

利用水系自动提取技术确定干旱区季节性干沟

王学全¹, 王国辰², 陈琦¹

(¹中国林科院荒漠化研究所, 北京 100091; ²内蒙古科技大学, 内蒙古包头 014010)

摘要:为了研究极端干旱区季节性河流集水网的自动生成技术,采用 ArcGIS 平台提供的水文分析模型,在数字高程模型的基础上,进行戈壁集水区干沟的自动提取,讨论汇流累积阈值对提取干沟的影响,并与 TM 影像中的干沟进行叠加比较,检验自动提取沟谷的精度。结果表明:集水面积阈值越小,提取河网越致密,反之则提取河网稀疏。由于研究区地域辽阔,根据研究目标当集水面积阈值为 4.5 km²时,提取沟谷已经较好地刻画了戈壁集水区干沟分布状况,所提取的沟谷在整个集水区上游山区以及支干主干沟道与实际沟谷吻合较好,可以满足应用需要。集水面积阈值与河源 1 级沟谷数相关曲线存在转折点,可以根据转折点时对应的集水面积阈值,初步确定沟谷提取的最佳阈值。

关键词:干沟;DEM;戈壁;集水区

中图分类号:P931

文献标志码:A

论文编号:2013-1898

Applying Automated Extraction Techniques of Stream Channel to Determine Arid Ephemeral Arroyos

Wang Xuequan¹, Wang Guochen², Chen Qi¹

(¹Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091;

²Inner Mongolia University of Science & Technology, Baotou Inner Mongolia 014010)

Abstract: In order to study the effective method of arroyos extraction for ephemeral stream in hyper-arid area. Arroyos were extracted automatically in gobi catchment using the hydrological analysis model in ArcGIS platform on the base of DEM, and the author discussed the effect of drainage water threshold on the extracted arroyos by overlapping the TM image to verify the accuracy. The results showed that: the smaller the drainage water threshold, the finer and more concentrated of the extracted arroyos were, while the larger of drainage water threshold results in the sparser of extracted arroyos; as the research area was large, according to the research objectives, when the drainage water threshold reached to the 4.5 km², the extracted arroyos would better describe the arroyos distribution in gobi catchment, with the better matching up arroyos located in the upper catchment and in the main and sub-main breaches, could meet the practical needs. The fact that there was a turning point on the curve between drainage water threshold and the accumulated numbers of the first sources breaches could be used to roughly determine the best drainage water threshold for arroyos extraction.

Key words: arroyos; digital elevation model (DEM); gobi; catchment

0 引言

戈壁是在干旱区特殊的气候背景下形成的独特地貌类型。由于降水稀少、植被稀疏,强烈的物理风化作用在戈壁形成过程中占据主导地位。这里尽管常年性

的地表径流稀缺,但是并不缺乏现代水流的痕迹,特别是暂时性沟谷水流和片状水流对地貌塑造和区域生态起着重要作用。许多研究表明,处于极端干旱区的干沟不仅是地貌演化重要证据,也是坡面侵蚀的展示^[1]。

基金项目:中央级公益性科研院所基础科研业务费专项资金(CAFYBB2011002-3);国家“十二五”科技支撑课题“高寒干旱沙区沙化土地综合治理技术与试验示范”(2012BAD16B0105);中国林科院林业研究所重点项目“沙区微区水文过程及其生态功能研究”(ZD200907)。

第一作者简介:王学全,男,1965年出生,副研究员,博士,主要从事荒漠化防治研究。通信地址:100091 北京市海淀区槐树居路10号 中国林科院荒漠化研究所, E-mail: wxq@caf.ac.cn。

收稿日期:2013-07-10, **修回日期:**2013-09-09。

另外, 沟谷还是戈壁区植被分布的廊道^[2], 戈壁区一般通过暴雨形式或洪水泛滥使土壤表面存在短期积水环境, 使得土层充分湿润, 为植物生长提供了适宜生境, 戈壁集水区沟谷形态对植被分布有重要影响。因此, 研究戈壁集水区沟谷分布对于极端干旱区气候和环境变化具有重要意义。

流域下垫面空间信息是大多数分布式水文模型开发与应用的基础。随着数字流域技术的发展和日益完善, 流域水文空间信息如流域坡度、流域面积、流域分界、水系网、子流域的计算和划分都可用数字技术来表现, 在实际工作中由DEM提取流域地形及水系特征, 具有精度高、方便成图与空间分析等明显优点, 已经成为现代水文分析的主要手段。基于DEM数据提取流域水系网络的基础理论来源于坡面流模拟方法^[3], 在国内外许多流域的案例研究中取得满意的精度, 在DEM数据预处理, 水平分辨率影响以及提取河网水系后修正等方面取得了研究成果^[4-5]。上述研究主要集中在一般性的河流水系上, 很少专门针对极端干旱区的集水区。戈壁集水区不同于湿润地区的流域, 是传统意义的无流区, 属于水文测验空白区, 集水区水系表现为干沟, 无法直接在地形图上得到。遥感技术、数字高程模型(DEM)以及地理信息系统的应用为戈壁集水区高精度数字地形分析提供了可能和有效方法。因此,

笔者采用ArcGIS平台提供的水文分析模型, 在数字高程模型的基础上, 进行戈壁集水区干沟要素的自动提取, 讨论汇流累积阈值的影响, 并与TM影像中的干沟进行叠加比较, 检验自动提取沟谷的精度, 探讨戈壁集水区干沟与地形要素之间的关系, 以期为极端干旱区季节性集水网的生成提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于河西走廊以北, 横跨甘肃省肃北蒙古自治县及内蒙古自治区额济纳旗, 北抵中蒙边境(见图1)。地理坐标为41°25'—42°94'N, 96°94'—100°02'E, 面积16560 km²。该区海拔800—2600 m, 地势西高东低, 区域内除马鬃山地区外, 地形相对平缓, 相对高差一般小于100 m, 山地基岩裸露, 植被稀少, 呈现典型的荒漠戈壁景观。区内多年平均降雨量为60—80 mm, 集中在6—8月, 并常以暴雨的形式出现。年平均风速达4 m/s。区内没有常年性河流, 但由洪水作用形成的干河床、沟谷比较发育。从流域的角度分析, 集水中心位于黑河下游冲积平原的西侧, 属于黑河流域的1个子流域, 受人类活动的干扰小, 季节性集水网基本上呈自然分布状态, 其气候特点和地形地貌特征在中国西北干旱区具有典型性和代表性。因此, 本区域的研究对于中国西北干旱区的水文模拟具有重要意义。

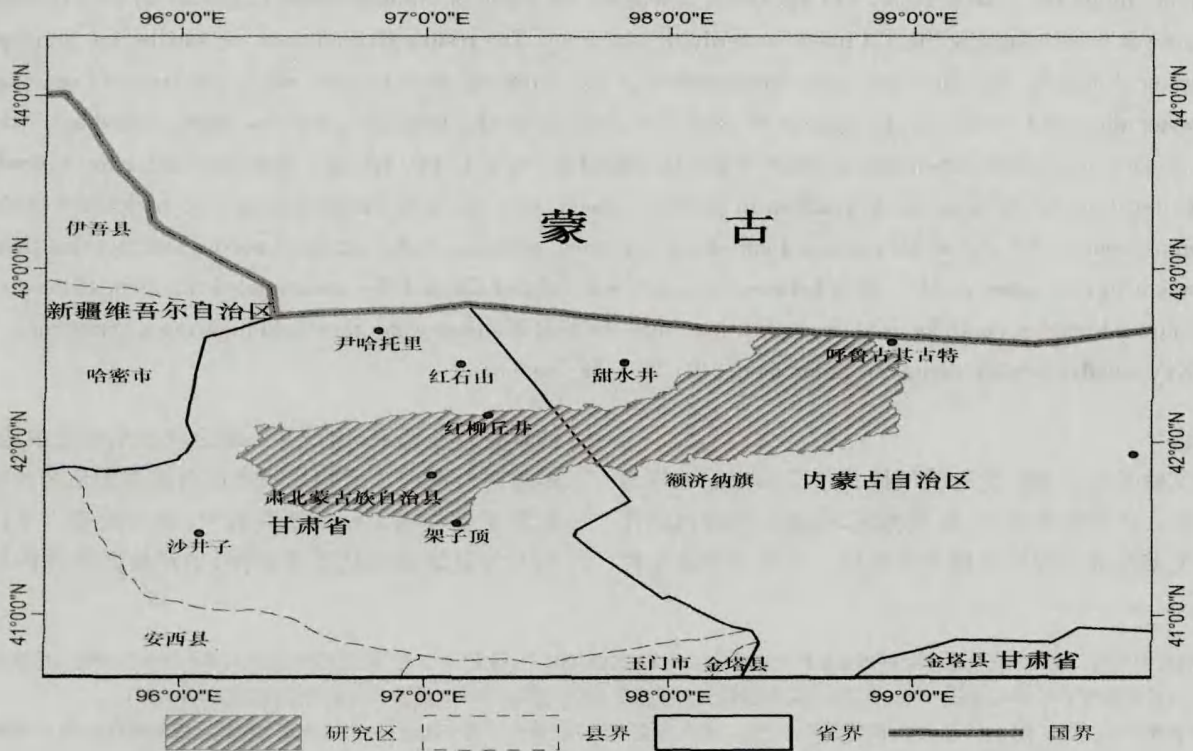


图1 研究区位置

1.2 数据来源与方法

本研究所采用的数字高程数据是美国航空航天局(NASA)和日本经济产业省(METI)于2009年6月联合发布的ASTER-GDEM数据,垂直、水平分辨率分别为20 m、30 m。数据来源于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站(<http://datamirror.csdb.cn>),将下载覆盖整个研究区域的DEM数据拼接处理后,按照研究区边界裁剪出相吻合的DEM数据。采用ArcGIS平台提供的水文分析模型,对研究区域栅格DEM经过数据预处理、洼地计算,水流方向确定、汇流累积栅格计算等步骤后,设定集水面积阈值,得到不同阈值下戈壁集水区沟谷网,采用Horton-Strahler分级体系对提取的干沟进行分级和编码^[6],分析统计集水面积阈值的变化对研究流域干沟提取的影响。

ArcGIS平台提供的水文分析工具是基于地表径流漫流模型算法,河流网络是在水流累积矩阵基础上生成的^[7],在提取水系时把小于某个集水区面积的子流域当作最小子流域,即集水面积阈值。本研究区面积大,集水面积阈值设定为4.5、9.0、18、27、36、45、54、72、81、90 km²共10个级别。

2 结果与分析

2.1 集水面积阈值的选取

集水面积阈值的设定决定了生成的数字河网形态、河网密度、河流源头、子流域大小范围。本研究分别取集水面积阈值4.5、9.0、18、27、36、45、54、72、81、90 km²进行沟谷提取,得到不同阈值下沟谷特征值。图2(A~C)为当集水面积阈值分别为90、27、4.5 km²提取的沟谷。

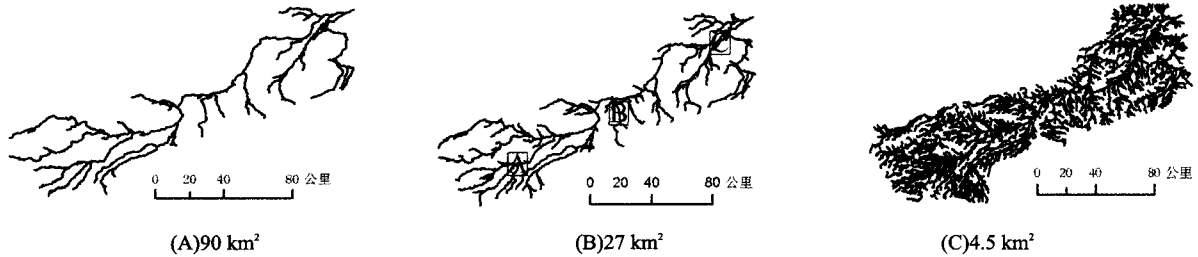


图2 不同阈值提取河网

集水面积阈值决定生成沟谷的丰富度。流域水系的细节是无穷的^[8]。集水面积阈值越小,水系结构越丰富,层次越复杂。由图2可以看出,随着集水面积阈值减小,所提取的沟谷主干不变,部分次级沟谷加长,沟谷级别越来越高,出现更加细小的沟谷分支,所提取河网越密集。比较而言,本研究中当阈值增加到

90 km²时,沟谷稀疏的同时,部分次级沟谷河道消失,长度缩短。

沟谷特征值变化。1级沟谷的数目和河网密度、河流的级数和总河长随着集水面积阈值增加而减小。由表1可知,随着集水面积阈值由4.5 km²增至90 km²时,1级沟谷数由975条减少到53条,对于主河长而

表1 不同阈值的沟谷特征

集水面积阈值/km ²	1级沟谷数/条	沟谷密度/(km/km ²)	主河长/km	支流总长/km	总河长/km
4.5	975	0.38	230	6020	6250
9	510	0.27	205	4295	4500
18	259	0.19	205	2960	3165
27	181	0.16	173	2411	2583
36	129	0.13	205	1990	2195
45	103	0.12	205	1769	1974
54	92	0.11	205	1601	1806
72	64	0.09	205	1317	1521
81	57	0.09	208	1253	1460
90	53	0.08	205	1140	1345

言,除了在集水面积阈值为4.5、27 km²时有较大差别外,其他时候差别较小。各级河流数量也有所变化,除1、2级沟谷条数显著减少外,其他各级河流变化不大,同时,当集水面积阈值大于等于36 km²时5级河流消失。这种变化趋势表明,不同阈值对提取河网形态结构有显著影响。流域内总的河流级数以及各级河流的数量是确定最佳阈值的参考。

沟道特征值与集水面积阈值的相关性分析。采用统计学方法,分别对1级沟道数、沟道密度与集水面积阈值的进行分析。选用乘幂函数进行趋势分析,应用最小二乘法,得出集水面积阈值与沟道密度拟合曲线是 $y=0.403x^{0.68}$,与1级沟道数拟合曲线是 $y=1096x^{1.32}$,二者相关系数都达到0.995。曲线有转折点存在,随着阈值增大,最初的1级沟道数(河源数)减小很快,而后变得平缓。该结论与其他学者的研究结论一致^[9-10]。拟合曲线平缓时对应最合理的集水面积阈值^[11],在提取河网过程中据此参考,可初步缩小阈值的搜索范围,避免反复试验阈值盲目性,保证沟谷提取的准确性。与上述研究不同的是:集水面积阈值与沟谷网密度相关曲线转折点不明显,主要是由于戈壁集水区沟谷网

不同于典型树枝状或叶状水系,而呈现念珠状或串状分布形态。

2.2 提取沟谷与TM影像比较分析

由于戈壁区特殊的地貌特征,沟谷较细的冲积洪积物与周边环境呈现较大的视差,一般呈亮白色,在TM影像中有较明显的波段特征,非常容易识别。经过4、3、2波段组合得到研究戈壁区TM影像,而后叠加提取的沟谷(集水面积阈值4.5 km²)(见图3)。图3中用黑色线条表示所提取的干沟。分别裁剪集水区上中下游A、B、C作为影像实验区,在整个研究区的具体位置见图2B,代表不同的坡度和流域位置,A区位于河源位置坡度较大,B区位于沟谷中段坡度较小,C区位于沟谷下游,地形坡度小于3°,有冲积平原和冲积湖泊地表特征。研究表明,汇流累积量越大,即越靠近支沟干道的地方提取效果越好。而在更小的支沟末梢,则无法提取。在山地丘陵地区地形坡度较大的区域,沟谷提取的结果精度较高。在中下游的平坦地区,由于河流流动的随机性比较大,DEM中有限的高程信息很难确定水流方向,提取的水系与影像存在较大差异。

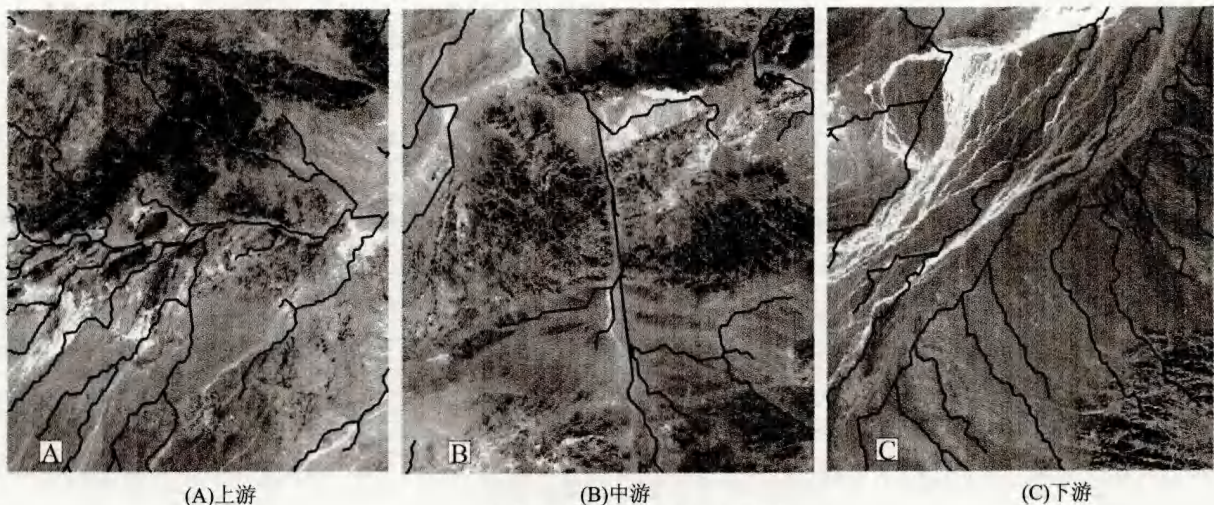


图3 提取沟谷叠加TM影像

3 讨论

戈壁集水区干沟是极端干旱区偶发性暴雨洪水形成的,加之所处区域为高原剥蚀夷平面,地形起伏和缓,与一般流域水系不同的是沟道切割浅,沟谷位置摆动大,特别是在河源地区,每次暴雨都可能形成新的细沟,原来的细沟由于风积作用而不复存在,造成应用DEM提取的干沟即使在河源地区也有较大差异。因此,在应用高精度DEM数据的同时,需要进一步研究确定合理的戈壁集水区面积阈值,提取相对稳定的沟

谷网^[12-16]。另外,需要充分利用戈壁集水区干沟在TM影像中所具有的较明显波段特征,修正提取结果。

4 结论

集水面积阈值决定沟谷提取的细节和丰富度。它不仅决定了沟谷的源头和1级水系并直接决定提取的河网形态。集水面积阈值越小,提取河网越致密;反之则提取河网稀疏。由于研究区地域辽阔,根据研究目标当集水面积阈值为4.5 km²时,提取沟谷已经较好地刻画了戈壁集水区干沟分布状况,集水区1级沟谷

更加详细。从沟谷网络和集水区面积方面分析,通过与研究区 TM 影像比较,根据 DEM 提取的沟谷网络中主要沟谷的汇水面积和主汇水沟长与实际值基本一致,可以满足应用需要。所提取的沟谷在整个集水区上游山区以及支干主干沟道与实际沟谷吻合较好。

对于戈壁集水区,集水面积阈值与河源 1 级沟谷数相关曲线存在明显转折点,随着集水面积阈值在 90~4.5 km² 之间逐步减小,河源 1 级沟谷数最初增加很少,转折点后迅速增加,根据转折点对应的集水面积阈值确定沟谷提取的最佳阈值。与前人研究结论不同的是:集水面积阈值与沟谷网密度相关曲线转折点不明显,主要是由于戈壁集水区沟谷网与一般流域的典型树枝状或叶状水系不同,呈念珠状或串状分布形态。

参考文献

- [1] Billi P. Flash floods, sediment transport and bed forms in the ephemeral streams of Kobo basin, northern Ethiopia[J]. *Catena*, 2008, 75(1):5-17.
- [2] Jacobson P J, Jacobson K M. Hydrologic controls of physical and ecological processes in Namib Desert ephemeral rivers: Implications for conservation and management[J]. *Journal of Arid Environments*, 2012, 32(3):15-27.
- [3] Callaghan J F, Mark D M. The extraction of drainage network from digital elevation data[J]. *Graphics and Image Processing*, 1984, 28(5): 323-344.
- [4] Valeo C, Moin S M. Grid-resolution effects on a model for integrating urban and rural areas[J]. *Hydrological Processes*, 2000, 14 (14):2505-2525.
- [5] 曾红伟,李丽娟,柳玉梅,等. Arc Hydro Tools 及多源 DEM 提取河网与精度分析——以洮儿河流域为例[J]. *地球信息科学学报*, 2011, 13(1):22-30.
- [6] Strahler A N. Quantitative analysis of watershed geomorphology[J]. *EOS Trans*, 1957, 38(6):913-920.
- [7] 汤国安,杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2006:102-112.
- [8] 李泳,韦方强. 泥石流流域集水区面积限值与一级水系数目关系[J]. *地理科学*, 2005, 25(4):58-62.
- [9] 杨邦,任立良. 集水面积阈值确定方法的比较研究[J]. *水电能源科学*, 2009, 27(5):11-14.
- [10] 宋向阳,吴发启,赵龙山,等. 基于 DEM 的延河流域水文特征提取与分析[J]. *干旱地区农业研究*, 2012, 30(4):33-37.
- [11] 孔凡哲,李莉莉. 利用 DEM 提取河网时集水面积阈值的确定[J]. *水电能源科学*, 2005, 23(40):65-68.
- [12] 张国珍,严恩萍,洪奕丰,等. 基于 DEM 的东江湖风景区水文分析研究[J]. *中国农学通报*, 2013, 29(2):172-177.
- [13] 江滔,王伟,刘洪斌. 基于 DEM 的重庆长汀流域水系分维估算[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(1):365-368.
- [14] 王程,韩新海. Arcgis 环境下基于 DEM 的水文特征提取——以县南沟流域为例[J]. *地下水*, 2011, 33(4):174-176.
- [15] 徐静,任立良,程媛华,等. 不受 DEM 空间分辨率影响的地形指数计算[J]. *清华大学学报*, 2008, 48(6):983-986.
- [16] 周启鸣,刘学军. 数字地形分析[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 172-182.