

赵岩, 孟兴民, 庆丰, 等. 基于地貌参数的泥石流沟发育阶段划分[J]. 灾害学, 2018, 33(4): 48–52. [ZHAO Yan, MENG Xingmin, QING Feng, et al. Stage division of debris flow torrent based on geomorphologic parameter[J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(4): 48–52. doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2018.04.010.]

基于地貌参数的泥石流沟发育阶段划分^{*}

赵岩¹, 孟兴民^{1,2}, 庆丰¹, 刘林通¹, 郭富赞^{1,3}

(1. 兰州大学 资源环境学院 西部环境教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃省环境地质与灾害防治工程研究中心, 甘肃 兰州 730000; 3. 甘肃省地质环境监测院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 通过分析与泥石流沟发育阶段相关的地貌参数, 认为使用面积高程积分值(S)对泥石流沟发育阶段进行定量的划分比较便捷和可靠。并根据白龙江流域 550 条泥石流沟爆发频率与 S 值的统计关系将泥石流沟发育阶段定量划分为发育期、发展期、旺盛期、衰减期和消退期五个阶段, 并分析了各个阶段对应泥石流沟的发育特征, 以期能为泥石流沟在各个发育阶段的防治对策提供理论支持, 同时也对潜在泥石流的判定、泥石流危险性评价以及泥石流发生频率等的分析提供新的思路。

关键词: 地貌参数; 地貌演化; 泥石流; 发育阶段

中图分类号: P694; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2018)04–0048–05

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2018.04.010

泥石流发源于地貌学^[1], 说其特殊因为它是一种主要由水和重力作用引发的强烈的地表流水侵蚀、搬运与堆积的过程^[2]; 而说其不特殊是因为泥石流活动属于地貌演化过程中众多夷平作用过程的其中一种。既然泥石流活动属于地貌演化的一种形式, 而地貌演化是分阶段的, 所以泥石流沟的发育阶段也可以通过地貌参数来定量划分。本文通过分析泥石流发育阶段相关的地貌参数, 将泥石流沟的发育阶段进行定量划分。

1 地貌信息熵与超熵的应用与来源

1.1 地貌信息熵与超熵的应用

地貌信息熵(H)与超熵($\partial_x P$)被应用到了许多领域的研究中。刘小凤等^[3]将 H 应用在了构造活动和区域稳定性评价; 铁永波等^[4]将 H 应用在泥石流沟谷的危险性评价研究中; 孙然好等^[5]将 H 应用在山体演化阶段的判定; 王晓朋等^[6]利用 H 来判断泥石流的发育程度, 用于定量评价泥石流危险性; 李雅辉等^[7]基于 H 对泥石流敏感性进行定量评价; 岳俊生等^[8]将 $\partial_x P$ 应用在泥石流发育现状及其危险度评价; 邹强等^[9]将 $\partial_x P$ 应用在泥石流活跃度的定量分析; 王钧等^[10]将 H 应用在震后泥

石流危险性评价; 刘丽娜等^[11]利用 H 进行泥石流危险性评价; 张宝军等^[12]将 H 应用在冲沟沟头活跃度的判定。 H 和 $\partial_x P$ 的广泛应用, 有必要对其来源及其与泥石流发育阶段的关系进行分析与讨论。

1.2 地貌信息熵与超熵理论来源

1899 年, Davis^[13]提出地貌循环理论, 并将地貌演化阶段分为幼年期、壮年期和老年期三个阶段, 1952 年 Strahler^[14]提出侵蚀流域的面积高程分析方法, 并用曲线积分值 S 的大小来划分侵蚀流域地貌演化阶段: $S > 0.6$ 时为幼年期, $0.35 \leq S \leq 0.6$ 时为壮年期, $S < 0.35$ 是为老年期, 从而将戴维斯的地貌发育模型量化。面积高程积分值 S 的计算方法如下。

设 A 表示流域面积, a 表示该流域内某条等高线上的面积, h 表示该等高线与流域内最低点的高差, ΔH 表示流域内最大相对高差, 则对直角坐标轴上一系列 $X = a/A$, $Y = h/\Delta H$ 组成的点进行拟合, 得到拟合效果最好的函数 $y = f(x)$ 即为面积高程积分曲线, 而其积分即曲线包围的面积, 称为面积高程积分值:

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

^{*} 收稿日期: 2018–01–22 修回日期: 2018–04–18

基金项目: 中央高校基本业务费专项资金项目(lzujbky–2017–it92; lzujbky–2017–ct05); 甘肃省民生科技计划项目(1604FKCA098); 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2014CB744703); 国家自然科学基金资助项目(41661144046); 甘肃省地质灾害综合防治体系建设方案子项目(2017121001)

第一作者简介: 赵岩(1989–), 男, 山东临沂人, 博士研究生, 主要从事环境遥感与地质灾害防灾减灾理论、方法与应用方面的研究。E-mail: zhaoy16@lzu.edu.cn

通讯作者: 孟兴民(1963–), 男, 甘肃武威人, 教授, 博士生导师, 研究方向为环境遥感、地质灾害监测预警与防治。E-mail: xmmeng@lzu.edu.cn

由于地貌系统演化过程的数学描述与热传导方程相似, 1962 年里奥普和拜里把熵的概念引入地貌学中。1970 年 Leopold 与 Langbein 也提出过地貌学熵的定义, 热力场是由温度 $T(x, y)$ 和热量 Q 来表现, 地貌场类似可以用高度 $h(x, y)$ 和质量 M 表现, 进而提出地貌学熵的定义:

$$ds = dQ/T \Leftrightarrow dM/h. \quad (2)$$

1987 年我国学者艾南山^[15]以 Davis 地貌循环理论、Penck 的内外营力同时作用的地貌发育模型以及 Shannon 的信息熵理论, 将熵的概念和计算方法引入到 Strahler 曲线和积分中, 提出了侵蚀流域系统的地貌信息熵理论并推导出其值 H 的计算公式, 推导过程简述如下。

1948 年 Shannon^[16]提出能够定量描述系统演化阶段的的信息熵概念:

$$H(a) = - \sum_{i=1}^n p(A_i) \ln p(A_i). \quad (3)$$

后有人将其推广到连续情形($p(x)$ 为密度函数):

$$H = - \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \ln p(x) dx. \quad (4)$$

用面积高程积分曲线 $f(x)$ 和面积高程积分值 S 构造密度函数:

$$g(x) = \begin{cases} \frac{f(x)}{\int_0^1 f(x) dx}, & 0 \leq x \leq 1; \\ 0, & x \notin [0, 1]. \end{cases} \quad (5)$$

将(1)式、(5)式带入(4)式便可得到地貌信息熵:

$$H = S - 1 - \ln S. \quad (6)$$

在之后的研究中又将信息熵由侵蚀流域引入到一般流域, 利用 Иванов 的河流纵剖面方程(式中, h 为纵剖面上某点与河口的高差, l 为纵剖面上某点距河口的距离, H 和 L 分别为河源与河口之间的高差和水平距离, N 为形态指数, 且 $0 < N < 1$ 时, 剖面上凸, $N = 1$ 时剖面为直线, $N > 1$ 时, 剖面下凹):

$$h = H(l/L)^N. \quad (7)$$

使用同样的方法推导出利用纵剖面形态指数 N 表示的一般流域的地貌信息熵公式^[17]:

$$H = \ln(1 + N) - N/(1 + N). \quad (8)$$

在 1989 年为使其可以应用在一般的远离平衡态的耗散结构的流域系统内, 引入了超熵的概念, 并推导出公式(α 、 β 为参数)^[18]:

$$\partial_x P = [-\beta \alpha^3 (\alpha^2 - 1)] / [\alpha(-\beta - 1) - 3]. \quad (9)$$

1992 年蒋忠信^[19]提出以沟谷纵剖面形态指数 N 表达超熵数学式, 并试用于泥石流沟的判别与活动性评价。

2 H 和 $\partial_x P$ 与泥石流发育阶段的关系

从地貌信息熵和超熵的理论来源来看, 其理论基础分别是 Davis 的侵蚀循环理论和 Иванов 的河流纵剖面方程, 对应的定量化公式分别为(1)式和(7)式来计算面积高程积分值(以下简称 S)和纵剖面形态指数(以下简称 N)。可以看出 S 和 N 分别从侵蚀流域的演化和河谷纵剖面的演化两种不同的角度对地貌的演化过程进行定量描述。

而抛开推导过程中所包含的意义, 由 S (或 N)到 H 、 $\partial_x P$ 的推导中关键的一步是通过构建含有 S (或 N)的密度公式(公式 5)带入到熵的表达式(公式 4)中实现的, 这种变换从数学角度来看只是对 S 和 N 做了一定的拉伸和转换使其表达方式符合了熵的表现形式(即将原本随地貌侵蚀演化过程递减的函数 S 转换为随地貌侵蚀演化过程递增的函数 H), 而 H 、 $\partial_x P$ 对地貌发育阶段的划分完全依据 S 和 N 对应公式计算出的 H 、 $\partial_x P$ 值来划分的。所以地貌熵和超熵的公式只是对 S 和 N 做的一种变换, 而之后的很多研究只关注到地貌熵和超熵的应用, 却忽视了其来源 S 和 N 的应用。所以, 对于泥石流沟发育阶段的研究, 从应用的角度来看直接使用 S 和 N 值更为简便。

3 基于 S 与 N 的泥石流发育阶段划分

3.1 S 、 N 划分泥石流发育阶段研究现状

S 、 N 、 H 和 $\partial_x P$ 被广泛应用的根本依据是这些参数能够反映泥石流沟的发育阶段, 且不同阶段泥石流的活跃程度不同。而利用这些参数对泥石流沟的发育阶段进行定量的划分方面的研究还比较少。刘希林^[21]讨论了泥石流沟谷与其横、纵剖面的演化关系; 蒋忠信^[19]通过 $\partial_x P$ 的三个特征值将泥石流的发育阶段划分为五个阶段(表 1); 蒋忠信^[22]研究了泥石流沟谷纵剖面的形态特征与泥石流活动性的关系; 吕学军等^[23]根据面积高程积分值将泥石流发育阶段划分为五个阶段; 李泳等^[24]用比降曲线和面积高程曲线讨论了流域可能发生泥石流的曲线形态和演化趋势。倪华勇^[25]采用面积高程分析法对泥石流流域地貌所处的发育阶段进行了判别。然而大多研究对泥石流沟发育阶段的判定都是根据 Strahler 的三个地貌阶段划分的。另外, 蒋忠信对 N 的划分是根据数学意义上的特征点来确定的界限值, 吕学军等对 S 的划分也是根据经验来确定的(表 1)。

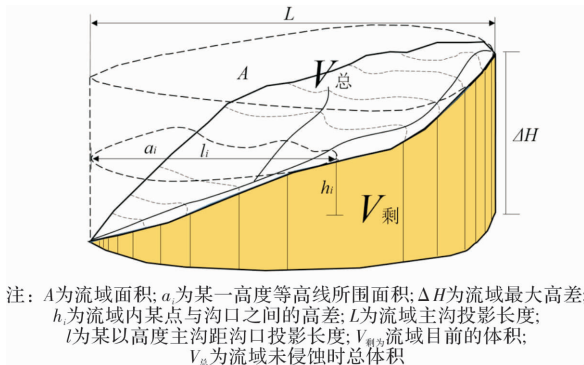
表 1 各学者对泥石流发育阶段的定量划分的界限值

蒋忠信(N) ^[22]	发育阶段	泥石流	吕学军等(S) ^[23]	发育阶段	泥石流
0 ~ 0.62	孕育	无	0.6 ~ 1	幼年期	易发生, 规模小
0.62 ~ 1.23	发展	中	0.55 ~ 0.6	壮年(偏幼)期	
1.23 ~ 2	旺盛	大	0.4 ~ 0.55	壮年期	频率低, 规模大
2 ~ 3.71	衰减	小	0.35 ~ 4	壮年(偏老)期	
3.71 ~ 6	消退	无	0 ~ 0.35	老年期	不易发生

3.2 S、N 计算方法与实际意义分析

首先讨论面积高程积分值 S ，由式(1)可知 S 实际上代表着坐标轴上一些列 $x = a/A$ ， $y = h/\Delta H$ 点的拟合曲线的积分值，这种利用定义计算 S 的方法称为积分曲线法。由积分定义可知，将 x 分为 n 等份则(其中 $V_{\text{剩}}$ 表示流域现有体积， $V_{\text{总}}$ 表示未侵蚀时流域的总体积(图 1))：

$$S = \int_0^1 f(x) dx = \lim_{n \rightarrow +\infty} \sum_{i=0}^n f(\xi_i) \Delta x_i = \lim_{n \rightarrow +\infty} \sum_{i=0}^n \frac{h_i}{\Delta H} \Delta \frac{a_i}{A}$$
$$= \frac{\lim_{n \rightarrow +\infty} \sum_{i=0}^n h_i \Delta a_i}{\Delta H A} = \frac{\int_0^A f(a) da}{V_{\text{总}}} = \frac{V_{\text{剩}}}{V_{\text{总}}} \quad (12)$$



注：A 为流域面积； a_i 为某一高度等高线所围面积； ΔH 为流域最大高差； h_i 为流域内某点与沟口之间的高差； L 为流域主沟投影长度； l 为某以高度主沟距沟口投影长度； $V_{\text{剩}}$ 流域目前的体积； $V_{\text{总}}$ 为流域未侵蚀时总体积

图 1 S、N 值计算各参数示意图

故 S 值的实际意义表示该流域经侵蚀后所剩体积占未经侵蚀时流域总体积的百分比，这种计算方法称为体积比法。Pike 等^[26]推算出用起伏比法来计算 S (其中 H_{mean} 、 H_{max} 和 H_{min} 分别代表流域内平均高程、最大高程和最小高程)：

$$S = \frac{H_{\text{mean}} - H_{\text{min}}}{H_{\text{max}} - H_{\text{min}}} \quad (13)$$

由于平均高程与最小高程之差表示流域的平均高差，最大高差与最小高差之差表示流域最大高差，故由式(11)也可以推出式(13)(其中 A 为流域面积)：

$$S = \frac{V_{\text{剩}}}{V_{\text{总}}} = \frac{(H_{\text{mean}} - H_{\text{min}})A}{(H_{\text{max}} - H_{\text{min}})A} = \frac{H_{\text{mean}} - H_{\text{min}}}{H_{\text{max}} - H_{\text{min}}} \quad (14)$$

常直杨等^[27]对体积比法和起伏比法计算方法的准确性也进行了验证，结果为三种方法计算出的 S 值几乎一致。

对于纵剖面形态指数 N ，其实是从主沟道的侵蚀状态来判断流域发育的所处阶段的。由 S 和 N 表达的地貌信息熵式(6)和式(8)让 S 和 N 建立了一定的联系，据蒋忠信的推导为：

$$S = 1/(N+1) \quad (15)$$

而这种关系是从两种地貌熵的形式变换得到的，实际中 S 和 N 到底其关系是不是如此还需要实例来进行验证，为此本文以白龙江流域为研究区，通过区内 DEM 进行水文分析共提取出 1 984 条流域，通过历史灾害资料的收集以及实地的调查共收录有泥石流灾害记录的泥石流流域 714 条(图 2)，从中挑选流域内典型的泥石流沟对其流域的面积高程积分值和流域纵剖面形态进行对比。

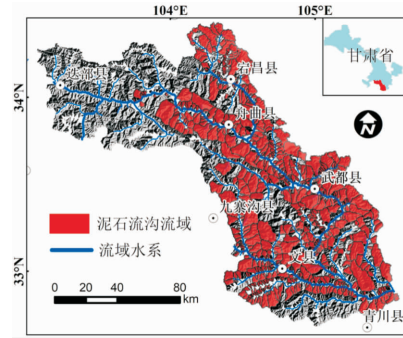


图 2 白龙江泥石流沟流域分布图

表 2 典型泥石流沟 S 值和 N 值对比

名称	H/m	L/m	S 值	N 值	R^2	$1/(N+1)$	误差
仁家沟	1571	6886	0.69	0.768	0.88	0.56	0.13
马泉沟	1464	4593	0.65	0.849	0.96	0.54	0.11
阴山沟	1164	2221	0.6	0.878	0.97	0.53	0.07
三眼峪沟	2435	8670	0.55	1.521	0.99	0.40	0.15
罗家峪沟	2376	7789	0.51	1.318	0.99	0.43	0.07
旧房沟	1898	6124	0.49	2.403	0.97	0.29	0.2
红土湾沟	1689	6961	0.42	2.250	0.94	0.31	0.11
梨坪沟	995	2393	0.38	1.616	0.98	0.38	0
联丰沟	1497	5122	0.32	2.531	0.99	0.28	0.04
段河坝沟	1177	4537	0.23	3.399	0.99	0.23	0
王石坝沟	840	3505	0.21	3.913	0.99	0.20	0.01

从表 2 和图 3 的结果我们可以看出，只有在纵剖面形态为比较规则的上凸或下凹曲线时，利用公式拟合的效果才比较好，得到的 N 值也与 S 值有较好的一致性，比如阴山沟、罗家峪沟、梨坪沟、联丰沟、段河坝沟、王石坝沟，而纵剖面的形态指数 N 会受到 DEM 精度、主沟道纵剖面精确性、纵剖面形态凹凸度、拟合公式局限性等众多因素的影响且计算繁琐，而利用 DEM 通过式(12)和式(13)来计算 S 值时受到其他因素的影响较小，结果较为可靠且计算便捷。

3.3 基于 S 的泥石流发育阶段划分

通过以上分析，使用 S 对泥石流沟发育阶段进行定量的划分是比较便捷和可靠的。 S 划分的幼年期、壮年期和老年期是针对侵蚀循环理论的，而对于泥石流沟的发育阶段的划分则要从泥石流发育特点来进行重新划分。从已有的研究来看泥石流的发育阶段划分为五个阶段更为详细和合理，分别为发育期、发展期、旺盛期、衰减期和消退期。

这里说的泥石流沟的发育时期应该是泥石流在同等条件(即抛开随机性较大的降雨等激发因素)下的泥石流的活跃程度或者说易发程度，所以并不能代表泥石流实际的活跃程度和规模大小，因为在实际条件下，泥石流的活跃程度受到物质条件的动态性、激发条件的随机性等的影响，其活跃程度会有着较大的区别。

然而现实条件下无法找到同等条件下且发育在不同时期的泥石流沟，所以我们选取泥石流多发的白龙江流域^[28]内 714 条有泥石流记录的沟进行调查，得到 550 条泥石流沟的发生频率资料(图 4)，通过统计分析得到石流发生频率与 S 值的关系(图 5)。

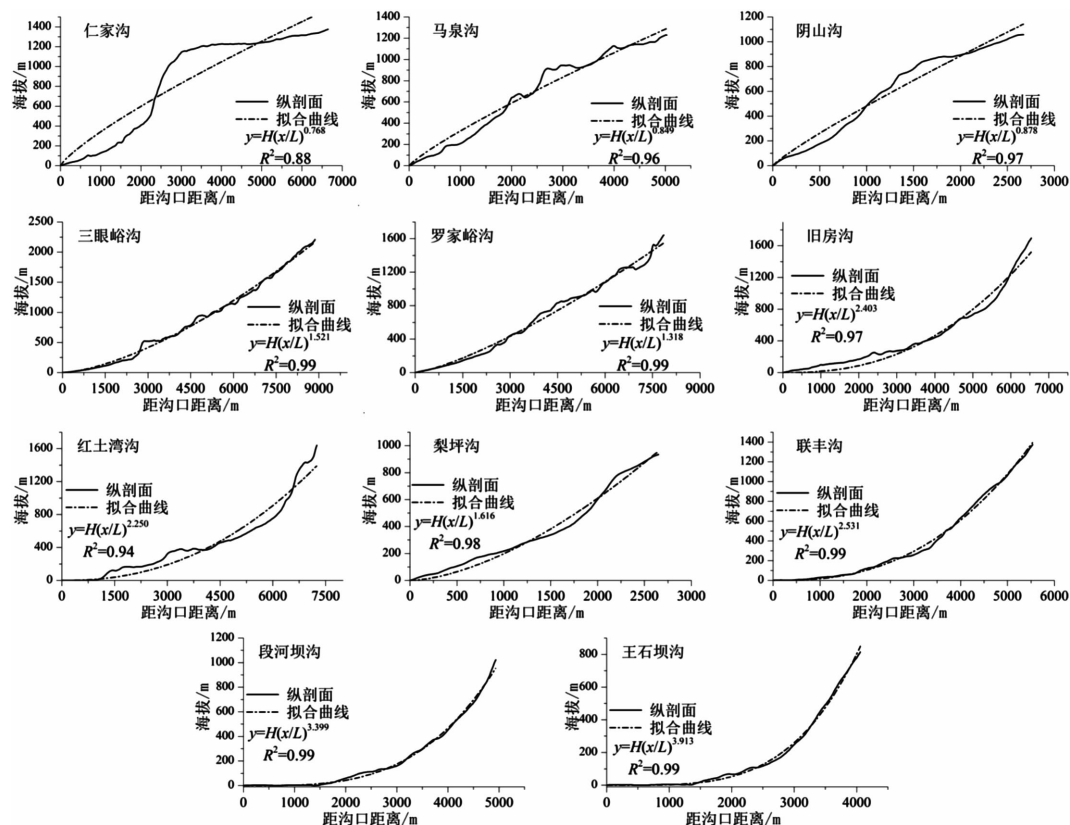


图3 各泥石流沟沟谷纵剖面及拟合曲线

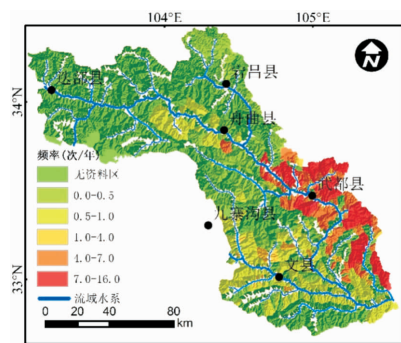


图4 流域泥石流频率图

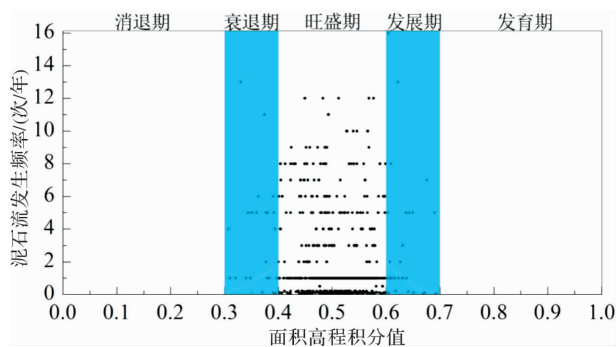


图5 泥石流沟的发生频率与S值的关系图

表3 泥石流发育阶段划分及其对应泥石流发育特征

S 值	泥石流阶段	地貌阶段	曲线形状	泥石流发育特征
0.7~1	发育期			水系逐渐发育, 易发育坡面泥石流
0.6~0.7	发展期	幼年期	上凸	沟谷逐渐发育, 沟谷泥石流逐渐发生
0.4~0.6	旺盛期	壮年期	接近直线	泥石流极为发育, 极易发生
0.3~0.4	衰退期	老年期	下凹	泥石流逐渐消减, 较难发生
0~0.3	消退期			泥石流极难发生, 逐渐发育为准平原

白龙江内所有沟的 S 值范围为 0.15~0.8, 有泥石流记录的沟的 S 值范围为 0.3~0.7, 且 92% 的沟 S 值集中在 0.35~0.6 之间, 这也和地貌演化阶段的壮年期相吻合, 说明泥石流作为地貌演化中的一个过程是遵循地貌演化规律的, 且发育状态也和地貌演化状态有着较好的一致性。泥石流沟相对较少的 S 的值域为 0.3~0.4 和 0.6~0.7 之间, 据这几个特征值我们将其划分了五个发育阶段, 这五个阶段及其对应泥石流发育特征总结如表 3 所示。

4 结论

本文总结了侵蚀流域系统的地貌信息熵与超熵的应用现状, 通过分析地貌信息熵与超熵理论来源, 认为这些应用的根本依据是其能够反映泥石流沟的发育阶段。通过 S 和 N 的计算方法以及其实际意义的分析认为使用 S 来对泥石流发育阶段进行定量的划分是比较便捷和可靠。通过泥石流

发育频率与 S 值的统计关系, 初步将泥石流的发育阶段划分为发育期、发展期、旺盛期、衰减期和消退期五个阶段, 并分析了各个阶段对应泥石流的发育特征。

本文对泥石流的发育阶段的研究只是一个初步的研究, 但从一定程度上抓住了泥石流沟演化的一些规律, 并在以后的研究中会逐渐深入和优化。泥石流的发育阶段的量化研究以及各个发育阶段的泥石流特征的分析, 能为泥石流在各个发育阶段的防治对策提供理论支持, 同时也对潜在泥石流的判定、泥石流危险性评价以及泥石流发生频率的深入分析等研究提供支持。

参考文献:

- [1] Lobeck A K. Geomorphology [M]. New York: McGraw - Hall book Company Incorporation, 1939.
- [2] 赵岩, 孟兴民, 郑娇玉, 等. 地貌学在泥石流研究中的应用与理论初探[J]. 灾害学, 2017, 32(1): 43 - 49.
- [3] 刘小凤, 刘百, 郭德明, 等. 东北地区地貌信息熵与地震构造[J]. 防灾减灾学报, 1994, 10(2): 29 - 36.
- [4] 铁永波, 唐川, 周春花. 基于信息熵理论的泥石流沟谷危险度评价[J]. 灾害学, 2005, 20(4): 43 - 46.
- [5] 孙然好, 张百平, 潘保田, 等. 祁连山北麓地貌信息熵与山体演化阶段分析[J]. 干旱区地理, 2006, 29(1): 88 - 93.
- [6] 王晓朋, 潘懋, 任群智. 基于流域系统地貌信息熵的泥石流危险性定量评价[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2006, 43(3): 211 - 215.
- [7] 李雅辉, 杨武年, 杨鑫, 等. 基于流域系统的地貌信息熵泥石流敏感性评价[J]. 中国水土保持, 2011(1): 55 - 57.
- [8] 岳俊生, 王运生, 吴俊峰, 等. “超熵”评价泥石流沟发育现状及危险度——以大渡河某电站库区为例[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(6): 131 - 135.
- [9] 邹强, 王青, 刘延国. 基于流域系统超熵的泥石流沟活跃度定量分析[J]. 科技导报, 2012, 30(18): 50 - 55.
- [10] 王钧, 欧国强, 杨顺, 等. 地貌信息熵在震后泥石流危险性评价中的应用[J]. 山地学报, 2013, 31(1): 83 - 91.
- [11] 刘丽娜, 许冲, 陈剑. 基于地貌信息熵与滑坡物源的芦山地震区泥石流危险性评价[J]. 地震地质, 2015, 37(3): 880 - 892.
- [12] 张宝军, 熊东红, 董一帆, 等. 地貌信息熵理论在冲沟沟头活跃度评价中的应用初探[J]. 中国水土保持, 2015(1): 3 - 7.
- [13] Davis W M. The geographical cycle[J]. Geographical Journal, 1973, 14(5): 481 - 504.
- [14] Strahler A N. Hypsometric area - altitude analysis of erosional topography[J]. Geological Society of America Bulletin, 1952, 63(11): 1117 - 1141.
- [15] 艾南山. 侵蚀流域系统的信息熵[J]. 水土保持学报, 1987, 1(2): 1 - 8.
- [16] Shannon C E. A mathematical theory of communication[J]. Bell System Technical Journal, 1948, 27(3): 379 - 423.
- [17] 艾南山, 岳天祥. 再论流域系统的信息熵[J]. 水土保持学报, 1988, 2(4): 1 - 9.
- [18] 岳天祥, 艾南山. 论流域系统稳定性的判别指标——超熵[J]. 水土保持学报, 1989, 3(2): 20 - 28.
- [19] 蒋忠信. 泥石流流域系统的超熵[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1992, 3(1): 35 - 42.
- [20] 蒋忠信. 滇西北三江河谷纵剖面的发育图式与演化规律[J]. 地理学报, 1987, 42(1): 16 - 27.
- [21] 刘希林. 试论泥石流动力作用与沟谷地貌演变的关系[J]. 地理科学, 1988, 8(4): 389 - 391.
- [22] 蒋忠信. 西藏帕隆藏布泥石流沟谷纵剖面形态统计分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2001, 12(4): 41 - 47.
- [23] 吕学军, 刘希林, 苏鹏程. 四川达曲河流域泥石流沟发育阶段的面积 - 高程分析[J]. 山地学报, 2005, 23(3): 336 - 341.
- [24] 李泳, 胡凯衡, 苏凤环, 等. 流域演化与泥石流的系统性——以云南东川蒋家沟为例[J]. 山地学报, 2009, 27(4): 449 - 456.
- [25] 倪化勇. 海螺沟景区典型泥石流流域地貌特征及灾害防治[J]. 水土保持研究, 2010, 17(1): 154 - 158.
- [26] Pike R J, Wilson S E. Elevation - relief ratio, Hypsometric integral, and geomorphic area - altitude analysis[J]. Geological Society of America Bulletin, 1971, 82(4): 1079 - 1083.
- [27] 常直杨, 王建, 白世彪, 等. 面积高程积分值计算方法的比较[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(3): 171 - 175.
- [28] 赵岩, 崔志杰, 熊木齐, 等. 白龙江流域泥石流沟土体渗透特性及其受植被影响[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2016, 52(6): 728 - 734.

Stage Division of Debris Flow Torrent Based on Geomorphologic Parameter

ZHAO Yan, MENG Xingmin, QING Feng, LIU Lintong and GUO Fuyun

(1. College of Earth and Environmental Sciences, Key Laboratory of Western China's Environmental System with the Ministry of Education, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2. Gansu Environmental Geology and Geohazards Engineering Research Centre, Lanzhou 730000, China; 3. Gansu Provincial Geological Environment Monitoring Institute, Lanzhou 730050, China)

Abstract: Geomorphologic parameters are used to analysis the developmental phase of debris flow torrents. We insist that it is convenient and reliable to quantitatively divide developmental phase of debris flow torrents by Elevation integral value (S), and we quantitatively divide developmental phase of debris flow torrents into five phases which are germination period, evolution period, vigorous period, attenuation period, and extinction period by the statistics relationship between outbreak frequency of 550 debris flow torrents in Bailong River basin and value of S . The development characteristics of each phase of debris flow torrents are analyzed, hoping to provide support and new idea of debris flow prevention countermeasures in diffident developmental phases, and also on judgment of potential debris flow torrents, debris flow hazard assessment and the analysis of debris flow occurrence frequency.

Key words: geomorphologic parameters; geomorphic evolution; debris flow; developmental phase