

中国海潮波研究的进展

沙文钰

(中国人民解放军理工大学气象学院, 南京)

一、研究背景

关于我国近海潮波的研究,除了经典的潮汐分析与推算之外,潮波的数值计算和模拟近年取得了很大的发展。尤其是随着计算机的飞速发展,数值计算已经逐渐成为潮波研究中一种常用和经济有效的方法。

就目前我国近海潮波数值研究所采取的方法而言,大体可分为两类:边值法和初值法。边值法要求岸界和水侧边界的潮位都给定,其计算效果依赖于边界值的可靠性。在观测站分布稀疏的沿岸确定边界格点上的潮位值所带来的人为偏差,会造成计算区域内部的可观误差(叶安乐,1995)。另外,从物理实质上看,边值法相当于岸界有虚拟潮波传入,也不易满足法向流速为零的流体动力学条件。初值法规定岸界处法向流速为零,水侧边界给定潮位,由静止海洋起步计算,直至建立起稳定的潮波,再作分析。计算结果由岸界和岛屿的观测值加以检验,是一种较理想的方法。在利用初值法进行的研究中,又有单个分潮的模拟和若干分潮同时模拟的不同做法。

就研究所采用的数值模式看,其发展趋势为从二维到三维,所考虑的物理过程也从简单到完备。早期的模式多为二维,由于潮运动的正压性,二维模型基本上能够反映出潮汐的运动规律。但是在很多问题中(如海岸工程),必须考虑各潮流的垂直结构,这就要求采用三维模式。与二维模型相比,三维模型虽然计算量大,但是它能给出潮流的空间结构,更精确地反映出潮流的运动规律。因而时至今日,三维模型代表着潮波数值模拟的发展方向。目前已有对渤海、北部湾的潮波作了三维研究(窦振兴等,1993;夏永等,1997;万振文等,1998)。最近,沙文钰、朱首贤(1998)研制了适合于中国海研究的三维斜压浅海模式,并成功地用于长江冲淡水扩展机制的研究(李微、沙文钰,1999;朱首贤、沙文钰,1999)和闽浙沿岸上升流的研究(潘玉萍、沙文钰,1999)以及台湾海峡 M_2 分潮的研究(吕新刚、沙文钰,1999)。当然,由于二维模式简单,易于计算,且在一些实际问题中二维研究已能满足要求,所以潮波的二维研究不但已经获得了广泛应用,而且今后一定时

本文于1999年9月收到。

作者简介:沙文钰(1943-),男,江苏人,硕士学位,教授。1999装计字1220号课题资助。总参气象局基金课题资助。

期内二维模式还会继续得到改进,与三维模型并存。事实上,进入九十年代以来,亦有学者对我国近海的潮波作二维数值计算,并获得较为精确的模拟结果(曹德明等,1994;赵保仁等,1994)。

到目前为止,中国海的各个海域—渤海、黄海、东海、台湾海峡、南海以及与之有关的局部海域的潮波均已有人作过研究,各类文章不下几十篇。在这些研究中,多数集中在东中国海、南海及台湾海峡。对环台湾岛海域(指 $117^{\circ}\sim 125^{\circ}\text{E}$, $20^{\circ}\sim 27^{\circ}\text{N}$ 之间的海域)潮波的研究还不多见。最近,吕新刚(1999)作了这方面的研究。下面对东中国海、南海及台湾海峡的有关研究作扼要的回顾,目的是为了能较全面了解上述海域潮波研究进展状况,以便进行更深入地研究,这对于我国的国防事业和社会主义经济建设都具有深远的意义。

二、东中国海潮波的研究状况

潮汐和潮流是潮波运动的两种表现形式,是海洋中经久存在的一种显著现象。50年代末至60年代初,我国对 124°E 以西的渤、黄、东海的潮汐、潮流作了大量的观测和分析,根据这些资料绘制了 124°E 以西的潮汐、潮流分布图。70年代,又对 124°E 以东的东海东部区域的潮汐、潮流进行了大量的调查分析工作。方国洪等(1985)根据大量的实测资料以及一系列数值试验结果,绘制了比较完整的潮汐、潮流图。

将渤、黄、东海视为一体对整个东中国海的潮波运动做数值研究在我国是从80年代开始的。通过多年的研究,人们在主要分潮的分布等方面已达成一定的共识。

沈育疆(1980)采用忽略平流项的Hansen形式协振潮波运动方程组,首次对东中国海的 M_2 、 S_2 、 K_1 、和 O_1 四个分潮的潮汐做了数值计算,探讨了谐振潮波的传播和潮汐分布的总规律。文章提出台湾岛北端存在一个“退化旋转潮波系统”,指出:太平洋半日潮波传入后,大部分以前进波形式北上,一部分在基隆附近形成退化的旋转潮波系统,左旋进入台湾海峡。叶安乐等(1985)和吕新刚、沙文钰(1999)的模拟中也有同样的结果。早已有研究证明(陈宗镛,1965),摩擦作用可使无潮点的位置左移。关于退化的旋转潮波系统的成因,沈育疆(1980)认为,除摩擦作用外,主要与闽浙曲折海岸向东南的弱漫反射波和强入射波的迭加效应有关。但地形的作用也是不容忽视的。叶安乐(1987)的矩形海湾数值试验表明,斜倾地形使无潮点偏移到水浅的一方。吕新刚、沙文钰(1999)模拟结果表明,台湾岛的存在,一方面造成了地形的坡度,一方面增大了底摩擦,使无潮点移向台湾岛一侧,而只出现半壁旋转系统,大洋潮波的南侧分支表现为前进波形式。

沈育疆、叶安乐(1984)对东中国海的半日潮流做了三维研究,给出了潮流要素的垂向变化规律。由于当时条件所限,他们的工作将对潮流的三维结构有较大影响的垂向涡动粘性系数取成了常量,因而得出一个较厚的摩擦层。方国洪和杨景飞(1987)发表了他们早期用初值法对东海东部及南部潮流二维计算的结果,给出了 M_2 和 m_1 分潮的潮流椭圆要素图。他们的结果仍然有较好的参考价值。

赵保仁、方国洪(1994)用球坐标系下二维模型同时对渤、黄、东海 M_2 和 m_1 分潮的潮汐潮流进行了数值模拟,考虑了非线性项、水平湍流粘性项和引潮力的作用。其模型网

格间距 $15' \times 15'$, 潮汐的模拟结果用沿岸 81 个验潮站加以检验, 计算精度较高。他们首次给出或证实了若干圆流点的存在, 并讨论了 M_2 和 m_1 潮能通量的传播和消耗情况。叶安乐、梅丽明 (1995) 同样利用球坐标下二维非线性潮波方程 (未考虑水平湍流项) 模拟了东中国海的 M_2 、 S_2 、 K_1 和 O_1 四大分潮, 其研究表明, K_1 和 O_1 的同位相线在台湾附近先作顺时针方向旋转, 然后做逆时针旋转, 并指出该现象是由于大陆架和大陆坡水深分布和台湾岛存在的结果。

关于各分潮的数值模拟, 近年来注重用三维模式。万振文等 (1998) 对渤、黄、东海潮波进行了分辨率更高的三维数值模拟, 模拟对象为 M_2 和 m_1 分潮。结果指出, 台湾海峡发现了一个 m_1 分潮的圆流点, 该圆流点为首次发现, 需进一步的观测验证。朱首贤、沙文钰 (1999) 用三维非线性浅海陆架模式 (沙文钰等, 1998) 详细模拟了东中国海的 M_2 分潮。结果表明, 两个无潮点的位置分别在成山头外和连云港外, 基本上和方国洪 (1987) 的结果相似。同时得到的几个强潮区也和方国洪给出的订正资料很相符。如西朝鲜沿岸两个强潮区, 青岛至苏北沿岸的两个强潮区, 台湾海峡强潮区。

三、南海潮波的研究状况

与东中国海相比, 人们对南海潮波的了解要缺乏得多。国内学者中, 郑文振等 (1964) 利用了沿岸大量水位资料和陆架海区大量测流资料对南海北部的潮汐潮流作了系统研究。沈育疆等 (1985) 对南海潮汐作了数值计算, 但未涉及潮流。其结果表明, 在台湾海峡南口, 半日潮波越过吕宋海峡水域辐散, 少部分迂回台湾浅滩沿台湾岛西南侧的深沟楔入台湾海峡, 与东海沿海峡北口传入的潮波相遇, 约在福建诏安外海形成辐合区。由同潮时线看, 半日潮波并无由东海经台湾海峡传入南海的部分。全日潮波在台湾海峡的传播与半日潮波不同, 只有由东海向南海传输的单向运动。该文还指出, 台湾海峡是计算区内潮汐现象最显著的地区, 最大可能潮差达 6m。俞慕耕 (1984) 探讨了南海的潮汐特征, 其研究范围包括了台湾海峡及海峡南部海区。文章以英版潮汐表刊出的调和常数为主, 选取了 320 个站的资料, 计算了南海的潮汐性质、潮差、半日潮和全日潮同潮图等, 较全面地展现了南海的潮汐分布规律。关于台湾海峡半日、全日潮波的传播规律, 结论与沈育疆 (1985) 类似。

上述诸工作均较少涉及潮流的状况。方国洪等 (1994) 用与赵保仁等 (1994) 相同的数值模型和类似的方法对南海的潮汐和潮流进行了数值模拟。他们给出了 M_2 和 m_1 分潮同潮图、潮流的振幅和潮时、余流余水位等。并从能量的角度讨论了潮波的传播, 指出, 在台湾海峡, m_1 潮能北进南出, 消耗很少; M_2 潮能则大多在海峡内消耗掉。

四、台湾海峡潮波的研究状况

单独研究台湾海峡潮波的工作, 大多集中在八十年代, 近期也已有一些。对海峡潮汐尤其是较强的 M_2 分潮潮汐的分布, 由于有海峡两岸诸多测站的检验, 已基本达成共识。在

已有的研究中,以数值方法居多,但也有学者利用非数值计算方式,采用潮汐表等资料进行统计分析,同样得出有意义的结果。

郑文振、陈福年等(1982)较早研究了台湾海峡的潮波。指出,海峡的潮运动主要是太平洋潮波所引起的胁振动结果。一般认为,作用于台湾海峡的潮波由两支构成,分别是由北口进入的下行波和经过巴士海峡传来的上行波。两支潮波的影响范围,多数学者认为,以北支潮波的强度大,影响范围广,起支配作用(郑文振等,1982;陈新忠,1983;王志豪,1985;方国洪等,1985;叶安乐等,1985)。但也有不同的观点,如李立等(1990)据观测资料分析,认为南支潮波的影响范围比以往认为的要大,可达海峡西岸中段。此后,颜廷壮等(1995)支持其南支潮波影响范围扩大的观点,但其 M_2 分潮流同时线的分布形式与李力等的结果并不相同。最近,吕新刚、沙文钰(1999)计算了环台湾岛海域 M_2 的潮能通量,结合潮汐潮流同潮图,结果指出,北支潮波的强度大大强于南支潮波。北支潮波南下途中,强度不断减弱,但最终仍超过了台湾浅滩,达到了其南缘。南支潮波北上进入了澎湖水道,并在水道北端与南下潮波相遇。两支潮波的分界线澎湖—台湾浅滩南缘,呈东北—西南向倾斜。多年来的研究认为,福建的金门、东山,南澳岛至马公一带是两支潮波汇合处。

台湾海峡内最大潮流整体较大,以往的研究一般都认为在台湾浅滩—澎湖水道为强流区。但是在最强流区的位置及强度问题上,不同工作之间的差异还是明显的。殷富等(Fu yin and Sen-ho Chen, 1982)用一个考虑了平流项的二维模型和一个不考虑平流项的两层模式研究了海峡的 M_2 、 S_2 、 K_1 和 O_1 四个分潮。指出最大潮振幅发生在海峡西北部,潮流在澎湖水道为最强,达150cm/s。叶安乐等(1985)对台湾海峡及其邻近海区的三维半日潮波的研究指出,最大潮流位于澎湖水道,但得出4Kn(1Kn约为51.44cm/s)的最大流。陈新忠(1983)认为台湾浅滩一带为最强流区,流速2节以上。方国洪等(1984)认为在澎湖列岛西南发生超过1m/s的最大流。颜廷壮等(1995)则认为海峡北部大陆一侧大练岛近海的 M_2 分潮流速达2m/s,为最强流区。吕新刚(1999)潮流椭圆的计算结果表示,环台湾岛海域的强流区有三处,一是澎湖水道—台湾浅滩一带,二是福建沿岸的几个海湾,三是台湾岛北端淡水—基隆近海。最强流区在澎湖水道,其中个别点达到了196cm/s。澎湖水道呈北窄南宽的喇叭形,南支潮波从喇叭口涌入水道后,在浅水和狭管效应共同作用下,造成强潮流区。

在海峡中部约24.5°N附近,湄州湾—梧栖一线为弱流区,潮流一般在30cm/s以下。

上述综合到的这些工作中,不少结论是一致或相似的,但差异也是明显的。如,关于 M_2 最大流发生的流速,不同学者给出的量值从100 cm/s到150cm/s,甚至4Kn(约合205.8cm/s)不等;在发生地点上,各家观点的差异虽然不是很大,但争议还是有的。还有,关于海峡内潮流不同旋转方向的分界线,观点也没有完全统一。再如,关于 M_2 分潮最大流同时线的分布,就圆流点和同时线密集区的存在与否,目前至少存在三种观点。这些本文虽然没有具体论述,但仍然较重要,也应引起我们的重视。

本文关于中国海潮波研究的综述过程中,其文献大多是关于数值模拟和数值计算方面的结果。仅管还不全面,但只要能对这方面的研究进展状况起到一个了解,并能推动和促进该领域的深入研究,便达到目的了。另外,王志豪(1985)搜集了英国海军、日本水路

部及前苏联有关刊物上的多方面资料, 从不同于数值计算的角度分析了台湾海峡的潮差、潮时、潮汐性质及潮汐的周期变化等概况, 是一份很有参考价值的工作。

参 考 文 献

- [1] 叶安乐, 梅丽明. 渤海东海潮波数值模拟, 海洋与湖沼, 1995, 26 (1): 63 ~ 69.
- [2] 龚振兴, 杨连武, J. Ozer. 渤海三维潮流数值模拟, 海洋学报, 1993, 15 (5): 1 ~ 15.
- [3] 夏华永, 殷忠斌, 郭芝兰. 北部湾三维潮流数值模拟, 海洋学报, 1997, 19 (2): 21 ~ 31.
- [4] 万振文, 乔永利, 袁业立. 渤、黄、东海三维潮波运动数值模拟, 海洋与湖沼, 1998, 29 (6): 611 ~ 616.
- [5] 沙文钰, 朱首贤. 一个三维斜压浅海模式的建立及其在东中国海环流中的应用, 河海大学学报 (26 卷海洋湖沼专辑), 1998, 1~9.
- [6] 李微, 沙文钰. 东中国海 m_1 分潮对长江冲淡水扩展影响的数值研究, 第五届全国海事技术研讨会文集, 海洋出版社, 1999, 479~485.
- [7] 朱首贤, 朱建荣, 沙文钰. M_2 分潮对夏季长江冲淡水扩展影响的数值研究, 海洋与湖沼, 1999, 30 (5): 1~8.
- [8] 潘玉萍, 沙文钰. 同 (6), 1999, 646~652.
- [9] 吕新刚, 沙文钰. 台湾海峡 M_2 分潮的三维数值模拟, 黄渤海海洋, (1999 年特刊)
- [10] 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): 1~12.
- [11] 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.
- [12] 吕新刚. 环台湾岛海域潮汐、潮流及正压海流的数值研究, 解放军理工大学气象学院硕士论文, 1999.
- [13] 沈育疆. 东中国潮汐数值计算, 山东海洋学院学报, 1980, 10 (3): 26~35
- [14] 叶安乐, 陈宗镛, 于宜法. 台湾海峡及其附近海域三维半日潮波的数值研究, 海洋与湖沼, 1985, 16 (6): 439~449.
- [15] 陈宗镛. 1965, 长方形浅水海湾的一种潮波模式, 海洋与湖沼, 1965, 7 (2): 85~93.
- [16] 叶安乐, 陈宗镛. 半封闭矩形海域中海底地形对旋转潮波系统的影响, 山东海洋学院学报, 1987, 17 (2): 1~7.
- [17] 沈育疆, 叶安乐. 东中国海三维半日潮流场数值计算, 海洋湖沼通报, 1984, 1, 1~10.
- [18] 方国洪, 杨景飞. 东海东部和南部潮流的数值计算, 海洋学报, 1987, 9 (4): 403~411.
- [19] 郑文振等. 中国近海的潮波系统, 全国海洋综合调查报告, 1964, 第五册, 第七章.
- [20] 沈育疆, 胡定明, 梅丽明等. 南海潮汐数值计算, 海洋湖沼通报, 1985, 1, 1~11.
- [21] 俞慕耕. 南海潮汐特征的初步探讨, 海洋学报, 1984, 6 (3): 293~300.
- [22] 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 (2): 1~4.
- [23] 陈新忠. 台湾海峡及其两岸的潮流, 海洋通报, 1983, 2 (2): 16~24.
- [24] 王志豪. 台湾海峡的潮汐, 台湾海峡, 1985, 4 (2): 120~128.
- [25] 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), 12~19.
- [26] 李立, 王景寿. 对台湾海峡潮流的一点认识, 海洋与湖沼, 1990, 21 (6): 578~580.
- [27] 颜廷壮, 吴永成. 福建沿岸上升流数值研究 台湾海峡潮汐、潮流的数值模拟, 海洋科学集刊, 1995, 36, 47~53.
- [28] Fu Yin and Sen-Ho chen. Tidal computation on Taiwan strait. J. Waterway port moast. Ocean Div, 1982, 108, 539 ~ 553.
- [29] 方国洪. 潮流垂直结构的基本特征—理论和观测的比较, 海洋科学, 1984, 3, 1~11.
- [30] 叶安乐, 叶建华. 台湾海峡及其附近海域三维全日潮波的数值研究, 海洋与湖沼, 1986, 17 (3): 260 ~ 265.