

两广庞西垌—金山成矿带银金矿床分形性研究*

王祖伟^{1,2} 周永章¹ 姚东良¹ 张海华¹

(1 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 2 天津师范大学, 天津)

提 要: 庞西垌—金山银金成矿带位于广东廉江县和广西博白县的交界, 区内银金矿床以银为主, 伴有金、铅、锌等有益组分, 属于蚀变破碎岩型银金矿床。研究表明, 银金矿床具有明显的分形性, 利用品位-频度的双对数坐标图求得的矿床银品位的分维值 $D < 1$, 反映了在区域内银品位分布的差异较大, 银品位的频率分布明显偏离正态分布。利用储量-分形模型对区内银的储量进行了预测, 证实该方法具有较高的可靠性和良好的适宜性, 预测结果显示预测区内具有良好的资源前景。

关键词: 分形 银金矿床 庞西垌—金山

分形理论是 70 年代中期提出的^[14]。分形的基本特征是其标度不变性, 即其部分在某种方式下同整体有相似性, 且这种自相似性具有多层次性特征。利用分维值来刻画分形对象的这种属性, 在具有随机性的领域, 通常要利用统计的方法来进行分析, 故又称为统计分形^[1]。这类分形不具有数学意义上的严格自相似, 而是统计意义上的自相似。

80 年代中期, 分形理论开始引入到矿床学等地学领域的研究, 并成为数学地质研究和应用的新热点, 为近几届数学地质年会所关注^[2]。和其他非线性理论及其相关方法一样, 分形理论已经成为地球科学研究有效的工具之一。

研究表明, 地质数据中普遍存在分形特征, 分维和多标度分形谱对地质结构异常特征的特征有特殊意义^[3,4]。金属矿床的空间位置、矿化的空间分布及矿脉具有自相似结构^[5,15]。利用矿石品位的分维值 D 可以定量的描述矿化类型和品位变化的复杂程度、确定勘探网格和井下采样间距及矿床经济评价的参数以及利用矿产储量和品位分形模型的关系可以进行矿产资源的预测评价^[6,7]①。分形理论正日益渗透到成矿规律与成矿预测、矿产勘查与评价中。

1 庞西垌—金山银金矿床地质特征

庞西垌—金山银金矿床位于广东廉江县与广西博白县的交界, 云开隆起的西南端, 岑溪—博白大断裂之东, 金山—庞西垌断裂带的中段, 以银为主, 含有金、铅、锌等伴生有益组分。

区内出露的地层主要为一套早加里东期形成的夹有少量云母石英片岩、大理岩、斜长角闪岩的条纹—眼球状混合岩和片麻岩等, 原岩为夹有少量中基性火山岩、硅质岩、灰岩的类复

* 国家科技部攀登预选项目 (95-预-39-V2) 资助

第一作者简介: 王祖伟, 男, 35 岁, 博士, 副教授。邮政编码: 300074

1998-07-23 收稿, 1999-01-12 修改回

① 毛华海, 1997, 微细浸染型金矿床地球化学热力学、动力学及分形研究, 中国科学院地球化学研究所博士论文

理石沉积,形成时代可能为中新元古代—寒武纪^[8,9],是银金矿床的矿源层和主要围岩之一^①。

区内从古生代至中生代均有岩浆岩产出,以塘蓬花岗岩体和英桥花岗岩体最为主要。塘蓬岩体主体部分为中粗粒斑状黑云母二长花岗岩,位于车田复背斜向南西倾没处,庞西垌-金山断裂带的东南,呈岩基产出,岩体与围岩呈断裂接触、侵入接触和交代接触三种接触形式,形成于海西-印支期^[10]。

英桥花岗岩岩体沿北东走向的庞西垌-金山断裂带侵入,是两次活动的产物(主期英桥岩体,补充期六环岩体),与混合岩呈侵入接触或呈断层接触。英桥花岗岩是混合源同熔型花岗岩^①,为晚燕山期的产物^[8]。英桥花岗岩是银金矿床的主要围岩之一,矿床主要产在英桥花岗岩与混合岩的接触带庞西垌-金山断裂带内。

庞西垌-金山断裂带走向 $35^{\circ}\sim 55^{\circ}$, 倾向北西, 倾角 $55^{\circ}\sim 65^{\circ}$ 。断裂带宽 20~200 m, 长大于 100 km, 由碎裂岩、压碎岩、构造角砾岩和断层泥砾岩组成, 沿走向具尖灭侧现和膨胀收缩现象。该断裂带是银金矿床的控矿断裂和含矿断裂, 庞西垌、金山、樟木塘、中苏、大沙等矿床(点)赋存于断裂带内。

银金矿体主要产在断裂带中心部位的绢英岩化压碎岩中, 部分分布于绢英岩化花岗质碎裂岩中。矿化与围岩蚀变作用非常密切, 矿体本身就是富含 Ag、Au 的蚀变岩和石英硫化物脉。根据相互穿插关系, 成矿作用可划分为硅化-石英阶段、石英-黄铁矿阶段、多金属硫化物-石英阶段、石英-碳酸盐阶段四个矿化阶段^①。对微量元素、稀土元素、稳定同位素的研究结果表明, 银金矿床的成矿物质主要来自于地层及其衍生混合岩。

2 银金矿床分形特征研究

研究区银金矿床矿体成脉状、薄透镜状产出, 沿破碎带分布。矿体的分布结构和矿体的内部的诸要素分布在统计意义上有很强的自相似性。这种自相似性存在于进一步的层次划分中。

在庞西垌矿区, 在野外和手标本上可以明显看到, 银金矿体成脉状在断裂带中分布, 而含金的硫化物呈细脉状沿岩石的裂隙分布。另外, 矿区内矿体分布具有“集中”的特点: 区内 I 号矿体是主要矿体, 占全区银工业储量的 92%。I-3 矿体又是 I 号矿体的富矿体, 储量约占全矿体的 73%。并且在矿体内, 银的分布差异性很大, 一般品位 50~185 g/t, 平均 116.0 g/t, 而单样可高达 4585 g/t。具体品位间差异性很大, 空间分布均一性差, 银品位的频率分布有很长的拖尾(广东 704 地质队, 1986)。在品位-频度的双对数坐标图上(图 1 和图 2), 银品位呈直线分布。

图 1 是 I 号主矿体的品位-频度双对数坐标图, 可以看出图中的点相关性好(相关系数 $R^2=0.94$), 分维值 $D=0.95$ 。图 2 是 I-3 号富矿体, 分维值 $D=0.94$, (相关系数 $R^2=0.94$)。I 号主矿体与其中的 I-3 号富矿体的分维值基本一致, 也就是说, I-3 号富矿体银品位的变化特征可以基本反映 I 号主矿体银品位变化特征。

① 王祖伟, 1998, 蚀变构造岩型银金矿床地质地球化学及资源潜力——对粤西庞西垌—桂东南金山银金矿带的解剖, 中国科学院广州地球化学研究所博士论文

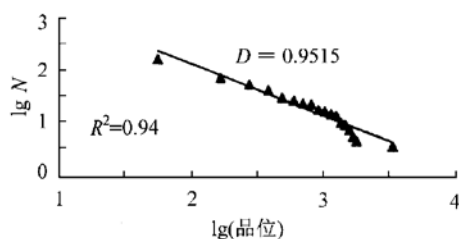


图1 庞西垌银金矿床1号矿体
银品位-频度的双对数坐标图

Fig. 1. Double logarithm coordinate diagram of silver grade-frequency for No. 1 orebody of the Pangxidong silver-gold deposit.

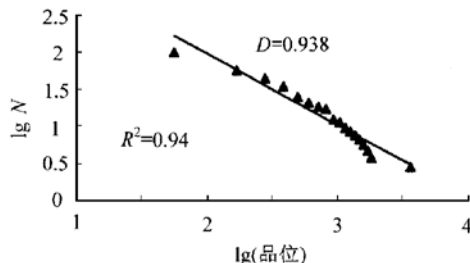


图2 庞西垌银金矿床1-3号矿体
银品位-频度的双对数坐标图

Fig. 2. Double logarithm coordinate diagram of silver grade-frequency for No. 1—No. 3 orebody of the Pangxidong silver-gold deposit.

在1-3号矿体的品位-频度分布图中,第一个点有一定的偏离。这主要是由于低品位采样不足造成,这种情况在1号矿体的品位-频度图中得到了很好的校正,反映了1号矿体的其他部分中,位于低品位区的样品相对较多。这同样在一定程度上反映出1-3号矿体中低品位区还有潜在远景^[11]。

3 分形-矿床模型和银储量预测

3.1 分形-矿床模型

利用分形矿床模型对储量进行预测的前提是:在一定的区域范围内,在各种地质作用的综合影响下,成矿元素由区域丰度值逐步富集并达到或超过工业品位过程(对于一个相对的封闭体系,这很有可能)。如果这一过程始终受某一机制(综合的、非线性的)所制约(标度不变),则成矿作用具有分形性质,成矿作用造成矿床的空间展布同样具有分形性质^[15]。

分形矿床模型^[17]:假设初始原岩的质量为 M_0 ,其中的成矿元素含量为 C_0 ,第一次富集后分为相等的两部分,每一部分的质量为 M_1 , $M_1 = M_0/2$ 。设成矿元素在前一部分中浓集,浓度为:

$$C_{11} = \varphi C_0$$

φ 为浓集度, C_{11} 的下标分别表示发生富集的部分和发生富集后的富集或贫化部分,相应的对于贫化部分的浓度有:

$$C_{12} = (2 - \varphi)C_0$$

如果上面的过程在不变的标度下进行,当达到第 n 级时有:

$$C_{n1} = \varphi^n C_0$$

相应地,存在:

$$M_n = \frac{1}{2^n} M_0$$

由于岩石质量 M 同岩石线性尺度 r 间存在关系: $M \propto r^3$,所以最终有下列关系存在:

$$\frac{C_{1n}}{C_0} = \left(\frac{M_0}{M_n} \right)^{\frac{\ln \varphi}{\ln 2}} = \left(\frac{r_0}{r_n} \right)^{\frac{3 \ln \varphi}{\ln 2}}$$

上式表明, 矿石量的分布符合幂函数关系, 其分维值 D 为:

$$D = \frac{3 \ln \varphi}{\ln 2}$$

通过对矿体的空间分布特征和银品位分析, 表明研究区成矿作用具有分形性质, 可以利用分形-矿床模型对研究区的银金矿床进行储量预测。

3.2 资源量预测

(1) 矿源层的总质量 M_0 : 研究区域前寒武纪—寒武纪地层的沉积厚度约 3000 m, 要确定前寒武纪—寒武纪矿源层的总质量, 关键是决定预测区的面积。考虑到晚燕山期英桥花岗岩浆活动驱使以大气降水为主体的流体对围岩的淋滤是本区成矿作用的关键因素^①, 因此岩浆活动驱使的流体能够影响的区域面积可以作为预测区的面积。

已有研究结果表明^[12], 由岩浆加热而成的热液可以与较大范围的岩石相互作用, 作用范围一般为 1~5 km, 明显受岩石的透水性影响。透水性好的砂岩可达 5 km, 而透水性差的页岩作用范围 1 km 左右。

研究区英桥花岗岩沿断裂带侵入, 矿床形成在六环花岗岩侵位之后。围岩花岗岩和混合岩本身的透水性较差, 但伴随断裂活动岩石中有节理、裂隙构造的产生, 节理和裂隙距主断裂带的距离约 1000 m, 且上盘围岩节理的密度较下盘围岩高。对此估计六环花岗岩在断裂带下盘围岩的作用宽度为 1000 m、在断裂带上盘围岩的作用宽度为 1500 m、向断裂带两侧方向延伸 2000 m, 可得矿源层的面积约为 35 km²。根据地球物理资料, 前寒武系变质岩的体重 2.74 t/m³ (广西第六地质队, 1985), 因而矿源层的总质量为 28.77×10¹⁰t。

(2) 确定区域内前寒武纪—寒武纪地层 Ag 的原始含量 C_0 : 确定区域内前寒武纪—寒武纪地层 Ag、Au 的原始含量, 是进行资源远景评价的关键。由于研究区前寒武纪—寒武纪是矿源层, 已为矿床的形成提供了物质来源, 它们的含量只能作为成矿元素迁移后的地层的含量。

为确定前寒武纪—寒武纪地层 Ag 的原始含量, 本文利用研究区的南部、廉江县城以南的良垌地区地层的银金元素的含量作为原始含量。这一地区前寒武纪—寒武纪地层虽然经过了变质作用, 成矿元素发生了重新分配, 但无相关矿床的产出, 而在深熔作用和变质交代改造作用产生前, 岩石的化学成分在变质作用过程中虽然发生了再分配, 但在区域总体上保持封闭体系。对该区 48 个样品的 Ag 元素进行分析, 其平均值为 0.944×10⁻⁶^[13], 代表矿源层的原始含量。

(3) 确定品位-储量的分维值 D : 利用预测区内主要已知银矿体的品位和储量 (庞西垌、金山和中苏矿区), 通过双对数坐标图, 可以算得品位-储量的分维值。图 3 为矿体的银品位和储量的双对数坐标图。从图中可以求得, 矿石银品位在 110×10⁻⁶~500×10⁻⁶ 的标度范围内, 品位和储量之间的分维值 $D=1.6107$ (相关系数 $R^2=0.882$)。

① 王祖伟, 1998, 蚀变构造岩型银金矿床地质地球化学及资源潜力——对粤西庞西垌—桂东南金山银金矿带的解剖, 中国科学院广州地球化学研究所博士论文

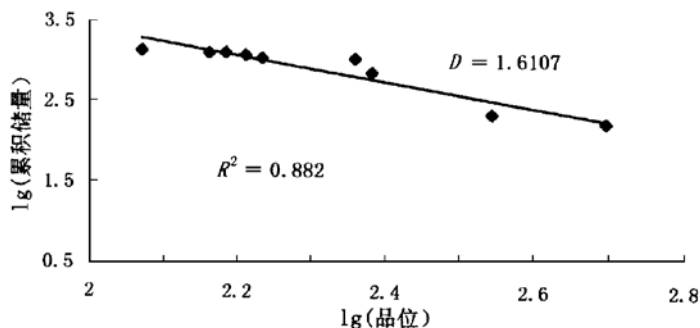


图3 研究区银矿体品位-储量双对数坐标图

Fig. 3. Double logarithm coordinate diagram of grade-reserves for silver-gold deposit.

(4) 预测结果：利用品位-储量公式 $C/C_0 = (M_0/M)^{D/3}$ ，可以确定预测区可能形成的银矿床远景储量。

已知矿源层银的丰度 $C_0 = 0.944 \text{ g/t}$ ，总质量 $M_0 = 28.77 \times 10^{10} \text{ t}$ ，银的平均品位 $C = 264.0 \text{ g/t}$ ，分维值 $D = 1.6107$ ，计算可得到研究区内的银矿石量为 $8.575 \times 10^6 \text{ t}$ ，金属量为：2263.67 t。研究区已探明的银储量为 1555.77 t，估计该区银的远景储量在 700 t 以上。

(5) 预测结果的可靠性评估：成矿地质条件分析研究和回归分析法预测结果均表明，庞西垌—金山银金矿带有利成矿远景区沿英桥花岗岩和变质围岩的接触带之间的庞西垌—金山断裂带分布^{①②}，符合岩体周围的热液矿床主要分布在岩体附近、一般离接触带的水平距离不超过岩体的直径的结论^[12]，与研究区内已知矿床均位于岩体和围岩接触带之间的庞西垌—金山断裂带内的空间分布特征吻合。这证实了本文选择的预测范围是适宜的。

利用回归分析方法对成矿远景区资源量的预测结果与本文运用的分形-储量模型法基本一致^②，证明分形-储量模型法在成矿预测研究中具有良好的可靠性。

参 考 文 献

- 1 孟宪国, 赵鹏大. 试论地质现象中的分形统计学. 地球科学, 1996, 21 (6): 601~603.
- 2 刘承祚. 对近年来数学地质发展概况的综述和分析. 中国数学地质, 1996.
- 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 (3): 281~287.
- 4 周永章, Chown E H, Guha J. 地质热学中微量元素迁移的方向性和分维结构图象. 中国科学 (B), 24 (12): 1308~1313.
- 5 秦长兴, 翟裕生. 矿床学中若干自相似现象及其意义. 矿床地质, 1992, 11 (3).
- 6 沈步明, 沈远超. 新疆某金矿的分形特征及其地质意义. 中国科学 (B), 1993, 23 (3): 297~302.
- 7 金章东. 江西德兴铜厂斑岩体铜品位分形结构. 矿床地质, 1998, 17 (4): 363~368.
- 8 陈辉琪. 广东庞西垌银金矿床地质特征. 广东地质, 1987, 2 (2): 93~108.
- 9 简平. 云开隆起西南端混合岩、花岗岩同位素地质年代研究. 广东地质, 1991, 6 (1): 58~68.
- 10 王鹤年, 张景荣, 陆建军等. 粤西金矿床地球化学. 南京: 南京大学出版社, 1991.

① 王祖伟, 1998, 蚀变构造岩型银金矿床地质地球化学及资源潜力——对粤西庞西垌—桂东南金山银金矿带的解剖, 中国科学院广州地球化学研究所博士论文

② 广东地矿局 704 地质队, 1986, 广东廉江庞西垌矿区银矿床成矿规律与成矿预测研究报告

- 11 沈步明, 王思敬. 一个新的频率特征参数——分形结构因子. 科学通报, 1993, 38 (8): 727.
- 12 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, 77~111.
- 13 王秀璋, 程景平, 张宝贵等. 粤西海南金矿区的成矿规律. 见: 中国科学院黄金科技工作领导小组办公室编. 中国金矿研究新进展 (下篇). 北京: 地震出版社, 1994, 91~154.
- 14 Mandelbrot B B. The fractal geometry of nature. Freeman, S. Francisco. 1982.
- 15 Turcotte T L. Fractal in geology and geophysics, Pure app. geophysics, 1989, 131.
- 16 Barton C C. Fractals in the Earth Sciences, New York, Plenum Press, 1995.

FRACTAL CHARACTERISTICS OF SILVER-GOLD DEPOSITS IN THE PANGXIDONG-JINSHAN METALLOGENIC BELT, SOUTH CHINA

Wang Zuwei^{1,2}, Zhou Yongzhang¹, Yao Dongliang¹, Zhang Haihua¹

(1 Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510646;

2 Tianjin Normal University, Tianjin 300000)

Key words: fractal, silver-gold deposit, Pangxidong-Jinshan

Abstract

The Pangxidong-Jinshan silver-gold deposit, located in the border area between Guangdong and Guangxi, is a silver deposit associated with Au, Pb and Zn, belonging to alteration rock type.

The fractal dimension of silver grade-frequency of the ore deposit shows the spatial distribution and change of silver grade in the orebody. The fractal dimension $D < 1$ indicates remarkable change in spatial distribution and obvious deviation from the normal distribution of Ag grade.

Using silver grade-reserve fractal mineralization pattern, one can forecast the possible silver reserves in the mining area. The forecast result shows that the area has promising resource potential, and the grade-reserve fractal mineralization pattern is reliable and suitable for ore-prospecting in this area.