

不同空间尺度 DEM 地形信息 容量综合对比研究

张志进¹, 李永胜², 李文梅^{3,4}

(¹ 山东省地质测绘院, 山东 济南 250002; ² 武汉弘图数码科技有限公司, 湖北 武汉 430074

³ 南京大学 国际地球系统科学研究所, 江苏 南京 210093;

⁴ 南京大学地理与海洋科学学院, 江苏 南京 210093)

摘要 DEM 包含了大量地形信息, 是进行地形分析的基本数据。由于 DEM 数据的多尺度因素, 加之地形、地貌特征具有宏观性与区域分异性的特点, 不同尺度下的 DEM 地形信息容量具有较大的差异。本研究选取黄土高原地区的绥德、佳县、富县和宜君县四个实验样区, 以 Arc view/GIS 软件为技术平台, 提取了基于 DEM 数据的地形因子, 并运用比较分析与数理统计的方法, 对地形因子的提取结果进行了分析, 获取了单一值因子的量化表达模型, 确定了 DEM 地形信息容量与分辨率、地域及比例尺之间的量化相关关系, 并在此基础上分析了 DEM 地形信息容量在不同空间尺度上的分异规律。

关键词 DEM 空间尺度 地形信息容量 分辨率 地形分析

中图分类号: P223

文献标识码: A

文章编号: 1672- 4097(2011)01- 0029- 05

1 引言

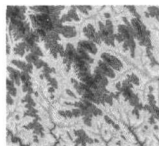


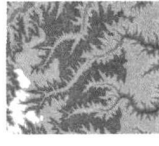
随着 GIS 应用领域的不断扩展和需求层次的日益提高, 人们越来越多地需要对多尺度的空间数据进行分析、处理和表达。数字高程模型(DEM) 是地理信息系统地理数据库中最为重要的空间信息资料和赖以进行地形分析的核心数据系统, 是对地面特性进行空间描述的一种有效的数字方法途径, 也是地形分析的主要途径。而地形分析又依赖于地形信息。所谓地形信息是指关于地面形态与起伏特征的知识, 地形的起伏与变化特征直接影响地表物质迁移与能量转换的方式、规模与速率, 制约着地表过程的进程、发展方向及地面景观的形成^[1, 2, 5]。

本研究通过分析体现地形信息的关键地形因子, 提取多种尺度地形因子, 并对其进行量化统计, 分析地形信息量在各空间尺度上的差异, 进行量化模型的模拟建立, 并在此基础上综合探索 DEM 地形信息容量与分辨率、比例尺、地域三者的相关关系。

2 实验区简介

本研究所选实验样区概况如下:

表 1 实验样区简介

样区名称、DEM 渲染图	实验样区地理位置、地貌概况
 黄河峡谷丘陵陵区(佳县)	东经:110°00'00"—110°03'45" 北纬:38°17'30"—38°20'00" 位于陕西佳县, 沟壑发育, 沟壑密度 5—8 km/km ² , 地面破碎, 破裂度达到 60% 左右。坡面及沟谷流水侵蚀河重力侵蚀均较剧烈, 年土壤侵蚀模数达 15 000 t/km ² 以上, 水土流失极为严重。海拔 1 110—1 310 m, 相对高差 200 m。
 黄土崩状丘陵沟壑区(绥德)	东经:110°15'00"—110°22'30" 北纬:37°32'30"—37°37'30" 位于陕西省绥德县无定河中游, 属于典型的黄土丘陵沟壑区代表流域。总面积 100 平方公里, 区内丘陵起伏, 沟壑纵横, 土壤侵蚀极为剧烈, 土地类型复杂, 主沟长 18 km, 沟壑密度 5.34 km/km ² , 海拔 814—1 188 m, 相对高差 374 m。
 黄土梁崩丘陵陵区(富县)	东经:109°30'00"—109°37'30" 北纬:36°10'00"—36°15'00" 位于陕西省甘泉县城东南部洛河中游地区, 实验样区总面积 100 平方公里, 海拔 1 145—1 458 m, 相对高差 313 m。
 黄土梁状丘陵陵区(宜君)	东经:109°18'45"—109°26'15" 北纬:35°25'00"—35°30'00" 位于陕西省宜君县城东北部洛河中下游地区, 塬面坡度 3—10°, 沟壑密度 2—3 km/km ² , 沟谷溯源与下切侵蚀强烈。塬面海拔 900—1 200 m, 相对切割深度 100—200 m, 沟谷溯源侵蚀强烈, 重力侵蚀活跃, 年侵蚀模数 5 000—10 000 t/km ² , 海拔 761—1 158 m, 相对高差 397 m。

3 不同空间尺度地形因子对比分析及地域分异

3.1 DEM 分辨率与比例尺间的关系

DEM 的分辨率分为垂直分辨率和水平分辨率。水平分辨率是指 DEM 栅格在水平方向边长的大小。严格意义上讲分辨率与比例尺之间并不存在严格的量化关系,但在利用国家基本比例尺地形图建立 DEM 的过程中,结合地形图数据精度和 DEM 的表达效果等因素,一般采用如下公式来描述两者的关系: $R = 0.5 M / 1000$ (M 为地图比例尺的分母)(R 单位: 米)。根据这一经验公式可以得出 DEM 的分辨率比例尺之间有明确的对应关系。

3.2 不同分辨率下各地形因子精确对比分析及其地域分异规律

本文主要研究在不同分辨率下各单一值地形因子的对比分析及其地域分异规律,具体包括三个方面: 平均坡度分析, 平均综合曲率分析, 沟壑密度分析。

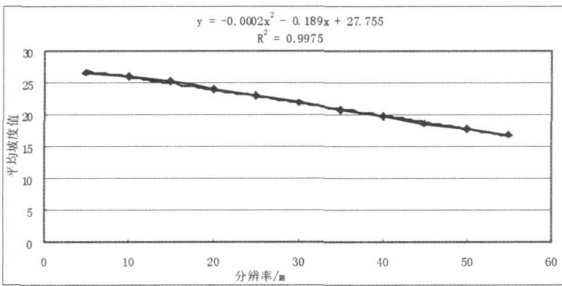


图 1 绥德地区平均坡度与分辨率关系

3.2.1 平均坡度分析

由图 1 曲线变化状况可得出: 平均坡度值与 DEM 分辨率成负相关关系,即平均坡度值随 DEM 分辨率的降低(DEM 网格尺寸增大)逐渐减小,平均坡度值的下降速率在整个研究区间(5 m 至 55 m 分辨率区间,下同)内较为一致。平均坡度值与分辨率之间成二次多项式函数关系,在绥德地区该函数关系式为: $y = -0.0002x^2 - 0.189x + 27.775$ $R^2 = 0.9975$

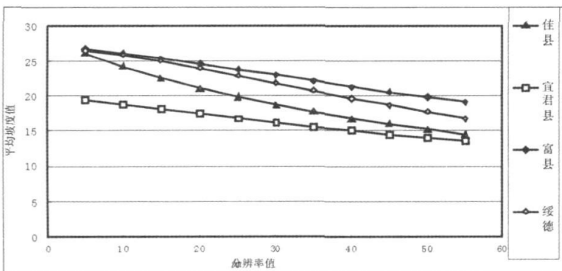


图 2 不同地区平均坡度随 DEM 分辨率变化情况

其他三个样区平均坡度与 DEM 分辨率间的函数关系式:

富县地区: $y = -3E-05x^2 - 0.1549x + 27.645$ $R^2 = 0.9993$

佳县地区: $y = 0.0027x^2 - 0.3897x + 27.938$ $R^2 = 0.9993$

宜君县地区: $y = 0.0005x^2 - 0.1467x + 20.165$ $R^2 = 0.9994$

根据图 2 和四个样区平均坡度与 DEM 分辨率间的函数关系式,在不同分辨率的对比方面,四个地区的平均坡度都与分辨率呈现负相关关系。造成这一现象的主要原因是随着 DEM 分辨率的降低,许多细微的地形起伏被概括,地形的总体坡度趋向缓和。平均坡度与 DEM 分辨率之间的函数关系式可以概括为: $y = ax^2 - bx + c$ 。

在不同地域的对比方面,每个实验样区的平均坡度变化率在实验区间上大致相同,且四个样区的平均坡度总体变化规律基本一致,平均坡度值随 DEM 分辨率降低变化最大的地区为佳县地区,其次为绥德地区,宜君县和富县地区平均坡度的变化率比较接近,在四个实验样区中变化率最小。

从图中还可以发现,在某一具体的分辨率下,平均坡度值由高到低依次是富县地区、绥德地区、佳县地区和宜君县地区。这一差别主要是由区域地貌差异引起的,不同地区因地形复杂度不同,在 DEM 分辨率降低过程中,地形坡度信息的概括程度不同,地形复杂的地区概括程度大,坡度信息的损失量就大,所以其平均坡度的变化率也就相应较大。另外,平均坡度与 DEM 分辨率之间的函数关系式中 a, b, c 的取值主要受区域地貌特征的影响。

3.2.2 平均综合曲率分析

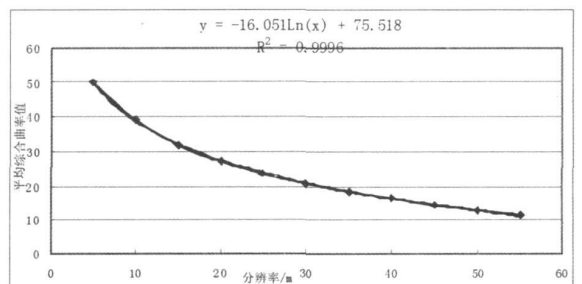


图 3 绥德地区平均综合曲率与分辨率关系

由图 3 中曲线变化状况可得出: 平均综合曲率值与 DEM 分辨率呈负相关关系,其下降速度较平均坡度要快得多,随分辨率的下降,平均综

合曲率的下降趋势逐渐减慢, 以 30 m 分辨率为界, 分辨率在 5 m~ 30 m 时, 平均综合曲率随 DEM 分辨率降低变化速度较快, 分辨率在 30 m~ 55 m 时, 平均综合曲率的变化减缓。平均综合曲率值与 DEM 分辨率之间成对数函数关系, 在绥德地区该函数关系式为: $y = -16.05\ln(x) + 75.518$ $R^2 = 0.9996$ 。

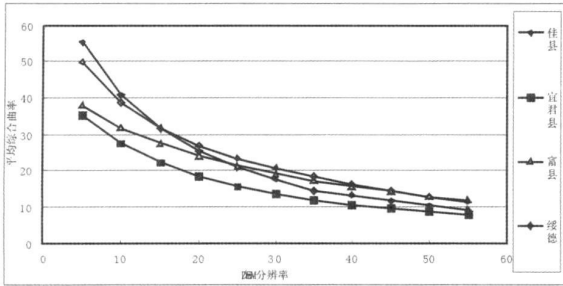


图 4 不同地区平均综合曲率随 DEM 分辨率变化情况

其他三个样区平均综合曲率随 DEM 分辨率间函数关系:

富县地区: $y = -11.19\ln(x) + 57.156$ $R^2 = 0.9954$

佳县地区: $y = -19.417\ln(x) + 85.002$ $R^2 = 0.9915$

宜君县地区: $y = -11.644\ln(x) + 53.825$ $R^2 = 0.9967$

据图 4, 在不同分辨率的对比方面, 四个地区的平均综合曲率都与分辨率呈现负相关关系, 即随分辨率的降低, 平均综合曲率值逐渐下降, DEM 的综合曲率信息量降低, 并且随 DEM 分辨率的降低, 平均综合曲率的信息量下降速度减缓。造成这一现象的主要原因是随着 DEM 分辨率的降低, 许多细微的局部地形起伏被概括, 导致地面复杂程度降低, 坡度、坡向变化率降低, 所以平均综合曲率值随 DEM 分辨率降低逐渐减小。平均综合曲率与 DEM 分辨率之间的函数关系式为: $y = a \cdot \ln(x) + b(a < 0, b > 0)$ 。

在不同地域的对比方面, 四个样区的平均综合曲率总体变化规律基本一致。在不同的分辨率下, 平均综合曲率值由高到低的次序是不同的, 即分辨率对不同地区平均综合曲率的影响是分段不同的: 在 5 ~ 15 m 分辨率下依次是佳县地区、绥德地区、富县地区、宜君县地区; 而在 30 m 分辨率下其次序变为: 绥德地区、富县地区、佳县地区、宜君县地区。出现这一变化的主要原因是在不同地区由于地形复杂度不相同, 在分辨率由高降低的过程中, 地面综合曲率发生不同程度的变化。通过不同区域间的对比还可发现, 平均综合曲率与 DEM 分辨率之间的函数关系中 a, b 的取值主要受

地域因素的影响。

3.2.3 沟壑密度分析

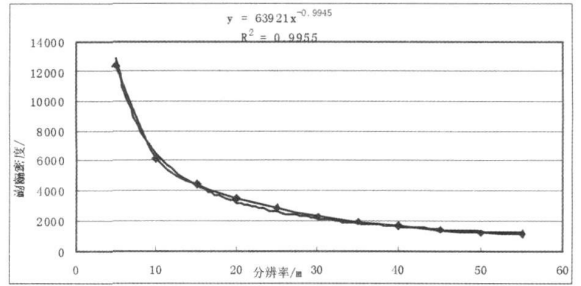


图 5 绥德地区沟壑密度与 DEM 分辨率关系

根据图 5 中曲线变化状况可得出: 沟壑密度值与 DEM 分辨率呈现负相关关系, 即随分辨率的降低, 沟壑密度值逐渐下降, DEM 的沟壑密度信息量降低, 并且在 5 m 分辨率到 15 m 分辨率的变化过程中, 沟壑密度值下降最快; 15 m 分辨率到 25 m 分辨率的变化过程中, 沟壑密度值的下降速度相对减缓, 25 m 分辨率到 55 m 分辨率的变化过程中, 沟壑密度值的下降速度明显减缓。

沟壑密度值与 DEM 分辨率之间成幂函数关系, 在绥德地区该函数关系式为: $y = 63921x^{-0.9945}$, $R^2 = 0.9955$ 。

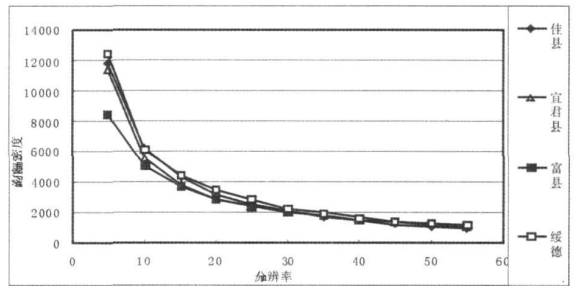


图 6 不同地区沟壑密度随 DEM 分辨率变化趋势

其它三个样区沟壑密度随 DEM 分辨率间函数关系:

富县地区: $y = 35215x^{-0.8482}$ $R^2 = 0.996$

佳县地区: $y = 70890x^{-1.0579}$ $R^2 = 0.9948$

宜君县地区: $y = 54034x^{-0.9749}$ $R^2 = 0.9992$

由图 6 可知, 在不同分辨率的对比方面, 四个地区的沟壑密度都与分辨率呈现负相关关系, 即随分辨率的降低, 沟壑密度值逐渐下降, 从 DEM 中提取的沟壑密度信息量降低, 并且, 随 DEM 分辨率的降低, 沟壑密度的信息量下降速度逐渐减缓。造成这一现象的主要原因是随着 DEM 栅格尺寸的增大, 许多地形的细节信息被概括, 导致在低分辨率的 DEM 中仅保留了主要的河流部分, 并且概括的程

度随 DEM 分辨率分段不同。沟壑密度与 DEM 分辨率之间的函数关系式为: $y = ax^b$ ($a > 0, b < 0$)。

在不同地域的对比方面,四个样区的沟壑密度总体变化规律基本一致,沟壑密度值随 DEM 分辨率降低变化最大的地区为绥德地区,其次为佳县地区,富县地区平均坡度变化率最低。在不同的分辨率下,沟壑密度值的差异程度及其变化幅度是分段不同的,在 5 m~20 m 分辨率下绥德地区沟壑密度值要远大于富县地区沟壑密度值,四个区域的沟壑密度的变化幅度较大;在 20 m~55 m 分辨率变化过程中,四个区域的沟壑密度值的差异逐渐减少,并且沟壑密度值的随 DEM 分辨率的变化幅度明显减小。此外,沟壑密度与 DEM 分辨率之间的函数关系式中 a、b 的取值主要受地域因素的影响。

3.3 小结

在综合比较分析地形信息因子与 DEM 分辨率和地域之间关系的基础上,可得出 DEM 地形信息容量与各空间尺度之间的关系如下:

3.3.1 信息容量和分辨率的关系

通过上述各项分析发现,随着 DEM 分辨率的降低,对地形的概括程度增大,DEM 的地形信息容量逐渐降低,其变化趋势与 DEM 分辨率的变化具有很强的内在规律:地形因子的值随 DEM 分辨率的降低而逐渐减小,而且减小的幅度随 DEM 分辨率的降低也逐渐呈现降低的趋势,且各个单一地形因子与 DEM 分辨率之间具有确定的函数关系,分辨率的降低总体造成陡坡区域缩小及坡度向中等坡度集中,平缓坡区域先减少后增加。

由于比例尺与分辨率之间有明确的对应关系,DEM 地形信息容量与比例尺之间的关系可通过将比例尺转换成对应的分辨率来求得。

3.3.2 信息容量和地域尺度的关系

不同地域下,各单一值地形信息因子的值具有较大的差别,其对应的函数关系式中的系数与区域地貌差异密切相关。

DEM 地形信息容量主要与 DEM 数据精度和所表示地区的地形复杂度相关,在地形复杂度相同的情况下,DEM 的精度越高,地形信息容量也就越大;DEM 数据精度相同的情况下,所表示区域的地形越复杂,地形信息容量也就越大。

4 展望

由于本研究中仅在四个样区进行实验,无法准

确定单一值地形因子信息容量与 DEM 分辨率函数关系中的常数 a、b、c 的取值与区域地貌之间的量化关系,在今后的工作中,以下几个方面的问题值得做更进一步的研究。

(1) 分析总结各地形因子之间的内在关系;

(2) 通过实验找出 DEM 分辨率与不同地域的适应关系;

(3) 建立可以适用于各种地域的地形复杂度量化评价指标;建立统一、有效的 DEM 数据精度评价指标,并最终给出 DEM 地形信息容量的量化表示方法;

(4) 通过增加实验样区的数量,统计分析单一值地形因子信息容量与 DEM 分辨率函数关系中的系数 a、b 的取值与区域地貌之间的量化关系,使单一值地形因子信息容量的计算更为简单有效。

参考文献

- 1 汤国安,陈正江,赵牡丹. Arc View 地理信息系统空间分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2002
- 2 汤国安. 数字高程模型及地学分析的原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2005
- 3 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
- 4 汤国安,刘学军. DEM 及数字地形分析中尺度问题研究综述.[J] 武汉大学学报(信息科学版), 2006, 31(12): 1059-1065
- 5 陈楠,汤国安,等. 基于不同比例尺的 DEM 地形信息比较[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2003, 33(2): 238-240
- 6 汤国安,杨勤科,张勇,等. 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
- 7 陈楠. 1:10000 及 1:50000 比例尺 DEM 信息容量的比较[J]. 测绘科学, 2004, 29(3): 39-41
- 8 汤国安,陈楠,刘咏梅. 黄土丘陵沟壑区 1:1 万及 1:5 万比例尺 DEM 地形信息容量对比[J]. 水土保持通报, 2001, 21(2): 34-36
- 9 陈楠,汤国安. 黄土高原 DEM 分辨率对提取坡度精度的影响[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2006, 27(3): 312-324
- 10 Beven, Kirkby M.J. A .Physically based, variable contributing area model of basin hydrology[J]. Hydro Sci Bull, 1979(24): 43-69
- 11 Gao J. Resolution and accuracy of terrain representation by grid DEMs at a micro 2 scale[J]. IntJ Geographical Information Science, 1997, 11(2): 199-211
- 12 李天文,刘学军,汤国安. 地形复杂度对坡度坡向的影响[J]. 山地学报, 2004, 22(3): 272-277

The Comprehensive and Comparative Study of Topographic Information Capacity in Different Spatial Scale's DEM

ZHANG Zhi-jin¹, LI Yong-sheng², LI Wen-mei^{3,4}

¹ Shandong Institute of Surveying and Mapping of Geology, Jinan Shandong 250013, China;

² Shandong Read Age Information and Technology CO. LTD, Jinan Shandong 250013, China;

³ International Institute for Earth System Science Nanjing University, Nanjing Jiangsu 210093, China;

⁴ School of Geographic and Oceanographic Sciences of Nanjing University, Nanjing Jiangsu 210093, China)

Abstract DEM contains a great deal of topographic information, which is the basic data for terrain analysis. Besides of the multi scale factors of DEM data, topography and landscape have characteristics of macro and sub regional features of opposite sex. DEM topographic information capacity with different scales is relatively different. In this paper, on the base of Arc view / GIS, we selected Suide, Jiaxian, Fuxian and Yijun County of Loess Plateau as the experimental plots, extracted terrain data factors found on DEM, and analyzed these extractions with methods of comparative analysis and mathematical Statistics. And than we captured the model of quantified expression of a single factor and determined the quantitative correlation of DEM terrain information capacity, resolution, zone and scales. What's more, we analyzed the law of differentiation of DEM topographic information capacity in distinct spatial scales on these bases.

Key words DEM; spatial scale; topographic information capacity; resolution; terrain analysis

(上接第 28 页)

4 小 结

组合模型法是通过选择几个较优的拟合模型, 然后用一组权系数向量将它们线性组合起来, 从而得到一个较单模型法更好的预报模型。

组合模型法实际应用于工程变形态势分析和预测, 理论上是严密的, 实际上也有较好的效果。它对变形的模型、变形的速率和变形的终值都进行了较好的预测, 一定程度上克服了用单个模型进行分析时的局限性和不准确性。

该组合模型虽然在北环桥墩监测中预报效果较好, 但在其他工程应用中, 是否具有广泛性, 还需要进一步讨论。而且, 本文只是将统计学模型运用到了变形预报中, 与其他模型(如神经网络、时间序列模型等)的组合并未进行探讨, 所以, 如何进行多

种模型统一, 将来可以进一步研究。

参考文献

- 1 刘祖强, 张正禄, 邹启新, 赵卫, 郭再春. 工程变形监测分析预报的理论与实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008
- 2 黄声享, 邱文华, 马伟, 蒋金虎, 胡光乾. 小浪底水利枢纽外部变形规律分析研究[M]. 北京: 测绘出版社, 2008
- 3 李井春, 夏立福, 张正禄. 监测网参考基准的选取与统一. 测绘通报, 2008(8): 17-20
- 4 黄声享, 尹晖, 蒋征. 变形监测数据处理.[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003
- 5 王志华, 张正禄, 汪海航, 邓跃进. 远程位移监测系统及其试验分析[J]. 测绘信息与工程, 2006, 31(2): 37-38
- 6 张正禄. 工程的变形分析与预报方法研究进展[J]. 测绘信息与工程, 2002, 27(5): 37-39

An Analysis Method of Building Deformation Based on Combinatorial Model Method

GAN Li-jian, WU Dong, ZHANG Dong-sheng

(SIPSD, Suzhou Jiangsu 215021, China)

Abstract Traditional method of Deformation prediction is based on a single model. Although application of a single model is through a series of calculations, it still has limitation in practice, and the accuracy is not enough. In this paper, the principle of combination model method is introduced. By analyzing the practical example of the application of it in elevated bridge, the deflection and the deformation rate were predicted, and the deformation end were also obtained. The results of deformation situation are better, which are fully bear out the superiority of combinatorial model method.

Key words single model; deformation prediction; t testing; combinatorial model method