

# 基于 DEM 的沟谷网络节点水流累积量研究

李军锋<sup>1</sup>, 李天文<sup>1</sup>, 汤国安<sup>2</sup>, 刘学军<sup>2</sup>

(1. 西北大学 城市与资源学系, 陕西 西安 710069;

2. 南京师范大学 地理科学学院 江苏省地理信息科学重点实验室, 江苏 南京 210097)

**摘 要:** 以陕西省境内黄土高原丘陵沟壑区绥德县韭园沟、延川和宜君三个典型地貌区作为实验样区, 基于栅格数字高程模型(Digital Elevation Mode, DEM) 沟谷网络自动提取技术以及沟谷网络节点及其自动提取技术, 得到了各样区沟谷网络节点, 从地貌形态学、沟谷成因学以及水文学原理出发, 对不同级别沟谷网络节点水流累积属性进行了深入分析, 结合数理统计方法获得了同一沟谷系统不同分辨率沟谷网络节点水流累积量均值分级统计规律, 不同地貌类型样区沟谷系统相同分辨率节点水流累积量均值分级统计规律。该数理统计结论能够有效解释黄土高原丘陵沟壑区各级沟谷系统的形成机理及其空间分异规律, 同时能够合理地说明沟谷系统发育与地表侵蚀、切割强度之间的相互关系。因此, 本研究对整个黄土高原丘陵沟壑区地表形态的研究具有重要的参考意义。

**关键词:** 数字高程模型; 沟谷网络节点; 水流累积量; 分辨率

中图分类号: P931. 6

文献标识码: A

我国是一个水土流失十分严重的国家, 而黄土高原又是我国水土流失最严重的地区。地形地貌条件是影响水土流失的成因之一, 同时地貌形态又是侵蚀过程的产物, 这一规律在黄土高原得到了集中的体现。黄土高原千沟万壑, 沟谷发育完全, 这些沟谷既是一种地貌形成过程, 又是一种地貌侵蚀形态, 它们对整个黄土高原生态系统的物质能量的再分配起着主导作用。所以, 沟谷系统和水土流失之间存在着相互促进和相互制约的关系。同时, 地表径流在沟壑系统的形成中起着主要作用。

数字高程模型(DEM) 是描述地面高程属性空间分布的有序数值阵列, 其中蕴涵着丰富的地貌地形信息, 能有效地反映区域的基本地形空间分布规律与地貌特征<sup>[1]</sup>。同时, DEM 又是地理信息系统空间分析的基础。目前, 利用 DEM 数据分析地形和水文的方法日益成熟, 可以提取所研究区域的各种地形因子, 沟谷水系及其拓扑关系, 并能够生成相应

的水流累积数据来进行地表径流模拟研究。

本研究选取黄土高原丘陵沟壑区三个不同地貌类型样区的 DEM 数据, 结合地理信息系统空间分析方法、水文分析方法以及数字高程模型沟谷网络自动提取技术<sup>[2-6]</sup>, 获取了三个样区的沟谷网络及其相应的沟谷网络节点, 并结合地貌学、水文学原理对不同节点的水流累积属性进行了深入分析, 以便找到不同流域地貌形态与各级节点水流累积属性的关系和这种关系的内部形成机理。从而能够深刻地认识沟谷系统发育与地表侵蚀、切割强度之间的相互关系<sup>[7-8]</sup>, 为黄土高原地貌规律的研究以及黄土高原沟壑谱的建立提供一种新的方法。

## 1 沟谷网络节点的概念与提取

### 1.1 沟谷网络节点的概念

沟谷网络节点<sup>[9]</sup>是指某沟谷网络系统中表征

收稿日期(Received date): 2004- 08- 08; 改回日期(Accepted): 2004- 11- 30.

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目(40271089), 教育部重大科学技术项目, 陕西省重大基金项目(2003K12- G5)[Supported by State Natural Science Fund (40271089), Ministry of Education Technology Research Item and Shaanxi Province Science Fund (2003K12- G5)]

作者简介(Biography): 李军锋, 男, 生于 1981 年, 陕西临潼人, 西北大学城市与资源学系硕士研究生, 主要从事遥感与地理信息系统研究。  
[ LI Junfeng(1981- ), male, was born in Lintong Shaanxi Province, PRC. Now he is a postgraduate student of department of urban and resources science, Northwest University. His research interesting now is major in the technologies of GIS, RS and their applications.  
E-mail: p\_o\_s\_t@163.com ]

各级沟谷网络与上级沟谷网络交汇点的集合。简单地讲,它是低一级沟谷与高一级沟谷的交叉点。

对于每一个沟谷网络节点,均内涵其空间特征(空间位置坐标)与属性特征(该点的河流水文特征)。但从一个特定的研究区(如一个流域),又可体

现沟谷网络节点在其中的群体组合效应。即利用节点群在空间上的分布,反映不同级别沟谷在地面的空间分布规律。

1.2 沟谷网络节点的提取

基于 DEM 的沟谷网络节点提取过程如图 1 所示。



图 1 沟谷网络节点提取示意图

Fig. 1 The graph of extraction of channel network nodes

2 实验与结果分析

2.1 实验数据

本研究的实验数据见表 1,图 2。

2.2 实验方法(图 3)

2.3 实验结果分析

2.3.1 同一地貌样区不同分辨率水流累积量均值分级统计规律

表 1 实验数据

Table 1 Test data

| 实验样区      | DEM 比例尺   | DEM 空间分辨率     |
|-----------|-----------|---------------|
| 绥德韭园沟某子流域 | 1: 10 000 | 5 m、15 m、25 m |
| 延川某子流域    | 1: 10 000 | 5 m           |
| 宜君某子流域    | 1: 10 000 | 5 m           |

同一地区不同的分辨率 DEM 数据所蕴涵的地形信息是不同的。一般而言,较高的分辨率能够更好地模拟真实地表;而较低的分辨率对地表的宏观概括程度较高,可以较好地反映主要的地貌形态以及地貌类型。实验从韭园沟某子流域 5 m、15 m、25 m 分辨率 DEM 上分别提取了不同级别的沟谷网络和相应的沟谷网络节点,提取的原则为在不失真的情况下最大限度地提取沟谷。然后,对各级节点的水流累积值进行了均值计算,如表 2 所示。从表 2 中可以清楚地看到:随着分辨率的降低,相同等级沟谷节点水流累积量均值依次减小。

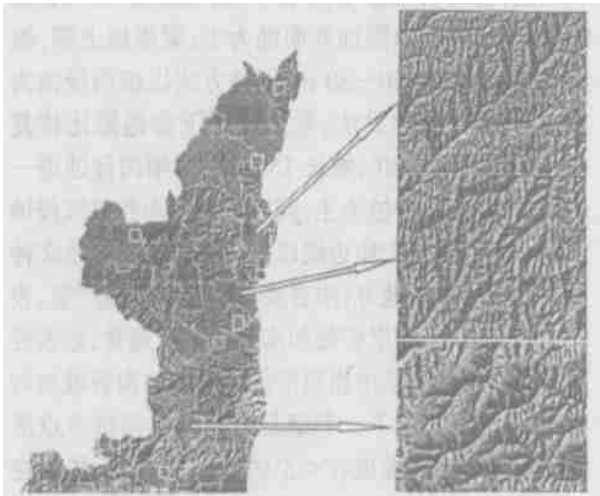


图 2 实验样区的地理位置及其光照模拟图

Fig. 2 The spatial distribution and the hillshade model of the test area

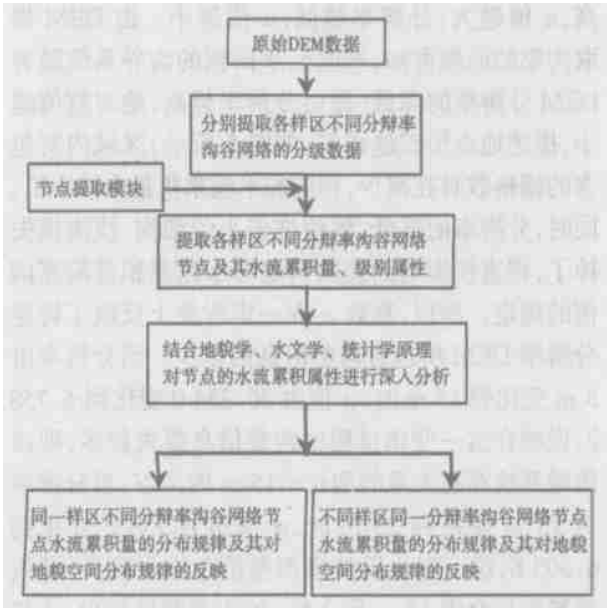


图 3 实验方法路线示意图

Fig. 3 The method and steps of test

表 2 韭园沟某子流域各级沟谷网络节点水流累积量均值表

Table 2 Average water accumulation of different grade channel network nodes in Jiu Yuangou

| 级别 | 累积量均值(5 m) | 累积量均值(15 m) | 累积量均值(25 m) |
|----|------------|-------------|-------------|
| 1  | 143        | 35          | 27          |
| 2  | 902        | 224         | 160         |
| 3  | 4 353      | 1 005       | 644         |
| 4  | 16 295     | 6 840       | 3 393       |
| 5  | 90 655     | 31 082      | 13 713      |

为了进行深入的定量分析,对统计结果进行了曲线拟合并得出了拟合方程,各级分辨率沟谷网络节点水流累积量均值拟合曲线以及拟合曲线的指数方程如表 3、图 4 所示。

表 3 水流累积量均值拟合曲线方程

Table 3 The synthetic curve equation of average water accumulation

| 分辨率  | 指数方程                    | <i>a</i> | <i>b</i> |
|------|-------------------------|----------|----------|
| 5 m  | $y = 36.354e^{1.5447x}$ | 36.354 0 | 1.544 7  |
| 15 m | $y = 6.7582e^{1.7x}$    | 6.758 2  | 1.700 0  |
| 25 m | $y = 6.3036e^{1.5522x}$ | 6.303 0  | 1.552 2  |

从表 3 可以看到,在不同分辨率情况下,同一地区各级沟谷网络节点水流累积量均值分布曲线呈指数关系变化,其公式为

$$y = a \times e^{bx}$$

(1)

式中 系数 *a* 随分辨率变化比较明显,即分辨率越高, *a* 值越大;分辨率越低, *a* 值越小。由 DEM 提取沟壑的原理可知,相同汇水面积的沟谷系统随着 DEM 分辨率的降低(栅格分辨率越高,绝对数值越小,描述地表形态越详细,如图 5 所示)区域内所包含的栅格数目在减少,相应的水流累积量也减小了。同时,分辨率的降低,致使许多小的细沟、浅沟损失掉了,将直接影响到提取沟壑时水流累积量起算阈值的确定。所以,系数 *a* 在一定程度上反映了特定分辨率 DEM 所包含沟壑信息的多少。当分辨率由 5 m 变化到 15 m 时, *a* 值由 36.354 0 变化到 6.758 2,说明在这一变化过程中沟壑信息损失较多,即该流域系统存在大量的沟长 < 15 m 的沟谷;当分辨率由 15 m 变化到 25 m 时, *a* 值由 6.758 2 变化到 6.303 6,这一变化反映出沟壑信息损失较少,即该流域沟长介于 15 m 到 2 5m 的沟道数目较少,这与该地区的实际情况基本吻合。

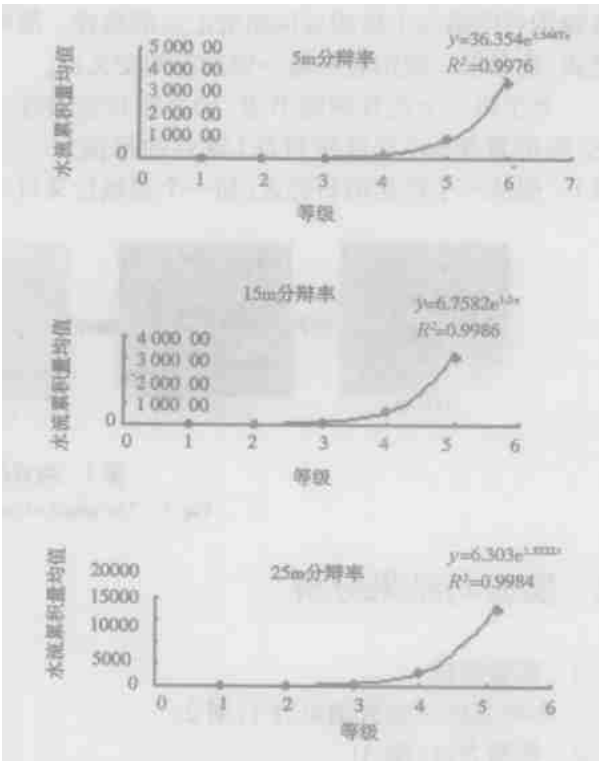


图 4 水流累积量均值拟合曲线

Fig. 4 The synthetic curve of average water accumulation

韭园沟位于陕西省绥德县无定河中游,黄土分布广,土质疏松,抗蚀性差,有机质含量低,属于典型的黄土丘陵沟壑区流域,以充分发育的峁状地貌为主,兼有残梁。样区内丘陵起伏,沟壑纵横,土壤侵蚀极为剧烈,地表形态复杂,从分水岭至沟底可分为梁峁坡、沟谷坡和沟谷底三部分。梁峁坡位于峁边线以上,坡面较完整,顶部较平坦,坡度多 < 5°,坡长 8 ~ 15 m,侵蚀以溅蚀和面蚀为主;梁峁坡上部,坡度多 < 20°,坡长 20 ~ 30 m,侵蚀方式以细沟侵蚀为主,间有浅沟侵蚀发生;梁峁坡中下部地形比较复杂,坡度在 20° ~ 30°,坡长 15 ~ 20 m,细沟侵蚀进一步发育,以浅沟侵蚀为主,间有坡面切沟和陷穴侵蚀发生。沟谷坡位于峁边线以下,是冲沟、崩塌及多种重力作用活跃的地方;沟谷底部跌水和沟蚀严重,表现为沟底下切、沟岸扩张和沟头前进。通常,地表径流在峁状地貌区是由峁顶沿梁峁坡流向沟谷坡和沟谷底,最终渗入地下。等级最低的沟谷网络节点所控汇水区主要是坡度在 < 5° 的峁顶区,沟长集中在 8 ~ 15 m。从以上分析中可以得出以下结论:

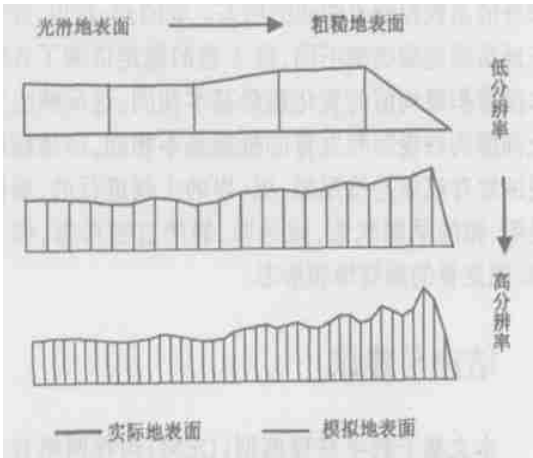


图 5 不同栅格分辨率描述地形差异示意图

Fig. 5 The graph of terrain difference described with different grid resolution

1. 系数  $a$  不仅是一个空间尺度指标, 也是一个反映特定分辨率 DEM 包含沟壑信息量大小的指标; 分辨率越高,  $a$  值越大; 分辨率越低,  $a$  值越小。

2. 通常在数学上, 指数方程的指数控制着曲线的形态。通过实验统计结果可以发现: 随着分辨率的变化, 系数  $b$  的数值较为稳定, 在 1.5~ 1.7 间变化, 并且所得拟合曲线形态基本相同。由沟谷系统分级的原则可知, 沟谷的拓扑形态直接决定着沟谷的级别, 从而决定了各级沟谷节点水流累积量均值的大小。这种曲线形态的相似性事实上隐含着以下信息, 即不同级别沟谷网络节点水流累积量均值的比值具有空间分异上的稳定性, 它基本不随分辨率的变化而改变, 亦即说明了该地区不同等级的沟谷系统空间结构上的稳定性。

2.3.2 不同地貌样区 5 m 分辨率水流累积量均值分级统计规律

基于上述三个样区 1: 10 000 的 5 m 分辨率 DEM, 各样区子流域不同级别水流累积量均值统计值如表 4 所示。以上三个实验样区的地貌类型不同: 韭园沟属于典型的黄土峁状地貌, 延川属于黄土梁峁状地貌, 宜君属于黄土残塬状地貌。从地貌成因上分析, 韭园沟侵蚀切割严重, 地表破碎, 多细沟、浅沟, 沟谷系统级别较高; 延川次之, 沟谷系统分级只有五级; 宜君地处黄土高原南端, 沟侵蚀切割较轻, 地表缓平, 沟谷系统级别较低。为了进行深入的定量分析, 对统计结果进行了曲线拟合并得出了拟合方程。三个实验样区水流累积量均值拟合曲线以及拟合曲线的指数方程如表 5、图 6 所示。从表 5

表 4 各样区子流域不同级别水流累积量均值统计值

Table 4 The statistical value of average water accumulation of different grade in three test areas

| 等级  | 韭园沟     | 延川     | 宜君      |
|-----|---------|--------|---------|
| 1 级 | 143     | 166    | 7 163   |
| 2 级 | 902     | 888    | 30 730  |
| 3 级 | 4 353   | 3 870  | 154 083 |
| 4 级 | 16 295  | 17 367 | 0       |
| 5 级 | 90 655  | 76 304 | 0       |
| 6 级 | 341 982 | 0      | 0       |

表 5 水流累积量均值拟合曲线方程

Table 5 The synthetic curve equation of average water accumulation

| 样区  | 指数方程                    | $a$      | $b$     |
|-----|-------------------------|----------|---------|
| 韭园沟 | $y = 36.354e^{1.5447x}$ | 36.354   | 1.544 7 |
| 延川  | $y = 38.755e^{1.5237x}$ | 38.755   | 1.523 7 |
| 宜君  | $y = 1504.7e^{1.5343x}$ | 1 504. 7 | 1.534 3 |

中的统计值能够得到: 不同地貌类型样区水流累积均统计曲线所对应的方程同样符合公式(1)。

由沟谷网络节点的定义可知, 一个节点能够反映该节点所在汇水区汇流量的大小, 结合地貌学、水文学知识, 汇流量的大小又可反映该地区侵蚀切割强度, 即不同样区相同等级沟谷网络节点对应水流累积均值, 大致可以反映该地区某一级别汇流区域侵蚀切割强度: 水流累积量值越小, 说明该流域受侵蚀切割的程度较强, 地貌比较破碎, 汇流区面积小, 形成的沟道较短; 水流累积量值越大, 说明该流域受侵蚀切割的程度较弱, 地貌相对缓平, 构成汇流区的面积较大, 沟道较长。

结合三个样区实际地貌类型: 韭园沟位于陕西省德县无定河中游, 属于典型的黄土丘陵沟壑区代表流域, 以充分发育的峁状地貌为主, 兼有残梁。样区内丘陵起伏, 沟壑纵横, 土壤侵蚀极为剧烈, 地表破碎, 所以沟谷网络节点所在汇流区面积较小, 形成的沟道较短; 延川位于陕西省延川县城西南部延河中游地区, 属于典型的黄土梁峁状丘陵沟壑区, 梁峁兼有, 沟壑发育, 梁状坡面细沟、浅沟发育, 面状、线状侵蚀剧烈, 梁峁以下, 冲沟、干沟和河沟深切。冲沟横剖面多呈尖 V 字形, 沟坡 45°~ 70°, 崩塌、错落较多; 干沟和河沟横剖面多呈宽 V 字形, 谷坡比较和缓, 并有波折, 滑坡较为常见。在径流集中处, 陷穴等潜蚀溶蚀微地貌发育。与韭园沟相比沟谷网

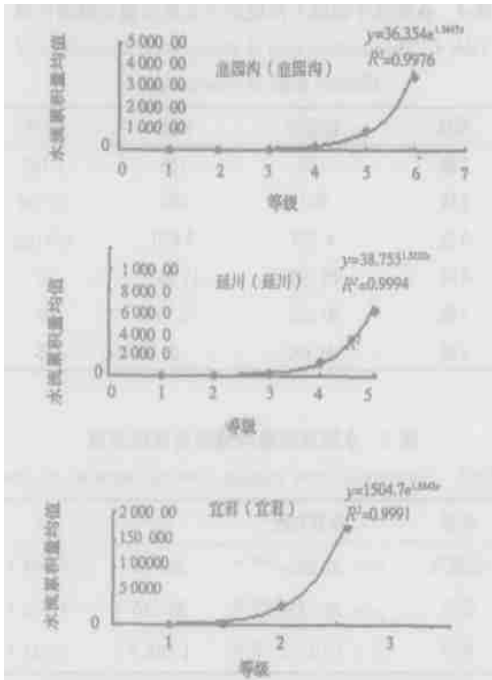


图6 不同样区子流域水流累积量均值拟合曲线

Fig. 6 The synthetic curve of average water accumulation in three test area

络节点所在汇流区面积有所增大, 沟道有所增长, 但增加幅度不是很剧烈, 这就是从韭园沟到延川水流累积量均值拟合曲线对应指数方程系数  $a$  (36.354 ~ 38.755) 变化不大的原因; 宜君位于陕北黄土高原南缘宜君县城东北部洛河中下游地区, 紧依关中盆地, 属于典型的黄土残塬区。以充分发育的塬状地貌为主体, 山、梁、峁、塬、川、沟谷并存。样区内沟谷溯源侵蚀强烈, 重力侵蚀活跃, 年侵蚀模数可达  $5\,000 \sim 10\,000 \text{ t/km}^2$ , 流水侵蚀较弱, 切沟发育较充分而冲沟较少, 水土流失较轻, 地表平坦, 导致沟谷网络节点所在汇流区的面积巨大, 以致系数  $a$  在宜君较韭园沟和延川两地变化剧烈 (36.4 ~ 38.8 ~ 1504.7)。同时, 在地理位置和地貌类型上韭园沟与延川相关性较强, 而与宜君相关性较弱, 这也正好验证了系数  $a$  在韭园沟与延川变化较缓, 而在宜君变化剧烈的合理性。通过各地实际地貌类型与统计指数方程之间的对比分析可以得出以下结论: 1. 系数  $a$  反映了该地区侵蚀、切割程度的强弱, 并与侵蚀、切割强度成反向相关, 即  $a$  值越大, 说明侵蚀、切割越弱;  $a$  值越小, 说明侵蚀、切割越严重。同时, 系数  $a$  也反映了不同地貌类型样区同级沟谷网络节点对应汇水面积的大小, 即沟谷节点对应汇水面积越大,  $a$  值就越大; 反之越小。2. 系数  $b$  较为稳定, 其值在 1.5 ~ 1.6 间变化。它作为指数方程指数

部分的系数控制着曲线的形态。韭园沟、延川、宜君三地虽然地貌类型不同, 但  $b$  值的稳定说明了各级水流累积量均值的变化趋势基本相同, 这反映出黄土高原沟谷侵蚀和发育的机理基本相同, 即地貌的侵蚀发育规律是按照塬、梁、峁的主线进行的, 塬区是梁、峁的早期状态, 梁是塬、峁的过渡形态, 峁是塬、梁发育的最终地貌形态。

### 3 结论与建议

本文基于数字高程模型 (DEM) 沟谷网络自动提取技术, 结合沟谷网络节点的概念, 并以黄土高原丘陵沟壑区为实验样区提取了沟谷网络节点, 通过对实际地貌类型与水流累积量均值拟合曲线的综合比较分析, 主要得出了以下两方面的结论: 1. 同一地貌样区不同分辨率水流累积量均值分级统计规律, 即在不同分辨率情况下, 同一地区各级沟谷网络节点水流累积量均值曲线呈指数关系变化, 其方程符合公式 (1), 系数  $a$  随分辨率变化而变化比较明显, 分辨率越高,  $a$  值越大; 分辨率越低,  $a$  值越小。系数  $a$  不仅是一个空间尺度指标 (标示不同的空间分辨率), 也是一个反映特定分辨率 DEM 包含沟壑信息量大小的指标; 系数  $b$  的数值较稳定, 说明该地区沟谷系统各级结构受分辨率的影响较小, 反映出不同等级沟谷系统空间结构的稳定。2. 不同流域 1: 10 000 的 5 m 分辨率水流累积量均值分级统计规律, 即不同地貌类型区流域在分辨率相同情况下, 各级沟谷网络节点水流累积量均值分布曲线呈指数关系变化同样符合公式 (1), 系数  $a$  反映了该地区侵蚀、切割程度的强弱并与侵蚀、切割强度成反向相关,  $a$  值大, 说明该地区侵蚀、切割较轻;  $a$  值小, 说明该地区侵蚀、切割越严重。同时, 系数  $a$  也反映了不同地貌类型样区同级沟谷网络节点对应汇水面积的大小, 即沟谷节点对应汇水面积越大,  $a$  值就越大; 反之越小; 系数  $b$  较为稳定, 反映出黄土高原沟谷侵蚀和发育的机理是基本相同的, 地貌的侵蚀发育规律是按照塬、梁、峁的主线进行的。

以上研究结论能够有效解释黄土高原丘陵沟壑区各级沟谷系统的形成机理及其空间分异规律, 并且对地貌学的研究提供了一种新的思路与方法, 为黄土高原沟壑图谱的建立提供了一种新的尝试。

对黄土高原地貌的研究是一个不断深入的过程, 在完成上述研究的基础上, 后期的研究工作中可

从以下两方面来考虑: 第一, 对同一流域不同分辨率水流累积量均值分级统计规律的研究, 可以考虑将 DEM 栅格分辨率由 25 m 扩大至 35 m、45 m、55 m、65 m .....使得拟合曲线对应方程的各系数达到一个相对稳定值, 以此进一步探讨与实际地貌深层次的关系; 第二, 对不同流域相同分辨率水流累积量均值分级统计规律的研究, 可以考虑将样区扩大至黄土高原由南到北的各个典型样区, 由此得到整个黄土高原丘陵沟壑区沟谷系统由南到北的空间分异规律。同时为了验证所得结论的正确性, 在由南到北实验的基础上, 可以考虑扩大同纬度样区的数量, 以此来作为横向检验。

### 参考文献(References):

- [1] Lü Guonian, Qian Yadong, Chen Zhongming. Application of Digital Elevation Model to topological evaluation of drainage system[J]. *Journal of Remote Sensing*. 1998. 2(4): 298. [ 阎国年, 钱亚东, 陈钟明. 流域地形自动分割研究[J]. 遥感学报, 1998. 2(4): 298. ]
- [2] O'Callaghan F, Mark D M. The extraction of drainage networks from digital elevation data [J]. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 1984, 28: 323~ 344.
- [3] Martz W, Garbrecht J. Numerical definition of drainage network and subcatchment areas from digital elevation models [J]. *Comput-*

*ers & Geoscineces*, 1992, 18(6): 747~ 761.

- [4] Ren Liliang, Liu Xinren. A review of the Digital Elevation Model extraction and digital hydrological modeling[J]. *Advances in Water Science*. 2002. 11(4): 463~ 469. [ 任立良, 刘新仁. 数字高程模型信息提取与数字水文模型研究进展[J]. 水科学进展, 2002. 11(4): 463~ 469. ]
- [5] Tang Guoan, Cheng Zhengjiang, Zhao Mudan, et al. ArcView Spatial Analysis Method of Geographical Information System[M]. Beijing: Science Press, 2002. [ 汤国安, 陈正江, 赵牡丹, 等. ArcView 地理信息系统空间分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2002. ]
- [6] Cheng Jicheng, Jiang Meiqiu. Mathematical Model of Drainage Relief[M]. Beijing: Science Press, 80~ 86. [ 承继成, 江美球. 流域地貌数学模型[M]. 北京: 科学出版社. 80~ 86. ]
- [7] Yan Qinshang, Ceng Zhaoxuan. Topographics[M]. Beijing: Higher Education Press. 2002. [ 严钦尚, 曾昭璇. 地貌学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002. ]
- [8] Li Tianwen, Liu Xuejun, Tang Guoan. Influence of terrain complexity on slope and aspect[J]. *Journal of Mountain Science*. 2004. 22(3): 272~ 277. [ 李天文, 刘学军, 汤国安. 地形复杂度对坡度坡向的影响[J]. 山地学报, 2004. 22(3): 272~ 277. ]
- [9] Yi Hongwei, Tang Guoan, Liu Yongmei, et al.. Stream runoff nodes and their derivation based on DEM[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003. 17(3): 108~ 111. (In Chinese) [ 易红伟, 汤国安, 刘咏梅, 等. 河网径流节点及其基于 DEM 的自动提取[J]. 水土保持学报, 2003. 17(3): 108~ 111. ]

## Research of Water Accumulation of Channel Network Nodes Based on DEM

LI Junfeng<sup>1</sup>, LI Tianwen<sup>1</sup>, TANG Guoan<sup>2</sup>, LIU Xuejun<sup>2</sup>

(1. Department of Urban and Resources Science, Northwest University, Xi'an 710069, China;

2. Laboratory for Geographical Information Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

**Abstract:** The paper chooses Jiuyuangou, Yanchuan and Yijun of hills and gully region of Loess Plateau in Shaanxi Province as test areas. We extract channel network and channel network nodes from three areas on the basis of the technique of automated extraction of channel network and channel network nodes from digital elevation model (DEM), then deeply analyse the water accumulation attribute of channel network nodes. With the method of mathematical statistics, we finally obtain two regulations: statistical regulation of average water accumulation with different grade and same resolution of a basin and statistical regulation of average water accumulation with different grade of a basin in each test area. The results can effectively interpret that the formation principle of channel network system and the spatial variance regulation, which can also explain that the mutual relation between development of channel network system and the degree of erosion and incision. At the same time, the research has been validated to be of ideal effect and can be treated as a good prototype to the whole hills and gully region of loess plateau.

**Keywords:** Digital Elevation Model; channel network nodes; water accumulation, resolution