

· 学术论文 ·

## 金银的地球化学与成矿学

Ю·Г·谢尔巴柯夫

(俄罗斯科学院西伯利亚分院

新西伯利亚地质、地球物理、矿物学联合研究所)

本文列出各种主要类型岩石和陨石中金、银及与之共生的主要元素之平均含量(最具代表性的均衡含量),这些数据是以元素宇宙地球化学为基础,如亲氧性、亲硅铝性、离心性、亲石性、亲硫性、亲铁性和地壳中标准含量等性质为基础。指出矿床或成矿省中贵金属元素及与之相伴的金属元素分布的相关性,这一关系主要取决于元素的地球化学性质和成矿条件。按元素的铁镁性、硅铝性及成矿作用的不同相条件划分出不同类型矿石中上述元素的标型性关系特点,提出了金、银矿床的地球化学分带性、构造的一般规律性,对于找矿和预测具有重要意义。

**关键词** 金 银 地球化学 成矿学

本文主要涉及金、银矿床形成的地质条件、分布规律、组成和矿化元素地球化学性质及构造等问题。为此,首先应当进一步确定金、银及与之共生的元素在主要的类型岩石和陨石中最具代表性的平均含量。根据已发表的权威性有关岩石中元素的平均含量方面的著作,如F·克拉克、G·华盛顿、V·哥尔德施米特、B·П·维尔纳茨基、A·E·费尔斯曼、A·П·维诺戈拉多夫、C·P·台罗尔、A·A·别乌斯、Л·B·塔乌松等。此外,利用俄罗斯科学院西伯利亚分院地质地球物理和矿物学研究所地球化学研究室多年来积累的大量分析数据,同时,按国际分析标准,将世界上其它权威性实验室的数据资料进行了计算机处理和分析。

下面列举各种类型岩石中元素的含量,在地球化学系中各个元素的含量变化及相应的周期性变化特点符合于门德雷也夫元素周期律(谢尔巴柯夫,1965)。

作者建议使用下列的一些名词概念:*HC*—元素的平均地壳标准含量。按定义地壳中元素的平均含量应当是加权平均值,即按不同类型岩石量,其所含数量之加权平均计出。但是,这样方法不仅工作量浩繁,而且由于地壳的构造和组成模式各异,计算出的结果必然相差甚远。为了避免或减少上述地球化学计算评价的误差和繁琐,按V·哥尔德施米特等地球化学家的意见,作者应用玄武岩类岩石中元素的平均含量作为代表洋壳中平均含量;元素在粘土页岩中的平均含量代表大陆地壳中平均含量。上述平均值实际应用起来十分方便,原因是它们代

表地壳相对的主要稳定组分之中间值。上述数据之间的差额可用来作为确定元素硅铝性的对应指标,  $C/\nu > 1$ , 其中  $C$ —粘土页岩中该元素的平均标准含量、 $\nu$ —玄武岩类岩石中该元素的平均标准含量。与之对应, 也可作为元素铁镁性的指标 ( $C/\nu < 1$ )。

在分析金、银分布的规律和成矿特点时, 也应用元素的地球化学性质的系数, 如亲氧性 ( $\nu/Ch$ ), 其中  $Ch$ —代表未分异的石陨石中该元素的平均含量; 元素的离心性 ( $C/Ch$ )、原活动性 (喷气活动性) ( $Cl/Ch$ , 其中  $Cl$ —代表碳质球粒陨石中该元素的平均含量;) 等。上述系数的概念已在 1982 年作者的一篇文章中有详尽的论述。

金、银矿床的全球性和局部性的地质形成条件、构造、组成的主要差别取决于上述元素及与之共生的元素在自然界中地球化学性质上的差异、分布特点及总趋势。虽然, 银的原子序数比金低的多 (表 1), 在未分异的石陨石中, 银的平均含量 ( $^{107}\text{Ag} = 130 \times 10^{-9}$ ) 比金的平均含量 ( $^{197}\text{Au} = 200 \times 10^{-9}$ ) 低。按 B·B·谢尔巴纳的意见, 上述差距更大, 即:  $\text{Ag} = 6.10^{-6}\%$ 、 $\text{Au} = 2.10^{-5}\%$ 。而在碳陨石中 ( $Cl$ ), 银的平均含量已超过金 (表 1); 在大陆地壳中, 如粘土页岩中, 银的平均含量高出入达百倍或更高。上述元素在宇宙、陨石及内壳中的分布特性相差如此之大, 表明金、银在地质作用发展过程中再分布趋势的巨大差异, 如向地球深部金的富集呈增长趋势, 而银则与之相反, 即向地表呈增长趋势。金的离心性  $C/Ch = 0.01$ 、而银的  $C/Ch = 1.5$  (表 2)。

在不同地球化学系形成过程中, 一般金多在根部相富集, 而银则一般更富集于分枝相。

已知的金、银矿床总量之比及其已开采量之比分别为 1:20 及 1:10, 这一比值接近于地壳中的比值或宇宙及陨石中的对应比值差 2 个数量级。作者认为: 此种类型矿石中矿质可能来自壳层。各个成矿省和矿床的对比表明, 大多数情况下, 金矿床几乎均产出于古铁镁质杂岩中; 而银矿床则大多产于相对较年青的硅铝质岩石中, 与之相应, 上述元素在各种组成、时代的岩石中的平均含量和分布特点也与上述结论相一致。

金、银及其与之伴生的金属元素在矿石中的含量实际上也取决于它们在不同类型矿化围岩中的含量 (表 1)。例如, 在基性岩省中, 金与亲铁镁性元素 (Fe、Cu、Zn 等) 更易于一起伴生; 又如, 在哈萨克斯坦、乌兹别克、维尔霍扬及扬诺—卡雷姆等地的片岩杂岩中, 银、铅、锑、砷等元素的最高平均含量出现于粘土片岩中, 特别是碳质片岩中。在矿床围岩或矿石中, 金、银及与之相伴生的金属元素之间在组成上的紧密联系和数量上的比值关系, 表明上述元素, 在成矿作用过程中, 不仅来自壳内, 而且也可能来自局部围岩。元素地球化学性质的系统分析可能揭示出上述金属元素矿化集中和分布规律性等原因。

元素的相对亲铁性、亲硫性及亲石性可看作是该元素在自然金属元素、陨硫铁及陨石硅酸盐相中的百分含量, 而且在金属矿床中, 上述性质决定了元素富集的最佳、最常见的矿物形式。例如, 金具有明显的亲铁性 (89%), 与此相应, 在矿石中金主要呈自然金出现; 而银则具有主导的亲硫性特点, 因此, 在矿石中银主要呈硫化物形式出现。故现代银的生产量之 80% 来自多金属及其它金属矿床中的硫化物精矿; 而自硫化物矿床顺便开采的金 (其中包括自然金) 一般平均不超过 20%—30%。

银的亲石性比金高出 2 倍还多, 与之相应, 银的硅铝性 ( $C/\nu = 5$ ) 比金高出 1 个多数级, 因此, 与玄武岩类相比银主要富集在片岩中 (表 2)。在最早期陨石阶段, 元素的上述性质反映在分异的球粒陨石中, 银最大限度地富集于低铁的陨石中, 具原硅铝性系数  $L/H = 1.8$

表 1 金银及与之共生的主要元素在岩石中的平均含量(10<sup>-6</sup>)  
(按谢尔巴柯夫 Yi. G.)

Table 1. Average content of gold and silver, main associated elements in rock

| HC | 超基性岩  | 辉长岩—玄武岩(V) | 闪长岩—安山岩 | 花岗岩—流纹岩 | 正长岩   | 碳酸盐岩<br>石粘土岩 | 片岩    | 碳质球粒陨石<br>(CI) | 球粒陨石<br>(CH) |
|----|-------|------------|---------|---------|-------|--------------|-------|----------------|--------------|
|    |       |            |         |         |       |              | (C)   |                |              |
| Ag | 0.12  | 0.01       | 0.04    | 0.045   | 0.05  | 0.08         | 0.25  | 0.18           | 0.13         |
| Au | 0.003 | 0.008      | 0.004   | 0.003   | 0.002 | 0.001        | 0.001 | 0.15           | 0.2          |
| As | 6     | 5          | 2       | 2.3     | 1.5   | 1.4          | 1     | 1.7            | 0.3          |
| Ba | 250   | 4          | 140     | 380     | 630   | 1200         | 10    | 2.5            | 6.0          |
| Bi | 0.15  | 0.001      | 0.007   | 0.008   | 0.03  | 0.04         | ?     | 0.11           | 0.003        |
| Co | 35    | 150        | 40      | 10      | 3     | 1            | 0.1   | 480            | 800          |
| Cu | 66    | 10         | 87      | 40      | 20    | 5            | 4     | 127            | 100          |
| Fe | 6.6%  | 9.5        | 8.6     | 5.5     | 2.7   | 3.7          | 0.8   | 18.4           | 25           |
| Hg | 0.04  | 0.016      | 0.05    | 0.03    | 0.03  | 0.02         | 0.03  | 20             | 3.0          |
| Mo | 1.7   | 0.3        | 1.0     | 1.2     | 1.7   | 3            | 2.7   | 1.4            | 0.6          |
| Ni | 100   | 2000       | 130     | 50      | 10    | 4            | 25    | 1.03           | 1.35         |
| Pd | 13    | 1          | 6       | 13      | 21    | 12           | 9     | 1.94           | 0.2          |
| Sb | 1.1   | 0.1        | 0.2     | 0.4     | 0.6   | 1            | 0.2   | 0.14           | 0.1          |
| Sn | 3.7   | 0.5        | 1.5     | 1.6     | 4     | 4.2          | 0. N  | 1.6            | 0.35         |
| Te | 0.035 | 0.002      | 0.01    | 0.01    | 0.015 | 0.0047       | 0.02  | 3.04           | 0.5          |
| W  | 1     | 0.1        | 0.8     | 1.2     | 2.5   | 1.8          | 0.6   | 0.2            | 0.15         |
| Zn | 125   | 50         | 155     | 75      | 60    | 122          | 30    | 303            | 50           |

HC—在地壳中元素的标准平均含量,即玄武岩类岩石与片岩中的平均含量

$$HC = \frac{V+C}{2}$$

HC—Normal average content of element in the Earth crust i. e. mean content of element in basalt and schist

(其中  $L$ —元素在低质球粒陨石中含量、 $H$ —元素在高铁质球粒陨石中含量); 对于亲铁镁的金元素来说, 金在球粒陨石中的富集比值  $L/H=0.76$ 。与之相应, 金主要与铁镁性 ( $C/v < 1$ ) 的金属元素一起富集于绿岩带中, 如乌拉尔、加拿大、巴西、西澳地盾及印度、格陵兰等地。当围岩的硅铝性增大时, 相应地, 矿石中银及与之伴生的亲硅铝质金属元素—铅、砷、锑、钼、铋、碲、钨等 (有时还有锡) 的含量亦增加, 这一规律明显地见于秘鲁、玻利维亚、萨克森、萨拉依尔、阿尔泰、维尔霍扬及中国吉林等地。

表 2 金银及与之共生的元素的地球化学性质和离子密度

Table 2 Geochemistry and Ion density of gold and silver, associate elements

| di | $Cl/Ch$          | $v/Ch$ | $C/V$ | $C/Ch$ | $l(\%)$ | $x(\%)$ | $C(\%)$ | $P/HC$ |       |
|----|------------------|--------|-------|--------|---------|---------|---------|--------|-------|
| Ag | +1)17.9          | 1.4    | 0.3   | 5      | 1.5     | 0.2     | 81      | 18.8   | 100   |
| Au | +1)18.3+3)75.0   | 0.75   | 0.02  | 0.5    | 0.01    | 0.1     | 10.9    | 89     | 500   |
| As | -3)2.56; +3)54.5 | 5.7    | 0.95  | 5.0    | 4.7     | 1.5     | 72.8    | 25.7   | 20    |
| Ba | +2)12.5; 0.64    | 36     | 2.6   | 94     | 100     | 7       | 7       | 10     |       |
| Bi | -3)5.14; +3)28.8 | 6.8    | 0.44  | 43     | 19      | 0.8     | 79.4    | 19.8   | 100   |
| Co | +2)29.7; +3)53.7 | 0.6    | 0.04  | 0.75   | 0.03    | 2       | 2       | 96     | 100   |
| Cu | +1)16.1; +2)29.7 | 1.27   | 0.87  | 0.5    | 0.4     | 0.1     | 61.6    | 38.3   | 100   |
| Fe | +2)26.0; +3)44.5 | 0.74   | 0.34  | 0.53   | 0.18    | 10      | 36      | 54     | 4     |
| Hg | +1)14.7; +2)34.2 | 6.6    | 0.016 | 0.7    | 0.011   | 5       | 95      | 1?     | 25000 |
| Mo | +4)73.0; +6)83.6 | 2.3    | 1.7   | 2.4    | 4.0     | 9       | 36      | 55     | 600   |
| Ni | +2)34.6          | 0.8    | 0.009 | 0.54   | 0.005   | 1.3     | 1.2     | 97.5   | 100   |
| Pb | +2)24.8          | 9.7    | 30    | 3.3    | 99      | 2.5     | 25.5    | 72     | 700   |
| Sb | -3)2.91; +3)40.0 | 1.4    | 2     | 7      | 14      | 1       | 79      | 20     | 10000 |
| Sn | +2)26.7; +4)94.6 | 5      | 4.2   | 4      | 16.8    | 4       | 13      | 83     | 100   |
| Te | -2)3.24; +4)43.4 | 0.006  | 0.02  | 6      | 0.12    | ?       | 100     | ?      | 600   |
| W  | +4) 140.0        | 1.3    | 5.3   | 1.5    | 8       | 69      | ?       | 31     | 1000  |
| Zn | +2) 27.3         | 6      | 3.1   | 0.6    | 1.9     | 0.2     | 92.8    | 7      | 300   |

$di$ —离子密度 ( $di=A/4/3 \times 3.1415g \times ri^3$ );  $Cl/Ch$ —射气活动性;  $v/Ch$ —亲氧性;  $C/v$ —硅铝性;  $C/Ch$ —离心性;  $P/HC$ —矿化富集度;  $Cl$ —碳质球粒陨石中元素的平均含量;  $l$ —亲石性;  $X$ —亲硫性;  $Ci$ —亲铁性;  $C$ —粘土页岩中元素的平均含量;  $Ch$ —未分异球粒陨石中元素的平均含量;  $v$ —辉长岩中元素的平均含量;  $P$ —矿石中元素的最低含量;  $HC$ —元素的标准平均地壳含量  $HC = \frac{V+C}{2}$ ;  $A$ —原子量;  $ri$ —不同价的离子之半径 ( $10^{-8}cm$ )

$di$ —ion density ( $di=A/4/3 \times 3.1415p \times ri^3$ );  $Cl/Ch$ —mobility (activity) of emanation (射气活动性);  $v/Ch$ —Oxyphile;  $C/v$ —Sialic;  $C/Ch$ —Centrifugal;  $P/HC$ —degree of mineralization & Concentration of mineralization;  $Cl$ —average containing of element in the carbonaceous chondrite;  $l$ —Siderophile;  $X$ —Sulphophile;  $Ci$ —ferrophile;  $C$ —average containing of element in argillaceous shale;  $Ch$ —average containing of element in non-differentiated chondrite;  $v$ —average containing of element in gabbro;  $p$ —minimum containing of element in the Ore;  $Hc$ —normal average containing in earth crust  $HC = \frac{V+C}{2}$ ;  $A$ —atomic weight;  $ri$ —Ionic radius of Various Valence

硅铝性系数 ( $C/v$ ) 对于元素的外生分离作用具有重要影响, 大多数元素的硅铝性系数介于 1—2 个数量级之间。亲氧性系数 ( $v/Ch$ ) 反映最早期阶段 (及高温阶段) 元素分离的趋势, 反映物质分异作用为金属、硫化物及硅酸盐等组分的趋势。金的亲氧性系数 ( $v/Ch=0.02$ ) 很低, 同时, 金的亲铁性系数很高 (89%)、硅铝性系数很低, 表明, 大部分金应富集于地幔、地核的 Fe—Ni 相的物质中。作为金的特征性伴生元素, 如 Cu、Ni、Co、Zn 等元素在铁镁质岩石中也具有上述的地球化学特征 (表 2)。银以较高的硅铝性、亲氧性和亲硫性而不同于金,

而且,银主要富集于硅铝省矿床的分枝相带的硫化物、硫盐矿化带中,与Sb、As、Mo一起集中于方铅矿、重晶石中(表3)。此外,元素的射气活动性( $Cl/Ch$ )、离心性( $C/Ch$ )、矿化富集度( $C/HC$ )及离子密度( $di$ )也是重要的指标型信息。总体上看,金、银之间的矿化作用具有实质上的差别,例如,在很大程度上,元素离子密度( $di$ )增长的顺序性与金、银矿床外分枝相带中富含Sb、Ag、Zn及Hg的热液地球化学分带性柱状剖面对应;而Cu、Co、As、Ni、Fe等元素则一般富集于根部相带中(表2、3)。

在金属矿床的地球化学分带中变价元素占有特殊的位置,特别是As、Bi、Te等离子密度大的元素。上述元素的低价矿物中多含有其它的离心性元素如Ba、Pb、U等,此种矿物多出现于矿体的分枝相中;含有上述元素的高价矿物多形成于矿体的根部相中,而且多是在高能量条件下进行的。这种情况下,矿石中上述元素的平均含量一般于矿脉的不同深部可以保持同一数量级的水平。例如,在印度科拉尔矿床地表下3000m的深部Bi、Te的含量与其上部的含量相近。

银的矿化富集度系数( $P/HC$ )比金低5倍,原因是银的亲硫性(81%)远远大于金(10.1%),与之相应,银在硫化物中的分散程度比金更高。因此,金在硫化物(特别是黄铁矿)中可形成高含量,在重砂分析中黄铁矿可作为重砂异常晕中寻找金矿床的重要标志。

作者首先提出应用原硅铝性系数( $L/H$ )的概念。实际上,内地壳元素分异过程中,元素即已分为硅铝质和铁镁质两种类型。对于金来说,金的 $L/H$ 比银低2倍以上,与银所具有明显的原硅铝性( $L/H=1.8$ )相反,金具有典型的铁镁性特点。在地壳岩石中,上述性质上的差别具有急剧增大的特点,如银的硅铝性( $C/\nu=5$ )比金( $C/\nu=0.5$ )大10倍。金银的原离心性也存在有很大的差异。原离心性即元素在高钙质无球粒陨石中的含量与低钙质无球粒陨石(特别是橄辉无球粒陨石)中的含量之比值,该比值的增大特别明显地出现于基性岩、超基性岩的对比上。金、银及其它元素在不同类型岩石及陨石中的含量对比可清楚地表现出元素分布的主要趋势,并且可用来检验和校正分析数据平均值的代表性。

图解以硅铝性 $C/\nu$ 和离子密度 $di$ 为纵、横坐标,清楚地表示出各种含金、银矿石建造的空间地球化学场的特征,其中每个场范围内可以划分出数个单独的铁镁、硅铝及其中间的过渡组合,具有各自的地球化学和矿物学分带性特点。上述特点对于热源相对不深、矿化延深较小的矿床来说是颇具特征性的。对于与深成热源相关的金矿床(如加拿大、西澳、印度等地盾区金矿床)来说,此种地球化学分带性一般不明显,但是,矿物学分带性特点则清晰可见。在该图解上,矿石组成的分析表明,沿 $di$ 轴共生组合场越窄,则成矿作用过程中地等温线向深部延伸越大;与之相应,矿石的组成越接近于单矿物成分组合。地等温线的相互接近和成矿作用的多期性则导致共生组合范围的扩大。沿 $C/\nu$ 坐标轴共生组合场的范围大小和位置取决于成矿作用介质岩石的硅铝性的高低。

上述关于矿石中各个元素含量和比值变化的趋势主要取决于矿床围岩的组成和各个矿物世代析出的热动力学条件,而且对于主矿化阶段中元素的相对富集及其变化规律具有决定性影响。元素的相对富集系数的增大的显著趋势与元素的地球化学性质的差异及成矿作用过程中元素再分布作用的总能量成正比,这一趋势对于找矿具有标志性意义(表3)。一般情况下,在更富、规模更巨大的矿体或矿床中,上述元素富集系数数值将趋于增大。矿石中贵金属品位由矿化作用初期的根部相至后期的主干相及分枝相亦呈规律性地增长,在分枝相部位常常形

表 3 金、银矿脉分布、形态与组成的关系 (按 Yi · G · 谢尔巴柯夫)  
Table 3 Relation among distribution, form and composition in gold and silver ore deposits

| 相  | 矿石形态类型 | Au<br>(10 <sup>-6</sup> ) | 矿石的形态类型元素的标准平均含量及比值 (化为整数) |        |                         |          | 不同介质、相中共生元素的地球化学分带性 |                     |
|----|--------|---------------------------|----------------------------|--------|-------------------------|----------|---------------------|---------------------|
|    |        |                           | 石英硫化物                      | OKX; Z | 不同地球化学介质矿石中<br>Xch; Zch | FeMg 质   | SiAl 质              | FeMg 质              |
| 分枝 | 脉及网脉   | 0.5                       | 10                         | Pb; Zn | 0.01—100                | 16—8000  | Hg, Cu(2), Mn, Ag   | AS, Se, Sb, Te, Bi  |
|    |        | 1000                      | 100                        | Co; Ni | 0.5—200                 | 1—300    | Au(2), Zn, Co       | Sa, Hc, Ag, Au, Pb, |
|    |        |                           |                            | Ag; Au | 1—30                    | 3—10000  | Cu(1), Fe, Au(1)    | Sn                  |
|    |        |                           |                            | Mo; Cu | 0.1—10                  | 1—200    |                     |                     |
| 主干 | 脉      | 0.5                       | 1                          | Pb; Zn | 0.1—60                  | 2—1000   |                     |                     |
|    |        | 50                        | 10                         | Co; Ni | 0.2—100                 | 1—200    | Au(2), Zn, Cu, Fe   | Ag, Au, Pb, Bi,     |
|    |        |                           |                            | Ag; Au | 0.5—10                  | 0.5—1000 | Co, Ni, Au(1)       | To, As, Mo, Sn      |
|    |        |                           |                            | Mo; Cu | 0.05—5                  | 2—10     |                     |                     |
| 根部 | 浸染     | 0.5                       | 0.1                        | Pb; Zn | 0.4—10                  | 3—25     | Au(2), Zn, Cu, Fe   | Au(2), Bi, As, Te   |
|    |        | 5                         | 1.0                        | Co; Ni | 0.1—1                   | 2—20     | Co, Ni, Au(1), Pd   | Mo, Sn, Au(1)       |
|    |        |                           |                            | Ag; Au | 0.01—5                  | 0.3—20   | Os, Pt              |                     |
|    |        |                           |                            | Mo; Cu | 0.001—0.5               | 0.01—1.0 |                     |                     |

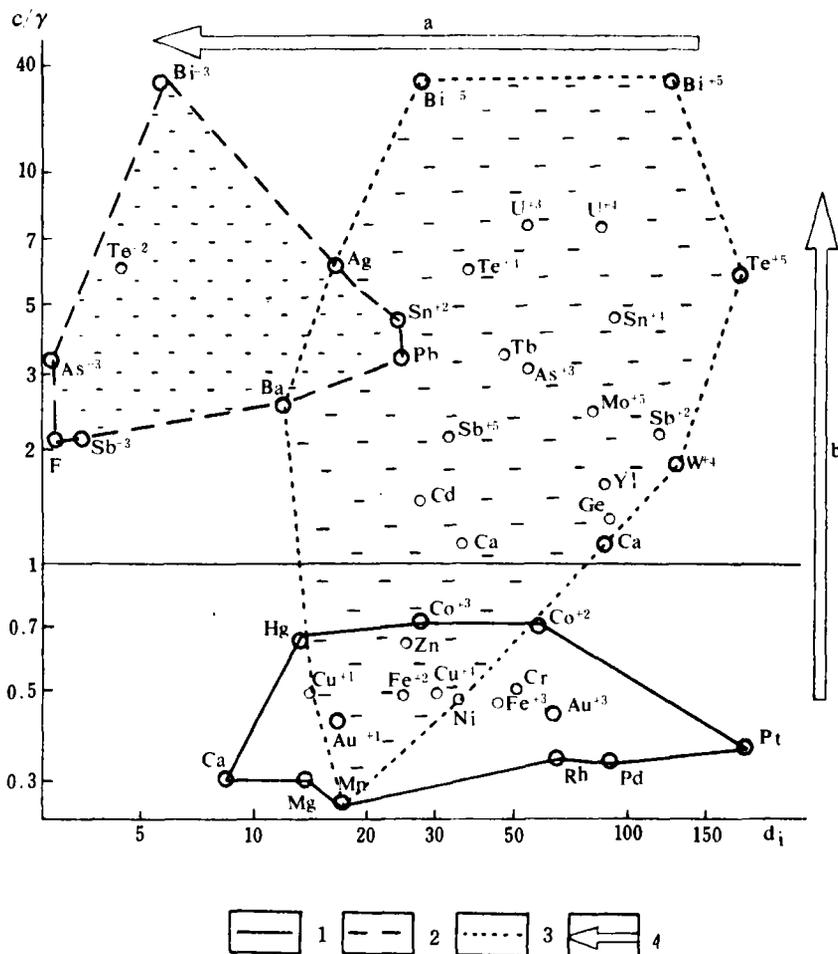


图 含金和含银矿石建造坐标系

Fig. Coordinate system of ore formation containing gold and silver

1—铁镁质；2—硅铝质；3—铁镁—硅铝质；4—析出顺序；a 为运移距离加大的方向及地球化学分带性；b 为硅铝性增长的方向

1—ferromagnetic；2—sialic；3—ferromagnetic—sialic；4—Order of deposition；a—the direction of migratory distance increase and geochemical zoning；b—the direction of sialic increase

成有品位达千克级以上的富矿囊 (Bonanza), 例如, 巴列依矿床曾开采出 1t 矿石, 其中含金达 270kg。同时, 还应指出: 矿石中硫化物的含量不仅取决于经受过矿化前淋滤作用岩石中铁的含量, 同时, 也与成矿作用之相的特点密切相关。由浸染状硫化物矿石为主的根部相经典型的脉状矿石之主干相到石英网脉状矿石为主的分枝相之过渡演变中, 硫化物与石英在数量上和份量上的比值呈下降趋势。

世界金、银矿床形成条件的相之归属和构造条件的分析表明, 有 2/3 以上的矿床与围岩的地球化学类型相对应, 其中 4/5 的金矿床之围岩属铁镁型, 并大多产于古绿岩带, 仅个别者产于年青的火山杂岩中。金矿床规模上的相互关系稍许有向更硅铝性位移的现象。例如, 维特瓦特尔斯兰德、中亚、西伯利亚、内华达州的卡林等巨型金矿床应归属于铁镁-硅铝型。巨大型金矿床的另一特点是多期性成矿作用, 即金的富集作用一般不少于 2 次不同成矿作用阶段, 其中包括沉积、变质、热液等作用。在总数 2/3 以上的金、银矿床中, 矿石中矿化金属元素的含量之间的对比关系与围岩中相应元素含量之间的对比关系一致, 即处于平衡状态, 表明贵金属元素具有地方局部来源之特点, 局部矿化围岩相应元素含量偏高。从早前寒武纪到新生代, 在平衡的相条件下, 根部相的金矿床所占的百分含量减少近 1/3; 而分枝相的金矿床所占的百分含量增加了近 3 倍。从而表明, 在最古老的杂岩体中, 成矿系分枝相部分由于剥蚀作用保存下来的最少。因此, 在年青的构造-建造带中, 分枝相矿床最为发育。大多数年青的再生型矿床多产于前寒武纪片麻岩隆起区的构造-岩浆活化带, 例如, 罗马尼亚、科罗拉多州的克里甫尔-克里克、阿尔丹地盾的库拉纳赫、中国东北的夹皮沟等地的金矿床。有关此种类型矿田的垂向地球化学分带性, 已为 15 世纪末以来有关 Ag、Au 开采的比值之统计资料所证实。自 1493 年以来的 500 年间, 随着山地工程的加深, 上述比值从 17.5 下降到 2.5。

作为主要的结论, 作者首先指出: 应当进一步确切地计算出金、银及与之共生的主要元素在不同类型岩石中的平均标准含量及其地球化学性质。同时, 应当分析研究上述元素在元素周期系中规律性变化特点。上述元素含量的分析研究对于矿床普查和远景评价具有重要的信息意义。

根据矿石中组成及金的伴生元素之间的相互比值可以揭示上述矿化元素来自成矿介质围岩, 并且具有继承性发育特点, 此种继承性由于分异作用而复杂化, 而且与各个元素地球化学性质之间的差异成正比, 自矿体的根部相向主干相至分枝相具有顺序性特点。因此, 应用相近元素的对比 (富集度对比值), 可以作为普查金矿床的标志或远景评价指标。在这种情况下, 应用效果实际上取决于矿床的地质-地球化学构成特点、成矿作用及与矿田岩石特点对比等全面评估。

各种元素性质的关系图解、矿床的成矿条件及地球化学分带性等图解和规律等也有助于揭示银、金的区域成矿作用的新规律。

本研究课题得以顺利完成有赖于 J·赛洛斯基基金会在物质上的支持, 作者在此表示深切感谢之忱。

## 参考文献从略

## COMPARATIVE GEOCHEMISTRY AND METALLOGENESIS OF GOLD AND SILVER

Scherbakov Yi. G.

*(Associated institute of geology, geophysics and mineralogy,  
siberian branch, academy of sciences of Russian)*

### Abstract

The average contents of gold and silver and main associated elements, which are contained in main types of rocks and meteorites are listed in this papers.

The datum are based on the element cosmogeochemistry, including oxyphile, sialiphile, centrifugal, siderophile, sulphophile, ferrophile and the standard contents in Earth crust etc. The author have indicated the correlation distribution between the precious metallic elements and associated metallic elements, which are abundant in ore deposits and metallogenic province, this correlation depends on the geochemistry nature and metallogenic conditions.

In the light of different facies condition of ferromagnesian, Sialic and metallogenic action, this paper has the standard correlation of the above mentioned elements belonging to different Ore deposits and has presented the geochemistry zoning of gold and silver deposits and the tectonic regularity.

It is an important significance to prospect of prognosticate ore deposits.

**Key words** gold silver geochemistry metallogenesis

**作者简介** 谢尔巴柯夫 Ю. Г. 生于 1927 年, 现任俄罗斯科学院新西伯利亚分院、新西伯利亚大学教授, 著名金矿地质学家、地球化学家, 曾著有“成矿省中金金的分布与富集条件”、“库兹涅茨—阿拉套和山区阿尔泰山矿床地球化学”等专著。通讯地址: 俄罗斯新西伯利亚市 (630090) 大学路俄罗斯科学院地质矿物地球物理联合研究所。