

基于全球潮汐模型的东海海域 潮汐性质空间分布

邬红涛

(福建省港航管理局勘测中心, 福建 福州 350000)

摘要:利用全球潮汐模型 FES 2014(Finite Element Solution 2014)空间分辨率为 $(1/16)^\circ \times (1/16)^\circ$ 的网格点处 13 个分潮调和常数,借助基于最小二乘法调和和分析方法和潮汐特征值的定义算法,定量分析东海海域($117^\circ \sim 131^\circ \text{E}$, $23^\circ \sim 33^\circ \text{N}$)的潮汐类型、深度基准值和不同潮差类型。结果表明:东海海域潮汐类型单一,属于半日潮海域,多数海区属于正规化半日潮海域。理论最低潮面介于 68.31~426.54 cm,起伏变化较大,并分析最低天文潮面、略最低低潮面和平均低低潮面等不同类型的基准面可知,其具有基本一致的南低北高、西低东高空间分布规律。东海海域潮差变化较大,平均潮差介于 42.64~517.14 cm,最大可能潮差达到 948.25 cm。本文研究结果为更准确地掌握我国东海海域的潮汐性质、不同深度基准面和不同潮差类型的空间分布提供了数据基础,对进一步开展海洋管理和海上安全活动具有重要的实际意义。

关键词:潮汐模型;东海海域;潮汐性质;深度基准;潮汐非调和常数

中图分类号:P731.23

文献标志码:A

文章编号:1002-3682(2021)04-0269-07

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2021.04.003

引用格式:WU H T. Spatial distribution of tidal properties in the East China Sea based on the global tidal model[J]. Coastal Engineering, 2021, 40(4): 269-276. 邬红涛. 基于全球潮汐模型的东海海域潮汐性质空间分布[J]. 海岸工程, 2021, 40(4): 269-276.

潮汐是海水在日月等天体引潮力作用下产生的周期性运动,是影响海面起伏变化的重要因素,对沿海人们的生活等有重要影响^[1]。潮汐类型和潮差大小的确定是明确潮汐变化规律的基础,而深度基准面的精确确定是稳态水深表达的关键。潮汐类型、深度基准值和潮差大小等潮汐性质的定量化分析,更是为港口建设、石油开发等海上活动直接提供了数据基础。

已有研究利用验潮站实测潮位数据对山东沿海^[2]、东山湾^[3]等国内海域以及国外如越南沿海^[4]等海域的潮汐类型、涨落潮时等潮汐性质进行了分析,获取了验潮站站点处较为准确的潮汐性质,但限于验潮站分布稀疏,无法了解整个研究海域的潮汐性质的空间分布。东海海域的潮汐性质长期以来也得到了广泛关注和研究,比如,董慧和王文静^[5]及庄媛^[6]采用验潮站实测数据分别分析了舟山港区和长江口海域的潮汐性质。事实上,采用验潮站数据分析潮汐性质的优势是站点观测时间较长,能够得到较为准确的分潮调和常数,从而获取可靠的非调和常数。但是长期验潮站站点分布稀疏,控制范围有限,且每个站点提供的潮位数据时间范围不一,随着针对调和常数趋势性的研究分析^[7],利用这种时间范围不一致、时间尺度不统一的潮位数据获取的潮汐非调和常数往往存在较大差异。基于此,付延光等^[8]联合采用验潮站数据和潮汐模型结果分析了中国沿海海域潮汐类型、潮差大小和潮高日不等现象,但其采用全球潮汐模型 NAO.99b 在中国沿海 $1^\circ \times 1^\circ$ 空间分辨率的结果,其空间分辨率较为稀疏,对于描述局部海域潮汐性质方面准确性还有待提高。

目前有较多学者利用验潮站实测数据分析了中国海域潮汐模型的精度^[9-13],研究结果表明全球潮汐模

收稿日期:2021-10-08

作者简介:邬红涛(1987—),工程师,硕士,主要从事海洋测绘方面的研究. E-mail: 375646987@qq.com

(王 燕 编辑)

型 FES 2014 在中国海域的精度略高于其他潮汐模型^[14],且其空间分辨率能够满足本研究海域的潮汐性质分析。鉴于潮汐类型的确定和潮差分布在海上港口建设、航运、军事活动及海道测量作业等领域使用广泛,且深度基准面是稳态水深表达、陆海垂直基准统一的基础,因此,本文采用全球潮汐模型 FES 2014 提供的 $(1/16)^\circ \times (1/16)^\circ$ 空间分辨率网格点结果,主要定量分析东海海域潮汐类型、深度基准面和不同潮差类型等潮汐非调和常数,以及各类潮汐性质参数在东海海域的分布,进而探讨东海海域潮汐性质分布规律,为进一步掌握东海海域潮汐性质的空间分布和开展相关研究提供数据基础。

1 潮汐模型和计算方法

1.1 全球潮汐模型

全球海洋潮汐模型可以分为经验模型、潮波动力学模型和同化潮汐模型三类模型。其中,经验模型只建立在观测数据上,在观测点上具有较高的精度保证,但受限于验潮站和卫星轨迹的地面分布。潮波动力学模型理论上可以建立任意网格密度的模型,这有益于研究波长较小的浅水区域的潮汐分布,而实际上摩擦系数、黏性系数与开边界条件的不准确使得模型在浅水区域的精度并不理想。同化法使观测数据与理论模型相互融合,数据对模型的“拉动”作用可改善模型的质量,结合了经验法的真实性与动力学的规律性,是解决浅水区域潮汐复杂性的最好方法。目前得到广泛采用的全球潮汐模型大多是同化模型。FES 2014 是 FES (Finite Element Solution) 系列全球有限元潮汐模型的最新成果^[15],属于同化潮汐模型。该模型是利用基于波谱结构的 T-UGOm (Toulou-Unstructured Grid Ocean model) 水动力潮汐解,并结合 SpEnOI (Spectrum Ensemble Optimal Interpolation) 数据同化软件建立起来的,同化的数据源包括 TOPEX/Poseidon、Jason-1 和 Jason-2 数据,以及 TOPEX/Poseidon 变轨轨道任务数据。为了实现全球海域的覆盖和改善模型在浅海海域的精度,地形数据采用 20 个区域的非结构网格地形模型。

采用 FES 2014 潮汐模型提取东海海域 ($117^\circ \sim 131^\circ \text{E}$, $23^\circ \sim 33^\circ \text{N}$, 图 1) 13 个分潮 (Q_1 、 O_1 、 P_1 、 K_1 、 N_2 、 M_2 、 S_2 、 K_2 、 M_4 、 MS_4 、 M_6 、 S_4 和 S_{sa}) 的调和常数,并计算各潮汐特征值。该海域对应的模型空间分辨率为 $(1/16)^\circ \times (1/16)^\circ$,共 36 612 个网格点,受陆海交界、岛礁存在的影响,模型在距离海岸线一定范围的海域内不存在结果,最终获得共计 26 636 个有效网格点。

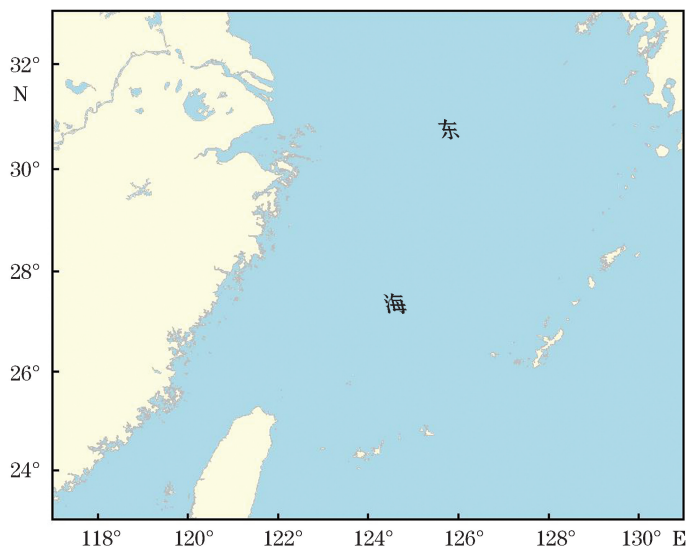


图 1 本文中东海海域的研究范围

Fig.1 The study area in the East China Sea

1.2 深度基准面的计算

1) 理论最低潮面

理论最低潮面,也可称为理论上可能最低潮面^[16]。依据《海道测量规范》^[17],将理论最低潮面采用 13 个分潮整体计算,得到相对于当地平均海平面的深度基准值,称为 L 值,其计算公式为:

$$L = L_8 + L_{\text{shallow}} + L_{\text{long}} \quad (1)$$

式(1)中, L_8 为 8 个主要半日分潮和全日分潮的贡献量,其表达式为

$$\begin{aligned} L_8 = & R_{K_1} \cos \varphi_{K_1} + R_{K_2} \cos(2\varphi_{K_1} + 2g_{K_1} - 180^\circ - g_{K_2}) - \\ & \sqrt{R_{M_2}^2 + R_{O_1}^2 + 2R_{M_2}R_{O_1} \cos(\varphi_{K_1} + g_{K_1} + g_{O_1} - g_{M_2})} - \\ & \sqrt{R_{S_2}^2 + R_{P_1}^2 + 2R_{S_2}R_{P_1} \cos(\varphi_{K_1} + g_{K_1} + g_{P_1} - g_{S_2})} - \\ & \sqrt{R_{N_2}^2 + R_{Q_1}^2 + 2R_{N_2}R_{Q_1} \cos(\varphi_{K_1} + g_{K_1} + g_{Q_1} - g_{N_2})}, \end{aligned} \quad (2)$$

式中, R_{K_1} 、 R_{K_2} 、 R_{M_2} 、 R_{O_1} 、 R_{S_2} 、 R_{N_2} 和 R_{Q_1} 分别为 K_1 、 K_2 、 M_2 、 O_1 、 S_2 、 N_2 和 Q_1 分潮的振幅和交点因子的乘积, φ_{K_1} 为 K_1 分潮相角的函数, g_{K_1} 、 g_{O_1} 、 g_{M_2} 、 g_{P_1} 、 g_{S_2} 、 g_{Q_1} 、 g_{N_2} 分别表示 K_1 、 O_1 、 M_2 、 P_1 、 S_2 、 Q_1 、 N_2 分潮的迟角。

L_{shallow} 为 3 个浅水分潮的贡献量,

$$L_{\text{shallow}} = R_{M_4} \cos \varphi_{M_4} + R_{MS_4} \cos \varphi_{MS_4} + R_{M_6} \cos \varphi_{M_6}, \quad (3)$$

式中, R_{M_4} 、 R_{MS_4} 、 R_{M_6} 分别为 M_4 、 MS_4 和 M_6 分潮的振幅和交点因子 f 的乘积, φ 为对应分潮与 φ_{K_1} 的函数。

L_{long} 为 2 个长周期分潮贡献量,

$$L_{\text{long}} = R_{S_a} \cos \varphi_{S_a} + R_{S_{sa}} \cos \varphi_{S_{sa}}, \quad (4)$$

式中, R_{S_a} 、 $R_{S_{sa}}$ 分别为 S_a 和 S_{sa} 分潮的振幅和交点因子的乘积, φ 为对应分潮与 φ_{K_1} 的函数。 φ_{K_1} 从 0° 至 360° 变化以适当间隔离散取值,可求得 L 的最小值,其绝对值即为深度基准面 L 值。

2) 略最低低潮面

略最低低潮面相对当地长期平均海平面下的 L_1 计算式为:

$$L_1 = H_{M_2} + H_{S_2} + H_{K_1} + H_{O_1}, \quad (5)$$

式中, H 为分潮的振幅。

3) 平均低低潮面

平均低低潮面相对当地长期平均海平面下的 L_2 值计算式为:

$$L_2 = H_{M_2} + (H_{K_1} + H_{O_1}) \cos 45^\circ, \quad (6)$$

式中, H 为分潮的振幅。

1.3 潮差的计算

以半日潮为主的海域,平均潮差可以反映研究海域整体潮差变化情况,平均大潮差、平均小潮差可以反映潮汐振幅随月相变化的情况^[18-19],最大可能潮差反映的是理论上可能出现的最大潮差,主要由各个分潮的振幅计算所得到。平均潮差 $\overline{\Delta H}$ 、平均大潮差 $\overline{\Delta H}_{\text{high}}$ 、平均小潮差 $\overline{\Delta H}_{\text{low}}$ 和最大可能潮差 ΔH_{max} 的计算公式为:

$$\overline{\Delta H} = 2.02H_{M_2} + 0.58(H_{S_2}^2/H_{M_2}) + 0.08(H_{K_1} + H_{O_1})^2/H_{M_2}, \quad (7)$$

$$\overline{\Delta H}_{\text{high}} = 2.014(H_{M_2} + H_{S_2}) + 0.05(H_{K_1} + H_{O_1})^2/H_{M_2}, \quad (8)$$

$$\overline{\Delta H}_{\text{low}} = 2.114(H_{M_2} - H_{S_2}) + 0.148(H_{K_1} + H_{O_1})^2/H_{M_2}, \quad (9)$$

$$\Delta H_{\text{max}} = 2(1.29H_{M_2} + 1.23H_{S_2} + H_{K_1} + H_{O_1}), \quad (10)$$

式中, H 为各个分潮的振幅。

2 潮汐性质分析

2.1 潮汐类型

我国海域潮汐性质的划分主要依据全日分潮 O_1 和 K_1 的振幅之和与半日分潮 M_2 的振幅比 F , 即 $F = (H_{O_1} + H_{K_1}) / H_{M_2}$, 以 F 值的大小判断海域的潮汐类型: 当 $0 < F \leq 0.5$ 时, 潮汐类型为正规半日潮; 当 $0.5 < F \leq 2.0$ 时, 潮汐类型为不规则半日潮混合潮; 当 $2.0 < F \leq 4.0$ 时, 潮汐类型为不规则日潮混合潮; 当 $F > 4.0$ 时, 则潮汐类型为正规日潮^[16]。

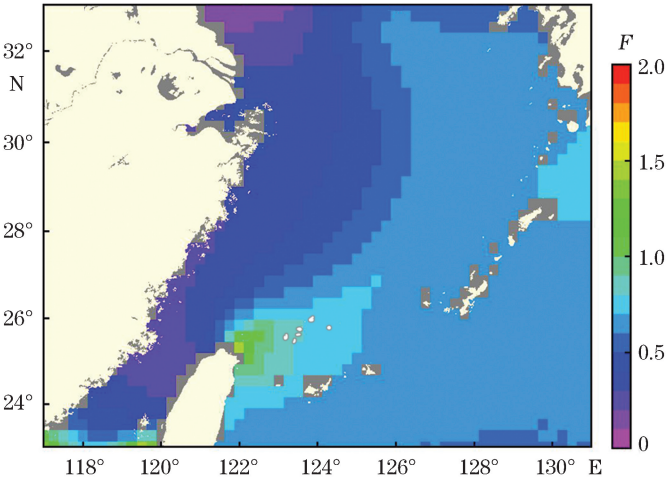


图 2 东海海域潮汐类型 F 值分布

Fig.2 The distribution of F values of tidal types in the East China Sea

利用 FES 2014 模型提供的分潮调和常数计算东海海域 F 值可得 $0.15 \leq F \leq 2.01$ (图 2), 说明东海海域的潮汐类型单一, 其为半日潮海域。其中, 近海 $0.15 \leq F \leq 0.50$, 其潮汐类型属于正规半日潮。离岸越远, $0.50 < F < 2.00$, 显示为不规则半日潮。

2.2 深度基准值

采用 13 个分潮调和常数, 按照式 (2) ~ 式 (7) 计算东海海域的理论最低潮面、最低天文潮位、略最低低潮面和平均低低潮面等不同深度基准面, 各个基准面的统计结果如表 1 所示, 不同深度基准面分布如图 3 所示。

表 1 东海海域的不同深度基准值统计

Table 1 Statistics of different types of chart datum values in the East China Sea

基准面	最小值/cm	最大值/cm	<200 cm 的占比/%	200~350 cm 的占比/%
理论最低潮面	68.31	426.54	80.31	18.23
最低天文潮面	73.34	420.93	80.54	18.19
略最低低潮面	59.87	384.16	83.50	16.28
平均低低潮面	41.43	289.37	95.03	4.97

注: 表中第 4 列和第 5 列为研究海域内各个深度基准值在不同取值范围内所占的比例

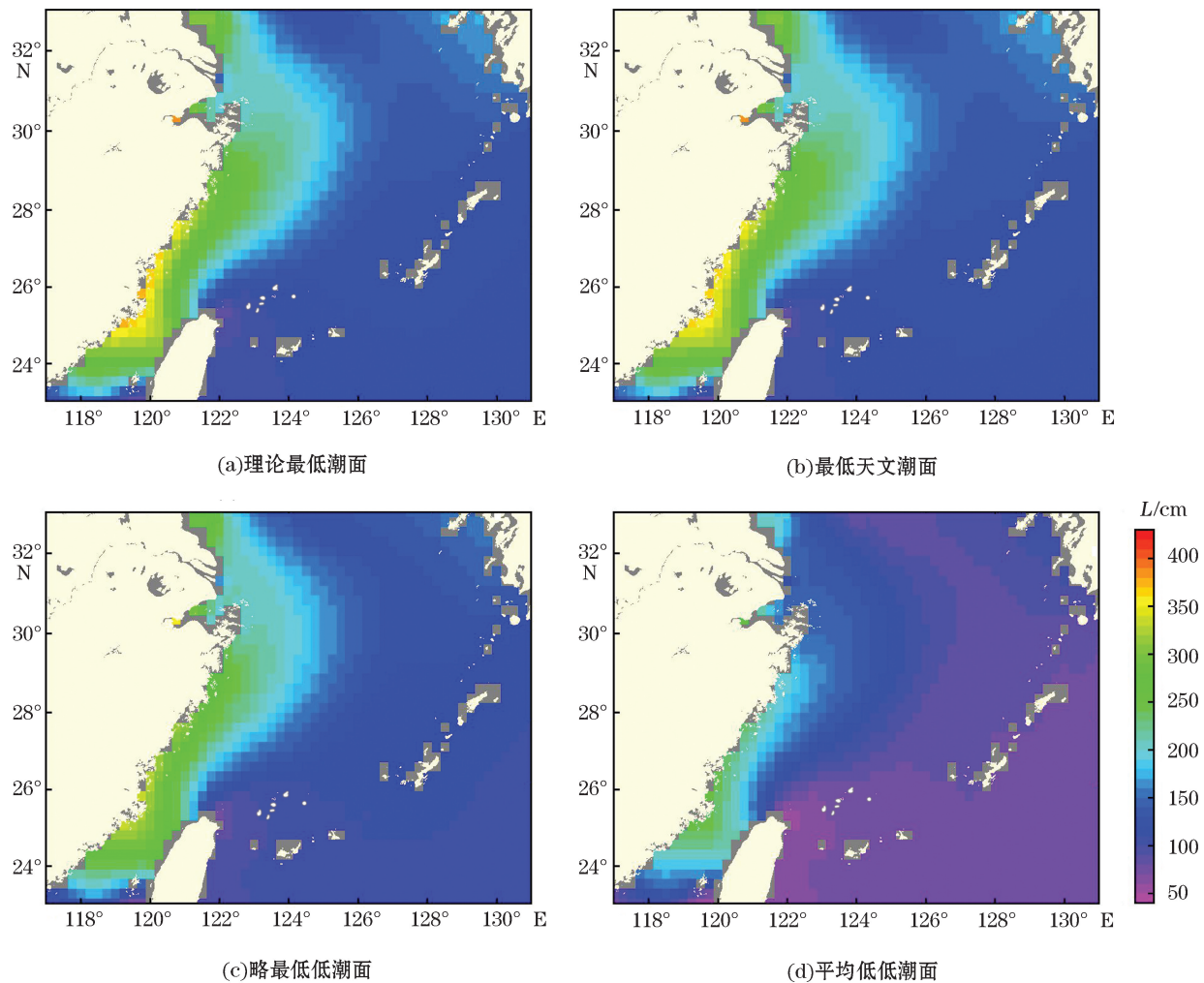


图3 不同深度基准值分布

Fig.3 The distribution of different depth datum values

由图3可以看出,理论最低潮面和最低天文潮面在东海海域具有基本一致的西低、东高空间分布,即在近海海域的基准值较大,在距离海岸线较远的开阔海域基准值较低;在南北向上,各基准面呈现出南低、北高的空间分布。由表1可知,理论最低潮面介于68.31~426.54 cm,其中80.31%的点位基准值在200 cm以内,主要分布在开阔海域;18.23%的点位基准值介于200~350 cm。最低天文潮位值介于73.34~420.93 cm,其中80.54%的点位基准值在200 cm以内,18.19%的点位基准值介于200~350 cm。东海海域逐个网格点处理论最低潮面值与最低天文潮面值的差值结果表明,两者之间的差值为-17.78~7.76 cm,其中72.69%的点位基准值为负值,这说明在东海海域大部分海区理论最低潮面位于最低天文潮面之下。

略最低低潮面和平均低低潮面的确定主要取决于四大主要分潮的振幅。其中,略最低低潮面的空间分布与理论最低潮面类似,基准值介于59.87~384.16 cm,其中83.50%的点位基准值低于200 cm,18.19%的点位基准值介于200~350 cm。而平均低低潮面基准值在东海海域相对较小,介于41.43~289.37 cm,其中95.03%的点位基准值低于200 cm,且在外海海域,多数海区的点位基准值在100 cm以内。

2.3 潮差空间分布

利用式(7)~式(10)计算东海海域的潮差,进而分析不同潮差类型的空间分布情况(图 4),以及最大值、最小值和平均值(表 2)可知:东海海域的平均潮差为 42.64~517.14 cm,平均潮差的平均值为 164.08 cm,而最大可能潮差为 133.33~948.25 cm;最大可能潮差平均值为 350.94 cm,最大值所在的位置为 (120°E,26°45'N),位于东海东南部。由图 4 可以看出,平均大潮差、平均小潮差、最大可能潮差与平均潮差的变化趋势基本一致,均表现为北部较小、南部较大,开阔海域较小、近海海域较大的分布特点。

表 2 东海海域不同潮差类型统计

Table 2 Statistics of different tidal range types in the East China Sea

潮差类型	最小值/cm	最大值/cm	平均值/cm
平均潮差	42.64	517.14	164.08
平均大潮差	53.89	657.90	217.63
平均小潮差	26.46	362.68	100.47
最大可能潮差	133.33	948.25	350.94

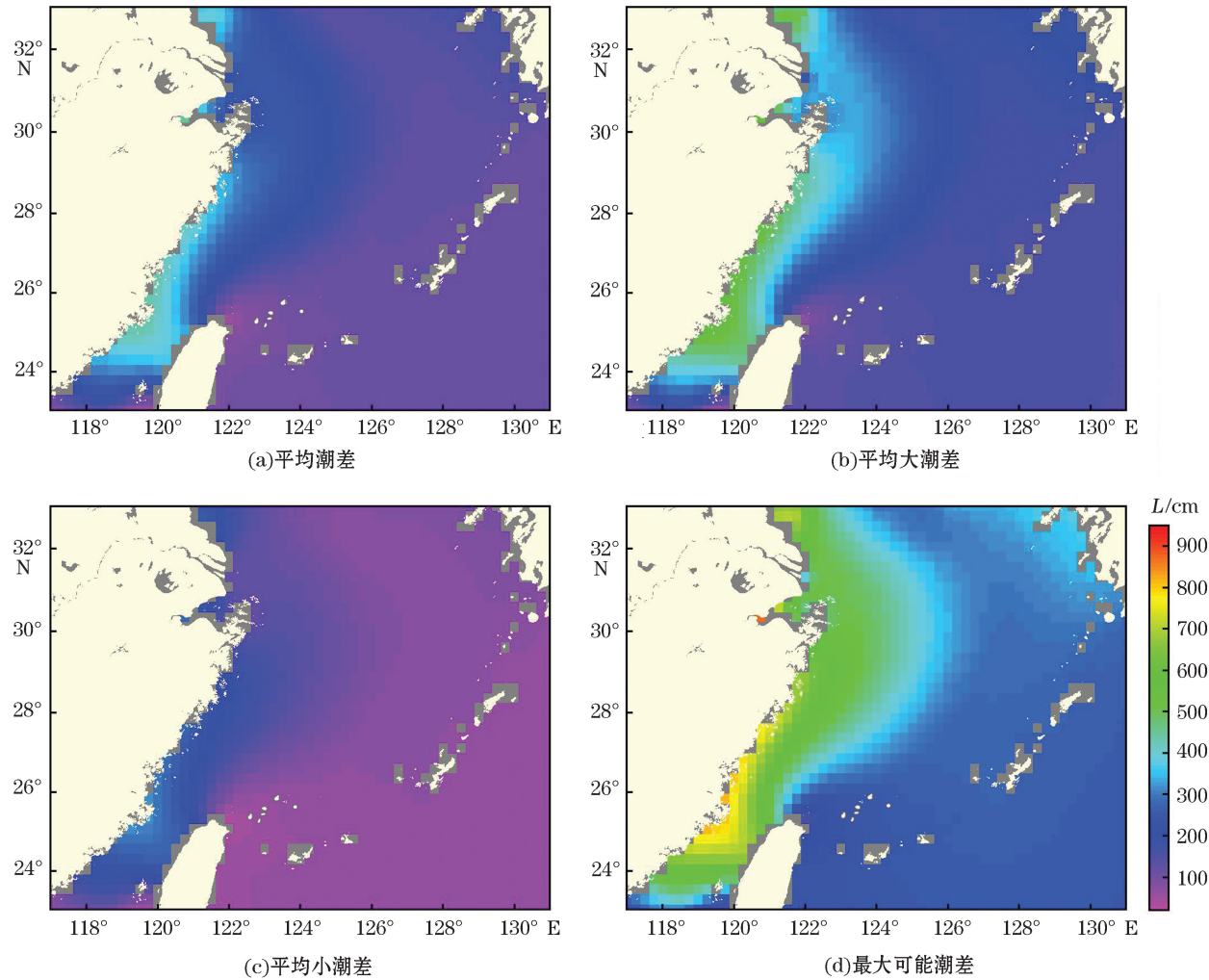


图 4 东海海域不同类型潮差分布

Fig.4 The distribution of different types tidal range in the East China Sea

3 结 论

为了进一步明确我国东海海域准确的潮汐性质和深度基准面的空间分布情况,本文利用全球潮汐模型 FES 2014 提供的 13 个分潮(Q_1 、 O_1 、 P_1 、 K_1 、 N_2 、 M_2 、 S_2 、 K_2 、 M_4 、 MS_4 、 M_6 、 Sa 和 Ssa)的调和常数,基于 F 值、深度基准 L 值等各个参数的计算公式,定量分析了东海海域的潮汐类型、深度基准值和不同的潮差类型的空间分布,得出主要结论:

1)东海海域潮汐类型比较单一,属于半日潮海域,以近海海域为主的绝大多数海域属于规则半日潮海区,而距离海岸线越远的开阔海域属于不规则半日潮海区。

2)东海海域理论最低潮面起伏较大,介于 68.31~426.54 cm,基本呈现出南低、北高,近海海域较低而远海较高的空间分布形式;最低天文潮面、略最低低潮面和平均低低潮面表现出与理论最低潮面基本一致的空间分布。

3)东海海域潮差较大,平均潮差介于 42.64~517.14 cm,最大值位于东海海域中部,平均大潮差、平均小潮差、最大可能潮差与平均潮差的变化趋势基本一致。

参考文献(References):

- [1] HUANG C H, HOU S X, HUANG M T, et al. Computation and application of nonharmonic constants of tide[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2005, 25(4): 22-24. 黄辰虎, 侯世喜, 黄谟涛, 等. 潮汐非调和常数的计算及应用[J]. 海洋测绘, 2005, 25(4): 22-24.
- [2] SUN W K, ZHOU X H, FENG Y K, et al. Analysis on the tidal spatio-temporal characteristics in Shandong coastal areas[J]. Journal of Ocean Technology, 2018, 37(4): 68-75. 孙维康, 周兴华, 冯义楷, 等. 山东沿海潮汐的时空特征分析[J]. 海洋技术学报, 2018, 37(4): 68-75.
- [3] LI Z Y, XIONG W, LIU J. Analysis on tidal characteristics near the Dongshan Bay of Zhangzhou[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2021, 42(3): 334-338. 李振云, 熊伟, 刘杰. 漳州东山湾附近海域潮汐特性分析[J]. 水道港口, 2021, 42(3): 334-338.
- [4] TUAN W Z, LI J C, PEI S J Z. The tidal types and extreme astronomical tidal levels along the coast of Vietnam[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2014(2): 59-62. 团文征, 李建成, 裴氏坚贞. 越南沿海潮汐性质分布及极值天文潮位[J]. 测绘通报, 2014(2): 59-62.
- [5] DONG H, WANG W J. Analysis of tidal characteristics of long-term tide survey station in Zhoushan Port[J]. Marine Technology, 2020(3): 32-34. 董慧, 王文静. 舟山港区长期验潮站潮汐特征分析[J]. 航海技术, 2020(3): 32-34.
- [6] ZHUANG Y. Analysis of tidal characteristics in the Yangtze Estuary[C]//The 22nd East China Six Provinces and One City Institute of Surveying and Mapping Academic Exchange Conference Proceedings. Nanjing, 2021: 95-100. 庄媛. 长江口潮汐特征分析[C]//第二十二届华东六省一市测绘学会学术交流会, 南京. 2021: 95-100.
- [7] BAO J Y, XU J, CUI Y. The variation and epoch correction of harmonic constants and chart datum[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2013, 33(3): 1-5. 暴景阳, 许军, 崔杨. 调和常数及深度基准面的变化与历元订正[J]. 海洋测绘, 2013, 33(3): 1-5.
- [8] FU Y G, SHEN H, SUN W H, et al. Computation and analysis of the non-harmonic constants of tides in China's sea areas[J]. Journal of Ocean Technology, 2016, 35(1): 79-83. 付延光, 申宏, 孙维康, 等. 中国海域潮汐非调和常数的计算与分析[J]. 海洋技术学报, 2016, 35(1): 79-83.
- [9] FAN C X. Latest advances of global ocean tide models and their accuracy comparisons in coastal areas of China[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2019, 39(5): 476-481. 范长新. 全球海潮模型最新进展及在中国沿海精度评估[J]. 大地测量与地球动力学, 2019, 39(5): 476-481.
- [10] LI D W, LI J C, JIN T Y, et al. Accuracy estimation of recent global ocean tide models using tide gauge data[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2012, 32(4): 106-110. 李大伟, 李建成, 金涛勇, 等. 利用验潮站资料评估全球海潮模型的精度[J]. 大地测量与地球动力学, 2012, 32(4): 106-110.
- [11] FU Y G, ZHOU X H, ZHOU D X, et al. Accuracy analysis of ocean tidal model over China seas based on the tide gauge data[J]. Science of Surveying and Mapping, 2017, 42(8): 28-32. 付延光, 周兴华, 周东旭, 等. 利用验潮站资料的中国近岸海潮模型精度评估[J]. 测绘科学, 2017, 42(8): 28-32.
- [12] HU Z B, GUO J Y, ZONG G, et al. Accuracy analysis of three tide model using tide gauge data[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2014, 34(3): 13-16. 胡志博, 郭金运, 宗干, 等. 利用验潮站数据进行三种潮汐模型的精度分析[J]. 海洋测绘, 2014, 34(3):

- 13-16.
- [13] FU Y G, FENG Y K, ZHOU D X, et al. Accuracy assessment of global ocean tide models in the South China Sea using satellite altimeter and tide gauge data[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2020, 39(12): 1-10.
- [14] LYARD F H, ALLAIN D J, CANCELT M, et al. FES 2014 global ocean tide atlas: design and performance[J]. *Ocean Science*, 2021, 17(3): 615-649.
- [15] LYARD F, LEFEVRE F, LETELLIER T, et al. Modelling the global ocean tides: modern insights from FES 2004[J]. *Ocean Dynamics*, 2006, 56(5/6): 394-415.
- [16] CHEN Z Y. *Tidology*[M]. Beijing: Science Press, 1980. 陈宗镛. 潮汐学[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [17] Naval Command Navigation Assurance Division. Specifications for hydrographic survey: GB 12327—1998[S]. Beijing: State Bureau of Quality and Technical Supervision, 1998. 海军司令部航海保证部. 海道测量规范: GB 12327—1998[S]. 北京: 国家质量技术监督局, 1998.
- [18] HUANG Z K, HUANG L. *Tidal theory and calculation*[M]. Qingdao: Ocean University of China Press, 2005. 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.
- [19] FANG G H, ZHENG W Z, CHEN Z Y, et al. The analysis and prediction of tide and tidal current[M]. Qingdao: Ocean Press, 1986. 方国洪, 郑文振, 陈宗镛, 等. 潮汐和潮流的分析和预报[M]. 青岛: 海洋出版社, 1986.

Spatial Distribution of Tidal Properties in the East China Sea Based on the Global Tidal Model

WU Hong-tao

(Survey Center of Fujian Port and Waterway Administration Bureau, Fuzhou 350000, China)

Abstract: The global ocean tide model FES 2014 (Finite Element Solution 2014) is used to calculate the harmonic constants of 13 tidal constituents at the grid points with a spatial resolution of $(1/16)^\circ \times (1/16)^\circ$, and the tide types, the depth datum values and the different tidal range types in the area (117° — 131° E, 23° — 33° N) of the East China Sea (ECS) are quantitatively analyzed by using the harmonic analysis method based on least squares and the definition algorithm of tidal eigenvalues. The results show that the tide type in the ECS is single and belongs to a semi-diurnal tide, being a regular semi-diurnal tide in most areas of the ECS. Theoretically, the lowest tidal level in the ECS ranges 68.31—426.54 cm and fluctuates greatly. The analyses of different types of datum levels such as the lowest astronomical tidal level, the slightly lowest low tidal level and the average lower low tidal level indicate that the spatial distributions of the levels are basically consistent, being lower in the south and west and higher in the north and east. The tidal ranges vary greatly, with the average range being 42.64—517.14 cm and the maximum possible range being 948.25 cm. The results of this study provide a data basis for more accurate understanding of the spatial distributions of the tidal properties, the different depth datum levels and the different tidal range types in the ECS and have an important practical significance for the further conduction of marine management and maritime safety activities.

Key words: tidal model; the East China Sea; tidal properties; depth datum; tidal nonharmonic constants

Received: October 8, 2021