No. 1 2006 Mar. 2006

基于 SRTM – DEM 区域地形起伏的获取及应用

张会 Ψ^{12} ,刘少峰¹²,孙亚 Ψ^{2} ,陈永生²

(1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室 北京 100083;2. 中国地质大学地球科学 与资源学院,北京 100083)

摘要:基于数字高程模型(DEM)空间分析方法 利用 SRTM 采集的 DEM 数据,提出两种获取区域地形起伏的关键 技术,即高程条带法(Swath Profile)和高程阈值法(Threshold Value),并通过扩展区域地形起伏获取的技术方法,初 步实现了黄土高原典型地区侵蚀量的定量化分析。

关键词:地貌;区域地形起伏;DEM

中图分类号:P217 文献标识码:A 文章编号:1001-070X(2006)01-0031-05

0 引言

高原山脉隆升机制、造山带演化模式的研究越 来越关注地壳演化过程的地表过程证据。地貌、地 表过程的研究也由定性化转变到半定量 – 定量化阶 段^[1]。地形分析作为活动构造、新构造研究的主要 手段和方法,也是地貌、地表过程研究的重要组成。 传统地形分析方法主要是通过纸质地形图或野外调 查获取数据资料进行分析,如高程点采集,地形剖面 分析,地形起伏分析等^[2]。区域地形起伏(Local Topographic Relief)是指在一定区域范围内,最大高 程值与最小高程值之间的差值^[3,4],其反映区域地表 的切割剥蚀程度,可以深刻表征区域构造活动强度 的差异,常常被应用于造山带、高原山脉等发育演化 特征的研究^[5,6]。区域地形起伏是构造作用与地表 剥蚀过程相互作用的结果^[4]。地形起伏分析是地貌 研究的必要手段,一般通过地形图的目视判读获取。

近些年来,DEM 空间分析技术不断发展和完 善,为区域地形起伏的获取与分析研究提供了方便、 快捷的技术支撑。最新 SRTM(Shuttle Radar Topography Mission)利用新型合成孔径干涉成像雷达技 术,成功采集到近全球的 DEM 数据,为全球尺度的 地形地貌研究提供了高精度数据保证^[7]。本文基于 DEM 空间分析方法,提出利用 SRTM – DEM 获取区 域地形起伏的关键技术,并扩展了该空间分析技术 方法,初步实现了黄土高原典型地区侵蚀量的定量 化研究。

1 数据资料

SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)是由 美国航空航天局(NASA)、美国图像测绘局(NIMA)、 德国及意大利航天局共同实施的航天飞机雷达地形 测量任务^[8]。该任务所获取的SRTM – DEM,是迄 今为止人类历史上第一次从地球轨道高度对地球表 面进行雷达三维成像所获取的数字高程模型数 据^[78]。数据由搭载于奋进号(Endeavour)航天飞机 的C波段、X波段系统雷达干涉拍摄采集^[78],数据 的采集范围是南纬56°到北纬60°之间的区域,获取 数据范围约占陆地总面积的80%左右。

SRTM – DEM 以分块的栅格像元文件组织数 据^[8],每个块文件覆盖经纬方向各一度,即1度×1 度,像元采样间隔为1弧秒(one – arcsecond)或3弧 秒(three – arcsecond)。相应地,SRTM – DEM 采集 数据也分为两类,即SRTM – 1和SRTM – 3。由于在 赤道附近1弧秒对应的水平距离大约为30m,所以 上述两类数据通常也被称为30m或90m分辨率高 程数据。同时也可以计算,每个SRTM – 1和SRTM – 3文件分别是由1201行列和3601行列组成,其 中相邻两个文件有一个像元是重合的。另外需要指 出的是,除美国以外其它地区,仅有SRTM – 3数据

收稿日期:2005-08-26;修订日期:2005-09-19

才对外实现共享。

本文 SRTM - 3 数据范围为 36°~37°N,104°~ 105°E(插页彩片 5)。该区位于黄土高原西部兰 州—白银地区,黄河自西南沿北东方向进入研究区, 然后转向西北,整个研究区处于黄河"几"字型河道 的西南转折端。由于受黄河水系的后期深切割作 用,沟壑纵横,地形起伏大,形成典型的高原黄土 地貌。

2 方法

基于 DEM 的空间分析技术已经被广泛地应用 于地学研究,如美国西部 Rocky 山脉古新生代古地 形面的重建^[9],瑞典西南部前寒武纪基底地形恢 复^[10],等等。基于 DEM 进行地形分析,从而探讨造 山带、高原山脉隆升机制的研究^[56],是对传统活动 构造、新构造研究的进一步深入^[2]。DEM 被地学, 特别是构造地貌和河流地貌等研究采纳,实现了对 传统研究手段的快速扩展^[11]。同时,DEM 空间分析 技术不断发展,对于传统的利用纸质地形图进行地 貌、地形分析的研究也必将带来新的视角和切入点。

区域地形起伏是一定范围内最大高程值与最小

高程值之间的差值,在地形剖面图上,可以根据相邻 的山脉峰顶与河道沟谷之间的高程差表示。但是, 由于在地形剖面图绘制过程中,剖面线位置的选取 具有一定的主观性,所以,在一定程度上相关数据的 解释可能缺乏说服力^[2]。而与之相比,基于 DEM 的 区域地形起伏则更能客观地表达地形地貌特征,这 是因为,利用 DEM 数据可以获取一定条带(Swath) 或整个研究区范围的地形起伏特征,而不是仅仅得 到选定剖面线尺度的地形参数。

以规则格网(GRID)SRTM – DEM 数据分析为 例 本文提出两种基于 DEM 获取区域地形起伏的关 键技术,即高程条带法(Swath Profile)和高程阈值法 (Threshold Value)。

2.1 高程条带法(Swath Profile)

高程条带法是利用遥感影像数字处理技术,提 取选定的剖面线(如50km长)以外一定条带范围 (如10km宽)(插页彩片5中a、b虚线矩形框)的高 程信息,以数理统计方法获得垂直于剖面线方向上 各列图像像元所表征的高程值,并计算出最大高程 值(Maximum Elevation)和最小高程值(Minimum Elevation),然后求取最大高程与最小高程之间的差值, 进而获取区域地形起伏专题信息(图1)。



图1 区域地形起伏专题图(条带法)

一般地,条带剖面中的最大高程信息所代表的 地貌单元主要为山脉峰顶,水系分水岭等等;而最 小高程信息则表现了条带剖面范围内的水系沟谷底 地形特征。采用高程条带法获取区域地形起伏,条 带(Swath)位置以及宽度的选取具有较强的经验性。 但是,同传统利用纸质地形图进行高程剖面分析相 比,高程条带剖面所表征的细节地形信息则更具说 服力^[2],尤其是最大高程、最小高程的定量获取能够 使地貌研究更加深入。

2.2 高程阈值法(Threshold Value)

与高程条带法仅针对研究所定义的条带缓冲区范围内的数据透算不同,高程阈值法则是基于整个

研究区范围的高程数据统计分析,通过设定采样阈 值空间窗口(如1 km×1 km),分别获取该阈值窗口 内的最大高程值和最小高程值(插页彩片6),最后 利用 DEM 栅格数据的差值运算,实现区域地形起伏 的定量化(插页彩片7)。

通过动态调整高程阈值窗口的大小(如1km 5km 等),可以获取不同尺度的区域地形发育特征,同时 也可以进一步得到任意剖面形态的区域地形起伏信 息。以高程阈值分析结果为基础,定义相关剖面线 的位置,能够快速实现诸如传统方法获得的地形剖 面参数。

综合上述两种区域地形起伏获取方法可以看

出,在黄土高原典型地区,河流发育地区以及山脉主体地区的区域地形起伏相对于山脉与河流过渡地区要小(图1,插页彩片7),这很大程度上是由于山脉与河流过渡地区处于由水系发育的高势能到水系沟谷区域侵蚀基准面之间的转换部位。

对条带法和阈值法进行比较,发现利用条带法 所获取的区域地形起伏信息在剖面表现形式上相对 于阈值法结果更直观,更易于分析,但基于阈值法获 取的信息量要远远高于条带法的分析结果。另外, 通过对比分析可知,条带宽度以及阈值窗口大小的 选取会影响到实际结果的表达,不同的研究目的和 内容将可以采用不同的标准,因此,在选取时具有一 定的经验性。为此,在进行区域地形、地貌研究中, 也可以提出区域地形起伏比(Local Topographic Relief Ratio)这一参数,并将其定义为区域地形起伏与 所选取条带宽度或阈值窗口值之间的比值。由于区 域地形起伏比在一定程度上进一步消除了剖面选取 时的主观性,所以就更加客观地表达了区域地形的 切割剥蚀程度。

3 技术扩展应用

基于 SRTM – DEM 获取区域地形起伏专题信 息,基本原理就是进行最大高程与最小高程之间的 差值运算获得,因此,我们还可以进一步对此技术方 法加以扩展。例如,在河流发育或黄土沟壑地区,求 取沿河流或沟壑两侧一定条带范围内出露地层的最 大高程与区域最小高程的差值,定量化该条带区域 内的切割量和侵蚀量信息。当采用阈值法时,统计 出河流或特定时代黄土(如晚更新世黄土)出露地区 的峰顶高程,恢复构建河流切割或黄土侵蚀之前的 最小古高程面(Paleo – Surface),然后求取恢复高程 面与现今地形面之间的差值,也可以获得整个研究 区范围的河流切割量或黄土侵蚀量数据,并为相关 的地学研究分析提供信息基础。

3.1 侵蚀量定量化原理

实现黄河流域黄土高原侵蚀量的定量化,既需 要分析现今地形的数字高程,还要提取和恢复现今 残存的晚更新世黄土在剥蚀前的最小古沉积面,并 且后者是本研究的关键。研究主要利用地理信息系 统的空间分析功能,技术方法是:首先,获取晚更新 世黄土出露区所有地形峰顶的数字高程;然后,采 用插值算法将峰顶面连接重新构建成面,此模拟重 建的恢复面包就是晚更新统最小古沉积面(图2)。



图 2 假出重力 们 候式 (S_1 、 S_2 、 S_3 为统计分析得到的峰顶面; E_1 、 E_2 为实际所计算的侵蚀量)

考虑到 DEM 数据精度 ,峰顶面是通过地学统计 方法 ,实现栅格 – 矢量转换(等高距为 100 m)后提 取等高线所圈闭面积小于 10 km² 的区域获得 ,由于 定义了等高距为 100 m ,因此 ,实际地形差小于该范 围的顶峰点将无法准确获得。但是 ,就提出该定量 化技术方法而言 ,其能够满足分析讨论的需要。当 然 ,如果要进行局部地区的精细研究 ,则必需提高数 字高程模型的精度。在进行研究区黄土剥蚀量定量 化分析过程中 ,本文首先假定晚更新世黄土原始沉 积过程中是连续沉积的 ,然后将晚更新世恢复重建 的最小古沉积面与现今地形面进行差值运算 ,获得 研究区晚更新世以来的最小侵蚀量(图 2 中 *E*₁、 *E*₂),从而实现晚更新世以来黄河流域黄土高原地区 侵蚀量的定量化研究。

我们之所以称该恢复面为晚更新统最小古沉积 面,是因为晚更新统已经至少被侵蚀到现今所保存 的程度,恢复面所反映的是黄土地层晚更新世以来 剥蚀一定程度之后的高程,也就是说,其原始高程应 该不小于现今保存的高程位置。另外,本研究暂时 只能统计出所矢量化的等高线具有的高程值,而理 论上的最小沉积面则是位于实际恢复面之上(图2 中 *S*₁、*S*₃ 处),因此,两者之间可能要存在等高线无 法表达的100 m 等高距间隔。相对应地,利用此恢 复面计算所得的剥蚀量也就是研究区晚更新世以来 的最小侵蚀量。

3.2 结果及讨论

黄土高原记录了新生代以来青藏高原隆升引起 的气候环境变化,是研究高原隆升的边缘效应以及 讨论古气候环境演变的关键所在^[12,13]。黄河流域水 系发育,而黄土抗侵蚀能力弱,致使黄土高原地区地 形切割强烈,沟壑纵横,地形起伏大,形成典型的 高原黄土地貌。黄土高原是世界上侵蚀程度最大的 地区之一,剥蚀速率可达18 000 t/(km² · a)^[14]。传 以区域地形起伏获取的阈值法为技术支撑,本研究初步实现了黄土高原兰州—白银地区晚更新世以来的侵蚀量的定量化研究。首先,利用1:50万地质图库检索出对应研究区内的晚更新世黄土的分布,同时将 SRTM – DEM 数据进行栅失转换(定义等高线的高程距为100 m);然后,统计出黄土出露范

围内等高线圈闭面积小于 10 km² 的区域(如果存在 多条等高线满足条件,则手动删除外围等高线,仅保 留最内侧的等高线);再利用 DEM 空间分析、差值 运算等方法,获得等高线圈闭范围内的最大高程值 点,并将研究区内所有的最大高程值点采用空间插 值方法重新构建,恢复古高程面(该面即为黄土剥蚀 之前的最小古高程面,图 3 左);最后,通过恢复最 小古高程面与现今地形面之间的差值运算,实现侵 蚀量的定量化(图 3 右)。



图 3 黄土高原兰州—白银地区侵蚀量定量化专题图 (左:晚更新世黄土最小古沉积面恢复重建专题图;右:晚更新世以来侵蚀量专题图)

可以看出,黄土高原西部地区黄河主河道地区 的剥蚀量相对较大(图3右),兰州、白银等地区侵蚀 量达到700 m 左右,印证了沿黄河水系晚更新世以 来发生的深切割作用。另外,黄河各级支流水系中 上游地区的侵蚀量也较大,如祖厉河水系等地区剥 蚀量也达600~700 m(图3右),很大程度上表现出 西秦岭北缘地区晚新生代以来的强烈构造活动特 征。而与之相比,基岩出露的六盘山,西秦岭地区的 剥蚀量则相对比较微弱,一般为100~300 m 左右。

4 结语

本文提出了采用高程条带法和高程阈值法获取 区域地形起伏的关键技术,并以此为基础,实现了高 程阈值法的扩展,初步进行了黄土高原兰州—白银 地区晚更新他教案的侵蚀量定量化分析。 利用数字高程模型(DEM)空间分析技术,并结 合岩石、构造地质等传统地学研究方法,可以深入分 析区域地形地貌特征与地层岩性、构造发育程度之 间的关系。基于 DEM 获取区域地形起伏的方法,并 进行相关地形、地貌研究,具有快捷、高效的特点,能 够为区域新构造、活动构造等地质研究提供基础信 息和参数。

致谢:第一作者张会平得到中国地质大学(北京)研究生院优秀博士论文扶持基金资助,同时在成 文过程中得到中国地质大学(北京)地学实验中心王 瑜教授热情指导,部分研究思路得益于同美国阿肯 色大学 M. E. McMillan 博士在野外考察期间的讨 论,在此一并表示感谢!

参考文献

- Summerfield M A. Geomorphology and Global Tectonics M J. London : John Wiley &Sons , Ltd. Press , 2000.
- [2] 张会平,刘少峰.利用 DEM 进行地形高程剖面分析的新方法
 [J].地学前缘,2004,11(3):226-226.
- [3] Deffontaines B, Lee J C, Angelier J, et al. New geomorphic data on the active Taiwan orogen : A multisource approach[J]. Journal of Geophysical Research, 1994, 99(B10): 20243 – 20266.
- [4] Kühni A, Pfiffner O A. The relief of the Swiss Alps and adjacent areas and its relation to lithology and structure :topographic analysis from a 250 m DEM[J]. Geomorphology 2001 41 285 - 307.
- [5] Burbank D W. Characteristic size of relief J]. Nature , 1992 , 359 : 483 - 484.
- [6] Fielding E J, Isacks B, Barazangi M, et al. How flat is Tibet?
 [J] Geology, 1994, 22:163 167.
- [7] Rabus B, Eineder M, Roth A, et al. The shuttle radar topography mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2003, 57:241-262.
- [8] United States Geological Survey. Shuttle Radar Topography Mission documentation : SRTM Topo[EB/OL]. http://edcftp. cr. usgs.

gov/pub/data/srtm/Documentation/SRTM_Topo. txt. 2003.

- [9] Small E E, Anderson R S. Pleistocene relief production in Laramide mountain ranges, western United States[J]. Geology, 1998, 26:123-126.
- [10] Johansson M. Analysis of digital elevation data for palaeosurfaces in south – western Sweden[J]. Geomorphology , 1999 , 26 : 279 – 295.
- [11] 刘少峰,王陶,张会平,等.数字高程模型在地表过程研究中的 应用[J].地学前缘,2005,12(1):303-309.
- [12]李吉均,方小敏,潘保田,等.新生代晚期青藏高原强烈隆起及 其对周边环境的影响[J].第四纪研究,2001,21(5):381-391.
- [13]郭正堂,刘东生,安芷生. 渭南黄土沉积中十五万年来的古土壤 及其形成的古环境J]. 第四纪研究, 1994, 14(3) 256 – 269.
- [14] Zhu Z Y ,Zhou H Y ,An Z S , et al. A river erosion estimate on the Loess Plateau : a case study from Luohe River , a second – order tributary of the Yellow River[J]. Global and Planetary Change , 2004 ,41 :215 – 210.
- [15]白占国.黄土高原沟谷侵蚀速率研究——以洛川黄土塬区为例
 [J].水土保持研究,1994,1(5):22-25.

THE ACQUISITION OF LOCAL TOPOGRAPHIC RELIEF AND ITS APPLICATION : AN SRTM – DEM ANALYSIS

ZHANG Hui - ping^{1 2}, LIU Shao - feng^{1 2}, SUN Ya - ping², CHEN Yong - sheng²

(1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083,

China ; 2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract : Topographic analysis has been widely used in the study of landscape evolution and surface process , and the researches in this field have become more and more quantitative. Local topographic relief , which is defined as the difference between local maximum elevation and local base level , is one of the key methods in topographic analysis. Based on a spatial analysis of the SRTM – DEM , this paper puts forward two methods for the acquisition of local topographic relief , i. e. , Swath Profile and Threshold Value. The quantitative analysis of the erosion within a typical area of the Loess Plateau has been preliminarily realized by extending the Threshold Value method. **Key words** : Geomorphology ; Local topographic relief ; DEM

第一作者简介 : 张会平(1978 -),男 ,博士研究生 ,主要从事遥感地质、DEM 地学信息采集与处理研究。

(责任编辑:刁淑娟)

《国土资源遥感》可通过邮局订阅,邮发代号:82-344。 错过邮局订阅者,可通过编辑部订阅,邮汇、信汇均可。邮局 汇款请寄:北京市海淀区学院路31号中国国土资源航空物 探遥感中心《国土资源遥感》编辑部。邮编:100083;信汇请

欢迎订阅

寄:北京银行学院路支行,帐号:010903391001201110037-35 中国国土资源航空物探遥感中心(请在附言中注明遥感编辑 部)。