

SRTM 与地形图生成 DEM 的地形表达能力对比

蔡清华, 杨勤科

(西北大学 城市与资源学系, 陕西 西安 710127)

摘要: 数字高程模型是进行地学研究的重要基础数据, SRTM 数据是公众可以免费获取的精度达 90 m 的 DEM 数据。在 ARCGIS 软件的支持下, 选取典型试验样区, 利用 1:5 万和 1:10 万地形图建立的 DEM 和 1:25 万 TINDEM 与 SRTM 数据进行分析, 提取坡度和坡长等地形因子, 得出 SRTM 对地形的表达能力。结果认为, SRTM 数据在地形表述能力上仍远不如 1:5 万的地形图, 甚至还不如 1:10 万地形图的地形表达能力, 但是明显优于 1:25 万 TINDEM 的地形表达能力。

关键词: SRTM; 数字高程模型; 黄土高原; 数据质量

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2009)03-0183-05

中图分类号: P289

Comparison of Terrain Representation of SRTM and Topographic Derived DEMs

CAI Qing-hua, YANG Qin-ke

(Department of Urban and Resource Science, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710127, China)

Abstract: Digital Elevation Model (DEM) is the essential data for research on Terrain and SRTM data are the public free access dataset with 90 m resolution. Topographic representations of SRTM and DEMs generated from 1:50 000, 1:100 000, and 1:250 000 topographic maps are compared and the surface and derived topographic parameters including slope, curvature, streams, and slope length are extracted. Results show that SRTM data present less terrain details on the table capacity than the 1:50 000 topographical map, even not better than the 1:10 000 topographic map, but better than the 1:250 000 TINDEM.

Keywords: SRTM; digital elevation model; Loess Plateau; datum quality

数字高程模型是进行地学研究的重要基础数据, 利用 DEM 可以获取我们需要的许多地形要素。但是在实际的应用中, 获取高精度 DEM 代价较高, 而现有的全球免费 DEM 数据空间分辨率只能达到 1 km, 难以满足实际应用的精度要求。

SRTM 即航天飞机雷达地形测量任务 (shuttle radar topography mission, SRTM) 是指美国“奋进号”航天飞机上的干涉成像雷达系统在仅仅 11 d 共 234 h 的全球性作业中, 获得了地球纬度范围在 60°N 至 56°S 间, 面积超过 1.19×10^8 km², 覆盖陆地表面 80% 面积的三维雷达数据^[1]。它是迄今为止现势性最好, 分辨率最高, 具有统一坐标系的全球性数字地形数据^[2]。

随着 SRTM 的完成, 公众可以免费获得地球近 80% 区域。目前能够免费获取中国境内的 SRTM 文件是分辨率 90 m 的数据。国内学者在 SRTM 数据

地形表达能力方面的研究中, 有对 SRTM 数据进行数据精度评估^[3], 也有在东北川岗地区进行地形表达能力的研究^[4]。

但对于黄土丘陵区, SRTM 对地形的表现能力如何, 与已有地形图及其建立的 DEM 比较位于一种什么位置, 还没有清晰的认知。为此, 在黄土丘陵区我们利用 1:5 万, 1:10 万和 1:25 万地形图建立 DEM, 提取相关地形指标并与之比较, 分析认识 SRTM 对地形表现的能力, 为以后 SRTM 数据在地学研究中的应用提供借鉴。

1 研究方法

1.1 研究区域概况

延河流域位于黄土高原中部, 水土流失较为严重, 水流、泥沙、地形条件复杂。流域总面积 7 725 km²。地理坐标 109°—109.25°E, 36.67°—

收稿日期: 2008-12-13

修回日期: 2009-01-29

资助项目: 水利部公益性行业科研专项“黄土高原多沙粗沙区典型流域侵蚀产沙经验模型研究”(200701035-1); 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2007CB407203)

作者简介: 蔡清华(1983—), 男(汉族), 河南省新乡县人, 硕士研究生, 主要从事 GIS 应用。E-mail: cdqph@163.com。

通信作者: 杨勤科(1962—), 男(汉族), 陕西省陇县人, 研究员, 博士, 主要从事区域水土流失与 GIS 应用研究。E-mail: qkyang@ms.iswc.ac.cn。

36.83°N。属典型黄土丘陵沟壑区,地形复杂,海拔 1 005~1 445 m,地面相对起伏达 200 m 多,地面坡度 30°以上达 50%以上。

地带性土壤为黑垆土,但现在以黄锦土为主;在气候上处于暖温带半湿润向半干旱过渡区;植被类型处于暖温带森林草原区,同时又是典型受人类活动影响的水土流失严重区。

1.2 数据基础及其预处理

(1) 数据基础。已有的数据为 1:5 万数字化地形图(包括等高线、高程点和河流 3 个要素),1:10 万数字化地形图(包括等高线、高程点和河流),100 m 分辨率 DEM(基于 1:25 万地形图和 TIN 方法建立)和从网站(<http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>)下载的 SRTM 数据。

(2) DEM 生成。利用 ARC/INFO 提供的 TOPOGRID 算法,输入等高线、高程点、水系等要素,基于 1:5 万,1:10 万地形图分别生成空间分辨率为 10 m 和 25 m 的 DEM(以下标记为 DEM₁₀和 DEM₂₅),100 m 分辨率 DEM(以下标记为 DEM₁₀₀)。SRTM 数据是 NASA 向公众提供的为经纬度坐标,采用 WGS84 椭球参数,空间分辨率为 3 (约 90 m),经过投影转换为大地坐标(以下标记为 DEM₉₀)。以上数据统一采用 Albers 投影(第一、第二标准纬线分别为 36.5°和 37.167°,中央经线 109.5°,椭球为 Krassovsky1940)。

1.3 SRTM 数据与 DEM 数据的对比

SRTM 与其它方法生成 DEM 的对比,以其对地形的反映能力为主要内容。

(1) 进行图像的直观比较。具体方法是将高程、坡度和曲率数据转成 img 格式数据,在 ERDAS 中,将这 3 层数据合成一个 3 通道影像。然后将 3 通道影像在 ArcScene 中生成立体影像。

(2) 计算高程标准和计算沟壑密度。对于沟壑密布的黄土高原区域,有更大高程范围,更大的标准差可以正确反映出高程变化较大的黄土高原区域,也因此具有更好的地形表现力。

另外沟壑密度值的大小可以反映出数据的地形表现能力,只有高分辨率的数据,才有可能准确表达地形获取较高的沟壑密度。

(3) 提取坡度、曲率、USLE—LS 因子,编写程序并计算出坡度、曲率、USLE—LS 因子值的频率,在 Excel 中生成频率图和累计频率图。为了更好地图形表现和大趋势的表达,对坡度的频率计算,我们采用的方法是按照等间距 0.5°为统计单位,统计不同坡度值的频率值。而曲率的频率是按照 0.1 的等间

距来统计,LS 因子的频率是按照 0.2 的等间距进行统计的。

2 结果与分析

2.1 各种 DEM 对地形形态的反映能力

2.1.1 地形表面特征对比 3 通道立体影像不仅很好地表达了地形的立体形态,而且很直观形象。因而很多学者广泛采用这一直观可视化的方法对 DEM 的表面形态进行分析。本文分别生成了 DEM₁₀,DEM₂₅,DEM₉₀和 DEM₁₀₀这 4 种 DEM 立体影像(图 1)。

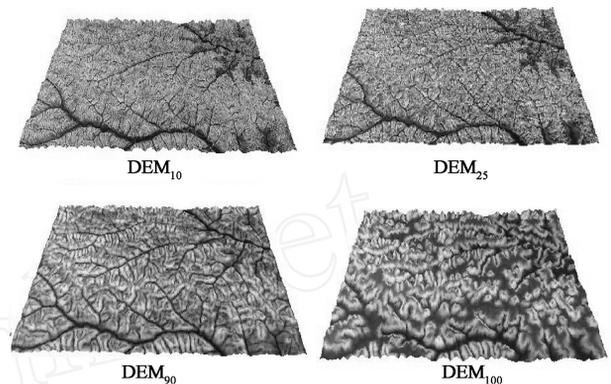


图 1 DEM₉₀数据与 DEM₁₀,DEM₂₅和 DEM₁₀₀的比较

比较 4 种 DEM 的立体影像,可以发现,DEM₁₀和 DEM₂₅可以较好地反映地面的沟谷状况,但是 DEM₂₅的图像还是没有 DEM₁₀图像清晰。DEM₉₀数据虽然不如上述两种 DEM 的清晰,基本上还可以表现地形及沟壑状况。

至于 DEM₁₀₀,可以清楚地看到,它的图像上地形表达更加概括,说明其对地形的表达能力不如 DEM₉₀数据。

2.1.2 高程分析 由于 DEM 数据本身所包含的就是高程信息,因此高程范围及平均高程的提取可直接从选择出的点集中计算出,理论上 DEM 的分辨率越高,高程的范围及平均高程值的提取精度就越高^[5]。因此也可以说明只有更高的高程精度才能对地形有更好的表现力(表 1)。

表 1 高程统计结果 m

项目	最大值	最小值	平均值	标准差
DEM ₁₀	1 547.56	1 037.90	1 286.05	83.16
DEM ₂₅	1 552.11	908.15	1 282.23	83.47
DEM ₉₀	1 532.00	1 046.00	1 282.48	80.74
DEM ₁₀₀	1 529.70	1 100.00	1 289.38	73.78

从表 1 的统计结果中我们可以看出,DEM₁₀和 DEM₂₅在这两个方面都优于 DEM₉₀数据,而 DEM₉₀

则明显优于 DEM₁₀₀。从图 2 的显示也可以很好的看出,不论是高程频率还是其累积值频率,DEM₁₀₀的表现明显不如另外 3 个。而 DEM₁₀,DEM₂₅ 和 DEM₉₀ 对地形高程的表达则比较接近。

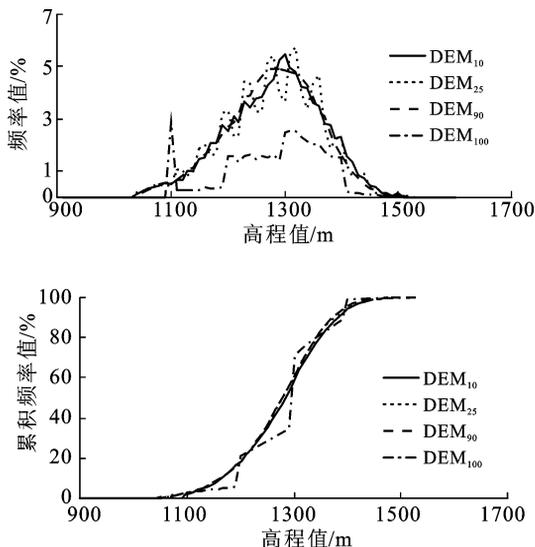


图 2 高程频率统计结果

2.1.3 沟壑密度的比较 沟壑密度是描述地面被沟壑切割破碎程度的一个指标。沟壑密度越大,地面越破碎,地表稳定性降低,且易形成地表径流,土壤侵蚀加剧。其从另一个方面也可以反映出不同分辨率数据对地形的表达能力,只有高分辨率的数据,才有可能准确表达地形获取较高的沟壑密度(见表 2)。

其数学表达式为

$$D_s = L / A$$

式中: D_s ——沟壑密度; L ——样区内的沟壑总长度(km); A ——指特定样区的面积(km²)。

表 2 沟壑密度统计结果

不同分辨率 DEM	DEM ₁₀	DEM ₂₅	DEM ₉₀	DEM ₁₀₀
沟壑密度值	5.23	2.40	1.07	0.96

通过上述 3 种地形形态的分析可见,DEM₁₀ 数据的表现是最好的,依此是 DEM₂₅,DEM₉₀,DEM₁₀₀。前人曾对东北川岗地区 SRTM 数据做过些研究,并得出 SRTM 数据对地形表现能力优于 1 : 50 000 地形图生成 DEM^[4],这可能与 SRTM 数据成像特点和研究区域有关系。

2.2 地形指标的分析

地形指标是地形的一个重要表达方式。研究地形的表达能力,可以通过获取其地形指标来分析。通常,我们采用的地形指标有坡度、曲率等,本次的研究增加了 L, S 因子。

2.2.1 坡度分析 地面坡度是与地表形态密不可分的一个地形因子,坡度的变化会引起一系列地形信息的相关变化^[6]。坡度能够反映地表形态的变化,是决定地表物质与能量再分配的关键地形因子。通常情况下,较高分辨率 DEM 提取的地面平均坡度往往大于较低分辨率 DEM。因此通过研究不同 DEM 的地面坡度差异可以在一定程度上反映出 DEM 的地形描述精度^[4]。

从表 3 中可以看出,DEM₁₀ 和 DEM₂₅ 平均坡度明显大于 DEM₉₀ 的平均坡度。DEM₉₀ 高于 DEM₁₀₀。

表 3 坡度统计结果 (°)

项目	最大值	最小值	平均值	标准差
DEM ₁₀	62.08	0	23.99	11.26
DEM ₂₅	76.66	0	21.18	11.81
DEM ₉₀	52.81	0.10	16.40	9.10
DEM ₁₀₀	54.74	0.01	8.79	10.20

对对不同坡度值出现的频率进行分析。在图 3a 所示的关系中,DEM₁₀ 和 DEM₂₅ 在低坡度值出现的频率最低,当然 DEM₉₀ 也存个别些点很低,但是总体上很高的出现频率,至于 DEM₁₀₀ 在统计的数据上,0° 坡度值的出现就达到了 44.97% 之高。

随着坡度值的增大,超过 30 后出现频率 DEM₁₀ 最高,依次 DEM₂₅,DEM₉₀ 和 DEM₁₀₀。在图 3b 中,坡度从小增大,频率的累计曲线 DEM₁₀ 呈略凹状,DEM₂₅ 次之,说明高坡度值出现频率较高,而 DEM₉₀ 和 DEM₁₀₀ 则呈凸状,这也说明它们在低坡度值出现高。可以看出 DEM₁₀ 对地形的表达效果最好,DEM₁₀₀ 的地形表现最差。

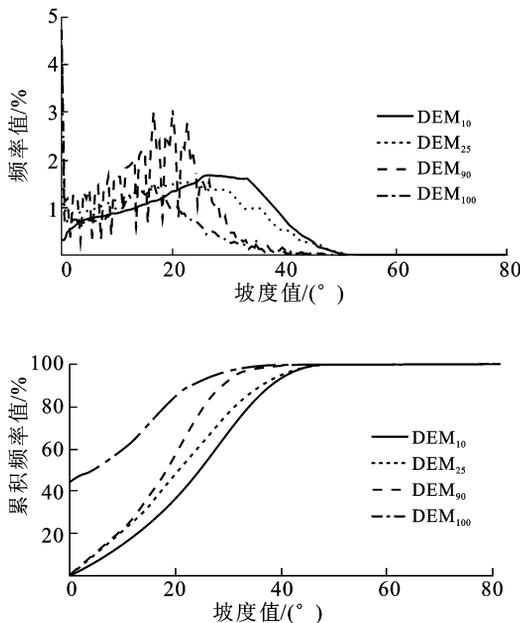


图 3 坡度的频率统计结果

2.2.2 曲率分析 地面曲率是对地形表面一点扭曲变化程度的定量化度量因子,地面曲率在垂直和水平两个方向分量分别称为剖面曲率和平面曲率。我们利用总曲率来分析不同 DEM 的地形表现,计算总曲率是需要剖面曲率和平面曲率,它是对地形表达的综合度量。

对于计算结果中的正负值,正值表示象元点向上凸起,负值表示象元点是凹形,而零值表示该象元点是平的。

一般的丘陵地区其值范围为[- 0.5,0.5],陡峭的山地为[- 4,4]。本文在统计分析的时候将其值都转换成正值,统计的结果值只表示地形的起伏程度。

从表 4 的统计结果中看出,对于最大值和最小值来说,由于数据可能存在异常点,造成某点的值异常,如 DEM₂₅ 的最大值。

从 DEM₁₀ 到 DEM₁₀₀,其地面平均曲率呈下降趋势,曲率的分布更加集中。并且图 4 中也清晰的反映了在低曲率值的区域,DEM₉₀ 与 DEM₁₀₀ 相比有着很高的出现频率。总的看来在曲率的表现方面,DEM₉₀ 数据还是不如 DEM₁₀ 和 DEM₂₅。但在总体上的表现是要好于 DEM₁₀₀。

表 4 曲率统计结果

项目	最大值	最小值	平均值	标准差
DEM ₁₀	13.44	0	1.22	1.04
DEM ₂₅	32.93	0	0.80	0.86
DEM ₉₀	2.37	0	0.44	0.33
DEM ₁₀₀	3.11	0	0.21	0.27

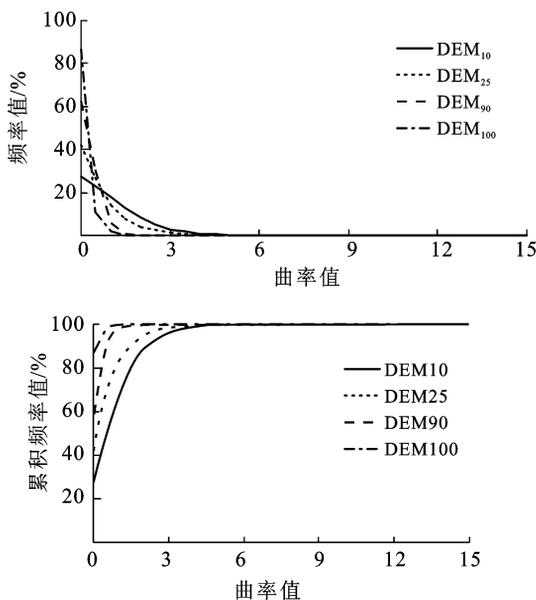


图 4 曲率的频率统计结果

对不同分辨率数据的地形指标分析中可以得出,DEM₁₀₀ 由于生成方法的限制,表面存在一些“平三角”,因而坡度表面有较大范围的 0 坡度,直接应用有困难;SRTM 数据虽然对地形反映能力不及 DEM₁₀ 和 DEM₂₅,但是优于 DEM₁₀₀,并且由于其可覆盖全国,可免费下载,因而在区域尺度研究中具有广泛应用前景。但是,SRTM 坡度频率统计存在抖动,其原因尚需要探讨。

2.3 L, S 因子分析

L, S 因子是美国著名的通用土壤水土流失方程式 USLE^[7] 中的地形因子。L 代表坡长因子, S 代表坡度因子。其主要作为 USLE 中的因子,来评估水土流失情况的,可以反映地形地貌特征对土壤侵蚀的影响^[8]。通过对 DEM₉₀ 数据提取的 L, S 因子和其它 3 种 DEM 提取的 L, S 因子进行比较,来分析 DEM₉₀ 数据在水土流失监测中的应用前景(见图 5)。

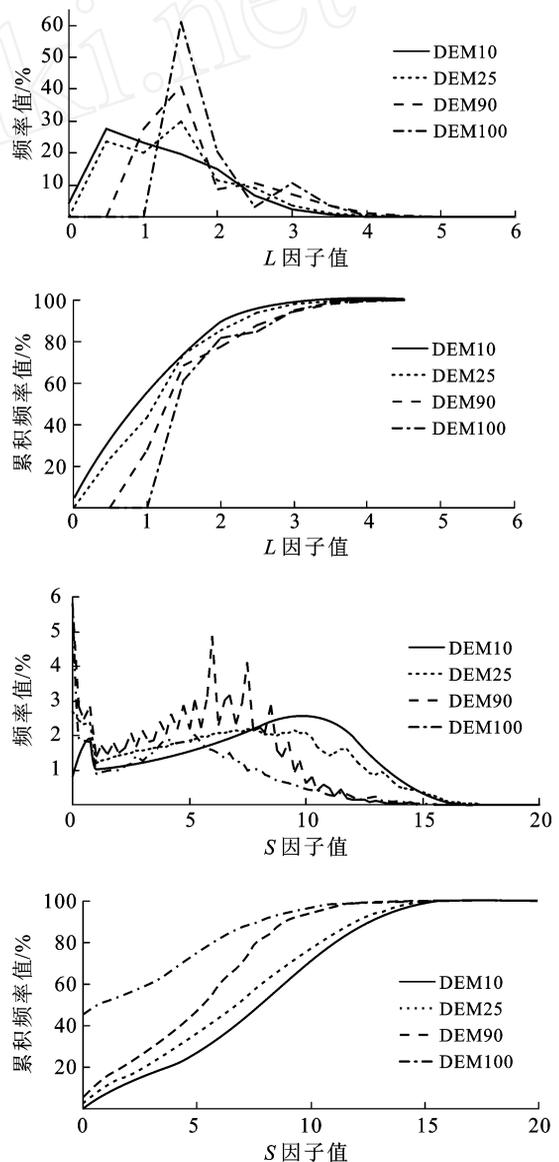


图 5 L, S 因子的频率统计结果

在前面的地形分析中,对地形表达能力最好的应该是 DEM₁₀,所以,我们可以将 DEM₁₀数据作为一个标准,来评价其它 3 种数据。在某种程度上,与 DEM₁₀的 L, S 因子频率图越近似,那么,它的 L, S 因子值可信度就越高。

如图 5 所示, L, S 因子的频率和累积频率图中,DEM₉₀的效果好于 DEM₁₀₀,与 DEM₂₅相比还有不足。但是这只是数据的对比,我们在以后的数据利用过程中,从使用范围和经济效益上考虑,SR TM 数据仍有一定的优势。这也可以为我们在以后做水土保持工作的数据选取应用作参考。

3 结论

经过以上的研究,我们认为在地形反映能力方面,SR TM 高于利用 1:25 万地形图建立的 DEM (DEM₁₀₀),接近但是不能达到 1:10 万地形图建立的 DEM (DEM₂₅),远不如利用 1:50 000 地形图建立的 DEM (DEM₁₀)。

本文的研究结果与前人认为 SR TM 数据质量高于 1:50 000 地形图生成的 DEM 数据^[4]的结论不相吻合,这可能与研究区域不同和 SR TM 数据成像特点有关。

SR TM 数据对地形的反映能力明显优于基于 1:25 万地形图建立的 100 m 分辨率 DEM。同时这种数据已覆盖了我国全部国土,且可免费下载,因而在区域性水文和土壤侵蚀模拟中,不失为一个良好的

数据源。然而,SR TM 数据也存在一些问题需要注意。本文发现的坡度频率抖动问题,以及前人的研究中提到的问题,均需要进一步研究解决。

[参 考 文 献]

- [1] Bernhard R, Michael E, Achim R. The shuttle radar topography mission: A new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2003, 57: 241-262.
- [2] 汪凌. 美国航天飞机雷达地形测绘使命简介[J]. 测绘通报, 2000, 12: 38-40.
- [3] 陈俊勇. 对 SR TM3 和 GTOPO30 地形数据质量的评估. 武汉大学学报: 信息科学版, 2005, 30 (11): 941-944.
- [4] 闫业超, 张树文, 岳书平. 东北川岗地形区 SR TM 数据质量评价[J]. 中国科学院研究生学报, 2008, 25 (1): 41-46.
- [5] 何长斌. 基于数字高程模型的区域地形因子提取方法[J]. 林业调查规划, 2007, 32(2): 18-21.
- [6] 何福红. 基于 GPS 不同测量间距的 DEM 地形信息提取沟蚀参数对比[J]. 水土保持学报, 2006, 20 (5): 116-120.
- [7] Meyer L D. Evolution of the universal soil loss equation [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1984, 3-4: 99-104.
- [8] 于行修, 杨桂山. 通用水土流失方程因子定量研究进展与展望[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(3): 14-18.