

鄂西清江上游及邻区活动断裂分形结构特征

汪 华 斌

(中国地质大学,武汉)

摘 要 本文利用分形理论,分析了清江上游及邻区活动断裂的分形结构特征,进而揭示单条活动断裂的分维值大小,反映了其结构复杂程度、构造发育阶段及构造活动性特性;而小范围地区线性构造分维值的大小反映了不同地区断裂构造的差异运动;同时,探讨了活动断裂分维值与其现今活动强度的关系。分维值可作为活动断裂的定量描述。

关键词 分形 活动断裂 分维值 清江

0 引言

分形理论在地学领域的广泛应用,使一些看起来十分混乱繁杂的地质现象得到定量化研究,这是由于地质体大多具有不规则性和自相似性。国内外有关学者曾研究过许多野外断裂和岩石破裂的自相似结构^[1-3],这些断裂的自相似结构可用分维值进行定理描述。本文通过对清江上游及邻区活动断裂的分形结构特征研究,结合野外地质资料,认为分维值可以作为活动断裂的定量描述。

1 分维值计算方法

1.1 盒维数法

盒维数法是一种既简便又客观的分维测量方法。具体做法如下:首先选择一定的区域范围,将其分成若干边长为 X 的格子,确定存在几何客体的格子数目 $N(X)$,然后改变标度 X 求得相应的 $N(X)$,依此类推,最后由下式求出分维值:

$$D = - \lim_{X \rightarrow 0} \frac{\lg N(X)}{\lg X} \quad (1)$$

实际计算时,在双对数坐标图上以 $-\lg(X)$ 为横坐标,以 $\lg N(X)$ 为纵坐标,用最小二乘法拟合直线的斜率,可求出相应的分维值 D 。

1.2 线性构造长度——频度关系计算法

大量资料显示,大多数线性构造常由一系列大小各异的断裂组成,这些断裂有主干断裂、次级断裂、分支断裂等。据孔凡臣^[4]统计,对某一小范围的线性构造来说,其组成线性构造的断裂长度——频度关系,一般满足

$$\lg N = A - D \lg L \quad (2)$$

其中 N 为长度大于 L 的断裂个数,即累积频度。该式与 Mandelbort(1967)对分维值的定义式

$N \propto \gamma^{-D}$ 相类似,说明组成线性构造的断裂长度—频度呈分维分布,根据给定的一组数据 $(N_i, L_i) (i= 1, 2, \dots, n)$,依据(2)式利用最小二乘法拟合,即得小范围线性构造分维值 D 。根据区域断裂统计分析,并考虑到小震的破裂长度以及每增加 0.5个震级发震断裂长度的增加,本文选取 $L_0= 3\text{km}, \Delta L= 3\text{km}$,其中 $L_i= L_0+ i\Delta L (i= 1, 2, \dots, n)$ 。

1.3 碎裂岩粒径—频度分析法

据 Mandelbort(1983)证明,在 D 维空间内,具有自相似分裂特点的均质几何体可用下式描述:

$$V= 1/N = 1/B^{1/D}$$

其中 V 为相似比, B 为基数(即几何体以 B 为基数进行分裂, N 为分裂数, D 为分维值),经赵中岩^[5]修改得: $D= -\lg N_f / \lg B$,其中 N_f 为易碎数,于是上式可演变为:

$$D= -\frac{\lg N_{(m-1)} - \lg N_{(n)}}{\lg L_{(m-1)} - \lg L_{(n)}} \quad (3)$$

式(3)可直接应用于碎裂岩的分形研究。具体办法就是测量各粒级粒径 $L(n)$ 和该粒径的颗粒数 $N(n)$,即频度分布,在双对数坐标内,用最小二乘法拟合直线的斜率,即可求出相应的分维值 D 。

2 活动断裂分形结构特征

2.1 区域断裂概述

清江上游及邻区位于新华夏系第三隆起带南端,主要展布一套 NNE 向的区域性断裂和褶皱,其中,断裂规模大(单条断裂长度为 60—150km),活动历史复杂,现今活动性较明显(发生过多次 5.0 级以上地震),对周围中小型水电建设有较大影响。这些断裂从西向东分布有齐岳山断裂、郁江断裂、黔江断裂、建始断裂、恩施断裂、咸丰断裂、大青山断裂(图 1)。

根据区域资料^[8]和野外调查结果分析,这 7 条大断裂除齐岳山断裂有较早定型的迹象(加里东期)之外,其他断裂均定型于燕山主期(晚侏罗世),在燕山晚期和喜马拉雅期又叠加了较强的构造变动。新构造活动调查和地震活动性分析揭示:这些断裂现今活动性较明显。

2.2 资料筛选及计算方法评述

清江上游及邻区小断裂较少,分布稀疏,活动断裂均展布于黄陵背斜西南隅,大地构造背景相同。因此,本文在采用上述 3 种方法测量计算区域性活动断裂的分维值过程中,活动断裂和区域小范围线性构造的几何测量以 1:50 万构造地质图为底图,分别采用式(1)和式(2)计算其分维值;碎裂岩的粒度分布在偏光显微镜 $\times 4$ 倍下测得不同粒级粒径的频度分布,采用式(3)计算其分维值;结果均采用最小二乘法拟合计算出来(图 2 图 3 图 4)。

2.3 计算结果分析

根据区域上线性构造、活动断裂的统计分析,本文分别计算了小范围地区线性构造和单条活动断裂的分维值(表 1 表 2)。前者通过与国内已有研究资料的对比分析,表明区域性线性构造分维值的不同,反映了不同地区构造活动的差异(表 1);后者则结合野外实测资料,对比分析了研究区内各条断裂的展布结构、活动性和构造发育程度(表 2)。这些结果显示了活动断裂分维值 D 的大小反映了活动断裂线性展布结构的复杂程度,构造活动性强度及构造发育程度。 D 值越大,其展布结构越复杂,构造活动性越强,构造处于发展阶段; D 值越小,其展布结构越简单,构造活动性越弱,构造发育趋于成熟和衰亡阶段(表 2)。

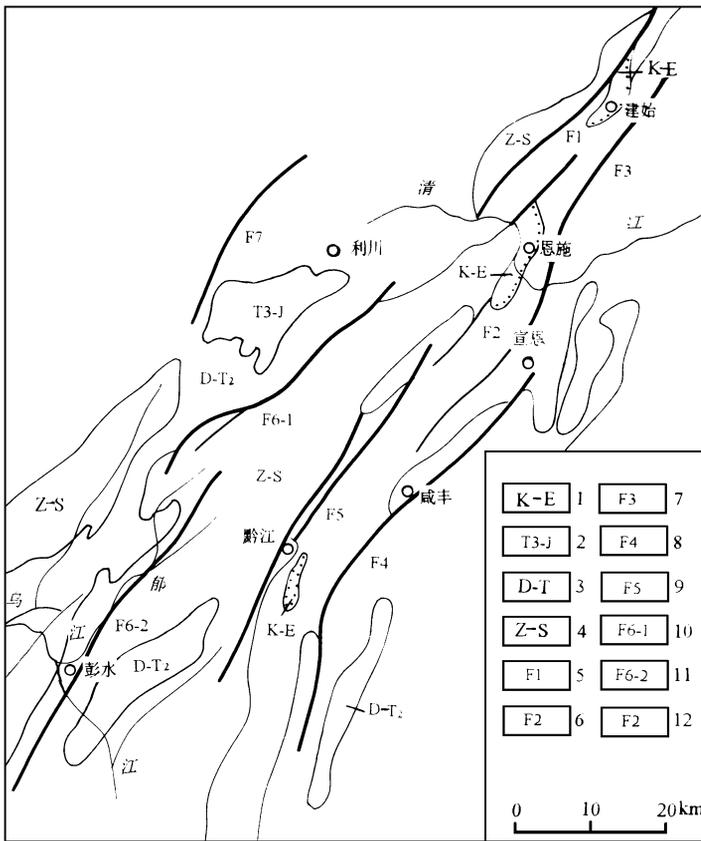


图 1 湖北清江上游及邻区地质构造略图

Fig. 1 Tectonic sketch in the upper reaches and its adjacent regions of Qingjiang River, Hubei Province

1. 新生代构造层; 2. 中生代构造层; 3. 晚古生代—中生代构造层; 4. 晚元古代—早古生代构造层; 5. 建始断裂;
6. 恩施断裂; 7. 大青山断裂; 8. 咸丰断裂; 9. 黔江断裂; 10. 郁江北断裂; 11. 郁江南断裂; 12. 齐岳山断裂

表 1 小范围线性构造 D 值与地震

Table 1 The fractal dimensions of lineaments in small regions and seismic activity

地 区	D	展 布 特 征	构造发育特征 及构造活动性	地震活动特点	资 料 来 源
清江上游 及邻区	1.20	小断裂较少 分布稀疏 结构简单	构造发育处于成熟衰 减阶段,构造活动性南端强 于北端	历史上曾发生 4 次中强 震,小震十余次	实测与综合分析
渭河盆地	1.55	小断裂较少 且分布稀疏 结构较简单	构造发育处于发展成熟 阶段,构造活动性南端强 于北端	历史上曾发生多次强震, 但周期较长,中小地震比 较少,现代小震也很少	孔凡臣等
山西带南段	1.92	大小断裂密集展布, 结构复杂	总体构造活动性强,构造 发育处于发展阶段	小震极多,同时有大震发 生	孔凡臣等

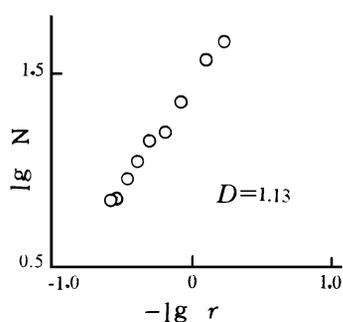


图 2 咸丰断裂的平面分维值
Fig. 2 The fractal dimensions of Xianfeng fault on the plane

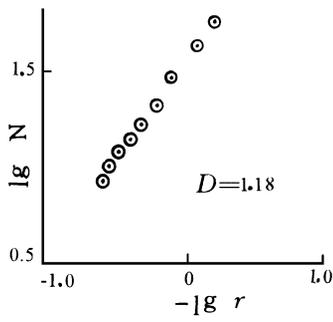


图 3 郁江南断裂的平面分维值
Fig. 3 The fractal dimensions of the south section of Yujiang fault on the plane

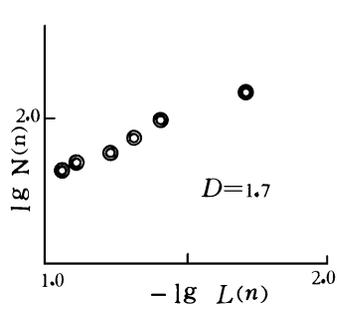


图 4 恩施断裂碎裂岩分维值
Fig. 4 The fractal dimensions of cataclastic rocks in the Enshi fault

表 2 活动断裂 D 值与地震

Table 2 The fractal dimensions of active faults and earthquake

活动断裂名称	D	展示结构特点	构造发育程度及构造活动性	断裂活动与地震活动特点
建始断裂	1.06	小断裂少,分叉和间断少,结构较简单	构造发育趋于成熟	右旋切错水系,有微震活动,小震很少
恩施断裂	0.99 1.7	结构简单	构造发育趋于衰亡,构造活动弱	切错山原期夷平面,微小震很小
大青山断裂	1.03	结构简单	构造发育趋于衰亡,构造活动弱	切错山原期夷平面,地震活动不明显
咸丰断裂	1.13	小断裂多,分叉和间断多,结构复杂	构造活动强,处于发展成熟阶段	小震少,无大震
黔江断裂	1.08 1.8	小断裂多,分叉和间断较多,结构复杂	构造活动强,处于发展成熟阶段	有强震活动,小震较多,中强震发生在主干断裂
郁江北断裂	1.13	小断裂多,分叉和间断较多,结构复杂	构造活动性强,处于发展成熟阶段	断面三角面明显,深切河谷,微小震较多
郁江南断裂	1.18	小断裂较多,分叉和间断较多,结构复杂	构造活动性强,处于发展成熟阶段	有过中强地震,小震较少
齐岳山断裂	0.98	结构简单	构造活动弱,构造发育趋于衰亡	大、小地震很少

* 碎裂岩的分维值

3 活动断裂分维值与力学环境

结合国内外已有经典资料对比分析(表 3),发现活动断裂几何形状与其力学环境关系较为密切,不同的力学环境形成的断裂系具有不同的典型结构。从表 3 可以看出,断裂的分维与

其形成的力学环境可能存在多种对应关系。剪切断裂带具有较低的分维值,张性环境中形成的断裂带具有较高的分维值。同时,从活动断裂碎裂岩的分维值也可以反映出断裂的分维与其形成的力学环境有一定的对应关系。张性环境中岩石的破碎程度较高,其碎裂岩的分维值也较高。

表 3 断裂分维值及其力学环境

Table 3 The fractal dimensions of faults and mechanic environment

断 裂 名 称	分 维 值 (D)	断 裂 性 质	资 料 来 源
圣安德烈斯断裂	1.33	剪切走滑	Okubo等
鲜水河断裂带	1.15	剪切走滑	马瑾
海原断裂系	1.14	剪切破碎	周尽
红河断裂带北缘	1.62	张性走滑	金邓辉
恩施断裂	0.99	走滑兼张	实测
黔江断裂	1.08	张性为主	实测

4 结 论

综上所述,活动断裂的平面展布及其碎裂岩的粒度分布,具有较好的分形结构特征。分维值可作为反映活动断裂展布结构的复杂程度,构造发育阶段及构造活动强度的定量标志。分维值越大,断裂结构越复杂,断裂现今活动越强。清江上游及邻区7条大断裂的分维分析结果证实:黔江、郁江、咸丰断裂现今活动性相对较强,这与实测结果基本一致。

本文在成文过程中,得到了吕贻峰、吴树仁导师的指正和帮助,同时与周文戈博士进行过有益的探讨,在此一并表示诚挚的谢意。

参 考 文 献

- 1 郑捷,研究地震和岩石破裂现象的非线性科学方法。地球物理学报,1992,7(1)
- 2 Marone C and C H Scholz, Particle size distribution and microstructures within simulated fault gouge, Journal of structural Geology, 1989, 11.
- 3 马瑾等,鲜水河断裂带断裂几何与地震活动性。第二届构造物理学术讨论会文集,北京:地震出版社,1990
- 4 孔凡臣,丁国瑜,线性构造分数维值的含义。地震,1991,5
- 5 赵中岩,王毅,碎裂岩的分数维分析:理论、方法及地质含义。地质科学,1992,Vol. 3
- 6 Mandelbort B B, The Fractal Geometry of Nature, 1983.
- 7 易顺民,唐辉明,活动断裂分形结构特征。地球科学,1995,Vol. 1
- 8 吴树仁,清江流域地壳稳定性工程地质研究。武汉:中国地质大学出版社,1995
- 9 湖北省区域地质志,北京:地质出版社,1990
- 10 四川省区域地质志,北京:地质出版社,1991

THE FRACTAL STRUCTURE FEATURES OF THE ACTIVE FAULTS IN THE UPPER REACHES OF THE QINGJIANG RIVER, AND THE ADJACENT REGIONS WESTERN HUBEI

Wang Huabin

(Graduate School of China University of Geosciences, Wuhan)

Abstract The fractal structure features of the active faults in the upper reaches of the Qingjiang River and the adjacent regions western Hubei are analyzed. It is shown that the magnitude of the fractal dimension of a single fault reflects the complexity of the structure of fault, the stage of its development and activity, while those of a small region reflects the differential movement of the faults of various regions reflects the differential movement of the faults of various regions. At the same time, the relation between the fractal dimension of an active fault and its activity is studied. Its value can be regarded as a quantitative measure.

Key words fractals, fractal dimensions, active faults, the Qingjiang River

作者简介

汪华斌,男,出生于 1968年 8月。1990年毕业于长春地质学院,1993年在中国地质大学(武汉)攻读地质力学专业硕士学位,研究方向为工程地质力学。通讯地址:中国地质大学(武汉)研 931班 邮政编码: 430074