波浪动能的 3.49 倍,麦莎台风期间潮流动能与波浪动能相当. 从这两次台风期间潮流动能与波浪动能对比以及含沙量的变化可以看出,芦潮港海域决定含沙量大小的主要动力因素是潮流,只有在波浪强度足够大的条件下,波浪对海域含沙量的影响才比较明显.

表 3 台风期间潮流动能与波浪动能

Tab. 3 Comparison of current kinetic energy with wave kinetic energy during typhoon

台风名称	动力因素	潮流流速 / (m · s ⁻¹)	波 高 / m	水 深 (平均海平面) / m	动 能 / (J · m ⁻²)	潮流动能 / 波浪动能
海棠	潮流	0.95		8	3 610	3.49
	波浪		1.3	8	1 035	1
麦莎	潮流	1.05		8	4 410	1.15
	波浪		2.5	8	3 828	1

2.2 底 质

2004 年 6 月水文测验期间,在研究海域东至果园防汛码头,西至南汇-奉贤县界,南北约 8 km 范围,采取底质沙样 120 个进行颗分. 结果表明,近岸区约 1 km 范围基本为 0.015 ~ 0.030 mm 的细粉沙,1 km 以外海域为比较均匀的粉沙质淤泥,平均粒径为 0.010 ~ 0.015 mm.

从底质泥沙的级配可以看出,研究海域基本上为淤泥质岸滩,岸滩形态主要由潮流动力所塑造,但波浪对近岸区泥沙作用也较明显.

2.3 地形冲淤分析

1994 年开始,南汇嘴附近滩地开始大规模的人工促淤造地工程,0 m 等深线以上滩地大部分被圈围,如此大规模的促淤造地工程产生了巨大影响,一是固定了南汇嘴东 0 m 线以上滩地的边界,这在相当大的程度上稳定了“摇头沙”的摆动范围;二是阻隔了南汇嘴附近水域滩槽水流及泥沙的交换,且大量泥沙被吹填到

围垦区内,削减了沿岸水体的泥沙来源,降低了含沙浓度;三是筑堤后原先大量进滩水流被阻,围堤后南汇嘴分(汇)流点东移,均使芦潮港海域水流更加平顺、水流强度得以加强.在上述各因素的共同作用下,芦潮港附近滩涂由淤涨型近年逐渐调整过渡为冲刷型.

在这种水沙环境下,使地形也发生了相应变化,堤前滩地变窄,滩坡变陡,1995年以来,芦潮港、新开港和黄沙港断面0~-8 m滩坡达10‰~16‰;海床冲刷加深,8 m等深线不断向岸方向移动;1997~2005年,芦潮港海域海堤前沿海床8 m等深线逐渐趋向稳定,8 m等深线距岸距离在2 000~2 300 m,水下滩坡处于缓慢侵蚀状态.

3 适用于芦潮港海域的挟沙力关系式

根据芦潮港海域水文泥沙测验资料,以及2005-04~2006-03芦潮港的波浪、含沙量观测资料,整理得到适合芦潮港海域波、流共同作用下的水流挟沙力关系式:

$$S_* = \gamma_s \left(K_1 \frac{v^2}{gh} + K_2 \frac{H^2}{h^2} \right) \quad (1)$$

式中:系数 $K_1=0.056$, $K_2=0.0106$;H为波高;h为水深;v为全潮平均流速.

(1)式计算结果与实测资料的比较见图5.可见,(1)式能较好地反映芦潮港海域波、流共同作用下的水体挟沙力.该关系式适用于波浪未破碎条件,若计算破波区,则可能偏小.

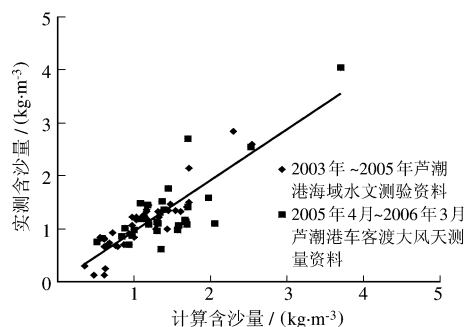


图5 (1)式计算结果与实测含沙量比较

Fig.5 Comparison between eq. (1) and the measured data

4 结 语

- (1) 芦潮港附近海域,为杭州湾北岸强潮流、高含沙区.芦潮港海域潮流为主要动力,潮流是控制海域含沙量和地形冲淤的主要因素;
- (2) 芦潮港海域为淤泥质岸滩,岸滩形态主要由潮流动力所塑造,波浪对近岸区泥沙作用也较明显;
- (3) 地形冲淤分析表明,由于南汇东滩大规模围海造地,减少了杭州湾泥沙来源,同时使芦潮港海域水流平顺、流速加强;进而使芦潮港附近滩涂由淤涨型近年逐渐调整过渡为冲刷型;
- (4) 根据现场实测资料整理的挟沙力关系式,能较好反映芦潮港海域波、流共同作用下的水体挟沙力.

参 考 文 献:

- [1] 徐 啸,崔 峥. 上海临港产业区沪东重机码头潮流、泥沙整体物理模型试验研究[R]. 南京:南京水利科学研究院, 2004. (XU Xiao, CUI Zheng. Integrated physical model test of tide, sediment of Hudong heavy machinery dock in Shanghai Lingang sea area[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2004. (in Chinese))
- [2] 余小建. 上海芦潮港车客渡码头改造工程水流、波浪及泥沙问题研究[R]. 南京:南京水利科学研究院, 2006. (SHE Xiao-jian. The analysis of tide, wave and sediment for roll-on berth rebuild engineering of Shanghai Luchaogang[R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2006. (in Chinese))
- [3] 刘家驹. 在风浪和潮流作用下淤泥质浅滩含沙量的确定[J]. 水利水运科学研究, 1988, (2): 69-77. (LIU Jia-jie. Ascertain on the sediment concentration under the wave and current in muddy coast[J]. **Hydro-Science and Engineering**, 1988, (2): 69-77. (in Chinese))
- [4] 徐新华. 芦潮港车客渡码头前后波浪和含沙量比对观测分析报告[R]. 上海:上海东海海洋工程勘察设计院,

2006. (XU Xin-hua. The analysis of wave and sediment concentration before and behind the roll-on berth in Luchaogang sea area[R]. Shanghai: Shanghai East Sea Coast Investigation and Design Institute, 2006. (in Chinese))
- [5] 曹祖德. 波、流共存时的水体挟沙力[J]. 水道港口, 2001, 22(4): 151-155. (CAO Zhu-de. The sediment transport capacity under waves and tidal currents[J]. **Journal of Waterway and Harbour**, 2001, 22(4): 151-155. (in Chinese))
- [6] 庄 骅. 洋山港区一期工程港池水域水文泥沙分析[J]. 水道港口, 2001, 22(1): 31-35. (ZHUANG Hua. Analysis of hydrographic and sediment in the basin of the first phase project of Yangshan Harbor[J]. **Journal of Waterway and Harbour**, 2001, 22(1): 31-35. (in Chinese))
- [7] 张长宽. 波浪及水流共同作用下的泥沙运动[J]. 河海大学学报, 1990, 8(5): 37-45. (ZHANG Chang-kuan. The sediment transport under waves and tidal currents[J]. **Journal of Hohai University**, 1990, 8(5): 37-45. (in Chinese))
- [8] 白玉川. 泥质床面上波浪衰减规律的研究[J]. 水利学报, 2001, 11: 56-61, 69. (BAI Yu-chuan. Study on the rule of wave decaying on silt seabed[J]. **Journal of Hydraulic Engineering**, 2001, 11: 56-61, 69. (in Chinese))
- [9] 虞志英. 上海临港芦潮港车客渡码头改造工程海床稳定性分析[R]. 上海: 华东师范大学, 2006. (YU Zhi-ying. Analysis of seabed evolution of Luchaogang sea area of shanghai[R]. Shanghai: East China Normal University, 2006. (in Chinese))
- [10] 严 恺. 海岸工程[M]. 北京: 海洋出版社, 2002: 206-217. (YAN Kai. Coast Engineering[M]. Beijing: Ocean Press, 2002: 206-217. (in Chinese))
- [11] 虞志英. 上海临港新城 5000 吨级码头选址自然条件可行性分析[R]. 上海: 华东师范大学, 2003. (YU Zhi-ying. Analysis of natural condition of 5000t dock in shanghai Lingang new city[R]. Shanghai: East China Normal University, 2003. (in Chinese))

Analysis of hydrological and sediment field data in Luchaogang sea area of Shanghai

SHE Xiao-jian, CUI Zheng, XU Xiao

(*Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*)

Abstract: Based on a great amount of hydrological, sediment, wave field data and a lot of topographic maps in recent years in Luchaogang sea area, the characteristics of wave, tidal current and sediment are analysed in this study. The results show that the Luchaogang sea area is a strong tidal current and high sediment concentration sea area, and that the tidal current is the main power which controls sediment concentration and topography evolution in the Luchaogang sea area, with the wave being the lesser one. The Luchaogang sea area is a muddy coastal area, which is shaped by tidal current mainly. In the near shore area, the actions of waves on sediment are patent. In the paper, the relationships between sediment concentration, tidal current, and wave are analysed, then the sediment-carrying capacity formula under the combined action of waves and currents of the Luchaogang sea area is given. The results show that the formula can satisfactorily reflect sediment concentration in the field.

Key words: wave; tidal current; sediment; sediment-carrying capacity; Luchaogang