

文章编号:1009-2722(2008)07-0010-05

# 港口工程对粉砂淤泥质岸滩的影响

龚艳君,朱龙海,徐永臣,王楠

(中国海洋大学,青岛 266100)

**摘要:**渤海湾西南岸粉砂淤泥质海岸处于岸滩蚀退状态,利用 ECOMSED 数值模拟方法,分析了港口工程建设对水动力和海底蚀淤的影响。研究表明,近岸海域-2 m 等深线以内以侵蚀为主,侵蚀速率一般小于 10 cm/a; -2~-6 m 等深线以淤积为主,淤积速率一般在 10 cm/a 以下,局部大于 20 cm/a, -6 m 等深线侵蚀速率小于 10 cm/a。黄骅港导沙堤建设后淤积区整体向海扩展,延伸至约-8 m 等深线,面积增加约 5.4%;航道最大淤积速率由 61.9 cm/a 减小为 46.8 cm/a;导沙堤堤头受挑流作用冲刷速率达到 29.7~30.2 cm/a。

**关键词:**港口工程;水动力;海底蚀淤;数值模拟  
**中图分类号:**U65      **文献标识码:**A

渤海湾西南岸漳卫新河与套尔河之间为典型的粉砂淤泥质海岸(图 1)，“波浪掀沙，潮流输沙”是该区域泥沙运动的特点<sup>[1]</sup>。近年来，港口工程等建设使近岸海域海底侵蚀加剧，滨州贝壳堤岛国家级自然保护区内的岸滩蚀退加剧。黄骅港建设后对周边海域泥沙的运移产生了重要影响。许多学者针对黄骅港泥沙问题作过大量研究<sup>[1-5]</sup>。黄骅港扩建后，在东和东北向大风作用下航道发生骤淤<sup>[3-5]</sup>。为解决航道骤淤问题，2004 年在黄骅港外修建了导沙堤<sup>[5]</sup>，使周边海域的泥沙运移规律进一步发生改变。

导沙堤建设前后水动力和海底蚀淤变化规律，并利用悬浮泥沙观测和水深地形对比资料对结果进行了验证。

## 1 资料及方法

本文利用多年水深地形、水文气象、泥沙等观测资料，运用数值模拟的方法，研究了黄骅港

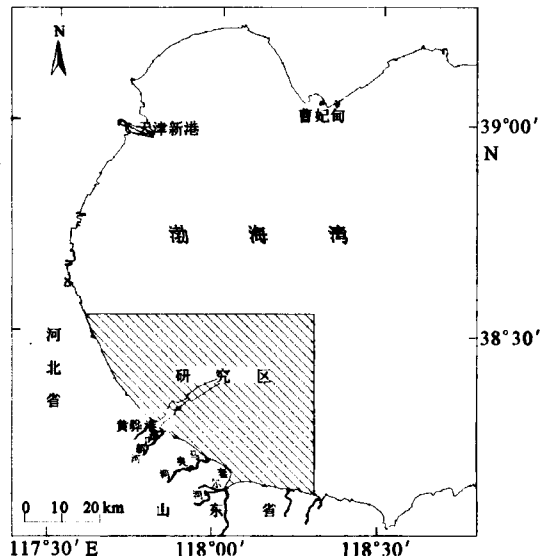


图 1 研究区位置图

Fig. 1 The location of study area

收稿日期:2008-05-26

作者简介:龚艳君(1982—),女,硕士,主要从事海洋沉积环境研究。E-mail:snow\_gyj@163.com

ECOMSED 三维数值模型包括水动力 ECOM 以及物质输运 SED 两个模型<sup>[6-8]</sup>。模型中包含了黏性和非黏性沉积物的输运、沉积及再悬浮过程<sup>[9-13]</sup>。

## 2 结果及验证

### 2.1 潮流场分析

黄骅港海域潮流呈明显的逆时针旋转特性,海区涨潮流向集中在  $240^{\circ}\sim 275^{\circ}$ ,落潮流向集中在  $70^{\circ}\sim 95^{\circ}$ ,而且涨潮流速大于落潮流速。在落急时刻,由于防波堤的阻水效应,防波堤北侧潮流沿堤运动,并在口门以外变为向东南的绕流运动,形成口门横流(图 2);同理,涨急时刻,向西的水流形成口门横流(图 3)。该流场特征与现场实测到的横流现象一致<sup>[1]</sup>。

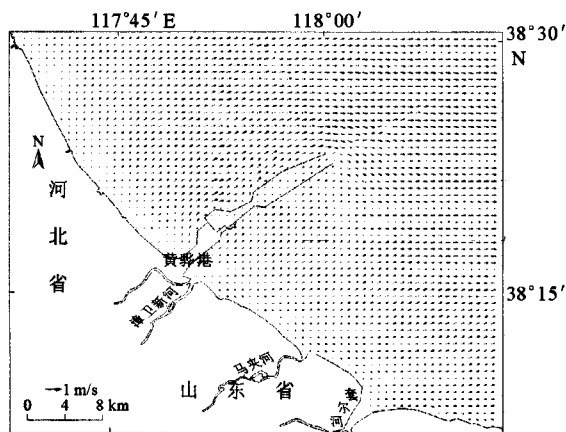


图 2 落急时潮流场

Fig. 2 The swift ebb current field

建港后流场的变化增大了港口附近泥沙向外海输移的速度和时间,从而导致泥沙离岸输移距离加大,增强了航道的回淤<sup>[4]</sup>。从遥感图像上能看到沿堤运动水流输移泥沙的情况<sup>[3]</sup>。在无风影响时,涨、落潮过程中黄骅港海域表层与底层的流向基本一致。

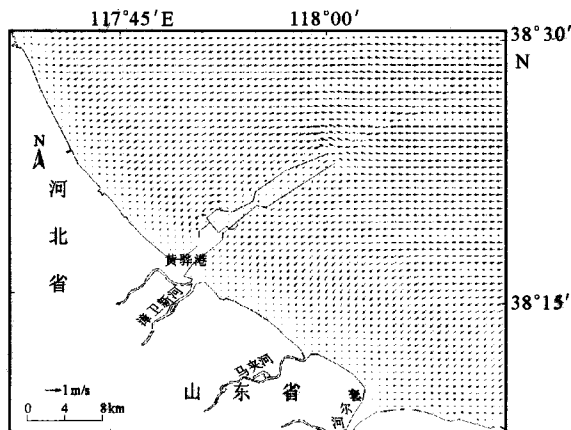


图 3 涨急时潮流场

Fig. 3 The swift flood current field

### 2.2 蚀淤变化分析

黄骅港导沙堤建设前,近岸  $-2\text{ m}$  等深线以内以侵蚀为主,侵蚀速率一般在  $10\text{ cm/a}$  以下; $-2\sim -6\text{ m}$  等深线之间以淤积为主,淤积速率主要在  $10\text{ cm/a}$  以下,局部区域超过  $10\text{ cm/a}$ ; $-6\text{ m}$  等深线以外侵蚀速率一般在  $10\text{ cm/a}$  以下(图 4)。堤头附近受挑流作用发生侵蚀,侵蚀速率大于  $10\text{ cm/a}$ ;堤头近根处侵蚀速率最大,为  $30.2\text{ cm/a}$ ;航道淤积速率较大,一般大于  $20\text{ cm/a}$ ,黄骅港近口门处淤积速率最大值可达  $61.9\text{ cm/a}$ 。模拟区内淤积区面积为  $1\,049.97\text{ km}^2$ ,占总面积的  $48.9\%$ ,其中淤积速率小于  $10\text{ cm/a}$  的面积为  $1\,027.07\text{ km}^2$ ,占淤积区面积的  $97.8\%$ ;淤积速率在  $10\sim 20\text{ cm/a}$  之间的区域面积为  $17.69\text{ km}^2$ ,占淤积区面积的  $1.6\%$ ;淤积速率大于  $20\text{ cm/a}$  的区域面积为  $5.21\text{ km}^2$ ,占淤积区面积的  $0.5\%$ 。侵蚀区总面积为  $1\,096.59\text{ km}^2$ ,占总面积的  $51.1\%$ ,其中侵蚀速率小于  $10\text{ cm/a}$  的面积为  $832.28\text{ km}^2$ ,占侵蚀区面积的  $75.9\%$ ;侵蚀速率在  $10\sim 20\text{ cm/a}$  之间的面积为  $248.72\text{ km}^2$ ,占侵蚀区面积的  $22.7\%$ ;侵蚀速率大于  $20\text{ cm/a}$  的面积为  $15.58\text{ km}^2$ ,占侵蚀区面积的  $1.4\%$ (表 1)。

表1 黄骅港导沙堤建设前后附近海域冲淤对比

Table 1 Distribution of erosion and silting before and after the building of diversion dike in Huanghua Harbor

	侵蚀区面积 /km <sup>2</sup>			最大侵蚀速率 / (cm/a)	淤积区面积 /km <sup>2</sup>			最大淤积速率 / (cm/a)
	大于 20 cm/a	10~ 20 cm/a	小于 10 cm/a		小于 10 cm/a	10~ 20 cm/a	大于 20 cm/a	
扩建前	15.58	248.72	832.28	30.2	1 027.07	17.69	5.21	61.9
扩建后	60.43	215.61	705.56	29.7	1 146.75	14.64	3.58	46.8

与黄骅港导沙堤建设前相比,导沙堤建设后近岸-2 m等深线以内也以侵蚀为主,侵蚀速率一般在10 cm/a以下,但黄骅港东南侧侵蚀区面积略有增加;-2~-8 m等深线之间以淤积为主,淤积速率以10 cm/a以下为主,有部分超过10 cm/a的区域;-8m等深线以外侵蚀速率一般在10 cm/a以下(图5)。导沙堤堤头附近区域侵蚀速率大于10 cm/a;靠近堤头处侵蚀速率最大值为29.7cm/a。航道淤积速率较大,一般大于20 cm/a,淤积速率最大值有所减小,为46.8 cm/a。模拟区内淤积区面积为1 164.97 km<sup>2</sup>,占总面积的54.3%,淤积区面积增加5.4%,其中淤积速率小于10 cm/a的面积为1 146.75 km<sup>2</sup>,占淤积区面积的98.4%;淤积速率在10~20 cm/a之间的区域面积为14.64 km<sup>2</sup>,占淤积区面积的1.3%;淤积速率大于20 cm/a的区域面积为3.58 km<sup>2</sup>,

占淤积区面积的0.3%。侵蚀区总面积为981.59 km<sup>2</sup>,占总面积的45.7%,与导沙堤建设前相比,侵蚀区面积减小5.4%,其中侵蚀速率小于10 cm/a的面积为705.56 km<sup>2</sup>,占侵蚀区面积的71.9%;侵蚀速率在10~20 cm/a之间的面积为215.61 km<sup>2</sup>,占侵蚀区面积的21.9%;侵蚀速率大于20 cm/a的面积为60.43 km<sup>2</sup>,占侵蚀区面积的6.2%(表1)。

### 2.3 结果验证

#### (1) 悬沙浓度分析

##### ① 正常气候条件下悬沙浓度

2000年5月至2002年3月,天津航道局沿航道南侧的悬沙观测资料表明,小风状态下悬沙浓度在30~200 mg/L之间<sup>[14]</sup>,与50~250 mg/L的模拟结果吻合较好。

##### ② 大风状态下悬沙浓度

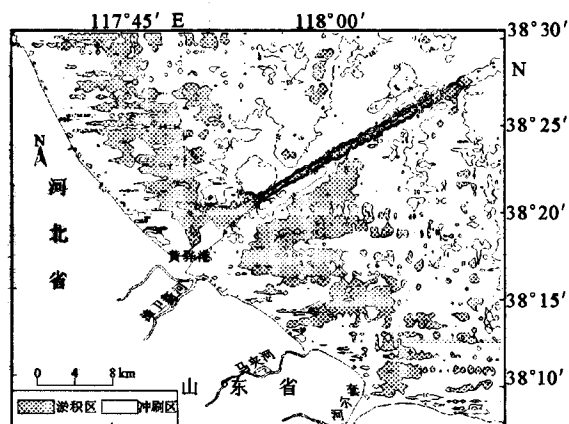


图4 黄骅港导沙堤建设前冲淤厚度(单位:cm/a)

Fig. 4 Erosion and silting thickness before the building of diversion dike in Huanghua Harbor

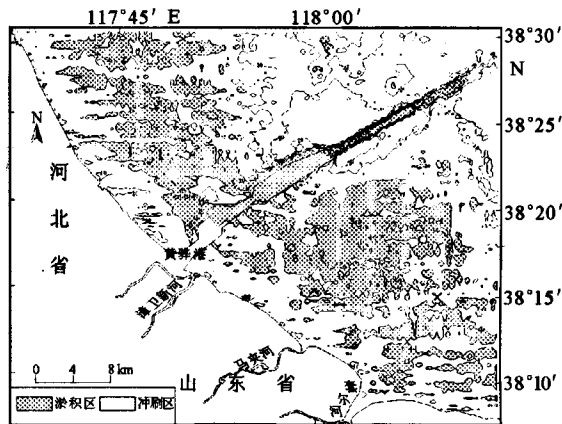


图5 黄骅港导沙堤建设后冲淤厚度(单位:cm/a)

Fig. 5 Erosion and silting thickness after the building of diversion dike in Huanghua Harbor

将黄骅港海区 2001 年 3 月 26 日水文全潮测验含沙量与数值模型的悬浮泥沙模拟结果进行分析验证。测验前一天风况大风 7 级,平均风速 15.3 m/s,风向为 ENE 向,6 级及以上大风作用时间为 8 h;测验当天为 E 向风,平均风速为 5.6 m/s。对比分析表明,1# 和 5# 站位涨急时刻和落急时刻悬沙浓度的计算值与实测值基本吻合(表 2)。

表 2 大风状态下计算与实测悬沙浓度比较  
Table 2 Distribution of sediment concentration between calculation and measurement

测站	层次	涨急时刻 悬沙浓度/(mg/L)			落急时刻 悬沙浓度/(mg/L)		
		实测值	计算值	差值	实测值	计算值	差值
1#	表层	929	715	-214	800	562	-238
	0.2	1405	1245	-160	900	782	-118
	0.6	1549	1650	101	1005	1051	46
	0.8	1888	1930	42	1188	1423	235
	底层	1940	2305	365	1661	2010	349
5#	表层	562	607	45	677	497	-180
	0.2	863	851	-12	1088	808	-280
	0.6	1068	1352	284	1218	1063	-155
	0.8	2102	2225	123	1242	1350	108
	底层	2245	2560	315	1251	1520	269

(2) 冲淤趋势和冲淤量分析

粉砂质海岸既有悬移质,又有推移质,还有跃移质。孔令双等(2004)将跃移质称为混移质,即底部高浓度含沙水体。针对黄骅港的泥沙进行试验,得到输沙率和淤积厚度的推、混、悬比。输沙率推、混、悬比:10%:22%:68%;淤积厚度推、混、悬比:26%:56%:18%<sup>[15]</sup>。本次模拟主要考虑悬移质的运移,模型中未包含推移质和混移质(底部高浓度含沙水体)组分。根据初步数值模拟结果,结合黄骅港泥沙试验分析,淤积的泥沙中悬移质按 1/4 考虑,然后对模拟结果进行了修正。

根据 2004 年、2007 年黄骅港附近海域水深地形测量对比结果,近岸 -2 m 等深线以内

海域以侵蚀为主,侵蚀量一般在 30 cm 以下,侵蚀速率小于 10 cm/a;-2 m 等深线以外海域以淤积为主,淤积量一般在 30cm 即淤积速率 10 cm/a 以下,局部超过 20 cm/a。导沙堤北西侧发生侵蚀,侵蚀量可达 60 cm,即侵蚀速率 20 cm/a 以上(图 6);导沙堤西侧约 5 km 和北侧约 8 km 存在侵蚀量大于 60 cm,即侵蚀速率 20 cm/a 以上的区域,其分别为近期黄骅港航道疏浚物 F 和 C1 抛泥区,抛泥形成的海底地形在海流作用下侵蚀所致。数值模拟的冲淤趋势和冲淤量与水深地形对比的结果基本一致。

(3) 航道淤积厚度分析

大风作用下,推移质和混移质向航道输运为其产生骤淤的主要原因之一。2002 年 10 月 17 日,6 级以上大风作用 33 h、最大风速为 8 级的情况下,航道 9+0~16+0 之间的淤积量约为 40~140 cm;2003 年 4 月 17 日,在 6 级大风作用 33 h、最大风速为 9 级的情况下,航道 9+0~17+0 之间的淤积量约为 20~80 cm。根据无风和正常大风作用下海底蚀淤模拟结果,结合风速统计资料,在不考虑特大风浪作用的情况下,计算得到航道最大淤积速率为 46.8~61.9 cm/a,小于实测的航道骤淤值。

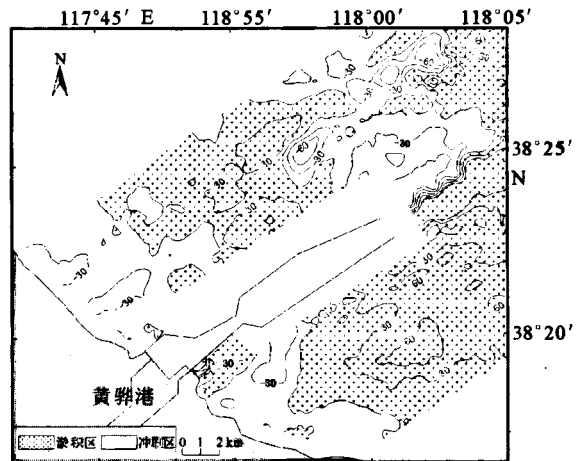


图 6 2004—2007 年研究区水深对比(单位, cm/a)  
Fig. 6 Comparison chart of water depth from 2004 to 2007

### 3 分析与讨论

现代黄河入海泥沙对研究区基本没有影响<sup>[2,16-18]</sup>,邻近漳卫新河和套尔河口的泥沙对研究区也无重要影响<sup>[1,17,18]</sup>,沿岸纵向输沙量不大<sup>[1]</sup>。因此,研究区内的蚀淤变化基本为海底泥沙自身调节的结果。

在正常条件下,区域内潮流流速较小,流速一般在10~30 cm/s左右,潮流的挟沙能力较低。本海区的余流在-6 m等深线以内为SSE向,余流流速3~7 cm/s;-6 m等深线以外,余流方向为NE,余流流速10~15 cm/s<sup>[19]</sup>,说明正常天气条件下,-6 m等深线以浅泥沙向岸运移,-6 m等深线以深泥沙向海扩散。研究区近岸主要以淤积为主,远岸以侵蚀为主<sup>[15]</sup>。

大风浪条件下,区域内泥沙大量起动,泥沙含量明显增高,在海流作用下运动。研究区为粉砂淤泥质海岸,泥沙具有易起动易落淤<sup>[4]</sup>的特点,当动力条件减弱时,水体中泥沙迅速沉降,造成海底的快速侵蚀和淤积。漳卫新河和套尔河之间近岸海域发生侵蚀,泥沙向海搬运至-2 m等深线以外逐渐沉积下来。由于导沙堤附近出现沿堤流<sup>[20]</sup>,导沙堤一定距离内发生侵蚀,携带泥沙向海方向运移,高浓度的泥沙在横跨航道时,由于水动力减弱,会快速落淤到航道内,引起强淤和骤淤。同时,从大风条件下数值模拟的海底蚀淤变化看,外航道并没有出现强淤和骤淤,这主要是由于数模本身存在一定缺陷<sup>[5]</sup>,还有待进一步研究和探讨。

### 4 结论

运用ECOMSED数值模型,模拟了黄骅港导沙堤建设对粉砂质海岸海底的蚀淤变化,结论如下:

(1)黄骅港导沙堤建设前,淤积区面积为1 049.97 km<sup>2</sup>,占总面积的48.9%,侵蚀区总面积为1 096.59 km<sup>2</sup>,占总面积的51.1%。近

岸-2 m等深线以内侵蚀速率一般在10 cm/a以下;-2~-6 m等深线之间淤积速率主要在10 cm/a以下,局部区域超过10 cm/a;-6 m等深线以外侵蚀速率一般在10 cm/a以下。堤头近根处侵蚀速率最大为30.2 cm/a;黄骅港近口门处淤积速率最大值可达61.9 cm/a。

(2)与导沙堤建设前相比,导沙堤建设后近岸-2 m等深线以内侵蚀速率一般也在10 cm/a以下,面积略有增加;-2~-8 m等深线之间淤积速率在10 cm/a以下;-8 m等深线以外侵蚀速率一般在10 cm/a以下。航道淤积速率最大值有所减小,为46.8 cm/a。淤积区面积为1 164.97 km<sup>2</sup>,占总面积的54.3%,淤积区面积增加5.4%;侵蚀区总面积为981.59 km<sup>2</sup>,占总面积的45.7%。

(3)漳卫新河和套尔河之间近岸海域-2 m等深线以内发生侵蚀,黄骅港导沙堤建设后侵蚀区面积略有增加。

#### 参考文献:

- [1] 杨华,侯志强.黄骅港外航道泥沙淤积问题研究[J].水道港口,2004,3(25):59-63.
- [2] 徐宏明,冯玉林.黄骅港工程泥沙问题研究[J].泥沙研究,1998,1(1):20-29.
- [3] 罗肇森.大风期黄骅港外航道骤淤估算及防淤减淤措施探讨[J].水运工程,2004,10(10):69-73.
- [4] 侯志强,杨华.黄骅港外航道骤淤分析[J].水道港口,2004,25(4):213-215,225.
- [5] 高进.黄骅港外航道大风骤淤的机理及其整治[J].工程技术,2005,1:29-31.
- [6] 李国胜,王海龙,董超.黄河入海泥沙输运及沉积过程的数值模拟[J].地理学报,2005,60(5):707-716.
- [7] Blumberg A F. An estuarine and coastal ocean version of POM[C]//Proceedings of the Princeton Ocean Model Users Meeting (POM 96), Princeton, NJ, 1996.
- [8] Blumberg A F, Mellor G L. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model[C]//Three-dimensional Coastal Ocean Model, American Geophys. Union, 1987:1-16.
- [9] Van Rijn. Sediment transport (part II)[J]. Journal of Hydrodynamic Engineering, 1984, 110(11):1 613-1 638.

(下转第19页)

## (上接第 14 页)

- [10] Gailani J. The transport of sediments in the Fox River [J]. *Journal Great Lakes Research*, 1991, 17, 479-494.
- [11] Tsai C H, Lick W. Resuspension of sediments from Long Island Sound[J]. *Wat. Sci. Tech.*, 1987, 21(6/7), 155-184.
- [12] MacIntyre S. Variability of entrainment of cohesive sediments in freshwater [J]. *Biogeochemistry*, 1990, 9, 187-209.
- [13] Burban P Y. Settling speeds of flocs in fresh and sea waters[J]. *Geophysical Research*, 1990, 95 (C10), 18 213-18 220.
- [14] 张庆河,王崇贤,杨华,等.黄骅港海域表层泥沙特性及其影响[J]. *中国港湾建设*, 1998, 1(1), 20-29.
- [15] 孔令双,曹祖德,李炎保.粉砂质海岸建港的若干悬浮泥沙问题[J]. *中国港湾建设*, 2004, 6(3), 24-27.
- [16] 恽才兴.渤海湾典型岸段近岸过程研究[J]. *中国工程科学*, 2001, 3(3), 42-50.
- [17] 常瑞芳.海岸工程环境[M].青岛海洋大学出版社, 1997, 132-133.
- [18] 石青峰,吴秉云,王文海.黄骅港地区潮滩过程与港口选址[J]. *海岸工程*, 2005, 24(4), 17-26.
- [19] 马芳,朱龙海,胡日军,等.黄骅港周边海域悬浮泥沙分布和海底蚀淤变化[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2007, 27(增刊), 30-35.
- [20] 吴相忠,张庆河,张娜,等.黄骅港海域三维流场数值模拟[J]. *水利水运工程学报*, 2005, 9(3), 13-19.