

# 钦州保税港区填海造地工程对海洋环境的影响

孙永根<sup>1</sup>, 高俊国<sup>1</sup>, 朱晓明<sup>2</sup>

(1. 国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛, 266061; 2. 青岛市工程地震研究所, 山东 青岛, 266003)

**摘要:** 利用潮流数值模拟、海图对比、输沙率计算等方法, 从潮流场、冲淤环境及纳潮量三个方面, 分析了钦州保税港区填海工程造成的影响。结论认为: 填海工程建成后, 工程区西侧和东侧流速增加 0~0.2 m/s, 由工程区边界向外增加幅度逐渐减小, 南侧流速减小 0~0.25 m/s 左右; 工程区西侧主导流向受深槽地形控制, 变化幅度较小, 而东侧和南侧由于新增岸线改变了原有流场方向, 流向变化明显; 填海工程没有改变东槽主导潮流方向和悬沙向外海输移路径, 工程造成东槽流速增加, 利于泥沙的起动搬运, 使深槽部位推移质泥沙由淤积变为轻微侵蚀, 对航道保持稳定有利; 工程建设后钦州湾湾体纳潮量减少了  $3\ 934.38 \times 10^4 \text{m}^3$ , 占钦州湾海域总纳潮量的 2% 左右。

**关键词:** 钦州湾; 填海造地; 数值模拟; 航道冲淤; 纳潮量

中图分类号: P 74 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2012)12-0084-06

钦州湾位于北部湾中部, 由内湾(茅尾海)和外湾(钦州湾)及连接两湾的潮汐通道构成, 茅尾海有茅岭江和钦江注入, 是一个半封闭型天然河口海湾<sup>[1]</sup>。钦州保税港区项目位于钦州湾东岸, 该工程需进行 10 km<sup>2</sup> 的大面积填海造地, 是国务院正式批准实施的广西北部湾经济区发展规划内容之一。由于保税港区项目填海面积较大, 工程的实施会对钦州湾的海洋环境带来一定影响。本文利用数值模拟对工程前后潮流动力场变化进行分析计算, 然后根据预测潮流场结果对东槽航道泥沙输移造成的冲淤变化及钦州湾的纳潮量变化进行分析, 从三个方面的变化来反映大规模填海过程对钦州湾海洋环境造成的影响。计算选取的代表点、断面位置及工程地理位置如图 1 所示。

## 1 潮流场影响分析

利用数值模拟的方法可以很好地预测海岸工程建设造成的海洋环境影响。本文采用河口陆架海洋模式 ECOMSED 建立钦州湾附近海区潮流三维模式<sup>[2-3]</sup>, 根据海图及实测水深资料输入地形和岸界条件, 利用潮汐调和常数给出模拟过程所需潮汐水位, 作为模型的开边界条件, 模拟本海区的潮流特征。

### 1.1 研究海域潮流场特征

钦州湾海域内外湾之间的潮汐水道水深最大, 口外东侧、中部和西侧三条深槽水深次之, 深槽之间

分布浅滩, 潮流场受这种地形分布格局影响明显。涨潮过程期间, 潮流由外海进入钦州湾, 湾体西南侧近岸首先感潮, 潮水涨至东侧深槽位置后, 涨潮流先由 NE 转为 NW 向, 进入潮汐水道之后流向又转为 N 向; 落潮过程与之相反, 这种变化显然与地形有着密切联系。

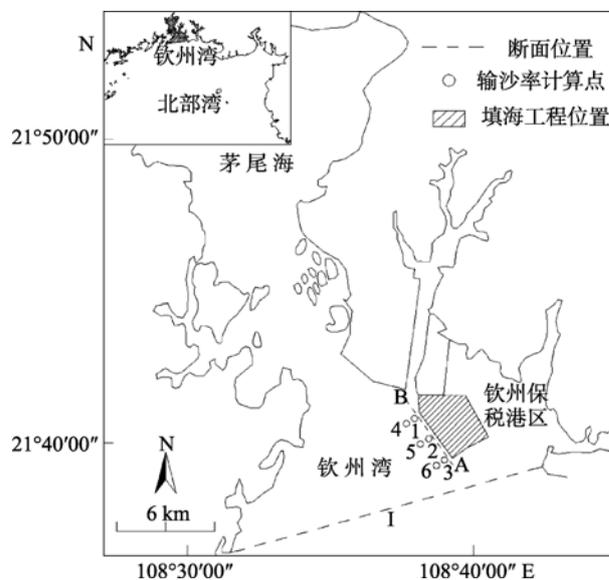


图 1 位置示意图

Fig. 1 Map of location

收稿日期: 2011-12-30; 修回日期: 2012-04-12

作者简介: 孙永根(1981-), 男, 山东青岛人, 助理工程师, 硕士, 主要从事泥沙动力及地貌研究, 电话: 0532-88965613, E-mail: sunyonggen@126.com

根据模拟潮流场结果, 研究区潮流场转流时刻发生在高、低潮时, 该时刻流速最小, 而涨落潮的中间时刻流速较大, 潮流带有明显的往复流形式。落潮过程流速明显大于涨潮流速, 流速最大位置出现在内外湾之间的潮汐水道, 大潮落潮期间最大值可达 1.2 m/s, 涨潮期间最大值仅 0.83 m/s; 外湾三条深槽流速以东槽居首, 西槽次之, 中部深槽流速居末, 湾顶位置及岸边潮滩流速最小。

## 1.2 填海工程对潮流场影响

### 1.2.1 填海工程后潮流场

填海工程建成后, 湾体局部岸线发生改变, 根据预测结果, 工程后各典型时刻流场形态没有发

生较大变化, 距离工程区较近的海域, 由于岸线形状改变, 流速和流向有不同程度的变化。相比工程前流场, 整个湾体流速普遍减小, 局部区域流速略有增加。为便于分析工程前后潮流场变化, 文章将对应的涨急与落急时刻的流场进行了叠加(图 2), 这样可以更直观地反应研究区各部位流场的变化情况。

从提取的数据分析来看, 钦州湾流速整体减小 0~0.05 m/s, 这是工程填海造成湾内纳潮量下降, 流速普遍下降的结果。工程区西侧和东侧流速增加 0~0.2 m/s, 由工程区边界向外增加幅度逐渐减小; 工程区南侧由于处于流场转向位置, 受工程区影响较大, 流速减少 0~0.25 m/s 左右。

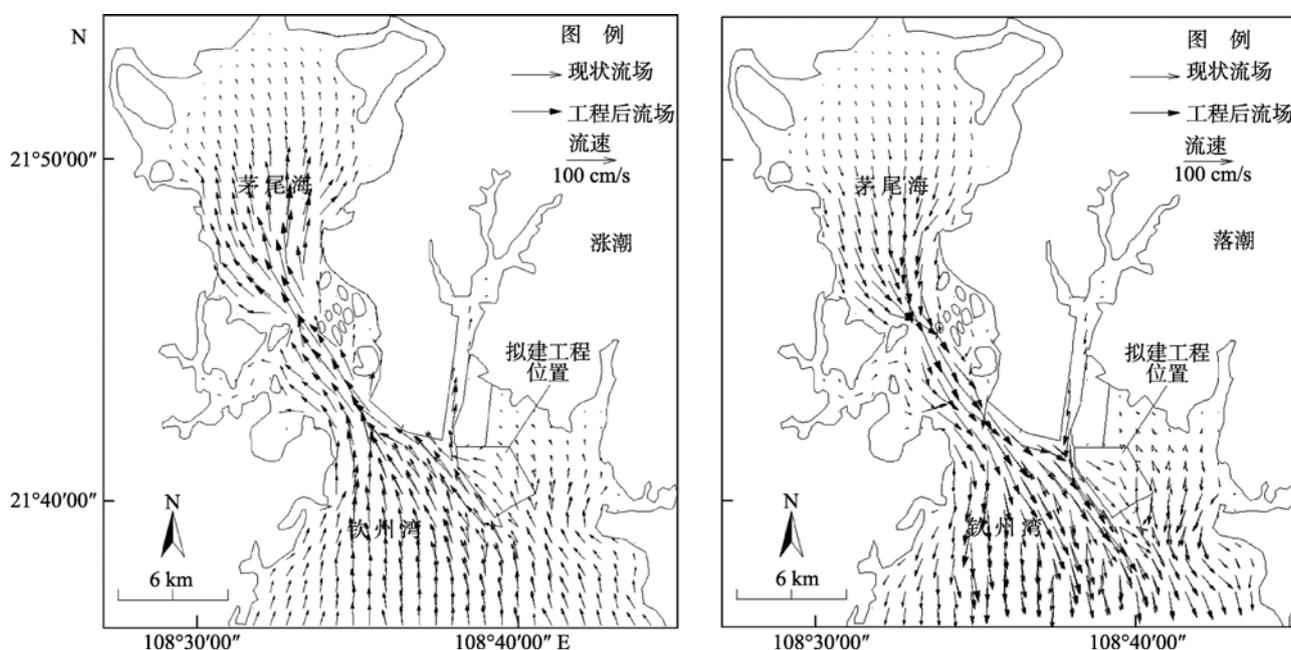


图 2 工程前后涨、落急流场变化分布

Fig. 2 Flow field changes of flood and ebb tide before and after reclamation engineering

工程区主导流向受深槽地形控制, 西侧流向变化幅度较小, 东侧和南侧变化幅度较大。分析原因不难发现: 西侧新增岸线与原有潮流流向近于平行, 因此工程建设对流向影响较小, 而东侧和南侧新增岸线阻挡了原有潮流的通道, 导致工程后流向产生较大的变化, 但影响范围仅局限于工程区附近, 其他区域流向变化很小或没有变化。

### 1.2.2 工程建设前后流速、流向变化

为定量分析填海工程区周边区域流速、流向变化情况, 本文提取了 9 个代表点, 进行流速流向数据对比分析。提取代表点由近到远距离工程区分别为

500、1 000 和 1 500 m, 如图 3 所示。西侧的 1#、2# 和 3#代表点流速在工程建成后增大, 流速增加量为 7.74~19.5 cm/s, 且落潮过程增加量大于涨潮, 由近至远增大幅度变小, 流向变化为 2.57°~5.49°; 南侧 4#、5#和 6#代表点流速在工程建成后普遍减小, 流速减少量为 12.86~38.84 cm/s, 且落潮过程减少量大于涨潮, 由近至远减小幅度变小, 流向变化为 8.88°~51.01°; 东侧 7#、8#和 9#代表点流速增加量为 4.72~10.78 cm/s, 落潮过程增加量小于涨潮, 由近至远增加幅度逐渐变小, 新增岸线形状的影响导致其流向变化幅度较大, 为 12.8°~80.8°。

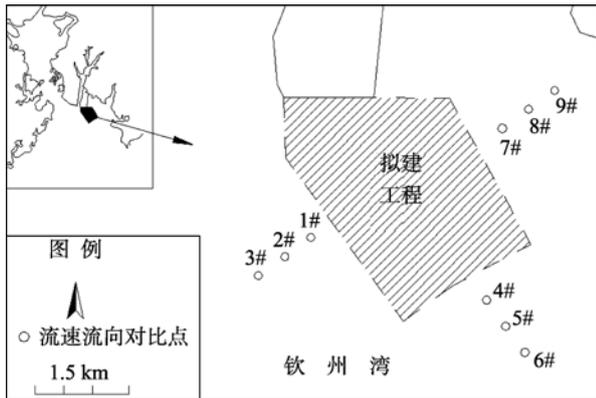


图3 流速、流向变化对比点位置

Fig. 3 Contrast points of current velocity and direction change

## 2 冲淤环境影响

钦州保税港区填海工程改变了现有自然岸线形状,造成潮流场改变,导致周边冲淤环境发生变化,本文对工程区西侧的深槽航道进行了分析。

### 2.1 历年来东槽航道冲淤变化

为分析填海工程区西侧航道冲淤现状,本文搜集了1994年和2004年两个时期的水深资料。首先通过水深编程提取、基准面统一(85国家高程)将水深数据进行处理,然后在紧邻东槽航道的位置选取了断面A-B(图1),在断面上每隔500m读取一个水深数值,分析读取的水深值在1994年至2004年的变化,以此来反映该断面10年间的冲淤情况,作为研究区域的一个冲淤现状。

数据经过处理后得到如图4所示的结果,A-B断面长5km,北侧靠近金鼓江口部位,2004年水深值相比1994年减小了1.23~2.78m,以淤积为主,淤积量平均每年0.183m;南侧2004年水深值相比1994年增加了1.62~2.02m,以侵蚀为主,侵蚀量平均每年0.182m;中部区域基本保持平衡,两个时期的水深变化不大。

### 2.2 工程建设对泥沙输移造成的影响

钦州湾面积宽广,受地貌和水动力条件影响,表层沉积物类型分布复杂<sup>[4]</sup>,填海工程附近普遍分布着中砂(MS)、细砂(FS)、粉砂(TS)等物质,中值粒径为0.5~0.063mm,因此除分析细颗粒的悬浮泥沙影响之外,也要考虑中粗粒推移质泥沙的影响。

#### 2.2.1 悬浮泥沙影响分析

工程建设对悬浮泥沙的影响体现在两个方面:泥沙输运的路径是否改变、影响泥沙起动或沉降的动力条件增强还是减弱。

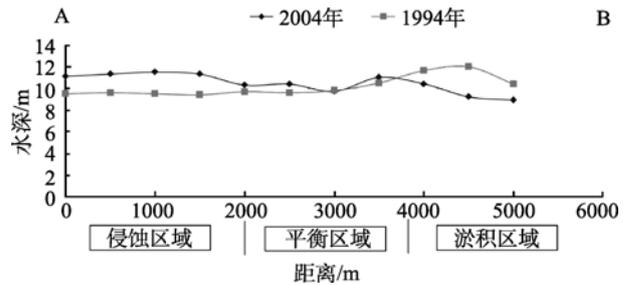


图4 东槽航道断面历年水深变化

Fig. 4 Historical depth change of east channel section

梁文通过遥感技术研究钦州湾潮流场和悬沙输移关系<sup>[5]</sup>认为:由于外湾的落潮强流区在西侧及西南侧,因此悬沙的主要输移区在西侧,包括主槽道及其两侧的浅滩区,而在外湾的东侧弱流区,从峡口下泄的泥沙较少排入该区。陈波<sup>[6]</sup>通过对钦州湾余流特征的研究也得出同样的认识:西槽是主要“排水”通道,从湾内来的泥沙,主要从这里通过。这一点在本项目悬浮泥沙现状调查结果中得到证实,根据钦州湾大潮期全潮单宽输沙结果(图5),T1~T6各个站位的输沙量分别为1857.4、1341.3、109.6、1566.2、2101.2、1303.9 kg/(m·d),东槽区域T2、T3和T6站位悬浮泥沙浓度明显低于其他三个站位,本工程位于非主要输沙路径区域,从图5的输沙方向可以看出,工程区边界与相邻的T2站位输沙方向平行,填海形成的陆域没有阻挡输沙的运移路径。

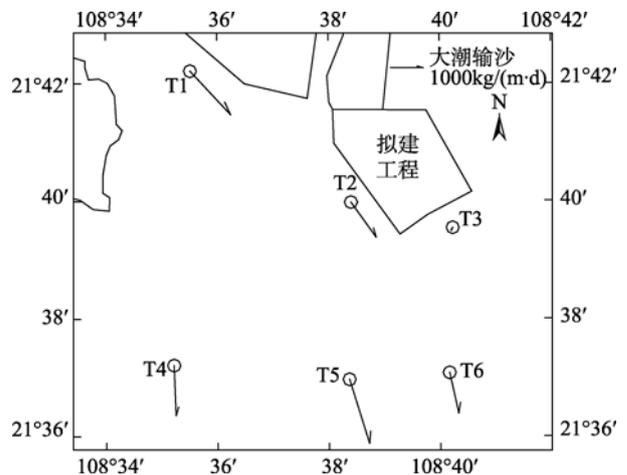


图5 悬浮泥沙输沙计算

Fig. 5 Calculation of suspended sediment discharge

填海工程新增岸线与东侧深槽相邻,走向与落潮流方向一致,工程没有改变悬沙输移路径,且填海工程建成后邻近深槽流速普遍增加,使得悬沙的输送能力加强,该区泥沙输沙方向及泥沙分配比例

都未有改变,因此工程建设对悬浮泥沙不会有明显影响。

### 2.2.2 波流共同作用下的推移质输沙率变化

波流共同作用下航道淤积采用 Bijker 公式<sup>[7]</sup>计算,该公式参数易获得,精度也能满足要求,为一般沙质海岸航道回淤计算经常采用的方法,公式如下:

$$q_b = 5 D_{50} \frac{V_c}{C_h} g^{1/2} \exp \left[ -\frac{0.27(\rho_s - \rho)gD_{50}}{\mu\tau_{wc}} \right]$$

式中:

$q_b$  为推移质单宽输沙率,单位:  $m^3/(m \cdot s)$

$\tau_{wc}$  为波流共同作用下的平均剪应力;

$$\tau_{wc} = \tau_c \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( \xi \frac{\mu_m}{V_c} \right) \right], \quad \tau_c = \frac{\rho g}{C_h^2} V_c^2, \quad \xi = \left( \frac{f_w}{2g} \right)^{\frac{1}{2}} C_h;$$

$\tau_c$  为水流中床面剪切应力;

$V_c$  为沿水深平均的水流流速;  $f_w$  为波浪摩阻力系数;

$\mu_m$  为波浪水质点近底流速最大值,

$$\mu_m = \frac{\pi H}{T \cdot \frac{2\pi h}{L}}; \quad H \text{ 为波高, } T \text{ 为周期, } L \text{ 为波长};$$

$C_h$  为表面粗糙度  $r = D_{50}$  时的谢才系数,

$$C_h = 18 \lg \frac{12h}{r}; \quad r \text{ 为表面粗糙度};$$

$\mu$  为沙纹因子,  $\mu = \left( \frac{C_h}{C_{90}} \right)^{1.5}$ ;  $C_{90}$  为  $r = D_{90}$  时的谢

才系数。

Bijker 公式计算航道淤积需要考虑海底的水深地形变化、波浪要素、海底沉积物类型、中值粒径等因素,工程建设前后航道内流速采用流场数值模拟结果。计算将每年划分为 12 个月进行叠代计算,计算时段的水深由前一时段的航道水深减去前一段的淤积强度得出。

在工程建设区紧邻深槽航道位置选取 6 个代表点(图 1),顺涨落潮流主导方向布置,其中 1#~3#代表点位于深槽航道之中,4#~6#代表点位于深槽与老人沙脊过渡区域。

根据计算结果(表 1),工程前深槽航道内 1#点至 2#点之间部位淤积速率为 0.003 m/a,2#点至 3#点之间部位淤积速率为 0.03 m/a,整体处于平衡或轻微淤积状态;深槽的边坡位置,3#点至 4#点之间侵蚀速率为 0.055 m/a,4#点至 5#点之间部位侵蚀速率为 0.043 m/a,整体为轻微侵蚀状态。工程建成后,所选取的 6 个点的涨、落潮流速及输沙率都有所增加,深槽部位由淤积变为轻微侵蚀,其中 1#点至 2#点之间部位侵蚀速率为 0.026 m/a,2#点至 3#点之间部位侵蚀速率为 0.002 m/a;深槽边坡 4#点至 5#点之间侵蚀速率减小,变为 0.027 m/a,5#点至 6#点之间部位变为淤积,速率为 0.056 m/a。

表 1 工程前后输沙率计算结果

Tab. 1 Sediment discharge rate before and after project

点号	水深(m)	涨潮流速(m/s)	落潮流速(m/s)	涨潮输沙率 ( $m^3/(m \cdot s)$ )	落潮输沙率( $m^3/(m \cdot s)$ )	淤积速率 (m/a)	
工程前	1	11.4	0.64	0.8	$1.41 \times 10^{-5}$	$1.97 \times 10^{-5}$	0.003
	2	10.7	0.54	0.7	$1.11 \times 10^{-5}$	$1.66 \times 10^{-5}$	0.03
	3	10.1	0.53	0.64	$1.10 \times 10^{-5}$	$1.51 \times 10^{-5}$	—
	4	6.3	0.46	0.55	$1.07 \times 10^{-5}$	$1.39 \times 10^{-5}$	-0.055
	5	4.6	0.31	0.47	$6.96 \times 10^{-6}$	$1.27 \times 10^{-5}$	-0.043
	6	5.4	0.33	0.54	$6.84 \times 10^{-6}$	$1.45 \times 10^{-5}$	-
工程后	1	11.4	0.69	0.82	$1.60 \times 10^{-5}$	$2.01 \times 10^{-5}$	-0.026
	2	10.7	0.69	0.84	$1.61 \times 10^{-5}$	$2.14 \times 10^{-5}$	-0.002
	3	10.1	0.66	0.81	$1.54 \times 10^{-5}$	$2.07 \times 10^{-5}$	—
	4	6.3	0.48	0.64	$1.15 \times 10^{-5}$	$1.72 \times 10^{-5}$	-0.027
	5	4.6	0.41	0.6	$1.11 \times 10^{-5}$	$1.80 \times 10^{-5}$	0.056
	6	5.4	0.46	0.58	$1.19 \times 10^{-5}$	$1.63 \times 10^{-5}$	—

## 2.3 工程建成后东槽航道稳定性分析

研究区泥沙主要来自内湾茅尾海,以径流输沙为主,泥沙来源数量有限。内湾数条河流都属于弱输沙性质,沙量主要沉积于河口与内湾交汇区域,较细部分泥沙向海区扩散,但亦多沉积在龙门以北。从茅尾海至青菜头一带,含沙量急剧减少,再往南含沙量不再衰减,维持稳定的低含沙量<sup>[8]</sup>,带入外海的细粒泥沙由于深槽流速较大,不易在此落淤。工程的建设,没有改变涨落潮流方向,而且深槽流速普遍增加,这对于深槽的维护以及航道的稳定是有利的。

广西近海表层存在较强的西偏南向沿岸流<sup>[9]</sup>,根据白龙尾站波浪资料,风浪频率以 NNE 和 NE 向最大,SE~SSW 向为次,平均波高 0.52 m,平均周期 3.1 s,波浪动力较弱,加上周边岸线曲折、众多港汊分支、沿岸河流径流输沙量小,可以认为波浪作用下的沿岸输沙不会对钦州湾东槽航道造成影响。

东槽航道附近由于流速较大,历史上冲刷形成的滩槽地貌体基本保持稳定<sup>[10]</sup>,细颗粒物不易沉降。许家帅<sup>[11]</sup>对钦州港航道回淤计算的结果认为:本工程区西侧段航道悬移质正常年份淤积量在 0.13~0.22 m/a,推移质淤积量在 0.05~0.07 m/a。本文对推移质输沙量计算的结果与其基本一致,工程后流速增大导致局部岸段发生轻微侵蚀,这对于深槽的稳定性也是有利的。

## 3 纳潮量变化

### 3.1 填海工程造成的纳潮量变化

根据潮流场流速变化分析可知,填海工程造成整个湾体流速普遍减小,在外湾选取一条断面(图 1),工程建成后断面流速减小,会导致单位时间进入该断面的水量随之减少,以一个潮周期为计算时间段,对不同时刻断面进水量的变化进行积分,便可以求出总的水量的变化,即纳潮量的变化,本文以此为出发点,对保税港区建设造成的纳潮量变化进行计算。

(1)在最外侧断面,根据断面上水深的变化(图 6),将此断面分成数段  $m$ , 求出每一段的长度  $L_i$  和深度  $h_i$  (平均海面起算);

(2)根据潮流数值模拟结果,提取外侧断面位置潮位数据,根据一个涨潮过程中各个时刻的潮位数据,将步骤 1 得出的深度  $h_i$  进行转换,求出每个时刻该断面水深数据  $H_i$ ;

(3)根据步骤 1、2 结果,考虑某一个时刻  $t$ , 每一段的宽度  $L_i$  与水深  $H_i$  相乘,然后累加便可得到该时

刻整个断面的垂直面积  $S_t = \sum_{i=1}^m H_i \cdot L_i$ ;

(4)工程建成后,钦州湾流速普遍减小,计算时提取了断面 每小时的平均流速变化  $\Delta V_t$ , 涨潮过程每个小时的垂直面积  $S_t$  与  $\Delta V_t$  相乘得到该时刻纳潮量变化,将每小时的结果累加得到整个涨潮过程中纳潮量的变化  $\Delta Q = \sum_{t=1}^n S_t \cdot \Delta V_t$ 。

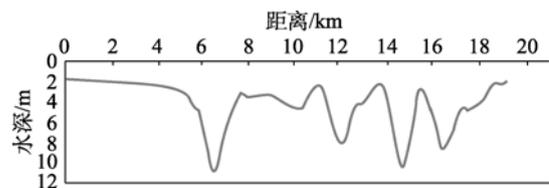


图 6 水深剖面(平均海平面起算)

Fig. 6 Depth profile section (from mean sea level)

计算结果表明,工程建成后纳潮量减少了  $3934.38 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,此方法在  $\Delta V_t$  的选择上参考了数值模拟的结果,根据一个涨潮周期内进水量的变化来分析纳潮量的改变,水深计算时整个断面作为一个整体考虑,没有考虑两端潮位变化的不一致造成的影响。

### 3.2 纳潮总量计算

纳潮总量计算有不同的方法,本文提出一种新的方法,目的是通过 VB 编程和 Sufer 成图软件求出高潮时刻整个湾体的水体体积。

(1)对数字化海图进行初步处理,利用程序提取计算纳潮量海域的水深和岸线数据,根据潮汐资料,将海图水深数据转换成该海域平均高潮时刻水深;

(2)将图 1 中断面 以内的水域进行网格化内插,形成 \*.grd 文件,该文件需要去除断面 和岸线以外的其他区域数据;

(3)运用 Sufer 软件中的 Volum 工具进行积分便可计算出网格化区域的体积,即是该海域所求的总纳潮量。

根据计算结果,该海域(图 1 中断面 与岸线所围水体)纳潮总量为  $1.88 \times 10^9 \text{ m}^3$ ,根据计算所得钦州湾海域纳潮变化量,可知本工程实施造成钦州湾海域纳潮量减少 2%左右。纳潮量减少和保税港区的建设有直接关系,大范围的填海造成纳潮水域面积的缩小,在水动力上表现为高、低潮位的变化和流速的减弱,尽管数量微弱,但足以说明纳潮水域蓄积势能的变化,间接地导致落潮过程水体携沙能力的减小,造成泥沙输运平衡的破坏。

## 4 结论

本文从潮流场、冲淤环境和纳潮量三个方面分析了钦州保税港区填海造地工程对钦州湾海洋环境的影响,得出结论如下:

(1)填海工程改变了自然岸线形状,工程区西侧和东侧流速增加,由工程区边界向外增加幅度逐渐减小,幅度为 0~0.2 m/s,工程区南侧流速减小,幅度为 0~0.25 m/s;工程区西侧主导流向受深槽地形控制,变化幅度较小,而东侧和南侧由于新增岸线改变了原有流场方向,流向变化明显;

(2)利用 1994 和 2004 两期水深地形数据对比得到东槽航道冲淤现状,十年来东槽航道北侧每年淤积 0.183 m,南侧每年侵蚀 0.182 m,中部保持平衡;填海工程没有改变东槽主导潮流方向和悬沙向外海输移路径,工程造成东槽流速增加,利于悬沙的起动搬运;深槽部位推移质泥沙由淤积变为轻微侵蚀,对航道继续保持平衡和稳定有利;

(3)以断面流速普遍减小的预测结果为出发点,对纳潮量变化进行了计算,工程建成后纳潮量减少了  $3\,934.38 \times 10^4 \text{ m}^3$ ;根据本文采用的纳潮总量计算方法,得出钦州湾总纳潮量为  $1.88 \times 10^9 \text{ m}^3$ ,工程建

设造成钦州湾海域纳潮量减少 2%左右。

参考文献:

- [1] 李树华,黎广钊.中国海湾志第十二分册(广西海湾)[M].北京:海洋出版社,1993:144-216.
- [2] 谢飞,逢勇,庄魏,等.海州湾近岸物质运输规律研究[J].海洋科学进展,2008,26(3):347-353.
- [3] 孙英兰,张越美.丁字湾物质运输能力及水交换能力研究[J].青岛海洋大学学报,2003,33(1):1-6.
- [4] 白玉川,廖世智.广西钦州湾海域海床稳定性特征的研究[J].海洋通报,2005,24(2):26-32.
- [5] 梁文,黎广钊.应用遥感技术分析钦州湾悬沙的动态特征[J].海洋通报,2002,21(6):47-51.
- [6] 陈波,侍茂崇,邱绍芳.广西主要港湾余流特征及其对物质运输的影响[J].海洋湖沼通报,2003,1:13-20.
- [7] 蒋德才,刘百桥,韩树宗.工程环境海洋学[M].北京:海洋出版社,2005:200-202.
- [8] 阎新兴,刘国亭.钦州湾近海区沉积特征及航道淤积研究[J].水道港口,2006,27(2):79-83.
- [9] 孙洪亮,黄卫民.广西近海潮汐和海流的观测分析与数值研究—数值研究[J].黄渤海海洋,2001,19(4):12-20.
- [10] 邓朝亮,黎广钊,刘敬和,等.铁山港水下动力地貌特征及成因[J].海洋科学进展,2004,22(2):170-176.
- [11] 许家帅,李蓓,张征.钦州港总体布局规划方案泥沙回淤研究[J].水道港口,2008,29(1):31-35.

# Effect of reclamation engineering in Qinzhou Bond Harbor on marine environment of Qinzhou Bay

SUN Yong-gen<sup>1</sup>, GAO Jun-guo<sup>1</sup>, ZHU Xiao-ming<sup>2</sup>

(1. The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China, 2. Institute of Qingdao Engineering Seismological, Qingdao 266003, China)

Received: Dec., 30, 2011

**Key words:** Qinzhou Bay; reclamation engineering; numerical simulation; channel erosion and silting; storage capacity of tidal water

**Abstract:** In this paper, the effects of reclamation engineering in Qinzhou Bond Harbor's on flow field, erosion and silt environment and storage capacity of tidal water were analyzed with methods of current numerical simulation, sea chart comparison and sediment discharge calculation. The results show that after reclamation engineering, the current velocity at west and east of project area increases at the rate of 0~0.2 m/s and the rate decrease gradually from the border to outboard. Current velocity at South decreases at the rate of 0~0.25 m/s. Current direction at West of project area changes slightly because it is dominated by deep canal. But direction at East and West of project area changes obviously because the new coastline alternates original current direction. Reclamation engineering does not shift the principal direction in east canal and sediment discharge path to external bay. The project makes current velocity in east canal increase, which is beneficial to sediment launching and moving. Bed load sediment in east canal changes from silting to slight erosion which is good for keeping channel stable. After the reclamation engineering, the water storage capacity of Qinzhou Bay decreases  $3934.38 \times 10^4 \text{ m}^3$ , which is 2% of total water storage capacity of Qinzhou Bay.

(本文编辑:张培新)