地 球 学 报
第 21 卷 第 1 期 ACTA GEOSCIENTIA SINICA Vol. 21 No. 1
2000 年 2 月 Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences Feb. 2000

福建上杭 - 尤溪地区岩浆岩的分形特征*

许顺山 吴淦国
(中国地质科学院地质力学研究所,北京) (中国地质大学,北京)

摘 要 分形不仅能揭示地质现象的复杂程度,且在某种程度上反映了地质过程的成因本质。上杭 - 尤溪地区的分形研究表明:①侵入岩的分形值普遍较小,火山岩的分形值普遍较大;②火山岩的分形值与应力成正相关,而侵入岩则相反;③分形值受区内大型的政和 - 大埔断裂、上杭 - 云霄断裂、永安 - 晋江断裂控制;④火山岩的分形值接近于临界值时对成矿有利。

关键词 分形 岩浆岩 上杭 - 尤溪

上杭 - 尤溪地区位于福建中西部,是地质作用复杂、贵金属成矿有利的地区,也是福建目前主要的黄金产地。该区地处中国东部、环太平洋西缘,属环太平洋构造域。上杭 - 尤溪地区中生代岩浆岩的主要特征如下:

本区中生代发育最早的火山岩见于上三叠统文宾山组,呈较薄的夹层分布在正常沉积岩中。西部侵入岩分布面积大于火山岩分布面积,而东部火山岩分布面积大于侵入岩分布面积。西部 S 型花岗岩多于 I 型花岗岩,而东部则相反。岩浆岩总体演化是向偏碱方向发展。西部火山构造以火山盆地为主,东部则以火山构造洼地为特色。同期火山岩与侵入岩为同源产物,但深成侵入岩可能早于火山岩。岩浆作用晚期岩浆岩中 SiO_2 的增加来自于围岩,而 $Na_2O + K_2O$ 的增加是岩浆自身分异的结果。

福建火山喷发带属西太平洋火山喷发带的一部分,处于 NE 向的东南沿海亚带与近 EW 向的永梅会火山带的交汇部位。以政和 - 大埔断裂为界分为闽东火山活动亚带和闽西火山活动亚带。研究区处于两个主要的次一级火山喷发带即 NE 向的松溪 - 上杭喷发带和寿宁 - 梅林喷发带,另有 NW 向的上杭 - 云霄火山喷发带。

1 分形研究概述

分形理论属于非线性科学的理论体系。地球是一个复杂的非线性系统,它与宇宙星体不断进行物质与能量交换的同时,还通过内部的耗散过程来维持自身的运动状态和各种层次的时空结构。近年来,耗散结构理论、协同论、突变论、混沌理论和分形几何学等与非线性有关的新理论、新观点已不同程度地渗入到地球科学研究中来。诸如构造地质学、矿物学、岩石力学、石油勘探、地震预测和成矿预测等学科,过去难以解释或难以解决的问题,都有分形理论的新成果。如对圣安德列斯断裂研究(Aviles C A ,1987)、地质统计学[1,2]、成矿预测研究[3~6]等。

* 本文获地质行业发展基金"福建德化双旗山金矿成矿动力学"资助(Qh9806)
第一作者:许顺山,男,1963 年生,副研究员,博士,主要从事构造地质、矿床地质工作;邮编:100081

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

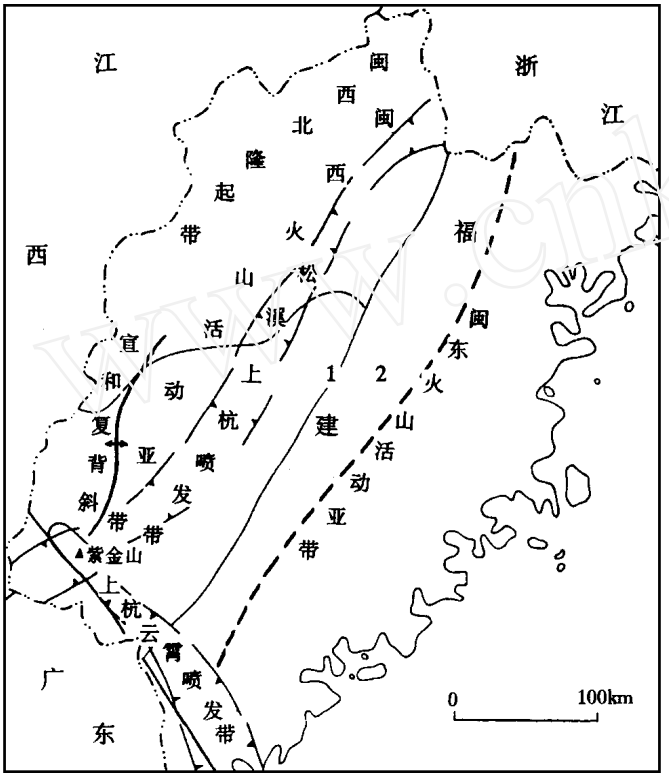


图 1 福建省火山活动带示意图

(据陶建华,1992)

Fig. 1 Sketch map showing volcanic activity Belts in Fujian

1 - 政和-大埔断裂;2 - 寿宁-梅林喷发带

分数维数最早由 Hausdorff (1919)提出,后来 Mandelbort 将分数维数推广形成分形几何学[7,8]。分形几何学的主要概念是分维,即维数可以是分数。Mandelbort 认为分数维数可用于许多物理现象,分形几何学用来处理那些极不规则的几何形状。在经典几何学中点是零维的,任何曲线是一维的,任何曲面是二维的,因此这种维数只取整数值。分形几何学的基本思想是维数可以是分数。Mandelbort 定义分形为:如果一个集合的 Hausdorff 维数严格大于它的拓扑维数,则该集合为分形。他给出自相似的分形定义为:局部与整体以某种方式相似的形叫分形。这一定义体现了自然界许多物质的基本属性。研究曲线分形最典型的例子是 Feder(1988)对挪威海岸线的研究。当用不同尺码 ξ 去测量海岸线时,由于所忽略的细节不同,因此可得到不同的长度值 $L(\varepsilon)$,并可表示为 $L(\varepsilon) = L_0\varepsilon^{1-D}$,式中的 D 为曲线的分维,D 值刻画了曲线的粗糙度,D 值越大曲线越弯折;D 值越小曲线越光滑。人们提出了许多分形维数的算法,计有容量维、信息维、关联维数、广义维数和自相似维数。我们通常采用盒维数和集束维数法,盒维数的公式为:

$$N_{(r)} = Cr^{-D}$$

式中 $N_{(r)}$ 特征尺寸大于 r 的离散体数目,C 是常数。集束维的公式为:

$$M_{(r)} = Cr^{D}$$

式中 $M_{(r)}$ 为半径小于 r 的圆所覆盖的离散体数目。

岩浆喷发或侵入过程中由于不同的动力环境的影响,其边界形态有相当大的差异,因而其粗糙度就不一样。Bruno B C (1993)研究认为熔岩流具有分形特征,他根据野外测量结果和航空照片对夏威夷、爱达荷及加拉帕戈斯岛的熔岩流的分形特征进行了研究,认为熔岩流的分形特征是由于非线性力作用的结果。这项研究对于认识熔岩流的动力学特征具有重要意义。其研究结果表明,渣状熔岩流的分维值在 1.05～1.09 之间,而绳状熔岩流的分维值在 1.14～1.23 之间。他还通过测量金星、火星和月球轨道成像图上的熔岩流特征,并进

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

行了分形研究,结果表明这些熔岩流同样具有分形特征。综合地球上和地球外的资料看,熔岩流的分形特征适合于 5 个以上数量的标尺长度(0.5～60km)。可见岩浆岩边界广泛具有分形特征,对其进行分形研究具有重要的实际意义。

2　分形值计算

本文对岩浆岩的分形研究采用普遍的方法——盒维数法(box - dimension method),即用正方形的格子去覆盖岩浆岩边界线,格子的大小是变化的。给定盒子的尺寸 r 可以数出覆盖住地质界线的总盒子数 N,假设第 i 步覆盖使用 $r_i \times r_i$ 的格子,所需盒子数为 N_i,第 $i+1$ 步用 $r_{i+1} \times r_{i+1}$,则所需盒子数为 N_{i+1},可以发现任意两个尺度下所需盒子数之比与码尺之比存在如下关系:

$$N_{i+1} / N_i = (r_i / r_{i+1})^{-D}$$

上式可以写为

$$N_{i+1} = (N_i r_i)^D (r_{i+1})^{-D}$$

由于 $N_i r_i = L_0 r^{1-D}$,则 $N_i r_i^D =$ 常数,这样就可以写为:

$$N = a r^{-D}$$

因此只要将测得的 N、r,做成双对数图,拟合为一条直线就可以求出 D 值。

由于研究区发育侏罗纪、白垩纪火山岩,因而分别对 J_3、K_1、K_2 的火山岩进行统计分析,其中 J_3 地层分别计算了政和 - 大埔以东的寿宁 - 梅林喷发带以及政和 - 大埔以西的上杭 - 松溪喷发带,并以永安 - 晋江 NW 向断裂和顺昌 - 闽清 NW 向大断裂为界,分为南区、中区和北区,分析结果列于表 1。

表 1　研究区岩浆岩分形值

Table 1　Fractals of magmatic rocks in studying area

岩性	分析对象	分维值 D
火山岩	寿宁 - 梅林喷发带 J_3	1.380
	寿宁 - 梅林喷发带中段 J_3	1.539
	寿宁 - 梅林喷发带北段 J_3	1.428
	寿宁 - 梅林喷发带南段 J_3	1.482
	上杭 - 松溪喷发带 J_3	1.482
	上杭 - 松溪喷发带南段 J_3	1.482
	上杭 - 松溪喷发带中段 J_3	1.482
	研究区东部 K_1	1.351
	研究区西部 K_1	1.327
侵入岩	上杭 - 云霄断裂 J_1	1.118
	全区 T	1.200
	全区 J_3	1.235
	上杭 - 云霄断裂 K_1	1.270
	永安 - 晋江断裂 K_1	1.380
	永安 - 晋江断裂东段 K_1	1.235
	永安 - 晋江断裂西段 K_1	1.280
	紫金山 J_3	1.270
	肖板 J_3	1.400
	古田 J_3	1.235
	长坑 J_3	1.190

3　分形值特征分析

3.1　火山岩与侵入岩的分形值比较

侵入岩与火山岩相比,侵入岩的比值普遍较小,这一方面与它们就位时的开放环境或封闭环境有关,即开放环境的分维值较大。另一方面岩浆定位除应力因素外,还取决于岩浆的流变性,而流变性又与其固有的物理状态及成分有关。火山岩往往含较多的挥发分与流体,它比同类型的侵入岩的粘度更低,流动性更好,因此分形值更高。

3.2　空间变化规律及其与断裂关系探讨

断裂作用与岩浆岩的形成演化有密切的关系,主要表现在:

(1)平移剪切过程中物质成分在水平方向上缩短,在垂直方向上伸长,导致地壳加厚。高层次的斜向逆冲缓断层连接着低层次

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的陡平移断层,使变质沉积岩发生广泛的深熔作用(Hutton D H. et al. 1993)。本区岩浆岩多与断裂带有关,岩浆大多沿断裂带上升,且每次脉动都沿同样预热通道中上升,形成复式岩体。岩体侵位多限于断裂或褶皱的拉张部位。

(2)韧性推覆剪切带或韧性走滑剪切带往往导致花岗岩熔融,其主要热源为:构造摩擦热、放射性衰变热、来自地幔岩浆的散失热。England P C (1991)计算出造山带产生的熔融不少于 2～5km^3/ km^2;朱志澄(1992)提出挤压褶皱逆冲 - 岩浆侵入 - 伸展拆离滑脱模式。

(3)岩浆作用与构造运动是互为因果的。Parson(1993) 认为,剥离断层下盘由于岩浆侵入,将改变局部应力场。在造山带中,熔体与造山带变形的关系也是互为因果。

从火山岩的分形值来看,以政和 - 大埔断裂为界西部的上杭 - 松溪喷发带分形值(1.482)大于寿宁 - 梅林喷发带分形值(1.38),而断裂的分形值的变化特征与火山岩的分形值变化特征一致(图 2)。同时表明寿宁 - 梅林喷发带的火山喷发过程中断裂控制作用更为明显,因为其边界受断裂控制时,界线就会较为简单,分形值就会降低;同时表明政和 - 大埔断裂对火山喷发有明显的控制作用。另外,侏罗纪两喷发带从南至北分形值变化趋势具有一致性,即中间分维值较大,南或北分维值较小(图 3),表明晚侏罗世时期 NW 向上杭 - 云霄断裂、永安 - 晋江断裂具有相当的活动性,断裂作用对火山活动也有明显的控制。

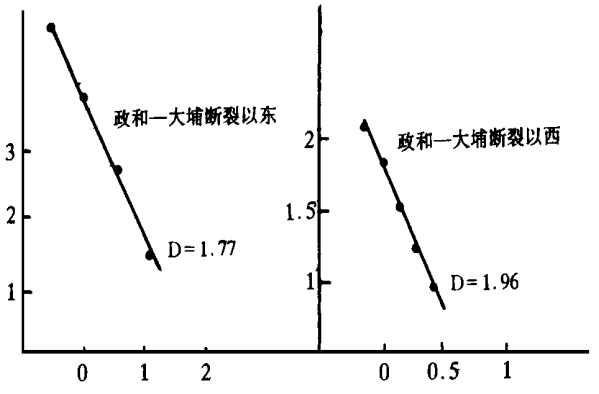


图 2 政和 - 大埔断裂东西两侧的断裂分形值

Fig. 2 Fault fractals at sides of Zhenghe - Dapu fault

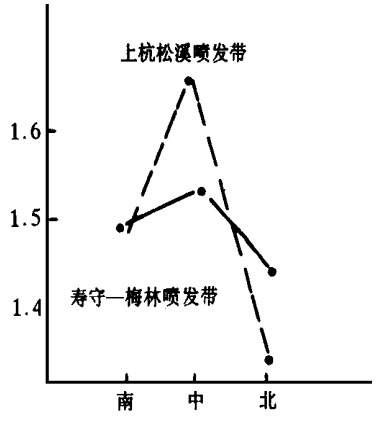


图 3 分形值空间变化图

Fig. 3 Change map showing fractal in space

侵入岩的分形值也与断裂作用有关,如以政和 - 大埔断裂为界,永安 - 晋江断裂带中早白垩世侵入岩的东、西段的分形值就有差异,西段大于东段。其变化特点正好与火山岩的分形值相同,表明火山岩与侵入岩确实是受断裂的控制。

3.3 时间变化特征及其与古应力关系

在变形、浮力、重力等作用下熔体从母岩中分离,分离作用主要受熔体粘度及变形作用的影响,其机制是差应力来驱动熔体分离作用,构造作用起明显的主导作用。

据研究,本区中生代板内变形速率在不同时期有不同的值,本区变形速率从侏罗纪到白垩纪不断增加,进入新生代则急剧减小,变形速率最大值与岩浆活动强烈期相对应。变形速

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

率还与应力大小有关,由表 2 可以知道,变形速率和应力大小控制了岩浆侵位的深度,矿物结晶温度变化与变形速率和应力也有对应的关系,但石英有例外,可能是由于石英的结晶温度较宽,也可能是由于石英结晶温度受岩体自身的动力学条件的制约性更强。

表 2　构造应力大小与岩浆岩形成的温度压力关系表

Table 2　Relationship between tectonic stress and T-P conditions of magmatic rocks

时　代	应力/ MPa	板内变形速率/ cm·a^{-1}	流纹岩矿物结晶温度/ ℃			形成压力/ MPa	形成深度/ km
			透长石	斜长石	石英		
早白垩世	52～81.26	6.1	1009.4	974	1241	900	30
晚侏罗世	112.9～93.8	5.6	1201	1045	993.5	430～700	23
早中侏罗世	115～133.16	5.2	1230	1052	1111.5	600	20

注:应力数值来源于作者、万天丰(1987)、吴淦国等(1998),板内变形速率来源于万天丰(1992),其他数据据福建地研所

岩浆岩分形值与应力演化也有密切关系(表 1,表 2)。从火山岩来看,晚侏罗世到晚白垩世分维值有降低的趋势。这一方面是由于晚期断裂更加发育,断裂控制岩浆活动更为明显;另一方面由于白垩纪时整个区域构造环境是由挤压向拉张作用的转换,岩浆就位过程更容易受构造限制而表现较低的分维值。

从侵入岩来看,早侏罗世侵入岩的分形值最低,此时期的岩浆活动也最弱。火山岩的分形值变化趋势与古应力变化趋势相同,而侵入岩的分形值与古应力的关系不是很明显,这可能与统计数据少有关。

3.4　分形值与成矿关系

自然营力作用下曲线的分维值应在 1.5 左右,如挪威海岸线的分维值即为 1.5。熔岩流的分维值在 1.05～1.23 之间。而本区不同时代的侵入岩的分维值范围基本无大差别,大多在 1.5～1.1 之间,表明各时代的侵入岩在侵入过程非线性动力的作用没有实质性的变化,其成矿的几率差不多。火山岩的分维值总体偏离自然营力的分维值不大。白垩纪火山岩的偏离较大,进一步验证了本研究区的金铜成矿作用主要是与白垩纪火山岩、次火山岩有关,而与深成侵入岩的关系较小或者说不是直接的因果关系。

但是,侵入岩发育对成矿是有利的条件,如上杭和尤溪两个主要金矿产出地晚侏罗世分维值相比,上杭紫金山的分维值较大,与金矿无关的长坑、古田地区的晚侏罗世侵入岩的分维值则较小。

4　结　论

(1) 火山岩与侵入岩的分维值有明显的差异,反映了它们形成的动力学环境的差异。

(2) 火山岩与侵入岩的分维值变化规律受断裂活动的控制。

(3) 分形值与火山岩及侵入岩的活动规模有关,活动规模较大时期,分形值较大。

(4) 因为火山活动和 NW 向断裂形成的时间都比较晚,所以火山活动与 NW 向断裂的关系更为显著。

(5) 白垩纪火山岩与成矿有直接的因果关系。而各时代的侵入岩发育是成矿的有利条

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

件,应该引起重视。

参 考 文 献

1 赵鹏大主编. 地质勘探中的统计分析. 武汉:中国地质大学出版社,1990.

2 Turcotte D.L. (陈永等译) 分形与混沌 - 在地质学和地球物理学中的应用. 北京:地震出版社,1993.

3 孟宪国. R/S 分析和地球化学数据的分形处理. 地球科学,1991,16:281～287.

4 程小久等. 铅锌品位分维值的意义和计算程序. 地质与勘探,1994,30:30～3.

5 丁式江. 地层含金性评价的分数维研究---以琼西抱板群为例. 现代地质,1997.

6 沈步明等. 新疆某金矿的分数维特征及其意义. 中国科学 B 辑,1995,23:299～302.

7 Mandelbort B B. et al. Fractal character of fracture surfaces of metals. Nature,,1984,308,721～723.

8 Mandelbort B B. The fractal geometry of nature. San Francisco: Freeman,1982.

Fractal Characteristics of Magmatic Rocks in Shanghang-Youxi, Fujian

Xu Shunshan
(Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing)

Wu Ganguo
(China University of Geosciences, Beijing)

Abstract Fractal can to some extent reveal complicated characteristics and reflect genetic essence. Fractal characteristics of magmatic rocks in Shanghang-Youxi reveal the following phenomena: (1) fractals of extrusive rocks are larger than fractals of intrusive rocks; (2) fractals of extrusive rocks are in positive relationship with paleostress. Fractals of intrusive rocks are in negative relationship with paleostress; (3) fractals are controlled by crustal or mantle faults such as Zhenghe-Dapu fault, Shanghang-Yunxiao fault and Yongan-Jinjiang fault; (4) volcanic fractals approaching critical values are advantageous to metallogeny.

Key words fractal magmatic rocks Shanghang-Youxi

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net