

文章编号 1001-8166(2004)增-0267-03

# 某水电站库区泥石流发育特征及其非线性特性研究

石豫川<sup>1</sup>, 黄润秋<sup>1</sup>, 王学武<sup>1</sup>, 邓忠文<sup>2</sup>

(1. 成都理工大学工程地质研究所, 四川 成都 610059;

2. 国家电力公司成都勘测设计院, 四川 成都 610072)

**摘要:**通过对某水电站库区内 12 条主要的泥石流沟从沟道数与流域面积、沟道数与主沟长、沟道数与沟谷坡降关系上研究了库区内泥石流沟发育的非线性特征, 并通过其双对数曲线方程得到了各自的分维数, 其意义是在对泥石流危险度评判中为各因素权重的求取提供一个定量手段, 并据此可利用非线性技术来解决泥石流灾害研究中的预测及防治等主要问题, 为泥石流灾害防治提供新的思路。

**关键词:** 泥石流, 沟谷特征, 非线性, 分维数  
**中图分类号:** P642.23 **文献标识码:** A

泥石流是地貌发育到一定阶段(水土流失严重的程度)的必然产物, 是流域进行物质和能量调整的一种方式。它是在一定因素, 如沟谷纵比降、山坡坡度、固体物质储备量、植被状况等综合影响下形成的<sup>[1]</sup>。近年来对泥石流的危险度的研究愈来愈多, 针对它的评价方法主要是综合评分法以及模糊综合评判方法等。在这两种方法中都需要确定致灾因子在泥石流发生中的贡献即权重。传统的方法主要是经验法, 这就难免带来了一些人为因素的干扰。

泥石流系统是一个复杂的非线性系统, 对这一复杂系统特征的揭示必然要引入非线性的理论和方法。作为非线性科学的 3 个前沿之一的分形理论为泥石流的非线性研究开辟了新思路。目前利用分形理论已对泥石流作了一定的研究。为能从定量的角度给出各致灾因子的权重, 文章仅建立了影响泥石流危险度的三个因子泥石流沟的流域面积、主沟长度和沟谷坡降与泥石流沟道数的定量关系并得到各自的分维值。其意义在于流域面积、沟道坡降和主沟长度实质描述的是泥石流系统组成的空间结构(即分形结构), 各形态要素分维值的高低一方面反映了泥石流演变的自相似性, 另一方面则表明不同形

态要素对泥石流演变控制作用的差异性, 分维值越小, 表明该因素对泥石流的形成和演变所起的作用越明显<sup>[2]</sup>。这样通过分维值就可以在对泥石流危险度评判时对各影响因素的权值的确定提供一个定量手段。

## 1 库区泥石流发育的工程地质条件

泥石流是暴雨、地形和松散固体物质不利组合的产物。泥石流的形成, 既需要可供搬运并能增大流体容重的松散固体物质, 又需要在一定的坡度上可将固体物质启动的水力条件, 因此泥石流的发育受控于地貌、构造、岩性、气候、植被等自然环境条件和人为活动。

### 1.1 库区地形地貌条件

库区位于中高山深谷地区, 极高山与中高山相毗邻, 峡谷与盆地相连接。得妥—挖角为峡谷段, 加郡、得妥等处为河谷盆地。其他连接河段, 则多为宽“v”形或“u”形谷。该区大渡河(冷碛—石棉河段)河床纵比降平均约 4.37‰, 不同河段其纵比降有明显变化。该区大渡河沿河发育 ~ 级阶地, 在宽谷段以 ~ 级阶地最为发育, 另外, 该地区由于谷

收稿日期: 2004-04-10

\* 基金项目: 国家自然科学基金项目(编号 90102002/D0214)资助

作者简介: 石豫川(1965-) 男, 副教授, 主要从事地质工程及岩土工程的教学工作 E-mail: wangxuewu\_1981@sina.com

岭高差悬殊,冰蚀地貌与冰碛物发育。

### 1.2 库区地质构造及岩性条件

库区处于川滇南北向构造带北端,并处于北西向鲜水河断裂带、北东向龙门山断裂带交汇的复合地带,属扬子地台西缘。库区断裂构造主要有南北向的得妥断裂、北北西向的磨西断裂和北西向的大发断裂。得妥断裂于田湾河口、芝麻沱、得妥一带沿水库展布,磨西断裂于田湾、什月河、湾东等地斜向水库西侧边缘分布,大发断裂位于田湾河支库库尾。而在坝址区附近,地质构造主要以周边发育区域性断裂、区内次级岩脉小断层和节理裂隙为特征。

库区位于扬子地台与巴颜喀拉地槽褶皱系接合部,岩浆作用、变质作用和构造活动比较强烈。区内出露的岩石具有多类型、多成因和较为复杂的演化历史。岩性主要为一套古生界海相和中生界陆相地层及晋宁—澄江期基性—超基性岩、闪长岩、花岗岩,第四系零星分布于古夷平面、山间盆地和河谷地带。

### 1.3 库区气象条件及主要人类工程活动

该区大渡河流域,尤其是深切峡谷区,气候变化剧烈,垂直分带性显著,具温带气候特征。据石棉气象站资料,该区年平均气温 18.5℃,冬春季节枯雨、气候干燥。另外,该区降雨在时间和空间上分布具有不均匀性。时间上,降雨多集中在 6~9 月份,占降雨量的 70% 左右,空间上,泸定降雨量相对较少,石棉、康定较多。最大日降雨量也不均匀,据统计,石棉最大日降雨量 108.6 mm,康定最大日降雨量 49.4 mm,泸定最大日降雨量 72.3 mm。

库区内由于大量的开矿、采石、垦荒、修渠、修建道路过程中,不合理的边坡爆破,为泥石流提供大量的松散固体物质,特别是人类砍伐树木带来毁灭性的破坏,加剧岩体风化,增加水土流失,使边坡失稳、山体松动,产生崩塌、滑坡的发生,不仅为泥石流灾害提供物质能源,而且难以短时治理。

## 2 库区泥石流沟发育概况

在长约 30 km 的库区范围内,沿大渡河两岸发育相对比较完整的沟谷有加郡沟、王家沟、两叉河沟、落井沟、白沙沟、沙河沟、什月河沟、小河沟、老屋脊沟、大沟、大发沟、莫儿沟共 12 个。各沟具体特征见表 1。

### 3 库区泥石流沟发育的非线性特征

在非线性动力作用下形成的沟谷,必然具备一

表 1 某水电站库区主要泥石流沟特征表

编号	沟谷名称	岸别	距坝里程 (km)	主沟长度 (km)	流域面积 (km <sup>2</sup> )	平均坡降 (%)	泥石流类型
1	加郡沟	左	35.6	12	93.24	12.9	稀性
2	两叉河	左	24.6	5.0	13.44	18.7	稀性
3	王家沟	左	22.6	6.0	8.85	22.2	稀性
4	落井沟	左	22.1	2.5	3.22	19.4	稀性
5	白沙沟	右	20.5	2.0	3.76	24.9	稀性
6	沙河沟	左	17.3	3.5	4.81	17.6	稀性
7	小河沟	左	12.3	3.25	9.82	24.8	稀性
8	什月河	右	8.8	3.0	18.22	11.5	稀性
9	大发沟	右	8.5	3.0	7.6	23.2	稀性
10	大沟	右	8.5	0.5	1.7	14	粘性
11	莫儿沟	右	8.5	2.0	2.3	15.8	稀性
12	老屋脊	右	28.8	2.0	3.8	16	稀性

些非线性的特征。对这些非线性特征的揭示,亦可了解形成泥石流沟的动力控制的非线性<sup>[1]</sup>。下面就是通过对泥石流沟形态计量的非线性关系的统计分析,研究了泥石流沟数与流域面积、主道沟长、沟谷坡降三者的定量关系,并由回归曲线方程得到各自分维值,这对下一步库区泥石流危险度的评价具有一定的实际意义。

### 3.1 沟道数(N)与流域面积(s)

据调查资料分析,随着流域面积的增大,沟道数减少,见表 2。同时根据以上数据作出沟道数 N 与流域面积 s 的双对数曲线方程为  $\ln(N) = 0.557 \cdot \ln(s) + 0.559$ ,其相关系数为 0.619,据分形理论<sup>[3,4]</sup>,其分维值为 0.557。

表 2 沟道数 N 与流域面积 s 统计特征表

流域面积	数量	流域面积	数量	流域面积	数量
<1	0	<5	6	<9	8
<2	1	<6	6	<10	9
<3	2	<7	6	<20	11
<4	5	<8	7	<100	12

从表 2 及回归方程中不难看出库区内泥石流沟谷数 N 与流域面积 s 的关系为非线性关系,泥石流沟谷数 N 随流域面积的增大而增大,但主要集中在流域面积小于 10 km<sup>2</sup> 的范围内,当流域面积增大到 20 km<sup>2</sup> 时,沟谷数的发育处于一个较稳定的状态。出现这种趋势的主要原因就是首先要构成一个泥石流沟,松散堆积物的补给很重要,如果没有较大的流域面积就不能够形成泥石流。但如果流域面积太大,则周围汇水量也增大,即使局部形成泥石流,也可能转化为含沙水或洪水,从而也形成不了泥石流。

### 3.2 沟道数(N)与主沟长(L)

根据沟道数  $N$  与主沟长  $L$  的统计特征表,可以发现泥石流沟数随着主沟长度的增大而增大。根据该表作出沟道数  $N$  与主沟长  $L$  的回归方程为  $\ln(N) = 0.863 \cdot \ln(L) + 0.768$  相关系数为 0.903,分维数为 0.863。

表3 沟道数  $N$  与主沟长度  $L$  统计特征表

主沟长度	沟谷数	主沟长度	沟谷数	主沟长度	沟谷数	主沟长度	沟谷数
<0.5	1	<2.5	5	<3.5	9	<6	11
<2	3	<3	7	<5	10	<12	12

从表3及双对数曲线方程看出本库区范围内泥石流沟道数与主沟长度之间的关系呈非线性特征。一般来讲,沟道短不利于堆积物的储存,却有利于泥石流的形成,反之则不利于泥石流暴发,当然这其中和流域面积也有一定的关系。

### 3.3 沟道数(N)与沟谷坡降(A)

根据沟道数  $N$  与沟谷坡降  $A$  的统计特征表,可以发现沟道数随主沟坡降的增大也增大。此关系的双对数曲线方程为  $\ln(N) = 3.041 \cdot \ln(A) + 6.867$  相关系数为 0.899,分维数为 3.041。

表4 沟道数  $N$  与沟谷坡降  $A$  统计特征表

主沟坡度	沟谷数	主沟坡度	沟谷数	主沟坡度	沟谷数	主沟坡度	沟谷数
<1%	0	<14%	3	<18%	6	<22%	8
<2%	1	<16%	5	<20%	8	<25%	12

同样,从上面特征表和回归曲线方程也可发现沟道数与沟谷坡降的非线性关系,同时发现在库区

内沟床坡降在小于 25% 的范围内沟道数均匀分布。这说明在本库区内沟床坡降对沟道数的影响不大。

## 4 结 论

(1) 库区内从泥石流沟与泥石流沟的流域面积,主沟长度和沟谷坡降的非线性关系来讲,其中流域面积的分维数最小(0.557),主沟长度的分维值次之(0.863),沟谷坡降的最大(3.041),这就说明了在泥石流的发育中流域面积在三者中对泥石流的发育作用最显著,而沟谷坡降作用最微弱,这与实际野外调查的结论一致。

(2) 在常用的泥石流危险度评价方法综合评判法中对致灾因子流域面积,主沟长度和沟谷坡降的权值分配中沟谷坡降的权值要大于流域面积和主沟长度,这与上面结论有所区别,但作者认为这并不矛盾,综合评分法中对权值的确定是经验的方法,属于一般情况。

(3) 显然,通过研究泥石流沟的非线性特征,利用非线性可以比较客观的找出对泥石流发育起控制作用的因子,从而在其预测防治方面将有一定的意义。

### 参考文献(References):

- [1] 蒋忠信,姚令侃,艾南山,等.铁路泥石流非线性研究与防治新技术[M].成都:四川科学技术出版社,1999.
- [2] 李俊才,胡即文.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.
- [3] 何隆华,赵宏.水系的分形维数及其含义[J].地质科学,1996,16(2):124-128.
- [4] 汪富泉,李厚强.分形[M].济南:山东教育出版社,1996.

## THE STUDY OF THE PROPERTY OF THE EVOLUTION OF MUD STONE GULLY IN SOME RESERVOIR AREA AND ITS PROPERTY OF NON-LINEAR

SHI Yu-chuan<sup>1</sup>, HUANG Run-qiu<sup>1</sup>, WANG Xue-wu<sup>1</sup>, DENG Zhong-wen<sup>2</sup>

(1. Chengdu University of Technology, Institute of Engineering Geology, Chengdu 610059, China;  
2. Chengdu Hydroelectric Investigation Design Institute of State Power Corporation, Chengdu 610072, China)

**Abstract:** Through the study of the correlation of mud stone flow datum between drainage area, main gully length and slope ration of mud stone flow a study about the non-linear property of gully of twelve main mud stone flow on the some reservoir area has been conducted. then we get the fractal dimension through the log-log plot yield. it is a new method to get the weight of each factors to evaluate the hazard degree of mud stone flow. Base on this, also we can use the technology of non-linear to resolve the problem of mud stone flow.

**Key words:** Mud stone flow property of gully; Non-linear property; Fractal dimension.