

## 湘西沃溪金锑钨矿床含金石英脉的分形生长动力学

谢焱石<sup>1)</sup> 谭凯旋<sup>2)</sup> 陈广浩<sup>1)</sup>

1) 中国科学院广州地球化学研究所, 广州, 510640

2) 南华大学建筑工程与资源环境学院, 衡阳, 421001

**内容提要** 笔者等对湘西沃溪金锑钨矿床石英脉长度与厚度的分形关系及其厚度的分形分布进行了分析, 探讨了石英脉分形生长的可能动力学机理。分析结果表明, 石英脉长度厚度关系的分维值  $D_L$  在 0.4070 到 1.0784 之间,  $D_L$  值与相应石英脉的平均厚度呈明显正相关关系, 相关系数为 0.6636。石英脉厚度分布的分维值  $D_T$  在 0.3420 到 1.4661 之间, 与相应石英脉平均厚度呈负相关关系, 相关系数为 -0.5706, 说明厚度分布的分维值  $D_T$  越小, 脉体连通性越好。研究表明, 石英脉体生长早期, 以横向膨胀为主, 其长度厚度关系分维值  $D_L < 1.0$ ; 脉体生长达到一定规模时, 相邻脉体会通过相互连通而迅速增长, 总体表现为纵向延长, 从而导致  $D_L > 1$ ,  $D_L$  随着石英脉的连通生长而增大。模拟结果表明, 具有稳定的脉体成核率  $\alpha$  和生长速率  $\beta$  的脉体生长模式将导致脉体厚度的分形分布, 且厚度分布的分维值  $D_T$  值将随着脉体成核率  $\alpha$  的增大而增大、随着脉体生长速率  $\beta$  的增大而减小。

**关键词** 分形生长 动力学 石英脉 湘西沃溪金锑钨矿床

在研究自然界广泛存在的不规则形态和复杂集合体过程中, Mandelbrot (1982) 发现自然界的诸多时空无序变化并不意味着毫无规律, 而是可采用分维值来定量地描述自然界中自相似系统的复杂性和不规则性。近年来, 分形几何学已越来越成为描述非线性图形、集合体结构性等微细变化、偏倚性的有力工具。虽然各种地质作用 (如构造活动、岩浆作用、流体演化等) 与成矿作用之间的关系不能精确地表述, 但通过现有的大量地质数据的分析表明, 表征成矿作用的各种地质数据, 如断裂构造的空间分布 (Chilès, 1988; Tan et al., 1997; 孙岩等, 1997; 金章东等, 1998; 卢新卫等, 1998, 1999; 胡道功等, 2000)、矿床的分布 (Carlson, 1991; Blenkinsop, 1994; 丁式江等, 1998; 李长江等, 1999a; 张均等, 2000; 施俊法等, 2000; Li et al., 2002)、石英脉的厚

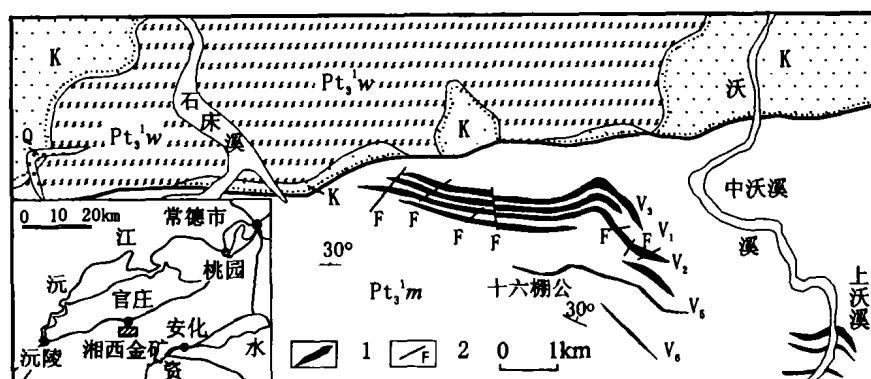


图 1 湘西沃溪金锑钨矿床地质简图

Fig. 1 Sketch map of geology in the Woxi Au—Sb—W deposit, Western Hunan Province

Q—第四系; K—白垩系;  $Pt_3w$ —五强溪组;  $Pt_3m$ —马底驿组; 1—石英脉; 2—断层

Q—Quaternary; K—Cretaceous;  $Pt_3w$ —Wuqiangxi Formation;

$Pt_3m$ —Madiyi Formation; 1—Quartz vein; 2—fault

度分布 (Sanderson et al., 1994; Clark et al., 1995; Thomas et al., 2001; 谢焱石等, 2002)、矿石品位分布 (金章东, 1998; 周乔伟, 1998; 张连昌等, 1999)、地壳中元素含量的空间分布 (李长江等, 1999b)、盆地的伸展量 (刘绍文等, 2001) 以及碎屑岩储层的渗透

注: 本文为国家自然科学基金资助项目 (编号 49772170、70171057) 的成果。

收稿日期: 2003-05-12; 改回日期: 2004-02-12; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 谢焱石, 男, 1976年4月出生。在读博士研究生, 主要从事非线性成矿动力学的研究。联系地址: 421001, 湖南省衡阳市南华大学建筑学院; 电话: 0734-8282900; Email: xie\_china@hotmail.com 或 xieix@sina.com。

率(陈程,1995)等等,都广泛具有分形结构(孟宪国等,1991;王喜生等,2000)。

湘西沃溪金锑钨矿床是一个金、锑、钨共生的石英脉型矿床,本文就该矿床含金石英脉的厚度分形分布及长度与厚度的分形关系进行统计分析,探讨它的分形结构特征及其分形生长动力学机理。

## 1 地质概况

湘西沃溪金锑钨矿床为金、锑、钨共生的特大型矿床。它位于扬子地块西缘雪峰弧形构造带中段构造线由北东向转为北东东向的弧形转折部位。矿田内出露地层主要为中、新元古界冷家溪群和板溪群浅变质岩系,另有少量震旦系及上白垩统地层。矿床赋存在板溪群马底驿组中段的紫红色板岩及含钙质板岩中(图1)。矿区构造线方向以东西向为主,矿区的主要断裂构造为沃溪逆掩断层,发育于板溪群马底驿组与五强溪组之间,横贯矿区北部。发育于马底驿组地层中、上部的层间断层带,由数条近平行展布的压扭性逆冲滑断层组成,矿体主要以石英脉形式产在这些层间断层带内。现已发现至少有6条以上的层间矿脉,自上而下为 $V_4$ 、 $V_3$ 、 $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_5$ 、 $V_6$ ,其中具有工业价值的主要有 $V_4$ 、 $V_3$ 、 $V_1$ 、 $V_2$ 等4条矿脉(图1)。

## 2 矿区含矿石英脉厚度变化特征

沃溪矿区内 $V_4$ 、 $V_3$ 、 $V_1$ 、 $V_2$ 等具有工业价值的4条矿脉在空间上相对集中,构成了一个矿脉组,4条矿脉呈平行排列,产状与围岩基本一致。单个矿体走向延伸40~350m,倾向延伸大于2400m。几条主要矿脉的平均厚度均在0.5m左右,最厚处可达3~4m。含金石英脉由众多的扁豆体状、透镜体状矿体

组成,沿走向和倾向均存在舒缓波状起伏。笔者选择 $V_1$ 、 $V_3$ 、 $V_4$ 等3条矿脉进行了厚度量测,取样间距为2m。结果发现,无论是在水平方向还是垂直方向上,矿脉厚度都呈现复杂的震荡性变化(图2)。其实,野外的细致观察可以发现,石英脉体都是由许多次级的小脉体通过相互连接而成,每一条小的脉体都具有不同的厚度和长度。也正是如此,总体上整条脉体的厚度变化显得非常复杂(图2)。

## 3 石英脉长度与厚度的分形关系

大量的野外实测和模拟研究表明(Clark et al., 1995; Vermilye et al., 1995; Johnston et al., 1996),单个脉体生长是一个自相似的过程,它的生长服从幂定律:

$$L = kT^{D_r}$$

式中, $L$ 指脉体长度, $T$ 为最大真厚度, $D_r$ 为长度厚度关系的分维值。本次研究对矿区3条主要矿脉 $V_1$ 、 $V_3$ 和 $V_4$ 不同中段与天井及矿区外围的无矿石英脉单个脉体的长度和厚度进行了测量,并分别将其长度和厚度数据取对数投到直角坐标系中进行了线性拟合(图3),一次线性拟合的斜率值为 $D_r$ 。将 $D_r$ 值及平均厚度的统计结果一并列于表1。可以看出, $D_r$ 值在0.4070到1.0784之间变化,且以无矿脉体的 $D_r$ 值最小,其拟合度也最差(图4),仅0.5295~0.6576。而且随着 $D_r$ 值的增大,石英脉的平均厚度亦呈增大的趋势,相关性分析表明,二者呈明显正相关关系,相关系数为0.6636。这说明长度厚度关系的分维值 $D_r$ 越大,脉体连通性越好,从而脉体发育的成熟度也就越高。因为,脉体平均厚度越大,说明累积的流体量越多,裂隙打开的时间也越长,这是需要脉体保持较长时间的活动性和较好的连通性才能做到的。

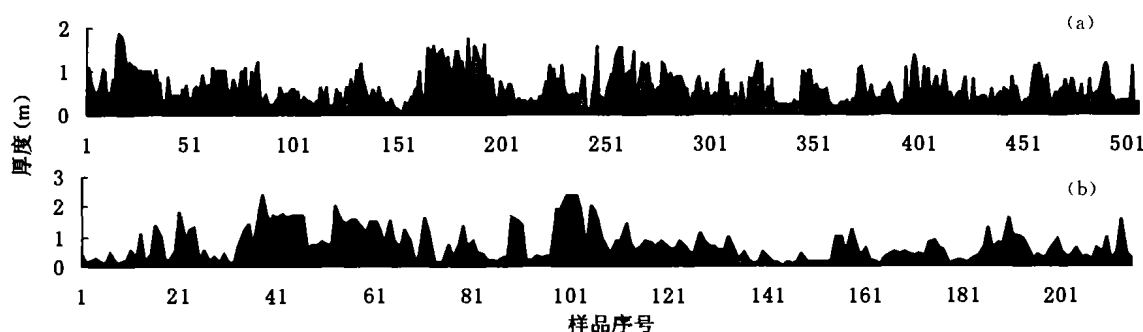


图2 湘西沃溪金锑钨矿床 $V_1$ 脉厚度变化图

Fig. 2 Thickness variation of  $V_1$  vein in the Woxi Au—Sb—W deposit, Western Hunan Province, China

(a) 为天井厚度变化图,取样顺序从上至下;(b) 8中段厚度变化图,取样顺序为从西到东

(a) Thickness distribution of steep drift, sampled from up to down; (b) Thickness distribution of 8th floor, sampled from west to east

表 1 石英脉长度—厚度的分形关系

Table 1 Fractal relations for length—thickness of quartz veins

性质	位置		$D_r$	$r$	$T_{\text{平均}}(\text{m})$
含矿石英脉	$V_1$	2中段	0.9490	0.7518	0.473
		8中段	0.9310	0.837	0.699
		天井	1.0205	0.6107	0.610
	$V_3$	15中段	0.8453	0.8107	0.371
		20中段	0.8715	0.8765	0.686
		天井	0.9725	0.8168	0.601
	$V_4$	2中段	0.6633	0.9078	0.608
		8中段	0.9561	0.8509	0.313
		15中段	0.6940	0.7194	0.470
天井		1.0784	0.8652	0.610	
无矿石英脉	栗家溪上游		0.6161	0.5295	0.093
	栗家溪下游		0.4070	0.6576	0.105

裂构造的演化密切相关。因此,脉体的厚度也服从分形分布(Clark et al., 1995):  $N(T) \propto T^{-D_r}$ ,  $N(T)$  为厚度大于  $T$  的脉体数目,  $D_r$  即为厚度分布的分维值。因此计算石英脉厚度分布分数维的公式为:

$$D_r = - \frac{\lg[N(T)]}{\lg T} \quad (1)$$

$N(T)$  和  $T$  在双对数坐标图中拟合直线的斜率即为  $-D_r$  值。

本次研究对 V<sub>1</sub>、V<sub>3</sub>、V<sub>4</sub> 等 3 条主要矿脉及矿区外围的无矿石英脉(距矿区约 2~3km)的厚度测量数据进行了分形分析(图 4)。每条矿脉都选择了 4~5 个中段和一个较为连续的天井进行了统计分析,测量间距为 2 m,分析结果列于表 2。为了探讨脉体厚度分布分维值与断裂连通性的关系,对应位置的石英脉平均厚度也列于表 2 中。从表 2 中可以看出,不同中段的石英脉厚度分布都具有分形结构特征,分维值  $D_r$  在 0.3420 到 1.4661 之间。相关性分析表明,分维

#### 4 石英脉厚度分布的分形结构

研究表明,断裂构造的频度与大小分布是分形的(Turcotte, 1992),而热液充填形成的石英脉与断

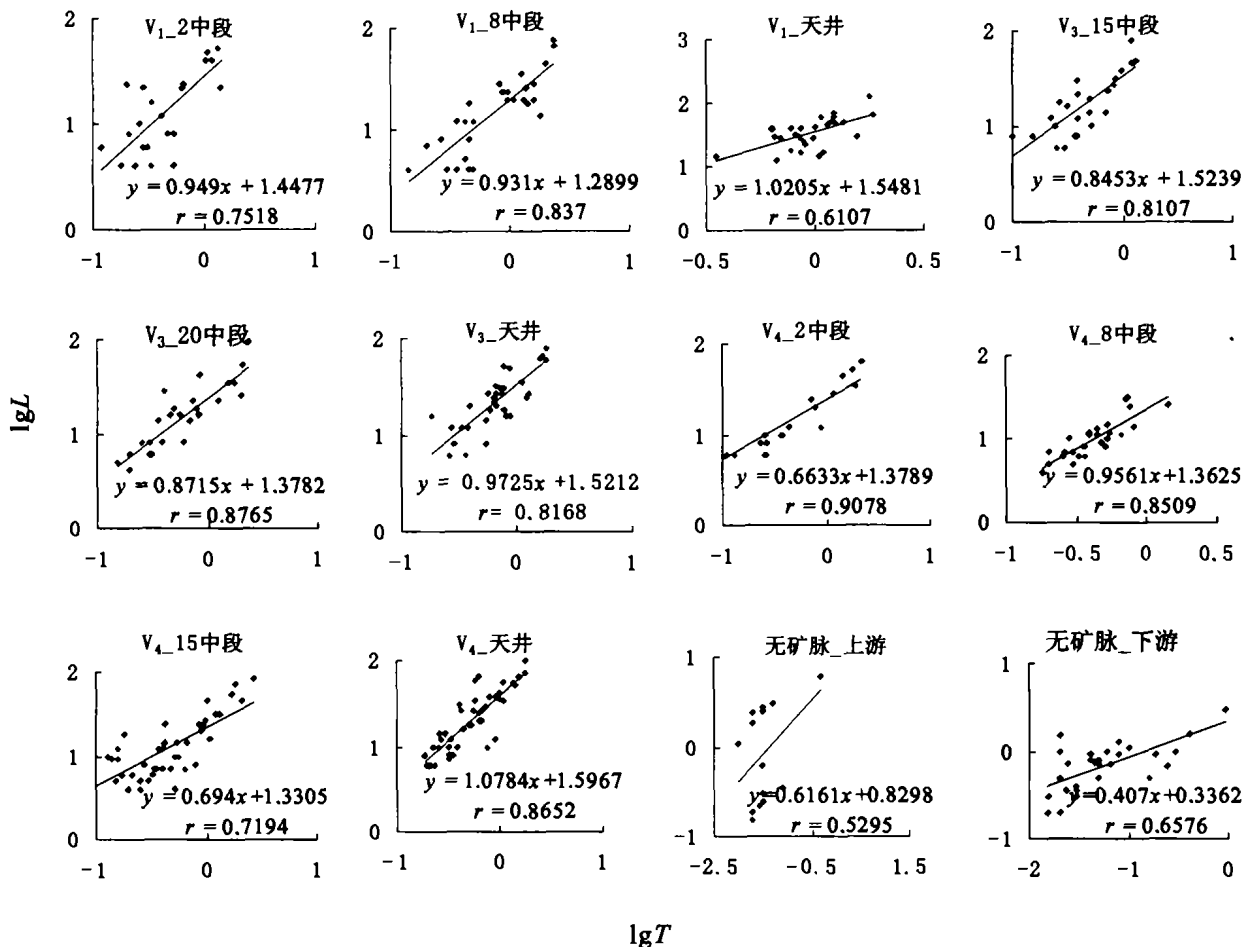


图 3 湘西沃溪金锑钨矿床石英脉长度—厚度对数关系图解

Fig. 3 Length—thickness logarithm map for quartz veins in the Woxi Au—Sb—W deposit, western Hunan Province, China

值  $D_T$  与石英脉平均厚度呈负相关关系, 相关系数为  $-0.5706$ 。可见厚度分布的分维值  $D_T$  越小, 脉体连通性越好, 脉体发育的成熟度越高。这与脉体长度厚度关系的分维值  $D_L$  恰恰相反。

表2 湘西沃溪金锑钨矿床石英脉厚度分布分形分析  
Table 2 The results of fractal analyses for thickness of quartz veins in the Woxi Au—Sb—W deposit, western Hunan Province, China

脉体	位置	样本数	$D_T$	$T_{平均}(m)$
$V_1$	2中段	216	0.8297	0.473
	8中段	215	0.4832	0.699
	15中段	45	1.4454	0.511
	22中段	96	0.342	0.717
	24中段	62	1.3008	0.501
	天井	506	0.746	0.61
	整体	1174	0.621	0.594
$V_2$	1中段	40	1.4661	0.292
	7中段	32	1.342	0.135
	10中段	72	0.7152	0.509
	15中段	180	1.0667	0.371
	20中段	176	0.6465	0.686
	天井	418	0.7522	0.601
	整体	1050	0.7455	0.565
$V_3$	2中段	128	0.5233	0.608
	8中段	117	0.9268	0.313
	15中段	234	0.957	0.47
	21中段	81	1.0044	0.501
	天井	509	0.8884	0.61
	整体	1131	0.8158	0.475
无矿石英脉		46	0.7293	0.101

## 5 石英脉的分形生长动力学

野外观察经验告诉我们, 石英脉的延伸并不是连续的, 每一条石英脉都是由一系列的更次级脉体呈一定规律连接而成。也就是说, 石英脉是通过次级脉体相互连通形成更大脉体并迅速生长的 (Cartwright et al., 1995; Roberts et al., 1995; Johnston et al., 1996)。可是为什么石英脉长度厚度关系会服从幂定律, 其分维值  $D_L$  又随着石英脉的连通生长而增大呢? 石英脉体系的厚度又服从分形分布, 且其分维值  $D_T$  又随着石英脉通过连通生长而减小呢?

大量的研究已经证实, 通过脉体间相互连通而形成更大脉体的生长过程是分形生长过程 (Cartwright et al., 1995; Johnston et al., 1996)。在脉体生长早期, 表现为单个脉体的膨胀, 厚度的增长大于长度的延伸, 总体表现为横向膨胀, 单个脉体厚度以中间最大, 向两端逐渐减小至尖灭; 单个脉体生长达到一定规模时, 相邻脉体会通过相互连通而迅速生长 (Johnston et al., 1996), 其长度的延伸要远远大于厚度的增长, 总体表现为纵向延长。图5给出了一个石英脉通过连通生长的示意图, 对于单个脉体而言, 其长度厚度关系分维值  $D_L < 1.0$ , 通过次级脉体连通而形成的大脉体,  $D_L > 1$ , 可见  $D_L$  随着石英脉的连通生长而增大。

下面用一个简单的脉体生长模型来解释脉体厚

度的分形分布。该模型建立了脉体生长过程和一个分维值  $D_T$  之间的联系, 模型中假定脉体存在一个最小厚度  $T_0$ , 且单位时间单位体积岩石内产生的厚度为  $T_0$  的脉体数为一常数  $\alpha$ ,  $\alpha$  可表示为:

$$\alpha = \frac{1}{V} \cdot \frac{dN(T_0, t)}{dt} \quad (2)$$

这里  $N(T_0, t)$  指  $t$  时刻体积  $V$  内厚度为  $T_0$  的脉体数量。对于厚度大于  $T_0$  的脉体, 它们将由小脉体按一定的速率增长而形成, 假设生长速率为:

$$\gamma(T) = \frac{dT}{dt} = \beta T \quad (3)$$

这里假设脉体生长速率与脉体厚度成正比, 比例常数即是  $\beta$ 。从地质上来看, 这个假设是有一定根据

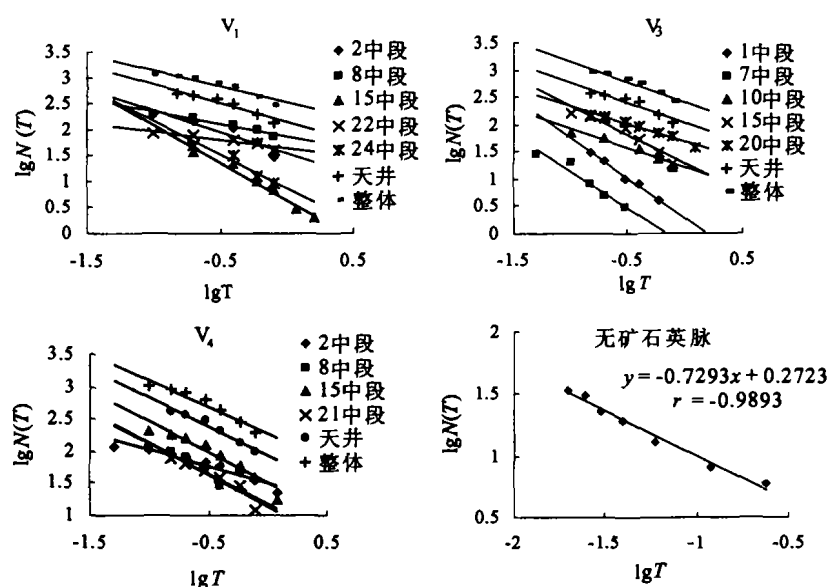


图4 石英脉厚度变化分形分析

Fig. 4 Fractal analyses of thickness distribution of quartz veins

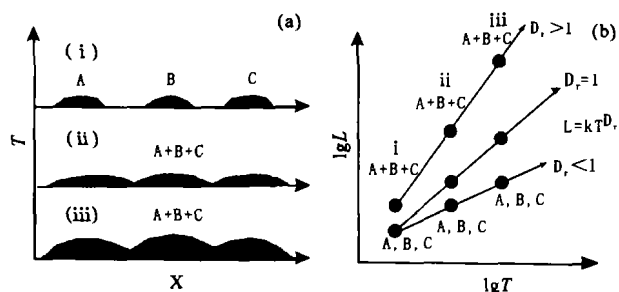


图 5 石英脉生长示意图

(据 Cartwright et al., 1995 修改)

Fig. 5 Sketches of quartz veins growth

(revised from Cartwright et al., 1995)

图 a 为脉体的生长过程, 图 b 为脉体长度厚度双对数图, 单个脉体生长以横向膨胀为主, 脉体通过相互连通而迅速生长时, 以纵向延长为主,  $D_r < 1$ 。

(a) Vein growth by segment linkage, (b) double logarithm of vein length vs thickness, Initial, small and isolated vein growth and intrusion inflation,  $D_r < 1$ ; unusual geological self-similar growth,  $D_r = 1$ ; large vein growth by segment linkage,  $D_r > 1$

的。因为成矿期脉体形成于作为流体流动通道的开放型裂隙之中, 很显然, 较大开放孔径的裂隙将聚集更多的流体 (Sanderson et al., 1999)。

矿物结晶动力学研究 (Randolph et al., 1988; Marsh, 1988) 表明, 脉体数量的稳定态 (此时脉体厚度分布不随时间变化) 方程可表示为:

$$\beta \frac{d(N(T) \cdot T)}{dT} + QN(T) = 0 \quad (4)$$

这里  $N(T)$  指厚度为  $T$  的脉体的数量密度,  $N(T)dT$  指体积  $V$  内厚度介于  $T$  和  $T + dT$  之间的脉体数,  $QN(T)$  是指从体积  $V$  内延伸到其邻近体积的厚度为  $T$  的脉体数, 且  $Q$  是一个与  $\alpha$  相关的常数。在稳定状态下, 延伸到体积  $V$  外的脉体总数应当等于新的脉体的产生数, 因此有:

$$\begin{cases} Q \cdot N = \alpha \cdot V \\ N = \int N(T) dT \end{cases} \quad (5)$$

所以方程 (4) 的通解为:

$$N(T) = \chi T^{-(1+\frac{\alpha V}{\beta N})} \quad (6)$$

这里  $\chi$  为一个综合常数。于是, 厚度大于或等于  $T$  的脉体数可表示为:

$$\begin{cases} N(\geq T) = cT^{-D_r} \\ D_r = \frac{\alpha V}{\beta N} \end{cases} \quad (7)$$

这里  $c$  是一个与综合常数  $\chi$  有关的常数。可以看出, 具有稳定的脉体成核率  $\alpha$  和生长速率  $\beta$  的脉体生长

模式将导致脉体厚度的分形分布, 且  $D_r$  值将随着脉体成核率  $\alpha$  的增大而增大和随着脉体生长速率  $\beta$  的增大而减小。也就意味着单位时间单位体积内产生的小脉体数目越多, 厚度分布分维值  $D_r$  越大, 以稳定增长速率生长形成的大的脉体越多, 厚度分布分维值  $D_r$  越小。这也就是  $D_r$  与石英脉平均厚度呈负相关关系的原因。

其实, 利用元胞自动机模型模拟裂隙网络的生长也可得出同样的结论。图 6 为一个简单的脉体生长理论模式, 从一个初始小裂隙集合发展并最终产生一个连通的裂隙网络。根据断裂力学, 使用一组简单法则来控制脉体的产生、生长和连接 (An and Sammis, 1996): ① 最初断裂厚度是分形分布,  $N(T) \propto T^{-D_r}$ ; ② 断裂厚度与长度服从幂定律,  $L = kT^{D_r}$ ; ③ 在  $\Delta L \propto L^k$  处断裂生长 ( $\Delta L$ ) 发生,  $k$  是常数; ④ 在具有长度  $L_1$  和  $L_2$  的两个断裂其端点距离  $< 0.1(L_1 + L_2)$  时两个断裂发生连接。模拟结果表明 (图 7), 随着脉体连通率从 0%、60% 到 80%, 分维值依次从 1.0、0.7 减小到 0.5。可见, 通过连通而逐步发展的裂隙系统, 其脉体厚度分布的分维值  $D_r$  随着连通性增大而减小。

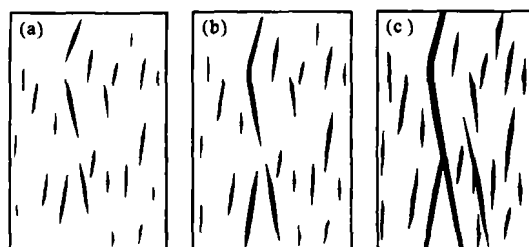


图 6 石英脉体系的生长模式 (据 Roberts, 1995)

Fig. 6 Conceptual model of a vein system

(after Roberts, 1995)

(a) 开始为小而孤立的断裂系; (b) 流体/断裂相互作用中正反馈导致裂隙 (脉体) 与长度成正比生长; (c) 连通形成大的脊骨断裂和矿体

(a) Initial, small and isolated fractures; (b) growth proportional to length; (c) Linkage to form infinite cluster

## 6 结论

综合以上分析和讨论, 可以获得以下几点初步结论:

(1) 湘西沃溪金锑钨矿床石英脉长度厚度关系分维值  $D_r$  在 0.4070 到 1.0784 之间变化, 且与平均厚度呈正相关关系, 相关系数为 0.6636。

(2) 湘西沃溪金锑钨矿床不同中段的石英脉厚度分布都具有分形结构特征, 分维值  $D_r$  在 0.3420

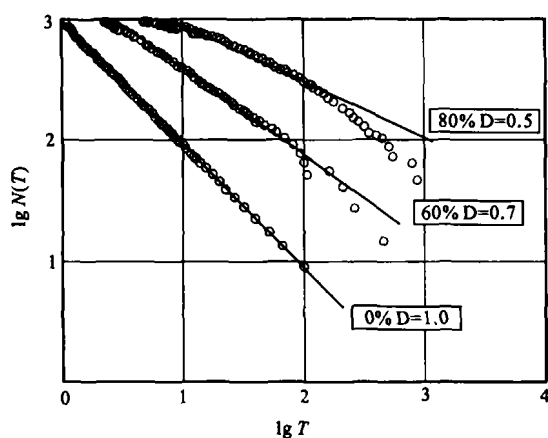


图7 石英脉(矿体)厚度分布的分形模拟

Fig. 7 Fractal modelling for thickness distribution of quartz veins (orebodies)

随着脉体连通率从0%、60%增加到80%,分维值则从1.0、0.7降到0.5  
with the linkage of veins varies from 0% to 60% and 80%, the fractal dimension  $D$  varies from 1.0 to 0.7 and 0.5 respectively

到1.4661之间,且与石英脉平均厚度呈负相关关系,相关系数为-0.5706。

(3) 石英脉体生长早期,以横向膨胀为主,其长度厚度关系分维值  $D_r < 1$ ; 体生长达到一定规模时,相邻脉体会通过相互连通而迅速生长总体表现为纵向延长,从而导致  $D_r > 1$ ,  $D_r$  随着石英脉的连通生长而增大。

(4) 模拟研究表明,具有稳定的脉体成核率  $\alpha$  和生长速率  $\beta$  的脉体生长模式将导致脉体厚度的分形分布,且厚度分布的分维值  $D_T$  值将随着脉体成核率  $\alpha$  的增大而增大和随着脉体生长速率  $\beta$  的增大而减小。也就是说,脉体通过连通生长将导致脉体厚度的分形分布,且  $D_T$  将随着脉体连通性的增大而减小。

**致谢** 在本文相关数据和资料的测量和收集过程中,得到湘西金矿地测处谭必富处长、刘升友工程师等的热情帮助,在此表示感谢。

## 参考文献

- 陈程. 1995. 碎屑岩储层渗透率分布分维计算及其意义. 地质论评, 41(1): 15~19.  
丁式江, 翟裕生, 邓军. 1998. 中国金矿床分布的分形研究. 地质论评, 44(2): 188~193.  
胡道功, 吴树仁, 吴淦国. 2000. 活断层中断层泥分形与断裂活动关系. 地质论评, 46(5): 507~511.  
金章东. 1998. 江西德兴铜厂斑岩体铜品位分形结构. 矿床地质,

17(4): 363~368.

- 金章东, 卢新卫, 张传林. 1998. 江西德兴斑岩铜矿田断裂分形研究. 地质论评, 44(1): 57~62.  
李长江, 麻士华, 等. 1999a. 矿产勘查中的分形、混沌与 ANN. 北京: 地质出版社.  
李长江, 麻士华, 朱兴盛, 胡永和. 1999b. 分形布朗运动与地球化学测量——地壳中元素含量空间分布的定量表征. 地质论评, 45(1): 76~84.  
刘绍文, 王良书, 刘波. 2001. 拉张盆地伸展量的分形分析——以渤海盆地为例. 地质论评, 47(3): 229~233.  
卢新卫, 马东升. 1998. 湘中断裂体系分维与锑矿分布. 地质论评, 44(5): 542~546.  
卢新卫, 马东升. 1999. 湘中锑矿带断裂体系分维及其对成矿流体运移和矿床定位的指示作用. 矿床地质, 18(2): 168~174.  
孟宪国, 赵鹏大. 1991. 地质数据的分形结构. 地球科学(中国地质大学学报), 16(2): 207~212.  
施俊法. 2000. 胶东金矿床的储量分形分布及其地质意义. 地质论评, 46(增刊): 293~297.  
孙岩, 万玲, 张喜慧, 勾佛义. 1997. 新疆塔里木北部地区压、扭、张破裂面分维数  $D$  值测算. 地质论评, 43(2): 162~166.  
王喜生. 2000. 地质现象分形统计研究的某些进展和发展趋势. 地质论评, 46(增刊): 356~363.  
王祖伟, 周永章, 姚东良, 张海华. 1999. 两广广西垌—金山成矿带银金矿床分形性研究. 矿床地质, 18(2): 183~188.  
谢焱石, 谭凯旋, 赵志忠. 2002. 湘西沃溪金锑钨矿床含金石英脉厚度变化的分形和混沌分析. 大地构造与成矿学, 26(1): 62~68.  
许建东, 曲国胜, Robert D. Jacob. 1999. 天然裂缝空间分布的分维与多分维特征——理论分析和实际应用. 地质学报(英文版), 73(4): 477~487.  
张均, 周乔伟. 2000. 分形方法在金矿化时空结构分析中的应用. 现代地质, 14(1): 56~60.  
张连昌, 屈文军, 赵世华, 姬金生, 杨兴科. 1999. 新疆西滩金矿床金品位分维  $D$  值及其意义. 西安工程学院学报, 21(4): 11~13.  
周乔伟. 1998. 川西北某金矿元素品位分布的分维特征研究. 四川地质学报, 18(4): 280~284.

## References

- An L J, Sammis C G. 1996. A cellular automaton for the development of crustal shear zones. Tectonophysics, 253(3~4): 247~270.  
Blenkinsop T. 1994. The fractal distribution of gold deposits: Two examples from the Zimbabwe Archaean corn. In: Kruhl J H, eds. Fractals and Dynamic System in Geoscience. New York: Springer Verlag, 247~258.  
Carlson C A. 1991. Spatial distribution of ore deposits. Geology, 19: 111~114.  
Cartwright J A, Trudgill B D, Mansfield C S. 1995. Fault growth by segment linkage: an explanation for scatter in maximum displacement and trace length data from the Canyonlands Grabens of SE Utah. Journal of Structural Geology, 17(9): 1319~1326.  
Chen Cheng. 1995. Calculation of fractal dimension of the permeability distribution in clastic rock reservoirs and its significance. Geological Review, 41(1): 19~26 (in Chinese with English abstract).  
Chiles J P. 1988. Fractal and geostatistical methods for modeling of fracture network. Mathematical Geology, 20: 631~654.  
Clark M B, Brantley S L, Fisher D M. 1995. Power-law vein-thickness distributions and positive feed back in vein growth.

- Geology, 23(11):975~978.
- Ding Shijiang, Zhai Yusheng and Deng Jun. 1998. Fractal analysis of gold deposit distribution in China. *Geological Review*, 44(2): 188~193(in Chinese with English abstract).
- Hu Daogong, Wu Shuren, Wu Ganguo. 2000. Correlation between the fractal dimension of fault gouges and fault activity in active fault zones. *Geological Review*, 46(5): 507~511(in Chinese with English abstract).
- Jin Zhangdong. 1998. Fractal dimension structure of copper grade in Dexing porphyry body, Jiangxi Province. *Mineral deposits*, 17(4):363~368(in Chinese with English abstract).
- Jin Zhangdong, Lu Xinwei, Zhang Chuanlin. 1998. A study of fractal dimension of the fracture system in the Dexing porphyry copper orefield, Jiangxi. *Geological Review*, 44(1): 57~62(in Chinese with English abstract).
- Johnston J D, McCaffrey K J. 1996. Fractal geometries of vein systems and the variation of scaling relationships with mechanism. *Journal of Structural Geology*, 18:349~358.
- Li Changjiang, Ma Tuhua, Zhu Xingsheng, Hu Yonghe. 1999b. Fractal brownian motion and geochemical survey—A fractal approach to the spatial distribution of element contents in the crust. *Geological Review*, 45(1): 76~84(in Chinese with English abstract).
- Li Changjiang, Ma Tuhua, Zhu Xingsheng, Wang Guowu. 2002. Fractal principle of mineral deposit size forecasting and its implication for gold resource potential evaluation in China. *Acta Geologica Sinica*, 76(3):378~386.
- Liu Shaowen, Wang Liangshu, Liu Bo. 2001. Fractal analysis of extensional quantity of the extensional basin—Taking the Bohai basin as an example. *Geological Review*, 47(3): 229~233(in Chinese with English abstract).
- Lu Xinwei, Ma Dongsheng. 1998. Fractal dimension of fault systems and antimony deposit distribution in central Hunan. *Geological Review*, 44(5): 542~546(in Chinese with English abstract).
- Lu Xinwei, Ma Dongsheng. 1999. Fractal dimensions of fractures system in antimony metallogenic zones of central Hunan and their indicating significance for migration of ore-forming fluids and location of ore deposits. *Mineral Deposit*, 18(2):168~174(in Chinese with English abstract).
- Mandelbrot B B. 1982. *Fractal Geometry of Nature*. San Francisco:W H Freeman & Co.
- Marsh B D. 1988. Crystal size distribution(CSD) in rocks and the kinetics and dynamics of crystallization, I —Theory. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 99:277~291.
- Meng Xianguo, Zhao Pengda. 1991. Fractal structure of Geological data, *Earth Science—Journal of China University of Geoscience*, 16(2):207~212(in Chinese with English abstract).
- Randolph A D, Larson M A. 1988. *Theory of particulate process*. San Diego: Academic Press.
- Roberts S, Sanderson D J. 1995. Fractal analysis of Sn—W mineralization from Central Iberia: insights into the role of fracture connectivity in the formation of an ore deposit. *Economic Geology*, 90:360~365.
- Sanderson D J, Roberts S, Gumiel P. 1994. A fractal relationship between vein thickness and gold grade in drill core from La Codocera, Spain. *Econ. Geol.*, 89:168~173.
- Sanderson D J, Zhang X. 1999. Critical stress localization of flow associated with deformation of well-fractured rock masses, with implication for mineral deposits. In: McCaffrey K J W, Lonergan L, Wilkinson J J, eds. *Fractures, fluid flow and mineralization*. *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.*, 155: 69~81.
- Shi Junfa. 2000. Fractal distribution of the reserves of gold deposits in Jiaodong (eastern Shandong) and its geological implication. *Geological Review*, 46(supp.): 293~297(in Chinese with English abstract).
- Sun Yan, Wan Ling, Zhang Xihui, Gou Foyi. 1997. Determination of the fractal dimension  $D$  value of the compressive, shear and tensile fractures in the northern part of Tarim, Xinjiang. *Geological Review*, 43(2): 162~166(in Chinese with English abstract).
- Tan Kaixuan, Hao Xincui, Dai Tegen. 1997. Fractal features of fractures in China and their implication for geotectonics. *Geotectonica et Metallogenia*, 21(3~4):55~59.
- Thomas M, Bruce G, Jochen M. 2001. Fractal distributions of veins in drill core from the Hellyer VHMS deposit, Australia: constraints on the origin and evolution of the mineralisation system. *Mineralium Deposita*, 36: 406~415.
- Turcotte D L. 1992. *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Vermilye J M, Csholz C H. 1995. Relation between vein length and aperture. *Journal of Structural Geology*, 17:423~434.
- Wang Xisheng. 2000. Progress and trends in fractal statistics of geological phenomena. *Geological Review*, 46(supp.): 356~363(in Chinese with English abstract).
- Xie Yanshi, Tan Kaixuan, Zhao Zhizhong. 2002. Analysis of fractal and chaotic characteristics for the thickness-distributions of auriferous quartz veins in Woxi Au deposit, western Hunan Province, China. *Geotectonica et Metallogenia*, 26(1): 62~68(in Chinese with English abstract).
- Zhang Jun, Zhou Qiaowei. 2000. Application of fractal method to analysis of temporal and spatial structure of gold mineralization. *Geoscience—Journal of graduate school, China University of Geoscience*, 14(1):56~60(in Chinese with English abstract).
- Zhang Lianchang, Qu Wenjun, Zhao Shihua, Ji Jinsheng, Yang Xingke. 1999. The Value of fractal dimension ( $D$ ) and its significance of Xitan gold deposit in Xinjiang. *Journal of Xi'an Engineering University*, 21(4):11~13(in Chinese with English abstract).
- Zhou Qiaowei. 1998. Analysis of the fractal dimension of characteristics of elements grade distribution in a gold deposit, northwest Sichuan. *Acta Geologica Sichuan*, 18(4):280~284(in Chinese with English abstract).

## Fractal Growth Dynamics of Auriferous Quartz Veins in the Woxi Au—Sb—W Deposit, Western Hunan Province, China

XIE Yanshi<sup>1)</sup>, TAN Kaixuan<sup>2)</sup>, CHEN Guanghao<sup>1)</sup>

1) Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong, 510640

2) School of Architecture, Resource and Environment Engineering, Nanhua University, Hengyang, Hunan, 421001

### Abstract

The fractal relationships of thicknesses and lengths of quartz veins in the Woxi Au—Sb—W deposit in western Hunan province and the fractal distribution of their thicknesses are analyzed in this paper. Moreover, possible fractal growth dynamic mechanism of quartz veins is also discussed. The results of fractal analysis indicate that the fractal dimension  $D_r$  of thickness vs. length varies from 0.4070 to 1.0784 and the values are directly proportional to the average thickness. The correlation coefficient between the fractal dimension  $D_r$  and the average thickness is 0.6636. The fractal dimension  $D_T$  of the thickness distribution of quartz veins varies from 0.3420 to 1.4661 and the values are inversely proportional to the average thickness. The correlation coefficient between fractal dimension  $D_T$  and average thickness is  $-0.5706$ , which indicates that the smaller the fractal dimension  $D_T$ , the better the fracture connectivity will be. In general, at the early growth stage, the vein grows mainly in a form of lateral expansion and the dimension  $D_r < 1$ , but when the veins reach a certain size they extend rapidly via vein linking, so that the dimension  $D_r$  will be larger than 1. Simulating studies indicate that constant nucleation rate  $\alpha$  and growth rate  $\beta$  will bring about fractal distribution of vein thickness and the dimension value  $D_T$  will increase along with the nucleation rate  $\alpha$  and decrease along with the growth rate  $\beta$ . Results of the cellular automation model suggests that the better the fracture connectivity, the smaller the fractal dimension  $D_T$  will be.

**Key words:** Fractal growth; dynamics; quartz veins; the Woxi Au—Sb—W deposit in western Hunan Province

## 黄汲清先生诞辰100周年纪念大会在京隆重举行

2004年3月30日是黄汲清先生诞辰100周年。6月7日,黄汲清先生诞辰100周年纪念大会在北京京西宾馆隆重举行。这次纪念大会是由国土资源部负责,联合全国政协办公厅、科学技术部、中国科学院、中国科学技术协会、九三学社中央、中国石油天然气集团公司、中国石油化工集团公司、中国海洋石油总公司共同发起,并委托中国地质学会、中国地质调查局、中国地质科学院主办,中国古生物学会、中国石油学会、中国第四纪研究会、北京大学、中国地质科学院地质研究所协办。

中共中央政治局委员、国务院副总理曾培炎,全国人大副委员长、中国科学院院长路甬祥,科技部部长徐冠华,国土资源部部长孙文盛以及上述发起、主办和协办单位的领导和专家,原地质矿产部领导等出席了大会。出席大会的还有黄汲清的亲属黄洁生等,中国科学院院士或中国工程院院士杨遵仪等50余位院士,黄汲清青年地质科学技术奖基金管理委员会委员,黄汲清先生生前友好和家乡四川省仁寿县代表,第一届黄汲清青年地质科学技术奖获得者,中国地质学会名誉理事、第37届理事及秘书长、副秘书长,国土资源部机关和在

京直属单位的领导和专家,国家自然科学基金委员会、有色地质调查中心、中国冶金地质勘查工程总局、中国地震局、武警黄金指挥部、中国核工业地质局、中国煤炭地质总局、中联煤层气有限责任公司、中化地质总局、中国建筑材料地质中心、中国化工进出口公司的领导和专家,中国地质大学、南京大学、西北大学、石油大学、吉林大学、成都理工大学、长安大学、中山大学、中南工业大学、石家庄经济学院领导和专家,中国社会科学院近代史研究所领导和专家。已故著名地质学家丁文江、赵亚曾、李春昱和程裕淇等的晚辈也参加了大会。共计500余人。

人民日报、中央电视台、人民日报海外版、中国日报、中国新闻社、科技日报、科学时报、中国国土资源报、中国青年报、人民政协报、农民日报、工人日报、法治日报、北京青年报、中国经济时报、大众科技报、经济参考报等到会采访。

大会由国土资源部部长、中国地质学会代理理事长孙文盛同志主持。

首先,颁发了第二届黄汲清青年地质科学技术奖。

接着曾培炎副总理发表讲话,他说,黄汲清先生是在国