

文章编号: 1008 - 2786 - (2018)3 - 462 - 08

DOI: 10. 16089/j. cnki. 1008 - 2786. 000342

# 基于不同方向参考系 DEM 提取坡度的差异性分析

龙永清<sup>1</sup>, 张 旭<sup>2</sup>, 董梦洁<sup>3</sup>, 许存玲<sup>4</sup>

(1. 西北大学 城市与环境学院, 西安 710127; 2. 信息工程大学 地理空间信息学院, 郑州 450001;

3. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085; 4. 国家测绘地理信息局第一航测遥感院, 西安 710054)

**摘 要:** 坡度指标通常基于 DEM 数据以固定算法直接提取。坡度误差主要来源于算法模型误差和数据误差等, 很少顾及在建立 DEM 时空间参考系方向的变化引起的坡度差异。本文以数学高斯曲面为基准, 通过改变参考系 X、Y 轴方向, 对不同参考系下的 DEM 数据以三阶反距离平方权差分坡度算法提取坡度并分析其差异, 结果表明: 1. 空间参考系方向变化对坡度差异的影响与地表剖面曲率有关, 在山顶、谷底以及鞍部等坡度变化较为明显的地形区域, 较为显著, 两者成一定的正相关, 而且与坡向变化率也存在相关关系。2. 坡度、坡向差异随着空间参考系方向变化呈现周期性, 周期为 90°, 近似按正弦( $y = a \cdot \sin(\frac{1}{2}k\pi + \phi)$   $\phi \in [0, \pi/2]$ ) 规律变化, 在 45° 处达到峰值, 而在 0° 与 90° 附近, 6° 范围内平均差异变化较为平缓, 但与正弦曲线偏离较大, 且随着空间分辨率的降低, 参考系方向引起的坡度、坡向差异有增加的趋势。实验表明在研究区建立独立参考系时应顺应平均坡向原则, 以减小参考系方向对坡度、坡向的影响。

**关键词:** DEM ; 差异; 坡度; 空间参考系

**中图分类号:** P208

**文献标志码:** A

空间参考系是地理数据的基础, 特别是在数学高程模型 DEM 数据采集中, 由于数据格式以矩形格网的形式呈现, 空间参考系不同, 导致 DEM 在以格网形式离散表达地面出现差异。在科学研究中大部分情况下 DEM 数据是坡度、坡向等派生数据的基础, 而且坡度、坡向是最重要的地表形态指标之一<sup>[1-2]</sup>, 坡度研究历来受到地貌学<sup>[1-3]</sup>、水文学<sup>[4-5]</sup>、土壤侵蚀和水土保持<sup>[4,6-8]</sup> 等学科研究者的重视, 坡度研究具有重要理论和实用意义。坡度等派生数据的准确度、可靠度的意义不言而喻。在地理分析中, 坡度一般基于 DEM 通过数学计算获得。目前国内外基于 DEM 提取坡度误差研究分析主要体现在以下几方面: Skidmore<sup>[9]</sup> 针对各种坡度坡向算法进行分析, 评估了 30 m 分辨率下, DEM 数据对六种常用坡度、坡向算法精度的影响, 并没顾及

DEM 数据误差本身的来源, Florinsky<sup>[10]</sup> 在真实地形 DEM 上对坡度精度的分析研究中, 主要分析了由于 DEM 数据精度对坡度、坡向、水平与垂直地表曲率的影响, 同样对数据源误差并没有过多的顾及; Hodgson<sup>[11]</sup>、Jones<sup>[12]</sup> 等人的研究关注点在 DEM 数据的分辨率对坡度、坡向的影响; 汤国安、赵牡丹等<sup>[13]</sup> 选择不同地貌类型区分析了 DEM 所提取的地面平均坡度误差, 重点探讨了不同栅格分辨率下 DEM 提取坡度的情况, 讨论了 DEM 的尺度问题; 刘学军<sup>[16,17]</sup> 等提出分析坡度误差时应区分误差来源及其性质, 分别从模型误差、DEM 数据误差、格网分辨率等方面分析了对坡度的影响, 虽然在数据源误差中对误差进行了讨论, 甚至提及参考系对其的影响, 但没有进行深入分析。

在这一系列的坡度误差研究中, 重点涉及的是

**收稿日期** (Received date): 2016 - 06 - 05; **改回日期** (Accepted date): 2018 - 06 - 12

**基金项目** (Foundation item): 西北大学科学基金 (12NW40) ; 国家自然科学基金资助项目 (4131274) 。 [ Science Foundation of Northwest University (12NW40) ; General Program of National Natural Science Foundation of China (4131274) ]

**作者简介** (Biography): 龙永清 (1978 - ), 男, 讲师, 主要研究方向: 测绘工程、GIS 数据分析。 [ LONG Yongqing (1978 - ), male, lecturer, research on surveying and mapping engineering, data analysis of GIS ] E-Mail: sjxlyq@nww. edu. cn.

算法模型、DEM 数据、DEM 分辨率等对坡度、坡向的影响,对 DEM 数据源误差分类分析,特别是对于不同参考系方向时 DEM 对坡度、坡向的影响深入研究较少,大多数人未曾考虑参考系方向的选择对于 DEM 提取坡度的影响<sup>[14-15]</sup>,为了数据利用的方便,直接以地理北方向为基准建立空间参考系。为此,本文以基于不同方向参考系下所构建的 DEM,提取坡度、坡向进行对比分析,分析建立不同方向参考系 DEM 与坡度、坡向之间的关系,分析数据源误差中参考系对坡度、坡向的影响。为了克服模型误差、其它数据测量误差对分析结果的影响,本文采用合成高斯曲面作为理想数学曲面对不同方向参考系下建立的 10 m 与 20 m 格网分辨率的 DEM,利用同一坡度算法模型,对提取坡度的误差变化规律进行研究。

## 1 数据与方法

### 1.1 数据基础

由于实际地形复杂多变,尽量减小数据测量误差对分析的影响,故选用较为复杂且与实际地形较为切合的合成高斯曲面作为模型曲面,以研究 DEM 提取坡度值在空间参考系旋转后对坡度的影响。曲面的函数表达式如下:

$$f(x, y) = A(1 - \frac{x}{m})^2 e^{-(\frac{x}{m})^2 - (\frac{y}{n} + 1)^2} - B[0.2(\frac{x}{m}) - (\frac{x}{m})^3 - (\frac{y}{n})^5] e^{-(\frac{x}{m})^2 - (\frac{y}{n})^2} - C e^{-(\frac{x}{m} + 1)^2 - (\frac{y}{n})^2} + D \quad (1)$$

其中,参数设置分别为: $A = 150, B = 500, C = 24, D = 400, m = n = 500$ ,生成的高斯曲面界限定在 $[x, y] = [-500, 500]$ ,曲面如图 1、2 所示。利用 ArcEngine 和 C#二次开发对坐标系方向进行旋转,生成不同方向下的参考系,在此基础上建立 DEM 同时提取坡度、坡向,对不同方向参考系下生成 DEM 提取坡度、坡向值进行分析。

### 1.2 DEM 提取坡度算法选择

由于 DEM 本身是对地形曲面的微分模拟,所以对提取坡度这种以数值计算为主的地学分析模型影响非常显著<sup>[17]</sup>。地表上某点的坡度  $S$  是地形曲面  $Z = f(x, y)$  在东西( $Y$  轴)、南北( $X$  轴)方向上高程变化率的函数,即

$$S = \arctan \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (2)$$

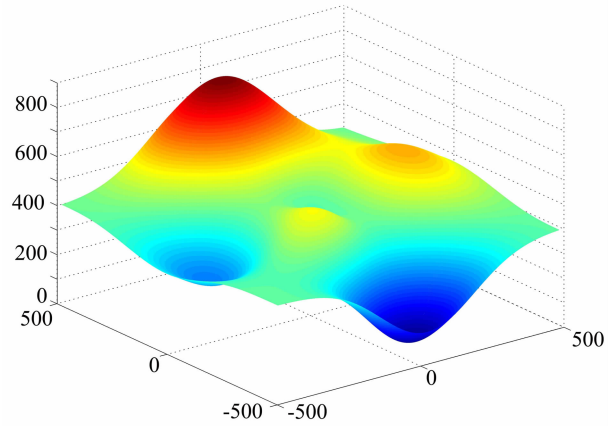


图1 合成高斯曲面

Fig. 1 Gauss synthesized surface

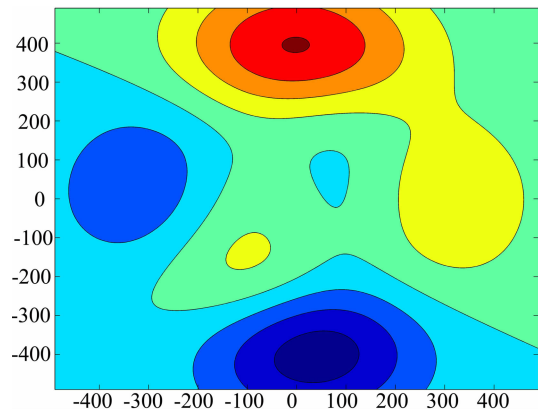


图2 高斯曲面等高线

Fig. 2 Contour of Gauss surface

式中, $f_x$  是南北方向高程变化率, $f_y$  是东西方向高程变化率。

在地理空间数据采集过程中常建立以地理北方向为参照的参考系,即正南正北的传统地理坐标系为标准平面参考坐标系<sup>[14-15]</sup>。然而实际中地形的分布<sup>[16]</sup>非常复杂,但是必须明确的一点是:地表的坡度是地形自身的固有属性,不会因参考系方向的变化而发生变化。然而当参考系建立方向不同时,因为 DEM 是以离散化形式表示的地形曲面,是通过离散点进行拟合,而得出的对地形进行一定程度模拟的曲面,故此参考系方向不同所拟合出的 DEM 格网方向也会发生变化,此改变会直接导致高程偏导数  $f_x$  和  $f_y$  值的变化,由坡度提取算法模型可知, $f_x$  和  $f_y$  值的改变会直接导致坡度值提取的误差。

依据 ARCGIS 在行业中的应用状况以及算法应用情况,本文使用 ARCGIS 中坡度算法模型三阶反距离平方权差分(Sobel 算法)的坡度计算方法作为分析模型。

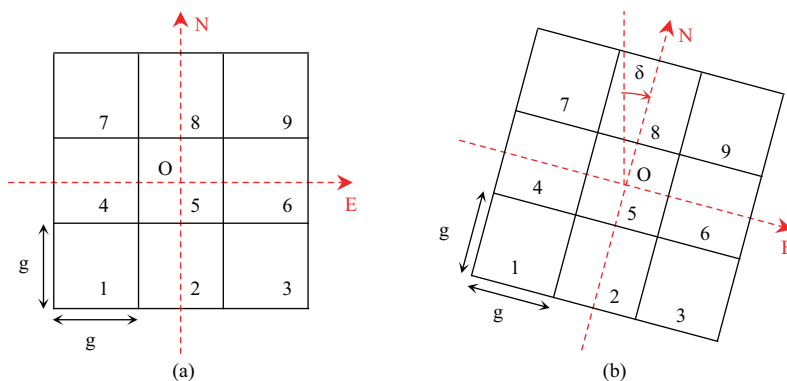


图3 DEM 3×3 局部旋转窗口

Fig.3 3×3 local rotating window of DEM

$$f_x = \frac{z_7 - z_1 + 2(z_8 - z_2) + z_9 - z_3}{8g}$$

$$f_y = \frac{z_3 - z_1 + 2(z_6 - z_4) + z_9 - z_7}{8g} \quad (3)$$

### 1.3 建立不同方向参考系 DEM

以原始高斯曲面离散化后建立的 DEM 作为标准参照(即未经旋转的参考系),如图 3a 所示模型,之后依次按绕 Z 轴旋转 15°、30°、45°、60°、75°、90°,分别建立相应的 DEM。

图 3(a)为 DEM 3×3 局部平移窗口,其中网格分辨率为  $g$ ,利用中心点 5 八方向的点,依据公式(3)计算关于中心位置的  $f_x$  和  $f_y$ ;图 3(b)为旋转  $\delta$  角度后的参考系下的 DEM 3×3 局部旋转窗口,保持中心位置 5 与网格分辨率  $g$  不变,中心点周边八方向点均发生了位置偏离,依据新的位置再次计算关于中心位置的  $f_x$  和  $f_y$ 。研究对高斯曲面按 10 m 与 20 m 间隔采样测试点,同时为消除边缘误差,将研究范围以外的区域设置为 Nodata 值,且从距离栅格边缘两个栅格处开始设置测试点。再以测试点为中心旋转不同角度,提取测试点为中心的八方向点,采用三阶反距离平方权差分算法计算坡度,将每个测试点在不同方向参考系下提取的坡度值进行对比,求出其差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 坡度误差周期性分析

由于旋转后的坐标可换算至标准坐标系中进行高程真值的提取,所以可以认为直接对数学曲面进行离散化获取的高程数据并没有测量误差,仅仅包括了由于曲面离散化而出现的误差<sup>[16]</sup>。因此误差主要体现在由于参考系方向改变而引起的坡度提取

值与“真值”的差异。

由三阶反距离平方权差分计算模型(3)式可知  $f_x$  与  $f_y$  具有轮换对称性,因此可得出参考系从 0° 旋转到 90° 所得出的规律为一个周期,即周期为 90°。

### 2.2 坡度差异分析

图 4 基于高斯曲面以 10 m 网格分辨率以测试点为中心旋转 15°、30°、45°、60°、75°、90° 后的参考系下提取相邻九个栅格点高程值后计算的坡度与原始未经旋转的参考系下计算的坡度相减后得到的坡度差异分布图。由图 4 看出,在参考系方向旋转 15°、30°、45°、60°、75° 时,在坡度较为均匀,起伏较小的地形区域差异值较为均匀;而坡度差异值在山顶、谷底以及鞍部等坡度变化较为明显的地形区域,较为显著。经分析发现,地形的剖面曲率越大的地形区域,该差异值越大,随着地形剖面曲率的减小,差异值逐渐减小,呈一定正相关。且该差异值与等高线的弯曲程度也有一定相关关系,在坡向变化较大的地形区域,差异值会增大。且从图中可以看出 0° 与 90°、15° 与 75°、30° 与 60°,有很好的相似性,也验证了理论公式得到的具有轮换对称性的特点,同时充分证明了该变化规律的周期为 90°。

将地理北方向坐标系标定方向为 0° 的参考系,将此参考系方向分别旋转  $\delta$  角度后所得到不同方向的参考系,将由原始数学曲面上计算出的坡度真值<sup>[18]</sup>当作检验标准的坡度矩阵,则可以评定各方向参考系下提取坡度的精确性水平。参照 DEM 精度评定中的中误差计算公式:假设由原参考系中所提取出的坡度为  $Z_k$  作为查验标准的坡度矩阵,由某方向参考系下所提取的坡度为  $R_k$ ,则定义坡度的差异可由以下计算公式得出:

$$\sigma = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n | (R_k - Z_k) | \quad (4)$$

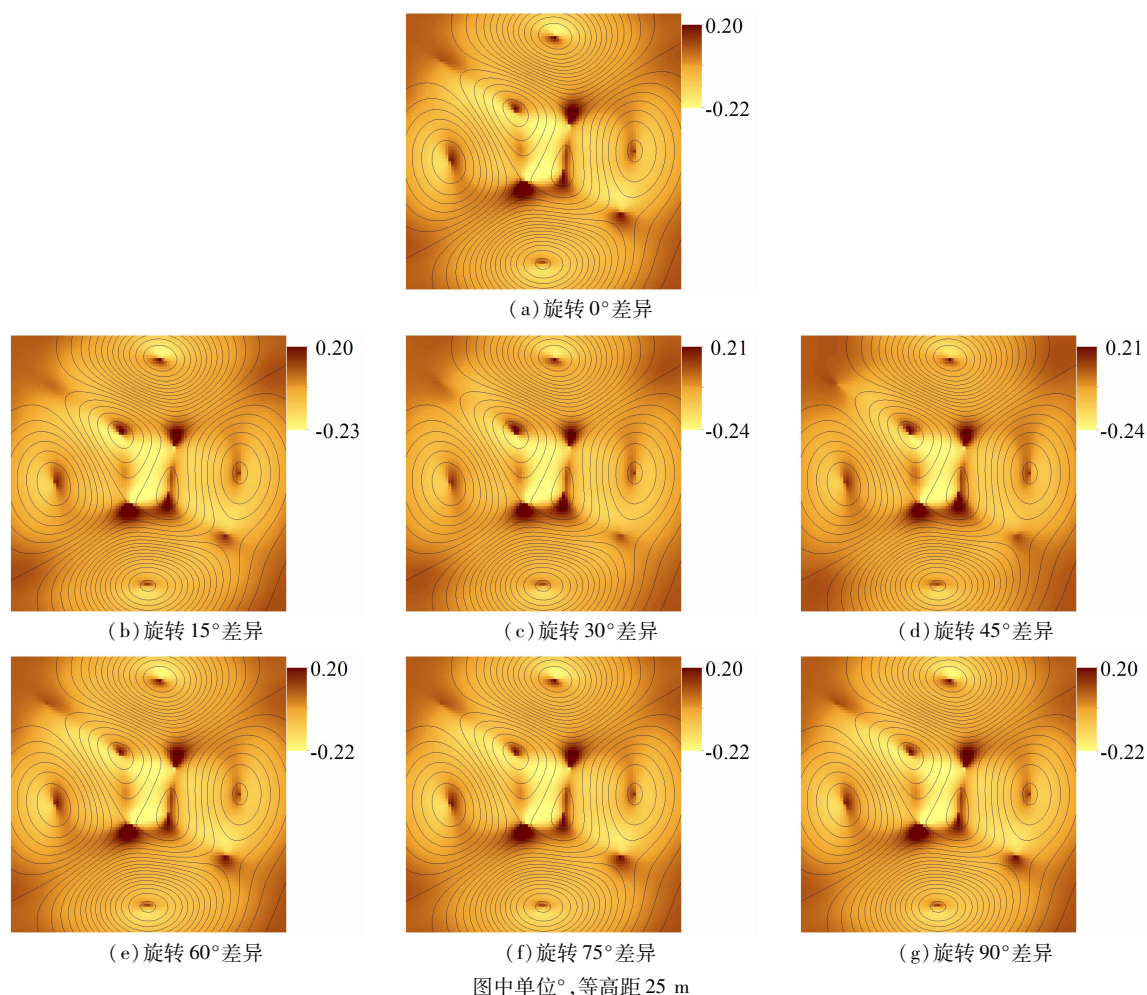


图4 不同方向参考系下坡度差异分布

Fig. 4 Error of slope derived from various orientation spatial reference system

此差异描述了由 DEM 所提取的地表坡度与其真值的相差程度,它的真正意义在于能够大致判断真值所处的范围<sup>[13]</sup>,而本文所需要研究的规律恰恰是得出由于参考系方向改变而导致所提取的坡度坡向值的变化范围,因此使用该差异分析较为合适。为了方便分析,保证图形的连续性,在旋转参考系是以间隔 3° 旋转一次,按 5° 间隔对坡度分级统计,且大于 60° 的划为一级别。为了保证分析数据的一致性,以坡向 0° 为基准对所有测试点的坡度差异按旋转角度大小排序。图 5、6 为坡度分级下的差异图。

从图 5、6 可以看出在 10 m、20 m 分辨率下,以坡向 0° 为基准,虽然不同的坡度级别,但其平均差异随着参考系旋转角度的变化,均以 90° 为周期近似按正弦规律 ( $y = a \cdot \sin(\frac{1}{2}k\pi + \phi)$   $\phi \in [0, \pi/2]$ ) 变化,在 45° 处达到峰值,但在 0° 与 90° 附近,6° 范围内平均差异变化较为平缓,与正弦曲线偏离较

大。10 m 分辨率下参考系方向与基准 0° 坡向成 45° 夹角时,坡度小于 35° 以下,差异表现较为明显,平均差异均在 0.02° 以上,在 35° 以上坡度时随着坡度的增大,平均差异呈下降趋势。且在 0° 与 90° 附近可以看出,平缓的地方差异较陡峭的地方的差异更为明显,但均值都不大,在 0.01° 以内。20 m 分辨率下参考系方向与基准 0° 坡向成 45° 夹角时,差异表现较为明显,平均差异均基本上在 0.06° 以上,特别是在 5° - 35° 之间,差异更为明显,均值可达 0.09°。且在 0° 与 90° 附近可以看出,60° 以上级别差异明显,达到 0.06°,但 60° 以上级别平均差异在整个周期内变化较为平缓,变化不大,即对参考系旋转表现不明显。

### 2.3 坡向差异分析

依据坡度分析过程类似,参考公式(4),同理分析坡向差异。按 5° 间隔坡度分级统计坡向平均差异,且大于 60° 的划为一级别。为了保证分析数据



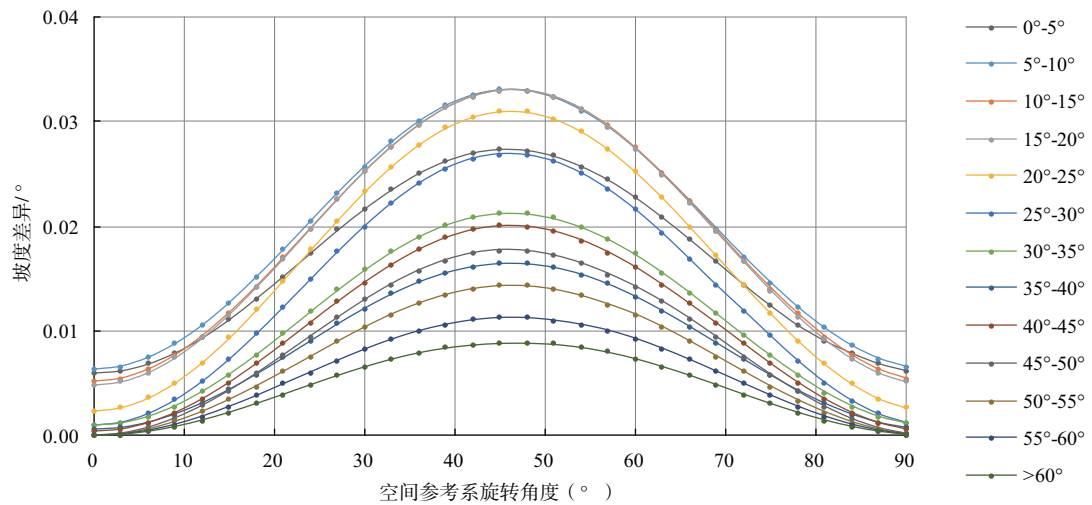


图5 坡度分级差异(网格分辨率:10 m)

Fig.5 Slope errors in each classification (gridsize:10 m)

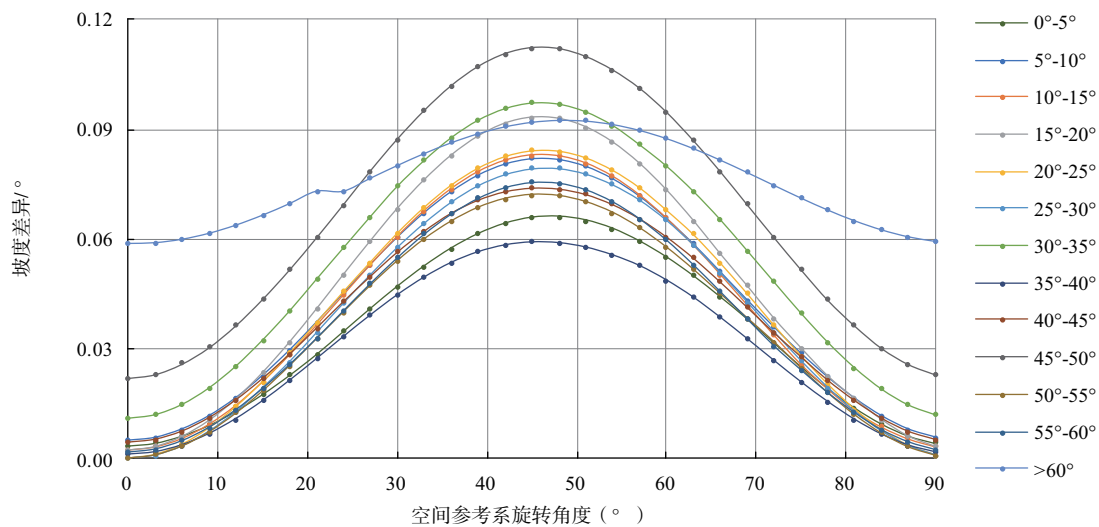


图6 坡度分级差异(网格分辨率:20 m)

Fig.6 Slope errors in each classification (gridsize:20 m)

的一致性,以坡向 $0^\circ$ 为基准对所有测试点的坡向差异按旋转角度大小排序。如图7、8为坡向分级下的差异统计图。

在两种分辨率下,由图7、8可以看出,以坡向 $0^\circ$ 为基准,虽然不同的坡度级别,但其平均差异也随着参考系旋转角度的变化,均以 $90^\circ$ 为周期近似按正弦( $y = a \cdot \sin(\frac{1}{2}k\pi + \phi)$   $\phi \in [0, \pi/2]$ )规律变化,在 $45^\circ$ 处达到峰值,但在 $0^\circ$ 与 $90^\circ$ 附近, $6^\circ$ 范围内平均差异变化较为平缓,与正弦曲线偏离较大。10 m分辨率下参考系方向与基准 $0^\circ$ 坡向成 $45^\circ$ 夹角时,各坡度级别下平均差异的差别不明显,但在20 m分辨率下各坡度级别平均差异的差别明显,从 $0.06^\circ$ 变化到 $1.40^\circ$ ,且基本呈现随着坡度级别的增

大,平均差异以减小,在 $60^\circ$ 以上级别降低到 $0.06^\circ$ 。

### 3 讨论

刘学军<sup>[17]</sup>在讨论DEM结构特征对坡度影响时提出当DEM方向与原始方向夹角为 $45^\circ$ 的倍数时取得误差极值,与本实验所得出的一个周期内平均差异在 $45^\circ$ 时达到峰值的结论是一致的。从数据分析中可以看出在建立测量参考系时,参考系方向与坡向不一致时,能引起坡度、坡向的差异,且在 $45^\circ$ 夹角时达到最大,在 $0^\circ$ 与 $90^\circ$ 附近小于 $6^\circ$ 以内,参考系方向引起的坡度、坡向差异能降到比较小的范围。而当分辨率从10 m降到20 m时,参考系方向引起

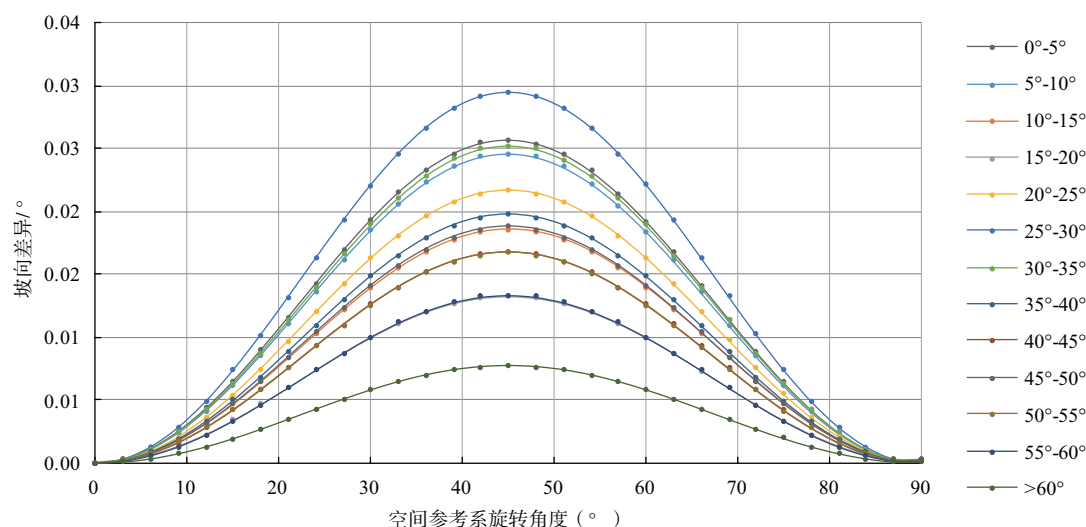


图7 坡向分级差异(网格分辨率:10 m)

Fig. 7 Aspect errors in each classification (gridsize:10 m)

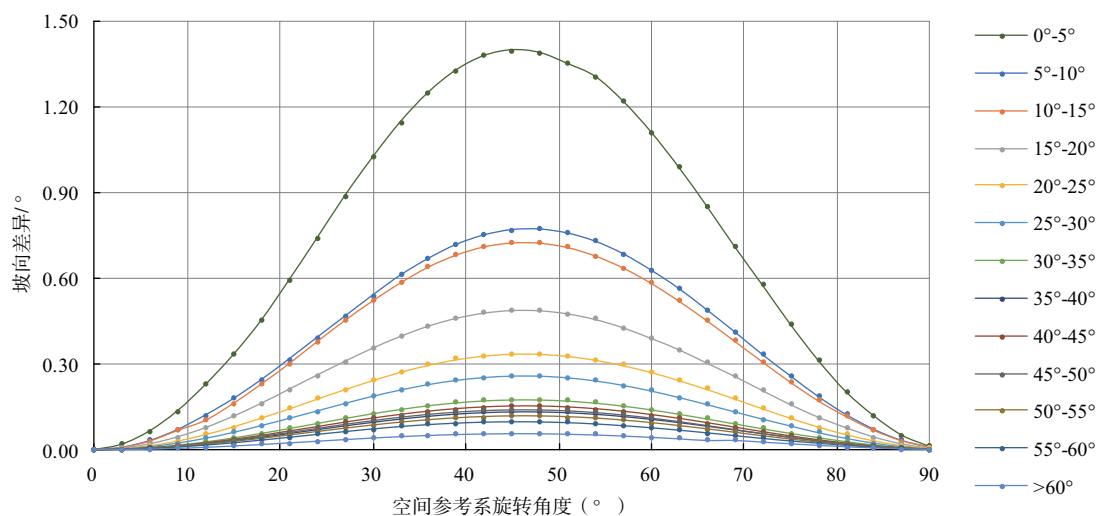


图8 坡向分级差异(网格分辨率:20 m)

Fig. 8 Errors in each classification (gridsize:20 m)

的坡度、坡向差异明显增加。

在水土保持与土壤侵蚀研究过程中,在小流域进行 DEM 数据采集或野外坡度测量时,很少有人考虑到参考系方向的选择,传统的正南正北地理空间参考系往往被当作标准平面参考系<sup>[14-15]</sup>,因此而带来的空间参考系方向误差常常被忽略。同时在土壤侵蚀试验研究中,特别是实验小区尺度上的人工模拟降雨试验中,部分人也会考虑将实验小区长的方向定义为 Y 坐标方向,将宽的方向定义为 X 方向,但却未能说明如此布设参考系的理论根据所在,本文可为在此类研究中如何建立最适应地形分布的参考系,从而最大程度减小参考系引起的坡度坡向差异提供理论依据。

## 4 结论

(1) DEM 空间参考系方向变化导致提取的坡度带来差异,特别在地面剖面曲率变化大的峰、谷边界、鞍部等典型地形处,坡度差异表现最为突出。

(2) 参考系方向引起坡度、坡向差异,呈现周期性,且周期为 90°,以 0°坡向为基准时,参考系方向与坡向成 45°夹角时,达到峰值;在 0°与 90°附近,6°范围内平均差异变化较为平缓,与正弦曲线偏离较大;随着空间分辨率的降低,参考系方向引起的坡度、坡向差异有增加的趋势。随着坡度的增大,参考系方向对坡度、坡向差异的影响基本呈下降的趋势。

(3) 参考系方向的改变带来了 DEM 离散过程中位置的不同导致坡度、坡向差异。实验表明,在试验小区或小流域内建立参考基准时为减小参考系方向带来的差异,应考虑建立空间参考系方向与区域内平均坡向相适应,且认为在  $\pm 6^\circ$  范围内比较合理。

## 参考文献 (References)

- [1] STRAHLER, A N. Quantitative slope analysis [J]. Geological Society of America Bulletin, 1956, **67**(5): 571 - 596
- [2] EVANS I S. General geomorphometry, derivatives of altitude and descriptive statistics [M] // Spatial Analysis in Geomorphology. New York: Harper and Row, 1972: 17 - 90
- [3] STRAHLER A N. Statistical analysis in geomorphic research [J]. The Journal of Geology, 1954, **62**(1): 1 - 25
- [4] BEVEN K J, KIRKBY M J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology [J]. International Association of Scientific Hydrology Bulletin, 1979, **24**(1): 43 - 69
- [5] 刘昌明, 李道峰, 田英, 等. 基于 DEM 的分布式水文模型在大尺度流域应用研究 [J]. 地理科学进展, 2003, **22**(5): 437 - 445 [LIU Changming, LI Daofeng, TIAN Ying, et al. An application study of DEM based distributed hydrological model on macroscale watershed [J]. Progress in Geography, 2003, **22**(5): 437 - 445]
- [6] ARMSTRONG R N, MARTZ L W. Topographic parameterization in continental hydrology: a study in scale [J]. Hydrological Processes, 2003, **17**(18): 3763 - 3781
- [7] SMITH D D, WISCHMEIER W H. Factors affecting sheet and rill erosion [J]. Eos Transactions American Geophysical Union, 1957, **38**(6): 889 - 896
- [8] 李占斌, 朱冰冰, 李鹏. 土壤侵蚀与水土保持研究进展 [J]. 土壤学报, 2008, **45**(05): 802 - 809 [LI Zhanbin, ZHU Bingbing, LI Peng. Advancement in study on soil erosion and soil and water conservation [J]. Acta Pedologica Sinica, 2008, **45**(05): 802 - 809]
- [9] SKIDMORE A K. A comparison of techniques for the calculation of gradient and aspect from a gridded digital elevation model [J]. Geographical Information Systems, 1989, **3**(4): 323 - 334
- [10] FLORINSKY I V. Accuracy of local topographic variables derived from digital elevation models [J]. International Journal of Geographical Information Science, 1998, **12**(1): 47 - 61
- [11] HODGSON M E. What cell size does the computed slope/aspect angle represent? [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1995, (61): 513 - 517
- [12] JONES K H A. Comparison of algorithms used to compute hill slope as a property of the DEM [J]. Computer and Geosciences, 1998, **24**(4): 315 - 323
- [13] 汤国安, 赵牡丹, 李天文, 等. DEM 提取黄土高原地面坡度的不确定性 [J]. 地理学报, 2003, **58**(06): 824 - 830 [TANG Guoan, ZHAO Mudan, LI Tianwen, et al. Modeling slope uncertainly derived from DEMs in Loess Plateau [J]. Acta Geographica Sinica, 2003, **58**(06): 824 - 830]
- [14] 江忠善, 王志强, 刘志. 黄土丘陵区小流域土壤侵蚀空间变化定量研究 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, **2**(1): 1 - 9 [JIANG Zhongshan, WANG Zhiqiang, LIU Zhi. Quantitative study on spatial variation of soil erosion in a small watershed in the loess hilly region [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1996, **2**(1): 1 - 9]
- [15] 游松财, 李文卿. GIS 支持下的土壤侵蚀量估算——以江西省泰和县灌溪乡为例 [J]. 自然资源学报, 1999, **14**(1): 63 - 69 [YOU Songcai, LI Wenqing. Estimation of soil erosion supported by GIS — a case study in Guanji township, Taihe, Jiangxi [J]. Journal of Natural Resources, 1999, **14**(1): 63 - 69]
- [16] 刘学军, 龚健雅, 周启鸣, 等. 基于 DEM 坡度坡向算法精度的分析研究 [J]. 测绘学报, 2004, **33**(3): 258 - 263 [LIU Xuejun, GONG Jianya, ZHOU Qiming, et al. A study of accuracy and algorithms for calculating slope and aspect based on grid digital elevation model (DEM) [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2004, **33**(3): 258 - 263]
- [17] 刘学军, 龚健雅, 周启鸣, 等. DEM 结构特征对坡度坡向的影响分析 [J]. 地理与地理信息科学, 2004, **20**(6): 1 - 5, 39 [LIU Xuejun, GONG Jianya, ZHOU Qiming, et al. Research on error of derived slope and aspect related to DEM data properties [J]. Geography and Geo-Information Science, 2004, **20**(6): 1 - 5, 39]
- [18] 刘学军, 任志峰, 王彦芳, 等. 基于 DEM 的任意方向坡度计算方法 [J]. 地域研究与开发, 2009, **28**(04): 139 - 141 [LIU Xuejun, REN Zhifeng, WANG Yanfang, et al. Slope model at arbitrary direction derived from grid-based DEM [J]. Areal Research and Development, 2009, **28**(04): 139 - 141]
- [19] 汤国安, 宋佳. 基于 DEM 坡度图制图中坡度分级方法的比较研究 [J]. 水土保持学报, 2006, **20**(2): 157 - 160, 192 [TANG Guoan, SONG Jia. Comparison of slope classification methods in slope mapping from DEMs [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, **20**(2): 157 - 160, 192]

## Analysis of the Diversity of Slope Gradients Derived from DEM based on Spatial Reference Systems with Varied Orientations

LONG Yongqing<sup>1</sup>, ZHANG Xu<sup>2</sup>, DONG Mengjie<sup>3</sup>, XU Cunling<sup>4</sup>

(1. College of Urban and Environmental Science, Northwest University, Xi'an 710127, China;

2. Institute of Geographical Spatial Information, Information Engineering University, Zhengzhou 450001, China;

3. Research Center of Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China;

4. First institute of photogrammetry and remote sensing. SBSM, Xi'an 710054, China)

**Summary:** Slope metrics are usually based on DEM data and are extracted directly using a fixed algorithm. Slope errors mainly are attributed to algorithm model errors and data errors, with little regard for the differences in slopes generated by changes in the directions of a spatial references when building DEM. In this paper, based on the mathematical Gaussian surface and by changing the direction of a reference frame X and Y, the derived slope gradients from DEM data were analyzed by the third - order reverse distance squared weight differential slope algorithm under different reference frames. Results showed that: 1. the influence of the change in the direction of spatial reference systems on slope difference was related to the curvature of a surface profile. In the terrain areas where the slope changes are more obvious, such as the top of a mountain, valley bottom, and saddle, they were positively related to each other. There was also a correlation with the rates of changes in aspect. 2. The difference between slope and slope direction was periodic with the change of the direction of a spatial reference system. The period was  $90^\circ$ , which shifted approximately according to the sine ( $y = a \cdot \sin(\frac{1}{2}k\pi + \phi)$   $\phi \in [0, \pi/2]$ ) law, reaching the peak at  $45^\circ$ . Around  $0^\circ$  and  $90^\circ$ , the average variation in the  $6^\circ$  range was relatively flat, but it deviated greatly from the sinusoid, and as the spatial resolution decreased, the slope and slope direction caused by the reference system direction increased. The experiment suggested that the principle of average slope direction should be complied with in the establishment of independent reference system in a study area, so as to reduce the influence of reference system on slope and slope direction.

**Key words:** DEM; diversity; slope gradient; spatial reference system