

# 金矿物及其产状

蔡长金

(黄金指挥部黄金地质研究所)

金在自然界的存在形式主要有：(1) 独立的金矿物；(2) 呈胶体（粒径约0.1—0.5微米）或准胶体（粒径约5—20微米）分散于其他矿物中；(3) 以原子的形式作为其他矿物的固溶体混入物。例如，黄铁矿中的金，部分可能呈间隙固溶体赋存在黄铁矿晶格中；(4) 形成水溶液。水溶液中的金主要呈各种形式的络离子，如 $[\text{AuCl}_4]^-$ 、 $[\text{AuS}_2]^-$ 等，部分呈胶体。目前开发利用的主要是金矿物中的金。因此，对金矿物的研究，无论在地质找矿方面还是在选矿方面都具有重要意义。

自然界的金矿物，就笔者所知，约有64种（其中包括亚种、变种和一些研究程度较低而尚未定名的矿物）<sup>1)</sup>，可分两大类（见附表），均为不透明矿物。最常见的有自然金、银金矿、金银矿以及碲金矿、针碲金银矿、碲金银矿、白碲金银矿、叶碲金矿等。金的工业矿物有自然金、银金矿、金银矿、方金锑矿及金的碲化物。其中最主要的是自然金和银金矿。我国金的工业矿物主要是自然金和银金矿，部分矿山有金银矿和金的碲化物。

今仅就金矿物的种类和产状简要阐述如下。

## 一、自然元素、合金和金属互化物

### (一) 自然元素和合金

金-银系列：不少人认为<sup>[1-4]</sup>这是一个连续的完全类质同象系列，并按Au和Ag的重量百分含量(%)划分为自然金(Au 100—80, Ag 0—20)、银金矿(Au 80—50, Ag 20—50)金银矿(Au 50—20, Ag 50—80)、自然银(Au 20—0, Ag 80—100)四个亚种<sup>2)</sup>。也有人将其划分成自然金和自然银两个亚种<sup>[5]</sup>。但是，N. V. Petrovskaya<sup>[6]</sup>根据人工合成和天然矿物的研究，认为这个系列是不连续的。在富Ag的一端，只是有限的混溶。其中自然银中的Au只达1%，且是以有限固溶体的形式存在的。当Au含量为10—36%时，则出现一个清楚的新 Au—Ag 矿物相，其成分相当于 $\text{AuAg}_3$ ，并在自然银中呈显微包体。这个新的相被认为是含 Au 20% 最初亚稳定的 Au-Ag 固溶体系列分解形成的产物。它相当于一般叫做金银矿(Küstelite)的矿物相。

自然金<sup>[1][4]</sup>：Au。等轴晶系。常含10—15%的Ag。同时，也常含少量的Cu、Fe、Pd

1) 资料系统搜集到1983年6月，个别到1984年6月。其中矿物学资料较全的矿物种约25种。

2) 各亚种的Au和Ag的重量百分含量范围，各家划法不一。

金矿物 (Gold Minerals)

附表

矿物名称	英文名称	分子式
<b>一、自然元素、合金和金属互化物</b>		
<b>(一) 自然元素和合金</b>		
自然金	Gold	Au
银金矿	Electrum	(Au, Ag)
金银矿	Küstelite	(Ag, Au)
含铂钯自然金	Platinumpalladium bearing gold	(Au, Pt, Pd)
含钯自然金 (钯金矿, 钯自然金)	Palladium gold	(Au, , Pd)
含铂自然金 (铂金矿)	Platinum gold	(Au, Pt)
金自然钯	Aurian palladium	(Pd, Au)
铂铜自然金	Platinum cupric gold	(Au, Cu, Pt)
含铂钯银金矿	Platinumpalladium bearing electrum	(Au, Ag)
含钯银金矿 (钯银金矿)		
含铂银金矿 (铂银金矿)		
含铂钯金银矿	Platinumpalladium bearing küstelite	(Ag, Au)
含铂金银矿		
含钨钽金银矿		
含钯金银矿		
铑金矿(?)	Rhodian gold(rhodite)	(Au, Rh)
铱金矿(?)	Iridic gold	(Au, Ir)
含铜自然金*(金铜齐)	Cuprian gold	(Au, Cu)
含钯铑铜银金矿*(含钯铑银铜金矿)	Pd, Rh-Cuproauride	(Au, Ag, Cu)
含钯铜银金矿		
含锑自然金*	Antimonian gold	Au <sub>0.95</sub> Sb <sub>0.05</sub> )
含铋自然金*(金铋矿)	Bismuthian gold	(Au, Bi)
含汞自然金*	Mercurous gold	
<b>(二) 金属互化物</b>		
(未定名)		CuAu <sub>4</sub>
钯铜金矿 (钯斜方铜金矿, 钯金铜矿)	Palladic cuproauride	(Cu, Pd) <sub>3</sub> Au <sub>2</sub>
钯金自然铜	Palladium aurian copper	(Cu, Au, Pd)?
四方铜金矿	Tetraauri cupride	CuAu
金铜矿 (金三铜矿)	Auricupride (Tricuproaurite)	Cu <sub>3</sub> Au
等轴金铱矿 (金铱矿)	Aurosmiridium	Ir <sub>2</sub> O <sub>6</sub> Au
$\alpha$ -汞金矿	$\alpha$ -Goldamalgamite	(Au, Ag) <sub>4</sub> Hg

续表

矿物名称	英文名称	分子式
围山矿	Weishanite	$(\text{Au}, \text{Ag})_3\text{Hg}_2$
$\gamma$ -汞金矿	$\gamma$ -Goldamalgam	$(\text{Au}, \text{Ag})\text{Hg}$
金汞齐	Goldamalgam	$\text{Au}_2\text{Hg}$
(未定名)		$\text{Au}_5\text{Ag}_{10}\text{Hg}$
(未定名)		$\text{Ag}_{74.2}\text{Au}_{16.4}\text{Hg}_{9.4}$
<b>二、碲化物及其类似化合物</b>		
<b>(一) 铋化物</b>		
黑铋金矿	Maldonite	$\text{Au}_2\text{Bi}$
<b>(二) 锑化物</b>		
方金锑矿 (脆金锑矿, 方锑金矿)	Aurostibite	$\text{AuSb}_2$
<b>(三) 碲化物及铅-碲化物</b>		
<b>I 碲化物</b>		
碲金矿	Calaverite	$\text{AuTe}_2$
白碲金银矿 (斜方碲金矿)	Krennerite	$(\text{Au}, \text{Ag})\text{Te}_2$ 或 $\text{Au}_4\text{AgTe}_{10}$
亮碲金矿 (三二碲金矿, 三斜碲金矿)	Montbrayite	$\text{Au}_2\text{Te}_3$
碲金银矿	Petzite (antamokite)	$\text{Ag}_3\text{AuTe}_2$
杂碲金银矿 (板碲金银矿)	Muthmannite	$(\text{Au}, \text{Ag})\text{Te}$
针碲金银矿 (针金矿, 针碲金银矿)	Sylvanite	$\text{AuAgTe}_4$
针碲金铜矿 (碲铜金矿)	Kostovite	$\text{AuCuTe}_4$
叶碲金矿 (叶碲矿)	Nagyagite	$\text{Pb}_5\text{Au}(\text{Te}, \text{Sb})_4\text{S}_{8-9}$
(未定名)		$\text{Ag}_{1.1}\text{AuTe}_{3.3}$
<b>II 铅-碲化物</b>		
毕利宾矿* (碲铅铜金矿)	Bilibinskite	$\text{Au}_5\text{Cu}_3(\text{Te}, \text{Pb})_6$
含碲毕利宾矿*		
博格丹诺夫矿 (碲铜金矿)	Bogdanovite	$\text{Au}_5(\text{Cu}, \text{Fe})_3(\text{Te}, \text{Pb})_2$
铜博格丹诺夫矿*		
铁博格丹诺夫矿*		
别斯麦特矿 (碲铜金矿)	Bessmertnovite	$\text{Au}_4\text{Cu}(\text{Te}, \text{Pb})$
(未定名)		$(\text{Au}, \text{Ag})\text{Fe}_2(\text{Te}, \text{Pb})_4$
(未定名)		$\text{Au}(\text{Fe}, \text{Cu})(\text{Te}, \text{Pb})$
(未定名)		$\text{Au}_3(\text{Fe}, \text{Cu})(\text{Te}, \text{Pb})_2$
(未定名)		$\text{Au}_5\text{Cu}(\text{Te}, \text{Pb})_2$
(未定名)		$\text{Au}_5\text{Cu}_3(\text{Te}, \text{Pb})$
<b>(四) 硒化物和硫化物</b>		
硒金银矿	Fischesserite	$\text{Ag}_3\text{AuSe}$
硫金银矿	Liujiyinite	$(\text{Ag}_{2.92}\text{Cu}_{0.11}\text{Au}_{1.09})\text{S}_2$

续表

矿物名称	英文名称	分子式
乌顿布格矿(硫金银矿, 沃登堡矿)	Uytenbogaardtite	$\text{Ag}_3\text{AuS}_2$
(未定名)		$\text{Au}_{1.0}\text{Ag}_{12.29}\text{As}_{1.12}\text{Se}_{3.1}\text{S}_{6.95}$
(未定名)		$\text{Au}_{0.96}\text{Ag}_{9.53}\text{As}_{1.36}\text{Se}_{1.0}\text{S}_{6.03}$
(未定名)		$\text{Au}_{1.14}\text{Ag}_{8.99}\text{As}_{1.0}\text{Se}_{1.11}\text{S}_{6.06}$
(未定名)		$\text{Au}_{1.0}\text{Ag}_{2.41}\text{Se}_{9.88}\text{S}_{0.59}$

〔注〕1.带\*号的矿物,其中文译名系笔者所译,其中大部分是前人未予译名。少数几个是笔者认为已有译名不合理而重新译名,如含钯铋铜银金矿、别斯麦特矿等。

2.矿物名称后括号中的名称系文献中有人使用的矿物名称,有的或可作为同义词,有的具明显的不合理性。

Pt及其他许多微量元素。大多数金属和半金属元素可以作为自然金的晶格成分,如Ag、Cu、Fe、Ni、Hg、As、Sb、Bi、Te、Pd和Pt等元素主要是作为晶格成分;而其他许多非金属元素则常常是作为杂质组分存在,其中大多数呈微小矿物包体存在。一般来说,自然金中上述元素的含量变化很大。其种类和含量常与形成条件有关。例如,许文渊等<sup>1)</sup>在研究我国一些不同成因类型的金-银系列矿物中的杂质组分时,发现在Cu-Ni硫化物矿床中主要是Pt、Cu、Pd、Rh、Bi, Pt最高达8.7%, Cu最高达5%,而且铂族元素仅在此类矿床的金-银系列矿物中有较普遍的分布,其含Cu量也明显高于其他类型矿床。某些研究者甚至认为,金矿床的类型及其特征,如成矿温度、成矿溶液的性质等都可以根据自然金中微量元素特征来判断。

很多研究者曾研究过自然金的物理性质、形态及其与金矿形成条件的关系。一些人认为,其颗粒形态和大小与矿床类型及时代之间似乎没有明显的关系。

自然金几乎可以在各种成因类型的金矿床中产出。金矿床成因类型的划分,目前各说纷云。按照中国地质学会矿床地质专业委员会贵金属矿床地质专业组关于中国金矿床成因类型的划分(1983年,第三次讨论稿),我国自然金主要在岩浆-热液金矿床、火山及次火山-热液金矿床、沉积-变质金矿床、变质-热液金矿床、地下热(卤)水溶滤金矿床、风化壳金矿床、沉积金矿床等金矿床中产出。

银金矿<sup>[1]</sup>: (Au, Ag)。等轴晶系。含(%) Ag 20—50, Au 80—50。往往呈不规则粒状及细脉状包裹于硫化物及碲化物中。产状与自然金相以,且二者常伴生产出。

金银矿<sup>[1]</sup>: (Ag, Au) 或 $\text{AuAg}_3$ 。含Ag量达80%。主要见于金银矿床。

自然金的其他变种有:

含铂钯自然金<sup>[7][8]</sup>: (Au, Pt, Pd)。等轴晶系。含Au 84.6—95.55%。其他组分(%), Ag 0—4.07, Pd 0—12.3, Pt 0—11.5, Fe 0—0.2, Cu 0—2.0, Ni 0—0.02, Bi 0—1.4, Rh 0—0.3, Pb 0—0.6。主要产于铜镍硫化物矿床。本矿物包括文献中的含钯自然金(Au, Pd)和含铂自然金(Au, Pt)。前者含(%) Pd 5.8—12.3, Pt 0—4.92; 后者含Pt 10.5—15.9%, 可含少量Pd、Ag、Cu、Fe。

1) 许文渊等, 1980, 内生金-银系列矿物某些标型特征及成因分析(未刊稿)。

金自然钯<sup>[7]</sup>: (Pd, Au)。主要组分(%): Pd 43.7—46.1, Au 32.4—35.6。其他组分(%): Pt 13.2—19.9。产于铜镍硫化物矿床。

铂铜自然金<sup>[7]</sup>: (Au, Cu, Pt)。主要组分(%): Au 60.1—64.5, Cu 68—7.5, Pt 16.6—18.6。其它组分(%): Pd 6.0—6.8, Rh 5.2—5.5。在铜镍硫化物矿床中产出。

含铂钯银金矿<sup>[7]</sup>: (Au, Ag)。等轴晶系。主要组分(%): Au 58.4—80.1, Ag 9.0—29.2。其他组分(%): Pt 0—8.7, Pd 0—4.4, Fe 0—0.15, Cu 0—5.2, Ni 0—0.02, Bi 0—0.9, Rh 0—1.5, Pb 0—0.5, Zn 0—0.2, Sn 0—0.1。产于铜镍硫化物矿床。本矿物根据化学成分又可划分出含钯银金矿 (Au 58.4—79.5, Ag 17.3—29.2, Pd 1.4—4.4, Pt 0—0.9) 及含铂银金矿 (Au 80.1, Ag 9.0, Pt 8.7)。

含铂钯金银矿<sup>[7][11]</sup>: (Ag, Au)。等轴晶系。主要组分(%): Ag 34.5—71.0, Au 31.5—59.7。其他组分(%): Pd 0.7—1.2, Pt 0—2.3, Rh 0—4.1, Ru 0—1.0, Cu 0—0.8, Fe 0—1.0, Ni 0—0.5。在铜镍硫化物矿床中产出。文献[7]中把本矿物按化学成分划分出含铂金银矿 (Ag 54.4—68.4, Au 13.8—29.7, Pt 3.1—6.1)、含钯金银矿 (Ag 34.5, Au 58.3, Rh 4.0, Ru 1.0) 及含钯金银矿 (Pd 0.7—1.0), 但所列出的含铂金银矿和含钯金银矿中的Ag含量似乎偏低, Au含量偏高。

铑金矿 (?) <sup>[3][11]</sup>: (Au, Rh)。含Rh 11.6—43%。见于砂金。本矿物可能为混合物。

铱金矿 (?) <sup>[3][11]</sup>: (Au, Ir)。等轴晶系。含 (%) Au 62.1, Ir 30.4, 可含少量Pt、Pd、Ag、Cu、Fe和Bi。见于砂金中。本矿物也可能为混合物。

含铜自然金<sup>[3]</sup>: (Au, Cu)。可含Cu 0.1—20%。

含钯铑铜银金矿<sup>[7][11]</sup>: (Au, Ag, Cu)。等轴晶系。主要组分(%): Au 66.5—67.7, Ag 17.0—19.4, Cu 9.2—11.2。其他组分(%): Rh 0—4.3, Pd 2.2—4.2, Pt 0—0.9, Pb 0—1.6, Sn 0—0.5。见在铜镍硫化物矿床中产出。文献[7]中把本矿物译为含钯铑银铜金矿。但其化学成分主要是Au和Ag, 而Cu仅为9.2—11.2%, 且属于等轴晶系。看来它不应属于铜金矿, 而应视为含钯、铑、铜的银金矿。本矿物似乎应包括文献[9]中的含钯铜银金矿 (Au, Ag, Cu, Pd)。

含锑自然金<sup>[10]</sup>:  $\text{Au}_{0.95}\text{Sb}_{0.05}$ 。含 (%) Au 98.08, Sb 3.17。见在由交代作用所形成的铅锌矿床的碳酸盐矿石中呈包体产出, 有时沿方金锑矿的边缘分布。

含铋自然金<sup>[3]</sup>: (Au, Bi)。

含汞自然金<sup>[11]</sup>: Yu. A. Kuznetsov 等 1982年报导了一种含汞自然金。其中含Hg达1—6%。

值得注意的是, 文献中关于自然金的变种的划分及命名相当混乱。

## (二) 金属互化物

Au-Cu 系列: 对该系列已作过较详细的研究, 并已确定它不是类质同象系列, 而是由一些金属互化物所组成。在自然界的金属互化物已见有  $\text{CuAu}_4$ 、 $(\text{Cu}, \text{Pd})_3\text{Au}_2$ 、 $\text{CuAu}$ 、 $\text{Cu}_3\text{Au}$ 等。

$\text{CuAu}_4$ <sup>[12]</sup>: 含 (%) Au 92.34, Cu 7.48, Ag 0.18。见在矿化绿泥石-石榴石-辉石岩中产出。

钯铜金矿<sup>[13][7]</sup>:  $(\text{Cu}, \text{Pd})_3\text{Au}_2$ 。斜方晶系。主要组分(%): Au 60.8—65.6, Cu 23.0—28.4, Pd 7.1—8.6; 其他组分(%): Rh 0—3.4, Pt 0—2.3, Ag 0.6—0.9, Ni 0—

0.15, Bi 0.5—0.6。产于铜镍硫化物矿床中。纯的 $\text{Cu}_3\text{Au}_2$ 矿物尚未见报导过。

钯金自然铜(?)<sup>[7]</sup>:  $(\text{Cu}, \text{Au}, \text{Pd})$ 。等轴晶系。主要组分(%): Au 57.5—64.5, Cu 26.8—28.4, Pd 5.7—7.7; 其他组分(%): Ag 0—8.3, Pt 0—3.8, Rh 0—1.9, Bi 0—0.8。从成分看, 该矿物与钯铜金矿非常近似, 但其晶系、空间群、光性及其他物性特征都不相同。显然二者为不同的矿物相。二者之间的关系值得研究。本矿物含Cu仅26.8—28.4%, 而含Au 57.5—64.5%, 将其命名为钯金自然铜(Palladium aurian copper), 无论是英文命名和中文译名都欠妥。该矿物在铜镍硫化物矿床中产出。

四方铜金矿<sup>[14]</sup>:  $\text{CuAu}$ 。四方晶系。含(%) Au 75.18, Cu 23.74。见在含铂基性-超基性岩以及河流重砂中产出。

金铜矿<sup>[1][4][12][5]</sup>:  $\text{Cu}_3\text{Au}$ 。等轴晶系。两个样品的X-光光谱分析结果分别为(%) Au 53.11, 55.95, Cu 45.96, 43.12。见在热液脉及蛇纹岩中产出。

等轴金铱矿<sup>[7]</sup>:  $\text{Ir}_2\text{O}_3\text{Au}$ 。等轴晶系。主要组分(%): Ir 51.7, Os 25.5, Au 19.3; 其他组分(%): Ru 3.5, Fe痕量(化学分析)。产于铬铁矿矿床及砂矿中。

Au-Hg系列: 该系列的人工合成物有 $\text{Au}_5\text{Hg}$ 、 $\text{Au}_3\text{Hg}$ 、 $\text{Au}_2\text{Hg}$ 、 $\text{Au}_2\text{Hg}_3$ 、 $\text{Au}_2\text{Hg}_5$ <sup>[15]</sup>。等随着Hg含量的增加, 其晶体结构亦发生有规律的变化。Hg含量由0—17.25% (不超过20%) 时为等轴晶系, 称为 $\alpha$ -相; 含Hg 25—45%时为六方晶系, 称为 $\beta$ -相; 含Hg大于50%时为等轴晶系, 称为 $\gamma$ -相。但长期以来, 在自然界未曾找到金和汞的互化物。近年来在我国某含铂超基性岩体中段的蚀变辉长岩中和某含金银中基性火山杂岩系上段黑云变粒岩中, 先后发现了 $\alpha$ 、 $\beta$ 和 $\gamma$ 相的金汞天然互化物, 均含不等量的Ag。

$\alpha$ -汞金矿<sup>[1]</sup>:  $(\text{Au}, \text{Ag})_4\text{Hg}$ 。等轴晶系。

围山矿<sup>[16]</sup>:  $(\text{Au}, \text{Ag})_3\text{Hg}_2$ 。含(%) Au 56.91, Hg 39.92, Ag 3.17。六方晶系。

$\gamma$ -汞金矿<sup>[15]</sup>:  $(\text{Au}, \text{Ag})\text{Hg}$ 。含(%) Au 36.64, Hg 53.17, Ag 9.16。等轴晶系。

属于 $\beta$ -汞金矿相的还发现有 $(\text{Au}, \text{Ag})_2\text{Hg}$ 、 $(\text{Au}, \text{Ag})_3\text{Hg}$ 。

金汞齐<sup>[5]</sup>:  $\text{Au}_2\text{Hg}$ 。六方晶系。

国外还报导过下列两个Au和Ag的汞的互化物:

$\text{Au}_5\text{Ag}_{10}\text{Hg}$ <sup>[12]</sup>: 含(%) Ag 49.27, Au 39.62, Hg 9.23, Cu 0.47。见于矿化绿泥石-石榴石-辉石岩中。

$\text{Ag}_{74.2}\text{Au}_{16.4}\text{Hg}_{9.4}$ <sup>[4]</sup>: 见于印度 Rajpura-Dariba 矿床。探针分析含(%) Ag 61.51, Au 24.78, Hg 14.47。在方铅矿和脆硫锑银铅矿(Owylheite)之间产出。

## 二、碲化物及其类似化合物

该类型包括硫化物、硒化物、碲化物、锑化物和铋化物, 其中主要是碲化物和铅-碲化物。

### (一) 铋化物

黑铋金矿<sup>[1][3]</sup>:  $\text{Au}_2\text{Bi}$ 。等轴晶系。含(%) Au 65.36, Bi 34.64。产于高温含金石英脉及砂卡岩矿床中。该矿物是在一个比较窄的温度范围内形成的, 其形成温度低于或等于

1) 田培学, 1981, 第一届全国矿物学学术会议论文摘要汇编, P.250--251。

373℃, 是一种可靠的地质温度计。

## (二) 锑化物

方金锑矿<sup>〔18〕〔19〕</sup>:  $\text{AuSb}_2$ 。等轴晶系。理论值含(%) Au 44.74, Sb 55.26。分析结果有时见有少量As、Ag和Cu。该矿物在国外很多矿山中发现过, 国内尚未见报导。在含有辉锑矿和其他锑矿物的矿床中产出。一般与自然金紧密共生, 常分布于自然金的边缘。

## (三) 碲化物及铅-碲化物

### I、碲化物<sup>〔20〕〔3〕</sup>

碲金矿:  $\text{AuTe}_2$ 。单斜晶系。含(%) Au 41.37—42.77, Te 56.93—57.87, Ag 0.40—0.79。

白碲金银矿:  $\text{Au}_4\text{AgTe}_{10}$ 或 $(\text{Au}, \text{Ag})\text{Te}_2$ 。斜方晶系。含(%) Au 34.77—43.86, Te 55.68—58.80, Ag 0.46—5.87。在某些样品中还见有少量(0.1n%) Cu、Fe、Sb等。

亮碲金矿:  $\text{Au}_2\text{Te}_3$ 。三斜晶系。理论成分(%) Au 50.77, Te 49.23。分析值中含少量Ag和Sb。

碲金银矿:  $\text{Ag}_3\text{AuTe}_2$ 。等轴晶系。理论值(%) Ag 41.71, Au 25.42。大多数分析结果近似理论值。该矿物可能具有等轴晶系的高温变体和斜方晶系的低温变体, 其可逆转变温度在150°—250℃之间。

杂碲金银矿:  $(\text{Au}, \text{Ag})\text{Te}$ 。三个样品的化学分析结果(%) Ag 26.36, 21, 16.69, Au 22.90, 31, 30.03, Pb 2.58, —, —, Te 46.44, (48), 39.14。对该矿物的所有分析材料都未作过显微镜下光性研究和X-光检查。晶系不清。因此该矿物是否存在尚需进一步证实。有人认为, 很可能分析的不是单矿物, 而是混合物。

针碲金银矿:  $\text{AuAgTe}_4$ 。单斜晶系。含(%) Au 24.19—31.40, Ag 6.6—13.94, Te 59.80—62.70。某些样品中还含少量(0.1—0.01n%) Cu、Fe、Ni、Se、S。

针碲金铜矿:  $\text{AuCuTe}_4$ 。探针分析(%) Au 25.2, Cu 7.7, Te 67.6, Ag 0.4。单斜晶系?

叶碲金矿:  $\text{Pb}_5\text{Au}(\text{Te}, \text{Sb})_4\text{S}_{5-8}$ ? 正方晶系? 分析结果(%) Au 7.41—10.16, Pb 52.55—58.8, Te 15.1—18.99, Sb 6.05—8.62, S 8.62—11.90。某些样品中见有少量Ag (达1.12%) 和Fe (0.1n%)。该矿物化学成分不固定, 不同研究者得出的分析数据各不相同。对叶碲金矿提出的分子式已有20多种。其晶系也各说不一, 如正方晶系、斜方晶系、假正方晶系、单斜晶系等。

$\text{Ag}_{1.1}\text{AuTe}_{3.8}$ : 探针分析, 其成分变化范围及平均值分别为(%) Ag 16.7—18.0, 14.3, Au 25—23.3, 24.2, Te 60.0—60.5, 60.2。该矿物化学成分与针碲金银矿近似, 但反射色不同, 反射率较低, 反射率色散各异。

上述碲化物中最常见的有碲金矿、白碲金银矿、针碲金银矿、叶碲金矿和碲金银矿。这些矿物不仅在许多原生金矿床中产出, 在一些砂矿床中也有发现。在某些金矿床中, 碲化物是金和银的重要工业矿物, 如罗马尼亚的Nagyag和Brad矿床, 西澳大利亚的Kalgoorlie和Mulgabbie矿床, 加拿大的Kirkland Lake矿床, 以及日本和苏联的许多矿床。但在大多数原生金矿床中, 某些金的碲化物可能只微量产出。

金的碲化物一般在火山岩组合或者在与安山岩、玄武岩等密切共生的岩石中的矿床内产



出。主要产于石英脉和石英-碳酸盐脉以及火山岩的黄铁矿化、硅化和碳酸盐化带。在前寒武纪绿岩中见有许多著名的碲化物-金矿脉。

值得注意的是, 同位素 $\text{Te}^{130}$ 具有放射性。由于成对的 $\beta$ -辐射而衰变成 $\text{X}^{130}$ 。利用碲矿物的这一特点, 可以测定含碲的金银矿床的形成年代<sup>[21]</sup>。

## II、铅-碲化物

近年来, 苏联Э. М. Спиридонов等<sup>[22]</sup>在西伯利亚东部卡察克斯坦的金-碲矿床氧化带中先后发现了好几种金、铜、铁、银的铅-碲化物, 即毕利宾矿、博格丹诺夫矿、别斯麦特矿以及尚未定名的几个矿物。1982年又报导一种毕利宾矿的含Sb变种——含锑毕利宾矿<sup>[23]</sup>。其中研究得比较详细的是毕利宾矿、博格丹诺夫矿和别斯麦特矿。他们认为, 在这些矿物晶格中, Pb和Te处于同一结构位置, 互相类质同象替代, 并认为属于金属互化物。但是, Л. И. Бочек等提出<sup>[24]</sup>, 毕利宾矿和别斯麦特矿不是金属互化物, 而是Au、Cu、Ag、Pb的互化物层和碲的氧化物( $\text{TeO}_2$ )层的混晶矿物(гибридные минералы), 其一般分子式为 $(\text{Au}, \text{Cu}, \text{Ag}, \text{Pb}) \cdot n(\text{TeO}_2)$ 。对于毕利宾矿,  $n \approx 0.3$ , 对于别斯麦特矿,  $n \approx 0.07$ 。

毕利宾矿<sup>[25]</sup>:  $\text{Au}_5\text{Cu}_3(\text{Te}, \text{Pb})_5$ 。假等轴晶系。探针分析结果平均为(%) Au 48.4, Ag 1.54, Cu 9.35, Fe 0.19, Te 21.60, Se 0.34, Pb 19.20。毕利宾矿和含锑毕利宾矿可用一般式 $\text{Me}_5\text{X}_5$ 表示。其中 $\text{Me}=\text{Au}$  (4.2—6.1个原子)、Cu (1.2—3.4)、Ag (0.1—0.5)、Fe;  $\text{X}=\text{Te}$  (2.7—3.6)、Pb (0.6—2.0)、Sb (0—0.6)、Bi (0—0.2)、Se (0—0.1)。

博格丹诺夫矿<sup>[26]</sup>:  $\text{Au}_5(\text{Cu}, \text{Fe})_3(\text{Te}, \text{Pb})_2$ 。假等轴晶系。探针分析结果平均为(%) Au 60.5, Ag 1.88, Cu 9.62, Fe 5.18, Te 9.94, Pb 12.50。其含铜的变种——铜博格丹诺夫矿含(%) Au 60.5, Ag 2.79, Cu 13.17, Fe 0.85, Te 9.92, Se 0.09, Pb 12.13。其含铁的变种——铁博格丹诺夫矿含(%) Au 60.35, Ag 2.19, Cu 4.63, Fe 9.33, Te 9.99, Se 0.07, Pb 12.83。总的可用一般式 $\text{Me}_4\text{X}$ 表示。

别斯麦特矿<sup>[27]</sup>:  $\text{Au}_4\text{Cu}(\text{Te}, \text{Pb})$ 。斜方晶系。探针分析(平均值, %) Au 72.3, Ag 3.77, Cu 6.27, Fe 0.72, Te 7.16, Pb 8.95。可用一般式 $\text{Me}_5\text{X}$ 表示。

几个未定名的矿物<sup>[22]</sup>:

$(\text{Au}, \text{Ag})\text{Fe}_2(\text{Te}, \text{Pb})_4$ : 一般式 $\text{Me}_3\text{X}_4$ 。探针分析含(%) Au 15.17, Ag 5.52, Cu 2.68, Fe 10.79, Te 48.2, Pb 16.42。

$\text{Au}(\text{Fe}, \text{Cu})(\text{Te}, \text{Pb})$ : 一般式 $\text{Me}_2\text{X}$ 。探针分析含(%) Au 50.1, Ag 2.00, Cu 6.46, Fe 7.47, Te 21.29, Se 0.12, Pb 13.47。

$\text{Au}_3(\text{Fe}, \text{Cu})(\text{Te}, \text{Pb})_2$ : 一般式 $\text{Me}_2\text{X}$ 。探针分析含(%) Au 59.8, Ag 2.64, Cu 2.83, Fe 3.78, Te 20.28, Pb 10.88。

$\text{Au}_5\text{Cu}(\text{Te}, \text{Pb})_2$ : 一般式 $\text{Me}_3\text{X}$ 。探针分析含(%) Au 67.8, Ag 1.54, Cu 5.24, Fe 0.18, Te 10.86, Pb 13.60。

$\text{Au}_5\text{Cu}_3(\text{Te}, \text{Pb})$ : 一般式 $\text{Me}_8\text{X}$ 。探针分析含(%) Au 70.3, Ag 2.76, Cu 13.33, Fe 0.25, Te 4.59, Pb 7.55。

上述铅-碲化物在深成的和火山成因的金-碲矿床氧化带的胶结带产出, 是金-碲矿石



氧化的典型产物。在氧化带, 这些矿物不稳定, 被自然金、铜铅的亚碲酸盐和碲酸盐、 $\text{TeO}_2$ 以及铁的氢氧化物的细片状和多孔状集合体所替代。

#### (四) 硒化物和硫化物

到目前为止, 仅发现一种金和银的硒化物——硒金银矿。金和银的硫化物见有乌顿布格矿。硫金银矿与乌顿布格矿或许同质异象。此外, C. R. Moore在新西兰的Broken Hills金矿山发现了几个尚未定名的金和银的硫-硒化物。

硒金银矿<sup>[20]</sup>:  $\text{Ag}_3\text{AuSe}_2$ 。等轴晶系。两个样品的探针分析值分别为(%) Ag 47.5, 48.6, Cu —, 0.3, Au 27.4, 27.2, Se 24.4, 22.8。在碳酸盐-石英脉中产出, 亦见于块状硫化物矿体中。

乌顿布格矿<sup>[28]</sup>和硫金银矿<sup>[29]</sup>: 二者成分相同, 且都为四方晶系。硫金银矿是我国陈振玠等在广东发现的, 成分为(%) Au 35.9, Ag 52.7, Cu 1.2, S 10.7, 分子式为 $(\text{Ag}_{2.92}\text{Cu}_{0.11}\text{Au}_{1.09})_{4.12}\text{S}_2$ 。产于混合岩和混合花岗岩中的含金石英脉、矽卡岩型铜矿床以及变质火山岩系内的黄铁矿型多金属矿床中, 呈细脉状和乳滴状, 与银金矿、方铅矿、辉银矿、磁黄铁矿、黄铜矿、黄铁矿、黝铜矿、闪锌矿、毒砂等共生。乌顿布格矿是加拿大M. D. Barton等发现的, 成分为(%) Au 27.3—35.3, Ag 53.2—57.1, Cu 0—3.6, S 10.3—12.4, 分子式为 $\text{Ag}_3\text{AuS}_2$ 。见在热液贵金属矿床中产出, 呈小气泡状(直径达100微米)或分布在其他矿物边缘, 与螺状硫银矿、银金矿、石英及其他矿物紧密共生。

硫金银矿和乌顿布格矿几乎同时发现, 但是乌顿布格矿已得到国际矿物学会承认。

根据魏明秀的研究<sup>[30]</sup>, 硫金银矿与乌顿布格矿的晶体结构不同。硫金银矿的空间群为 $P4/mmc$ 或 $P4_2c$ 或 $P4mc$ , 而乌顿布格矿为 $P4_122$ 或 $P4_1$ 。二者在反光镜的特征、硬度等也有差异。因此, 他认为硫金银矿和乌顿布格矿应是同质多象的两种矿物, 它们可能是在不同地质条件下以不同方式形成的。

几个未定名的硫-硒化物<sup>[31]</sup>:

$\text{Au}_{1.0}\text{Ag}_{12.29}\text{As}_{1.12}\text{Se}_{3.1}\text{S}_{5.35}$ : 探针分析含(%) Au 2.8—15.6, Ag 56.6—76.0, Se 10.3—14.8, As 1.0—7.1, S 8.2—9.0, 含少量(0.1%) Fe、Cu和Cd。

$\text{Au}_{0.36}\text{Ag}_{9.53}\text{As}_{1.38}\text{Se}_{1.0}\text{S}_{6.03}$ : 两个颗粒探针分析结果分别为(%) Au 6.1, 3.4, Ag 66.5, 71.2, As 8.1, 5.7, S 13.1, 12.6, Se 5.3, 5.3, Cd 0.2, 0.3。

$\text{Au}_{1.14}\text{Ag}_{8.39}\text{As}_{1.0}\text{Se}_{1.11}\text{S}_{6.06}$ : 探针分析含(%) Au 14.7, Ag 59.8, As 5.0, 12.6, Se 5.3, 含少量(0.1%) Fe、Cd和Cu。

$\text{Au}_{1.0}\text{Ag}_{2.41}\text{Se}_{9.88}\text{S}_{0.59}$ : 两个颗粒探针分析含(%) Au 36.1, 56.5, Ag 48.0, 34.0, Se 12.8, 3.3, S 3.5, 4.9, 含少量(0.1%) Cd和Cu。

上述矿物的成分不固定, 各元素没有严格的化学计算比值, 因此, Moore认为<sup>[31]</sup>可能是成分可变的固溶体。

以上几个未定各矿物见于蚀变流纹质凝灰岩内的矿化断层泥薄脉中, 与其他硒化物、黄铁矿、银金矿和辉硒银矿等共生, 并在其他矿物(包括粘土和石英等脉石)中呈细小包体产出。

金的碲酸盐虽然作为一种表生矿物在日本Daté矿山报导过<sup>[3]</sup>, 但未见到有关矿物学资料, 需要进一步证实。

有人认为“自然界可能存在金的有机络合物和螯合物,甚至化合物,特别是在腐殖质中,但目前尚未见到有关矿物学资料。

金矿物的上述产出特点,与金的地球化学性质密切相关。金在自然界主要有三种价态,即零价(Au)、正一价( $Au^{1+}$ )和正三价( $Au^{3+}$ )。但是,金是最不活泼的金属,最不易形成离子,即有较强地保持原子状态的能力,因此绝大部分呈自然金、合金和金属互化物产出。铜、银、金在周期表中同属一个族(ⅠB族)而且Au和Ag的原子半径相等( $Au 1.40 \text{ \AA}$ ,  $Ag 1.40 \text{ \AA}$ ),因此Au和Ag常形成类质同象固溶体。 $Cu (1.24 \text{ \AA})$ 与Au的原子半径相差较大,二者主要形成金属互化物。一价和三价的金有很高的电离势( $Au^{1+} 9.223 \text{ eV}$ ,  $Au^{3+} \sim 30 \text{ eV}$ ),在其化合物中主要显示出共价键的特征,因此,在自然界主要形成碲化物及其类似化合物。金具有亲硫和亲铁的双重性,故在空间上和成因上往往与硫化物(其中尤其是黄铁矿、毒砂、磁黄铁矿)密切共生。

本文得到王运昌高级工程师和陈光远教授的热情关怀以及其他很多同志的帮助,谨致深切谢意!

### 参 考 文 献

- [1] 中国地质科学院地质矿产所, 1978, 金属矿物鉴定表。地质出版社。
- [2] 徐国风, 1978, 自然金类矿物的鉴定及其标型特征。地质与勘探, 第1期, P59—62。
- [3] Boyle, R. W., 1979, The Geochemistry of gold and its deposits.
- [4] Ramdohr, D. P., 1969, The ore minerals and their intergrowths, 3rd ed., english transl., pergamon press, oxford.
- [5] 王濮等编著, 1982, 系统矿物学(上册)。地质出版社。
- [6] Petrovskaya, N. V. et al., 1979, Küstelite and discontinuity in natural gold-silver solid solutions. Int. Geol. Rev., vol. 21, No. 7, P. 825—832.
- [7] 中国科学院地球化学研究所编著, 1981, 铂族元素矿物鉴定手册。科学出版社。
- [8] Cabri, L. J. and Laflamme, J. H. G., 1974, Rhodium, Platinum and gold alloys from the stillwater complex. Can. Mineral., vol. 12, P. 399—403.
- [9] 姚敬敏, 1978, 金的赋存状态及与其有关的若干问题。地质与勘探, No. 7, P. 27—34。
- [10] Kazachenko, V. T. et al., 1979, Ore minerals in a polymetallic deposit of Primorye, USSR. Amer. Mineral., vol. 64, Nos. 3-4, P. 432—435.
- [11] Kuznetsov, Yu. A. et al., 1982, The first discoveries of mercurous gold in the Ukraine. Mineralogicheskii Zhurnal, 4(2), P. 72—74.
- [12] Новгородова, М. И., Цепин, А. И., 1976, О фазовом составе медистого золота. ДАН СССР, Том. 227, No. 1, p. 184—187.
- [13] Разин, Л. В. и др., 1971, Новый природный интерметаллид золота, меди и палладия из руд Талнахского месторождения. Зап. Всес. Минер. общ., часть 100, вып. 1, p. 66—76.
- [14] 陈克槐等, 1982, 四方铜金矿 $CuAu$ 在我国发现。地质科学, 第1期。
- [15] 陈克槐等, 1981, 电子探针发现的两个新矿物— $\gamma$ -汞金矿和汞铅矿。地质论评, 第2期, P. 108—115。
- [16] 李玉衡等, 1984, 围山矿——一种含金的新矿物, 矿物学报, 第2期, P. 102—104。
- [17] Borthykov, N. et al., 1981, Rare minerals from Rojpura-Dariba, Rajasthan, India, II. Intermetallic compound  $Ag_{74.2}Au_{16.4}Hg_{9.4}$ . Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen, 141, P. 217—223.
- [18] Granam, A. R. and Kaiman, S., 1952, Aurostibite,  $AuSb_3$ , a new mineral in the pyrite group. The Amer. Mineral., vol. 37, Nos. 5—6, P. 461—469.

- [19] Kazachenko, V. T. et al., 1979. Ore minerals in a polymetallic deposit of primorye, USSR. Amer. Mineral., Vol. 64, Nos. 3-4, P. 432-435.
- [20] 蔡长金编, 1977, 分散元素矿物鉴定表. 地质出版社.
- [21] Srinivasan, B. et al., 1972,  $\text{Te}^{130}$ — $\text{Xe}^{130}$  age determination of tellurium minerals. Econ. Geol., Vol. 67, P. 592-596.
- [22] Спиридонов, Э. М. Чвилева, Т. Н., 1982, Новые минералы золота-плюмботеллуриды золота, меди, железа, серебра (Групп Билибинскита). Новые данные о минералах, No. 30, p. 140-147.
- [23] Спиридонов, Э. М., Чвилева, Т. Н., 1982. Сурьмянистый билибинскит (вторая находка билибинскита). ДАН СССР, 265, No. 5, p. 1243-1247.
- [24] Бочек, Л. И. и др., 1982. Билибинскит и Безсмертновит—Не интерметаллиды золота, а новые гибридные минералы типа интерметаллид + оксид. ДАН СССР, 266, No. 5, p. 1255-1259.
- [25] Спиридонов, Э. М. и др., 1978. Билибинскит  $\text{Au}_3\text{Cu}_2\text{PbTe}_2$ —новый минерал, золото-теллуридных месторождений. Зап. Всесоюз. Минерал. О-Ва, Вып. 3-4.
- [26] Спиридонов, Э. М., Чвилева, Т. Н., 1979. Богдановит  $\text{Au}_5(\text{Cu}, \text{Fe})_3(\text{Te}, \text{Pb})_2$ —новый минерал из группы интерметаллических соединений золота. Вестн. Моск. Ун-та, сер. геология, No. 1, p. 44-52.
- [27] Спиридонов, Э. М., Чвилева, Т. Н., 1979. Безсмертновит  $\text{Au}_5\text{Cu}(\text{Te}, \text{Pb})$ —новый минерал из зоны окисления месторождения Дальнего Востока. ДАН СССР, 249, p. 185-189.
- [28] Barton, M. D. et al., 1978. Uytendogaardite, a new silver-gold sulphide. Can. Mineral., Vol. 16, P. 651-657.
- [29] 陈振玠等, 1979, 硫金银矿的发现和研究的科学通报, Vol. 24, No. 18, P. 843-848.
- [30] 魏明秀, 1981, 硫金银矿晶体结构研究的新资料. 地质科学, 第3期, P. 232-234.
- [31] Moore, C. R., 1979. Geology and mineralisation of the former broken hills gold mine, Hikurangi, Coromandel, New Zealand. N. Z. J. Geol. Geophys., 22, P. 339-351.

## Gold Minerals and Their Mode of Occurrence

Cai Changjin

### Abstract

About 64 species of gold minerals in nature have been known so far. These include some subspecies, varieties and the ones not yet named due to insufficient data. Among the 64 species, 25 of them have more complete mineralogical data. All of them are opaque minerals, the most common ones being native gold, electrum, küstelite, calaverite, sylvanite, petzite, krennerite and nagyagite. The economic (industrial) gold minerals are native gold, electrum, küstelite, aurostibite and gold telluride, the first two being the most important. The economic (industrial) gold minerals found in China are mainly native gold and electrum, while küstelite and gold telluride are also found in some mines. The various gold minerals occur under different geological conditions. This article deals only with the species of gold minerals and their mode of occurrence.