



洋山港区域挟沙力公式研究*

沈 淇, 顾峰峰, 戚定满, 孔令双, 万远扬, 王 巍

(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: 利用基于能量平衡观点推导的挟沙力公式, 考虑到洋山港海域涨落潮期间悬沙浓度存在一定差异, 分别建立了该区域涨潮时期及落潮时期挟沙力公式。利用计算底部通量切引力公式与挟沙力公式相等方法, 估算了实测期间水体挟沙力值, 并以洋山港2003年10月实测的水沙资料进行率定。最后, 采用洋山港2005年7月实测含沙量资料对公式计算结果进行验证。验证结果表明, 所建立的挟沙力公式具有较高精度, 其计算的含沙量变化与洋山港实际情况较为符合。

关键词: 洋山港; 挟沙力公式; 涨落潮; 含沙量

中图分类号: TV 148

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)11-0083-04

On formula for suspended sediment carrying in Yangshan harbor

SHEN Qi, GU Feng-feng, QI Ding-man, KONG Ling-shuang, WAN Yuan-yang, WANG Wei

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

Abstract: Considering the sediment difference during the flood tide and the ebb tide, two formula deduced from the viewpoint of energy balance, for suspended sediment carrying in the Yangshan harbor of each flood and ebb tide are established. The suspended sediment carrying is calculated from the equation that the formula evaluating the bottom sediment flux by shear stress equals the formula by suspended sediment carrying. The observed data at the Yangshan harbor in October of 2003 is taken to calibrate the coefficients of the formula for suspended sediment carrying. Finally, the formula is verified by the measured data of suspended sediment concentration in the Yangshan harbor in July of 2005. The result shows that the established formula for suspended sediment carrying in the Yangshan harbor has a high precision. The calculated sediment concentration is in agreement with the measured ones.

Key words: Yangshan harbor; suspended sediment carrying; flood and ebb tide; sediment concentration

水流挟沙能力是指在一定的水流泥沙及边界条件下,单位水体所能够挟带和输送泥沙的数量,其是表征可动周界内的水流在一定的水沙条件下,能挟带泥沙的最大临界浓度值。研究水流挟沙力问题是水流运动中一个十分重要的课题^[1]。

近年来,国内外泥沙科学工作者对水流挟沙力问题进行了广泛研究和应用,并在研究中得到了许多挟沙力公式。总的来说,建立水流挟沙力公式一般多采用以下几种方法,其一是采用经验

分析方法^[2-4],它是通过寻找水流挟沙力主要的影响因素或因子,然后采用实测资料进行回归和统计分析;其二是采用因次分析法^[5-6],该方法通过分析水流挟沙力主要的影响因素,通过量纲分析,来确立挟沙力公式;其三是采用能量平衡的方法,其中最具有代表性的工作是维利坎诺夫^[7]的重力理论以及张瑞瑾^[8]的悬移质具有制紊作用的假说。能量平衡法具有一定的理论基础,得出的挟沙能力公式较为可靠,因此,受到国内外学者极大重视和广

收稿日期: 2013-08-25

*基金项目: 国家海洋局公益性项目(200905001-04)

作者简介: 沈淇(1985—),男,硕士,主要从事河口海岸水动力学、泥沙数值模拟研究。

泛使用^[9-11]。

洋山港位于长江河口地区，而对于河口地区，水流多以往复流为主，地形冲淤变化较大，实测的含沙量数据与该区域饱和含沙量值有较大偏离，不能直接利用实测数据对特定挟沙力公式系数进行率定验证^[12]。通常采用潮平均或者是半潮平均的方法来对实测数据进行处理^[13]，近似认为在单个潮周期或半个潮周期过程中，水体平均含沙量与该区域饱和含沙量较为一致，可用于挟沙力公式系数的率定。顾峰峰等^[14]通过建立切应力模式与挟沙力模式分别计算得到的底部泥沙通量相等的关系，对比分析确定其中相关量后，计算出泥沙恢复饱和过程中挟沙力与含沙量之间的修正值，以此来估算该测量期间饱和含沙量值，并对挟沙力公式系数进行率定及验证。

因此，考虑到洋山港海域涨落潮期间悬沙浓度存在一定差异，本文利用基于能量平衡观点推导的挟沙力公式，建立该区域涨潮时期及落潮时期挟沙力公式，能更好地反映洋山港区域水体挟

沙力情况，采用2003年10月及2005年7月实测水沙资料对挟沙力公式进行率定及验证。

1 研究区域概况

洋山港区海域潮汐属非正规半日潮性质，日潮不等现象比较明显。在半个太阴日的时间段内，有一次主要向西略偏北的涨潮流和一次主要向东略偏南的落潮流。受岛链遮蔽作用的影响，洋山港港区多年平均 $H_{1/10}$ 波高约0.47 m，波浪作用较小^[15]。小洋山年平均潮差2.77 m，潮汐强度中等。洋山港及周边海域平均中值粒径约为0.008 mm，属于细粉砂质。表1为2003年10月洋山港各测点含沙量，从统计结果看，洋山港区域涨潮平均含沙量普遍大于落潮平均含沙量，涨潮平均含沙量最大约为落潮平均含沙量的1.3倍。鉴于洋山港区域涨落潮期间水体含沙量存在一定差异，建立该区域涨潮时期及落潮时期挟沙力公式能更好地反映出洋山港区域涨落潮过程中水体挟沙能力。

表1 2003年10月洋山港区域涨落潮含沙量

站位	经度	纬度	涨潮平均/(kg·m ⁻³)	落潮平均/(kg·m ⁻³)	涨潮/落潮
K6	122°03'02.65"E	30°38'58.29"N	1.00	1.03	1.0
T2	122°02'37.20"E	30°38'50.40"N	0.86	0.72	1.2
K1	122°02'12.35"E	30°38'51.25"N	1.08	0.98	1.1
K2	122°02'13.68"E	30°38'41.20"N	0.93	0.71	1.3
K3	122°01'56.47"E	30°38'46.90"N	0.72	0.58	1.3
K4	122°01'08.82"E	30°39'07.40"N	0.82	0.86	1.0
K5	122°02'17.65"E	30°38'19.56"N	0.91	0.69	1.3
M6	122°02'16.00"E	30°38'00.00"N	0.71	0.66	1.1
M9	122°03'16.00"E	30°37'16.00"N	0.78	0.75	1.0
M10	122°03'39.00"E	30°36'59.00"N	0.84	0.66	1.3
P1	122°01'30.00"E	30°37'30.00"N	0.82	0.84	1.0

2 挟沙力计算方法

现有的挟沙力公式大多具有如下常见的形式：

$$C_s = k \left(\frac{U^3}{gR\omega} \right)^m \quad (1)$$

式(1)大多从能量平衡观点进行理论推导而得，具有一定的理论基础^[14]。式中： C_s 代表水体饱和含沙量(kg/m³)，即水体挟沙能力； U 为平均流速(m/s)； R 为水力半径(m)，本文采用实际水深； g 为重力加速度(m/s²)；系数 k, m 是由实测资

料率定而得。在以往河口挟沙力公式研究中，水体挟沙力数据往往采用潮周期平均或半潮平均等方法来获得，认为在单个或多个潮周期运动下，水体含沙量基本处于平衡状态，潮周期平均下的水体含沙量可近似认为是水体挟沙力。然而，对于洋山港区域，利用2003年10月11个测点实测水沙数据，采用潮平均方法获得的水体含沙量并不代表该区域水体挟沙力，其与 $U^3/(gH)$ 的相关性较差(图1)。

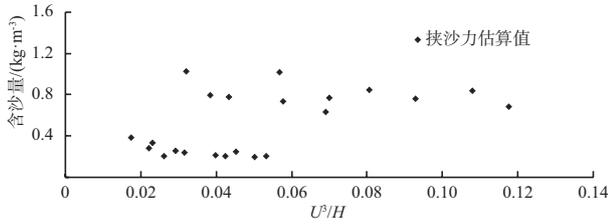


图1 潮周期平均含沙量与 U^3/H 关系

由图1可知, 传统的挟沙力估算方法并不适用于洋山港海域, 顾峰峰提出的利用计算底部通量切引力公式与挟沙力公式相等方法^[14], 估算了实测期间挟沙量值。

$$S_s = \frac{m}{\alpha\omega} \left(\frac{\tau_b}{\tau_c} - 1 \right) + S \quad \tau_b > \tau_c \quad (2)$$

式中: S_s 为水体挟沙力; m 为冲刷系数, 根据以往研究经验, 取为 $0.7 \times 10^{-4} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; α 为冲刷时的恢复饱和系数, 一般取为 1^[16]; ω 为泥沙群体沉降速度, 根据经验取为 0.0004 m/s ; τ_c 为泥沙临界启动切应力, 根据曹祖德对不同细颗粒泥沙的试验结果^[17] 估取 0.2 N/m^2 ; 底切应力 τ_b 的计算采用均匀流糙率系数估算, 计算式为

$$\tau_b = \rho g \left(\frac{\bar{U}n}{h^{1/6}} \right)^2 \quad (3)$$

3 洋山港挟沙力公式建立

根据2003年10月11个测点的洋山港实测水沙数据, 对观测期间水体挟沙力进行了计算, 观测站点(图2)主要集中在小洋山附近, 观测期间, 每个测点数据采用“六点法”分别记录各测点流速、含沙量、水深等信息。

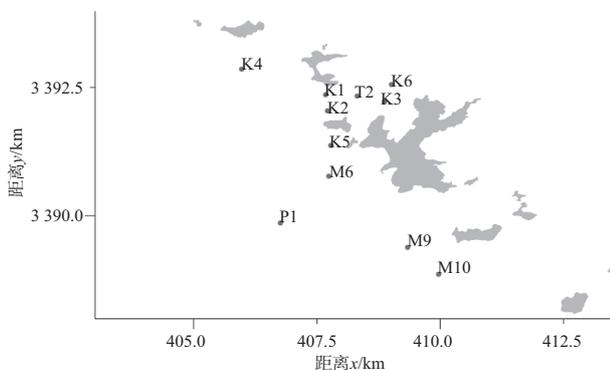


图2 洋山港观测站点位置

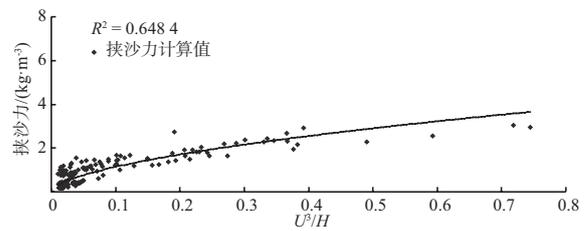
图3为由式(1)和(2)推得的洋山港区域涨、落潮挟沙力率定曲线图。采用底部通量切应

力公式与挟沙力公式相等方法所得的挟沙力与 $U^3/(gH)$ 相关性较好, 涨潮期间, 其相关性系数约为0.64, 落潮期间, 相关性系数约为0.58。涨潮时期, 洋山港区域挟沙力公式为:

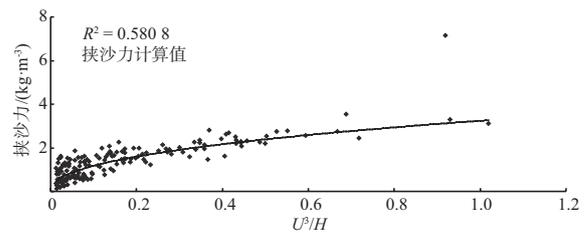
$$S_s = 4.3355 \left(\frac{U^3}{H} \right)^{0.5793} \quad (4)$$

落潮时期, 洋山港区域挟沙力公式为

$$S_s = 3.2413 \left(\frac{U^3}{H} \right)^{0.4416} \quad (5)$$



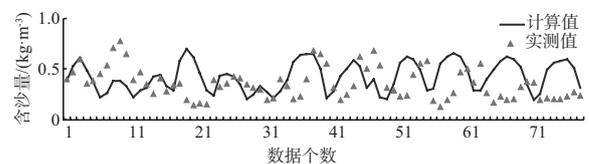
a) 涨潮



b) 落潮

图3 洋山港区域挟沙力率定曲线

根据所率定的洋山港涨落潮挟沙力公式, 采用2005年7月大中小潮洋山港实测水沙数据对公式进行验证。观测测点位置见图2。其中, 测点K1,K2,T2位于小洋山—一颗珠山狭道一带, K4位于大乌龟岛南侧, M6,P1则位于小洋山以南开阔水域。从验证结果可以看出(图4), 率定的洋山港涨落潮挟沙力公式能基本满足洋山港水体挟沙的变化情况, 各测点验证结果良好, 计算的各测点逐时含沙量变化情况与实测结果基本接近, 但由于本次数据主要集中在近小洋山岛附近, 对于大洋山附近以及P1点区域处, 公式的验证效果不佳, 有待日后的资料的进一步收集及修正。



a) K1

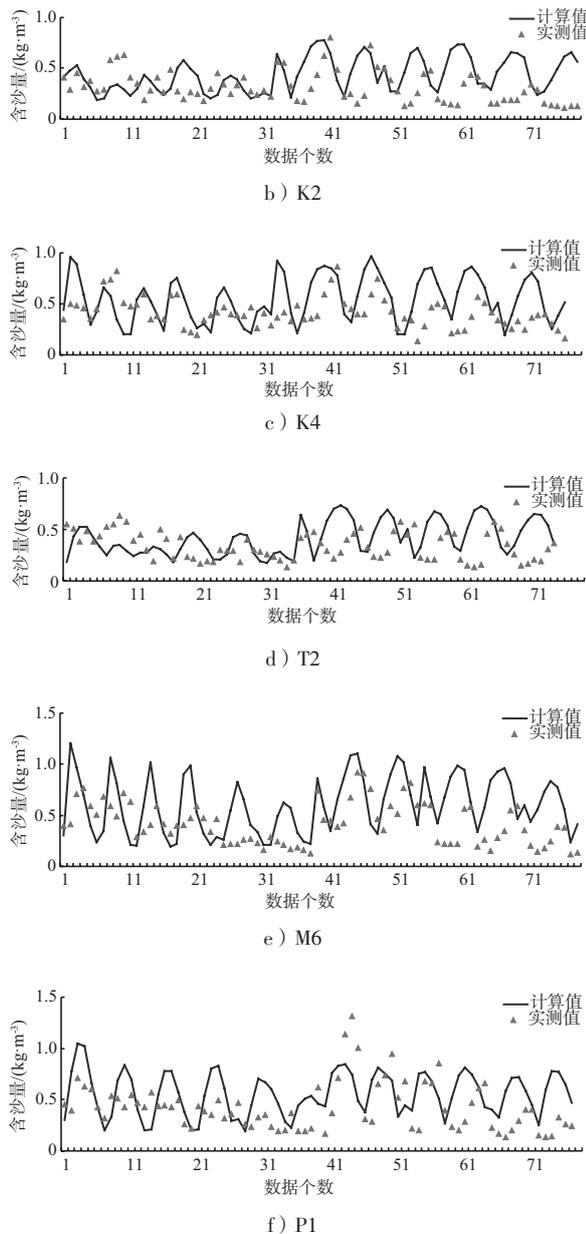


图4 洋山港涨落潮挟沙力公式验证

4 结论

1) 本文对洋山港(近小洋山附近)2003年10月及2005年7月实测的水沙数据进行分析,利用潮周期平均方法估算了该区域水体挟沙力,发现采用潮周期平均方法并不能较好地反映该区水体挟沙能力,其与 $U^3/(gH)$ 的相关性较差。因而,本文根据顾峰峰所提出的底部通量切引力公式与挟沙力公式相等方法估算了该区域的水体挟沙力,该方法能较好地反映出洋山港区域水体挟沙力的变化情况,其数据利用率较高。

2) 通过对洋山港实测水沙数据分析发现,

洋山港区域涨落潮含沙量变化存在一定差异,涨潮平均含沙量要大于落潮平均,采用涨落潮分开的方式能更好地反映该区域水体挟沙力的变化情况。利用2003年10月实测水沙数据对涨落潮挟沙力公式进行率定并用2005年7月测点资料进行了验证,其率定验证结果显示,本文所建立的挟沙力公式能基本符合洋山港挟沙力变化特征,其结果可为泥沙数学模型参数选取提供依据。

3) 本文采用的实测水沙数据主要集中在小洋山一带,而对洋山港南侧区域(测点P1以南)由于实测资料较少,其P1点验证效果不佳,因而,为了能进一步改进洋山港区域挟沙力公式,需要日后对该区域大范围实测资料做进一步收集整理。

参考文献:

- [1] 张瑞瑾,谢鉴衡,陈文彪. 河流动力学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2007.
- [2] 沙玉清. 泥沙运动的基本规律[J]. 泥沙研究, 1956(2):1-54.
- [3] Han Zengcui, Chen Hangping. Computation in the Qiantang estuary with consideration of sediment transport in tidal flat[J]. China Ocean Engineering, 1987(2):76-90.
- [4] 赵龙保, 祝永康. 椒江河口挟沙力经验关系初步分析[J]. 泥沙研究, 1991 (4): 69-75.
- [5] 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): 69-73.
- [6] 张燕菁, 胡春宏. 黄河口输沙关系的探讨[J]. 泥沙研究, 1997(2): 46-50.
- [7] M A 维里坎诺夫. 泥沙运动重力理论基础[J]. 泥沙研究, 1956(1): 4-14.
- [8] 张瑞瑾. 论重力理论兼论悬移质运动过程[J]. 水利学报, 1963 (3): 11-23.
- [9] 费祥俊, 舒安平. 多沙河流水流输沙能力的研究[J]. 水利学报, 1998(11): 38-43.
- [10] 黄惠明, 王义刚, 王乐乐, 等. 群岛阻滞效应影响舟山群岛水流挟沙力空间变化研究[J]. 泥沙研究, 2010(6): 60-67.
- [11] 吴德安, 张忍顺, 严以新, 等. 江苏辐射沙洲潮流水道挟沙力的分析与构建[J]. 水动力学研究与进展, 2007, 22(3): 371-379.
- [12] 邢云, 宋志尧, 孔俊, 等. 长江口水流挟沙力公式初步研究[J]. 水文, 2008(1): 64-66. (下转第105页)