

江西德兴铜厂斑岩体铜品位的分形结构^{* *}

金章东

(南京大学成矿作用国家重点实验室, 南京)

提 要: 铜厂斑岩体铜品位空间分布的分形研究表明, 7 个钻孔的铜品位分布具有统计自相似性。铜品位分维值由斑岩体南东侧 (下盘) 向北西侧 (上盘) 逐次增大 (1.39→3.75), 并在上盘表现为双重分维结构, 表明铜厂斑岩体铜主要来自岩浆, 围岩矿质仅少量掺入于岩体上盘底部低品位区。结合岩体产状、矿体赋存部位等特征, 越靠近岩体上盘, 分数维 D 值越大, 流体势越强, 矿化越好。

关键词: 分形 斑岩体 铜品位 江西德兴

斑岩矿床赋存的空间序列信息反映了矿化过程中热液流体的时间演化特征, 而空间变化的矿化信息是能较准确获得的, 如矿石品位。分形几何学的发展又为品位的空间分布是否具有分形结构提供了定量描述的可能性。在此, 可将一定时间范围内的某种性质的事件看作空间变量的复杂函数, 矿石品位即是取自空间序列的合适变量值集, 而品位的变化又是矿床理论研究、生产各环节均关注的、参与空间场变化的变量组合。本文利用分形理论详细研究了江西德兴铜厂斑岩体铜品位分布的分形特征, 并探讨了影响分维值变化的主要因素, 为矿床进一步勘查、评价提供了有利的定量信息。

1 分形理论与品位分数维 D 值

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, B B Mandelbrot (1983) 发现自然界显示的诸多无序变化决不意味着绝对无规律, 分形具有自相似性或标度不变性, 并证明描述自相似性的分数维值可以是小数^[8]。分形几何学 (fractal geometry) 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 (如岩浆活动、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之间结构的研究表明, 表征成矿作用的各种地质数据具有混沌特性, 广泛存在分形结构^[1] D L Turcotte^[9]、沈步明等^[2] 认为矿石品位与累计储量、矿化类型之间存在分形特征。

计算分数维最常用的方法是幂指数法, 其计算公式为

$$D = \frac{\lg[N(r)]}{\lg r}$$

式中 D 为分数维值, r 可以是与重量、长度、面积、体积等有关的变量, $N(r)$ 是以 r 作为观测尺度时被观测的数目。在实际分析时, r 表示品位值, $N(r)$ 表示品位大于 r 的样品数。如果矿

* 国家自然科学基金资助项目 (编号: 49733120)

金章东, 男, 1971 年生, 现为南京大学地球科学系博士研究生。邮政编码: 210093

1997-12-26 收稿, 1998-04-15 修改回

石品位具有分形自相似性结构特征, $N(r)$ 和 r 的数值在双对数坐标中将投成一条直线, 其斜率则为 D 值。利用此方法所求得的 D 值可以反映品位空间分布的均一性程度和矿体的几何结构特征。

2 铜厂斑岩体铜品位的分形分维分析

江西德兴斑岩矿田位于江南台隆南东边缘赣东北断裂带的北西侧。与铜厂矿床有紧密空间关系的侵入岩体为花岗闪长斑岩, 斑岩体同位素年龄为 $161\times 10^6\sim 165\times 10^6$ a, 属燕山早期, 而成矿年龄为 $156\times 10^6\sim 161\times 10^6$ a^[3]。斑岩主体是北西向延长的倾斜岩株, 长1300 m, 宽300~800 m, 出露面积约0.70 km², 呈320°深部倾伏下插, 倾伏角45°~50°, 侵入于中元古界双桥山群浅变质千枚岩中, 为一浅成侵入岩^[4]。自围岩接触带向岩体内部, 斑岩体铜矿化和蚀变程度由强至弱变化, 岩体中心只为极弱铜矿化, 表现为空心筒状矿体, 且呈南北向对称分带。同时, 由斑岩体上部至下部, 矿化中心逐次向北西收缩, 并在南东部开始出现缺口, 呈半环状(图1)。作为表征矿化程度强弱的变量——铜品位没有正态分布特征^[4], 表明铜品位空间分布具非均一性, 各测量值之间不是彼此独立的, 而应具有内在相关特征。那么如何表征各测量值频率分布的结构性呢? 通过对该含铜矿化斑岩体铜品位空间分布的分形分析取得了较为满意的效果。

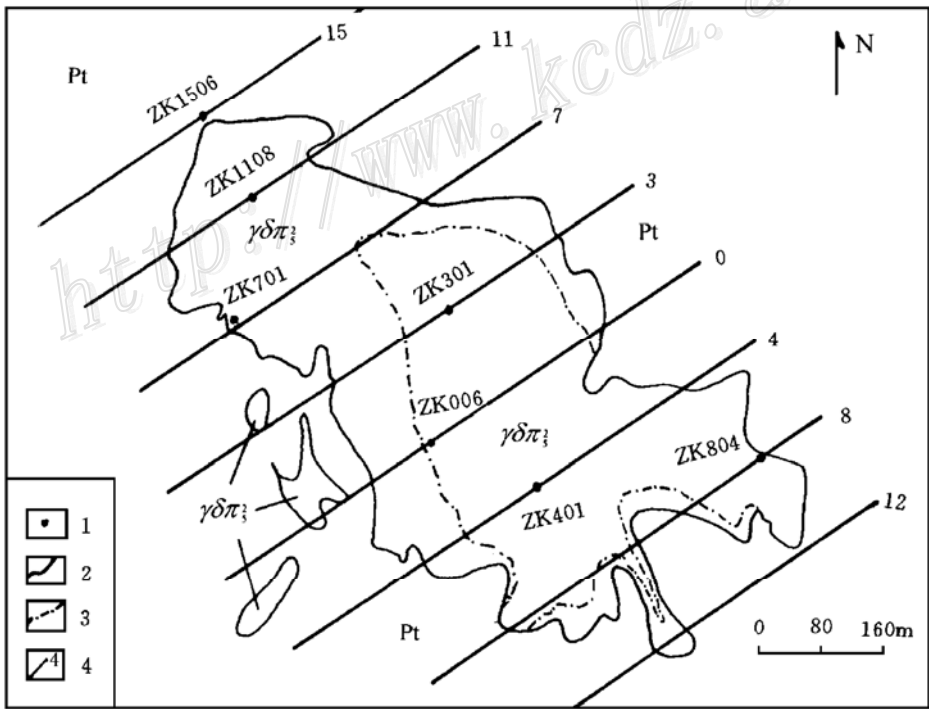


图1 江西德兴铜厂斑岩体、矿体形态及钻孔位置图

Pt—中元古代双桥山群浅变质岩系; $\gamma\delta\pi_2^2$ —花岗闪长斑岩; 1—钻孔位置及编号; 2—斑岩体边界; 3—125 m 标高大于 0.25% 矿体品位边界; 4—勘探线及编号

Fig. 1. Sketch map showing Tongchang porphyry body, shape of the orebody and locations of drill holes in the Dexing ore deposit.

Pt—Epimetamorphic rocks of Mesoproterozoic Shuangqiaoshan Group; $\gamma\delta\pi_2^2$ —Granodiorite porphyry; 1—Location and serial number of drill hole; 2—Boundary of porphyry; 3—Boundary of orebody (grade higher than 0.25%) at the level of 125m; 4—Exploration line and serial number.

为了研究铜厂斑岩体铜品位分布的分形结构特征,选择了基本控制整个岩体的7个钻孔资料,收集了大量铜品位数据用于分析研究。分数维 D 值采用上述幂指数法,其中 r 值由下列公式来确定:

$$r_k = \frac{k(r_{\max} + r_{\min})}{15}$$

式中 $r_{\max}$ 、 $r_{\min}$ 分别为某一钻孔铜品位最大值和最小值, k 为1~15的整数, r_k 为通过15个品位值的改变求得 $N(r)$ 值的品位。由计算方法可知, D 值越小,样品之间铜品位差异越大,即品位空间分布的均一性程度越差,矿体中高于平均品位的样品在某一地段相对集中的可能性也越大,但分散且规模小;相反, D 值越大,铜品位之间差异越小,矿化越均一,如果出现富矿体规模也越大。由图2可以看出,除了代表 r 大于铜最小品位测量值 ($r_{\min}$) 的样品数 $N(r)$ 的第一个点偏离较大外,各钻孔铜品位分维在双对数图解中均呈现良好的线性关系(图2 (a) — (g))。如果不考虑第一个点,可以利用直线的斜率分别求出各钻孔铜品位的分数维 D 值。其中 ZK301, ZK701, ZK1108和 ZK1506在双对数坐标图上出现分叉现象,其分数维 D 值分别记为 D_1 , D_2 (图2)。计算结果列于表1中。关于第一个点偏离回归直线的原因,可归为生产服务钻孔的实用性而使深部低矿化(生产部门称为“废石”)斑岩体,未被完全控制所致,当然也不排除在低品位区可能存在不同的标度区段。

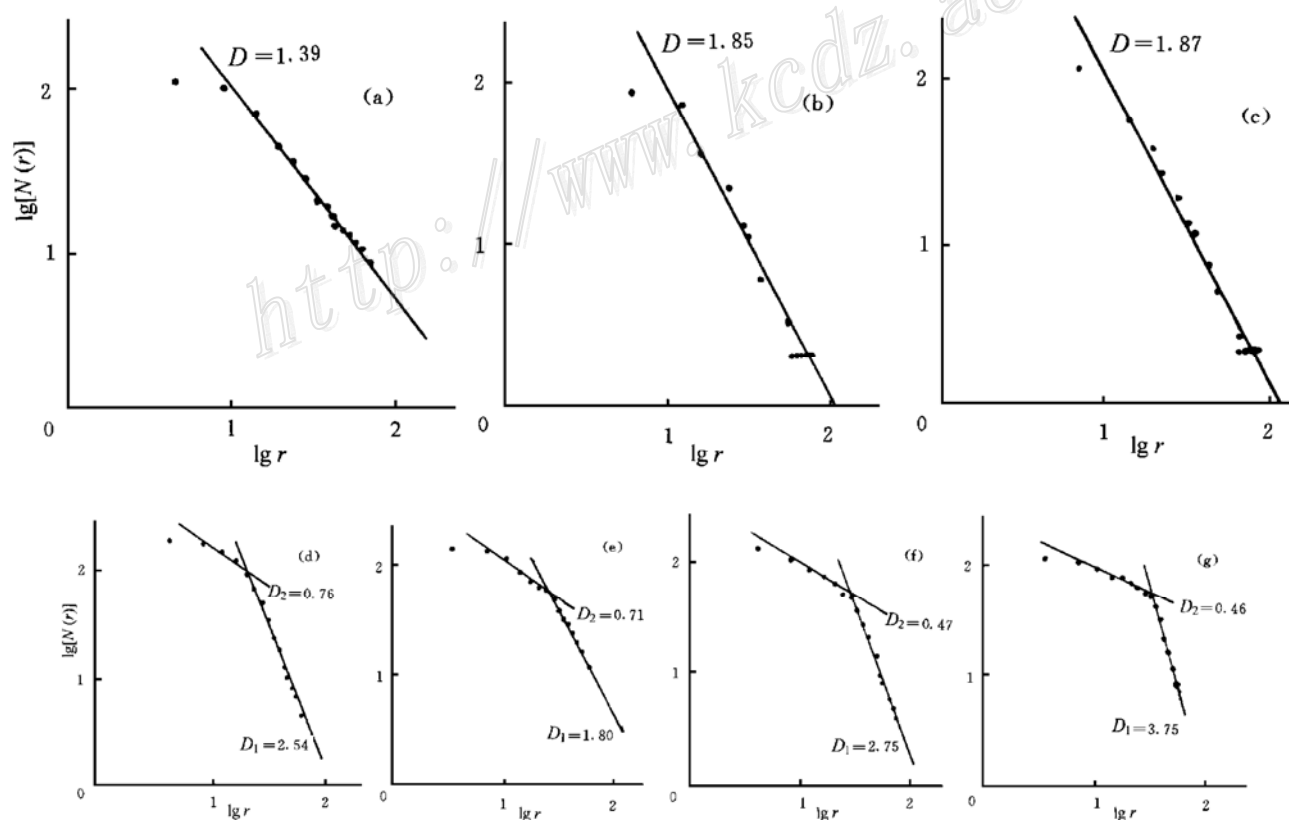


图 2 铜厂斑岩体各钻孔铜品位分形分析结果

(a)—ZK804, (b)—ZK401, (c)—ZK006, (d)—ZK301, (e)—ZK701, (f)—ZK1108, (g)—ZK1506

Fig. 2. Fractal results of copper grade in various drill holes of Tongchang porphyry body.

表 1 铜厂7个钻孔铜品位最大值、最小值和 *D* 值表

Table 1. Maxima, minima and *D* values of copper grade in seven drill holes of Tongchang

钻孔号	样品数	铜品位/%		D 值		钻孔分布 方 位
		$r_{\min}$	$r_{\max}$	D_1	D_2	
ZK804	127	0. 01	1. 00	1. 39		SE (斑岩体下盘) ↓ NW (斑岩体上盘)
ZK401	95	0. 04	1. 23	1. 85		
ZK006	128	0. 05	1. 31	1. 87		
ZK301	166	0. 01	1. 00	2. 54	0. 76	
ZK701	136	0. 02	0. 68	1. 80	0. 71	
ZK1108	157	0. 02	0. 77	2. 75	0. 47	
ZK1506	113	0. 02	0. 68	3. 75	0. 46	

注:各钻孔铜品位值来源于德兴铜矿地测科钻孔资料

3 斑岩体铜品位分形结构的地质意义

对斑岩体铜品位进行分形研究的重要目的之一,就是要了解铜品位空间分布的分维结构与斑岩矿体赋存部位在空间上是否存在某种关系,进而通过这种关系来评价和预测岩浆侵入过程中成矿流体运移方向、矿石沉淀有利部位等行为。通过上述研究可知,德兴铜厂斑岩体铜品位具有分形分布结构。

铜厂斑岩铜矿主要赋存于花岗闪长斑岩岩体与浅变质岩系接触带两侧,矿化铜主要来源于幔源花岗闪长质岩浆,并由晚期热液流体将铜等成矿物质迁移至岩体顶部和接触带附近沉淀成矿^[4]。同时,矿田外围相当规模环形铜降低场的存在^[5]和有关成矿物质来源的实验研究^[6]均表明可能有部分铜来源于矿体周围的浅变质千枚岩系,通过热水对流将铜淋滤出来并迁移至岩体内中强蚀变区与岩浆源的铜等金属混合富集成矿。环状矿体、硅化等蚀变带主要集中于斑岩体上盘即西北侧。表征热液流体作用最主要的变量——铜品位的变化,即由岩体上部向下部逐渐降低和铜高品位浓集中心逐次向北西侧收缩,证实了含矿流体垂向、侧向运移的方向性及对矿化强度的控制。本文对铜品位空间分布分形结构分析进一步证实了矿化均一程度、成矿物质的多源性和矿体分布的空间特征。

由图1钻孔位置和表1数据对照可知,铜品位分数维 *D* 值由斑岩体下盘(南东侧)向上盘(北西侧)逐渐增大(1.39~3.75),表明南东侧岩体铜品位空间分布差异大,均一性程度差,矿体分散且规模小,至岩体上盘则品位差异小,均一程度好,并出现大规模的富矿体,表明成矿流体是沿岩浆上侵方向和垂直向上运移最后沉淀的。同时,由图2d—g可见, *N(r)*和 *r* 的对数值分别在铜品位为0.15%, 0.245%, 0.28%, 0.32%处发生分叉,表现为双重分维特征,说明作为一个体系的斑岩体有外来铜的掺入。并且由铜品位分数维 *D* 值可知,除 ZK701*D*₁值外,其余钻孔铜品位分数维值由南东向北西过渡 *D*₁值逐渐增大, *D*₂值则相反,说明越近西北侧上盘,越靠近接触带,外来铜的掺入对铜品位的分布结构干扰越大(*D*₂值越大,表明干扰越小),说明外来铜是由围岩带入的,这与上述外围铜降低场的存在的现象相吻合。但是外来铜的掺入主要集中在岩体下部低品位区,总体表现为岩浆来源,围岩的铜源贡献是很小且局部的。能对体系各参数空间分布结构作出如此精细描述正是分形几何学的优越性所在。同时,斑

岩体水-岩体系氧同位素组成也表明，同位素交换后的岩石 $\delta^{18}\text{O}$ 只在铜厂铜矿西北侧出现升高异常，而在矿体以南则没有出现 $\delta^{18}\text{O}$ 值降低场^[8]。这些均说明成矿热液交换反应和沉淀作用主要发生在与岩体上侵方位一致的西北侧。

以上的分析启示我们，利用不同部位斑岩体铜品位的分数维值来预测斑岩矿体产出部位、规模和流体运移方向等方面不失为一种值得进一步探索的新思路。当然，铜品位空间分布的分形结构并不能决定矿床的分布和规模，因为成矿作用的发生和矿物质的聚集是受岩体性质、侵位深度和方位、构造体系等诸多因素控制的，作为表征成矿流体作用变量的铜品位分维结构可能是与这些状态过程有关的状态参数之一。另外，若要进一步更完整研究斑岩体品位分形的结构，还应对深部岩体进行控制并加强采样的充分程度等因素的处理。

在成文过程中得到朱金初教授、李福春博士、卢新卫博士的指点、建议及德兴铜矿孙爱祥工程师的协助，深表谢意。

参 考 文 献

- 1 孟宪国，赵鹏大. 地质数据的分形结构. 地球科学，1991，16（2）：207~211.
- 2 沈步明，沈远超. 新疆某金矿的分数维特征及其地质意义. 中国科学（B 辑），1993，23（3）：297~302.
- 3 陈毓川，裴荣富，张宏良等. 南岭地区与中生代花岗岩类有关的有色及稀有金属矿床地质. 北京：地质出版社，1989，1~508.
- 4 朱训，黄崇轲，芮宗瑶等. 德兴斑岩铜矿. 北京：地质出版社，1983，1~336.
- 5 季克俭，吴学汉，张国柄. 热液矿床的矿源、水源和热源及矿床分布规律. 北京：北京科学技术出版社，1989，1~130.
- 6 梁祥济. 江西德兴斑岩铜矿成矿物质来源的实验研究. 地质论评，1995，41（5）：463~471.
- 7 张理刚，刘敬秀，陈振胜等. 江西德兴铜厂铜矿水-岩体系氢氧同位素演化. 地质科学，1996，31（3）：250~263.
- 8 Mandelbrot B B. The fractal geometry of nature. New York: W H Freeman and Company, 1983, 1~486.
- 9 Turcotte D L. Implications of chaos, scale-invariance and fractal statistics in geology. Global and Planetary Change, 1990, 89: 310~318.

FRACTAL DIMENSION STRUCTURE OF COPPER GRADE IN DEXING PORPHYRY BODY, JIANGXI PROVINCE

Jin Zhangdong

(State Key Laboratory of Mineral Deposits, Nanjing University, Nanjing 210093)

Key words: fractal, porphyry body, copper grade, Dexing

Abstract

Through fractal study of copper grade in Tongchang porphyry body by using the principles and methods of fractal geometry, it is known that the distribution of copper grades in seven drill holes is of self-resemblance. The fractal dimension (D) of copper grade in the northwestern part is higher than that in the southeastern part of the porphyry body, and there are dual fractal dimension structures in the northwestern part. Combined with the attitude of

the porphyry body and localities of porphyry copper orebodies, the fractal dimension (D) can provide some quantitative information for the distribution of ore grades affected by intrusive orientation of porphyry magma, direction of ore fluid migration and infiltration of copper and other ore materials from wall rocks. Data obtained show that copper in Tongchang porphyry body came mainly from intermediate-acid magma, with merely a small portion from wall rocks (concentrated exclusively in the lower low-grade part of the hanging wall of the porphyry body), and that the higher the D value of the copper grade, the more favorable the ore-forming conditions, and the larger the orebodies.

1998年《矿床地质》审稿人员名单

1998年度以下矿床学专家为《矿床地质》多次审过稿件,为本刊刊文质量提高做出了较大贡献,编辑部特此表示感谢!

马振东	王之田	王小凤	王书凤	王秀璋	王建平	王培君	毛景文
母瑞身	卢家烂	石准立	叶庆同	史明魁	冯本智	华仁民	刘姝群
刘德权	吕古贤	任天祥	孙海田	陈大经	陈文明	陈殿芬	李九玲
李兆龙	李延河	芮宗瑶	沈远超	沈保丰	邵和明	宋学信	宋 雄
吴良士	吴尚全	杨岳清	张光弟	张德全	林文蔚	周秀钟	侯增谦
施林道	赵一鸣	赵崇贺	顾连兴	姬金生	陶维屏	徐光荣	徐 珏
袁忠信	袁润广	程敏清	谢奕汉	曾章仁	黄典豪	梁祥济	盛继福
谭运金	冀树楷						