

# 江西省水文地貌关系正确的 DEM 建立

罗仪宁<sup>1</sup>, 杨勤科<sup>1</sup>, 古云鹤<sup>1</sup>, 吴笛<sup>2</sup>

(1. 西北大学 城市与环境学院, 陕西 西安 710069; 2. 陕西测绘局, 陕西 西安 710054)

**摘要:**以江西省为例,基于 1:25 万地形图和 ANUDEM 软件,探讨了省域尺度中等分辨率的水文地貌关系正确的 DEM(Hc—DEM)建立方法,并对其质量进行了评价。对 DEM 生产过程中的数据预处理、关键参数的确定等进行了讨论,并采用等高线套合分析、随机检验点分析和水系网络分析等方法对生成的江西省 Hc—DEM 进行质量评价。研究结果表明,利用现有数字化地形图上的地形信息(等高线、高程点和水系),在 ANUDEM 软件的支持下,可建立较高质量,能正确反映地形与地表流水关系的 DEM,所建立的 DEM 质量可达到 USGS 标准。建立 DEM 的主要参数为:分辨率 50 m,迭代次数 30,第 2 糙度系数 0.5。

**关键词:**水文地貌关系正确的 DEM; ANUDEM; 分辨率; 江西省

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2011)02-0146-04

中图分类号: P208

## Creating Hydrologically Correct DEMs for Jiangxi Province

LUO Yi-ning<sup>1</sup>, YANG Qin-ke<sup>1</sup>, GU Yun-he<sup>1</sup>, WU Di<sup>2</sup>

(1. School of City and Environment, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China;

2. Shaanxi Bureau of Surveying and Mapping, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

**Abstract:** This paper discussed the methods to create hydrologically correct DEM (Hc—DEM) at medium resolutions for Jiangxi Province using 1:250 000 topographic maps and ANUDEM software. The quality of the DEMs was further assessed. The data preprocessing, the determination of the key parameters and others for Hc—DEM creation were addressed carefully. In addition, contour line overlay analysis, random check-point analysis and stream network analysis were adopted in evaluation of Hc—DEM quality. The results show that based on the topographic information of the existing digital topographic maps(including contours, spot heights, and streamlines) and the application of ANUDEM software, high-quality DEM representing the correct relationship between the stream networks and the geomorphology could be created. The quality level of constructed DEMs reached the USGS standards. The created DEM had the resolution of 50 m, iteration number of 30 and the second roughness coefficient of 0.5.

**Keywords:** hydrologically correct DEM(Hc — DEM); ANUDEM; resolution; Jiangxi Province

数字高程模型(digital elevation model, DEM)是一个用来表现地表高程空间分布与变化的有序数字阵列<sup>[1]</sup>。可以用于建立 DEM 的数据基础包括:地面测量数据,数字地形图以及基于各种不同平台的遥感测量数据<sup>[2]</sup>。国内最常用的 DEM 建立方法为以数字化地形图为基础,通过构建不规则三角网(TIN)建立 DEM(即 TIN—DEM)<sup>[3-4]</sup>。但此方法在建立 DEM 的过程中会产生一些“平三角”,影响了 DEM 的应用<sup>[5-6]</sup>。为保证 DEM 精度,目前最常用的方法是根据地形特点,为 DEM 加入高程骨架点及特征

线,但这种方法会使作业员的工作量增加且会受到主观因素影响,也不能保证纳入所有重要的地貌特征<sup>[6-7]</sup>。目前国外较为流行的 DEM 建立方法是由澳大利亚国立大学 Hutchinson 教授所提出的 DEM 插值算法以及在该算法基础上开发的 ANUDEM 软件,可用于建立水文地貌关系正确的 DEM(Hc—DEM)<sup>[8-10]</sup>。该方法在我国已有应用,但是大部分研究都是针对黄土高原进行的<sup>[11-13]</sup>,另外在南方地区目前也有一些研究<sup>[5, 14-15]</sup>,这些研究的结果表明利用 Hutchinson 方法建立的 DEM 可有效表达地形,但它

收稿日期:2010-11-01

修回日期:2011-01-13

资助项目:国家自然科学基金项目“用于区域土壤侵蚀评价的中低分辨率坡度变换方法研究”(40971173);水利公益性行业科研专项项目“红壤侵蚀区坡面水土综合整治技术集成与示范”(200901049);西北大学研究生创新基金(09YZZ35)

作者简介:罗仪宁(1986—),女(汉族),陕西省礼泉县人,硕士研究生,主要研究方向为数字地形分析。E-mail:Yining\_Luo@126.com。

通信作者:杨勤科(1962—),男(汉族),陕西省陇县人,研究员,主要研究方向为基于遥感和 GIS 的区域水土流失评价研究,数字地形分析。E-mail:qkyang@nwu.edu.cn。

们要么是利用大比例尺地形图建立较高分辨率 DEM<sup>[5, 14]</sup>, 要么对分辨率等关键参数设置未做系统分析<sup>[15]</sup>。本研究以位于南方红壤区的江西省为例, 使用 1:25 万地形图, 利用 ANUDEM 软件, 通过对分辨率的优化, 建立江西省水文地貌关系正确的 DEM, 以期为流域水文和区域土壤侵蚀模拟提供数据支持。

## 1 数据基础与研究方法

### 1.1 研究区域及数据基础

江西省地处中国东南偏中部长江中下游南岸, 全省总面积  $1.67 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。境内除北部较为平坦外, 东南西南三面环山, 中部丘陵起伏, 成为一个整体向鄱阳湖倾斜而往北开口的巨大盆地<sup>[17]</sup>。江西省是我国南方水土流失严重的省份之一, 又是典型的红壤丘陵区, 因此, 建立江西省 Hc—DEM, 为江西省水土保持工作提供基础数据是十分必要的。

本研究所采用的数据是江西省 1:25 万地形图共 21 幅, 等高距为 50 m。根据 ANUDEM 软件对数据的要求, 将地形图上的等高线、高程点、河流以及湖泊数据数字化后存储为 Coverage 文件, 投影由高斯—克吕格投影转换为 ALBERS 投影以便接边, 投影参数为中央子午线  $115^\circ 30'$ , 标准纬线分别为  $26^\circ \text{N}$  和  $29^\circ \text{N}$ 。

对数据的预处理包括: 首先检查高程点, 修改或删除一些赋值错误的点; 其次对河流进行处理, 将双线河编辑为单线河, 再根据等高线检查河流流向并修改, 检查并确保河流沿沟谷线穿越等高线; 最后生成较低分辨率(100~200 m)的 DEM 并提取坡度图, 对突变部位加以检查和修改, 特别是对大于某坡度(如  $35^\circ$ )的地方进行重点检查。

### 1.2 ANUDEM 软件及其关键参数

ANUDEM 是澳大利亚国立大学开发的专业化 DEM 插值软件<sup>[8, 10]</sup>。利用 ANUDEM 建立 Hc—DEM, 最关键的参数有分辨率、迭代次数和糙度系数<sup>[10-11]</sup>。水平分辨率对数据量以及高频率信息的保留等方面均具有重要影响, 因此是本研究的重点。而迭代次数和糙度系数虽有影响但并不明显<sup>[10-11]</sup>, 所以采用 ANUDEM 的默认参数。

### 1.3 DEM 质量评价方法

质量评价是建立 DEM 的最主要步骤。DEM 的质量评价方法包括伪下陷点检测、异常河流网络检测、等高线套合分析(派生等高线)<sup>[16]</sup>、检验点法(中误差)等<sup>[2]</sup>。本研究选取等高线套合分析、检验点法和水系网络分析作为江西省 DEM 的质量评价方法。

## 2 江西省 Hc—DEM 的建立

### 2.1 Hc—DEM 建立

2.1.1 ANUDEM 关键参数确定 在江西省范围内选择不同地貌类型的 5 个典型样区生成不同分辨率的 DEM(6.25, 12.5, 25, 50, 100, 200 m), 以其均值点绘“坡度均方根—栅格尺寸”关系曲线寻找拐点, 得出以 25 或 50 m 作为分辨率都是可行的, 具体应用中可以再综合考虑数据存储量及应用目的和要求等因素对分辨率加以确定。考虑到数据量及计算机工作效率的问题, 本实验以 50 m 作为分辨率。根据以往相关研究结果<sup>[18]</sup>, 本研究所使用的迭代次数为 30, 第 2 糙度系数为 0.5。

2.1.2 DEM 的建立 首先为编辑好的等高线、高程点、河流、湖泊等专题数据恢复拓扑关系, 再在 ARC/INFO Workstation 中用 ungenerate 命令将 coverage 文件转为 ANUDEM 可识别的文本文件, 将这些文件输入 ANUDEM 软件, 设置各个参数后运行软件程序, 即可生成文本或者二进制 DEM 文件, 再用 floatgrid 命令转换为 ESRI grid 格式, 结果见图 1。

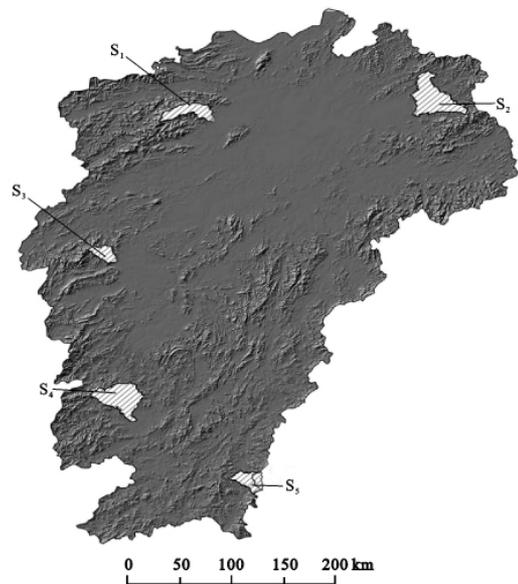


图 1 江西省 Hc—DEM 及样区分布  
注:  $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5$  分别为 5 个典型样区编号。

### 2.2 DEM 质量评价

2.2.1 等高线套合分析 在江西省选取 5 个典型样区( $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5$ ), 如图 1 所示。并对建立的 DEM 以 50 m 等高距回放等高线(图 2), 将原始等高线标记为  $Cont_0$ , Hc—DEM 回放等高线标记为  $Cont_a$ , TIN—DEM 回放等高线标记为  $Cont_t$ ; 图 2a 为 Hc—DEM 回放等高线与原始等高线的局部放大比较, 图 2b、图 2c 和图 2d 为 Hc—DEM, TIN—DEM

回放的等高线与原始等高线在差异比较大的部位的局部放大图。

如图 2a 所示,发现  $Cont_a$  与  $Cont_0$  位置大致相同,走向基本一致,重合度较高,再检查等高线总长度发现  $Cont_a$  的长度只比原始等高线长度略少,说明 Hc—DEM 能够最大限度的包含原始数据的信息且并未产生过多的错误信息。

为了实现定量分析派生等高线,随机抽取一些等高线,统计 TIN—DEM 及 Hc—DEM 回放的等高线长度与原始等高线长度以及前两者占原始等高线长度的百分比,另外,统计两种类型回放等高线分别与原始等高线所包围的面积之间的差异(表 1—2)。结果表明  $Cont_a$  与  $Cont_t$  的长度都小于原始等高线长

度,但总体情况是  $Cont_a$  与  $Cont_0$  更为接近,在  $S_5$  样区中,虽然  $Cont_t$  的长度略小于  $Cont_0$  而  $Cont_a$  与它的差距较大,但是对比图 2b 和图 2d 中的情况可以看到,TIN—DEM 所回放的等高线呈阶梯状而 Hc—DEM 回放的是光滑曲线且与原始等高线的重合度更高一些,因此虽然 Hc—DEM 套合的更好但依然存在长度较短的情况。进一步研究发现,在山脊地带,Hc—DEM 对地形的表现力显然要优于 TIN—DEM,而在山谷地带,二者表现均不错,但  $Cont_a$  更为光滑一些。再对比它们与原始等高线所包围的面积,从数据可以明显看出,TIN—DEM 回放的等高线与原始等高线的差距要远远大于 Hc—DEM 回放的等高线与原始等高线的差距。

表 1 回放等高线与原始等高线长度对比

项目	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
原始等高线( $Cont_0$ )	225 705/100.00%	82 762/100.00%	59 439/100.00%	368 485/100.00%	102 267/100.00%
Hc—DEM 回放等高线( $Cont_a$ )	215 653/95.55%	75 602/91.35%	57 586/96.88%	280 097/76.01%	89 305/87.33%
TIN—DEM 回放等高线( $Cont_t$ )	195 258/86.51%	66 310/80.12%	22 141/37.25%	252 432/68.51%	100 900/98.66%

注:等高线长度单位为 m,“/”后面百分比表示长度与  $Cont_0$  的比例。

表 2 相同等高线回放后与原始等高线包围的面积

项目	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
Hc—DEM 回放等高线面积( $Area_a$ )	2 740 335	1 263 996	709 620	4 117 935	1 394 370
TIN—DEM 回放等高线面积( $Area_t$ )	4 545 018	3 612 050	1 542 676	9 063 615	4 229 521

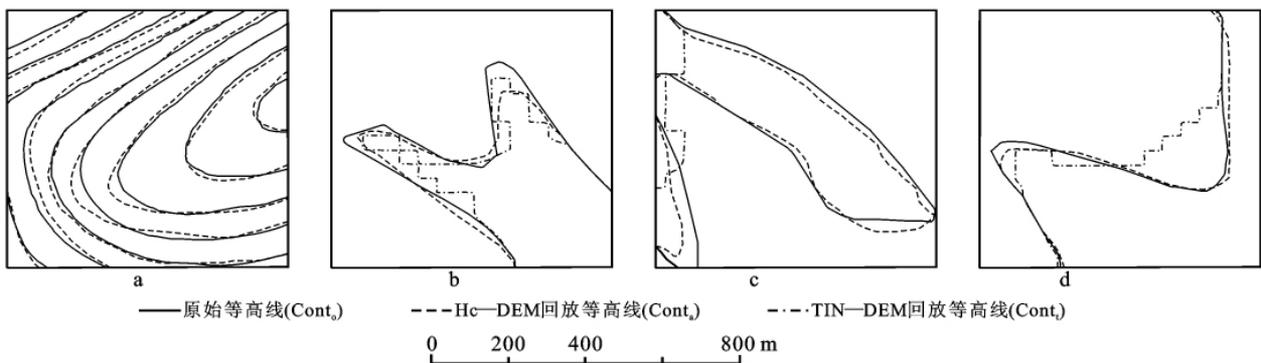


图 2 Hc—DEM, TIN—DEM 回放的等高线与原始等高线的比较

2.2.2 检验点法 根据美国 USGS DEM 的检测方法,假设检查点的高程为  $Z_k (k = 1, 2, \dots, n)$ , 建立 DEM 后,由 DEM 内插出这些点的高程为  $R_k (k = 1, 2, \dots, n)$ ,则 DEM 的中误差 RMSE 为:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (R_k - Z_k)^2}$$

本研究采用随机抽样法,在典型样区抽取 43 个采样点进行中误差检验,得到 DEM 中误差为 24.28,符合美国 USGS 的二级分级标准<sup>[19]</sup>,说明 ANU-

DEM 软件所建立的 DEM 具有较高的精度。

2.2.3 水系网络分析 正确提取河流水系在流域水文和土壤侵蚀模拟中具有重要的实际意义。提取河流必须先确定一个汇水面积阈值<sup>[20-21]</sup>,需要对 DEM 以不同的汇水面积提取河流,绘制汇水面积与河流总长度关系曲线,随着汇水面积变大,提取的河流长度会呈幂指数下降,当达到转折点时,河流长度的减小速率明显放缓,该转折点即为提取河流的阈值,通过对 50 m 分辨率的 Hc—DEM 提取水系得到的阈值为

24~56 之间(即汇水面积为 0.06~0.14 km<sup>2</sup>),此结论与其它相关研究的结论基本一致<sup>[22]</sup>。结果表明,根据这个范围提取出的河流基本连续,较少出现平行梳状河流,与原始等高线套合位置基本正确,说明该 DEM 能够较好地反映水文地貌关系。

### 3 结论

本次研究利用江西省 1:25 万地形图和 ANU-DEM 软件,建立了江西省分辨率为 50 m 的 Hc-DEM,从质量评价结果看来,回放等高线检验和中误差检验的结果都取得了较高的精度,水系网络分析也得到了较好的结果,在将 Hc-DEM 与 TIN-DEM 进行等高线的套合分析对比实验中 Hc-DEM 表现更佳。另外,本次研究还初步尝试了定量分析派生等高线,结果表明 Hc-DEM 对真实地形的还原情况要优于 TIN-DEM。这些结果都说明 Hc-DEM 能够较准确地反映原始数据中所包含的各种地形信息,可以正确的表达地表地形形态与流水汇集之间的关系,是一种正确反映了地表水文地貌特征的高精度 DEM。

在研究中所确定的江西省 1:25 万地形图 Hc-DEM 的关键参数为:分辨率 25 或 50 m,迭代次数 30 次,第二糙度系数 0.5,在具体应用中可以根据情况对分辨率进行选择。

后续研究中,除了对等高线定量分析进一步研究完善之外,应着重尝试 Hc-DEM 和 TIN-DEM 的水系网络与原始水系形状差异的量化比较;同时,在该类型区建立 Hc-DEM 与黄土丘陵区建立 Hc-DEM 有何不同,也有待研究。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Moore I D, Grayson R B, Landson A R. Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications[J]. *Hydrological Processes*, 1991, 5(1): 3-30.
- [2] 李志林,朱庆. 数字高程模型 [M]. 2 版. 武汉: 武汉大学出版社, 2003.
- [3] 唐新明,李莉,严荣华. 全国七大江河流域重点防范区 1:1 万数字高程模型(DEM)数据库的建立[J]. *测绘通报*, 2002(6): 19-22, 55.
- [4] 王东华,吉建培,刘建军,等. 论国家 1:50 000 数字高程模型数据库建设[J]. *地理信息世界*, 2003, 1(2): 12-15, 20.
- [5] 周买春,黎子浩, Jayawardena A W. 数值地形图的生成及其水文地貌特征评价[J]. *水利学报*, 2002, 33(2): 71-74, 78.
- [6] 杨勤科,张彩霞, McVicar T R, 等. ANUDEM 和 TIN 两种方法建立的 DEM 的对比研究[J]. *水土保持通报*, 2006, 26(6): 84-88.
- [7] 刘鹏举,赵仁亮,朱金兆,等. 保持地貌特征的数字高程模型生成方法研究[J]. *中国矿业大学学报*, 2006, 35(4): 521-525.
- [8] Hutchinson M F. ANUDEM Version 5.1 [M]. Canberra: Centre for Resource and Environmental Studies, 2004.
- [9] Hutchinson M F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits [J]. *Journal of Hydrology*, 1989, 106(3/4): 211-232.
- [10] 杨勤科, McVicar T R, 李领涛. ANUDEM: 专业化数字高程模型插值算法及其特点[J]. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(3): 36-41.
- [11] Yang Q K, McVicar T R, Van Niel T G, et al. Improving terrain representation of a digital elevation model by reducing source data errors and optimising interpolation algorithm parameters: An example in the Loess Plateau, China [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2007, 9(3): 235-246.
- [12] 师维娟,杨勤科,赵东波,等. 中分辨率水文地貌关系正确 DEM 建立方法研究:以黄土丘陵区为例[J]. *西北农林科技大学学报*, 2007, 35(2): 143-148.
- [13] 张彩霞,杨勤科,段建军. 高分辨率数字高程模型构建方法[J]. *水利学报*, 2006, 37(8): 1009-1014.
- [14] 郭伟玲,杨勤科,汪翠英,等. 适用于地形复杂地区水土流失评高分辨率 DEM 建立方法[J]. *干旱地区农业研究*, 2008, 26(3): 246-252.
- [15] 王库,于东升,史学正. 建立省级数字高程模型(DEM)的关键技术:以江苏省为例[J]. *地理科学*, 2004, 24(2): 188-192.
- [16] 胡鹏,杨传勇,吴艳兰,等. 新数字高程模型理论、方法、标准和应用[M]. 北京:测绘出版社, 2007.
- [17] 陈瑞华,李雷. 试论自然环境与近代江西城市发展[J]. *九江学院学报*, 2008(2): 68-71.
- [18] 杨勤科, McVicar T R, Van Niel T G, 等. 水文地貌关系正确的 DEM 建立方法的初步研究[J]. *中国水土保持科学*, 2007, 5(4): 1-6.
- [19] USGS. Digital elevation models, National Mapping Program, Technical Instructions, Data Users Guide 5 [M]. U S: US Geological Survey, 1993.
- [20] 陈涛,朱金兆,马浩,等. 黄土高原沟壑区沟道提取时间阈值范围的研究[J]. *长江科学院院报*, 2008, 25(3): 28-30, 34.
- [21] 李俊,汤国安,张婷,等. 利用 DEM 提取陕北黄土高原沟谷网络的汇流阈值研究[J]. *水土保持通报*, 2007, 27(2): 75-78.
- [22] 陈涛,朱金兆,马浩,等. 黄土高原沟壑区沟道提取时间阈值范围的研究[J]. *长江科学院院报*, 2008, 25(3): 28-30, 34.