

南海潮汐和潮流的分布特征*

丁文兰

(中国科学院海洋研究所, 青岛)

提要 本文分析结果表明: (1) 在深海区域潮波以前进波的形式自北向南传播, 到陆架海域形成驻波。M₂分潮在泰国湾的东部有一个顺时针旋转的无潮点, K₁分潮在北部湾顺化附近和泰国湾西部各有两个反时针旋转的无潮点; (2) M₂分潮流在北部湾和泰国湾最大流速的同潮流时线都存在着两个圆流点, 且位于半日分潮波的腹部, 在圆流点附近最大流速发生时刻按逆时针方向增加, 而其它区域几乎是在同一时刻发生的。K₁分潮流在北部湾和泰国湾也各有一个圆流点; (3) 北部湾海防附近的最大变差可达6m以上, 而赤道附近、越南顺化、泰国湾中部变差最小, 只有1m左右。琼州海峡中部近最大潮流为最强, 可达3kn以上, 东部深水区域最小, 仅0.1kn。

关于南海潮汐和潮流的基本特征, 国内外许多学者^{[3,4]D}, 进行过一些研究。本文采用一些新的计算方法, 同时还考虑到南海外海实测海流资料较少, 故增添了有关推算外海潮流的内容, 对潮汐近最大变差也进行了专门探讨。

一、计算方法

本文计算了广东近海潮汐调和常数、近最大潮流流速、潮能传播方向和速率^[1]。对深水区域潮流调和常数以及近最大变差的计算是根据下面的方法进行的。

1. 外海潮流调和常数的计算

根据潮位梯度方程^[1]

$$\left\{ \begin{array}{l} 10^7 \frac{\partial \zeta_1}{\partial x} = -au_2 + bv_1 - cF_1 \\ 10^7 \frac{\partial \zeta_1}{\partial y} = -av_2 - bu_1 - cG_1 \\ 10^7 \frac{\partial \zeta_2}{\partial x} = au_1 + bv_2 - cF_2 \\ 10^7 \frac{\partial \zeta_2}{\partial y} = av_1 - bu_2 - cG_2 \end{array} \right. \quad (1)$$

其中: $a = 10^7 \delta / g$; $b = 10^7 2\omega / g = 1.487 \sin \lambda$; $c = 10^7 / gh = 1.019 \times 10^{-4} / h$; σ 为各分潮角速度; g 为重力加速度, 981cm/s^2 ; h 为用厘米表示的深度; $\omega = Q \sin \lambda$, Q

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第1144号。

本文承方国洪教授热忱帮助, 特此致谢。

收稿日期: 1985年1月5日。

1) Naval Oceanographic Office, Washington, D. C. 1970. Preliminary Report on the Numerical Prediction of Tides and Tidal Currents for Various Wind Conditions in the South China Sea. In formal Report.

为地转角速度， λ 为纬度； F_1, F_2, G_1, G_2 为摩擦力分量； u_1, u_2, v_1, v_2 为潮流调和常数分量。 $10^7, 1.487, 1.019$ 单位均系 C. G. S 制。

在实际计算中，采用逐步逼近方法，即首先假设摩擦力分量 F_1, F_2, G_1, G_2 为零，可近似得到分潮的调和常数分量：

$$\left\{ \begin{aligned} u_1 &= \frac{b \frac{\partial \zeta_1}{\partial y} + a \frac{\partial \zeta_2}{\partial x}}{a^2 - b^2} \\ u_2 &= \frac{a \frac{\partial \zeta_1}{\partial x} - b \frac{\partial \zeta_2}{\partial y}}{b^2 - a^2} \\ v_1 &= \frac{a \frac{\partial \zeta_2}{\partial y} - b \frac{\partial \zeta_1}{\partial x}}{a^2 - b^2} \\ v_2 &= \frac{a \frac{\partial \zeta_1}{\partial y} + b \frac{\partial \zeta_2}{\partial x}}{b^2 - a^2} \end{aligned} \right. \quad (2)$$

因而可以算出摩擦力分量：

$$\left\{ \begin{aligned} F_1 &= 0.002\sqrt{U^2 + V^2} u_1 \\ F_2 &= 0.002\sqrt{U^2 + V^2} u_2 \\ G_1 &= 0.002\sqrt{U^2 + V^2} v_1 \\ G_2 &= 0.002\sqrt{U^2 + V^2} v_2 \end{aligned} \right. \quad (3)$$

然后将其代入方程 (1)，即可得到各分潮潮流调和常数：

$$\left\{ \begin{aligned} u_1 &= \frac{b \frac{\partial \zeta_1}{\partial y} + bcG_1 + a \frac{\partial \zeta_2}{\partial x} + acF_2}{a^2 - b^2} \\ u_2 &= \frac{a \frac{\partial \zeta_1}{\partial x} + acF_1 - b \frac{\partial \zeta_2}{\partial y} - bcG_2}{b^2 - a^2} \\ v_1 &= \frac{a \frac{\partial \zeta_2}{\partial y} + acG_2 - b \frac{\partial \zeta_1}{\partial x} - bcF_1}{a^2 - b^2} \\ v_2 &= \frac{a \frac{\partial \zeta_1}{\partial y} + acG_1 + b \frac{\partial \zeta_2}{\partial x} + bcF_2}{b^2 - a^2} \end{aligned} \right. \quad (4)$$

当然，由于 ζ 值本身有较大误差，这样求得的潮流调和常数的准确性是较差的，但对估计潮流的大体量值仍然具有一定的参考价值。

2. 近最大变差的计算

由海图基准面 BPF 方法¹⁾可得到

1) 方国洪等，1978。计算水位分布的标准差-偏度-峰度方法 (BPF 法) 及其在海图基准面计算中的作用。海洋科学集刊(待刊)。

$$h = (A - Bs + Ck)\delta$$

$$d = (A + Bs + Ck)\delta$$

$$h + d = 2(A + Ck)\delta$$

其中, h ——由平均海面向上计算的近最高潮面; d ——由平均海面向下计算的近最低潮面; $h + d$ ——近最大变差; δ, s, k ——分别为标准差、偏度、峰度, 它们取决于各分潮的调和常数。

$$\text{取 } \delta = \left[\frac{1}{2} (1.077H_{O_1}^2 + 1.138H_{K_1}^2 + 1.042H_{M_2}^2 + 1.084H_{S_2}^2) \right]^{1/2}$$

$$k = 0.75 - 0.375/\delta^4 (H_{O_1}^4 + H_{K_1}^4 + H_{M_2}^4 + H_{S_2}^4)$$

$$\text{当频率 } p = 0.14\% \text{ 时, } h + d = 2(2.30 + 0.90k)\delta$$

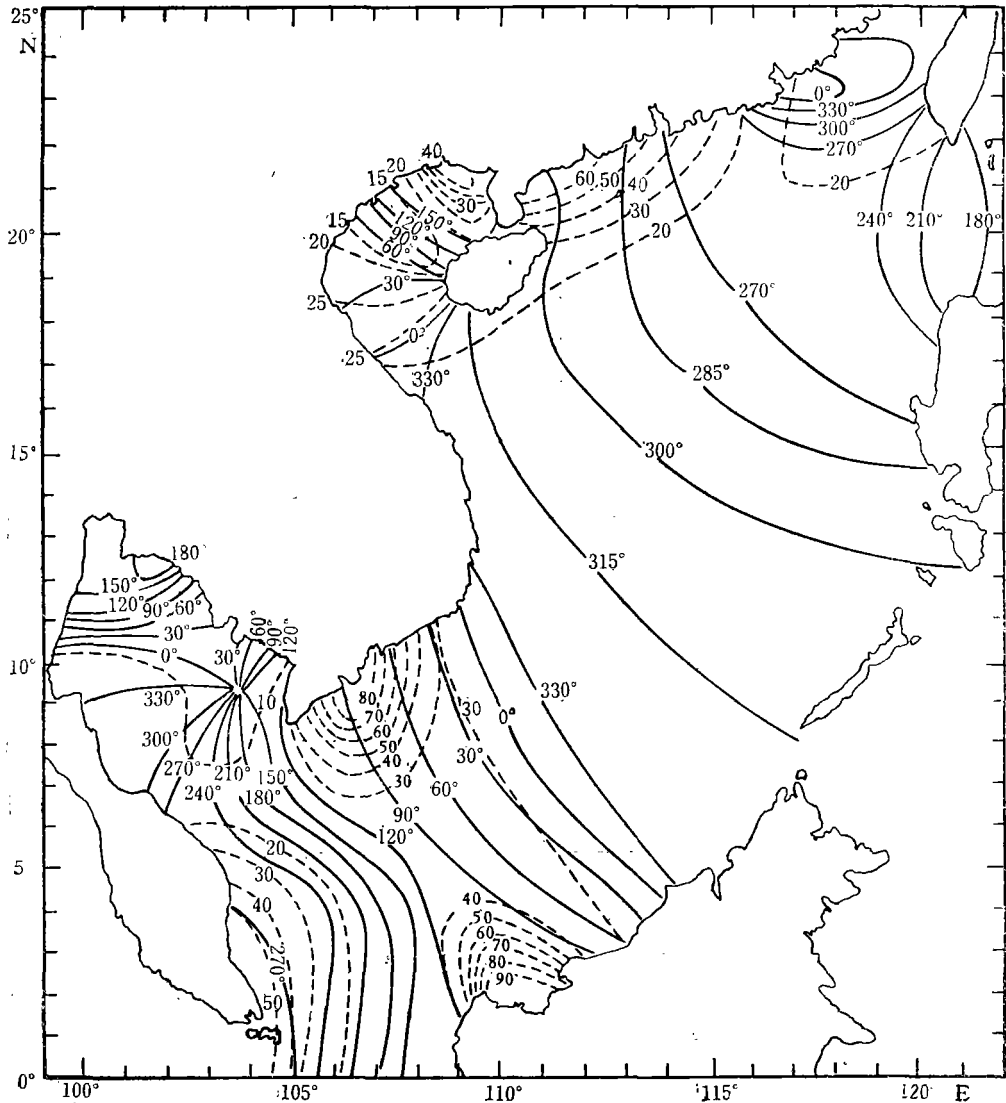


图1 M_2 分潮同潮时线和等振幅线的分布

二、潮波的传播

1. 半日潮波的传播

从 M_2 分潮同潮时线和等振幅线分布图(见图 1)可明显看出,自太平洋经巴士海峡传来的潮波,除部分进入台湾海峡外,大部分进入南海。由于广东东南外海水深达 3—4km,潮波自东北向西南以每小时 600—700km 的速度传播着,并保持着前进波的特点。同潮时线在广东沿岸海门湾和红海湾之间很密集,潮汐很小,但潮流较大(图 4)。在上川岛以西、广州湾以东以及海南岛东部清澜港附近 M_2 分潮流矢旋转方向为左旋(图 4),这些现象都说明广东大陆沿岸和海南岛东岸 M_2 潮波是以驻波为主的。 M_2 分潮波沿海南岛东

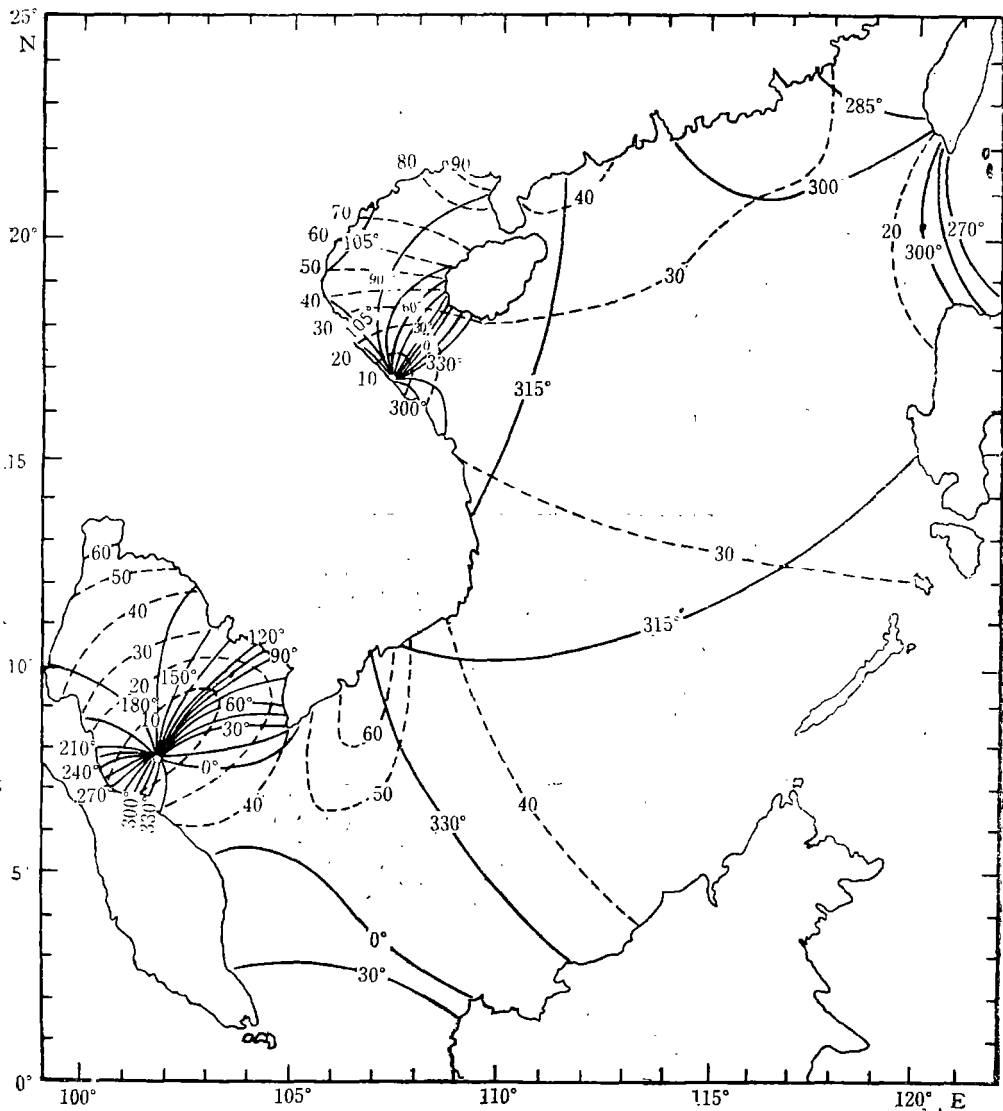


图 2 M_2 分潮同潮时线和等振幅线的分布

岸继续向南传播,并有一小分支由北部湾口进入湾内,形成北部湾的潮振动,而北部湾的半日潮波又有小部分从琼州海峡反过来向东传入南海。由于潮波的反射,在海防至北黎附近形成 M_2 分潮波节区,同潮时线密集,而潮差小,在其两侧的同潮时线稀疏而潮差较大,为 M_2 分潮的波腹区。可见, M_2 分潮波在湾的北部属于驻波性质,在湾的南部、湾口附近则以前进波为主。半日潮波在南海的西南海区遇马来半岛的反射,在湄公河口和加里曼丹岛古晋连线上形成明显的波节区。这里同潮时线密集,振幅较小,而在马来半岛的东面,湄公河口以及古晋附近振幅都较大,同时发生高潮的波腹区,可见这一带 M_2 分潮波具有驻波性质。泰国湾的半日潮波由湾口左侧进入湾内,并在湾的东部形成一个右旋的无潮点,这说明湾口进入的 M_2 分潮波及其反射波干涉而形成了驻波,湾的顶端为驻波的腹部, M_2 分潮波从湾口传播到湾的顶端,大约需要一个潮周期。

南海西北部陆架区的 M_2 潮波传播情况亦可由图 3 看出。

2. 全日潮波的传播

从 K_1 分潮同潮时线和等振幅线的分布(见图 2),可以明显看出, K_1 分潮波是经巴士海峡和台湾海峡进入南海的。广东沿岸的 K_1 分潮波由东北向西南方向传播。从图 5 看出,上川岛至广州湾沿岸 K_1 分潮流矢旋转方向为左旋,说明广东沿岸这一水域 K_1 分潮波是以驻波为主的。在北部湾的湾口形成 K_1 分潮的无潮点,湾内为波腹区。由于浅水摩擦等原因使反射波减弱,因而无潮点偏向入射潮波的左侧,右岸的潮差比左岸为大。广东东南海区 K_1 潮波以前进波的形式向西南方向传播,从巴士海峡到马来半岛大约需要 8 个小时,其速度在深水区快,陆架区慢。 K_1 潮波由湾口右侧进入泰国湾,并在湾的左侧形成一个左旋的无潮点。可见,这里是 K_1 分潮波的波节,而湾内则为波腹区。同时,我们还可

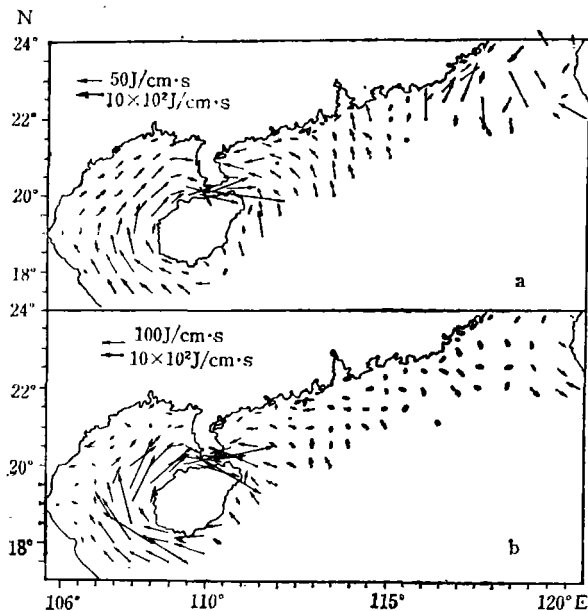


图 3 潮能传播方向和速率
a. M_2 分潮; b. K_1 分潮。

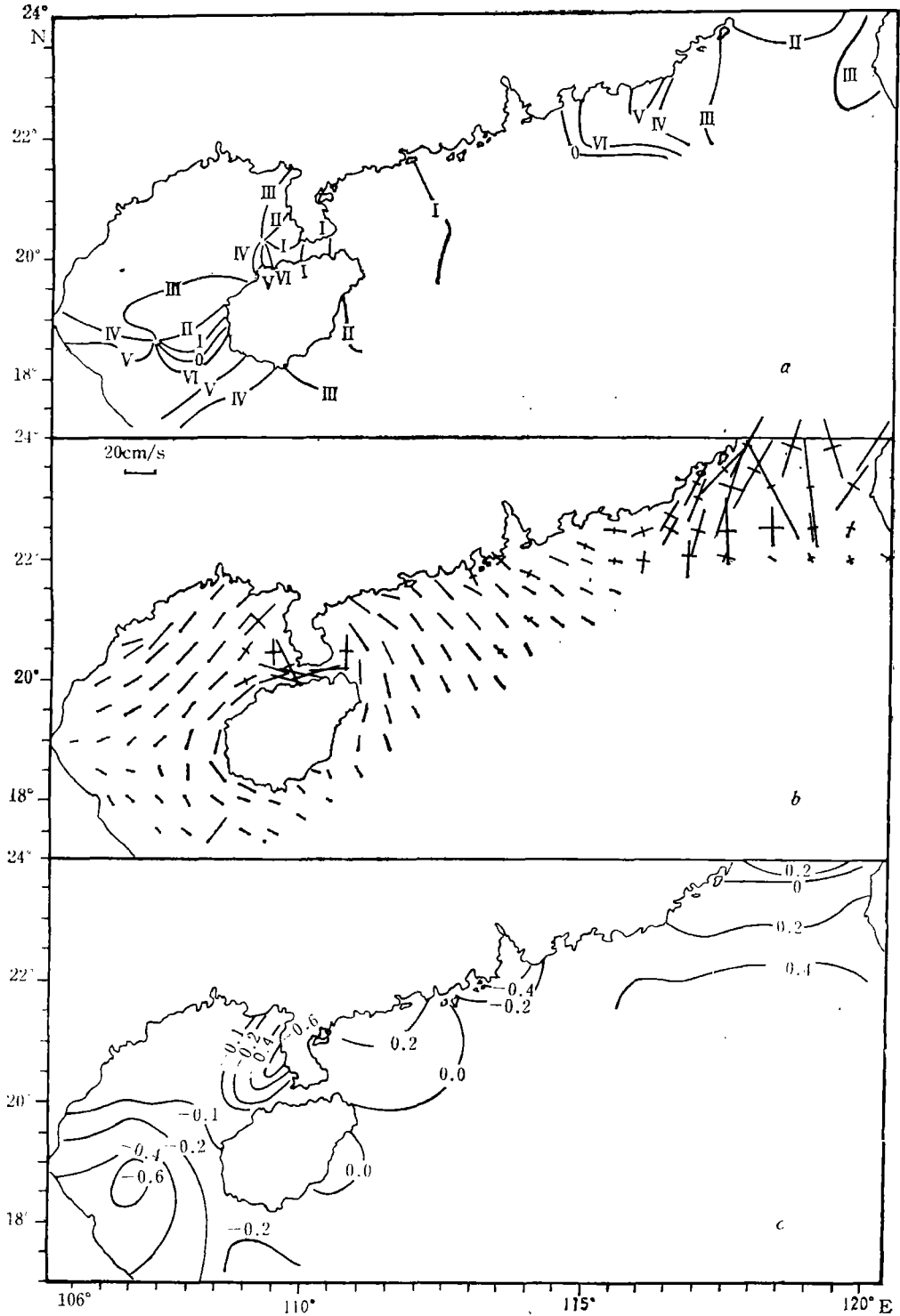


图 4 M₂ 分潮流

a. 最大潮流同时线的分布; b. 椭圆长、短轴的分布; c. 椭圆率和流矢旋转方向的分布。

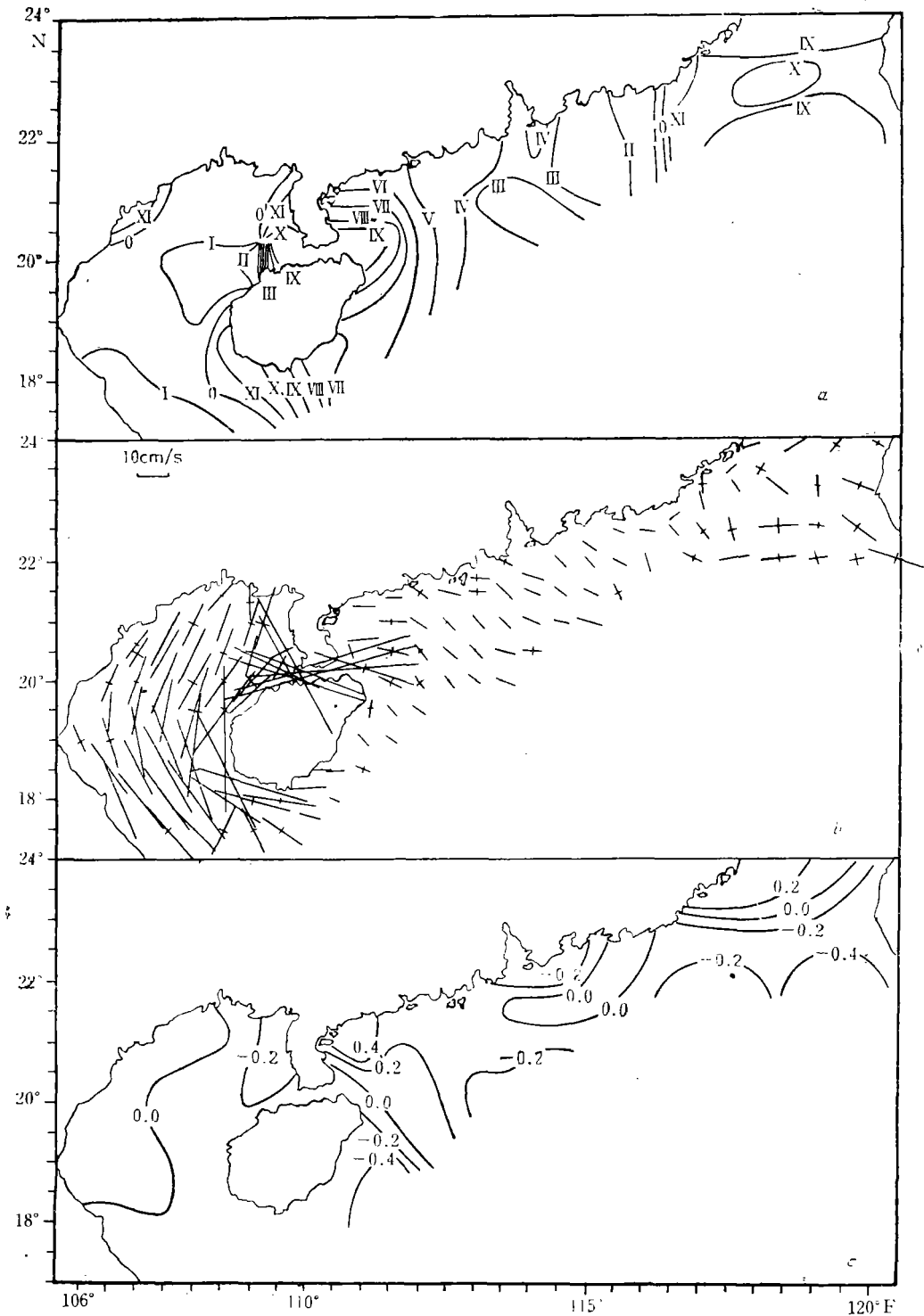


图5 K_1 分潮流

- a. 最大潮流同时线的分布;
- b. 椭圆长、短轴的分布;
- c. 椭圆率和流矢旋转方向的分布。

看到,湾口右岸的潮差比左岸大,无潮点偏向左边,说明湾口受前进波的影响较显著,而湾内 K_1 分潮波属于驻波性质。南海西北部陆架海区 K_1 分潮传播情况亦可由图 3 明显看出。

三、主要分潮流的分布规律

本文着重研究了广东沿岸、北部湾、泰国湾等区域主要分潮流的分布规律。

1. M_2 分潮流

由图 4 可以看出,从台湾海峡到南海岛南部,潮流的位相大约推迟了 6 个小时。潮流的流向与地形密切相关。碣石湾以东的沿岸区域椭圆长轴方向与岸边平行,以西海区,长轴方向为 NW-SE 向。在海南岛东部其方向为 S-N 向与岸向趋势基本一致。在上川岛以东潮流椭圆为右旋,以西直到广州湾、海南岛东部为左旋。

北部湾和泰国湾 M_2 分潮流的明显特点是,最大流速的同潮流时线都存在着两个圆流点,且都位于半日分潮波的腹部,一个在湾口,另一个在湾的北部。在圆流点附近,最大流速发生时刻按逆时针方向增加。而其它海区,几乎是同一时刻发生最大流速。如北部湾西北广大海域于月中天后 3—4 时发生最大流,泰国湾顶端于月中天后 2—3 时发生最大流,其涨潮流都指向湾内。潮流在圆流点及其附近有明显的右旋现象。在湾内潮流椭圆的长轴与岸向基本一致。琼州海峡为往复流。

2. K_1 分潮流

由图 5 可以看出,从台湾海峡到海南岛南部, K_1 分潮流大约推迟了一个潮周期。在这个区域 K_1 分潮流的长轴方向以及潮位旋转方向都与 M_2 分潮流相近。

K_1 分潮流在北部湾和泰国湾也各有一个圆流点,前者在琼州海峡的西口外,后者则在湾口,都位于潮波的腹部。在圆流点附近最大流速发生时刻按逆时针方向增加,潮流是右旋的。北部湾除圆流点外,湾的西部区域,潮流大都是左旋的,最大流速发生时刻多在 K_1 假想天体中天天后 1—2 时。泰国湾其它地区潮流大都属往复流,最大流速多发生在 K_1 假想天体中天天后 5 时左右。

四、潮汐性质和潮流性质

南海潮汐、潮流性质复杂,4 种类型潮都有,但以全日周期性质为主。

1. 潮汐性质

从图 6 可以看出,广东沿岸海区,海门湾以东、台湾海峡的北部为正规半日潮,向南为不规则半日潮。在海门湾与碣石湾之间向南伸展一舌形海区属正规全日潮,周围为不正规全日潮。大亚湾以西至琼州海峡东部沿岸一带为不规则的半日潮。海南岛铜鼓角以南为不规则日潮。

北部湾的全日潮波节处于湾口,故湾内的全日潮非常显著,而半日潮则较弱。因此,北部湾的潮汐以全日潮为主,其北部为规则全日潮,南部为不规则全日潮。吉婆岛附近为半日潮的波节带,故全日潮性质特别显著。在全日潮无潮点顺化附近,为规则半日潮,其周围为不规则半日潮。琼州海峡西半部为规则全日潮,东半部为不规则全日潮。

泰国湾的宋卡附近正处于全日潮波的波节、半日潮波的波腹处,因此,具有正规半日

潮性质,其周围为不正规半日潮和全日潮,在泰国湾的其它区域为正规的全日潮。

南海东部广大深水区域的潮汐为不规则的全日潮。在马来半岛的东面,湄公河口以及加里曼丹岛古晋附近为不规则的半日潮,因为此处是半日分潮的波腹,在湄公河口和古晋连线的中央区域为正规的全日潮。

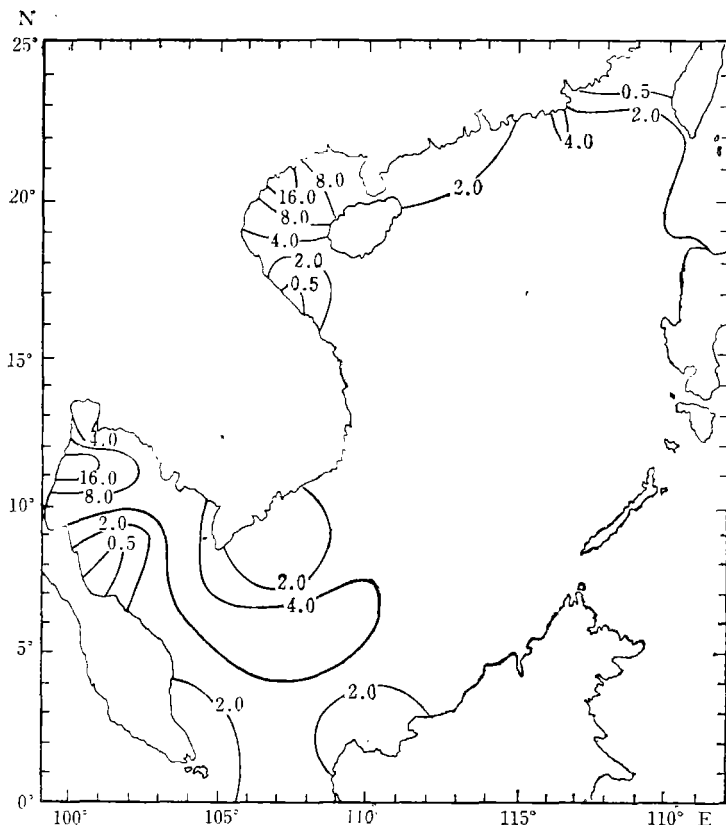


图 6 潮汐性质分布图

2. 潮流性质

从图 7 可以看出,海门湾以西,直到广州湾一带为不正规的半日潮流。

北部湾的潮流亦以全日潮流为主,湾的南部为规则全日潮流,其中顺化附近正处在全日潮波的无潮点和半日潮波波腹处,故全日潮流最为显著。海防正处在半日潮的波节带,为不规则的全日潮流,琼州海峡为规则全日潮流。

泰国湾的潮流亦以全日潮流为主,除湾的顶端为不规则的半日潮流外,其余各地全为正规的全日潮流。

本海区东南广大深水区域的潮流,北部为不规则的半日潮流,南部为不规则的全日潮流。马来半岛东面以及马来亚和加里曼丹之间水域属于不规则的半日潮流。

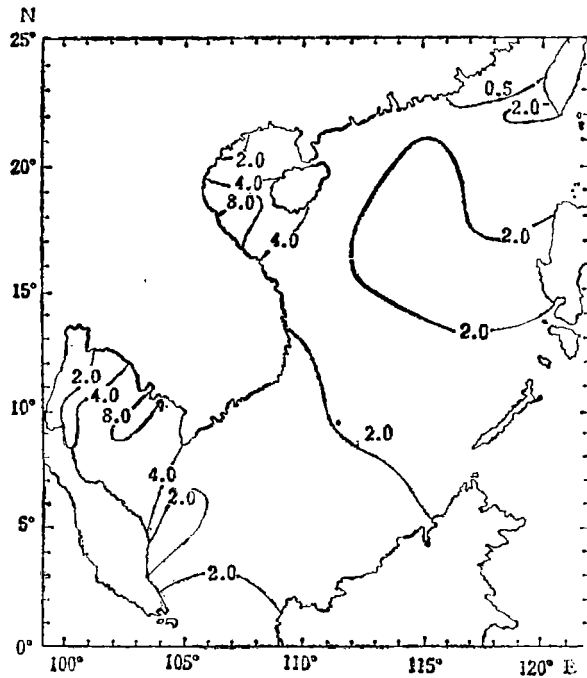


图7 潮流性质分布图

五、近最大变差和近最大潮流

近最大变差和近最大潮流的分布与地形、水深及潮波的分布有着密切的关系。由图 8, 9 可以看出, 北部湾海防附近, 变差最大, 湄公河口、古晋附近以及台湾海峡北部次之, 赤道以及越南顺化附近、泰国湾中部最小。而近最大潮流, 在琼州海峡中部为最强, 在泰国湾的金瓯角以及海南岛感城附近次之, 东部广大深水区域最小。下面再分区探讨其分布特征。

广东沿岸海区 在东山岛以北的台湾海峡北部、广州湾顶端, 近最大变差可达 4m 以上。在海门湾至红海湾之间、海南岛东南沿岸以及广东外海, 变差均不超过 2m。而近最大潮流在海门湾以北达 1kn, 碣石湾以西、大亚湾以东以及广东外海则不超过 0.6kn。

北部湾 以日潮为主, 近最大变差主要取决于全日分潮的振幅, 故其等值线几乎与 K_1 分潮的等值线平行。北海附近正处在全日分潮的腹部, 变差可达 6m 以上。顺化附近为 K_1 分潮的无潮点, 变差最小, 不超过 1m。琼州海峡的变差自西向东由 4m 递减至 2.5m。近最大潮流的分布以琼州海峡为最大, 并有由西向东增加的趋势, 最大达 3.5kn 以上。其次是感城附近, 达 2.5kn 以上。海湾的西部湄岛附近以及北部的北海附近最弱, 近最大潮流不到 1kn。

泰国湾 近最大变差以湾顶为最大, 可达 4m, 湾口为 2m, 中部因存在着 K_1 和 M_2 分潮的无潮点, 故其变差最小, 约 1m。近最大潮流则以湾口的右侧为最大, 可达 3kn。由湾口向湾顶逐渐减小, 至湾顶附近约为 0.4kn, 而湾口的左侧最小, 约小于 0.4kn。

东部深水盆地 近最大变差多在 1.5—2m 左右, 近最大潮流 0.1kn 左右。

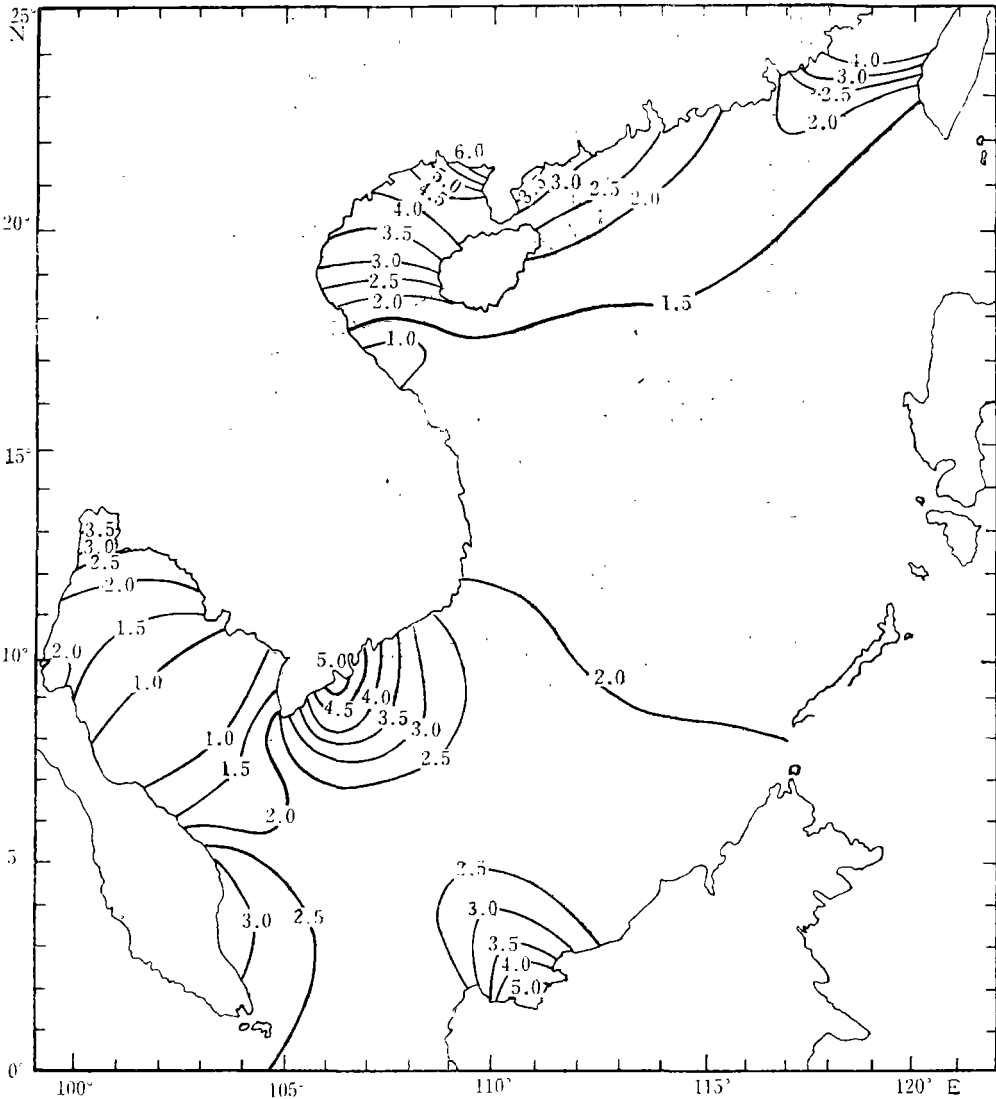


图 8 近最大变差分布图

南海西南部区域 近最大变差以湄公河口和古晋附近为最大,可达 5m 以上,马来半岛的东部约为 3m,向北逐渐减少。而此处的近最大潮流,以越南和加里曼丹岛连线处最大,约接近 1kn,其它地区均小于 0.4kn。

六、结 语

1. 太平洋的潮波经过巴士海峡进入南海,在深海区域是以前进波的形式自北向南传播的,到了陆架海区,受海岸和海底地形的影响,在广东近海、北部湾、越南南部、泰国湾、马来亚附近海区,形成了驻波。

2. 南海无潮点的个数和分布位置,各个学者有着不同的看法。M₂分潮的无潮点,美

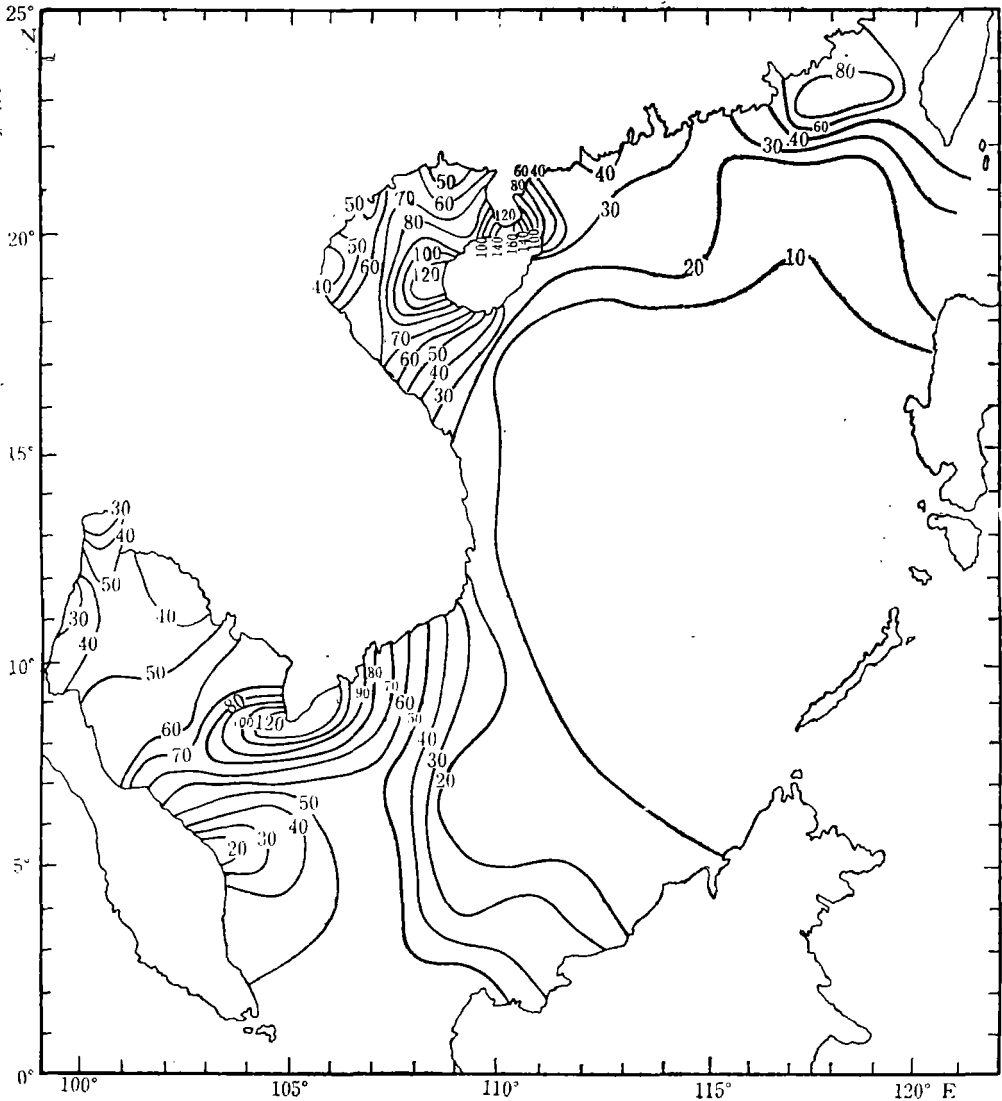


图 9 近最大潮流分布图

国海军海洋局¹⁾认为在新加坡的东北部形成一个顺时针旋转的无潮点。俞慕耕^[2]认为在新加坡的东北部和泰国湾中部存在两个反时针旋转的无潮点。而本文作者则认为，在泰国湾的东部形成一个顺时针旋转的无潮点，这与叶安乐^[3]得到的结果相一致。K₁分潮的无潮点各个学者都一致认为，在北部湾通化附近和泰国湾西部各形成两个反时针旋转的无潮点，但本文作者则认为北部湾的无潮点已经退化了。

3. 南海海区潮流分布规律，目前尚未见到有关文献，本文估算了整个南海海区潮流调和常数，较详细地讨论了广东沿岸、北部湾、泰国湾主要分潮流的分布规律，认为 M₂分潮

1) 见 p. 468 脚注。

流在北部湾和泰国湾最大流速的同潮流时线都存在着两个圆流点,且都位于半日分潮波的腹部,一个在湾口,另一个在海湾的北部,在圆流点附近最大流速发生时刻按逆时针方向增加。而其它区域几乎是同一时刻发生最大流速。 K_1 分潮流在北部湾琼州海峡西口外和泰国湾湾口也各有一个圆流点。近最大变差以北部湾海防附近最大,可达 6m 以上;赤道、越南顺化附近以及泰国湾中部变差最小,只有 1m 左右,近最大潮流在琼州海峡中部为最强,可达 3kn 以上,广大的东部深水区域最小,仅有 0.1kn。

参 考 文 献

- [1] 丁文兰, 1980. 东海潮汐和潮流特征的研究. 海洋科学集刊 21:135—148.
 [2] 俞慕耕, 1984. 南海潮汐特征的初步探讨. 海洋学报 6(3):293—300.
 [3] Ye A. L. and I. S. Robinson, 1983. Tidal dynamics in the South China Sea. *Geophys. Jour. Royal Astron. Soc.* 72(3): 691—707.
 [4] Данг Конг Минь, 1975. Распространения приливных волн и приливные колебания уровня южно-китайского моря. *Океанология*, вып.4.

DISTRIBUTION OF TIDES AND TIDAL CURRENTS IN THE SOUTH CHINA SEA*

Ding Wenlan

(Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao)

ABSTRACT

The method discussed in the present paper is the same as that used in the studies for the East China Sea. In view of the lack of observed current data in the deep region of the South China Sea, a method for predicting the tidal currents from cotidal charts is adopted. The analysis shows: (1) In the deep region the tidal waves propagate from north to south, whereas in the shelf region they may become standing waves. The M_2 tide has a clockwise amphidromic point in the eastern part of the Gulf of Thailand. The K_1 tide has two anticlockwise amphidromic points located in the neighborhood of Hue in Beibu Bay and in the western part of the Gulf of Thailand. (2) The M_2 tidal current has two current-amphidromic points in Beibu Bay and the Gulf of Thailand with co-phase lines rotating anticlockwise. For the rest of the area the maximum velocity of the M_2 currents appear almost simultaneously. The K_1 tidal current has also two current-amphidromic points in both gulfs. (3) The largest variational range of tide exceeds 6 m near Haiphong in the Beibu Bay and reduces to about 1 m in the regions near the equator, Hue, and in the central part of the Gulf of Thailand. The strongest tidal current (up to 3 kn) appears in the central part of the Quangzhou channel. However, for the deep region, the tidal current is below 0.1 kn.

* Contribution No. 1144 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.