维普资讯 http://www.cqvip.com

第23卷 第6期 地球科学——中国地质大学学报 Vol. 23 No. 6
1998年11月 Earth Science—Journal of China University of Geosciences Nov. 1998

中国金矿床分形分布及对超大型矿床的勘查意义*

施俊法 王春宁
(中国地质矿产信息研究院,北京 100037)

摘 要 根据中国442个岩金矿床的空间坐标和储量数据,研究了中国岩金矿床的空间和储量分布分形特征.研究表明,在两个尺度范围内金矿床在空间上呈分形分布,其群集分布的分维 D 分别为0.229 3(20~150 km)和1.307 3(150~5 000 km);矿床密度分布的 D 值分别为0.428 9(2~100 km)和1.462 1(100~1 500 km).通过研究还发现,矿床储量与频数之间也呈分形关系.在此基础上,提出了中国西部和东部地区快速寻找超大型金矿床的新思路.

关键词 金矿床;空间分形;储量分形;矿产勘查.
中图法分类号 P617,P628.1

第一作者简介 施俊法,男,副研究员,1964年生,1989年毕业于中国地质大学(北京),获硕士学位,现为中国地质大学(北京)地球化学专业97级在职博士生,主要从事非线性方法在区域地球化学数据上的应用研究.

分形理论是最近20多年发展起来的数学分支,现已广泛应用于自然科学和社会科学.分形理论揭示了非线性复杂系统的不变性、自相似性等全新的系统特征,刻画了局部与整体、离散与连续、微观与宏观、确定性与随机性等关系,它为我们从复杂现象中定量研究规律性问题,提供了新的途径.由于地质作用既具有确定性,又表现为随机性,分形理论已广泛应用于地质学中.

目前,一般把在一定尺度(层次)范围内(无标度区)在形态(结构)、功能或信息等方面具有自相似性的研究对象称为分形.国内外学者对断裂、岩石裂隙分布、地震活动、水系分布、海岸线长度的分形研究,取得了重要的进展[1,2],并逐渐开展了矿床的分形特征研究[3~7].然而,总的来说,对于矿床分布的分形特征研究还不多见.

本文根据中国442个(岩)金矿床空间坐标、矿床储量和品位的数据,在矿床地质基础上探讨金矿床群集分布、矿床密度分布、储量分布的分形特征,并对超大型金矿床的快速评价问题提出了新认识.

1 金矿床的群集分布

Mandelbrot[1]研究海岸线长度时,发现所用的测码 δ 与测量次数 $N(\delta)$ 之间存在分形关系

$$N(\delta) = K \cdot \delta^{-D}.$$

其中:D 为海岸线分维数.若将这种做法推广到平面上,用数盒子法[8](box-counting method)来考察矿床的群集分布,在不考虑单个矿床之间在体积和赋矿深度的差别时,将整个研究区划分成面积为 δ 的若干个正方形格子,按格子的 δ 大小不同,分别统计出有矿格子数 $N(\delta)$.$N(\delta)$ 显然与 δ 有关,当 δ 足够小时,所需最小格子数 $N(\delta)$ 应与 δ^{-D} 成正比.

$$N(\delta) \propto \delta^{-D}, \text{或 } N(\delta) = K \cdot \delta^{-D} \quad (1)$$

式中:K 为常数,D 为分维数.以 $N(\delta)$ 与 δ 的对数值作图,其斜率即为公式(1)中的 D 值.

类似地,也可采用数圆圈的办法实现这一过程;但Blenkinsop[7]认为用数盒子法更能详细地描述一定范围内的分形分布,它比数圆圈法更为敏感.因此,笔者采用数盒子法,对中国442个岩金矿床的群集分布进行了研究.图1为处理所得的结果,从图1可以看出,在20~5 000 km尺度范围内中国金矿的群集分布可以分为2个分维不同的母体.图左侧的分布 D_1 值为0.229 3(20~150 km);右侧 D_2 为1.307 3(150~5 000 km).这一结果与其他研究者所得出的结论基本相似(表1).由此看来,矿床的群集分布具有普遍意义.

1997年9月2日收稿.
*国家自然科学基金项目(No.49773205)资助.

维普资讯 http://www.cqvip.com

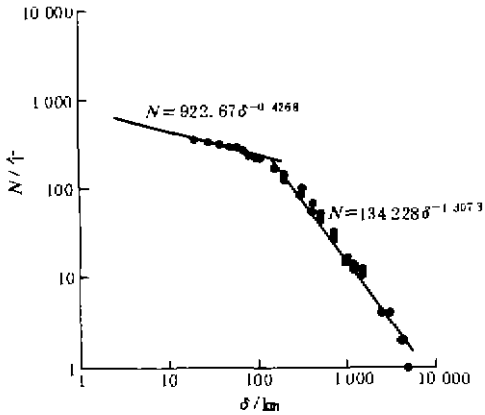


图 1　中国金矿群集直径 δ 与群集数 N 图解

Fig. 1　Number of clusters versus diameter diagram for gold deposit in China

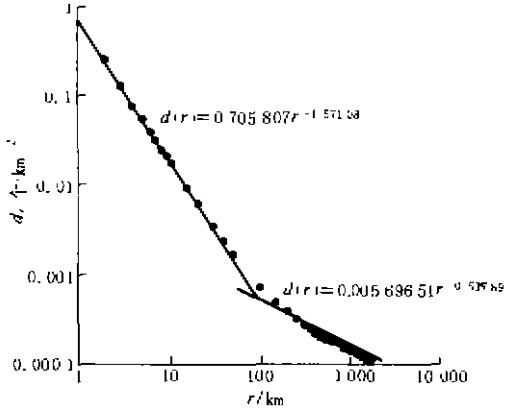


图 2　中国金矿床密度 d 与已知矿床距离 r 的关系

Fig. 2　Density of (rock) gold deposits in China as function of distance from the known deposit

表 1　几个不同地区用数盒子法求得的矿床分维

Table 1　Fractal dimensions (D) of deposits from several different areas by the box counting method for different ranges of length of the square

矿床	分维		无标度区间		面积*/
	D_1	D_2	δ_1/km	δ_2/km	10^5km^2
中国金矿	0.229 3	1.307 3	20～150	150～5 000	960
浙江金矿[5]	0.192 3	0.716 8	1～20	20～750	10
浙江银矿[5]	0.140 5	1.167 6	1～20	20～750	10
浙江铅锌矿[5]	0.145 9	1.172 3	1～20	20～750	10
浙江萤石矿[5]	0.377 8	1.185 1	1～20	20～750	10
美国贵金属矿[6]	0.504 8	1.510 9	1～15	15～1 000	320
津巴布韦[7]	0.32 0.28	1.12 1.18	0.3～2.5	2.5～29	0.16

* 面积主要是依文献[6,7,10]中所附的地质图估算的.

2　金矿床密度分布

了解距某一矿化中心的矿床密度分布，对于找矿勘查具有重要意义. 根据 Mandelbrot[9] 报道，分形尘埃服从下述定律

$$d(r) = Kr^{D-2} \tag{2}$$

式中：$d(r)$ 是给定范围内点密度，也称概率密度函数. 如果我们把矿床看成尘埃，那么在我们的研究中 $d(r)$ 便是距离为 r 的单位面积内矿床数. K 为常数，D 为分维. 如果矿床的密度分布（每单位面积内的矿床数）是分形的，则某一给定矿床周围的密度就服从(2)式，$d(r)$ 随距离的增大而减少. 采用数盒子法分别以每个矿床依次作为中心，计算某一已知矿床周围的密度函数，然后对各个中心计算的结果进行平均. 在计算过程中，对于间隔小于 2 km 的矿床归并为 1 个矿床，其结果如图 2 所示，矿床的密度服从分形分布，存在 2 个无标度区间，其 D 值分别为 0.428 9(2～100 km)和 1.462 1(100～1 500 km).

3　金矿床的储量分形分布

按矿床不同储量 t，分别统计出储量大于 t 的矿床数 $N(t)$，即研究矿床的频率与大小关系，按(1)式可以得与(1)式一致的关系式. 假定矿石的密度不变，有 $t \cong r^3$，这里 r 是所考虑的矿床线性尺度，由(1)式可得

$$N(t) = K \cdot t^{D/3} \tag{3}$$

式中：K 为常数. 图 3 为中国金矿床频率与矿床大小分布图，在相当程度上，矿床储量分布具有分形特征.

图 3 上部是储量较小的矿床分布区，由于人们对于小型矿床常常不加重视，因而在统计矿床数时，往往会漏掉一部分矿床（例如，小型民采矿床），而且本次研究所采用的资料明显未收入一些小型矿床，也就是说，实际矿床数目必定会稍大于我们现在收集到的矿床数目，从而使图 3 上部的点下偏离直线. 图 3 下部为大型矿床的分布区，据此，可以对我国大型矿床的前景作出预测. 应当指出的是，图 3 的直线不是一成不变的，将会依据矿床的发现情况及时地修正，从而对我国金矿床的资源量作出合理的估计.

维普资讯 http://www.cqvip.com

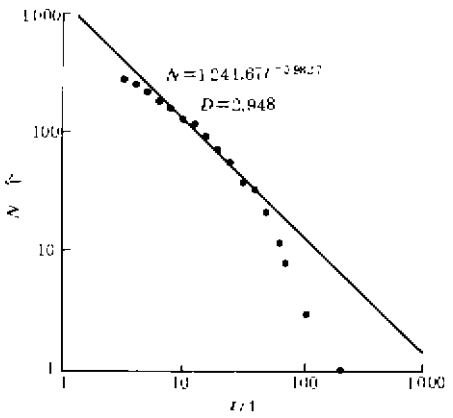


图3 中国金矿数(N)与储量(t>1 kg)的关系

Fig.3 Number of (rock) gold deposits (N) with a reserve (t>1 kg) as function of t in China

按照国内一般经验，金矿床可依次划分为小型(0～5 t)、中型(5～20 t)、大型(>20 t)、特大型(>100 t)，取其中值分别用2 t, 12 t, 60 t代表小、中、大型矿床.从图3中求得，我国金矿的大、中、小型矿床的比例为1:6:30，这个数值与前苏联计算获得的世界地壳中各种矿床的大、中、小矿床总比例1:7:50(Л.Н.奥夫钦尼科夫)，1:7:49 (А. Л. Соловов)大体相当，这从另一个侧面反映了图3数据的可靠性.图3对于区域金属矿产的战略预测具有重要意义.

4 讨论与结论

(1)从表1可以看出，不同作者在不同地区、不同研究范围、不同矿种类型的空间分形分析，都显示了一个共同的结果，那就是矿床在空间上遵循分形丛集分布.换而言之，矿床在空间上是不均匀分布的.事实上，在全球范围内，矿床往往集中分布在几个成矿带中；在几个成矿带内矿床以集中在若干个成矿省中；一个成矿省内的矿床通常只集中在几个矿化密集区内；在一个密集区内的矿床，特别是一些大型超大型矿床主要集中在一两个矿田内；在一个矿田内，尽管可以有许多矿床和矿点产出，但往往一两个矿床占据了矿田的矿石储量的绝大部分；在一个矿床中，70%～90%以上的矿石储量又往往被一两个主矿体所占有，甚至在一个矿体中，储量又通常集中在若干富矿囊中.由此可见，矿床在空间呈分形丛集分布现象可能具有普遍的意义.

事实上，矿床的空间丛集分布，正是说明了"就矿找矿"的勘查战略，因此，我们要十分注意在已知矿区外围找隐伏矿，尤其是在工作程度较高的地区.

(2)矿床的空间分形丛集分布虽然普遍地具有两个无标度区间，但无标度区间的范围似乎与矿床所包围的面积(即研究区的面积)密切相关，研究区的面积越大，无标度区间的范围就越大；因此，对于两个无标度区间意义的解释应当慎重考虑.Carlson[6]在研究美国西部4 775个贵金属矿床分形分布时，认为在1～15 km内是分形热液系统和裂隙系统有效地表现出来；而在15～1 000 km范围内是侵入体的分形聚集的结果，而且侵入体的露头表现为不均匀分布.Blenkinsop[7]对津巴布韦太古代克拉通122个金矿床分布的分形研究，也获得了两个无标度区间，分别为0.3～2.5 km和2.5～2.9 km，但他仍将这一结果归因于破碎带内分形热液系统内矿化的结果，这种解释显得有些勉强.

中国金矿床的空间丛集分形的两个无标度区间范围分别为20～150 km和150～5 000 km.其中，20～150 km这个尺度远远大于前人研究所得的结果，我们认为不能简单地归因于具有分形特性的热液系统控制的结果.然而，20～150 km这个尺度与金矿床密集区的空间范围非常接近，它很可能就是金矿床密集区的范围.在这个范围金矿床呈分形分布，而150～5 000 km这个尺度，则可能反映了金矿床密集区的空间分形特征.

(3)基于本次研究成果，我们认为应对中国东部和西部地区分别采取不同的勘查战略.①在不同范围内，矿床都存在两个无标度区间，这正是矿床空间分布自相似性的表现.大量研究表明，区域地球化学数据在空间也存在自相似性[t0～t3]，那么对已往工作程度较低，已知金矿化密集区很少的西部地区，采用"迅速掌握全局，逐步缩小靶区"[t4]的超低密度地球化学勘查战略是可以成功的，即使用150 km×150 km作为取样网格，一般也不会漏掉金矿床密集区，因为金矿床的密集区范围为20～150 km.循此思路，我们可以一步步地逼近大型超大型矿床，这对于我国西部地区的金矿勘查，将是一条低成本、高效率的可行途径.②对于中国东部地区，应着重在已知金矿的密集区内部，寻找大型超大型金矿床，尤其要在已知矿床外围找隐伏矿.既然中国岩金矿床在20～150 km尺度内遵循分形分布；矿床的储量－矿床分布也是分形分布的，那么就有可能对已知金矿床

维普资讯 http://www.cqvip.com

的密集区,根据(2)和(3)式,由已知金矿床储量和空间数据,对该区大于某一储量的潜在矿床进行预测.

在本文的成文过程中,得到了浙江省地质矿产研究所总工程师李长江高级工程师、麻土华工程师的大力支持和帮助,作者在此表示感谢.

参 考 文 献

1 Mandelbrot B B. How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension. Science, 1967, 156: 636～638

2 Turcotte D T. Fractals and fragmentation. J Geophys Res, 1986, 91: 1 921～1 926

3 沈步明,沈远超.新疆某金矿床的分数维特征及其地质意义.中国科学(B辑),1993, 23(3): 297～302

4 李长江,徐有浪,蒋叙良.论矿床的分形性质.浙江地质,1994, 2: 25～31

5 李长江,蒋叙良,徐有浪等.浙江中生代热液矿床的分形研究.地质科学,1996, 3: 264～273

6 Carlson C A. Spatial distribution of ore deposits. Geology, 1991, 19(2): 107～110

7 Blenkinsop T. The fractal distribution of gold deposit: two examples from the Zimbabwe Archean Craton. In: Barton C C, ed. Fractals in petroleum geology and earth processes. [s.l.]: Plenum Press, 1994. 247～258

8 Mandelbrot B B. Self-affine fractals and fractal dimension. Physica Scripta, 1985, 32: 257～260

9 Mandelbrot B B. The fractal geometry of nature. San Francisco: Freman, 1983. 468

10 施俊法.地球化学现象的分形特性及其意义.国外地质勘探技术,1996, (3): 16～20

11 於崇文.地球化学系统复杂性的探索.地球科学——中国地质大学学报,1994, 19(3): 283～286

12 李长江、麻土华.化探数据处理的新技术 地质找矿论丛,1997, 12(4): 57～64

13 Bölviken B, Stokke P R, Feder J, et al. The fractal nature geochemical landscapes. J Geochemical Exploration, 1992, 43: 91～109

14 谢学锦.论矿产勘查史——经验找矿、科学勘查与信息勘查.地学研究:第29－30号.北京:地质出版社,1997. 254～266

FRACTAL ANALYSIS OF GOLD DEPOSITS IN CHINA: IMPLICATION FOR GIANT DEPOSIT EXPLORATION

Shi Junfa　Wang Chunning

(*Chinese Institute of Geology and Mineral Resources Information, Beijing* 100037)

Abstract　Examination of 442 rock gold deposits in China, reveals fractal distributions acting within two scale ranges. The fractal dimension of fractal clustering is 0.229 3 (20－150 km) and 1.307 3 (150－5 000 km). The fractal dimension of density distribution is 0.428 9 from 2 to 100 km and 1.462 1 from 100 to 1 500 km. The frequency-size distribution are fractal. The different gold exploration strategies for the west and east China are suggested.

Key words　gold deposits, spatial fractal, reserve fractal, mineral exploration.