

## 马六甲海峡的潮汐特征分析

刘洋<sup>1</sup>, 杨晓丹<sup>2</sup>, 毛新燕<sup>2</sup>

(1.国家海洋环境预报中心,北京 100081;2.中国海洋大学·海洋环境学院,青岛 266100)

**摘 要:**马六甲海峡是亚洲东南部的重要海峡通道,沟通太平洋和印度洋,具有重要的经济和战略地位。本文利用马六甲海峡及其毗邻海域验潮站的实测水位资料,分析了马六甲海峡及马来半岛东岸的潮汐特征。研究表明,半日分潮平均振幅最大的区域位于马六甲海峡内部,而全日分潮平均振幅最大的区域为马来半岛的东海岸。马六甲海峡内部以正规半日潮为主,马来半岛东侧则为混合潮港,北部为不正规全日潮,南部则为不规则半日潮。半日分潮 $M_2$ ,  $S_2$ 和全日分潮 $K_1$ 在马六甲海峡内的传播为自西北向东南,而全日分潮 $O_1$ 则为自东南向西北方向。马来半岛东岸的半日潮传播方向以中部的Cendering站为分界线,南、北两部海区分别向南、向北相背传播,而全日潮传播方向相同,统一为自北向南。

**关键词:**马六甲海峡;马来半岛东岸;潮汐要素;潮汐类型

**中图分类号:**P731.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-0239(2013)03-0018-08

### 1 引言

近年来为争夺海洋利益,各沿海国家争相扩大管辖海域,我国的海洋资源不断遭到掠夺,海上侵权事件不断增加。同时,随着我国远海防御战略的实施,海洋战略空间得到不断拓展。这都对我国海洋环境预报工作提出了更高的要求,只有全面掌握海洋环境背景信息,尤其是对大洋航线重点港口海区做到实时有效的预报,才能使我国海洋环境预报工作从沿岸走向近海、边缘海乃至大洋,切实做好维护国家海洋权益的保障服务。

马六甲海峡位于马来半岛和印尼的苏门答腊岛之间,是连接中国南海和安达曼海的一条狭长水道,因而也间接沟通了太平洋与印度洋。马六甲海峡是我国通往西北欧、地中海、北印度洋、东南非、西非及南美东海岸的一条重要海运通道,是亚、非、欧、大洋洲之间相互往来的海上枢纽,交通位置十分重要,有“十字路口”、“咽喉要道”、“东方的直布

罗陀”之称。对于港口及区域海洋来说,潮汐潮流是最基本的水动力因子,也是了解其海洋环境背景信息的切入点。本文着眼于大洋航线重点海区,以马六甲海峡及其附近海域为例,对其潮汐特征进行分析,掌握该海区的潮汐潮流特征,为今后该海区或其他重点港口的水动力背景场的数值研究提供有益参考,推动我国海洋环境预报工作由近岸向中、远海乃至大洋拓展。

Rizal等<sup>[1]</sup>利用三维模型计算出了马六甲海峡的 $M_2$ 分潮,从而得出了该分潮在此区域的振幅、迟角、潮流椭圆等要素。Hatayama等<sup>[2]</sup>在分析印度尼西亚海域潮流时,研究了 $M_2$ 和 $K_1$ 分潮在马六甲海峡的传播方向,均为自西向东传播。同时给出了两个分潮在马来半岛东岸的传播方向,以马来西亚东北部为分界线,分别向北和向南传播。同样的区域,Ding等<sup>[3]</sup>将T/P卫星高度计资料同化到模型当中,得到了更为精确的结果,并计算出了主要分潮的调和常数。Vella等<sup>[4]</sup>利用卫星高度计衍生的潮汐模型对马六甲海域进行了模拟,得出了 $M_2$ 和 $K_1$ 分潮的振幅和

收稿日期:2012-09-18

基金项目:国家科技支撑计划-全球海洋环境数值预报关键技术系统集成研究及应用(2011BAC03B00);

卫星海洋环境动力学国家重点实验室开放研究基金(SOED1310)

作者简介:刘洋(1980-),女,助理研究员;研究方向:海洋环流、南海水团、潮汐。E-mail: liuyang@nmefc.gov.cn

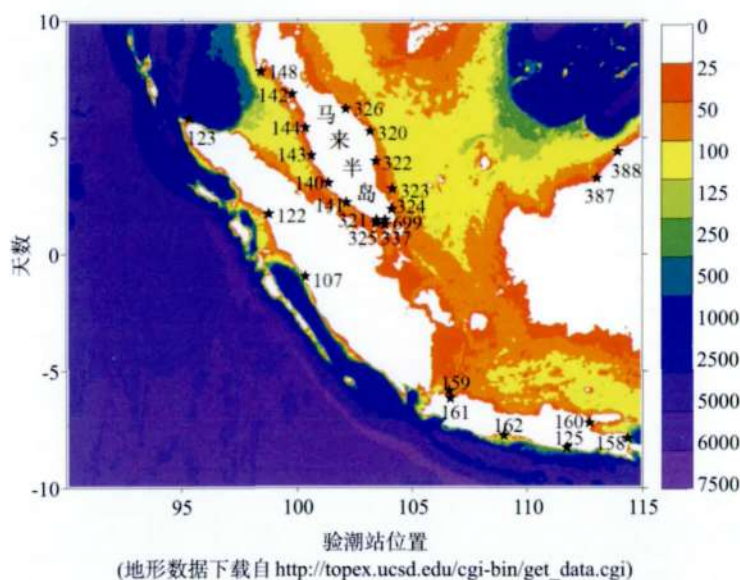


图1 马六甲海峡区域的地形及验潮站的位置(单位/m)

迟角。通过对迟角的分析,得出潮波从印度洋东传进入马六甲海峡,而发源于太平洋的潮波经过南海传递到马来半岛的东岸,与Hatayama等<sup>[2]</sup>的研究结果一致。

前人研究多采用数值模拟方式,本文将基于多个验潮站的水位数据,分析马六甲海峡区域的潮汐特征,一方面可从实测资料出发,为该区域的数值预报结果验证提供可借鉴的依据,另一方面,未来可将该数据应用于同化工作中,提高数值预报精度。

## 2 资料和方法

马六甲海峡及附近海域验潮站的长期水位资料下载自夏威夷大学海平面研究中心网站 UHSLC (University of Hawaii Sea Level Center, <http://uhslc.soest.hawaii.edu/data/rqh>), 共包括 26 个验潮站的水位数据,马六甲海峡区域的地形及验潮站分布见图 1,图中标注的为验潮站的站号,具体名称及位置信息对应表 1。数据记录的频率为 1 h,起始时间基本在 20 世纪 80 年代中期,结束时间约为 2006 年底,资料序列平均在 20 年左右。

首先,对各站资料进行时间连续性筛选。由于观测水位数据的不连贯性,例如年份缺测,或年份连续但某一年的一段时间缺测,因此需针对每站挑选出相对完整的且时间相近的资料,以便后续处

理。多数站点在 1997—1999 年间有连续观测数据相对完整,我们挑选出其中一年的水位时间序列,对于在这 3 年间没有完整数据的站点,则选择其数据完整年份的水位数据进行分析。具体各站的选择年份见表 1。

其次,针对上述验潮站水位资料,利用 Pawlowicz 等<sup>[5]</sup>研发的  $t\_tide$  程序包进行调和分析,得到各主要分潮的调和常数,包括振幅和迟角,分析马六甲海峡及附近海域的潮汐特征及潮波传播。

此外,通过主要半日分潮与主要全日分潮的振幅比,对马六甲海峡区域进行了潮汐类型划分。采用的两种判别式如下<sup>[6]</sup>:

$$F = (H_{K1} + H_{O1}) / H_{M2} \quad (1)$$

$$F = (H_{K1} + H_{O1}) / (H_{M2} + H_{S2}) \quad (2)$$

式中  $H$  为分潮振幅,  $F$  表示潮汐类型系数,判别标准详见附录。

本文以马六甲海峡为关注区域,数据分析将主要针对马六甲海峡(马来半岛西岸)及马来半岛东岸的各站展开,同时也会相应给出苏门答腊岛西南岸及爪哇海部分验潮站的结果,但不做具体讨论。

## 3 结果分析

在马六甲海峡及马来半岛东岸各选 3 个站点,利用一年的水位资料做离散功率谱估计并对谱值

表1 验潮站的经纬度信息及采样时间

编号	名称	经度 /°E	纬度 /°N	选取年份
107	Padang	100.37	-0.95	2007
122	Sibolga	98.77	1.73	1998
123	Sabang	95.33	5.83	2006
125	Prigi	111.73	-8.28	2008
140	Kelang	101.37	3.05	1998
141	Keling	102.15	2.22	1999
142	Langkawi	99.77	6.87	1997
143	Lumut	100.62	4.23	1998
144	Penang	100.35	5.42	1997
148	Ko Taphao Noi	98.42	7.82	1998
158	Meneng	114.38	-7.88	1988
159	Pari	106.62	-5.85	1989
160	Surabaya	112.73	-7.22	1985
161	Jakarta	106.67	-6.17	1987
162	Cilacap	109.00	-7.75	2007
320	Cendering	103.18	5.27	1999
321	Johor	103.47	1.47	1998
322	Kuantan	103.43	3.98	1998
323	Tioman	104.13	2.80	1998
324	Sedili	104.12	1.93	1998
325	Kukup	103.45	1.33	1998
326	Getting	102.11	6.23	1998
337	Victoria Dock	103.82	1.27	1980
387	Bintulu	113.06	3.26	1998
388	Miri	113.97	4.40	1997
699	Tanjong	103.83	1.47	1998

进行显著性检验,结果见图2、3。马六甲海峡内部站点的潮汐主要以半日周期为主,而马来半岛东岸站点的潮汐自北向南全日周期越来越弱,半日周期逐渐占优。由于该海域水位资料最主要的周期为全日和半日周期,因此通过对一个月连续的逐时水位资料进行分析,即可得出该区域的基本潮汐特征。

### 3.1 潮差

通过分析1998年1月份各站的水位变化,我们发现马六甲海峡内的平均潮差在190 cm左右,具有明显的半日周期,而且存在日不等现象。马六甲海峡内部,由西北向东南水深逐渐变浅(见图1),潮波能量愈加集中,因此平均潮差最大值出现在140号(Kelang)站,约为300 cm,而大潮期间该站的潮差最大可达450 cm。对比来看,马来半岛东岸各站的水深无显著变化,因此各站潮差大致相当,约为160 cm,最大值出现于最南端的337号(Victoria Dock)站,其平均潮差190 cm;最小值则出现在326号(Getting)站,仅为70 cm。

### 3.2 振幅分布及潮汐类型

26个验潮站水位资料的调和分析结果显示:马六甲海峡及附近海域以半日分潮 $M_2$ 、 $S_2$ 和全日分潮 $O_1$ 、 $K_1$ 为主;浅水分潮较弱,在整个潮系统中无显著作用,在此不做阐述。马来半岛最南端的4个验潮站321号(Johor),699号(Tanjong)与325号(Kukup),337号(Victoria Dock)位置十分接近,因此仅选后两者进行分析。对于马六甲海峡及马来半岛东岸以外的其它区域,由于站点较稀疏,无法准确概括其潮波特征,而调和分析结果作为数值模型验证的定量参照,有必要在下文中予以展示(见图4)。

从半日分潮 $M_2$ 的振幅分布来看,马六甲海峡内部振幅较大,最大值位于中部的140号(Kelang)站,可达137 cm,其次为新加坡海峡附近的325号(Kukup)站,约为94 cm,如前所述,这与水深变浅、潮汐能量集中是密切相关的。马来半岛东海岸区域的 $M_2$ 分潮振幅自北向南逐步递增,最北部的站326号(Getting)仅为17 cm,而在南端的337号(Victoria Dock)站达到最大,可达80 cm。



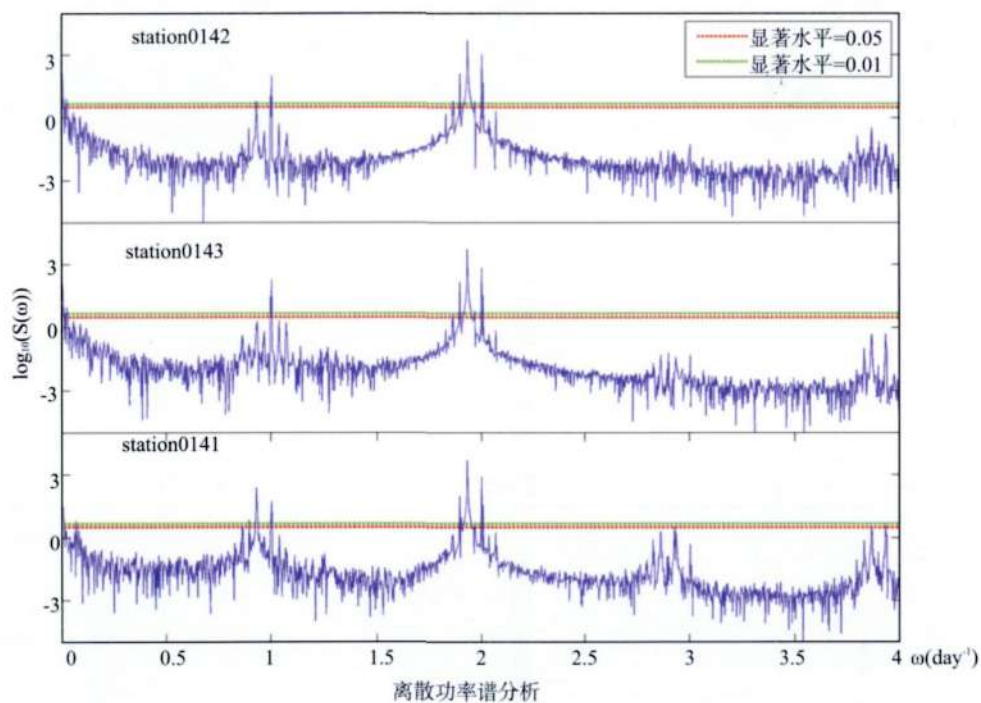


图2 马六甲海峡验潮站142号(Langkawi)站,143号(Lumut)站,141号(Keling)站水位时间序列离散功率谱分析图

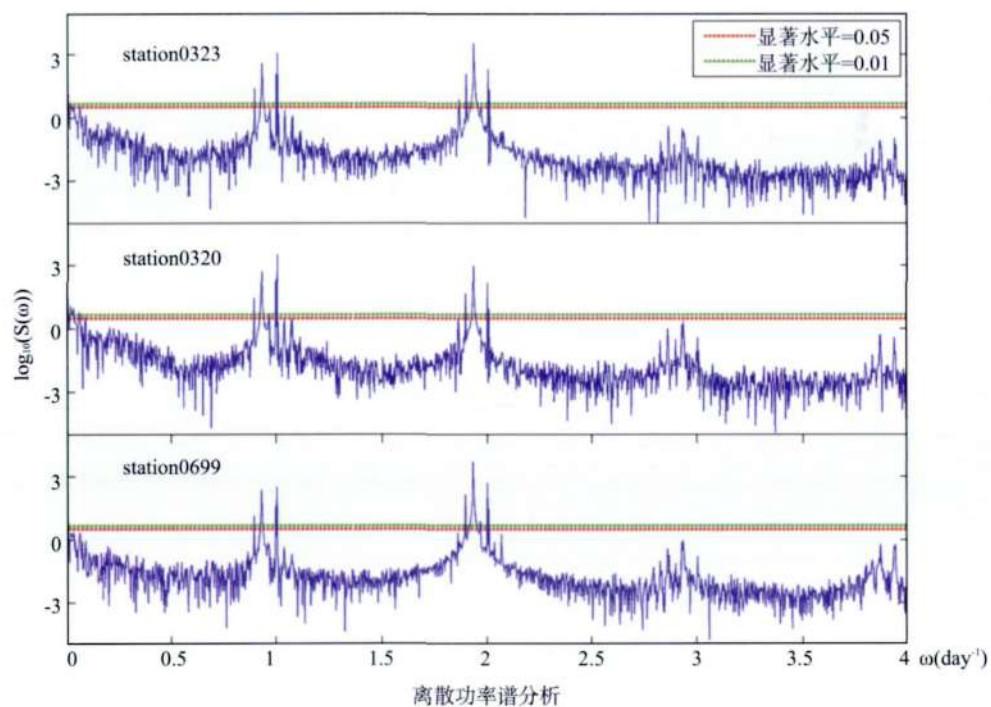


图3 马来半岛东岸验潮站323号(Tioman)站,320号(Cendering)站,699号(Tanjong)站水位时间序列离散功率谱分析图

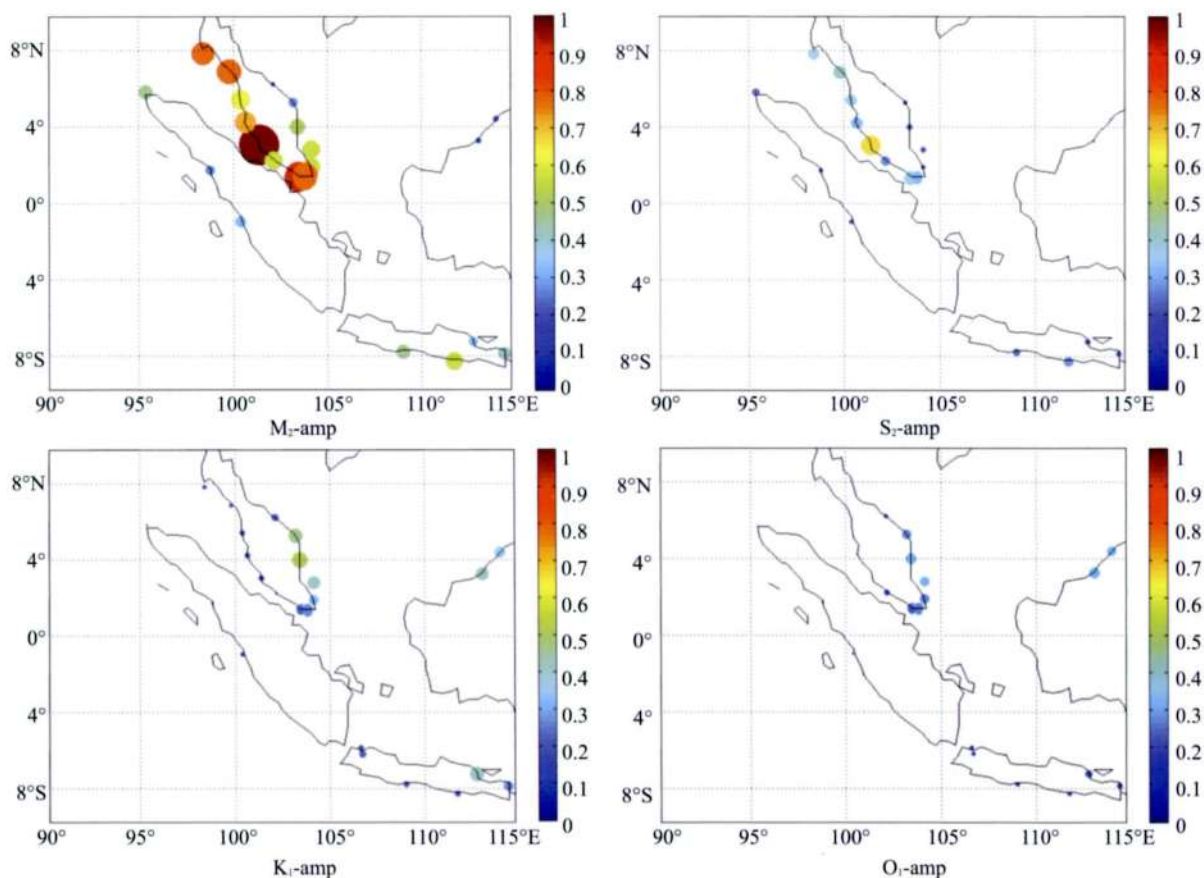
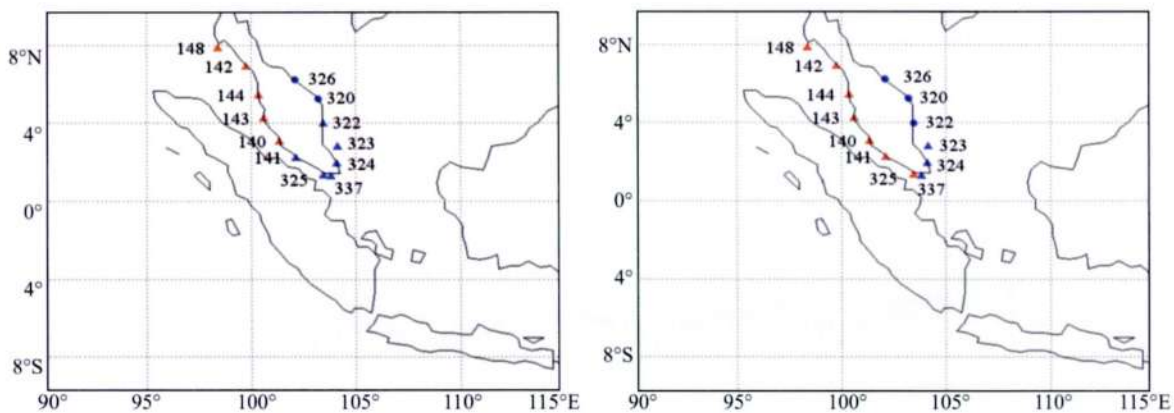


图4 验潮站4个主要分潮的振幅分布(单位/m)



(红色:半日潮港;蓝色:混合潮港,三角形代表其中的不正规半日潮港,圆形代表不正规日潮港)

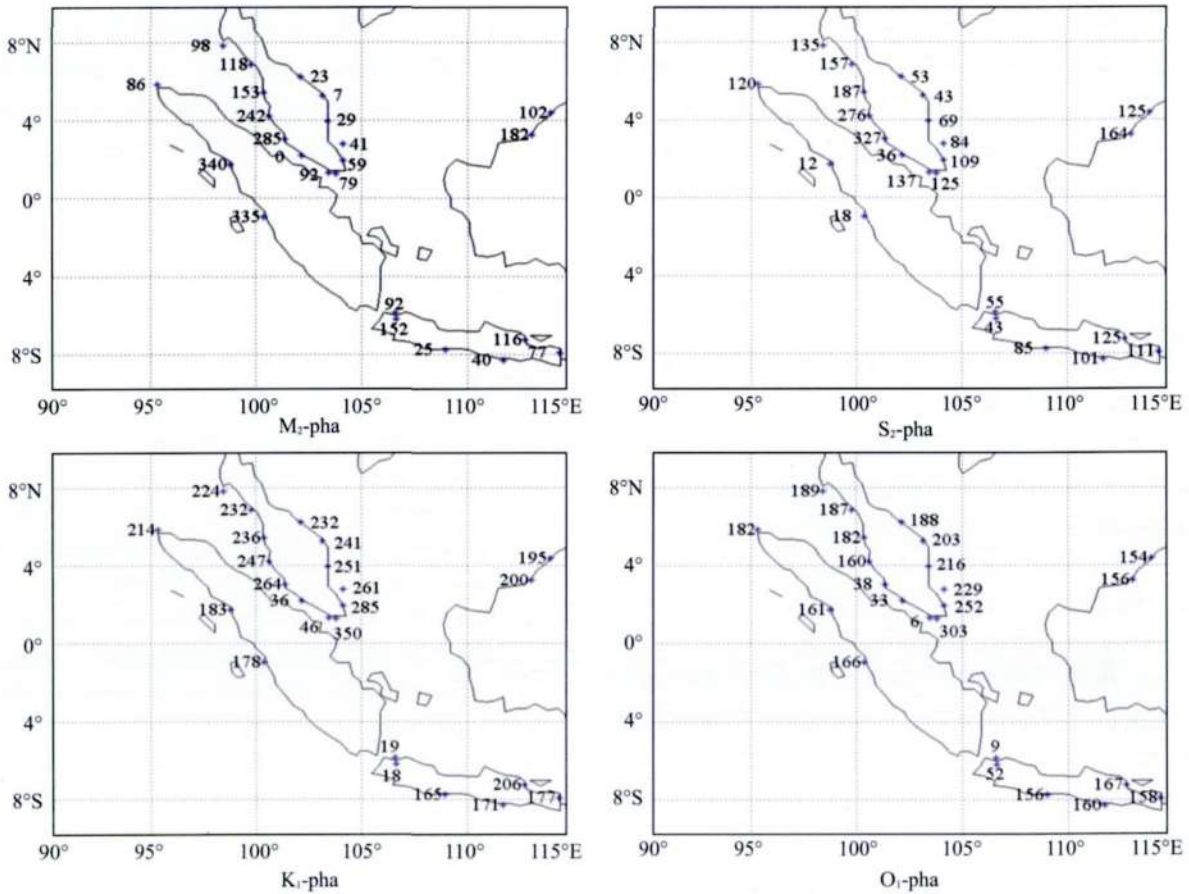
图5 马六甲海峡区域各验潮站的潮汐类型

$S_2$ 分潮振幅的分布和 $M_2$ 分潮相近,但是量值上要比 $M_2$ 分潮小一半左右。振幅最大的区域同样位于马六甲海峡内部,最大的站位为140号(Kelang)站。此外,马来半岛东海岸的振幅总体来说较小,除了最南端的337号(Victoria Dock)站为33 cm,其余均在20 cm以下。

对于全日分潮 $K_1$ ,马来半岛东海岸各站的分潮

振幅普遍偏大,平均约39 cm,最大可达53 cm,位于322号(Kuantan)站。而马六甲海峡内部的分潮振幅相比较而言要小的多,平均只有15 cm。 $O_1$ 分潮的振幅仅为 $K_1$ 分潮的1/2左右,但分布与 $K_1$ 分潮基本相同。

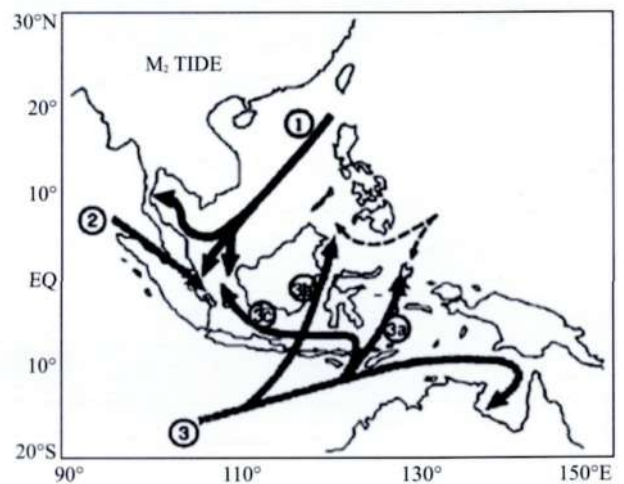
综上,四个分潮的振幅分布存在很大的差异,而半日潮和全日潮振幅之比可以用来判别潮汐类

图6 验潮站4个主要分潮的迟角分布(单位 $^{\circ}$ )

型,有助于了解马六甲海峡及马来半岛东岸海域的潮汐特征。利用第2部分介绍的两种潮汐类型判别式求得的潮汐类型基本一致,见图5。马六甲海峡内部以正规半日潮为主,虽然东南位置的141号(Keling)站,325号(Kukup)站两种方法计算的潮汐类型不太一致,分别为混合潮港的不正规半日潮和半日潮,但是均体现出明显的半日潮特征,这与俞慕耕<sup>[6]</sup>的研究是一致的。马来半岛的东海岸各站则均为混合潮港,北部为不规则全日潮港,南部则为不规则半日潮港,两种方法仅在322号(Kuantan)站的判断上存在些许差异。

### 3.3 潮波的传播

由图6可以看出, $M_2$ 和 $S_2$ 分潮在马六甲海峡内的传播方向是自西北向东南方向,两分潮由西北端98号(Ko Taphao Noi)站传播到最南端325号(Kukup)站约经过一个周期,12 h左右。受地形影响,潮波速度由西北传向东南逐渐减弱,迟角呈线性增加

图7  $M_2$ 分潮在印尼海域的传播  
(Hatayama等<sup>[2]</sup>)

趋势,待到达海峡狭窄处,地形复杂度大大增加(见图1),迟角变化较大,因此海峡南北两端高低潮近于同时出现,迟角差异并不大。马来半岛东岸中部



的 320 号 (Cendering) 站存在半日分潮的迟角极小值, 可猜测半日分潮在马来半岛东岸传播, 是以此验潮站附近海域为分界线, 分别向北和向南传播; 而向南传播的潮波在到达新加坡海峡附近时, 与马六甲海峡内部传来的潮波相遇。这一认识与 Hata-yama 等<sup>[2]</sup>的数值研究是一致的 (见图 7)。

对于全日潮波的传播,  $K_1$  和  $O_1$  分潮在马六甲海峡内的传播方向是相反的。 $K_1$  的传播与  $M_2$ ,  $S_2$  两分潮相同, 均为自西北向东南传播, 源自印度洋潮波, 而  $O_1$  分潮则是由东南向西北传播, 猜测主要受到太平洋潮波系统的影响。潮波穿过马六甲海峡的时间与半日分潮相近, 均为 12 h 左右。 $K_1$  和  $O_1$  两分潮在马来半岛东海岸的传播方向保持一致, 均为自北向南传播。

## 4 结 论

本文通过对马六甲海峡及附近海域的验潮站数据进行分析, 获得各站主要分潮的平均振幅和迟角, 提高了我们对马六甲海区潮汐分布及变化特征的认识, 并有助于将来对该区域潮汐状况预报工作的开展。

马六甲海峡内的平均潮差为 190 cm, 实测水位具有明显的半日潮周期, 马来半岛东岸平均潮差为 160 cm, 其北部验潮站水位表现出显著的全日周期性, 而南部验潮站则半日周期性质明显。

两种潮汐类型判别方式对马六甲海峡及邻近海域的判定结果较为一致。马六甲海峡内部以正规半日潮为主, 马来半岛东侧为混合潮港, 北部为全日潮占优, 南部为半日潮占优。

半日分潮  $M_2$ ,  $S_2$  在马六甲海峡内的传播方向是

一致的, 均为自西北向东南方向, 马来半岛东岸的传播方向以中部的 Cendering 站为分界相背传播。对于全日分潮  $O_1$ ,  $K_1$ , 它们在马六甲海峡内的传播方向是相反的,  $K_1$  分潮的传播方向为自西北向东南, 而  $O_1$  则为由东南向西北方向传播。全日潮在马来半岛东岸的传播方向则保持一致, 均为自北向南。传播速度半日分潮和全日分潮马来半岛东岸都要比马六甲海峡内部快, 而它们穿过马六甲海峡的时间均为 12 h 左右。

## 参考文献:

- [1] Rizal S, Sündermann J. On the M2-tide of the Malacca Strait: A numerical investigation[J]. Ocean Dynamics, 1994, 46: 61-80.
- [2] Hatayama T, Awaji T, Akitomo K. Tidal currents in the Indonesian Seas and their effect on transport and mixing[J]. Journal of Geophysical Research, 1996, 101: 12353-12373.
- [3] Ding Y, Bao X W, Yu H M, et al. A numerical study of the barotropic tides and tidal energy distribution in the Indonesian seas with the assimilated finite volume coastal ocean model[J]. Ocean Dynamics, 2012, 62: 515-532.
- [4] Vella M N, Ses S, Kadir M, et al. Preliminary ocean tide model inferred by satellite altimetry for a test section of the Asian Region[C]. 22nd Asian Conference on Remote Sensing, Singapore, 2001, 5-9.
- [5] Pawlowicz R, Beardsley B, Lentz S. Classical Tidal "Harmonic Analysis Including Error Estimates in MATLAB using T\_TIDE [J]. Computers and Geosciences, 2002, 28: 929-937.
- [6] 俞慕耕. 略论马六甲海峡的水文特点[J]. 海洋湖沼通报, 1987, 2: 6-16.

附录:

潮汐类型判定标准<sup>[5]</sup>

形式	潮汐类型			
	混合潮			
$F = \frac{H_{K1} + H_{O1}}{H_{M2}}$	半日潮		不正规 半日潮	全日潮
	$0 < F < 0.5$		$0.5 < F < 2.0$	$2.0 < F < 4.0$
	半日潮		$F > 4.0$	
$F = \frac{H_{K1} + H_{O1}}{H_{M2} + H_{S2}}$	混合潮			
	规则	不正规	不正规 半日潮	全日潮
	$0.0 < F < 0.1$	$0.1 < F < 0.5$	$0.5 < F < 1.0$	$1.0 < F < 10.0$
				$F > 10.0$

## Analysis of the tide in the Strait of Malacca

LIU Yang<sup>1</sup>, YANG Xiao-dan<sup>2</sup>, MAO Xin-yan<sup>2</sup>

(1.National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081 China; 2.College of Physical and Environmental Oceanography,  
Ocean University of China, Qingdao 266100 China)

**Abstract:** Strait of Malacca is one of the most significant channels between the Pacific and the Indian Ocean. It plays an important role in economic and strategic fields. Based on observed sea level elevation data, this paper analyzed the features of the tide in the Strait of Malacca and along east coast of the Malay Peninsula. The results showed that the maximum mean amplitude of semidiurnal constituents was in the Strait of Malacca while that of diurnal constituents was along the east coast of Malay Peninsula. The tide in the Strait of Malacca was characterized by regular semidiurnal feature. It was the irregular diurnal tide in the north and the irregular semidiurnal tide in the south along the east coast of Malay Peninsula, showing the mixed feature. The propagation of semidiurnal constituents ( $M_2$  and  $S_2$ ) and diurnal constituent ( $K_1$ ) was from northwest to southeast in the Strait of Malacca, while that of diurnal constituent ( $O_1$ ) was opposite. Along the east coast of Malay Peninsula, the propagations of diurnal constituents were both from north to south. It was noticed that tide-gauge station, Cendering, in the central part of the coast, became a demarcation point for the propagation of the semidiurnal constituents.

**Key words:** Strait of Malacca; east coast of Malay Peninsula; harmonic constants of tide, type of tide