

# 小流域地貌要素相关关系的研究

秦富仓<sup>1</sup> 郑明军<sup>2</sup> 孙旭<sup>1</sup> 田玉琼<sup>1</sup>

(1 内蒙古林学院 呼和浩特 010019)

(2 内蒙古自治区水利厅 呼和浩特 010020)

**摘要** 对小流域内各地貌要素进行调查、分析,建立了各地貌要素间的回归关系。研究结果对于小流域土壤侵蚀调查具有参考价值。

**关键词** 小流域 地貌要素 数学模型

## Correlation of Geomorphologic Factors in Small Watershed Area

Qin Fucang<sup>1</sup> Zheng Mingjun<sup>2</sup> Sun Xu<sup>1</sup> Tian Yuqiong<sup>1</sup>

(1 Forestry College of Inner Mongolia Huhehot 010019)

(2 Water Conservancy Department of Inner Mongolia Autonomous Region Huhehot 010020)

**Abstract** The regression relationships are set up through investigation and analysis among the different geomorphologic factors of small watershed area. The research has reference value for the investigation of soil erosion on it.

**Key words** small watershed geomorphologic factor mathematical model

小流域地貌要素相互关系的研究是水土保持工作的基础性工作,通过对各地貌要素的分析,进一步了解小流域水土流失发生发展的规律。以一个具体的小流域为对象,通过地形图和同期的航片进行对照,对各地貌要素进行定量确定,采用数理统计的方法分析和描述流域地貌形态,揭示其地貌特征规律并且建立数学模型,预测流域地貌发育演化趋势。

通过数学模型的建立,能够为小流域治理提供必要的资料和基本参数,在小流域综合治理中起到重要作用。到目前为止,从实践角度看,在地貌学的数学方法领域中,数理统计方法是最为有效的方法。在这方面做出突出贡献的是霍顿和斯特拉勒。为了从水文网形成的观点来鉴定小流域,确定其面积范围,给出了流域地貌形态的一些规律性,本研究应用霍顿——斯特拉勒原则,对霍家也流域进行了数量地貌分析。

## 1 研究区概况

霍家也小流域位于内蒙古自治区伊克昭盟准格尔旗境内,地理坐标东经  $111^{\circ}04' \sim 111^{\circ}09'$ , 北纬  $39^{\circ}09' \sim 39^{\circ}14'$ 。该地区属于黄土丘陵沟壑区,面积  $11.569\text{km}^2$ ,海拔在  $1150 \sim 1297\text{m}$  之

间,丘陵起伏,相对高差为 147m,主沟道比降 5.97‰。

霍家也水系属皇甫川流域十里长川的一条支流,旱季沟内有溪流,雨季常有山洪暴发。土壤侵蚀以水力侵蚀为主,兼有风蚀。本地区属极端大陆性半干旱季风气候,多年平均降雨量在 390mm 左右,降雨集中于七、八、九 3 个月。年平均蒸发量为 2 082.2~2 256.0mm,是降水量的 6 倍。本区冬季严寒,夏季气温较高,昼夜温差变化大,平均风速为 3.2m/s 左右。

该地区地表大部分为松散的第四系黄土、砂砾以及第三系砂砾层所覆盖。上侏罗纪至下白垩纪为一具有大型倾斜层理和交错层理,泥质胶结的砂质泥岩、细砂岩及中至粗粒砂岩。上述地层节理发育,胶结松散,地面沟道纵横,雨季冲刷严重,水土流失量大。

2 研究方法 with 调查内容

2.1 沟道级别和流域级别的划分

在小流域地貌的数理分析中,首先是要划分沟道的级别与流域级别,每一个沟道都有自己的特征,自己的汇水范围及自己的流域面积,较大的小流域往往是由若干较小的小流域联合组成的。

根据霍顿——斯特拉勒原则,我们以 1:5 万地形图上能分辨出的指尖状冲沟为一级沟道,两个以上一级沟道汇成二级沟道,两个以上二级沟道汇成只接纳一、二级沟道的为三级沟道……霍家也流域最高级沟道为五级。

由于流域序列的确定原则与沟道序列的确定原则相同,且流域序列与沟道序列一致,即第一级沟道汇水范围为第一级流域,第二级沟道汇水范围为第二级流域,第三级沟道汇水范围为第三级流域……在确定沟道级别和流域级别的同时分别统计各级沟道数目(见表 1)且进行小流域数量调查。在此需明确两个基本概念:

(1)基本沟道。理论上的沟道发育图式应为:第一级沟道汇入第二级沟道,第二级沟道汇入第三级沟道,依此类推,直到最高级沟道为止。我们把天然沟系中符合这种图式的沟道,称为“基本沟道”。

(2)附加沟道。把不遵守上述图式的另一部分沟道称为“附加沟道”。

表 1 小流域数量结构调查

(1)	(2)			(3)	(4)	(5)
沟道 级别	沟道数目			相邻两 级沟道 分枝比	相邻两 级沟道 总 数	(3)×(4)
	沟道 关系	基本 沟道	附加 沟道			
I	I → I	173		5.40	275	1485
	I → II		27			
	I → IV		16			
	I → V		16			
II	II → II	29		4.78	52	248.56
	II → IV		10			
	II → V		4			
III	III → IV III → V	6	3	4.5	11	49.5
IV	IV → V	2		2	3	6
V	V	1				
合计			287		341	1789.06

$$\text{分枝比 } Rb = \frac{\sum (5)}{\sum (4)} = 5.25$$

## 2.2 小流域侵蚀地貌的基本形态要素及调查内容和方法

2.2.1 基本形态要素 小流域的基本形态要素可归纳为以下3个方面:

(1)最简单、最基本的是沟道系统的线性特征。把所有沟道都看成一条条的线,然后再分析这些线的分枝系统。所谓线性特征就是指这些线的条数、线的长度、线段的排列等。如沟道各流域级别、沟道数目、沟道分枝比、沟道长度、流域长度、流域周长。

(2)第二类形态要素是面积特征。面积特征包括面积大小和流域轮廓。如流域面积、沟道总面积、圆度率、延长率、地貌结构比、水道频度、沟道密度。

(3)第三类形态要素是起伏特征。即线上和面上各点距离某参考水平面的相对高度。如沟道比降、地势比、相对高差。

2.2.2 调查内容和方法 对霍家也小流域划分沟道级别、流域级别的同时,主要是要进行小流域形态要素三特征的调查(见表2)。

(1)沟道系统线性特征的调查方法。在进行沟道级别和流域级别划分的同时分别对各级沟道的数目及沟道总数目进行统计。沟道的长度用软线在地形图上直接量算即可,用同样方法量取流域的长度。把各级沟道的长度相加得出沟道总长度。

(2)流域面积特征的调查。沟道面积、流域面积用求积仪直接在地形图上测量得到。

圆度率:流域面积与同样周长的圆面积之比。

$$C = \frac{A_b}{A_c}$$

式中:  $C$ ——圆度率;  $A_b$ ——流域面积;  $A_c$ ——与流域同样周长的圆面积。

延长率:同样面积的圆的周长与平行于主水道线的流域的最大长度之间的比值。

$$E = \frac{\pi d}{l_m}$$

式中:  $E$ ——延长率;  $d$ ——与流域同面积的圆的直径;  $l_m$ ——流域的长度。

地貌结构比:等高线的弯曲数目与流域周长之比值。

$$T = N/P$$

式中:  $T$ ——地貌结构比;  $N$ ——等高线弯曲数目;  $P$ ——该流域的周长。

水道频度:单位面积上的水道数目。

$$F_s = N/A$$

式中:  $F_s$ ——水道频度;  $N$ —— $A$ 面积内的水道数目;  $A$ ——流域面积。

沟道密度:单位面积内水道总长度。

$$D = \sum L/A$$

式中:  $D$ ——沟道密度;  $\sum L$ —— $A$ 面积内的水道总长度;  $A$ ——流域面积。

(3)流域起伏特征的调查。流域的相对高差是由地形图上等高线的条数确定即该流域最高点与高低点高程的差值。

地势比:流域的相对高度与流域的长度之比。

$$R_n = \frac{H_{\max}}{L_{\max}}$$

式中:  $R_n$ ——地势比;  $H_{\max}$ ——流域内的最高点与最低点间的相对高差;  $L_{\max}$ ——流域长度。

沟道比降:  $U$ 级沟道的起点到终点的高度与  $U$ 级沟道长的比值。对 I 级流域选取 18 个样方, II 级流域选取 6 个样方, III 级流域选取了 4 个样方, IV 级流域选取了 2 个样方, V 级流域选取

了 1 个样方,共 31 个样方,分别进行调查,对所得结果作统计分析。

3 数学模型的建立及检验

根据霍顿——斯特拉勒的定律,用上述参数,即可表达小流域的几乎全部特征,因此,可通过进一步分析实测数据,寻找小流域侵蚀地貌的一些形态规律。

3.1 小流域沟道数量结构分析

对小流域沟道数量结构运用沟道分枝比这个重要结构指标进行分析。沟道分枝比是指两个相邻级别的沟道数目的比值,其公式为:

$$R_b = N_u / N_{u+1} + 1$$

式中:  $R_b$ ——沟道分枝比;  $N_u$ ——第  $U$  级道的数目;  $N_{u+1}$ ——第  $u+1$  级沟道的数目。

由表 1 数据计算可得,霍家也流域沟道平均分枝比为 5.25。根据霍顿的理论:在一个流域内,水系的平均分枝比一般在 3~5 之间,其值越大,流域地形起伏程度也越大,土壤侵蚀也越严重。霍家也流域的平均分枝比为 5.25,反映出该小流域的地形起伏程度较大,土壤侵蚀也较严重。在前述研究区概况中所列的数据资料证实以上分析是正确的。该小流域的相对高差为 147m,起伏较大;侵蚀模数 7 500t/(km<sup>2</sup>·a),按侵蚀强度分级,霍家也小流域为强度侵蚀。

3.2 小流域侵蚀地貌要素相关关系的分析

在任何一个流域内,各地貌要素在一定程度上是相互联系,相互制约的,因为整个流域地貌是由统一的物理过程特性决定的。

我们分析霍家也小流域时,对流域长度、平均面积、沟道比降、总长度、总面积、沟道数目、地势比、圆度率、延长率、地貌结构比、水道频度、沟道密度 13 个地貌要素进行了相互关系的分析。把各要素的数据输入计算机建立数据文件,对每两个要素的数据进行回归分析,得出表 2 所示结果。

表 2 小流域侵蚀地貌要素相关关系分析

关系名称	回归方程式	相关系数 ( $r$ )	分析结果
流域长度和平均面积	$\lg l = 1589 + 0.549 \lg A$	0.9924	极显著的幂函数关系
水道比降和平均面积	$\lg J = -0.414 - 0.820 \lg A$	-0.8197	极显著的幂函数关系
流域长度和水道比降	$\lg l = 18716 - 0.895 \lg J$	-0.8173	极显著的幂函数关系
总长度和总面积	$\lg \sum L = 0.451 + 0.751 \lg \sum A$	0.8964	极显著的幂函数关系
水道数目和总面积	$\lg \sum N = 4.346 \times 10^{-4} + 0.899 \lg A$	0.9565	极显著的幂函数关系
地势比与圆度率	$C = 0.367 \times 0.357^{R_h}$	-0.4527	无显著的指数函数关系
地势比与延长率	$E = 2.49 \times 0.613^{R_h}$	-0.3844	无显著的指数函数关系
地势比与地貌结构比	$T = 3.752 + 10.92 Rh$	0.2997	无显著的线性关系
地势比与水道频度	$F = 34.97 + 2.192 \lg Rn$	0.1448	无显著的对数函数关系
地势比与沟道密度	$\lg D = 3.454 + 0.226 \lg Rh$	-0.2867	无显著的幂函数关系
圆度率和延长率	$\lg E = 3.064 + 0.242 \lg C$	0.4325	无显著的幂函数关系
圆度率和地貌结构比	$T = -7.939 - 11.52 \lg C$	-0.7192	显著的对数函数关系
圆度率和水道频度	$F = 3.399 + 83.99 C$	0.6659	显著的线性关系
圆度率和沟道密度	$D = 12.99 + 6.053 \lg C$	0.7706	显著的对数函数关系
延长率和地貌结构比	$T = 49.83 + 0.357 \lg E$	-0.5046	无显著的对数关系
延长率和水道频度	$F = 12.33 + 1.449 \lg E$	0.3991	无显著的对数关系
延长率和沟道密度	$D = 3.614 + 1.031 E$	0.1618	无显著的线性关系
地貌结构比和水道频度	$F = 32.22 + 0.983 \lg T$	-0.2411	无显著的对数关系
地貌结构比和沟道密度	$T = 12.59 - 1.201 D$	-0.5890	显著的线性关系
水道频度和沟道密度	$D = 2.083 + 0.128 F$	0.6642	显著的线性关系

环境,这样杭锦旗的生态环境将逐步好转,经济繁荣,建立一个生态经济的良性循环系统。

#### 参考文献

- 1 孙金铸等. 内蒙古生态环境预警与整治对策. 内蒙古人民出版社, 1994, 64~70
- 2 布仁. 内蒙古鄂托克前旗畜牧业生产合理布局初探. 内蒙古师大学报, 1993(3): 67~74
- 3 吴长文等. 水土流失引起的生态经济失调及其系统控制. 水土保持研究, 1995(1): 80~90

(上接第33页)

通过上述分析,证明了各地貌要素之间存在着一定的关系,有的呈明显的函数关系,有的相关性不显著却有间接的相关关系。从整个流域的发展角度看,由于自然因素和人为作用导致了水土流失的发生,在水土流失过程中形成了庞大的沟系。随着沟系发育沟头不断前进,沟底不断下切,沟岸不断扩张使得各级沟道的比降有明显的差别,并且在沟头前进过程中并不是无限分枝,有时有沟道合拢造成了同一流域内不同地形之间圆度率、延长率有所不同。一般在地形起伏较大的地区,沟道切割比较严重,从而使得沟道密度较大,水土流失也较严重。

小流域数学模型的建立,提供了各地貌要素之间的定量关系,为水土流失规律的研究提供了可靠的依据。

#### 3.3 数学模型相关系数的显著性检验

查自由度  $n-2=11$  相关系数表,取信度  $\alpha=0.05$  得:  $r_{0.05}=0.5229$ 。表2结果可说明地势比与圆度率,地势比与延长率、地势比与地貌结构比、地势比与水道频度、地势比与沟道密度、圆度率与延长率、延长率与地貌结构比、延长率与水道频度、延长率与沟道密度、地貌结构比与水道频度、延长率与沟道密度,地貌结构比与水道频度无明显的相关关系。其余的地貌要素两两之间的相关系数  $r > r_{0.05}$ ,说明它们之间存在显著的线性关系或其它函数关系。

## 4 结 论

(1)霍顿——斯特拉勒的沟道序列原则满足了小流域侵蚀地貌要素的定量分析。

(2)霍家也小流域是一个沟网密度较大的完整排水系统,它的分枝比既体现出小流域侵蚀沟网系统,又能反映出小流域的地形起伏和土壤侵蚀程度。

(3)在任何一个流域内,各种地貌要素之间,并不是彼此孤立的,在它们之间存在着一种内在的联系。但是这种关系的密切程度,各要素之间是不一样的。通过对霍家也小流域各地貌要素的相互关系的分析和研究得出流域长度和平均面积,水道比降和平均面积、流域长度和水道比降、总长度和总面积、圆度率和地貌结构比、圆度率和水道频度、圆度率和沟道密度、水道频度和沟道密度、地貌结构比和沟道密度关系是密切的。

#### 参考文献

- 1 承继成,江美球. 流域地貌数学模型. 北京:科学出版社,1986
- 2 席有. 水土保持原理与规划. 呼和浩特:内蒙古大学出版社,1991
- 3 李增信,轩景山,何婕平. 概率统计. 呼和浩特:内蒙古大学出版社,1991
- 4 周孚明,张丽萍. 关川河流域数量地貌分析. 中国水土保持,1993(11): 30~32