

中国 3 类典型区 SRTMGL1 和 SRTMV4 精度对比分析

吴宇鑫¹, 赵牡丹¹, 高志远¹, 刘婷²

(1. 西北大学 城市与环境学院, 西安 710127; 2. 武警工程大学 信息工程学院, 西安 710086)

摘要:以中国 3 类典型地区(华北平原、云贵高原和青藏高原)为研究区,利用 ICESat/GLAS 数据作为高程控制点数据,以 SRTM 的两种分辨率数据 SRTM 1 Arc-Second Global(SRTMGL1)和 SRTM Version 4(SRTM V4)数据作为精度评价数据,结合地形要素和土地覆盖要素,综合对两种 DEM 在 3 类典型区的精度进行了评价比对。结果表明:(1)在 3 类研究区中,总体上 SRTMGL1 数据精度优于 SRTM V4 数据精度,其中华北平原研究区两种 DEM 精度最高,云贵高原研究区两种 DEM 精度最低。(2)在不同的坡度分级内,SRTMGL1 的数据精度皆高于 SRTM V4 数据,在较小的坡度区间内,两者精度差别不大。大坡度、高植被覆盖对于 SRTMGL1 精度衰减影响较大。(3)在 4 种地貌区内,两种 DEM 的相对精度和绝对精度随地形变化有不同的分异规律。其中在相对精度方面,山脊点处 SRTMGL1 数据高程测量值较 SRTM V4 数据偏大,山谷点处 SRTM V4 测量值较 SRTMGL1 数据偏大;在绝对精度方面,两种 DEM 与 ICESat/GLAS 控制点差值剖面线随地形变化明显,在平缓地区,差值剖面线振幅小,两种 DEM 差值相接近,在高起伏地区,剖面线振幅大,且 SRTM V4 差值曲线较 SRTMGL1 剖面曲线振幅偏大,两者差值大。(4)在华北平原研究区和云贵高原研究区内,高植被覆盖区两种 DEM 误差最大,裸地 and 人造表面误差最小;在青藏高原地区,冰川覆盖区误差最大,水体区误差最小。

关键词:SRTMDEM; ICESat/GLAS; 高程误差; 地表覆盖分类; 地形因子

中图分类号:P208

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)04-0036-07

Comparison Analysis of Accuracy of SRTMGL1 and SRTM V4 in Three Typical Regions of China

WU Yuxin¹, ZHAO Mudan¹, GAO Zhiyuan¹, LIU Ting²

(1. College of Urban and Environmental Science, Northwest University, Xi'an 710127, China; 2. Department of Information Engineering, Engineering University of the Chinese Armed Police Force, Xi'an 710086, China)

Abstract: Three typical regions in China (North China Plain, Yunnan-Guizhou Plateau and Qinghai-Tibet Plateau) were selected as the study areas. ICESat/GLAS data were used as elevation control point data, SRTM 1 Arc-Second Global (SRTMGL1) and SRTM Version 4 (SRTM V4) data were used as precision evaluation data, and terrain and surface coverage factors were combined to synthesize the two DEMs in three typical regions. The accuracy of the zone was evaluated and compared. The results showed that: (1) in the three types of research areas, the accuracy of SRTMGL1 data was better than that of SRTM V4 data, of which the two DEMs in North China Plain were the best, and the two DEMs in Yunnan-Guizhou Plateau were the worst; (2) the data accuracy of SRTMGL1 was better than that of SRTM V4 in different slope grading, and there was little difference between them in a small slope range; large slope and high vegetation coverage had great influence on SRTMGL1 accuracy attenuation; (3) the relative and absolute accuracy of the two DEMs varied with the topography in the four geomorphological regions; in terms of relative accuracy, the SRTMGL1 data elevation at the ridge points was larger than that of SRTM V4 data, and the SRTM V4 data at the valley points was larger than that of SRTMGL1 data; in terms of absolute accuracy, the difference profiles between the two DEMs and ICESat/GLAS control points changed significantly with the

收稿日期:2018-9-17

修回日期:2018-10-07

资助项目:国家自然科学基金“梯田对坡度坡长因子的扰动特征研究”(41271284)

第一作者:吴宇鑫(1994—),女,陕西西安人,硕士研究生,研究方向为数字地形分析。E-mail:806731476@qq.com

通信作者:赵牡丹(1969—),女,陕西富平人,博士,副教授,主要从事 GIS 空间分析研究。E-mail:zmudan@nwu.edu.cn

terrain; in the gentle terrain area, the amplitude of difference profiles was small, and the difference between the two DEMs was close; in the high undulating area, the amplitude of section lines was large, and the amplitude of SRTM V4 difference value curve was larger than that of SRTMGL1 profile curve; (4) in the study area of North China Plain and Yunnan-Guizhou Plateau, the two DEM errors of high vegetation coverage area were the largest, while the errors of bare land and artificial surface were the smallest; in the Qinghai-Tibet Plateau, the error of the glacier coverage area was the largest and the water area error was the smallest.

Keywords: SRTM DEM; ICESat/GLAS; elevation error; land-use classification; terrain factors

数字高程模型(digital elevation model)作为地表高程信息的原始数据源,在地学研究的诸多领域有着广泛的应用,如土壤侵蚀、水土流失、地貌分析及地形因子的提取等。现阶段,针对DEM的精度评价,已有不少学者进行了相关研究工作。Rodríguez等^[1]利用GPS控制点对全球六大洲的SRTM DEM精度进行评价。Ioannidis等^[2]利用地面测量控制点对ASTER GDEM和SRTM在希腊地区的精度进行对比分析。Shortridge等^[3]利用NED高程数据对全美SRTM 90 m分辨率SRTM DEM进行精度评价,并从地形因子和地表覆盖方面进行精度分析。Zhao等^[4]利用SRTM DEM V2数据和SRTM DEM V4数据对中国中部ASTER GDEM数据进行精度评价,结果得出ASTER GDEM测量值较SRTM DEM偏大,且平原地区精度高于山区。由于ASTER GDEM受地形因素影响较大^[5],受试验样区局限性较大,因此大量研究应用其同尺度分辨率的SRTM DEM产品数据。

航天飞机雷达地形测绘任务(Shuttle Radar Terrain Mission, SRTM)数据作为最广泛应用的数字高程模型数据,其精度的优劣关系到科研结果的可信性及科学性。SRTM DEM数据按照工作的传感器波段可以分为X波段数据和C波段数据,研究表明,在亚洲地区,3弧秒(90 m)分辨率的C波段SRTM数据的整体精度要优于X波段数据,1弧秒(30 m)分辨率的C波段数据精度也要优于X波段的1弧秒数据^[6]。在2015年之后,美国国家地理空间情报局(NGA)已对中国用户开放可以免费下载全球范围的1弧秒分辨率SRTM DEM数据,因此对SRTM DEM 1弧秒分辨率和3弧秒分辨率的精度进行对比分析就显得十分重要。

高精度星载雷达(ICESat/GLAS)数据的水平精度为±20 cm,高程精度为±18 cm,相比全球免费中分辨率DEM,ICESat/GLAS具有更高的水平和高程精度,已有不少学者利用此方法进行了相关的研究验证^[6-13]。因此本文利用ICESat/GLAS数据作为控制点数据,选择中国3种典型地区(华北平原、云贵高原

和青藏高原),尽可能多地模拟出不同的地貌、地形类型,针对SRTM DEM 30 m分辨率及90 m分辨率数据进行精度评价,试图从地表覆盖和地形因素两个方面揭示误差分布规律。

1 研究方法及数据集

1.1 研究区概况

本文选择中国的3种典型地貌区:华北平原、云贵高原和青藏高原,隶属于我国不同的3类阶地。其中华北平原研究区位于东经115°—119°,北纬35°—39°,其区域地貌主要为北低南高,北部为华北平原区,南侧为低山丘陵区,隶属于第三阶梯。云贵高原研究区的经度范围约为东经100°—103°,北纬25°—27°,试验区内大部分为山区地形,平均海拔超过2 000 m,隶属于第二阶梯。青藏高原试验区位于东经87°—89°,北纬31°—33°,其范围内地形主要由高原山区和高原平原组成,平均海拔超过5 000 m,隶属于第一阶梯。

1.2 研究数据集

本次研究使用的数据集主要包括DEM数据和ICESAT/GLAS数据。

DEM包括SRTM全球1弧秒分辨率数据即SRTM 1 Arc-Second Global数据(下文称为SRTMGL1)和CGIAR发布的C波段SRTM Version 4数据(下文称为SRTM V4),前者的空间分辨率为1弧秒(30 m),后者为3弧秒(90 m)。在所有3弧秒分辨率的C波段SRTM数据中,SRTM V4数据集利用了新的插值与补洞的方法,改善了雷达传感器因为山地起伏剧烈所造成的数据精度偏差,这使得V4版本的SRTM数据较以往的3弧秒数据有明显的改进^[14]。SRTMGL1数据下载自美国地质勘探局(<https://earthexplorer.usgs.gov/>),SRTM V4数据下载自(<http://srtm.csi.cgiar.org/>)。

控制点数据集采用ICESat/GLAS数据集中的GLA14二级产品数据,GLA14数据主要是针对陆地表面的测高数据集,是由ICESat/GLAS数据集中的GLA05和GLA06一级产品合成,其数据主要形式是

传感器发射的脉冲亮斑对应的地面的数据点,星下点的光斑半径为 70 m,相邻的地面点距离约为 170 m,其测高的高程精度达到了 cm 级,ICESat/GLAS 数据预处理方法见文献[15-16],ICESat/GLAS 数据下载自美国国家冰雪中心(<http://nsidc.org/>)。

研究中应用欧空局发布的土地覆盖数据集 GlobCover v2.2 作为地表覆盖分类的参考数据,数据下载自欧洲空间局(http://due.esrin.esa.int/page_globcover.php)。

1.3 研究方法

研究中精度指标主要利用高程误差 d , 平均误差 Mean、标准偏差 SD 和中误差 RSM, 高程误差代表了每一个控制点的高程值与 DEM 的栅格高程值之差 ($H_{\text{DEM}} - H_{\text{GLA4}}$), 平均误差是数据集中高程误差的平均值, 代表了一个数据集的整体精度。标准差代表了高程误差间的离散程度。中误差代表了测量值与真值的偏离程度, 是评价数据精度的最直接标准。其公式见(1)~(4)。本文利用以下精度指标, 结合地形因子、土地覆盖以及地貌因素综合对两种 SRTM 进行精度比对和分析。

$$d = H_{\text{SRTM}} - H_{\text{GLA4}} \quad (1)$$

表 1 SRTMGL1 和 SRTM V4 精度指标

项目	华北平原		云贵高原		青藏高原		总计	
	SRTM V4	SRTMGL1	SRTM V4	SRTMGL1	SRTM V4	SRTMGL1	SRTM V4	SRTMGL1
max	36.95	35.39	99.31	95.80	46.54	46.25	99.31	95.80
min	-23.72	-17.99	-93.03	-90.86	-44.58	-32.55	-93.03	-90.86
Mean	1.21	1.21	2.31	1.88	3.20	3.06	2.38	2.35
SD	2.47	2.52	12.72	10.30	4.53	3.90	6.24	5.25
RSM	2.80	2.99	12.92	10.47	5.05	5.67	6.68	5.75

2.2 基于地形因子的影响研究

2.2.1 基于坡度因子 将研究区域坡度进行分级, 由于所选取的 3 类研究区地形起伏不同, 因此选取的坡度分级有所差异, 华北平原研究区划分为 $0^\circ \sim 1^\circ$, $1^\circ \sim 2^\circ$, $2^\circ \sim 3^\circ$, $3^\circ \sim 4^\circ$, $4^\circ \sim 5^\circ$, $> 5^\circ$; 云贵高原研究区划分为 $0^\circ \sim 1^\circ$, $1^\circ \sim 5^\circ$, $5^\circ \sim 10^\circ$, $10^\circ \sim 15^\circ$, $15^\circ \sim 20^\circ$, $20^\circ \sim 25^\circ$, $25^\circ \sim 30^\circ$, $30^\circ \sim 35^\circ$, $35^\circ \sim 40^\circ$, $> 40^\circ$; 青藏高原研究区则划分为 $0^\circ \sim 1^\circ$, $1^\circ \sim 5^\circ$, $5^\circ \sim 10^\circ$, $10^\circ \sim 15^\circ$, $15^\circ \sim 20^\circ$, $20^\circ \sim 25^\circ$, $25^\circ \sim 30^\circ$, $> 30^\circ$, 分别计算各个坡度级不同研究区两种 DEM 的中误差, 结果如图 1 所示。

两种 DEM 中误差随坡度分布的变化特征在 3 类研究区内相似, 在所有的坡度分级区间内, SRTMGL1 的数据精度要优于 SRTM V4。在地势较为平坦的地区(坡度 $< 1^\circ$), 两种 DEM 的中误差较为接近, 其中华北平原研究区两种 DEM 中误差之差为 0.16 m, 云贵高原研究区为 0.07 m, 青藏高原研究区仅为 0.03 m, 精度

$$\text{Mean} = \frac{\sum d}{n} \quad (2)$$

$$\text{SD} = \sqrt{\frac{\sum (d - \text{Mean})^2}{n}} \quad (3)$$

$$\text{RSM} = \sqrt{\frac{\sum d^2}{n}} \quad (4)$$

2 结果与分析

2.1 DEM 整体精度

对 3 类试验样区的两种 DEM 进行精度计算后结果见表 1, 可以看出两种 DEM 的精度在华北平原地带大体相当, 两种 DEM 的标准偏差和中误差基本相同, 而在山地起伏最大的贵州高原研究区, 两种 DEM 的精度偏差较大, 其中标准差有 0.43 m 的偏差, 中误差有 2.42 m 的偏差。总体上 SRTMGL1 平均误差为 2.35 m, 系统误差为 (2.35 ± 5.25) m, 数据精度为 5.75 m; SRTM V4 平均误差为 2.38 m, 系统误差为 (2.38 ± 6.24) m, 数据精度为 6.68 m。SRTMGL1 数据精度优于 SRTM V4 数据, 离散程度也较 SRTM V4 偏小, 两种 DEM 的数据精度和地形都有着密切的关系。

差异不明显。当研究区内坡度增大时, 不同研究区内两种 DEM 中误差的变化规律有所不同, 在华北平原研究区和青藏高原研究区内, 随着坡度的增大, SRTMGL1 DEM 和 SRTM V4 DEM 的精度分异程度增大, 其中在华北平原研究区, 当坡度大于 5° 时, SRTMGL1 和 SRTM V4 的中误差之差达到 0.49 m; 在青藏高原研究区, 当坡度大于 30° 时, SRTMGL1 和 SRTM V4 的中误差之差达到 4.91 m, 是坡度小于 1° 时的 163 倍, 可见坡度对于 SRTM V4 数据精度的影响程度大于 SRTMGL1 数据。研究中也发现, 在云贵高原研究区, DEM 精度随坡度的变化特征有所不同, 两种 DEM 的中误差差值最大值出现在 $30^\circ \sim 35^\circ$ 的坡度区间内, 为 3.74 m, 而当坡度大于 35° 时, 两种 DEM 数据中误差差值减小, 在大于 40° 的坡度区间内, 两种数据的中误差差值为 1.35。当坡度大于 35° 时, SRTMGL1 的数据精度迅速变差, 其误差与同坡

度级的 SRTM V4 接近,这可能与云贵高原的高密度的地表森林覆盖有关,使得较大坡度的森林覆盖区域 SRTM 数据精度变差。

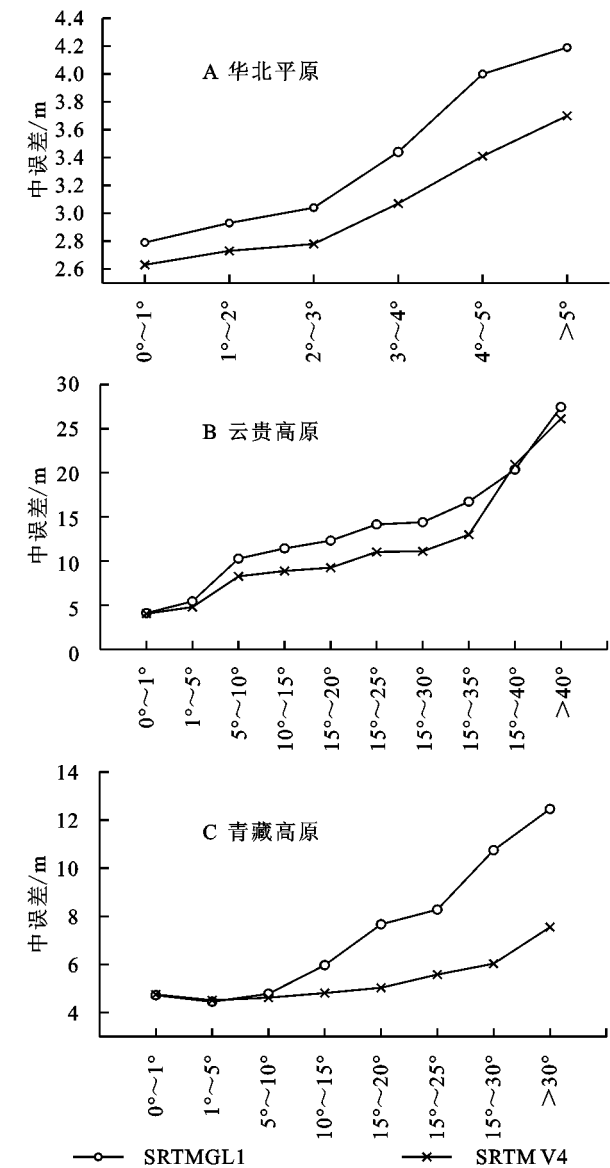


图 1 3 类研究区中两种 DEM 中误差随坡度变化

2.2.2 基于地貌因素 为了揭示地貌与两种 DEM 的误差分布关系,首先必须要消除树木植被对结果的影响,如 Zhang 等^[17]通过设置 PTC 指数(represent percent tree cover)来剔除植被区,而在本研究中则根据土地覆盖数据集 GlobCover v2.2 的属性信息剔除掉几种高植被和密植被的数据点(剔除掉阔叶林、针叶林、高层灌木等植被区域),进而在华北平原研究区和青藏高原研究区选取 4 种地貌,进行精度分析,依次为平原地区(华北平原)、丘陵地区(华北平原)、高原平原区(青藏高原)和高原高山区(青藏高原),利用 ICESat/GLAS 高程控制点,对 4 种不同地貌区域的两两种 DEM 进行高程剖面线提取,进行比对,剖面

结果如图 2 所示。

研究表明,对于 4 种地貌区域的相对精度,两种 DEM 的测量值具有不同的分异特点。总体上,随着地貌类型的复杂和地表粗糙度的增加,两种 DEM 的高程差值范围增大,即高原高山区>丘陵区>高原平原区>平原区,高程差值与研究样区所在地的高程相关性不大。在平原区域和高原平原区,SRTMGL1 和 SRTM V4 数据测量值接近,其中平原区高程差值范围为-2~2 m,高原平原区高程差值范围为-4~4 m,差值随地形没有明显的分布规律。在丘陵区 and 高原高山区,两种 DEM 差值变化幅度较为动荡,尤其在山脊点或山谷点等地形变化率较大的区域,两种 DEM 的差值出现两极化的分布,SRTMGL1 和 SRTM V4 数据的高程测量值相差较大,一般情况下,在山脊处时 SRTMGL1 数据测量值偏大,在山谷处 SRTM V4 数据测量值偏大。

基于 ICESat/GLAS 控制点的 4 种地貌区 DEM 绝对精度剖面图如图 3 所示。总体来讲,控制点与两种 DEM 高程差在丘陵区 and 高原高山区表现较其他地貌区振幅动荡幅度偏大,其中在高原高山区,高程差值最大值达到了将近 25 m,而在平原区及高原平原区动荡幅度较小,在高原平原区,其高程差值最大值不超过 7 m。SRTMGL1 数据与控制点差值在平原区 and 高原平原区较 SRTM V4 数据差值较小且剖面线浮动小,更为稳定。

从表 2 的各地貌区的两种 DEM 的平均误差和中误差结果可以看出,地貌类型为平原区时,SRTMGL1 和 SRTM V4 的中误差最小,其中 SRTMGL1 数据的中误差只有 1.54 m,而在高原高山区,两种 DEM 的中误差最大,SRTM V4 的中误差达到了 8.73 m。SRTMGL1 和 SRTM V4 的中误差在平原区相当接近,其差值只有 0.21 m,而在丘陵区 and 高原高山区,两种 DEM 的中误差差值最大,其中丘陵期为 3 m,而在高原高山区达到了 3.07 m。

2.3 基于土地覆盖的精度研究

对土地覆盖数据集进行筛选和分类后,其地物类型可分为以下几类:耕地、低植被(高度小于 5 m)、高植被(高度大于 5 m)、裸地、人造表面、水体和冰川,计算每种地物类型范围内的 ICESat/GLAS 控制点的中误差,进行统计,结果如图 4 所示。

由两类 DEM 的中误差与地表覆盖的关系可以看出,在华北平原研究区和云贵高原研究区中,人造表面和裸地的中误差最小,其中在华北平原研究区,

裸地覆盖区的 SRTM V4 中误差仅为 1.58 m, 在云贵高原研究区, 人造地面覆盖区(城市农村用地、部分工业用地及交通过用地等)的 SRTM GL1 中误差为 9.84 m。而植被覆盖区的中误差值较其他覆盖区偏大, Shortridge 等^[3]指出, SRTM 数据在植被覆盖区中误差比全研究区中误差大 60%, 可见, 在植被覆盖区内, DEM 的高程测量值偏移量最大, 尤其在高原高植被区域, 华北平原的高植被区 SRTM V4 的中误差比整个华北平原地区的 SRTM V4 中误差高 110%, 云贵

高原地区的高植被区域 SRTMGL1 中误差比全研究区高 13.46%, 且在高原高植被区两种 DEM 的精度相差最大, 华北平原研究区两者中误差之差为 1.85 m, 云贵高原研究区中误差之差为 3.56 m。在青藏高原研究区, 冰川覆盖区的精度最低, SRTM V4 的中误差为 8.36 m, SRTMGL1 的中误差为 6.05 m, 相差 2.31 m, 而在水体覆盖区, 两种 DEM 的精度皆较高, SRTM V4 中误差为 3.56 m, SRTMGL1 为 3.57 m, 两者仅差 0.01 m。

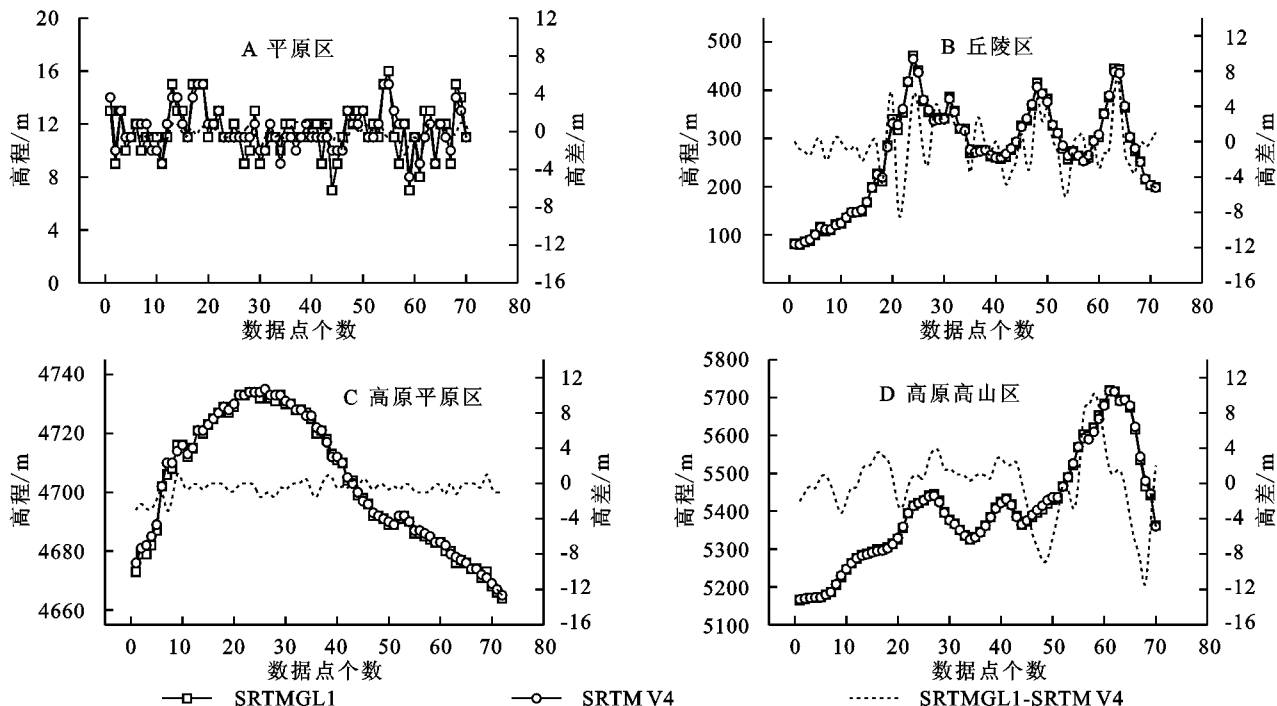


图 2 4 种地貌区中两种 DEM 相对误差剖面线

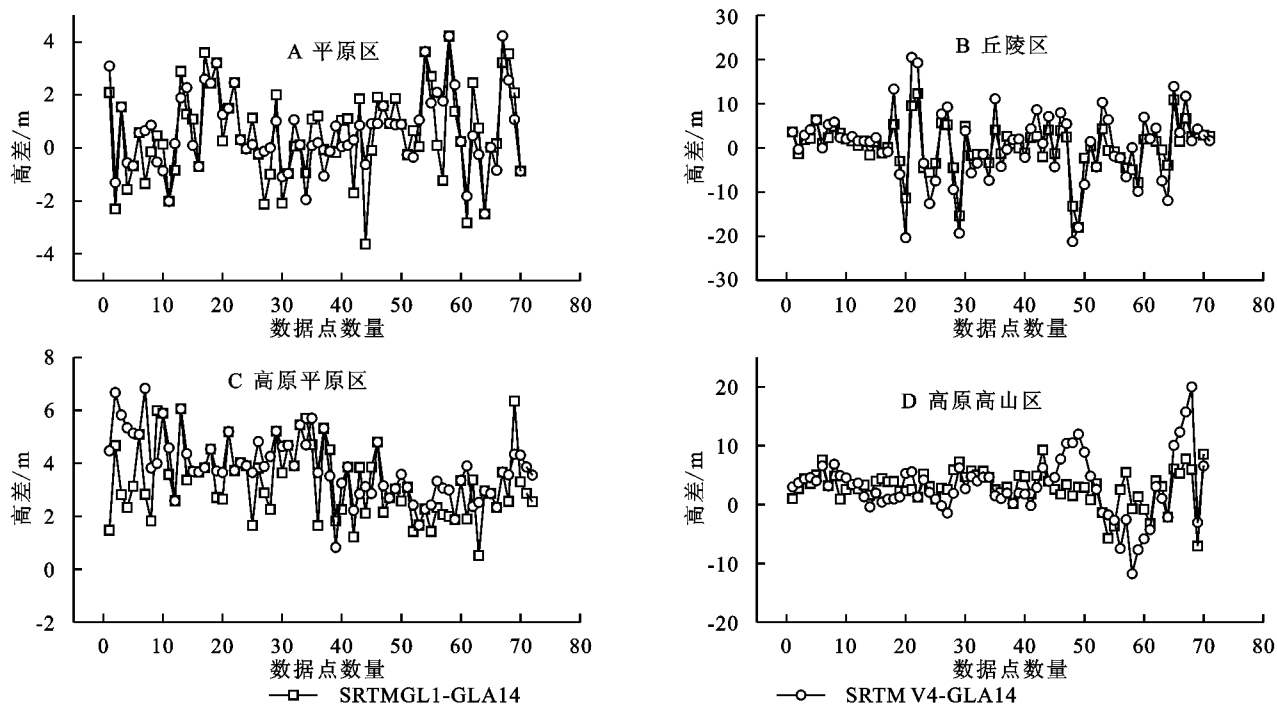


图 3 6 种地貌区中两种 DEM 绝对误差剖面线

表 2 两种 DEM 在各地貌区精度 m

DEM 种类	SRTMGL1		SRTM V4	
	Mean	RSM	Mean	RSM
平原区	0.51	1.54	0.59	1.75
丘陵区	0.14	5.19	0.49	8.19
高原平原区	3.28	3.53	3.84	4.02
高原高山区	2.95	5.66	2.96	8.73

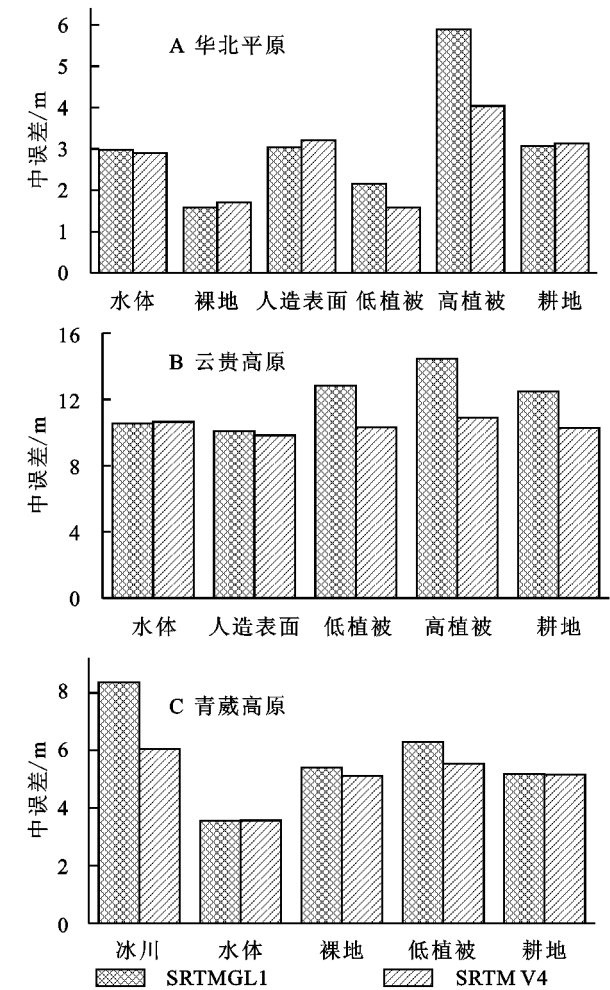


图 4 3 种研究区不同土地覆盖中误差分布

3 结论

(1) 整体上,针对不同研究区,两种 DEM 在华北平原精度最高,其中 SRTM V4 精度为 2.47 m,系统误差为(1.21±2.52) m;SRTMGL1 精度为 2.99 m,系统误差为(1.21±2.52) m。云贵高原精度最低,其中 SRTM V4 精度为 12.92 m,系统误差为(2.31±12.72) m;SRTMGL1 精度为 10.47 m,系统误差为(1.88±10.30) m。且在 3 个研究区中,SRTMGL1 的精度要优于 SRTM V4 的精度,由于两者数据传感器波段均为 C 波段,因此精度差异主要是由于 SRTMGL1 的空间分辨率决定的,较为精细的空间尺度可以提供更好的地形细节表达和更优良的高程精度。

(2) 坡度对于两种 DEM 精度皆具有较大影响,在不同的坡度分级内,SRTMGL1 的数据精度皆高于 SRTM V4 数据。在坡度较小的区间内,SRTMGL1 和 SRTM V4 精度相差不大,在华北平原和青藏高原地区,随着坡度的增大,两者中误差之差增大,而在云贵高原研究区,随着坡度的增大,两者中误差之差先增大后减小,这可能是由于高坡度、高密度的森林覆盖造成 SRTMGL1 数据精度急剧衰减所致。

(3) 对于 4 种不同的地貌分区,两类 DEM 的相对精度和绝对精度随地形的变化有不同的分异规律。对于相对精度,在山脊点处,SRTMGL1 数据测量较 SRTM V4 数据偏大,在山谷点处,SRTM V4 数据测量值较 SRTMG1 数据偏大;对于绝对精度,ICESat/GLAS 控制点与两者 DEM 差值在高起伏区(丘陵区 and 高原高山区)变化幅度大,SRTMGL1 与 SRTM V4 数据差值剖面先分异性明显;在低起伏区(平原区 and 高原平原区),差值变化幅度小,两类 DEM 差值剖面线分异性不明显。

(4) 在华北平原试验区和云贵高原试验区中,两种 DEM 在裸地和人造表面覆盖区的精度最高,在高植被区域(>5 m)的精度最差。在青藏高原研究区,两种 DEM 在水体覆盖区的精度最高,而在冰川处的精度最差。

参考文献:

[1] Rodriguez E, Morris C S, Belz J E. A global assessment of the SRTM performance[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2015,72(3):249-260.

[2] Ioannidis C, Xinogalas E, Soile S. Assessment of the global digital elevation models ASTER and SRTM in Greece[J]. Empire Survey Review, 2014,46(338):342-354.

[3] Shortridge A, Messina J. Spatial structure and landscape associations of SRTM error[J]. Remote Sensing of Environment, 2011,115(6):1576-1587.

[4] Zhao G, Xue H, Ling F. Assessment of ASTER GDEM Performance by Comparing with SRTM and ICESat/GLAS Data in Central China[C]//The 18th International Conference on Geoinformatics: GIScience in Change, Geoinformatics 2010, Beijing: Peking University, 2010.

[5] 郭笑怡,张洪岩,张正祥. ASTER GDEM 与 SRTM3 数据质量精度对比分析[J]. 遥感技术与应用,2011,26(3):334-339.

[6] Mukul M, Srivastava V, Mukul M. Accuracy analysis of the 2014—2015 Global Shuttle Radar Topography Mission(SRTM) 1 arc-sec C-Band height model using International Global Navigation Satellite System Service

- (IGS) Network[J]. Journal of Earth System Science, 2016,125(5):1-9.
- [7] Yue L, Shen H, Zhang L, et al. High-quality seamless DEM generation blending SRTM-1, ASTER GDEM v2 and ICESat/GLAS observations[J]. Isprs Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2017,123:20-34.
- [8] Wang X, Holland D M, Gudmundsson G H. Accurate coastal DEM generation by merging ASTER GDEM and ICESat/GLAS data over Mertz Glacier, Antarctica[J]. Remote Sensing of Environment, 2018,206:218-230.
- [9] Proulx-Bourque J S, Magagi R, O'Neill N T. Filtering global land and surface altimetry data (GLA14) for elevation accuracy determination[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2015,81(9):701-707.
- [10] Treichler D, Kääb A. Snow depth from ICESat laser altimetry: A test study in southern Norway[J]. Remote Sensing of Environment, 2017,191:389-401.
- [11] Zhao S, Cheng W, Zhou C, et al. Using MLR to model the vertical error distribution of ASTER GDEM V2 data based on ICESat/GLA14 data in the Loess Plateau of China[J]. Zeitschrift Fur Geomorphologie, 2017,61(2):9-26.
- [12] 武文娇, 章诗芳, 赵尚民. SRTM1 DEM 与 ASTER GDEM V2 数据的对比分析[J]. 地球信息科学学报, 2017,19(8):1108-1115.
- [13] 万杰, 廖静娟, 许涛, 等. 基于 ICESat/GLAS 高度计数据的 SRTM 数据精度评估: 以青藏高原地区为例[J]. 国土资源遥感, 2015,27(1):100-105.
- [14] 李鹏, 李振洪, 施闯, 等. 中国地区 30 m 分辨率 SRTM 质量评估[J]. 测绘通报, 2016(9):24-28.
- [15] 杜小平, 郭华东, 范湘涛. 基于 ICESat/GLAS 数据的中国典型区域 SRTM 与 ASTER GDEM 高程精度评价[J]. 中国地质大学学报: 地球科学, 2013,38(4):887-897.
- [16] 宗继彪, 叶庆华, 田立德. 基于 ICESat/GLAS, SRTM DEM 和 GPS 观测青藏高原纳木那尼冰面高程变化 (2000—2010 年)[J]. 科学通报, 2014,59(21):2108-2118.
- [17] Zhang Q, Yang Q, Wang C. SRTM error distribution and its associations with landscapes across China[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2016,82(2):135-148.

欢迎订阅 2020 年《水土保持研究》

《水土保持研究》创刊于 1985 年, 双月刊, 中文版, 属地球科学类期刊, 主管单位为中国科学院, 由中国科学院水利部水土保持研究所主办。由《中国科技论文统计源期刊》、《中国科学引文数据库统计源期刊》、《中文核心期刊要目总览》等收编。本刊为 A4 开本, 360 页/期。刊号为 ISSN1005—3409, CN61—1272/P。国内邮发代号: 52—211, 定价 40 元/册。

办刊宗旨: 紧密跟踪水土保持学科的发展动向, 及时报道本学科前沿领域科学理论、技术创新及其实际应用研究最新成果, 积极引导和推动水土保持学科和水土保持实践的发展与繁荣。

报道内容: 土壤侵蚀、旱涝、滑坡、泥石流、风蚀等水土流失灾害的现状与发展动态; 水土流失规律研究、监测预报技术研发成就与监测预报结果; 水土流失治理措施与效益分析; 水土流失地区生态环境建设与社会经济可持续发展研究; 计算机、遥感工程、生物工程等边缘学科新技术、新理论、新方法在水土保持科研及其实践中的应用; 国外水土流失现状及水土保持研究新动态等。

读者对象: 从事水保科技研究、教学与推广的科教工作者及有关行政管理人员; 国内外环境科学、地学、农业、林业、水利等相关学科科教人员及大专院校师生。

地址: 陕西省杨凌区西农路 26 号《水土保持研究》编辑部

邮编: 712100

E-mail: research@ms.iswc.ac.cn

电话: (029)87012705

投稿网站: <http://stbcyj.paperonce.org>