

南极查尔斯王子山脉 1 : 50 000 基础地理信息获取方法

谭继强^{1,2,3} 詹庆明^{1,4} 李占荣² 韩凉²

1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,湖北 武汉,430079

2 黑龙江测绘地理信息局,黑龙江 哈尔滨,150081

3 武汉大学极地测绘科学国家测绘局重点实验室,湖北 武汉 430079

4 武汉大学城市设计学院,湖北 武汉 430072

摘要: 南极查尔斯王子山脉实地科学考察的顺利开展需要该区域 1 : 50 000 基础地理信息数据作为支撑。国产高分辨率资源三号立体影像为基础地理信息数据的获取提供了必要的遥感数据支持。充分利用资源三号立体数据,在冰、云和陆地高程卫星(the ice, cloud, and land elevation satellite, ICESat)上的地学激光测高系统(Geoscience Laser Altimeter System, GLAS)等多源遥感信息的辅助下,制作了南极查尔斯王子山脉 1 : 50 000 基础地理信息成果,并对其进行了精度分析。分析结果表明,数字高程模型(DEM)的高程精度优于 5.31 m,数字正射影像图(DOM)成果与南极洲陆地卫星影像镶嵌图比较的较差中误差为 16.30 m。因此,在南极地区利用资源三号立体数据集成各种遥感数据制作 1 : 50 000 基础地理信息成果是高效实用的。

关键词: 资源三号;查尔斯王子山脉;ICESat GLAS;DEM;DLG;DOM

中图法分类号: P208; TP751 **文献标志码:** A

地球两极是地球的两大冰雪圈,其动态过程与全球气候、环境变化密切相关。我国于 1983 年加入了《南极条约》,并在《南极条约》及其为基础的南极条约体系下开展科学考察,为促进国际南极科学研究和保护南极环境做出了贡献。迄今为止,我国已在南极建立了长城站、中山站、昆仑站、泰山站共 4 个科学考察站。泰山站位于东南极内陆冰盖腹地,居中山站与昆仑站之间的伊丽莎白公主地,是南极内陆考察度夏站之一。其主要目标是为南极最高海拔科考站昆仑内陆站提供进一步能力支撑,还将成为南极格罗夫山和查尔斯王子山脉考察的重要支撑平台。

根据国家《中国极地考察事业“十一五”发展规划》安排,在 2015 年之前将对南极半岛、威德尔海、查尔斯王子山脉进行矿产资源调查和评估,为保证调查的顺利进行,需要这些区域的基础地理信息数据作为保障。1 : 50 000 基础地理信息数据在极地科学考察中一直发挥着重要的作用,主

要供各研究领域的研究人员勘察、规划、设计、科研使用,同时也可作为编制更小比例尺地形图或专题地图的基础资料。

通过遥感技术获得的基础地理信息数据和信息,是研究地球两极可视地貌,监测极地冰雪环境变化,研究极区物质平衡的最可行有效的技术手段。当前现存的南极查尔斯王子山脉的基础地理信息数据主要包括美国宇航局(NASA)和美国地质勘探局利用 LandSat 卫星影像和 MODIS 卫星影像绘制的高清晰度南极洲陆地卫星影像镶嵌图(LandSat image mosaic of Antarctica, LIMA),空间分辨率为 15 m,水平定位精度总体评价为 54 m^[1]。澳大利亚南极局制作的 1 : 1 000 000 全南极地形图,ERS-1 测高数据生成的 DEM^[2], RadarSat 南极制图计划提取的全南极 RAMP(RadarSAT Antarctic Mapping Project)DEM 和 NASA 与日本经济产业省(the ministry of economy, trade and industry, METI)共同推出的先进星载

收稿日期:2015-11-29

项目资助:测绘地理信息公益性行业科研专项(201412009);南北极环境综合考察与评估专项(CHINARE2014-02-04);极地测绘科学国家测绘局重点实验室开放课题(201205)。

第一作者:谭继强,博士生,主要从事地理信息科学与激光遥感研究。tjq@hljbsm.gov.cn

通讯作者:詹庆明,博士,教授。qmzhan@whu.edu.cn

热发射和反射辐射仪全球数字高程模型(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model, ASTER GDEM),其中 ERS-1 DEM 的空间分辨率为 5 km,高程精度总体评价为 0.81 m,在网格表面坡度小于 0.4° 时高程精度优于 1.5 m,网格表面坡度大于 0.65° 时高程精度不可靠^[2,3];RAMP DEM 的空间分辨率为 200 m,在崎岖山地高程精度为 100 m,在坡度较大和沿海区域高程精度为 15 m,冰架上的高程精度可以达到 1 m,冰盖内部坡度较小地区的高程精度为 7.5 m,坡度较陡地区的高程精度为 17.5 m, 81.5°S 以南区域的高程精度为 50 m^[4];ASTER GDEM 是迄今为止该地区最高空间分辨率的数字高程模型,其空间分辨率为 30 m,高程精度总体评价为 20 m^[5],但在本研究区的粗差点较多,高程精度较低。

为了满足近期我国对南极露岩区域查尔斯王子山脉的科学考察对 1:50 000 基础地理信息数据的需求,本文试图利用我国首颗民用高分辨率立体测图卫星资源三号立体影像,在 ICESat GLAS 等多源遥感信息的辅助下,获取该地区 1:50 000 基础地理信息数据,包括数字线划图(DLG)、数字正射影像图(DOM)和数字高程模型(DEM)。在利用资源三号立体影像提取基础地理信息数据的过程中,选择部分 ICESat GLAS 卫星测高数据作为控制成果,以提高 DEM 的精度。分析表明,在南极查尔斯王子山脉地区,以资源三号立体影像为基础数据源,综合利用各种遥感数据获取 1:50 000 基础地理信息是可行的、实用的,利用 ICESat GLAS 测高数据作为控制成果后,所获取的 DEM 精度得到提高。

1 资源三号和 ICESat GLAS 的基本特性

资源三号测绘卫星是中国首颗民用高分辨率光学立体测图卫星,主要搭载有 1 台地面分辨率为 2.1 m 的高分辨率正视全色延时积分成像(TDI CCD)相机,两台地面分辨率优于 3.6 m 的前后视全色 TDI CCD 相机和 1 台地面分辨率优于 6.0 m 的正视多光谱相机。其中 3 台全色相机按照前视 22° 、正视和后视 22° 设计安装,构成了三线阵立体测图相机;多光谱相机包含红、绿、蓝和红外 4 个波段,用于与正视全色影像融合和地

物判读与解译。为了保证卫星影像的辐射质量,4 台光学相机的影像都是按照 10 bit 进行辐射量化。唐新明等以资源三号卫星第一景图像为实验数据,通过基于有理函数模型区域网平差的方式对图像做了初步的几何精度验证,得出在实验区四角布设控制点的情况下,数字表面模型(DSM)高程精度优于 2 m,DOM 平面精度优于 3 m 的验证结果^[6,7]。李德仁以覆盖辽宁大连和河南洛阳的图像为实验数据进行验证,结果表明,资源三号卫星数据在经过处理后,无控制点的定位精度优于 15 m,带控制点的高程定位精度优于 3 m,平面定位精度优于 4 m^[8]。刘斌等以北京市房山区的图像为实验数据,在无控制点的情况下,研究得出资源三号卫星的平面定位精度为 28.121 m,高程定位精度为 2.496 m;应用少量控制点的条件下,平面定位精度优于 1.506 m,高程定位精度优于 2.895 m^[9]。

搭载在 ICESat 上的 GLAS 是第一颗卫星激光雷达测量仪器,可用于获取冰面和地面高程、冰盖拓扑、陆地拓扑、植被分布和云和气溶胶等大气参数值,从而测量冰被地形和相应的温度变化,同时也可监测云层和大气的特性。该卫星测高数据有 $\pm 13.8\text{ cm}$ 的垂直精度,其地理定位精度优于 20 cm,激光光束在地面形成直径约 70 m 的光斑^[10,11]。

ICESat GLAS 卫星测高数据的平面定位精度和高程定位精度都远优于资源三号卫星影像。

2 研究区域及数据收集

2.1 研究区域

查尔斯王子山脉位于中山站西偏南,离中山站最近处约 320 km,最远处约 740 km,包括阿托斯岭、波尔朵斯岭和阿拉密斯岭。这些山连同其他散布的山脉一起形成了长约 482 km 的弧,从北面的斯塔莱特山附近一直延伸至南部的古德斯皮德冰原岛峰群,呈东北-西南走向。向印度洋一面,已发现大量的铁矿矿脉,露天铁矿石绵延 120 km,厚 100 m,含铁量为 30%~38%。受海拔高、空气稀薄,冰雪表面对太阳辐射的反射等因素影响,全测区气候条件极差,每年 12 月到次年 2 月为南极夏季,气温在 $-15\sim-40^\circ\text{C}$,每天多为 7~8 级大风,最大风力达 12 级以上。测区部分为丘陵地,其余为冰雪地。具体如图 1 所示。

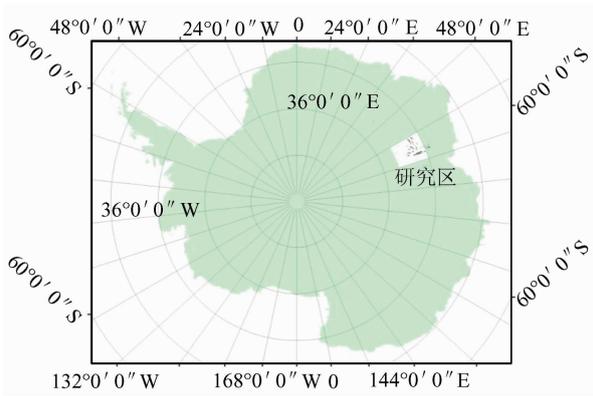


图1 研究区范围示意图

Fig. 1 Research Area

2.2 研究区域数据收集与分析

本文收集了研究区范围内可获取的资源三号立体影像和 ICESat GLAS 激光测高数据全部历史数据,同时还收集了本区域 LIMA、ASTER GDEM 2 和 RAMP DEM 等相关数据。

2.2.1 资源三号

在本研究中,使用的资源三号立体影像的获取时间为 2013 年 1 月 10 日~1 月 30 日。太阳方位角等有关资源三号立体影像更详细的信息参见表 1。

2.2.2 ICESat GLAS 数据

ICESatGLAS的业务化产品可以从美国国

表 1 资源三号影像信息(部分)

Tab. 1 Information of ZY-3 Imageries (Part)

影像景号	获取时间	太阳方位角/(°)	影像中心/(°)		影像信息		
			纬度	经度	最小值	最大值	标准差
ZY3_01a_hsnbavp_040412	20130124	30.193	-73.235	61.769	0.00	1 229.00	117.322
ZY3_01a_hsnfavm_040412	20130124	30.154	-73.256	61.719	251.00	1 423.00	195.985
ZY3_01a_hsnfavp_040412	20130124	30.124	-73.232	61.723	0.00	1 227.00	87.149
ZY3_01a_hsnnavp_040412	20130124	30.162	-73.226	61.774	0.00	2 374.00	282.868

家冰雪数据中心免费获取。本文的研究采用 GLA12 数据,获取的数据产品为二进制格式,参照文献[12]描述的数据处理方法,采用 NSIDC GLAS 测高信息提取工具(NSIDC GLAS Altimetry elevation extractor Tool, NGAT)将格式转换为文本格式,经过提取后可得各高程点的经度、纬度、高程和大地水准面差距等信息。然后利用 IDL 参考椭球转换工具将高程值由 TOPEX/Poseidon 参考系转化为 WGS84 参考系。ICESat GLAS 激光测高数据用于验证在无控制点的情况下资源三号卫星的高程定位精度,以及作为控制成果优化 DEM 产品的高程精度。ICESat 在研究区域的地面轨迹如图 2 所示。

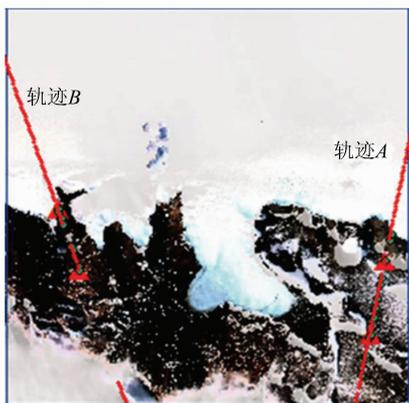
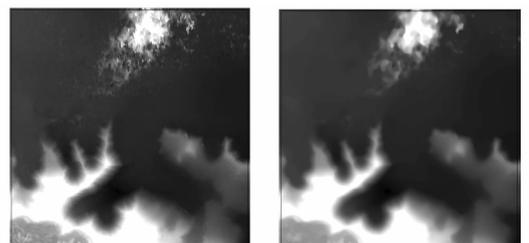


图2 ICESat 在研究区域的地面轨迹图

Fig. 2 ICESat Tracks Overpass Research Area

2.2.3 ASTER GDEM

ASTER GDEM 是采用全自动化的方法对 ASTER 存档数据进行处理生成的,可以从日本地球遥感数据分析中心(ERSDAC)或 NASA 的美国陆地过程分布式活动档案中心(LP DAAC)免费下载这些数据。根据 ASTER GDEM 的产品介绍,该产品总体上的垂直精度达 20 m,水平精度达 30 m。而事实上,有些区域数据的数据精度已经远优于这个数值,但在南极地区由于受云遮挡等因素影响,数据中异常较多。利用文献[13]中描述的方法,以坡度信息为依据剔除 ASTER GDEM 中的粗差。而后,以 ICESat GLAS 激光测高数据和 RAMP DEM 作为参考数据,对研究区域内 ASTER GDEM 进行修正,修正后的 ASTER GDEM 可用于辅助生产 DEM 数据。修正前后的 ASTER GDEM 数据如图 3 所示。



(a) 修正前

(b) 修正后

图3 研究区域 ASTER GDEM 数据

Fig. 3 ASTER GDEM Data in Research Area

3 1 : 50 000 基础地理信息获取方法与结果分析

3.1 总体设计

3.1.1 地图分幅与编号

研究区基础地理信息产品的分幅和编号采用国际地图分幅和编号标准,由于研究区位于 60°S~76°S 之间,其所在 1 : 1 000 000 地形图范围经差为 12°,纬差为 4°,编号为 SS41-42。将研究区所在 1 : 1 000 000 地形图划分为 24 行 24 列,共 576 幅 1 : 50 000 地形图,每幅 1 : 50 000 地形图的范围为经差 30'、纬差 10'。在实际生产作业中,由于高纬度地区的图幅面积较小,可合幅编辑并进行管理。

3.1.2 投影和坐标系

南极地区常用的地图投影方式包括极方位立体投影、横轴墨卡托投影、兰伯特正形圆锥投影

等,而我国的 1 : 50 000 基本比例尺地形图所采用的投影为高斯-克吕格投影。为了实现与国际极地地理信息数据资源的共享并满足我国科学考察人员的科考作业和研究需求,本文分别采用兰伯特正形圆锥投影和高斯-克吕格投影制作南极测绘地理信息产品。

3.2 数据处理与分析

3.2.1 数据处理流程

使用 VirtuoZo SAT 软件对资源三号卫星立体数据进行处理,在 ICESat GLAS 激光测高数据的辅助下,恢复测区范围内的立体模型,从而获取 1 : 50 000 DEM、DLG 和 DOM 等基础地理信息产品。由于部分区域被冰雪覆盖,利用资源三号卫星影像无法恢复立体模型,因此利用修正后的 ASTER GDEM 补充该区域的 DEM 数据。具体处理流程如图 4 所示。

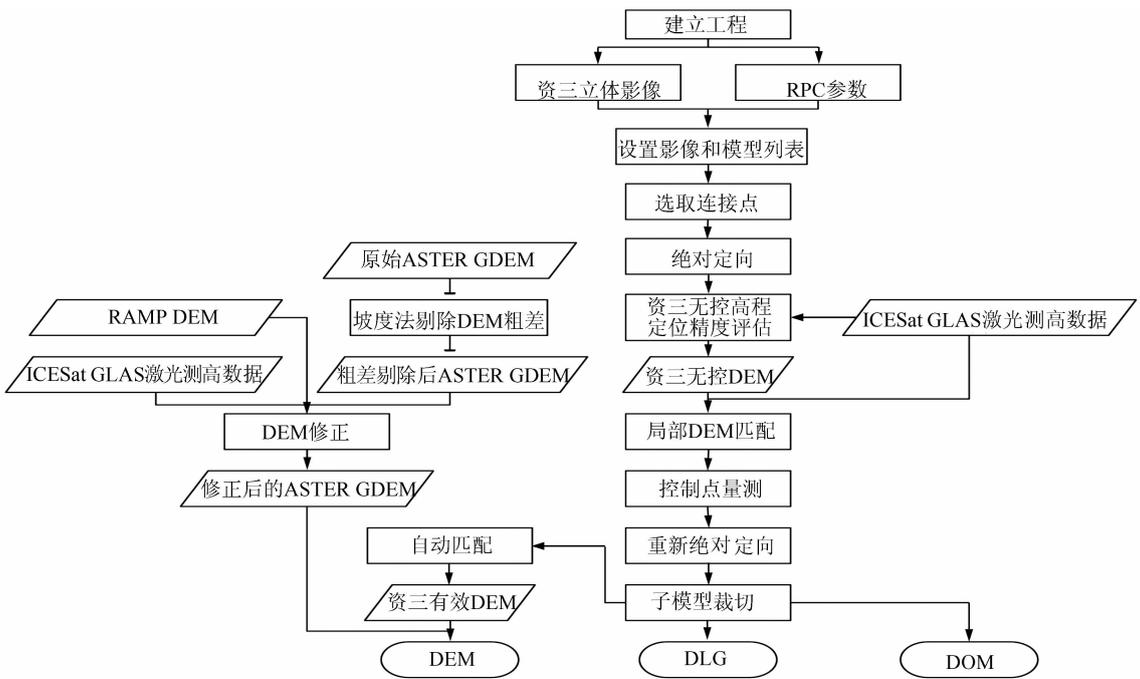


图 4 数据处理流程总体工作流程

Fig. 4 Overall Working Flowchart for Data Processing

3.2.2 资三无控高程定位精度评估

结合 2009 年获取的 ICESat GLAS 激光测高数据,对无控制点情况下的资源三号卫星立体数据的高程定位精度进行了评估。在假定两数据集的地理精度一致的条件下,图 5(a)、5(b)给出了资源三号立体影像 ZY-3 DEM 的精度统计图,其中横轴代表采样点序号,左纵轴代表 ICESat GLAS 卫星测高数据和 ZY-3 高程在采样线上的高程,右纵轴代表 ICESat GLAS 卫星测高数据和

ZY-3 高程之间的高差。由于 ICESat GLAS 卫星测高数据的精度远高于 ZY-3 DEM 数据,可假定 ICESat GLAS 卫星测高数据为真值,高差统计结果就是 ZY-3 高程的误差。经统计,在无控制点的情况下,基于资源三号卫星立体影像提取的 ZY-3 的高程定位精度中误差为 11.98 m。

3.2.3 基础地理信息数据成果及精度分析

基于上述对资源三号立体数据在无控制点的条件下高程定位的精度分析,本研究分别选取 4

个地形变化较为明显的子区域,区域大小为 500 m×500 m。利用文献[14]中提出的最小高差算法(Least Z-Difference, LZD),将各子区域内的 ZY-3 DEM 匹配至由历年 ICESat GLAS 卫星测高数据组成的数据集上,作为控制成果,用以提高获取基础地理信息数据成果的准确性。同样选择轨迹 A 和轨迹 B 上的 ICESat GLAS 卫星测高数

据用以评价最终成果的高程精度。图 6 比较了所获取的成果 DEM 与 ZY-3 无控 DEM 在轨迹 A、B 上的高程精度。可以看出,成果 DEM 的高程精度明显优于 ZY-3 无控 DEM 的高程精度。经统计,以 ICESat GLAS 卫星测高数据作为控制成果后,高程成果的定位中误差提升至 5.31 m。

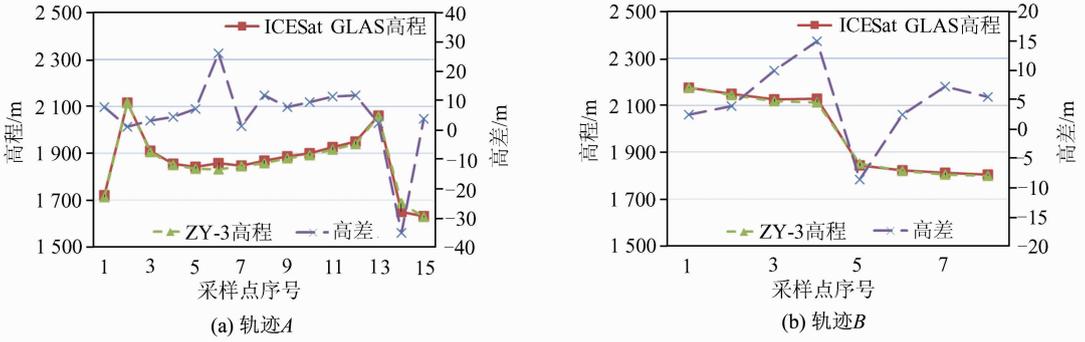


图 5 轨迹 A、B 上 ICESat GLAS 卫星测高数据与无控 ZY-3 高程比较

Fig. 5 Comparison Between ICESat GLAS Satellite Altimetry Data and ZY-3 Elevation Without Control Points on Tracking A and Tracking B

同时将本幅 DOM 与 LIMA 数据进行比较,选择 47 处同名点进行精度分析,经统计,平面位置较差最小值为 0.14 m,最大值为 33.54 m,中误差为 16.30 m。

图 7(a)、7(b)、7(c)分别是所制作的研究区内 1 : 50 000 DEM、DLG 和 DOM 等基础地理信息产品的实例。

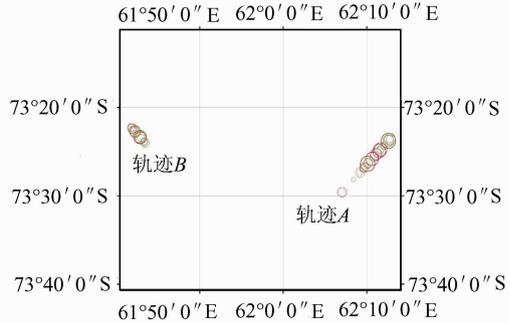
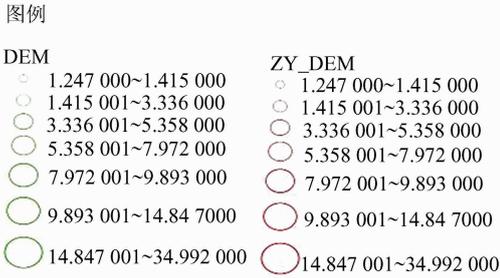


图 6 成果 DEM 与 ZY-3 无控 DEM 的精度比较

Fig. 6 Comparison Between Accuracy of DEM Products and ZY-3 Elevation Without Control Points

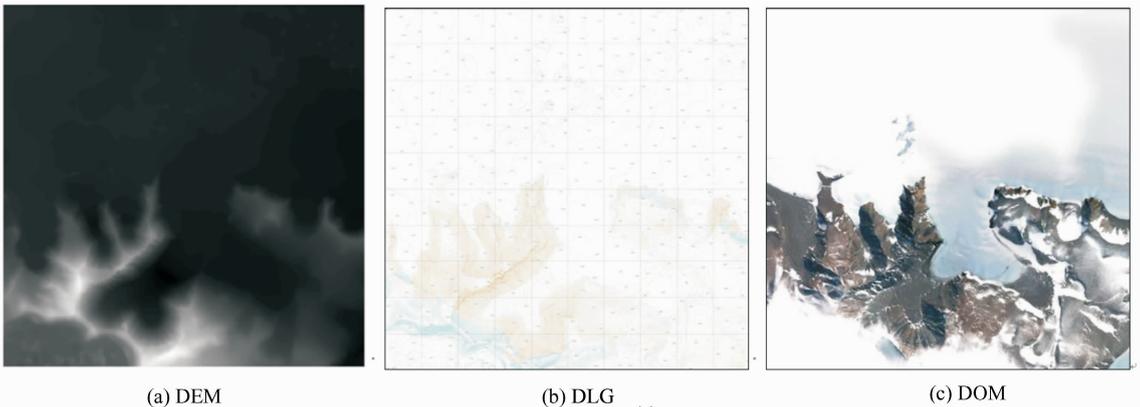


图 7 研究区内 1 : 50 000 基础地理信息产品实例

Fig. 7 Example of 1 : 50 000 Fundamental Geographic Information in Research Area

4 结 语

本研究充分利用资源三号卫星立体影像数据开展南极查尔斯王子山脉 1:50 000 基础地理信息获取研究,研究过程中集成 ICESat GLAS 激光测高数据、ASTER GDEM 和 RAMP DEM 数据等多源遥感和地理信息数据,获取了南极查尔斯王子山脉 1:50 000 基础地理信息。结果表明,资源三号卫星立体影像数据是获取南极 1:50 000 基础地理信息的有效基础数据,利用 ICESat GLAS 卫星测高数据作为控制点可以提高 ZY-3 DEM 的高程精度。精度分析表明,南极查尔斯王子山脉 1:50 000 DEM 的绝对精度的中误差为 5.31 m。由于缺乏地面控制点,南极查尔斯王子山脉 1:50 000 基础地理信息成果的平面位置绝对精度无法进行评估,但相对于 LIMA 的平面位置较差中误差为 16.3 m。所获取的南极查尔斯王子山脉 1:50 000 基础地理信息成果将为我国南极科考队员在该区域开展实地科学考察、科学研究和地质调查提供地理信息数据支撑。

致谢:感谢 NSIDC 中心提供的 ICESat GLAS 测高数据。

参 考 文 献

- [1] Lee D S, Storey J C, Choate M J, et al. Four Years of Landsat-7 On-orbit Geometric Calibration and Performance [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2004, 42(12): 2 786-2 795
- [2] Bamber J L, Bindschadler R A. An Improved Elevation Dataset for Climate and Ice-sheet Modelling: Validation with Satellite Imagery [J]. *Annals of Glaciology*, 1997, 25: 438-444
- [3] Bamber J L, Ekholm S, Krabill W B. The Accuracy of Satellite Radar Altimeter Data over the Greenland Ice Sheet Determined from Airborne Laser Data [J]. *Geophysical Research Letters*, 1998, 25(16): 3 177-3 180
- [4] Liu H, Jezek K, Li B. Development of Antarctic Digital Elevation Model by Integrating Cartographic and Remotely Sensed Data: A Geographic Information System Based Approach [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1999, 104(23): 199-213
- [5] ASTER GDEM Validation Team. ASTER Global DEM Validation Summary Report [OL]. https://lpdaac.usgs.gov/sites/default/files/public/aster/docs/ASTER_GDEM_Validation_Summary_Report.pdf, 2014
- [6] Tang Xinming, Zhang Guo, Zhu Xiaoyong, et al. Triple Linear-array Imaging Geometry Model of Ziyuan-3 Surveying Satellite and Its Validation [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2012, 41(2): 191-198 (唐新明,张过,祝小勇,等.资源三号测绘卫星三线阵成像几何模型构建与精度初步验证[J]. *测绘学报*, 2012, 41(2): 191-198)
- [7] Tang Xinming, Zhou Ping, Zhang Guo, et al. Research on a Production Method of Sensor Corrected Products for ZY-3 Satellite [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(3): 287-294, 299 (唐新明,周平,张过,等.资源三号测绘卫星传感器校正产品生产方法研究[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2014, 39(3): 287-294, 299)
- [8] Li Deren. China's First Civilian Three-line-array Stereo Mapping Satellite: ZY-3 [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2012, 41(3): 317-322 (李德仁.我国第一颗民用三线阵立体测绘卫星——资源三号测绘卫星[J]. *测绘学报*, 2012, 41(3): 317-322)
- [9] Liu Bin, Sun Xiliang, Di Kaicang, et al. Accuracy Analysis and Validation of ZY-3's Sensor Corrected Products [J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2012, 4: 36-40 (刘斌,孙喜亮,邸凯昌,等.资源三号卫星传感器校正产品定位精度验证与分析[J]. *国土资源遥感*, 2012, 4: 36-40)
- [10] Schutz B E. Laser Footprint Location (Geolocation) and Surface Profiles Version 3. 0 [OL]. http://www.csr.utexas.edu/glas/pdf/atbd_geoloc_10_02.pdf, 2014
- [11] Geoscience Laser Altimeter System Science Team. Geoscience Laser Altimeter System Science Requirements [OL]. http://www.csr.utexas.edu/glas/pdf/sci_reqs_v15.pdf, 2014
- [12] Zhang G, Xie H, Kang S, et al. Monitoring Lake Level Changes on the Tibetan Plateau Using ICESat Altimetry Data (2003-2009) [J]. *Remote Sens Environ*, 2011, 115(7): 1 733-1 742
- [13] Han Ling. An Experiment of Gross Error Detection and Cull Way Based on Slope Information in Grid DEM [J]. *Journal of Chang'an University (Earth Science Edition)*, 2003, 25(1): 74-75 (韩玲. 格网 DEM 中基于坡度信息的粗差检测与剔除方法试验 [J]. *长安大学学报(地球科学版)*, 2003, 25(1): 74-75)
- [14] Rosenholm D, Torlegard K. Three Dimensional Absolute Orientation of Stereo Models Using Digital Elevation Models [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1988, 54(10): 1 385-1 389

cedures. For residuals that may still contain high-order tide signals in the new sequences obtained after using OSE, we subtracted them from the sequences to improve the identification of the target Slichter mode signals. Our experimental results show that there are no possible signals corresponding to the claimed Slichter modes by Smylie (1992), whereas one possible signal set is suggested by this study. The periods of one set were: $4.310 \pm 5.7 \times 10^{-3}$ ($m = -1$), $3.914 \pm 6.4 \times 10^{-3}$ ($m = 0$), and $3.642 \pm 5.1 \times 10^{-3}$ ($m = +1$) hours. We consider that this signal set might be the splitting signals of the Slichter mode. However, further confirmations are needed.

Key words: slichter mode; superconducting gravimeter; optimal sequence estimation; product spectrum

First author: LU Yanjun, PhD candidate, majors in translational asccillations in inner core of earth. E-mail: lyjhotdog@163.com

Corresponding author: SHEN Wenbin, PhD, professor. E-mail: wbshen@sgg.whu.edu.cn

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, Nos. 41174011, 41574007; the Major State Basic Research Development Program of China, No. 2013CB733305.

(上接第 1071 页)

Acquisition Method for 1 : 50 000 Fundamental Geographic Information in Prince Charles Mountains

TAN Jiqiang^{1,2,3} ZHAN Qingming^{1,4} LI Zhanrong² HAN Liang²

1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2 Heilongjiang Administration of Surveying, Mapping and Geoinformation, Harbin 150081, China

3 Key Laboratory of Polar Surveying and Mapping SBSM, Wuhan University, Wuhan 430079, China

4 School of Urban Design, Wuhan University, Wuhan 430072, China

Abstract: To ensure the implementation of on-site scientific investigation in Prince Charles Mountains of Antarctica, the 1 : 50 000 Fundamental Geographic Information is an urgent need. Domestic ZY-3 high resolution stereographic satellite imagery provides remote sensing data support for producing fundamental geographic information. Combining this imagery with ICESat GLAS laser altimetry data and other multi-source remote sensing information, we produced 1 : 50 000 fundamental geographic information for the Prince Charles Mountains in Antarctica using ZY-3 Stereographic Data, and analyzed the accuracy. Our results show that the vertical precision of Digital Elevation Model was better than 5.31m, and the RMSE for the differences between Digital Orthophoto Map and Landsat Image Mosaic of Antarctica was 16.30m. Therefore, our acquisition method can be considered as an effective and practical method for producing 1 : 50 000 fundamental geographic information based on ZY-3 Stereographic Data integrating imagery with multi-source remote sensing information from Antarctica.

Key words: ZY-3; Prince Charles Mountains; ICESat GLAS; DEM; DLG; DOM

First author: TAN Jiqiang, PhD candidate, specializes in GIS and laser remote sensing. E-mail: tqj@hljbsm.gov.cn

Corresponding author: ZHAN Qingming, PhD, professor. E-mail: qmzhan@whu.edu.cn

Foundation support: The Special Scientific Research Fund of Public Welfare Profession on Surveying, Mapping and GeoInformation, No. 201412009; the Antarctic and Arctic Environmental Expeditions and Assessment Project, No. CHINARE 2014-02-04; the Open Research Fund Program of Key Laboratory of Polar Surveying and Mapping Science, State Bureau of Surveying and Mapping, No. 201205.