

# 大型矿床地球化学定量评价模型和方法

王学求

(中国地质科学院 地球物理地球化学勘查研究所,河北 廊坊,065000)

**摘 要:**评价和区分大型矿床,一直是近年矿产勘查活动的焦点。最新研究表明,大型、巨型矿床与一般矿床的主要并可以量化的区别,在于大型、巨型矿床有着巨量的成矿元素供应与聚集。这种巨量的成矿元素供应,不是传统意义上元素的全量,而是能被成矿过程所利用的活动态分量。文中提出了基于元素立体分散模式和成矿可利用金属分量评价和区分矿床规模的一种定量地球化学模型和方法。

**关键词:**大型矿床;地球化学;成矿可利用金属;定量评价

**中图分类号:**P595 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-2321(2003)01-0257-05

从20世纪80年代以来,寻找和区分大型、巨型矿床一直是矿产勘查的焦点。对于同样的成矿有利环境,有的地段有矿,有的地段无矿,有的地段有大矿,而有的地段只有小矿。那么控制矿床大小的“基因”是什么<sup>[1]</sup>? R. H. Sillitoe指出:“对矿床所在地点存在特大数量供应的金是形成巨型金矿的基本要求。”<sup>[2]</sup>以谢学锦为首席科学家的国家攀登计划B85-34项目提出一种新理论,即巨型矿床与一般矿床的差别主要在于巨型矿床有着巨量的成矿物质供应,这种巨量的物质供应表现为地球上存在某种成矿元素含量特别富集的地球化学块体<sup>[3]</sup>。但我们传统意义上地球化学方法所圈定的巨量物质聚集地——高背景地质体或地球化学块体,并不总是都有大型或巨型矿床产出。这就令我们思考一个问题:一个矿床的形成,取决于地质体中成矿元素是否能被各种流体所淋取,并随流体迁移于一定有利位置成矿。如果一个元素在岩石中的全量再高,但它在其中呈稳定态分布在造岩矿物中,就不易被流体带出、带入而成矿;相反岩石中即使全量相对较低,但可被成矿利用的活动态部分相对较高,就容易成矿。R. Seager和M. Meyer(1982)在对南非金矿的研究后指出:“只有硫化物和粒间金易被变质热液搬运到附近的扩容带中成矿,禁锢在造岩矿物中的金对成

矿几乎无意义。”<sup>[4]</sup>看来研究者都不约而同地认识到:并非所有金属量都能在成矿过程中被利用,只有那些呈活跃形式、易被各种流体携带、搬运的那部分金属才能在成矿过程中起作用,因此我们提出了“成矿可利用金属”(available metals for ore formation)的概念<sup>[1]</sup>。本文初步讨论了如何使用成矿可利用金属量去定量评价矿床规模的方法,并给出了应用实例。

## 1 成矿可利用金属的概念

巨型矿床与一般矿床的主要并可以量化的差别,在于巨型矿床形成过程中有着巨量成矿物质的供应。在这种巨量的成矿物质中,只有一部分呈动态、易被各种流体携带的金属,才能逐步浓集成矿。

成矿可利用金属是指在成矿过程中,能被流体溶解和携带至有利部位成矿的那部分金属,即金属活动态分量(mobile forms of metals)。易被成矿利用的金属活动态分量包括各种离子、络合物、原子团、胶体、超微细的亚微米至纳米金属颗粒、铁族元素氧化物吸附和包裹金属、碳酸盐包裹金属以及矿物颗粒间的成矿元素独立金属矿物(自然金属、金属互化物、硫化物等)。

上述各种金属的活动态部分可以利用各种弱的溶剂(包括水)模拟自然流体条件去进行提取<sup>[5]</sup>,分析活动态含量和总量,就可以计算出可被成矿利用金属占其总含量的比例。例如,笔者对山东胶东金

收稿日期:2003-01-27

基金项目:国家重点基础研究项目(G1999043212);国家科技攻关项目(2001BA609A03)

作者简介:王学求(1963—),男,教授级高工,国际勘查地球化学家协会理事,从事勘查地球化学研究。

表 1 胶东地球化学块体中可提取金的含量和比例

Table 1 Available gold contents and proportion in geochemical block of Jiaodong

参数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	水提取金	吸附金	自然金	氧化物包裹金	碳酸盐包裹金	硫化物金	可提取金量	不溶残渣	全量
含量/(ng g <sup>-1</sup> )	0.3	0.2	0.2	0.6	0.3	0.4	2.1	2.4	4.5
比例/%	6.7	4.4	4.4	13.3	6.7	4.8	46.7	53.3	100

注: 7 = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6, 9 = 7 + 8

的地球化学块体中岩石样品的提取表明,活动态金一般占有 30 % ~ 50 % 的比例,平均在 40 % 左右(表 1)。胶东地区与全国其它地区相比,金的异常规模并不算很大,但成矿可利用金比例却较高,所以形成有经济价值矿床储量很大。

需要指出的是,不同元素及同一元素在各个地区可被成矿利用金属的含量是不一样的。这正是我们利用这一特性评价异常成矿的可能性及评价形成矿床规模的基础。一个地区或一个矿种可被成矿过程所利用的成矿元素比例越大,其形成有经济价值矿床的规模就会越大。

这些活动态形式金属能被流体和气体带出和搬运,不仅与成矿有密切关系,而且还能从矿体以各种途径向地表迁移,在地表疏松介质中形成活动态叠加含量,带来了深部矿化信息,对找矿具有重要意义。测定这种呈活动态金属在地球化学块体中的含量,并追踪其逐步富集的轨迹比测定金属全量更能可靠地估计成矿金属的供应量,从而能更可靠地预测大型和巨型矿床。

2 定量评价模型与方法

2.1 传统定量评价模型与方法(面金属量评价方法)

H. E. Hawkes(1976)<sup>[6]</sup>提出了矿体规模与汇水盆地大小、矿体品位和出露面积关系的经验式公式:

$$Me_m A_m = A_a (Me_a - Me_b) + A_m Me_b$$

式中  $Me_m$  是矿体金属含量,  $Me_a$  是水系中异常金属含量,  $Me_b$  是背景金属含量,  $A_a$  是异常上游汇水盆地面积,  $A_m$  是矿体出露面积(图 1)。

利用这一公式,如果已知异常面积,就可以预测矿体规模,反过来已知矿体规模,就可以预测它能形成的异常大小。如我们假设某一汇水盆地中金矿的出露面积是 0.25 km<sup>2</sup>,金的品位是 5 g/t,金的背景值是 1.5 ng/g (0.001 5 g/t),最低一级异常下限

2.0 ng/g (0.002 g/t),代入公式我们就可算出最大异常的大小,即汇水盆地面积如下:

$$A_a = A_m (Me_m - Me_b) / (Me_a - Me_b) = 0.25(5 - 0.001 5) / (0.002 - 0.001 5) = 2 500 \text{ km}^2$$

那么这 0.25 km<sup>2</sup> 出露面积,金的品位是 5 g/t 的矿体相当于多少金的储量? 我们假设矿体延伸 0.3 km,矿石密度按 2.6 t/m<sup>3</sup>,金的储量为 250 000 m<sup>2</sup> × 300 m × 2.6 t/m<sup>3</sup> × 5 g/t = 1 000 t

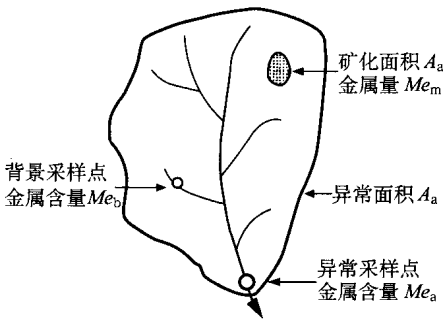


图 1 水系沉积物异常稀释模型、矿体规模、元素含量和汇水盆地面积之间关系 (H. E. Hawkes, 1976)

Fig. 1 Anomaly dilution model, relation between ore body size, metal concentration and basin area

也就是说 1 000 t 的金矿可以形成 2 500 km<sup>2</sup> 的异常。相应地我们可以计算出异常大小与矿体规模的对应关系(表 2)。

表 2 金矿储量与异常规模的对应关系

Table 2 Au reserve related to anomalous area

金矿储量/t	异常规模/km <sup>2</sup>
4 000	10 000
1 000	2 500
400	1 000
100	250
40	100
10	25
4	10
1	2.5

## 2.2 成矿可利用金属量定量评价模型与方法

从上述传统定量评价模型和方法中可以看出:

(1) 这一异常的模式是基于来自于单个矿床的“点”源分散,而实际上异常的形成也来自于一个矿化区的若干个点源及矿床围岩高含量地球化学异常。(2) 这一传统模型只考虑了二维分散,即平面分散,而地球化学异常应有一定的深度,也就是说异常应是立体的,即地球化学块体。(3) 传统模型计算方法只考虑了元素全量,而实际上如果一个元素在岩石中的全量再高,但它在其中呈稳定态分布在造岩矿物中,就不易被流体带出带入而成矿,相反岩石中即使全量相对较低,但可被成矿利用的活动态部分相对较高,就容易成矿。

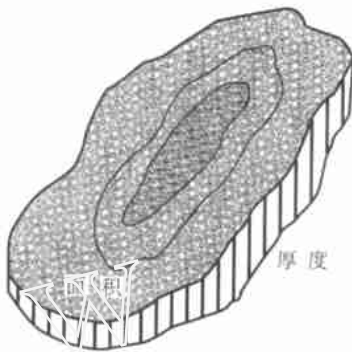


图2 元素三维分散模式(地球化学块体)示意图

Fig. 2 Scheme of 3-dimension geochemical pattern (geochemical block)

鉴于传统模型和方法的缺点,笔者提出了成矿可利用金属量定量评价模型与方法。这一模型是基于如下考虑:(1) 地球化学异常在平面上是“面型”的,在垂向上具有一定深度,即是元素三维分散的产物(图2),我们称为地球化学块体<sup>[7,8]</sup>。(2) 形成矿

床规模的大小取决于地球化学块体的体积和成矿可利用金属量的多少。

利用成矿可利用金属量对一个地区进行潜在资源量的定量评价,必须具备两个条件:一是具有覆盖全区的地球化学数据(数据的密度取决于要评价的尺度),二是成矿可利用金属分量(活动态金属量)。根据地球化学数据,在给定的异常下限条件下,就可以圈出地球化学异常。根据已知区矿床勘探深度,推测地球化学块体厚度。根据地球化学块体的面积和厚度以及地球化学块体内金属含量,就可以计算出这个块体内的金属总量。块体内的金属总量可用公式(1)表示。如果再给出成矿率(矿床储量占地球化学块体内金属总量的比例,这一参数可以根据相同类型已知矿的资料获得),就可以计算出潜在的资源量,用公式(2)表示。

$$\text{成矿可利用金属总量: } M_t = A_a \cdot H \cdot D \cdot C_a \quad (1)$$

$$\text{潜在资源量: } M_p = M_t \cdot M_r \quad (2)$$

$M_t$  为成矿可利用金属供应总量,  $A_a$  为地球化学块体面积( $\text{m}^2$ ),  $H$  为地球化学块体厚度( $\text{m}$ ),  $D$  为岩石密度( $\text{t}/\text{m}^3$ ),  $C_a$  为地球化学块体内可被成矿利用金属平均含量( $10^{-6}$ 或 $10^{-9}$ ),  $M_r$  为成矿率(%)。

## 3 应用实例

(1) 可地浸砂岩型铀矿的评价:在吐哈盆地利用超低密度地球化学方法共圈出两片地球化学异常(图3),一片分布于吐鲁番盆地周边,由3个面积大于 $1\,000\text{ km}^2$ 以上地球化学块体组成,分别命名为T-UA1, T-UA2, T-UA3异常;另一片位于哈密盆地,为H-UA1异常。

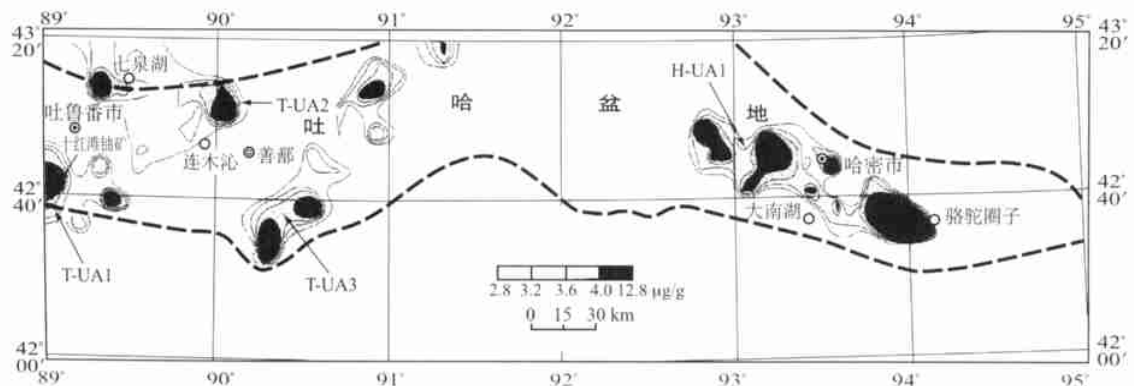


图3 吐哈盆地铀地球化学块体

Fig. 3 Geochemical blocks of uranium at Tu - Ha basin

表 3 吐哈盆地成矿可利用铀供应量及潜在资源量

Table 3 Tonnage of available U and potential reserves at Tur-Ha basin

异常名称	分布区域	$A_a/\text{km}^2$	$H/\text{m}$	$C_a/10^{-6}$	$M_t/\text{t}$	$M_r$	$M_p/\text{t}$
T-UA1 异常	吐鲁番盆地艾丁湖南侧	1 194	500	3.90	5 122 260	0.20 %	10 000
T-UA2 异常	吐鲁番盆地七泉湖—连木沁	2 285	500	3.50	8 797 250	0.20 %	17 600
T-UA3 异常	吐鲁番盆地鄯善东南	1 180	500	4.30	5 581 400	0.20 %	11 000
H-UA1 异常	哈密—骆驼圈子—大南湖	3 340	500	4.42	16 239 080	0.20 %	32 500

注： $A_a$ —异常面积(area of anomaly)； $H$ —块体厚度(从已知十红滩铀矿勘探深度推测地球化学块体厚度)； $C_a$ —异常内铀平均含量(average content)； $M_t$ —块体内铀金属总量； $M_r$ —成矿率； $M_p$ —预测铀潜在储量。

表 4 根据可被成矿利用金的量推测的金矿潜在资源量

Table 4 Potential reserves based on available gold tonnage for mineralization

地区	地球化学块体的面积/ $\text{km}^2$	地球化学块体厚度/ $\text{m}$	成矿可利用金异常下限(地球化学块体边界)/ $(\text{ng}\cdot\text{g}^{-1})$	成矿可利用金供应量/ $\text{t}$	潜在资源量/ $\text{t}$	成矿率	已探明储量/ $\text{t}$
穆龙套金矿区	20 000	500	1.2	86 400	8 640	10 %	5 000 ~ 8 000
胶东金矿区	10 000	500	1.2	21 600	2 160	10 %	1 300

T-UA1 异常位于吐鲁番盆地西南缘艾丁湖南侧,核工业总公司正在勘探的十红滩可地浸砂岩型铀矿就位于该地球化学省内,已探明的储量超过 10 000 t.如果按目前已经钻探的深度 500 m 计算,这一地球化学块体内铀的总量可利用式(1)求得:

$1\,194\times10^6\text{m}^2$ (地球化学块体面积) $\times500\text{m}$ (地球化学块体厚度) $\times2.2\text{t}/\text{m}^3$ (砂岩密度) $\times3.9\times10^{-6}$ (地球化学块体内活动态铀平均含量) $=5\,122\,260\text{t}$ 。

根据目前已探明铀的储量 10 000 t 计算,我们可以大致估算这种砂岩型铀矿的成矿率 $=10\,000\text{t}/5\,122\,260\text{t}\times100\%\approx0.20\%$ 。这是最低的成矿率,随着勘探程度的加大,成矿率还可以提高。根据这一成矿率我们可以初步预测出其它 3 个地球化学省的潜在铀资源量(表 3)。根据这一估算,整个吐哈盆地潜在铀资源总量可达 70 000 t 以上,其中哈密盆地与吐鲁番盆地 3 个铀异常总和相当。

(2) 金矿的评价:需要指出的是,不同元素的成矿率差别极大。如金在地壳中含量虽然较低,但它的富集能力极强,即它的成矿率较高。根据我们从已知金矿的统计结果发现,金的成矿率可达 10 %左右,就是说可被利用的金有 10 %能被集中一起最终形成有价值的矿床。表 4 给出了胶东和穆龙套两个大型矿集区的定量评价比较数据。从表 4 中可以看出:如果这两个地区的成矿率都是 10 %,那么胶东与穆龙套相比,勘探程度还是相对较低,应还存在较大找矿潜力。

图 4 是我们在山东全省利用活动态测量所圈定异常与全量测定所圈定的异常比较。活动态测量能

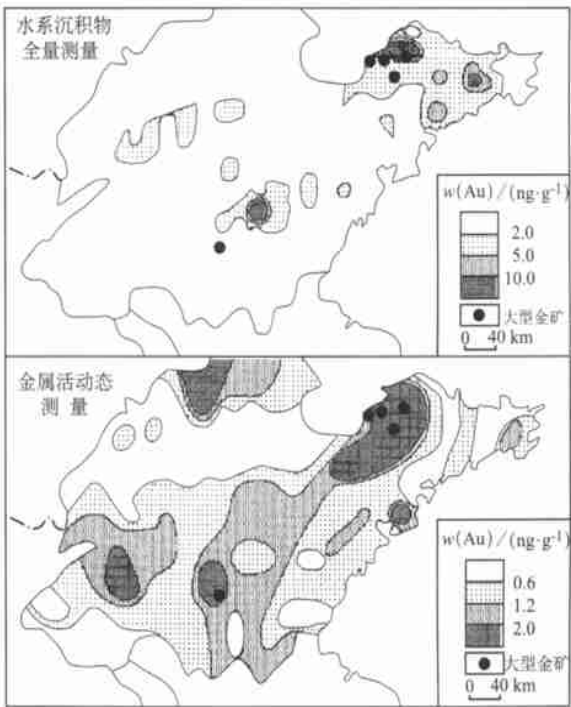


图 4 利用金属活动态测量与全量测量所圈定的金地球化学块体比较

Fig. 4 Geochemical blocks delineated by total Au and available Au analysis in Shandong, China

更好地反应山东全省金的巨量供应所在地和潜在的找矿方向。

4 结论与讨论

控制矿床形成规模主要取决于两方面因素:物质与环境。对于同样的有利环境,有的地段有矿,有

的地段无矿,有的地段有大矿,而有的地段只有小矿。那么控制矿床长大的“基因”是什么?成矿的最基本单元是元素,元素的量和质以及它们之间的排列组合的差别,可能就是控制矿床的类别和规模大小的“基因”。一个巨型矿床或一个大矿田的形成需要巨量的成矿物质供应作为基础,这种巨量的供应在浓集成矿过程中势必要留下巨大的轨迹,也就是在矿床或矿田周围形成的高含量地球化学块体。勘查地球化学正是通过各种手段去发现成矿物质这个基础。测定这种呈活动态的金属在地球化学块体中的含量并追踪其逐步富集的轨迹,比测定金属全量更能可靠地估计成矿金属的供应量,从而能更可靠地预测大型,甚至巨型矿床。但遗憾的是我们现在还停留在对元素全量的调查评价阶段,岩石中的全量再高但元素在其中是成稳定态存在的,就不易被流体带出、带入而成矿;相反岩石中即使全量相对较低,但可被成矿利用的活动态部分却相对较高,也容易成矿。所以我们应利用活动态金属提取技术,对一些有潜力地区进行重新评价,这样就可大大提高识别一个异常是否存在大矿的概率。尽管这还处于探索阶段,但初步的研究已发现极好的前景。

#### References[参考文献]:

- [1] WANG Xueqiu. Geochemical exploration for giant ore deposits [A]. XIE Xuejin, SHAO Yue, WANG Xueqiu. *Exploration Geochemistry Into the 21st Century* [C]. Beijing: Geological Publishing House, 1999. 35-47 (in Chinese). [王学求. 巨型矿床与大型矿集区勘查地球化学[A]. 谢学锦, 邵跃, 王学求. 走向 21 世纪矿产勘查地球化学[C]. 北京:地质出版社, 1999. 35-47.]
- [2] SILLITOE R H. Giant and bonanza gold deposits in epithermal environment: Assessment of potential genetic factors [A]. WHITING B H, HODGSON C J, MASON R. *Giant Ore Deposits* [C]. Kingston, Canada: SEG Special Publication, 1993. 125-156.
- [3] XIE Xuejin. New concepts and technology of exploration for giant ore deposits [J]. *Scientific Chinese*, 1995, 5: 15-17 (in Chinese). [谢学锦. 用新观念与新技术寻找巨型矿床[J]. 科学中国人, 1995, 5: 15-17.]
- [4] SEAGER R, MEYER M. Gold distribution in supercrustal rocks from Archean green stone belt of Southern Africa and complexes of European Alps: metallogenic and implication [J]. *Econ Geo*, 1982, 77(1): 1-24.
- [5] WANG Xueqiu. Leaching of mobile forms of metals in overburden: development and applications [J]. *J Geochem Explor*, 1998, 61: 39-55.
- [6] HAWKES H E. The downstream dilution of stream sediment anomalies [J]. *J Geochem Explor*, 1976, 6: 345-358.
- [7] XIE Xuejin. Geochemical prediction method for giant ore deposits [A]. XIE Xuejin, SHAO Yue, WANG Xueqiu. *Exploration Geochemistry Into the 21st Century* [C]. Beijing: Geological Publishing House, 1999. 61-91 (in Chinese). [谢学锦. 巨型矿床的地球化学预测方法[A]. 谢学锦, 邵跃, 王学求. 走向 21 世纪矿产勘查地球化学[C]. 北京:地质出版社, 1999. 61-91.]
- [8] WANG Xueqiu, XIE Xuejin. *Geochemical Exploration for Gold—Principle and Methodology, Strategy and Tactics* [M]. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 2000. 51-52 (in Chinese). [王学求, 谢学锦. 金的勘查地球化学——理论与方法 战略与战术[M]. 济南:山东科学技术出版社, 2000. 51-52.]

## A GEOCHEMICAL QUANTITATIVE ASSESSMENT MODEL AND APPROACH FOR LARGE ORE DEPOSITS

WANG Xue-qiu

(Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Langfang 065000, China)

**Abstract:** Mineral exploration activity is being focused on large or giant ore deposits. The main and quantitative difference between large ore deposits and small ones lies in the tremendous endowment and accumulation of elements for the formation of large ore deposits. The available contents of metals play the most important role in the formation of ore deposits. This paper describes a geochemical quantitative assessment model and approach for large ore deposits based on 3-dimension geochemical dispersion patterns and available metals for mineralization.

**Key words:** large ore deposit; geochemistry; available metals for ore formation; quantitative assessment approach