

# 海洋数值模型常用地形数据概述

侯京明, 高义, 李涛

(国家海洋环境预报中心, 北京 100081)

**摘 要:**在海洋领域的研究工作中,经常使用数值模型进行计算,而数值模型的运行离不开地形水深数据。目前,地形水深数据的获取主要有两种途径,一是通过实地测量得到,这往往需要大量的资金投入;第二种途径是下载国内外各家研究机构公开的数据资料,但大多数海洋界研究者可能对各种类地形数据没有全面认识,不清楚数据的优缺点和处理方法。为方便各海洋研究者对地形水深数据的应用,文中简要介绍了几种常用的公开地形水深数据,对比分析了各种数据的优缺点,并介绍了两种数据应用前的处理方法,以为海洋数值模式计算提供参考依据。

**关键词:**地形;水深;概述;处理方法

**中图分类号:**P714 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-0239(2012)06-0044-06

## 1 引言

随着全球气候的变暖,海洋灾害日渐频繁,世界各国加快了认识海洋的步伐,各种海洋现象的数值模拟成为了海洋研究的热点,目前常用的数值模型主要包括海流模型FVCOM、海浪模型SWAN和WAVEWATCH、风暴潮模型ADCIRC以及海啸模型COMCOT等等。地形数据在各类数值模拟过程中具有重要的作用,尤其对我们最为关注的近岸区域的数值模拟精度影响显著。大尺度的地形数据,尤其是水下地形数据的获取很难通过实测来实现,但是目前的遥感技术以及数据共享机制给科学数据的获取带来了便利。本研究通过数据共享的方式收集整理了各家机构公开的地形数据,并对比分析了各种数据的优缺点,以为海洋过程数值模拟研究提供科学参考。

## 2 常用地形数据基本情况

目前较为常用的地形数据主要包括ASTER GDEM、SRTM DEM、GTOPO30 DEM、ACE2、

ETOPO、GEBCO等,各类数据具体情况如下。

### 2.1 ASTER GDEM

ASTER GDEM<sup>[1]</sup>数据是通过搭载在Terra卫星上的高分辨率地表图像传感器Aster仪器测得,Terra卫星是美国地球观测系统(EOS)的一个组成部分,卫星于1999年12月18日发射升空,它环绕在地球近极地轨道,高度700多千米,轨道和地球自转方向垂直。Aster由日本国际贸易和工业部(METI)和美国宇航局(NASA)合作开发,探测的区域能组成一幅完整的地球图像。2009年第一版的GDEM数据公布,最新第二版数据产品于2011年10月发布。数据空间参考采用EGM96和WGS84投影坐标系,空间分辨率为1弧度秒(约30 m),数据格式为GeoTIFF,该数据只有陆地区域高程数据,海域部分高程以0值作为掩膜,其高程数据精度在95%的区域为 $\pm 20$  m<sup>[2]</sup>。图1为我国长江口区域的GDEM数据。

### 2.2 SRTM DEM

SRTM<sup>[3]</sup>(Shuttle Radar Topography Mission)是美国航天飞机在2000年完成的一项地面高程测绘

收稿日期:2012-05-16

基金项目:海啸预警浮标研发与应用示范(201205034-02)

作者简介:侯京明(1982-),男,工程师,主要从事海啸和风暴潮预警报技术研究。E-mail:houjingming1982@126.com

工作,是由美国太空总署和国防部国家测绘局联合进行。最初 SRTM 数据产品存在一些无值区域,后经国际农业研究磋商组织采用插值算法补充后,数据几乎覆盖了全球所有陆地 80 % 的面积,新的 SRTM3 数据产品已经公开发布。数据分辨率达到 3 弧度秒(约 90 m)。在平原地区,该数据准确率较高,而在高山或者湖区等地势变化幅度较大的区域,误差较大,空值较多,高程误差

约  $\pm 16\text{ m}^{[4]}$ 。数据的坐标也是 WGS84 地理坐标。图 2 展示的是我国珠江口区域的 SRTM 数据,同样只有陆地区域高程数据。

2.3 GTOPO30 DEM

GTOPO30<sup>[5,6]</sup> (Global 30 Arc-Second Elevation Data Set)是水平分辨率为 30 s(约 1000 m)的 DEM 数据,是多种数据综合的结果,主要来源于 DT-

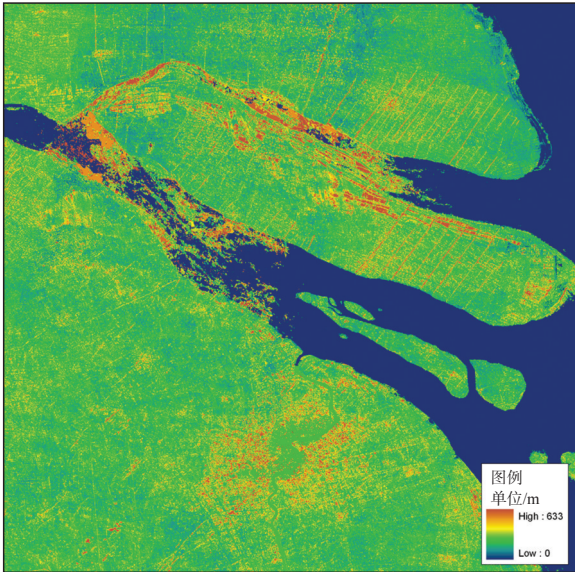


图 1 长江口地区 ASTER DEM

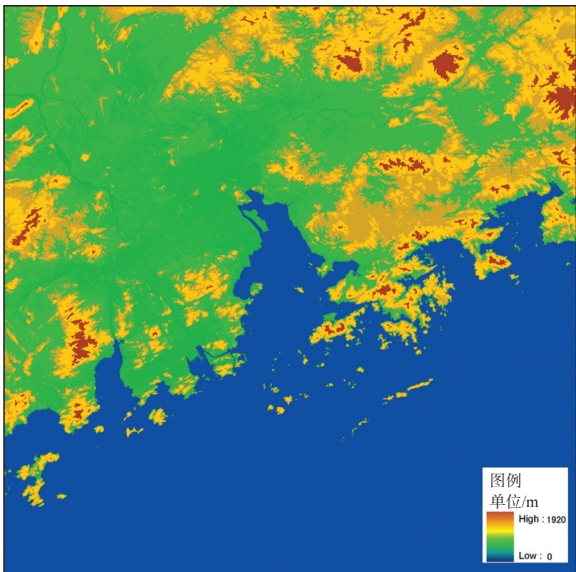


图 2 珠江口地区 SRTM DEM

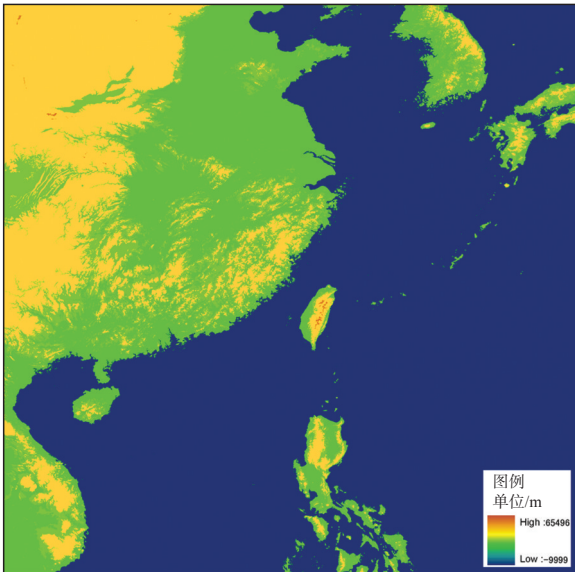


图 3 中国东南地区 GTOPO30 数据

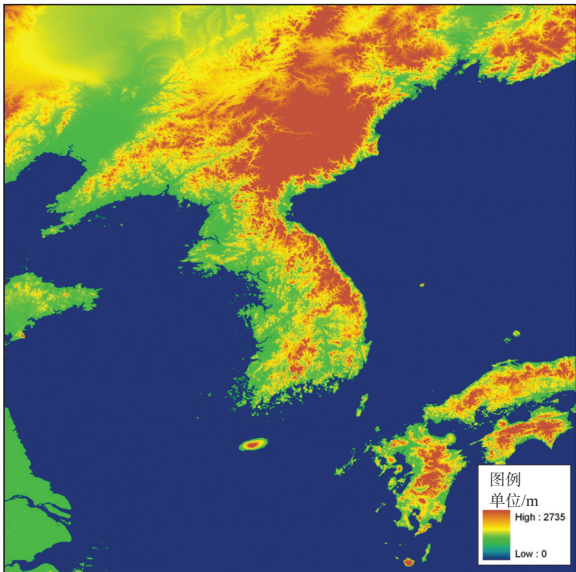


图 4 东北亚地区 ACE2 数据



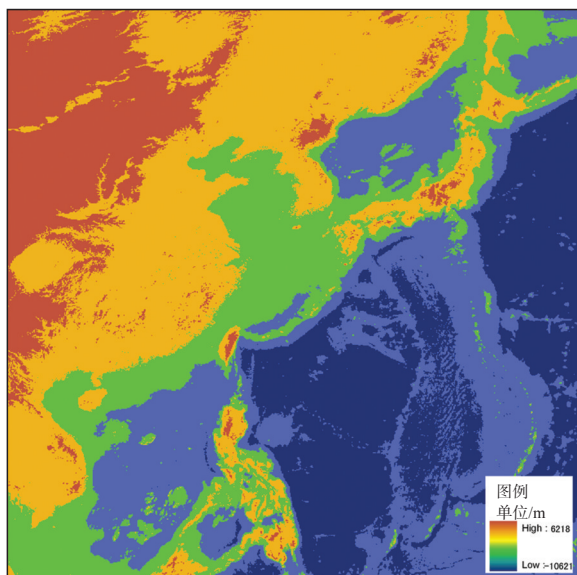


图5 西北太地区 ETOPO 数据

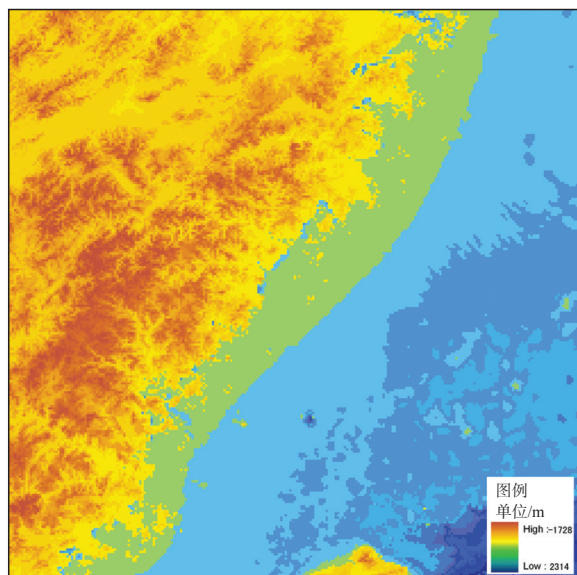


图6 福建省北部沿海 GEBCO 数据

ED、DCW 和 USGS DEM 等数据。数据覆盖了全球所有陆地区域,采用 WGS84 的经纬度坐标,垂直参考面为平均海平面。高程值介于-407—8752 m 之间,海洋部分数据值为-9999。该数据于 1996 年发布,由美国地质调查局(USGS)联合多家单位耗时 3 年合作完成,合作单位包括 NASA、UNEP/GRID 和 USAID 等,主要目标是为用户提供准确的地形高程数据。为方便数据分发,GTPO30 被分为 33 个部分,每一部分数据(南极地区除外)跨 50° 纬度和 40° 经度,用最西边和最北边(左上角)的边界经纬度来给数据命名,例如, E020N40 文件的数据范围界于 20°—60°E 和 10°S—40°N 之间。由于 GTPO30 数据来源于多种数据,因此各部分的准确度不一定相同,亚洲地区陆地的误差在正负 30 m 左右。图 3 显示的是我国东南地区的陆地高程数据。

## 2.4 ACE2

ACE2<sup>[7]</sup>数据是由英国德蒙福特大学 EAPRS 实验室融合了 SRTM 数据和卫星高度数据后得到的,卫星高度数据主要来自 ERS-1 数据。由于 ERS-1 卫星的轨道间距小,因此它所覆盖的陆地面积较大,数据密度大,准确率高。据验证,经过融合后的 ACE2 数据在准确率和数据质量上要比 SRTM 数据有所提高。目前,ACE2 数据提供多种

分辨率的数据下载,包括 5 min、30 s、9 s 和 3 s。ACE2 数据也被分成多个区域以方便下载,每一部分跨 15 个经度和 15 个纬度。数据可以用 ENVI 软件或 GIS 软件进行处理,处理时候需要附带头文件信息,头文件可以和数据一起下载。图 4 显示的是东北亚区域的陆地高程数据。

## 2.5 ETOPO

ETOPO<sup>[8]</sup>数据是美国国家海洋和大气局下属的国家地理数据中心发布的地形高程数据,包含海洋水深数据。数据也是融合多种数据得来。目前,该数据可以下载的有 ETOPO1 和 ETOPO2,分辨率分别是 1 分、2 分、4 分和 10 分。ETOPO1 数据几乎覆盖了全球所有的陆地和海洋,它综合了多种数据集,并且加入了冰面和基岩数据,数据来源主要包括 SRTM 数据、U.S. Coastal 数据、GLOBE 数据、Antarctica RAMP 数据和 JODC 数据等。在不同地区,融合数据的种类也不相同,在我国位于的西北太平洋地区,主要是融合了 SRTM 数据和 JODC 数据。水平参考面为 WGS84 坐标,垂直参考面为平均海平面。有多种数据格式,包括 netCDF、g98、binary float、tiff 和 xyz。图 5 展示的是西北太平洋区域的 ETOPO2 数据,分辨率为 2 分,包含地形高程和水深数据。水深数据为负值,高程数据为正值。

表1 陆地高程数据

项目	数据类型			
	ASTER	SRTM3	GTOPO30	ACE2
数据来源	ASTER 传感器	航天飞机雷达	多源数据融合	SRTM 数据和卫星数据
发布单位	METI/NASA	NASA/USGS	USGS	英国德蒙、福特大学
发布时间	2009 年	2003 年	1996 年	2008 年
数据获得时间	2000 年至今	2000 年(11 天)	无	无
覆盖范围	83°S—83°N	56°S—60°N	全球	全球
准确率	正负 20 m	正负 16 m	分区域	分区域
最高分辨率	1 s(约 30 m)	3 s(约 90 m)	30 s(约 900 m)	3 s(约 90 m)
数据缺失范围	云层遮盖区域	地形陡峭地区	无	无

2.6 GEBCO

GEBCO<sup>[9]</sup>(The general Bathymetric Chart of the Oceans)是由政府间海洋学委员会和国际海道测量组织联合资助的国际组织,该组织主要目标是向公众提供最具权威全球海洋水深数据。数据的水深部分主要是通过整合测深船舶数据和卫星高度数据得到,陆地部分主要采用 SRTM 数据。在某些浅水区域,可能会由于垂直参考面等问题而引起数据的误差增大。目前,该组织提供两种数据供下载,分别是分辨率为 0.5 分的 GEBCO\_08 Grid 数据和分辨率为 1 分的 GEBCO One Minute Grid 数据,数据均为 netCDF 格式。图 6 展示的是位于我国福建省北部沿海的 GEBCO 数据,分辨率为 0.5 分,包含地形高程和水深两部分数据,与 ETOPO 数据不同,GEBCO 水深数据为正值,高程数据为负值。

3 常用地形数据的对比分析

通过以上对数据的简单介绍,我们对各种数据有了初步的认识。目前常用的陆地高程数据包括 ASTER GDEM、SRTM DEM、GTOPO30 DEM 以及 ACE2 数据等。常用水深数据有 ETOPO 数据和 GEBCO 数据等。为了有助于各类数据的合理使用,把所有地形数据分为“陆上”和“水下”两部分进行对比分析。

表 1 是陆地高程数据的对比表,从表中可以看出,ASTER 数据的分辨率最高,为 1s(约 30 m),而且数据一直有更新。SRTM3 数据因为是由航天飞机测量,数据准确率略高,但其数据来源仅是航天飞机在 2000 年的一次测量,没有新数据加入补充。而 ACE2 数据综合了 SRTM 数据和卫星数

据,准确率更高,但该数据不同区域的分辨率不一样,融合数据来源多的区域,分辨率高,西北太平洋地区由于数据来源少,因此分辨率较低。

表2 水深数据

	ETOPO	GEBCO
数据来源	融合多种数据	融合多种数据
发布单位	DGDC	GEBCO
最新发布时间	2009 年	2008 年
最高分辨率	1 min (约 1800 m)	0.5 min (约 900 m)
覆盖范围	全球	全球

水深数据对比见表 2,GEBCO 数据和 ETOPO 数据都是融合了多种数据后得到的,但最新的 ETOPO 数据最新发布时间晚于 GEBCO 数据,并加入了新的数据来源。而 GEBCO 数据的分辨率要高于 ETOPO 数据。在使用数据时,如果数值计算对分辨率的要求不高,可以使用低分辨率水深数据,以节省计算时间,提高效率。

4 数据处理方法简述

由于受到测量手段的限制,上述数据的准确率均不高,精度最高的也存在正负 16 m 的误差。这样的误差对于几千米的深海和高山来说,无关紧要,但对于只有几十米的水深和地形数据就不能接受了。另外,大多数的数据存在异常值,在水陆边界处数值偏差增大,水陆界线模糊不清。因此,部分数据在使用时,除了投影坐标转换、格式转换之外,还需要进行校准以及异常值消除等处理。目前,地形水深数据通常使用地理信息系统(GIS)软件进行处理。常用的处理软件有商业软件,比如 Arcgis、Mapgis、Supermap 和 Geoway 等,也有开源软件,如 GRASS、GMT 和 QGIS 等。

#### 4.1 地形数据校准

对于需要校准的数据,可以用已有的比较可靠的数据进行局部替换或订正。例如,可以用“908近海调查”的水深数据来校准我国沿海的水深数据。对于由数据替换等处理引起的数据不规则的问题,可以采用插值的方法解决,地理信息系统常用的插值方式有IDW、Kriging等。若没有可靠数据辅助校正,可以进行控制点测量的方式,即现场测量若干具有典型意义的控制点,用控制点来校准数据。

#### 4.2 异常值处理

地形数据异常值包括水陆边界异常值、异常大值、空值等等。如果数值计算的区域包含了海岸甚至陆地,比如在进行风暴潮、海啸的数值计算时,亦或是在计算淹没范围时,水陆的边界变得非常重要。不清晰的水陆边界将直接导致数值计算的失败,因此必须对水陆边界异常值进行处理。而用卫星影像数据能较好的解决这个问题,比如Landsat卫星第5波段数据区分水面和陆地的能力强,可以用此数据来详细刻画水陆边界。具体操作是用遥感图像处理软件提取第5波段的水面信息并转换为矢量面文件,用矢量面文件来刻画数据的水陆边界。对于空值,一般需要借助其他数据进行补充。异常大值可以利用地理信息系统中的滤波、插值等方法进行去除,也可以利用其他可靠数据进行替换。

### 5 小结

本文简要阐述了几种国际上公开的数值模型经常采用的地形数据,部分数据还未在国内广泛应用。通过对以上数据的分析对比发现,目前的水深数据分辨率最高的是GEBCO数据,为0.5 min(约900 m),陆地高程数据分辨率最高的是AS-

TER GDEM,为1s(约30 m)。各种数据在分辨率和准确率各有特点,适合于不同的数值计算。从准确率和分辨率上看,上述水深数据比较适合于大尺度的数值计算。对于小尺度、分辨率要求高的数值计算以使用现场测量的可靠数据为佳,若受条件限制没有充足的数据,可以使用上述水深数据的插值结果进行尝试性研究;而陆地高程数据分辨率较高,配合高分辨率的水深数据后,可以用于精细化的数值计算,但也要考虑数据准确率的问题。由于受到测量手段的限制,数据在使用之前,需要进行数据校准、异常值处理等操作。使用时,还一定要注意各数据的特点,以免在数值计算时引入不必要的误差。随着科学技术的进步,相信以后会有更多更高精度的数据向社会公开。希望本文能对海洋研究者提供帮助。

#### 参考文献:

- [1] 朱黎江,秦其明,陈思锦. ASTER 遥感数据解读与应用[J]. 国土资源遥感, 2003, 2: 59-63
- [2] METI/ERSDAC, NASA/LPDAAC, USGS/EROS. ASTER Global DEM validation summary report[R]. 2009.
- [3] 徐良,彭光雄,沈蔚. 基于ArcGIS的SRTM缺失数据修复处理方法[J]. 城市勘测, 2011, 1: 5-10
- [4] Reuter H, Nelson A, Jarvis A, 2007. An evaluation of void-filling interpolation methods for SRTM data[J]. International Journal of Geographical Information Science, 21(9): 983-1008.
- [5] 马龙,李颖. 从GTOPO30到SRTM DEM精度研究—以西藏为例[J]. 水土保持通报, 2006, 26(5): 71-74
- [6] 陈俊勇. 对SRTM3和GTOPO30地形数据质量的评估[J]. 武汉大学学报信息科学版, 2005, 30(11): 941-944
- [7] 英国德蒙福特大学EAPRS [http://tethys.eaprs.cse.dmu.ac.uk/ACE2/shared/reading\\_ace2](http://tethys.eaprs.cse.dmu.ac.uk/ACE2/shared/reading_ace2)
- [8] 美国国家地球物理数据中心(NGDC) <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>
- [9] GEBCO组织 <http://www.gebco.net>

## Review of topography and bathymetry data used in ocean models

HOU Jing-Ming , GAO Yi, LI Tao

*(National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081 China)*

**Abstract:** Numerical model is often used in marine science research. The marine bathymetry data play a key role in ocean models. At present, there are two ways to obtain topography and bathymetry data. One is by field investigation, which will take a large effort. The other is downloading available free data on the internet. However, some researchers may not understand the features and processing methods of topography and bathymetry data available on the internet. In this paper, several popular used topography and ocean bathymetry data are introduced. Advantages and drawbacks of these data are comparatively analyzed. Two data processing methods are introduced to their using in the ocean models.

**Key words:** topography; bathymetry; review; methods of data processing