

不同比例尺 DEM 提取地面坡度的精度研究 ——以在黄土丘陵沟壑区的试验为例

汤国安^{1,2}, 杨勤科¹, 张勇², 刘咏梅², 刘新华¹

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北大学城市与资源学系, 陕西 西安 710069)

摘要: 以陕北绥德县韭园沟流域为试验样区, 采用高精度 1: 1 万 DEM 所提取的坡度为准值, 应用多层次复合分析和比较分析的方法, 研究该地区 1: 5 万 DEM 提取地面坡度的误差特征与纠正方法。试验结果显示, 所获得的不同空间尺度下 DEM 所提取坡度值的转换图谱, 可对 1: 5 万 DEM 计算的地面坡度统计值进行有效修正。该成果对于 DEM 数据在水土保持领域若干应用标准的制定, 提供了重要的理论依据与技术路线。

关键词: DEM; 坡度; 精度; 误差

文献标识码: A

文章编号: 1009-288X(2001)01-0053-04

中图分类号: P283.7

Research on Accuracy of Slope Derived From DEMs of Different Map Scales

TANG Guo-an^{1,2}, YANG Qin-ke², ZHANG Yong², LIU Yong-mei², LIU Xin-hua¹

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling District 712100, Shaanxi Province, PRC; 2. Department of Urban and Resource Sciences, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi Province, PRC)

Abstract Taking Juyuan watershed in Suide county of northern Shaanxi province as a test area, applying overlay and comparative laws as a basic research methodology and 1: 10 000 DEM as a criterion, a research on the errors simulation and the rectify method in deriving slope gradient from 1: 50 000 scale DEMs was made. A gradient correction down-scaling model obtained can effectively rectify the slope statistical values in the hill and gully area of the loess plateau, which is of great significance in enacting related standards in the fields of both soil erosion monitoring and soil conservation.

Keywords DEM; slope; accuracy; error

1 引言

数字高程模型 (Digital Elevation Model, 简称 DEM) 是地面高程的数字表示, 是 GIS 中赖以进行三维空间数据处理与地形分析的核心数据。目前, 利用 DEM 数据, 在 GIS 平台支持下自动提取地面坡度的方法已基本成熟^[1]。我国国家测绘部门也基本上完成了基于 1: 5 万地形图的 DEM 的建设。为地形分析工作的开展创造了十分有利的条件。然而, 由于 1: 5 万地形图原始等高线误差及 DEM 地形描述误差^[8]的影响, 在不同程度上影响了 DEM 地形分析的精确性。当前, 西部大开发中诸多黄土高原生态环境建设工程项目, 特别是水土流失监测与水土保持规划工作的开展都急需高精度 DEM 数据的支持, 摸清 DEM 地形描述误差的基本规律, 特别是对地面坡度提取精

度的影响, 找出误差测定与纠正的方法, 都具有十分重要的意义。

不同比例尺与分辨率 DEM 在地形信息载量与精度上无疑存在着明显的差异, 由于缺乏相应理论的指导, DEM 用户在实际应用中极可能造成盲从或失误。陕西省有关部门曾利用 1: 25 万 DEM 对黄土丘陵沟壑地区地面坡度进行分级统计, 得到与实际相差甚远的结果。国家测绘部门最近完成的 1: 5 万 DEM, 虽然栅格空间分辨率达到 25 m, 但是, 由于地形图本身已经经过了相当的程度的制图综合与取舍, 特别在黄土丘陵沟壑区等地形起伏较大的地区, 仍难以准确反映地面的实际变化结果, 图 1 显示 1: 5 万 DEM 所提取的地面坡度与同一地区 1: 1 万 DEM 所提取的结果所存在的差距。假定后者为准值, 前者在估算大于 25° 耕地面积上将产生 24.3% 的误差。虽然以上

收稿日期: 2001-01-11

资助项目: 国家自然科学基金 (49971065); 中国科学院创新研究项目: 区域水土流失分析与评价 (99-01-05); 陕西省教育厅专项研究基金 (00JK150)

作者简介: 汤国安 (1961-), 男 (汉族), 博士, 副教授。主要从事 GIS 与遥感应用技术研究。E-mail: tguoan@xaonline.com

DEM地形描述误差的产生是必然的与不可避免的,但摸清误差的成因规律,特别是寻找出最大限度纠正误差理论与方法,不但是十分必要的,而且是当前DEM应用工作中亟待解决的关键问题。国内外学者在DEM提取地面坡度精度的研究方面已经取得了不少重要的成果。Carter (1992), Gao (1997)分析了DEM分辨率对提取地面坡度的影响^[2,3];李国忠(1996)对DEM所提取地面坡度的精度进行了初步的比较与探讨^[4];Tang G. (2000)^[5]等更详细地探讨过DEM误差对所提取坡度在宏观与微观层面的影响,并对坡度误差的空间分布规律进行了较为深入的分析^[5,6]。然而,对于不同空间尺度DEM所提取地面坡度统计值的误差分布特征与纠正方法的研究,尚未涉及。

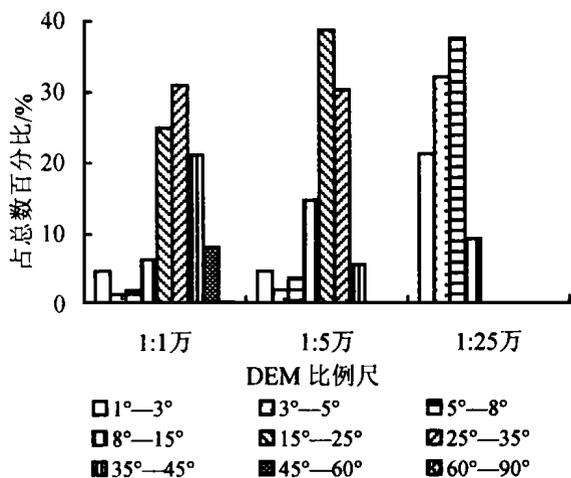


图 1 不同比例尺 DEM 提取地面坡度对比

本研究在大量试验的基础上,通过对 1:5万和 1:1万 DEM 提取坡度的叠置比较与统计分析,寻求在黄土丘陵沟壑区利用 1:1万 DEM 所获得的坡度数据校正 1:5万数据的技术方法。其重要意义更在于,在目前黄土高原地区尚未建立 1:1万 DEM 的条件下,有可能利用已有的 1:5万 DEM,经过“坡度转换图谱”的修正,获得所需精度的地面坡度统计信息。从而为当前黄土高原山川秀美工程中退耕还林草详细规划方案的制定,提供重要的决策支持。

2 试验基础与分析方法

2.1 试验样区与信息源

试验样区位于陕西省绥德县韭圆沟流域内,试验样区面积 100 km^2 ($10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$),属于典型的黄土丘陵沟壑地貌类型区。该研究区地表支离破碎,沟谷纵横,沟壑密度 7.18 km/km^2 ,地表平均坡度为 28.7° ,平均地面粗糙度为 1.18。图 2 显示试验区的基本地形特征。韭圆沟流域一直是黄委会水土保持重点

实验区之一,多年来积累了大量有关水土流失与水土保持基础资料,有利于研究工作的开展。采用国家测绘部门编制的 1:1万及 1:5万地形图作为建立 DEM 的基本信息源,等高距分别为 10、20 m

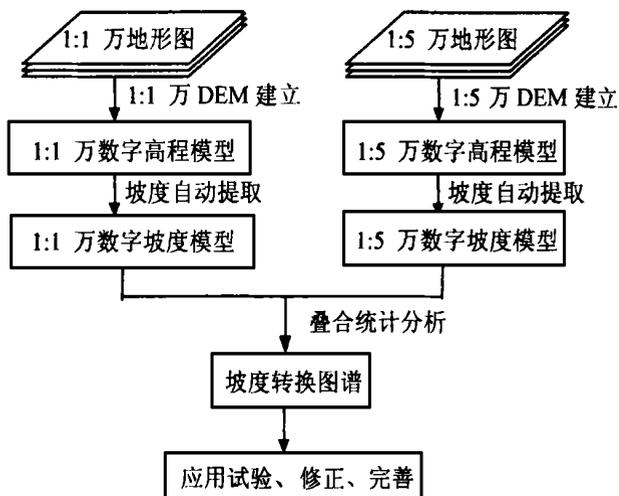


图 2 试验技术路线

2.2 试验步骤及技术要点

GIS叠置比较分析与数理统计的方法为本次实验的基本方法。实验的基本步骤如图 2所示。

(1) 地面坡度一般定义为地表水平面和实际地形表面之间夹角的正切值^[7];目前,利用 DEM 提取地面坡度的算法有较多种类,本研究应用的 ARC/INFO 地理信息系统软件平台采用的是 Burrough, P. A. (1986) 提出的窗口微分分析法。即坡度的计算在 3×3 个 DEM 格网窗口中进行。窗口在 DTM 数据矩阵中连续移动后完成整幅图的计算工作。

$$\text{坡度} = \text{tg}P = \left[\left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2}$$

式中: $\frac{\partial z}{\partial x}, \frac{\partial z}{\partial y}$ 一般采用 2阶差分方法计算。

图 3所示的格网,对于 (i, j) 点有:

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{(Z_{i,j+1} - Z_{i,j-1}))}{2W_x}$$

$$\frac{\partial z}{\partial y} = \frac{(Z_{i+1,j} - Z_{i-1,j}))}{2W_y}$$

式中: W_x, W_y ——格网结点在 x, y 向的间隔。

(2) 为保证实验结果的精确性与通用性,DEM 的建立方法基本上采用国家测绘局制定的 DEM 生产技术规范标准,为利于实验分析的进行,根据黄土高原的实际,提高了所建 DEM 的空间分辨率。即将 1:1万 DEM 的水平分辨率由 12.5 m 提高到 5 m

(3) 本研究采用水土保持工作所普遍采用的临界坡度分级标准作为基本的分级方案,并结合自身研究特点进行分级延伸。分级方法如下: $0^\circ - 3^\circ, 3^\circ - 5^\circ, 5^\circ - 8^\circ, 8^\circ - 15^\circ, 15^\circ - 25^\circ, 25^\circ - 35^\circ, 35^\circ - 45^\circ, 45^\circ -$

60° , $60^\circ-90^\circ$, 共 9 级。按照以上坡度分级方案, 对 1: 5 万数字坡度模型进行重分级处理, 获得分级化的栅格数字坡度模型。

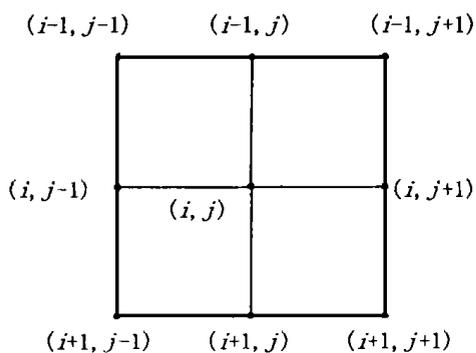


图 3 DEM 分析窗口

(4) 如图 5 所示, 对于每个 1: 5 万比例尺的 25 m 分辨率的栅格元, 都对应有 25 个 1: 1 万比例尺 5 m 分辨率的对应栅格。因此, 对于每个 1: 5 万 DEM 栅格所提取的地面坡度分级值, 也都存在 25 个 1: 1 万比例尺的对应坡度值。根据相同地貌类型在空间变化具有相当

程度自相关性的原理, 对于 1: 5 万 DEM, 所提取的每一级坡度对应于 1: 1 万的多栅格坡度组合也应当有较强的相似性^[8]。我们将这样一种基于大量统计分析求得的, 在不同比例尺与分辨率下, DEM 所提取地面坡度的量化转换关系称之为“不同空间尺度 DEM 提取地面坡度的转换图谱”^[9]。

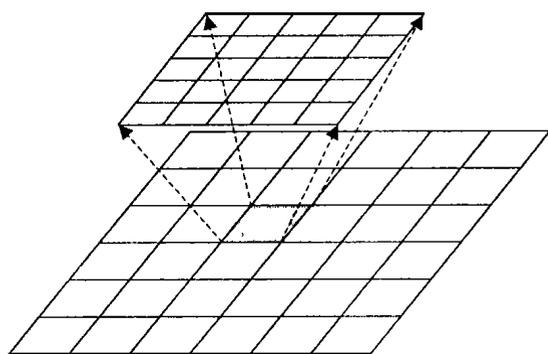


图 4 1: 5 万与 1: 1 万 DEM 栅格对应关系

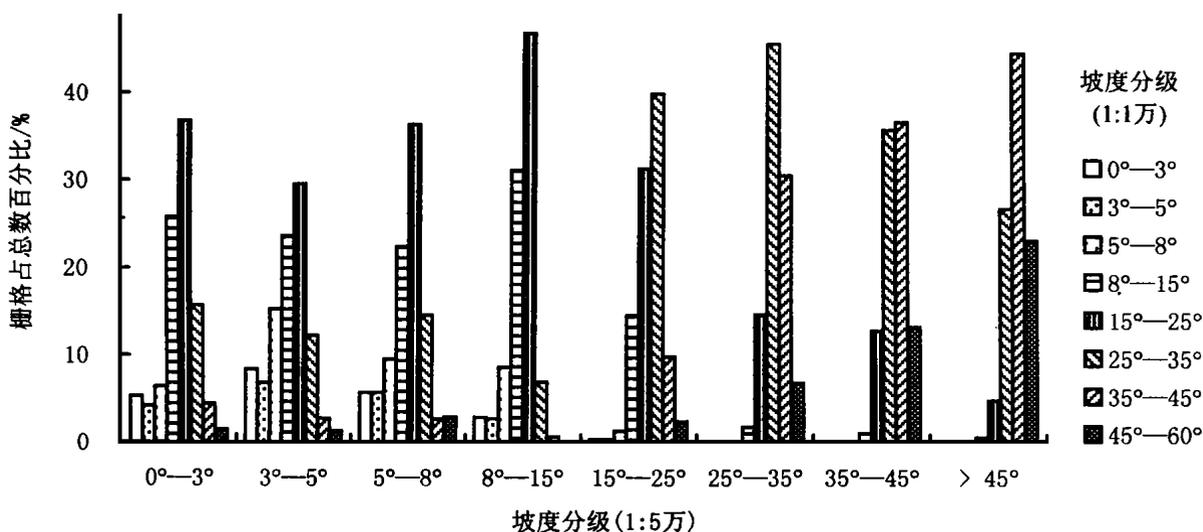


图 5 1: 5 万—1: 1 万坡度转换图谱

3 试验结果与分析

3.1 试验结果

图 6 为根据试验数据统计分析获得的 1: 5 万与 1: 1 万 DEM 所提取地面坡度的转换图谱。根据统计直方图的数据分布特征, 可以将其分为 3 种不同的类型。

(1) 1: 5 万数字坡度模型在 $0^\circ-3^\circ$, $3^\circ-5^\circ$, $5^\circ-8^\circ$ 这 3 个坡度级内, 所对应的 1: 1 万坡度值大都集中在 $15^\circ-25^\circ$ 级内。两种不同信息源所提取的坡度提取结果存在很大的差异。在 1: 5 万 DEM 所提取的数字坡

度模型中, 5° 以下的缓坡地主要为沟底地 (占总面积 78%), 但同 1: 1 万数字坡度模型的对比发现, 25 m 分辨率的 DEM 在冲沟密布的黄土丘陵沟壑区沟道内, 往往程度不同地造成高程采样栅格在所模拟地面的架空, 将陡坡误判为缓坡, 而产生图谱中的坡度组合特征。

(2) 1: 5 万数字坡度模型在 $8^\circ-15^\circ$, $15^\circ-25^\circ$ 坡度级范围内, 其地面实际坡度组成的峰值后移了一个级带, 在 1: 5 万数字坡度模型中, 这 2 级坡度主要分布在沟间地内。

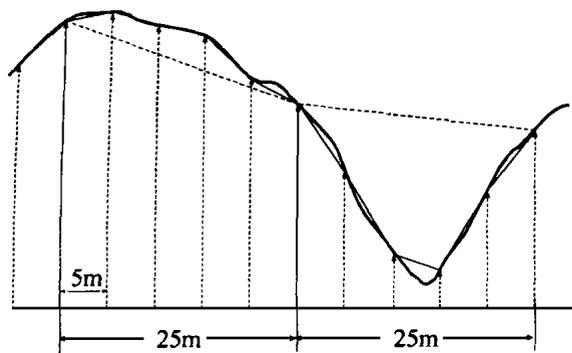


图 6 栅格在沟谷处架空,将陡坡误判为缓坡

表 1 坡度转换图谱对 1:5 万 DEM 所提取坡度的误差纠正率

样区名									%
	0°—3°	3°—5°	5°—8°	8°—15°	15°—25°	25°—35°	35°—45°	45°—90°	平均纠正率 P%
辛店沟	89.3	89.7	90.1	91.2	92.9	93.0	91.1	90.5	90.98
燕沟	87.4	88.6	91.5	90.9	91.7	94.2	90.2	89.0	90.44

4 结 论

(1) 虽然 1:1 万与 1:5 万地形图同属于大比例尺地形图,但依据该两种地形图所建立的数字高程模型,在黄土高原地形描述精度上存在着很大的差异。与 1:1 万 DEM 相比,1:5 万 DEM 所提取的地面坡度无论在最终统计结果还是空间分布特征上都存在着较大的系统误差。直接利用 1:5 万 DEM 数据进行区域水土流失监测或水土保持规划工作,其分析结果的可信度将是较低的。

(2) 通过样区试验所获得的 1:5 万与 1:1 万 DEM 不同空间尺度的坡度转换图谱,对于有效纠正 1:5 万所提取地面坡度的统计误差具有很好的效果,各坡度级的纠正率在 86% 以上,平均纠正率达 90% 以上。

(3) 虽然该图谱的建立以实验区内 4 000 000 个采样点的数据为统计依据,具有相当的可靠性,但是,该图谱一般适合用于对较大工作区域统计数据的纠正,而不宜应用在某一具体栅格坡度值的纠正。另外,该坡度转换图谱的应用具有地域性的特点。图谱的获得以黄土丘陵沟壑区的土壤侵蚀 I 区为试验样区获得,在土壤侵蚀 II 区的延安地区燕沟流域检验仍得到较好结果,应当适合在该类地区的应用。对于其它类型区,由于地貌的特征有较大的差异,应当建立相应的坡度转换图谱。

(4) 建立整个黄土高原乃至全国重点水土流失

(3) 1:5 万数字坡度模型在 25°—35°, 35°—45°, 45°—60° 达级坡度范围内。其中前 2 级与 1:1 万所出现峰值的坡度基本对应,但在 45°—60° 这一级,对于在陡崖旁架空的栅格,反而出现在该栅格内,实际较缓坡的面积大于陡坡面积的情况。

3.2 坡度转换图谱的适用性与应用精度

以绥德县辛店沟流域以及延安燕沟流域为例进行验证。通过 1:1 万 DEM 所提取坡度与利用坡度图谱纠正的 1:5 万 DEM 所提取坡度的比较,证明坡度转换图谱具有相当理想的纠正效果(见表 1)。

地区多尺度地形指标的转换图谱,本研究的理论思路与技术方法,对于实现其它不同空间尺度地理信息之间的有效转换,都具有重要的意义。

[参 考 文 献]

- [1] Bolstad P V, Stowe T. An evaluation of DEM accuracy: Elevation, Slope, and Aspect[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1994, 60(11): 1327—1332.
- [2] Carter J. The effect of data precision on the calculation of slope and aspect using gridded DEMs[J]. Cartographica, 1992, 29(1): 22—34.
- [3] Gao J. Resolution and accuracy of terrain representation by grid DEMs at a micro-scale[J]. Geographical Information Science, 1997, 11(2): 199—212.
- [4] 李国忠. 关于 DEM 的高程、坡度、坡向精度评估[J]. 黑龙江测绘, 1996, 19(2): 87—89.
- [5] Tang G. A research on the accuracy of digital elevation models[M]. Beijing: Science Press, 2000.
- [6] 汤国安. 数字高程模型在黄土丘陵沟壑区地面坡度图制作中的应用[Z]. 神府地区资源与环境遥感调查及制图. 北京: 科学出版社, 1994.
- [7] 李志林, 朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 2000.
- [8] 汤国安. DEM 地形描述误差空间结构分析[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2000, 20(4): 349—352.
- [9] 陈述彭, 等. 地学信息图谱研究及其应用[J]. 地理研究, 2000, 19(4): 339—343.