

三维激光扫描提取 DEM 的地形及流域特征研究^{*}

潘少奇, 田丰

(河南大学 环境与规划学院, 河南 开封 475004)

摘要:以三维激光扫描系统为工具,建立黄土高原丘陵沟壑区绥德县桥沟小流域高精度 DEM。在 ArcGIS 中将高精度 DEM 和该流域 1:1 万 DEM 分别生成 6 种栅格大小不同的 DEM 图像。用 2 种精度、6 种不同水平分辨率的 DEM 提取研究区的地形及流域特征,进行对比分析。结果表明:与 1:1 万 DEM 相比,高精度 DEM 提取出的研究区流域面积变小,平均坡度、平均高度、沟壑密度增大,河网密度、河道坡度增大,能够更加详细、准确地描述研究区的地形及流域特征,对流域水文过程分析以及水土保持研究起到积极作用。

关键词:高精度 DEM; 三维激光扫描系统; 地形及流域特征

中图分类号: S158; TH871

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)06-0102-04

Landform and Hydrological Character Extraction Based on High-precision DEM

PAN Shao-qi, TIAN Feng

(College of Environment & Planning, Henan University, Kaifeng, Henan 475004, China)

Abstract: Based on 3D laser scanner system, the paper takes the Qiaogou small basin locating in hilly and gully region, Suide County as test region, sets up its high-precision DEM. Three kinds of DEM raster images of different sizes (six together) in the basin were gotten by high-precision DEM and 1:10 000 DEM in ArcGIS respectively. With two kinds of precision, six kinds of different levels of precision of the study area DEM extracting and contrasting character of the terrain and drainage basin. The results show that: contrasting with 1:10 000 DEM, high-precision DEM of the study area can extract smaller drainage area, larger average slope, higher average height and density and gully, augmenting river network density and river gradient and so on. Consequently, it can describe more detailed and accurate to character of the terrain and drainage basin, and plays a positive role in analyzing process of hydrology and researching soil and water conservation.

Key words: high-precision DEM; 3D laser scanner system; terrain and drainage basin

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^[1]。我国国家测绘部门基本上完成了基于 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^[2]。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,需要建立小区域精细地貌的更高分辨率 DEM^[3-6]。不同精度 DEM 提取的河网、流域面积、平均高程、河道长度等差异性不大,坡度及与坡度有关的参数差别较大。但已有研究未涉及到 DEM 的

精度和水平分辨率对小流域特征的影响分析。而且对于小流域来说,模拟地表过程精度的提高也有赖于合适流域特征参数的选择。因此,探讨 DEM 的精度和水平分辨率对提取的流域特征的影响就十分必要^[7-9]。

采用加拿大 OPTECH 公司生产的三维激光扫描系统作为工具采集流域地形数据,基于三维激光扫描系统建立小区域的高精度 DEM,通过对其点云数据的拼接,坐标数据的变换,进而生成大密度的带有三维坐标信息的点数据。生成 DEM 分辨率最高能达到 1 m,能准确地反映丘陵沟壑区的地貌和坡面特征,更精确地提取出丘陵沟壑区的地形特征和

* 收稿日期:2009-05-10

基金项目:国家科技支撑计划项目(2006BAB06B01-07)

作者简介:潘少奇(1980-),男,河南临颖人,硕士,讲师,主要研究方向为地理信息系统。E-mail:psq@henu.edu.cn

流域特征,有力地为黄土高原生态建设和水土保持工作提供参考依据。

1 使用三维激光扫描系统建立高精度 DEM

1.1 试验区概况及数据来源

本文实验样区位于绥德县桥沟流域,实验样区面积 0.5 km²,平均海拔 985 m,属于典型的黄土高原丘陵沟壑区地貌类型区。数据源分为三维激光扫描数据和 GPS 定位数据。

三维激光扫描数据采集采用的是加拿大 OPTECH 公司生产的非接触式便携三维扫描系统(ILRIS - 3D)。ILRIS - 3D 是一部完整、完全便携式的激光影像与数字化的测图系统,可用于工程、地质、商业等方面。采集后的数据形式是点云数据(point-clouds)。点云采集流程如图 1。

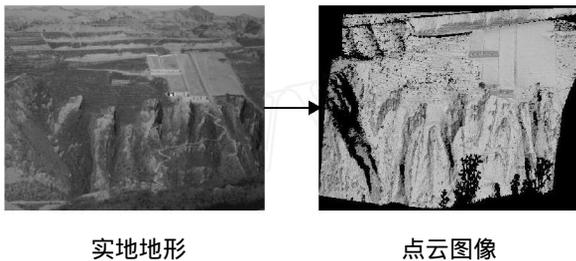


图 1 点云数据采集流程

1.2 建立高分辨率 DEM

三维激光扫描系统采集数据采用的是独立坐标系,点云数据采集和拼接以后,需要将其坐标系先转换为统一坐标系,再转换为水平坐标系,最后转换为具有三维空间坐标的地理坐标系,该过程也是 DEM 建立过程中的核心问题。进行坐标转换以后的数据,是具有精确的地理坐标的点云数据。TIN 的生成及 DEM 内插 TIN 模块采用不规则三角网描述地形起伏,从 TIN 转换成规则格网形式的 DEM 一般采用线性内插。

在本项目研究中,DEM 内插利用 ArcGIS 软件 3D Analysis 模块中的 Create Tin From Features 功能,通过差值生成不规则三角网(TIN)。进而将生成的 TIN 转化为栅格 DEM(Grid DEM),其转换阈值设定为 1 m^[10]。生成的 TIN 与等高线叠合检查,检查三角形构网是否有明显的不合理之处,增补高程点,重新构网。地形数据成果统一采用高斯-克吕格投影,1954 年北京坐标系。用小流域的精确边界切割生成的 DEM,得到精确的小流域栅格 DEM。高精度 DEM 生成过程和结果分别如图 2、图 3 所示。

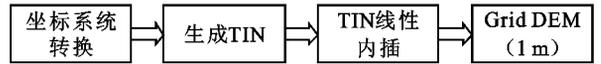


图 2 高精度 DEM 建立过程

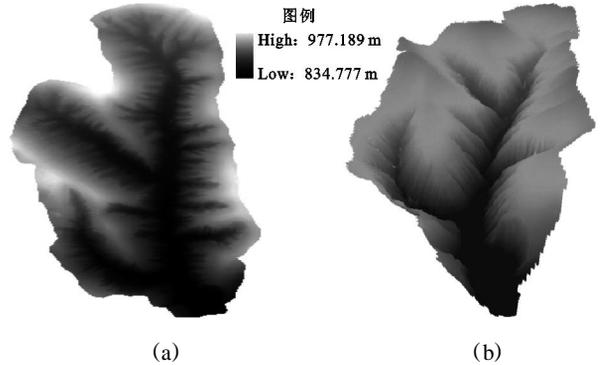


图 3 实验流域的高精度 DEM(a) 及其三维视图(b)

2 结果与分析

在黄土高原丘陵沟壑区的水土保持实践中,通过高精度 DEM 提取的流域地形信息和流域特征信息能提供更为精确的数据源,为水土保持规划提供重要的参考依据。栅格 DEM 的应用研究中,Quinn 等^[11]和 Bruneau 等^[12]发现:对小流域来说,水平分辨率为 50 m 的 DEM 只能简单地反映水流下坡流向,生成的河网忽略了低级河道的存在,随着栅格的增大提取正确的流域边界变得困难,并且栅格大于 50 m 的 DEM 不能得到较好的水文预测结果。本研究中生成的高精度 DEM 的最小栅格大小为 1 m,为了对其提取地形特征和水文特征的分分辨率进行评估,选择同流域的 1:1 万地形图生成的 DEM 来进行比较。用 ArcInfo 软件分别将两种精度的 DEM 数据生成不同栅格大小的 DEM,网格大小分别为 1,5,10,20,30,50 m,共生成了 2 种精度 6 种不同水平分辨率的栅格 DEM。

2.1 流域平均坡度

流域平均坡度对地表径流的产生、集流、下渗、土壤水、地下水以及土壤流失、河流含沙量等均有很大影响。图 4 显示了两种精度 DEM 提取出流域平均坡度的变化趋势。

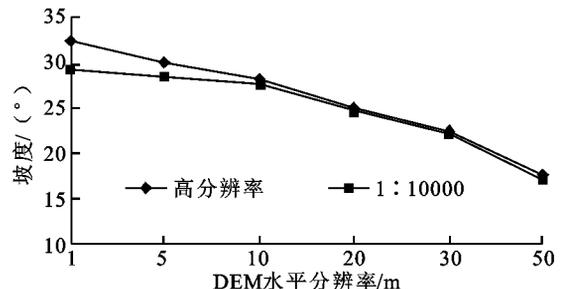


图 4 研究区平均坡度变化

从图 4 中可以看出:(1)同一精度各分辨率之间

数据变化趋势明显,随着栅格的增大,坡度值逐渐变小;(2)高精度 DEM 提取的坡度值大于 1 : 1 万 DEM;(3)随着栅格的增大,两种精度 DEM 提取的平均坡度逐渐接近。同精度不同分辨率之间的变化范围,高精度 DEM 和 1 : 1 万 DEM 分别为 17.7°~32.46°、17.2°~29.25°,不同精度之间的变化范围为 0.3°~3.2°。以上可以看出,不同精度 DEM 提取的平均坡度差异性较大。这一方面是由于栅格的增大对流域地形的坦化作用引起的,另一方面是由于原始地形图描述地形的详细程度不同所致。

2.2 流域平均高程

平均高程是流域地形特征的重要因素,表示流

表 1 不同尺度不同分辨率 DEM 提取的平均高程

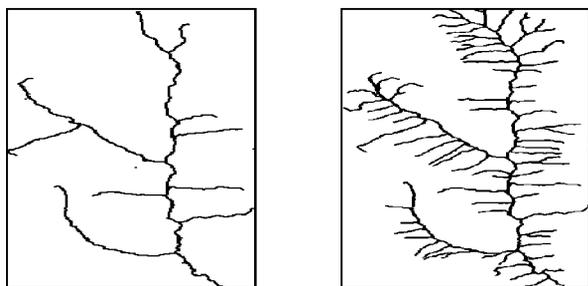
DEM 水平分辨率/ m	1	5	10	20	30	50
高分辨率 DEM	920.80	920.79	920.79	920.99	920.88	921.38
1 : 1 万 DEM	915.27	915.29	915.27	915.52	915.35	915.25

表 2 研究区高程标准差

DEM 水平分辨率/ m	1	5	10	20	30	50
高分辨率 DEM	29.36	29.34	29.37	29.33	29.47	29.80
1 : 1 万 DEM	30.96	30.95	31.01	30.86	31.08	31.25

2.3 DEM 提取沟壑密度分析

沟壑密度是反映该地区受侵蚀程度的重要定量指标。在黄土丘陵沟壑区,细沟、浅沟、切沟、冲沟分别发育在不同的坡面部位,利用地形图或 DEM 提取地面沟壑特征,对于水土流失监测以及水土保持规划都具有重要的意义。图 5(a)(b)是分别由普通 DEM 和高精度 DEM 在水平分辨率为 1 m 时提取的试验区的沟壑密度。由图 5 可见,普通 DEM 由于是从经过制图综合过的等高线生成,所以其提取沟壑密度的精确性受到影响,与实际沟壑的走向和密度拟合不充分。高精度 DEM 对试验区内细小的沟壑地貌描述的十分精确,能突出体现其在微观地貌研究中的应用。



(a) (b)

图 5 1 : 1 万 DEM(a) 和高精度 DEM(b) 提取沟壑密度结果

2.4 流域面积

流域面积是流域的基本特征,它不仅决定流域内河流的水量,也直接影响径流的过程。流域面积包括干流的流域面积和各支流在汇流点以上的流域

域范围内的平均高度。表 1 显示了提取的流域平均高程值。从表 1 中可以看出:高精度 DEM 和 1 : 1 万 DEM 不同分辨率之间的高程最大差值分别为 0.27 m 和 0.59 m,这主要是由于栅格的增大对流域地形的坦化作用引起的;高分辨率 DEM 提取的平均高程大于 1 : 1 万 DEM,高差范围为 5.47~6.13 m,其原因是两种尺度地形图原图的详细程度不同。表 2 是流域高程的标准方差值,可以看出不同分辨率之间的变化不大,两种精度之间的差异明显,1 : 1 万 DEM 大于高精度 DEM。这可能是由于 1 : 1 万地形图的等高线间距大,其本身就对地形起到了坦化作用。

表 1 不同尺度不同分辨率 DEM 提取的平均高程

DEM 水平分辨率/ m	1	5	10	20	30	50
高分辨率 DEM	920.80	920.79	920.79	920.99	920.88	921.38
1 : 1 万 DEM	915.27	915.29	915.27	915.52	915.35	915.25

表 2 研究区高程标准差

DEM 水平分辨率/ m	1	5	10	20	30	50
高分辨率 DEM	29.36	29.34	29.37	29.33	29.47	29.80
1 : 1 万 DEM	30.96	30.95	31.01	30.86	31.08	31.25

面积。图 6 显示了提取的流域面积的变化情况。

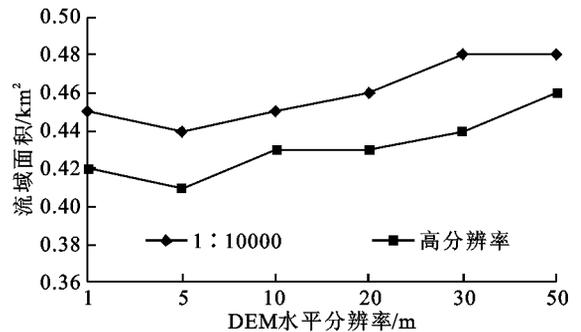


图 6 流域面积变化

从图 6 和计算结果看出:(1)相同精度不同分辨率 DEM 提取的流域面积差别不大,随着栅格的增大,流域面积呈现增大的趋势。在栅格大小 20 m 处呈现突变情况,栅格大于 20 m 的 DEM 提取的流域面积增大趋势明显。(2) 1 : 1 万 DEM 比高精度 DEM 提取的流域面积大,但相差不多。

2.5 主河道长度和坡度

河道长度和坡度是影响产汇流特性的重要因素。图 7 是不同精度 DEM 提取的这两个参数的对比图。从图 7(a)中可以看出:(1)同一水平分辨率情况下提取河道长度,高分辨率 DEM 大于 1 : 1 万 DEM。(2)同精度不同的水平分辨率提取出的河道长度大体上呈下降的趋势,但在栅格大小为 20 m 处曲线变化大;20 m 处突变主要是由于流域地形与栅格大小相互作用的结果。以每种精度 DEM 提取的最小河长为基准,高精度 DEM 和 1 : 1 万 DEM

不同水平分辨率提取的河长的变化范围分别为 0 ~ 3.37 %、0 ~ 7.08 %。

从图 7(b)中可以看出:(1)同精度不同水平分辨率 DEM 提取的河道坡度值变化平缓,基本接近;(2)不同精度 DEM 提取的河道坡度差异较大。以 1

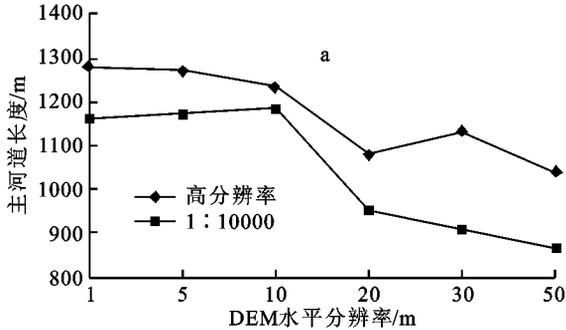
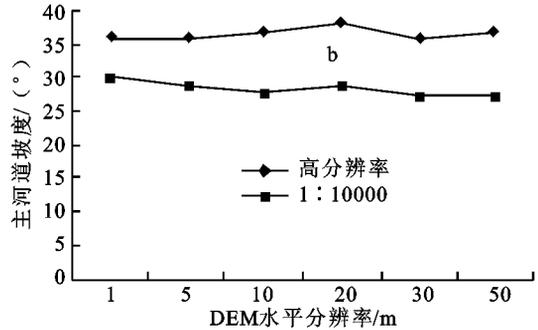


图 7 研究区主河道长度(a)和相应的主河道坡度(b)变化曲线

1 万 DEM 不同分辨率提取的河道坡度为基准,两种精度 DEM 提取的主河道坡度变化范围为 6°~ 9.5°。由于流域出口相同,出口处高程基本不变,产生这种变化的原因是由于流域 DEM 和河道起点不同导致起点高程的不同而引起的。



2.6 河网密度

河网密度等于干支流的总长度和流域面积之比,即表示河流某断面以上流域内单位面积上的河流长度,可以描述水系发育和河流的疏密程度。图 8(a)为在相同水平分辨率下提取的河网密度变化趋势,从图上可以看出:(1)同精度不同分辨率提取的河网密度,振荡变化;(2)高精度 DEM 提取的河网密度大于 1 1 万 DEM。将同精度不同分辨率提取的参数进行比较,高分辨率 DEM 和 1 1 万 DEM

的变化幅度分别为 0 ~ 1.92 %、0 ~ 1.9 %。将不同精度提取的参数比较,其变化范围为 - 0.25 % ~ 2.97 %。这些变化是由提取的河道和流域边界相互作用的结果,具体原因前面已经述及。图 8(b)为提取的河道总长变化趋势,可以发现河网密度的变化趋势与其大体一致。这主要是由于不同精度不同分辨率 DEM 提取的流域面积差异不大,因此对河网密度的影响不大。

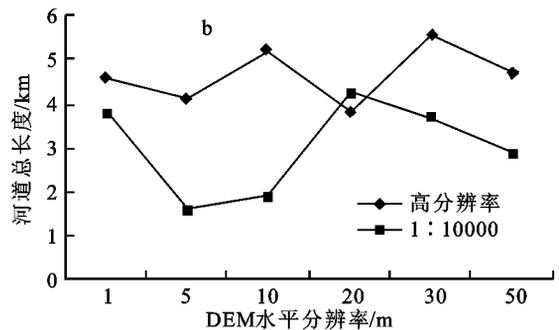
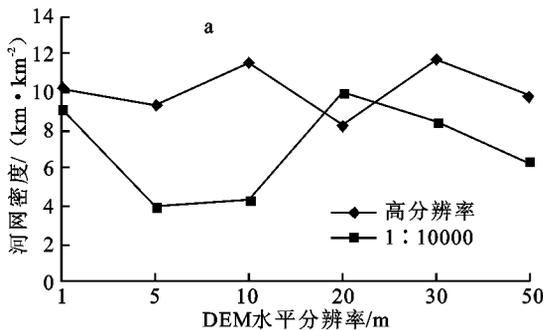


图 8 研究区河网密度(a)和河道总长(b)变化曲线

3 结论

以 DEM 为基础提取实验流域的地形特征和流域特征,这些特征在地理信息系统的支持下均可用图形和属性数据表示。这些地形特征对水文过程分析、土壤侵蚀计算以及土地利用规划和水土保持规划都有非常重要的意义。

DEM 精度对提取出的地形特征和水文特征有较大的影响。通过与 1 1 万 DEM 提取数据和实地调查数据的比较分析可知,采用三维激光扫描系统建立的高精度的 DEM 能较好地模拟真实的流域信息。主要体现在以下方面:提取出的研究区坡度、高度更加精准,对沟壑地貌的描述与实际沟壑走向、密度拟合充分,能比较好地表现各种地形信息。

提取出的流域面积、主河道长度、坡度、河网密度信息更加准确,能详细地表现研究区的流域特征。

研究的不足之处在于:由于采用的是便携式三维激光扫描系统,单次扫描区域比较小,如果流域尺度过大,就会增大图形拼接的难度和数据处理的工作量,容易产生误差。生成的 DEM 分辨率比较高,采用其提取的等高线部分地区边缘有明显的锯齿状,影响其表示精确的区域地形特征。不同水平分辨率 DEM 提取的流域参数有差别。面积、长度等有关参数差别不大,坡度值变化明显。由于这些差别,导致计算的流域汇流时间和滞时有较大的不同,总的趋势是,DEM 的网格增大,相应的汇流时间缩短,滞时增大。

(下转第 111 页)

(4)通过对所有元素的分析可以判断,慈溪市表层土壤中元素的含量受母质与人类活动的综合影响。但综合分析后认为,土地利用应该是最重要的影响因素。

参考文献:

- [1] 朱立新. 中国东部沿海平原区土壤地球化学调查方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2003.
- [2] 龚子同. 土壤地球化学的进展和应用[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 11.
- [3] 胡以铿. 地球化学中的多元分析[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1991. 8.
- [4] 曾道明, 纪宏金, 陈满, 等. 胶东山城金矿地质与地球化学变量的关系[J]. 吉林大学学报, 2006, 36(4): 511-515.
- [5] Reimann C, Filzmoser P. Normal and lognormal data distribution in geochemistry: death of a myth. Consequences for the statistical treatment of geochemical and environmental data[J]. *Environmental Geology*, 2000, 39(9): 1001-1014.
- [6] Zhang C S, Manheim, F T, Hinde J, et al. Statistical characterization of a large geochemical database and effect of sample size[J]. *Applied Geochemistry*, 2005, 20(10): 1857-1874.
- [7] Zhang C S, Selinus O. Statistics and GIS in environmental geochemistry—some problems and solutions[J]. *Journal of Geochemical Exploration* 1998, 64(1): 339-354.
- [8] McGrath S P, Loveland O J. The Soil Geochemical Atlas of England and Wales, (SGAEW) [M]. London: Blackie Academic & Professional, 1992.
- [9] Gallego J L R, Ordonez A, Loredó J. Investigation of trace element sources from an industrialized area (Avilés, northern Spain) using multivariate statistical methods[J]. *Environment International*, 2002, 27(7): 589-596.
- [10] Reimann C, Filzmoser P, Garrett R G. Factor analysis applied to regional geochemical data: problems and possibilities [J]. *Applied Geochemistry*, 2002, 17(3): 185-206.
- [11] Zhang C S, Lalor G. Multivariate relationship and spatial distribution of geochemical features of soils in Jamaica[J]. *Chemical Speciation and Bioavailability*, 2002, 14(1): 57-65.
- [12] Lee C S, Li X D, Shi W Z, et al. Thornton, I. Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: a study based on GIS and multivariate statistics[J]. *Science of The Total Environment*, 2006, 356(1/3): 45-61.
- [13] Micó C, Recatalá L, Peris M, et al. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis [J]. *Chemosphere*, 2006, 65(5): 863-872.
- [14] Zhang C S. Using multivariate analyses and GIS to identify pollutants and their spatial patterns in urban soils in Galway Ireland[J]. *Environmental Pollution*, 2006, 142(3): 501-511.
- [15] 余建英, 何旭宏. 数据统计分析与 SPSS 应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003: 4.

(上接第 105 页)

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 汤国安, 刘学军, 房亮, 等. 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): 1059-1066.
- [3] 孔德树. “3S”技术在水土保持工作中的应用及展望[J]. *中国水土保持*, 2005(5): 40-42.
- [4] 朱红春, 汤国安, 张友顺, 等. 基于 DEM 提取黄土丘陵区沟沿线[J]. *水土保持通报*, 2003, 23(5): 114-117.
- [5] 赵帮元, 喻权刚, 郭玉涛. 建立黄土丘陵区 DEM 的方法探讨[J]. *人民黄河*, 2002, 24(4): 33-34.
- [6] 陈晖, 张红, 徐高洪, 等. 基于遥感、DEM 技术的西汉水水土流失变化分析[J]. *人民长江*, 2006, 37(12): 12-15.
- [7] Valeo C, Moins S M A. Grid - resolution effects on a model for integrated urban and rural areas[J]. *Hydrological Process*, 2000, 14: 2505-2525.
- [8] Kenward T, Lettenmaier D P, Wood E F, et al. Effects of digital elevation on model accuracy on hydrologic predictions [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2000(3): 432-444.
- [9] 吴险峰, 刘昌明, 王中根. 栅格 DEM 的水平分辨率对流域特征的影响分析[J]. *自然资源学报*, 2003, 18(2): 148-154.
- [10] 赵帮元, 汤国安, 马安利, 等. 不同地貌类型区 1:25 万比例尺 DEM 的建立方法[J]. *水土保持通报*, 2002, 22(2): 45-48.
- [11] Quinn P F, Beven K J, Lamb R. The $\ln(a/p)$ index: how to calculate it and how to use it with in the TOPMODEL framework[J]. *Hydrological Processes*, 1995(9): 161-182.
- [12] Bruneau P, Gascuel - Odoux C, Robin P, et al. Sensitivity to space and time resolution of a hydrological model using digital elevation data [J]. *Hydrological Processes*, 1995(9): 69-81.