

# 威海靖海湾港区张家埠新港建设对泥沙冲淤影响预测分析

冯秀丽, 隋倩倩, 林霖, 孙晶, 刘杰, 刘潇

(中国海洋大学 海洋地球科学学院, 山东 青岛 266003)

**摘要:** 运用 ECOMSED(水动力泥沙)三维模型模拟潮流、波浪(施加风)作用条件下威海靖海湾港区张家埠新港建设前后周围海域海底地形的演化, 分析其冲淤变化。并利用冲淤平衡时波潮流共同作用下对海底的切应力与沉积物临界起动剪切力相等的原理, 对新港建设后的极限冲刷深度进行预测。结果表明, 在引堤透空段附近和防波堤端头冲刷较严重, 50 年一遇和 25 年一遇波浪作用下最大冲刷深度可达 3.5 m 和 2.9 m。此结果将为新港冲刷防护工程设计提供科学依据。

**关键词:** 数值模拟; 波流共同作用; 极限冲刷深度; 临界起动剪切力

中图分类号: P736.21

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2011)03-0072-05

山东威海文登市位于胶东半岛东部, 其西阻于昆崮山, 与烟台市牟平区和乳山市相接, 北连威海市环翠区, 东邻荣成市, 与日本、韩国隔海相望, 南濒黄海。威海港张家埠老港区位于文登市境内的靖海湾内, 虽然港内掩护条件较好, 但航道口门即长会口处有拦门沙浅滩, 使张家埠港区的功能逐渐衰退。为了促进文登市经济更好、更快地发展, 有必要重新开辟新的港区。通过对文登市岸线资源的综合分析, 结合文登市城市的发展规划, 在靖海湾内的前岛村处开辟新的港区。

本文主要研究张家埠新港建成后对海洋环境的影响, 港区建设改变了原来的自然岸线和水域状态, 使局部流场流速、流向也有所改变, 海底泥沙将会重新分布。本文运用 ECOMSED(水动力泥沙)三维模型模拟潮流、波浪(施加风)作用条件下工程周围海域海底地形的演化, 对工程建成后的冲淤状况进行模拟, 并对流场和浪场二者进行耦合, 求得波浪和潮流共同作用下对海底的切应力, 与沉积物临界起动剪切力比较, 分析其冲淤变化。对于冲刷区域, 选择适当的水深步长, 迭代计算波流作用下的床面切应力, 直到停止冲刷, 预测冲淤平衡时的极限冲刷深度。

## 1 自然环境概况与工程概况

### 1.1 风、浪、流概况

研究区处于东亚季风区域, 全年各向平均风速以 NW~NNE 向为最大(6.3~7.3 m/s), 其中 NNW 向风速最大, 为 7.3 m/s; S~WSW, WNW, NE 向次之(5.0~6.3 m/s), 其中 SW 向风速较大, 为 6.3 m/s; E、

ESE 向风速最小(3.6 m/s)。波浪以风浪为主, 常浪向为 SSW 向, 次常浪向是 SSE 向, 强浪向为 SSE 向, 次强浪向 S 向<sup>[1]</sup>。

本海区的潮流属于规则半日潮流, 大潮期和小潮期平均流速相差不大, 涨潮流速大于落潮流速, 流速由表层至底层呈递减状态。最大流速不超过 100 cm/s, 一般发生在表层, 由表及底逐渐减小。余流较小, 最大为 5.1 cm/s, 最小仅为 1.2 cm/s, 受岸边地形影响, 近岸处为往复流; 离岸较远处由于受岸边地形的影响较小, 表现为旋转流的特征。

### 1.2 地形地貌特征

研究区位于靖海湾和五垒岛湾之间(图 1), 靖海湾为一浪控和潮控复合型海湾; 五垒岛湾原为一干出海湾, 高潮时海水漫淹, 低潮时海底干出, 全为滩地, 由于近 30 年来海水养殖的发展, 海湾大部已被开辟为养殖池。里子岛以北海域地形比较复杂, 特别牛心岛和近岸海底坡降较大, 比降在 2‰~6‰之间, 海底凸凹不平, 常有暗礁突出海底; 里子岛以东、牛心岛以南 3.0~5.0 m 等深线间比较平缓, 比降为 1.3‰; 5.0~7.0 m 之间比降为 0.67‰。

本海域水下地貌并不复杂, 大体分为 3 个类型:

(1) 水下侵蚀台地及干出台地, 主要为母猪石、长石栏及里子周围的岸岩干出礁及暗礁, 是陆上残丘或

收稿日期: 2009-04-22; 修回日期: 2010-11-15

基金项目: 海洋公益科研专项(201005009)

作者简介: 冯秀丽(1962-), 女, 山东莱州人, 教授, 博士, 从事海洋沉积与工程环境研究, 电话: 0532-66782057, E-mail: fengxiuli@ouc.edu.cn

台地向海延伸而突出海底部分,经长期海洋动力剥蚀而形成,其组成物质主要为变质岩或脉岩;(2)水下岸坡,主要分布靖海湾西侧和五垒岛湾南侧,地形近岸较陡,远岸较缓,主要组成物质为粉砂和砂质粉砂;(3)浅海平原,主要分布在 7.0 m 水深以深海域,由潮汐、潮流形成广阔平缓的堆积地形,组成物质以黏土质粉砂为主,是一种比较稳定的地貌单元。

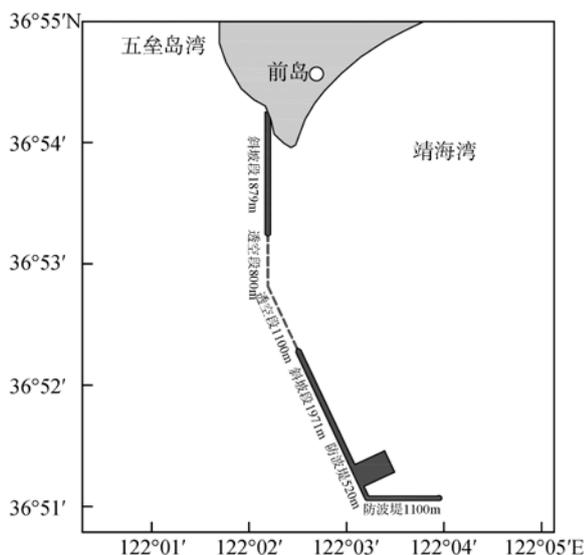


图 1 威海港张家埠新港区位置图

Fig. 1 The location of Zhangjiabu new port at Weihai

### 1.3 泥沙来源

工程所在区域为一半岛状基岩海岸,泥沙来源主要有 3 个方面:河流输沙、海岸侵蚀来沙、海底侵蚀来沙。其中以河流输沙为主。本海区的沉积物类型不多,主要为粉砂和砂质粉砂,沉积物中粉砂粒组占 60%~80%。

### 1.4 工程概况

威海港张家埠新建港区位于靖海湾和五垒岛湾之间、前岛村处,行政区属泽库镇(图 1)。

码头布置:自现前岛村端部建设宽 15 m,长 5 750 m 的引堤(兼疏港道路,将来随着港口规模扩大,逐渐拓宽),考虑尽量减小对靖海湾和五垒岛湾水体交换的影响,在引堤 1 879 m(自岸向海)开始采用透空式结构 1 900 m,再向海仍采用斜坡实堤结构。

## 2 潮流场与地形地貌冲淤预测

新建港区建设改变了原来的自然岸线和水域状态。码头建设,引堤、围堰工程及航道疏浚工程的建

设对局部流场流向有所改变<sup>[2]</sup>。新的岸线形成以后工程附近涨、落潮流向均有较小角度的变化。

### 2.1 潮流场变化预测

利用建立的研究区海域 ECOMSED 数值模型模拟新港建设前后典型时刻(涨急、落急)的流场。结果表明,现状岸线下涨急时流速在整体上流向表现为 WNW 向,流速在工程东侧的靖海附近海域较大,在 0.8 m/s 以上,在拟建新港北侧的靖海湾湾顶流速较小,流向近北向。落急时流速在外海上流向表现为 ESE 向,流速大小在 0.6 m/s 左右。泽库镇东侧的靖海湾顶的河口附近流速在 0.8 m/s 以上,流向为 SSW;靖海角附近流速在 0.8 m/s 以上,流向近 E 向。流速在整体上表现为东部近岸海域流速大,西部近岸海域流速小。新港建设后,其附近海域流速变化较大,根据新港建设前后流场对比图(图 2)可以看出,新的岸线形成以后工程附近涨、落潮流向均逆时针增加较小角度,流速依然较大,流速变化最大的地方位于防波堤和码头围填海位置处,最大改变约 60 cm/s。在引堤透空段,水动力条件增强,涨、落潮流速均增加约 60 cm/s。在码头南部外侧海域,由于岬角效应,涨、落潮流速均增加约 50 cm/s。在引堤实心段两侧和港池内部水域,由于非透水构筑物的阻挡,形成较弱的水动力环境,致使流速较工程前减小约 30 cm/s。

总体来说,新港建设仅对附近海区产生一定影响,在距其 1.5 km 以外的海区水动力条件基本不变。

### 2.2 地形地貌冲淤数值模拟

研究利用沉积物取样分析、海流观测等方法,结合水深地形、工程地质、风速资料,运用 ECOMSED 三维模型模拟潮流、波浪(施加风)作用条件下工程周围海域海底地形的演化。

由于计算海域范围较大,水体中的泥沙很难在整体上达到平衡状态,为了研究拟建工程附近海区冲淤变化影响,将工程前后泥沙初始条件设为一致,并将工程前后的 25 h 地形变化进行比较,从而对工程区附近海域底形冲淤变化进行研究。模拟时选取了 N, E, NE 和 NW 风,风况为最大为 8 级风,大于 6 级风作用 24 h 情况下工程附近海域的蚀淤变化情况。

根据模拟结果给出新港建设前后泥沙冲淤变化量(图 3)。由图 3 可以看出,新港建成后其附近海区

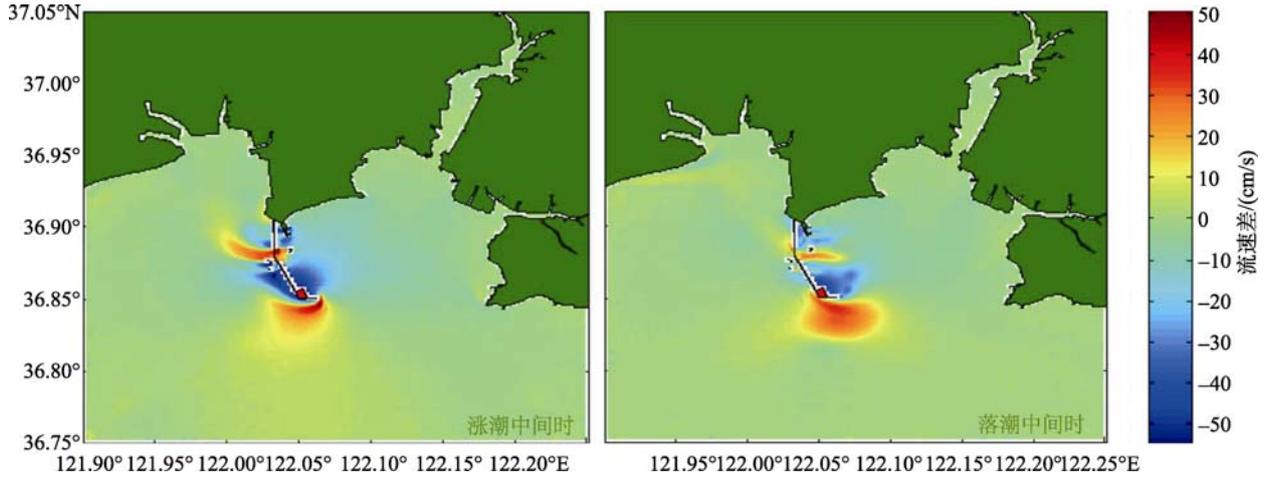


图2 新港建设前后计算潮流场差

Fig. 2 Current velocity variations before and after construction of the new port

冲淤状况改变较大, 其余海区改变较小, 冲淤强度改变量值在 - 1.0~1.0 mm/d 之间。冲刷加强的区域为引堤透空段和防波堤南侧区域, 冲刷强度最大增加约 1 mm/d; 淤积加强的区域多集中在引堤实堤段两侧, 水动力条件减弱的区域。实堤段一(靠近陆地段)两侧淤积强度约增加 1 mm/d, 实堤段二(离岸段)两侧淤积强度约增加 0.5 mm/d; 其余海区冲淤改变量值较小, 冲淤强度改变值在 -0.2~0.2 mm/d 之间。因模拟的是极端情况下的冲淤演变因此值较大, 随着冲淤的进行会逐渐达到冲淤平衡, 冲淤量会逐渐变小。

总体来说, 新港建设主要影响附近的冲淤状况, 对距其 1.5 km 以外的海区影响较小。

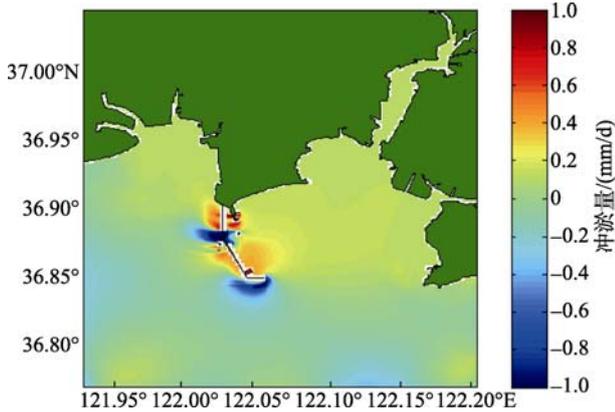


图3 泥沙冲淤变化图

Fig. 3 Changes of erosion and deposition

### 3 极限冲刷深度预测计算

#### 3.1 计算原理

根据力学平衡原理, 将波浪和潮流在海底产生

的切应力耦合, 与沉积物颗粒临界起动剪切力相比较, 如果切应力大于临界起动剪切力, 将继续冲刷, 然后根据冲刷后的水深重新计算波浪要素, 计算波浪流切应力, 不断重复上述计算过程, 再次比较, 直到切应力等于临界起动剪切力, 停止计算, 保留下此点的水深, 即为极限冲刷深度。

在纯波浪时, 最大底部剪切应力由下式<sup>[3]</sup>确定:

$$\frac{\tau_w}{\rho} = \frac{1}{2} f_w u_m^2$$

一个波周期内的波浪平均剪切应力是零, 假定上式可适用于瞬时情况。则有

$$\frac{\tau_{wc}}{\rho} = \frac{1}{2} f_w u |u|$$

上式中,  $\tau_{wc}$  为波流共存时的切应力; 波流共存时的摩阻系数  $f_{wc}$  已由  $f_w$  代替;  $u$  为瞬时流速。据此可以计算出各网格点波流共同作用下的床面切应力。

曹祖德、唐士芳<sup>[4]</sup>利用波浪槽试验结果, 推导出不同流态、泥沙粒径时的临界起动剪切力  $\tau_b$ :

$$\tau_b = 0.3v^{0.72} \left( \frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right)^{0.64} \rho g^{0.64} d^{-0.08}$$

式中:  $v$  为水体动黏滞系数;  $\rho_s$  为泥沙颗粒密度;  $\rho$  为水的密度;  $d$  为沉积物中值粒径。根据上述公式和沉积物分布中的中值粒径资料, 计算出海域沉积物临界起动剪切力。

根据水深地形资料, 首先利用数学模型计算出流场和浪场, 再依次计算出各网格点波流共同作用时的床面切应力, 与各点的沉积物临界起动剪切力比较, 切应力大于临界起动剪切力就冲刷, 反之则不冲。据此分别计算了 25, 50 年一遇 SSE, S, SSW 向

波浪和流共同作用下, 新港建设后附近海域极限冲刷深度(图 4)。

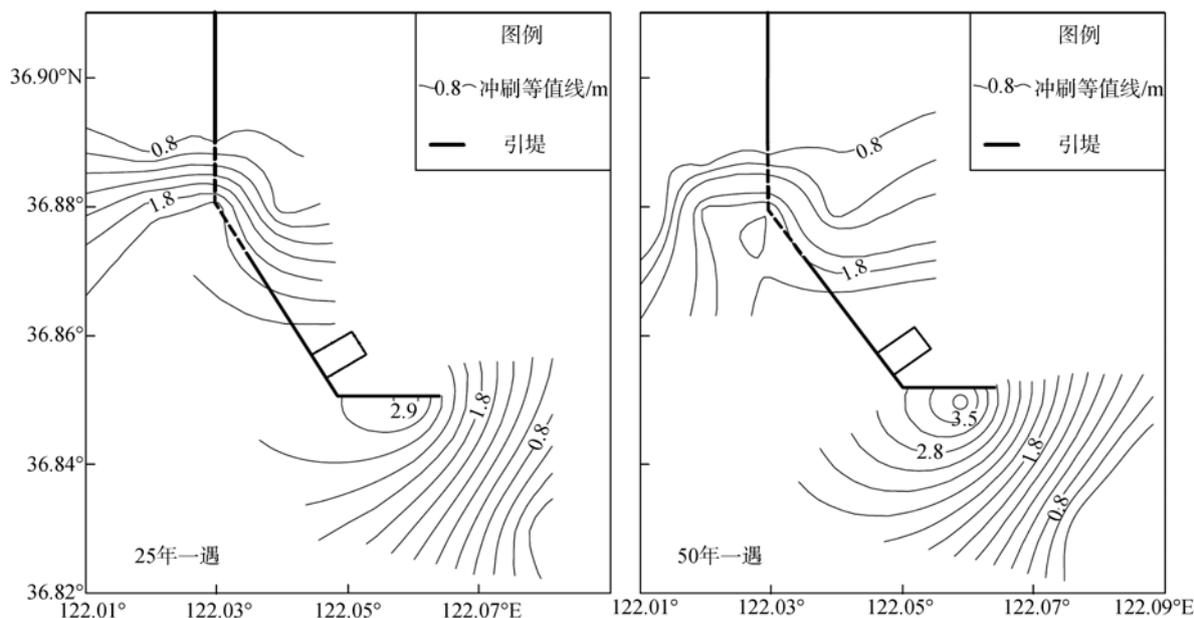


图 4 SSE 向波浪和潮流作用下冲刷等值线图

Fig. 4 The isocline of erosion imposed by SSE wave and current

### 3.2 极限冲刷深度预测结果

从图 4 中可以看出新港建成后, 在透空段和防波堤南侧附近出现了几处冲刷区域, 引堤实心段两侧, 水动力条件减弱的区域发生淤积, 与流速变化相对应。25 年一遇波浪和潮流作用下, SSE 向波浪作用下工程透空段冲刷深度为 2.1~0.1 m, 防波堤南侧冲刷深度最大可达 2.9 m, S 向波浪和潮流作用下, 工程透空段冲刷深度为 2.1~0.1 m, 防波堤南侧冲刷深度最大可达 2.7 m, SSW 向波浪和潮流作用下工程透空段冲刷深度为 2.0~0.1 m, 防波堤南侧冲刷深度最大可达 2.2 m; 50 年一遇波浪作用下, SSW 向波浪作用下工程透空段冲刷深度为 2.1~0.1 m, 防波堤外沿冲刷深度最大可达 2.4 m, SSE 向波浪和潮流作用下, 工程透空段冲刷深度为 2.0~0.1 m, 防波堤外沿冲刷深度最大可达 3.5 m, S 向波浪和潮流作用下, 工程透空段冲刷深度为 2.0~0.1 m, 防波堤外沿冲刷深度最大可达 3.2 m。

## 4 结论与建议

1) 威海港张家埠新港建设只对附近海域流场影响较大, 导致局部流场发生改变。在引堤透空段, 水动力条件增强, 涨、落潮流速均增加约 60 cm/s。在防波堤南部外侧海域, 由于岬角效应, 涨、落潮流速

均增加约 50 cm/s。在引堤实心段两侧和港池内部水域, 由于非透水构筑物的阻挡, 形成较弱的水动力环境, 致使流速较工程前减小约 30 cm/s。距其 1.5 km 以外的海区水动力条件基本不变。

2) 威海港张家埠新港建成后周边海域冲淤状况改变较大, 在其余海区改变较小, 冲刷加强的区域为引堤透空段和防波堤南侧区域, 冲刷强度最大增加约 1 mm/d; 淤积加强的区域集中在引堤实心段两侧和港池等水动力条件减弱的区域。但随着冲淤的进行会逐渐达到冲淤平衡, 冲淤量会逐渐变小。

3) 利用数值模型的潮流和波浪参数, 预测拟建新港附近海域极限冲刷深度。计算发现, 在引堤透空段和防波堤南侧附近出现了几个冲刷坑, 预测最大冲刷深度发生在防波堤南侧, 可达 3.5 m, 发生在 SSE 向波浪和潮流作用下。此结果可以作为新港冲刷防护工程的设计依据。

参考文献:

- [1] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志, 第三分册(山东半岛北部和东部海湾)[M]. 北京: 海洋出版社, 1991.
- [2] 常瑞芳. 海岸工程环境[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 1997.
- [3] 曹祖德, 唐士芳. 波、流共存时的床面剪切力[J]. 水道港口, 2001, 2: 56-60.

## Prediction of sediment souring and depositing driven by Zhangjiabu new port construction at Jinghai bay at Weihai

FENG Xiu-li, SUI Qian-qian, LIN Lin, SUN Jing, LIU Jie, LIU Xiao

(College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

**Received:** Apr., 22, 2009

**Key words:** numerical model; joint action of wave and current; the maximum scouring depth; the critical shear stress

**Abstract:** In this paper, three-dimensional model ECOMSED was used to simulate the evolution of the seabed terrain under the condition of tide and wave (imposed by the wind), and to analyze the variation of scouring and depositing after the completion of Zhangjiabu new port construction at Jinghai bay at Weihai. The shear stress that imposed by the joint action of wave and current to the seabed, is equal with the critical stress of incipient motion of sediment, so that the variation of scouring and depositing can be analyzed. It was shown that the seabed was eroded badly near the open section of the approach embankment and the terminal of the breakwaters, where the maximum values of scouring depth for 50 and 25 years return period are up to 3.5 m and 2.9 m, respectively. This conclusion may provide reference data to protect against scouring.

(本文编辑: 刘珊珊)

---

(上接第 54 页)

## Nano-iron oxides/Nafion/ionophore modified electrode for anodic stripping voltammetric determination of lead in seawater

LOU Ting-ting<sup>1,2,3</sup>, PAN Da-wei<sup>1,4</sup>, WANG Yuan-e<sup>1,2,3</sup>, SONG De-an<sup>1,2,3</sup>, JIANG Lin<sup>1,2,3</sup>, QIN Wei<sup>1</sup>

(1. CAS and Shandong Provincial Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes, Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China; 2. Institute of Oceanology Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. State Key Laboratory of Chemo/Biosensing and Chemometrics Hunan University, Changsha 410082, China)

**Received:** Apr., 27, 2010

**Key words:** nano-iron oxides; ionophore; stripping voltammetry; trace lead; sea water

**Abstract:** A nano-iron oxides/Nafion/ionophore modified electrode was developed for determining trace level of lead ions in seawater. Due to the strong adsorption property of the nano-iron oxides and the selective coordination ability of the lead ionophore, the nano-iron oxides/Nafion/ionophore modified electrode showed excellent selectivity and high sensitivity for lead. Under the optimized conditions, a linear response over a broad range between 3~60 nmol/L and detection limited of 1nmol/L was obtained. The modified electrode had been used to measure lead in seawater samples.

(本文编辑: 康亦兼)