

# 防城港“拦门沙”航道泥沙 冲淤变化规律的研究\*

尤芳湖 林国军 杨治家

(中国科学院海洋研究所)

防城港位于防城湾内。在湾口，由于“拦门沙”的横亘，致使航道形成水深仅为三米的浅水段(见图1)，妨碍一定吨位船舶的通航，需要进行开挖。但开挖后，航道能否维持所需水深，则是建港工程所关注的问题。在经过一定工作以后，对该段航道进行了一次试挖(我们称为试挖段)。本文仅据部分实测资料，从影响本区的海浪、海潮流这两个海洋动力因子所导致的纵向和横向输沙出发，结合水下地形对比的冲淤量计算，探讨“拦门沙”航道试挖段在试挖前后一周年的泥沙冲淤变化规律，并对进一步疏浚后的冲淤情况作出预测。

## 一、海洋水文动力特征 及地形概况

**潮流** 防城湾的潮汐类型属正规全日潮。平均潮差二米多。潮流类型以全日潮流为主，“拦门沙”以外的开阔海域为不正规全日潮流，具有回转流性质，流速小；“拦门沙”及其以内基本上为往复流，落潮流速大于涨潮流速，落潮延时小于涨潮延时，潮流主流线与航道轴线基本一致(见图1，表1)。“拦门沙”航道试挖段在试挖前，涨落潮均有一大流速区。涨潮时在“拦门沙”南坡形成水拥，通过这一大流速区时能量消耗，向北流速减小，随后接受两翼潮能，流速又逐步增大；落潮时，流速自北向南递减，至“拦门沙”北坡形成水拥，流速小，通过这一大流速区后向缓流区过渡。因而“拦门沙”具“门槛”性质，若取其东西断面视之，则又具“槽”的性质。

“拦门沙”航道试挖段试挖后，涨落潮流平均

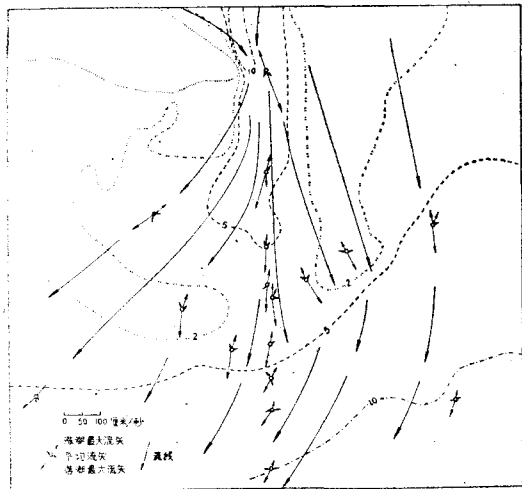


图1 大潮平均涨落潮最大流矢、流线

最大流速普遍略有增大，流向变化小，且流速沿航道的分布为连续递减(落潮)或递增(涨潮)见表1。

**海浪** 在湾口地区，除台风影响外，波浪的基本特征是多年变化较小。夏半年，以S、SSW、SE等南向涌浪为主，周期长，波高大；冬半年，以NNE、NE向的风浪为主，周期短，波高小，属离岸浪。在试挖前的一周年内，南向浪出现频率占50%强， $\geq 3$ 级浪的主要波向为SSW、S，平均波高1.2米(见图2a)。试挖后的一周年内，南向浪出现频率占50%强，夏半年以SSW、S、SE向涌浪为主， $\geq 3$ 级浪的主要浪向为S、SSW，平均波

\* 本文据广西防城港建港指挥部、广西交通局勘测设计院、交通部广州航道局、中国科学院海洋研究所1978年《防城港“拦门沙”航道试挖前后泥沙冲淤状况的调查报告》部分资料写成。文中图件由蒋孟荣同志清绘。

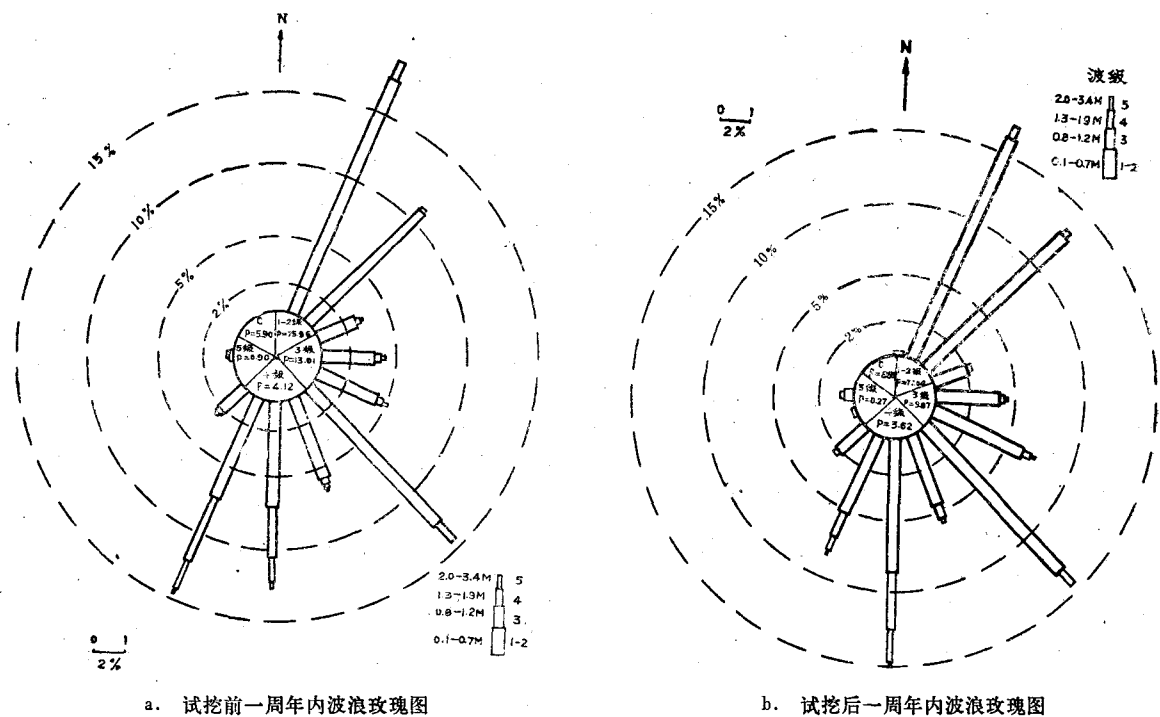


图2 波浪玫瑰图

表1 “拦门沙”航道段试挖前后潮流分布

项 目	站 位 数 值	试挖段北端		试挖段中部		试挖段南端	
		涨 潮	落 潮	涨 潮	落 潮	涨 潮	落 潮
流 向 (度)	挖 前	8	195	0	175	4	183
	挖 后	9	191	358	178	358	175
流 速 (厘米/秒)	挖 前	40	51	42	75	34	63
	挖 后	41	58	48	78	48	79

高约1.2米(见图2b)。

**水下地形** 防城湾呈喇叭状,湾口朝南,湾内堆积地形发育。“拦门沙”走向近于东西向,大致垂直于波浪合成方向。“拦门沙”航道试挖前水深为三米左右,试挖段两侧最浅水深不足二米。“拦门沙”的横剖面(平行航道)表现为上凸的正地形,向陆一侧坡缓,向海一侧坡陡,且其上都有一相对稳定的陡坎。其纵剖面(垂直航道)表现为下凹的负地形(见图3)。

防城湾口“拦门沙”及其附近堆积体的泥沙来源,主要是注入防城湾河流的早期输入物质,而目前河流输沙对其影响较小。试挖段表

层底质的中值粒径为0.1—0.4毫米,北粗南细。当前,造成“拦门沙”航道淤积的泥沙,主要是附近堆积体的泥沙在水动力因子作用下再搬运所供给。湾外的底质,依次为粗粉砂和细粉砂、软泥等类沉积物,对本区影响甚微。

## 二、“拦门沙”航道

### 冲淤量的计算

通过现场调查,对“拦门沙”航道的冲淤状况,虽然可以作出定性的判断,但是,从工程实际需要考,还迫切要求对泥沙冲淤量,尤其是“拦门沙”航道开挖以后的冲淤量及其

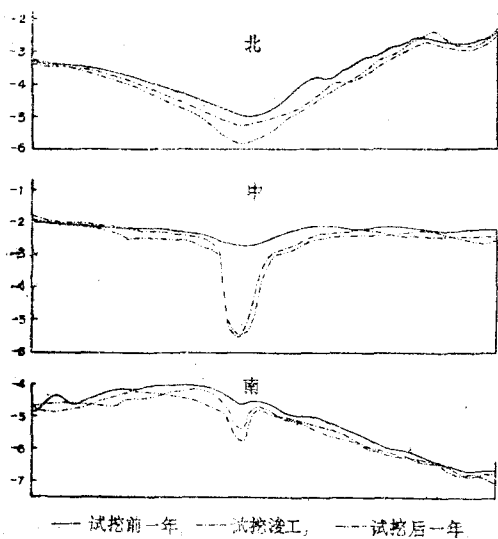


图3 “拦门沙”水下地形纵剖面图

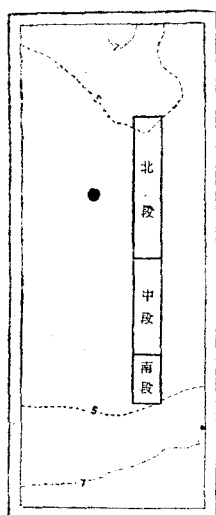


图4 “拦门沙”航道冲淤量计算范围图

南北长1,500米,东西宽150米。计算范围分成三段:北段(试挖前水深-5至-3米),中段(试挖前水深-3至-3米,即三段),南段(试挖前水深-3至-5米)。

### (一) 海浪纵向输沙

在波浪从深水向岸边传播过程中,随着水深与波浪特性的变化,波浪破碎后,其能量的沿岸分量与(纵向)输沙率之间,存在着某种线性关系,从而可以根据波能计算冲淤量,并

分析其随时间的变化。

根据“拦门沙”地区的水下地形和海浪对底沙的显著作用水深的计算,各级海浪对不同水深(-6至-3米)的作用强度是不同的,其中以3米等深线附近为最强。实际上一定尺度的波浪在这里也发生破碎,这样,我们把3米等深线近似地当作波浪破碎带处理。在计算输沙时,小于3级的波浪,因其轨迹速度一般不足以起动本区泥沙,对本区泥沙输送几乎不起作用,因此在计算输沙时不予考虑。而 $\geq 3$ 级的波浪,因作用强度不等,故在计算其波浪能量的纵向分量时,还分级进行作用延时(作用水深)的改正。此外,从本区海浪特性可知(图2a; b),偏北向海浪主要是离岸风浪,其波向又几乎与试挖段航道轴线一致,所以在计算纵向输沙时也不予考虑。

1. 波能输沙公式:波能输沙计算在国外应用较为普遍,输沙公式也日益增多,但所侧重考虑的因素和条件不同。在这里,我们采用下列两式进行计算,以求相互补充。

综合式 在一时段内的冲淤量(Q)与波能沿岸分量有如下关系:

$$Q_1 = K_1 \cdot E_1 \cdot K_R^2 \cdot \sin 2 \alpha_b \quad (1)$$

$$\text{式中, } E_1 = \frac{H_r^2 \cdot L_1 \cdot n_1 \cdot W_0}{8T} \cdot Pt$$

$H_r$  为均方根波高,米;  $L_1$  为6米等深线处波长,米;  $n_1$  为能量传递系数;  $W_0$  为海水容重=1.03吨/米<sup>3</sup>;  $T$  为波浪平均周期,秒;  $Pt$  为作用延时,秒;  $K_1$  为输沙系数,取作0.12;  $K_R$  为波浪折射系数;  $\alpha_b$  为波浪频于破碎时与岸线(这里为等深线)法线夹角。

该式考虑了波能的平均状态及其进入浅水时能量的传递和消耗(碎波要素),但未计入泥沙粒径的影响。该式接近于日本井岛、佐藤、田中式。

拉勒斯式<sup>[2]</sup> 略作修改,其输沙量为:

$$Q = K_2 \left( 3500 \frac{D}{D^4 + 2} \right)^{\frac{11-r}{10}} \cdot \frac{H_0^3}{T} \cdot K_R^2 \cdot Pt \cdot \sin 2 \alpha_b \quad (2)$$

式中,  $K_2$  为输沙系数 ( $K_2 = 0.175 \times 10^{-3}$ );

D为底质中值粒径(根据“拦门沙”底质特性,取作0.20毫米),毫米;  $r$  为深水波陡,以百分数计;其余符号同上。

该式原系法国夏都实验室所提出,计入了粒径的影响,但未考虑波高和波向在浅水中的变化,  $\sin 2\alpha_0$ , 原式为  $\sin \frac{7}{4}\alpha_0$ , 认为当  $\alpha_0 = 52^\circ$  时输沙最大,我们按通行写法予以修改。

2. 计算结果:“拦门沙”航道试挖前水较浅,航道边坡坡度小,泥沙在波浪作用下作垂直航道的纵向输沙过程中,可看成既可进入航道,又可被再搬运出去,因而采用各时段内的合成波向,并以断面间输沙的净值计算其冲淤量。用上述两式计算航道在试挖前一周年内的冲淤量为:夏半年淤积量分别为0.9—1.6万方,冬半年冲刷量分别为0.4—0.8万方,全年净淤积量不到一万方。但经计算,在三天大浪(实测平均最大1%波高为3.3米,10%平均波高为2.8米)作用下,可造成一万方的淤积,故局部骤淤的可能性是存在的。

“拦门沙”航道试挖至-5.0米后,形成了有一定深度和边坡的航槽。因而,两侧泥沙在波浪纵向作用下进入航槽后,可近似地看作不再从另一侧输出。在计算过程中不采用合成波向,而是按各实测向岸波向方位取其中值,分向进行计算,然后叠加作为总的冲淤量。试挖后一年内的冲淤量,按上述两式计算,夏半年淤积量分别为1.0—2.2万方,冬半年淤积量分别为0.4—0.1万方,全年合计淤积量分别为1.4—2.3万方。

冲淤量计算结果列入表2。总的说来,不论试挖前或试挖后的一周年内,波浪纵向输沙作用将导致“拦门沙”航道的淤积,其淤积量大部分集中于夏半年,试挖后航道淤积量增大。

## (二) 海潮流横向输沙

在“拦门沙”航道试挖段,涨落潮流和风吹流的主流线均几乎与航道轴线一致(见图

1)。波浪年合成方向即波生质量流年合成流向也接近于这一轴线,因此,结合试挖段航道的地形特点,基本上可将其视作“潮汐通道”的一个组成部分,来计算和分析海潮流沿航道的横向输沙所导致的冲淤平衡问题。这里,从泥沙连续方程出发,应用能流法和剪应力法进行航道冲淤平衡的计算。

设在时间  $t$  内,沿航道(X轴)A、B两断面间泥沙平衡条件为:

$$\int_A^B \int_0^t \frac{\partial N}{\partial X} = 0 \quad (3)$$

式中,  $N$  为给定断面的输沙率。

1. 能流法(能流-泥沙连续方程):能流指潮流、风吹流和波生质量流动能的叠加。在推移质输沙情况下,航道的泥沙连续方程为:

$$\frac{\partial Z}{\partial T} = -\epsilon \frac{\partial N}{\partial X} \quad (4)$$

式中,  $\epsilon$  为与泥沙性质有关的有维常数;  $Z$  为水深,米;其余符号同上。

试式右侧可近似地用下列有限差分式表示:

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial X} &\approx K \frac{\Delta E}{\Delta X} \\ &= K \frac{(E_o - E_f)_B - (E_o - E_f)_A}{X_B - X_A} \end{aligned} \quad (5)$$

式中,  $E_f$ 、 $E_o$  分别表示航道上某一测流站的涨落潮动能的总和,单位为尔格。在某一时段,当通过地形图对比,航道南北两截面间  $\partial N$  或冲淤量  $Q$  为已知时,可按上式求得系数  $K$ ,从而算出输沙率,泥沙平衡条件方程即可求解。

当两截面间的能量净值  $\Delta E$  为正值时,表示能流净输入(淤积),反之,能流净输出(冲刷)。

不论挖前、挖后,试挖段的净能流强度与泥沙冲淤量之间线性相关良好,其回归方程的截距相差较小,斜率较稳定:

$$\hat{Q}_{\text{挖前一年}} = -532 + 15.934 \times 10^{-8} \Delta E$$

$$\hat{Q}_{\text{挖后一年}} = -1851 + 12.752 \times 10^{-8} \Delta E$$

计算表明,在试挖前后各一周年内,冬半年输出能流(冬冲),夏半年输入能流(夏淤),全年微有输出(冲刷)。挖前为北段淤积南段冲刷,挖后则为北段冲刷南段淤积。

但该式没有考虑泥沙的起动流速和底沙粒径与输沙系数的关系。

2.剪应力-推移质输沙公式:据 Bagnold (1963)的推导<sup>[1]</sup>,推移质输沙率与通过界面运动的流体所作的功,有如下关系:

$$\frac{\rho_s - \rho}{\rho_s} \cdot g j = R \tau \bar{U}_{100}$$

式中,  $j$  为单宽流程的输沙率,克/厘米·秒;  
 $\rho_s$ 、 $\rho$  为底沙和海水的比重;  $g$  为重力加速度;  
 $\tau$  为界面剪应力,达因/厘米<sup>2</sup>;  $\bar{U}_{100}$  为界面(距底100厘米)流速,厘米/秒;  $R$  为无量纲系数。

Kachel 和 Sternberg (1971), Sternberg (1968, 1972) 根据野外实测和室内试验提出<sup>[3]</sup>,  $R$  值与泥沙中值粒径和界面剪应力超量  $(\tau - \tau_c)/\tau_c$  的关系曲线。其中  $\tau = 3 \times 10^{-3} \rho (\bar{U}_{100})^2$ , 起动剪应力  $\tau_c$ 。可根据已知航道各测站泥沙粒径,按 White (1970) 修正的薛尔茨曲线(1936)予以计算<sup>[4]</sup>。将结果带入前述泥沙连续方程,并同样用有限差分式表示:

$$\frac{\partial j}{\partial X} \approx \frac{\Delta j}{\Delta X} = R \frac{(\tau \bar{U}_{100})_B - (\tau \bar{U}_{100})_A}{X_B - X_A}$$

(6)

这样,应用一时段内沿航道各测站(断面)潮流、风吹流和波生质量流的数据,就可直接计算试挖前后一周年内全段或各段断面间输沙率、输沙量和冲淤量。

计算结果列入表 2。表明,“拦门沙”航道试挖前、后各一周年,冲淤趋势是:冬半年冲刷,夏半年淤积;北段冲刷,南段淤积;全年略有冲刷。挖前一周年内,夏半年淤积 4.3 万方,冬半年冲刷 7.8 万方,全年合计冲刷 3.5 万方。挖后一周年内,夏半年淤积 0.5 万方,冬半年冲刷 4.4 万方,全年合计冲刷 3.9 万方。

### (三) 水下地形图对比计算冲淤量

利用水下地形图进行对比计算泥沙冲淤量的方法有多种,其中常用的有求积法、断面水深法和平均水深法等,每种计算方法除用途不同外,计算精度也有差异。我们根据防城湾口“拦门沙”航道开挖的具体情况,提出了平均水体积增减的网格法<sup>1)</sup>,以计算“拦门沙”航道在试挖前、后一周年和夏、冬半年的冲淤量。

从两次测图水深的变化,反映出海底地形的变化即泥沙冲淤变化这一基本概念出发,提出下列计算公式:

$$Q = \sum_{i=1}^n h_i \Delta S \quad (7)$$

式中,  $Q$  为水体积,两次测图计算结果的增减(或正负),即为冲刷或淤积量,方;  $h_i$  为计算网格内的平均水深,米;  $\Delta S$  为计算网格的面积,平方米。

计算结果列入表 2。试挖前一周年内,整个试挖段冲刷,冲刷量为 2.2 万方,平均冲刷厚度 9.6 厘米。最大冲刷强度出现在中段(三米段),冲刷量近一万方,平均冲刷厚度 12.5 厘米。冲刷强度最小处在南段,冲刷量仅二百余方,平均冲刷厚度 0.7 厘米。此外,季节性变化明显,夏季全段淤积,平均淤厚 14.7 厘米,最大淤积强度发生在北段中部,淤积厚度 30 厘米,局部可达 80 厘米左右。冬季全段冲刷,冲刷量近 8.0 万方,平均冲刷厚度 35 厘米,南段最大。

试挖后一周年内,全段冲刷,冲刷量 2.5 万方,平均冲刷厚度 10.9 厘米。北段冲刷量 2.7 万方,平均冲刷厚度 24.4 厘米;中段冲刷量减弱,冲刷量 0.1 万方,冲刷厚度 1.7 厘米;南段发生淤积,淤积厚度 11.0 厘米。表明自北向南

1) 林国军, 1979. 沿岸泥沙运动冲淤量计算的一种方法。海洋科学(4)。

表 2 “拦门沙”航道试挖段试挖前后地形实测与流、浪输沙计算冲淤量

时 段	区 段		全 段				北 段				中 南 段			
	冲淤变化*		地 形 实 测	流 浪 输 沙 计 算			地 形 实 测	流 浪 输 沙 计 算			地 形 实 测	流 浪 输 沙 计 算		
	夏 半 年	冬 半 年		横 向	纵 向	合 计		横 向	纵 向	合 计		横 向	纵 向	合 计
			地 形 实 测				横 向				纵 向			
试 挖 前 一 周 年	夏 半 年	年	+56500	+42780	+13000	+55780	+33000	+17954	+6500	+24454	+23500	+24826	+6500	+31326
	冬 半 年	年	-78125	-78260	-6000	-84260	-45000	-45333	-3000	-48333	-33125	-32927	-3000	-35927
试 挖 后 一 周 年	夏 半 年	年	-21625	-35480	+7000	-28480	-12000	-27379	+3500	-23879	-9625	-8101	+3500	-4601
	冬 半 年	年	-9.6	-15.8	+3.1	-12.7	-10.7	-24.3	+3.1	-21.2	-8.6	-7.2	+3.1	-4.1
合 计	夏 半 年	年	+24625	+5335	+16000	+21335	+1625	-10007	+8000	-2007	+23000	+15342	+8000	+23342
	冬 半 年	年	-49250	-44177	+2000	-42176	-29125	-30882	+1000	-29882	-20125	-13294	+1000	-12294
合 计	夏 半 年	年	-24625	-38842	+18000	-20842	-27500	-40889	+9000	-31889	+2875	+2048	+9000	+11048
	冬 半 年	年	-10.9	-17.3	+8.0	-9.3	-24.4	-35.6	+8.0	-27.6	+2.6	+1.8	+8.0	+9.8

\* (-)冲刷, (+)淤积。

沿程冲刷强度减弱,直至淤积。季节性变化仍为夏季淤积,但淤积量比挖前减小;冬季冲刷。在地段上则表现为北段冲刷、南段淤积。

### 三、结 语

通过上述计算和分析,对于“拦门沙”航道,在试挖前、后各一周年的冲淤量及其冲淤变化有一初步认识,从而对该段航道进一步挖宽浚深后的冲淤状况,可以作出估计。

#### (一) “拦门沙”航道试挖前后各一周年内泥沙冲淤的基本模式

据地形实测和浪、流输沙量计算,“拦门沙”航道在试挖前、后一周年的冲淤量变化不大(表2)。其基本的冲淤模式是:夏半年淤积,冬半年冲刷;南段淤积,北段冲刷;全年合计略有冲刷或接近平衡。这不仅为实测地形图的对比计算所体现,且为海浪、海流的纵向输沙综合作用的半理论计算所证实。

**试挖前一周年内** 全年冲刷2.2万方(地形实测)-2.8万方(浪流输沙),平均冲刷厚度10—13厘米。其中夏半年淤积5.6万方,平均淤厚2.5厘米,北段局部地区最大淤厚80厘米左右。冬半年冲刷7.8万方(地形实测)-8.4万方(浪流输沙)。

**试挖后一周周年内** 全年冲刷2.5万方(地形实测)-2.1万方(浪流输沙),平均冲刷厚度12—9厘米。其中夏半年淤积约2.5(地形实测)-2.7万方(浪流输沙),南段东部的局部地区最大淤厚110—120厘米。冬半年冲刷4.9(地形实测)-4.2万方(浪流输沙)。

因此,挖前、挖后各一周年的年冲刷量大体相近,量值都不大。可以认为“拦门沙”航道的整个试挖段,目前基本上处于周年动力泥沙平衡状态。从表2可知,浪、流输沙计算和水下地形图对比计算,所得冲淤量值相差不大(一个数量级内),说明这种半理论计算方法是可行的。

## (二) “拦门沙”航道进一步挖深至-7米时冲淤状况的估计

据海浪多年资料分析,防城湾口地区波浪要素的年平均状况变化幅度小,且航道开挖范围有限,不致于改变波浪的特性,故航道进一步浚深后,海浪纵向输沙可以按历年平均值考虑,造成航道淤积量以2.0—3.0万方计,且主要集中于夏半年。同时,风吹流和海浪沿航道的分量也可以按历年平均值考虑。而涨落潮流沿航道轴线的流速连续分布趋势,假定基本保持不变,则可据流速的水平梯度推测进一步浚深后的潮流情况。此外,据航道钻孔样品所示,挖至-7.0米时,泥沙中值粒径普遍略为减小。

为此,经分析和计算,估计航道挖至-7.0米后,基本上将仍能保持上述的基本冲淤模

式。夏半年淤积4.0—5.0万方,冬半年也有相应的冲刷,全年近于冲淤平衡。如果考虑到多年一遇的南向强风大浪,可能造成夏半年的淤积量增加,全年合计可能出现淤积,其淤积量一般不超过10万方,平均淤厚40厘米左右。显然,这些推测是否正确,尚有待验证。

### 参 考 文 献

- [1] Brgnold, R. A., 1963. The sea Vol. 3: 507—528.
- [2] Larras, J., 1966, Ann. ponts et chaussees. 2: 136.
- [3] Sternberg, R. W., 1972. Shelf Sediment Transport. P. 61—82.
- [4] White, S. J., 1970. Nature 228(5267): 152—153.

(上接11页)

在胚胎发育过程中只对心脏发生作用,使心脏长大,而对别的器官发育看不出有何影响。但是,如果注射的是睾丸 mRNA 而不是心脏 mRNA,则可长出第二个完整的“胚体”。这就使他思考这样一个问题,即从生殖细胞提取的 mRNA 有可能改变生物的遗传性。

一九七三年,牛满江教授与我国著名生物学家童弟周教授合作,对金鱼进行了试验。现在证明,鲫鱼和鲤鱼卵巢的信息核糖核酸(mRNA)能够诱导金鱼的尾鳍由双尾变成单尾。并用同功酶——乳酸脱氢酶作

指标,对用鲤鱼或鲫鱼卵巢 mRNA 和肝脏 mRNA 注射过的金鱼肝脏提取物进行分析,证明它们之间有明显的因果关系,这就为在高等生物中实现遗传控制提供了可能性。

会上,大家对牛满江教授的报告进行了热烈的讨论。牛满江教授对与会者所提出的许多问题感到高兴,并作了解答。

牛满江教授及夫人张葆英还分别参加了小型专业对口的学术交流座谈会,学术空气十分活跃。

(赵士金)