

北京市得田沟金矿床矿物特征和金的赋存状态

崔艳合 亓绍玫

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)

彭明生 史彬

(北京地质矿产局101地质队, 密云县)

提 要: 得田沟金矿床是受韧性剪切带控制的石英脉-蚀变岩型金矿床。容矿岩石主要为太古宙受混合岩化的角闪岩相变质岩系。矿石矿物主要为黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、碲铅矿及金、银(铋)的单质和化合物等; 脉石矿物主要为石英、方解石、绿泥石、绿帘石、绢云母、阳起石等。Au、Ag(Bi)主要呈细粒自然金、自然银、碲金银矿、针碲金银矿、碲银矿、六方碲银矿、螺状硫银矿、未定名矿物 $AgS_{1+x}Te_{1-x}$ 和 Bi_5Te_6 存在。自然金与方铅矿、黄铜矿及Pb、Au、Ag及Bi的碲化物共生, 或充填石英及黄铁矿的微裂隙。Au的沉淀晚于黄铁矿、早于闪锌矿, 与方铅矿、黄铜矿及碲铅矿的沉淀基本同步。

关键词: 金矿床 金矿物 金的赋存状态 得田沟

得田沟金矿是北京市最新发现的金矿床。笔者着力利用现代测试手段, 首次对矿石的物质成分做了深入研究, 基本查明了金(银、铋)的存在形式。这不仅为展开矿床成矿机制的研究工作打下基础, 而且为该矿床的选冶和合理开发利用提供了依据。所发现的未定名矿物 $AgS_{1+x}Te_{1-x}$ 对于Ag-S-Te矿物系列的研究工作具有重要意义。

1 矿床地质特征概述

得田沟金矿床位于华北地台北缘内蒙地轴与燕山台背斜的交接部位。区内出露地层为太古宙四合堂群角闪岩相变质岩(图1)。主要容矿岩石为黑云浅粒岩、黑云变粒岩、黑云角闪斜长片麻岩、斜长角闪岩及角闪石岩。岩石已遭受不同程度的混合岩化, 局部形成混合花岗岩。

北北东向断裂(F_1)和近南北向断裂(F_3)控制了矿区内的主要构造格架。 F_1 在区域上称为崎峰茶断裂, 是主控矿(导矿)断裂, F_3 限制于 F_1 之东侧, 是二级控矿断裂。沿 F_1 与 F_3 的岩石发生了弱的片理化。三级小断裂及片理化带(初定为韧性剪切带)限制在 F_1 与 F_3 相交的楔形断块之内。主要金矿体赋于断块尖端部位近东西向展布向南倾斜的小型韧性剪切带中。在主矿体附近, 沿崎峰茶断裂有许多宽1~2m的正长斑岩、二长斑岩脉, 脉体延伸方向与断裂近垂直。这些岩脉随断裂活动形成, 又被断裂切割。三级片理化带(韧性剪切带)切割了正长斑岩, 表明岩脉的形成早于韧性剪切带, 岩脉的源区可能是成矿物质的源区。

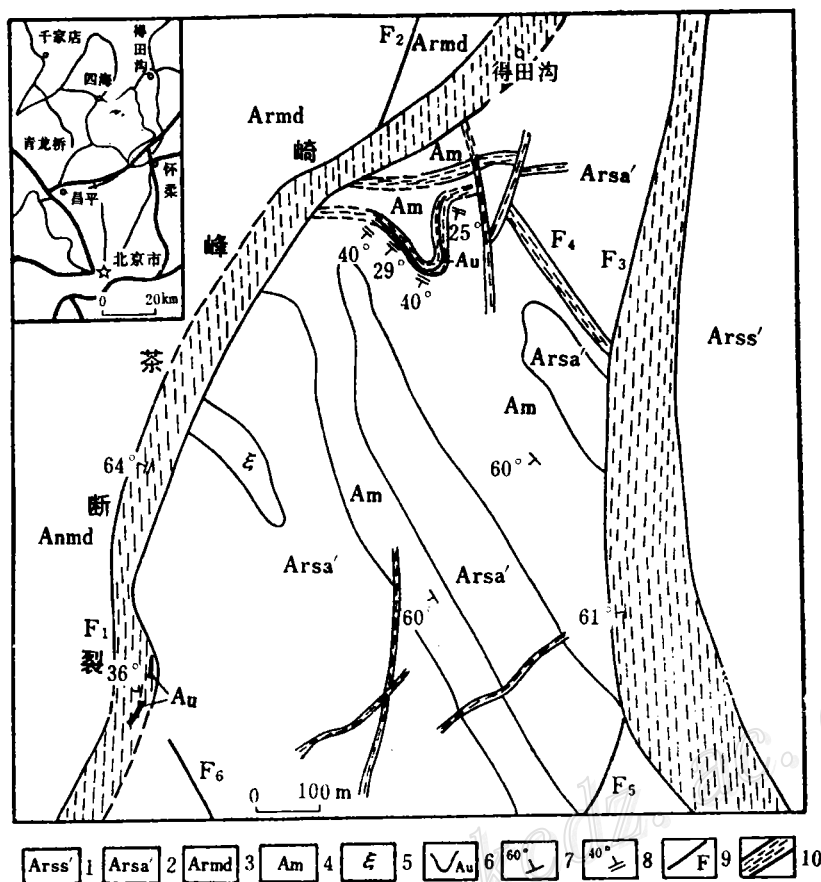


图 1 得田沟金矿床基岩地质略图

- 1—黑云浅粒岩、黑云变粒岩；2—黑云浅粒岩、黑云变粒岩、黑云角闪斜长片麻岩及斜长角闪岩；3—黑云变粒岩、黑云角闪斜长片麻岩；4—斜长角闪岩；5—正长岩脉；6—金矿脉；7—地层产状；8—片理化带产状；9—断裂；10—韧性剪切带

Fig. 1. Geological sketch map of the Detiangou gold deposit.

- 1—Biotite leucogranulite and biotite leptynites; 2—Biotite leucogranulite, biotite leptynite, biotite leptynite, biotite-amphibole-plagioclase gneiss and plagioclase amphibolites; 3—Biotite leptynite and biotite-amphibole-plagioclase gneiss; 4—Plagioclase amphibolites; 5—Sycnite dike; 6—Gold ore veins; 7—Attitude of strata; 8—Attitude of schistositized zone; 9—Fault; 10—Ductile shear zone.

主矿脉的形态呈舒缓波状，南倾 $25^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 。构造运动及热液流体活动使矿体两侧的变质岩发生蚀变、片理化，形成了以阳起石、绿泥石、绢云母、石英、方解石、绿帘石为主的糜棱岩化岩石、糜棱岩、超糜棱岩及糜棱片岩、构造蚀变片岩。近矿围岩的热液蚀变因围岩岩性的差异而有所不同。黄铁矿化是各种近矿围岩蚀变的共同特征。凡暗色矿物少的围岩，其热液蚀变主要表现为绢云母化、硅化、碳酸盐化。而富含暗色矿物角闪石、黑云母的围岩主要发生绿帘石化、绿泥石化、阳起石化、碳酸盐化和硅化以及绿色黑云母化。此外，热液蚀变还有透闪石化及电气石化。

本矿区各金矿体均受崎峰茶断裂带边部的次级片理化带（韧性剪切带）的控制，说明本矿床是受韧性剪切带控制的热液充填型金矿床。

2 矿石物质成分及结构构造

本矿床的主要矿石为金-多金属硫化物-石英脉型矿石和蚀变岩型金矿石。蚀变岩型金矿石多分布于石英脉的两侧,其金品位远低于石英脉型金矿石。硫化物是蚀变岩含金的重要标志之一。对本矿区的矿石经光薄片观察和电子探针分析,查明主要矿石矿物有黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、碲铅矿和自然金,同时伴有少量的斑铜矿、磁黄铁矿、磁铁矿、毒砂、自然银、碲金银矿、碲银矿及微量的针碲金银矿、六方碲银矿、螺状碲银矿和自然碲、未定名矿物 $\text{AgS}_{1+x}\text{Te}_{1-x}$ 和 Bi_5Te_6 等。脉石矿物有石英、方解石、绿泥石、绢云母、绿帘石、阳起石、黑云母、长石、透闪石、电气石及铅矾等。

矿石多呈半自形-它形粒状结构、交残结构、乳滴状固溶体分解结构、碎裂结构、交代脉结构、骸晶结构、包含结构、筛状结构等。矿石主要有脉状、网脉状构造、块状构造、稠密及稀疏浸染状构造和角砾状构造。

3 金(银、铋)的赋存状态

本矿床中的金(银、铋)主要呈自然金(银)及少量金(银、铋)的碲化物,硫碲化物及硫化物存在。在贱金属硫化物中也有金(银)的存在。

3.1 硫化物的主元素及微量元素

对本矿床中黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿及方铅矿的主元素及微量元素作了分析(表1)。由表1可见,黄铁矿中含金 $0\sim 0.1\%$ (相当于 $0\sim 1000\times 10^{-6}$),平均 0.055% ,含银 $0\sim 0.06\%$,平均为 0.015% 。黄铜矿含金 $0\sim 0.07\%$,平均 0.03% ,含银为 $0\sim 0.28\%$,平均 0.066% 。方铅矿含金 $0\sim 0.07\%$,平均为 0.038% ,含银 $0\sim 0.21\%$,平均 0.078% 。总体上看,这些硫化物中金(闪锌矿中为 0.01%)、银的含量高,且变化大,主要与Au、Ag矿物微细颗粒在硫化物矿物中的不均匀分布有关。

硫化物中黄铁矿形成最早,发生破碎并被方铅矿、黄铜矿、闪锌矿及碲铅矿等包围、交代或充填裂隙。方铅矿与黄铜矿(照片3)、碲铅矿(照片4)、自然金(照片1、3、4、5)共生,被闪锌矿交代(照片5)。主要硫化物可分为两个阶段,即黄铁矿阶段(早)和方铅矿-黄铜矿-闪锌矿阶段(晚)。晚硫化物阶段发生Au、Ag的矿化作用。

3.2 金矿物及其特征

(1) 自然金 本矿床中自然金呈粒状、片状、乳滴状、斑点状、细脉状及不规则状。粒径一般 $5\sim 100\mu\text{m}$,最大可达 $1\sim 2\text{mm}$ 。细脉状自然金充填石英裂隙(照片1)及黄铁矿裂隙(照片2)。自然金在方铅矿(照片4)及未定名矿物 Bi_5Te_6 中呈包裹体。自然金被闪锌矿交代,并最终为铅矾溶蚀(照片6)。自然金的形成晚于石英及黄铁矿,其形成阶段与方铅矿、黄铜矿、碲铅矿及银、金的单碲化物相当。

自然金、自然银的电子探针分析结果列于表2。金与银呈完全类质同象,当矿物中金的重量百分比 $\geq 80\%$ 时称为自然金,而 $\leq 20\%$ 时称为自然银。本矿床金矿物一般含金 $> 80\%$,多在 90% 左右,成色 $830\sim 910$ 。

表1 硫化物矿物的主元素和微量元素分析结果(%)
Table 1. Major element and minor element contents of sulfide minerals from the ore deposit (in wt %)

样号	序号	矿物	元素											总量	
			Fe	Cu	Zn	Pb	Au	Ag	S	Te	As	Sb	Bi		
R1-3	1	黄铁矿	45.53	0.02	0.05	0.00	0.01	0.06	53.65						99.32
R1-4	2	黄铁矿	46.16	0.00	0.08	0.00	0.04	0.00	53.13						99.41
R2-2	3	黄铁矿	46.79	0.02	0.00	0.00	0.10	0.00	53.13						100.04
R2-1	4	黄铁矿	46.05	0.01	0.00	0.00	0.07	0.00	53.16						99.29
R1-3	5	黄铜矿	27.72	33.97	2.16	0.00	0.00	0.00	35.16						99.01
R1-3	6	黄铜矿	30.43	34.54	0.24	0.00	0.02	0.00	34.62						99.85
R1-3	7	黄铜矿	30.55	34.29	0.04	0.39	0.00	0.05	34.33						99.65
R2-2	8	黄铜矿	30.29	34.16	0.00	0.00	0.07	0.00	34.34						98.86
G3	9	黄铜矿	30.52	31.71	0.00	0.00	0.06	0.28	35.88	0.88	0.00	0.25	0.22		99.80
R1-3	10	闪锌矿	1.30	0.22	64.95	0.03	0.01	0.00	33.38						99.89
R1-3	11	方铅矿	0.10	0.05	0.00	86.40	0.05	0.00	13.04						99.64
R1-4	12	方铅矿	0.05	0.02	0.00	86.92	0.00	0.07	12.52						99.58
R1-4	13	方铅矿	0.09	0.00	0.31	86.46	0.03	0.03	12.76						99.68
R1	14	方铅矿		0.07	0.30		0.07	0.21	13.33	0.28	0.00	0.00	0.00		

序号1~13样品为电子探针法,由中国地质科学院矿床地质研究所余静、王文璞测定;序号14用原子吸收及等离子光谱、原子荧光法,由中国地质科学院岩矿测试技术研究所曾惠芳分析

(2) 碲金银矿 呈不规则状在石英中与碲铅矿及未定名矿物 Bi_5Te_6 共生。大多数碲金银矿呈星点状微细矿物分布于多金属硫化物边部的石英中。在显微镜下观察,碲金银矿灰白色,略带浅红色色调,均质,反射率略高于方铅矿(目估比较),晶体抛光面擦痕清楚。因矿物颗粒细小($0.001\text{mm} \times 0.01\text{mm} \sim 0.02\text{mm} \times 0.03\text{mm}$),矿物名称由其成分(见表3)结合镜下特征而定。碲金银矿中Pb、As、Sb的杂质含量较高,可能呈类质同象存在;矿物化学式中金、银及碲的原子百分比略有变化(见图2)。

(3) 针碲金银矿 它形粒状,粒径 $0.01 \sim 0.1\text{mm}$ 左右。反射色乳白至白带玫瑰色调;强非均质,偏光色灰至灰棕。其名称由电子探针分析结果(表3)结合镜下特征而定。针碲金银矿与六方碲银矿伴生,晚于方铅矿形成(照片6)。

3.3 银矿物及其特征

除上述碲金银矿、针碲金银矿外,银矿物主要为自然银、碲银矿、六方碲银矿、未定名矿物 $\text{AgS}_{1+x}\text{Te}_{1-x}$ 和少量的螺状硫银矿。

(1) 未定名矿物 $\text{AgS}_{1+x}\text{Te}_{1-x}$ 镜下观察,该矿物呈鳞片状聚晶存在,反射色灰至灰绿色,强非均质,偏光色灰至棕褐色,单晶粒径几微米,集合体 $0.01\text{mm} \times 0.03\text{mm}$ 至 $0.02\text{mm} \times 0.05\text{mm}$ 。其与石英裂隙中溶蚀交代自然金、方铅矿及石英的铅矾伴生(照片6)。矿物的化学成分变化见图2。从矿物的化学组成变化特征看(表3),可视 Ag^+ 固定不变,Te有限地替代S,但其替代量不超过50%(原子数)。

(2) 自然银 银白色,它形粒状,粒径一般几微米,镜下发现多群集分布于多金属硫化物边部的石英中,银含量高达99%左右,杂质少(见表2)。

(3) 碲银矿 它形粒状,或不规则状,粒径 $0.01 \sim 0.1\text{mm}$ 左右。反射色白带绿色色调;

表 2 自然金和自然银的
Table 2. Electron microprobe analyses of native gold

样号	序号	元素		Fe	Cu	Zn	Pb	Au	Ag
		矿物							
R1-3	1	自然金		0.04	0.19	0.06	0.00	90.01	9.45
G3	2	自然金		0.21	0.06	0.08	0.03	88.70	9.37
D1-1	3	自然金		0.02	0.06		0.03	83.78	16.35
G3	4	自然金		0.03	0.08		0.06	90.05	8.94
G3	5	自然金		0.03	0.08		0.06	90.30	8.68
92617-2	6	自然金						89.96	10.36
92617-2	7	自然金						90.14	9.86
92617-2	8	自然金						91.20	8.80
92617-2	9	自然银		0.07	0.05		0.00	0.15	99.00
92617-2	10	自然银		0.05	0.04		0.23	0.00	99.14

由中国地质科学院矿床地质研究所电子探针组余静、王文英测定; Se均未测出

表 3 Au, Ag, Bi的碲化物、硫化物及碲化物的
Table 3. Electron microprobe analyses of tellurides, sulfides and

样号	序号	元素		Fe	Cu	Zn	Pb	Au
		矿物						
Zk 305-8	1	碲金银矿		0.05	0.08		0.00	22.51
Zk 305-8	2	碲金银矿		0.04	0.06		0.23	19.26
92630-4	3	碲金银矿		0.00	0.06		0.00	19.03
92630-4	4	碲金银矿		0.03	0.03		0.43	27.21
92617-8-1	5	碲金银矿		0.00	0.04		0.23	22.70
G3	6	碲金银矿		0.06	0.12		0.57	16.02
G3	7	碲金银矿		0.06	0.06		0.15	22.27
G3	8	碲金银矿		0.06	0.06	0.12	0.14	24.15
G3	9	碲金银矿		0.13	0.31	0.08	0.84	21.88
92617-8-1	10	碲金银矿		0.89	0.00		0.17	26.39
D1-1	11	针碲金银矿		0.00	0.06		1.45	19.49
92619-3	12	针碲金银矿		0.07	0.05		0.00	21.21
92630-4	13	碲银矿		0.08	0.00		0.34	3.96
92617-8-1	14	碲银矿		0.74	0.01		0.04	1.45
92630-4	15	碲银矿		0.02	0.00		0.64	0.22
G3	16	碲银矿		0.06	0.06		0.00	0.55
D1-1	17	六方碲银矿		0.05	0.04		0.96	1.21
D1-1	18	未定名矿物 $Ag_{Si+x}Te_{1-x}$		0.06	0.08		1.98	0.25
92619-3	19	未定名矿物 $Ag_{Si+x}Te_{1-x}$		0.09	0.21		2.70	0.00
D1-1	20	$Ag_{Si+x}Te_{1-x}$					2.76	
G3	21	螺状硫银矿?						
G3	22	螺状硫银矿?						
G3	23	螺状硫银矿?						
Zk 305-8	24	未定名矿物 Bi_5Te_6		0.00	0.08		0.97	0.41

由中国地质科学院矿床地质研究所电子探针组余静、王文英测定

电子探针分析结果 (%)
and native silver (in wt %)

S	Te	As	Sb	Bi	总 量	化 学 分 子 式
0.00					99.75	(Au _{0.83} Ag _{0.16} Cu _{0.01}) _{1.00}
0.20	0.50	0.17	0.00	0.68	100.00	(Au _{0.83} Ag _{0.16} Fe _{0.01}) _{1.00}
0.04	0.00	0.12	0.00	0.00	100.40	(Au _{0.74} Ag _{0.26}) _{1.00}
0.00	0.16	0.26	0.17	0.16	99.91	(Au _{0.85} Ag _{0.15}) _{1.00}
0.00	0.16	0.26	0.18	0.16	99.91	(Au _{0.85} Ag _{0.15}) _{1.00}
					100.32	(Au _{0.83} Ag _{0.17}) _{1.00}
					100.00	(Au _{0.83} Ag _{0.17}) _{1.00}
					100.00	(Au _{0.85} Ag _{0.15}) _{1.00}
0.19	0.00	0.29	0.00	0.05	99.80	Ag _{1.00}
0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	99.66	Ag _{1.00}

电子探针分析结果 (%)
tellurosulfides of gold, silver and bismuth from the ore deposit (in wt%)

Ag	S	Te	As	Sb	Bi	总 量	化 学 分 子 式
41.59	0.00	34.03	0.05	0.00	0.69	99.00	Ag _{2.67} Au _{0.89} Te ₂
43.87	0.09	35.15	0.30	0.00	0.00	99.00	Ag _{2.97} Au _{0.74} Te ₂
45.58	0.06	34.27	0.14	0.00	0.38	99.52	Ag _{3.28} Au _{0.71} Te ₂
38.59	0.00	33.02	0.28	0.43	0.00	100.02	Ag _{2.76} Au _{1.06} Te ₂
42.00	0.00	34.34	0.32	0.28	0.00	99.91	Ag _{2.86} Au _{0.86} Te ₂
46.86	0.21	34.41	0.40	0.35	0.00	99.00	Ag _{3.24} Au _{0.59} Te ₂
44.35	0.00	32.01	0.35	0.14	0.00	99.39	Ag _{3.31} As _{0.94} Te ₂
41.90	0.00	33.09	0.33	0.13	0.00	99.98	Ag _{2.94} Au _{0.94} Te ₂
39.80	0.07	36.39	0.38	0.30	0.00	100.18	(Ag _{2.59} Pb _{0.05})Au _{0.76} Te ₂
38.22	0.05	33.41	0.30	0.11	0.00	99.54	Ag _{2.72} Au _{0.89} Te ₂
19.15	0.00	59.11	0.27	0.20	0.00	99.73	Au _{0.84} (Ag _{1.56} Pb _{0.06})Te ₄
13.09	0.00	64.31	0.27	0.00	0.00	99.00	Au _{0.87} Ag _{0.99} Te ₄
60.15	0.00	35.05	0.18	0.00	0.00	99.76	(Ag _{2.03} Au _{0.06})Te
59.04	0.00	38.22	0.29	0.00	0.07	99.86	(Ag _{1.83} Au _{0.03})Te
61.02	0.00	37.25	0.27	0.23	0.00	99.65	Ag _{1.94} Te
61.81	0.00	37.01	0.08	0.18	0.00	99.75	Ag _{1.94} Te
55.72	0.02	41.26	0.10	0.11	0.00	99.47	(Ag _{1.82} Au _{0.09})Te ₃
47.26	20.99	28.67	0.00	0.00	0.00	99.29	Ag(S _{1.48} Te _{0.52})
35.71	13.73	46.53	0.00	0.04	0.19	99.20	(Ag _{0.83} Pb _{0.03})(S _{1.09} Te _{0.91})
45.93	21.03	30.29		0.00		100.01	(Ag _{0.94} Pb _{0.03})(S _{1.46} Te _{0.54})
87.88	12.12					100.00	Ag _{2.15} S
86.04	13.96					100.00	Ag _{1.83} S
86.66	13.34					100.00	Ag _{1.93} S
0.41	0.00	45.28	0.33	0.00	51.55	99.03	Bi _{5.02} Te ₆

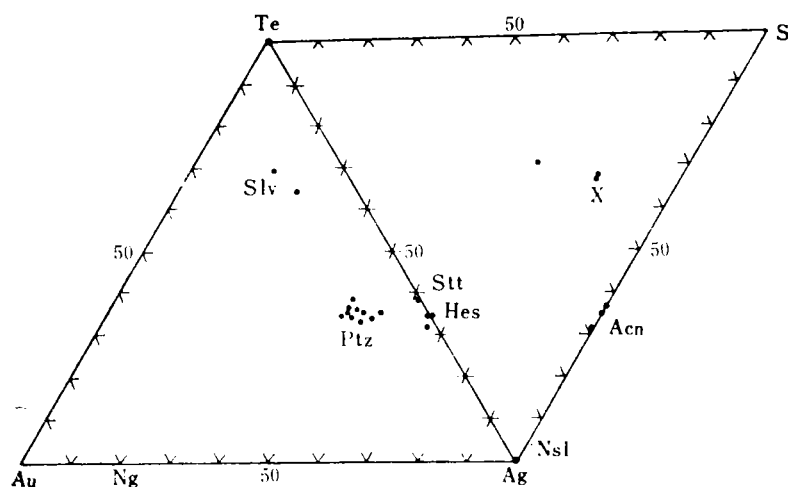


图 2 Au-Ag-S-Te 体系矿物的成分 (原子百分比) 图解

Te—自然碲; Ng—自然金; Nsl—自然银; Slv—针碲金银矿; Ptz—碲金银矿; Stt—六方碲银矿;
Hes—碲银矿; Acn—螺状碲银矿; X—未定名矿物 $AgS_{1+x}Te_{1-x}$

Fig. 2. Diagram showing the composition of the minerals of the Au-Ag-S-Te system (in atom percentage).

Te—Native tellurium; Ng—Native gold; Nsl—Native silver; Slv—Sylvanite; Ptz—Pettzite; Stt—Stuctzite; Hes—Hessite; Acn—Acanthite; X—Unnamed mineral $AgS_{1+x}Te_{1-x}$.

强非均质, 偏光色浅褐至浅棕色调; 反射率 (目估) 与方铅矿接近。其名称由成分 (表 3) 及镜下特征而定。

(4) 六方碲银矿 多呈针状, 长 0.01~0.1mm 左右。反射色乳白带弱的玫瑰色调; 反射率 (目估) 与方铅矿相近, 反射色白带绿至白带黄色色调, 强非均质, 偏光色浅褐至浅红。因矿物颗粒细小, 其名称由镜下特征结合成分 (表 3) 而定。该矿物在铅矾中与针碲金银矿共生 (照片 6)。

螺状碲银矿由扫描电镜发现, 颗粒细小, 仅几微米。其名称由成分 (表 3) 及本矿床的低温特点推定。该矿物呈次显微粒状分布于石英中。

3.4 未定名矿物 Bi_5Te_6

该矿物呈板条状, 粒径 0.01mm × 0.04mm。反射色白带绿至白带玫瑰色调; 强非均质, 偏光色深灰至灰棕色。内含自然金的包裹体, 与碲金银矿伴生。其化学成分见表 3。

4 对金 (银) 矿化的初步认识

对于 S-Te-Au-Ag-Fe-Cu-Pb-Zn 这一复杂的热液体系来说, 随 f_{S_2} 的降低, 硫化物理想的结晶顺序是: FeS_2 (黄铁矿) → $Fe_{1-x}S$ (磁黄铁矿) → PbS (方铅矿) + $CuFeS_2$ (黄铜矿) + ZnS (闪锌矿) + Ag_2S (辉银矿) → Ag (自然银)^[2,7]。随着 f_{Te_2} 的降低, 碲化物的理想生成顺序是: Te (自然碲) → $AuAgTe_4$ (针碲金银矿) + Ag_5Te_3 (六方碲银矿) → Ag_3AuTe_2 (碲金银矿) + $PbTe$ (碲铅矿) + Ag_2Te (碲银矿) → Au (自然金) → Ag (自然银)^[7,8]。本矿床中未

定名矿物 $\text{AgS}_{1+x}\text{Te}_{1-x}$ 结晶时间与伴生的 AgAuTe_4 及 Ag_5Te_3 相当。

本矿床中的硫化物,黄铁矿形成最早,它交代磁铁矿,本身破碎并被磁黄铁矿交代,被方铅矿、黄铜矿、碲铅矿及闪锌矿交代穿切。自然金充填石英裂隙及黄铁矿裂隙,与方铅矿、黄铜矿、碲铅矿等共生。银矿物主要呈微粒状分布于多金属硫化物的边部。自然碲交代方铅矿和碲铅矿。根据这些矿物组合特征,认为本矿床的矿化过程是一个 f_{S_2} 降低而 f_{Te_2} 升高的过程。

至于金、银在成矿热液流体中的搬运沉淀形式,国外学者们曾作过许多研究。在温度 $25\sim 250^\circ\text{C}$ 、近中性至稍碱性溶液中,金主要呈 $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ 络合物存在^[3]。C A Wood等^[4]指出,金和银都是软金属离子,故在含硫溶液中,这两种金属离子均可与软的二硫化物离子结合,形成 $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ 和 $\text{Ag}(\text{HS})_2^-$ 。后来,D M Shenberger和H L Barnes^[5]通过给定温度下,对金在含水硫化物溶液中溶解度的研究,认为 $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ 具有较大的稳定性,金可以在典型热液中呈二硫化物络合物 $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ 进行搬运,由于pH值和氧化还原条件的变化或溶液中硫化物活度的降低导致金的沉淀。C H Gammons和H L Barnes^[6]认为,银在近中性到碱性、较低氧化状态、总硫化物浓度高和温度低于 300°C 的热液流体中,主要呈 $\text{Ag}(\text{HS})_2^-$ 形式搬运,随着水溶液硫化物浓度的降低或pH值远离 $\text{H}_2\text{S}=\text{H}^++\text{HS}^-$ 平衡态的变化,或在自然银稳定区间依氧化态的改变(电位降低)而发生沉淀。 Au^+ 之 d^{10} 及 Ag^+ 之 d^{10} 的 d 轨道为全充满状态, Au^+ 、 Ag^+ 形成络合物后,它们与配位体之间的结合力是共价键,所以 Au 、 Ag 络合物的稳定性随配位体元素电负性的降低而增高。配位体原子半径越大及变形性越强,越有利于共价键的形成,所以VA族元素及VIA族元素参与配位时, Au 的络合物的稳定顺序是 $\text{Bi}>\text{Sb}>\text{As}>\text{P}$ 和 $\text{Te}>\text{Se}>\text{S}$,在跨族的情况下 $\text{As}>\text{Se}>\text{S}$ 。 As 与 Au 的相关性在河北省土岭-石湖金矿区已得到证实^[1]。

本矿床中, H_2S 是成矿热液中的主要挥发分, Au 、 Ag 主要与 HS^- 结合成络合物搬运。矿床中大量碲化物(碲铅矿等)的存在,表明流体中富含有利于形成金稳定络合物的 Te 。本矿床石英流体包裹体的均一温度变化于 $100\sim 300^\circ\text{C}$ 之间,绢云母化显示流体属偏碱性流体。可以认为 Au 、 Ag 在成矿流体中的搬运形式为 $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ 、 $\text{Ag}(\text{HS})_2^-$ 和 $\text{Au}(\text{H}_2\text{STe})^-$ 、 $\text{Ag}(\text{H}_2\text{STe})^-$ 。矿床成矿过程中黄铁矿的沉淀造成 f_{S_2} 降低。伴随的构造运动使黄铁矿破碎,之后形成方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、自然金、自然银、螺状硫银矿、碲铅矿、碲银矿、碲金矿等。 f_{Te_2} 的升高或温度的降低,使溶液中 f_{Te_2} 达到自然碲稳定区域,最终形成自然碲。

利用A M Afifi等^[7]对含碲化物矿床中硫、碲逸度的研究结果,可以近似估计本矿床金、银矿化阶段的形成条件。在 300°C 条件下,自然银结晶时 $f_{\text{Te}_2}\leq 10^{-15.6}$, $f_{\text{S}_2}\leq 10^{-12.3}$;自然金结晶时, $f_{\text{Te}_2}\leq 10^{-9.9}$;自然碲结晶时 $f_{\text{Te}_2}\geq 10^{-6.7}$ 。 Ag_2Te 及 Ag_2S 的存在以及自然碲形成最晚表明,成矿流体的 f_{Te_2} 从 $10^{-15.6}$ 升至 $10^{-6.7}$ 以上。利用 $f_{\text{S}_2}-f_{\text{O}_2}$ 图解^[2]并结合黄铁矿交代磁铁矿及磁黄铁矿交代黄铁矿的现象,可大致估计热流体的 f_{S_2} 从高于 10^{-15} 降至 10^{-15} 以下, $f_{\text{O}_2}\leq 1^{-38}$ 。

5 结 论

(1) 得田沟金矿床的主要硫化物中含有许多分布不均匀的金、银及碲矿物的包裹体。

矿床中碲化物含量较高,矿床为受韧性剪切带控制的热液充填型富碲金矿床。

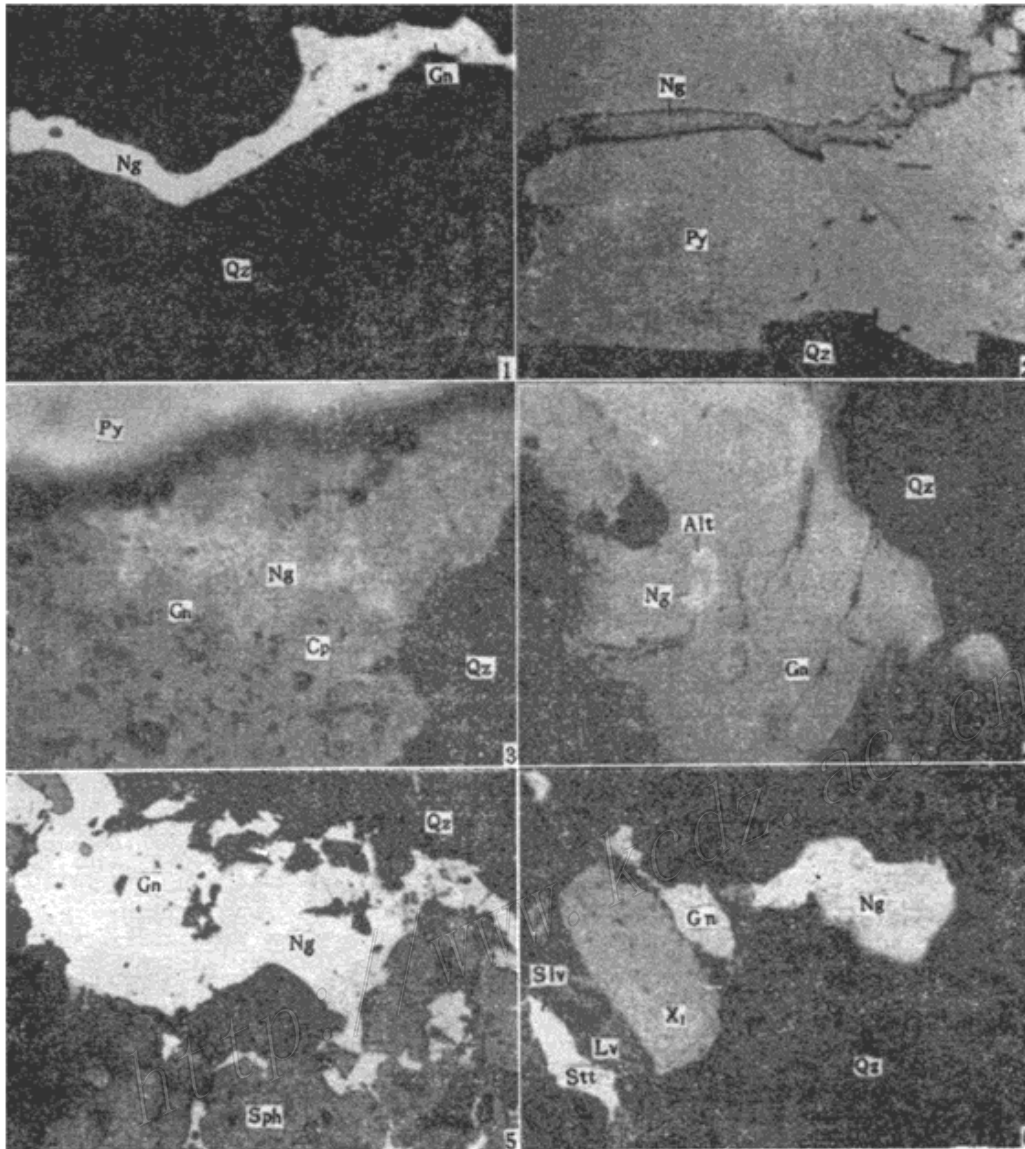
(2) 矿床中的金主要呈细粒自然金、碲金银矿及少量针碲金银矿存在。自然金充填石英裂隙及黄铁矿裂隙,与方铅矿、黄铜矿及碲铅矿共生。银呈微细自然银、碲银矿、六方碲银矿、螺状硫银矿及未定名矿物 $\text{AgS}_{1+x}\text{Te}_{1-x}$ 产出。银矿物多分布于多金属硫化物边部的石英中。还发现一种未定名矿物 Bi_5Te_6 ,该矿物中含自然金的包裹体。

(3) 金、银矿化晚于黄铁矿的形成。在成矿过程中金和银主要呈 $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ 、 $\text{Ag}(\text{HS})_2^-$ 及 $\text{Au}(\text{H}_2\text{STe})^-$ 、 $\text{Ag}(\text{H}_2\text{STe})^-$ 形式搬运。在中低温(100~300℃)、pH呈弱碱性条件下,随着 f_{S_2} ($\geq 10^{-12.3} \rightarrow \leq 10^{-12.3}$)的降低,Au、Ag络合物分解、沉淀,形成Au-Ag-S-Te系列矿物。Au、Ag碲硫络合物的分解,或源区碲的补给导致热液中 f_{Te_2} ($10^{-15.6} \rightarrow 10^{-6.7}$)的升高,形成一系列碲化物,并最终形成自然碲。

在矿区工作期间,承蒙北京市地质矿产局101地质队总工周绍林、北京市地质矿产局科技处工程师李伟同志的大力支持和热情帮助,在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 崔艳合.土岭-石湖金矿区黄铁矿的热电性及其找矿意义.矿床地质研究所刊,1992,第1号:94~103
- 2 南京大学地质系编.地球化学.北京:科学出版社,1979.175
- 3 Seward T M. Thio complexes of gold and the transport of gold in hydrothermal ore solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1973, 37: 379~399
- 4 Wood C A, Crerar D A, Brocsik M P. Solubility of the assemblage pyrite-pyrrhotite-magnetite-sphalerite-galena-gold-stibnite-bismuthinite-argentite-molybdenite in $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CO}_2$ solutions from 200°C to 300°C. *Econ. Geol.*, 1987, 82(7): 1864~1884
- 5 Shenberger D M, Barnes H L. Solubility of gold in aqueous sulfides solution from 150°C to 350°C. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1989, 53(2): 269~278
- 6 Gammons C H, Barnes H L. The solubility of Ag_2S in near-neutral aqueous sulfide solutions at 25°C to 300°C. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 1989, 53(2): 279~289
- 7 Afifi A M, Kelly W C, Essene E J. Phase relations among tellurides, sulfides, and oxides, I. Thermodynamic data and calculated equilibria. *Econ. Geol.*, 1989, 83(2): 377~390
- 8 Afifi A M, Kelly W C, Essene E J. Phase relations among tellurides, sulfides and oxides, II. Applications to tellurides-bearing ore deposits. *Econ. Geol.*, 1989, 83(2): 395~404



照片说明

- 1 自然金 (Ng) 与方铅矿 (Gn) 充填石英 (Qz) 裂隙, G₁, 单偏光 × 5000
- 2 自然金 (Ng) 充填黄铁矿 (Py) 的裂隙, 92630-4, 单偏光 × 2500
- 3 自然金 (Ng) 与方铅矿 (Gn)、黄铜矿 (Cp) 交生, 92617-8-1, 单偏光 × 5000
- 4 方铅矿 (Gn) 中自然金 (Ng) 与砷铅矿 (Alt) 共生, 92617-8-2, 单偏光 × 2000
- 5 自然金 (Ng) 与方铅矿 (Gn) 共生、被闪锌矿 (Sph) 交代, D₁₋₁, 单偏光 × 500
- 6 溶蚀自然金 (Ng) 和方铅矿 (Gn) 的铅矾 (Lv) 中的未定名矿物 AgS_{1.1}Te_{1.1} (X₁) 以及与六方碲银矿 (Stt) 共生的针碲金银矿 (Slv), D₁₋₁, 单偏光 × 5000

MINERAL CHARACTERISTICS AND MODES OF OCCURRENCE OF GOLD IN THE DETIANGOU GOLD DEPOSIT, BEIJING

Cui Yanhe and Qi Shaomei

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

Peng Mingsheng and Shi Bin

(No. 101 Geological Party, Beijing Bureau of Geology and Mineral Resources, Miyun 101500)

Key words: gold deposit, gold mineral, mode of occurrence of gold, Detiangou

Abstract

The Detiangou ore deposit consists of gold-polymetallic quartz veins occurring in Archean migmatized biotite leucogranulite, biotite leptynite, amphibole-biotite plagioclase gneiss, plagioclase amphibolite and hornblendite. The major ore veins are confined to the ductile shear zones near the ore-control fault (F_1). The ore deposit is a hydrothermal filling veinlike one.

The ore minerals are mainly pyrite, galena, sphalerite, chalcopyrite, altaite, and gold-silver minerals, associated with small amounts of arsenopyrite, bornite, magnetite, pyrrhotite and bismuth minerals; the gangue minerals include quartz, calcite, chlorite, epidote, sericite and actinolite.

The contents of major and minor elements in main sulfides are shown in Table 1. These sulfide minerals contain high but varying amounts of Au, Ag and Te, related chiefly to the nonuniform distribution of gold, silver and tellurium minerals in them. Gold, silver (bismuth) occur mainly as fine-grained native gold, native silver (Table 2), petzite, sylvanite, hessite, stuetzite, argentite, unnamed mineral $AgS_{1+x}Te_{1-x}$ and unnamed $Bi_3Bi_2Te_6$ (Table 3). Native gold is associated with galena, chalcopyrite and lead-gold-silver-bismuth tellurides or fills microfissures of quartz and pyrite (Plate I, 1-8), whereas silver minerals, except $AgS_{1+x}Te_{1-x}$, commonly occur as microgranular aggregates in quartz rimming polymetallic sulfides, suggesting that gold, silver and bismuth minerals, galena, chalcopyrite and sphalerite were formed later than pyrite. Galena was replaced by sphalerite and native tellurium, implying that native tellurium was the latest mineral in the gold-silver-tellurium system and sphalerite was formed after galena. During the ore-forming process, the precipitation of pyrite led to the decrease in f_{S_2} of the ore fluids and the subsequent precipitation of galena, chalcopyrite and sphalerite. Under the conditions of medium-low temperature, low f_{S_2} ($\leq 10^{-15}$) and low f_{Te_2} ($\leq 10^{-15.6}$) after the crystallization of pyrite, gold and silver transported in the forms of $Au(HS)_2^-$, $Au(H_2STe)^-$, $Ag(HS)_2^-$ and $Ag(H_2STe)^-$ were precipitated, thus forming native gold, native silver and gold-silver tellurides associated with galena and chalcopyrite. The precipitation of gold and silver caused the increase in f_{Te_2} ($\geq 10^{-6.7}$) of the ore fluids and the precipitation of native tellurium.