

## 中国沿岸海域月平均潮差变化规律\*

胡方西 谷国传

(华东师范大学河口海岸研究所, 上海)

**提要** 本文根据中国沿岸月平均潮差(MMTR)分布变化的特点,把它区分为单峰及双峰两种主要的不同类型,并从天文因素及地理条件角度分析其成因,特别对河口水域由于径流、地形作用而产生的潮波变形及由此而引起的潮差变化作了较详细的论述,得出有实用意义的结论。

潮差,是潮汐强弱程度的重要标志,也是海岸带水域主要的动力资源。它的分布、变化对交通运输、海涂围垦、水产养殖、潮能开发及滩地演变等均有重要影响。本文通过分析大量的海岸带资料,发现中国沿岸的潮差变化,特别是月平均潮差变化具有明显的地域性特点。

### 一、中国沿岸潮差分布概况

中国沿岸潮差分布的总趋势是东海区最大,黄、渤海次之,南海最小(图1)。如果以平均潮差的量值 $H$ 来区分潮汐强弱程度,即当:

$H < 2.0\text{m}$ , 弱潮区;

$4.0\text{m} > H \geq 2.0\text{m}$ , 中潮区;

$H \geq 4.0\text{m}$ , 强潮区。

则渤海以弱潮区为主,部分水域为中潮区;黄海以中潮区为主,部分水域为弱潮区,个别水域存在强潮区;东海绝大部分属强、中潮区;南海大部分水域为弱潮区。

渤海的平均潮差为 $0.70 \sim 2.71\text{m}$ ,其中除辽东湾湾顶的营口及渤海湾湾顶的塘沽附近潮差最大(达 $2.5\text{m}$ 以上),属中潮区外,其他水域均为弱潮区,其间以黄河口外 $M_2$ 分潮无潮点及秦皇岛日潮区附近水域潮差最小,不足 $0.5\text{m}$ 。

黄海我国沿岸平均潮差在 $0.79 \sim 4.23\text{m}$ 之间,其中位于山东半岛东北及连云港东南的两个 $M_2$ 分潮无潮点附近水域潮差在 $2\text{m}$ 以下,属弱潮区。除鸭绿江口和苏北的琼港附近水域潮差大于 $4\text{m}$ 外,其余绝大部分海域属中潮区。

东海西部沿岸平均潮差变化范围为 $1.65 \sim 5.54\text{m}$ ,除舟山群岛局部水域有弱潮区存在外,其余均属中潮区或强潮区。我国平均潮差超过 $4\text{m}$ 的海湾几乎都分布在东海,如浙江的杭州湾、三门湾、乐清湾,福建的沙埕港、罗源湾和三沙湾等。其中杭州湾的激浦

\* 本文承方国洪、沈焕庭教授提出宝贵意见,汤乃铭副教授给予帮助,谨此志谢。

收稿日期: 1988年6月1日。

站平均潮差为全国最大,达 5.54m。三沙湾的帮门次之,为 5.48m。我国实测最大潮差超过 8m 的有五处水域,除苏北沿岸的弥港附近属黄海外,其余四处都分布在东海水域,即杭州湾的澉浦,8.93m;乐清湾的东门村,8.43m;福建的三都,8.38m,罗源湾的大官板,8.29m。

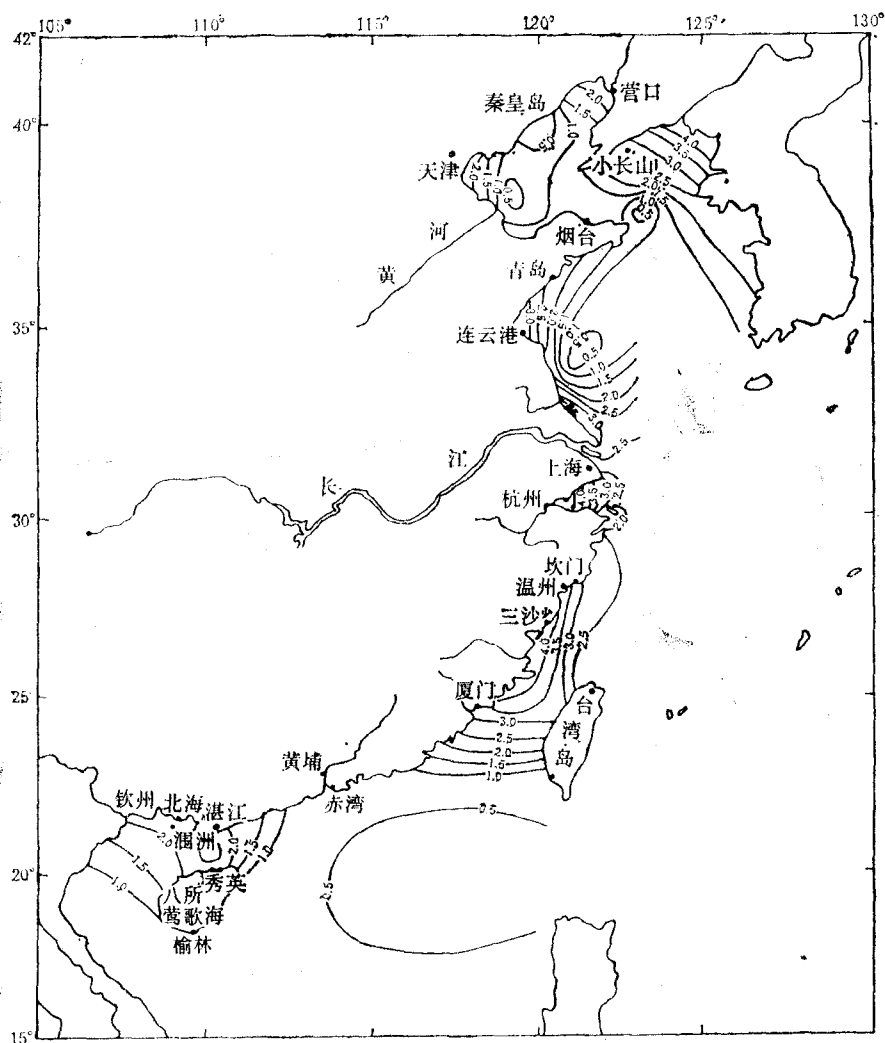


图 1 中国沿岸平均潮差 (m) 分布

Fig. 1 Distribution of mean tidal range along the China coasts

南海平均潮差为 0.90~2.48m,是我国沿岸潮差最小的水域。从汕尾至雷州半岛的广东沿岸,自东往西平均潮差由 0.90m 增至 2.17m,除雷州半岛沿岸有中潮区存在外,其余水域均属弱潮区;海南岛沿岸,东南部潮差较小,平均潮差仅 1m 左右;西北部较大,可达 2m 左右;北部湾潮差由南向北增大,湾顶石头埠一带平均潮差为 2.45m,最大可达 6.25m。

## 二、月平均潮差的季节变化

### (一) 月平均潮差的变化幅度

我国沿岸的潮差具有明显的季节变化,同一水域年内各月平均潮差具有显著的差别,不同水域变化大小不一。统计资料表明,就沿岸水域及河口区外缘而言,南海北部湾沿岸月平均潮差变幅最大,最大、最小月平均潮差差值 ( $\Delta H$ ) 约 50cm 左右,极值可达 79cm,与同一测站年平均潮差值相比约占 25~30%,最高可达 42%(表 1)。相比之下,东海及黄、渤海区则要小得多, $\Delta H$  值一般仅 20cm 左右,最小仅 5cm。与年平均潮差值相比,除秦皇岛附近超过 20% 之外,其他水域大都在 10% 以下。

然而,在河口水域,由于径流及其他因素的作用,月平均潮差变幅则要比邻近沿岸水域大得多,如长江口门附近鸡骨礁一带  $\Delta H$  值为 20cm 左右,到长江口内高桥一带为 25~30cm,再往里到河流近口段的镇江达 60cm,南京约 50cm。珠江口内  $\Delta H$  值也要比口外大 10~20cm 左右。

表 1 中国沿海月平均潮差统计(单位: m)

Tab. 1 The MMTR along the China coasts

海区	站名	最大月平均潮差	最小月平均潮差	差值 ( $\Delta H$ )	年平均潮差( $H$ )	$\Delta H/H(\%)$
南海	北海	2.63	2.02	0.61	2.36	26
	涠洲	2.45	1.85	0.60	2.13	28
	钦州	1.16	0.88	0.28	0.98	29
	秀英	1.21	1.02	0.20	1.11	18
	八所	1.61	1.24	0.37	1.49	25
	洋浦	2.18	1.47	0.71	1.80	39
	新盈	2.42	1.63	0.79	1.89	42
黄海、渤海	葫芦岛	2.11	2.01	0.08	2.06	4
	秦皇岛	0.82	0.63	0.19	0.71	27
	老虎滩	2.09	2.04	0.05	2.07	2
	小长山	2.84	2.76	0.08	2.80	3
	塘沽	2.67	2.35	0.32	2.48	12
	石臼所	3.13	3.00	0.13	3.05	4
	吕四	3.98	3.39	0.29	3.80	8
东海	鸡骨礁	2.65	2.54	0.11	2.57	4
	大戢山	2.96	2.83	0.13	2.88	5
	滩浒山	3.45	3.23	0.22	3.35	7
	绿华山	2.66	2.46	0.20	2.56	8
	坎门	4.19	3.97	0.22	4.08	5
	沙埕	4.33	4.18	0.15	4.25	4
	厦门	4.05	3.86	0.19	3.98	5

### (二) 月平均潮差变化类型

由于各地水文气象因子及地理条件等因素的差异,沿岸地区的月平均潮差的变化通

常可划分为两种主要的变化类型。

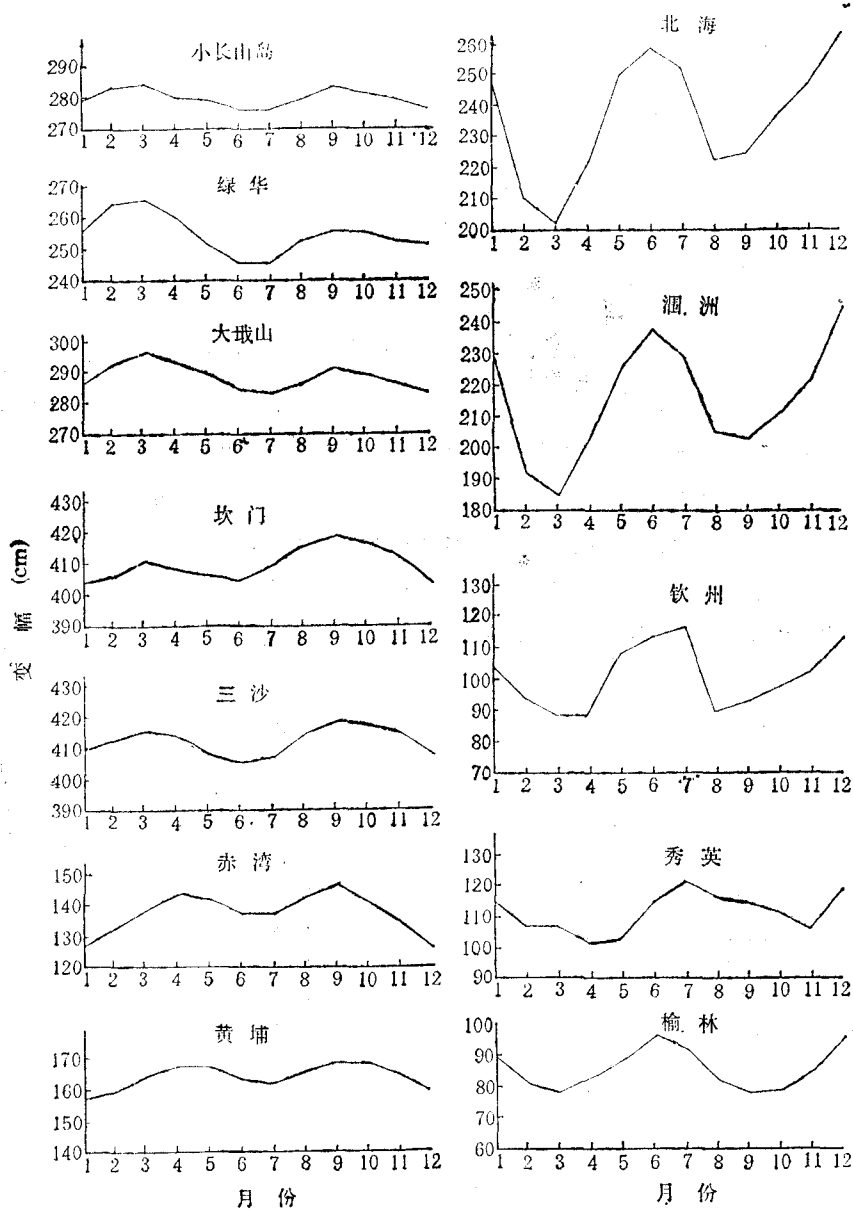


图 2 中国沿岸月平均潮差变化(双峰型)

Fig. 2 Double peak type of the MMTR along China coasts

### 1. 双峰型

其特点是一年之内月平均潮差存在两个周期的变化，月平均潮差年变化过程曲线出现两个峰值和谷值，其间间隔为 6 个月左右。全国多数沿岸水域月平均潮差年变化均属此种类型(图 2)，如浙江坎门站月平均潮差最大出现在 3 月及 9 月，而最小在 6 月及 12 月；广西北海沿岸最大月平均潮差分别发生在 6 月及 12 月，最小月平均潮差则出现于 3

月及 9 月，年变化大致呈正弦曲线趋势。

### 2. 单峰型

这种类型以河口水域，特别是河流的河口段及近口段最为典型。其特点是一年之中月平均潮差呈单一周期的变化，即仅出现一个峰值、一个谷值。长江口、珠江口、瓯江口、杭州湾等均属这种类型。图 3 是杭州湾北岸沿程水域月平均潮差变化序列，可以看出，从湾口芦潮港到湾顶澈浦，大体上都是 1 月份潮差最低，8~9 月最高，其变化幅度从湾口到

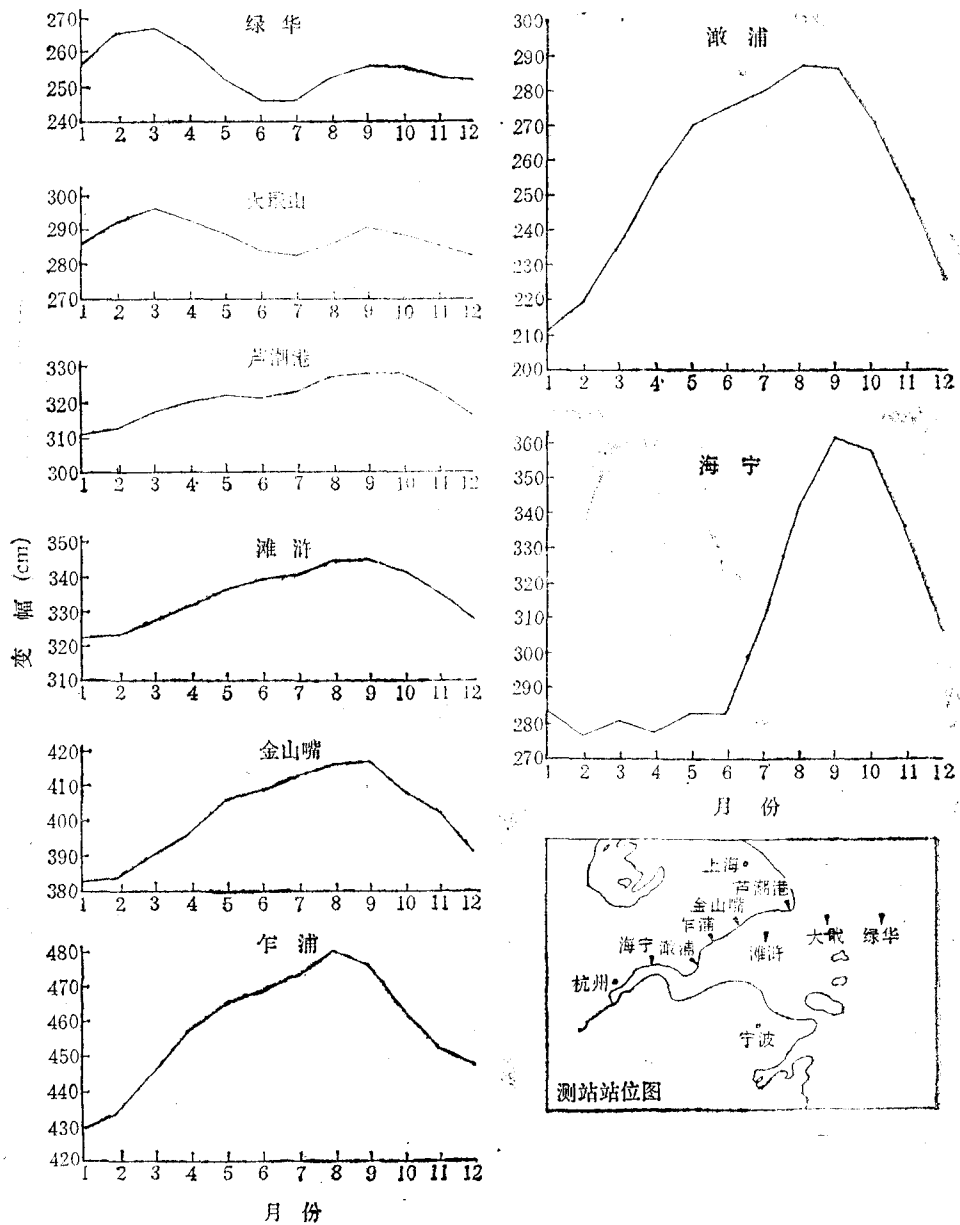


图 3 杭州湾月平均潮差变化

Fig. 3 Variation of the MMTR in the Hangzhou Bay

湾顶呈递增趋势,如湾口芦潮港平均潮差年变幅为 20cm,中部岸段的金山嘴一带为 35 cm,湾顶激浦附近则高达 76cm。

### 三、引起月平均潮差变化的原因

影响平均潮差变化的因素很多,诸如日、月、地相对位置的变化,海区潮汐性质的差异,以及径流、地形等作用。前两者我们称它为天文因子的影响,后两者可认为是地理条件的作用。

#### (一) 天文因子

统计资料表明,我国沿岸月平均潮差呈双峰型变化的水域,其潮差峰、谷值出现的时间与当地潮汐性质具有明显的关系。凡是潮汐性质属于正规日潮区,即

$$F \left( \frac{H_{O_1} + H_{K_1}}{H_{M_2}} \right) > 4$$

的水域,月平均潮差最大值一般出现在 6 月及 12 月;其最小值则多数出现在 3 月及 9 月;而在正规半日潮区,即  $F$  值小于 0.5 的海域,最大月平均潮差出现在 3 月及 9 月,最小月平均潮差出现于 6 月、12 月(表 2)。上述现象的产生是与太阳赤纬的年变化直接相关的:冬至和夏至前后(即 6 月及 12 月),太阳赤纬达到最高值,产生所谓“二至潮”,即此期间潮汐日不等现象最为明显,在日潮区,许多日子里一天只有一次高、低潮,故这段时期月平均潮差最大,而在半日潮区情况刚相反;春分和秋分前后(3 月及 9 月),太阳赤纬值最小,产生所谓“二分潮”,即此期间半日潮现象最为典型,故半日潮区月平均潮差最大,日潮

表 2 潮汐性质与月平均潮差关系

Tab. 2 Relationship between the tidal properties and the MMTR

测沿	潮汐性质 $\left( \frac{H_{O_1} + H_{K_1}}{H_{M_2}} \right)$	最大月平均潮差发生月份	最小月平均潮差发生月份
尤门	5.97	6,12	3,8
北海	5.43	6,12	3,9
润洲	4.68	6,12	3,8
防城港	5.19	7,12	3,9
秦皇岛	4.87	7,12	3,10
吕四	0.35	3,9	6,12
坎门	0.28	3,9	6,1
沙埕	0.28	3,9	6,12
赤湾	1.27	4,9	7,12
葫芦岛	0.70	10	12

区月平均潮差最小。由此,根据中国沿岸潮汐性质分布图(图 4),可基本上推断相应水域的月平均潮差随时间序列产生的变化。南海北部湾水域是典型的日潮区,因而那里的

月平均潮差几乎都是在“二至潮”附近最大，“二分潮”附近最小，渤海辽东湾内大部分区域属不正规半日潮， $F$  值为 0.5~2.0，唯秦皇岛附近小范围水域为日潮区，因而其平均潮差的年变化与附近水域(例如葫芦岛)有明显差异，而与北部湾类同。东海绝大部分水域属正规半日潮，从而使该海区沿岸一带月平均潮差极大值和极小值几乎分别出现在“二分潮”及“二至潮”附近的月份。中国沿岸其他混合潮区，月平均潮差的年变化通常介于正规日潮区与半日潮区之间。

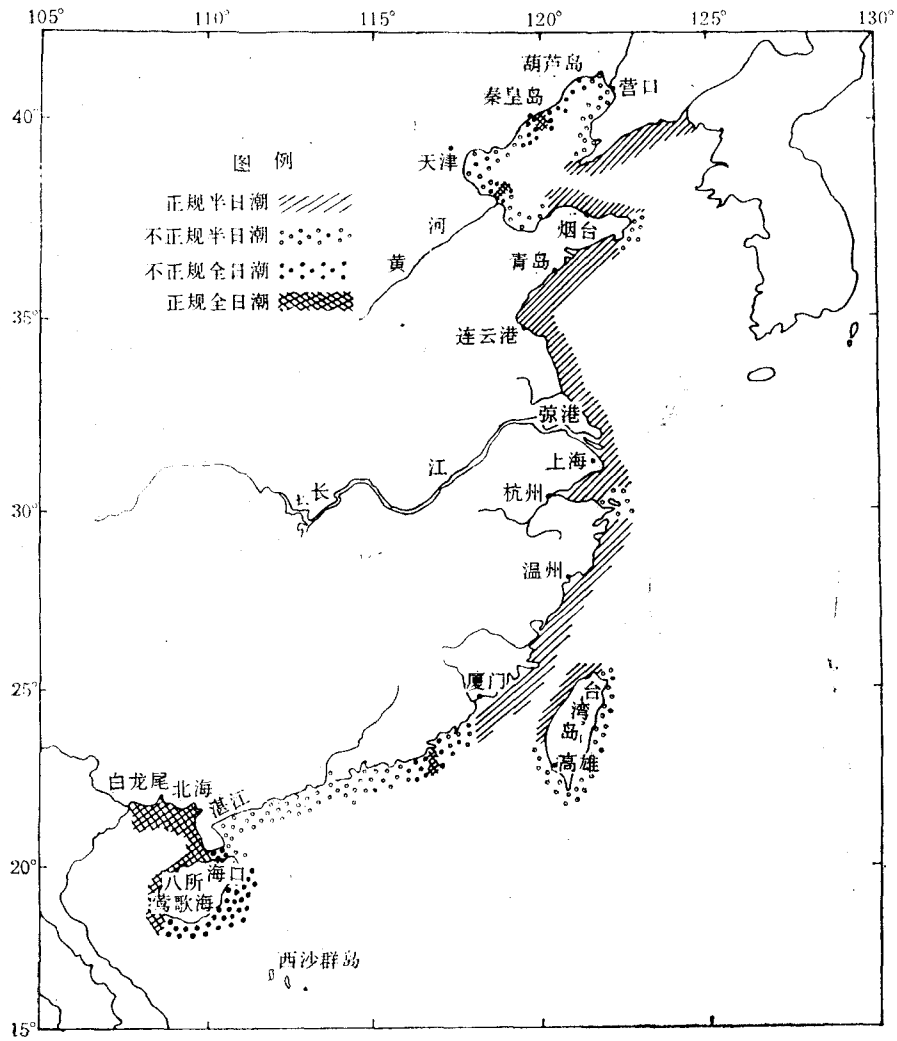


图 4 中国沿岸潮汐性质分布

Fig. 4 Distribution of the tidal types along the China coasts

### (二) 地理条件

这里说的地理条件主要指的是径流量及地貌形态。河口区，特别是其中的近口段(河

口潮流界至湖区界),由于径流量的季节变化及河床廓形和纵比降的不同,能对该水域月平均潮差变化产生明显的影响。试以长江河口为例说明之。

长江河口是一个丰水、多沙、中等潮汐强度、有规律分汊的三角洲河口。上自安徽大通,下至水下三角洲前缘(30~50m等深线),全长约700km。根据动力条件和河槽特性的差异,河口区可分为三段:大通(枯季潮区界)至江阴(洪季潮流界)之间400km河段为近口段,以径流作用为主;江阴至口门间长约220km为河口段,其间径流、潮流相互作用;自口门向外至30~50m等深线,以潮流作用为主,为口外海滨段。

据大通站1922~1985年共43年实测资料统计,长江多年平均流量为 $28600\text{m}^3/\text{s}$ ,最大流量为 $92600\text{m}^3/\text{s}$ ,最小流量为 $4620\text{m}^3/\text{s}$ 。年径流总量为9240亿 $\text{m}^3$ ,其中,5~10月为洪季,占全年径流量的71.7%,洪峰出现在7~9月,这三个月的径流量占全年的39%;11~4月为枯季,其中又以1月份最小,仅占年径流量的3%。巨量的长江径流渲泄入海,不仅影响河口盐淡水混合、最大浑浊带等水文物理现象的分布和变化,同时也对河口潮波的传播和变形产生明显的影响,从而造成潮差的季节性变化。由于动力条件及地貌形态的差异,潮波在河口区各段所受的变形程度不同,反映在潮差季节变化上也具有不同的特点。

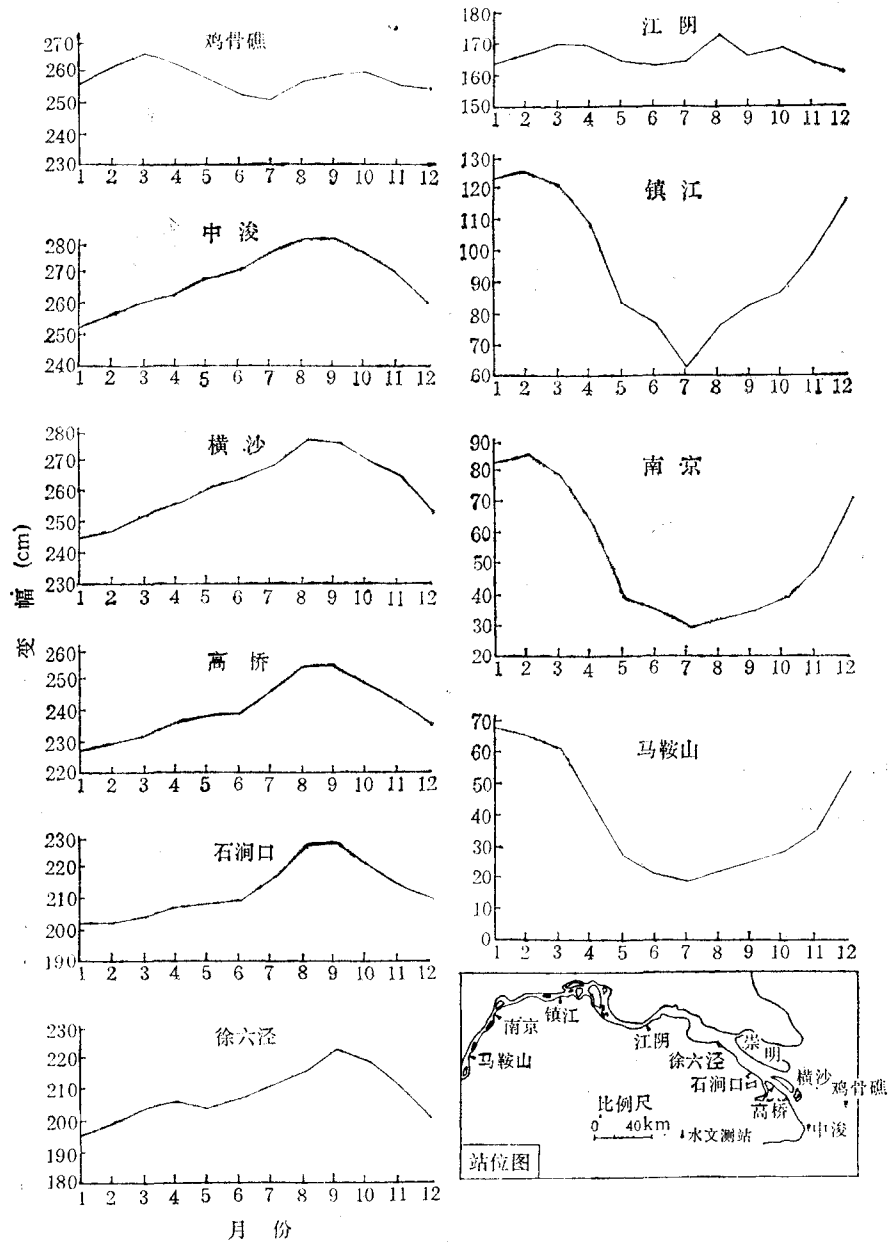
**近口段** 由图5可以看出,在江阴以上的镇江、南京、马鞍山等站月平均潮差年变幅约50~70cm,最小月平均潮差值出现在7~8月,最大值出现在1~2月,与长江径流量的变化存在着明显的负相关。这是因为在河口区潮区界至潮流界之间,洪季时,由于径流作用强劲,削弱了潮波的上溯传布,从而降低了波形的起伏即减小了潮差;反之,枯季时,径流量减弱,水位降低,诱致潮波伸入河口区上端,使得近口段沿程潮差普遍增大。以镇江、南京两站为例:在2月份,多年月平均潮差分别为125cm及84cm;7月份相应的值仅为70cm和30cm。

**河口段** 图5显示,江阴至中浚附近的河口段与江阴以上的近口段潮差年变化截然相反,即河口段的月平均潮差呈现出洪大、枯小,与长江径流量在时间变化上具有同步相关的趋势。以高桥站为例,7~9月份平均潮差为251cm,1~3月份平均潮差为229cm,两者比值为1.09。产生这一现象的主要原因是,作用于这一河段径、潮流动力对比发生变化及地形条件的改变。如上所述,江阴是洪季潮流界,在此以上的近口段,径流作用占主导地位;在此以下的长江河口段,水面展宽,河床纵比降展平,是径流、潮流相互消长、相互制约的区域。资料计算表明<sup>1)</sup>,江阴以上河段水面纵比降为0.02m/km,江阴以下为0.007m/km。因此,洪水波通过江阴后逐渐展平,又受到河口潮波的作用,显然径流量对潮差变化的直接影响已大为减弱,长江径流通过使河口段平均水位的抬高或降低,导致河口潮波的变形,从而间接地影响潮差的变化。

由图6可以发现,高桥站最高月平均水位出现在9月,最低月平均水位出现在1月,变幅约50cm,年平均水位变化与长江径流量年变化相类似。多年资料统计表明:该站月平均水位与大通月径流量的相关系数为0.89。对比图5、图6可以看出,河口段月平均潮差与月平均水位变化规律相类似,表明随着河口段平均水位的高低不同,潮差大小也随之

1) 周程喜,1981。江阴至徐六径河床演变分析。长江口航道整治研究,第一集。





5 图 长江口月平均潮差变化

Fig. 5 Variation of the MMTR in the Changjiang estuary

发生相应的变化。可以这样认为,洪季时,由于径流量的增大,抬高了平均水位,加大了上溯潮波的阻力,在某种意义上就是加强了上游下泄的洪水波与下游上溯潮波的干涉,导致河口潮波变形加剧,从而使同一测站的潮位、潮流位相差比枯季增大,即促使潮波趋向于向驻波性质转化。基于河口段的长度一般都小于传入该河口的近海潮波波长的 1/4,因而表现为潮差增大。枯季时则相反。通常,判别潮波性质是根据潮位和潮流之间的位相

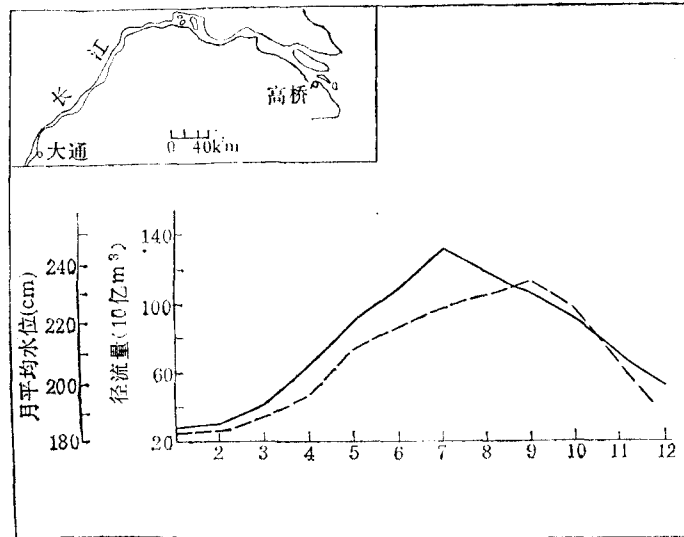


图 6 大通径流量与高桥月平均水位变化

Fig. 6 Relationship between the monthly averaged runoff at Datong and the monthly averaged water level at Gaoqiao

——大通站月平均径流量； ---高桥站月平均水位。

来确定的。当最大流速出现在高、低潮时刻，中潮位流速为最小时，属前进波；反之，当最大流速出现在中潮位，而高、低潮位时流速最小时，属驻波。

简单地可用  $K = \cos [(2\pi/\tau)(\epsilon_\eta - \epsilon_h)]$  来确定潮波性质，当  $K = 0$  为驻波； $K = 1$  为前进波。此处  $\tau$  为潮汐周期，在半月潮区  $\tau \approx 12.42\text{h}$ ； $\epsilon_\eta$  为潮位位相角； $\epsilon_h$  为潮流位相角。

对于驻波， $\epsilon_\eta - \epsilon_h \approx 3.1\text{h}$ ；前进波  $\epsilon_\eta - \epsilon_h \approx 0.0\text{h}$ 。

就一般半日潮河口区而言， $3.1\text{h} > \epsilon_\eta - \epsilon_h > 0.0\text{h}$ ，即  $0 < K < 1$ 。通常，取  $K \geq 0.5$ ，认为是以前进波为主的潮波； $K < 0.5$ ，以驻波为主的潮波。

根据实测资料统计计算，长江口南支河段，枯季时  $\epsilon_\eta - \epsilon_h \approx 1.0 \sim 1.5\text{h}$ ，即  $K \approx 0.87 \sim 0.72$ ，基本属前进波；洪季间，相应站位的  $\epsilon_\eta - \epsilon_h \approx 1.5 \sim 2.1\text{h}$ ， $K \approx 0.72 \sim 0.49$ ，已趋近驻波状态了。正是上述潮波性质的改变造成该河段月平均潮差相应的季节变化。

钱塘江涌潮“秋潮”比“春潮”更显著、更壮观的现象，同样可用上述原因得到解释。

**口外海滨段** 这一区域已处于河口口门外缘，径流作用大为减弱，潮流动力因素占主导地位，反映在潮差变化上已基本受天文条件控制。如长江口外的鸡骨礁，杭州湾口外的大戢山、绿华山等站的月平均潮差明显地呈双峰型变化（图 3, 5）。

上述河口区各段潮差变化规律在我国其他河口，诸如珠江口、闽江口，甌江口也能得到佐证，这里不一一例举。

## 四、结 论

1. 中国沿岸的月平均潮差年内变化主要可分两种类型，即双峰型及单峰型，前者主要

分布在沿岸水域，后者分布于河口水域。

2. 月平均潮差的年内变化与当地水域潮汐性质有密切联系，通常，日潮区域，最大潮差出现在 6 月及 12 月，最小潮差在 3 月及 9 月；半日潮海区，最大潮差出现在 3 月及 9 月，最小潮差在 6 月及 12 月。

3. 径流、地形是引起河口区月平均潮差变化的主要因子。在近口段，洪季潮差小，枯季潮差大；在河口段，洪季潮差大，枯季潮差小；口外海滨区，因主要受制于外海潮波，潮差的季节变化与当地潮汐性质有关。

### 参 考 文 献

- [1] 陈宗镛, 1980, 潮汐学. 科学出版社, 90~95 页。
- [2] 陈吉余、沈焕庭等, 1987. 三峡工程对长江河口盐水入侵和侵蚀堆积过程影响的初步分析. 长江三峡工程对生态环境影响及其对策研究论文集. 科学出版社, 350~353 页。
- [3] 胡方西、曹沛奎, 1981. 三门湾潮波运动特征及其与地貌发育关系. 海洋与湖沼 12(3): 226~234。
- [4] Defant, A., 1961. *Physical Oceanography II*, Pergamon Press. pp. 464~474.

## SEASONAL CHANGES OF THE MEAN TIDAL RANGE ALONG THE CHINESE COASTS

Hu Fangxi and Gu Guochuan

(*Institute of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai*)

### ABSTRACT

This paper describes the characteristics of the monthly-mean tidal range (MMTR) along the Chinese coasts. The seasonal variation of tidal ranges can be divided into two types: double-peaked and single-peaked. The former is situated in the coastal regions and the latter is located in the estuarine regions. In the coastal regions, the variation of MMTR is closely related with the tidal properties of the local areas. Generally, in diurnal tidal waters, the maximum MMTR occurs in June and December, the minimum takes place in March and September; in semidiurnal tidal waters, the maximum occurs in March and September, and the minimum takes place in June and December.

The runoff and topography are the main factors affecting the variation of MMTR in estuarine regions. Commonly, in nearly estuarine reach the tidal range is small during the flood seasons and large during the dry seasons; On the contrary, the tidal range in the estuarine reach is large during the flood seasons and small during the dry seasons. During the flood seasons, the mean water level was raised due to flood water, thus enabling the flood wave from the upstream to interact with the tidal wave from the downstream in the estuarine reach and deforming the tidal wave severely. So the features of the tidal wave are changed, among which the phase of the tidal current and tidal level increased greatly as compared with that during the dry seasons, and the tidal wave becomes more or less like a standing wave. This results in the increasing of the tidal ranges. In the offshore areas, the seasonal variation of the tidal range is related with the tidal properties which are controlled by the tidal wave from the sea.