

Doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2013.01.001

夏综万,廖世智,冯砚青. 粤东甲子海域潮波异常和南海北部潮波的传播[J]. 海洋学报,2013,35(1):1-8.

Xia Zongwan, Liao Shizhi, Feng Yanqing. Traveling of tidal wave in the north part of the South China Sea and the tidal energy divergence appearing in the area off Jiazi Station [J]. Acta Oceanologica Sinica(in Chinese), 2013, 35(1):1-8.

粤东甲子海域潮波异常和南海北部潮波的传播

夏综万¹, 廖世智², 冯砚青²

(1. 国家海洋局 南海分局, 广东 广州 510300; 2. 国家海洋局 南海工程勘察中心, 广东 广州 510300)

摘要: 从南海潮波数值模拟潮能通量的结果中, 勾勒出南海北部潮波的传播路径, 显示出众多的路径分支。分析表明南海北部陆架包括北部湾海区, 仅获得太平洋传入潮能的一小部分, 因而南海北部沿岸的潮汐潮流都表现得比较弱。由于复杂的地形, 导致了潮波传播路径指向不同方向。文章通过实测资料以及潮波的传播路径, 特别讨论了粤东甲子站附近的潮波异常现象, 并指出流向台湾海峡南口的分支和流向珠江口、广州湾的分支之间的潮能辐散, 可能是造成甲子站附近潮性系数特别大以及潮汐潮流性质迥异现象的重要原因之一。

关键词: 南海北部; 甲子海域; 潮波传播; 潮能通量

中图分类号: P722.7; P731.23

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2013)01-0001-08

1 引言

关于南海北部的潮波, 人们最不理解的问题大概是甲子海域的异常现象。甲子是粤东的一个镇(概略见图 1)。那里海洋岸站测得的潮汐性质是典型的全日潮, 与附近岸站的都不同; 而附近海域测得的潮流性质却是不正规甚至正规半日潮。民间也有“神仙难测甲子水”之说。此外, 南海北部沿岸潮汐潮流都较弱小; 广东海岸线相对平直, 大部分沿海并未见 Kelvin 潮波的传播; 也是人们关注的问题。研究表明, 分析这些问题, 都需要从整体上研究南海北部, 尤其是东北部的潮波系统以及其传播特征入手。

2 南海北部潮波概况

南海是邻接中国大陆最大的边缘海; 海域辽阔, 中部有水深超过 5 000 m 的深海盆, 北部的广东省沿

岸有宽阔的大陆架, 西部有一个大海湾北部湾。南海北部的地形如图 1 所示。

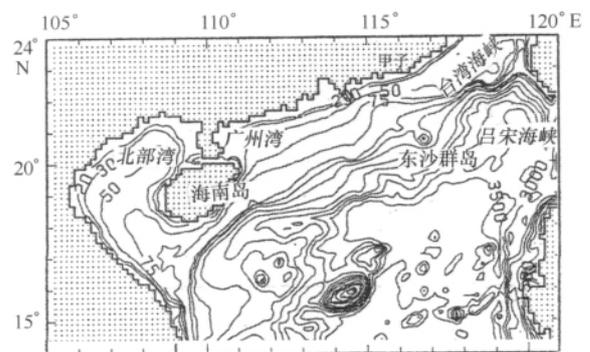


图 1 南海北部地形

对南海包括南海北部潮波的研究, 已有大量工作, 本文不一一列举。这里转引 Fang^[1] 的 M_2 和 K_1 等潮图(见图 2), 以及夏综万^[2] 的 M_2 和 K_1 潮流椭圆

收稿日期: 2011-12-08; 修订日期: 2012-07-17。

基金项目: 海洋公益性行业科研专项经费项目(200905024-3)。

作者简介: 夏综万(1937—), 男, 湖北省鄂州市人, 研究员, 主要从事物理海洋学研究。E-mail: zwxia@scsb.gov.cn

图(图3)。前者是综合各种资料所作,比较有代表性;后者是一个三维正压水动力模式的结果,其有关图件清晰,有助于本题目的分析论证。

在图2和图3中,我们主要关注南海北部,尤其是东北部的特征。

图1至图3显示,在南海北部,潮汐潮流的较强

部分集中在200 m以浅的陆架区域;大体来说,在广东沿岸海区代表半日潮的 M_2 分潮的潮汐潮流较强,而在北部湾海区则是代表全日潮的 K_1 分潮的潮汐潮流较强。在没有其他论证的情况下,人们可以认为这可能是不同频率的潮波对海洋地形产生共振的效果不同的缘故。

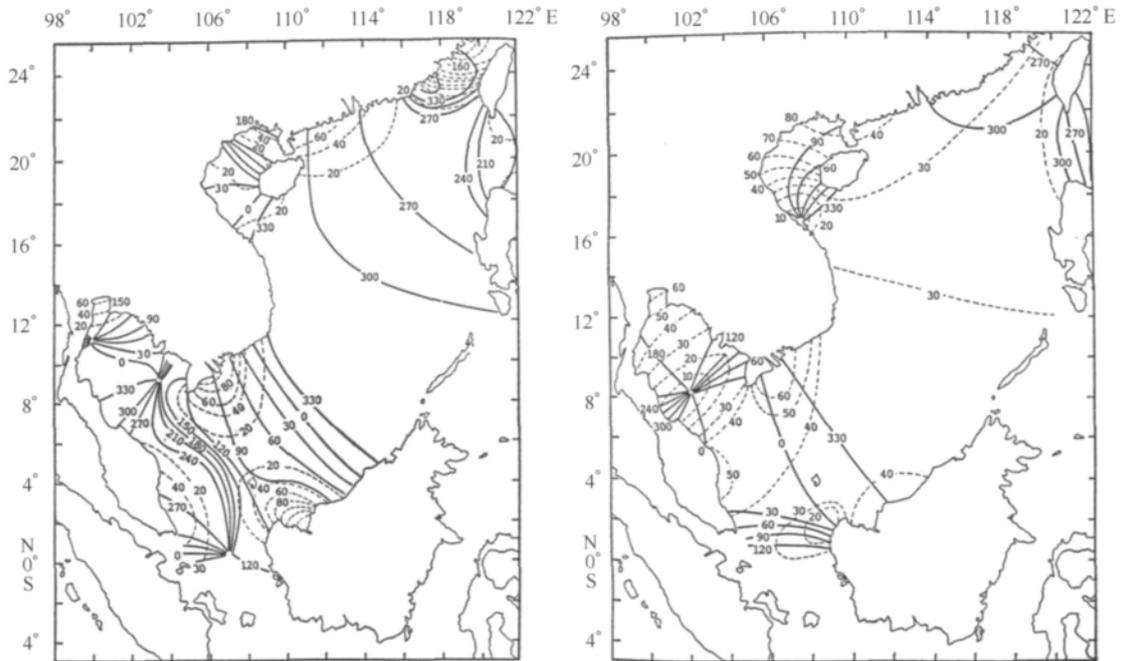


图2 南海 M_2 (左)和 K_1 (右)同潮图(引自 Fang^[1]) [振幅,虚线,单位:cm;迟角,实线,单位:(°)]

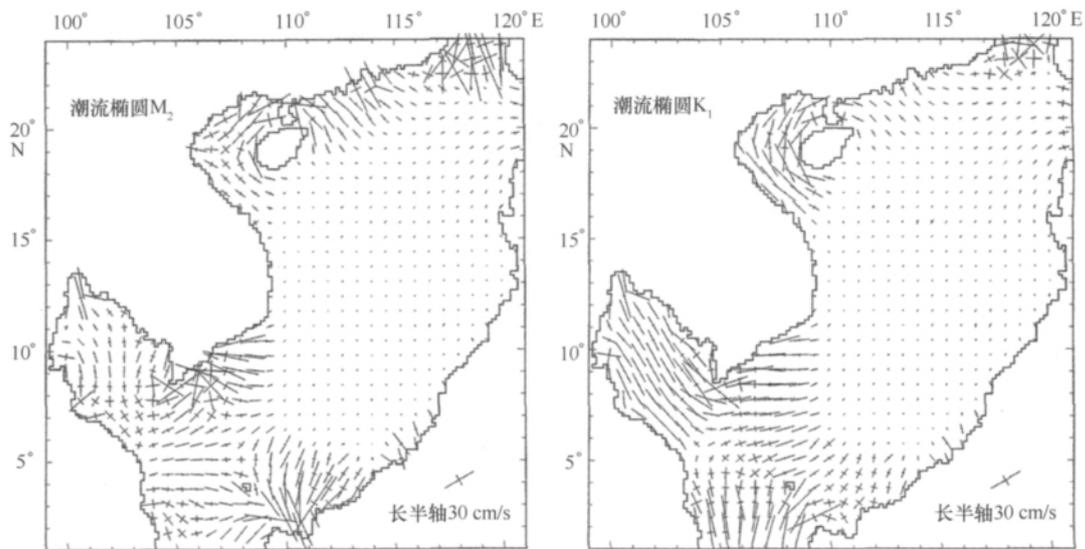


图3 南海0~10m层 M_2 (左)和 K_1 (右)潮流椭圆图(单位:cm/s)(引自夏综万^[2])

3 “甲子问题”及其他

3.1 甲子海域的潮波特性异常

先看看南海北部沿岸海洋站的潮汐类型。潮汐

类型是一个重要的指标,指的是两个重要的全日分潮 K_1 加 O_1 与主要半日分潮 M_2 的振幅之比:

$$F = \frac{H_{K_1} + H_{O_1}}{H_{M_2}}, \quad (1)$$

式中, F 为潮汐的潮性系数, H 为分潮潮汐振幅。按海洋学的规范规定, $F \leq 0.5$ 为正规半日潮性质, $0.5 < F \leq 2.0$ 为不正规半日潮, $2.0 < F \leq 4.0$ 为不正规日潮, $F > 4.0$ 为正规日潮。若把潮汐振幅换为潮流振幅, 则所得 F 值为潮流的潮性系数。

图 4 显示南海北部沿岸的一些海洋站(主要是岸站)潮汐的 F 值。 F 值来自我们收集的资料; 为了位置上的均匀性, 也加入了个别近岸验潮站短期(例如 1 个月)的实测资料。各站资料根据的观测时段不尽相同, 不作精确类比, 只为了机制性的说明。

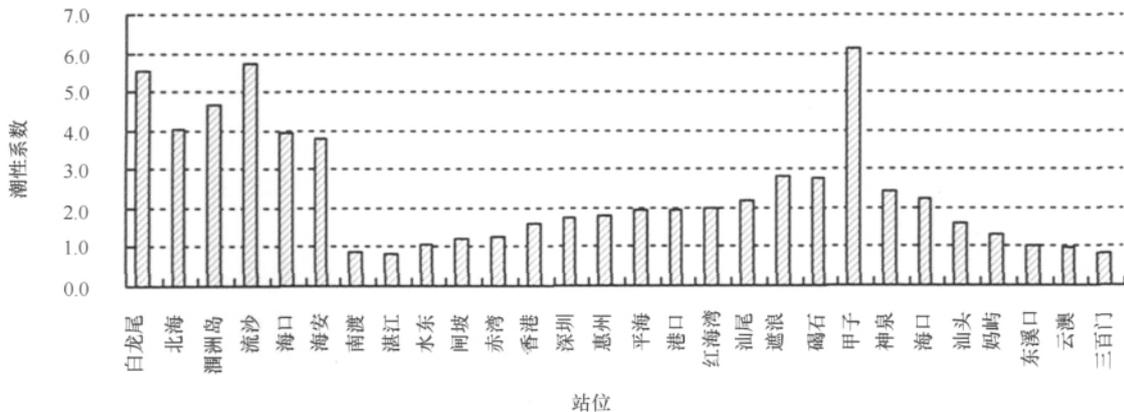


图 4 南海北部沿岸一些验潮站潮汐的潮性系数

图 4 中的各站是按地理位置, 由西向东排列的, 西部的白龙尾、北海、涠洲岛、流沙站属于北部湾海区, 潮汐性质都属于正规日潮; 琼州海峡两岸的海口和海安站, 潮汐性质是不正规日潮, 但很接近正规日潮的指标; 而从南渡至三百门的各站, 潮汐性质从不正规半日潮逐渐变为不正规日潮、正规日潮(甲子站 $22^{\circ}49'N, 116^{\circ}06'E$), 又逐渐变为不正规日潮和不正规半日潮。

图 4 中所示的 F 值, 和图 5 所示的南海北部的潮汐性质分布是一致的。图 5 引自俞慕耕^[3], 是从该文的一个图片中截取的一部分。

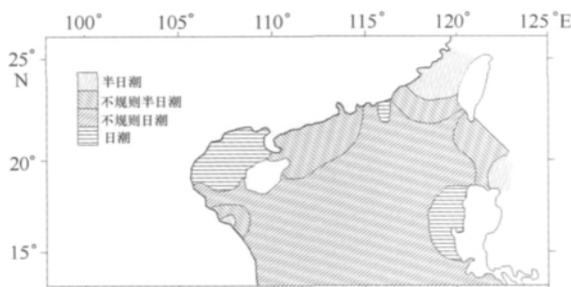


图 5 南海北部的潮汐性质(引自俞慕耕^[3])

北部湾内的潮汐日潮占优, 人们已有认识。而粤东的潮汐问题却困扰着海洋工作者。早在 1970 年代, 海洋局的研究人员在甲子站采访时, 就知道渔民

中有“神仙难测甲子水”的说法, 说的是那里的海流很无规律。而后来的海洋学者对甲子的关注, 主要从那里的潮汐潮流开始。广东沿岸本来是半日潮占优的, 而甲子站潮汐的潮性系数为 6.2, 是南海北部的最大, 孤立地表现为非常典型的正规全日潮, 与周围的情况大不相同, 这是一个奇特的现象。而在其近海, 潮流却是半日性质。第二、第三作者所在单位 2005 年和 2006 年在甲子附近有过两次现场观测, 潮位各 1 个月, 潮流各 3 个周日。得出的 M_2 分潮潮汐振幅都为 10 cm 左右, 而 K_1 分潮振幅 30 cm 左右, O_1 分潮振幅 25 cm 左右。算得的潮性系数 F 和图 4 中的数值大体接近。但是 3 个测流站测得的潮流的潮性系数, 却是表层为 0.7~1.0, 中层则为 0.3~0.6, 甚至个别站层低至 0.1, 表现为不正规半日潮流甚至正规半日潮流, 潮汐潮流这样迥异同样令人不解。

3.2 南海北部潮高较小, 潮流较弱

我国沿岸的潮差, 最大潮差大于 8 m 的地方有苏北的小洋口、杭州湾的激浦、浙江乐清湾和福建三都澳, 最大可达 9.28 m^[4]。它们位于南黄海、东海和台湾海峡。北黄海和渤海里的潮差也不小。而南海北部沿岸的潮差都不大; 除了北部湾里的稍大(湾顶可达 6 m)外, 其他地方都只有 1~3 m^[4]。

相应于较小潮差, 南海北部的潮流也较弱, 常常风海流、沿岸流等因素的影响都超过了潮流。因此有

时在定点周日 24 h 以上的连续观测结果中,绘出的矢量图就形成分布在一个小角度扇形内的单方向的矢量集,而不像通常出现的分布于 360°范围的矢量集。

为什么南海北部的潮汐潮流这样弱呢?

3.3 平直海岸外的潮波没有出现 Kelvin 波的特性

在平直海岸边的潮波运动,人们容易联想到 Kelvin 波。Kelvin 波是海岸傍的一种前进波,它理论上的特征是垂直于海岸的分量为零。欧洲北海尤其是西岸所表现出的情形便是那样(见 6 节)。广东沿岸一带有一些小海湾,但总的来说还算是平直的。但文献[2]发现,图 3 中显示的 M_2 和 K_1 潮波,特别是前者,潮流椭圆的长轴与岸线呈较大的交角,有时甚至近于垂直。广东沿海测站的记录常常显示,那里的潮波显出驻波的性质。例如 2011 年 6 月 8—9 日在阳江外海(约 21°42'N, 112°16'E)测得的水位和海流就是一个常见的例子(图 6)。该资料是实测海流和水位,虽然没有实施天文潮和非天文潮的分离,但仍然可以看出其中潮波的驻波趋势。关于 Kelvin 波,观测和理论都证实,它在台湾海峡是存在的,并在传入南海后影响到广东东部沿岸有限的区域[5]。

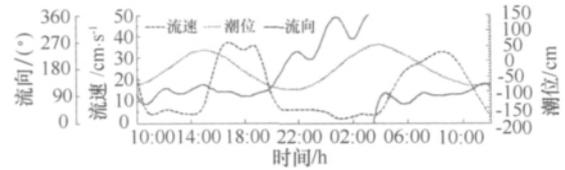


图 6 2011 年 6 月 8—9 日广东阳江外海的周日实测海流和水位

4 潮能通量和南海北部潮波的传播

4.1 潮能通量

研究“甲子问题”等导致我们关注南海的潮能通量和潮波的传播。

潮能通量 \vec{E} 可表示为[6]:

$$\vec{E} = (\rho g h \overline{\xi u}, \rho g h \overline{\xi v}), \quad (2)$$

式中, ρ 为海水密度, g 为重力加速度, h 为水深, 上横线为一个潮周期内的平均。

这里引用文献[2]中的南海 M_2 和 K_1 分潮的潮能通量图(图 7), 该图与图 3 出于同一个三维数值模拟过程。其在表示式(2)的计算中, 是先分层计算, 然后垂直求和的。

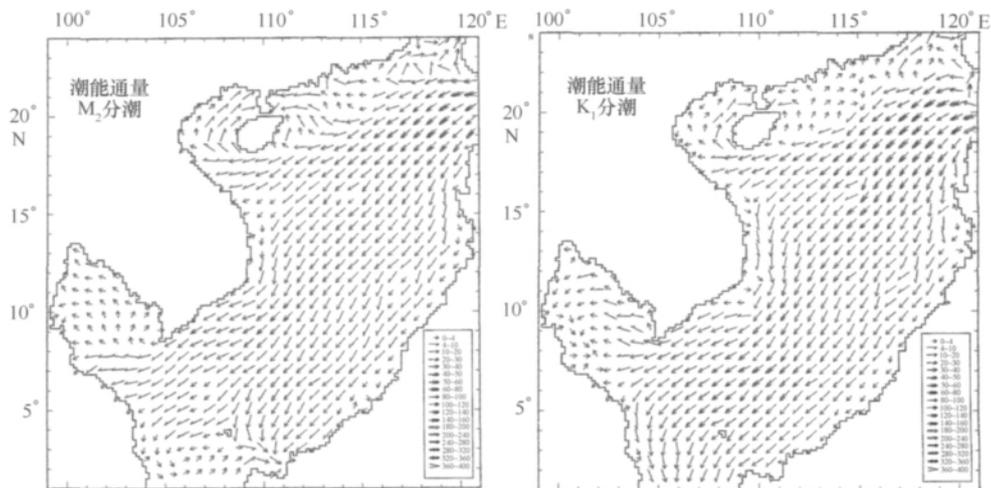


图 7 南海 M_2 (左)和 K_1 (右)潮能通量图(单位: kW/m)(引自夏综万[2])

图 7 显示,南海 M_2 和 K_1 分潮的潮能通量的分布格局极其相似,只是在北部陆架区的甲子站附近至珠江口一带有细微的差别。而这种差别,则恰好帮助我们认识“甲子问题”。

4.2 南海北部潮波的传播

潮能通量的图形可以很好甚至定量地反映潮波的传播。根据图 7,我们绘制了南海北部潮波的传播

模式,如图 8 所示。

图 8 是以图 7 中 M_2 的潮能通量为基础勾勒绘制的,所以称其为模式图而不仅是示意图。从图中看出,南海的潮波主要是从台湾岛和菲律宾之间的吕宋海峡传入的,其中主干沿海盆的深水区向西南方向传播,在图中标为分支 1。参看图 2 和图 3 的 M_2 分图,那里显示分支 1 的流经路途潮高和潮流都不大,甚至

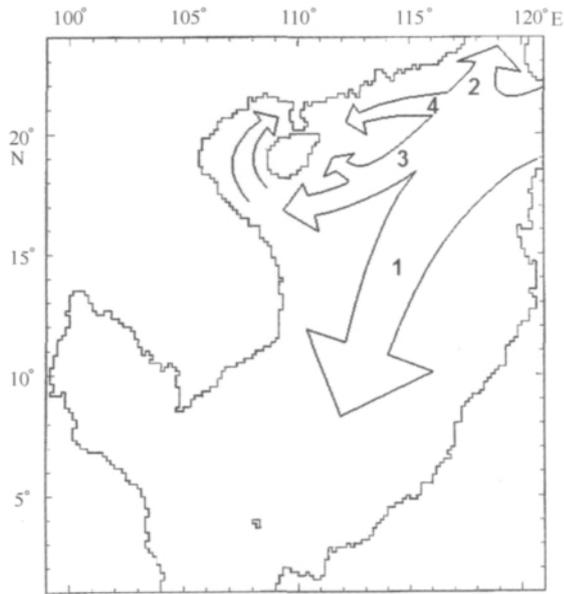


图 8 南海北部潮波的传播模式(以 M_2 分潮为基础)

很小;但是由于较大的深度,以及以前进波的形式传播,所以图 8 中显示的潮能通量巨大。在分支 1 以外,依次以强度为顺序,显示了向台湾海峡传播的分支 2,向北部湾方向传播的分支 3,以及向珠江口、广州湾方向传播的分支 4。在北部湾内,潮波以顺时针方向沿海湾主轴传播。

图 8 所以标明以 M_2 分潮为基础,是因为对于 M_2 和 K_1 潮波而言,分支 1、2 和 3 的传播格局都非常一致,只有分支 4 的传播趋势有较大差别。从图 7 的 M_2 分图中可以看出,潮波在约 116°E 外海形成了向东西两侧辐散的格局,因而在图 8 中绘出了从那里向西传播的分支 4。但在图 7 的 K_1 分图中,却看不出这种辐散的格局,并且由于潮能通量较小,不容易分辨潮波的传播方向。于是在图 8 中就只绘制了一幅图件。

5 问题的分析

5.1 甲子问题

让我们先从甲子站异常大的 F 值开始分析。

理论和实测资料都说明了大的潮汐 F 值通常缘于小的 M_2 潮位振幅,因为它在公式(1)中处于分母位置。按一般的了解,岸边突然变小的 M_2 潮位振幅常常是由于测站位于退化到岸边的无潮点附近,黄海、渤海和北部湾都有退化或接近岸边的 M_2 无潮点,那里的情形应是这样。无潮点的形成是正反方向传播的同类潮波干涉的结果,而表现的图形是等潮图

中其附近围绕的环状等振幅线(通常用虚线表示)和向同一方向旋转的辐射形等潮时线(通常用实线表示)。即使无潮点退化到岸边,这样的图形特点仍然保持。图 2 中(不过是 K_1 分潮)位于北部湾越南一侧偏移到近岸的无潮点处的图形便是典型的一例。

俞慕耕^[3]以英版潮汐表的数据为主,计算了南海潮波参数。在所绘的 S_2 分潮同潮图中,显示在粤东汕头西南海域中(离甲子也不远)出现了一个无潮点。该文中的 M_2 分潮同潮图显示的甲子附近海域的结构和本文图 2 的很相近,但该文献认为在该 S_2 无潮点附近,存在一个退化到岸上的 M_2 无潮点。此外, Fang 等^[7]对南海的潮波进行了细致的数值模拟。该文的结果也证实了汕头外海的 S_2 无潮点的存在,不过位置与俞慕耕显示的稍有差别。在关于 M_2 分潮同潮图的结构中,汕头甲子外海处的情形与图 2 以及许多南海潮波研究大体一致。不过 Fang 等^[7]并没有认为 M_2 无潮点退化到岸上,而是在结构上退化成为由甲子到台湾岛西南端之间的略呈弧形的波节带(nodal band)。

如何看待甲子附近的退化了的 M_2 无潮点呢?如前所述,在海湾和海峡中,退化到岸上的无潮点附近海域的同潮图结构,应是按顺序排列的等潮时线和成半环状排列的等振幅线。但在图 2 的 M_2 同潮图中,甲子站所在 116°E 的近岸,则完全看不到这种图形;在那里等振幅线没有形成以其为中心的(半)环状,而是向东西两边成“八”字状分布,等潮时线同时向东西两边排列(迟角逐渐增加)。

诚然,甲子附近海域并不是处于海湾和海峡中。那里出现的相反方向传播的潮波,其西北侧潮波受到了台湾海峡传来的 Kelvin 波的影响;而东南侧北上的潮波则是在大体上开阔海域中传播的,且肯定不是纯 Kelvin 波。在这样复杂条件下形成的潮波节点(无潮点是一种潮波节点)或波节带,和典型海湾及海峡中产生的节点,就有很大的差异。那里有真正意义上的“无潮”点吗(不仅是等潮时线的聚会点)?众多文献中显示的 M_2 分潮等潮图都表明若将台湾海峡及其向南海的延长部分取垂直于中轴线的断面,则西北侧的潮振幅都大于东南侧的。那么即使存在退化到岸上的无潮点,会在大陆一侧吗?如果出现波节带,那里的潮振幅会具有怎样的“无潮”性质?当然,在水波的振动中,出现了波节点或波节带,常常会伴随较小的振幅。在粤东甲子以南大面积海域以至连到吕宋海峡和南海深水区, M_2 潮振幅都在 20 cm 以下,是一

种小值。岸边的小振幅应和波节点或波节带相关,不过仍需要进一步的论证。

让我们从另一角度分析这个问题。没有充足的潮能不能支持岸边大的潮振幅。由图 7 和图 8 看出,对 M_2 分潮而言,向台湾海峡传播的潮波分支和向珠江口、广州湾传播的潮波分支,在甲子外海一带产生了分叉,潮能产生了辐散。结合上述有关图 2 的分析的佐证,我们认为, M_2 分潮潮能在甲子外海的辐散,或许也是岸边这个分潮潮汐弱小的原因。图 2 显示, K_1 分潮的振幅在广东沿岸的变化比较均匀,在甲子处并没有出现异常的降低。估计 O_1 分潮也如此。这样就造成了甲子处异常大的 F 值,即典型的正规日潮性质。顺便联想,在海洋中应该可以看到由潮能幅聚导致的岸边潮汐振幅增大。

那么 3.1 节中提到的甲子沿海测到的潮流的 F 值较小,即潮流性质属不正规半日潮甚至正规半日潮,又是什么原因呢?一般地,在大范围内潮汐和潮流的性质是相近的,例如北部湾和广东沿岸。但是,某个局部海域的潮汐和潮流潮性就不一定完全一致,以致这个问题常常困扰着用较小范围海域边界条件作数值模拟的人。事实上从大范围的潮汐潮流数值模拟图可以看出这一点,因为潮汐和潮流的振幅结构不可能完全一样。特别在潮波的节点(无潮点、圆流点)附近,以及遇到复杂的地形和传播系统时这种情况更容易出现。

夏综万^[2]表明,在等深半封闭矩形海湾中,无潮点和圆流点在空间上相间配置。圆流点是潮流的节点,特别两个无潮点之间的潮间圆流点处潮流很小。在实际海洋中,情形是和理论一致的,不过没有那样典型。在潮波节点处,小(大)的潮汐振幅常常对应大(小)的潮流振幅。有文献^[8]提到北黄海的烟台近海,潮汐是半日潮性质而潮流是全日潮性质。事实上从 Fang^[1]的图件中看出,那里恰好有一个 M_2 圆流点(应该是潮间圆流点),所以有这种潮汐潮流的性质不一致的现象。

但甲子的情况更为复杂,那里较小的 M_2 潮汐振幅除了退化的无潮点的影响外,还可能由潮能的辐散引起。至于潮流运动是水平运动,海域各处的海流状况的关系相对比较密切。广东沿岸的 M_2 潮流普遍比 K_1 潮流强大,也必然会影响到甲子这个地方,甲子外海中半日潮流占优可以理解;但潮汐潮流的潮性系数相差这样悬殊,却让人有些意外。当然,作为水平运动的潮流,其稳定性比作为垂直运动的潮汐要

差,影响因素又多,观测时间又短,结果的确性当然稍微差一些,这也是应当注意的。

图 3 显示,从整个广东沿海来看,甲子附近都是半日潮流和全日潮流的弱流区;那里潮汐潮流性质又不一致(例如不易以水深判断流动),若加上较强的非潮外力引起的运动,甲子水真是连神仙也难测了。

5.2 东沙群岛附近的潮波性质

东沙群岛大约位于 $20^{\circ}42'N, 116^{\circ}44'E$ (参看图 1),经度和甲子相近,而纬度却相差约两度。文献^[9]显示,那里 $M_2 + S_2$ 潮汐振幅为 16.8 cm , $K_1 + O_1$ 振幅为 44.1 cm 。由此推测,潮汐性质系数 F 应在 3 和 4 之间。

东沙群岛处于开阔的海域之中,那里的日潮的潮汐性质和甲子的情况应属于不同的机制。图 1 和图 8 显示,东沙群岛的位置,处于南海潮波传播的主流路径范围或其边缘。图 2 显示,南海中部的 K_1 潮汐振幅大于 M_2 的振幅。因此在南海潮波的主轴区,日潮振幅大于半日潮振幅是合理的。这和图 5 所显示的情形一致。

5.3 关于潮汐和潮流较弱及有关 Kelvin 波的问题

通过前述的分析,3.2 和 3.3 节中的问题似乎比较容易解决了。

图 7 显示,南海潮波由吕宋海峡传入时, M_2 分潮的潮能通量可达 $80\sim 100\text{ kW/m}$, K_1 分潮可达 $160\sim 200\text{ kW/m}$ 。其主要潮能向南海深海盆方向传播,只有少量潮能传向北部沿海,潮能通量最大只有 $10\sim 20\text{ kW/m}$,很大部分区域只小于 4 kW/m 。虽然潮能在陆架浅水区产生聚集,图 2 和图 3 显示岸边潮汐潮流较强,但实际上其强度和渤海、黄海、东海的还是不能相比的。

南海北部的潮流除在台湾海峡出口附近外,只在另一个海域较强,那就是琼州海峡。除狭管效应外,图 8 还显示,那里是东西两支潮波的汇聚处。该处的潮波有自己的特点,不过不在本文叙述的重点之中。

由于南海潮波传播模式的复杂性,广东沿岸一线虽然有相对平直的海岸,但潮波在北部陆架区的大部份沿岸海域不以 Kelvin 波的形式传播,也就可以理解了。这个问题我们在下一节还会提到。

6 有关海域潮波传播的比较

图 8 概括地描述了南海北部潮波的传播规律,因而可以解释一些有关现象。我们找到新中国成立初

期 1958—1959 年开展的海洋普查工作的研究成果^①, 其中给出了中国邻近海域的潮波传播图, 如图 9 所示。图 9 显示, 通过普查之后, 人们对南海北部潮波的传播已经有了初步的认识。图 8 表明, 它与图 9 是一致的。只不过图 9 以及后来的一些传播图是根据等潮时线的分布而绘制, 主要是给出一种示意, 而图 8 则是根据数值模拟所得的结果勾勒出来的, 因而更有资料根据和可以有更多可信的细节。

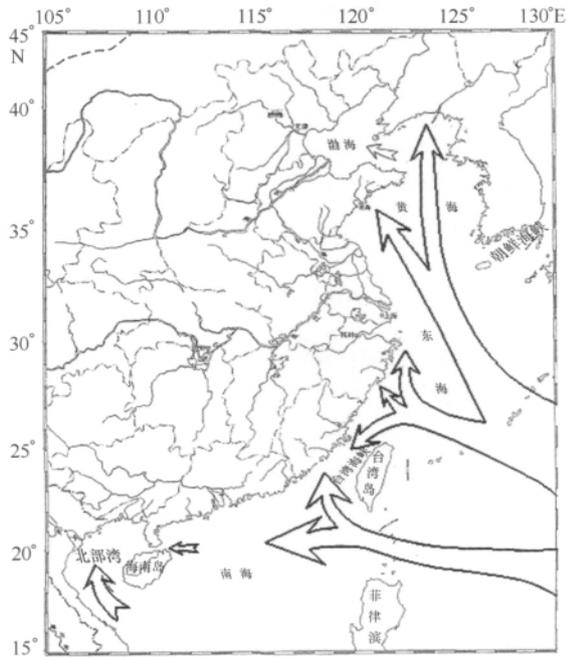


图 9 中国邻近海域潮波传播示意图

比较图 8 和图 9 也证实了, 渤海、黄海和东海接受了全部的太平洋传入潮能, 因而可以导致那里较强的潮波; 而南海北部海域, 只接收了传入潮能的一小部分, 因而导致潮波较弱。

这几个海域的形状结构也不尽相同。因为黄渤海是一个半封闭的海湾, 虽然岸线较曲折, 但入射和反射的潮波造成了那里的无潮点和圆流点系统; 而东海不是半封闭海湾而是一个相对开阔的海域, 因而不出现任何无潮点和圆流点(图形可参见 Fang^[1])。

再让我们看看欧洲北海的情况。Taylor^[10] 曾用 Kelvin 波加 Poincaré 波的结构来解释半封闭矩形海湾里的潮波, 并以北海 M_2 潮波为原型给出了算例。

后来更有许多海洋学者研究北海的潮波, 例如 Davies 和 Furnes^[11]。这些文献显示, 北海里的潮波尤其是在西侧, 是表现出 Kelvin 波的特性的。其实北海除了岸线比较平直以外, 其本身也不全是半封闭海湾, 特别是南部也通过海峡与大西洋相通, 形成了一个潮波可以贯穿的大通道。所以那里的潮波更容易表现出 Kelvin 波的特性。

南海北部在看作一个整体时, 是个比较复杂的海域, 包括具有海峡、大海岛、大海湾和宽阔的陆架, 潮波的运动和传播形式与规则海域中的潮波模式很不相同, 与渤海、黄海、东海的模式也不尽相同, 而形成自己的特色(包括广东沿岸的绝大部分没有表现出 Kelvin 波特性的), 也就不足为奇了。

7 结语和讨论

观察一个海域的潮波现象, 现场实测资料是十分重要的。但是为深入了解事物的本质, 局部地域的资料往往是不够的。特别是如出现异常的不易解释的现象时, 就要将其放在潮波运动和传播的大格局中去探讨, 才容易达到更准确的认识。潮能通量和潮波传播的分析, 是一种有效的手段, 帮助我们认识了南海北部潮波运动的大格局, 包括从不同角度讨论甲子地区潮波性质特异的情况。

特别再讨论一下南海东北部及甲子海域的潮波问题。由于那里潮波的复杂性, 要深入开展研究, 恐怕还要做进一步的工作。它们大致包括: (1) 将南海东北部和台湾海峡作为统一的区域来研究, 并考虑海峡传人的东海潮波和传出的南海潮波及其相互作用; (2) 在制作 M_2 分潮等潮图时, 在甲子外海以至陆架边缘及台湾岛西南一带的振幅小于 20 cm 的广大海域, 加密振幅等值线的绘制, 以进一步研究退化了的无潮点或波节带的结构和形态; (3) 加强南海东北部潮波的实际观测等等, 以期不断深化人们对这一区域潮波的认识。

致谢: 作者对于夏华永研究员的有益讨论、史键辉高级工程师提供的信息、张燕和李锐祥工程师提供的有益资料表示衷心的感谢。

① 中国科委海洋组海洋综合调查办公室编. 全国海洋综合调查报告, 第五册, 1964.

参考文献:

- [1] Fang G. Tide and tidal current charts for the marginal seas adjacent to China[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 1986, 4(1): 1—16.
- [2] 夏综万. 海洋潮波的 Taylor 问题[M]. 北京: 海洋出版社, 2011: 166.
- [3] 俞慕耕. 南海潮汐特性的初步探讨[J]. 海洋学报, 1984, 6(3): 293—300.
- [4] 薛鸿超, 谢金赞. 中国海岸带水文[M]. 北京: 海洋出版社, 1995.
- [5] 方越, 杜勇. 台湾海峡及南海东北部潮汐的解析模式[J]. 海洋科学, 1994, (3): 56—61.
- [6] 夏综万, 王钟楛. 黄海 M_2 分潮的数值模拟[J]. 黄渤海海洋, 1984, 2(1): 1—7.
- [7] Fang G, Kwok Y K, Yu K, et al. Numerical simulation of principal tidal constituents in the South China Sea, Gulf of Tonkin and Gulf of Thailand [J]. Continental Shelf Research, 1999, 19: 845—869.
- [8] 黄祖珂, 黄磊. 潮汐原理与计算[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2005: 293.
- [9] 陈得福. 东沙岛周边海域及泻湖沉积物粒径分布之研究[D]. 基隆: 台湾海洋大学, 2006.
- [10] Taylor G I. Tidal oscillation in gulfs and rectangular basins [J]. Proceedings of the London Mathematical Society, 1920, 20: 148—181.
- [11] Davies A M, Furnes G K. Observed and computed M_2 tidal currents in the North Sea [J]. Journal of Physical Oceanography, 1980, 10: 237—257.

Traveling of tidal wave in the north part of the South China Sea and the tidal energy divergence appearing in the area off Jiazi Station

XIA Zongwan¹, LIAO Shizhi², FENG Yanqing²

(1. South China Sea Branch, State Oceanic Administration, Guangzhou 510300, China; 2. South China Sea Engineering Prospecting Center, State Oceanic Administration, Guangzhou 510300, China)

Abstract: The traveling route of tidal wave in the north part of the South China Sea is sketched from the numerical modeling result of the tidal energy flux, which shows several branches. Analysis indicates that the continental shelf area in the north part of the South China Sea including the Beibu Gulf, gets only a small part of tidal energy coming from the Pacific Ocean and passing through the Luzon Strait, and hence the tide and tidal current in that area is weak. The complex topography results in those branches of the traveling route of tidal wave pointing to different directions. In this paper by using the observational data and tidal traveling route analysis the abnormal phenomena of tidal wave in the Jiazi, east Guangdong coast are discussed. These phenomena include specially large tidal characteristic coefficient F appearing in that area, and quite different tidal characteristics for tide and tidal current. Analysis shows that the tidal energy divergence between the two tidal wave branches traveling to the south entrance of the Taiwan Strait and to the Zhujiang River Estuary as well as Guangzhou Bay might be one of the important reasons to cause these phenomena.

Key words: north part of the South China Sea; Jiazi area; traveling of tidal wave; tidal energy flux