

台湾海峡及其附近海域三维半日潮波的数值研究

叶安乐 陈宗镛 于宜法

(山东海洋学院, 青岛)

提要 本文的研究结果表明,台湾海峡及其附近海域的三维半日潮波运动,系由北部的蜕化旋转潮波系统和南部的前进潮波系统构成。进入台湾海峡的潮波能量主要来自北部的系统,而由南部系统进入的能量仅为它的十分之一。强流区出现在福州外海、澎湖水道和台湾浅滩,而弱流带位于台湾浅滩和澎湖列岛以北。潮流的垂直变化显示出像台湾海峡一带这样近海海域中潮流垂直结构的复杂性,因而比垂直平均流能更合理地反映实际潮流场的特征。

台湾海峡是沟通东海和南海的唯一通道,海峡及其附近海域的地形复杂(图1)。台湾北端东侧的外海水深达千米以上,向西水深迅速减小,至台湾北端的西侧深度只有几十米。海峡水深分布基本上比较均匀,平均约60m;海峡东南部有澎湖列岛,其西南有平均水深仅约20m的台湾浅滩,由浅滩向东南水深迅速增大到千米以上、等深线为东北—西南走向的深水区域。太平洋的潮波分南北两路进入台湾海峡,途中经受了复杂地形以及台湾海岸的影响,然后在海峡中汇合,结果在该海域产生了复杂的潮波运动。

由于海洋开发的需要,近年来我国海洋科学工作者对海峡中的潮汐和潮流进行了研究^[1,5,6,8],给出了台湾海峡中二维潮波运动的图象(文献[8]提到了三维模型,但未见其结果)。

如前所述,台湾海峡中的潮波是来自太平洋的两个潮波系统共同作用的结果。因此,从研究潮波运动的观点来看,把台湾海峡及其附近海域的潮波作为一个整体来考虑是合适的。在我们所讨论的区域中,水深从20多米的台湾浅滩到数千米深的深水区域范围内变化,二维潮波中的全流不能反映该海域潮流垂直结构的变化和复杂性。另外,在动力学上对台湾海峡中潮波能量的探讨是有意义的。所讨论的海区以半日潮波为主。因此,本文拟对三维半日潮波进行研究,试图给出该海区三维半日潮波的图象、能量的来源以及能量传播和耗散的情况。

一、潮波基本方程的数值解

在 z 轴垂直向下的左手直角坐标系中,考虑海水铅直湍流粘性摩擦的潮波运动基本方程为

收稿日期:1984年3月4日。

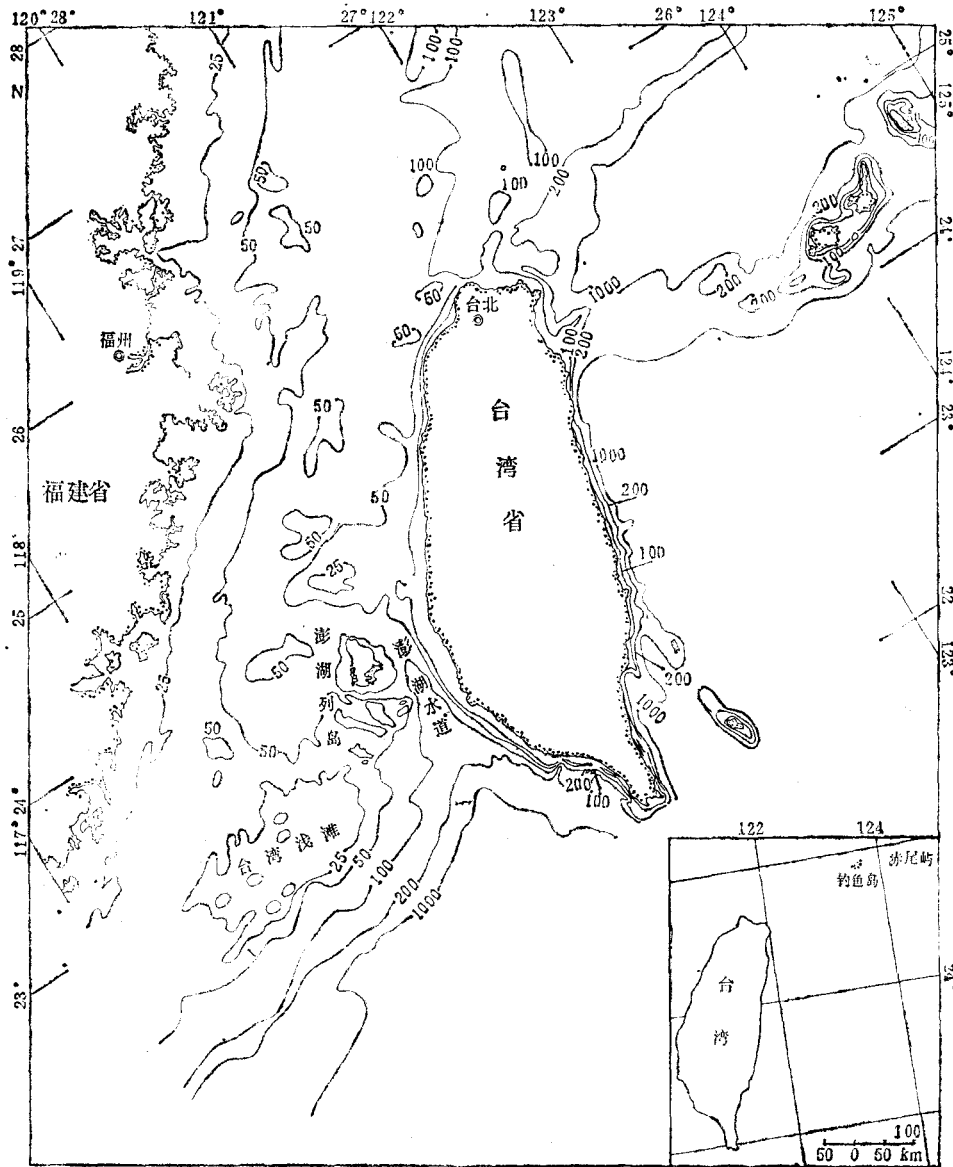


图1 台湾海峡及其附近海域地形图(深度单位: m)

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} - fv &= g \frac{\partial(\zeta - \zeta_0)}{\partial x} + A_z \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + fu &= g \frac{\partial(\zeta - \zeta_0)}{\partial y} + A_z \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(h\bar{u}) + \frac{\partial}{\partial y}(h\bar{v}) = 0 \quad (2)$$

式中, ζ_0 ——平衡潮(相对于平均海面)的潮高; ζ ——实际潮汐(相对于平均海面)的潮高; u, v ——潮流的 x, y 方向上的分量, 为 x, y, z 和 t 的函数; \bar{u}, \bar{v} —— u, v 的垂直平均值; f ——科氏参量; h ——平均海面以下的水深; A_z ——铅直湍流粘性摩擦系数, 取

为 x 和 y 的函数。由于方程(1)和(2)对函数 ζ, ζ_0, u 和 v 是线性的, 因此可以对每一个调和分潮分别求解。设上述函数可以表示成如下形式

$$\begin{aligned}\zeta &= \operatorname{Re}[Y(x, y)e^{-i\sigma t}] \\ \zeta_0 &= \operatorname{Re}[Y_0(x, y)e^{-i\sigma t}] \\ u &= \operatorname{Re}[U(x, y, z)e^{-i\sigma t}] \\ v &= \operatorname{Re}[V(x, y, z)e^{-i\sigma t}]\end{aligned}$$

其中, $Y(x, y) = H \cos g + iH \sin g$, 是实际分潮调和常数 H 和 g 的复函数; $U(x, y, z) = H_u \cos g_u + iH_u \sin g_u$ 和 $V(x, y, z) = H_v \cos g_v + iH_v \sin g_v$ 分别为相应于它们的调和常数的复函数; $Y_0(x, y) = \bar{H}$, 即等于平衡分潮的平均振幅。再运用边界条件

$$\begin{aligned}A_z \frac{\partial u}{\partial z} = A_z \frac{\partial v}{\partial z} &= 0, \quad \text{在 } z = 0 \text{ 处} \\ u = v = w &= 0, \quad \text{在 } z = h \text{ 处}\end{aligned}$$

并参照文献[4]和[9], 可以得到如下的潮位方程

$$\begin{aligned}R \left(\frac{\partial^2 Y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Y}{\partial y^2} \right) + (S_j + S_q) \left(\frac{\partial Y}{\partial x} \frac{\partial A_z}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} \frac{\partial A_z}{\partial y} \right) \\ + i(S_j - S_q) \left(\frac{\partial Y}{\partial y} \frac{\partial A_z}{\partial x} - \frac{\partial Y}{\partial x} \frac{\partial A_z}{\partial y} \right) \\ + (t_j + t_q) \left(\frac{\partial Y}{\partial x} \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} \frac{\partial h}{\partial y} \right) \\ + i(t_j - t_q) \left(\frac{\partial Y}{\partial y} \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{\partial Y}{\partial x} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + i\sigma(Y - Y_0) = 0 \quad (3)\end{aligned}$$

其中

$$\begin{aligned}R &= -\frac{g}{A_z} \left[\left(\frac{\operatorname{th}jh}{2j^3} - \frac{h}{2j^2} \right) + \left(\frac{\operatorname{th}qh}{2q^3} - \frac{h}{2q^2} \right) \right] \\ S_j &= -\frac{q}{A_z^2} \left(\frac{1}{4j^3} \operatorname{th}jh - \frac{h}{4j^2} \operatorname{sech}^2jh \right) \\ S_q &= -\frac{g}{A_z^2} \left(\frac{1}{4q^3} \operatorname{th}qh - \frac{h}{4q^2} \operatorname{sech}^2qh \right) \\ t_j &= \frac{g}{A_z} \frac{1}{2j^2} \operatorname{th}^2jh \\ t_q &= \frac{g}{A_z} \frac{1}{2q^2} \operatorname{th}^2qh \\ j^2 &= -i(\sigma - f)/A_z \\ q^2 &= -i(\sigma + f)/A_z\end{aligned}$$

在 $\sigma > f$ 情况下, 潮流计算公式为

$$\begin{cases} U = (C_{11} + iC_{12})G_1/2j^2 + (C_{21} + iC_{22})G_2/2q^2 \\ V = (C_{11} + iC_{12})G_1/2ij^2 - (C_{21} + iC_{22})G_2/2iq^2 \end{cases} \quad (4)$$

其中

$$G_1 = \frac{g}{A_z} \left(\frac{\partial Y}{\partial x} + i \frac{\partial Y}{\partial y} \right)$$

$$G_2 = \frac{g}{A_z} \left(\frac{\partial Y}{\partial x} - i \frac{\partial Y}{\partial y} \right)$$

$$C_{11} = \frac{\cos bz \operatorname{ch} bz \cos bh \operatorname{ch} bh + \sin bz \operatorname{sh} bz \sin bh \operatorname{sh} bh}{\cos^2 bh + \operatorname{sh}^2 bh} - 1$$

$$C_{12} = \frac{\cos bz \operatorname{ch} bz \sin bh \operatorname{sh} bh - \sin bz \operatorname{sh} bz \cos bh \operatorname{ch} bh}{\cos^2 bh + \operatorname{sh}^2 bh}$$

$$C_{21} = \frac{\cos az \operatorname{ch} az \cos ah \operatorname{ch} ah + \sin az \operatorname{sh} az \sin ah \operatorname{sh} ah}{\cos^2 ah + \operatorname{sh}^2 ah} - 1$$

$$C_{22} = \frac{\cos az \operatorname{ch} az \sin ah \operatorname{sh} ah - \sin az \operatorname{sh} az \cos ah \operatorname{ch} ah}{\cos^2 ah + \operatorname{sh}^2 ah}$$

$$a = \sqrt{(\sigma + f)/2A_z}$$

$$b = \sqrt{(\sigma - f)/2A_z}$$

于是,首先根据边界条件求解方程(3),得到整个海区中潮位 $Y(x, y)$ 的空间分布,然后再依式(4)求出潮流的三维空间分布。

对于我们所研究的区域,选取 y 轴与经度线成 32° 交角,使其基本上与台湾海峡的沿岸线平行。计算潮位时应用了中心差分格式,边界条件取自英国潮汐表、I. O. S 的有关资料以及文献[8]所列的资料,并参照了东海和南海的数值计算结果^[5,7]。在潮位及潮流计算过程中,当水深大于 1000m 时,中间计算结果大于计算机所表示的最大值;为了便于

表 1 表层潮流的计算结果 ($M_2 + S_2$) 与实测资料的比较¹⁾

	马祖列岛附近		平潭岛外海		礼士岛外海		南澎湖列岛附近		澎湖岛以东	
	计算值	观测值	计算值	观测值	计算值	观测值	计算值	观测值	计算值	观测值
最大流速 (kn)	2.4	2-3	2.2	2.5	1.7	1.3	1.9	2.0	3.2	3-4
最大流速方向	西北-东南	西北-东南	东北-西南	东北-西南	东北-西南	东北-西南	东北-西南	东北-西南	西北-东南	西北-东南

1) 实际资料取自英国的 China Sea Pilot.

表 2 P 站和 Q 站 M_2 潮流垂直变化的计算结果与观测值

P 站						Q 站							
深度 (m)	最大流速 (cm/s)		最大流速方向 (°)		最大流速发生时刻 (h)		深度 (m)	最大流速 (cm/s)		最大流速方向 (°)		最大流速发生时刻 (h)	
	计算值	观测值	计算值	观测值	计算值	观测值		计算值	观测值	计算值	观测值	计算值	观测值
0	55		143.6		2.94		0	67		74.4		2.38	
5	55		143.2		2.93		5	66		74.4		2.36	
10	54	52	143.3	122.0	2.91	3.1	10	64	56	74.8	92.0	2.28	2.4
15	50	52	143.7	122.1	2.80	3.0	15	61	54	75.4	92.0	2.16	2.4
20	44	48	144.6	122.1	2.50	2.8	20	55	52	76.3	96.0	2.00	2.3
25	34	43	146.0	122.2	2.01	2.6	25	46	48	77.5	97.0	1.79	2.3
							30	31	46	79.0	98.0	1.53	2.2
							35	11	40	80.1	98.0	1.24	2.2

注: 流向取正 x 方向为 0° , 正 y 方向为 90°

溢出处理,曾规定凡是大于这个深度的计算点上的铅直湍流粘性摩擦系数 (A_z) 均取为 $50\text{cm}^2/\text{s}$ 。在计算潮位的过程中,我们还作了这样的试验: 首先把澎湖列岛上的观测资料运用于控制计算,然后对该列岛所对应的格点进行计算,该格点的结果与列岛上的实际观测相当吻合。对整个海区计算的结果与观测资料进行了比较,发现两者令人满意地一致。为了清楚地表明这一点,我们给出了表 1 和表 2。

二、潮波的传播

根据 M_2 和 S_2 分潮潮位的空间分布,分别绘制了 M_2 同潮图 (图 2) 和 S_2 同潮图 (图 3)。从图 2 可见,台湾海峡及其附近海域的 M_2 潮波运动由两部分构成: 北部为蜕化旋转潮波系统,南部为前进波系统。北部的潮波进入台湾海峡后,首先控制了海峡的北部区域,然后南下与从南部经过澎湖水道以及澎湖列岛之间的通道北上的一支潮波于澎湖列岛附近相汇。与此同时,南下的潮波继续在海峡内向下传播,与从南部绕过澎湖列岛和越过台湾浅滩的潮波共同向西南传播。由于上述两个潮波系统的影响,台湾海峡东岸的高潮时由南北两端向中部逐渐推迟,例如台北外海和高雄外海的同位相线为 300° ,而澎湖水道北部的同位相线为 330° ,即台北外海和高雄外海的高潮时刻要比澎湖水道北端大约早 1 小时。而东山岛一带的外海是我们所讨论的区域中发生高潮最晚的地区,其发生时刻要比台北外海和高雄外海晚 2 个多小时。从图 2 还可看出台湾浅滩一带的同位相线基本上与等深度线趋势一致,而且也较密集。这种密集现象是前进潮波由深水区进入浅滩时波速迅速减慢的反映。图 2 中的等振幅线分布有如下一些特点: (1) 福州一带的外海

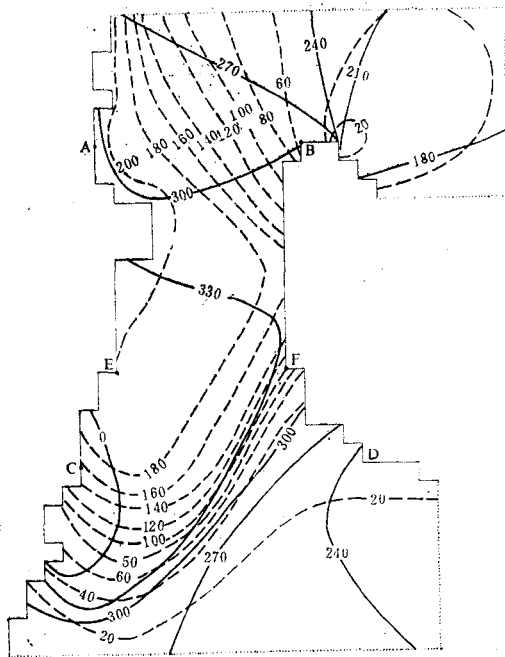


图 2 M_2 同潮图

虚线表示等振幅线 (cm); 实线表示同位相线 ($^\circ$)

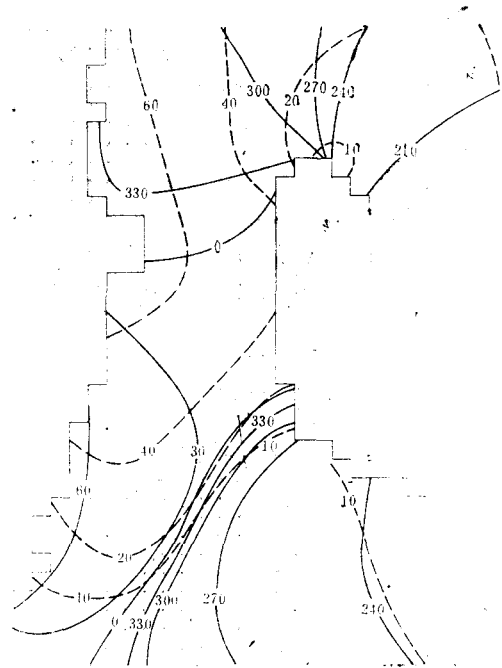


图 3 S_2 同潮图

虚线表示等振幅线 (cm); 实线表示同位相线 ($^\circ$)

潮差达4m以上,是讨论海域中潮差最大的区域,也是潮汐势能利用潜力最大的区域;(2)福州一带外海的等振幅线走向与同位相走向接近一致;(3)台湾浅滩一带除了等振幅线密集外,还显示出一个明显的指向西南的舌状分布,这是台湾浅滩的浅水放大效应所致。通过以上的观察,可以断定:台湾海峡中的 M_2 潮波运动主要受北部进入的潮波系统控制,而由南部北上的潮波系统仅影响澎湖列岛附近的海域。

图3示出了与图2相似的特征,表明台湾海峡及其附近海域的 S_2 潮波的运动情况与 M_2 潮波类似。但是在强度上, S_2 潮波要比 M_2 潮波弱得多, S_2 的振幅仅约为 M_2 的 $1/4$ — $1/3$;在发生高潮的时刻上,不同地点的 S_2 分潮高潮时要比 M_2 分潮的晚1—2小时不等。

三、三维潮流的结构

1. 潮流的平面分布

在所讨论的海区,我们依据计算结果绘制了 M_2 分潮流的表层和40m层的潮流椭圆图(图4a和图5)、 S_2 分潮流的表层及40m层的潮流椭圆图(图6a和图7)。现以图4a为例来说明最大流速的平面分布特征。首先注意台湾海峡本身。在海峡的北部,椭圆长轴方向为东北—西南向,而在海峡的南部则为西北—东南向。台湾海峡中的最强流速区域位于澎湖列岛附近,而那里又以澎湖水道中的流速为最强(由于沿岸的影响),大约4kn,也是我们所讨论区域中的最强流速区。台湾海峡南部区域,在澎湖列岛西南的台湾浅滩上,椭圆长轴方向为西北—东南向,由于浅水影响, M_2 潮流也相当强,仅次于澎湖水道中

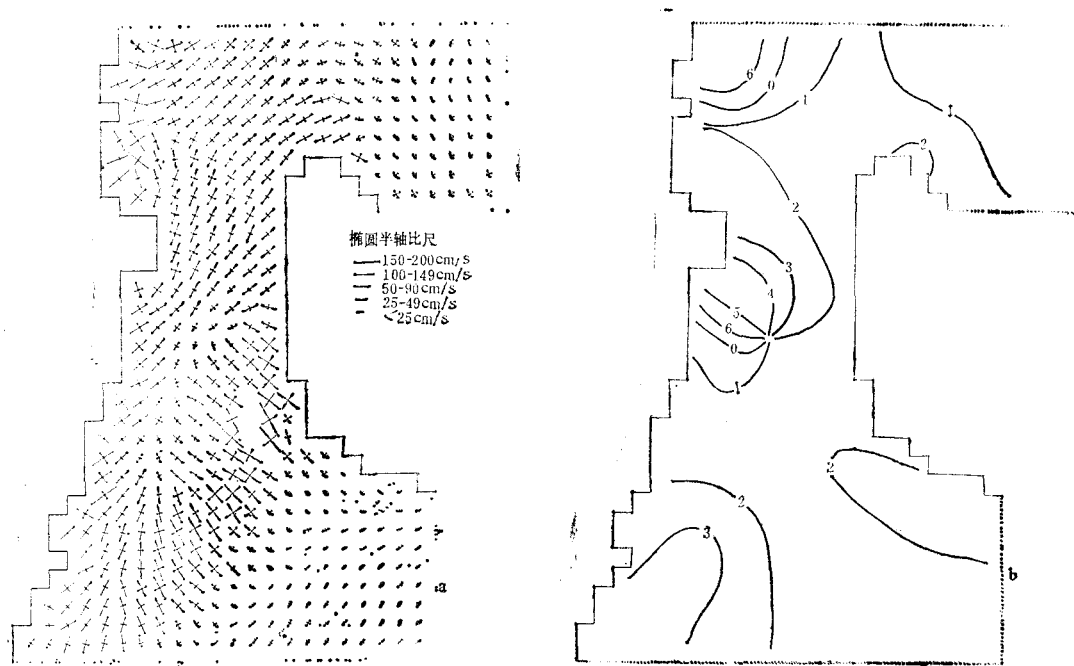


图 4

a. M_2 潮流椭圆图(表层) ●表示潮流椭圆旋转方向为正; b. M_2 潮流同时线图(表层)

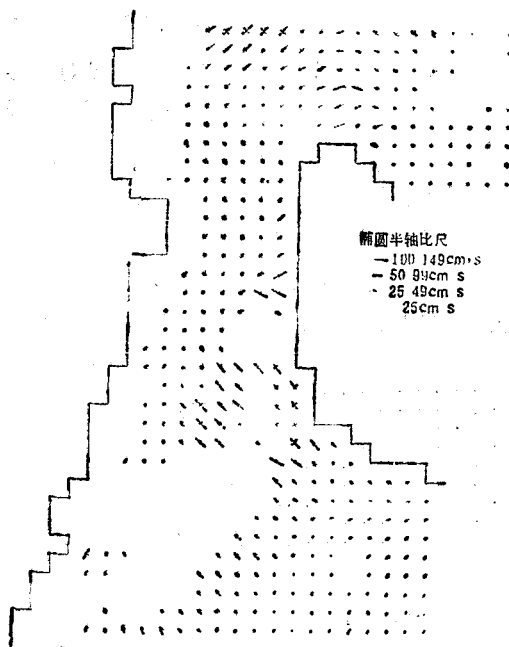


图5 M_2 潮流椭圆图 (40m 层)

●表示潮流椭圆旋转方向为正

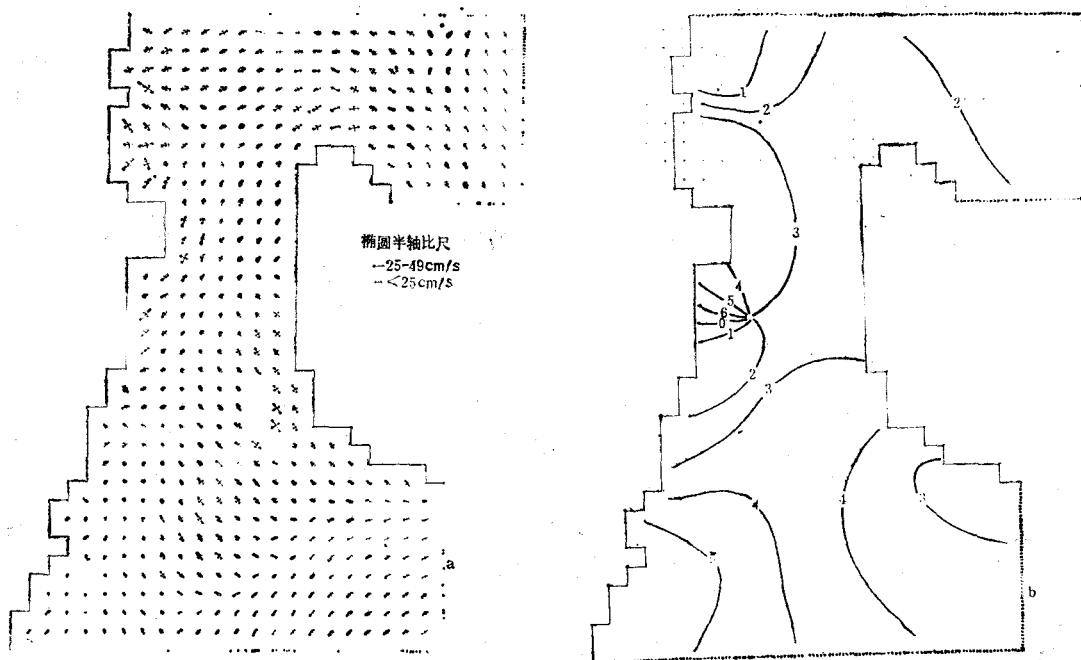


图 6

a. S_2 潮流椭圆图(表层) ●表示潮流椭圆旋转方向为正; b. S_2 潮流同时线图(表层)

的强流速, 约为 3 kn。但台湾浅滩向东南一侧与台湾浅滩上不同: 在深水区中潮流椭圆长轴方向为东北-西南向, 流速很小。由等深线分布(图 1) 看出, 台湾浅滩上的最大流速方向与等深线相交, 而在其东南的深水区中最大流速方向则与等深线平行。因为最大涨潮流方向和潮波传播方向是一致的, 因此, 这里再一次显示出由太平洋经过巴士海峡进入的潮波主要地沿深水等深线向南海传播, 而只有一小部分横过浅水的等深线向西北进入澎湖列岛一带和越过台湾浅滩。对于海峡以北的区域, 台湾北端的右方是深水区, 由于台湾的阻挡, 潮波横过等深线向西北进入东海, 因此 M_2 椭圆长轴方向为西北-东南向。台湾北端的蜕化旋转潮波传入台湾海峡, 表现在椭圆长轴分布的特点是在台湾北端的外海形成一个涡旋状。这一区域中的强流区位于福州一带的外海(由于岸形和浅水共同作用的

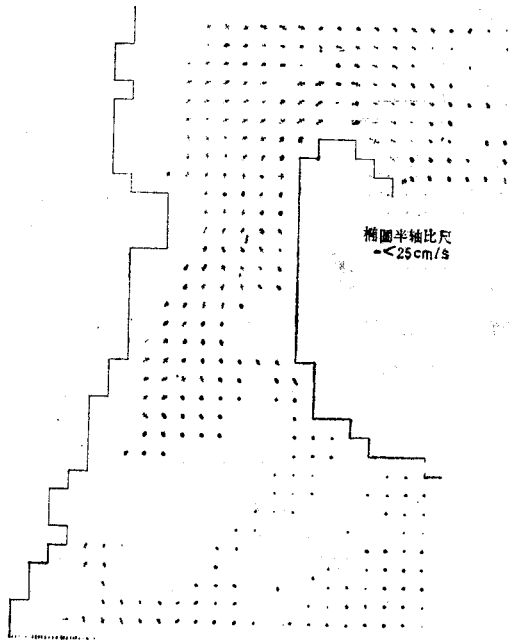


图 7 S_2 潮流椭圆图 (40m 层)

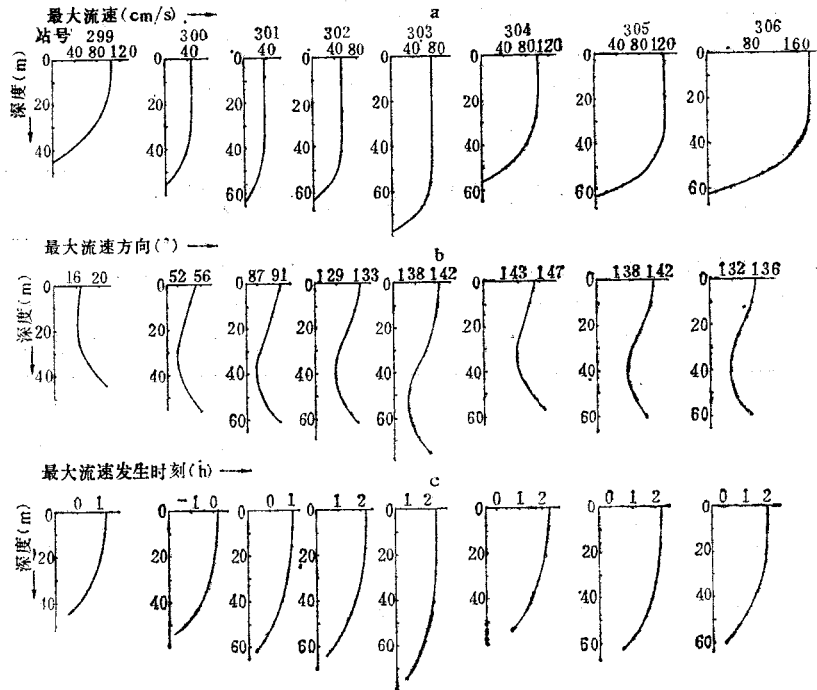
●表示潮流椭圆旋转方向为正

台湾海峡中部都有一个潮流同时线的聚点, 这与文献[6]的结论相似。

2. 潮流的垂直结构

我们计算了所讨论海域的 M_2 和 S_2 潮流的垂直分布, 在此以断面 EF (见图 2) 的 M_2 潮流的垂直结构为例 (图 8), 来说明整个海域中半日潮流垂直结构的主要特征。图 8a 表明了该断面上各计算点的最大流速随深度的变化: 水深较小的地方, 最大流速由表面向海底逐渐减小, 而且越向下减小得越快; 水深较大的地方, 整个上层最大流速随深度变化不大, 而下层则迅速减小。图 8b 显示了这个断面各站最大流速方向随深度的变化, 其显著特征是: (1) 上层的最大流速方向随深度的增加而向右偏, 下层则随深度增加而向左偏; (2) 上层在右偏过程中, 偏转速度先是由上向下增加, 然后变得由上向下减小, 最后进入左偏的下层, 那里左偏速度由上向下增加; (3) 水深较深的地方, 右偏层较厚, 水深较浅的地方, 右偏层较薄。图 8b 中有一点值得注意: 最大流速方向变化不大, 即使水深 40 多米

的结果), 最大流速达 2 kn 以上。台北的外海 M_2 最大流速有 1 kn 多。图 4a 中的另一个特征是: 由澎湖列岛和台湾浅滩向北存在着一个东北-西南走向的弱流带和一条东北-西南走向的, 潮流椭圆旋转方向不同的分界线。分界线以上的区域椭圆的旋转方向为逆时针; 而以下的区域则为顺时针。台湾海峡中这两个不同旋转方向的区域, 是海峡中两个不同潮波系统有效控制的区域, 而不同旋转方向的分界线和弱流带则是两个潮波系统汇合的反映。图 5 表明了 40m 层 M_2 潮流椭圆的分布, 总的特征和图 4a 相同, 但最大流速相对于表层的减小程度有所不同, 流向的变化也不一, 这与水深有密切关系。图 6a 和图 7 的特征与图 4a 和图 5 类似, 只是在强度上要弱得多。另外, 图 4b 和图 6b 分别示出了 M_2 和 S_2 表层潮流同时线。可以看出, 两者在台

图8 断面EF的 M_2 潮流垂直结构

a. 最大流速垂直分布; b. 最大流速方向的垂直变化; c. 最大流速发生时刻的垂直变化

的229站,底层相对于表层的变化也只有几度。因为最大流速方向随深度的变化与地理纬度有关^[2]。由图8c可见最大流速发生时刻随深度变化的主要特征是:(1)随深度的增加而提前;(2)随深度的变化率随深度的增加而增大,即越往下提前得越快。

通过这个断面对 M_2 潮流垂直结构的分析,可以看出:对于近岸浅水区域,三维潮流结构的研究有助于人们进一步认识实际潮流场的特征。

四、潮波能量的来源及耗散

因为我们所讨论的海域相对很小,因而天体引潮力的作用可以忽略,能量的来源主要来自大洋。在台湾海峡的北端和南端分别选取断面AB和CD(见图2),利用潮汐潮流的调和常数,计算了各站单位宽度上在一个分潮周期中的平均能量流以及通过整个断面的平均能量,其结果列于表3和表4中。表中的站号是由海峡的西岸向东岸排列的。根据表3看出:(1)通过AB断面进入台湾海峡的半日潮波能量,靠近西岸的站的输入要比靠近东岸的多得多;(2)通过整个断面的 M_2 潮波能量要比 S_2 的大得多, S_2 仅是 M_2 的12.5%(M_2 分潮波通过AB断面输入台湾海峡的能量为 0.2821×10^{18} ergs/s,与文献[1]中引用的估计 0.201×10^{18} ergs/s大体一致)。表4表明:(1)CD断面上靠近西岸各站的能量由海峡内向外流,而靠近东岸的各站能量则流入海峡;(2)通过CD断面西段流出海峡的能量比其东段流入海峡的大得多($E_{出}/E_{入} = 3.8$)。

根据表3和表4,进一步计算了表5,得到了台湾海峡中能量输入、输出和耗散的情

表 3 通过断面 AB 各站单位宽度的能量流 (ergs/s·cm) 和通过整个断面的能量 (ergs/s)

能量流 分潮	站号										通过断面 AB 的能量 E
	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	
M_2	0.8745×10^8	0.3037×10^{11}	0.2359×10^{11}	0.2321×10^{11}	0.1754×10^{11}	0.1699×10^{11}	0.0961×10^{11}	0.1064×10^{11}	0.0849×10^{11}	0.0874×10^{11}	0.2821×10^{18}
S_2	0.6189×10^7	0.3513×10^{10}	0.2763×10^{10}	0.2518×10^{10}	0.1932×10^{10}	0.1973×10^{10}	0.1301×10^{10}	0.1632×10^{10}	0.1476×10^{10}	0.1593×10^{10}	0.3535×10^{17}

表 4 通过断面 CD 各站单位宽度的能量流 (ergs/s·cm) 和通过整个断面的能量 (ergs/s)

能量流 分潮	站号								通过断面 CD 的能量 E	
	225	226	227	228	229	230	231	232	$E_{出}$	$E_{入}$
M_2	-0.1273×10^{11}	-0.1187×10^{11}	-0.9983×10^{10}	-0.7566×10^{10}	-0.4906×10^{10}	-0.3891×10^{10}	-0.3272×10^{10}	-0.3100×10^{10}	-0.1083×10^{18}	0.2852×10^{17}
S_2	-0.3989×10^9	-0.4442×10^9	-0.4114×10^9	-0.3465×10^9	-0.2565×10^9	-0.2420×10^9	-0.1912×10^9	-0.0713×10^9	-0.4464×10^{16}	0.2578×10^{16}

能量流 分潮	站号						通过断面 CD 的能量 E	
	233	234	235	236	237	238	$E_{出}$	$E_{入}$
M_2	0.5065×10^{10}	0.0513×10^{10}	0.3323×10^{10}	0.4145×10^{10}	0.1405×10^{10}	0.0639×10^{10}	-0.1083×10^{18}	0.2852×10^{17}
S_2	0.2341×10^9	0.1109×10^9	0.2859×10^9	0.4262×10^9	0.1981×10^9	0.1064×10^9	-0.4464×10^{16}	0.2578×10^{16}

注：其中“-”表示能量由海峡内向外流。

况。 M_2 分潮波通过断面 AB 输入的能量与通过 CD 断面输出的能量比是 $E_{CD}/E_{AB} = 38\%$ ，即来自断面 AB 的 M_2 潮波的能量有 62% 在台湾海峡中耗散掉，而通过断面 CD 进入的 M_2 潮波能量全部耗散在海峡内。台湾海峡中 M_2 潮波能量的总耗散为 0.2023×10^{18} ergs/s。 S_2 分潮波通过断面 AB 输入和通过断面 CD 输出的能量的相应比 $E_{CD}/E_{AB} = 13\%$ ，大约有 87% 的来自断面 AB 的 S_2 潮波能量在海峡内耗散了。台湾海峡中

表 5 台湾海峡中半日潮波能量输入、输出和耗散 (ergs/s)

	输入	AB	CD		输入	AB	CD
		M_2	0.2821×10^{18}			0.2852×10^{17}	S_2
	输出	CD	AB		输出	CD	AB
		0.1083×10^{18}	0			0.4464×10^{16}	0
	净输入	0.1738×10^{18}	0.2852×10^{17}		净输入	0.3087×10^{17}	0.2578×10^{16}
	总耗散	0.2023×10^{18}			总耗散	0.3346×10^{17}	

S_2 潮波能量的总耗散为 0.3341×10^{17} ergs/s, 约为 M_2 潮波能量总耗散的 17%。最后, 应指出, 通过断面 CD 输出的半日潮波能量被耗散在东山岛附近的外海区域, 因而半日潮波能量没有由台湾海峡输入南海内部, 这与文献[7]的结论一致。

五、结 语

1. 台湾海峡中的潮波运动是北部的蜕化旋转潮波系统和南部的前进潮波系统共同作用的结果。两股潮波在澎湖列岛和台湾浅滩的西北附近海域相汇合, 然后向西南传播。海峡中的弱流带和不同的潮流椭圆旋转方向的分界线, 即是两种潮波汇合的反映。

2. 强流速出现在澎湖水道、台湾浅滩和福州一带的外海区域。澎湖水道中的强流受岸形的影响, 台湾浅滩上的强流受浅水的影响, 而福州一带外海的强流则是由于岸形和浅水共同作用的结果。

3. 潮流的垂直结构表明, 全流的考虑不能反映实际潮流场结构的变化和复杂性。

4. 台湾海峡中潮波能量输入的讨论给出两种潮波系统强度的度量。从海峡北端输入的半日潮波能量为 0.3174×10^{18} ergs/s, 而从海峡南端(靠近台湾沿岸部分)输入的能量仅为 0.3110×10^{17} ergs/s, 约为北部输入的十分之一。台湾海峡中半日潮波能量的总耗散为 0.2357×10^{18} ergs/s。

5. 本文利用数值计算的结果作为水界的边界条件, 因此难免有误差。进一步的研究有待于在那里进行可靠的实际观测。

参 考 文 献

- [1] 丁文兰, 1983. 台湾海峡潮汐和潮流的分布特征. 台湾海峡 2(1): 1—8.
- [2] 叶安乐, 1984. 潮流椭圆长轴方向随深度变化的特征. 海洋湖沼通报 2: 1—6.
- [3] 沈育疆, 1980. 东中国海潮汐数值计算. 山东海洋学院学报 10(3): 26—35.
- [4] 陈宗镛, 1965. 浅海潮流的一种计算方法. 山东海洋学院学报 2: 1—10.
- [5] 陈新忠, 1983. 台湾海峡及其两岸的潮流. 海洋通报 2: 16—24.
- [6] 郑文振、陈福年、陈新忠, 1982. 台湾海峡的潮汐和潮流. 台湾海峡 1(2): 1—4.
- [7] Ye, A. L. and I. S. Robinson, 1982. Tidal dynamics in the South China Sea. *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 72: 691—707.
- [8] Yin, F. and S. H. Chen, 1982. Tidal computation on Taiwan Strait. *J. Waterway Port Coast. Ocean Div.* 108: 526—538.
- [9] Сгибнева, Л. А. и А. И. Фельзенбаум, 1965. К Теории приливов в жидкости с трением. Доклад АН СССР 164(2): 315—318.

NUMERICAL INVESTIGATION OF THREE-DIMENSIONAL SEMIDIURNAL TIDAL WAVES IN TAIWAN STRAIT AND ITS ADJACENT AREAS

Ye Anle, Chen Zongyong and Yu Yifa
(Shandong College of Oceanology, Qingdao)

ABSTRACT

Three-dimensional semidiurnal tidal waves in Taiwan Strait and its adjacent areas are studied numerically by using the hydrodynamic equations. Tidal elevation in the whole area is obtained in accordance with boundary conditions, and the three-dimensional distribution of tidal current is computed from the tidal elevation gradient. The results are in agreement with the data observed. Co-tidal charts for M_2 and S_2 constituents are drawn, and the propagation of semidiurnal waves is discussed. The tidal wave systems from two ends of the strait meet near the Penghu Islands and then propagate southwest wards. Horizontal distributions of tidal current at different depth levels show the following features: (1) strong current velocities occur in the Penghu Channel, the Taiwan Shoal and the offshore area of Fuzhou; (2) along the escarpment near the Taiwan Shoal there is a zone where the directions of ellipse axes change discontinuously, indicating the influence of topographic discontinuity on the propagation of tidal wave; (3) the tidal ellipse rotation is anticlockwise in the north and northwest part of the strait, clockwise in its southeast part. In its adjacent areas, the rotation is mostly clockwise. The vertical change of the magnitude, the direction and the time of the maximum velocity show a picture close to the structure of actual semidiurnal current field. The calculation of energy indicates that the energy source in the strait mainly comes through the cross-section at the north end of the strait, where energy input of semidiurnal tidal waves is about 0.3174×10^{18} ergs/s. As for the cross-section at the south end of the strait, the situation is different: the energy flowing into the strait through the east segment of the cross-section is only 0.3110×10^{17} ergs/s, but the energy mainly coming from the north part of the strait and flowing out of the strait through its west segment is about 0.1529×10^{18} ergs/s, which dissipates in the offshore area of Dongshan Island. The total dissipation of semidiurnal wave energy between two cross-sections is 0.2357×10^{18} ergs/s.