

巨型矿床与大型矿集区勘查地球化学*

王学求

(中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 廊坊)

提 要: 巨型矿床和大型矿集区有着巨量的成矿物质供应与聚集, 表现为地壳上存在某些成矿元素含量高度聚集的地球化学块体。地球化学块体中只有一部分呈活动态易被各种流体携带的金属才能逐步浓集成矿, 并在大矿、巨矿和矿集区周围留下一系列套合的地球化学模式谱系。文中阐述了发现和识别大矿、巨矿和矿集区四周套合地球化学模式的采样系统, 研制了能觉察地下深部发出极微弱直接找矿信息的深穿透地球化学方法——金属活动态测量与地球气纳微金属测量方法, 以及估算可被成矿利用金属量的方法。

关键词: 巨型矿床 大型矿集区 勘查地球化学

中图法分类号: P622+.3

寻找隐伏矿、特别是巨型矿床或世界级矿集区方面正在面临划时代的革新与挑战。著名勘查地质大师 Woodall 博士指出: “谁先拥有新技术、谁先拥有新的战略靶区, 谁就将成为踏上新区的第一人, 谁就将在与其它竞争者的竞争中取得优先权”^[16]。为了面对全球化矿产勘查向新区和隐伏区寻找大型巨型矿床的挑战, 近 10 年里以谢学锦院士为首的科研群体在提出了一系列与寻找巨型矿床和大型矿集区有关的勘查地球化学新概念、新理论和新方法^[2-7, 11-14, 16]。本文试图对这些概念、理论和方法做一系统的简要概述与总结。

1 与寻找巨型矿床和大型矿集区有关的新概念

1.1 巨型矿床和大型矿集区的概念

随着世界范围寻找世界级矿产勘查活动的展开, 近些年开始提出一些有关巨大规模矿床的概念, 包括超大型矿床、巨型矿床和世界级矿床。这些概念尽管提法有所不同, 但都是指储量巨大的矿床。那么一个矿床储量到底多大才算作超大型矿床或巨型矿床呢? Laznicka 给出了“吨位累计指数”(简称 t. a. i, 即一个矿床含有金属总量与该金属地壳克拉克值的比值), 他将 t. a. i 超过 10^{11} 的称作巨型矿床^[9]。我国涂光炽院士将超大型矿床定义为储量超过大型矿床 5 倍的称作超大型矿床^[1]。这两个定义对于有色金属和贵金属矿床非常吻合。如 Au 的克拉克值是 1×10^{-9} , 按照 Laznicka, 金的储量超过 100 t 即为巨型金矿。根据我国储委规定大型金矿的储量大于 20 t, 按涂光炽院士的意见, 超大型金矿的储量界限也是大于 100 t。但对于常量元素, 这二者区别较大。本文作者所研究的基本上都是针对有色金属和贵金属矿床的勘

* 国家攀登 (B85-34) 项目和地矿部跨世纪人才计划资助

作者简介: 王学求, 男, 1962 年生, 高级工程师, 从事勘查地球化学研究。邮政编码: 065000

1999-07-17 收稿, 1999-12-27 修改回

王学求, 1998. 寻找隐伏大矿、巨矿的勘查地球化学新理论新方法研究, 长春科技大学博士论文

查 (Cu、Pb、Zn、Ni、Au、Ag、Pt), 故采用 Laznicka 的“吨位累计指数定义。表 1 是 Laznicka 根据“t. a. i”划分的铜矿规模分类。作者根据 Laznicka 的 t. a. i 指数标准将金矿按储量规模大小进行了划分 (表 2)。

表 1 根据吨位累计指数对铜矿规模的分类

Table 1. Size categories of copper deposits based on tonnage accumulation indexes

规模	微型	甚小型	小型	中型	大型	巨型	超巨型
吨位累计指数	10 ⁶ 以上	10 ⁷ 以上	10 ⁸ 以上	10 ⁹ 以上	10 ¹⁰ 以上	10 ¹¹ 以上	10 ¹² 以上
规模/t	55	550	5 500	55 000	550 000	5 500 000	55 000 000

注: 引自 Laznicka, 1983^[9]

表 2 根据吨位累计指数对金矿规模的分类

Table 2. Size categories of gold deposits based on tonnage accumulation indexes

规模	微型	小型	中型	大型	巨型	超巨型
吨位累计指数	1/2× 10 ¹⁰	(1/2~ 1)× 10 ¹⁰	(1~ 2)× 10 ¹⁰	2× (10 ¹⁰ ~ 10 ¹¹)	10 ¹¹ ~ 10 ¹²	> 10 ¹²
规模/t	< 5	5~ 10	10~ 20	20~ 100	100~ 1 000	> 1 000

需要指出的是 Laznicka 所提出的巨型矿床, 并不意味着是单一的一个矿床, 而是包括一组矿床, 一个矿田, 一个矿区, 但不包括成矿带或成矿省。这一概念有些类似于澳大利亚学者提出的世界级矿集区和我国学者提出的大型矿集区。对世界级矿集区和大型矿集区, 虽然已成为不约而同的称谓, 但却没有明确的定义或定义非常模糊, 所以作者认为有必要赋予大型矿集区一个新的概念。作者将大型矿集区定义为: 在有限的面积范围内, 有若干个矿床产出, 但其中至少有一个应达到大型以上规模, 并且总的储量超过了巨型矿的规模。规模的标准是采用 Laznicka 的吨位指数, 面积限定于几十至几百平方公里范围内。

1.2 巨量成矿物质的供应与聚集

巨型矿床和大型矿集区形成的必要条件是要有巨量的成矿物质的供应与聚集。地球上一些巨大的成矿带很可能都是富含巨量某种金属的地球化学块体, 有了这样巨量的金属供应才有可能在漫长地质时期内, 经过不同规模的各种地质过程, 逐步富集成矿。这种巨量的物质供应源可能是地壳演化过程中不均匀性富含某些金属的块体, 也可能是地幔来源物质, 也可能是来自于天体的加入。

1.3 套合地球化学模式谱系

套合地球化学模式谱系是指一系列由高到低多层套合异常组成的地球化学异常分布模式, 即局部异常被区域异常所包裹、而区域异常又依次被更大规模的地球化学省所包裹^[17]。从区域化探全国扫面计划我们发现在大型巨型矿床周围存在一系列套合的地球化学模式谱系, 从面积不到几平方公里的局部异常, 几十至几百平方公里的区域异常, 几千至上万平方公里的地球化学省, 甚至十几万至几十万平方公里的地球化学域。这种套合的地球化学模式谱系正是巨量物质供应与聚集的表现。从获得的资料证明在大矿巨矿和矿集区四周至少存在着 3 层套合的地球化学模式谱系, 即局部异常、区域异常和地球化学省; 而中小型矿床只存在局部异常, 最多存在几十平方公里小的区域异常。

1.4 地球化学块体

上述套合的地球化学模式是从二维平面的角度进行划分的,事实上套合的地球化学模式应具有三维立体的特征。为了表述这种具有立体结构和多层套合的大规模地球化学模式,谢学锦提出地球化学块体的概念,用以概括地球化学省以上规模的所有地球化学模式。

地球化学块体是指地壳上具有金属高含量的巨大金属异常块体。在地表平面上表现为具有一系列套合的从局部异常直到地球化学省甚至地球化学域的地球化学模式,在垂向上可能具有一定的深度,也就是说具有较大规模立体异常的地壳物质体。地球化学块体是由大型和巨型矿床或由一系列大小不等的矿床密集分布在四周所形成的异常。地球化学块体的提出对于研究可被成矿利用金属量,预测形成大型巨型矿床的可能性,以及潜在的资源量具有重要的意义。

1.5 成矿可利用金属

并非所有在地球化学块体内的金属量都能在成矿过程中被利用,只有呈活跃形式,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,从而我们提出了“成矿可利用金属”的概念^[14]。Seager 和 Meyer 在对南非金矿的研究后指出^[9]:“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 Au 对成矿几乎无意义”。谢学锦指出^[14]:“并不是地球化学块体中全部金属含量在成矿过程中都可以利用,只有那些易被多种流体带出的活动态部分金属才与成矿有密切关系,这里包括从亚微米至纳米尺度的超微细金属”。易被成矿利用的金属包括各种离子、络合物、原子团、胶体和超微细的亚微米至纳米金属颗粒。测定这种呈活动态的 AMOF 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能更可靠的估计成矿金属的供应量,从而能更可靠的预测大型、特大型甚至巨型矿床。

1.6 地球气纳微金属

从 1993 年开始谢学锦推测在世界各地都发现“geogas”的存在,那么这种气体就应该是全球性的,不仅存在局部异常,而且还应存在更大规模的异常,故将 geogas 称作地球气更为科学。我们在做地球气采样时,使用的滤膜孔隙是 $0.4\ \mu\text{m}$,即只有小于胶体以下的颗粒才能通过滤膜。在这种尺度上,从物理学角度上应是包括:胶体颗粒级 ($0.4\ \mu\text{m}$)、介观物质和纳米级物质 ($< 0.1\ \mu\text{m}$);从化学角度考虑应包括:离子、原子、分子、原子团、分子团和气溶胶。很难用一个简单的物理概念或化学概念进行概括。其实它们具有物理和化学上的双重意义。但我们可以抓住这些金属最本质的东西,从物理学角度来讲颗粒极小,可以称作超微细金属;从化学角度来讲含量极微,一般在 ng/g — pg/g 级,即 ng/g 含量水平以下。从以上 3 方面考虑,我们提出了地球气中纳微的概念,英文名称称作 Nanoscale Metals in Earthgas,简称 NAMEG (并且 NAMEG 这一名称已经获得了版权)^[13]。这里使用 nanoscale,而不用 nanometer (纳米),就是因为 nanoscale 这个词具有双重含意,一是物理学含意指金属颗粒尺度很小,超微细亚微米至纳米级;二是化学含意指含量极微,纳克级以下。只有这双层含意才能表达地球气测量的实质,因为地气中的金属不仅有颗粒的东西,而且也有离子态的东西或化合物,并且测量含量又是化学范畴的。

1.7 金属活动态

作者将金属元素的存在形式分为两部分^[14]:一类为稳定态形式(存在于硅酸盐和晶格

中), 另一类为活动态形式。金属的活动态形式可能有下列几种: ① 离子状态; ② 各种化合物和络合物形式; ③ 可溶性盐类; ④ 作为胶体形式吸附在土壤颗粒表面; ⑤ 呈离子或超微细颗粒吸附在粘土矿物表面或呈可交换的离子态存在于粘土矿物之中; ⑥ 作为离子或超微细颗粒吸附在矿物颗粒的氧化膜上或被氧化物包裹; ⑦ 作为独立的超微细亚微米至纳米级颗粒。活动态金属形式不仅作为离子或络合物的形式存在于各种载体中, 而且还大量作为超微细颗粒(亚微米至纳米)以物理形式被可溶性盐类、土壤胶体、粘土矿物、铁锰氧化物和有机物所吸附或包裹。这些活动态形式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。

1.8 直接信息地球化学勘查

直接信息勘查是指利用合理的采样技术, 借助于分析测试手段捕获矿化所发出的直接信息的地球化学勘查理论与方法。在矿产勘查史上风险最小、可靠性最大的是追索矿化露头或蚀变的找矿方法。在地表露头大部分被发现后, 地球化学方法继承了这种直接找矿的传统, 把辨认矿化直接信息的能力从人类肉眼的万分之几提高到百万分之几。根据地球化学异常圈出的异常是一种微矿化露头, 对找矿起了重大作用。现在借助于超灵敏的分析仪器地球化学方法将直接信息的分辨能力已提高到10亿分之几到万亿分之几。这种将辨认微弱矿化直接信息的能力进一步提高, 从而直接找矿的方法在矿产勘查史上将再度成为主导的方法。

1.9 深穿透地球化学

近年来各种“深穿透”技术取得了在隐伏区找矿的突破性进展, 包括瑞典、中国、俄罗斯、德国、捷克与法国实验的各种地气方法; 俄国、中国、美国实验的各种电地球化学方法; 加拿大实验的酶提取方法; 澳大利亚实验的活动金属离子方法以及我们提出的地球气与金属活动态测量方法等。笔者认为这些技术之间存在着有机联系, 它们只不过是发现某种共同迁移机制在地表形成不同现象的手段, 因此作者提出“深穿透地球化学”这一概念^[3]。将深穿透地球化学定义为研究能探测深部隐伏矿体发出的极微弱直接信息的勘查地球化学理论与方法技术。这一定义最主要包含着这样两层含意: 一是探测深度大, 至少应在百米以上; 二是测量的是直接找矿信息。

1.10 多层套合采样系统

多层套合采样系统是指在不同的勘查阶段, 使用不同的采样密度系统, 圈定巨量金属聚集所形成的地球化学块体及其内部套合模式结构的采样方法。这种套合采

表3 采样密度

Table 3. Sampling density

密度分类	采样密度	适用范围
高密度	1个样(< 1 km ²)	圈定局部异常或矿床异常或矿体定位
低密度	1个样(1~ 10 km ²)	圈定大的局部异常或区域异常
甚低密度	1个样(10~ 100 km ²)	圈定大的区域异常或地球化学省
超低密度	1个样(100~ 1 000 km ²)	圈定地球化学省以上规模的地球化学模式
极低密度	1个样(> 1 000 km ²)	用于全球填图

样系统包括从极低密度直到高密度采样(采样密度划分见表3)。极低密度采样和超低密度采样主要是指使用很稀密度的采样系统圈定大规模区域异常或地球化学省以上的战略靶区, 或用于全球地球化学填图, 或国土面积较大的国家地球化学填图。

2 寻找巨型矿床和大型矿集区的勘查地球化学理论基础

2.1 巨型矿床和大型矿集区存在巨量成矿物质供应与聚集

巨型矿床都存在成矿产物的巨量供应与聚集。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”^[10]。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不少某种成矿元素含量特别高的地球化学块体。

表 4 是我国利用区域地球化学填图在已知大型金矿和根据地球化学异常新发现的大型金矿集区周围所圈定的区域地球化学块体内所计算的金的聚集量,并按 10% 的金能富集成矿推测的储量。由表中可以看出,一个大型矿集区都有巨量的物质供应与聚集。

表 4 中国一些大型金矿或矿集区地球化学块体内金的聚集量

Table 4. Tonnage supply for a large or giant gold camp

地区	地球化学块体 面积/km ²	地球化学块体内 金聚集的总量/t	能形成有经济价值 矿床储量/t	已探明储量/t
穆龙套矿集区	20 000	86 400	8 640	5 000~8 000
小秦岭矿集区	10 000	6 480	648	500
胶东招掖矿集区	8 000	20 250	2 025	1 300

2.2 大矿、巨矿和大型矿集区存在套合的地球化学模式谱系(地球化学块体)

根据过去近 20 年地球化学填图,特别是中国区域化探全国扫面计划所取得的成果,发现在大矿巨矿周围存在一系列套合的地球化学模式谱系。这种套合的地球化学模式谱系正是巨量物质供应与聚集的表现。

图 1 是我国小秦岭地区用水系沉积物测量用 1.5 ng/g 作异常下限圈出面积达近

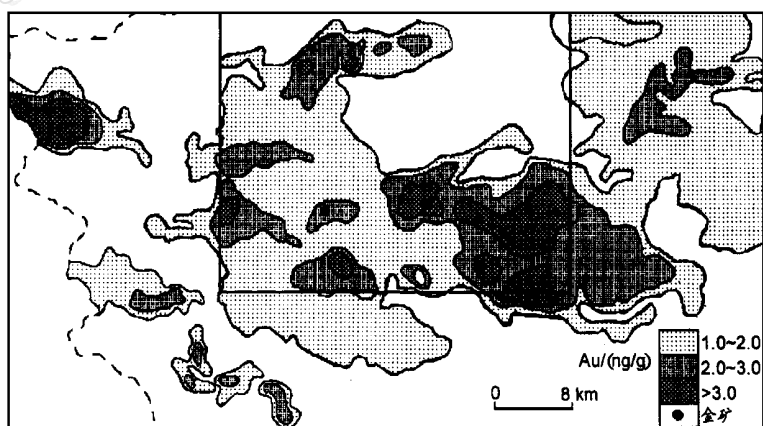


图 1 小秦岭地区金的套合地球化学模式谱系

Fig. 1. Hierarchically nested geochemical patterns of gold at Xiaoqinling region

10 000 km²金的地球化学省, 在这个地球化学省里包裹着用 2 ng/g 作异常下限圈定的面积大于 2 000 km² 以上的区域异常, 这个区域异常又包裹着若干个局部异常。这个地球化学块体位于河南省西部与陕西省东南部的交界处, 这一地区是我国利用地球化学方法取得金矿找矿突破所导致的大型金矿矿集区的发现的最成功实例之一, 已成为我国继胶东之后又一金矿重要产地。赋矿围岩为太古宇变质岩系 (绿岩带)。目前已发现各类金矿床 50 余处, 其中大型以上的就有 7 处, 累计探明黄金储量近 500 t。

2.3 套合的地球化学模式谱系可以被运移至地表形成叠加的模式谱系

这种大型巨型矿床和大型矿集区周围套合的地球化学模式谱系能否被运移至地表, 在地表各种次生介质中形成叠加的地球化学模式谱系是能否发现隐伏大型、超大型矿床的关键。

元素从深部矿体占位区向上迁移, 在地表覆盖物中形成叠加异常的机理一直是勘查地球化学工作者所关注和研究的焦点问题之一。一般认为元素可以通过下列途径被运移至地表: ① 风化过程中元素的物理和化学释放; ② 地下水循环将元素溶解带到地表; ③ 离子扩散作用; ④ 氧化-还原电位; ⑤ 蒸发作用; ⑥ 植物的根系吸收; ⑦ 气体搬运。这几种迁移途径在不太厚的覆盖区, 都会存在。但对于前 6 种机制, 最多只能迁移几十米的距离, 是不可能将深部几百米的成矿元素迁移至地表的。对于第 7 种迁移机理, 只有象汞等易挥发的元素才能迁移很远的距离。但大量的事实表明在几百米深的矿体上方存在金属元素异常, 说明我们对元素的迁移机理还不完全了解 (Coope, 1995)。Malmqvist 和 Kristiansson (1982) 指出: 通过矿体的微气泡流能将矿体中微量组分带到地表。

对于被覆盖的矿床, 地表异常的形成将主要以气体搬运为主, 因为其它营力, 都难以穿透致密岩石覆盖层。因此, 我们认为厚层覆盖物中异常的形成机制是: 地下深部存在上升的气体流, 当气体流通过矿体时, 将会把成矿元素和伴生元素的活动态部分 (离子、胶体、超微细亚微米和纳米级颗粒) 带到地表, 在地表被各种次生可溶性盐类、粘土、氧化物、有机物或胶体物质所捕获。上述迁移机理可以用图 2 加以概括。地球深部存在上升的气流, 气体成分主要是烃类气体、He、CO₂、N₂、O₂、Ar 等, 当上升气流经过矿体及高含量地球化学块体时, 将把成矿元素及伴生元素的活动态部分 (纳米级颗粒、胶体、离子和各种络合物) 捕获到微气泡表面, 或超微细金属颗粒呈弥散形式分散在气体中形成气溶胶与气体一起到达地表。由于金属是随气体一起迁移的, 因此具有沿微通道 (岩石裂隙、矿物间隙、大分子间隙等) 垂直迁移的特点, 形成顶部异常, 同时也可以沿宏通道构造迁移形成强烈的峰值异常, 但在无矿区, 即使存在宏通道也不存在气体中金属异常, 但可以形成普通气体 (Hg、He、CO₂、N₂、O₂、Ar) 异常, 这是地球气纳微金属测量与一般气体测量的最本质区别, 即地球气纳微金属与矿体存在直接对应关系, 而气体异常与矿体不一定存在对应关系, 它可以由构造引起。气体中所携带的金属在近地表可以被覆盖物所吸收或结合, 形成金属活动态异常。

3 寻找大型、巨型矿的勘查地球化学方法

3.1 寻找大型、巨型矿的采样系统

前文已经阐述, 大矿、巨矿或矿集区都有巨量成矿物质的供应与聚集, 这种巨量的成矿物质供应与聚集所表现的是在地壳上存在某些元素高度聚集的地球化学块体, 因此为了捕捉

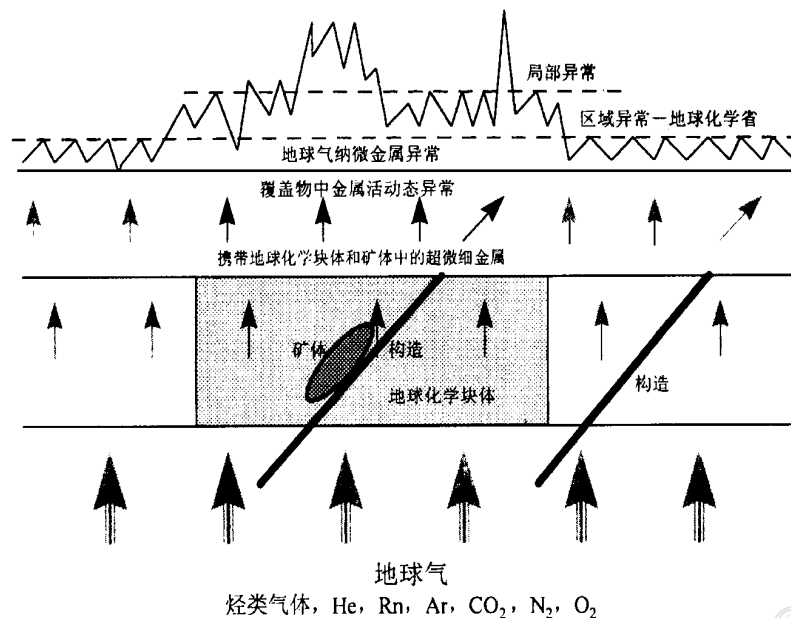


图 2 厚覆盖区地表叠加地球化学异常形成机理的综合模型示意图

Fig. 2. Conceptual model for the formation of superimposed geochemical patterns

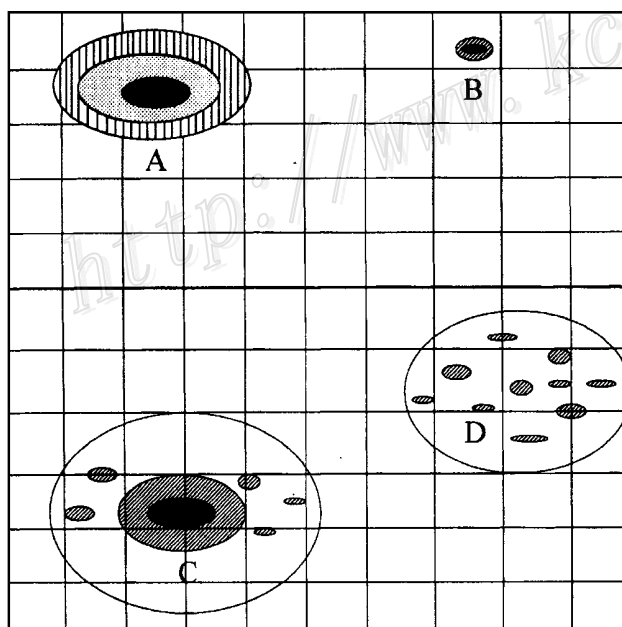


图 3 引起地球化学模式的几种类型

A—独立大型金矿引起的异常；B—独立的小型金矿引起的异常；C—含有大型金矿的矿集区引起的异常；D—若干小型金矿集中区引起的异常

Fig. 3. Geochemical patterns generated by different sizes of deposits or camps.

这些大规模的地球化学异常我们可以使用超低密度的采样方法，将有利于形成大矿、巨矿或矿集区的地球化学块体迅速筛选，即“疏网捕大鱼”；再逐步缩小靶区，沿着套合的地球化学模式谱系去追踪矿体。

大规模异常并不都是由大矿引起的，可能有如下 4 种情况：①由某一特殊地层或岩性引起；②由独立的大矿或巨矿引起（图 3-A）；③由含有大矿或巨矿的矿集区引起（图 3-C）；④由若干分散密集矿化的小矿引起（图 3-D）。

对于由岩性引起的异常，相对比较容易区分。首先岩性引起的异常变化非常平缓，没有明显的浓集中心，即没有套合的特点。二是比较可被成矿利用的供应量去区分由矿引起的还是由岩性引

起的。

由单一小矿引起的异常规模非常小,一般只有几个平方公里的局部异常。只要使用超低密度的采样系统,就会将其漏掉。从图3-B可以看到,假如我们的采样格子是大于 100 km^2 的超低密度采样,并且采样点是随机布置的,一个小矿引起的局部异常只有几个或最多十几平方公里,只占采样面积的十分之一。因此,一个采样点恰巧碰到小矿或小矿引起的局部异常概率是非常低的。即使偶尔落到局部异常范围内,也只能有一个点,所代表的异常面积也只不过与一个采样格子大小一致。而大矿巨矿的异常至少有几百平方公里,可以覆盖几个采样格子,因此至少会有几个点捕捉住异常。

对于A、C与D类异常的区分将更为困难一些,只凭超低密度采样系统是不够的。那么如何去区分一个大的异常是由单一的大矿引起的或含有大矿的矿集区引起的,还是若干小矿分散矿化引起的?

我们将上述C与D两类异常圈定出来,在圈定的区域进一步将采样密度加大,即将采样格子缩小(图4)。使用更高的异常下限,D类原来大规模异常就会消失,或当采样点碰巧落到小矿附近就会将其缩小成若干个局部异常,而不存在区域异常(图4-D)。而C类异常内由于仍然含有大矿引起的区域异常,即使大规模异常消失了,但大矿所套合的区域异常仍将依然存在(图4-C)。当然我们不可能象上述那么简单,只通过一步缩小就可以识别出含有大矿的异常与若干小矿引起的异常,往往需要几步工作才能做到。因此,我们可以通过不同的采样密度系统,去逐步识别含有大矿的异常与若干小矿引起的异常。

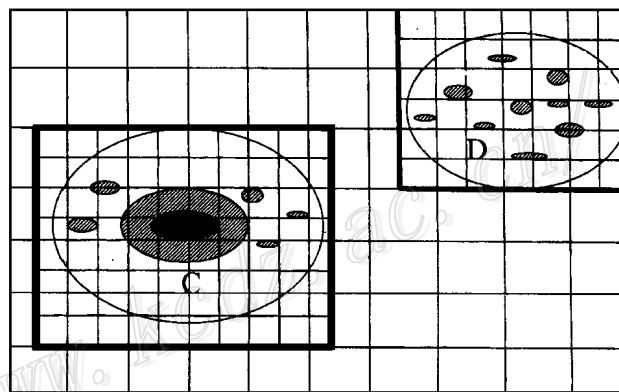


图4 识别含有大矿引起的异常与若干分散矿化小矿引起异常的采样系统

Fig. 4. Sampling system for the discrimination of anomalies generated by a large deposit or a number of small deposits.

3.2 利用可被成矿利用金属供应量对异常的评价与资源潜力的预测方法

巨型矿床存在巨量的物质供应,这种巨量的物质供应与聚集表现于形成套合的地球化学模式谱系,这样我们就可以利用地球化学异常来反过来推测成矿物质供应量。但这种成矿物质供应量并不是金属元素的全量,而是可被成矿过程中各种流体所带出金属元素的量。能被成矿所利用的部分包括各种离子、络合物、原子团、胶体、亚微米至纳米的金属颗粒。

我们利用金属活动态提取技术,包括水和各种弱的溶剂(模拟自然流体)去提取各种活动态的金属部分,就能获得可被成矿利用金属所占其总含量的比例。例如我们对山东胶东金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5)。需要指出的是不同元素或同一元素在各个地区可被成矿利用的含量是不一样的。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。

表 5 山东大尹格庄围岩中可提取金的量

Table 5. Available gold proportion in the wall rocks over the Dayingezhuang gold deposit

	水提取	吸附	自然金	氧化物	碳酸盐	硫化物	可提取量	不溶残渣	全量
含量(ng/g)	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

表 6 给出了我们所研究几个地区可被成矿利用金（活动态金）的异常下限，利用这一数值所圈定的异常面积，计算出地壳 300 m 深度地球化学块体中可被成矿利用金的供应量和能形成有经济价值金矿的潜在储量。并不是所有这些可被利用的金都能集中到某一有利部位形成有经济价值的矿床。如果是这样的话，它就不会在围岩中形成异常了。根据我们从已知金矿的统计结果只有 10% 左右的可被利用的金能集中一起最终形成有价值的矿床。

表 6 若干覆盖区可被成矿利用金的量和推测的金矿储量

Table 6. Available gold tonnage for mineralization in some terrenes

地区	异常下限/ 10^{-9}	异常面积/ km^2	金供应量/t	预测储量/t	已探明储量/t
穆龙套	1.2	50 000	86 400	8 640	5 000~8 000
胶东	1.2	20 000	21 600	2 160	1 300
南疆	1.2	25 000	27 000	2 700	20
川西北	1.6	2 400	3 450	345	110
桂西	2.4	2 100	4 536	450	0

注：异常下限是均值加 2 倍方差；储量预测是按深度 300 m 异常面积内地球化学块体金供应量的 10%；探明储量系根据《中华人民共和国黄金矿产图集》数据，穆龙套是根据作者 1994 年去穆龙套试验考察时听取有关人员介绍获得资料

3.3 深穿透地球化学方法

图 5 中 A 类是出露矿，B 类是盲矿，C 是半出露矿，其它 3 类 D、E、F 都是掩埋矿。对于 A 类矿床，由于矿体直接出露于地表，矿体组分可以被水系沉积物切割，经机械搬运而直

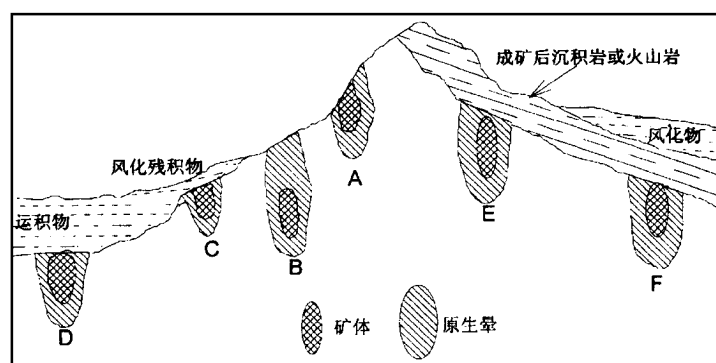


图 5 矿体产出的 6 种类型示意图

A—出露矿；B—盲矿；C—半出露矿；D—F—掩埋矿

Fig. 5. Sketch of categories of ore deposits.

接进入水系中, 所以异常的形成主要是以机械搬运为主, 使用岩石测量和水系沉积物测量可以很好地发现异常。

对B类矿床, 由于矿体围岩是早于矿体形成的, 故矿床形成过程中可以在岩石中沿裂隙形成渗滤或扩散晕, 所以这类矿床也可以称作地球化学出露矿。尽管发现这类矿床的概率大大降低, 但使用岩石测量和根据元素分带可以部分有效发现这类盲矿。

对C类矿床, 地表为浅风化残积物覆盖, 由于矿体上方覆盖物是原地风化残积物, 因此矿体组分可以通过风化直接残积于地表或风化过程中元素的化学释放被水、植物等营力搬运至地表。使用土壤和水系沉积物测量都可有效地发现异常。

D类矿床是被运积物所覆盖, 如果覆盖厚度不大, 各种营力包括地下水循环、离子扩散、氧化还原电位梯度、蒸发作用和植物作用等都可将矿床元素组分迁移至地表。但对于厚层覆盖, 这些作用可能难以实现, 气体的搬运可能起着主导作用。

E类矿床是被后来沉积岩或火山岩所覆盖, F类矿床是除了被后来沉积岩或火山岩所覆盖外, 还被后来运积物或深风化物所覆盖。对这两类矿床, 地表异常的形成将主要以气体搬运为主, 因为其它营力, 都难以穿透致密岩石覆盖层。因此, 我们认为厚层覆盖物中异常的形成机制是: 地下深部存在上升的气体流, 当气体流通过矿体时, 将会把成矿元素和伴生元素的活动态部分带到地表, 一部分金属仍将保留在土壤孔隙气体中, 另一部分在地表将被各种次生可溶性盐类、粘土、氧化物、有机物或胶体物质所捕获。

为了发现D、E和F这三类矿床, 首先就必须研制能发现矿体上方叠加地球化学模式的方法, 我们一直努力去建立和研制能觉察地下深部发出极微弱直接找矿信息的勘查地球化学新理论和新方法——深穿透地球化学方法。

国内外虽然先后诞生了许多深穿透地球化学方法, 但只有少数方法能被用于区域或战略工作中。寻找巨型矿床和大型矿集区对方法要求的一个重要前提, 就是方法能被用于战略性选区和逐步缩小靶区上。因此作者研制和使用了两种能用于覆盖区寻找大矿巨矿的战略性深穿透方法——金属活动态测量方法与地球气纳微金属测量方法。

参 考 文 献

- 1 涂光炽. 超大型矿床的探寻与研究的若干进展. 地学前缘, 1994, 1 (3): 45~ 53.
- 2 王学求. 寻找和识别大型特大型矿床的勘查地球化学理论方法与应用. 物探与化探, 1998, 22 (2).
- 3 王学求. 深穿透勘查地球化学. 物探与化探, 1998, 22 (3).
- 4 谢学锦. 用新观念与新技术寻找巨型矿床. 科学中国人, 1995, 5.
- 5 谢学锦. 论矿产勘查史——经验找矿. 科学勘查与信息勘查, 1997.
- 6 谢学锦. 矿产勘查新战略. 物探与化探, 1997, 21: 402~ 410.
- 7 谢学锦. 战略性与战术性深穿透地球化学方法. 地学前缘, 1998, 5 (2).
- 8 Laznka, P. Giant ore deposits: A quantitative approach. Global Techniques and Metallogeny, 1983, 2 (1~ 2): 41 ~ 63.
- 9 Seager R, Meyer M. Gold distribution in supracrustal rocks from Archean greenstone belt of Southern Africa and complexes of European Alps: metallogenic and implication. Econ. Geo., 1982, 77 (1).
- 10 Sillitoe R H. Giant and bonanza gold deposits in epithermal environment: Assessment of potential genetic factors. In: Whiting B H, Hodgson C J, Mason R ed., Giant Ore Deposits, 1993.
- 11 Wang Xueqiu, Xie Xuejing, Ye Shengyong. Concepts for gold exploration based on the abundance and distribution of

- ultrafine gold. *J. Geochem. Explor.*, 1995, 55 (1~3): 93~102.
- 12 Wang Xueqiu, Liu Dawen, Cheng Zhizhong, Xie Xuejing. Wide-spaced geochemical mapping for mineral exploration in concealed terranes. *The Proc. 30th Int'l Geol. Congr.*, 1996, 19: 127~140.
- 13 Wang Xueqiu, Cheng Zhizhong, Lu Yinxiu, Xu Li, Xie Xuejing. Nanoscale metals in earthgas and mobile forms of metals in overburden in wide-spaced regional exploration for giant ore deposits in overburden terranes. *J. Geochem. Explor.*, 1997, 58 (1): 63~72.
- 14 Wang Xueqiu. Leaching of mobile forms of metals in overburden: development and applications. *J. Geochem. Explor.*, 1998, 61: 39~55.
- 15 Woodall R. Past achievements and future challenges in mineral exploration: a pause for creative reflection. *Extended Abstracts, Geocongress'98, South Africa.*, 1998.
- 16 Xie Xuejing. Surficial geochemical expressions of giant ore deposits. In: Clark A H, ed. *Giant ore deposits II*, Kingston, Canada, 1995, 475~485.
- 17 Xie Xuejing, Yin Bingchuan. Geochemical patterns from local to global. *J. Geochem. Explor.*, 1993, 47: 109~129.

EXPLORATION GEOCHEMISTRY FOR GIANT ORE DEPOSITS OR WORLD-CLASS CAMPS IN CONCEALED TERRAINS

Wang Xueqiu

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

Key words: giant ore deposit, world-class camps, exploration geochemistry

Abstract

In recent years global mineral exploration activities are concentrating on giant ore deposits or world-class camps in concealed terranes. New concepts and low-cost efficient methods were developed to meet the real challenge for regional exploration of giant ore deposits or world-class camps in large unexplored or under-explored terranes.

These new concepts can be summarized as follows: geochemical blocks, hierarchical geochemical patterns, available metals for ore formation, tremendous endowment and accumulation of mineralization metals, direct information exploration, deep-penetrating geochemistry, nanoscale metals in earthgas, mobile forms of metals, holistic geochemical sampling.

From the studies it is concluded that the main difference between large or giant ore deposits and ordinary deposits lies in the tremendous endowment and accumulation of available mineralization metals for the formation of giant ore deposits. Thus, giant ore deposits are hosted by "geochemical blocks" with high abundance of metals in the earth crust and surrounded by a hierarchy of geochemical patterns from local, regional to provincial and even to domain scales while ordinary deposits may be surrounded at most by local or small regional

geochemical anomalies. This hierarchy of primary geochemical patterns can be carried to the surface and build up large regional superimposed geochemical patterns over concealed giant ore deposits at surface. The omnipresent earthgas generated from the earth's interior probably play the most important role in the process of transport of mobile metals from deeply concealed deposits.

Based on the above concepts and theoretical considerations, the author proposed a sampling system for the delineation of giant ore deposits, developed deep-penetrating geochemical methods—collection of Nanoscale Metals in EarthGas (NAMEG) and selective leaching of Mobile forms of Metals in Overburden (MOMEQ), and estimated available metal tonnage for ore formation.

丹麦哥本哈根大学 J. K. 马德森来华访问

在国家自然科学基金会和国家科委支持下, 国家自然科学基金委员会资助的国际合作与交流项目——“矿物及合成相中金的价态研究”丹麦方面参加人之一哥本哈根大学 J. K. 马德森先生于1999年12月18~28日对中国地质科学院矿产资源研究所进行了学术访问。

J. K. 马德森在矿产资源研究所举办了为期两天, 题为“流体包裹体数据解释”和“与流体体系有关相图及其应用综述”的讲座。J. K. 马德森是国际著名的矿物流体包裹体专家, 是北欧协作网负责人之一, 在北欧地区和格陵兰碱性岩、变质岩和矿床矿物中流体包裹体和熔融包裹体研究方面有许多成果, 特别在应用已有的流体体系相图对流体包裹体成因意义进行深入探讨方面有较高造诣。他的报告内容丰富, 深入浅出, 在提高流体包裹体研究水平方面实用性很强。吸引了从事流体包裹体及矿床研究专家参加, 我所有经验的流体包裹体专家也与他进行了深入的交流和热烈的讨论, 使矿产资源所在学术方面出现了近年来少有的活跃气氛。讲座中还有中科院及石油大学等单位来宾参加。专家的浓厚兴趣使得本讲座进行得圆满成功。马德森先生本人对这次学术活动也非常满意。

在张家口金矿以及中国地质科学院地质研究所邱小平研究员大力支持下, 外宾与我方合作项目组人员共同对小营盘金矿进行了野外考察, 并采集了标本。双方将在矿物学和流体包裹体方面开展研究, 并与正在共同合作研究的同一矿田内之乐坪金矿进行对比。

(中国地质科学院矿产资源研究所 李九玲)