

# 西藏樟木滑坡活动空间分布的分维特征及其地质意义<sup>\*</sup>

易 顺 民<sup>1</sup> 蔡 善 武<sup>2</sup>

(1 四川联合大学高速水力学国家重点实验室 成都 610065; 2 深圳博伦职业技术学校 深圳 518052)

**提 要** 依据分形理论,系统地研究了西藏樟木地区滑坡活动空间分布的分形特征。结果表明,滑坡活动的空间分布结构具有很好的统计自相似性,分维可作为滑坡活动空间分布的定量描述参数。

区域性的滑坡活动空间分布的分维在急剧变化阶段同滑坡活动的高潮期相对应,分维的变化对滑坡预报有一定的指导意义。

**关键词** 滑坡活动 分形 空间分布 分维 自相似性

**分类号** 《中图法》P642.22

定量地研究滑坡活动的空间分布结构特征,是滑坡时空预测预报的基础。近年来,分形理论在地震研究领域得到了较快的发展,但在滑坡研究领域中的应用才刚刚起步,这可能同滑坡活动的历史资料不像地震历史资料那样齐全和系统有关,客观上为滑坡的分形研究带来了许多困难。实际上,虽然滑坡活动的空间分布图象复杂多变,但在一定的观测尺度范围内,其空间分布结构具有很好的统计自相似性<sup>[1~3]</sup>。

## 1 研究区自然环境状况

滑坡研究区位于西藏自治区聂拉木县中国—尼泊尔公路江林至友谊桥段,其中樟木镇是西藏最大的边境口岸和进出口物资集散地。自 1986 年该区樟木扎美拉山滑坡大规模活动以来,滑坡活动频繁,据不完全统计,伤亡人数已超过 30 余人,严重影响了这条国际旅游线的发展。从大地构造上看,滑坡研究区属于喜马拉雅—地中海地震带的南缘,是新构造活动强烈地区,历史上曾多次发生强烈地震,横贯尼泊尔的主边界深大断裂就在此附近通过,河谷深切,岸坡高陡。滑坡区气候主要受西南季风的影响,天气阴云多雨,雷暴和降水频繁。由于喜马拉雅山横贯东西,大部份水气被迫降于南坡,年平均降雨量达 2 500~3 000mm,降雨期集中在每年的 6 月到 9 月,约占全年降雨量的 70% 以上,且大雨暴雨多。气候潮湿,蒸发强度不大,多年平均蒸发强度为 1 579.8mm。从滑坡区工程地质背景来看,喜马拉雅山南麓特定的地质环境是滑坡形成的基础,频繁的地震活动和暴雨是滑坡活动的主要触发因素。

## 2 滑坡活动空间分布分维的计算方法

滑坡活动主要是由于斜坡中岩土体的破裂及其裂隙扩展与坡体中其它的软弱夹层贯通成统一的滑动面,在力的作用下,使斜坡岩土体产生变形破坏的过程。因此,滑坡的孕育和发生是一个非常复杂的物理过程,而且是时间不可逆的非线性动力学过程,导致滑坡活动具有典型的不确定性特征。分形理论

<sup>\*</sup> 地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室基金和中国博士后科学基金资助项目。

收稿日期: 1998—09—06; 改回日期: 1998—10—14。

的提出,揭示了自然界中像滑坡这样的无规形体的内在规律性及其演变过程的随机性。从岩石破裂到大地震的形成,各种破裂尺度均存在自相似性。滑坡活动空间分布分维的计算方法如下:

根据滑坡工程地质统计资料,将一定区域内不同规模的滑坡活动看作是一系列的点事件,对不同研究区内滑坡活动的空间分布图,以其地理坐标的中心点作统计起始点,以半径  $r$  为标度,统计半径为  $r$  的园内滑坡活动的个数  $M(r)$ ,改变  $r$  的值,可得到一系列相应的  $M(r)$  值。由分形理论可知,如果滑坡活动的空间分布结构具有分形结构特征,则有  $M(r) \propto r^D$ , 对式  $M(r) \propto r^D$  两边取对数得

$$\lg M(r) = D \lg r + A$$

式中  $r$  为标度半径,  $A$  为常数,  $D$  为分维值。实际计算过程中,我们可以在  $M(r)$  和  $r$  的双对数坐标图上,找出无标度区间,用最小二乘法拟合出直线段的斜率就可得到滑坡活动空间分布的分维值。

3 滑坡活动空间分布的分维特征

根据 1985 ~ 1991 年作者及他人调查资料,编制了分年度的滑坡活动空间分布图(见图 1)。按照前述方法,在定性分析的基础上,将研究区分为江林一曲乡、曲乡一樟木和樟木一友谊桥三个区段,分别计算三个区段在不同年份的滑坡空间分布的分维数,结果见表 1。其中 1986 年和 1987 年的调查资料较全面,故分别计算了其半年期的分维值。从表 1 中可以看出,滑坡研究区内三个滑坡区段分属空间分维值不同的三个自相似子系统,同实际滑坡活动特征相一致,江林一曲乡段的滑坡活动程度最轻,以小型滑坡和小规模活动为主,分维值最低;樟木一友谊桥段内滑坡分布广,活动性强,其中樟木扎美拉山滑坡体积为 260 万  $m^3$ ,友谊桥滑坡体积为 310 万  $m^3$ ,这两个大滑坡在每年雨季都处于活动状态,分维值高;曲乡一樟木段滑坡活动程度居中,分维值也介于前二者之间。

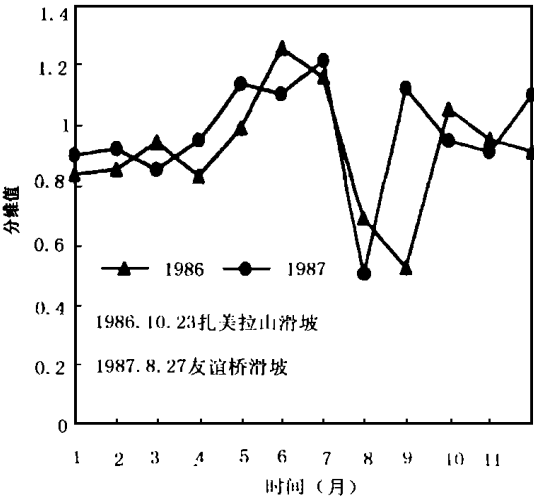


图 1 樟木滑坡群滑坡活动的月分维值变化曲线

Fig. 1 The variation curve of fractal dimensions of the spatial distribution of the Zhangmu landslides activities of each month

表 1 滑坡活动空间分布的分维值统计

Table 1 The statistics of fractal dimensions of the spatial distribution of landslides activities

| 时间(a)      | 滑坡活动空间分布的分维值(D) |       |        |
|------------|-----------------|-------|--------|
|            | 江林一曲乡           | 曲乡一樟木 | 樟木一友谊桥 |
| 1985       | 0.552           | 0.781 | 0.912  |
| 1986—01~6  | 0.623           | 0.843 | 1.568  |
| 1986—07~12 | 0.695           | 0.882 | 1.013  |
| 1987—01~6  | 0.641           | 0.716 | 1.624  |
| 1987—07~12 | 0.638           | 0.609 | 0.973  |
| 1988       | 0.667           | 0.824 | 0.955  |
| 1989       | 0.603           | 0.902 | 1.146  |
| 1990       | 0.706           | 0.921 | 1.253  |
| 1991       | 0.741           | 0.927 | 1.284  |

为了进一步定量地认识滑坡活动的演变趋势,表 2 给出了滑坡研究区内三个子区段滑坡活动分维值的变化特征。从表 2 中也可以认识到,随着滑坡活动强度的不同,三个子区段的滑坡分维变化幅度也不

相同, 樟木—友谊桥段为严重滑坡区, 1986 年和 1987 年雨季扎美拉山滑坡和友谊桥滑坡产生大规模活动, 分维值最大, 变化也最为剧烈; 江林一曲乡段滑坡活动相对较轻, 分维值也最低。不同年份的滑坡活动程度均存在差异, 相应的分维值也呈现出对应的变化趋势, 同滑坡活动的空间分布特征有很好的相关性。图 1 是樟木滑坡群滑坡活动空间分布的月分维值变化曲线。从图 1 中可以看出, 扎美拉山滑坡和友谊桥滑坡分别在 1986—10—23 与 1987—8—27 产生大规模活动前存在明显的降维现象。因此, 不同时间段内滑坡活动空间结构的分维变化特征, 定量地刻画了滑坡活动的演变性质, 对滑坡活动的时间预报有很重要的实践意义。

表 2 滑坡活动空间分维的异常特征统计

Table 2 The statistics of variational feature of the spatial distribution of landslides activities.

| 范围     | 异常时间            | 异常值    | 滑 坡 活 动 特 征            |
|--------|-----------------|--------|------------------------|
| 江林至曲乡  | 1985~1986-12    | +0.143 | 滑坡活动较密集, 有较多小型滑坡活动为主   |
|        | 1986-12~1987-12 | -0.057 | 滑坡活动程度轻, 以小滑坡与崩塌活动为主   |
|        | 1987-12~1988    | +0.029 | 滑坡活动程度较轻, 以小型滑坡与泥石流为主  |
|        | 1988~1989       | -0.064 | 滑坡活动较密集, 有较多小型滑坡活动     |
|        | 1989~1991       | +0.138 | 滑坡活动较平静, 以小滑坡活动与崩塌为主   |
| 曲乡至樟木  | 1985~1986-12    | +0.101 | 滑坡活动程度较轻, 以小型滑坡活动为主    |
|        | 1986-12~1987-12 | -0.273 | 滑坡活动较密集, 小型滑坡活动与崩塌较多   |
|        | 1987-12~1991    | +0.118 | 滑坡活动程度较轻, 以小规模滑坡活动为主   |
| 樟木至友谊桥 | 1985~1986-06    | +0.656 | 滑坡活动密集, 但以小型滑坡为主, 分布广泛 |
|        | 1986-02~1986-12 | -0.555 | 滑坡活动程度严重, 扎美拉山大滑坡活动    |
|        | 1986-12~1987-06 | +0.611 | 滑坡活动次数上升, 但以小规模滑坡活动为主  |
|        | 1987-06~1987-12 | -0.651 | 滑坡活动程度严重, 友谊桥滑坡大规模活动   |
|        | 1987-12~1988    | -0.018 | 滑坡活动程度较轻, 以小型滑坡与崩塌为主   |
|        | 1988~1991       | +0.329 | 滑坡活动程度较密集, 主要以小滑坡活动为主  |

4 结论及讨论

通过对西藏樟木地区滑坡活动空间结构的分形研究, 有以下几点认识:

- 1. 西藏樟木地区滑坡活动的空间结构可分为江林一曲乡、曲乡—樟木和樟木—友谊桥段三个滑坡分维值存在明显差异的自相似系统。江林一曲乡段滑坡分布密度低, 以小滑坡活动为主, 滑坡活动程度较轻, 分维值最低, 樟木—友谊桥段滑坡分布广, 滑坡活动密集, 分维值高, 曲乡—樟木段居中。
- 2. 区域性滑坡活动空间结构的分维值在明显变化阶段, 对应着一个滑坡活动的高潮期, 特别是滑坡活动的降维现象, 对滑坡的时间预测有一定的指导意义。
- 3. 计算滑坡活动空间分布结构的分维值, 本文采用的计算方法比传统盒维数法的计算结果的精度有明显提高。

总之, 滑坡活动的空间分布结构具有典型的分形性质, 分维可作为定量描述滑坡活动的表示参数和评价指标。因此, 研究, 滑坡活动的自相似特征, 具有重要的学科理论的工程实践意义。

参 考 文 献

[1] 易顺民. 滑坡滑动带土的分维特征及其意义. 中国地质灾害与防治学报, 1995, 6(2): 21~25.  
[2] 易顺民. 滑坡活动时空分布的容量维特征及其工程地质意义. 大自然探索, 1998, 17(3): 46~50.  
[3] Yi Shunmin, Tang Huiming, Fractal structure feature of landslide activities and its significance. In: *Proceedings of the Seventh International Symposium on Landslides*. Netherlands: A. A. Balkema Publishers, 1996: 1973~1976.

第一作者简介 易顺民,男,1964年8月生,副教授,博士后,环境水力学和岩土工程专业。曾获国家教委科技进步二等奖壹项,公开发表论文20余篇。目前主要从事环境水力学及水污染控制和岩土工程方面的研究工作。联系地址:成都市四川联合大学高速水力学国家重点实验室,邮编 610065,电话:028-5405644。

## THE FRACTAL DIMENSION CHARACTERISTICS OF LANDSLIDES ACTIVITIES IN THE ZHANGMU AREA OF TIBET AND ITS GEOLOGICAL SIGNIFICANCE

YI Shun min<sup>1</sup> CAI Shan wu<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> The State Key Hydraulic Laboratory of High Speed of Sichuan Union University, Chengdu 610065;

(<sup>2</sup> The Bolun Vocational Technical School, Shenzhen 518052)

### Abstract

Taking the Zhangmu area of Xizang in China as an example, the fractal characteristics of the spatial distribution of landslides activities are systematically studied based on fractal theory. The fractal dimensions of the spatial distribution structure of landslides activities are calculated by observed data in seven years. The results show that the spatial distribution structure of regional landslides activities has a high self-similarity in statistics and fractal dimension can be taken as a quantitative parameter to describe the spatial structure of landslides activities. Fractal dimensions and landslide activities are interrelated. A sudden change stage of fractal dimension of the spatial distribution of landslides activities coincides with the climax period of landslides activities. The variation of fractal dimensions has a certain directed significance for landslide prediction. The self-similarity of landslides activities reflects a change of the landslide system from a disorder structure to an order structure. At last, the researching significance of fractal dimension of landslides activities is discussed. Fractal structure of the spatial distribution of landslides activities reveals the complexity of the landslides system and difference of landslides activities from a new point of view and it has an important significance in theory and engineering practice.

**Key words** landslides activities, fractal, spatial distribution, fractal dimension self similarity