

# 南沙及其西南海域的潮波系统\*

曹德明 方国洪 黄企洲<sup>†</sup> 于克俊 王新怡

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

<sup>†</sup>(中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301)

**提要** 不同研究者所给出的南沙及其西南海域的同潮图历来有很大差别。为了给出更准确的同潮图, 本文采用沿岸和岛屿 200 多个验潮站的调和常数给出了  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$  和  $O_1$  四个主要分潮的同潮图, 同时还探讨了这些分潮之间的关系。研究表明,  $M_2$  和  $S_2$  在泰国湾的潮波系统很相似, 但在卡里马塔海峡和爪哇海差别相当大。 $M_2$  潮波基本上属于驻波性质, 而  $S_2$  潮波则具有向西传播特征。在某些区域, 如望加锡海峡的部分区域,  $S_2$  的振幅可以超过  $M_2$ 。泰国湾中  $K_1$  和  $O_1$  的潮波系统也相类似。在卡里马塔海峡, 这两个潮波都向南传播, 但在爪哇海,  $O_1$  潮波继续向东传播而  $K_1$  潮波则倒过来向西传播。

**关键词** 南沙海区 南沙西南邻近海域 潮波系统

60 年代以来, 许多作者对南海潮波系统作了研究(郑文振等, 1964<sup>1)</sup>; 丁文兰, 1986; Сергеев, 1964; Нгуен, 1969; Данг, 1975)。Богданов (1963) 的研究范围则更大些。方国洪(1986)利用沿岸实测潮汐常数, 并结合数值计算的结果将这工作更推进了一步。近年来, Ye 等(1983)、沈育疆等(1985)、方国洪等(1994)都对南海进行了潮汐数值模拟。这些工作所得的结果, 全日潮潮波系统的基本结构比较一致, 半日潮波系统在南海北部差别也不很大。但是在巽他陆架上, 半日潮波的分布十分复杂, 各个作者所给结果有很大差异, 无潮点的个数和位置也各不相同。为了进一步了解该海区的潮波分布, 我们采用更丰富的资料, 对南沙及其西南海域的潮波系统作进一步的研究, 其目的是试图更好了解南沙海区潮波与周围海区潮波之间的关系。

## 1 研究海区地形和资料来源

研究的范围为  $9^{\circ} \text{S} - 10^{\circ} \text{N}$ ,  $99^{\circ} \text{E} - 121^{\circ} \text{E}$  (图 1), 包括了南海南部的南沙群岛水域及泰国湾, 爪哇海等东南亚陆架海区。本研究主要采用英国海军部潮汐表(The Hydrographer of the Navy, 1969)上刊登的  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$  和  $O_1$  分潮的调和常数和本项目实测获得的南沙群岛 6 个测点的调和常数。根据资料的可靠性和区域代表性的原则挑选了 200 余个站。对于英国潮汐表的资料, 已剔除了所有推测值, 对于只根据 1—2d 算得的调和常数也作为参考使用。故这 200 多个站的数据一般是由半个月以上观测得出

\* 国家重点专项研究资助项目, 85-927-05-02 号。曹德明, 女, 出生于 1942 年 5 月, 副研究员。

1) 郑文振等, 1964, 中国近海的潮波系统。全国海洋综合调查报告, 第五册, 第七章。

收稿日期: 1995 年 10 月 9 日, 接受日期: 1996 年 5 月 2 日。

的, 比较可靠。这些站分布在研究海域沿岸和众多岛屿上, 调和常数的迟角按照我国通用的东 8 时换算并绘制成  $M_2$ 、 $S_2$ 、 $K_1$  和  $O_1$  的同潮图(图 2)。

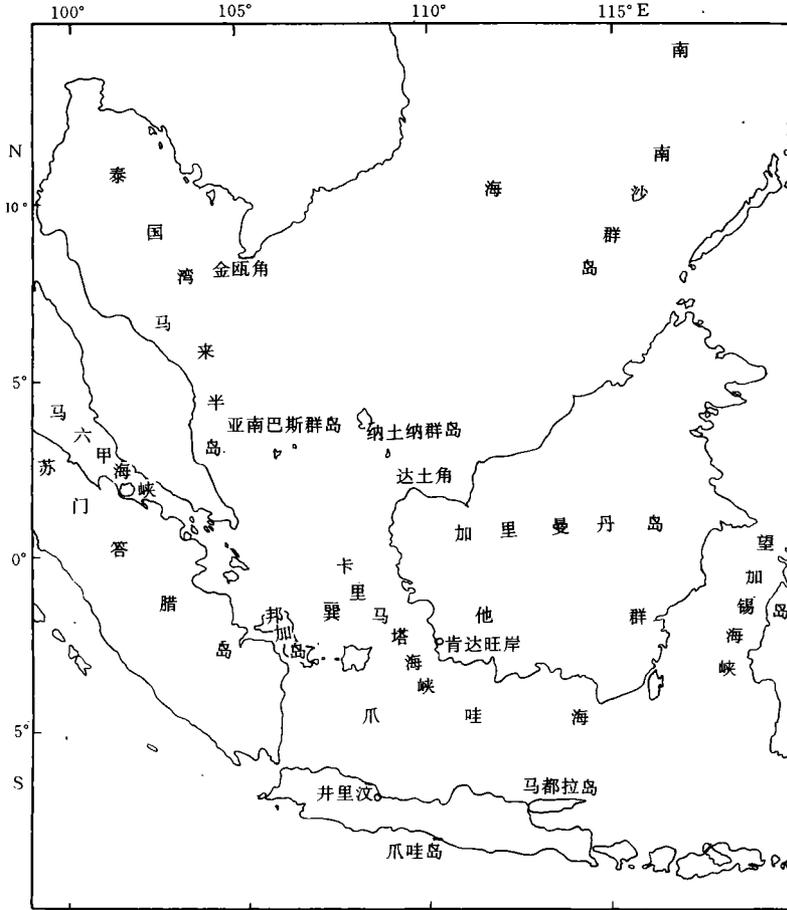


图 1 研究海区地形图

Fig.1 Topography of the study area

## 2 潮波的传播

在南沙海域和西南陆架(或巽他陆架)东北部, 即从金瓯角-纳土纳群岛-达土角线的东北方, 半日潮波和全日潮波都是从东北向西南传播的。这表明, 从吕宋海峡进入的潮波控制了南海的大部海区。且潮波从深海进入陆架前后, 传播的速度显著减慢, 同潮时线由稀变密。潮波通过金瓯-纳土纳-达土连线之后, 其结构变得复杂起来。两个全日潮波  $O_1$  和  $K_1$  以及两个半日潮波  $M_2$  和  $S_2$  的结构分别基本上相似, 而全日潮和半日潮之间则差别很大。

**2.1 全日潮波** 结构相对地比较简单。在泰国湾, 入射波东岸强西岸弱, 而反射波东岸弱西岸强。合成结果构成了一个逆时针传播的旋转潮波系统, 在湾中存在一个无潮点。

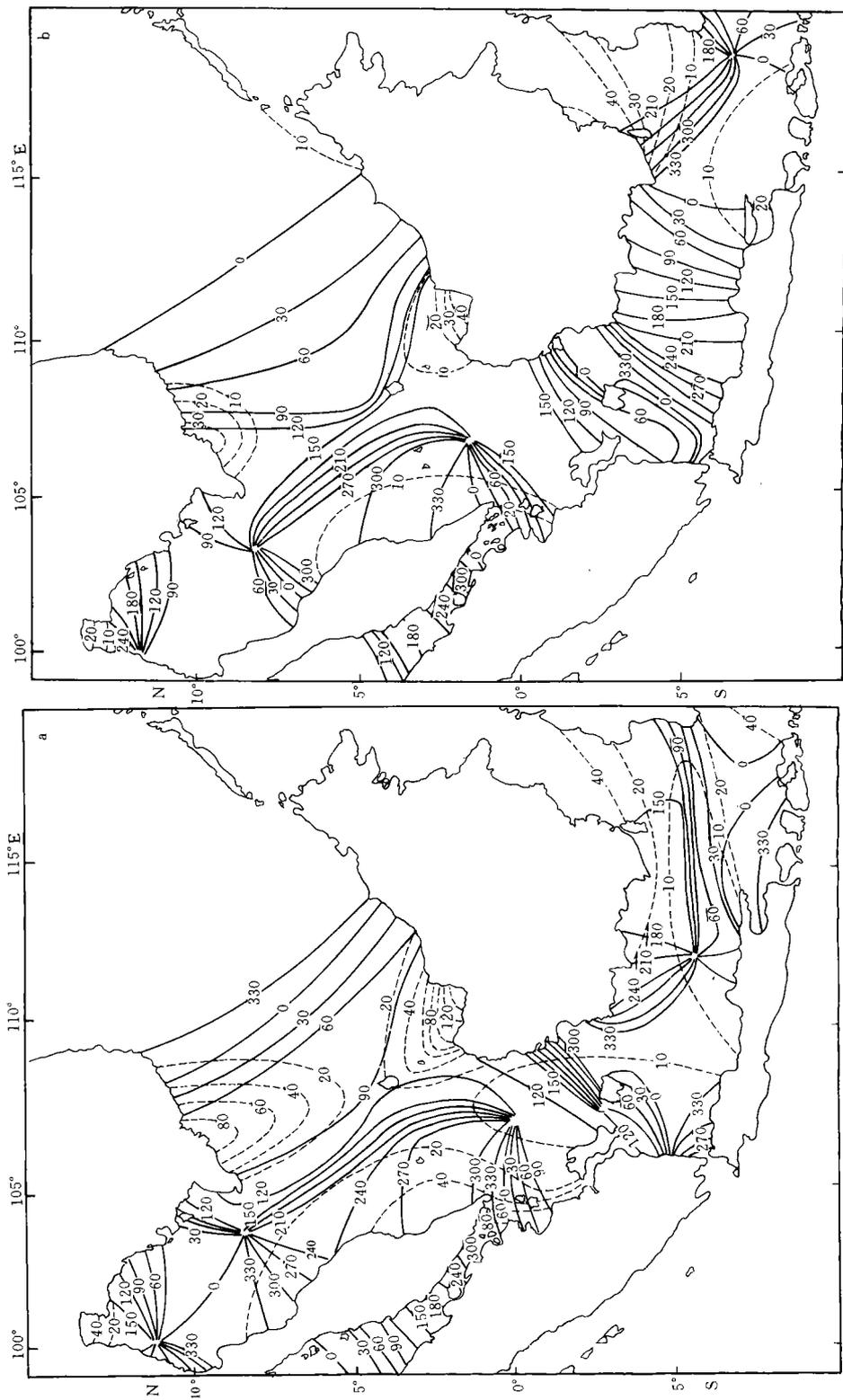


图 2 ab  
Fig. 2 ab

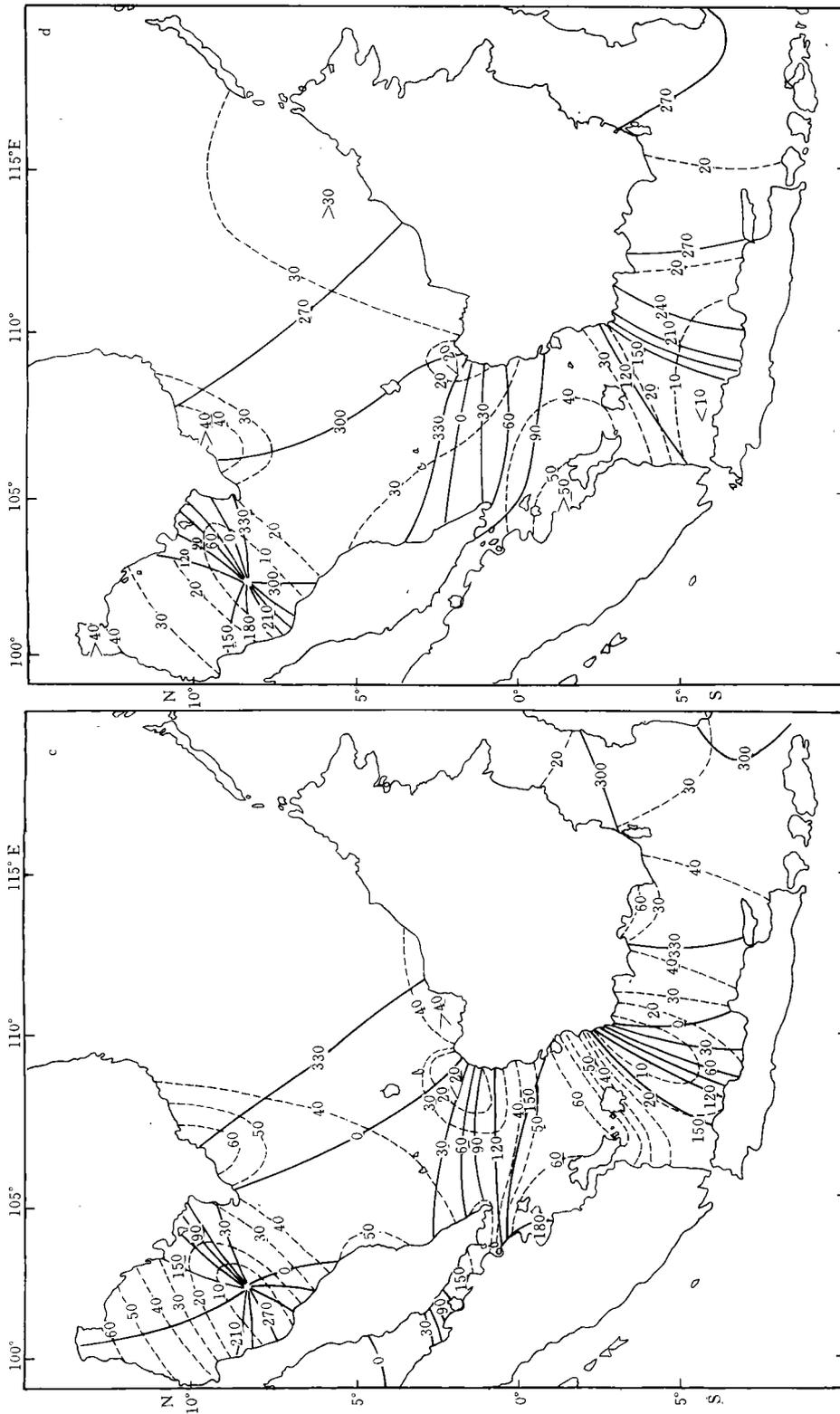


图2 4个分潮振幅(cm)和迟角(deg, 东8时区)分布图

Fig.2 Cotidal charts of the principal constituents

a.  $M_2$  分潮; b.  $S_2$  分潮; c.  $K_1$  分潮; d.  $O_1$  分潮. ----- 分潮振幅; —— 迟角

在亚南巴斯群岛(约  $30^{\circ}\text{N}$ )以南全日潮受两支不同来源的潮波支配,一支从南海传入,另一支从爪哇海传入。由于能量受摩擦作用而消耗,两支潮波都在向前传播过程中振幅逐渐减弱,位相逐渐滞后。其结果是形成若干个波腹、波节相间的结构。首先在达土角西北方是一个波节。从这里向南,  $O_1$  和  $K_1$  均以南向波为主,潮时都从北向南增加。在邦加岛附近,两支传播方向相反的潮波位相相近,形成一个波腹区。在这个区域潮波振幅较大,潮时随地点变化不大。而在从加里曼丹岛西南角(肯达旺岸附近)到爪哇岛井里汶一带,两波位相大约相反,形成一个波节区。这里潮差小而同潮时线密集。但值得注意的是,在这个区域  $K_1$  和  $O_1$  的同潮时线变化趋势是相反的。 $K_1$  潮时自东向西增加,而  $O_1$  潮时则自西向东增加。这说明在这里,对  $K_1$  分潮而言,从南海南下的潮波已经比从爪哇海西进的潮波来得弱;而对  $O_1$  分潮,情况相反。在爪哇海东部,即马都拉岛以北海区,全日潮又是一个波腹区。这个波腹区和前一个波腹区的不同之处是两个全日潮振幅比  $O_1/K_1$ , 在这里要小得多。这个特征和加里曼丹西南角外海  $K_1$  和  $O_1$  同潮时线变化趋势相反现象都说明,从太平洋进入爪哇海的全日潮,  $K_1$  要比  $O_1$  相对地来得强。

$K_1$  和  $O_1$  在马六甲海峡的分布情况也有明显差别。在那里,  $K_1$  同潮时线由西北向东南推迟,而  $O_1$  则基本上无此特征。这说明,从印度洋进入马六甲海峡的全日潮也是  $K_1$  比  $O_1$  强盛。

**2.2 半日潮波** 波长只有全日潮的一半,故潮波的结构要比全日潮复杂得多。在泰国湾  $M_2$  和  $S_2$  都有两个旋转潮波系统。北边的一个按逆时针方向旋转,符合北半球旋转潮波的一般规律,但南边的一个却按顺时针方向旋转,与北半球一般规律相反。这种情况的发生可能与向西南传播的潮波在进入泰国湾时发生顺时针方向转向及泰国湾纬度低、科氏力小有关,见钱成春等(1994)的数值实验。

由于西南(巽他)陆架上半日潮波结构十分复杂,现有的资料还不足以充分反映其细节结构,甚至有的无潮点是否存在,具体位置如何均不能确定。故图 2a、图 2b 给出的  $M_2$  和  $S_2$  在陆架上的分布图是很初步的,还有很多值得核实之处。

总的来看,自亚南巴斯群岛以南至爪哇海,  $M_2$  和  $S_2$  潮波主要也是由一支自南海传入和一支自爪哇海东口传入的波叠加而成。从图 2a 和图 2b 可以看到,在这一海区  $M_2$  和  $S_2$  的分布有很大差异。从图 2a 中  $M_2$  同潮时线分布可以看出,两支相反传播潮波的强度大约相当,形成若干个显著的波腹和波节区。而图 2b 中  $S_2$  潮波有较强的自东向西传播倾向,可见向西和西北传播的  $S_2$  潮波要比向东南和东方向传播的波来得强。造成前者较强的原因在于望加锡海峡中  $S_2$  潮汐相当强,差不多与  $M_2$  一样大,而南海中  $S_2$  还不到  $M_2$  的一半。

### 3 无潮点的存在性和位置

在南海西南(巽他)陆架上潮波结构非常复杂,不同文献给出的同潮图差别甚大。我们将各文献在  $1^{\circ}\text{S}$  以北区域内(即卡里马塔海峡和爪哇海不包括在内)给出的  $M_2$  和  $K_1$  无潮点作一比较,列于表 1。

表 1 列出的只包括赤道( $0^{\circ}$ )以北的南沙及其西南海域的无潮点,不包括赤道以南海域。在这个区域内,各作者都只给出一个  $K_1$  无潮点,均位于泰国湾内,且位置差别大

表1 南沙西南海域  $M_2$  和  $K_1$  无潮点位置比较Tab. 1 Comparison of the  $M_2$  and  $K_1$  amphidromic points in the Nansha southwest adjacent waters

作者	无潮点					
	$M_2$					$K_1$
	A	B	C	D	E	F
Богданов (1963)	11°25' N 100°15' E	5°10' N 105°10' E	无	无	0°00' N 105°30' E	9°00' N 102°00' E
Сергеев (1964)	10°47' N 100°51' E	7°30' N <sup>1)</sup> 104°03' E	无	无	0°16' S 106°33' E	8°16' N 101°54' E
Нгуен (1969)	11°10' N 101°00' E	8°30' N 104°00' E	无	2°40' N 107°07' E	—	7°50' N 102°00' E
Данг (1975)	11°22' N 100°40' E	6°00' N 104°40' E	无	2°30' N 107°50' E	—	8°40' N 101°10' E
Sager (1975) <sup>2)</sup>	10°05' N 101°05' E	无	无	1°00' N 105°30' E	—	9°00' N 102°00' E
Ye Anle (1983)	9°19' N 99°58' E	8°27' N 104°07' E	无	无	—	8°18' N 101°19' E
俞慕耕(1984) <sup>2)</sup>	10°00' N 101°04' E	无	2°18' N 106°16' E	无	无	8°28' N 101°53' E
沈育疆等 (1985)	11°12' N 100°30' E	7°36' N 105°00' E	无	无	2°30' N 106°36' E	8°37' N 102°03' E
Fang (1986) <sup>2)</sup>	11°15' N 100°00' E	9°10' N 103°25' E	无	无	0°30' N 107°00' E	8°15' N 102°00' E
方国洪等(1994) <sup>2)</sup>	11°00' N 99°30' E	8°30' N 103°30' E	4°30' N 106°15' E	2°30' N 106°30' E	—	8°15' N 102°10' E
本文	11°10' N 99°40' E	8°25' N 103°30' E	无	无	0°00' N 107°00' E	8°18' N 102°12' E

注:“无”表示在该论文没有画出该无潮点;“—”表示该无潮点位置已超出该论文研究海区的范围;1)此纬度值系本文作者从该论文同潮图中量取,原文误为35°N;2)该论文未列出无潮点经纬度数值,本表数值系本文作者从该文同潮图读取。

都不超过  $1^\circ$ ，可以说是比较一致的。相对来说， $M_2$  分布的差异则十分显著，不但无潮点位置不同，其个数也不大一样。在所有这些  $M_2$  无潮点中，表 1 中所标的 A 点是各作者看法最一致的。但是即使如此，差别仍不小。从英国潮汐表我们只找到该无潮点附近四处有调和常数，见表 2。可以看出，从万伦到巴蜀迟角增加了  $170^\circ$ ，且巴蜀振幅达最小，仅 6cm。这些数据表明，无潮点应在万伦与巴蜀之间且接近巴蜀。故本文将该无潮点定在  $11^\circ 10' N, 99^\circ 40' E$ ，与 Fang(1986) 和方国洪等(1994) 很接近。Ye 等(1983) 给出的无潮点已很靠近万伦，显然太偏南。从巴蜀小的振幅可知，这个无潮点是紧靠泰国湾西北岸的，故 Сергеев, Данг, Sager 和俞慕耕所画的无潮点均太偏东。而且这个无潮点有可能是退化了的，详见方国洪(1986) 的分析。泰国湾的第二个  $M_2$  无潮点(表 1 中 B) 差别就更大一些。Sager(1975) 和俞慕耕(1984) 的图 3 中没有这个无潮点，Богданов(1963), Данг(1975), Сергеев(1964) 和沈育疆(1985) 将这个无潮点画在泰国湾外。从越南和柬埔寨西南岸验潮资料及 Ye 等(1983) 和方国洪(1994) 数值计算结果看，这个无潮点存在且位于泰国湾内的可能性较大。有关泰国湾内  $M_2$  无潮点的存在性和位置，方国洪(1986)<sup>1)</sup> 曾有过详细讨论。从赤道至北纬  $5^\circ$  区域内，以往的研究者都画出一个无潮点，但其位置差别甚大，且旋转方向也不一致。方国洪等(1994) 数值计算结果则多给出一对无潮点。这一对无潮点正好位于无观测资料区，现有资料不能提供证据证实或否定其存在性。我们在本文中亦未画出这对无潮点，这仅仅是由于目前我们对其存在性无把握，并非否定以前计算结果。在这一区域进行一些水位观测对确定潮波结构是十分有意义的。

表 2 泰国湾西北沿岸站  $M_2$  潮汐调和常数

Tab.2 Tidal harmonic constants on the northwest shore of the Gulf of Thailand

地 名 经纬度	曼 谷 沙 洲 13°28' N, 100°35' E	巴 蜀 11°48' N, 99°49' E	Jl 伦 9°13' N, 99°25' E	宋 卡 7°13' N, 100°36' E
$g(^{\circ})$	170	168	358	321
$H(\text{cm})$	55	6	18	23

#### 4 潮汐特征值的分布

根据  $M_2$ 、 $S_2$ 、 $K_1$  和  $O_1$  分潮的潮汐调和常数，我们还计算了 4 个主要分潮的振幅和  $H_{M_2} + H_{S_2} + H_{K_1} + H_{O_1}$ ，潮汐性质比  $(H_{K_1} + H_{O_1}) / (H_{M_2} + H_{S_2})$  和主要分潮振幅比  $H_{M_2} / H_{S_2}$ 、 $H_{O_1} / H_{K_1}$ ，并绘制成图 3 和图 4。

$H_{M_2} + H_{S_2} + H_{K_1} + H_{O_1}$  的数值大致反映了海面波动最大上升或下降的大小。从图 3a 可见，本研究海区该数值为 0.4—3.0m，最小值出现在爪哇海西南，等于 38cm，最高值在加里曼丹岛西北的达土湾，为 297cm。广大南沙群岛海域均不超过 1m。泰国湾、爪哇海西部也各有一个小于 50cm 的低值区。

为了了解潮汐类型，俄罗斯和我国海洋界习惯于采用  $(H_{K_1} + H_{O_1}) / (H_{M_2})$  比值来划分类型；而西方国家习惯于采用  $(H_{K_1} + H_{O_1}) / (H_{M_2} + H_{S_2})$  比值。对于中国近海绝大部分海区，两种方法都是可行的。但对于世界上个别海区前一比值可能失去代表性。例如离

1) 方国洪, 1986, 第一届潮汐与海平面学术讨论会论文集, 国家海洋局情报研究所(天津), 12—20 页。

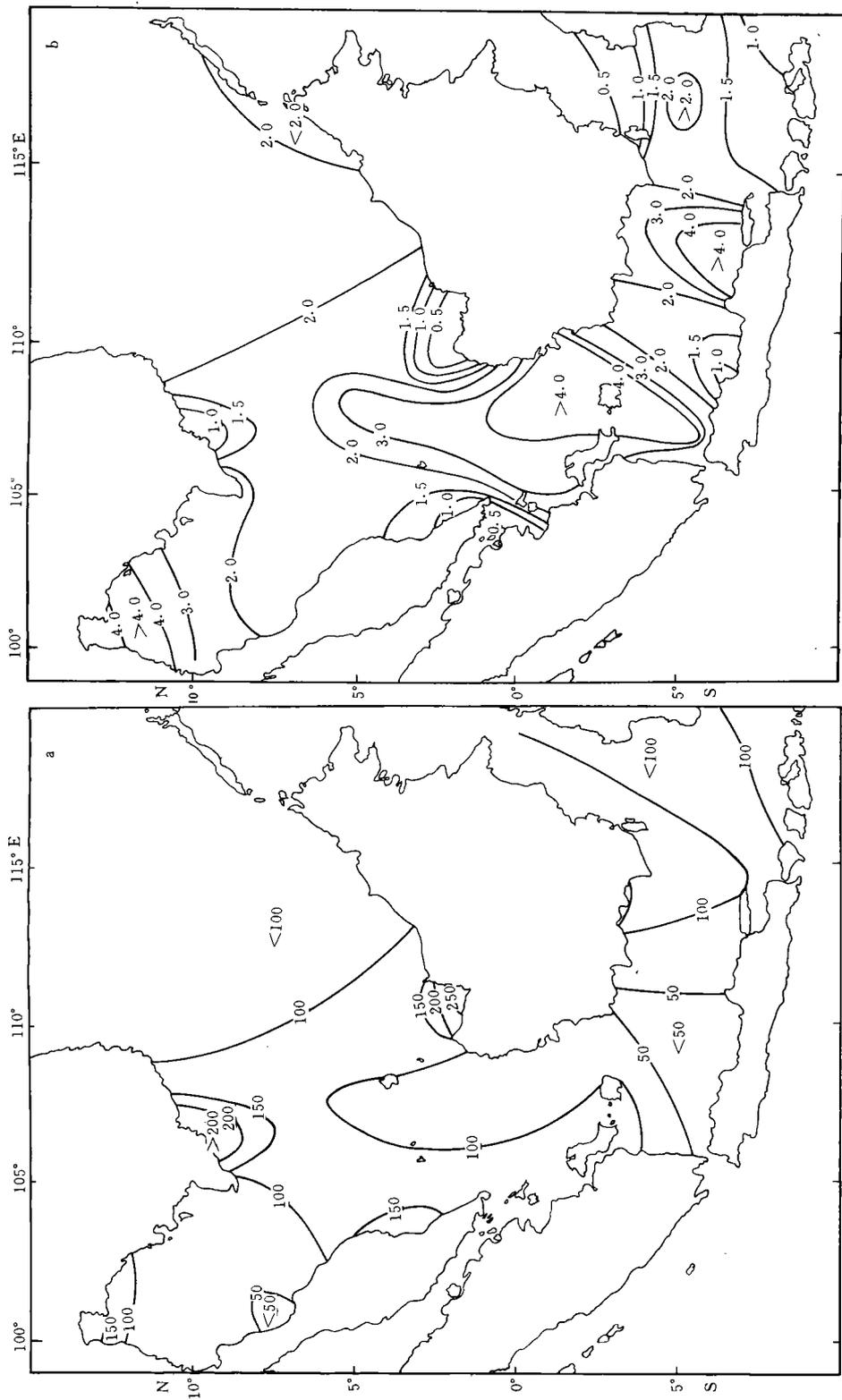


图3 4个主要分潮振幅(cm)和  $H_{M_2} + H_{S_2} + H_{K_1} + H_{O_1}$  及潮汐性质比  $(H_{K_1} + H_{O_1}) / (H_{M_2} + H_{S_2})$  分布图

Fig.3 Distributions of the sum of amplitudes of the principal constituents,  $H_{M_2} + H_{S_2} + H_{K_1} + H_{O_1}$  (cm) and of the tidal type ratio,  $(H_{K_1} + H_{O_1}) / (H_{M_2} + H_{S_2})$

a. 主要分潮振幅和; b. 潮汐性质比

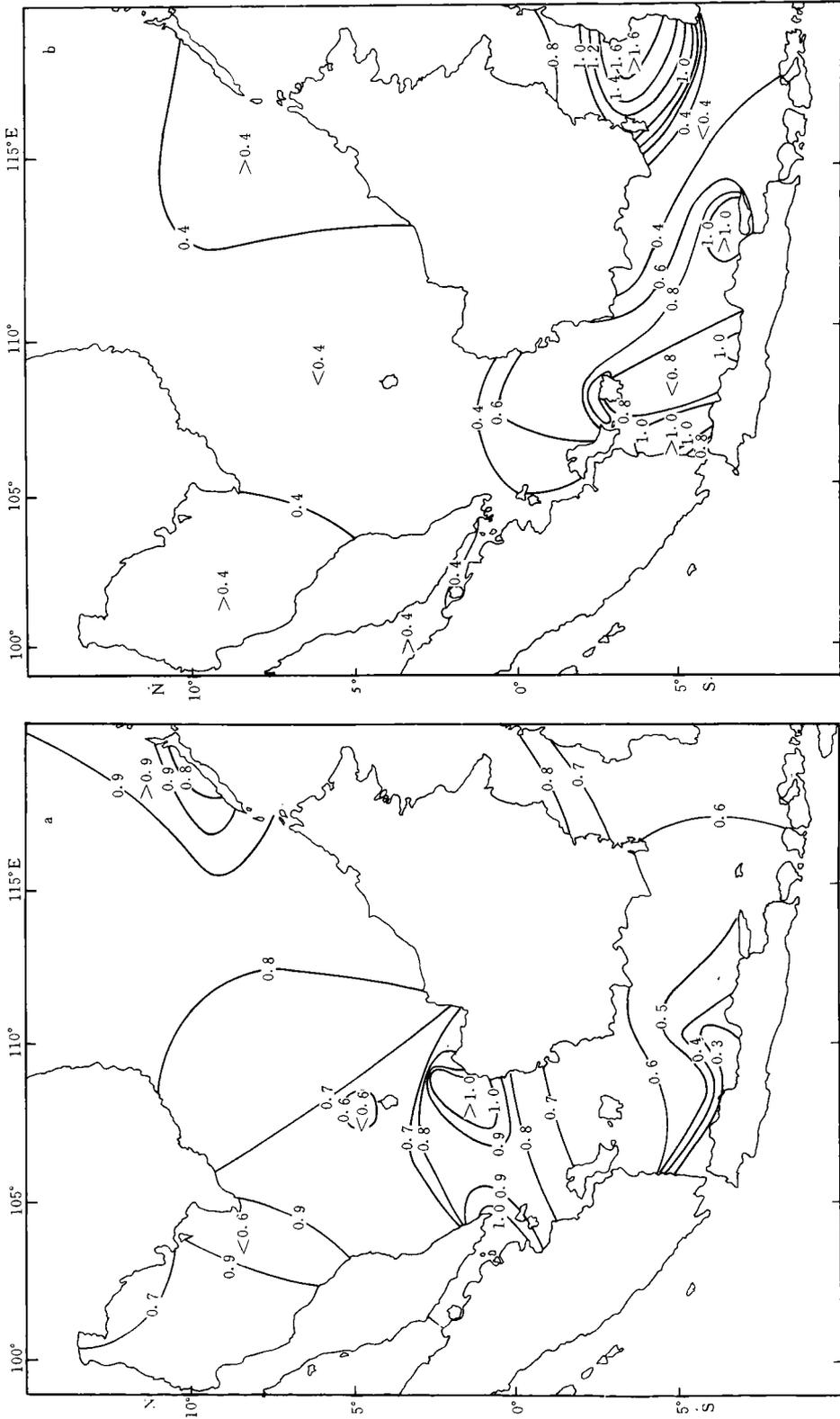


图 4 主要潮汐分潮振幅比分布图 (a.  $H_{O_1}/H_{K_1}$ ; b.  $H_{S_2}/H_{M_2}$ )  
 Fig.4 Distributions of the ratios of the principal constituents

爪哇海不大远的珊瑚海,  $H_{S_2}$  就比  $H_{M_2}$  大, 故仅用  $M_2$  代表半日潮就不大理想。对于本海区, 也有个别地点  $H_{S_2}$  比  $H_{M_2}$  大,  $M_2$  无潮点附近更是如此。再如望加锡海峡整个区域的  $H_{S_2}$  就与  $H_{M_2}$  差不多大小。因此本文用后一比值来表示潮汐类型。按照此种划分法本海区大多为全日潮 ( $>3.0$ ) 或不规则全日潮 ( $>1.5, \leq 3.0$ ), 见图 3b。

Fang(1986, 表 1) 曾给出中国沿海各海区的  $H_{O_1}/H_{K_1}$ ,  $H_{S_2}/H_{M_2}$ 。一般而言, 这个比值符合引潮力的关系, 即  $H_{K_1} > H_{O_1}$ ,  $H_{M_2} > H_{S_2}$ 。但也有例外, 如北部湾的  $O_1$  分潮就比  $K_1$  分潮大。就本研究海区而言, 大部分海区  $H_{K_1}$  大于  $H_{O_1}$ , 只有加里曼岛西北角的个别地区  $H_{O_1}$  略大于  $H_{K_1}$  (图 4a)。 $H_{S_2}/H_{M_2}$  的比值大都在 0.4 左右, 但在爪哇海的大部分地区这个比值较大。在爪哇海与望加锡海峡之间更有一相当范围  $H_{S_2}$  超出了  $H_{M_2}$ , 甚至可高出一半以上(参看图 4b)。

## 5 结语

本文在搜集大量沿岸和岛屿验潮站调和常数的基础上给出了南沙海域及其西南邻近海域的  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$  和  $O_1$  的同潮图, 探讨了它们之间的关系。结果表明, 本海区半日分潮结构十分复杂, 特别从现有资料尚不能很好确定纳土纳群岛西南半日潮无潮点的数目和位置, 同时在爪哇海  $S_2$  和  $M_2$  的结构差异亦甚显著。全日分潮结构比半日潮简单, 只在泰国湾有一个无潮点。研究还表明, 由于本海区潮波结构十分复杂, 在一些海区, 潮波的分布尚有较大不确定性, 有待进一步的观测和数值计算予以精确化。

## 参 考 文 献

- 方国洪、曹德明、黄企洲, 1994, 海洋学报, 16(4):1—12。  
 沈育疆等, 1985, 海洋湖沼通报, 1:1—11。  
 俞慕耕, 1984, 海洋学报, 6(3):293—300。  
 钱成春、沈育疆, 1994, 海洋学报, 16(5):25—33。  
 Fang Guohong, 1986, *Chin. Jour. Oceanol. Limnol.* 4(1):1—16。  
 Sager, G., 1975, *Beitrag zur Meereskunde*, 36: 95—110。  
 Ye Anle, Robinson, I. S., 1983, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 72: 691—701。  
 The Hydrographer of the Navy, 1969, Admiralty Tide Tables, The Hydrographer of the Britain Navy, Taunton, Vol. III: 301—385。  
 Богданов, К. Т., 1963, *Тр. ИОАН*, 46: 59—65。  
 Данг Конг-Минь, 1975, *Океанология*, 5(4):580—586。  
 Нгуен Нгок-Твь, 1969, *Океанология*, 9(2):235—249。  
 Сергеев, Ю. Н., 1964, *Океанология*, 4(4):595—602。

## TIDAL REGIME IN THE NANSHA SEA AREA AND ITS ADJACENT SOUTHWEST WATERS

Cao Demin, Fang Guohong, Huang Qizhou<sup>†</sup>, Yu Kejun, Wang Xinyi

(*Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071*)

<sup>†</sup>(*South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301*)

**Abstract** The historical cotidal charts for the Nansha sea area and its adjacent southwest waters drawn by different investigators demonstrate great differences. To provide more accurate charts the harmonic constants at more than 200 tidal stations on islands and coasts are employed to construct new cotidal charts for the principal constituents  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$  and  $O_1$  in this area. The sum of these constituents and the relations between them are also illustrated. The tidal regimes of  $M_2$  and  $S_2$  in the Gulf of Thailand are similar, but in the Karimata Strait and Java Sea they reveal significant difference. The  $M_2$  wave is basically of standing nature, while the  $S_2$  wave possesses a westward propagating property. In some area, such as a part of the Makasar Strait the amplitude of  $S_2$  exceeds that of  $M_2$ . The tidal regimes of  $K_1$  and  $O_1$  are also similar in the Gulf of Thailand. Both diurnal waves propagate southward in the Karimata Strait. But in the Java Sea the  $O_1$  wave continues to propagate eastward and the  $K_1$  wave reversely propagates westward.

**Key words** Nansha sea area Nansha southwest adjacent waters Tidal regime