

## 原生金矿的若干找矿标志

张维根

(冶金部山西地质勘探公司)

本文将原生金矿床的找矿标志归纳为矿源层(矿源岩)、岩性(建造)、岩浆岩、矿物标型、金的成色、热液蚀变、构造、地球化学和植物等9个方面。在漫长的地质历史过程中,影响金矿成矿的因素复杂多样,应用上述标志时,应根据地质条件和矿床类型全面考虑。

**关键词:** 原生金矿床; 找矿标志



地质·矿床

金具有特殊的地球化学性质、特有的矿物组合、围岩蚀变、载金矿物标型特征及成矿富集规律,可利用这些特征和规律判断金矿化的存在,从而指导找矿。这些统称为找矿标志,现综合如下。

### 1. 矿源层标志

一般认为,金矿的形成有3个要素,即存在有利成矿的矿源层(或矿源岩)、有利成矿的热源体和容矿的构造条件。

由于金在地壳中含量极微并且分散,其克拉克值为3.5ppb,要使它在地壳中成为一个具有最低工业品位的矿床,需要富集1000倍左右。这是很不容易的。所以,金矿的形成除了其他条件外,还要有含金较富(一般认为大于10ppb)的母体,即矿源层。不同地质时代有不同的矿源层,但最有意义的是太古代绿岩带。

所谓绿岩带是指一套普遍变质为绿色片岩的超基性、基性—中酸性(长英质)火山岩与沉积岩组成的岩系。其特征可概括如下:

(1) 形成时代 大于25亿年,属太古代。其中可分为两个时代:一是年龄为38~35亿年的绿岩带(南非津巴布韦);一是年龄为27~26亿年的绿岩带(加拿大苏必利尔,西澳伊尔冈)。也有人认为存在早元古代的绿岩带。

(2) 分布特点 主要分布在古老地盾(克拉通)区,呈短而窄的带状,一般长100~300km,宽

10~50km,地层厚度达10~20km。

(3) 变质程度 典型地区如南非巴伯顿、加拿大阿比提比和澳大利亚诺斯曼—威卢纳等地区的绿岩带,其变质程度很浅,原岩产状基本保持,大致相当于绿片岩相到绿帘角闪岩相。但是,也有高级变质的麻粒岩相绿岩带,如芬兰格普兰地区。实际上,就变质程度而言,不论是变质程度较低的绿片岩相绿岩带,还是变质程度较高的麻粒岩相带,都比较少见。通常是在一个绿岩区,由中心到边缘出现从低级到中级甚至高级的变质分带。如津巴布韦绿岩带,其中心为绿片岩相,向外逐渐变为角闪岩相,靠近花岗岩区其变质程度达到麻粒岩相。所以,变质程度深浅不是判别绿岩带存在的主要因素,重要的是要看它所处的大地构造环境以及一套特定的原岩岩石组合。

(4) 岩性特征 一般包括绿岩和花岗岩组合,绿岩带的四周为花岗岩体。根据绿岩带的岩石类型与组合,有人将绿岩带分为3种类型:①巴伯顿型(南非),以科马提岩和拉斑玄武岩组合广泛分布为特征,其中安山岩不很发育;②苏必利尔型(加拿大),为富安山质的双模式镁铁质—长英质岩石组合;③达瓦型(印度),广泛发育沉积岩组合,盖层和基底具明显的不整合。其剖面模式是:下部主要是超镁铁质岩组合,中部为镁铁质—长英质火山岩系,上部为沉积碎屑岩系。剖面下部常含具海底喷发性质的科马提岩。科马提岩是绿岩带的典型岩性,但不是不可缺少的岩石。

绿岩带代表原始地壳和地幔过渡带的产物,金

的背景值比较高。如南非绿岩带金丰度值在5~20ppb, 最高达75ppb; 乌克兰地盾绿岩带金丰度值为48ppb。我国一些重要的金矿成矿区或远景区的岩层, 也认为属于绿岩带, 并作过含金性测定, 如胶东群金丰度值比其克拉克值高1~3个数量级, 平均160ppb; 太华群各类岩石金丰度值比其克拉克值高2~10倍; 鞍山群三道沟组岩石含金丰度为10~70ppb, 最高达200~300ppb; 五台群岩石为10~190ppb, 平均47ppb。因此, 绿岩在活化或花岗岩化过程中, 有足够数量的金, 在其他有利成矿地质条件配合下形成工业矿床。

我国前寒武纪绿岩带具有时代新、厚度薄、分布范围小、变质程度高、燕山期岩浆活动强烈, 以及岩性上至今未发现公认的科马提岩等特点。这些特点是否是我国没有特大型金矿的原因, 还是没有找到, 值得深入研究。

应当提出, 一些资料表明, 岩层中金的丰度值并不是形成金矿的决定性因素, 而是取决于其中是否有“过剩”的或易释放的金含量。

### 2. 岩性(或建造)标志

对金矿成矿来说, 无论是哪一类岩石, 都可作为容矿岩石, 但是有些类型岩石对金矿成矿仍表现出比较明显的趋向性。

(1) 太古代绿岩带中较为重要的容矿岩石是镁铁质火山岩、长英质侵入岩、碳酸盐岩及含炭沉积岩, 而镁铁质火山岩中对金矿最有利的是高镁系列玄武岩、含硅高镁系列玄武岩、科马提岩及其中的透镜体状纯橄岩。

(2) 太古代绿岩带硅铁建造内或其上、下层位, 特别是当磁黄铁矿、毒砂、黄铁矿、辉钴矿、红砷镍矿等硫化物较发育时, 是找霍姆斯塔克型金矿的重要标志。

(3) 含有机质或炭质较高的沉积岩与变质岩对金富集有利。美国卡林型金矿容矿岩石的一个显著特点就是含炭质相当高; 苏联穆龙套金矿是一个赋存在前寒武纪变质程度相当于绿片岩相的黑色页岩系内的金矿, 几乎整个黑色页岩系都是金矿; 巴西莫洛韦洛金矿、加拿大爱迪生金矿、奥米加金矿, 都是产在炭质岩石中的大型和特大型矿床。我国一些产在沉积岩或浅变质岩中的金矿, 其容矿岩石含炭也较高, 如辽宁白云山、河南银洞坡和吉林夹皮沟等金矿。有人指出, 含炭在0.1~1%的岩石有利于金的富集。炭在金矿成矿作用中起了吸

附、催化和还原作用。

(4) 绿岩带中脉型金矿的形成, 不仅与进变质作用有关, 而且常与退变质作用密切相关。因此, 在高变质带地区中的较低变质带地段, 有利于脉型金矿的产出。

### 3. 岩浆岩标志

金除了具有稳定性一面外, 还具有不稳定性一面, 即是说, 在一定的条件下, 金可活化迁移。实验证明, 当温度 $>400^{\circ}\text{C}$ , 特别在有水参与的情况下, 可以使分散在岩石中的金活化, 溶解到热液中。实验还证明, 酸性岩浆温度为 $700\sim 800^{\circ}\text{C}$ , 这对于活化岩石中的金是足够的。所以, 岩浆在某些类型金矿成矿作用中不仅提供热源, 而且还带来了成矿物质。实际上, 国内外许多金矿床在成因上和空间上同岩浆岩关系非常密切, 表明了岩浆岩对金矿形成的作用。现分述如下:

(1) 在太古代绿岩带或其他金矿矿源层分布区, 广泛发育有花岗岩类岩体, 它是金矿成矿的重要前提。如果一个地区有多期、多阶段岩浆活动, 首先要区分它们形成的期次与阶段, 然后要区分含矿与非含矿岩体。富含钠长石的长英质岩浆岩对金成矿有利, 如澳大利亚库尔加迪和卡尔古利金矿。

(2) 分异充分的侵入岩体是金矿化岩体的特征。岩浆后期分异体(脉岩)发育地段是有利矿化的地段。特别是含金丰度较高, 离散大, 且有热液蚀变的岩脉更为有利。富含挥发份, 且 $\text{Cl}>\text{F}$ , 含金丰度又高的侵入岩体是金矿化的一种标志。

(3) 古老的中基性、基性或超基性火山岩发育区是寻找变质热液、混合热液成因金矿床或多成因复合金矿床的地区。中基性、基性次火山岩或火山喷发岩发育区, 是寻找低温热液浅成或超浅成金矿、火山热液金矿或金银矿床的有利地区。

(4) 由于超镁铁质岩浆岩含金丰度高, 特别当其发生蚀变(纤维蛇纹岩化、叶蛇纹岩化)时, 有可能形成金矿床。

(5) 花岗岩类岩石的磁性和碱性指数是金矿化的标志。业已发现, 含金区域(甚至某些金矿区)总的范围与磁性花岗岩类岩石分布区一致。金矿化赋存于钠质( $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}<1$ )花岗岩类岩石中, 矿化种类随岩浆演化程度而变化: 单一金矿化与早期钠质花岗岩类岩石共生; 含金一稀有金属矿化和部分金一银矿化与晚期钾质花岗岩类岩石共生。多数磁性花岗岩类岩石属于铁氧系数大于0.25

的钠质花岗岩。

(6) 岩浆岩中铁组元素之间关系密切, 铀、钍含量低, Th/U值也低, 可能有利于金矿化。

(7) 含金花岗岩类岩石副矿物的含金量, 一般要比无矿的略高, 且分离度大。

(8) 中基性脉岩是玲珑金矿的重要找矿标志。这种脉岩含金丰度高, 在硫同位素组成、微量元素成分及含量与矿石相似, 都具有Ni、Co、V、Ti、Mn等深源元素组合的特点。

总的说来, 有利于矿化的岩浆岩特征是, 在金矿矿源层分布区中产出, 发生过明显的结晶分异作用, 相带清楚, 碱质和挥发份含量高, 结晶水丰富, 岩体规模不大(0.1~10km<sup>2</sup>)或岩基上的分枝体, 剥蚀程度低, 同源同期岩浆活动的中、晚阶段岩体。

#### 4. 构造标志

(1) 深断裂(一般为硅铝壳型深断裂)、两大构造单元交接处或两大板块缝合处, 是金矿成矿带的主要控矿构造部位。例如, 我国70%的金矿集中在华北地块的周边, 其北缘金矿成矿带, 与蒙古古海洋板块向华北地块俯冲消亡所造成的岩浆热事件有关, 产生了张家口、夹皮沟、小西南岔等金矿。华北地块南缘的小秦岭金矿成矿带, 受扬子地块与华北地块相撞所造成的岩浆热事件的影响。胶东金矿带受沂沭深断裂控制, 等等。

(2) 含石英脉群的断裂带是找大型、特大型金矿的重要标志。这种断裂带规模一般较大。如河南小秦岭老鸦岔脑含金脉带长50km, 山东焦家含金脉带宽50~200m, 长12km, 吉林夹皮沟含金脉带宽5km, 长50km。

(3) 前寒武系组成的隆起区, 特别是隆起与拗陷交界处且靠近隆起一侧的砂金分布区, 是找原生金矿的有利构造部位。尤其是隆起区内有以中生代火山岩为主组成的凹陷边缘, 即“隆中凹”的边缘, 是找原生金矿最适宜的构造部位。

(4) 靠近中酸性侵入体, 具有硅化、黄铁矿化或粘土化的断裂带或断裂破碎带(长数百m至数km), 是很好的构造标志。一条大而长的断裂带或断裂破碎带, 并不是整个部位都含工业矿体, 往往只是减压扩容段含矿, 因为该处压力骤然降低, 扩容空间增大, 有利于含矿溶液中成矿物质的沉淀富集。断裂带中的减压-扩容, 包括断裂在走向上由窄变宽处, 倾向上由陡变缓处或倾向出现反向的地

段, 以及几组断裂交叉处、断裂的封闭部位。

(5) 背斜构造的鞍部、转折端, 向斜的槽部及由褶皱构造引起的层间破碎带和轴部裂隙化地段, 不整合面和层间剥离是有利成矿的构造部位。

(6) 破火山口、火山颈、火山角砾岩筒及其附近的不规则裂隙, 是中、新生代火山岩型和次火山岩型金(银)矿的主要容矿构造。

(7) 由侵入作用引起的隐蔽爆破角砾岩筒, 往往含多金属金银矿床或矿化。如山西十余处爆破角砾岩筒几乎都有金银矿化或矿床; 河南祁雨河金矿是赋存在爆破角砾岩筒内的典型矿床。

(8) 规模较大的挤压片理化带, 特别是含硫化物石英细脉时, 应注意找金。

#### 5. 热液蚀变标志

原生金矿除与铜、镍或铂矿伴生以外, 其余金矿床均与热液活动有关, 因而围岩热液蚀变现象明显而普遍。最常见的有硅化(石英化)、黄铁矿化、绢云母化、钠长石化、钾长石化、粘土化、碳酸盐化、重晶石化、绿泥石化及青盘岩化等。不同成因类型的金矿, 其热液蚀变的种类与组合是不同的。金矿的所有热液蚀变均表现为中低温性质。除了要研究热液蚀变的种类与组合外, 还要研究热液蚀变的多期性与分带性, 多种蚀变的叠加有利于金矿化。现分析如下:

(1) 当矿源层或矿源岩受到花岗岩化或碳酸盐化、水化时, 除了析出金矿物质外, 还会析出大量SiO<sub>2</sub>。这些SiO<sub>2</sub>与金一起迁移, 又由于金的沉淀条件与SiO<sub>2</sub>的沉淀条件相同(都为中性条件), 所以, 金矿化总是伴随有硅化或石英脉。

(2) 硫常是金的溶解剂、搬运剂和沉淀剂。因为金常形成可溶性的硫化物络合物, 溶于溶液中, 并被搬运; 在适当条件下, 在金沉淀的同时, 硫也形成黄铁矿而沉淀。所以黄铁矿是金矿床中最常见的矿物和金的载体矿物。同时, 由于黄铁矿可以形成于金矿的各个成矿阶段, 所以黄铁矿化是金矿床中最常见的热液蚀变, 是良好的找矿标志。

(3) 对于绿岩带中硅铁建造型金矿来说, 最发育的是黄铁矿化、磁黄铁矿化、硅化和绿泥石化。

(4) 对于太古代绿岩带中石英脉型金矿来说, 以碳酸盐化、硅化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化和滑石化为主。夹皮沟金矿以绢云母化、硅化、绿泥石化及花岗岩的钾长石化为特征。

(5) 太古代绿岩带中的细脉浸染型(赫姆洛金矿)金矿,以绢云母化、硅化及黄铁矿化较普遍,特点是绢云母呈浅绿色,含Cr、V和Ba。

(6) 卡林型金矿热液蚀变以硅化、黄铁矿化、碳酸盐化和重晶石化为特征,其中以硅化和黄铁矿化最重要。

(7) 穆龙套金矿热液蚀变以硅化、钾长石化和钠长石化为特征,它们叠加在接触变质的角岩化之上。

(8) 与中生代次火山岩有关的斑岩金矿(团结沟式)的热液蚀变有青盘岩化、似千枚岩化、泥岩化及硅化。

(9) 与中、新生代火山岩有关的金矿,其热液蚀变除黄铁矿化、硅化、绿泥石化、碳酸盐化外,还出现冰长石化、叶蜡石化及蔷薇辉石化。

(10) 焦家式金矿主要为黄铁矿化、绢云母化、硅化、钾化和钠化。

(11) 接触交代型金矿,其热液蚀变叠加在夕卡岩化地段,主要为钠长石化、钾长石化、碳酸盐化和硅化。

(12) 钠长石化是深成中高温热液成因金矿床的重要标志,而钾长石化是近地表或浅成低温热液成因金矿床的重要蚀变。

## 6. 矿物标志

金的载体矿物或共生矿物的某些物理特征、化学特征、矿物组合、数量关系及生成世代,常可作为找金的标志。

(1) 黄铁矿 按其性质分述如下:

①在各种形态的黄铁矿中,一般是微细粒五角十二面体黄铁矿及胶状、偏胶状黄铁矿含金最高,而立方体自形晶及致密块状粗大晶体黄铁矿含金最低。

②不同金矿床中的黄铁矿,其颜色大都暗淡,呈灰绿或浅黄,反射率比正常黄铁矿略低,硬度、比重也比不含金的低。

③黄铁矿中锌的含量与金的含量呈明显的正相关关系。同一地区、同一成矿阶段黄铁矿中微量元素的总含量及Cu、Pb、Zn含量与黄铁矿中Au含量呈正相关关系。

④某些金矿区黄铁矿中 $Ag > 15g/t$ 、 $Cu > 0.1\%$ ,可作为找金标志。另外,黄铁矿中的As、Fe含量较高时可能表明含金。一般地说,含金黄铁矿中的微量元素种类较复杂,其总量也较高。

⑤金矿床中的黄铁矿与其他矿床中黄铁矿比较,其Au、Ag含量及Au/Ag值有显著区别。金矿床中黄铁矿的含金量高出其克拉克值1500倍以上,Au+Ag总量也高,而其他金属矿床中黄铁矿含金量仅高出数十至数百倍。其Au/Ag值也很悬殊,金矿床中黄铁矿Au/Ag值较大,为 $0.n$ ,而其他金属矿床黄铁矿的Au/Ag值要小 $1\sim 2$ 个数量级,即为 $0.0n\sim 0.00n$ 。

⑥黄铁矿的金含量是最直接的找矿标志,一般黄铁矿含金几十g/t或更多时,表明有可能形成独立金矿床;黄铁矿的金含量为几g/t时,可能只会形成伴生金矿;黄铁矿含金量在 $0.1g/t$ 时,找金希望不大。

⑦金含量与黄铁矿的破碎程度成正比。这是因为处于破碎晶体表面的原子、离子化合价往往没有满足,而显示一定的余价,可吸附其他原子或分子。破碎程度越高,表面积越大,吸附作用越强,对金沉淀越有利。

⑧与金共生的常见矿物共生组合为黄铁矿、毒砂、磁黄铁矿及黄铜矿。

⑨硫化物含量高时,金品位一般较高;硫化物单一的矿石金品位多数不如多金属矿物复杂的矿石品位富。硫化物组合中出现一定的金属氧化物似乎是一种含金的信息。

⑩含金黄铁矿的晶胞参数增大,这可能是因为它含有较多的As、Co、Ni元素所致。

⑪含金黄铁矿的漫反射有所增强,低、中角度衍射线有不同程度的宽化,锐度降低,不含金黄铁矿漫散射弱,衍射线宽化不明显,锐度较好。因此,利用黄铁矿粉末德拜图象有可能区分含金与不含金的黄铁矿。

⑫某些金矿区,黄铁矿晶体聚形越复杂,晶面附着子晶,镶嵌与环带构造越复杂,越有利于金矿成矿。

⑬黄铁矿的不同世代,其含金量不一样,一般是中、晚世代含金较高。因此,不同阶段不同世代黄铁矿含金量的研究,对找金十分重要。有些阶段或某一世代的黄铁矿就不含金或含金极微。

(2) 闪锌矿 某些火山岩型、次火山岩型金矿中的闪锌矿的矿物标型是,含铁、锰、镉较高(铁锰之和 $> 8\%$ ,镉 $> 155ppm$ ),有的就是铁闪锌矿,Cd、Hg含量低,Ge、Ga、Tl含量更低,并有一定数量的Au、Ag、Bi、Sn,单位晶胞棱长数

值较大,比重低,反射率较高。

(3) 毒砂 毒砂与金关系十分密切,大多数金矿都含有毒砂。毒砂粒度大小可指示金矿石品位的高低,一般粒度越小,金品位越高。毒砂含量越多,晶形越复杂,双晶类型越多,镶嵌构造越发育,金矿化也越好。

(4) 石英 是金矿石中最重要的、分布最多的脉石矿物,有许多是金的载体矿物。含金石英的物理化学性质及结构构造有许多特征,在找金上可加以利用。

①呈乳白色,致密块状,颗粒粗大,玻璃光泽的脉石英含金甚微或不含金;呈灰白、烟灰、灰黑色,油脂光泽并与硫化物共生的脉石英含金性好。脉石英颜色变深是由于其中混入微粒有色矿物所致。

②含金脉石英中的金属杂质元素(Fe、Cu、Pb、Zn、As、Hg)含量,远较无矿脉石英的含量高。当Pb、Ag达到一定含量时,可作为找金的标志。

③石英中铝的含量对评价石英的含金性有很大参考意义。无矿石英一般 $Al_2O_3$ 含量为0.001~0.01%,含金时 $Al_2O_3$ 含量大增,能提高1~2个数量级。由于石英晶格中 $Al^{3+}$ 进入四面体代替 $Si^{4+}$ ,必须有 $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Li^+$ 等金属阳离子进入石英晶格的架状空隙,使电价平衡,因此,其碱金属含量也相应增加。

④由于含金石英中的微量元素较多,故其晶胞参数比无矿石英的大,脉石英的压电系数与含金量呈正相关关系。

⑤含金石英脉体内,石英压碎结构愈发育,含金量愈高。波状消光、变形纹和交错滑动发育的石英脉中应注意找金。

⑥充填有黄褐色粉末(硫化物的氧化物)的蜂巢状构造和梳状构造的脉石英,可能含金。

⑦成群成带出现的石英脉,一般比单脉的金矿化好;含金石英网脉常常比复脉或单脉的金品位高。

⑧含金石英脉各构造部位矿化程度明显不同。对于矿化程度较强的石英脉来说,一般下部比上部、宽缓地段比狭窄地段、凹陷部位比凸起部位、转折部位比平直部位更富含金。石英脉中段纵横裂隙发育部位比两端分支和尖灭部位矿化更好。

⑨金矿床中,如果有几个阶段或世代的石英产

出,往往是中、晚世代(或阶段)石英金矿化较好。

## 7. 地球化学标志

地球化学异常是找金的重要标志,尤其是在化学分析、痕量金分析已解决的今天,用化探方法获得的化探异常在金矿勘查中起着重要作用。河南上官大型金矿就是根据1/5万分散流测量获得Au、Ag,并伴有Pb、Zn、As、Hg、Mn等异常而发现的;山东苍上金矿床是根据汞气测量发现的;美国卡林金矿中的Sb、Hg、As元素异常,对该矿的确定起了显著的作用。

在应用地球化学标志时,一定要研究异常元素组合、强度、各种元素异常的重叠情况,浓集中心是否一致;还要研究异常形态与规模。一般地说,异常元素组合比较复杂,重叠吻合,浓集中心一致,异常强度高,形态规整圆滑,规模较大,是矿异常的重要标志。有人认为,大型金矿可以形成数百 $km^2$ 的化探异常(分散流异常,下同),中型金矿形成的化探异常仅数十 $km^2$ ,金矿点形成的化探异常只有数 $km^2$ 或更小。

不同成因类型金矿床各有其特征性的矿化指示元素,这是因为不同成因类型金矿床金矿石的化学成分、成矿特征、元素组合、矿石建造和风化特点等均不相同所致。现分述如下:

(1) Au、Cr、Ni、Fe、Cu、Pt族元素组合或Au、Cu、Zn、Pt族元素组合,是岩浆型金矿床的矿化指示元素。

(2) Au、Co、Ni、Fe、V组合是黑色页岩型金矿床的矿化指示元素。

(3) Au、Hg、Sb、As、(W)是卡林型金矿最重要的矿化指示元素。

(4) Au、Cu、Pb、Zn、Cd组合是岩浆热液、沉积-岩浆热液改造型、接触交代型和斑岩型金矿的矿化指示元素。

(5) 近地表火山一次火山热液金矿的矿化指示元素比较复杂,主要为重金属元素,如Ag、Cu、Zn、Pb、Sb、Bi、Hg、W、Mo、Sn、Se、Te、As等。

(6) 由于多数金矿中,Au与As、Sb关系极为密切,并且具有越靠近矿体含量越高的特点,因此,Au、As、Sb是找金的主要指示元素。

(7) Cu、Ag、Au为同族元素,对许多矿床,特别是时代较新的金矿,Au、Ag、Cu含量呈

正相关关系,因而是重要的找矿元素组合。

(8) F、Cl等挥发组份是金矿化的指示元素,而且深成金矿比浅成金矿更富F和Cl。

(9) 博伊尔(1979)认为原生晕找金的最佳指示元素为Au、Ag、As、Sb、Hg、Te,一旦发现Sb的丰度值 $>0.7\text{ppm}$ , $\text{Te}>0.05\text{ppm}$ ,就意味着有金(银)矿存在。

(10) 找金的经验表明,Au的高背景与低背景相差较大的地区,即Au含量极不均匀的分布区,是有利的地球化学找Au标志。

### 8. 金的成色及金矿物找矿标志

金的成色是指1000份自然金或合金中化学纯金所占重量的份数,即 $[\text{Au}/(\text{Au}+\text{Ag})]\times 1000$ 。因为Au与Ag在周期表中处于同一副族,具有相似的物理化学性质和相似的晶格参数。所以,Au和Ag可以形成任何比例的固溶体。但是,由于 $\text{Ag}^+$ 在水溶液中比 $\text{Au}^+$ 活泼,也就是说, $\text{Ag}^+$ 的迁移性能比 $\text{Au}^+$ 大。当Au—Ag系列发生热变质作用时,银的扩散速度比金的扩散速度约大2.5倍。所以金的成色是变化的,与其成矿温度、深度、成矿时代及成因类型等因素有关,研究金的成色可以获得许多找矿信息:

① 在内生条件下,金的成色是敏感的地质温度计,一般成色为600~800;高温成色高,低温成色低。

② 金的成色可以判断成矿深度。深成和中深成金矿成色高,浅成金矿成色低。据世界149个矿床统计的资料,其中101个中深和深成金矿床金的成色平均为875.5,48个浅成金矿床金的成色平均为644.3。在同一矿床中,矿体所处深度不同,金的成色也不一样,矿体上部金的成色低,下部成色较高。

③ 成矿时代较老的金矿,其成色往往比成矿时代较晚的金矿高。据有关资料介绍,1.7~2亿年前形成的金成色为717~949;2.45~3亿年前形成的金成色为622~949;0.1~0.15亿年前形成的金成色为657~750。

④ 赋矿地层的时代新老,对金成色也有影响,时间较老地层中的金矿床,其成色较高,而时代较新地层中的金矿的成色较低。

⑤ 金成色与矿物组合中硫化物种类的多少有关,一般地说,多硫化物型矿石金的成色高,低硫化物型矿石次之,而贫硫化物型矿石成色最低。这

是因为银易进入硫化物晶格代替其中阳离子,使多硫化物型矿石金成色增高所致。毒砂—黄铁矿组合金成色最高。

⑥ 由强碱性热液形成的金矿床成色高,而弱碱性溶液形成的矿床成色低。这是由于金和银在碱性硫化物中赋存形式不同,即银主要呈 $\text{AgHS}$ 转移,而金呈 $[\text{AuS}_3]^{3-}$ 或 $[\text{AuS}]^-$ 离子转移。

⑦ 砂金搬运愈远,金的成色越高。利用砂金的成色分析,可以判断矿源远近或原生金矿产地。如果水系沉积物中存在各种成色的金,而且上游与下游成色差不多,则说明金矿化广泛,远景较大。若砂金的成色普遍高而差异小,则说明矿床剥蚀可能较深。

⑧ 围岩对矿石金成色也有影响,产在绿岩(基性岩)中的许多金矿,其成色往往高于产在石英—长石斑岩、花岗岩和正长岩中类似金矿的成色,而不管其时代如何。

金矿物的找矿标志也是值得研究的。例如,不同自然金的晶形、晶面上阶梯的高低、晶粒大小等,可作为矿床成因及找矿标志。据有关资料,深成矿床中自然金晶形以简单八面体或立方体与八面体的聚形为主;中深矿床金矿物晶形较复杂,常为延长的菱形十二面体歪晶及立方体与八面体的聚形,浅成矿床中自然金形态更复杂,除菱形十二面体、八面体外,还有四角三八面体、四六面体、三角三八面体和其他更复杂的晶形;近地表矿床出现细片状、条带状及树枝状形态。自然金的形态还是一种矿化好坏的标志,因为矿液浓度不同,自然金晶体形态不一样,金浓度大时形成八面体,浓度中等常形成菱形十二面体或菱形十二面体与立方体、八面体的聚形,浓度低时常形成立方体、菱形十二面体及四角三八面体。

自然金形态可以指示距离岩体的远近。岩体中的自然金多呈浑圆状,表面光滑,粒度细小;近接触带的自然金呈板状、团粒状、棱角状,表面常有黄铁矿、石英、毒砂的印痕,常为单晶,无聚片双晶,颗粒较粗( $>0.2\text{mm}$ )。远离岩体(100~200m)的自然金,有复杂的外形,表面常有小坑,多为海绵状、晶簇状、变形虫状等不规则形态,粒度 $<0.2\text{mm}$ ,常具聚片双晶。

自然金的显微硬度反映出矿床的成因类型;岩浆矿床自然金为60~80 $\text{kg}/\text{mm}^2$ ,热液矿床为70~87 $\text{kg}/\text{mm}^2$ ,再生矿床为85~105 $\text{kg}/\text{mm}^2$ 。这是因

为自然金中随银含量增加,显微硬度增大所致。

自然金的粒度与矿床形成深度及形成温度有关。深成、高温条件下形成的自然金,一般粒度较粗、较圆滑,中深中温条件下形成的自然金,颗粒一般较细,呈浑圆状及不规则状;在浅成低温热液金矿中,金颗粒细小而不规则,呈树枝状、锯齿状,90%以上为次显微金,还有胶体金,而明金极少。即使在同一矿床的同一水平上,金的粒度也随从早期高中温到晚期中低温而变细。

### 9. 植物标志

1939年捷克化学家曾从1000kg玉米灰中提炼出10g左右的黄金。这说明玉米根系能吸收土壤中非常分散的金元素。

徐邦栋等人对江苏句容县某金矿区植物群落进行了含金性研究,认为对植物群落进行金量测量,可提供找金信息。含金矿区的海州香薷、松枝是找金的植物标志。

一些金矿区的木贼含较丰富的As、Sb,由于Au与As、Sb密切共生,所以,研究木贼的As、Sb含量及其变化,对找金是有意义的。

还可以列举一些找矿标志。例如:

铁帽也是很好的找金标志。因为金矿床含有许多硫化物,它们有些是金的载体矿物,有些是共生矿物,在氧化带它们会氧化成Fe、Mn、Cu、Pb、Zn、Ni、Bi、As、Mo等元素的氧化物,构成醒目的铁帽。金矿区的铁帽往往还含有自然金、银,其品位甚高,金品位一般可几十到百余g/t,有些构成了铁帽型金矿床。我国安徽、湖北、江西、江苏等

省都有铁帽型金矿存在。任何类型金矿在氧化带都有可能形成不同程度的铁帽。所以,研究铁帽的矿物成分、含金性、形成条件、分布形态及厚度大小等,能提供重要找金信息。

金是人类开采利用的最早金属之一,一些金矿区多多少少都有一些旧采坑。研究旧采坑的大小、形态及分布特点,可以获得有关金矿矿化特点及沿走向和倾向的延伸情况、矿化规模等方面的资料。

应当指出,上述各种找矿标志是从一定数量矿床中总结出来的,具有一定的代表性,但是,在漫长的地质历史过程中,影响成矿的因素复杂多样,成矿地质条件、地球物理化学环境和矿质浓度千差万别,并且受到多期多阶段多成因成矿的制约,同时在成矿后又受到后来地质作用的改造与叠加,结果使这些找矿标志带有很大的局限性。例如,对于大多数金矿床来说,硫化物是主要的载金矿物,而对于山东七宝山金矿床来说,主要的载金矿物是铁的氧化物(细粒镜铁矿)和碳酸盐矿物(菱铁矿)而不是硫化物。山西耿庄金矿床主要载金矿物是闪锌矿和黄铜矿,而不是黄铁矿和毒砂。凡此种种,说明在运用上述标志进行找矿评价时,应根据不同地质条件和成矿类型进行全面综合考虑。既要注意宏观的又要注意微观的特征。只有这样,才能使我们在这一难找矿种的普查、评价和勘探等阶段中,“投入”较少而“产出”较多,取得较好的地质效果。

文中利用了许多作者公开的或未公开发表的资料,均未列举出处,敬请见谅并致谢忱。

## Some Exploration Guides of Primary Gold Deposits

Zhang Weigen

Exploration Guides for primary gold deposits may be summarized as: source bed (source rock); petrographical formation; magmatite; typomorphic mineral; relative purity; hydrothermal alteration; geological structure; geochemistry, and indicator geobotany. Each exploration guide has its representativeness and limitation to a certain extent. During such a long geological history the minerogenesis of a primary gold deposit might be effected upon by many different factors. In using these guide for exploration, the geological conditions and types of the ore deposits should be taken into consideration in an all-round way.

