

文章编号 1000-5013(2004)01-0079-04

不同空间尺度 DEM 坡度转换图谱分析

陈 燕 汤国安 齐清文

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 西北大学城市资源学系, 陕西 西安 710069)

摘要 从地理学的宏观与实际需求的角度出发, 选择代表黄土高原典型地貌类型(黄土丘陵沟壑区、破碎塬区、梁峁区)的 3 个样区作为试验区. 试验以 1:10 000 高精度地形图的 5 m 空间分辨率 DEM(数字高程模型)所提取的地面坡度为准值, 运用 GIS、数理统计和比较分析等方法, 研究基于 1:50 000 地形图的 25 m 空间分辨率 DEM 所提取地面坡度的误差特征与纠正方法. 文中应用地学信息图谱的理论和方法, 经过反复实验、分析, 找到一个精度较理想的, 可适用于黄土高原不同地貌类型的坡度转换图谱. 同时, 利用它实现对基于 1:50 000 地形图的 25 m 空间分辨率 DEM 提取地面坡度统计值的误差纠正, 为其应用精度提供参考标准和依据. 此外, 它也可以为各类 DEM 的适用性、应用精度的科学估算, 以及有关标准的制定, 提供科学依据.

关键词 DEM, 地面坡度, 信息图谱, 地理学

中图分类号 P 283.7

文献标识码 A

数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)是区域地面高程的数字表示, 也是赖以进行地形分析的核心数据^[1]. 目前, 我国已基本完成基于 1:50 000 地形图的 DEM 建设. 但是, 对于从不同地形复杂度、不同空间分辨率及不同比例尺的 DEM 提取地面坡度^[2]的精度研究, 却几乎与坡度及 DEM 在各领域的广泛应用严重脱节. 1:50 000 地形图因自身的制图综合和 DEM 生产过程中产生的误差^[3], 使得基于 1:50 000 地形图的 25 m 空间分辨率 DEM, 对实际地面的描述和模拟产生了极大的误差. 利用 DEM 提取的地面坡度, 势必会使栅格单元内的实际地形复杂度及坡度组成均一化. 特别是黄土丘陵沟壑沟壑纵横、地形破碎、谷深坡陡, 坡度变化急的特点被极大的平缓化. 由此提取出来的坡度, 是无法真实的反映实地地形地貌. 这也为这一地区的水土保持、土地利用规划等各方面工作, 带来极大的干扰和困难^[4]. 不同的地貌类型选择何等 DEM 比例尺、何等级别的 DEM 空间分辨率, 才能达到某项预定的分析应用结果, 是当前迫切需要解决的问题. 因此, 在国家地形数据库广泛投入使用的时候, 加紧从 DEM 提取地面坡度的精度研究, 探求误差纠正方法^[5]. 由此得到不同地形条件下的不同空间分辨率、不同比例尺 DEM 提取坡度图谱^[6], 实现误差纠正. 这是十分必要的.

1 研究基础与技术路线

1.1 试验样区与数据源

本次试验选择了 3 个代表黄土高原典型地貌类型的样区. (1) 韭园沟样区. 位于陕西省绥德县无定河中游左岸, 属于典型的黄土丘陵沟壑区代表流域, 总面积 100 km². 样区平均比降为 1.15%, 沟壑密度为 5.34 km·km⁻², 海拔为 820~1 180 m. (2) 长武样区. 位于咸阳地区西北角, 地形属破碎塬区, 塬高、沟深、坡陡, 沟壑密度为 1.26 km·km⁻², 海拔 900~1 200 m. (3) 延安样区. 位于陕北黄土高原中

收稿日期 2003-07-11

作者简介 陈 燕 (1976-), 女, 博士研究生. 主要从事遥感应用、数字高程模型及地学信息图谱的研究. E-mail: chenyan@igsnr.ac.cn

基金项目 国家自然科学基金资助项目(49971065); 中国科学院知识创新工程领域前沿基金资助项目(CXJ0GD001-01)

部,地形属于黄土高原梁峁区,丘陵起伏,梁峁相间,相对切割深度 120~220 m,海拔 860~1 525 m^[7]. 本次研究所需的基于 1 50 000 地形图的 DEM 数据,来源于目前已完成的覆盖全国的 DEM 数据库,其空间分辨率为 25 m × 25 m. 基于 1 10 000 地形图的 DEM 数据是按照国家标准和操作规范,通过扫描矢量化 1 10 000 地形图等高线,利用线性内插法建立起来的高精度 DEM,其空间分辨率为 5 m × 5 m. 这两种 DEM 建立过程中的原始地形图图廓点,都经过精密的几何坐标纠正,保证图廓点的准确套合,但受到大地坐标的控制. 这些处理保证了最后两种 DEM 的配准套合^[1].

1.2 试验流程与技术要点

1.2.1 试验流程 试验工作流程,如图 1 所示.

1.2.2 试验步骤与技术要点 (1) 坡度提取. 地面坡度一般定义为地表水平面,与实际地形表面之间的正切值. 目前,利用 DEM 提取地面坡度的算法有四块法、空间矢量分析法、拟合曲面法和直接解法. 经分析证明,拟合曲面法是解决坡度的最佳方法. 拟合曲面法一般采用二次曲面,即 3 × 3 窗口,每个窗口中心为一个高程点. 本次研究应用的 ARC/INFO 地理信息系统软件平台,是 Borrough 提出的窗口微分分析法(曲面拟合法). 即坡度的计算是在 3 × 3 个 DEM 网格窗口中进行. 窗口在 DEM 数据矩阵中连续移动后,完成整幅图的计算工作^[8]. 即坡度 $\text{tg } P = [(a_z/a_x)^2 + (a_z/a_y)^2]^{1/2}$, 式中, a_z/a_x , a_z/a_y 一般采用二阶差分方法计算. 图 2 所示的格网,对于 (i, j) 点有 $a_z/a_x = (Z_j, (j-1) - Z_i, (j-1))/2_x$, $a_z/a_y = (Z(i-1), j - Z(i-1), j)/2_y$. 其中, x , y 为格网结点在 X, Y 方向上的间隔. (2) 坡度数据复合统计. 如图 3 所示,对于每个空间分辨率为 25 m,以 1 50 000 地形图为基础的 DEM 来说,每个格网必然对应着 5 × 5 个空间分辨率为 5 m,并以 1 10 000 地形图为基础的 DEM 格网. 为保证两种不同空间分辨率的 DEM 提取的地面坡度之间的对应相关分析,首先对 25 m 空间分辨率的 DEM 重采样,栅格大小为 5 m. 然后,分别求算不同分辨率 DEM 的地面坡度并求整坡度. 将求整后的两种不同分辨率 DEM 的坡度栅格数据层面叠加,查看其 INFO 表. 分别统计在不同坡度级的条件下,1 50 000 数字坡度模型,用其对应 1 10 000 数字坡度模型的栅格统计值^[4].

本研究采用水土保持工作普遍采用的临界坡度分级标准,并将其作为基本的分级方案. 结合研究特点进行分级延伸,共分为 9 个等级. 分别是 0°~3°, 3°~5°, 5°~8°, 8°~15°, 15°~25°, 25°~35°, 35°~45°, 45°~60°, 60°~90°. 按此分级标准,分别对由 5 m 和 25 m 的空间分辨率 DEM 提取的

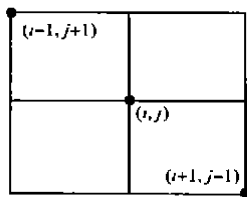


图 2 DEM 分析窗口

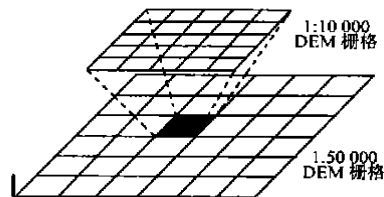


图 3 两种 DEM 栅格对应关系

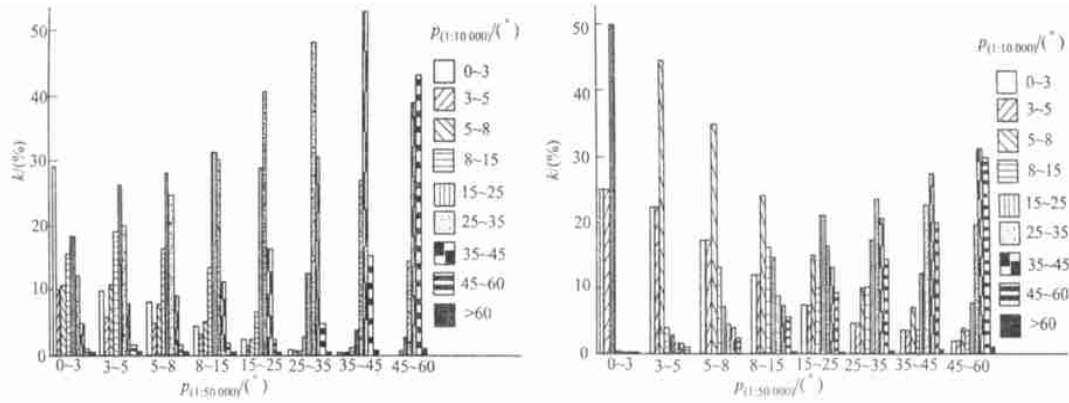
地面坡度进行分级处理,获得分级化的栅格数字坡度模型. 利用软件对数据进行相关回归及统计分析,最终得到不同空间分辨率 DEM 的坡度转换图谱^[9].

2 本实验结果与分析

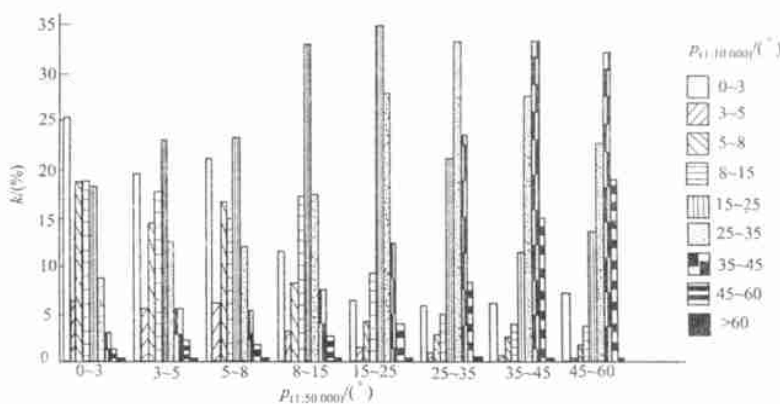
2.1 实验结果

本次研究 3 个样区的坡度转换图谱,如图 4 所示. 图中, k 为栅格占总数的百分比, p 为坡度分级. (1) 在 0°~3° 级内,韭园沟与延安样区主要集中在 0°~3°, 5°~25° 级内,以 0°~3° 级为最高;长武样区全部在 0°~8° 级内,以 5°~8° 级为最高. (2) 在 3°~5° 级内,韭园沟样区主要集中在 5°~35° 级内,其中以 15°~25° 级为最高;长武样区主要集中在 0°~8° 级内,以 5°~8° 级为最高. 延安样区在 0°~3°, 5°~25° 级内,以 15°~25° 级为最高. (3) 在 5°~8° 级内,韭园沟样区主要集中在 8°~35° 级内,以 15°~25° 级为最高;长武样区集中在 0°~15° 级内,以 5°~8° 级为最高;延安样区在 0°~3°, 8°~35° 级内,以 15°~25° 级为最高.

(4) 在 8°~15° 级内,韭园沟样区与延安样区主要集中在 8°~35° 级内,以 15°~25° 级为最高;长武样区均配在 0°~25° 级内,以 5°~8° 级为最高。(5) 在 15°~25° 级内,韭园沟样区与延安样区主要集中在 8°~35° 级内;长武样区均分配在 5°~45° 级内,以 15°~25° 级为最高。(6) 在 25°~35° 级内,韭园沟样区与延安样区主要集中在 15°~45° 级内。长武样区主要分配在 15°~60° 级内,以 15°~25° 级为最高。(7) 在 35°~45°, 45°~60° 级内,韭园沟样区、延安样区与长武样区均集中在 15°~60° 级内,以 35°~45° 级为最高。



(a) 韭园沟样区 (b) 长武样区



(c) 延安样区

图 4 坡度转换图谱

2.2 坡度转换图谱的应用

2.2.1 坡度转换图谱的适用范围 观察韭园沟、长武、延安样区得到的坡度转换图谱,可以发现不同地貌类型的样区所.其得到的坡度转换图谱的特征,差别较大.因此,该图谱具有地域性的特点.同一地貌类型的 DEM 坡度转换应选用相同的坡度转换图谱,不可以互相取代.同时,坡度转换图谱的建立是基于大量采样点的统计数据得到的,只能适用于较大区域的坡度纠正,而不应当应用于单一的 DEM 栅格内的坡度纠正.

2.2.2 坡度转换图谱的使用方法 首先从国家基础空间数据库中得到目标区域这是基于 1:50 000 地形图的 25 m 空间分辨率 DEM.利用 GIS 软件提取 DEM 的地面坡度,循水土保持工作普遍采用的临界坡度分级标准对提取的坡度进行的分级.它可以得到 1:50 000 DEM 的各个级别坡度的面积,或者占该区域总面积的百分比.然后,利用坡度转换图谱对每一级别进行转换,即按照坡度转换图谱中各列对应的 1:10 000 DEM 的各坡度级别的百分比,进行转换与计算.基于 1:50 000 DEM 提取的地面坡度按每一级别转换完后,将转换后得到的坡度按 1:10 000 的坡度分级级别分别相加,最终得到地面坡度在各个级别分布的面积或在整个区域分布的百分比.它比较真实地反映实际地面坡度的分布情况.蔡家沟与赵家沟,均为黄河水利委员会重点实验区韭园沟流域的支沟.通过对基于 1:50 000 地形图 25 m 空间分辨率的 DEM,以及基于 1:10 000 地形图 5 m 空间分辨率 DEM 提取地面坡度分析.同时,按水土保持工作普遍采用的方法分级,利用坡度转换图谱对 1:50 000 DEM 提取的地面坡度进行精度纠正.这样,可以将得到的结果

与分级后的 1 10 000 DEM 提取的地面坡度相比较 ,所得到的误差纠正率() ,如表 1 所示 . 从表可以发
现 ,坡度转换图谱具有非常理想的纠正效果. 表中 ,平均纠正率 是按 1 50 000DEM 提取的. 即其各级
别的坡度占流域总面积的百分比赋权重 ,各级别的纠正率 与权重相乘相加得到的.

表 1 坡度转换图谱纠正效果表 (%)

区域	0°~3°	3°~5°	5°~8°	8°~15°	15°~25°	25°~35°	35°~45°	45°~60°	—
蔡家沟	82.41	86.63	94.67	96.99	95.79	97.89	99.40	84.64	96.38
赵家沟	84.51	73.76	98.02	95.25	99.17	96.60	99.70	73.00	96.91

3 结束语

本次研究仅限于黄土高原区的地貌类型. 因此 ,还需在此基础上对其它的地貌类型进行研究. 要找出
不同地貌类型下的坡度转换图谱的共性与差异所在 ,为以后更深入的研究和应用打好良好的基础.

参 考 文 献

1 Bolstad P V , Stowe T. An evaluation of DEM accuracy: Elevation , slope , and Aspect [J]. Photogrammetric Engineering and Re-
mote Sensing , 1994 , 60(11) : 1 327 ~ 1 332

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 Tang G. A research on the accuracy of digital elevation models[M]. Beijing : Science Press ,2000. 1 ~ 221

5 Skidmore A K. A comparison of techniques for calculating gradient and aspect from a gridded digital elevation model[J]. Int. J.
Geographical Information Systems , 1989 , 3(4) : 323 ~ 334

6 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. 1 ~ 34

7 汤国安 ,杨勤科 ,张 勇 .不同比例尺 DEM 提取地面坡度的精度研究[J]. 水土保持通报 ,2001 , 21(1) : 53 ~ 56

8 陈述彭 ,岳天祥 ,励惠国 .地学信息图谱研究及其应用[J]. 地理研究 ,2000 , 19 (4) : 337 ~ 343

9 蒋定生 .黄土高原水土流失与治理模式[M]. 北京 :中国水利水电出版社 ,1997. 10 ~ 15

Analysis of Slope Change Atlas Drawing from Digital
Elevation Models of Different Spatial Scales

Chen Yan Tang Duo an Qi Qingwen

(Inst. of Geograph. Sci. & Natural Resource Res. , CAS , 100101 , Beijing , China ;
Dept. of Urban & Resources , Northwest Univ. , 710069 , Xi an , China)

Abstract From the viewpoint of geography and the demand of practical application , area of ravine and area of kalaclastic plateau and
area of rigid of loess hills are chosen to represent typical land forms of loess plateau. By adopting the ground slope drawing from high ac-
curacy digital elevation model (DEM) based on 1 10 000 relief map with 5 m spatial resolution as criterion , and by using ground instru-
mentation and mathematical statistics and comparative analysis as methods , a study is made on the error character and correction method
of the ground slope drawing from DEM based on 1 50 000 relief map with 25 m spatial resolution. By applying theory and method of
Geur-info-TUPU , the authors have found a slope change atlas with fairly ideal accuracy for the use of different landforms of loess plateau
after repeated experiment and analysis and verification. This slope change TUPU realizes error correction of statistical values of ground
slope drawing from DEM based on 1 50 000 relief map with 25 m soatial resolution. It provides its application accuracy with reference
standard and basis. It also provides the rough calculation of serviceability and application accuracy of all kinds of DEMS as well as the
formulation of relevent standards with scientific basis.

Keywords digital elevation model (DEM) , slope , information TUPU , geography