

# 北岭金矿中的针碲银金矿的研究\*

赵嘉农 任富根 李增慧 丁士应

(天津地质矿产研究所, 天津 300170)

主题词 针碲银金矿 矿物学特征 生成条件

提要 针碲银金矿产于北岭金矿的晚期矿化阶段, 赋存于梳状排列网脉状的石英中, 与自然金伴生。矿物组合为针碲银金矿-自然碲-碲铅矿-自然金-石英和针碲银金矿-碲镍矿-碲铅矿-石英。自然碲、碲镍矿、碲铅矿在针碲银金矿中呈包裹体产出。针碲银金矿呈柱状、板状、粒状晶形, 聚片双晶, 具强非均质性及双反射和反射多色性,  $Hv_{50} = 216-219 \text{ kg/mm}^2$ 。其化学成分: Ag 10.58%—12.36%, Au 23.70%—24.51%, Te 61.67%—62.30%, 含少量 As、Cu、Zn、Fe 和 Ni, 分子式为  $\text{AgAu}_{1.0494-1.2691}\text{Te}_{4.215-4.9182}$ 。X 射线衍射的强线有: 3.054 (85), 2.153 (31), 1.984 (18), 晶胞参数:  $a_0 = 8.9502\text{A}$ ,  $b_0 = 4.4973\text{A}$ ,  $c_0 = 14.7063\text{A}$ ,  $\beta = 145^\circ 58'$ 。在成矿溶液中 Au 和 Te 呈络合物运移, 在温度低、硫逸度低、偏酸性及大气水参与条件下, 发生金的富集成矿作用。针碲银金矿及其它碲化物是北岭金矿晚期矿化阶段的特征标志, 对寻找大型火山岩浅成热液碲化物型金矿具有重要的意义。

## 1 地质特征

北岭金矿位于元古宙华北地块南部熊耳裂陷中。矿区出露地层主要为中元古界熊耳群坡前街组富钾玄武安山岩、粗安岩, 官道口群高山河组碎屑沉积岩及龙家园组碳酸盐岩。金矿赋存于熊耳群钾质火山岩系中, 受 NNW 向剪切构造控制。断裂是矿区的主要构造, 具明显的多期活动特征。马越营韧性剪切带为元古宙伸展构造边缘断裂, 对矿质的活化、运移起主导作用。

围岩蚀变主要有: 硅化、钾长石化、绢云母化、青磐岩化、碳酸盐化和黄铁矿化, 受控矿构造控制, 呈线性展布, 显示有一定的分带趋势。

矿石矿物主要有: 黄铁矿、白铁矿、自然金、银金矿。含少量的方铅矿、闪锌矿、黄铜矿和氯角银矿等, 并有多种碲化物产出, 包括碲金矿、碲金银矿、斜方碲金矿、针碲银金矿、碲银矿、碲铅矿、碲镍矿和自然碲等。脉石矿物有: 石英、钾长石、绢云母、高岭石、绿帘石和碳酸盐等。表生矿物有: 褐铁矿、黄钾铁矾、高岭石等。

综合野外地质和室内观察结果, 可划分出两个矿化阶段: 初始矿化阶段和晚期矿化阶段。

初始矿化阶段主要是星散状或细脉状黄铁矿和少量的方铅矿、闪锌矿、黄铜矿呈细脉状、团块状、囊状或呈杏仁体赋存于火山岩中。

\* 国家自然科学基金和地质行业基金联合资助 (49372131)  
本文于 1995 年 10 月 12 日收到, 1995 年 12 月 27 日改回。

晚期矿化阶段主要表现为热液角砾岩网脉状石英脉中有种类繁多的碲化物产出。石英呈梳状排列,显示低温特征,产出的矿物组合有针碲银金矿-自然碲-碲铅矿-自然金-石英组合、针碲银金矿-碲镍矿-碲铅矿-石英组合和黄铁矿-方铅矿-闪锌矿-自然金-银金矿组合。碲化物的成矿作用集中在这一阶段,针碲银金矿呈独立矿物产出,其它如碲镍矿、碲铅矿、自然碲等都呈包裹体产在针碲银金矿中(照片1)。

## 2 针碲银金矿的矿物学特征

### 2.1 物理性质

针碲银金矿( $\text{AuAgTe}_4$ )为单斜晶系,呈柱状、板状和粒状,粒度为0.2 mm,最小者小于5  $\mu\text{m}$ 。银白色至钢灰色,强金属光泽, $H_{v50} = 216-219 \text{ kg/mm}^2$ ,镜下呈浅棕色,反射色呈白色微带棕色,聚片双晶发育,双反射清晰,反射多色性为淡棕-灰蓝。根据晶胞参数计算其比重为8.031<sup>[1,2]</sup>。

采用MPV-3型显微光度计对针碲银金矿(样号:91884405)进行了反射率色散值的测定,测得的反射率色散值如表1所示。表2是针碲银金矿的反射色颜色指数,图1是反射率色散曲线<sup>[3]</sup>。

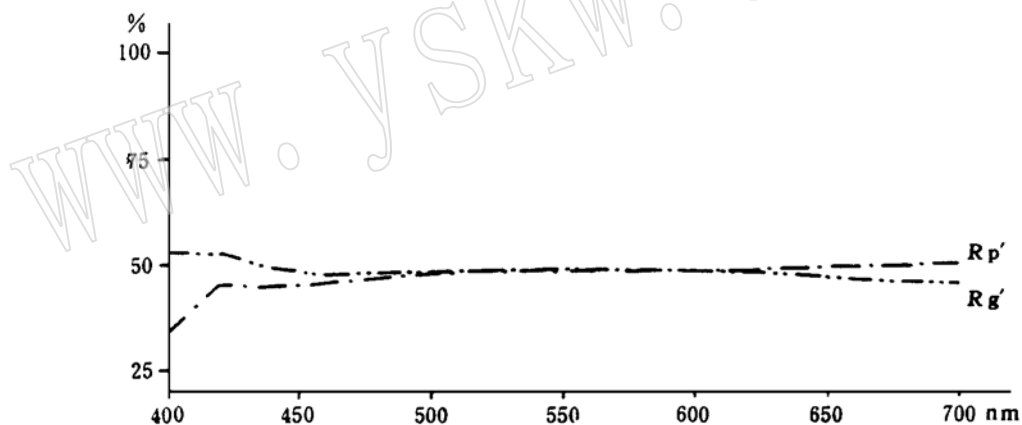


图1 针碲银金矿反射率色散曲线

Fig. 1 Reflectivity dispersion curve of sylvanite

表1 针碲银金矿的反射率色散值

Table 1 The dispersion of reflectivity of sylvanite

N ( nm)	R(%)															
	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
$R_g'$	52.95	52.61	48.70	47.63	47.63	48.00	48.44	48.49	48.45	48.42	47.75	47.01	46.59	45.89	45.24	44.83
$R_p'$	33.83	45.35	44.93	45.08	46.81	47.75	48.15	48.13	48.14	48.37	48.41	48.51	48.94	49.33	49.42	49.86

测试仪器: MPV-3型显微光度计。测试单位及测试者: 沈阳地质研究所 姜信顺

表 2 针碲银金矿的颜色指数  
Table 2 Color indices of sylvanite

	视觉反射率 $R_{vis}$ (%)	色度坐标		主波长 $\lambda_d$ (nm)	饱和度(纯度) $P_e$
		X	Y		
$R_g'$	48.20	0.3083	0.3157	574	0.1052
$R_p'$	48.13	0.3152	0.3237	572	0.0833

测试单位及测试者: 沈阳地质研究所 姜信顺

## 2.2 化学成分

针碲银金矿和自然碲(样号: 91884405)的电子探针分析结果见表 3, 计算的分子式除 Au、Ag 和 Te 等主要组份外, 尚含有少量的 As、Fe、Ni、Cu 和 Zn 以及自然碲包裹体等。

表 3 针碲银金矿和自然碲的电子探针分析(wt%)  
Table 3 Electron microprobe analyses of sylvanite and native tellurium(wt%)

矿物	As	S	Fe	Te	Ni	Cu	Zn	Ag	Au	Bi	Pb	总计	分子式
针碲银金矿	0.62	0.07	0.09	61.67	0.07	0.42	0.11	12.36	23.70	0.00	0.00	99.11	$AgAu_{1.0494}Te_{4.215}$
针碲银金矿	1.08	0.00	0.08	62.30	0.07	0.39	0.07	10.58	24.51	0.13	0.16	93.37	$AgAu_{1.2691}Te_{4.9182}$
自然碲	0.75	0.01	0.07	98.76	0.04	0.04	0.05	0.00	0.37	0.00	0.00	100.09	

测试仪器: JXA-733 型电子探针 测试条件: 加速电压 25kV; 电流  $2 \times 10^{-3}$  mA。测试单位及测试者: 中国地质科学院矿床地质研究所 陈克樵

据 X 射线能谱测定, 针碲银金矿的化学成分为 Te、Ag 和 Au(照片 2)。据电子显微镜背散射扫描图象和特征 X 射线分析(照片 3、4、5、6), 针碲银金矿中主要元素 Ag、Au 和 Te 呈均匀分布。

## 2.3 针碲银金矿的 X 射线衍射分析

对针碲银金矿进行了 X 射线衍射分析(见表 4), 发现针碲银金矿与碲铅矿伴生。对针碲银金矿获得了比较完整的全部实验数据和晶胞参数等, 而对碲铅矿只获得部分数据, 如 3.232(34), 2.984(36), 2.390(10), 1.614(11) 和 1.422(12) 衍射线。

针碲银金矿的晶胞参数见表 5。从表 5 可以看出, 本矿床中的针碲银金矿的晶胞参数与 JCPDS 9-477 卡片的数据相近, 但  $c$  略高, 这可能与某些元素有关。

## 3 生成条件

碲化物可作为火山岩浅成低温热液碲化物型金矿的标型矿物, 常在火山岩中石英脉型金矿内产出<sup>[4]</sup>, 在变质火山-沉积岩系中的含金石英脉内也发现有碲化物<sup>[5]</sup>。北岭金矿中的针碲银金矿等碲化物是赋存在元古宙熊耳群火山岩系受剪切带控制的构造蚀变岩型金矿中, 表明它们与火山岩系关系密切。

元素地球化学研究表明, 碲与硫的性质相似, 碲在地壳中呈分散状态, 绝大部分分散到硫化物矿物中, 只有在硫的浓度明显降低的条件下, 才能形成独立的矿物<sup>[6]</sup>。

表4 针碲银金矿的X射线衍射分析

Table 4 X-Ray diffraction analyses of sylvanite

针碲银金矿		JCPDS 9- 477	
<i>I</i>	<i>d</i>	<i>I</i>	<i>d</i>
11	7.382	5	7.36
13	5.069	10	5.09
26	4.507	5	4.53
25	3.962	10	3.98
26	3.841	10	3.83
		5	3.17
85	3.054	100	3.05
		20	2.98
10	2.487	5	2.47
10	2.355	5	2.39
100	2.249		
18	2.172		
31	2.153	50	2.14
21	2.115	10	2.12
16	2.078	10	2.08
13	2.054		
17	2.002		
18	1.984	30	1.988
		10	1.840
19	1.795	20	1.796
11	1.756	5	1.754
13	1.725	10	1.717
		5	1.646
		5	1.574
		20	1.522
17	1.499	5	1.496
13	1.478	5	1.470
14	1.420	10	1.418
		10	1.414
11	1.366	10	1.364
10	1.348	5	1.322
10	1.279	5	1.275
10	1.240	5	1.235
		10	1.221
		10	1.192
		5	1.138
9	1.043	5	1.086
9	1.021	5	1.051
		10	1.022
		5	1.001

测试仪器: 日本理学 DMAX-3B 型 X 射线衍射仪。测试条件: CuK $\alpha$  辐射; 电压 30kV; 电流 30mA; 扫描速度  $2^\circ(2\theta)/\text{min.}$ 。测试单位及测试者: 天津地质矿产研究所 侯 隽

表 5 针碲银金矿的晶胞参数

Table 5 Unit cell parameters of sylvanite

$a_0(\text{Å})$	$b_0(\text{Å})$	$c_0(\text{Å})$	$\beta$	来源
8.9502	4.4973	14.7063	$145^\circ 58'$	本文
8.96	4.49	14.62	$145^\circ 26'$	JCPDS 9-477

测试单位及测试者: 天津地质矿产研究所 侯 隽

北岭金矿含有少量的金属硫化物, 碲化物产出的晚期矿化阶段金属硫化物更为稀少, 标志该环境贫硫。不同世代黄铁矿的化学组份特征表明, 由初始矿化阶段的富硫型( $S/Fe=1.1566-1.1688$ )向晚期矿化阶段的亏硫型( $S/Fe=1.1476$ )演化, 也显示了晚期矿化阶段的贫硫特征。有关同位素组成特征, 初始矿化阶段  $\delta^{34}S$  为  $1.18\%_0-6.07\%_0$ , 显示稍富重硫的特征, 晚期矿化阶段则是以富轻硫为特征( $\delta^{34}S=-5.88\%_0-13.48\%_0$ ), 反映出成矿流体在氧逸度增高、酸碱度降低、偏酸性( $pH=6.5-5$ )的条件下同位素分馏的结果, 这主要是由大气水的参与引起的。网脉状石英包裹体氢-氧同位素研究, 测得的  $\delta^{18}O=16.7\%_0$ ,  $\delta D=-52\%_0$  以  $122^\circ C$  均一温度计算的  $\delta^{18}O_{H_2O}$  为  $-1.55\%_0$ , 证实存在有大气水。大气水的参与导致氧逸度增高、硫逸度降低, 使  $H_2S$  氧化, 向  $H_2SO_4$  转化,  $H_2SO_4$  电离( $H_2SO_4 \rightleftharpoons 2H^+ + SO_4^{2-}$ ),  $H^+$  大量增加, 酸碱度降低, 呈偏酸性, 不利于金属硫化物的生成。对石英-针碲银金矿-碲铅矿-自然碲-自然金组合和石英-针碲银金矿-碲镍矿-碲铅矿组合中的石英测得其均一温度分别为  $115.2-117.6^\circ C$ 、 $128.1^\circ C$  和  $112.3^\circ C$ 、 $134.9^\circ C$ 、 $161.8^\circ C$ ; 晚期矿化阶段黄铁矿包裹体的爆裂温度为  $190^\circ C$ , 热电系数  $\alpha = +104-166\mu V/^\circ C$ , 为空穴型(P型)导型, 都表明是在低温条件下生成。这些都标志了针碲银金矿是在温度较低、有大气水参与、氧逸度较高、硫逸度较低、偏酸性的条件下生成的, 同时伴随金的富集作用。

可以推测, 在岩浆作用过程中, 硅酸盐熔融体和含硫化物的熔融体可以部分混熔, 随着岩浆的冷却, 发生熔离作用, 两者分离, 碲与硫同时进入到含硫化物的熔体中。但随着熔融体碱度的增高, 硫化物溶解度显著上升, 因而在碱金属含量较高的岩浆中, 硫、碲的含量会相应增高。熊耳期岩浆侵入-火山喷发活动存在有向碱性演化的趋势, 出现偏碱性-碱性岩类, 因而可含有较多的碲和硫。在火山喷发活动过程中, 初始矿化阶段有金属硫化物的沉淀, 使硫浓度降低、碲浓度相应增高; 火山喷发活动宁静时期, 晚期矿化阶段由于大气水的作用, 使氧逸度增高, 硫逸度降低, 金主要以  $Au^{3+}$  运移, 与碲构成络合物  $Au^{3+}Te_2^-$ , 在偏酸性的条件下, 碲与其它金属发生沉淀, 构成各类碲化物, 含有不等量的金, 大量的金仍以络合物形式继续运移。随着金属碲化物的形成, 碲的浓度降低, 金就发生沉淀, 呈自然金产出, 与碲化物伴生。这正符合 F. G. 史密斯的论断“游离硫浓度低, 部分碲以碲离子存在, 则首先沉淀的是金的碲化物, 然后是自然金的沉淀”<sup>[7]</sup>。

综上所述, 赋存在元古宙熊耳群坡前街组钾质火山岩中的北岭金矿与熊耳期岩浆侵入-火山喷发活动关系密切, 属火山岩浅成低温热液碲化物型成因类型金矿。针碲银金矿及其它多种碲化物的产出做为该类型金矿的特征标志, 对寻找大型金矿具有重要的意义。

## 参 考 文 献

- 1 中国地质科学院矿床地质研究所编著. 金属矿物显微镜鉴定. 北京: 地质出版社, 1987, 296—297.
- 2 王 濮 潘兆槽 翁玲宝等编著. 系统矿物学(上册). 北京: 地质出版社, 1982, 236.
- 3 陈 正 陈殿芬 邹星. 金属矿物颜色指数研究. 北京: 地质出版社, 1982, 117—121.
- 4 宁仁祖 张慧敏 丁桂春 汪廷明 丁浩华. 江苏某地金-银碲化物的发现和初步研究. 矿物学报, 1984, (3): 252—259.
- 5 方耀全 帅德权 张天禄. 河南杨寨峪金矿床首次发现金-银碲化物系列. 矿物岩石, 1988, 8(4): 20—26.
- 6 刘英俊 曹励明主编. 元素地球化学导论. 北京: 地质出版社, 1987, 244—257.
- 7 [加]R. W. 博伊尔著. 黄金开发史和金矿床成因. 北京: 原子能出版社, 1989, 105—107.

## A Study of Sylvanite from the Beiling Gold Deposit, Henan Province

Zhao Jianong, Ren Fugen, Li Zenghui, Ding Shiyong  
(Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Tianjin 300170)

**Key words:** Sylvanite; mineralogy; formation condition

### Abstract

Sylvanite was formed at the late mineralization stage of the Beiling gold deposit and occurs in comby network quartz, associated with native gold. The mineral assemblage includes sylvanite-native tellurium-altaite-native gold-quartz and sylvanite-melonite-altaite-quartz. Native tellurium, melonite and altaite exist as inclusions in sylvanite.

Sylvanite occurs in columnar, tabular and grained forms and assume polysynthetic twin with strong anisotropy and birefractance.  $H_{v50} = 216—219 \text{ kg/mm}^2$ . Chemical composition: Ag 10.58%—12.36%, Au 23.70%—24.51%, Te 61.67%—62.30%, with small amounts of As, Cu, Zn, Fe and Ni. Chemical formula is  $\text{Ag Au}_{1.0494—1.2691} \text{Te}_{4.215—4.9182}$ . The strongest X-ray diffraction lines are 3.054(85), 2.153(31), and 1.984(18). Unit cell parameters:  $a_0 = 8.9502\text{Å}$ ,  $b_0 = 4.4973\text{Å}$ ,  $c_0 = 14.7063\text{Å}$  and  $\beta = 145^\circ 58'$ .

The ore deposit was formed at 115.2—161.8 °C and lower sulfur fugacity. Hydrogen and oxygen isotopic studies show that ore-forming fluids came from meteoric water of low salinity. The gold deposit is considered to be of volcanic epithermal type.

赵嘉农等: 北岭金矿针碲银金矿的研究

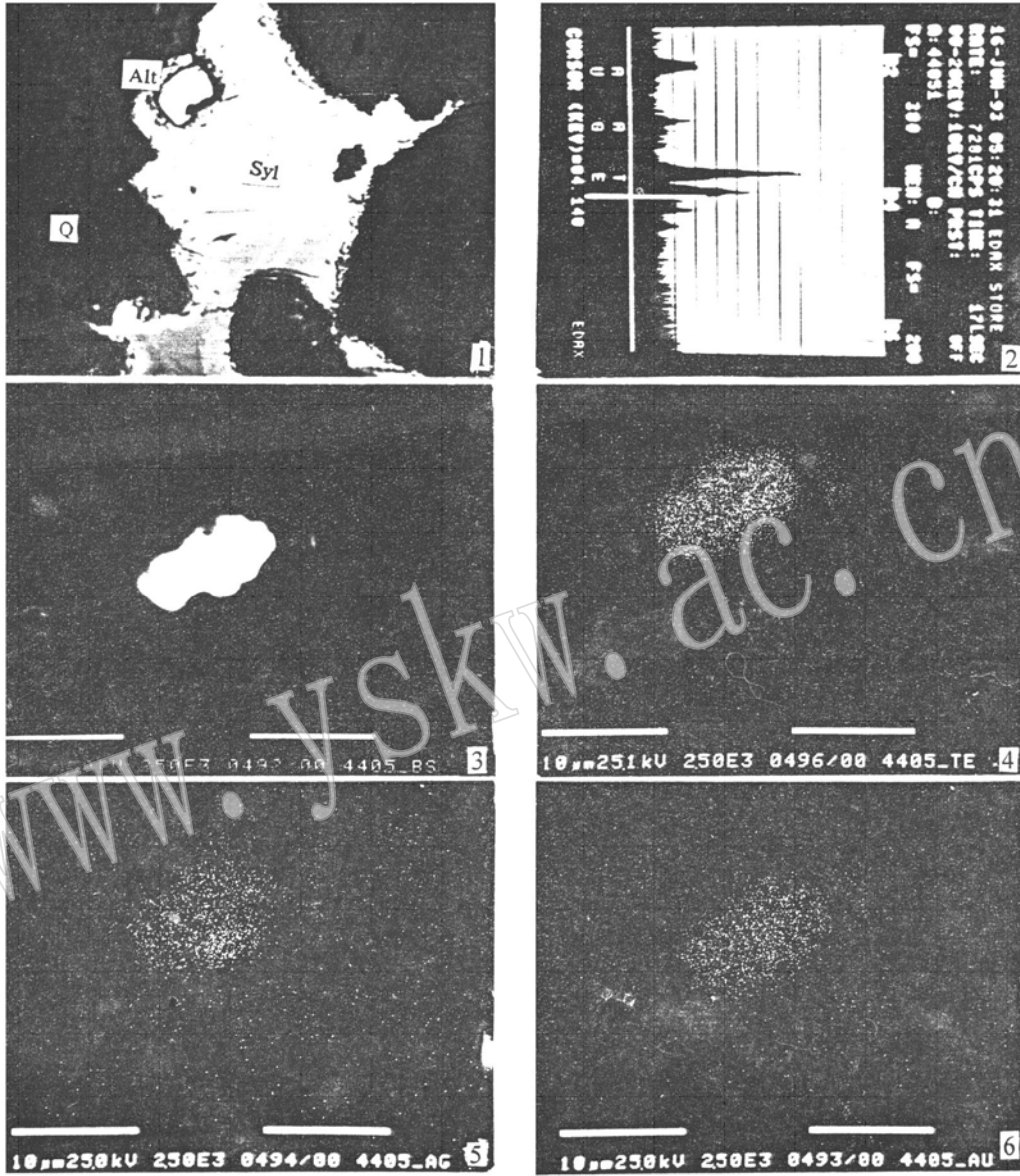


图 版 说 明

- 1 针碲银金矿 反射光  $\times 165$   
Syl- 针碲银金矿; Alt- 碲铅矿; Q- 石英
- 2 针碲银金矿的 X 射线能谱图像
- 3 针碲银金矿的背散射电子图像
- 4- 6 分别为针碲银金矿的 Te、Ag、Au 的 X 射线面分布图  
测试仪器: SEM505 型扫描电镜; EDAX-9100 型能谱仪。测试条件: 加速电压: 25KV; 出射角  $30^\circ$   
测试单位及测试者: 北京矿冶研究总院 张丽彦