

文章编号:0494-0911(2012)02-0004-03

中图分类号:P229

文献标识码:B

利用卫星测高与卫星重力数据进行中国近海上层地转流速分析

柯宝贵,章传银,张利明

(中国测绘科学研究院,北京 100830)

Research on the Upper Layer Geostrophic Velocities in China Marginal Sea Based on Satellite Altimetry and Satellite Gravity

KE Baogui, ZHANG Chuanyin, ZHANG Liming

摘要:利用卫星测高技术获取的海面高、卫星重力数据以及最新的 Argo 漂流速度数据确定我国海域稳态海面地形,研究分析中国近海上层地转流的变化特征。结果表明,中国近海地转流沿 x 方向分量流速范围为 $0.1 \sim 1.6 \text{ m/s}$,其误差在 $\pm 0.97 \text{ m/s}$ 以内;沿 y 方向分量流速范围是 $0.1 \sim 1.70 \text{ m/s}$,最大误差为 $\pm 0.66 \text{ m/s}$ 。

关键词:海面地形;地转流速度;卫星测高;卫星重力

一、引言

洋流是海洋物质迁移、能量交换的重要载体。不同的洋流尺度和洋流类型对人类的生活环境有着重大的影响,如影响全球气候的厄尔尼诺现象和拉尼娜现象。

随着卫星大地测量技术的发展,可利用卫星数据从空间角度研究大洋环流。洋流的主要成分是地转流,而确定地转流的关键在于获取高精度、高分辨率的海面地形。海面地形是海面高中扣除海洋大地水准面的剩余。卫星测高技术的出现,为快速、大范围、高精度地测定海面高提供了条件。卫星重力探测技术则能确定出一个不依赖卫星测高技术的独立大地水准面^[1]。因此,结合通过卫星重力技术获取的大地水准面和通过卫星测高技术获取的海面高所得到的海面地形^[2],可获取高精度的海洋环流信息^[3]。文献[4]、文献[5]通过不同高精度的重力场模型指出基于卫星重力的大地水准面模型是研究海洋环流的新途径;文献[6]基于卫星重力资料与卫星跟踪漂流浮标观测结果比对研究了大洋环流,其结果与海洋观测结果接近。为了解我国近海环流特征,本文采用近 15 年的卫星测高数据所确定的平均海面高模型和 GRACE 数据,以及最新的 Argo 漂流速度数据所确定的海面动力模型,结合高斯滤波算法研究了中国近海的上层地转流,分

析其变化特征,并讨论海面动力模型误差对地转流的影响。

二、海洋地转流速计算模型

在海洋中,任意海水水质元均要受到重力、压强梯度力、摩擦力和科里奥利(Coriolis)力的作用。在水平面内,当海水水质元所受的风应力和其他的摩擦力小到可以忽略不计时,海水水质元所受到的压强梯度力和 Coriolis 力达到平衡时的海水定常流动,称为地转流。在垂直方向,海水近似处于流体静力平衡状态。

为了研究问题的方便,定义符合右手法则的 xyz 正交坐标系。其中, z 轴沿铅垂线的方向背离地心为正; x 轴指向东为正; y 轴指向北为正。则可建立地转流平衡方程为

$$fv = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (1)$$

$$fu = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \quad (2)$$

$$-g\rho = \frac{\partial p}{\partial z} \quad (3)$$

式中, $f = 2\Omega \sin \theta$ 称为 Coriolis 力参数(其中, Ω 为地球自转角速度; θ 为纬度); p 为压力; ρ 为密度,是压力 p 、温度 T 、盐度 S 的函数; v 与 u 是 x 、 y 方向上的海流速度分量; g 为重力加速度。

在水平压强梯度力的作用下,海水在受力的方向上产生运动,是海水定常流动的主要原因。设动

收稿日期:2011-06-01

基金项目:国家高技术发展计划(2009AA121405);国家自然科学基金(40974016;41004004);中国测绘科学研究院基本业务费项目

作者简介:柯宝贵(1982—),男,湖北黄冈人,博士,主要研究方向为大地测量与地球动力学。

力高度为 ζ ,海面倾斜在 x 和 y 方向的分量分别为 ξ 和 η ,则有

$$\xi = \frac{\partial \zeta}{\partial x} \quad (4)$$

$$\eta = \frac{\partial \zeta}{\partial y} \quad (5)$$

由式(1)~式(5)可得到

$$f\bar{v} = g\xi \quad (6)$$

$$f\bar{u} = -g\eta \quad (7)$$

由式(6)、式(7)可知,在研究地转流时需要先得到海面的动力高度。在海洋学中,海面动力高度是重力势差的一种表示,它与大地测量学中的海面地形关系可近似认为是线性的,即 $\zeta = gh$,其中 h 为海面地形。而海面地形可以分为两部分,即稳态海面地形和海面异常(或海平面距平)。稳态海面地形为一参考时间段内平均海平面相对于大地水准面的偏差;海面异常(或海平面距平)为瞬时海平面相对平均海平面的距离。

三、数据模型

1. 中国近海平均海面高

自20世纪70年代以来,卫星测高技术取得了长足的发展,众多的卫星测高项目积累了大量的海面观测科学数据集,形成了一系列海面高变化的监测资料。本文采用的平均海面高模型(Mss_CLS_10)由法国空间中心提供,参考基准为T/P椭圆。所用的数据主要包括10年的T/P数据、3年的T/P tandem数据、8年的ERS-1/2数据、7年的GFO数据、7年的Jason-1数据以及7年的Envisat数据。海面高模型分辨率为2'。经过测高数据前期处理,平均海面高模型所使用的数据同性均一。另外,该模型所用数据受海面地形变化信号的影响较小。图1为中国近海多年平均的海面高。中国近海平均海面高误差估计如图2所示。由图2可以看出,中国近海海域海平面高误差分布均一,误差分布情况如表1所示,而在菲律宾群岛及日本南部附近海域因为岛屿分布错综复杂,平均海面高误差较大,均高达20 cm以上。

表1 中国近海平均海面高误差统计 cm

最小值	最大值	平均值	中误差
-4.3	3.9	1.1	±2.9

2. 中国近海海面动力地形

中国近海海面动力地形由海面高模型(Mss_CLS_10)与大地水准面模型(EIGEN_GRACE_5C)得到。使用上述两种模型得到中国近海海面动力

地形的优点在于使用了4.5年的GRACE数据以及最新的Argo漂流速度数据(1993—2008年)和1993—2007年间的动力高数据,同时使用改进的Ekman模式提取Argo浮标速度的地转流分量,扣除了海面高异常影响^[7]。基于改进的动力高处理方法,综合利用了不同参考深度剖面的温盐数据。图3反映了我国海域海面动力地形以及菲律宾群岛以东及日本南部海域海面地形的分布特征。我国南海海域海面地形高度在1 m左右,东海、黄海及渤海海域海面地形在1 m以内;菲律宾群岛以东及日本南部海域海面地形则在1.2 m以上。图4中,由误差分布状态可以看出,在远离大陆的海域海面动力地形在3 cm左右,而在菲律宾群岛以东及日本南部误差高达20 cm以上。

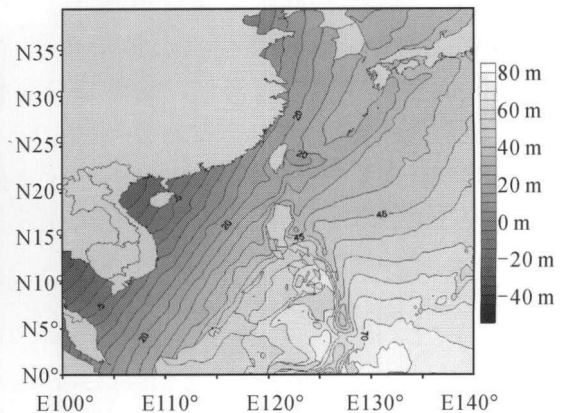


图1 中国近海多年平均海面高

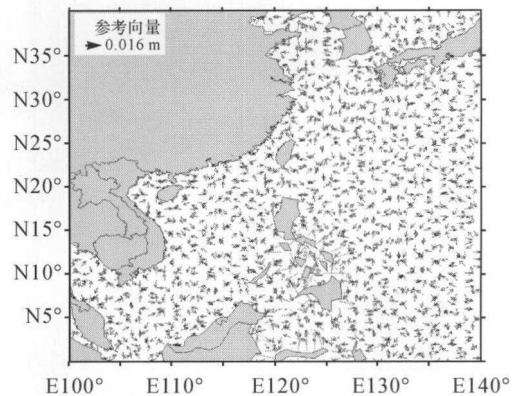


图2 中国近海多年平均海面高误差分布

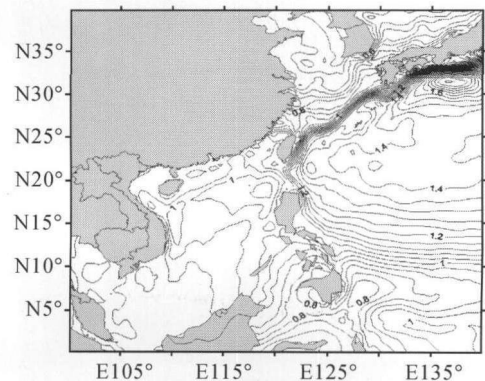


图3 中国近海海面动力地形

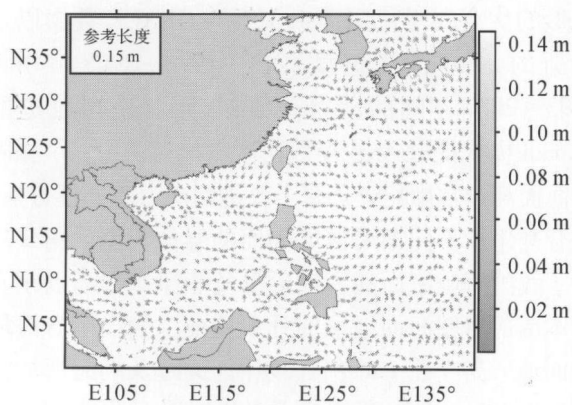


图4 中国近海海面动力地形误差分布

四、中国近海区域地转流分析

基于平均海面高以及海面动力地形数据,由式(6)、式(7)得到我国近海海域的地转流分布特征。中国近海地转流沿 x 方向分量流速范围在 $0.1 \sim 1.6 \text{ m/s}$ 之间,其误差在 $\pm 0.97 \text{ m/s}$ 以内;沿 y 方向分量流速范围在 $0.1 \sim 1.70 \text{ m/s}$ 之间,最大误差值为 $\pm 0.66 \text{ m/s}$ 。地转流速分布特征如图5所示。

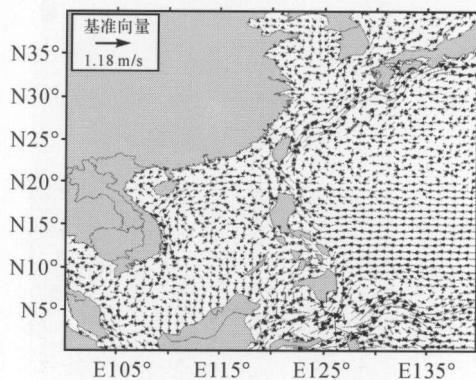


图5 中国近海地转流示意图

从图5可以看出, $N10^\circ \sim N17^\circ$ 之间北赤道海流在菲律宾海域北转形成黑潮的源头。黑潮在向北的运动过程中,在吕宋海峡形成两条支流,其中一支流进入我国南海海域,并在以 $(N15^\circ, E115^\circ)$ 为中心的海域产生一个巨大涡流,形成一个大的反气旋式环流圈;另一支流在台湾东南部继续北上,会同长江入海口处注入东海的淡水,形成沿陆架方向的

东北向流。同时,因为北赤道流的影响,还可以看到在以 $(N20^\circ, E127^\circ)$ 为中心的海域也形成了一个巨大涡流。直至对马海峡附近,该海流从济州岛的南面部分进入朝鲜海峡,另一部分继续沿日本海域北上。由该海面地形模型还可明显地看到西太平洋的赤道逆流。

五、结束语

本文利用近15年的卫星测高资料,结合卫星重力及海洋观测的温盐场等多种数据资料,研究了我国近海地转流场。地转流是研究海洋表层流的重要分量,通过定性分析揭示了我国近海海洋环流的分布特征。对于地转流的精细结构分析,还有待提高测高卫星的数据处理精度和获取高精度的地球重力场模型,从而为探索洋流的形成机制和变化规律、开发利用海洋资源、环境监测、减灾防灾、船舶导航等应用提供理论支撑。

参考文献:

- [1] 彭富清,张瑞华,石磐,等. 基于卫星测高的海域大地水准面[J]. 地球物理学报,2003, 46(4):462-466.
- [2] 章传银,高永泉,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的可行性分析[J]. 测绘科学,2000,25(4):34-36.
- [3] 郭金运,常晓涛,黄金维,等. 基于卫星测高交叉点的海洋表面地转流速度[J]. 地球物理学报,2010, 53(11):2582-2589.
- [4] 张子占,陆洋,许厚泽. 利用卫星测量技术和小波滤波方法探测表层地转流[J]. 中国科学:地球科学,2007, 37(6):753-760.
- [5] 鲍李峰,陆洋,王勇,等. 利用多年卫星测高资料研究南海上层环流季节特征[J]. 地球物理学报,2005, 48(3):543-550.
- [6] 周旭华,王虎彪,詹金刚. 联合卫星重力和卫星测高数据研究中国近海上层地转流[J]. 大地测量与地球动力学,2008,28(4):83-88.
- [7] RIO M H, HERNANDEZ F. A Mean Dynamic Topography Computed over the World Ocean from Altimetry, in Situ Measurements, and a Geoid Model [J]. Journal of Geophysical Research, 2004,109(12):1-19.