

金矿找矿矿物学的几个问题

徐光荣

(长春冶金地质专科学校)

提出了金的指示矿物找矿矿物学分类方案,即按指示矿物出现的频率与分布广度;按指示矿物与金矿体的空间关系;按同一种矿物在同一工作区内的找矿意义进行分类。

关键词: 金矿; 指示矿物; 找矿矿物学分类



岩矿工作

金的主要矿石矿物是自然金、银金矿或金银矿。这些矿物颗粒非常细小,凭肉眼或放大镜往往无法观察到。寻找金矿、尤其是内生金矿,只能凭借找矿标志,

并辅之以化学分析方法。肉眼可见的指示矿物,是金矿的重要找矿标志之一。金矿找矿矿物学,就是在金矿普查勘探实践中,随着金矿地质学、矿床学和成因矿物学等学科的发展,而逐步产生的,以金的指示矿物为主要研究对象的一门新兴学科。它与成因矿物学、标型矿物学有着密切的联系。

如何选择指示矿物,是金矿找矿矿物学的一个基本问题。其基本条件大体如下:

1. 指示矿物在空间分布和成因上与金矿关系密切,其存在的可能性较大,准确性较高。
2. 指示矿物出露广泛,数量较多。
3. 指示矿物本身的标志明显,易于辨认,与金矿的相关性较高。

金的指示矿物分类

(一) 按指示矿物出现的几率和分布广度分类

1. 常见指示矿物 系指与金矿有成因联系,分布广泛,数量众多的贯通矿物,如石英、黄铁矿、褐铁矿等。

2. 多见指示矿物 系指主要产于矿化蚀变带、矿化带和氧化带内比较常见的矿物。通常是金

属矿物,如方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、毒砂、磁黄铁矿、辉铜矿、辉铋矿等。

3. 少见指示矿物 系指某些出现几率较低,但可能与金矿有成因联系,指示金矿可能存在的矿物,如辉铋矿、黑钨矿、蔷薇辉石等。

(二) 按指示矿物与金矿空间关系的分类

1. 矿上指示矿物 系指产于金的地球化学异常带或矿化蚀变带内,指示地表以下或深部可能有金的隐伏矿体或盲矿体存在的矿物或矿物组合。例如,某些隐伏矿体顶部,在异常或蚀变带内可能出现辉铋矿—辰砂—黄铁矿组合。这方面的资料尚少,有待于进一步研究。

2. 矿内指示矿物 系指产于金矿体内或其近旁,与金矿物共生或伴生的矿物。它们多半是金的载体矿物,如含金黄铁矿、石英、毒砂、磁黄铁矿、方铅矿、黄铜矿等。

3. 矿下指示矿物 系指产于金矿体下部或根部的某些矿物或矿物组合,指示矿体已被剥蚀至下部,或已被剥蚀殆尽,向深部矿体可能尖灭。如某些含金石英脉的根部出现方解石、菱铁矿小脉或网脉,或是出现稀疏、粒度变粗、呈较完整的立方体晶形的黄铁矿。

(三) 按找矿意义分类

同一地区的同种矿物,由于其产状、成因、世代不同,其找矿意义可能大不相同。按其找矿意义进行分类,有助于减少找矿工作的盲目性。

1. 无关矿物 系指虽然产于金矿区,但在成因或产状上与金矿无关,因而不能作为找矿标志。

2. 无矿矿物 系指在大量自然金析出之前或之后晶出的早世代或晚世代矿物,它们虽与金的成矿过程有一定成因联系,但并不与金矿物共生或伴生,因而不能直接作为找矿标志。

3. 相关矿物 系指与金矿物共生或伴生的指示矿物,它们在成因上与金矿物关系密切,常常是金的载体矿物。这是金矿找矿矿物学研究的重要对象。

金的指示矿物及其标型特征

(一) 常见指示矿物

1. 石英 是内生金矿床中分布最广、数量最多的脉石矿物,也是找金的重要指示矿物之一。按其找矿意义可划分为以下4类:

(1) 无关石英:与金矿的成矿作用无关,例如金矿田、矿床内的伟晶质石英脉或石英透镜体;由变质分异作用形成的石英脉或透镜体;与金矿成矿作用无关的热液成因石英脉等。这种石英通常呈乳白色,块状集合体,颗粒较粗,多在0.5~5mm,油脂光泽,贝状断口,矿物组合单调,偶尔可见少量呈立方体的黄铁矿或磁铁矿。脉体完整,基本上见不到后期构造破坏痕迹。石英含金丰度常低于1ppb。

(2) 早世代无矿石英:通常产在金的矿化蚀变带或含金石英脉中,构成含金石英脉的主体,是早期无矿阶段晶出的早世代或第一世代石英,Л.С. Шель(1977)称之为石英Ⅰ。其均匀化温度 $>300^{\circ}\text{C}$,通常呈乳白色、块状、粗粒(0.5~5mm),半自形粒状结构。脉体基本上由单一的石英组成,局部可见早世代不含金的黄铁矿。石英含金丰度低于金的异常下限,甚至低于克拉克值。

(3) 末世代无矿石英:系成矿作用最后阶段的产物,通常产于含金石英脉的根部,呈根状细脉或网脉见于围岩中,常与方解石、菱铁矿共生,形成温度低于 90°C 。这种石英多呈玉髓状,略带黄色或浅绿色色调,Шель称之为石英Ⅲ。含金丰度普遍低于产出区的异常下限。有时可作为判断含金石英脉剥蚀深度的标志。

(4) 相关石英:系指形成于石英—硫化物阶段较晚世代,即中间世代的石英。这种石英一般不形成独立的石英脉,总是发育在构造破碎带或构造破裂带内,呈胶结物或充填物出现在早世代无矿石

英的构造裂隙之中,构成角砾状、细脉或网脉状、条带状、条纹状、片理或劈理构造等。与相关石英共生的有绢云母、绿泥石、碳酸盐矿物,以及晚世代的相关黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、毒砂、磁黄铁矿、闪锌矿、辉锑矿等。Шель称之为石英Ⅱ。

相关石英是一种常见的矿上或矿内指示矿物,其主要找矿标型特征是:

① 形态特征:颜色较深,常呈深灰—灰色,糖粒状或不等粒细粒结构,粒径0.001~0.07mm,有的呈玉髓状。

② 显微构造:包括塑性变形纹,呈鳞片状排列,纹理中常见微粒硫化物或金矿物;显微裂隙带或显微裂隙网,沿显微裂隙分布有黄铁矿、方铅矿等硫化物微粒,显微角砾状和显微焊接构造,早世代无矿石英受构造应力被挤压成糜棱岩,局部有较晚世代的相关石英叠加。

③ 包裹体:石英内含有大量包裹体,常被成矿期的构造应力压偏,沿剪切带呈单向或交叉分布。其爆裂温度 $270\sim 390^{\circ}\text{C}$,而以 $300\sim 320^{\circ}\text{C}$ 居多。均化温度 $163\sim 218^{\circ}\text{C}$,低于早世代无矿石英($>300^{\circ}\text{C}$),而高于末世代无矿石英($<90^{\circ}\text{C}$)。

④ 晶体结构:与纯石英($a_0 = 4.9130\text{Å}$)相比,相关石英($a_0 = 4.9127\sim 4.9145\text{Å}$)的单位晶胞棱长 a_0 有增大趋势, c_0 则有减小趋势,前者 $c_0 = 5.4044\sim 5.4054\text{Å}$,后者 $c_0 = 5.4050\text{Å}$;单位晶胞体积趋于减小,相关石英 $V = 112.9551\sim 112.9626\text{Å}^3$,纯石英 $V = 112.94789\text{Å}^3$ 。

⑤ 红外光谱特征:相关石英的相对光密度(含水量) $D_1 = 5\sim 9$,早世代无矿石英 $D_1 = 2\sim 5$,末世代无矿石英 $D_1 = 6\sim 12$ 。相关石英的相对光密度(CO_2 含量) $D_2 = 0.4\sim 2.5$, $D_2/D_1 = 0.05\sim 0.4$;早世代和末世代无矿石英 $D_2 = 0.1\sim 0.4$, $D_2/D_1 = 0.05\sim 0.4$ 。

⑥ 热发光特征:早世代和末世代无矿石英的热发光曲线多为单峰型,相关石英的热发光曲线则为双峰或多峰型。

⑦ 矿物化学和地球化学特征:相关石英含结构铝较高, Al_2O_3 含量可达0.041~0.11%, Na_2O (0.042~0.14%)、 K_2O (0.062~0.124%)和 Li_2O (0.0012~0.0030%)含量^①也明显高于无矿

① 邵洁涟:脉石英含金性评价的矿物标志,1981年。

石英和无关石英,同时还含有较多的硫化物微粒,因而也就含有较丰富的指示元素(ppm): Au0.14~0.66, Ag0.2~3.86, Bi 60~110, As100±, Hg 60~80, Sb50~500, Cu30~400, Pb30~300, Zn30~300, 有的还含有有机碳(可达0.23%)。硫化物主要是黄铁矿、方铅矿、黄铜矿等。非金属矿物有高岭石、绿泥石、绢云母,以及碳酸盐矿物、石墨或其他碳质物,有时还有微量磷灰石、金红石等。

2. 黄铁矿 根据黄铁矿的成因、产状和形成世代,可划分为以下3类:

(1) 无关黄铁矿:系指产于与金矿无关的围岩或不含矿乳白色石英脉内的黄铁矿。通常呈浅黄色,他形或自形立方体,呈浸染状、细脉状、条纹状或层纹状分布。其含金丰度低于当地金的异常下限或金的克拉克值。个别含金特高,但不能形成金的原生晕异常。不能作为找矿标志。

(2) 无矿黄铁矿:系指产于矿化蚀变带或含金石英脉内、与早世代无矿石英共生或伴生的黄铁矿。常呈浸染状、比较粗大的立方体产出。立方体边长可达10mm以上,有时亦可见其集合体。黄铁矿呈浅黄一白色,表面常被铜黄色或棕色氧化被膜覆盖。矿物组合单调。含金丰度低,一般不构成金的原生异常。

(3) 相关黄铁矿:在内生热液矿床中,主要形成于石英—硫化物阶段,属第二世代和较晚世代的黄铁矿,是金的主要载体矿物。其主要找矿标型特征大体如下:

① 形态特征:黄铁矿的晶形和粒度与其中金的含量有关。粒径0.08~0.008mm的五角十二面体自形微粒状黄铁矿,和粒径小于0.005mm的胶状、偏胶状黄铁矿含金最高。例如,小秦岭五角十二面体自形晶黄铁矿含金达461.58ppm;陕西二台子金矿细粒五角十二面体自形黄铁矿含金70.2~149.3ppm;浙江八宝山金矿细粒黄铁矿含金723ppm,中粒黄铁矿含金36ppm,粗粒黄铁矿几乎不含金;黑龙江团结沟金矿粉末状—胶状黄铁矿含金248.57ppm。

② 物理特征:相关黄铁矿呈深黄绿色、深铜黄色。与纯黄铁矿相比,其硬度偏低,一般为430~1070kg/mm²,纯黄铁矿为192~1295kg/mm²;比重也偏低,通常为4.59~4.85,纯黄铁矿为4.95~5.20;单位晶胞棱长略高于纯黄铁矿($a_0 = 5.4170$

Å), $a_0 = 5.4171 \sim 5.4220$ Å。一般认为相关黄铁矿发育晶格缺陷,为金进入黄铁矿晶格准备了空间。

③ 组构特征:因受构造应力影响,黄铁矿常呈碎粒状、碎裂状结构和显微裂隙、显微裂纹结构。金矿物多沿黄铁矿中的裂隙产出。山东焦家金矿的碎裂状黄铁矿含金高达306.58ppm,而颗粒完整的黄铁矿含金仅25.93~84.10ppm。玲珑金矿的裂纹状黄铁矿含金56.4ppm,无裂纹的黄铁矿含金29.99ppm,胶状黄铁矿含金仅2.12ppm(据王大成,1980)。

④ 矿物地球化学特征:除Au外,相关黄铁矿中还含有Ag、Co、Ni、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Hg、Bi和Se、Te等。

相关黄铁矿的含砷量,比无矿或无关黄铁矿高出1~2个数量级。据姜信顺(1984)的资料,相关黄铁矿含As400~4382.5ppm,7个典型矿床平均含As1950.97ppm,高出As的克拉克值(1.7ppm)1100倍以上。

相关黄铁矿含Sb20~160.7ppm。浙江弄坑金矿床相关黄铁矿含Sb高达4300~6400ppm。Sb的克拉克值仅0.5ppm。

Ag在相关黄铁矿中的含量为2.93~462.5ppm。黄铁矿中Ag的含量与金的成色呈负相关。例如,玲珑、焦家金矿含银高,为109.4~462.5ppm, Au20.1~20.4ppm, Au/Ag=0.18~0.16,金的成色小于700。团结沟金矿黄铁矿含Ag2.93ppm,含Au87.04ppm, Au/Ag=29.7,金的成色平均948。相关黄铁矿中Ag的含量高于其异常下限。

Bi、Te、Cu、Pb和Zn多呈金属硫化物微粒,以固态包裹体形式赋存于黄铁矿中。

Co、Ni在黄铁矿中呈类质同象取代Fe²⁺而进入其晶格。Ni、Co含量高,可作为金矿体已被剥蚀到下部的标志之一。

⑤ 矿物组合特征:常见的矿物组合有:石英—黄铁矿—自然金;石英—黄铁矿—自然金—黄铜矿—方铅矿—闪锌矿;石英—黄铁矿—自然金—黄铜矿—斑铜矿—方铅矿;石英—黄铁矿—自然金—黄铜矿—辉铜矿—方铅矿—闪锌矿;石英—黄铁矿—自然金—黄铜矿—方铅矿—闪锌矿—辉钼矿—毒砂—黑钨矿—白钨矿;石英—黄铁矿—自然金—毒砂—磁黄铁矿—黄铜矿—白铁矿;石英—黄铁矿—自然金—白钨矿—辉钼矿。

⑧ 黄铁矿中金的赋存状态：以焦家金矿为例，有92.53%的自然金赋存在相关黄铁矿中，其中：包裹金占5.5%，晶隙金占63.5%，裂隙金占23.53%（据山东地质六队，1981）。

3. 褐铁矿 是含金硫化物矿床地表露头 and 氧化带中最常见的矿物之一，可作为金矿找矿的重要标志。从矿物学角度可划分为以下2类：

（1）无矿褐铁矿：产于不含金的硫化物矿床和含黄铁矿石英脉中。含金丰度低，一般不构成金的次生晕异常。

（2）含矿褐铁矿：主要产于含金硫化物石英脉或含金块状硫化物氧化带中。铁帽的含金量常高于原生矿，金的成色也较高。铁帽型金矿床是一种重要的金矿床类型。含金褐铁矿的主要标型特征如下：

① 颜色：比无关褐铁矿颜色稍深，色调较暗，一般呈深褐红色、深紫褐色。

② 组构：蜂窝状、粉末状构造。无矿褐铁矿多呈致密块状。

③ 矿物组合：褐铁矿—高岭石—黄钾铁矾—臭葱石—银星石；褐铁矿—黄钾铁矾—高岭石—石膏—方解石—蛋白石—玉髓。

④ 指示元素：Au、Ag、As、Sb、Hg、Cu、Pb、K、Li、Ce和I、Br等。

⑤ 褐铁矿中金的赋存状态：褐铁矿中的金主要有两种存在形式：一是肉眼可见的明金，粒径通常大于 5μ ，包括残存于褐铁矿中的自然金和表生作用形成的自然金。表生自然金常呈不规则的团块状、树枝状、束状、叶片状、丝状、毛发状、海绵状、苔藓状、土状等。另一种是超显微胶态分散金。第一种赋存形式较常见，可占铁帽型金矿的

70%以上。如安徽铜陵代家冲铁帽型金矿中，褐铁矿中的自然金约占83.8%。

（二）多见指示矿物

1. 毒砂 在金矿体和矿化蚀变带中，毒砂是含金最高的载体矿物，但其分布远不如黄铁矿广泛。据M.K.Силичева的资料，在同一矿床中，黄铁矿含金17~42ppm，平均24.2ppm，毒砂含金21~213.7ppm，平均38.1ppm。毒砂的含金性一般与其粒度和破碎程度有关：粒度越细，含金量越高，破碎的毒砂比完整的毒砂含金量高。据罗献林的资料（1984），湖南的一些内生金矿床，毒砂的粒度为0.01~0.3mm，含金品位普遍较高。例如，蔡家巷金矿，毒砂含金118.4ppm，黄铁矿含金56.25ppm，黄金洞金矿，毒砂含金可达476ppm（平均240.5ppm），黄铁矿平均含金198.16ppm。毒砂中还含有丰富的其他指示元素。例如，湖南大坊金矿，毒砂中指示元素的含量为（ppm）：Sb-1000，Cu-400，Pb-6000，Zn-5750，Sn-155，Co-60，Mn-1250，Ag-20。

2. 磁黄铁矿 是金的重要载体矿物之一。其中金的含量往往高于黄铁矿，而以细粒、碎裂者含金最高。

3. 黄铜矿 是多金属硫化物金矿脉的重要载体矿物，例如吉林小西南岔金矿中22个单体黄铜矿平均含金25ppm（据吴尚全，1985）。

4. 方铅矿 许多内生金矿床中普遍含有方铅矿，有时是金的重要载体矿物。例如，湖南的某些金矿床，方铅矿含金15~125ppm。

少见指示矿物，因掌握资料不多，故本文不拟讨论。

参 考 文 献

[1] Шель, Л. С.: Геология и разведка, 1977,

№8.

[2] 徐国风：地质与勘探，1987，第2期。

Some Problems on Mineralogy for Gold Exploration

Xu Guangrong

In this paper methods of exploration mineralogy for the classification of the indicator minerals of gold deposits are discussed. The indicator minerals may be classified according to the frequency of their occurrence and the scope of their distribution, or basing upon the spatial relation of the gold ore bodies with the indicator minerals. For a certain mineral within a same prospecting area they may be also classified in the light of their exploration significance.