

泥石流流域地貌形态的统计分形

倪化勇

(国土资源部成都地质矿产研究所,成都 610082)

摘要:流域面积、主沟长度和沟床比降等地形地貌要素,在泥石流的发育和形成中起重要作用,研究证明三者与泥石流沟分布之间存在非线性关系,具有明显的分形特征。回顾了泥石流流域地貌的分形研究,并通过大量的资料分析,对原来泥石流流域地貌的分维计算进行了改进,得到的分维结果更具有关联性。同时,建立了泥石流流域地貌的统计分形模型,对泥石流流域地貌分维的意义进行了详细论述。这为泥石流发育、形成和分布的非线性研究提供了一条量化途径。

关键词:泥石流;流域地貌;分形;分维

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)06-0092-02

Statistical Morphological Fractal Research on Debris Flow Drainage

NI Hua-yong

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Ministry of Land and Resources, Chengdu 610082, China)

Abstract: Topography and morphology play an important role in the forming and developing of debris flow. Current researches have proved that non-linear relationship existed between debris flow gully datum and morphological factors such as drainage area, mainstream length, bed gradient, and so on. According to fractal theory, these factors have evident fractal feature. Based on the review of morphological fractal research on debris flow drainage and the analysis of abundant debris flow information, calculating method of fractal dimension was improved and a new statistical morphological fractal model was established. By comparing the fractal dimension results (calculated by the improved method) of Jiangjiagou drainage and Xiangjiaba reservoir area to the old ones, a more associative relationship was found. In the end, the significance of fractal dimension and fractal feature of debris flow morphology was presented in detail. This research provides a qualifying method for the non-linear research on the forming, developing and distribution of debris flow.

Key words: debris flow; morphology of debris flow drainage; fractal; fractal dimension

1 前言

泥石流是山区常见的一种突发性的自然灾害,影响其形成的自然因素很多,其中流域地貌是起决定作用的因素之一。泥石流分布与流域地貌的关系,主要体现在流域面积、沟谷长度和沟床比降等几个方面。这几个地貌要素既影响形成泥石流的松散碎屑物质积累的物源条件,也影响形成泥石流的动力条件。研究证明,流域地貌的上述要素对泥石流发育和形成的影响是非线性的。本文将分形理论应用于泥石流流域地貌的研究中,建立泥石流流域地貌的分形模型,用来解决这一非线性问题。

2 泥石流流域地貌分形研究回顾

分形的概念最早由美籍法国数学家 B. Mandelbrot 在 1967 年提出,该理论揭示了现实世界中具有深刻理论意义和广泛现实基础的幂指数规律^[1],现在已经成为解决事物非线性演化过程的一个桥梁。但分形理论在地质学中的应用时间还很短,在泥石流灾害中的应用可以说仍处于起步阶段。

因为泥石流沟暴发泥石流,是整个流域侵蚀-演化过程的一种表现,可以看作是流域演化的一种非线性动力过程。因此,有些学者已经开始应用分形理论来解决泥石流流域地貌的非线性演化过程^[2~7]。郑明新等^[2]建立河谷形态的分

维模型,并应用于青衣江流域的泥石流沟谷形态研究;王协康^[3,4]、李俊才^[5]、胡卸文^[6]等分别通过白龙江流域 140 条泥石流沟、金沙江向家坝库区 55 条泥石流沟、云南蒋家沟流域 26 条泥石流沟研究,均得出泥石流沟的条数和流域面积、沟谷长度和沟床比降等流域地貌要素之间存在幂指数关系,从而得出泥石流流域地貌的演化或者泥石流沟谷形态具有分形特征的结论;李泳^[7]等通过对泥石流小流域特征参数的研究,发现流域面积、沟谷长度和沟床比降等特征参量具有一般形式的标度不变性,其分布存在一致的幂函数关系。

从前人的研究来看,泥石流流域地貌的分形特征的确存在,但由于不同流域地貌特征的不同,前人在计算地貌要素的分维时对原始数据的处理原则不统一,因此得出的泥石流流域地貌的分维不便于比较,深层次的意义也就难以发现,规范化的分维计算和分形特征的研究是解决这个问题的第一步。

3 泥石流流域地貌的统计分形

3.1 泥石流流域地貌要素分维计算的规范化

同严格意义上的数学分形相比,泥石流流域地貌的分形是一种统计意义上的分形。前人在研究泥石流流域地貌分形时,对于不同的流域采用不同的泥石流沟分布区间划分标准,从而造成不同流域之间泥石流流域地貌的分形特征差别

* 收稿日期:2006-05-17

作者简介:倪化勇(1979-),男,山东临朐人,硕士,主要从事地质灾害的评价与管理、调查与防治的研究。

较大,不能够比较,因此需要对泥石流沟分布区间的划分和泥石流流域地貌分维的计算加以规范化。

本文在划分泥石流沟分布区间时遵循两个原则:(1)全面性原则。区间的划分尽可能将最多的泥石流沟包括在内,本文规定将 90% 以上的泥石流沟包括在内;(2)不等距原则。根据泥石流沟分布集中程度等特征,分布密集处间隔小,细划分,不等间距的划分泥石流沟分布区间。在对白龙江流域、蒋家沟流域、金沙江向家坝库区、北京山区、四川境内成昆铁路沿线、辽宁岫岩满族自治州低山丘陵地区和四川境内金沙江下游等众多流域的泥石流沟分布特征及其与流域面积、主沟长度和沟床比降等地貌要素的关系进行了全面研究后,对分维计算的方法进行规范化。为了便于同前人研究比较,表 1、表 2 和表 3 分别给出了蒋家沟流域、金沙江向家坝库区泥石流沟分布数据的处理结果。

表 1 泥石流沟条数与相应流域面积统计

| 流域名称 | 泥石流流域面积/ km ² | | | | | | | |
|-------|--------------------------|----|------|----|-----|-----|-----|------|
| | >0.5 | >1 | >2.5 | >5 | >10 | >25 | >50 | >100 |
| 蒋家沟流域 | 25 | 16 | 7 | 5 | 3 | 1 | | |
| 向家坝库区 | 53 | 50 | 35 | 33 | 24 | 11 | 5 | 4 |

表 2 泥石流沟条数与相应主沟长度统计

| 流域名称 | 泥石流主沟长度/ km | | | | | | | |
|-------|-------------|------|----|------|-----|-----|-----|------|
| | >1 | >2.5 | >5 | >7.5 | >10 | >25 | >50 | >100 |
| 蒋家沟流域 | 24 | 13 | 5 | 2 | 1 | | | |
| 向家坝库区 | 52 | 36 | 23 | 12 | 8 | 3 | 1 | |

表 3 泥石流沟条数与相应平均沟床比降统计

| 流域名称 | 平均沟床比降/ ‰ | | | | | | | |
|-------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | >5 | >10 | >20 | >30 | >40 | >50 | >60 | >80 |
| 蒋家沟流域 | 26 | 26 | 23 | 14 | 4 | | | |
| 向家坝库区 | | | 43 | 29 | 22 | 14 | 9 | 4 |

3.2 分维计算的结果

根据规范化后的分维计算方法,在泥石流沟条数和泥石流流域地貌要素的双对数坐标系内,利用最小二乘法进行线性拟合,分别计算了不同流域泥石流沟的流域面积、沟谷长度和沟床比降同泥石流沟谷条数的关系,进而得出分维值 D。表 4 和表 5 分别给出了蒋家沟流域、向家坝库区分维 D 的计算结果。

表 4 蒋家沟流域泥石流沟地貌因素分维结果

| | 规范化后计算结果 | | | 原来计算结果 | | |
|------|--------------------------|-------|-------|-----------------------|------|-------|
| | 相关式 | D | r | 相关式 | D | r |
| 流域面积 | lgN = -0.222 - 0.793 lgS | 0.793 | 0.992 | lgN = 1.14 - 0.72 lgS | 0.72 | 0.97 |
| 沟谷长度 | lgN = 0.095 - 1.365 lgL | 1.365 | 0.969 | lgN = 1.37 - 1.10 lgL | 1.1 | 0.953 |
| 沟床比降 | lgN = 3.182 - 2.438 lgJ | 2.438 | 0.942 | lgN = 2.67 - 1.22 lgJ | 1.22 | 0.809 |

表 5 金沙江向家坝库区泥石流流域地貌因素分维结果

| | 规范化后计算结果 | | | 原来计算结果 | | |
|------|--------------------------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|
| | 相关式 | D | r | 相关式 | D | r |
| 流域面积 | lgN = -0.017 - 0.520 lgS | 0.52 | 0.959 | lgN = 1.667 - 0.498 lgS | 0.498 | 0.958 |
| 沟谷长度 | lgN = 0.172 - 1.036 lgL | 1.036 | 0.977 | lgN = 2.027 - 1.069 lgL | 1.069 | 0.945 |
| 沟床比降 | lgN = 2.148 - 1.657 lgJ | 1.657 | 0.971 | lgN = 2.578 - 0.977 lgJ | 0.977 | 0.853 |

从计算结果可以明显看出,规范化后方法得到的分维值

参考文献:

[1] 陈颢,陈凌.分形几何学[M].北京:地震出版社,1998.

[2] 郑明新,王兰生.分形理论在区域地质灾害预测中的应用[J].地质灾害与环境保护,1998,9(3):1-5.

[3] 王协康,方铎.白龙江流域泥石流沟形态非线性研究[J].人民长江,1999,30(9):18-20.

[4] 王协康,敖汝庄,方铎.白龙江流域泥石流沟形态的非线性特征[J].四川水利发电,2000,19(增刊):23-26.

[5] 李俊才,胡卸文.金沙江向家坝库区泥石流发育状况及其沟谷形态的非线性特征[J].山地学报,2001,19(1):29-32.

[6] 胡卸文,钟沛林.云南蒋家沟流域泥石流沟谷演变的非线性特征[J].长江流域资源与环境,2002,11(1):94-96.

[7] Li Yong, Hu Kai-heng, Cui Peng, et al. Morphology of Basin of Debris Flow[J]. Journal of Mountain Science, 2002, 20(1):1-11.

[8] 刘希林,唐川.泥石流危险性评价[M].北京:科学出版社,1995.

和原来计算得到的分维值的变化趋势基本一致,但关联性均有明显的提高,相关系数 r 均在 0.942 以上,说明泥石流沟分布区间的划分原则和对分维计算的规范可行。

3.3 泥石流流域地貌统计分形模型

泥石流流域地貌各个因素的分形特征,难以说明整个泥石流流域地貌的发育和演化规律,也不便于不同泥石流流域地貌整体的比较。因此,本文取流域面积、沟谷长度和沟床比降分维之积的开立方来建立泥石流流域地貌统计分形模型:

$$D = \sqrt[3]{D_s \times D_L \times D_J}$$

式中: D_s、D_L、D_J ——泥石流流域面积、主沟长度和沟床比降的分维。根据该模型,计算得到蒋家沟流域、向家坝库区泥石流流域地貌统计分维值分别为 1.379,0.963。

4 泥石流流域地貌统计分形的意义

应用分形理论,用分维作为描述泥石流沟谷地貌各要素的参数,不仅表征了在特定的地质环境下泥石流沟谷演变的自相似性和自组织系统的本质特征,而且还揭示出流域面积、沟谷长度和沟床比降等要素对泥石流发育和形成控制作用的大小。相同流域内比较可以看出,蒋家沟流域、向家坝库区均呈现出流域面积分维值小于沟谷长度分维值小于沟床比降分维值的规律。分维值越小,说明其自组织程度越高,对泥石流的控制作用越大。因此,可以得出流域面积对泥石流发育和形成的控制作用最大,沟谷长度次之,沟床比降最小。这同泥石流危险因素的关联顺序^[8]是一致的;从不同流域的比较可以看出,蒋家沟流域、向家坝库区泥石流流域地貌因素的分维值不同,但流域地貌因素分维之间的比值基本相同,说明流域面积等地貌要素对泥石流发育和形成的控制作用存在非均匀性的同时还存在整体自组织性。根据泥石流流域地貌的分形模型得出的分维就是对这种整体自组织性的定量度量。蒋家沟泥石流流域地貌分维大于向家坝库区泥石流地貌分维,说明蒋家沟流域地貌更有利于泥石流的发育和形成,蒋家沟流域每年暴发数十场泥石流的事实一定程度上证实了这一点。

5 结论

- (1) 泥石流流域内,流域面积、主沟长度和沟床比降等地貌要素具有自相似性,分形特征明显,说明泥石流发育、形成和分布存在自组织性特征。
- (2) 规范了流域面积、沟谷长度和沟床比降等地貌要素分维的计算方法,规范后的结果关联性更高,有利于该方法进一步在不同泥石流流域的推广和应用。
- (3) 分析了流域面积、沟谷长度和沟床比降等地貌要素分维的意义,得出流域面积对泥石流发育和形成的控制作用最强,沟谷长度次之,沟床比降最小的结论,对泥石流的危险性评价和防灾减灾具有参考价值。
- (4) 建立了泥石流流域地貌统计分形模型,为泥石流的发育、形成和分布与流域地貌的关系和非线性研究提供了一条定量研究的思路。