

矩形流域地貌信息熵的探讨

蒋 忠 信

(铁道部第二勘测设计院第三总队)

提 要

本文对矩形流域的斯特拉勒积分值S、信息熵值H及河谷纵剖面形态指标N进行了对比研究,把N作为矩形流域地貌发育阶段的指标。同时还利用滇西北三江(金沙江、澜沧江和怒江)流域的资料,对以上各指标进行了验证,得出在侵蚀循环中处于发育阶段的信息和侵蚀流域稳定性的信息。

侵蚀流域地貌系统的信息熵,系判断流域稳定性的新型定量指标。艾南山^[1]利用斯特拉勒(A. N. Strahler)的流域面积—高程曲线,构造了这种信息熵的数学表达式。据此,本文以滇西北三江流域为例,探讨理想的矩形流域在典型构造条件下的信息熵,并试用以评价流域地貌,以供讨论。

一、矩形流域地貌系统信息熵的数学表达式

对一侵蚀流域,设河源与河口之高差为H,流域面积为A,流域内任一等高线与河口之高差为 h_i ,相应面积为 a_i 。以 $\bar{x} = a_i/A$ 为横坐标, $y = h_i/H$ 为纵坐标,则斯特拉勒流域面积—高程曲线为 $y = f(x)$, $x, f(x)$ 均在 $[0, 1]$ 内取值。进而积分得

$$S = \int_0^1 f(x) dx \quad (1)$$

斯特拉勒积分S的值。可表征戴维斯的地貌发育期,仍在 $[0, 1]$ 内取值。

在此基础上,艾南山构造了密度函数 $g(x) = f(x) \int_0^1 f(x) dx$,并定义

$$H = \int_{-\infty}^{\infty} g(x) \ln g(x) dx \quad (2)$$

为侵蚀流域系统的信息熵。同时推导出

$$H = S - 1 - \ln S \quad (3)$$

作为流域稳定性的一种判定指标。

矩形流域是最简单又常见的侵蚀流域,探讨其信息熵的具体表达式具有明显的实际意义。可以设想,对一单宽的矩形流域,河长与流域面积数值上相等;对于一般矩形流域,设河流上某点与河口的距离为 l ,河流全长为 L ,则 l 与 L 之比应近似于通过该点的等高线所围的流域面积与全流域面积之比(a_i/A)。因此,矩形流域的斯特拉勒曲线可近似地表达为

$$h_i/H = f(l/L) \quad (4)$$

滇西北金沙江、澜沧江和怒江紧密并行南流,支流呈羽状对称分布。流域内气候、岩性、构

造条件较均一，是理想的矩形流域之实例。该区准平原面成形于上新世，以后经历持续的大面积抬升，与戴维斯假设的构造条件类似。对这种典型构造条件下理想的矩形流域，我们曾推导出其河谷纵剖面曲线方程为〔2〕

$$h/H = (l/L)^N \quad (5)$$

式中：纵剖面形态指标 N 表征凹凸度， $0 \leq N < 1$ ，其纵剖面为上凸抛物线型； $N = 1$ ，为直线型； $N > 1$ ，为下凹抛物线型。 N 值还可表征河谷地貌发育阶段。

对比式（4）和式（5）两式可见，矩形流域的斯特拉勒曲线可用河谷纵剖面曲线表示，其形态为抛物型，即

$$h/H = f(l/L) = (l/L)^N \quad (6)$$

对式（6）积分，得矩形流域斯特拉勒积分值为

$$S = \int_0^1 (l/L)^N d(l/L) = \frac{1}{N+1} \quad (7)$$

N 取值 $[0, \infty]$ ， S 相应取值为 $[1, 0]$ 。

据式（7），构造出流域系统信息熵的密度函数为

$$g(x) = g(l/L) = \frac{(l/L)^N}{\int_0^1 (l/L)^N d(l/L)} \\ = (N+1)(l/L)^N \quad (8)$$

因为 (l/L) 取值 $[0, 1]$ ， $N \geq 0$ ，故 $g(x) \geq 0$ ；

$$\text{又 } \int_{-\infty}^{\infty} g(x) dx = \int_0^1 (N+1)(l/L)^N d(l/L) \\ = (l/L)^{N+1} \Big|_0^1 = 1,$$

故 $g(x)$ 是一个密度函数，相应的信息熵为

$$H = \int_{-\infty}^{+\infty} g(x) \ln g(x) d(x) \\ = \int_0^1 (N+1)(l/L)^N \ln[(N+1)(l/L)^N] d(l/L) \\ = (N+1) \ln(N+1) \cdot \frac{1}{N+1} + (N+1) N \left[-\frac{1}{(N+1)^2} \right]$$

$$\text{即 } H = \ln(N+1) - \frac{N}{N+1} \quad (9)$$

因为 $S = \frac{1}{N+1}$ ，故式（9）可变换成艾南山的结果：

$$H = S - 1 - \ln S \quad (10)$$

当 $N = 0$ 时， $H = 0$ ； $N \rightarrow \infty$ 时， $H \rightarrow \infty$ ，故 H 在 $[0, \infty)$ 内取值。

式（9）表征矩形流域地貌系统的信息熵，为河谷纵剖面形态指标 N 的函数。 N 值已知，便可按式（7）、式（9）分别计算斯特拉勒积分值 S 和流域系统信息熵 H 值，因而形态指标 N 有

丰富的信息内涵。

二、滇西北三江流域的熵值及其意义

我们曾拟合出滇西北金沙江、澜沧江和怒江河段及其支流的河谷纵剖面方程^[2]。依据方程

中的形态指标N值，计算出各流域的斯特拉勒积分值S和信息熵值H均列于表1，流域形态示于图1。

N值、S值和H值具有两方面的信息涵义：

1、流域在侵蚀循环中所处发育阶段的信息。文献[2]给出了不同N值所对应的侵蚀循环阶段。斯特拉勒确定了各侵蚀循环期的S值范围，它们的对应关系如表2，示于图2。

始准平原经历构造抬升继以长期稳定，河谷地貌经表2所列各发育阶段最终形成新的准平原，构成一个侵蚀循环。从循环开始至终结，河谷纵剖面形态指标N由小变大，纵剖面形态相应地由上凸抛物线($N < 1$)、直线($N = 1$)而至下凹。抛物线($N > 1$)，最终形成凹度最大的均衡剖面。例如，滇西北三江流域中，跟不上主河下切的怒江支流玉曲和澜沧江支流通甸河，处于侵蚀回春或深切侵蚀阶段， $N = 0.86 - 0.77$ ；纵剖面为上凸抛物线。受下游局部侵蚀基准（如虎跳峡）控制的该段金沙江及其支流

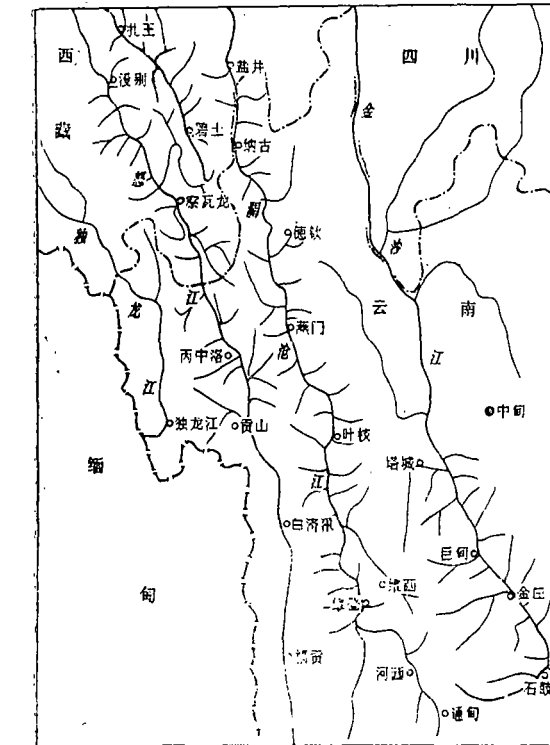


图1 滇西北三江流域水系略图

和澜沧江，则处于均衡调整期，纵剖面呈下凹抛物线形， $N = 1.35 - 1.96$ ；处于深切侵蚀向均衡调整过渡阶段的本段怒江及澜沧江支流永春河，纵剖面近直线形， $N = 1$ 。

表1 滇西北三江流域的N值、S值和H值

主流域	支流域	纵剖面形态指标N	斯特拉勒积分S	信息熵H
怒江（没别至贡山段）	玉曲（中下游）	1.00	0.500	0.193
		0.86	0.534	0.161
澜沧江（盐井至维登段）	永春河 通甸河	1.37	0.422	0.285
		1.00	0.500	0.193
		0.77	0.565	0.136
金沙江（塔城至虎跳峡口）	腊普河 里马河 冲江河	1.35	0.426	0.279
		1.68	0.373	0.359
		1.96	0.338	0.423
		1.65	0.377	0.353

斯特拉勒积分 S 值，可表征戴维斯的侵蚀循环期。循环起始时 S 为 1，以后随河谷地貌幼年期、壮年期至老年期的演化，S 值逐渐变小。各循环期 S 值界线所对应的 N 值为：幼年期 $N < 0.67$ ，壮年期 $N = 0.67 - 1.86$ ，老年期 $N > 1.86$ ；当 $N = 1$ 时， $S = 0.5$ 。可见，用 S 值划分的壮年期与用 N 值划分的深切侵蚀、均衡调整及其间的过渡阶段基本对应，似乎过于笼统。我国黄淮海平原上的渭河、滹沱河、洪河、永定河和漳河等的 N 值为 1.24—1.59（许炳心：“黄淮海平原河流河床形态及河型特征”，1987年），把这些平原河流按 N 值划归均衡调整阶段可能比按 S 值划归壮年期更贴切。

2、侵蚀流域稳定性的信息。 N 值、S 值和 H 值均反映流域中内外营力对抗的程度。N 值、H 值愈小，S 值愈大，指示流域处于侵蚀循环初期，地表急剧抬升，地势增高，动能转变为重力势能，河流新增下切动力，谷坡剥蚀甚剧，内外营力对抗强烈，流域稳定性差。在滇西北三江河段中，金沙江、澜沧江的形态指标 N 较大，怒江较小，相应地，怒江河谷最

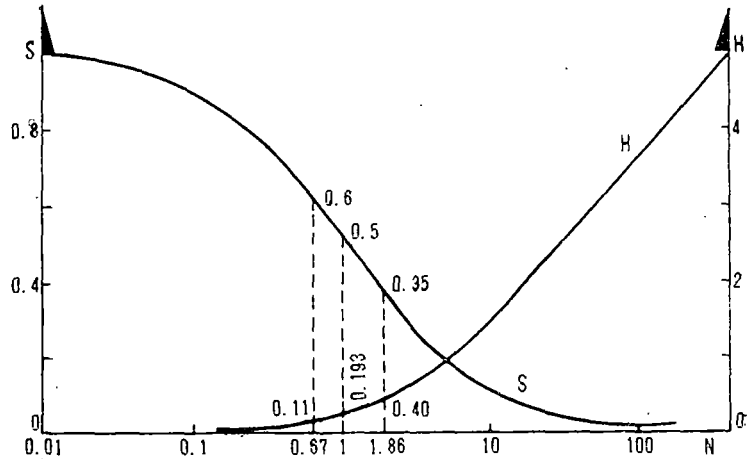


图 2 N 值、S 值和 H 值之相互对应关系

窄，谷坡最高峻，河流纵比降最大，阶地不发育，谷坡上崩坍和岩屑坡比比皆是，形成中外罕见的高山绝谷，地貌稳定性甚差；金沙江则相反，河谷较开阔，低阶地发育，河谷宽度为怒江的 3.5 倍，谷坡高度比怒江低 300 米，坡度比怒江小 10° 以上，河流纵比降仅为怒江的 $1/4.5$ ，坡面崩坍和岩屑坡少见，稳定性较高。

三、结 语

对矩形流域，斯特拉勒积分和信息熵均可用河谷纵剖面形态指标 N 来表达，因此，N 值富涵侵蚀流域地貌发育和流域稳定性的信息。加之 N 值的数学、物理意义明确，计算较简易，0、1 等界限清晰，因而采用纵剖面形态指标 N 作为矩形流域地貌系统的一个信息熵值也许是有意义的。

表 2

N 值和 S 值指示的侵蚀循环阶段

循环阶段	形态指标 N	信息熵 H	循环期	斯特拉勒积分 S	信息熵 H
始准平原	0	0			
侵蚀回春期	< 1		幼年期	> 0.60	0.11
深切侵蚀期	< 1	< 0.193			
过渡期	$= 1$	$= 0.193$	壮年期	0.35—0.60	0.11—0.40
均衡调整期	> 1	> 0.193			
均衡剖面期	> 1		老年期	≤ 0.35	≥ 0.40

本文承艾南山教授提出宝贵意见，敬致谢忱。

参 考 文 献

- [1] 艾南山：“侵蚀流域系统的信息熵”，《水土保持学报》第1卷第2期，1987年。
[2] 蒋忠信：“滇西北三江河谷纵剖面的发育图式与演化规律”，《地理学报》第42卷第1期，1987年。

Exploring and discussing of the geomorphical information entropy in rectangle basin

Jiang Zhongxin

*(the Third Main Group of the Second Surveying and Designing Institute
under the Ministry of Railway)*

Abstract

This paper compares and studies the strahler integral value S , the information entropy value H and the shape index N of river gully longitudinal section in rectangle basin, considers N as the index of the rectangle basin geomorphy developing stage. At the same time, this paper utilizes the information of the three rivers (Jinsha River, Lancangjiang River and Lujiang River) basin in the northwest of Yunnan, demonstrates the indexes above all, at last draws the information of the developing stage in the cause of eroding circle and the information of the stability in erosional basin.

(Continued from page 82)

Preliminary research to analyse landslide stability in multiple orientation concept

Cai Xiancai

(the Second Surveying and Designing Institute under Ministry of Railway)

Abstract

Relying on the Sujiapin landslide of Huize county in Yunnan province, this paper analyses the landslide stability with the multiple orientation concept. It summarizes the demonstration method of pushing force of crosswise and lengthwise, deep and shallow layers, the principles of selecting safety coefficient and the whole stability analysing on the basis of the control engineering practices of the landslide.