

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2016.03.18

四川省普格县地质灾害发育的分形特征

姜恩三,任光明,陈锦涛

(地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室(成都理工大学),四川 成都 610059)

摘要: 基于分形理论中的“盒维数法”研究四川省普格县地质灾害发育的分形特征。研究得出:普格县地质灾害空间分布的分维值 $D=0.93$, 滑坡空间分布的分维值 $D=0.8817$, 泥石流空间分布的分维值 $D=0.6129$, 他们的分维值相关系数 R^2 均大于 0.9, 分维相关性较强, 分形特征明显, 具有显著的自相似性; 滑坡隐患点分形分维值大于泥石流隐患点分形分维值, 说明滑坡隐患点要比泥石流隐患点的空间分布要复杂; 灾害隐患点、滑坡隐患点及泥石流隐患点分形分维值有逐渐递减趋势, 各灾害的发育程度也逐渐减弱。最后根据分维值对研究区进行地质灾害易发性分区, 研究结果可为防灾减灾提供相关依据。

关键词: 普格县; 地质灾害; 分形; 分维值

中图分类号: P642

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2016)03-0122-05

The fractal characteristics of the geological hazards development of Pugh county Sichuan province

JIANG Ensan, REN Guangming, CHEN Jintao

(State key Laboratory of Geohazards Prevention and Geoenvironment Protection
(Chengdu University of Technology), Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: In this paper, the fractal characteristics of geological hazards have been researched based on the “box-counting dimension method” of fractal theory in Puge county of Sichuan province. Research has shown that the fractal dimension value of spatial distribution of regional geological hazards is 0.93, the fractal dimension value of spatial distribution of landslides hazards is 0.8817, the fractal dimension value of spatial distribution of regional mudslides hazards is 0.6129, their fractal dimension value of correlation coefficient R^2 were greater than 0.9, the correlation fractal dimension is stronger, obvious fractal characteristics and obvious self-similarity; landslide hazards point fractal dimension greater than mudslides hazard point, indicating the spatial distribution of landslide hazards point more complicated than mudslides hazard point; disaster point, landslides and mudslides hazard point fractal dimension value have gradually decreasing trend. Finally, according to the fractal dimension of the study area geological disaster-prone zoning, the results can provide evidences for disaster prevention and mitigation.

Keywords: Pugh county; geological hazards; fractal; fractal dimension

分形理论是美籍法国数学家曼德尔布罗特(B. B. Mandelbrot)在 20 世纪 70 年代创立的,主要是探索自然界种常见的、不稳定的、变幻莫测的和非常规的体系、现象和过程,试图找到介于整体-局部、宏观-微观、有序-无序之间的新秩序^[1]。它的形成和发展,

为自然界的非线性研究开辟了一条新思路,可以对传统数学难以回答的自然界中复杂的构型给出定量的描述^[2]。分形理论也是现代非线性科学中一个非常重要的研究领域,它的思想和方法被广泛的应用于医药、地学、物理学、天文学等各个学科。近年来的大量研究

收稿日期: 2016-03-11; 修订日期: 2016-04-13

第一作者: 姜恩三(1993-),男,安徽阜阳人,硕士研究生,主要研究方向为岩土体稳定及工程环境效应。E-mail:932043585@qq.com

表明^[3-7],在各种地质灾害中也蕴藏这大量的分形现象,这不仅深化了对地质灾害的传统知识,而且对预测预防地质灾害具有重要意义。

1 分形理论简介

1.1 分形的定义

到目前为止,学术界并未给出分形的确切定义。分形的原意是不规则的、分数的、支离破碎的,它是一种具有自相似特性的图形、现象或者物理过程等。曼德尔布罗特(B. B. Mandelbrot)给出了两个定义,一是:如果一个集合在欧式空间的豪斯道夫维数 D_H 严格大于其拓扑维数 D_T ,则该集合为分形集,简称分形。一般来说, D_H 不是整数,而是分数。二是:组成部分以某种方式与整体相似的形,称为分形。Falconer则认为分形应具有以下性质:

(1)分形集都具有任意小尺度下的比例细节,或者说它具有精细的结构。

(2)分形集不能用传统的几何语言来描述,它既不是满足某些条件的点的轨迹,也不是某些简单的解集。

(3)分形集具有某种自相似性形式,可能是近似的自相似或者统计的自相似。

(4)一般分形集的“分形维数”严格大于它相应的拓扑维数。

(5)在大多数令人感兴趣的情形下,分形集由非常简单的方法定义,可能以变换的迭代产生。

1.2 分维

在欧氏空间中,点是零维的,直线是一维的,平面是二维的,空间则是三维的,若引入时间概念,则可构成四维,甚至更高维度空间,但这些维度都是整数,为何没有非整数维度呢?于是为了定量地描述自然界的无规则现象,数学家从测度的角度引入了维数概念,将维数从整数扩大到分数,从而突破了一般拓扑集维数为整数的界限。分维的定义随生成集的构造不同,有不同的形式,常见的有Hausdorff维数、相似维数、盒计数维数、容量维数及信息维数,其中相似维与盒计数维数应用最为广泛。

相似维数的定义为:如果一个分形对象 A (整体)可以划分为 $N(A,r)$ 个同等大小的子集,每一个子集以相似比 r 与原集合相似,则分形集 A 的相似维数 D_s 定义为:

$$D_s = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log N(A,r)}{\log(1/r)} = - \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log N(A,r)}{\log r}$$

D_s 一般用 D 表示。

盒计数维数的定义为:设 A 是 R^n 空间的任意非空

有界子集,对于任意的一个 $r > 0$, $N_r(A)$ 表示用来覆盖 A 所需边长为 r 的 n 维立方体(盒子)的最小数目。如果存在一个数 d ,使得当 $r \rightarrow 0$ 时,有

$$N_r(A) \propto 1/r^d$$

那么称 d 为 A 的盒计数维数(简称盒维数)。通常用 D_b 表示。

1.3 分维的测定方法

每一种分形维数的定义和计算方法都各不相同,目前还没有普遍适用的定义和计算方法。因此对于不同的分形对象,应根据其特点选择不同的分形维数计算方法,不同方法之间的本质差别在于表征分形的测度或使用的尺度不一样^[8]。分维的测定方法有分规法、面积-周长法、频谱法、盒维数法及康托尘集法等,其中盒维数法直观易懂,应用广泛。该方法的具体过程是,使用一些边长为 r 的 n 维立方体(盒子),来计算出不同 r 值得盒子覆盖 A 的个数 $N_r(A)$,然后在以 $-\log r$ 为横坐标、以 $\log N_r(A)$ 为纵坐标的双对数坐标系中描出 $(-\log r_i, \log N_{r_i}(A))$,最后采用最小二乘线性回归法计算出这些分布点的斜率,此斜率即为集合 A 的盒维数。文章即采用盒维数法测量其分维值。

2 研究区概况

2.1 研究区地质背景概况

普格县位于四川省低纬度地区,气候受西南季风和印度北部干燥大陆性气团交替控制,干湿季分明,年温差小,日温差大,年均气温 16.8°C 。降水形式主要为雨、雪。多年平均降水量 $1\,176.3\text{ mm}$ 。县境地貌可概括为三山夹两谷。形态分为侵蚀堆积河谷平原及山间盆地和侵蚀、剥蚀构造高中山两大类,河谷盆地平原分布于螺髻山山麓一带以及则木河河谷、西洛河地带。县域内地层从震旦系到第四系除缺失石炭系和泥盆系上统外,其余各系均有出露,岩性主要有砾岩、砂岩、泥岩、页岩、灰岩、泥灰岩、白云岩和玄武岩等;第四系松散堆积物主要分布于则木河和西洛河及其支流沿岸。县境位于扬子准地台西侧,川滇南北向构造体系中段,横跨康滇台隆和滇黔川台拗两个二级大地构造单元,主要由一系列走向近南北的褶皱、压性断裂和与其有成生联系的低序次压扭性或张扭性断裂所组成。

2.2 研究区地质灾害发育概况

截止2015年,普格县共发育有170处地质灾害隐患点,其中滑坡105处,占总数的61.76%;崩塌10处,占总数的5.88%;泥石流49处,占总数的28.82%;不稳定斜坡6处,占总数的3.53%。

3 分形理论的应用与分析

3.1 分形理论的应用

将普格县发育的 170 处灾害点(其中 105 处滑坡点,49 处泥石流点,10 处崩塌点,6 处不稳定斜坡点)

绘制在 1:500 000 地形图上,依次以边长 $r = 16、8、4、2、1$ km 的正方形网格将其覆盖(图 1)。

由图 1 统计出普格县地质灾害隐患点(包含崩塌、滑坡、泥石流、不稳定斜坡)、滑坡及泥石流空间分布的数据见表 1。

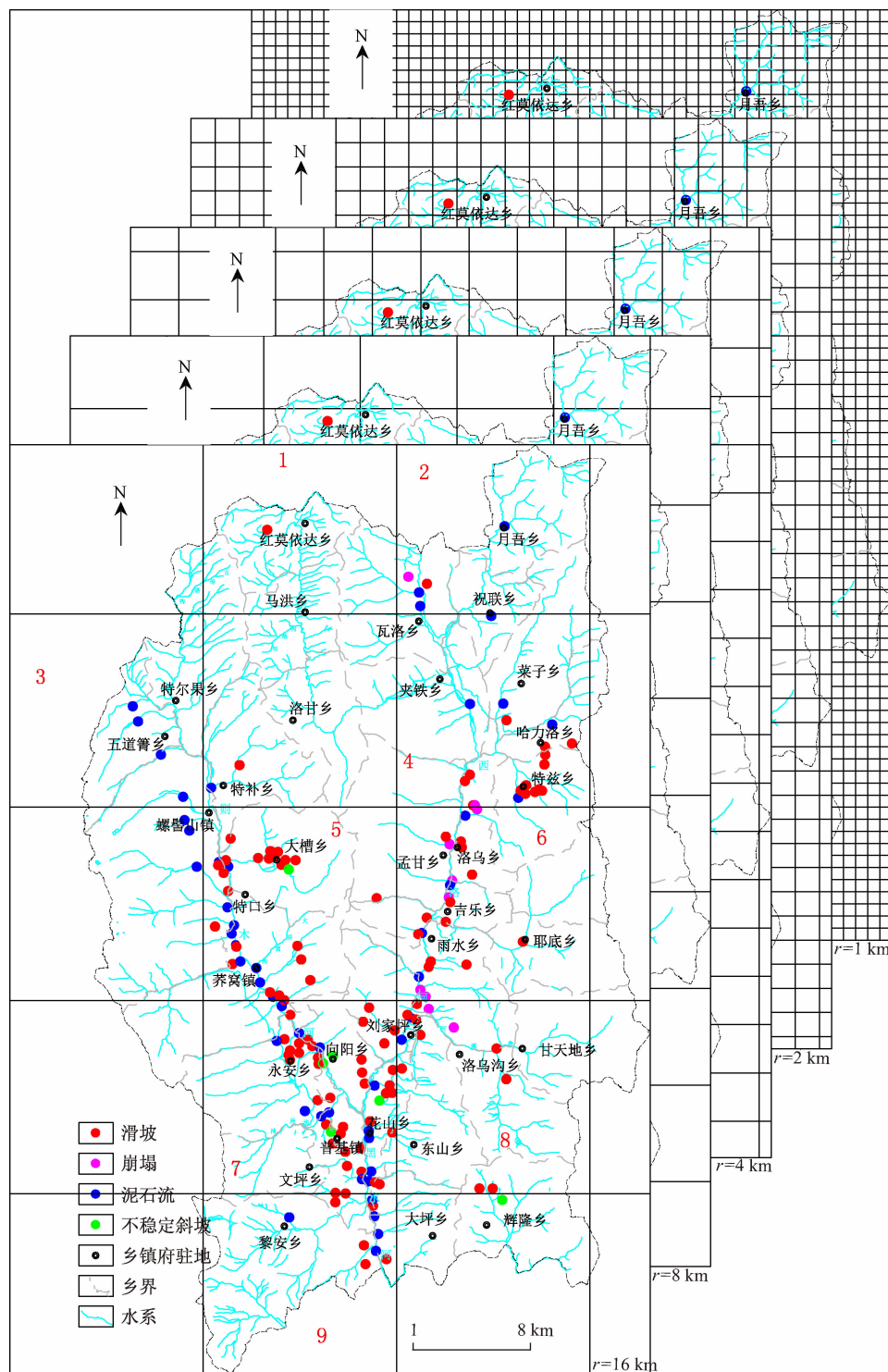


图 1 普格县地质灾害网格覆盖图

Fig. 1 The grid-coverage map of geological hazards in Puge County

表 1 普格县地质灾害空间分布盒维数法统计结果
Table 1 The statistics of box counting dimension of spatial distribution of geological disasters in Puge County

网格边长 r/km	盒子数 $N(r)/\text{个}$		
	隐患点	滑坡	泥石流
1	10	9	8
2	26	18	18
4	53	37	31
8	97	62	35
16	130	103	48

利用表 1 中的统计数据,分别以 r_i 和 $N(r_i)$ 为横坐标和纵坐标,将点 r_i 和 $N(r_i)$ ($i=1,2,\cdots,n$) 标绘在双对数坐标图上,采用最小二乘法拟合直线,此直线斜率大小的绝对值即为...的分维值。求得灾害隐患点(包含崩塌、滑坡、泥石流、不稳定斜坡)拟合直线 $y = -0.93x + 5.0839$,相关系数 $R^2 = 0.965$,分维相关性较强;滑坡拟合直线 $y = -0.8817x + 4.7144$,相关系数 $R^2 = 0.99$,分维相关性较强;泥石流 $y = -0.6129x + 4.0158$,相关系数 $R^2 = 0.912$,分维相关性较强。灾害隐患点(包含崩塌、滑坡、泥石流、不稳定斜坡)、滑坡、泥石流拟合见图 2~图 4。

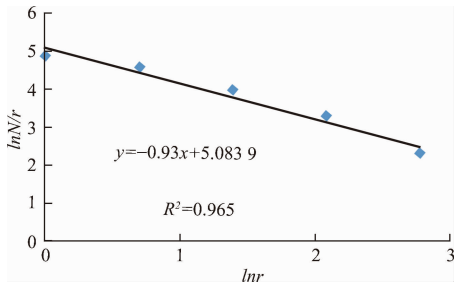


图 2 普格县地质灾害隐患点 $\ln N(r) - \ln r$ 拟合直线图
Fig. 2 The linear fitting of $\ln N(r) - \ln r$ of geological disasters

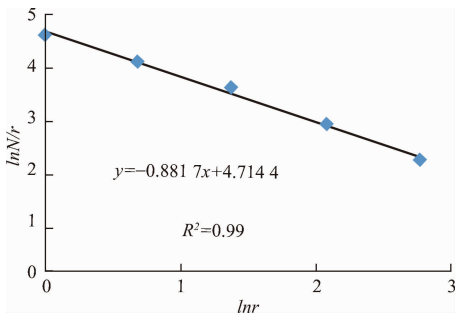


图 3 普格县滑坡隐患点 $\ln N(r) - \ln r$ 拟合直线图
Fig. 3 The linear fitting of $\ln N(r) - \ln r$ of landslide

3.2 分维值分析

各分维值见表 2。

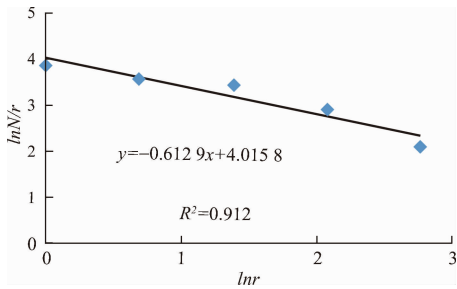


图 4 普格县泥石流隐患点 $\ln N(r) - \ln r$ 拟合直线图
Fig. 4 The linear fitting of $\ln N(r) - \ln r$ of debris flow

表 2 分维值一览表
Table 2 The table of fractal dimension values

灾害类型	相关系数 R^2	分维值 D
隐患点	0.965	0.93
滑坡	0.99	0.881 7
泥石流	0.912	0.612 9

地质灾害的发育是地形地貌、地层岩性、气象水文及人类工程活动等各个因素综合作用的结果,不同地区的各因素往往又是不同的,各个因素综合作用的结果很难去做定量的描述,而分维值则可以看做是各个因素综合作用结果的定量体现。分维值的大小一般表征曲线或点对空间的填充情况,即可表达为复杂的程度,分维值越大表示其空间分布越复杂,对于地质灾害点来说,可表达为越发育。因此,由表 2 可以看出,滑坡较泥石流较发育。当然这点我们可以从不同种类灾害点的数量上进行较为直观的判断,但是对于不同地区来说,仅仅从数量上去判断其发育的强弱是十分片面的,因此对于不同地区灾害的比较我们可以通过其分维值的大小去对比,这给我们提供一个很好的途径去研究相同或不同地区地质灾害的发育程度。比如与文献[1]、[9]两文献中两地区地质灾害发育的对比,相比较四川省南溪区滑坡空间分布要简单很多,但又比绵阳市地质灾害空间分布要复杂。

各灾害点分形分维值处在 0 到 1 之间,而文献[1]中南溪区全区范围内滑坡空间分布的分维值为 1.185 8,要大于 1,由此可以猜想,以分维值为标准对研究区进行地质灾害的易发性进行划分。将分维值 $0 < D < 0.5$, $0 < D < 1$, $D > 1$ 分别划分为地质灾害不易发区、易发区、高易发区。

按图 1 中 $r = 16 \text{ km}$ 将包含地质灾害的点的正方形进行编号并计算各编号正方形框内的地质灾害的分维数见表 3。

表 3 各正方形编号所对应的分维值

Table 3 The fractal dimension values of each number

正方形编号	相关系数	分维值
1	/	/
2	0.994 7	0.368 5
3	0.995 6	0.661
4	0.956 3	0.729 7
5	1	1.161
6	0.920 3	0.937 2
7	0.989 8	1.124
8	0.75(偏低)	0.292 5
9	0.75(偏低)	0.792 5

由表可以看出 5 号、7 号正方形所覆盖区域为地质灾害高易发区,3 号、4 号及 7 号区域为易发区,2 号区域为不易发区。8 号、9 号区域分形相关系数偏低,在此不纳入划分区域。由于相关地区灾害点分维值资料较少,此分类方法有待进一步论证。

4 结论

(1)普格地质灾害隐患点分形分维值为 0.93,相关系数为 0.965,分形相关性较强,显示灾害隐患点的空间分布具有自相似性;滑坡灾害隐患点分形分维值为 0.881 7,相关系数为 0.99,分形相关性较强,显示滑坡灾害隐患点的空间分布具有自相似性;普格县泥石流灾害隐患点分形分维值为 0.612 9,相关系数为 0.912,分形相关性较强,显示泥石流灾害隐患点的空间分布具有自相似性。

(2)普格县滑坡隐患点分形分维值大于泥石流隐患点分形分维值,说明滑坡隐患点要比泥石流隐患点的空间分布要复杂。灾害隐患点、滑坡隐患点及泥石流隐患点分形分维值有逐渐递减趋势,各灾害的发育程度也逐渐减弱。

(3)以分维值为划分标准对研究区进行地质灾害易发性分区,此种划分方法可以为同类区域提供参考。

参考文献:

- [1] 文洪. 四川省南溪区滑坡灾害分布规律与分形特征研究[D]. 西安:西安科技大学,2013.
WEN Hong. Study on distribution law and fractal features of landslides of Nanxi area Sichuan province [D]. Xi An: Xi'an University of Science and Technology, 2013.
- [2] 夏玉成,陈练武,薛喜成. 地学信息数字化技术概论[M]. 西安:陕西科学技术出版社,2003.
XIA Yucheng, CHEN Lianwu, XUE Xicheng. Geo-introduction of digital information technology [M]. Xi'an: Shanxi Science and Technology Press, 2003.
- [3] 易顺民,唐辉明. 滑坡分维特征及其预测意义[J]. 工程地质学报:1994,2(2):48-52.
YI Shunmin, TANG Huiming. The fractal dimensions of landslides and significance for their predication[J]. Journal of Engineering Geology: 1994,2(2):48-52.
- [4] 易顺民,唐辉明. 西藏樟木滑坡群的分形特征及其意义[J]. 长春地质学院学报:1996,26(4):392-397.
YI Shunmin, TANG Huiming. The fractal feature of Zhangmu landslides group in Tibet and its significance [J]. Journal of Changchun University of Earth Sciences: 1996,26(4):392-397.
- [5] 郑明新,王恭先,王兰生. 分形理论在滑坡预报中的应用研究[J]. 地质灾害与环境保护:1998,9(2):18-26.
ZHENG Mingxin, WANG Gongxian, WANG Lansheng. Study on application of theory in langslides prediction [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 1998,9(2):18-26.
- [6] 钟秀梅. 泥石流灾害的分形特征研究[D]. 兰州:兰州大学,2008.
ZHONG Xiumei. The fractal property of debris flow disaster[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2008.
- [7] Kubota, T. 1994. A study of fractal dimension of landslides, the feasibility for susceptibility index. [J]. Jpn. Landslide Soc,31(3):9-15.
- [8] 朱华,姬翠翠. 分形理论及其应用[M]. 北京:科学出版社,2011.
ZHU Hua, JI Cuicui. Fractal theory and its applications[M]. Beijing:Science Press, 2011.
- [9] 卢江,董宏戈,王哲,等. 分形理论及其在绵阳市地质灾害研究中的应用[J]. 山西建筑,2014,40(34):66-68.
LU Jiang, DONG Hongge, WANG Zhe, et al. Fractal theory and applications of geological hazards research in Mianyang city [J]. Shanxi Architecture, 2014,40(34):66-68.