

doi:10.3969/j.issn.1003-2029.2019.05.011

# DOT2008A 海面地形模型在我国邻近海域的精度评估

马刚<sup>1,2</sup>, 邓孟真<sup>1</sup>

(1. 西安测绘总站, 陕西 西安 710054; 2. 地理信息工程国家重点实验室, 陕西 西安 710054)

**摘要:**文中首先介绍了 DOT2008A 模型建立的原理和方法, 利用我国 48 个长期验潮站 19 a 连续观测数据验证 DOT2008A 模型的精度, 其均方差为 0.118 m, 残差的标准偏差为 0.086 m; 联合多源测高卫星建立的海面地形模型数据验证 DOT2008A 的精度, 均方差为 0.106 m, 残差的标准偏差为 0.099 5 m, 且其残差分布图基本符合正态分布。从实验结果来看, DOT2008A 模型在我国周边海域精度较高, 其建立方法较为合理, 转化应用价值较高; 同时与多源测高卫星建立的海面地形比较结果来看, 验证了自主建立的海面地形模型的正确性, 对建立我国高精度海面地形模型具有重要的借鉴意义。

**关键词:** DOT2008A; 长期验潮站; 多源测高卫星

**中图分类号:** P229      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1003-2029(2019)05-0060-04

海面地形一般是指平均海面距大地水准面的高度, 在确定全球高程基准统一、海洋大地水准面精化、海面重力异常归算、海底地形反演等方面都具有重要的意义和作用<sup>[1-3]</sup>。自 1975 年动力实验海洋卫星(GEOS-3)发射后, 国际上的大地测量学者对此产生了极大的兴趣, 这是继验潮站间用几何水准联测和海洋水准之后, 又一种确定海面地形的办法, DOT2008A 就是采用此法建立。本文分别采用我国 48 个长期验潮站 19 a 观测数据和测高海面地形数据, 验证了 DOT2008A 模型精度, 为我国高精度海面地形模型的建立做好铺垫, 为该模型数据在我国邻近海域的转化应用做好精度验证。

## 1 DOT2008A 海面地形模型

基于不同的数据资料在不同的海域推算海面地形的原理方法是不同的。基于验潮站资料推算沿岸海域的海面地形, 可采用几何水准测定法; 根据海洋温盐数据确定深海区域的海面地形, 可采用海

洋水文法; 卫星测高方法采用球谐函数, 联合卫星测高海面高模型和海洋重力场模型构造海面地形<sup>[4]</sup>。DOT2008A 海面地形模型利用 DNSC08B 平均海面和 EGM2008 大地水准面模型计算所得, 其基本原理如下。

海面动力地形  $\xi$ 、海面高度  $h$  和大地水准面  $N$  之间的几何关系可表示为:

$$\xi = h - N \quad (1)$$

将大地水准面表示为球谐系数之和, 其表达式为:

$$N(\theta, \phi) = a \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=0}^l \bar{P}(\cos\theta) [C_{lm}^N \cos(m\phi) + S_{lm}^N \sin(m\phi)] \quad (2)$$

式中:  $a$  为地球半径;  $\theta$  和  $\phi$  分别为纬度和经度;  $C_{lm}^N$  和  $S_{lm}^N$  为无量纲的 Stokes 球谐系数;  $\bar{P}$  为归一化的缔合勒让德多项式。

将海面高也展开成球谐系数形式, 则:

$$h(\theta, \phi) = a \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=0}^l \bar{P}(\cos\theta) [C_{lm}^h \cos(m\phi) + S_{lm}^h \sin(m\phi)] \quad (3)$$

收稿日期: 2019-04-26

基金项目: 地理信息工程国家重点实验室资助项目(SKLGIE 2016-M-3-2)

作者简介: 马刚(1992-), 男, 助理工程师, 主要从事海洋垂直基准研究。E-mail: 947936239@qq.com

式中: $C_{lm}^h$  和  $S_{lm}^h$  为海平面的 Stokes 系数,其他各项符号同式(2)。

则根据式(1)~式(3)可推知,海面地形可表示为<sup>[9]</sup>:

$$\xi(\theta, \phi) = a \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=0}^l \bar{P}(\cos\theta) [C_{lm}^{sst} \cos(m\phi) + S_{lm}^{sst} \sin(m\phi)] \quad (4)$$

式中: $C_{lm}^{sst} = C_{lm}^N - C_{lm}^h$ ,  $S_{lm}^{sst} = S_{lm}^N - S_{lm}^h$ , 为海面地形的 Stokes 系数。

DOT2008A 海面地形模型全球格网点的海面地形数值,采用最大 180 阶展开,其分辨率为 1'×1'。

## 2 验潮站数据精度评估

本文选取的数据是我国 48 个长期验潮站 19 a 观测数据。首先对验潮站数据进行规范化处理,基于多年逐时水位资料,利用算数平均方法,计算平均海面相对于验潮水尺零点的高度,然后将其归算到 1985 国家高程基准。同时依据其点位信息,计算出 DOT2008A 模型的海面地形值,并归算到 1985 国家高程基准,算出两者之间的差值。长期验潮站处实测海面地形值、DOT2008A 海面地形值及两者之间的残差如表 1 所示。

将验潮站出的观测数据作为真值,计算出 48 个验潮站处 DOT2008A 海面地形模型的均方差为 0.118 m, 并且计算实测值与模型值之间的残差,其最小值、最大值、平均值和标准偏差如表 2 所示。

通过计算可知, DOT2008A 在我国沿岸海面地形的精度为 0.118 m, 其残差的最大值为 0.237 m, 最小值为 -0.127 m, 平均值为 0.082 m, 标准偏差为 0.086 m。

表 2 长期验潮站残差统计结果

单位:m				
验潮站个数	最小值	最大值	平均值	标准偏差
48	-0.127	0.237	0.082	0.086

## 3 测高海面地形精度评估

测高海面地形数据来源:联合 Geosat/GM 数据、ERS-1 数据、T/P 数据、T/P 新轨道数据、ERS-2 数据和 GFO 数据,采用强制改正法构建了中国近海(0°~41°N, 105°~132°N)2'×2' 网格分辨率的平均海面高模型,采用几何域法由平均海面高模型与似大地水准面模型求得中国近海稳态海面地形,即为测高海

表 1 长期验潮站海面地形

				单位:m
序号	站名	海面地形值	DOT2008A 海面地形值	残差
1	HLD	-0.030	-0.141	0.111
2	BYQ	0.010	-0.157	0.167
3	ZMW	0.091	-0.082	0.173
4	QHD	-0.040	-0.100	0.060
5	TG	-0.060	-0.182	0.122
6	LK	0.071	-0.033	0.104
7	DG	0.020	-0.037	0.057
8	XCS	-0.050	-0.082	0.032
9	LHT	0	0.006	-0.006
10	YT	0.091	-0.021	0.112
11	CST	0.041	-0.074	0.115
12	SD	0.041	-0.068	0.109
13	QLY	0.001	-0.058	0.059
14	XMD	-0.069	-0.005	-0.064
15	RZ	0.070	0.046	0.024
16	LS	0.050	0.048	0.002
17	LYG	0.050	0.054	-0.004
18	SL	0.190	0.085	0.105
19	SS	0.280	0.046	0.234
20	DS	0.290	0.093	0.197
21	ZS	0.240	0.107	0.133
22	ZH	0.200	0.086	0.114
23	SP	0.200	0.129	0.071
24	KM	0.270	0.153	0.117
25	WZ	0.360	0.153	0.207
26	SSH	0.291	0.234	0.057
27	CHW	0.341	0.400	-0.059
28	XM	0.430	0.403	0.027
29	DS	0.471	0.459	0.012
30	NA	0.541	0.475	0.066
31	ST	0.520	0.466	0.054
32	SW	0.570	0.413	0.157
33	HZH	0.650	0.414	0.236
34	SZH	0.441	0.413	0.028
35	ZHH	0.580	0.412	0.168
36	XP	0.650	0.413	0.237
37	SD	0.600	0.414	0.186
38	LZ	0.330	0.415	-0.085
39	HA	0.520	0.475	0.045
40	BH	0.600	0.494	0.106
41	QZH	0.660	0.490	0.170
42	FCG	0.620	0.487	0.133
43	WZH	0.410	0.537	-0.127
44	HK	0.560	0.490	0.070
45	QL	0.600	0.502	0.098
46	BA	0.590	0.536	0.054
47	DF	0.580	0.636	-0.056
48	SY	0.580	0.580	0

面地形<sup>[6]</sup>。

本文采用美国 Golden 软件公司开发的 Surfer 软件, 实现 DOT2008A 海面地形模型的精度验证。Surfer 中多数操作都需要 XYZ 数据文件或格网数据文件, 在此 XYZ 数据文件表示某点有平面坐标  $X, Y$  和海面地形值  $Z$  (可为该点上的某个数据量)。等值线图 and 曲面内插要求格网形式的数据文件; 格网数据文件可以由离散点数据文件 XYZ 利用 Grid 菜单下的命令生成。

本文采用原始数据的范围, 由于网格数据分辨率较高, 计算量太大, 为便于计算, 将网格数据内插为  $10' \times 10'$ , 并且将内插结果白化处理, 除去陆地地点和无效点, 得到有效点的位置, 通过 DOT2008A 软件生成对应格网节点的海面地形数据, 并且将数值归算到 1985 国家高程基准, 共得到 15 441 个点。

Surfer 软件 Grid 菜单下的 Residuals 命令可以计算 XYZ[.DAT] 数据文件中的  $Z$  值与由格网内插的同一点的  $Z$  值的差值, 其计算式<sup>[7]</sup>为:

$$Z_{\text{res}} = Z_{\text{dat}} - Z_{\text{grd}} \quad (5)$$

式中:  $Z_{\text{res}}$  为残差;  $Z_{\text{dat}}$  为数据文件中的  $Z$  值;  $Z_{\text{grd}}$  为利用格网文件内插的  $Z$  值。

将测高海面地形数据作为真值, 通过将其内插为  $10' \times 10'$  的格网文件后, 格网处 DOT2008A 海面地形模型的均方差为 0.106 m, 计算出残差的最小值、最大值、平均值、标准偏差如表 3 所示, 残差分布图如图 1 所示。

通过计算可知, DOT2008A 模型与测高海面地形相比, 其在我国沿岸海域的精度为 0.106 m, 其残差的最大值为 0.171 m, 最小值为 -0.206 m, 平均值为 0.037 5 m, 标准偏差为 0.099 5, 且其残差的分布图基本符合正态分布。

## 4 结论

本文利用我国沿海 48 个长期验潮站 19 a 观测数据和海面地形模型数据验证 DOT2008A 模型的

表 3 残差统计结果

点位数	最小值	最大值	平均值	标准偏差
15 441	-0.206	0.171	0.037 5	0.099 5

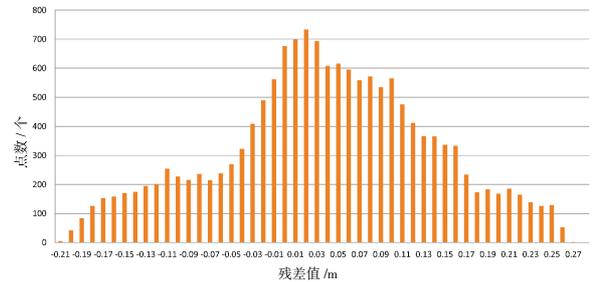


图 1 残差分布图

精度, 从结果上看, DOT2008A 在我国海域符合性较好, 精度在 12 cm 以内, 该模型建立的方法合理, 在我国周边海域的转化价值较高, 同时也说明了卫星测高技术对于建立高精度海面地形模型的重要性。同时, 该模型与我国自主建立的高精度海面地形相比, 其精度符合性较高, 验证了我国自主建立的海面地形模型的正确性, 同时对改进我国高精度海面地形模型具有一定的借鉴意义。

卫星测高技术由于其全覆盖、快速、高精度等优点, 在海洋学、大地测量学、地球物理学等方面取得了广泛的应用。可以预见, 随着我国自主研发的测高卫星的发射, 建立更高分辨率和精度的海面地形模型成为可能, 可为实现更高精度的高程/深度基准转换提供数据支撑。

同时, 当前海洋测量方式多样, 应当改变单一数据来源建立成果模型的思维, 多源数据的融合处理是提高成果精度的重要保证, 也是当前研究的一大热点。

### 参考文献:

- [1] 管泽林, 管铮, 翟国君. 海面地形与高程基准[M]. 北京: 测绘出版社, 1999.
- [2] 章传银, 李建成, 晁定波. 联合卫星测高和海洋物理数据计算近海稳态海面地形[J]. 武汉测绘科技大学学报, 2000, 25(6): 500-504.
- [3] 张子占, 马海青, 陆洋. 多源数据推求的西太平洋区域海面动力地形比较分析[J]. 海洋测绘, 2007, 27(5): 5-7.

- [4] 彭利峰,张胜军,李大炜.中国近海及临海稳态海面地形研究[J].大地测量与地球动力学,2013,33(4):65-68.
- [5] 邓凯亮,暴景阳,章传银,等.联合多代卫星测高数据确定中国近海稳态海面地形模型[J].测绘学报,2009,38(2):114-120.
- [6] 张鹤.T/P 卫星测高数据确定海面地形的方法研究及应用[J].测绘通报,2005(2):10-13.
- [7] 张兴福,魏德宏,赵涛涛.基于 Surfer 软件的 GPS 高程转换方法[J].测绘通报,2009(8):36-40.

## Accuracy Assessment of DOT2008A Sea Surface Topography Model in Adjacent Sea Areas of China

MA Gang<sup>1,2</sup>, DENG Meng-zhen<sup>1</sup>

1. Xi'an Surveying and Mapping Center, Xi'an 710054, Shaanxi Province, China;

2. National Key Laboratory of Geo-Information Engineering, Xi'an 710054, Shaanxi Province, China

**Abstract:** This paper firstly introduces the principle and method of establishing DOT2008A model. The accuracy of DOT2008A model is verified by 19 years of continuous observation data from 48 long-term tidal stations in China. The mean square deviation is 0.118 m and the standard deviation of residuals is 0.086 m. The sea surface topography model data established by the joint multi-source altimetry satellite verified the accuracy of DOT2008A. The mean square error was 0.106 m, the standard deviation of the residual error was 0.099 5 m, and the residual distribution basically conforms to the normal distribution. According to the experimental results, the DOT2008A model is of high accuracy in the surrounding sea areas of China, its establishment method is proved to be reasonable, and it has high transformation application value. At the same time, compared with the sea surface topography established by multi-source altimetry satellite, the correctness of the independently established sea surface topography model is verified in this paper.

**Key words:** DOT2008A; long-term tidal station; multi-source altimetry satellite