

提取分潮调和常数的新方法——正交方法*

王庆业 刘志亮

(中国海洋大学物理海洋实验室 青岛 266003)

摘要 给出了提取潮汐调和常数的一种新方法——正交方法,并应用 1992~1997 年的 TOPEX/POSEIDON 卫星高度计遥感资料,提取中国海 M_2 分潮调和常数。同时,利用最小二乘法来提取中国海 M_2 分潮调和常数,两种方法结果比较:渤海、黄海、东海海域 M_2 分潮振幅、迟角的均方差分别是 3.3 cm, 3.6°; 南中国海海域 M_2 分潮振幅、迟角均方差分别是 1.1 cm, 1.7°, 结果表明正交方法是一种可信的具有实用性的方法。

关键词 正交方法, TOPEX/POSEIDON 卫星高度计, 调和常数

中图分类号 P731.23 **文献标识码** A **文章编号** 1000-3096(2003)09-0049-05

自从 70 年代卫星高度计兴起以来,有很多关于卫星高度计资料分析的文献,其中从卫星数据中提取潮汐信息^[1~3]居多,文中使用方法都是对海表面高度(SSH)做调和分析,这是一种得到广泛应用的高度计数据分析方法。

分析卫星高度计资料,发展从卫星测高数据中分离潮波信息的实用技术,分析中国海分潮的调和常数,对于研究中国海潮汐和发展我国卫星海洋遥感、海洋环境监测事业和提高海洋预报水平都有重大意义。

本文通过对数据的处理分析,利用正交方法成功地提取了中国海 M_2 分潮调和常数。在提取调和常数方面正交方法具有与最小二乘法相同的功能,这显示正交方法在处理卫星高度计资料方面具有很大的潜力。

1 TOPEX/POSEIDON 卫星高度计和数据处理

1.1 TOPEX/POSEIDON 卫星高度计

卫星高度计是一种主动式微波测量仪,它具有独特的全天候、长时间历段、观测面积大、观测精度高、时间准同步、信息量大的特点。自 1973 年至今,全世界先后发射了 7 颗载有高度计的卫星,它们是:

SkyLab(美)、Geos-3(美)、Seasat(美)、Geosat(美)、Ers-1(欧空局)和 TOPEX/POSEIDON(美、法)、Ers-2(欧空局)。

TOPEX/POSEIDON 高度计卫星是由美国 NASA 和法国空间研究中心 CNES 合作进行的,于 1992 年 8 月 10 日发射上空,任务是研究全球大洋环流。具体是:1) 测量海平面高度;2) 处理、校正数据以供科学研究人员使用;3) 进一步发展了长期海流观测程序。卫星轨道在空间上绕地球 127 周,在地面上形成 254 条平行轨道,奇数号为上升轨道,偶数号为下降轨道,轨道的重复周期为 9.9156 d,相邻跨赤道地面轨迹间距为 316 km^[4,5],它们的倾角均为 66.04°。TOPEX/POSEIDON 卫星高度计测高原理:海面高度(SSH) = 卫星高度 - 卫星测距。

1.2 数据时间段和区域的选取

时间上本文对 1993~1997 共 5 年资料进行分析,即从 010 圈到 198 圈。空间区域是中国海,包括渤海、黄海、东海, 25°~41°N, 117°~130°E 和南海 0°~25°N, 99°~125°E。渤海、黄海、东海具体轨道是:

* 国家 863 计划项目 863-818-06-05。

第一作者:王庆业,出生于 1977 年,硕士,研究方向:海洋环流。电话:0532-2898513

收稿日期:2002-04-01;修回日期:2002-05-10

036、051、062、077、127、138、153、164、203、214、229 和 240 共 12 条。南中国海具体轨道是:001、012、025、038、051、064、077、088、101、114、127、140、153、

164、166、179、190、203、216、229、240 和 242 共 22 条。渤海、黄海、东海的卫星轨道图和南中国海的卫星轨道见图 1。

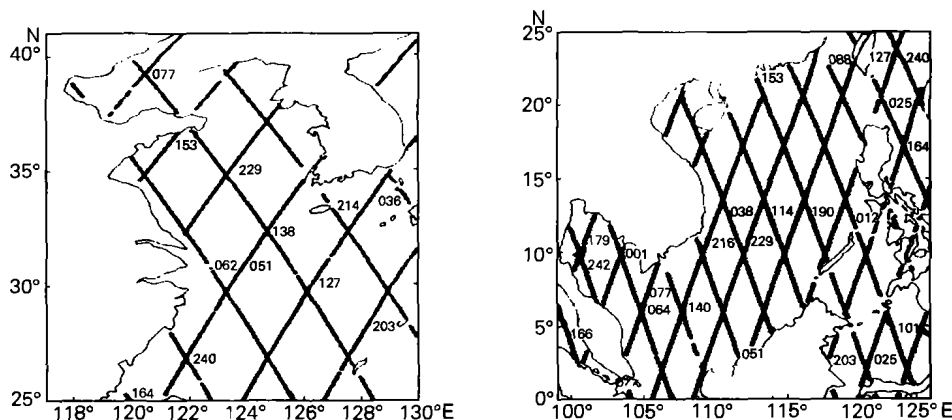


图 1 渤、黄、东海和南中国海卫星轨道

Fig. 1 Satellite track in Bohai Sea, Yellow Sea, East China Sea (BYECS) and the South China Sea

1.3 数据的读取

TOPEX/POSEIDON 卫星测距是指从高度计脉冲发射和接收的时间延迟,即卫星到海面的高度,由于大气等因素影响,须进行测距校正。

校正后的测距 = 测距 + 湿对流校正 + 干对流校正 + 电离层校正 + 电磁偏差

海面高度(SSH)是指海面相对于参考椭球面的高度,它是从卫星高度中减去经校正后的测距得到的。

海面高度(SSH) = 卫星高度 - 校正的测距

由潮汐等其它因素影响引起的海面变化是海面高度减去海面平均高度或大地水准面,然后再减去固体潮、极地潮和大气逆压。

潮汐等其它因素影响 = 海面高度(SSH) - 平均海面 - 固体潮 - 极地潮 - 大气逆压

这些物理量都可以从 CD-ROM 中直接或间接得到。

1.4 数据的处理

在数据的处理过程中,如何选取有效的数据、除去奇异数据是至关重要的,数据的取舍直接影响着计算结果。

(1)在 CD-ROM 中读取数据时,如果卫星高度、卫星测距、干对流层校正、湿对流层校正、电离层校

正、电离偏差、平均海面、固体潮、极地潮、大气逆压中只要有一个是缺省值,即删除该数据。

(2)如果上述罗列的物理量均不是缺省值,就得到每一个点从 010~198 圈的时间序列。对于每一个点潮汐作用引起高度的时间序列中的奇异值需要除去。具体方法是:先求出时间序列中这些数据的均值 u 和标准差 σ ,通过判断数据值是否在 $(u - 3\sigma, u + 3\sigma)$ 内来判断,不在 $(u - 3\sigma, u + 3\sigma)$ 内的数据被删除,视为奇异值。

1.5 数据文件

通过数据读取和处理得到了很多数据文件,即对于每一个卫星轨道点从 1993~1997 年的时间序列。

2 正交方法

我们知道,总的潮位的表达式可写成

$$\zeta = S_0 + \sum_{i=1}^n A_i \cos(\omega_i t - \theta_i) = S_0 + \sum_{i=1}^n A_i (\cos\omega_i t \cos\theta_i + \sin\omega_i t \sin\theta_i)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

由于各分潮的 ω_i 不同,所以周期 T_i 也不同,现在取积分区间 $[0, T]$,其中 T 是 $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ 的最小公倍数,记为 $T = [T_1, T_2, T_3, \dots, T_n]$ 。我

们利用三角函数的正交性,有

$$\int_0^T S_0 \cos \omega_n t dt = 0,$$

$$\int_0^T S_0 \sin \omega_n t dt = 0,$$

$$\int_0^T \cos \omega_i t \sin \omega_j t dt = 0,$$

$$\int_0^T \cos \omega_i t \cos \omega_j t dt = \begin{cases} 0 & i \neq j \\ \frac{1}{2} T & i = j \end{cases}$$

$$\int_0^T \sin \omega_i t \sin \omega_j t dt = \begin{cases} 0 & i \neq j \\ \frac{1}{2} T & i = j \end{cases}$$

例如,要提取 ω_1 的 A_1 和 θ_1

$$M_1 = \int_0^T \xi \cos \omega_1 t dt = \frac{T}{2} \cdot A_1 \cos \theta_1$$

$$M_2 = \int_0^T \xi \sin \omega_1 t dt = \frac{T}{2} \cdot A_1 \sin \theta_1$$

于是有,

$$A_1 = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} / \left(\frac{T}{2} \right)$$

$$\theta_1 = \begin{cases} \arctg\left(\frac{M_2}{M_1}\right) & M_1 > 0, M_2 > 0 \\ \arctg\left(\frac{M_2}{M_1}\right) + \pi & M_1 < 0, M_2 > 0 \\ \arctg\left(\frac{M_2}{M_1}\right) + \pi & M_1 < 0, M_2 < 0 \\ \arctg\left(\frac{M_2}{M_1}\right) + 2\pi & M_1 > 0, M_2 < 0 \end{cases}$$

3 计算程序

(1)由于我国采用东八区时间系统,所以首先将格林威治时间转换成东八区时间系统。(2)利用正交方法和最小二乘法分别编写 FORTRAN 程序计算中国海 M_2 分潮的 A, θ 。(3)计算出 M_2 分潮的初相角 V_0 ,交点因子 f 和交点订正角 $u^{[6]}$ 。(4)最后得到了在卫星轨道点处 M_2 分潮各自的调和常数 H 和 g 。这里 H, g 的计算公式是 $H = A/f, g = \theta + V_0 + u$ 。

4 计算结果

渤海、黄海、东海海域计算结果,振幅的均方差是 3.3 cm,迟角的均方差是 3.6°。具体比较见表 1。在 203 轨道上,将正交方法和最小二乘法分别提取的调和常数进行对比(图 2)。

南中国海海域计算结果,振幅的均方差是 1.1

cm,迟角的均方差是 1.7°。具体比较见表 2。在 216 号轨道上,将正交方法和最小二乘法分别提取的调和常数对比,结果见图 3。

表 1 提取的渤海、黄海、东海各轨道调和常数的比较

Tab.1 The comparison of harmonic constants extracted in every track of BYECS

轨道号	轨道上计算点数 (个)	振幅的均方差 (cm)	迟角的均方差 (°)
036	19	3.5	2.4
051	221	2.4	1.7
062	215	4.1	2.1
077	60	4.3	3.0
127	206	0.8	1.7
138	265	3.7	7.1
153	79	5.6	1.4
164	6	3.5	1.1
203	128	2.1	2.6
214	197	3.2	2.7
229	110	4.2	2.5
240	55	2.9	3.6

表 2 提取的南中国海各轨道调和常数的比较

Tab.2 The comparison of harmonic constants extracted in every track of South China Sea

轨道号	轨道上计算点数 (个)	振幅的均方差 (cm)	迟角的均方差 (°)
001	150	1.2	2.7
012	338	1.3	2.0
025	155	2.1	1.0
038	306	1.2	1.4
051	375	0.9	1.7
064	217	0.7	2.0
077	172	1.2	1.8
088	127	0.7	1.4
101	99	1.7	1.7
114	268	0.7	1.3
127	262	1.0	1.5
140	107	1.4	1.2
153	414	0.8	1.8
164	179	1.2	1.6
166	76	1.7	1.6
179	97	1.3	2.2
190	365	0.8	1.3
203	282	1.4	1.7
216	149	0.7	2.3
229	447	0.9	1.3
240	94	1.7	1.3
242	109	1.0	2.0

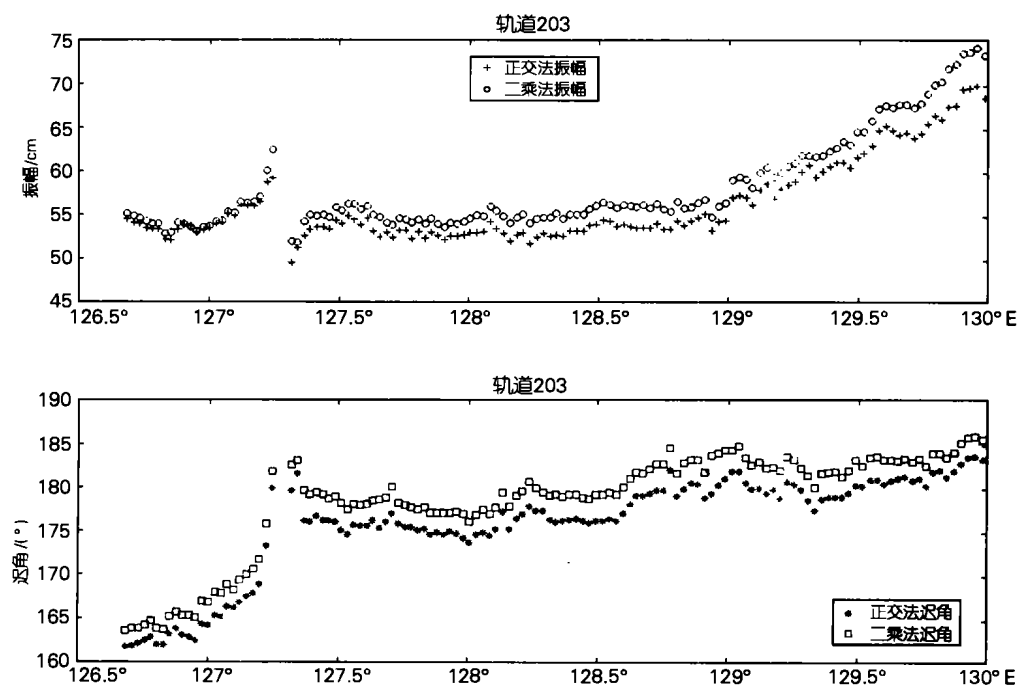


图 2 渤海、黄海、东海内的 203 号轨道上提取的调和常数的比较
Fig.2 The comparison of harmonic constants extracted in track 203 of BYECS

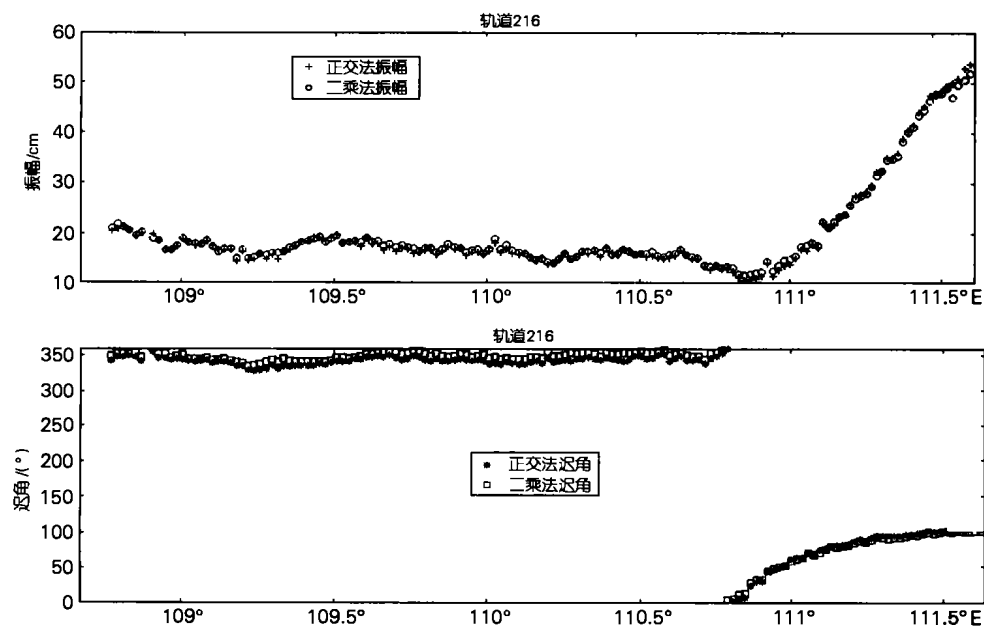


图 3 南中国海内的 216 号轨道上提取的调和常数的比较
Fig.3 The comparison of harmonic constants extracted in track 216 of the South China Sea

5 结果讨论

从计算结果发现,在渤海、黄海、东海海域计算结果均方差比在南中国海海域计算结果的均方差大。可能原因是,渤海、黄海、东海海域的 M_2 分潮比南中国海海域的 M_2 分潮强。在从卫星高度计中提取 M_2 分潮的调和常数方面,用正交方法得到的结果表明正交方法是一种可信的具有实用性的方法,表现出与最小二乘法同样的潜力。

参考文献

- 1 Cartwright D E, Ray R D. Oceanic tides from Geosat altimetry. *J Geophys Res*, 1990, 95: 3 069-3 090
- 2 Mazzega P. The M_2 oceanic tide recovered from Seasat altimetry in the Indian Ocean. *Nature*, 1983, 302: 514-516
- 3 Schlax M G, Chelton D B. Aliased tidal error TOPEX/POSEIDON sea surface height. *J Geophys Res*, 1994, 99: 24 761-24 775
- 4 Fu L L, Christensen E J, Yamarone C A Jr. TOPEX/POSEIDON mission overview. *J Geophys Res*, 1994, 99: 24 369-24 382
- 5 Parke M E, Stewart R H, Farless D L. On the choice of orbits for an altimetric satellite to study ocean circulation and tides. *J Geophys Res*, 1987, 92: 11 693-11 707
- 6 方国洪, 郑文振, 陈宗镛, 等. 潮汐和潮流的分析和预报. 北京: 海洋出版社, 1986. 474

A NEW METHOD OF ORTHOGONAL ANALYSIS TO EXTRACT THE HARMONIC CONSTANTS OF TIDAL COMPONENT

WANG Qing-Ye LIU Zhi-Liang

(*Institute of Physical Oceanography, Ocean University of China, Qingdao, 266003*)

Received: Apr., 1, 2002

Key Words: Orthogonal analysis, TOPEX/POSEIDON altimetry, Harmonic constant

Abstract

A new method of orthogonal analysis to extract the harmonic constants of tidal components is given in this study. The harmonic constant of M_2 is extracted from the TOPEX/POSEIDON altimetry data from 1992 through 1997 by using both the new method and least square method, respectively. The results are as follows. The RMS of amplitude and phase lag of M_2 is 3.3 cm and 3.6° respectively for the areas of Bohai, Yellow Sea, and East China Sea (BYECS). The RMS of amplitude and phase lag of M_2 is 1.1 cm and 1.7° respectively for the area of South China Sea. So the proposed new method of orthogonal analysis is confirmed to be a reliable and practical one to extract the harmonic constants of tidal component.

(本文编辑: 张培新)