

# 黄河三角洲桩西至黄河海港海域冲淤演化特征研究

冯秀丽, 王园君, 黄明全, 陈之贺, 董卫卫

(中国海洋大学 海洋地球科学学院, 山东 青岛 266001)

**摘要:** 针对目前胜利油田海堤防护工程有 27.7 km 的临海海堤存在非常严重的安全隐患, 根据历史资料分析、数值模拟以及实测资料推算, 研究了黄河三角洲地区桩西至黄河海港海域 25 a, 50 a 一遇波流共同作用下冲淤变化, 得出研究区海域冲淤演化特征。为该海岸段海岸防护工程加固方案的设计、施工以及工程的灾害预测, 提供了可借鉴的科学依据。

**关键词:** 桩西; 黄河海港; 数值模拟; 波流共同作用; 冲淤演化

中图分类号: P74

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096 (2008) 09-0012-06

1976 年黄河由钓口河流路改道水清沟流路后, 泥沙来源减少, 岸滩开始被剥蚀, 海岸线不断后退。1986 年黄河海港至桩 106 防潮大堤建成后, 岸滩迅速消失, 岸线逐渐向大堤根部靠近, 如今海堤根部水深已达 3 m 左右。1994 年埕岛油田投产, 海底石油开采、海上石油平台的建立、海底输油管道海底电缆的铺设等人工活动以及曾发生风暴潮加剧冲毁海堤淹没陆区油井、海上油井倒塌、海底输油管道破裂溢油、海底电缆断裂导致停产及码头塌陷等严重事故<sup>[1]</sup>。

目前, 胜利油田海堤防护工程有 27.7 km 的临海海堤存在非常严重的安全隐患, 其中孤东海堤和桩 106 堤两段尤为突出。由于堤坝经常受到强烈的波浪和潮流等水动力因素的作用, 为了保证堤坝的稳定有必要进行数值模拟分析, 探讨海堤堤前的冲淤演化特征, 以确保防护工程的可靠性。

## 1 研究区域特征

### 1.1 概况

桩古 46 堤(即黄河海港至海一站)与桩 106 堤(也称老九井段), 见图 1。自 1976 年黄河由钓口河道改道至水清沟流路后, 由于物质来源的变化, 直接承受本海域强流区的冲刷与东北强风向的波浪淘蚀, 致使两段海堤防护形势严峻。桩 106 海堤位于黄河故道以西, 黄河三角洲北部, NW~NE 向为开敞水域。桩古 46 岸段位于黄河三角洲东北突出部位, 海堤全长约 7.5 km, 走向约为北偏西 55°。

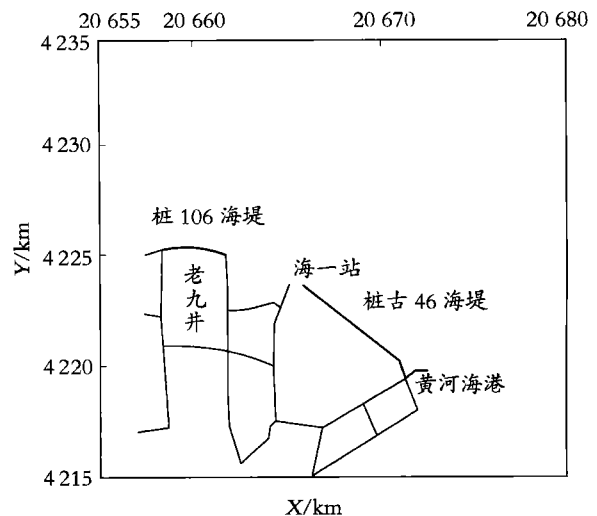


图 1 研究区海域示意图

Fig.1 Sketch map of the study sea area

### 1.2 研究区域特征

#### 1.2.1 水深地形特征

桩 106 至黄河海港岸段近岸海域范围内一直受到整体、强烈的侵蚀。自从 1987 年海堤修建后, 海岸线已与海堤一致, 不再后退, 滩涂相应消失,

收稿日期: 2008-05-24; 修回日期: 2008-06-05

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2002CB412410)

作者简介: 冯秀丽 (1962-), 女, 山东莱州人, 教授, 博士, 主要从事工程地质研究, 电话: 0532-66782057, E-mail:fengxiuli@mail.ouc.edu.cn

并以 5~8 m 水深区为中心形成一条 NW-SE 向的强侵蚀带, 最大侵蚀深度达 5 m 以上。15 a (1985~2000 年) 间总侵蚀深度为 2.8~6.2 m, 后强侵蚀区中心位置经历了由西北向东南渐移的过程, 范围不断缩小, 侵蚀程度也逐渐减弱 (局部地区仍较强烈)。

2000 年以来, 该海域内海底地形仍以侵蚀为主, 但局部地区已开始发生变化。侵蚀范围由西北向东南移动, 由深水向浅水逼进, 在桩 106 海堤根部及深水区已发生局部淤积现象。冲淤并存是现阶段的特点, 这种现象还将长期进行下去。

### 1.2.2 沉积物特征

本区表层沉积物在粒度组成上以粉砂为主, 沉积物的分布总体上呈与岸线平行的条带状, 由岸向海颗粒逐渐变细。

桩古 46 岸段, 主要分布有粉砂质砂、砂质粉砂、粉砂, 粘土质粉砂以及粉砂质粘土。本次调查中最细的沉积物类型——粉砂质粘土, 似乎形成了本区的沉积中心。其它广大区域皆分布大片的粘土质粉砂, 表明该区广大海域已由 20 世纪 80~90 年代的强侵蚀阶段逐步转变为近岸和局部的弱侵蚀, 进而演变为弱侵蚀到弱淤积阶段。

桩 106 岸段主要分布有细砂、粉砂质砂、砂质粉砂和粉砂四种类型。其中粗粒级 (细砂、粉砂质砂和砂质粉砂) 控制着本区的沉积物类型, 可见水动力环境依然十分活跃, 此种状况从沉积动力学角度表明该区仍然处于较强侵蚀的岸滩发育阶段。

### 1.2.3 海流特征

海流值是区域冲刷计算和预测的重要参数。为了解桩古 46 堤与桩 106 堤近岸海域海流的特征, 进行强侵蚀海域 5 测站大小潮期海流连续观测。

根据实测海流资料进行潮流调和分析, 分析结果得出测区内的潮流属于规则半日潮流类型; 各站、层潮流旋转率  $K$  (分潮流的短半轴与长半轴之比) 计算结果, 起主要作用的  $M_2$  分潮流的  $K$  值较小, 潮流呈往复流的形式; 潮流的可能最大流速为最大为 207 cm/s, 流向为 212°, 最小流速为 110 cm/s, 流向为 117°。垂直方向上, 可能最大流速自表至底减小; 观测海域内, 最大余流流速达 26.1 cm/s, 流

向 313.7°。各站大潮期间的余流流速比小潮期间的余流流速小, 且该海区余流流向基本一致, 为偏西北向。

## 2 研究区海域波浪特征及波要素推算

### 2.1 波浪特征

该岸段海域位于半封闭的渤海西南部, 渤海是一个半封闭的内陆海, 仅以渤海海峡与外海相通。渤海大部分水域水深小于 39 m, 研究区域 (桩西岸段) 的水深最深为 19 m, 由于水深浅、波浪成长快, 衰减距离短, 波浪周期不大。受到渤海口诸岛的屏蔽作用, 外海的大波浪不易侵入。

$H_{1/10} > 3.0$  m 的波浪方向仅出现在 N, NE, ENE 和 ESE 方向上, 而出现在 ENE 向的频率最高, NE 次之。强浪向是 NE-NNE 向, 其次是 E-ENE 向。

### 2.2 波浪要素的推算

作者根据实测资料推算的埭岛海域 25 a 和 50 a 一遇强浪向 NE-NNE 向设计波要素作为波浪计算参数。

利用埭岛-海港同步观测资料进行相关分析, 建立相关关系, 据此把海港多年资料应用到埭岛海域。归一化后的埭岛海区 6 m 水深处的波浪资料, 按不同波向统计出其波高的超值频率, 再将波高值以均匀横坐标表示, 其超值频率以对数纵坐标表示, 然后以直线拟合各频率点, 并外推算出各不同重现期的波高值。

选取 14 m 水深处的波高  $H_{1/3}$  所对应的平均周期, 理由是, 浅水区多年一遇的灾害性大浪, 是由深水区生成的大浪传进浅水区的, 按近岸波传播理论, 当波浪由深水区向浅水区传播的过程中, 其周期基本保持不变。当地的实测结果也说明了这一规律的正确性 (表 1,  $T_s$  表示周期)。

表 1 埭岛海区各重现期的波要素

Tab.1 Chengdao sea area factors of wave in different return periods

重现期	方向	$H_{1/3}$	$T_s$
(a)		(m)	(s)
50	NE-NNE	4.9	8.6
25	NE-NNE	4.7	8.4

## 3 研究区海域冲淤演化趋势分析与预测

海岸地区大规模的泥沙输移大多是波浪和水

流共同作用下完成的,波浪有很大的掀沙作用,但本身搬运泥沙能力很弱。泥沙一旦处于悬浮状态,相对很小的稳定流就能搬运泥沙,尽管这个稳定流本身没有超过临界起动流速。一般情况时:波浪掀沙,潮流搬运。所以在实际工程计算中,还必须考虑波浪与潮流共同作用。

### 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,计算波浪切应力,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,即可以计算冲淤特征分布和冲刷深度,对冲淤趋势进行预测。根据以下公式可以计算出各网格点波浪共同作用下的床面切应力。

在纯波浪时,最大底部剪切应力由下式确定:

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

一个波周期内的波流平均剪切应力是零,假定上式可适用于瞬时情况,则有:

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

式中, $\tau_w$ 为波浪共存时的切应力; $\tau_{wc}$ 为波流共存时的切应力; $\rho$ 为水的密度; $f_w$ 为波浪共存时的摩阻系数; $u$ 为瞬时流速; $f$ 为波浪作用时的摩阻系数; $C_b$ 为谢才系数; $V_c$ 为水平平均流速; $g$ 为重力加速度。

波、流共同作用下的泥沙起动是研究冲淤演变的基本问题,尽管对波浪或水流单独作用下的泥沙起动有了较多研究结果,但对波、流共同作用下的泥沙起动却研究得很不够<sup>[2]</sup>。根据研究区泥沙特征、沉积物中值粒径等参数,并依据曹祖德<sup>[3,4]</sup>等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 $\tau_b$ :

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

式中, $\nu$ 为水体动粘滞系数; $\rho_s$ 为泥沙颗粒密度; $\rho$ 为水的密度; $d$ 为沉积物中值粒径。

从而计算得出研究区海域沉积物起动剪切力。

### 3.2 冲淤演变趋势预测

#### 3.2.1 25 a 一遇波浪潮流作用下冲淤变化特征分析

图2可以得出黄河海港西北方向海域25 a一遇波浪作用下,水深15 m以浅海域处于冲刷状态,大于15 m水深处基本不冲;黄河海港东南方向海

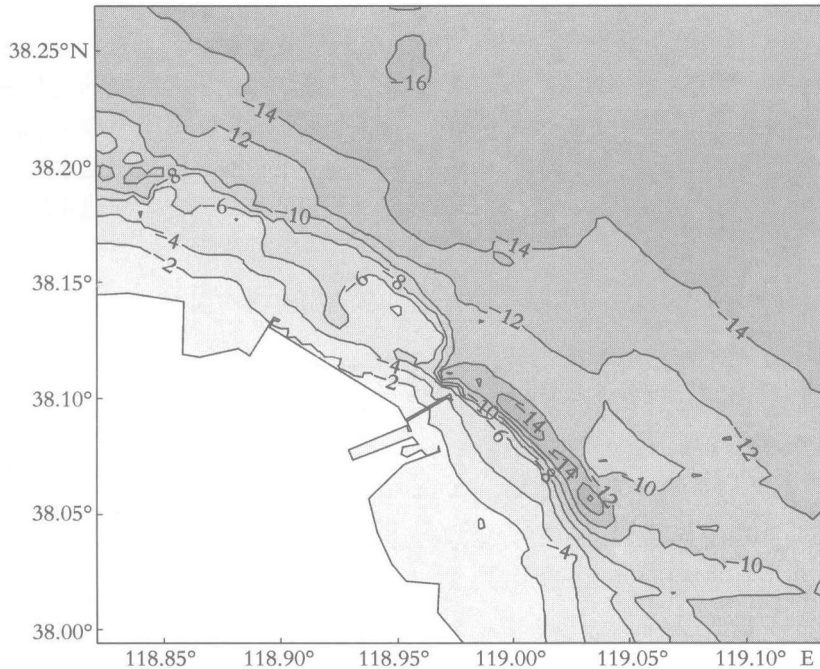


图2 25 a 一遇海况极限冲刷地形等值线

Fig.2 Topographic isogram of the limit scouring in the case of once-in-25-years sea condition

域 25 a 一遇波浪作用下水深 11 m 以浅海域处于冲刷状态, 大于 11 m 水深处基本不冲。

由图 3 可以得出 25 a 一遇波浪和潮流作用下研究海域冲刷特征如下: (1)冲刷区域呈西北南向带状分布; (2)具有明显的四个冲刷中心的特征; (3)在桩 106 海堤北部有一较小的冲刷坑, 预测的极限冲刷深度 2~3 m; 在桩古 46 堤前东北方向的冲

刷中心极限冲刷达 5 m; (4)另外两个冲刷中心位于黄河海港东南方向五号桩附近无潮点两侧, 由于受无潮点的影响, 极限冲刷深度较大, 最大达 8~9 m; (5)堤根附近最大冲刷发生在桩古 46 海堤前, 极限冲刷量达 2~3 m, 即水深达到 6 m 左右。

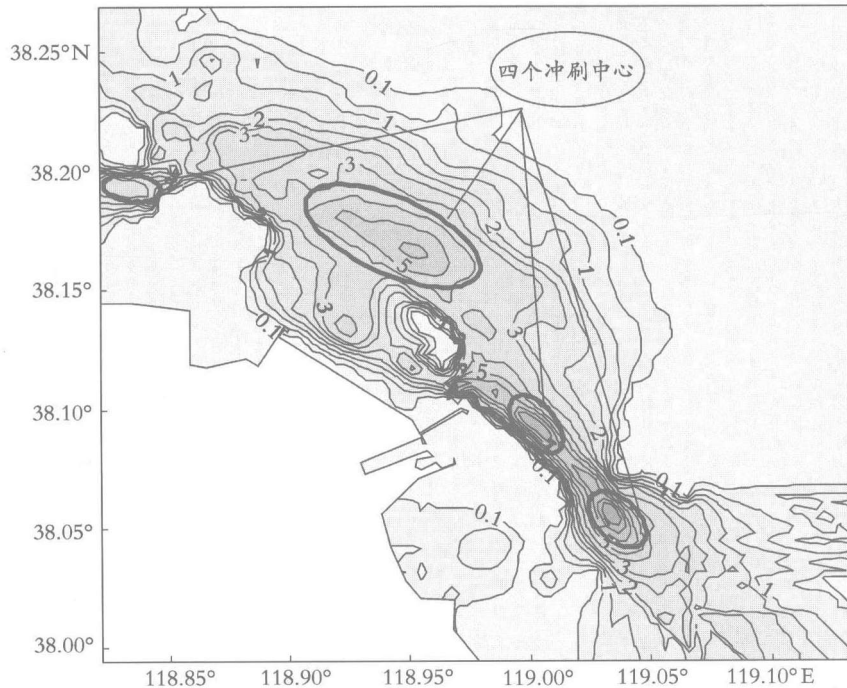


图 3 25 a 一遇波流作用下冲淤变化

Fig.3 Scour and deposit variations in the case of once-in-25-years wave and current

### 3.2.2 50 a 一遇波浪潮流作用下冲淤变化特征分析

由图 4 可以得出 50 a 一遇波浪作用下, 黄河海港西北方向水深 16 m 以浅海域处于冲刷状态, 大于 16 m 水深处基本不冲; 黄河海港东南方向海域 50 a 和 25 a 一遇波流作用下冲刷情况相比, 变化不大, 11 m 左右为冲淤界限水深。

从图 5 可以看出, 50 a 一遇波浪和潮流作用下近堤海域冲刷特征如下: (1)冲刷区仍呈现西北至东南向呈带状, 四个冲刷中心分布特征; (2)桩 106 海堤北部冲刷坑范围增大, 冲刷深度 3~4 m; (3)黄河海港西北方向海域最大冲刷深度为 6 m, 范围明显增大, 向西北方向和近堤海域两个方向扩大; (4)五号桩附近无潮点附近两个冲刷中心冲刷深度

最大达 9~10 m; (5)堤根附近最大冲刷发生在桩古 46 海堤前, 冲刷量达 3~4 m, 范围向海一站方向有所增大。

根据计算结果还可以看出, 在 25 a 和 50 a 一遇的波浪和潮流作用下, 研究海域在第一个冲刷中心以北有一范围与之相当的淤积区, 在老九井至海一站近岸区域有一定范围海域出现淤积, 另外海港以南区域 8 m 等深线以浅为淤积区。

## 4 结论

通过数值模拟方法, 得到多年一遇( 25, 50 a) 波浪潮流共同作用下的主要冲淤特征如下: (1)多年一遇波浪和潮流共同作用下桩西至黄河海港海域冲刷由西北至东南向呈带状分布, 呈现 4 个明显的

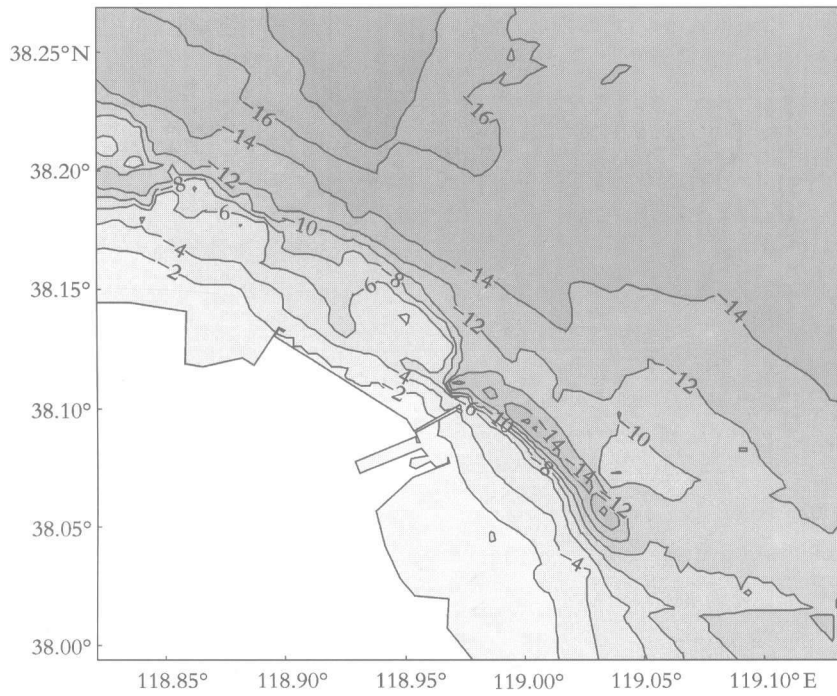


图 4 50 a 一遇海况极限冲刷地形等值线

Fig.4 Topographic isogram of the limit scouring in the case of once-in-50-years sea condition

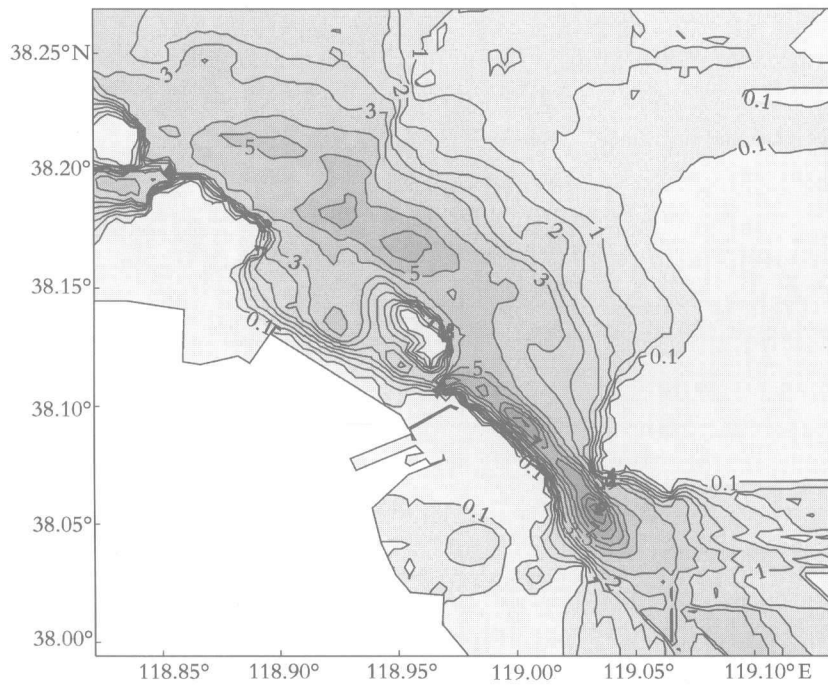


图 5 50 a 一遇波流作用下冲淤变化

Fig.5 Scour and deposit variations in the case of once-in-50-years wave and current

冲刷中心特征。以五号桩附近无潮点两侧为最大, 极限冲刷深度达 8~10 m, 黄河海港北侧坝头侵蚀也和严重, 极限冲刷深度有 5 m。(2)根据该海域的冲淤演化计算结果可知, 黄河海港西北方向海域 25 a 一遇波浪作用下, 水深 15 m 以浅海域处于冲刷状态, 大于 15 m 水深处基本不冲; 50 a 一遇波浪作用下, 水深 16 m 以浅海域处于冲刷状态, 大于 16 m 水深处基本不冲; 黄河海港东南方向海域 25 a 和 50 a 一遇波浪作用下冲刷情况相比, 变化不大, 水深 11 m 以浅海域处于冲刷状态, 大于 11 m 水深处基本不冲。(3)计算所得极限冲刷深度的预测结果, 可为研究区海域海岸防护工程及近岸海洋工程设计提供参考依据。

## 参考文献:

- [1] 刘建立, 丁继胜, 仲德林, 等. 黄河三角洲前缘桩 106 至黄河海港岸段海底地形冲淤变化研究[J], 海洋科学进展, 2006, **24** (4): 539-545.
- [2] 钱宁, 万兆惠. 泥沙运动力学第三版[M]. 北京: 科学出版社, 1991. 229-256.
- [3] 曹祖德, 唐士芳. 波、流共存时的床面剪切力[J]. 水道港口, 2001, **22**(2): 56-60.
- [4] 曹祖德, 孔令双, 焦桂英. 波、流共同作用下的泥沙运动[J]. 海洋学报, 2003, 3: 113-119.

## Study on changes in scour and silting of submarine topography in the Yellow River Delta from Zhuangxi to the Yellow River port

FENG Xiu-li, WANG Yuan-jun, HUANG Ming-quan, CHEN Zhi-he,  
DONG Wei-wei

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

Received: May, 24, 2008

**Key words:** Zhuang xi; the Yellow River port; numerical model; joint action of wave and current; changes in scour and silting

**Abstract:** At present, the defendable projects builed by ShengLi oil field long 27.7 km are in danger, according to a historical material analysis, Numerical model and measured datum calculation, aimed at investigating the changing rules of scouring and filling in the case of once-in-50-years wave and current from Zhuangxi to Yellow River Port, obtained the evolving characters of scouring and filling ,and provided a scientific support for coastal engineerings.

(本文编辑: 刘珊珊)