

陕北县南沟小流域的沟道形态量计分析

帅 启 富

(中国科学院西北水土保持研究所)

一、引言

开展小流域综合治理,是我国水土保持工作的新发展。目前全国许许多多的重点小流域已经获得了显著的治理效益。在小流域治理工作中,还有许多问题急待解决,尤其是它的水土流失规律需要我们作更深入的探讨。这其中包括小流域内各级侵蚀沟道相互间的关系及其沟道水系的发育规律。因为,这些沟槽的出现,本身就是地表径流和水土冲淤的必然结果。它们之间的关系,不仅是由小流域的自然地理特点所规定,而且完全符合水力规则。鉴于工作的需要,我们在参加县南沟小流域治理的工作中,详细地剖析了这个小流域。并根据近年来地貌学中的形态量计研究成果,作了一点初步分析。

县南沟和其他小流域一样,我们可以看到由小到大的各级沟道的水系形态。这些水系的组成,不论是级别的大小,沟道的数量、长度及汇水面积,它们之间都存在一定的关系。对县南沟小流域的分析结果表明,沟道的数量定律、分枝能力及分枝比例、长度定律等都符合R.E.Horton (1957)水系形态量计定律原理,也同承继成(1964)的分析结果相类似。除此以外,我们还详细地分析了各级沟道的汇水面积(A)与其相应的沟道长度(L)之间的关系,发现它们之间存在着密切的相关关系,即B值($B = \frac{A}{L}$)与小流域面积(A)的0.43次方成正比。这一规律能否适应更大范围的水系或流域,有待进一步详细证明。

通过这种分析,有助于我们弄清水系组成各要素之间的规律,并可将水土流失地区这种复杂的关系,用最简单的数学形式表达出来,从而更有效地直接为水土保持工作服务。这就是我们对县南沟小流域进行沟道形态量计分析的出发点。有了这样定量的分析,还将为小流域分类和小流域水文计算以及制定小流域综合治理技术手册,提供基本依据。

二、小流域概况及沟道序列的划分

县南沟是延河上游右岸的一条支沟,全长17公里,总面积46.3平方公里,属黄土丘陵第二副区。地表的组成物质皆为松散的黄土及黄土状的堆积物,多梁峁状丘陵,地形破碎。小流域内多年平均降水量553毫米,大多呈暴雨形式集中出现在7、8、9三个

月，因而洪峰流量较大，水土流失极为严重。

根据A.N.Strahler (1957) 规定的分段分级原则，按承继成 (1965) 的建议，我们以冲沟为界，凡是冲沟或大于冲沟一级的一切沟道，皆作为小流域的沟道序列，即把冲沟作为第一级沟道；凡是由两个或两个以上的第一级沟道汇合后组成的新沟道部分，作为第二级沟道；凡是汇合了两个或两个以上的第二级沟道所组成的新沟道部分，作为第三级沟道；依次类推，直到把整个小流域沟道划分完毕。县南沟小流域划分的结果为四级沟道的小流域，简化情况见图1。

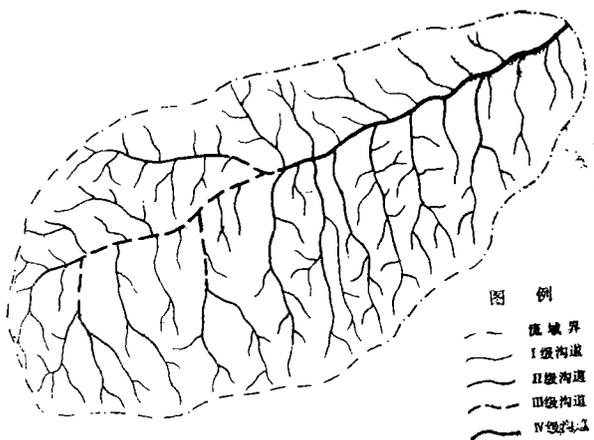


图1 县南沟小流域沟道序列分级示意图

三、沟道的数量定律

首先将县南沟小流域沟道序列的分级成果列入表1，然后再将表中各级沟道数目与沟道级别在半对数纸上点绘（图2）。我们可以看到，它们成为很好的半对数直线关系。这完全符合R.E.Horton水系形态量计第二定律。因此，县南沟小流域的沟道数量与级别的关系，可以用下式表示：

$$\log N_s = 2.4603 - 0.6164s \quad (1)$$

式中： s——沟道的级别
N_s——第s级沟道的数目

表1 县南沟小流域各级沟道的数目

沟道级别	I			II		III	IV	总数	
	I—I	I—III	I—IV	II—III	II—IV	III—IV			
数	分配	38	20	12	13	4	4	1	92
目	小计	70			17		4	1	92

如果我们要知道小于冲沟一级的主切沟数目，便可利用式(1)估算。故县南沟小流域的切沟数目为

$$\log N_{(s)} = 2.4603 - 0.6164(0)$$

$$N_{(s)} = \log^{-1} 2.4603 = 289(\text{条})$$

我们根据万分之一地形图详细统计的是268条，二者相对误差为7.7%，这在小流域初步规划中仍有很好的参考价值。

同时，我们也注意观察了沟道的分配数目，看到它们同样存在着明显的规律性。例如70条第一级沟道中，有38条汇入第二级沟道，有20条汇入第三级沟道，有12条汇入第四级沟道。这种分配关系构成了一个递减的几何级数（图3）。这一关系也可用下面的数学式来表示：

$$\log n_s = 2.0709 - 0.2503s \quad (2)$$

式中： n_s ——分配给s级沟道的第I级沟道数目

四、沟道的分枝能力和分枝比例的确定

1、**分枝比例** 所谓分枝比例，就是某一级沟道的数目与比其高级沟道的总数之比（即 $b_r = \frac{n_s}{n_{s+1}}$ ），它是构成表示小流域沟道形态极有用的尺度。我们采用 A.N. Strahler (1953) 的方法，计算了县南沟小流域的平均分枝比例（ $b_r = 4.14$ ）。要注意的是，这个分枝比例是整个小流域各级沟道分枝比例的平均数，而不是某二级沟道的分枝

比例。

2、**分枝能力** 在计算了沟道的平均分枝比例之后，我们注意分析了沟道的分枝能力。我们按承继成（1964）的建议，把任何一级沟道（第一级除外）的数目，去除汇入其中所有各级沟道总数所得的商，作为沟道的“分枝能力”。并采用下式计算：

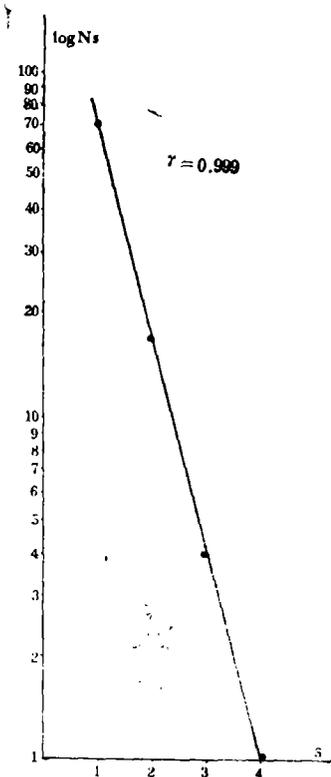


图2 沟道数量与级别的关系

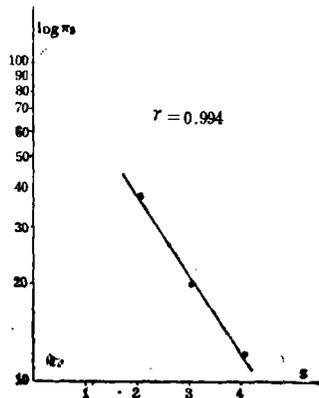


图3 沟道级别与所接节I级沟道数目的关系

$$N_s = \frac{N_1 + N_2 + \dots + N_{s-1}}{r_{s-1}} \quad (3)$$

式中： r_{s-1} ——第s级沟道的分枝能力；
 N_1, N_2, \dots, N_{s-1} ——分别为汇入第s级的第I级、第II级、……第s-1级沟道数目；
 N_s ——第s级沟道的总数

根据式(3)，利用表1的资料，可计算各级沟道的分枝能力如下：

$$r_{1,2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{38}{17} = 2.24 \approx 2.1^1$$

$$r_{1,3} = \frac{n_1 + n_2}{n_3} = \frac{20 + 13}{4} = 8.25 \approx 2.1^3$$

$$r_{1,4} = \frac{n_1 + n_2 + n_3}{n_4} = \frac{12 + 4 + 4}{1} = 20 \approx 2.1^4$$

可见沟道的分枝能力构成一正的几何级数。现将计算结果点绘在半对数纸上，同样成为很好的半对数直线关系(图4)。这一关系也可用下式来表示：

$$\log r_{s-1} = 0.4754s - 0.5703,$$

式中： r_{s-1} ——第s级沟道的平均分枝能力

分枝能力与平均分枝比例的不同之处，在于分枝能力直接告诉我们：除第一级沟道外的任何一级沟道的平均分配的数目。显而易见，有了分枝比例及分枝能力的关系式后，我们就容易弄清一个小流域的水系发育状况，进而可推求或定性分析该流域内的有关水文气象因素；同时也有利于同其他小流域进行比较。

五、沟道的长度定律

我们按照R.E.Horton (1953) 水道长度定律原理，分析了县南沟小流域各级沟道的长度。统计资料见表2。

表2 县南沟小流域各级沟道的长度

沟道级别	I	II	III	IV	备注
沟道数目(条)	70	17	4	1	实测与万分之一的地形图所得
平均长度(公里)	0.80	1.52	2.75	5.0	
总长度 L	56.0	25.82	11.0	5.0	

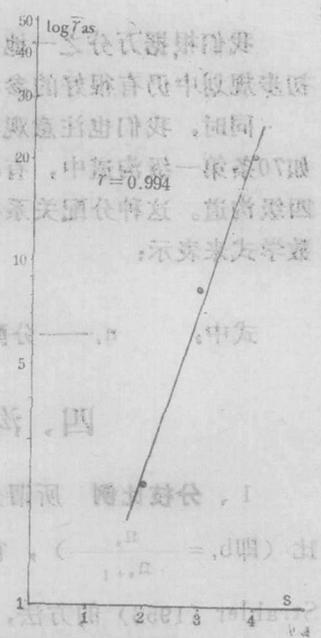


图4 沟道的分枝能力与级别的关系

沟道的平均长度 ($L = \Sigma L_s / \Sigma N_s$) 与级别的关系为一半对数直线关系 (图 5), 即

$$\log L_s = 0.2645s - 0.3555 \quad (5)$$

式中: L_s —— 沟道的平均长度。

同理, 沟道的总长度 ΣL_s 与级别之间的关系, 仍是一半对数直线关系 (图 6), 即

$$\log \Sigma L_s = 2.1047 - 0.3518s \quad (6)$$

式中: ΣL_s —— 第 s 级沟道的总长度 (公里)

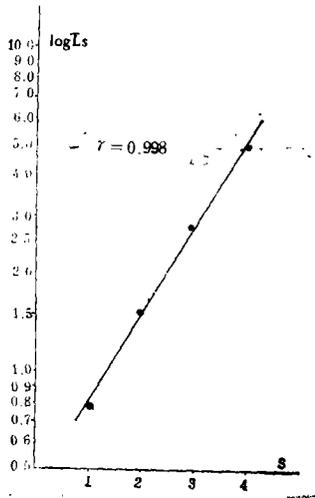


图 5 沟道的平均长度与级别的关系

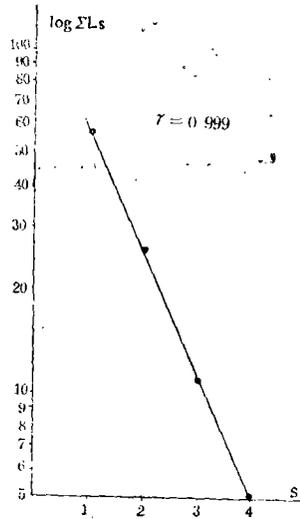


图 6 沟道的总长度与级别的关系

六、汇水面积与沟道长度的关系

除上述几种关系的分析之外, 我们还特别注意了各级沟道的长度 (L) 与汇水面积 (A) 之间的关系。为分析方便起见, 以及考虑到还要分析地表径流长度定律, 我们采用 A 与 L 之比值 (B) 来观察它同 A 的关系。通过分析, 我们发现任何一级沟道的 B 值与共汇水面积之间的关系, 符合一个统一性的规律。也就是说, 沟道的长度与汇水面积之间存在着密切的相关关系 (图 7)。这与 S.A.Chumm (1956) 提出的流域面积给养恒定性概念有相似之处。它是小流域分析中的一个十分重要的指标, 表明了供一条沟道发育所必需的最小限度的汇水面积。当然这从属于一个地区的气候、地质及地形条件的关系上。若要在更大流域或水系应用这一规律, 则有待进一步检验。从我们目前在延河流域上、中、下游计算的 600 多条沟道来看, 基本上符合这个规律, 一般误差在 5—15% 之间, 最大不超过 18.6%。

沟道的汇水面积与 B 值之间的规律性可用下面的数学式来表示:

$$B = \beta_1 A^{0.43} \quad (7)$$

式中: A —— 沟道的汇水面积 (平方公里);

B —— 沟道的汇水面积与沟道长度之比;

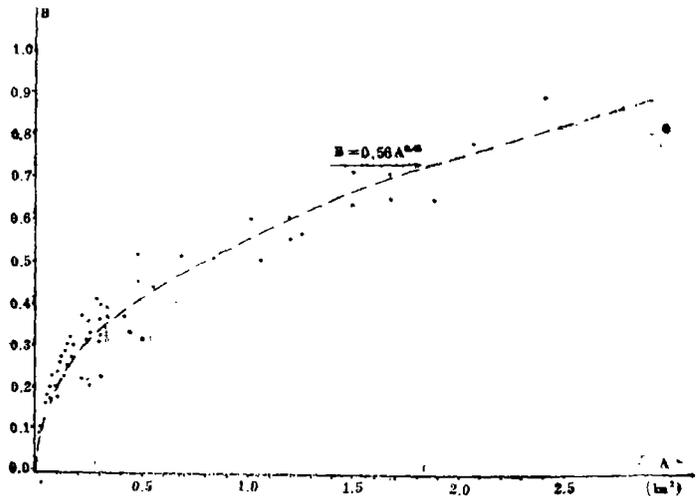


图7 流域面积A与B值的关系

β_1 ——与沟道级别有关的比例常数。对于 I、II、III 级沟道 $\beta_1 = 0.56$ ，于是由式(7)可得县南沟小流域 $B \sim A$ 关系式为

$$B = 0.56A^{0.43} \quad (8)$$

或 $L = 1.7857A^{0.57} \quad (9)$

$$A = 0.36L^{1.754} \quad (10)$$

有了这个关系式之后，若已知沟道的长度L即可求得相应的汇水面积A；反之亦然。这是我们在实际工作中经常遇到的问题。

七、结 语

我们根据近年来数理统计在地貌学中的研究成果，结合目前小流域综合治理工作中的实际问题，对县南沟小流域的沟道形态作了初步的量计分析。在按A.N.Strahler方法对沟道序列划分的基础上，得出了沟道的数量定律式(1)和式(2)；沟道的平均分枝比例(表2)和分枝能力与级别的关系式(4)；沟道的长度定律式(5)和式(6)；这些规律完全符合R.E.Horton水系形态量计定律原理。此外，我们通过对县南沟小流域 $B \sim A$ 关系的分析，发现汇水面积与沟道长度之间存在一确定的函数关系，即B与A的0.43次方成正比。它们的基本关系式为式(7)，实际应用时宜转换成式(9)或式(10)的形式。

这些关系式的建立，对我们在小流域治理中的规划工作有很大的帮助。也就是说，它有助于我们进一步从数量上来弄清水土流失地区的侵蚀沟道及水系发育的规律，从而使我们更有效地把握住控制地表径流的关键性措施。考虑到实际工作的需要，对流域的其它定律如交汇角、频度、密度等，本文均未涉入。不过对地表径流长度定律，有待作更详细的分析计算。

总之，小流域治理工作中仍有许多问题急需我们尽快解决，特别需要有一个切合实际的治理技术手册。所以，我们应为此提供更多更可靠的科学依据。