

中国近海潮波运动特征分析

章卫胜¹, 宋志尧², 张金善¹, 孔俊²

(1. 南京水利科学研究所, 江苏 南京 210029; 2. 河海大学 海洋学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 基于中国近海潮波运动数学模型对整个中国近海的潮波进行数值模拟, 结合前人研究成果, 对中国近海潮波运动特征进行分析。总体说, 整个东中国海的潮波主要是太平洋潮波经台湾和九州之间的水道传入的协振潮。南海的潮波主要是太平洋潮波经吕宋海峡传入的协振潮。东海和南海主要通过台湾海峡进行水量和潮能交换。在东中国海基本以半日潮为主, 其中 M_2 占优, 而在南海基本以全日潮 K_1 和 O_1 为主。由于受到地形影响、边界的反射、地转偏向力和陆架浅海的摩擦作用, 潮波在各海区或以前进波或以无潮点和圆流点为主要特征的旋转潮波系统组成了复杂的中国近海潮波系统。

关键词: 潮波运动; 中国近海; 无潮点; 圆流点

自从数值模拟成为潮波运动研究的一个重要手段以来, 很多海洋研究者对中国近海潮汐分布进行了研究, 其中绝大多数的是对专属海域进行的数值计算, 而其中对东海及其部分海域的研究是较早的也是较多的^[1~9]; 20 世纪 90 年代以后采用的模式由二维逐渐转为三维^[8, 9], 考虑的因素越来越全面, 得到的结果可信度也越来越高; 相比较而言, 对南海潮波的认识则要缺乏的多: 研究者采用不同数值方法对南海潮波运动的数值研究, 结果具有很大的差异性^[10~13]。这和南海水深大, 地形复杂, 研究资料缺乏有很大关系。

总的来说, 研究者对中国近海各部分海域潮波运动的研究对人们了解和认识中国近海潮波运动的特征具有重要意义。但是, 由于模型区域的差别和研究关注点的不同, 不同研究者得到的结果往往存在一定的差异, 使得人们对中国近海的潮汐分布和潮波运动缺少一个整体的认识。采用中国近海潮波数学模型^[14]的数值模拟计算结果, 对中国近海的主要分潮运动特征进行分析, 并和前人的结果进行了类比分析。中国近海潮波运动数学模型采用二维球坐标, 考虑引潮力的影响。和同类模型相比而言, 具有模型区域相对较大, 包括整个渤海、黄海、东海、南海、泰国湾和环台湾岛海域中国近海的海域, 网格精度相对较高 ($2' \times 2'$) 的特点; 同时, 开边界采用较为合理的八个主要分潮 (M_2 、 S_2 、 N_2 、 K_2 、 K_1 、 O_1 、 Q_1 、 P_1) 的复合潮位过程线。关于模型的建立详细介绍可参见文献[14]。

1 潮汐类型

根据潮型数 $A = (H_{K1} + H_{O1}) / H_{M2}$ 来判断^[15]:

$$\left. \begin{array}{ll} A \leq 0.5 & \text{半日潮} \\ 0.5 < A \leq 2.0 & \text{不规则半日潮} \\ 2.0 < A \leq 4.0 & \text{不规则全日潮} \\ 4.0 < A & \text{全日潮} \end{array} \right\} \text{混合潮}$$

从图 1 中可以看出, 在东海, 潮汐数 A 全都小于 4.0, 整个海区属于半日潮海区。 $A=0.5$ 的等值线位于陆架上并与陆架边缘线基本平行。西北侧除杭州湾、舟山群岛附近海域为不规则半日潮外, 均属于正规半日潮; 而东南侧为正规不正规半日潮。在黄海, 大多数海岸和海域属于正规半日潮, 在海州湾外半日无潮点周围极小范围内出现不正规全日潮, 而不正规半日潮镶嵌其中, 范围要相对大得多。在成山头近岸的半日无潮点附近极小范围出现正规全日潮, 其周围有不正规全日潮和不正规半日潮包围。在渤海, 潮汐性质要复杂的多。其中大部分海域属于不正规半日潮, 在渤海海峡蓬莱近海全日潮无潮点周围是正规半日潮海区; 而在秦皇岛近海的半日潮无潮点附近, 有一小范围的正规全日潮区, 周围由不正规全日潮包围着; 在黄河口外海的半日潮无潮点周围有小块不正规全日潮区。

南海的潮型分布更为复杂, 但以全日潮为主, 潮型数大于 4.0, 即正规全日潮占南海的绝大部分。福建沿海, 台湾海峡北部海域为正规半日潮, 台湾海峡南部至吕宋岛、台湾岛东海岸与东海不正规半日潮海域连成大范围的不规则半日潮海域。琼州海峡以东, 珠江口以西沿海一带属于不规则半日潮。珠江口以东, 广东沿海除汕头近海一小小海域为全日潮外, 外海有一片不规则全日潮过渡带, 在往南便是南海的主体全日潮海域。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。在全日潮无潮点顺化附近, 为不规则半日潮。在南海与苏禄海交汇的巴望岛和巴拉巴克海峡海域不同程度的分布一片不规则全日潮。在南海的南部海域及泰国湾附近潮型最为复杂, 在湄公河口和古晋海域半日潮波腹处出现不规则半日潮、不规则全日潮、全日潮过渡带。泰国湾内宋卡全日无潮点附近为半日潮, 以此向北、向南均逐渐过渡到全日潮; 计算结果显示在泰国湾顶也出现一个由半日潮向全潮过渡的过渡带, 原因可能是该处为半日潮的波腹处。

由于南海海域地形复杂, 资料相对缺乏, 愈慕耕^[10]、沈育疆^[11]、丁文兰^[12]、方国洪^[13, 15]等对南海潮汐

的分析也有较大差别, 差别主要在泰国湾和南海南部水域的半日潮无潮点分布和由此引起潮型的不同。大家比较一致的是北部湾、南海北部海域的潮型分布以及湄公河口、古晋、宋卡附近的潮型分布, 最大差别是除沈育疆外, 其他研究者的南海中部的广大海域潮型分布为不规则全日潮, 而本文和沈育疆结果比较一致, 分布为全日潮, 此外在泰国湾内的潮型分布也稍有差别。

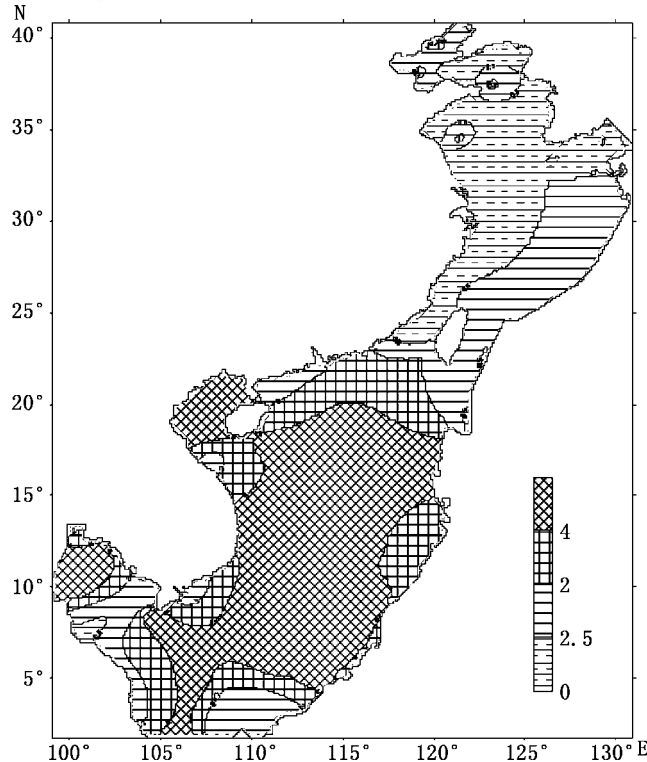


图1 潮汐类型分布图

2 潮汐分布

2.1 半日潮

半日潮波 M_2 和 S_2 分潮的潮波系统大致相同: 在渤海有两个旋转潮波系统, 在北黄海和南黄海各有一个旋转潮波系统, 在台湾岛北端、广东海门湾附近、越南海防附近各有一退化的旋转潮波系统, 在南海南部的亚南巴士岛附近存在一潮波旋转系统, 而在泰国湾口的金瓯角和湾内的万伦附近各存在一退化的旋转潮波系统。各旋转潮波系统除金瓯角处外都是呈逆时针(即左旋)方向旋转, 这是由于在北半球科氏力作用的结果; 而金瓯角处是由于特殊的位置所致。各旋转系统及无潮点的位置分布形成了中国近海的潮波系统主要特征。从等振幅线的分布看, 各无潮点附近潮差最小, 而海湾的波腹区潮差最大, 如福建沿海、杭州湾、琼港外海、朝鲜半岛西海岸都是大潮差区。东海潮差呈现的主要特征是东面小, 西面大。琉球群岛潮汐属于大洋潮汐性质, 潮差小, 而我国浙闽沿海潮差大。黄海潮差由于无潮点向我国海岸靠近使得中国沿海潮差相对较小, 但琼港附近波腹区潮差也较大。渤海潮差在辽东湾和渤海湾顶最大, 而无潮点附近的秦皇岛和营口潮差很小。环台湾岛海域潮汐分布的整体趋势是, 台湾岛东侧的潮时明显要早于台湾海峡两侧, 福建东山附近最晚。从等振幅线来看, 环台湾岛的 M_2 分潮振幅由 20 cm 到 200 cm 之间变化。台湾岛以东属于大洋潮汐, 潮差在 40 cm 以下, 台湾岛西南方巴士海峡的深水部分振幅最低, 仅为 20 cm。最大振幅在福建中部超过 200cm, 由此向南经过很大的等振幅线梯度减小至 20 cm。南海由于区域广阔, 水深地形结构复杂, 潮汐分布也十分复杂。在南海盆地, 由于水深很大, 等迟角线稀疏, 大致平行呈东南走向, M_2 分潮振幅在 10 cm~20 cm 之间, 变化很小, 呈大洋潮波的性质; 但在近岸和海湾, 振幅有很大变化, 在北部湾内 M_2 分潮最大振幅在 30 cm 左右, 但在湄公河口, 马来半岛和古晋达士湾附近的波腹区, 最大振幅均超过 50 cm; 南海 M_2 分潮的最大振幅出现在达士湾, 超过 110 m。

从潮汐的分布可以看出潮波在中国近海的传播途径: 在东海, 太平洋半日潮波在琉球群岛几乎以平顶前进波传入东海, 它的同潮时线和等振幅线接近平行等深线。在台湾东侧 M_2 潮波的同潮时线以南北走向紧靠台湾岛。于是在台湾和冲绳之间传入的半日潮波向西北传入浙江三门湾, 使同潮时线以三门湾为顶点, 分成南北两支, 呈八字型向两旁伸展, 且波峰线突出。因海岸反射, 在这里形成潮能集中、波振幅激增的波腹区。南支与台湾岛北部的进入的太平洋潮波汇合, 在浙江、福建曲折海岸的东南向弱漫反射和台湾岛

的特殊位置作用下,形成基隆附近的左旋“退化旋转潮波系统”,使潮波继续由台湾海峡向南传播。北支与冲绳和九州之间的前进波汇合继续沿东海北上,其中小部分经对马海峡传向日本海。进入黄海的前进潮波由于受到山东半岛的阻挡反射,相互叠加而在南黄海形成左旋的旋转潮波系统,而在江苏的弼港附近形成波能聚集的波腹区。同样的,北黄海的前进波受到辽东半岛的影响形成成山角附近的旋转潮波系统。由渤海海峡进入的渤海的潮波由于渤海湾的特殊地形作用也形成两个旋转潮波系统。

环台湾岛海域的潮波是由太平洋潮波在东边界传入,由于台湾岛的阻挡而分成南北两支,北支即是东中国海潮波的主要来源,而南支则是南海潮波的主要来源;两支潮波在台湾海峡内交汇。关于台湾海峡内的潮波传播和两支潮波的相互作用,目前很受潮汐研究者的关注,将在另文中具体讨论。

南海的半日潮波主要是经巴士海峡传入的太平洋潮波。在台湾海峡南端,半日潮波越过吕宋海峡,除一小部分绕过台湾浅滩和沿台湾岛西南侧的深沟进入台湾海峡外,大部分潮波传入广阔的南海。由于南海盆地水深很大,所以潮波传播速度很快,在右侧南海潮波很快遇到海南岛和越南海岸,潮波顺着北部湾地形继续进入北部湾,形成北部湾的潮振动。一部分向西传播遇到琼州半岛发生发射,在湛江外海形成波腹区。进入北部湾的潮波又有一部分穿过琼州海峡向东传向南海,湾内在越南海防附近形成一退化无潮点。当南海潮波越过广阔的南海盆地遇到西南陆架浅海时,潮波发生了很大的变形,结构也变的复杂起来。受地形影响,在越南湄公河口和马来西亚的古晋外海都形成潮差较大的波腹区,古晋附近潮差超过 2 m。潮波越过金瓯角一达土角之后一部分顺着岸线右旋进入泰国湾,一部分向正南方向传播进入爪哇海。泰国湾内的 M_2 分潮振幅都很小,湾顶处为 30 cm 左右,其它大面积在 10 cm 左右,这说明半日分潮在该海域已经不大占主要部分。在南边的亚南巴士无群岛附近发现一个左旋的旋转潮波系统,该无潮点已经得到大都认可。其产生的原因是由于由爪哇海向北传播的潮波和南海向南传播的潮波在此处交汇和特殊的地形造成的。同时,发现 M_2 和 S_2 分潮无潮点位置有所区别: S_2 分潮位置偏北,可以认为从爪哇海进入南海的 S_2 分潮作用比 M_2 分潮要强。 M_2 分潮在马来西亚西海岸也有一个波能聚集的波腹区, M_2 分潮振幅最大超过 50 cm。

其它半日分潮 S_2 、 N_2 、 K_2 分潮等由于周期、角频率相近,故等迟角线相差不大,但振幅相差甚远,其中 S_2 分潮振幅差不多刚好是 M_2 分潮的一半,而 N_2 、 K_2 分潮则要小得多。

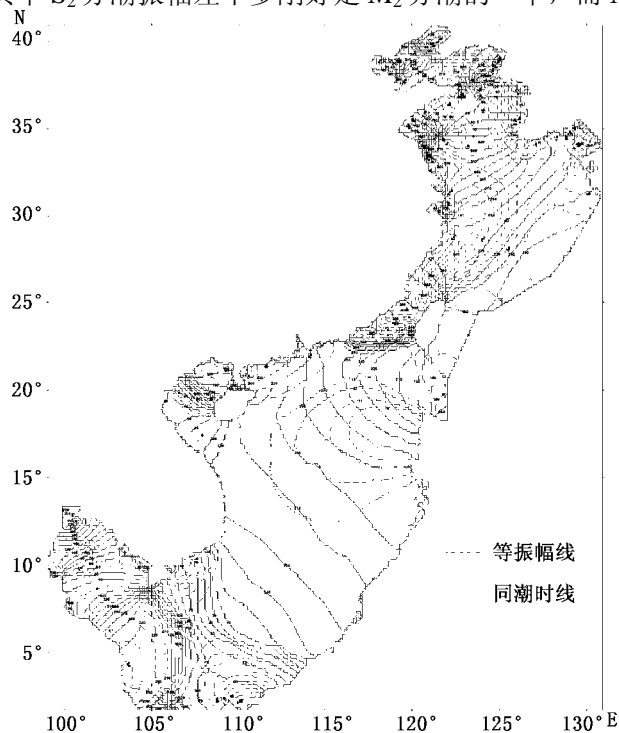


图 2 M_2 分潮潮汐同潮图

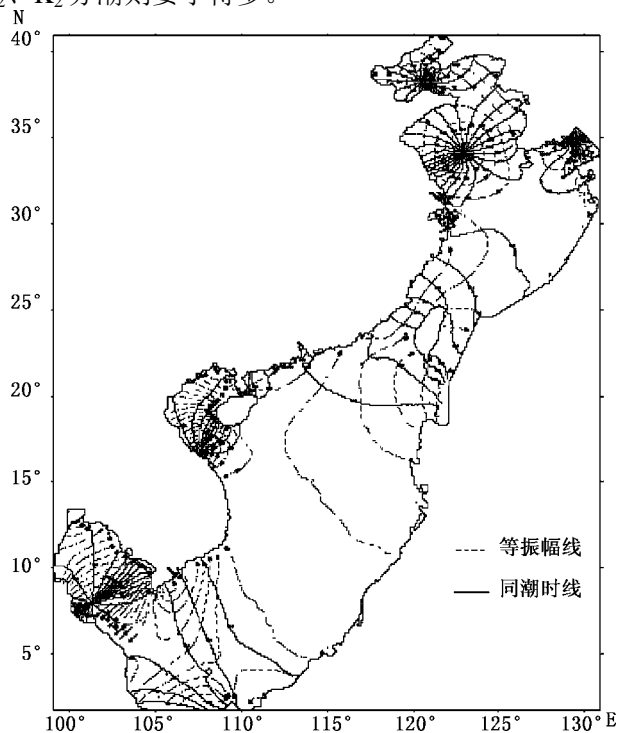


图 3 K_1 分潮潮汐同潮图

2.2 全日潮

全日潮的角频率是半日潮的一般,所以潮汐的分布和半日潮相比有较大差别,但总的来说较简单。东海的 K_1 分潮显示主要是琉球群岛那霸以北的太平洋 K_1 分潮传入的结果。等迟角线在东海几乎与我国海岸线垂直,等振幅线则差不多和岸线平行,二者保持正交。在黄海中央的左旋旋转潮波系统差不多决定了整个黄海的 K_1 分潮分布。和半日潮不同的是在江苏弼港外海没有波能幅聚。渤海在烟台外海有一旋转潮波系统。整个渤海、黄海 K_1 分潮的振幅都较小,平均在 20 cm 左右。数值模拟结果发现在对马海峡处有一

无潮点，而同潮图中还显示对马岛处的等迟角线聚集的近似退化无潮点，由于靠近边界它的存在还不能确定。但等振幅线显示全日潮穿过对马海峡向日本海传播。

东海的潮波向南经过还台湾岛海域，在台湾海峡北部由于地形束窄，波能稍微幅聚。但在台湾浅滩附近没有波能幅聚区说明由巴士海峡传入的全日潮波没有传向台湾海峡的因而没有在此交汇。台湾岛东侧的等迟角线向南倾斜，说明从东海岸传入的太平洋潮波受台湾岛的阻挡而折向南传播。

南海的全日潮波在北部湾口形成一旋转潮波系统，等振幅线则由湾口向里递增，在湾顶达到最大，振幅将近 1 m。等迟角线显示，潮波在琼州海峡由西向东传播。南海陆架的全日潮分布也较复杂。在湄公河口和古晋附近位置形成波腹区，在泰国湾口的宋卡附近有一左旋潮波系统，由此振幅向湾顶和湾口增加，在湾顶处达到最大 60 cm 左右。等迟角线显示在南边界处全日潮波由南海向爪哇海传播。

O_1 分潮的潮汐分布和 K_1 分潮相似，但振幅略小； P_1 、 Q_1 振幅则更小。

2.3 浅水分潮

浅水分潮是潮波进入浅水区，水深减小和底部摩擦使之发生变形，这种所形成的倍潮波用浅水分潮来表示，常见的如 M_4 ， S_4 ， M_{s4} ， M_{sf} 等其中以 M_4 最大。由于浅水分潮跟水深有很大关系，因而在整个南海很小，所以图 4 给出浅水分潮 M_4 的部分区域的潮汐同潮图。在东中国海共有 16 个明显潮波旋转系统，和叶安乐^[6]模拟结果相比，结果相近但有所区别，具体来说渤海有两个左旋旋转潮波系统，而叶安乐文中的退化无潮点这里不出现；北黄海有两个，和叶文中一致。南黄海有 8 个，而叶安乐文中只有 7 个，且位置也有差别，其中叶安乐文中在朝鲜半岛外海发现两个，而本文没有出现，南黄海中部叶安乐文中有两个，本文只有 1 个；但在济州岛附近，且本文在江苏苏北沿海本文各发现有两个但叶安乐文中不出现。在东海本文发现有 7 个，和叶的差别在于杭州湾内发现有两个，但叶安乐文中不出现。前面说过，南海的 M_4 分潮几乎得不到，计算结果显示南海区域在湛江外海发现一个旋转潮波系统。

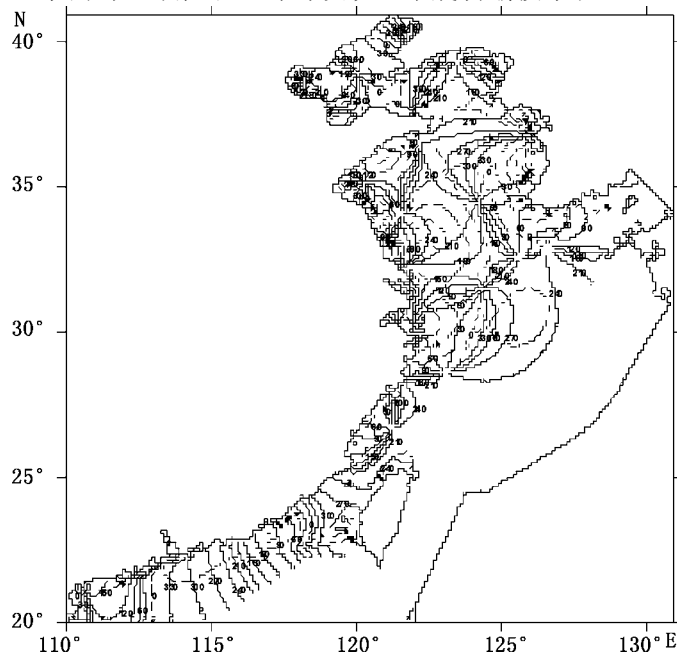


图 4 M_4 分潮潮汐同潮图

3 潮流分布

3.1 半日潮流分布

M_2 分潮的潮流在东中国海分布比较复杂，大致的趋势是沿岸近海振幅较大，圆流点附近，海域中央振幅较小。东海在基隆、杭州湾、苏北沿海、光州外海和海州湾均是 M_2 振幅较大区域，最大值都超过 80 cm/s；而黄海中央是一片低振幅区，渤海湾内的 M_2 振幅在 20~60 cm 之间。在南海台湾海峡南部的台湾浅滩周围海域是 M_2 分潮的强流区，此外除了中国南部沿海区域 M_2 振幅在 10~40 cm 之间，泰国湾的振幅在 10~20 cm 之间外整个南海广大海域 M_2 振幅都不超过 10 cm。

圆流点是潮流分布一个重要特征，它是同潮流时线的交汇点，与无潮点有所区别，该点不存在最大潮流发生时间，也就是合成潮流恒为常值，但不能说该点的潮流振幅为零。从 M_2 分潮的潮流同潮时线看出海域内圆流点共有 19 个，其中渤海、黄海、东海共 9 个，南海 10 个。在东中国海圆流点的个数众多研究者比较一致，只是位置有所差别，见表 1。

本文和以上比较除了莱州湾口外没有获得圆流点, 和万振文等^[8]和林琿等^[17]结果一致。在黄海北部朝鲜半岛西侧给出靠得较近的两个圆流点, 和其他几位结果有所差别; 此外在对马海峡附近也存在一圆流点, 而其他几位均没有发现。

表 1 东中国海 M_2 分潮圆流点位置

海区	作者	圆流点位置
秦皇岛附近	Fang(1986)	39° 05' N, 120° 00' E
	陈国珍(1992)	约 39° 20' N, 119° 20' E
	赵保仁等(1994)	约 39° 05' N, 120° 00' E
	万振文等(1998)	约 39° 05' N, 120° 00' E
	王凯等(1999)	39° 13' N, 119° 57' E
	林琿等(2000)	约 39° 05' N, 120° 00' E
莱州湾口	本文	39° 08' N, 119° 48' E
	Fang(1986)	37° 45' N, 119° 50' E
	陈国珍(1992)	约 37° 55' N, 120° 00' E
	赵保仁等(1994)	约 37° 50' N, 119° 05' E
山东半岛北部海域	王凯等(1999)	38° 01' N, 119° 54' E
	本文	无
	Fang(1986)	37° 45' N, 121° 40' E
	陈国珍(1992)	37° 55' N, 121° 30' E
	赵保仁等(1994)	约 37° 55' N, 121° 30' E; 约 38° 10' N, 122° 15' E
	万振文等(1998)	约 37° 55' N, 121° 50' E; 约 38° 00' N, 122° 15' E
黄海北部	王凯等(1999)	38° 01' N, 119° 54' E; 38° 04' N, 121° 36' E
	林琿等(2000)	约 38° 05' N, 121° 30' E; 约 38° 10' N, 122° 20' E
	本文	37° 56' N, 121° 36' E; 38° 02' N, 122° 07' E
	Fang(1986)	36° 20' N, 123° 20' E; 36° 15' N, 124° 50' E
	陈国珍(1992)	约 35° 40' N, 122° 40' E; 约 36° 20' N, 125° 00' E
	赵保仁等(1994)	约 36° 30' N, 126° 50' E; 约 36° 35' N, 124° 45' E
苏北辐射沙洲外侧	万振文等(1998)	约 36° 25' N, 123° 10' E; 约 36° 40' N, 124° 50' E
	王凯等(1999)	36° 21' N, 123° 00' E
	林琿等(2000)	约 36° 15' N, 123° 10' E; 约 36° 50' N, 125° 10' E
	本文	36° 14' N, 123° 02' E; 36° 45' N, 125° 18' E; 36° 38' N, 125° 33' E
	Fang(1986)	32° 10' N, 123° 20' E
	陈国珍(1992)	约 32° 50' N, 123° 15' E
舟山群岛东南海域	赵保仁等(1994)	约 33° 00' N, 123° 10' E
	万振文等(1998)	约 33° 00' N, 123° 15' E
	王凯等(1999)	32° 50' N, 123° 53' E
	林琿等(2000)	约 32° 40' N, 122° 49' E
环台湾岛海域	本文	32° 58' N, 123° 00' E
	赵保仁等(1994)	约 29° 45' N, 122° 20' E; 约 29° 45' N, 123° 00' E
	万振文等(1998)	约 29° 45' N, 122° 20' E
	王凯等(1999)	29° 15' N, 122° 45' E
环台湾岛海域	林琿等(2000)	约 29° 45' N, 123° 00' E
	本文	29° 26' N, 123° 10' E

在环台湾岛海域本文没有发现 M_2 分潮圆流点, 但在台湾海峡的台中附近有一近似退化圆流点, 台湾海峡的同潮流时线和方国洪^[18]、丁文兰^[19]基本一致。在台湾海峡东海岸没有得到完整的同潮流时线分布。沙文钰^[20]用三维 POM 模式计算环台湾岛海域的 M_2 分潮首次发现了 5 个圆流点, 郑文振^[21], 叶安乐^[22]认为在台湾海峡北部存在一圆流点。目前对于台湾海峡圆流点的认识还没有达到共识。

在南海由于水深地形变化大, 潮流结果复杂, 而且由于南海盆地水深很大、流速很小, 在此海域几乎得不到正常的同潮时线, 所以在南海的大范围海域潮流结果并没有得到比较一致的认可。但本文在琼州海峡东侧, 北部湾以及泰国湾西南海域比较清楚的潮流结构。在广东外海、北部湾内、琼州海峡西侧各有一圆流点, 这和方国洪, 丁文兰结果一致。但方国洪在越南顺化附近发现一圆流点, 本文位置偏向岸边界; 方国洪在马尼拉附近发现一圆流点, 在菲律宾外海发现一对圆流点, 而在本文中不出现, 方国洪也认为弱流区圆流点意义不大。本文在西南海域湄公河口—昆仑岛—纳土那群岛—达士角一线分布 5 个圆流点, 比较复杂; 泰国湾口及湾内各分布有圆流点, 在南边界附近有一个圆流点。而方国洪只在丁加奴附近发现一圆流点, 在纳土那群岛发现一对圆流点。

3.2 全日潮

K_1 分潮流在东海比较小, 最大值在渤海海峡北部达到 25 cm/s, 在其他的大范围的渤海、黄海、东海内 K_1 分潮流几乎都在 5~10cm/s 内, 在杭州湾内和对马海峡内稍大超过 10 cm/s。计算结果和赵保仁和林琿等的模拟结果十分接近。在台湾海峡内其值也在 10 cm/s 以内, 但在台湾海峡南端至巴林塘海峡存在一 K_1 分潮流的强流区, 最大值超过 25 cm/s。在南海的广大海域, K_1 分潮振幅均小于 5 cm/s; 但在近岸其值增大。具体说在北部湾内和琼州海峡东边是 K_1 分潮的潮能幅聚区, 在海南岛的西侧 K_1 潮流超过 45 cm/s, 在琼州海峡内由于受特殊地形的作用, K_1 潮流在 40~80 cm/s。在南海的南部水域, K_1 一般在 5~20 cm/s。

在金瓯角附近也存在强潮流，最大值超过 35 cm/s。

K_1 分潮流同潮时线表明 K_1 分潮流系统也十分复杂。在渤海内部，在秦皇岛附近和莱州湾口各存在一圆流点，这和以往的研究的结论十分一致。苏北沙洲外海，本文发现一圆流点带，和赵保仁，林琿的结果比较接近；在济州岛周围，本文发现分布三个圆流点和林琿的结果十分一致，在琉球群岛岛链附近，本文计算同潮时线分布十分复杂，且不清楚，隐约分布数个圆流点，对于此处潮流结构的认识有待进一步探讨。

在环台湾岛海域，沙文钰^[23]认为在表层存在 5 个圆流点，其中海峡南部 2 个，台湾岛南部 1 个，其余 2 个在台湾岛东部海区。而本文台湾岛南方存在一圆流点，在澎湖列岛附近是同潮时线密集区域。在台湾海峡内和台湾岛东海岸均没有发现明显的圆流点。

在南海本文计算在北部湾内琼州海峡西侧出现一圆流点和丁文兰结果一致。在海南岛东方、东南方和南部的丁加奴附近、达土角东侧各发现一圆流点，这和方国洪结果一致，但方国洪在巴拉望岛附近的圆流点这里不出现。同时本文在纳吐那岛附近首次出现三个圆流点，其真实性有待进一步验证。

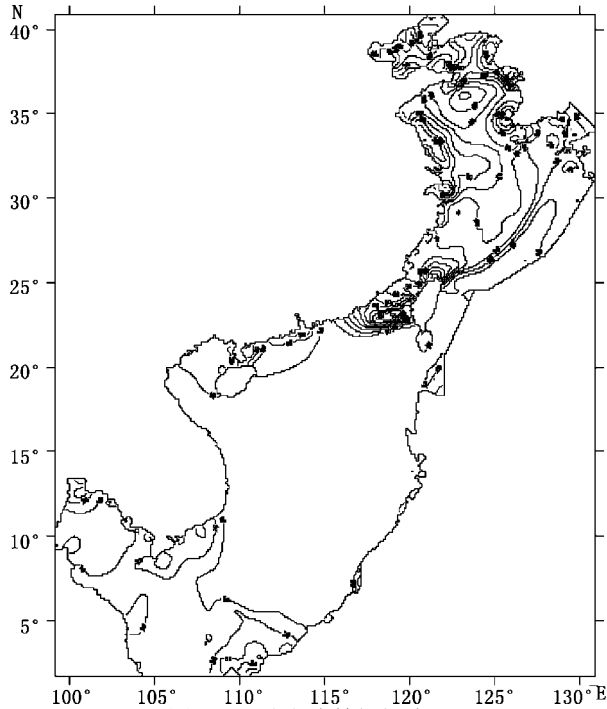


图 5a M_2 分潮流等振幅线

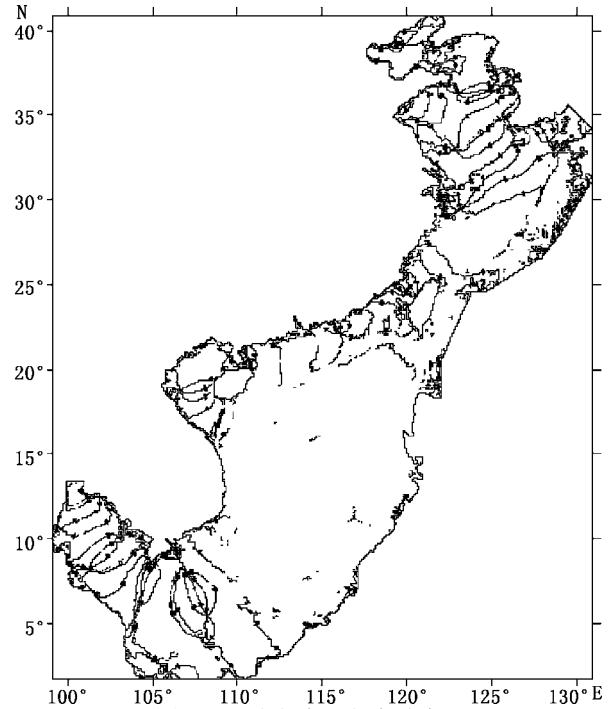


图 5b M_2 分潮流同潮流时线

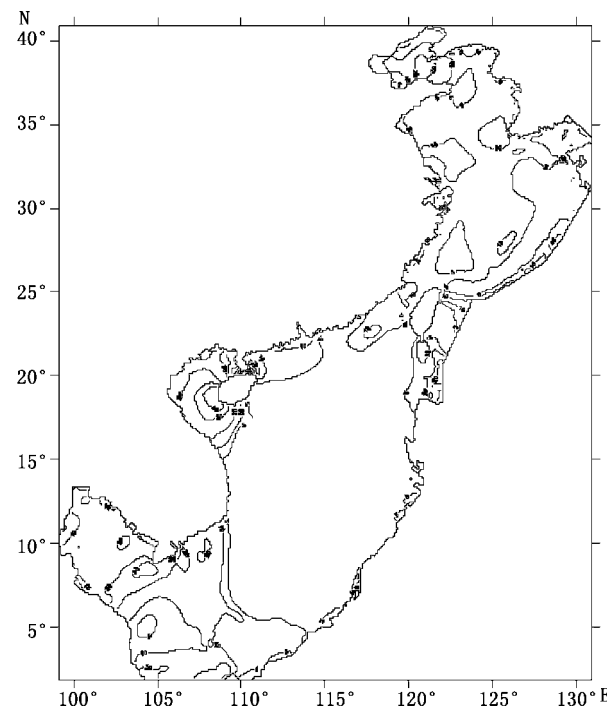


图 6(a) K_1 分潮流等振幅线

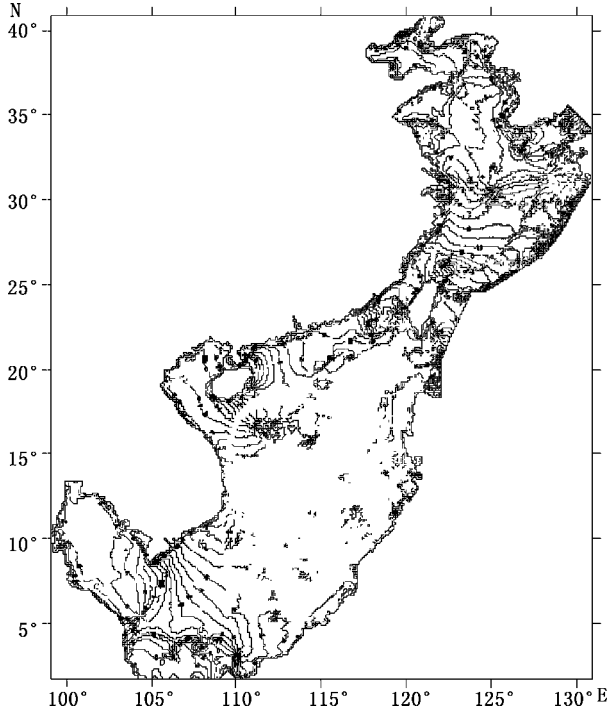


图 6(b) K_1 分潮流同潮流时线

4 结 语

通过中国近海潮波运动特征分析可以得到以下结论:

- 1) 整个东中国海的潮波主要是太平洋潮波经台湾和九州之间的水道传入的协振潮;其中以半日潮尤其是 M_2 分潮为主;
- 2) 南海的潮波主要是太平洋潮波经吕宋海峡传入的协振潮,其中以全日潮 K_1 和 O_1 为主。由于模型对于南海的验证以及前人的不一致认识,本文对于南海潮波的分析 and 认识需要进一步的研究,以待确认;
- 3) 边缘海区的潮波运动主要受到影响因素有:地形、边界、地转偏向力和陆架浅海的摩阻等,潮波在各因素的影响作用下形成了以前进波或以无潮点和圆流点为主要特征的旋转潮波系统,从而组成了复杂的中国近海潮波系统。

参考文献:

- 1 沈育疆. 东中国海潮汐数值计算. 山东海洋学院学报, 1980, 10(3).
- 2 CHOI B H. A three-dimensional model of the east sea, Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Sea. Elsevier Oceanography Series, 1984, 209-224.
- 3 Choi B H. A tidal model of the Yellow Sea and the East China Sea. Korea Ocean Research and Development Institute Report 80-0Z, 1980, 73.
- 4 Choi B H. A fine-grid three-dimensional 112 tide model or the East China Sea. In: Modering .Marine Systems, ed. By A. M. Davies, 1990, 167-185.
- 5 Fang Guohong. Tide and tidal current charts for the marginal seas adjacent to china. C. J. of Oceanology and Limnology. 1986, 4(1): 1-16.
- 6 叶安乐, 梅丽明. 渤海东海潮汐数值计算. 海洋与湖沼, 1995, 26(1).
- 7 赵保仁, 方国洪, 曹德明. 渤、黄、东海潮汐潮流的数值模拟. 海洋学报, 1994, 16(5): 1-10.
- 8 万振文, 乔方利, 袁业立. 渤、黄、东海三维潮汐运动数值模拟. 海洋与湖沼, 1998, 29(6).
- 9 王 凯, 方国洪, 冯士筌. 渤海、黄海、东海 M_2 潮汐潮流的三维数值模拟. 海洋学报, 1999, 21(4).
- 10 愈慕耕. 南海潮汐特征的初步探讨. 海洋学报, 1984, 6(3).
- 11 沈育疆, 等. 南海潮汐数值计算. 海洋湖沼通报, 1985, 1(1).
- 12 丁文兰. 南海的潮汐和潮流分布. 海洋与湖沼, 1986, 17(6).
- 13 方国洪, 曹德明, 黄企洲, 南海潮汐潮流的数值模拟. 海洋学报, 1994, 16(4).
- 14 章卫胜, 宋志尧, 孔俊. 中国近海潮波运动数值模式的建立. 河海大学学报(自然科学版), 2004, .32, 增刊.
- 15 方国洪, 等. 潮汐和潮流的分析和预报. 北京: 海洋出版社, 1986.
- 16 陈国珍主编. 渤海、黄海、东海海洋图集(水文). 北京: 海洋出版社, 1992, 429-454.
- 17 林 琿, 闫国年, 宋志尧. 东中国海潮波系统与海岸演变模拟研究. 北京: 科学出版社, 2000.
- 18 方国洪, 杨景飞, 赵绪才. 台湾海峡潮汐和潮流的一个数值模型. 海洋学报, 1985, 7, (1).
- 19 丁文兰. 台湾海峡的潮汐和潮流的分布特征. 台湾海峡, 2(1983), 1-8.
- 20 沙文钰, 吕新刚, 蒋国荣. 环台湾岛海域 M_2 分潮特征的数值模拟. 解放军理工大学学报, 2000, 1(1).
- 21 郑文振, 陈福年, 陈新忠. 台湾海峡的潮汐和潮流. 台湾海峡, 1982, 1, 1-4.
- 22 叶安乐, 陈宗镛, 于宜法. 台湾海峡半日潮的三维数值模拟. 海洋与湖沼, 1985, 16, (6)).
- 23 沙文钰, 等. 环台湾岛海域全日潮的特征和潮汐、潮流的综合性质. 海洋科学, 2002, 26(10).