

关于潮流的大面预报問題* **

尤芳湖 鄭义芳

(中国科学院海洋研究所)

一、資料整理方法

根据英国 Doodson (1936) 的研究,海面的潮汐振动在实用上可以近似地用 M_2 、 S_2 、 K_1 、 O_1 四个主要分潮波的和来表示,这四个分潮的振幅和相角是随具体的天文条件而改变的,时刻 t 的潮高可写成:

$$H_t = \sum B C H \cos [q t - (b + c + g)] \quad (1)$$

其中, B 、 C 和 b 、 c 是天文变量, H 和 g 是上述四个主要分潮的調和常数, q 为分潮的角速度。这个公式对于潮流同样是适用的,所不同的只是应当把潮流分解为北 (U)、东 (V) 两个分量,时刻 t 的潮流可以写成:

$$U_t = \sum_{M_2 S_2 K_1 O_1} B C U \cos [q t - (b + c + g)] \quad (2)$$

$$V_t = \sum_{M_2 S_2 K_1 O_1} B C V \cos [q t - (b + c + g)]$$

U 、 V 和 g 表示四个主要分潮流的調和常数。这个公式比达尔文的潮高公式簡化了很多,但要算得这些調和常数,还必须要有 15 昼夜以上的連續观测记录,这对于海流来说,显然有着很大的困难。英国海軍部出版的潮汐手册中^[1],曾假定这些常数之間有某些不变的关系存在,因而应用 1 至 2 个昼夜的潮流观测记录,就可以算出四个主要分潮調和常数的近似值,这就是目前在世界上应用得很广泛的潮流分析方法,即所謂“英国海軍部法”。但应当指出,用这种方法計算所得的結果,有时候誤差很大,只能对潮流現象作某些定性的說明,不能用作预报。最近,苏联海洋学家 А. И. Дуванин (1955) 在这方面进行了很多研究^[2],他摒弃了英国海軍部法中的假定,并从理論和实践上証明,只要有两次符合于一定天文条件的昼夜連續观测,便可近似地求得上述四个主要分潮的調和常数;同时,只要 3—4 次的昼夜連續观测就可用算术平均法求得准确的調和常数,而不必进行 15 天以上的昼夜連續观测,这就給潮流的大面预报提供了可能。

任何一次海流的昼夜連續观测记录,都可以用簡單的調和分析方法,把它分解为北、东两个分量的半日潮流(周期为 12 小时)、全日潮流(周期为 24 小时)及余流(或常流)三个部分;而半日及全日潮流的大小,实质上取决于天文潮(因天文条件的改变而改变)和地理条件的影响(即調和常数)。其中,在給定的时刻,天文潮为已知,我們的问题就是要

* 中国科学院海洋研究所調查研究报告第 98 号

** 苏联国立海洋研究所 А. И. Дуванин 博士对本項工作給予亲切指导,作者特此致以深切謝意。

在(2)式 U_i, V_i 及 B, C, b, c 为已知条件下, 分别求出半日潮流 (M_2, S_2) 和全日潮流 (K_1, O_1) 的調和常数 U, V 和 g .

先考虑半日潮流 (U_2)。

$$\begin{aligned} \text{令 (2) 式中的 } U_{M_2} = U_{S_2} = 1; \quad g_{M_2} = g_{S_2} = 0, \\ (BC)_{M_2} = D_m; \quad (b+c)_{M_2} = d_m, \\ (BC)_{S_2} = D_s; \quad (b+c)_{S_2} = d_s. \end{aligned}$$

那么, 我們便得到 U_2 的純天文潮公式:

$$U_A = D_m \cos(qMt - d_m) + D_s \cos(qst - d_s) \quad (3)$$

在这个公式中, 含有 M_2 及 S_2 两个分潮的天文潮, 設法消除其中之一便得到另一个分潮, 再代回原式, 即可求得这两个分潮。但是, 这就必須有两次昼夜連續观测记录。現先設法消去 S_2 分潮。为此, 使 (3) 式中 S_2 分潮的振幅为 1, 相角为 0; 又設:

$$\frac{D_m}{D_s} = X; \quad d_m - d_s = \alpha;$$

经过简单的演算, 第一、二次昼夜連續观测的天文潮, 可写成:

$$\begin{aligned} U_{A1} &= X_1 \cos(qMt - \alpha_1) + \cos qst \\ &= X_1 \cos \alpha_1 \cos qMt + X_1 \sin \alpha_1 \sin qMt + \cos qst \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} U_{A2} &= X_2 \cos(qMt - \alpha_2) + \cos qst \\ &= X_2 \cos \alpha_2 \cos qMt + X_2 \sin \alpha_2 \sin qMt + \cos qst \end{aligned} \quad (5)$$

将(4)-(5)式即得 M_2 的天文潮:

$$\begin{aligned} U_{A1} - U_{A2} &= (X_1 \cos \alpha_1 - X_2 \cos \alpha_2) \cos qMt + (X_1 \sin \alpha_1 - X_2 \sin \alpha_2) \sin qMt \\ &= Y \cos(qMt - \gamma) \end{aligned} \quad (6)$$

式中, Y 和 γ 为 M_2 天文潮的振幅和相角。

根据类似的方法, 我們可以将实测潮流 U_2 写成下式:

$$\begin{aligned} U_2 &= D_m U_{M_2} \cos[qMt - (d_m - g_{M_2})] + D_s U_{S_2} \cos[qst - (d_s + g_{S_2})] \\ &= F_2 \cos(q_2 t - f_2) \end{aligned} \quad (7)$$

其中, F_2 及 f_2 为实测潮流 U_2 的振幅和初相, 可应用合成半日潮的正弦曲綫图或简单的計算, 直接从观测的潮流曲綫中求出; q_2 为半日分潮的角速度 ($= 30^\circ$)。同时, 設: $F_2/D_s = X'$, $f_2 - d_s = \alpha'$; 可将第一、二次 U_2 的实测潮流写成:

$$\begin{aligned} U_{21} &= X_1 U_{M_2} \cos[qMt - (\alpha_1 + g_{M_2})] + U_{S_2} \cos(qst - g_{S_2}) \\ &= X'_1 \cos \alpha'_1 \cos q_2 t + X'_1 \sin \alpha'_1 \sin q_2 t; \\ U_{22} &= X_2 U_{M_2} \cos[qMt - (\alpha_2 + g_{M_2})] + U_{S_2} \cos(qst - g_{S_2}) \\ &= X'_2 \cos \alpha'_2 \cos q_2 t + X'_2 \sin \alpha'_2 \sin q_2 t \end{aligned}$$

上两式相減, 便得到不包括 S_2 的北分量实测潮流:

$$\begin{aligned} U_{21} - U_{22} &= X_1 U_{M_2} \cos[qMt - (\alpha_1 + g_{M_2})] - X_2 U_{M_2} \cos[qMt - (\alpha_2 + g_{M_2})] \\ &= (X'_1 \cos \alpha'_1 - X'_2 \cos \alpha'_2) \cos q_2 t + (X'_1 \sin \alpha'_1 - X'_2 \sin \alpha'_2) \sin q_2 t \\ &= Z \cos(q_2 t - z) \end{aligned} \quad (8)$$

Z 和 z 是这一实测潮流的振幅和初相, 它們只与 M_2 的調和常数和純天文潮有关, 因此,

立即求得：

$$U_{M_2} = \frac{Z}{Y}; \quad g_{M_2} = z - y. \quad (9)$$

用类似的方法，可以求得另一个主要半日潮流 S_2 的调和常数 U_{S_2} 、 g_{S_2} ，以及全日分潮流的 U_{K_1} 、 g_{K_1} ； U_{O_1} 、 g_{O_1} ；至于东分量各个调和常数的求法，也是完全一样的。

但，这里必须指出，在(6)式中：

$$\begin{aligned} Y &= \sqrt{(X_1 \cos x_1 - X_2 \cos x_2)^2 + (X_1 \sin x_1 - X_2 \sin x_2)^2} \\ &= \sqrt{X_1^2 - 2X_1 X_2 \cos(x_1 - x_2) + X_2^2}, \end{aligned}$$

或：

$$Y = \sqrt{X_1^2 + 2X_1 X_2 \cos[(d_m - d_s)_1 - (d_m - d_s)_2] + X_2^2}.$$

当 $(d_m - d_s)_1 - (d_m - d_s)_2 \cong 0$ 时， Y 值可能很小，而(9)式中所得到的 U_{M_2} 值可能很大，这是不切实际的。因此，只有在：

$$300 \geq (d_m - d_s)_1 - (d_m - d_s)_2 \geq 60^\circ \quad (10)$$

的条件下，才能求得适当的数值，这就是进行两次以上的海流昼夜连续观测时必须选择良好天文日期的原因。当然，全日分潮也必须满足类似于(10)的条件。

在资料分析工作中，根据上述原理，编成了三张主要运算表(看附表 1, 2, 3)。

表 1，流速分解表。从海流观测纪录图上，取下 24 个正平均太阳时的流速与流向，然后按三角正、余弦关系，将每小时的海流分解为北、东两个分量 U 、 V ，并用平均方法算出常流的北、东两分量 U_0 、 V_0 ，再将 U 、 V 分别减去 U_0 、 V_0 ，依照简单的调和分析法求得北、东两分量的合成半日潮流 U_2 、 V_2 (周期为 12 小时) 与合成全日潮流 U_1 及 V_1 (周期为 24 小时)，然后将所得结果分别绘成曲线，用计算方法或从曲线图上直接求出(7)式中所要求的振幅 F 及初相 f (看图 1)。

表 2，两组周日观测潮流调和常数推算表。这是按照(5)—(9)式设计，只要有两次的昼夜连续观测纪录，求得纯天文潮，并将表 1 所得结果代入表 2，按表中程序进行计算，即可算出 M_2 、 S_2 、 K_1 、 O_1 四个主要分潮流的调和常数。

但是，由于潮流本身的复杂性，以及风等外在条件的影响，这样求得的调和常数，固然可以近似地代表这两次的昼夜连续观测值，然而，是否能根据它来准确地预报这一观测站任何时刻的潮流，则必须加以验证，因此，就应当进行第三、四次的昼夜连续观测。这样，我们就可以将适合(10)式中良好天文条件的任何两次观测纪录进行搭配，按表 2 求得多组的调和常数。例如观测四次就可得到 6 组的调和常数。然后对这些调和常数进行验证和选择。严格地说来，这些调和常数应当是彼此接近的，因此可取多组常数的平均值，作为这个测站确定的调和常数，取平均值时各个常数 U 、 V 和 g 的差应分别在 30 厘米/秒和 60° 以内。用这种方法进行选择，虽然比较简便，但有时候各组调和常数彼此相差很大。因此，我们采用逐个挑选法，即将第一、二次观测结果所得到的一组调和常数应用表 3 推算第三次的潮流，并与第三次的实测纪录比较，依此轮流验算比较，就可求得比上法准确得多的调和常数，图 1 就是这两种方法所得结果的比较。它们的平均偏差分别为流向 $\pm 26^\circ$ 和 $\pm 20^\circ$ ，流速 ± 21 厘米/秒和 ± 14 厘米/秒。显然逐个挑选法有很大的优点。

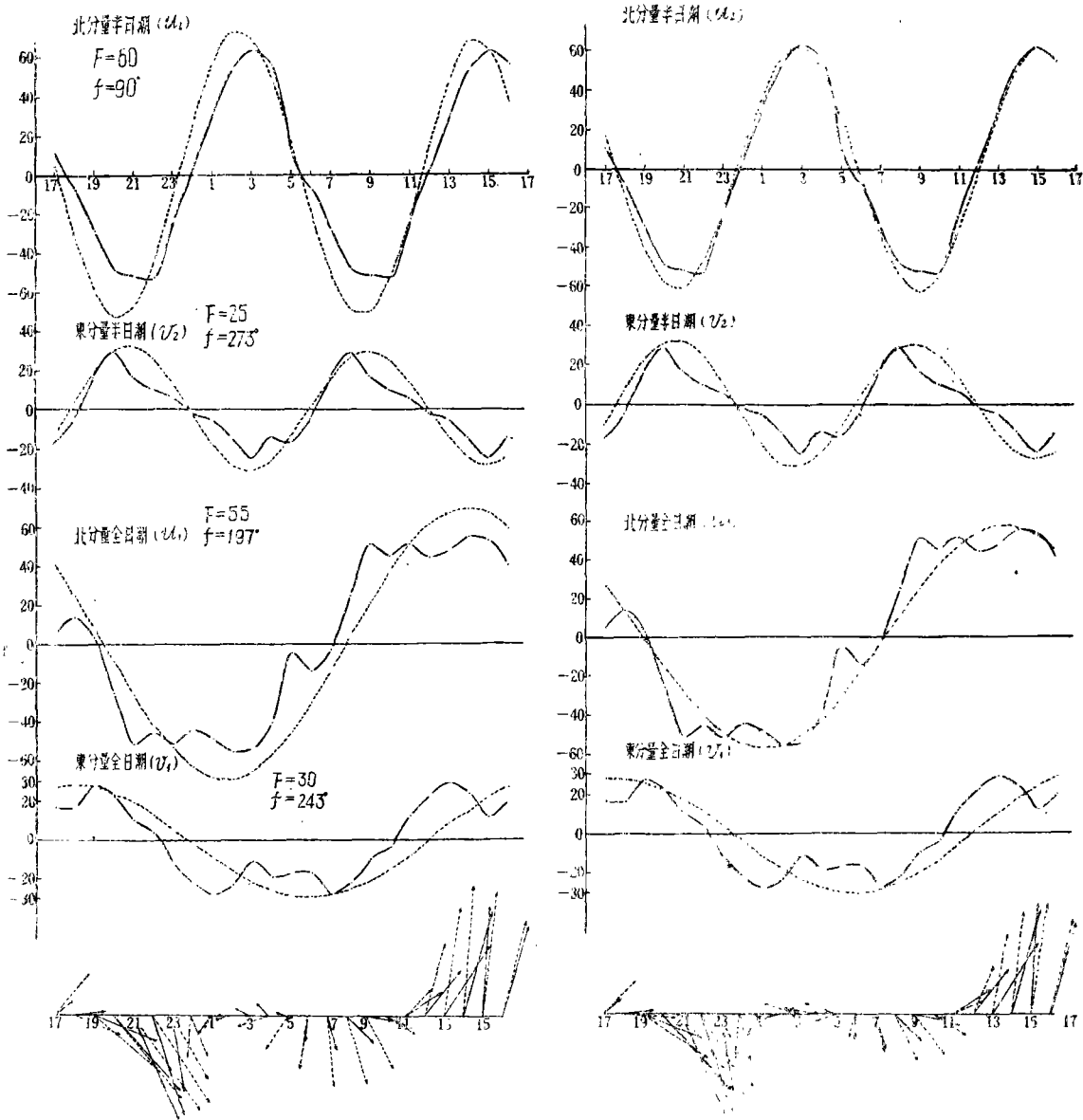


图1 調和常数选择方法比较图

左图: 实线——实际观察值 右图: 实线——实际观察值
 虚线——平均調和常数值 虚线——选择調和常数值

· Рис. 1. Сочетание методы выборов гармонических постоянных.

表3, 每小时流速推算表。这是根据(2)式編制的, 用来选择并验证調和常数的准确性。也可推算潮流表。我們利用它验证了渤海及北黄海西部几十个测站的調和常数, 統計結果表明, 预报的准确度为流向 $\pm 20^\circ$ 、流速 ± 15 厘米/秒(0.3节), 图2是实测与推算結果誤差頻率曲线。这是潮流预报质量的最重要标志。我們认为对任何海区的潮流进行調和分析时, 都应当考虑按照这个方法按测站进行驗算, 求其平均偏差, 如偏差过大不

表 2 兩次週日觀測潮流調和常數推算表

海 区 _____ 站 号 _____ 水 层 _____ 米

	第 I 次	第 II 次
观测开始日期		
观测开始时刻 (t_0)		
观测中间时刻 ($t_c = t_0 + 11$ 时 30 分)		
观测中间日期的太阳地平视差		
观测中间日期的第一个太阳中天时刻 (T)		
改正数 $\Delta t = t_0 \times 2$ 分		
改正后的太阳中天时刻 ($T' = T + \Delta t$)		

I、II 兩次的天文条件

$$(dm-ds) I - (dm-ds) II = \text{_____}^\circ$$

$$(do-dk) I - (do-dk) II = \text{_____}^\circ$$

	半 日 潮 流				全 日 潮 流			
	I		II		I		II	
根据观测开始日期查表得 (1) $b; B$								
根据太阳中天时刻查 c 及太阳地平视差查 C 得 (3) $= b + c = dm, k;$ (4) $= BC = Dm, k$	M_2				K_1			
同 (1) (5) $b; B$								
同 (2) (6) $c; C$	S_2				O_1			
(7) $= b + c = ds, o;$ (8) $= BC = Ds, o$								
(9) $= (3) - (7) = e;$ (10) $= (4) / (8) = X$	M_2				K_1			
(11) $= y; (12) = Y$								
(13) $= (7) - (3) = x;$ (14) $= (8) / (4) = X$	S_2				O_1			
(15) $= y; (16) = Y$								
	北 分 量		东 分 量		北 分 量		东 分 量	
(17) $= f; (18) = F$		I	II			I	II	
(19) $= (17) - (18) = x';$ (20) $= (18) / (8) = X'$	M_2				K_1			
(21) $= z; (22) = Z$								
(23) $= (21) - (11) = g;$ (24) $= (22) / (12) = u; v$	S_2				O_1			
(25) $= (17) - (3) = x';$ (26) $= (18) / (4) = X'$								
(27) $= z; (28) = Z$								
(29) $= (27) - (15) = g';$ (30) $= (28) / (16) = u; v$								
潮 流 調 和 常 数	北 分 量				东 分 量			
	M_2	S_2	K_1	O_1	M_2	S_2	K_1	O_1
g'								
$u; v$								

計算者 _____ 日期 _____
校对者 _____ 日期 _____

表3 每小时潮流推算表

海区_____		推算时间____年____月____日____时至____月____日____时										太阴中天时刻_____														
站号_____		(天文指标 N_____)										太阴地平视差_____														
水层_____																										
分量		北分量										东分量														
分潮		M ₂	S ₂	K ₁	O ₁	M ₂	S ₂	K ₁	O ₁	M ₂	S ₂	K ₁	O ₁													
调和常数 $g; H$																										
改正值 $b; B$																										
改正值 $c; C$			X	X	X					X	X	X														
g, b, c 的和 H, B, C 的积		m	M	s	S	k	K	o	O	m	M	s	S	k	K	o	O									
0时的位相(小时)		m ₀	X	s ₀	X	k ₀	X	o ₀	X	m ₀	X	s ₀	X	k ₀	X	o ₀	X									
北分量																										
时间 (t)																										
序数		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
M ₂	$m_0 + t(-24.8) = \arg M_2$																									
	$M \cdot \cos(\arg) M_2 = M_2$																									
S ₂	$s_0 + t(-24.0) = \arg s_2$																									
	$S \cdot \cos(\arg) S_2 = S_2$																									
$V_2 = M_2 + S_2$																										
K ₁	$k_0 + t(-23.9) = \arg K_1$																									
	$K \cdot \cos(\arg) K_1 = K_1$																									
O ₁	$o_0 + t(-25.8) = \arg o_1$																									
	$O \cdot \cos(\arg) o_1 = O_1$																									
$V_1 = K_1 + O_1$																										
每小时流速(厘米/秒)																										
东分量																										
M ₂	$m_0 + t(-24.8) = \arg M_2$																									
	$M \cdot \cos(\arg) M_2 = M_2$																									
S ₂	$s_0 + t(-24.0) = \arg s_2$																									
	$S \cdot \cos(\arg) s_2 = S_2$																									
	$V_2 = M_2 + S_2$																									
K ₁	$k_0 + t(-23.9) = \arg k_1$																									
	$K \cdot \cos(\arg) k_1 = K_1$																									
O ₁	$o_0 + t(-25.8) = \arg o_1$																									
	$O \cdot \cos(\arg) o_1 = O_1$																									
	$V_1 = K_1 + O_1$																									
每小时流速(厘米/秒)																										
合成流向	度																									
合成流速	厘米/秒																									
	节																									

计算者_____ 校对者_____

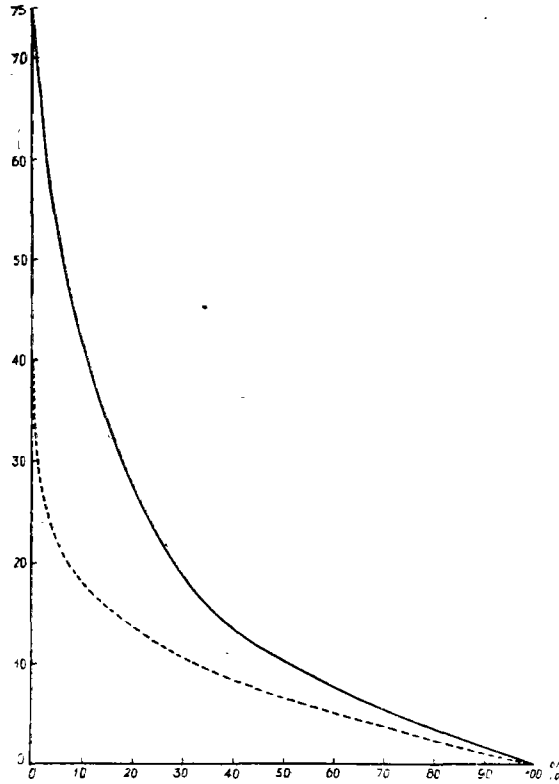


图2 实测与推算结果误差频率曲线

——流向° 流速 厘米/秒

Рис. 2. Кривые обеспечения ошибок предвычисленных данных от наблюдаемых.
 —— Направление. Скорость.

能满足要求时,应重新选择调和常数或增加昼夜连续观测的次数。

但是,这里必须指出,我们所选择的调和常数,都仅限于5米水层的,这是因为在大多数情况下,5米层的调和常数,很接近0—10米水层的平均值,可以代表整个表面水层的潮流状况,而这正是一般船舶所通过的水层为实用上所需要的。下表列出一个测站0、5、10米层的各个调和常数及其平均值,图3则是0、5、10米层 M_2 和 K_1 椭圆的比较,虚线椭圆是根据0—10米调和常数的平均值绘出的。同时,从表4中,我们看到它们的椭圆要素也很类似。

表 4

层 别 (米)	北 分 量								东 分 量							
	M_2		S_2		K_1		O_1		M_2		S_2		K_1		O_1	
	U	g°	U	g°	U	g°	U	g°	V	g°	V	g°	V	g°	V	g°
0	20	33	9	111	42	349	34	261	33	184	8	276	26	198	21	171
5	24	38	8	146	42	319	34	261	33	174	6	175	30	203	26	175
10	20	33	9	111	42	319	34	261	40	163	16	202	43	219	23	183
平均值	21	35	9	123	42	329	34	261	35	174	10	218	33	207	23	176

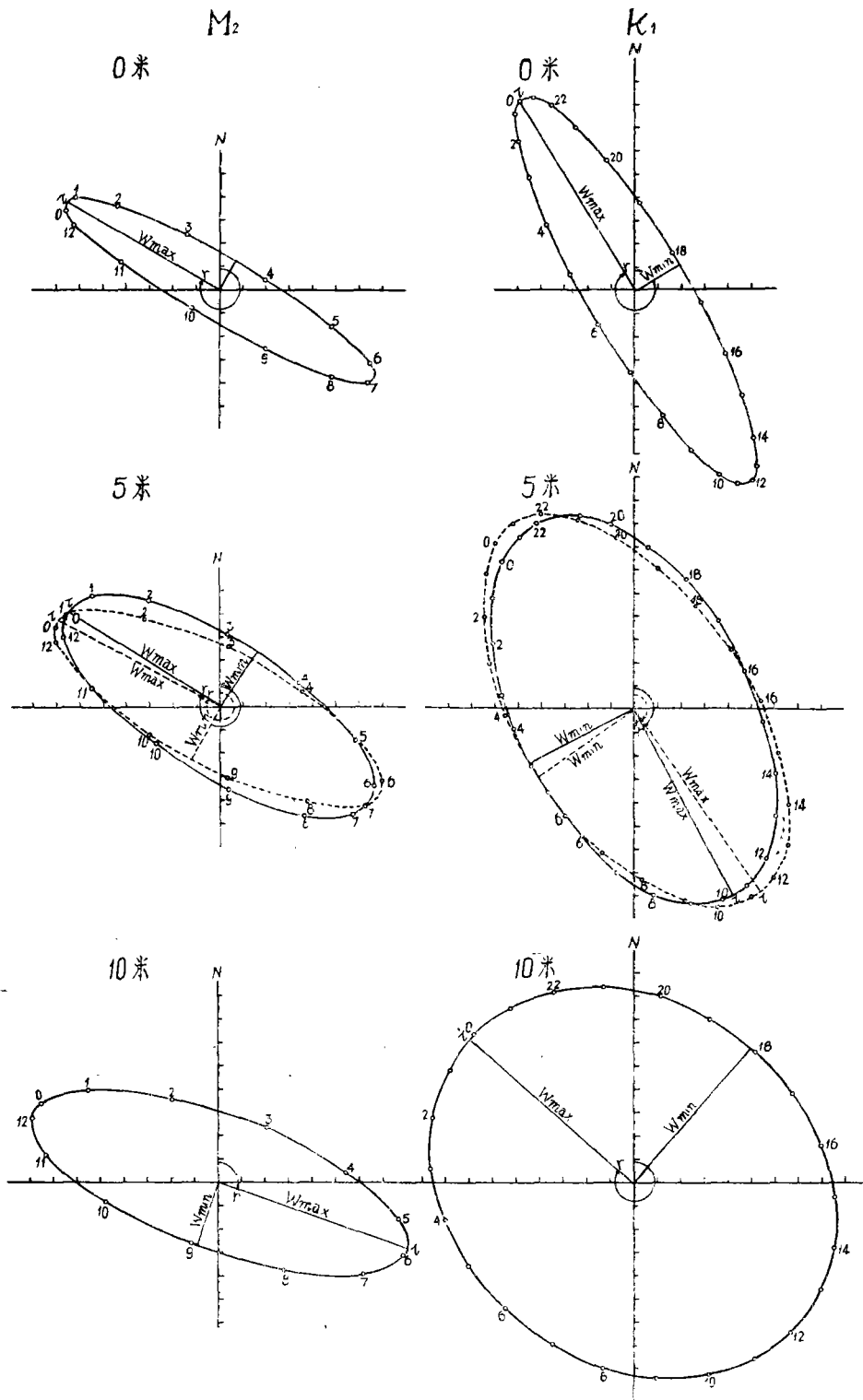


图3 M_2, K_1 表层潮流椭圆比较图

Рис. 3. Эллипсы приливо-отливных течений волны M_2 и K_1 для разных горизонтов поверхностного слоя.

表 5

分潮 层 别 (米) 椭圆要素	M_2				K_1			
	0	5	10	0—10	0	5	10	0—10
长轴 W_{max} (厘米/秒)	38	39	43	40	48	46	47	47
短轴 W_{min} (")	7	15	15	12	11	25	38	25
椭圆率 W_{min}/W_{max}	0.18	0.38	0.36	0.30	0.23	0.54	0.81	0.53
长轴方向 γ°	300	303	290	299	329	332	311	326
最大流速发生时间 τ (120° E)	0.5	0.3	12.1	0.3	0.0	22.4	0.2	23.2
旋转方向 “+”顺时针 “-”反“	+	+	+	+	-	-	-	-

二、潮流的性质及其分布系统

在求得了给定海区各个测站的调和常数之后,就应当根据这些常数,按照类似于表 3 的计算(但令各个分潮的改正值 $B \cdot C = 1, b + c = 0$),绘制各个分潮流的示性椭圆,求其椭圆要素,以研究整个海区的潮流性质及各个分潮的分布系统,这是进行潮流大面预报不可缺少的一个步骤。这里,我们引用渤海及北黄海西部的潮流作为例子。

I. 潮流的性质

潮流及潮汐性质有着多种不同的分类方法,但大都依据各站潮流四个主要分潮之间的关系及其周期作为分类的标准。考虑到在我们所研究的海区中,全日潮流两个主要分潮 K_1 和 O_1 的椭圆长轴大小一般相差不大,比值多在 0.5 至 1.5 之间;半日潮流中的 S_2 分潮则除个别情况外,均小于 M_2 分潮,比值多在 0.2 至 0.5 之间。因此我们采用了各测站 M_2, K_1, O_1 三个主要分潮流椭圆长轴及其比值: $\frac{W_{K_1} + W_{O_1}}{W_{M_2}}$, 作为分类的依据^[2]。

我们得到,在辽东湾南部一个狭长的海区中, $\frac{W_{K_1} + W_{O_1}}{W_{M_2}} < 0.5$, 潮流周期约 12 时 25 分,一天中有两次涨潮流和落潮流,观测得到近似的正弦曲线,日潮不等很小;振幅的半月不等,主要依靠月相,在朔望的时候有大潮,两弦时有小潮,是规则的半日潮流区(图 4)。

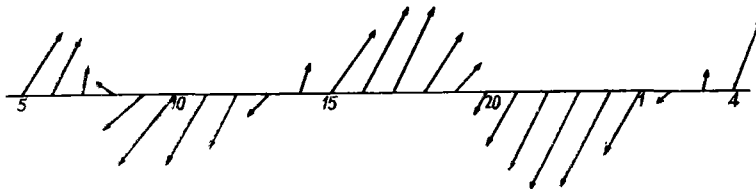


图 4 规则半日潮 $\frac{W_{K_1} + W_{O_1}}{W_{M_2}} < 0.50$

除此而外，整个海区的比值 $\frac{W_{K_1} + W_{O_1}}{W_{M_2}}$ 均大于 0.5 而小于 4.0，属于半日潮与全日潮的混合潮流区，但仔细分析起来，可以看出三种不同的流型区：

1. 在差不多整个渤海区，上述比值介于 0.5 和 1.5 之间，向东逐渐增大，这就是说，在我们所考察的海区，大部分属于不规则的半日潮流区，每天通常有两次涨落潮流；但有明显的日潮不等，当太阳赤纬大时，日潮不等大；月球通过赤道时日潮不等小，图 5 就是明显的例子。

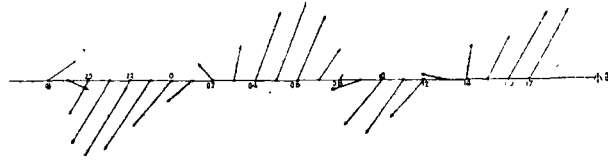


图 5 不规则半日潮 $1.75 > \frac{W_{K_1} + W_{O_1}}{W_{M_2}} > 0.50$

Рис. 5. Вектора неправильного полусуточного приливо-отливного течения.

2. 在渤海海峡附近，潮流呈现着复杂的过渡性质， $2.00 > \frac{W_{K_1} + W_{O_1}}{W_{M_2}} > 1.75$ ，潮流的性质接近于不规则的全日潮流，日潮不等现象经常很显著，当太阳赤纬大时，半日潮流与全日潮流的振幅合并，最大流速增加得很大；而第二个半日潮峰与全日潮谷互相抵消，憩流时间长而显著，在几天之内已接近全日潮流。下列两次的实测记录就是很好的说明（图 6）。

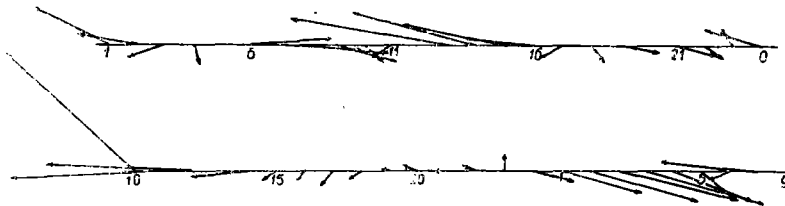


图 6 过渡性的不规则全日潮流 $2.00 > \frac{W_{K_1} + W_{O_1}}{W_{M_2}} > 1.75$

Рис. 6. Вектора переходного неправильного суточного приливного течения.

3. 在威海、烟台外海，直至约北纬 $38^{\circ}30'$ 的海区上，上述比值均大于 2.0，最大达到 3.75，是一个典型的不规则全日潮流区，这一海区的潮流受太阳赤纬变化的影响很大，当月球在赤道上时，观测到带有小振幅的半日潮流，随着月球赤纬的增加，半日潮流的性质就逐渐消失，一个月中，在相当多的日子里，都观测到了显明的全日潮流（图 7）。

如果将上面所提到的潮流性质的地理分布，与沿岸和岛屿的潮汐性质的分布（图 8）联系起来（根据苏联潮汐表资料计算得出）^[9]，我们就可以看到：

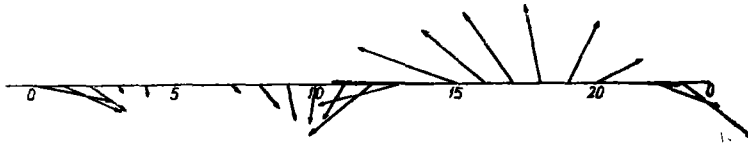


图 7 不规则全日潮流 $4.0 > \frac{WK_1 + WO_1}{WM_2} > 2.0$

Рис. 7. Вектора неправильного суточного течения.

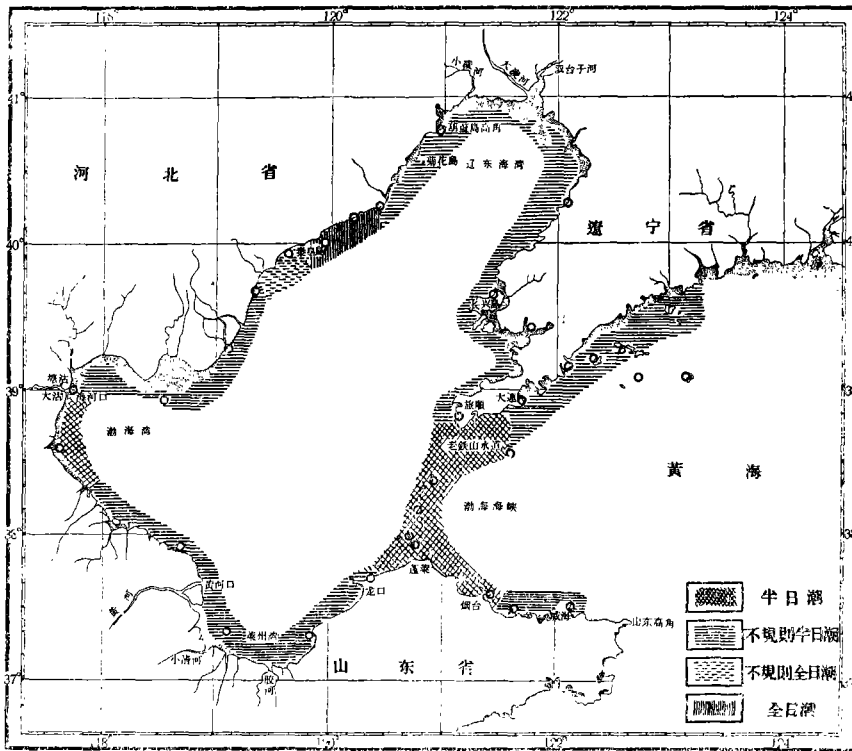


图 8 渤海及北黄海西部潮汐性质 $\left(\frac{HK_1 + HO_1}{HM_2}\right)$ 分布图

Рис. 8. Карта характера приливов в прибрежной зоне данного моря.

1. 渤海的绝大部分区域,潮流和潮汐的性质,多属不规则的半日潮;

2. 在渤海海峡,潮汐为半日潮,而潮流则以不规则全日潮为主;在北纬 40° 一带海区,秦皇岛,新立屯附近,潮汐以全日潮为主,而潮流却为半日潮。这是和渤海区的潮汐系统大体一致的。

据小仓伸吉 (1936)^[10]和 Л. И. Борис (1958)^[7]的研究,黄、渤海区的潮汐基本上为带有自由振动的非纯粹驻波。根据沿岸的潮汐资料^[9],应用等值线法,可画出同潮时线和同振幅图(图 9a, 9b),我们看到,在渤海内 M₂ 的潮波系统系由一横向驻波(渤海湾—莱州湾)和一纵向驻波(辽东湾)所构成, M₂ 分潮横向驻波的一个波腹处于渤海海峡稍外的海区,而且全日潮波(K₁)的波节却又处在海峡口上。因此在海峡附近,就半日分潮来说,

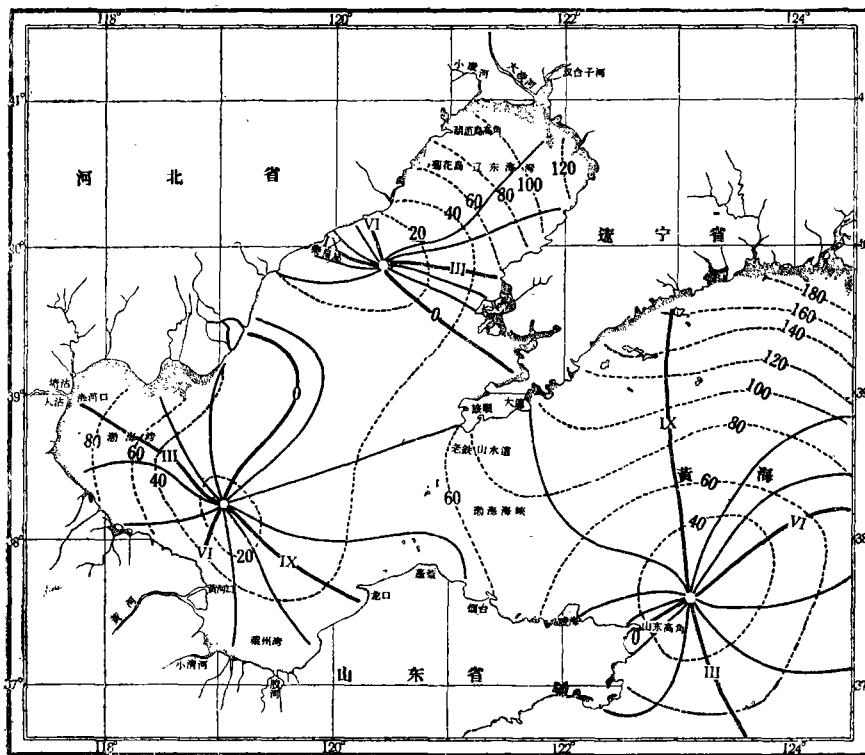


图 9a 渤海及北黄海西部 M_2 同潮时线及同振幅图 ($120^\circ E$)

Рис. 9a. Карта изоамплитуд и котидальных линий для волны M_2 .

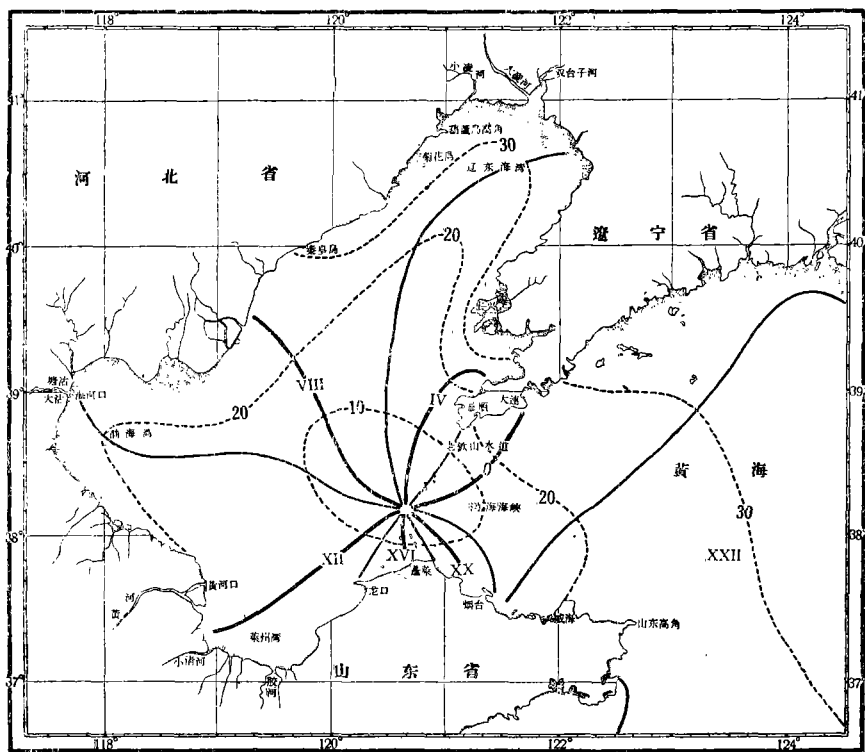


图 9b 渤海及北黄海西部 K_1 同潮时线及同振幅图 ($120^\circ E$)

Рис. 9b. Карта изоамплитуд и котидальных линий для волны K_1 .

潮流的流速小而潮汐的潮差大;对全日分潮来说,则流速大而潮差小,在性质上,表现为不规则的全日潮流和规则的半日潮汐。同时,由于辽东湾西南部,秦皇岛附近有一个 M_2 无潮点,在那里半日分潮的潮流流速很大,而潮汐的潮差小,所以在这一海区中潮流性质为规则半日潮,潮汐性质接近于全日潮。

II. 主要分潮的分布系统

上面已经提到,根据所求得四个主要分潮流的调和常数,可绘成各个分潮流的示性椭圆,同时,还可从椭圆中求出各分潮流的旋转方向,椭圆短长轴及其比值、最大流速发生时间等一系列的潮流特性,以阐明各分潮流的分布系统。现在,我们仅将最主要的半日潮流 M_2 的上述特性及其分布系统作个扼要的说明。

在所考虑的海区中,椭圆长轴的分布有着很明显的规律性:靠近岸边,长轴几乎与海岸线相切,在辽东湾、渤海湾、莱州湾潮流的长轴方向也大都与各该海区的轴线一致;在海峡附近,潮流的长轴则与海峡的纵轴垂直;甚至在威海、烟台外海的弱流区中,长轴方向的分布基本上也是这样的。

M_2 分潮的最大流速以海峡北部最强,这显然是由于海峡地形的影响,在辽东湾南部即上述规则半日潮流区中,也有强流,这正是和 M_2 潮波的节点位置接近的。烟台、威海外海是流速最弱区,那里正是 M_2 的渤海横向驻波和黄海北部纵向驻波的共同波腹区,也恰是不规则的全日潮流区。

M_2 分潮的椭圆旋转方向和短、长轴比值的分布也是有规律的。如图 10 所示,图中的

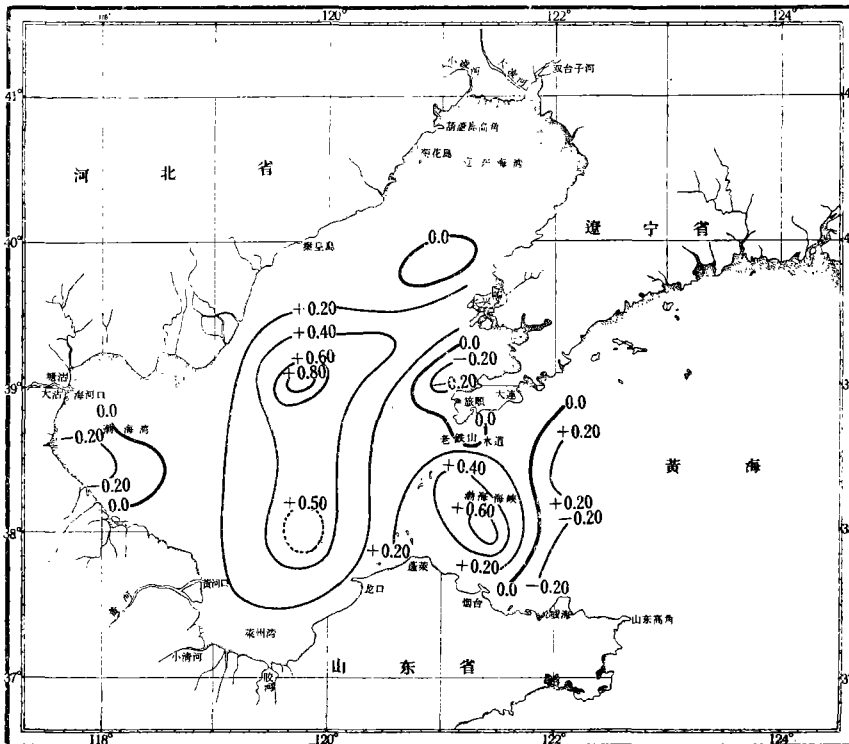


图 10 渤海及北黄海西部 5 米层 M_2 分潮椭圆率及旋转方向分布图

Рис. 10. Карта изолиний отношения осей эллипса и направления вращения приливного течения для волны M_2 .

绝对数字为椭圆短长轴的比值(短轴/长轴);数字前的符号表示椭圆的旋转方向,顺时针为“+”,逆时针为“-”。在近岸地方,比值小于0.1,呈现出往复流的性质;而在秦皇岛南部及烟台外海有两个奇点出现,那里的比值均大于0.6,长、短轴的长度已相当接近,属于迴转流区。我们还得出,在这些奇点区域,最大流速是相对地小了。同时,从 M_2 分潮的同潮流时綫图,即最大流速发生时间分布图(图11)看来,这两个奇点的位置,又与同潮流时綫的两个迴转中心是一致的。

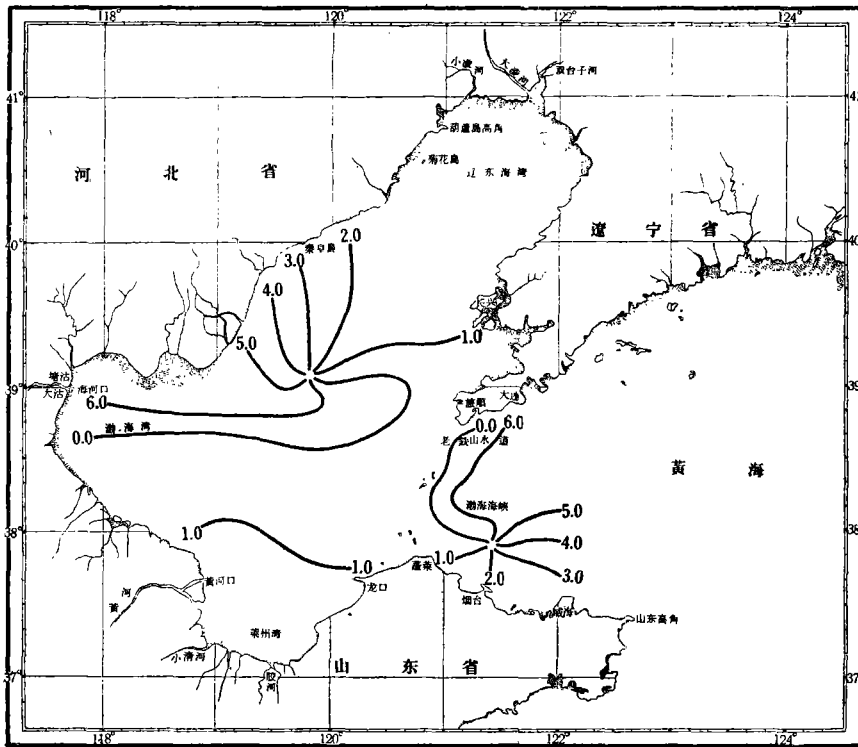


图11 渤海及北黄海西部5米层 M_2 分潮同潮流时綫分布图

Рис. 11. Карта изолиний времени (VIII пояса) наступления максимальной скорости приливного течения для волны M_2 .

同潮流时綫的分布是与整个潮波系统紧密地联系在一起的,根据图9,在渤海南部,我们看到,大沽的高潮时为太阴中天时刻后3.1小时(以 120°E 为准,下同),龙口为9.2小时,两站相差约6小时,正是半日潮的半周期;而在图11上,蓬莱、龙口至大沽联綫一个近似矩形的广阔海区上,最大流速发生在0—1小时,这正是大沽与龙口联綫上的平潮时刻,是上述横向驻波式振动的有力说明。辽东湾内,也有类似的情况, M_2 分潮在辽河口的高潮时刻为5.0小时,在广大的辽东湾内最大流速发生时间则为1.0—2.0小时,可以认为最大流速大致发生在辽东湾的平潮时刻。这又是在辽东湾内有纵向驻波式振动的证明。更有意义的是界于上述两个驻波系统之间,即它们的波节联接处,0.0—6.0时(或6.2—12.2时)的同潮流时綫围绕一个与图10的奇点对应的小区域为中心作逆时针向的迴旋;在海峽东侧,即在渤海、南部的横向驻波系统与黄海北部的纵向驻波系统之间,或者说,

表 6 1959-1960 年 日期天文指标 (N) 换算表

1 9 5 9 年																	
月	日	N	月	日	N	月	日	N	月	日	N	月	日	N	月	日	N
1	1	280.1	3	1	29.1	5	1	79.1	7	1	128.1	9	1	178.3	11	1	227.9
	2	281.5		2	30.0		2	79.8		2	128.9		2	179.1		2	228.8
	3	282.4		3	30.9		3	80.5		3	129.6		3	179.9		3	229.8
	4	283.2		4	31.8		4	81.2		4	130.4		4	180.7		4	230.7
	5	284.1		5	32.6		5	81.9		5	131.2		5	181.5		5	231.7
	6	285.1		6	33.5		6	82.6		6	132.0		6	182.4		6	232.6
	7	286.0		7	34.3		7	83.3		7	132.8		7	183.2		7	233.5
	8	287.0		8	35.0		8	84.1		8	133.5		8	184.1		8	234.3
	9	287.9		9	35.8		9	84.9		9	134.3		9	185.0		9	235.1
	10	288.7		10	36.5		10	85.6		10	135.1		10	185.9		10	235.9
	11	289.6		11	37.3		11	86.4		11	135.9		11	186.9		11	236.6
	12	290.4		12	37.9		12	87.2		12	136.7		12	187.8		12	237.3
	13	291.2		13	38.6		13	87.9		13	137.5		13	188.7		13	238.0
	14	291.9		14	39.3		14	88.7		14	138.3		14	189.5		14	238.7
	15	292.6		15	40.1		15	89.5		15	139.2		15	190.3		15	239.5
	16	293.3		16	40.8		16	90.3		16	140.1		16	191.1		16	240.3
	17	294.0		17	41.6		17	91.1		17	141.1		17	191.9		17	241.0
	18	294.7		18	42.4		18	91.9		18	142.1		18	192.6		18	241.7
	19	295.4		19	43.2		19	92.7		19	143.0		19	193.3		19	242.5
	20	296.2		20	44.0		20	93.7		20	143.9		20	194.1		20	243.3
	21	297.0		21	44.9		21	94.6		21	144.8		21	194.8		21	244.1
	22	297.8		22	45.9		22	95.6		22	145.7		22	195.5		22	244.8
	23	298.6		23	46.5		23	96.5		23	146.5		23	196.3		23	245.6
	24	299.5		24	47.6		24	97.4		24	147.3		24	197.0		24	246.3
	25	0.3		25	48.3		25	98.4		25	148.0		25	197.8		25	247.1
	26	1.1		26	49.1		26	99.4		26	148.7		26	198.6		26	247.9
	27	1.9		27	50.0		27	100.3		27	149.7		27	199.3		27	248.8
	28	2.7		28	51.0		28	101.1		28	150.1		28	200.1		28	249.7
	29	3.6		29	51.9		29	101.9		29	150.9		29	200.9		29	250.6
	30	4.4		30	52.9		30	102.6		30	151.6		30	201.8		30	251.6
	31	5.3		31	53.7		31	103.3		31	152.4						
2	1	6.2	4	1	54.7	6	1	104.0	8	1	153.1	10	1	202.6	12	1	252.5
	2	7.1		2	55.5		2	104.7		2	153.9		2	203.4		2	253.5
	3	8.0		3	56.3		3	105.4		3	154.7		3	204.3		3	254.5
	4	8.9		4	57.0		4	106.1		4	155.5		4	205.1		4	255.4
	5	9.8		5	57.8		5	106.9		5	156.3		5	206.0		5	256.3
	6	10.7		6	58.5		6	107.6		6	157.1		6	207.0		6	257.1
	7	11.5		7	59.2		7	108.4		7	157.9		7	207.9		7	257.9
	8	12.3		8	59.9		8	109.2		8	158.7		8	208.9		8	258.6
	9	13.1		9	60.6		9	110.0		9	159.5		9	209.8		9	259.3
	10	13.8		10	61.4		10	110.7		10	160.3		10	210.7		10	260.1
	11	14.6		11	62.1		11	111.5		11	161.2		11	211.2		11	260.8
	12	15.3		12	62.8		12	112.3		12	162.1		12	212.3		12	261.5
	13	15.9		13	63.6		13	113.1		13	163.0		13	213.1		13	262.2
	14	16.7		14	64.3		14	113.9		14	164.0		14	213.8		14	263.0
	15	17.4		15	65.2		15	114.7		15	164.9		15	214.6		15	263.8
	16	18.1		16	65.9		16	115.5		16	165.8		16	215.3		16	264.5
	17	18.9		17	66.7		17	116.4		17	166.7		17	216.1		17	265.3
	18	19.7		18	67.5		18	117.3		18	167.6		18	216.8		18	266.1
	19	20.5		19	68.3		19	118.3		19	168.4		19	217.5		19	266.8
	20	21.3		20	69.2		20	119.3		20	169.2		20	218.3		20	267.6
	21	22.1		21	70.0		21	120.2		21	169.9		21	219.0		21	268.3
	22	23.0		22	70.9		22	121.2		22	170.7		22	219.7		22	269.1
	23	23.9		23	71.9		23	122.1		23	171.4		23	220.5		23	270.0
	24	24.7		24	72.7		24	123.0		24	172.1		24	221.3		24	270.7
	25	25.5		25	73.7		25	123.8		25	172.8		25	222.1		25	271.1
	26	26.4		26	74.7		26	124.5		26	173.5		26	222.9		26	272.4
	27	27.3		27	75.7		27	125.3		27	174.3		27	223.6		27	273.3
	28	28.1		28	76.6		28	126.0		28	175.1		28	224.4		28	274.3
				29	77.5		29	126.7		29	175.9		29	225.2		29	275.3
				30	78.3		30	127.4		30	176.7		30	226.1		30	276.2
							31	127.5		31	177.5		31	227.0		31	277.2

接 上 頁

1960 年

月	日	N	月	日	N	月	日	N	月	日	N	月	日	N	月	日	N
1	1	278.1	3	1	26.7	5	1	75.9	7	1	125.1	9	1	175.6	11	1	225.5
	2	279.0		2	27.5		2	76.7		2	125.9		2	176.9		2	226.7
	3	279.9		3	28.2		3	77.4		3	126.7		3	177.8		3	227.4
	4	280.6		4	29.0		4	78.2		4	127.5		4	178.7		4	228.2
	5	281.4		5	29.7		5	78.9		5	128.4		5	179.6		5	229.0
	6	282.1		6	30.5		6	79.7		6	129.3		6	180.4		6	229.8
	7	282.8		7	31.2		7	80.4		7	130.3		7	181.3		7	230.5
	8	283.5		8	32.0		8	81.2		8	131.3		8	182.0		8	231.3
	9	284.3		9	32.8		9	82.0		9	132.3		9	182.8		9	232.1
	10	285.0		10	33.5		10	82.9		10	133.2		10	183.6		10	232.8
	11	285.8		11	34.3		11	83.9		11	134.2		11	184.3		11	233.6
	12	286.5		12	35.0		12	84.7		12	135.1		12	185.1		12	234.3
	13	287.3		13	35.9		13	85.7		13	135.9		13	185.6		13	235.0
	14	288.1		14	36.7		14	86.7		14	136.7		14	186.7		14	235.8
	15	288.9		15	37.5		15	87.7		15	137.4		15	187.4		15	236.5
	16	289.6		16	38.3		16	88.6		16	138.2		16	188.2		16	237.3
	17	290.4		17	39.2		17	89.5		17	138.9		17	188.9		17	238.1
	18	291.1		18	40.0		18	90.3		18	139.7		18	189.7		18	238.9
	19	291.9		19	41.0		19	91.1		19	140.4		19	190.4		19	239.9
	20	292.7		20	41.9		20	91.9		20	141.1		20	191.1		20	240.8
	21	293.5		21	42.8		21	92.8		21	141.9		21	191.9		21	241.7
	22	294.3		22	43.7		22	93.3		22	142.7		22	192.7		22	242.7
	23	295.1		23	44.6		23	94.0		23	143.4		23	193.5		23	243.7
	24	296.1		24	45.5		24	94.9		24	144.2		24	194.3		24	244.6
	25	297.0		25	46.3		25	95.6		25	145.0		25	195.2		25	245.5
	26	298.0		26	47.0		26	96.4		26	145.7		26	196.0		26	246.3
	27	299.0		27	47.9		27	97.1		27	146.4		27	196.9		27	247.1
	28	299.9		28	48.6		28	97.9		28	147.2		28	197.9		28	247.9
	29	0.8		29	49.3		29	98.7		29	147.9		29	198.8		29	248.7
	30	1.7		30	50.1		30	99.4		30	148.7		30	199.7		30	249.4
	31	2.5		31	50.9		31	100.2		31	149.4						
2	1	3.3	4	1	51.7	6	1	100.9	8	1	150.3	10	1	200.6	12	1	250.2
	2	4.0		2	52.4		2	101.6		2	151.1		2	201.1		2	250.9
	3	4.8		3	53.2		3	102.3		3	152.1		3	202.3		3	251.7
	4	5.5		4	53.9		4	103.1		4	153.1		4	203.1		4	252.5
	5	6.2		5	54.7		5	103.9		5	154.1		5	203.9		5	253.3
	6	7.0		6	55.5		6	104.7		6	155.0		6	204.7		6	254.0
	7	7.7		7	56.2		7	105.6		7	156.0		7	205.5		7	254.8
	8	8.5		8	57.0		8	106.6		8	156.9		8	206.3		8	255.5
	9	9.3		9	57.7		9	107.7		9	157.7		9	207.0		9	256.3
	10	10.0		10	58.6		10	108.8		10	158.6		10	207.8		10	257.0
	11	10.8		11	59.2		11	109.5		11	159.3		11	208.6		11	257.7
	12	11.6		12	60.2		12	110.1		12	160.1		12	209.4		12	258.4
	13	12.4		13	61.0		13	111.4		13	160.9		13	210.1		13	259.2
	14	13.2		14	62.0		14	112.3		14	161.7		14	210.9		14	259.9
	15	13.9		15	62.9		15	113.1		15	162.4		15	211.6		15	260.8
	16	14.7		16	63.9		16	113.9		16	163.1		16	212.3		16	261.7
	17	15.5		17	64.8		17	114.7		17	163.9		17	213.0		17	262.6
	18	16.3		18	65.7		18	115.3		18	164.7		18	213.9		18	263.6
	19	17.2		19	66.7		19	116.1		19	165.4		19	214.6		19	264.5
	20	18.0		20	67.5		20	116.9		20	166.2		20	215.4		20	265.5
	21	19.0		21	68.3		21	117.6		21	166.9		21	216.1		21	266.5
	22	19.9		22	69.0		22	118.2		22	167.7		22	217.1		22	267.4
	23	20.9		23	69.9		23	119.1		23	168.5		23	218.0		23	268.3
	24	21.8		24	70.6		24	119.9		24	169.2		24	218.9		24	269.1
	25	22.7		25	71.3		25	120.7		25	169.9		25	219.9		25	269.9
	26	23.5		26	72.1		26	121.4		26	170.7		26	220.8		26	270.7
	27	24.4		27	72.9		27	122.2		27	171.5		27	221.7		27	271.5
	28	25.2		28	73.6		28	122.9		28	172.3		28	222.6		28	272.2
	29	26.0		29	74.3		29	123.7		29	173.1		29	223.4		29	273.0
				30	75.1		30	124.3		30	174.0		30	224.3		30	273.7
										31	175.0		31	225.0		31	274.5

它們的波腹联接处,同潮流时綫同样围绕一旋轉中心,作逆时針向的旋轉。这显然是由于这些潮波互相干涉的結果。这样,就推翻了小仓伸吉认为黄海北部的最大流速时间自东向西稍落后,然后在辽东海湾向北稍落后相差仅 2—3 小时的簡單推論。并看出了潮波系統与潮流系統之間的密切关系和清晰的图案。

其余各个分潮流示性椭圆要素的分布,也有类似的規律性,这里不拟一一列举,但我們看到,根据大量实际观测資料所分析得出的調和常数,和由此作出的一些椭圆特性的分布,与实际和理論相符合,一般并没有出現异常的现象,从而又証明了所求得的調和常数的准确性,完全可以根据它来作出大面潮流預报。但是,在研究各个分潮流的大面分布系統的过程中,往往会出现一些奇点,对它必須进行仔細的分析,是否在調和分析中有計算上的錯誤,有时候甚至应当考虑再对这一測站进行一次昼夜連續观测,作为验证,以保证預报的准确度。

三、潮流預报方法

在原則上,根据上面所求得的四个主要分潮流的調和常数,按照式(2)就可以推算出各該測站任何一天任何一个小时的潮流,但由于式中 B 、 C 、 b 、 c 等天文变量的复杂性,这样計算出的潮流表(或图)虽較准确但必定非常庞大和复杂,应用不便。为了要編制出准确而又实用方便的潮流图表,近年来,許多苏联海洋学家进行了很多研究工作,并拟訂了一些方案,主要的是 $I. M. \text{Соскин}^{[4]}$, $A. И. \text{Дуванин}$ 和 $O. P. \text{Лундберг}$ 的方案(1955)^[3],及以后 $B. A. \text{Ширей}$, 和 $B. A. \text{Буркоб}$ 的改进方案(1957)^[5]等,这些方案的基本点,是利用太阳、月球和地球相关位置的变化,及其影响到潮汐上的相角、赤緯、視差三个不等及其周期性,大大地把潮流現象簡化,編制了潮流图,这种图集在实用上虽然有些方便,但如果站位多,图集篇幅仍然很大,而且由于簡化的結果,准确性也大大地降低了,对于具有相当复杂潮流系統的渤海区,显然是不能采用的。因此,我們利用了 $A. И. \text{Дуванин}$ 永久潮汐表的原理,并吸取了上述潮流图的优点,編制了永久潮流表,希望能够合乎准确而使用方便的要求。

1. 永久潮流表的編制原理

据牛頓靜力学說的(純天文潮)潮高公式,我們有:

$$\begin{aligned}
 H_c = & \frac{1}{6r^3} B(1 - 3\sin^2\delta)(1 - 3\sin^2\varphi) + \frac{1}{2r^3} B \sin 2\delta \sin 2\varphi \cos A \\
 & + \frac{1}{2r^3} B \cos^2\varphi \cos^2\delta \cos 2A + \frac{1}{6R^3} B'(1 - 3\sin^2\delta)(1 - 3\sin^2\varphi) \\
 & + \frac{1}{2R^3} B' \sin 2\delta' \sin 2\varphi \cos A' + \frac{1}{2R^3} B' \cos^2\varphi \cos^2\delta' \cos 2A' \quad (11)
 \end{aligned}$$

这个公式对于潮流的北、东分量也是适用的,式中 $B = \frac{3M\rho^4}{2E}$; $B' = \frac{3M'\rho^4}{2E}$ 又:

M, M', E ——太阴、太阳、地球的质量;

r, R ——太阴到地球和太阳到地球的距离;

ρ ——地球的半径;

φ ——观测地点的纬度；

δ, δ' ——太阴和太阳的赤纬；

A, A' ——太阴和太阳的时角。

从上式可以看出，在给定地点由于下列 6 个变量的影响，纯天文潮发生了各种不等：

1. r 和 R 的周期性变化产生了视差不等，这是与 (1)、(2) 式中的改正值 C 相对应的；

2. δ, δ' ——由于黄道、白道与赤道之间存在着交角而产生的赤纬不等，周期为半年（太阳）和 13.6 日（月球）；同时由于上述交点的移动，还有多年（18.6 年）及半年的周期；这相应于 (2) 式中的改正值 B, b ；

3. A, A' ——由于太阴和太阳相对于地球位置的变化，而产生周期性的变化——相角不等，有 14.7 日的周期，相当于 (2) 式中的改正值 c 。

上述这些天文特征发生了周期性的变化，潮汐现象也跟着发生周期变化。利用这些关系，推算潮汐已经有 100 年的历史了，但直到 1955 年 A. И. Дуванин 才指出了一条规律^[3]，即上述这 6 个天文变量可以近似地以一个综合天文指标 N 和视差不等的改正值 C 来代替。根据 (11) 式，最主要的变化决定于太阴和太阳的时角 (A, A')，如果我们把每日正中所有的天文变量值当作潮汐昼夜曲线的指标的的话，则在这时候，太阳时角 A' 实际上等于零，而太阴时角 A_{12} 及其变化又与 δ 和 δ' 的年变化曲线相对应，这样，就可以用 A_{12} 的变化来代替 δ 和 δ' 的变化，但实用上最方便的不是太阴在 12 时的时角而是太阴中天时刻，而时角 A_{12} 与太阴中天时刻的关系可准确地以下式表示：

$$A_{12} = 354^\circ - 14.5 t_H \quad (12)$$

t_H 是太阴的下中天时刻（当 $t_H > 12^h 25^m$ 时，则取上中天时刻）如果将 (12) 式中的常数值略去不计，则可以应用 $2A_{12}$ 或 $29 t_H$ 作为天文指标来表示该天日中的潮汐性质。这样，当两天的天文指标数值相同时，潮汐大小也就相等，让 $N = 29 t_H + n 360^\circ, n = 0, \dots, 24$ ，即在一年中 N 从 0 增加到 9000，它的起算时刻在每年 1 月的不同日期，并有约 19 年的周期，因此，不同的 N 相对应于不同的天文变量表示了不同日期的潮汐状况。

根据上述原理我们计算了 1942—1960 年周期为 19 年的 N 值，并利用英国潮汐表中四个主要分潮的 B, b 改正值^[8, 11]，编制了日期及天文指标 N 和 B, b 的换算改正表。在这里，我们只列出了 1959—1960 年的日期和天文指标换算表（附表 6），为了查阅简便，在表中取 $N = (29 t_H + 360^\circ) / 30^\circ$ ， N 的周期改变为 0—300。同时，我们考虑到四个主要分潮 B, b 改正值的多年变化一般不大（附表 7），实用上可以不考虑，因此在计算 N 从 0 至 300 的 B, b 改正值时，即可取 1942—1960 年中的平均值。这样，任何一年中，只要 N 值相等， B, b 改正值也就相等。由此推算出的潮流表，只要更换每年的日期和 N 的换算表，就可以继续使用。

表 7 B, b 改正值变化表

改正值	年变化(度)	多年变化(度)	改正系数	年变化	多年变化
B_{M_2}	0	4	B_{M_2}	0	0.08
B_{S_2}	30	14	B_{S_2}	0.75	0.16
B_{K_1}	360	13	B_{K_1}	0.64	0.22
B_{O_1}	360	20	B_{O_1}	0	0.36

此外,从表Ⅶ看出, b_{M_2} 和 B_{M_2} 、 B_{O_1} 在一年中保持不变,而且这些改正值分别接近于 0° 和 1.0,在计算时也可以不列入。至于代表太阳视差不等的改正系数 C ,其变化范围 M_2 和 O_1 的为 0.76—1.23, K_1 的为 0.84—1.19。我们计算和比较了在不同 N 值、潮流性质、最大流速下, $C = 1$ 和 $C \approx 1$ 所得的结果,从图 12 所举的例子中看出,误差多小于 ± 0.1 节,因此,在推算时改正系数 $C = 1$ 是可以的。

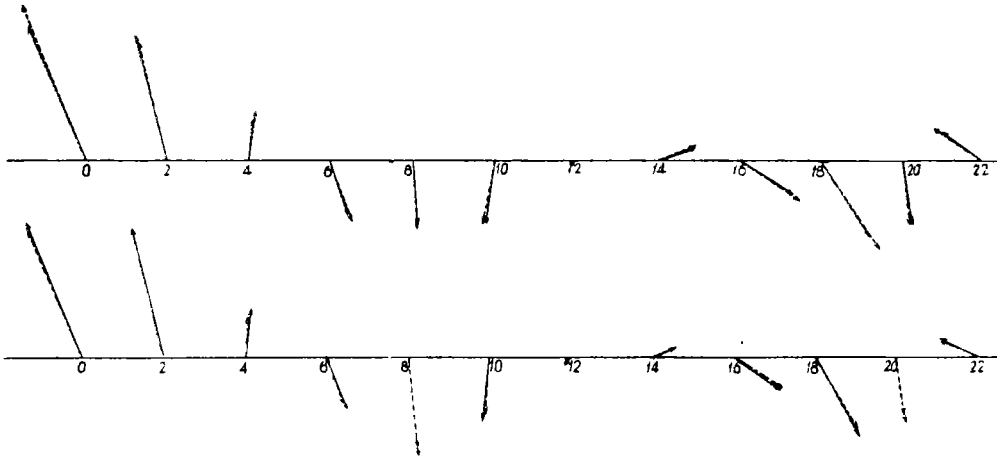


图 12 视差不等改正系数比较图

→ $C = 1$

--- $C \approx 1$

Рис. 12. Вектора приливного течения предвычисления гармоническими постоянными при значениях коэффициента $C=1$ и $C \approx 1$.

至于改正值 C 则和太阳中天时刻的变化完全一致,因此,当天文指标 $N = 0, 1, 2, \dots, 11$ 时, $C = 0, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, \dots, 330^\circ$, 以下类推。

上面我们已经谈到了日期和 N 的关系,以及与 N 相对应的各个改正值,那末,就可以根据 (2) 式来推算 N (由 0 至 300) 每小时的流速和流向了。

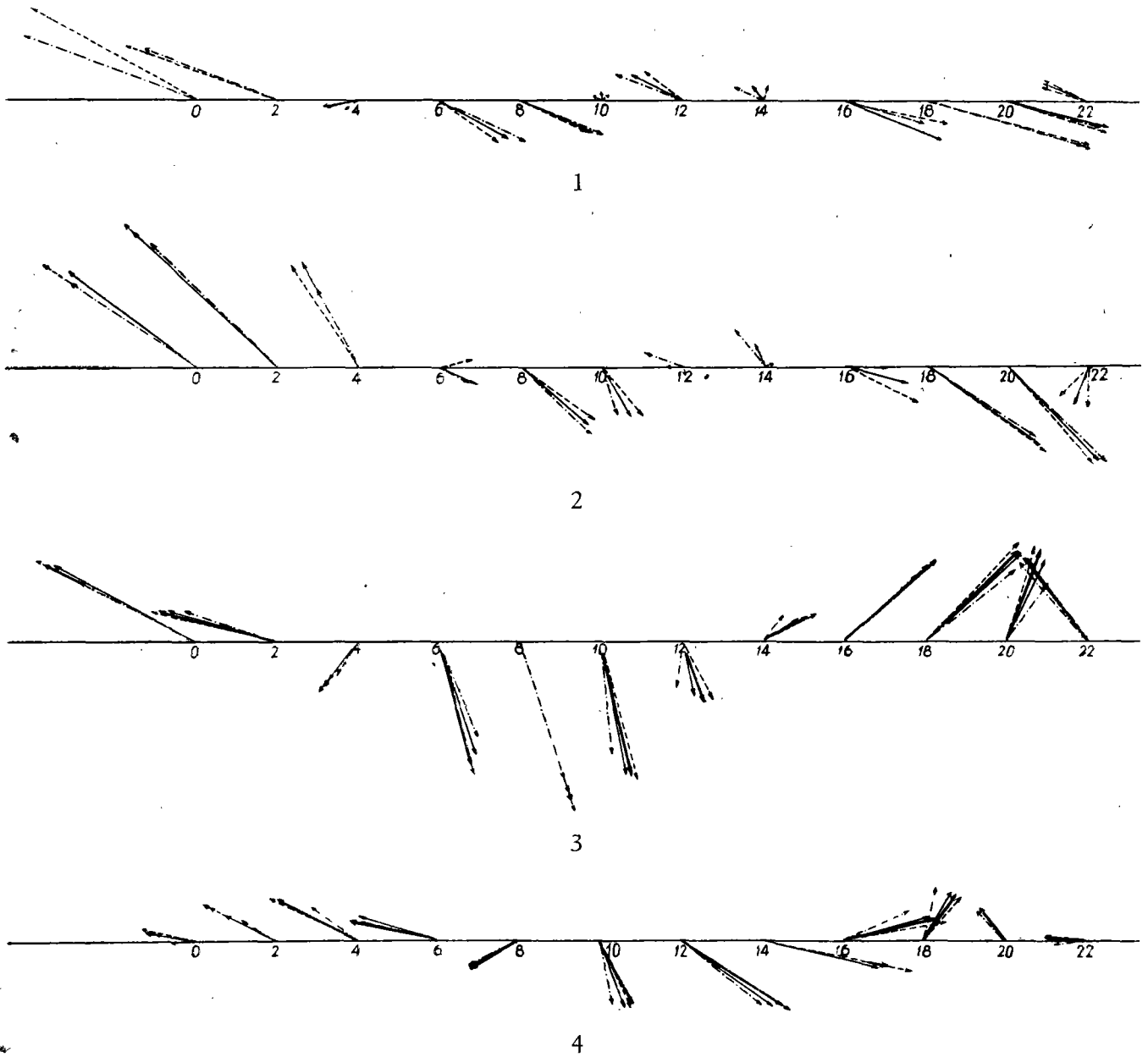
但是,进一步的研究表明,当 $N = 0, 12, 24$; 或 $1, 13, 25; \dots$ 时,改正值一般变化不很大,计算所得到的流速矢相当近似,其准确性是和潮流性质 (即比值 $\frac{W_{K_1} + W_{O_1}}{W_{M_2}}$) 及最大

流速有关的,图 13 画出最大流速 < 2.5 节, $\frac{W_{K_1} + W_{O_1}}{W_{M_2}} = 0.98, 1.59, 2.02, 2.63$ 时,每

小时的潮流矢量图,从图上可以看出,当上述比值等于 2.00 时, $N = 0, 12$ 和 24 三者的流向几乎完全一致,流速误差在 ± 0.1 节之内,因此可以用 $N = 12$ 的流矢来代替 $N = 0$ 和 24 的,以此类推,我们就可以将潮流表的篇幅减少三分之二,即使在一些站位上,

$\frac{W_{K_1} + W_{O_1}}{W_{M_2}} > 2.00$, 最大流速 > 2.5 节时,应用 $N = 0, 12$ 的平均值来代替单独的 $N = 0$

和 $N = 12$ 也还是正确的 (图 13)。为此,我们根据上述 19 年资料编制了由 N 求四个主要分潮改正值表 (看附表 8), 以作为进行推算潮流之用。推算用的表格同附表 3。至于



图例:
 - - - - - \rightarrow $N = 0$
 - - - - - \rightarrow $N = 24$
 ——— \rightarrow $N = 12$
 ——— \rightarrow $N = 0 - 12$ (平均)

图 13 永久潮流表简化结果比较图

Рис. 13. Приливные течения предвычисления, отвечающие разным астрономическим признакам и для разных характеристик и максимальной скорости.

$$1. \frac{W_{K_1} + W_{o_1}}{W_{M_2}} = 0.98$$

$$2. \frac{W_K + W_{o_1}}{W_{M_2}} = 1.59$$

$$3. \frac{W_{K_1} + W_{o_1}}{W_{M_2}} = 2.02$$

$$4. \frac{W_{K_1} + W_{o_1}}{W_{M_2}} = 2.63$$

表 8 天文指标 N 的四个分潮改正值

校正值			M ₂		S ₂		K ₁		O ₁	校正值			M ₂		S ₂		K ₁		O ₁
			c	b	B	b	B	b+c	c				b	B	b	B	b+c		
0	12	24	0	16	1.10	333	1.05	46	108	120	132	0	-2	0.68	182	1.33	176		
1	13	25	30	16	1.11	332	1.04	77	109	121	133	30	-1	0.68	181	1.33	208		
2	14	26	60	16	1.12	331	1.02	108	110	122	134	60	-1	0.68	181	1.33	239		
3	15	27	90	16	1.13	330	1.01	139	111	123	135	90	0	0.68	180	1.33	270		
4	16	28	120	15	1.14	328	0.99	171	112	124	136	120	1	0.68	180	1.33	301		
5	17	29	150	15	1.15	327	0.98	202	113	125	137	150	2	0.68	179	1.33	332		
6	18	30	180	15	1.16	326	0.97	233	114	126	138	180	3	0.68	178	1.33	4		
7	19	31	210	15	1.17	325	0.95	264	115	127	139	210	4	0.69	178	1.32	35		
8	20	32	240	14	1.18	324	0.94	295	116	128	140	240	5	0.69	178	1.32	66		
9	21	33	270	14	1.19	323	0.93	326	117	129	141	270	6	0.69	177	1.32	97		
10	22	34	300	14	1.19	322	0.92	357	118	130	142	300	7	0.69	177	1.32	128		
11	23	35	330	14	1.20	320	0.90	28	119	131	143	330	7	0.70	176	1.32	159		
36	48	60	0	3	1.29	272	0.68	89	144	156	168	0	15	0.93	157	1.11	220		
37	49	61	30	3	1.29	269	0.68	120	145	157	169	30	15	0.94	157	1.10	251		
38	50	62	60	2	1.28	267	0.68	151	146	158	170	60	15	0.95	156	1.09	282		
39	51	63	90	1	1.28	264	0.68	183	147	159	171	90	15	0.96	155	1.07	313		
40	52	64	120	1	1.28	262	0.69	214	148	160	172	120	14	0.98	153	1.06	345		
41	53	65	150	0	1.27	260	0.69	246	149	161	173	150	14	0.99	152	1.04	16		
42	54	66	180	0	1.27	258	0.70	276	150	162	174	180	14	1.00	152	1.02	47		
43	55	67	210	0	1.27	256	0.70	307	151	163	175	210	13	1.01	151	1.01	78		
44	56	68	240	-1	1.26	253	0.71	339	152	164	176	240	13	1.02	149	1.00	110		
45	57	69	270	-1	1.26	251	0.71	10	153	165	177	270	13	1.03	148	0.99	141		
46	58	70	300	-2	1.26	249	0.72	41	154	166	178	300	13	1.04	147	0.98	172		
47	59	71	330	-3	1.25	247	0.73	72	155	167	179	330	12	1.04	146	0.97	203		
72	84	96	0	-12	1.02	209	1.03	133	180	192	204	0	0	1.25	103	0.70	263		
73	85	97	30	-13	1.01	208	1.04	164	181	193	205	30	0	1.25	100	0.69	295		
74	86	98	60	-13	1.00	207	1.06	195	182	194	206	60	-1	1.25	98	0.69	326		
75	87	99	90	-13	0.99	206	1.07	226	183	195	207	90	-2	1.26	96	0.69	357		
76	88	100	120	-13	0.98	205	1.08	257	184	196	208	120	-2	1.26	93	0.69	28		
77	89	101	150	-13	0.97	204	1.09	288	185	197	209	150	-2	1.26	91	0.68	59		
78	90	102	180	-13	0.95	203	1.10	319	186	198	210	180	-3	1.26	89	0.68	91		
79	91	103	210	-13	0.94	202	1.12	351	187	199	211	210	-3	1.26	87	0.68	122		
80	92	104	240	-14	0.93	201	1.13	22	188	200	212	240	-4	1.26	84	0.68	153		
81	93	105	270	-14	0.91	200	1.14	53	189	201	213	270	-4	1.26	82	0.69	184		
82	94	106	300	-14	0.90	200	1.16	85	190	202	214	300	-5	1.27	79	0.69	215		
83	95	107	330	-14	0.89	199	1.17	116	191	203	215	330	-5	1.27	77	0.69	247		

續表 8

N	校正值		M ₂	S ₂		K ₁		O ₁		N	校正值		M ₂	S ₂		K ₁		O ₁	
	c	b		b	B	b	B	b	c		c	b		B	b	B	b	c	
216	228	240	0	-16	1.14	34	0.97	307	0	252	264	276	0	-8	0.81	5	1.32	351	0
217	229	241	30	-16	1.13	32	0.99	309	30	253	265	277	30	-7	0.81	4	1.32	352	30
218	230	242	60	-16	1.12	31	1.00	310	60	254	266	278	60	-6	0.80	4	1.32	353	60
219	231	243	90	-17	1.12	30	1.01	311	90	255	267	279	90	-6	0.80	3	1.32	354	90
220	232	244	120	-17	1.12	29	1.02	312	120	256	268	280	120	-4	0.80	2	1.33	355	120
221	233	245	150	-17	1.10	28	1.04	313	150	257	269	281	150	-4	0.80	2	1.33	357	150
222	234	246	180	-17	1.09	27	1.05	315	180	258	270	282	180	-3	0.80	1	1.33	358	180
223	235	247	210	-17	1.08	26	1.07	316	210	259	271	283	210	-2	0.80	1	1.33	359	210
224	236	248	240	-17	1.07	25	1.08	317	240	260	272	284	240	-1	0.80	0	1.33	0	240
225	237	249	270	-18	1.06	24	1.09	318	270	261	273	285	270	0	0.79	-1	1.33	2	270
226	238	250	300	-18	1.06	24	1.10	319	300	262	274	286	300	1	0.79	-1	1.33	3	300
227	239	251	330	-18	1.05	23	1.11	321	330	263	275	287	330	2	0.79	-2	1.33	4	330
288			0	12	0.87	350	1.26	20	0										
289			30	12	0.88	350	1.25	20	30										
290			60	12	0.89	349	1.25	21	60										
291			90	12	0.90	349	1.24	23	90										
292			120	13	0.91	348	1.23	24	120										
293			150	13	0.92	347	1.22	25	150										
294			180	13	0.93	346	1.21	27	180										
295			210	13	0.94	346	1.20	28	210										
296			240	14	0.95	345	1.20	29	240										
297			270	15	0.96	344	1.19	30	270										
298			300	15	0.97	343	1.18	31	300										
299			330	15	0.98	342	1.17	32	330										

註: 本表适用范围为:
 $\frac{WK_1 + WO_1}{WM_2} < 2.00;$
 最大流速 < 2.5 节。

潮流预报表的格式这里就不列出了。

II. 永久潮流表的用法

永久潮流表的用法是很简便的：

首先,将所需要的日期(年、月、日),根据表 6 找到与这一日期相对应的天文指标 N;

第二,找到所需海区的号码,并从目录中找到潮流表的页数;

然后,在所需海区的潮流表上,根据 N(如 N 不是正数则四舍五入或内插)找出所需时刻的流速和流向。潮流表中可每隔 2 小时给出一个流向和流速,在两小时的间隙内这些数值一般变化不大,若所需时刻与给出流向流速的时刻不一致,则可用等值内插求得。

当有特殊需要时,永久潮流表亦可直接绘成永久潮流图。这种潮流图对于渔捞作业区,或重要军事、交通区域是很便于应用的。

参 考 文 献

- [1] Дуванин, А. И.: 1948. Вычисление характерных высот приливов. Записки по гидрографии.
- [2] Дуванин, А. И.: 1955. Определение характеристики приливов по кратковременным наблюдениям. *Тр. ГОИН*, 30: 161—170.
- [3] Дуванин, А. И.: 1955. Новый вид пособий по приливам. *Тр. ГОИН*, 22.
- [4] Дуванин, А. И.: 1957. Метод составления постоянных навигационных пособий по приливам. *Метеорол. и Гидрология*, 10: 19—24.
- [5] Ширей, В. А. и В. А. Бурков: 1957. К вопросу о составлении атласов течений для районов со смешанным характером прилива. *Тр. ГОИН*, 40: 18—23.
- [6] Соскин, И. М.: 1955. Способ составления навигационных атласов течений в приливных на основа гармонических постоянных приливо-отливных течений. *Тр. ГОИН*, 30: 242—272.
- [7] Борис, Л. И.: 1958. Расчет приливов и приливо-отливных течений Желтого моря. *Тр. ЛГМИ*, 7: 138—178.
- [8] Зубов, Н. Н.: 1957. Океанологические таблицы. Гидрометиздат, Л. (朱波夫:海洋常用表。科学出版社, 1958)。
- [9] Таблицы приливов-зарубежных вод. Часть II, Изд. ГОИН, ГУГМС Л., 1957.
- [10] Ogura, Sinkiti: 1936. The Tides in the Northern Part of the Hwang Hai. *Japanese Journal of Astronomy and Geophysics*. 14 (1): 27—55.
- [11] The Admiralty Tide Tables. Part III, London, 1936.

ВОПРОСЫ О ПРОГНОЗЕ ПРИЛИВО-ОТЛИВНЫХ ТЕЧЕНИЙ

(Резюме)

Ю Фан-ху, Чжэн И-фан

(Институт Океанологии АН КНР)

Приведена основа вычисления гармонических постоянных приливо-отливных течений четырёх главных волн M_2 , S_2 , K_1 , O_1 из 2-суточных серий наблюдений. На основании того, произведен гармонический анализ для нескольких десятков станций с больше тремя суточными сериями наблюдений течений. Поэтому для каждой станции определено больше трёх группы гармонических постоянных. Затем каждые отдельные проверены и выбраны с тем, чтобы установить группу гармонических постоянных, соответствующую с результатом трёх практических наблюдений. Вычисление доказано, что точность прогноза приливо-отливных течений достигается до $\pm 20^\circ$ направления течений и до ± 0.3 узлов скорости течений.

Предварительное исследование характеристики приливо-отливных течений оказано, что в данном районе моря преобладают неправильные полусуточные приливные течения, причем у южной части залива Ляодун 40°C —правильные полусуточные приливные течения, в южной части пролива Бохая—неправильные суточные ($2.00 < \frac{W_{K_1} + W_{O_1}}{W_{M_2}} < 4.00$.) Эти явления совпадают с положением узлов и пучностей полусуточных (M_2) и суточных (K_1) приливных волн данного моря, причем распределение элемента эллипса приливо-отливного течения волны M_2 показывает, что данные явления также имеют заметную закономерность в Бохае между продольными и поперечными стоячими волнами, а также между продольной стоячей волной Бохая и поперечной стоячей волной северного Желтого моря встречена взаимная интерференция, центр вращения приливо-отливного течения. Карта изолиний времени наступления максимальной скорости приливного течения показывает полную характеристику вращения. Предварительно выяснилось распределение изолиний времени наступления максимальной скорости приливо-отливных течений, зависимость приливных волн и приливо-отливных течений. Считается неправильным обзор Фугура (Одича S) и других.

Наконец, приведена основа методы постоянной таблицы приливов А. И. Дуванина, и на основании этого методы составлена постоянная таблица приливо-отливных течений в данном море.