

颜阁,梁收运,赵红亮.基于GIS的斜坡单元划分方法改进与实现[J].地理科学,2017,37(11):1764-1770.[Yan Ge, Liang Shouyun, Zhao Hongliang. An Approach to Improving Slope Unit Division Using GIS Technique. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(11): 1764-1770.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2017.11.019

# 基于GIS的斜坡单元划分方法改进与实现

颜阁,梁收运,赵红亮

(西部灾害与环境力学教育部重点实验室/兰州大学土木工程与力学学院地质工程系,甘肃 兰州 730000)

**摘要:**斜坡单元已广泛应用于滑坡易发性制图和地质灾害评价。然而在山间盆地或大型宽谷处,常规方法划分出的斜坡单元与地貌背景难以匹配。依据高程及其衍生变量的基本形态系统和曲率的流域分割原理,基于ArcGIS技术,通过叠加曲率和反转曲率的流域边界,改进了斜坡单元划分方法。结果表明:与常规方法相比,改进方法不仅能够使用山脊线和山谷线以划分斜坡单元,还能利用台地边界和宽谷边界以分割水平地表与倾斜地表;划分出的单元大小相对均匀,单元形状总体介于圆形和正三角形之间。对于水平成分较多的地区,如黄土塬区和水库库区,该方法与传统方法相比,具有较好的应用前景。

**关键词:**斜坡单元;划分方法;平均曲率;流域分割;ArcGIS

**中图分类号:**P931; TP75; P642.22

**文献标识码:**A

**文章编号:**1000-0690(2017)11-1764-07

近几十年来,滑坡作为世界上最具破坏性的地质灾害<sup>[1,2]</sup>,造成了巨大的财产损失和严重的人员伤亡。为减轻滑坡危害,许多学者已经致力于滑坡易发性制图、滑坡灾害评价和预防措施的研究。进行滑坡易发性制图首先需选择合适的制图单元。“单元”指代地表的一部分,包含了一系列与相邻单元不同的地面条件<sup>[3]</sup>。目前制图单元的划分方法可分为以下5种:栅格单元(grid-cells)、地貌单元(terrain units)、独特条件单元(unique-condition units)、斜坡单元(slope-units)以及地形单元(topographic units)<sup>[4]</sup>。其中,斜坡单元是将目标区域划分成由山谷线和山脊线共同分割的图元<sup>[5,6]</sup>。将斜坡单元应用于以滑坡为主的地质灾害评价日益引起众多学者的关注,如:地质灾害易发程度分区<sup>[7]</sup>,滑坡易发性分区<sup>[8-10]</sup>和斜坡稳定性分析<sup>[11,12]</sup>。

丘陵或山区主要发育倾斜的地表,然而也不可避免地存在一些近水平成分,表现为近水平的宽谷或近水平的台地,这部分地表本质上并非斜坡。在黄土高原地区,这样的地表较为常见,如:黄土塬或残塬、河流阶地和大型宽谷等。常规方

法划分的斜坡单元一般不区分水平地表和倾斜地表,往往将水平地表机械式地并入到倾斜地表之中,使得同一单元内可能包含倾斜地表和水平地表两种截然不同的地貌区域,按单元提取的地形因子与实际情况就会存在明显的误差。Guzzetti等<sup>[4]</sup>曾提出当存在山间盆地或大型宽谷时,斜坡单元与斜坡失稳的局部地貌背景不匹配。此外,常规方法还打破了区域水系形成的自身规律<sup>[11]</sup>,存在强行提取反转高程子流域的问题。据此,本文将对常规的斜坡单元划分方法进行改进,使得在划分斜坡单元的同时,能够区分出相对的水平地表与倾斜地表。

## 1 斜坡单元划分的改进方法

### 1.1 方法原理

高程及其衍生形态变量之间的等级关系构成了如下的基本形态系统<sup>[13-15]</sup>:

$$M = \{ {}^{(0)}M = \{z\}, {}^{(1)}M = \{z_i\}, {}^{(2)}M = \{z_{ij}\}, {}^{(3)}M = \{z_{ijk}\}, \dots \} \quad (1)$$

式中 $M$ 表示所有局部形态变量的一个集合,并且在地表的每个点上都能定义<sup>[16]</sup>。 ${}^{(0)}M$ 表示 $M$ 的一个子集仅包含高程元素( $z$ ); ${}^{(1)}M$ 表示由第一级形态变

收稿日期:2016-09-25;修订日期:2016-12-13

**基金项目:**国家重点基础研究发展计划(2014CB744701)和国家自然科学基金(41272326)资助。[Foundation: National Basic Research Program of China(2014CB744701), National Natural Science Foundation of China (41272326).]

**作者简介:**颜阁(1990-),男,江苏南京人,硕士,主要从事GIS、地貌与地质灾害研究。E-mail: yang13@lzu.edu.cn

**通讯作者:**梁收运,教授。E-mail: liangsy@lzu.edu.cn

量( $z_i$ )组成的子集,定义为高程在方向 $i$ 上的第一方向导数; $^{(2)}M$ 表示由第二级形态变量( $z_{ii}$ )组成的子集,定义为子集 $^{(1)}M$ 的变量在方向 $j$ 上的方向导数,以此类推。 $^{(1)}M$ 中包含了坡度和坡向等变量,通过对高程在任意方向上求一次导数得到。子集 $^{(2)}M$ 中包含了各种曲率(如正切曲率和剖面曲率),通过对高程在任意方向上求二次导数得到<sup>[17,18]</sup>。子集 $^{(3)}M$ 包含了用以表达曲率变化的变量,以此类推。它们之间的等级关系建立在求导的基础上,下一级变量可以描述上一级变量的变化,而上一级变量则无法刻画下一级变量。

常规方法依赖于水系提取和子流域分割,分别用高程和反转高程的子流域边界代表山脊线和山谷线,通过山谷线与山脊线的叠加划分斜坡单元<sup>[5,6]</sup>,已集成到了 ArcGIS 的 Spatial Analyst Tools-Hydrology 工具箱中。具体划分步骤包括(图 1):  
① 对高程数据进行洼地填充,以便让区域内部的所有水流从区域的边界流出。根据填洼后的高程,求解流向。根据流向计算上游集水单元格数(汇流面积),作为流量。把河网视作流量达到某一阈值后形成的,设定上游集水单元格数阈值提取河网。依节点将河网分解成枝干,作为局部汇流洼地。以流向为底图,以上一步洼地为集水点,计算子流域。矢量化子流域栅格得到凹形子流域边界,视为山脊线。  
② 反转高程数据,重复①得到凸形子流域边界,视为山谷线。再用矢量合并工具合并 2 个边界,得到斜坡单元。此划分方法以高程为处理对象,难以准确反映坡度的变化,即使在坡度发生明显转折的部位(如各种台地边缘和宽谷与坡脚的分界),一般也不对应于所划分的单元边界线。

已有研究证明,剖面曲率( $k_p$ )是坡度在流线上的导数<sup>[17]</sup>,其极大值和极小值分别指示台地边缘和宽谷边缘。正切曲率( $k_n$ )与等高线曲率有相似的作用,可描述等高线的弯曲程度。正切曲率的极大值或极小值部位也是坡向发生突变的部位,分别指示山脊和山谷。根据 Euler 原理,正切曲率与剖面曲率的平均值即为平均曲率( $H$ )。平均曲率是正切曲率与剖面曲率的简单综合,其极大值与极小值可同时指示坡向和坡度突变的位置,因而,在指示山脊线、山谷线的同时,也可反映出台地边缘和宽谷边缘。

Romstad<sup>[19]</sup>和 Etzelmüller<sup>[20]</sup>曾经利用 Matlab 编

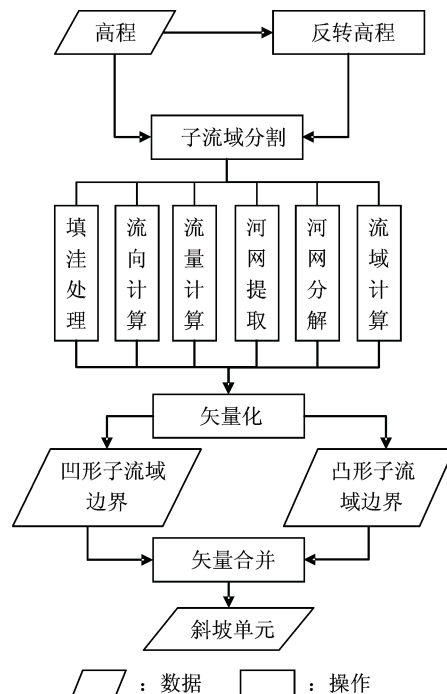


图 1 常规方法划分斜坡单元的流程

Fig.1 Flow chart of conventional method to divide slope units

程技术,对平均曲率进行流域分割,寻找曲率极大值点构成凹形地貌元素边界,并对反转的平均曲率进行流域分割,寻找凸形地貌元素的边界。这 2 个边界均位于曲率的极值点部位,其中凹形地貌元素边界位于极大值点,凸形地貌元素边界位于极小值点。据此可以设想,通过提取并叠加 2 种地貌元素边界,以改进斜坡单元划分的方法,便可达到合理划分斜坡单元并能够区分相对水平地表和倾斜地表的目的。

极大值(或极小值)并不是相对于四周的点而言的,而是在某一方向上的极大值(或极小值),如分水岭(或山谷)。

## 1.2 实现过程

ArcGIS 可直接计算平均曲率,而不必考虑正切曲率和剖面曲率的求解。同时, ArcGIS 能够进行曲率的流域分割,如此便可实现对常规斜坡单元划分方法作进一步的改进,具体过程如下(图 2 和 3)。

1) 在坡面侵蚀作用下,倾斜地表往往不平整;溪流的发育使水平地表在局部位置下凹,这些都增大原高程(图 3a)的粗糙度。在求解曲率之前,应先进行适当的均值过滤,以去除高程数据的小尺度变化。用过滤后的高程数据求解每个栅格的

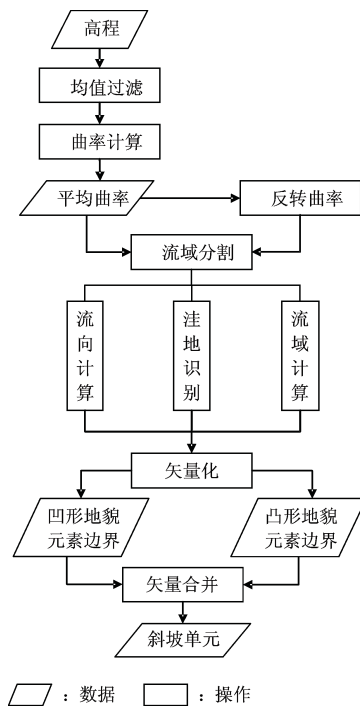


图2 改进方法划分斜坡单元的流程

Fig.2 Flow chart of improved method to divide slope units

平均曲率值(图3b)。

2) 将平均曲率假想成描述地形起伏的数值或高程,求解流向数据。再依据流向数据,求解洼地单元。然后以流向为底图,以洼地为集水点求解流域。矢量化流域栅格数据后,得到凹形地貌元素边界(图3c)。

3) 反转平均曲率数据,重复步骤2,计算反转曲率数据得到凸形地貌元素边界(图3d)。再用矢量合并工具合并两类边界,即得到斜坡单元(图3e或3f)。

## 2 实例验证

以甘肃省东部华池县1:50 000地形等高线作为数据源,制备20 m分辨率的高程数据作为“图1和图2”的输入,分别采用常规方法和改进方法提取斜坡单元,并从定性和定量的角度比较2种方法的差异。

### 2.1 定性分析

一般情况下,常规方法提取的单元边界与台

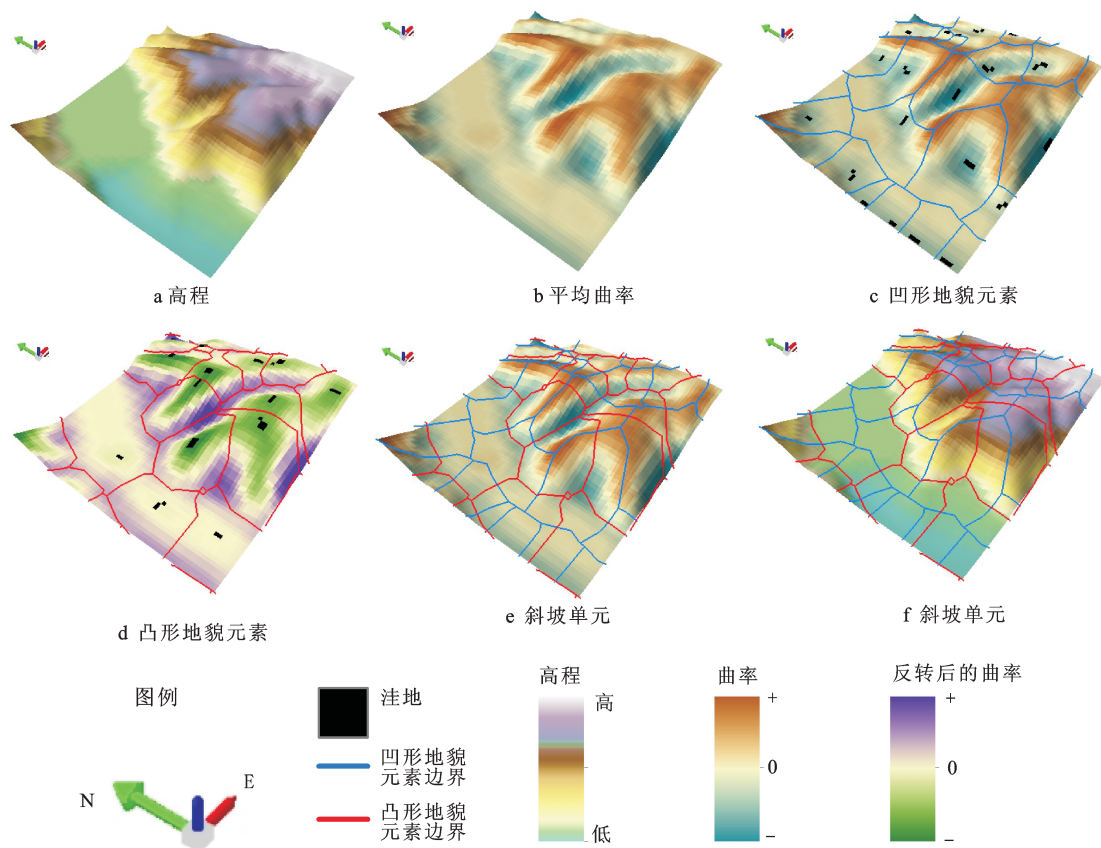


图3 某黄土地区改进方法提取斜坡单元示意图

Fig.3 Diagram of improved method to extract slope units in a certain loess area



地边界和宽谷边界明显地不吻合,难以区分出相对的水平地表和倾斜地表,而是将2种地表生硬地合并到同一单元中(图4a)。其次,常规方法需要在反转高程上提取子流域边界作为山谷线。有时候反转高程代表的地形与实际水系的分布缺乏关联性,难以保证水流能从边界流出。换言之,反转高程会存在一些大型洼地,与实际的山峰相对应。虽然可以通过填洼处理来消除洼地影响<sup>[21,22]</sup>,但填洼极易人为地造出大片平地,而平地上提取的河网易出现平行部分<sup>[23]</sup>或伪河道<sup>[24]</sup>,个别地方还出现近似直角河道形态特征<sup>[25]</sup>。基于河网提取的流域边界也会呈平行状。反之,平行流域边界指示了平地的范围。反转高程在提取流域的过程中对地形的改造比较大,凸形子流域边界的平行部分可能会明显超出台地的范围,在山脊的部位也会大量存在,说明很多非平地的区域在提取河网的过程中也被改造成了平地(图4a)。当研究区范围较大时,常规方法的划分结果不仅需要繁重的人工修编工作,其结果的合理性尚需要进一步商榷。

一般认为斜坡单元是由山脊线与山谷线共同包围的区域。当不存在平地(台地或宽谷)或平地范围小到可以忽略时,改进方法在倾斜地表上提取的单元边界由山脊线和山谷线所构成,符合斜坡单元的一般认识;当存在平地或平地范围大到不能忽略时,改进方法在倾斜地表上提取的单元边界将由山脊线、山谷线、台地边界线和宽谷边界线所构成,与常规方法相比,改进方法进一步利用台地边界和宽谷边界将水平地表与倾斜地表分离(图4b),将倾斜

地表上的单元看作斜坡单元也应该是合理的。从改进方法可以给“斜坡单元”重新定义:斜坡单元是由山脊线、山谷线、台地边界和谷底边界共同分割的区域。此外,改进方法使用了流域分割方法,而不是子流域分割技术(图2),不需进行洼地填充和河网提取,避免了平行边界的产生(图4b)。由于相对的水平地表上会存在轻微的起伏,平均曲率在水平地表上也存在山脊和山谷的“假象”。这些“假象”对水平地表进一步分割,使得水平地表内划分的单元尺寸更加趋于合理(图3e,图4b)。总之,与常规方法提取的单元边界相比有明显差异,改进方法所提取的单元,不仅更为精细地刻画了倾斜地表,也区分出了平地的分布。由此可见,改进方法是对常规斜坡单元划分方法的拓展与进一步合理化。

## 2.2 定量比较

改进方法和常规方法的定量差异,可通过2种方法所划分的单元大小与形态来表征。单元大小对地质灾害易发性制图十分重要,因为描述地质环境因子的各种指标是按单元来提取的,为了使每个单元的环境因子具有可比性,各个单元所覆盖的区域大小应该大体上是相近的。大小均匀性可通过单元面积的分布来反映。以甘肃省东部华池县县境20 m分辨率的高程为数据源,统计结果为:改进方法划分的单元面积集中在 $0.1\times 10^4\sim 6\times 10^4\text{m}^2$ ,超过全区总单元数的80%,面积在 $0.1\times 10^4\text{m}^2$ 以下和 $6\times 10^4\text{m}^2$ 以上的单元数量均不足总数的10%;常规法划分的单元面积在 $0.1\times 10^4\text{m}^2$ 以下和 $6\times 10^4\text{m}^2$ 以上的数量均超过总数的20%

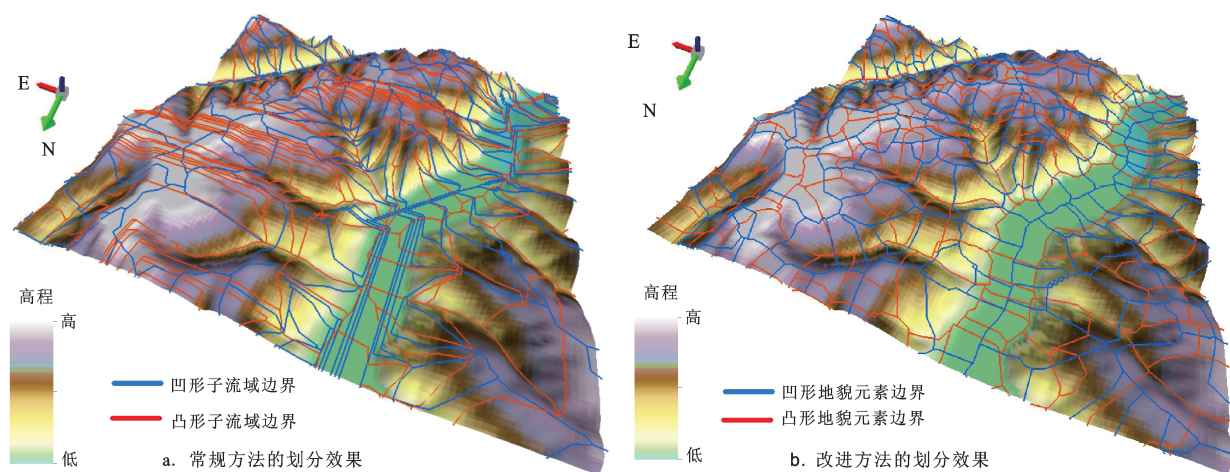


图4 华池县某部位基于2种方法划分的斜坡单元效果

Fig.4 Effects of slope units using two kinds of methods in a certain section of Huachi County

(图 5a)。可见,改进方法划分的单元大小较为均一,而常规方法划分的单元碎块比较多。

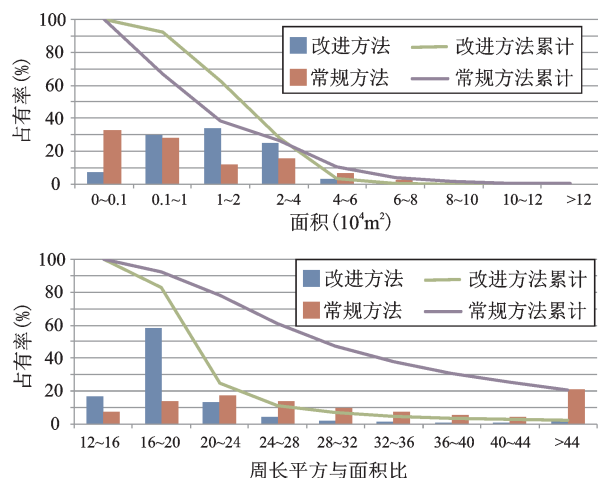


图5 华池县改进方法与常规方法划分的斜坡单元的形态特征统计

Fig.5 Morphological feature statistics of slope units using improved method and conventional method in Huachi County

单元形态可用周长平方与面积的比值描述。圆形的比值最小为12,正方形和正三角形适中,分别为16和20。如果单元过扁或存在长条形部分,比值便会大大增大。同样以华池县为例进行统计:改进方法划分的单元的比值主要集中在16~20,占全区总单元数量的60%,比值在12~16和20~24的单元均较多,分别占总数的16%和14%,比值大于28的单元(可近似看成长宽比为5:1的单元)小于总数的10%;常规方法划分的单元近45%的比值都大于28(图5b)。表明改进方法划分的单元形状多数介于圆形和正三角形之间,很少呈长条形。而常规方法划分的单元近一半呈长条形,需要繁杂的人工修编。

总之,改进方法划分的单元大小相对均匀,满足对制图单元大小相近的要求;单元形状多数介于圆形和正三角形之间,也避免繁杂的人工修编,因此,改进方法比常规方法更适合划分滑坡易发性制图单元。

### 3 结论

斜坡单元已广泛应用于滑坡易发性制图及其灾害评价。常规的斜坡单元划分方法是对高程与反转高程进行子流域分割以获得山脊线和山谷

线,叠加这2种地形特征线来划分斜坡单元。然而,在山间盆地或大型宽谷处,划分出的斜坡单元与地貌背景无法匹配。

本文以高程及其衍生变量的基本形态系统为背景,分析出高程无法反映坡度变化是造成常规方法局限性的主要原因,进而基于Romstad和Etzelmlüller的曲率的流域分割原理,提出了借助ArcGIS进行斜坡单元划分的改进方法:对平均曲率进行流域分割,寻找山脊线和台地边界,对反转曲率流域分割,寻找山谷线和宽谷边界。

与常规方法相比,改进方法不仅使用山脊线和山谷线以划分斜坡单元,而且能够依靠台地边界和宽谷边界以分割出相对的水平地表与倾斜地表。相比常规方法划分的制图单元多长条形、多碎块,改进方法所划分的制图单元大小较为均一,形状较为规则,避免繁杂的人工修编。

对于黄土塬区和水库库区等那些水平成分较大的地区,改进方法所划分的斜坡单元更为合理,更适于滑坡易发性制图及其灾害评价。

### 参考文献(References):

- [1] He Sanwei, Pan Peng, Dai Lan et al. Application of kernel-based Fisher discriminant analysis to map landslide susceptibility in the Qinggan River delta, Three Gorges, China[J]. *Geomorphology*, 2012, 171: 30-41.
- [2] Hadji R, Boumazbeur A E, Limani Y A et al. Geologic, topographic and climatic controls in landslide hazard assessment using GIS modeling: A case study of Souk Ahras region, NE Algeria[J]. *Quaternary International*, 2013, 302: 224-237.
- [3] Hansen A. Landslide hazard analysis[C]// In: Brunsden D, Prior D B. *Slope Instability*. New York: Wiley, 1984: 523-602.
- [4] Guzzetti F, Carrara A, Cardinali M et al. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy[J]. *Geomorphology*, 1999, 31(1/4): 181-216.
- [5] Xie M, Esaki T, Qiu C et al. Spatial three-dimensional landslide susceptibility mapping tool and its applications[J]. *Earth Science Frontiers*, 2007, 14(6): 73-84.
- [6] Jia Ning, Mitani Y, Xie Mowen et al. Shallow landslide hazard assessment using a three-dimensional deterministic model in a mountainous area[J]. *Computers and Geotechnics*, 2012, 45: 1-10.
- [7] 霍艾迪, 张骏, 卢玉东, 等. 地质灾害易发性评价单元划分方法——以陕西省黄陵县为例[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2011, 41(2): 523-528, 535. [Huo Aidi, Zhang Jun, Lu Yudong et al. Method of classification for susceptibility evaluation unit for geological hazards: a case study of huangling county,

- Shaanxi, China. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2011, 41(2): 523-528, 535.]
- [8] 程温鸣, 彭令, 牛瑞卿. 基于粗糙集理论的滑坡易发性评价——以三峡库区秭归县境内为例[J]. 中南大学学报:自然科学版, 2013, 44(3): 1083-1090. [Cheng Wenming, Peng Ling, Niu Ruiqing. Landslide susceptibility assessment based on rough set theory: Taking Zigui County territory in Three Gorges Reservoir for example. Journal of Central South University (Science and Technology), 2013, 44(3): 1083-1090.]
- [9] 武雪玲, 任福, 牛瑞卿, 等. 斜坡单元支持下的滑坡易发性评价支持向量机模型[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2013, 38(12): 1499-1503. [Wu Xueling, Ren Fu, Niu Ruiqing et al. Landslide spatial prediction based on slope units and support vector machines. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2013, 38(12): 1499-1503.]
- [10] 薛强, 张茂省, 李林. 基于斜坡单元与信息量法结合的宝塔区黄土滑坡易发性评价[J]. 地质通报, 2015, 34(11): 2108-2115. [Xue Qiang, Zhang Maosheng, Li Lin. Loess landslide susceptibility evaluation based on slope unit and information value method in Baota District, Yan'an. Geological Bulletin of China, 2015, 34(11): 2108-2115.]
- [11] 王佳佳, 殷坤龙, 杜娟, 等. 基于GIS考虑准动态湿度指数的滑坡危险性预测水文——力学耦合模型研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2013, 32(S2): 3868-3877. [Wang Jiajia, Yin Kunlong, Du Juan et al. Research on hydrology-mechanics coupling model of landslide hazards predication base on GIS by using Quasi-dynamic wetness index. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2013, 32(S2): 3868-3877.]
- [12] 谷天峰, 王家鼎, 付新平. 基于斜坡单元的区域斜坡稳定性评价方法[J]. 地理科学, 2013, 33(11): 1400-1405. [Gu Tianfeng, Wang Jiading, Fu Xinping. Regional slope stability analysis method based on the slope unit. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(11): 1400-1405.]
- [13] Krcho J. Morphometric analysis of relief on the basis of geometric aspect of field theory[M]. Bratislava: Acta UC, 1973.
- [14] Evans I S. General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics[C]//In: Chorley R J. Spatial Analysis in Geomorphology. New York: Harper and Row, 1972: 17-90.
- [15] Minár J. Morfometrická analýza polí a jej využitie v geoekológii [J]. Geografický časopis, 1999, 51(3): 261-277.
- [16] Shary P A, Sharaya L S, Mitusov A V. Fundamental quantitative methods of land surface analysis[J]. Geoderma, 2002, 107(1/2): 1-32.
- [17] Shary P A. Land surface in gravity points classification by a complete system of curvatures[J]. Mathematical Geology, 1995, 27(3): 373-390.
- [18] Shary P A, Sharaya L S, Mitusov A V. The problem of scale-specific and scale-free approaches in geomorphometry[J]. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 2005, 28(1): 81-101.
- [19] Romstad B, Etzelmüller B. Structuring the digital elevation model into landform elements through watershed segmentation of curvature[C]//In: Proceedings of Geomorphometry. Switzerland: University of Zurich, 2009: 55-60.
- [20] Romstad B, Etzelmüller B. Mean-curvature watersheds: A simple method for segmentation of a digital elevation model into terrain units[J]. Geomorphology, 2012, 139: 293-302.
- [21] 朱庆, 田一翔, 张叶廷. 从规则格网DEM自动提取汇水区域及其子区域的方法[J]. 测绘学报, 2005, 34(2): 129-133. [Zhu Qing, Tian Yixiang, Zhang Sheting. The extraction of catchment and subcatchment from regular grid DEMs. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2005, 34(2): 129-133.]
- [22] 朱庆, 赵杰, 钟正, 等. 基于规则格网DEM的地形特征提取算法[J]. 测绘学报, 2004, 33(1): 77-82. [Zhu Qing, Zhao Jie, Zhong Zheng et al. The extraction of topographic patterns based on regular grid DEMs. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2004, 33(1): 77-82.]
- [23] 叶爱中, 夏军, 王纲胜, 等. 基于数字高程模型的河网提取及子流域生成[J]. 水利学报, 2005, 36(5): 531-537. [Ye Aizhong, Xia Jun, Wang Gangsheng et al. Drainage network extraction and subcatchment delineation based on digital elevation model. Journal of Hydraulic Engineering, 2005, 36(5): 531-537.]
- [24] 俞雷, 刘洪斌, 王伟. 基于DEM的重庆三峡库区水系提取试验研究[J]. 地理科学, 2006, 26(5): 616-621. [Yu Lei, Liu Hongbin, Wu Wei. Extraction of river networks in the Three Gorges Area in Chongqing based on DEM. Scientia Geographica Sinica, 2006, 26(5): 616-621.]
- [25] 周德民, 程进强, 熊立华. 基于DEM的洪泛平原湿地数字水系提取研究[J]. 地理科学, 2008, 28(6): 776-781. [Zhou Demin, Cheng Jinqiang, Xiong Lihua. Digital extraction of surface hydrological elements from DEM data in the wetland area of a flood plain. Scientia Geographica Sinica, 2008, 28(6): 776-781.]



## An Approach to Improving Slope Unit Division Using GIS Technique

Yan Ge, Liang Shouyun, Zhao Hongliang

*(Key Laboratory of Mechanics on Disaster and Environment in Western China, Ministry of Education, Department of Geological Engineering, School of Civil Engineering and Mechanics, Lanzhou University, Lanzhou 730000, Gansu, China)*

**Abstract:** In recent years, slope units have been widely utilized in landslide susceptibility mapping and geological hazard assessment. Slope units automatically derived from high-quality DTMs, partition the territory into hydrological regions between drainage and divide lines. The division method of slope units conducts subwatershed segmentation on elevation and the reversal to extract ridge lines and valley lines, then overlays these terrain feature lines. However, these resultant units are unable to match with geomorphology background where intermountain basins or large open valleys exist. In this article, according to the basic morphometric system of elevation and the derived variables, slope is derivative of elevation while curvature is that of slope, thus the break of slope should be indicated by curvature instead of elevation. The disability of indicating variation of slope is regarded as the main reason for the limitation in the conventional method. According to the theory of watershed segmentation of mean curvature, the division method of slope units is improved by overlaying watershed boundaries on curvature and the reversal in ArcGIS. Firstly, the DEM should be smoothed twice with a  $5 \times 5$  average filter in order to reduce the effect of noise and small scale variation in the DEM. The curvature is then calculated from the filtered DEM using the Arctool named Curvature. After that, watershed boundaries are generated mainly through computing flow direction, scouting sink and dividing watershed in the curvature image, and this image should be reversed for watershed boundaries on the reversal curvature. Finally, slope units can be separated from each other by these two kinds of boundaries which are further combined into the boundaries of slope units. Giving an example from Huachi County of Gansu Province, elevation layer in the resolution of 20 m was used as input data, and both two methods were then applied for slope unit division. Compared with the conventional method, the revised approach not only uses ridge lines and valley lines to segment slope units, but also utilizes tableland boundaries and open valley boundaries to separate horizontal surface from the inclined. The revised approach may give a new definition that slope units should be divided by ridge lines, valley lines, tableland boundaries and open valley boundaries. Also the revised method utilizes watershed segmentation on curvature instead of subwatershed division on DEM where filling sinks perhaps causes the serious change of reversal elevation. Furthermore, the resultant units have relatively uniform size and shape, more than 80% of them with the area from  $0.1 \times 10^4$  to  $6 \times 10^4 \text{ m}^2$  and about 60% between circle and triangle shape, which are more suitable for landslide hazard evaluation. It is worth mentioning that the revised method would be more competitive than the original in some regions with large area of horizontal surface, just like Loess Tableland and reservoir surface.

**Key words:** slope units; division method; mean curvature; watershed segmentation; ArcGIS