

洋山深水港区年平均含沙量的推算

刘红¹, 丁健¹, 黄志扬¹, 张华¹, 金镠², 虞志英²

(1. 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120; 2. 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062)

摘要: 利用工作船站 1998—2008 年逐日表层含沙量和短期水沙观测资料, 分析了洋山深水港区海域的含沙量分布特征, 提出适用于其他海域的年平均含沙量推算方法。分析表明: 受长江入海泥沙减少的影响, 工作船站 2005—2008 年表层年平均含沙量减少约 17%; 月均含沙量表现出明显的“冬高夏低”的季节性变化特点, 与长江入海泥沙向南扩散的季节性密切相关。洋山海域表层含沙量和垂线平均含沙量的回归分析表明二者呈显著的线性关系。根据年平均含沙量计算结果, 西口门附近年平均含沙量为 1.01 kg/m^3 , 西港区和蒋公柱前沿年平均含沙量约为 1.35 kg/m^3 , 颗珠山汉道由于受“峡道效应”的影响, 年平均含沙量较高, 为 $1.31 \sim 1.75 \text{ kg/m}^3$ 。以洋山西港区为例, 估算年回淤量, 取得较好的效果。

关键词: 洋山港; 年平均含沙量; 垂线平均含沙量; 年回淤强度

中图分类号: TV148

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2012)04-0010-08

Calculation of Average Annual Suspended Sediment Concentration in Yangshan Deepwater Port Area

LIU Hong¹, DING Jian¹, HUANG Zhiyang¹, ZHANG Hua¹, JIN Liu², YU Zhiying²

(1. Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co. Ltd, Shanghai 200120, China;

2. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: The distribution of suspended sediment concentration (SSC) at deepwater area of Yangshan Port was analyzed based on the data of daily surface SSC at Work Boat Station and short term hydrological and sediment observations in 1998—2008, and the calculation method of average annual SSC was presented, which could be applied to other coastal environments. The results showed that the annual surface SSC at Gongzuochuan Station during 2005—2008 was decreased by 17% due to the decline of Yangtze River sediment into the sea. The features of high content in winter and low content in summer showed the obvious variation of monthly SSC, which was related to the seasonal characteristics of Yangtze River sediment transport southward. The analysis of surface SSC and the regression analysis of average SSC in vertical plane showed that both of them are of significant linear relationship. The calculations showed that the average annual SSC at west entrance and west Yangshan Port & Jianggongzhu shoal were 1.01 kg/m^3 and 1.35 kg/m^3 respectively. And the average annual SSC at Kezhushan channel was $1.31 \sim 1.75 \text{ kg/m}^3$, which was higher than other areas due to the strait channel effect. The back siltation amount at western part of Yangshan Port was estimated, which agreed with the measured results.

Key words: Yangshan Port; average annual SSC; average SSC in vertical plane; annual siltation density

上海国际航运中心洋山深水港区位于杭州湾口北部、长江口南翼南汇嘴的芦潮港东南约 32 km 的崎岖列岛内, 通过东海大桥与芦潮港相连, 距上海市区约 86 km (图 1)。由于崎岖列岛特殊的“峡-岛”环境, 塑造了大、小洋山前沿的深槽, 为大、小洋山港池和航道的建设创造了有利的条件。通过 7 年多的建设, 目前已建成一期、二期、三期工程, 共形成 5.6 km 深水集装箱码头岸线、16 个大型集装箱泊位, 围海成陆近 8 km^2 , 集

收稿日期: 2011-11-03

基金项目: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司专业建设项目(2010-120S)

作者简介: 刘红(1978—), 男, 湖北宜昌人, 高级工程师, 博士, 主要从事河口海岸水沙运动和工程泥沙方面的研究。

E-mail: liuhg007@yahoo.com.cn

装箱年设计吞吐能力达 930 万 TEU(twenty-foot equivalent unit)。洋山深水港区四期工程位于颧珠山汉道以西,是西港区的一部分,港区岸线长为 1.65 km。

为配合洋山深水港兴建,对该海域的水文、泥沙和沉积特征进行了较多的研究工作,如探讨洋山港区的水沙特性、峡道效应及建港意义^[1-4]、沉积特征及泥沙来源^[5-6]、悬沙时空分布及运动规律^[7-9]、悬沙与底沙的交换^[10]、洋山港建港前后泥沙特征的对比^[11]等。为深入了解洋山港海域的水文泥沙特征奠定了基础。

洋山深水港区建成以后对港池和航道的泥沙回淤情况也进行了研究,认为洋山港区主要为悬移质泥沙回淤,台风天气下的淤积物质主要以浮泥形式存在^[12-13]。由于洋山海域水体含沙量高,受附近泥沙运动、寒潮大风和台风的影响较大,航道开挖后的回淤问题是建设和运营部门关注的关键问题之一。在回淤计算和研究中,常常需要了解研究海域的年平均含沙量大小,而这种长期的资料往往很难进行观测或者观测成本较高。本文利用工作船站连续表层含沙量和短期水沙观测资料相结合的方法,对洋山西港区海域的年平均含沙量进行研究,提出年平均含沙量的计算方法,并估算西港区建成后的年回淤量。

1 研究区域及资料

1.1 研究区域水沙特征

洋山深水港海区潮汐日不等现象明显,研究海区为中等强度潮汐。根据工作船站实测资料分析,平均高潮位 3.88 m,平均低潮位 1.14 m,平均潮差 2.75 m。平均涨潮历时 5 h 51 min,平均落潮历时 6 h 34 min,落潮历时略长于涨潮历时。洋山深水港区潮流属不规则半日浅海潮流性质,受两侧岛链约束,潮流较强,并呈现典型的往复流特征^[14](图 1)。

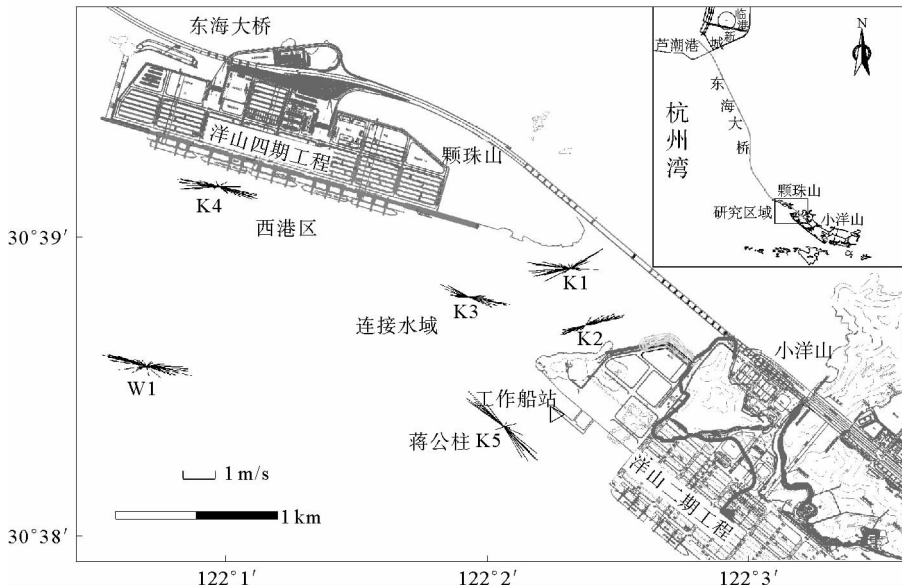


图 1 洋山港概况及流速矢量图

Fig. 1 Sketch of Yangshan Port and the diagram of velocity vectors

据观音山波浪观测资料统计,洋山港海域常浪向为 SSW(年频率 10.1%),次常浪向为 NW(年频率 7.5%),强浪向为 NW 向,其中 3 至 8 月多为 S—SSW 向,9 月至翌年 2 月多为 NW—NNW 向。年平均波高为 0.4 m,大于等于 1.5 m 波高频率仅占 3.9%。外海波浪受大、小洋山等岛屿遮挡的影响,一般经绕射、折射后通过喇叭状口门传入洋山港区水域,并具有涌浪的特征,周期较短^[12]。

洋山港区的泥沙主要来源于长江口输沙,含沙量主要受潮汐和潮流动力作用的影响,冬季还受到风浪的影响。悬沙和底质的中值粒径分别为 6.6 μm 和 10.5 μm ^[11],悬沙和底质的交换较为频繁。

1.2 研究资料

本文的研究资料来源于固定站逐日表层含沙量和定点水文观测资料两部分。固定站资料于 1998—2008 年在工作船站逐日采集表层水样做含沙量分析得到(图 1)。定点水文观测资料于 2007 年 4 月和 2008 年 5 月在洋山西港区开展的水文泥沙观测,利用横式采水器于大、中、小潮 27 小时逐时采集(六点法),水样在实验室过滤、烘干、称重,计算得到水体含沙量。

1.3 研究方法

根据虞志英等^[15]和金鏐等^[16]的研究方法,对洋山西港区附近海域的年平均含沙量进行分析。工作船站 1998—2008 年表层月平均含沙量(S_m)由逐日含沙量观测资料平均求得。第 i 月平均含沙量与年平均值的比例为

$$f_i = \frac{S_{m_i}}{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} S_{m_i}} \quad (1)$$

定点实测垂线平均含沙量 $S_{\text{平}}$ 与表层含沙量 $S_{\text{表}}$ 的关系由相关分析得到:

$$S_{\text{平}} = aS_{\text{表}} + b \quad (2)$$

定点年垂线平均含沙量为

$$\bar{S}_{\text{年}} = \frac{aS_{\text{表}}}{f_i} + b \quad (3)$$

其中: $S_{\text{表}}$ —水文测验大、中、小潮表层含沙量的平均值,代表该月实测表层月均含沙量; f_i —水文观测所在月 f_i 的平均值; a, b —式(2)得到的回归系数。

年平均含沙量计算的研究思路如图 2 所示。

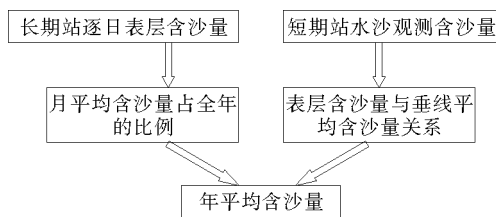


图 2 年平均含沙量计算思路框图

Fig. 2 The idea for calculation of average annual suspended sediment concentration (SSC)

2 洋山海域年平均含沙量

2.1 工作船站表层年平均含沙量

杭州湾和洋山海域的泥沙主要来源于长江口输沙。洋山海域地处杭州湾与长江口的交汇处,是长江入海泥沙向杭州湾及向南输运的必经之路,其表层含沙量的变化情况直接指示长江入海泥沙的扩散情况。1998—2008 年工作船站表层年平均含沙量平均为 0.84 kg/m^3 (图 3)。自 2003 年 6 月三峡蓄水以来,长江入海泥沙量显著减少(图 4)。受其影响,洋山海域工作船站表层含沙量也呈现减少的趋势,大致可分为两个阶段:1998—2003 年三峡蓄水以前年平均含沙量为 0.90 kg/m^3 (洋山海域含沙量对流域来沙减少的响应有滞后效应,故而将 2004 年纳入蓄水前平均);三峡蓄水后的 2005—2008 年,年平均含沙量为 0.75 kg/m^3 ,比三峡蓄水前减少约 17%。

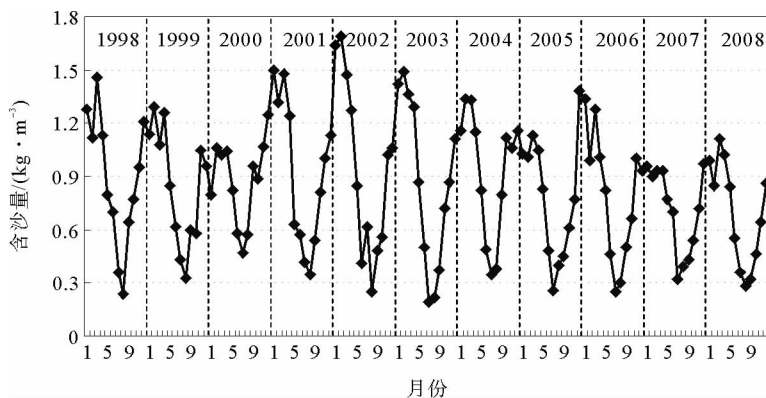


图 3 工作船站表层月平均含沙量图(1998—2008)

Fig. 3 Monthly mean surface SSC in the Gongzuochuan Station (1998—2008)

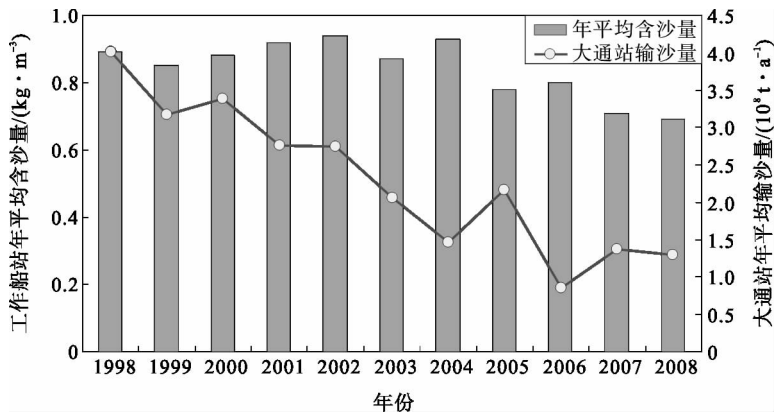


图 4 大通站输沙量与工作船站年平均含沙量变化图(1998—2008)

Fig. 4 Variation of sediment discharge at Datong Station and average annual SSC at Gongzuochuan Station (1998—2008)

对工作船站表层月平均含沙量的分析表明(图 5), 洋山海域表层月平均含沙量变化表现出明显的“冬季高、夏季低”的季节性变化特点, 1—3 月含沙量较高, 平均含沙量为 1.21 kg/m³; 6—8 月含沙量较低, 平均含沙量为 0.42 kg/m³。

洋山海域含沙量的季节变化与长江入海泥沙向南扩散的季节性密切相关。受沿岸流系和台湾暖流的影响, 长江入海泥沙主要向南输运, 并具有明显的季节性。在夏季, 苏北沿岸流减弱, 台湾暖流的势力较强, 苏北沿岸流与台湾暖流在苏北启东嘴外汇合向东北扩散, 最远可到韩国济州岛附近海域, 苏北沿岸流对长江口附近海域的影响有限^[17]。因此, 夏季长江入海悬浮泥沙主要沉积在拦门沙海域及其水下三角洲前缘, 通过杭州湾向南输送的泥沙量较少, 因而洋山海域的含沙量相对较低。

而冬季, 台湾暖流的势力相对较弱, 苏北沿岸流增强, 向南影响长江口海域, 驱使长江入海泥沙摆脱河口的束缚向南输运, 最远可至闽江河口, 成为东海近岸带泥质沉积的主要来源^[18-19]。因而, 冬季洋山海域含沙量较高, 加上冬季风浪作用较强, 一定程度上也使得洋山海域含沙量增加。

对 1998—2008 年月均含沙量占年平均值比例的分析表明(图 6), f_i 大致保持不变, 每年 8 至 10 月受热带气旋、12 月至次年 2 月受寒潮大风的影响, f_i 值年际间变动略大以外, 其他月份 f_i 的值相对稳定。因此, 根据上述分析, 可以认为某一特定海区的月均含沙量占年平均值的比例保持相对稳定。

2.2 西港区含沙量特征

西港区含沙量特征表现为大潮含沙量大于中潮含沙量、中潮含沙量大于小潮含沙量, 涨潮含沙量大于落潮含沙量(表 1)。大潮平均含沙量 2.21~3.18 kg/m³, 中潮含沙量 0.92~2.03 kg/m³, 小潮含沙量 0.53~1.18 kg/m³。

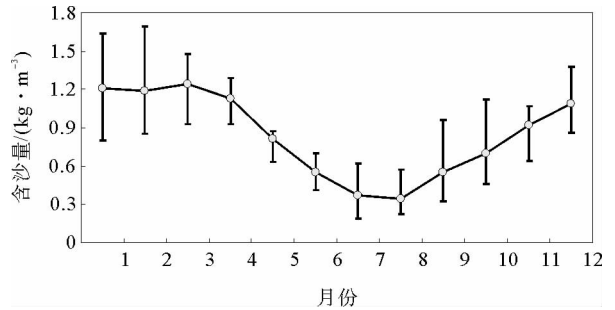


图 5 工作船站表层月均含沙量年内分布图(1998—2008)

Fig. 5 Distribution of monthly surface SSC at Gongzuochuan Station (1998—2008)

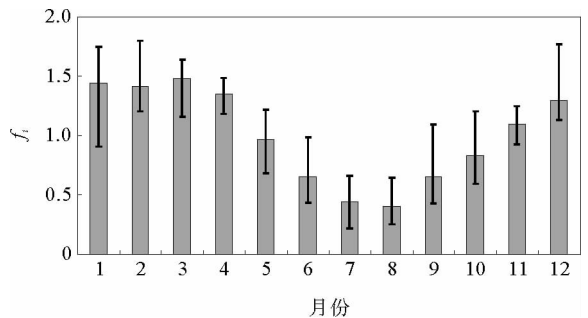


图 6 月均含沙量与年平均值的比例图

Fig. 6 The ratio between the monthly SSC and the average annual values

表 1 西港区垂线平均含沙量特征表(2008 年 5 月)

Tab. 1 Characteristics of average SSC in vertical plane at west Yangshan Port area

kg · m⁻³

| 区域 | 站名 | 涨潮 | | | | 落潮 | | | |
|-------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 大潮 | 中潮 | 小潮 | 平均 | 大潮 | 中潮 | 小潮 | 平均 |
| 西口门 | W1 | 2.27 | 1.42 | 0.59 | 1.43 | 1.54 | 0.83 | 0.44 | 0.93 |
| 西港区 | K4 | 2.06 | 2.18 | 1.40 | 1.88 | 2.14 | 1.66 | 1.14 | 1.64 |
| 连接水域 | K1 | 2.03 | 1.88 | 1.20 | 1.71 | 2.48 | 2.84 | 1.57 | 2.30 |
| | K2 | 2.11 | 1.89 | 1.19 | 1.73 | 2.31 | 1.47 | 0.6 | 1.46 |
| | K3 | 2.18 | 2.35 | 1.37 | 1.97 | 2.25 | 1.70 | 0.98 | 1.64 |
| 蒋公柱前沿 | K5 | 3.30 | 2.80 | 1.22 | 2.44 | 2.47 | 1.51 | 0.97 | 1.65 |

就西港区海域而言,涨潮时蒋公柱浅滩前沿含沙量最大,涨潮平均含沙量达 2.44 kg/m³,西口门附近含沙量最小,平均涨潮含沙量为 1.43 kg/m³。落潮时颗珠山汉道由于受“峡道效应”的影响,含沙量较大,其中 K1 点落潮含沙量达 2.30 kg/m³,西口门附近落潮含沙量最小,为 0.93 kg/m³。

对洋山海域 2007 年 4 月和 2008 年 5 月表层含沙量和垂线平均含沙量的相关分析发现,二者呈良好的线性关系(图 7)。

根据 2007 年 4 月和 2008 年 5 月实测资料,将上述各站所有含沙量进行回归分析(图 7),得到洋山海域垂线平均含沙量 y 与表层含沙量 x 之间的关系为

$$y=1.0072x+0.619. \quad (1)$$

杨华^[8]和左书华^[9]曾利用遥感资料反演了洋山海域表层含沙量的分布特征,并初步分析了泥沙运动规律,取得较好的效果。根据本文的研究,式(1)的结果可运用于遥感资料反演洋山海域垂线平均含沙量的计算和分析。

2.3 西港区年平均含沙量

考虑到 2005 年以后工作船舶的表层含沙量明显降低,因此,表层月含沙量占年平均值的平均比例 \bar{f}_i 由 2005—2008 年的 f_i 求平均值得到,其中 4 月的系数 \bar{f}_i 为 1.35,5 月的系数 \bar{f}_i 为 1.10。式(2)中的系数 a 和 b 由图 7 的回归分析得到。因此,根据式(1)—(3)即可计算洋山西港区附近海域的年平均含沙量(表 2)。

由表 2 可知,西口门附近年平均含沙量为 1.01 kg/m³,颗珠山汉道由于受“峡道”效应的影响,年平均含沙量 1.31~1.75 kg/m³,西港区和蒋公柱前沿年平均含沙量约 1.35 kg/m³。

值得一提的是,由于 2008 年 5 月水文观测期间受到风浪的影响,各站的实测含沙量相对较高,而且表层含沙量与垂线平均含沙量的相关系数也略低,因此,在年平均含沙量的计算时应求其多年平均值,更能反映实际情况。

表 2 西港区海域年平均含沙量表

Tab. 2 The average annual SSC at sea area of western part of Yangshan Port

kg · m⁻³

| 站位 | 2007 年 4 月 | | | | 2008 年 5 月 | | | | 平均值 |
|----|------------|----------------|----------|--------|------------|----------------|----------|--------|------|
| | 全潮表层含沙量 | 系数 \bar{f}_i | 表层年平均含沙量 | 年平均含沙量 | 全潮表层含沙量 | 系数 \bar{f}_i | 表层年平均含沙量 | 年平均含沙量 | |
| W1 | 0.88 | 1.35 | 0.81 | 0.72 | 1.00 | 1.10 | 0.91 | 1.31 | 1.01 |
| K4 | 0.76 | 1.35 | 0.56 | 1.09 | 0.71 | 1.10 | 0.65 | 1.60 | 1.34 |
| K1 | 1.05 | 1.35 | 0.78 | 1.33 | 1.10 | 1.10 | 1.00 | 1.96 | 1.64 |
| K2 | 0.98 | 1.35 | 0.73 | 1.02 | 1.07 | 1.10 | 0.97 | 1.60 | 1.31 |
| K3 | — | — | — | — | 0.90 | 1.10 | 0.82 | 1.75 | 1.75 |
| K5 | 0.87 | 1.35 | 0.64 | 1.01 | 0.85 | 1.10 | 0.77 | 1.70 | 1.35 |

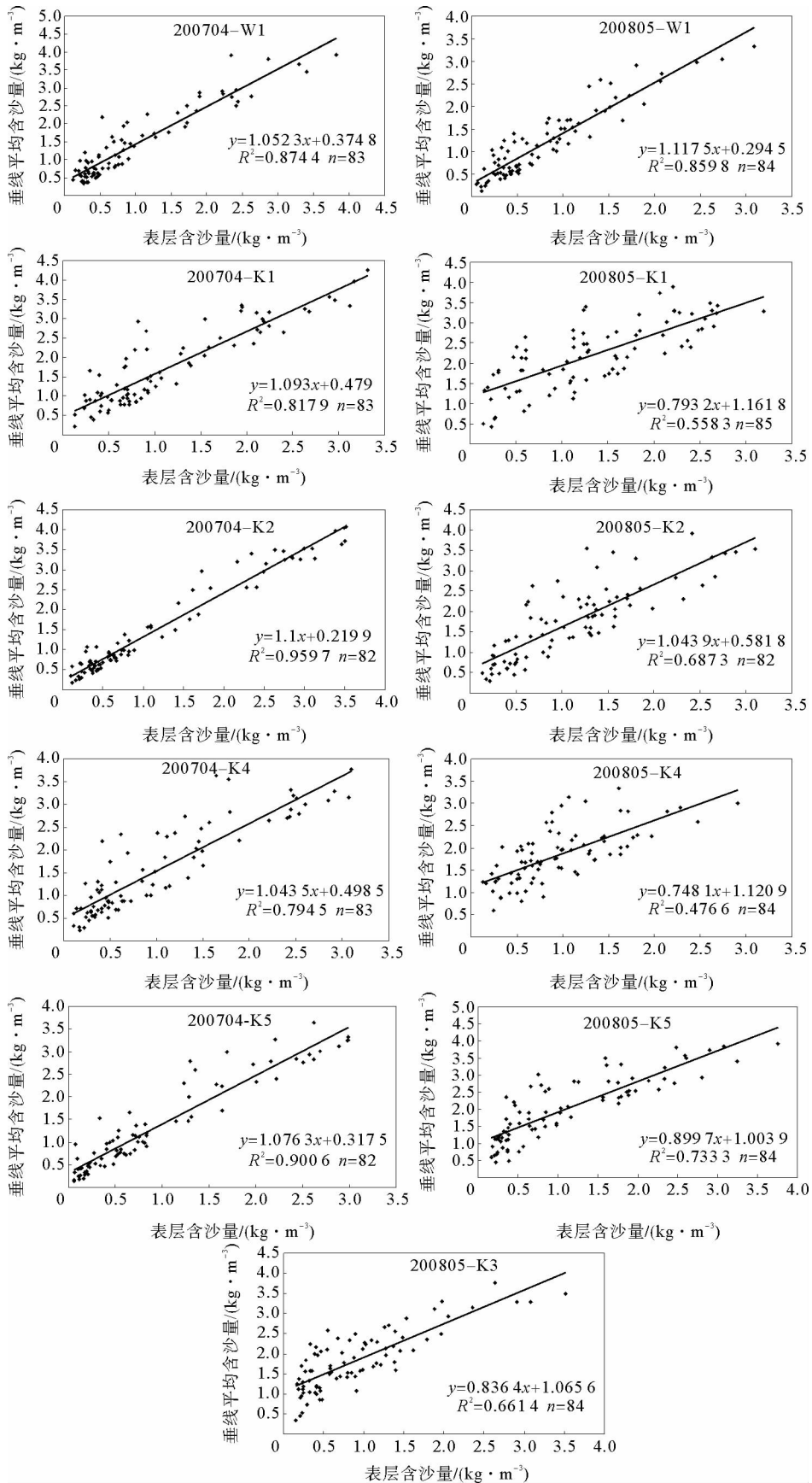


图 7 洋山西港区附近表层含沙量与垂线平均含沙量关系图

Fig. 7 Relationship between the surface SSC and average SSC in vertical plane in the vicinity of western part of Yangshan Port

3 年平均含沙量的应用

泥沙回淤与泥沙本身的性质、水流、波浪等诸多因素有关,其淤积形式对航槽、港池开挖后的正常维护有重要影响。淤泥质海岸的泥沙运动以悬移质运动为主,当挟沙水流畅经航槽时,由于水深加大,水流动力减弱,可能导致部分泥沙沉淤到床面。因此,淤泥质海区的泥沙常态回淤主要为悬沙淤积。

洋山海域水体含沙量高,航道开挖后的回淤问题是港口建设的关键技术问题之一。为此,按照本文提出的年平均含沙量推算方法对洋山海域的回淤强度进行估算,将研究区域分为西港区、连接水域和蒋公柱前沿三个区(图 1),分别采用刘家驹(式(5))^[20]和曹祖德公式(式(6))^[21]计算回淤强度,同时考虑 10% 的推移质沉积。

$$P = \frac{\omega ST}{\gamma_0} \left\{ K_1 \left[1 - \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^2 \right] \sin \theta + K_2 \left[1 - \frac{H_1}{2H_2} \left(H \frac{H_1}{H_2} \right) \right] \cos \theta \right\}; \quad (5)$$

$$P = \frac{\alpha \omega ST}{\gamma_0} \left[1 - \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^3 \sin^2 \theta - \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^{0.56} \cos^2 \theta \right]. \quad (6)$$

其中: P —年回淤强度, m/a ; ω —细颗粒泥沙絮凝沉速, m/s ; S —当地年平均含沙量, kg/m^3 ; T —时间, s ; γ_0 —淤积泥沙干容重, kg/m^3 ; H_1, H_2 分别为滩面水深和航道水深, m ; K_1, K_2 为经验系数, 分别取为 0.35 和 0.13; θ —水流流向与航道走向的夹角, ($^\circ$), 根据实测流速资料计算得到; α —经验系数, 根据洋山一期航道的施工实践和跟踪观测, 取 0.40。

根据中交上海航道勘察设计研究院有限公司对洋山二期港池建成后实测地形的回淤统计分析^[22], 年回淤强度 1.92 m/a , 与本文得到的结果 1.80~2.14 m/a 比较接近。

根据上述分析, 在港口、航道附近海域建设表层连续的含沙量观测站十分必要, 不仅可以提供工程海域长期的含沙量变化信息, 为港口的管理和运营提供数据支持, 而且可以对航道的回淤估算提供依据。

4 结论

利用工作船站连续表层含沙量和短期水沙观测资料, 对洋山西港区海域的含沙量分布特征和年平均含沙量进行研究, 提出适用于其他海域的年平均含沙量推算方法。

受长江入海泥沙减少的影响, 1998—2004 年工作船站表层年平均含沙量 0.90 kg/m^3 , 2005—2008 年表层年平均含沙量为 0.75 kg/m^3 , 减少约 17%。表层月平均含沙量变化表现出明显的“冬季高、夏季低”的季节性变化特点, 与长江入海泥沙向南扩散的季节性密切相关。

洋山海域表层含沙量和垂线平均含沙量呈显著的正相关关系。根据年平均含沙量的计算结果, 西口门附近年平均含沙量为 1.01 kg/m^3 , 颍珠山汊道由于受“峡道”效应的影响, 年平均含沙量 1.31~1.75 kg/m^3 , 西港区和蒋公柱前沿年平均含沙量约 1.35 kg/m^3 。

采用刘家驹和曹祖德公式计算西港区、连接水域和蒋公柱前沿水域的年回淤量分别为 1.81, 1.80 和

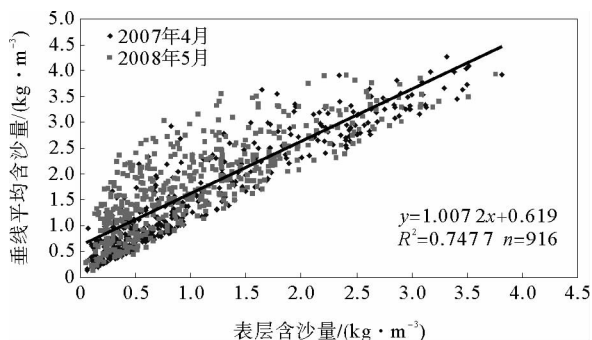


图 8 洋山海域表层含沙量与垂线平均含沙量关系图

Fig. 8 Relationship between surface SSC and average SSC in vertical plane in sea area of Yangshan Port

表 3 洋山西港区海域年平均含沙量及回淤强度表

Tab. 3 The average annual SSC and back siltation density at western part of Yangshan Port

| | 年平均含沙量 ($kg \cdot m^{-3}$) | 年回淤强度(m/a) | | |
|-------|---------------------------------|----------------|-------|------|
| | | 刘家驹公式 | 曹祖德公式 | 平均值 |
| 西港区 | 1.34 | 1.90 | 1.73 | 1.81 |
| 连接水域 | 1.15 | 1.82 | 1.78 | 1.80 |
| 蒋公柱前沿 | 1.35 | 2.08 | 2.21 | 2.14 |

* 西港区和蒋公柱前沿的年平均含沙量分别采用 K4 和 K5 的计算值, 连接水域采用 W1 和 K2 的平均值。

2. 14 m/a, 分析结果与采用实测资料统计分析较为接近。

参考文献:

- [1]徐元. 高含沙量岛屿海域冲刷槽的成因及其建港意义:以杭州湾湾口北部洋山海域为例[J]. 海洋工程, 2001, 19(1): 88-93.
XU Yuan. Formation of scoured troughs in multi-island waters of high suspended sediment concentration and its significance on port construction; A case study of Yangshan sea area in the north part of Hangzhou bay mouth[J]. The Ocean Engineering, 2001, 19(1): 88-93.
- [2]陈沈良. 崎岖列岛海区的水文泥沙及其峡道效应[J]. 海洋学报, 2000, 22(3): 123-131.
CHEN Shenliang. Hydrodynamics, sediments and strait-channel effects for the Qiqu Archipelago[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2000, 22(3): 123-131.
- [3]阎新兴. 上海洋山港区的自然条件及泥沙来源分析[J]. 水道港口, 2000(3): 33-36.
YAN Xinxing. Analysis of natural conditions and sediment source of Shanghai Yangshan Harbor area[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2000(3): 33-36.
- [4]张金善, 陈永平, 赵铁卫, 等. 大、小洋山建港总体规划中的水流泥沙问题[J]. 海洋工程, 2004, 22(3): 56-60.
ZHANG Jinshan, CHEN Yongping, ZHAO Tiewei, et al. A study on current and sediment in the general layout of Yangshan Harbor[J]. The Ocean Engineering, 2004, 22(3): 56-60.
- [5]李玉中, 陈沈良. 洋山港海域与长江口相似性研究[J]. 地理学报, 2002, 57(6): 662-670.
LI Yuzhong, CHEN Shenliang. Similarities between Yangshan Harbor sea area and the Yangtze estuary[J]. Acta Geographica Sinica, 2002, 57(6): 662-670.
- [6]赵庆英, 陈荣华, 王小波, 等. 洋山港内及航道水域沉积环境分析[J]. 海洋工程, 2005, 23(2): 77-81.
ZHAO Qingying, CHEN Ronghua, WANG Xiaobo, et al. Analysis of sediment environment in the Yangshan Harbor and sea-route areas[J]. The Ocean Engineering, 2005, 23(2): 77-81.
- [7]左书华, 张宁川, 李蓓, 等. 洋山深水港海域悬沙浓度时空变化及其动力原因[J]. 华东师范大学学报:自然科学版, 2009(3): 72-82.
ZUO Shuhua, ZHANG Ningchuan, LI Bei, et al. Dynamics reasons and temporal-spatial variations of suspended sediment condition in the sea area of Yangshan Deep-water Harbor[J]. Journal of East China Normal University: Natural Science, 2009(3): 72-82.
- [8]杨华, 侯志强, 许家帅. 洋山港区悬浮泥沙运动遥感分析[J]. 水道港口, 2003, 24(3): 126-129.
YANG Hua, HOU Zhiqiang, XU Jiashuai. Remote sensing analysis on suspended sediment movement in the sea area of Yangshan Harbor[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2003, 24(3): 126-129.
- [9]左书华, 李蓓, 杨华. 上海洋山深水港区海域悬沙分布特征及运动规律分析[J]. 海洋通报, 2009, 28(3): 62-69.
ZUO Shuhua, LI Bei, YANG Hua. Analysis on the distribution and movement of suspended sediment at Yangshan Deep-water Harbor in Shanghai[J]. Marine Science Bulletin, 2009, 28(3): 62-69.
- [10]陈沈良, 李向阳, 俞航, 等. 潮流作用下洋山港水域悬沙和底沙的交换[J]. 海洋学研究, 2008, 26(1): 11-17.
CHEN Shenliang, LI Xiangyang, YU Hang, et al. Exchange between suspended sediments and bed sediments under tidal current action in the Yangshan Harbor waters[J]. Journal of Marine Sciences, 2008, 26(1): 11-17.
- [11]李鹏, 杨世伦, 龚文浩, 等. 上海洋山建港后港域夏季水文泥沙状况分析[J]. 海洋工程, 2009, 27(2): 81-88.
LI Peng, YANG Shilun, GONG Wenhao, et al. Hydrographic and sedimentary condition in summer in the Yangshan Harbor area after the harbor construction[J]. The Ocean Engineering, 2009, 27(2): 81-88.
- [12]杨华, 冯学英. 上海洋山港区和进港航道水域泥沙特性及回淤分析研究[J]. 水道港口, 2000(3): 17-22.
YANG Hua, FENG Xueying. Sediment characteristics and siltation analyses of Shanghai Yangshan Harbor and its approach channel waters[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2000(3): 17-22.
- [13]戚秀莲, 丁健. 洋山深水港区主航道回淤分析[J]. 水运工程, 2009(12): 139-147.
QI Xiulian, DING Jian. Sediment siltation at the main channel of Yangshan Deepwater Port[J]. Port & Waterway Engineering, 2009(12): 139-147.
- [14]陈吉余, 王宝灿, 虞志英, 等. 中国海岸发育过程和演变规律[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1989.
- [15]虞志英, 张志林. 上海国际航运中心洋山深水港区西港区海床冲淤趋势和增深研究[R]. 上海: 华东师范大学, 2009.