

北京市得田沟金矿床碲矿物系列的研究

崔艳合 介绍玫

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京 100037)

主题词 金矿床 碲矿物 成矿条件

提 要 北京市得田沟金矿床是受韧性剪切带控制的金-黄铁矿-多金属硫化物石英脉型金矿床。笔者通过研究发现该矿床中的碲已达工业品位。碲主要以碲矿物的形式存在, 包括碲铅矿、碲金银矿、碲铋银矿、碲银矿和碲铋矿, 双碲化物针碲金银矿、六方碲银矿、未定名矿物 $AgS_{1+x}Te_{1-x}$ ($x=0.09-0.58$) (M_1)、 $(Au_{0.92}Ag_{0.98})(Te_{3.75}S_{0.25})$ (M_2)、 $(Au_{0.71}Ag_{0.44})(Te_{1.83}S_{0.17})$ (M_2)、 $(Ag_{0.74}Pb_{0.80})(S_{1.61}Te_{0.39})$ (M_3)、 $Pb(S_{1.18}Te_{0.82})$ (M_4) 以及自然碲。通过显微镜观察, 确定碲矿物的共生顺序依次为: (1) 碲铅矿+碲金银矿+碲铋银矿+碲银矿+碲铋矿; (2) 针碲金银矿+六方碲银矿(+自然碲); (3) $M_1+M_2+M_3+M_4$ +自然碲。利用 fTe_2-T 和 fTe_2-fS_2 图解估算该矿床矿化过程中的 fTe_2 从 $10^{-15.1}-10^{-11.2}$ Pa (局部为 $10^{-13.5}$) 升至高于 $10^{-10.5}$ Pa, 最后达 $10^{-9.1}$ Pa 以上。

得田沟金矿床发现于本世纪 80 年代末, 作者首次对该金矿的物质成分、结构构造做了工作, 并发现该金矿中碲的含量高, 碲矿物种类复杂。所取得的成果可能对碲金矿床的矿物地球化学研究具有重要参考价值, 同时, 也可做为得田沟金矿选矿乃至回收碲的重要技术参数。

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)。主要容矿围岩为黑云浅粒岩、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, 局部形成了混合花岗岩。

切割太古宙地层的 NNE 向断裂 (F_1) 是主要的控矿断裂。该断裂(区域上称为崎峰茶断裂)两侧岩石片理化明显, 形成几条规模不等的近 SN 向及近 EW 向片理化带(初定为韧性剪切带)。主要金矿体产于崎峰茶断裂与近 SN 向片理化带 (F_3) 相交形成的楔形断块的尖端部位。断块内发育有几条小片理化带, 主要矿体赋存于近 EW 向展布、向南缓倾斜的片理化带中。在崎峰茶断裂边部, 二长斑岩脉, 石英二长斑岩脉及正长斑岩脉发育。有数十条宽 1—2 m 的正长斑岩脉、二长斑岩脉沿断裂分布, 脉体延伸方向与断裂走向近垂直。

断块内的主矿脉形态呈舒缓波状, 南倾, 倾角 $25^\circ-40^\circ$ 。构造运动及热液活动使矿体两

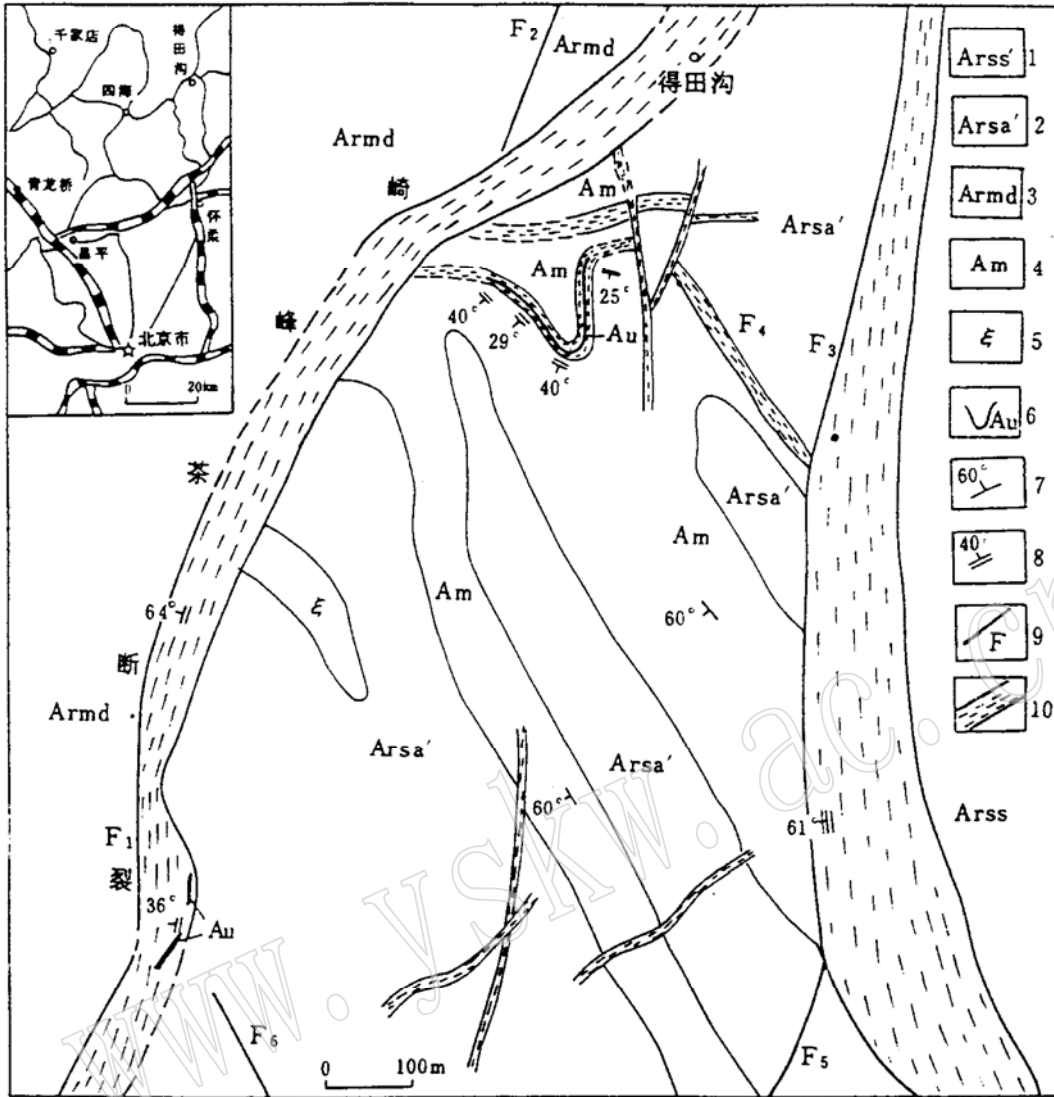


图 1 得田沟金矿床地质略图

(据地表露头及钻孔资料去掉第四纪覆盖物)

Fig. 1 Schematic geological map of the Detiangou gold deposit

(based on surface exposures and drilling data, the Quaternary overburden is not shown)

- 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

断块内的主矿脉形态呈舒缓波状，南倾，倾角 25°—40°。构造运动及热液活动使矿体两侧的黑云变粒岩、黑云浅粒岩、角闪(黑云)斜长片麻岩、斜长角闪岩、角闪石岩及混合花岗岩发生蚀变及片理化，形成以阳起石、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、糜棱片岩等构造蚀变岩。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，其蚀变主要为绢云母化、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

生绿泥石化、阳起石化、绿帘石化、碳酸盐化和硅化。此外，围岩热液蚀变还有(绿色)黑云母化、透闪石化及少量的电气石化。

该矿区各金矿体均受崎峰茶断裂带边部的片理化带的控制，说明该矿床是受韧性剪切带控制的热液充填型金矿床。

2 矿石的物质成分及结构构造

2.1 矿石的物质成分

该矿床的主要矿石为含金黄铁矿多金属硫化物石英脉，其次为含金片理化蚀变岩。蚀变岩型金矿石多分布于石英脉型矿石的两侧，其金品位远低于硫化物石英脉型金矿石。硫化物化是蚀变岩含金的重要标志。得田沟金矿的矿石经对光片镜下观察和电子探针测定，查明其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、螺状硫银矿、辉钼矿、碲铋银矿和自然碲、铅矾、碲铋矿、未定名矿物 $AgS_{1+x}Te_{1-x}$ ($x=0.09-0.58$) (M_1)、 $(Au_{0.92}Ag_{0.98})(Te_{3.75}S_{0.25})(M_2)$ 、 $(Au_{0.71}Ag_{0.44})(Te_{1.83}S_{0.17})(M_2)$ 、 $(Ag_{0.74}Pb_{0.80})(S_{1.61}Te_{0.39})(M_3)$ 、 $Pb(S_{1.18}Te_{0.82})(M_4)$ 。

2.2 矿石的结构构造

矿石多呈半自形—他形粒状结构、交代残留结构、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。矿石构造主要有脉状构造、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。

2.3 矿石的含金性及伴生的有益组份

由于得田沟金矿床矿石中含有大量含碲矿物，本文特别对两种不同类型矿石之 Au、Te 作了简项分析(表1)。由表1可见，蚀变岩型金矿石含金 $1(\times 10^{-6})-10(\times 10^{-6})$ ，平均 $5(\times 10^{-6})$ ；含碲 $10(\times 10^{-6})$ 左右；石英脉型金矿石含金 $n \times 10^{-5}-n \times 10^{-4}$ ，平均 $150(\times 10^{-6})$ 左右；含碲 $400(\times 10^{-6})$ 左右。虽然样品数量少，但因所测对象为重砂大样，代表性较强，可以肯定得田沟金矿床中伴生的碲已达工业品位($10 \times 10^{-6}-100 \times 10^{-6}$)，加之碲主要呈独立矿物存在，可以综合利用。

表1 矿石(及尾砂样)的化学分析结果($\times 10^{-6}$)

Table 1 Au, Te analyses of ores from the Detiangou gold deposit ($\times 10^{-6}$)

样号*	矿石类型	Au	Te
R _{z1} 原	石英脉	77	392
R _{z1} 尾	石英脉	39.7	175
R _{z2} 原	蚀变岩	2.4	9.5
R _{z2} 尾	蚀变岩	1.4	10.3

*原—原矿石；尾—小于40目的重选尾砂

测试者：中国地质科学院岩矿测试技术研究所 曹惠芳

3 碲矿物系列及其特征

综合考虑矿物的生成顺序、矿物化学成分及化学键型的差异，将得田沟金矿床中的(含)碲矿物分为：单碲化物矿物系列、双碲化物矿物系列、硫碲化物矿物及自然碲系列。

3.1 单碲化物矿物系列

本系列所包括的矿物有碲铅矿及金、银和铋的单碲化物，如碲银矿、碲铋矿、碲金银

矿及碲铋银矿。

3.1.1 碲铅矿

碲铅矿多呈他形粒状，粒径0.01—1 mm，白色，均质。其目估反射率高于黄铁矿，硬度与方铅矿相近。碲铅矿与方铅矿（照片1）、黄铜矿、碲金银矿（照片5）、自然金等共生。它交代黄铁矿，而被闪锌矿交代。碲铅矿的电子探针分析结果列于表2。由表2可知，碲铅矿中含少量Cu、Au、Ag等杂质元素。

表2 得田沟金矿床中碲铅矿的电子探针分析结果 (wt%)

Table 2 Microprobe analyses of altaites from Detiangou gold deposit (wt%)

样品号	序号	元素 矿物	Fe	Cu	Pb	Au	Ag	S	Te	As	Sb	Bi	总计	化学分子式
ZK ₃₀₅₋₈	1	碲铅矿	0.04	0.10	59.76	0.06	1.98	0.00	37.11	0.18	0.14	0.10	99.47	(Pb _{0.98} Ag _{0.06}) Te
92630-4	2	碲铅矿	0.01	0.05	60.10	0.21	0.00	0.00	38.53	0.36	0.00	0.23	99.49	Pb _{0.96} Te
92630-4	3	碲铅矿	0.04	0.10	58.43	0.11	1.24	0.00	39.15	0.24	0.00	0.36	99.67	(Pb _{0.92} Ag _{0.04}) Te
DG1	4	碲铅矿	0.08	0.02	62.00	0.16	0.08	0.02	36.96	0.32	0.13	0.04	99.81	Pb _{1.04} Te
92617-8-1	5	碲铅矿	0.12	0.08	58.50	0.00	0.00	0.00	40.41	0.28	0.32	0.04	99.75	Pb _{0.89} Te
92617-8-1	6	碲铅矿	0.11	0.08	58.90	0.00	0.00	0.00	40.19	0.27	0.31	0.04	99.90	Pb _{0.91} Te
G3	7	碲铅矿	1.01	1.44	56.72	0.20	0.18	0.46	38.47	0.47	0.14	0.00	99.09	Pb _{0.92} Te
G3	8	碲铅矿	0.11	0.29	58.80	1.69	0.45	0.00	37.92	0.28	0.19	0.00	99.73	Pb _{0.92} Te
G3	9	碲铅矿	0.16	0.26	56.70	0.03	0.44	0.08	42.07	0.20	0.08	0.00	100.02	Pb _{0.92} Te

测试仪器型号：JCSA-733型电子探针；测试条件：加速电压25kV，电流20mA

测试单位及测试者：中国地质科学院矿床地质研究所余静、王文瑛

3.1.2 碲银矿

碲银矿多呈不规则长条状，粒径0.01—0.1 mm。反射色白带绿色色调，强非均质，偏光色浅褐至棕色色调，反射率（目估）与方铅矿相近。碲银矿分布于石英粒间，与碲铋银矿共生（照片2）。因矿物颗粒细小，其名称由矿物的镜下特征结合成分（表3）而定。

3.1.3 碲铋矿

碲铋矿呈他形板条状，粒径0.01—0.1 mm。反射色白带绿至白带玫瑰色色调，强非均质，偏光色灰至棕灰色。内含自然金的（出溶）包裹体，与碲金银矿共生（照片5）。碲铋矿中含少量Pb、Au、Ag、As等杂质元素（表3）。

3.1.4 碲金银矿

碲金银矿呈他形粒状，粒径0.01—0.1 mm。反射色灰白。略带浅红色色调，均质，反射率（目估）略高于方铅矿，硬度低。因矿颗粒细小，矿物名称由矿物的镜下特征结合成分（表3）而定。从表3可见，碲金银矿中Pb、As、Sb等杂质元素含量较高，个别样品含Bi高达1.48%。碲金银矿与碲铅矿及碲铋矿共生（照片5）；在石英粒间尚与碲铋银矿共生（照片6）。此外，碲金银矿还与黄铜矿、自然金、碲银矿等伴生（或共生）。

3.1.5 碲铋银矿

碲铋银矿呈针状分布于石英裂隙中，单晶长0.05—0.2 mm。反射色白带绿色至乳白色带玫瑰色色调，强非均质，偏光色灰带棕至深灰色。反射率（目估）高于方铅矿，硬度略高于方铅矿。其名称由矿物的镜下特征及成分（表3）而定。碲铋银矿与碲银矿（照片2）、碲金银矿

表3 得田沟金矿床中 Au、Ag、Bi 单碲化物的电子探针分析结果 (wt%)
 Table 3 Electron microprobe analyses of Au-Ag-Bi monotellurides from the Detiangu gold deposit (wt%)

样号	序号	元素 矿物	Fe	Cu	Zn	Pb	Au	Ag	S	Te	As	Sb	Bi	总量	化学分子式
92630-4	1	碲银矿	0.08	0.00		0.34	3.96	60.15	0.00	35.05	0.18	0.00	0.00	99.76	(Ag _{2.03} Au _{0.04})Te
92617-8-1	2	碲银矿	0.74	0.01		0.04	1.45	59.04	0.00	38.22	0.29	0.00	0.07	99.86	(Ag _{1.83} Au _{0.03})Te
92630-4	3	碲银矿	0.02	0.00		0.64	0.22	61.02	0.00	37.25	0.27	0.23	0.00	99.65	Ag _{1.94} Te
G3	4	碲银矿	0.06	0.06		0.00	0.55	61.82	0.00	37.01	0.08	0.18	0.00	99.76	Ag _{1.94} Te
ZK ₃₀₅₋₈	5	碲银矿				0.01	0.09	62.04	0.04	37.40			0.04	99.62	Ag ₂ Te
92617-2	6	碲银矿				0.43	14.40	50.59	0.16	34.37			0.04	99.99	(Ag _{1.74} Au _{0.27})Te
ZK ₃₀₅₋₈	7	碲银矿	0.00	0.08		0.97	0.41	0.41	0.00	45.28	0.33	0.00	51.55	99.03	Bi _{4.17} Te ₆
ZK ₃₀₅₋₈	8	碲金银矿	0.05	0.08		0.00	22.51	41.59	0.00	34.03	0.05	0.00	0.69	99.00	Ag _{2.87} Au _{0.83} Te ₂
ZK ₃₀₅₋₈	9	碲金银矿	0.04	0.06		0.23	19.26	43.87	0.09	35.15	0.30	0.00	0.00	99.00	Ag _{2.97} Au _{0.74} Te ₂
92630-4	10	碲金银矿	0.00	0.06		0.00	19.03	45.58	0.06	34.27	0.14	0.00	0.38	99.52	Ag _{2.28} Au _{0.71} Te ₂
92630-4	11	碲金银矿	0.03	0.03		0.43	27.21	38.59	0.00	33.02	0.28	0.43	0.00	100.02	Ag _{2.76} Au _{1.06} Te ₂
92617-8-1	12	碲金银矿	0.00	0.04		0.23	22.70	42.00	0.00	34.34	0.32	0.28	0.00	99.91	Ag _{2.88} Au _{0.86} Te ₂
G3	13	碲金银矿	0.06	0.12		0.57	16.02	46.86	0.21	34.41	0.40	0.35	0.00	99.00	Ag _{2.24} Au _{0.56} Te ₂
G3	14	碲金银矿	0.06	0.06		0.15	22.27	44.35	0.00	32.01	0.35	0.14	0.00	99.39	Ag _{2.31} Au _{0.94} Te ₂
G3	15	碲金银矿	0.06	0.06	0.12	0.14	24.15	41.90	0.00	33.09	0.33	0.13	0.00	99.98	Ag _{2.94} Au _{0.94} Te ₂
G3	16	碲金银矿	0.13	0.31	0.08	0.84	21.88	39.80	0.07	36.39	0.38	0.30	0.00	100.18	(Ag _{2.59} Pb _{0.08})Au _{0.76} Te ₂
92617-8-1	17	碲金银矿	0.89	0.00		0.17	26.39	38.22	0.05	33.41	0.30	0.11	0.00	99.54	Ag _{2.72} Au _{0.89} Te ₂
ZK ₃₀₅₋₈	18	碲金银矿				0.62	28.42	36.58	0.94	31.96			1.48	100.00	Ag _{2.42} Au _{1.03} (Te _{1.75} Se _{0.21})
ZK ₃₀₅₋₈	19	碲银矿				0.00	0.29	18.49	0.23	44.38			36.62	100.01	Ag _{0.98} Bi _{1.00} Te ₂
ZK ₃₀₅₋₈	20	碲银矿				0.63	0.29	18.29	0.17	43.31			36.42	99.11	Ag ₁₀₀ Bi _{1.03} Te ₂

测试者: 5.6.18-20 号样品由中国地质大学(北京)电子探针室李树岩测, 其余由中国地质科学院矿床地质研究所余静、王文瑛测

(照片6)伴生。

3.2 Au、Ag 双碲化物系列

本系列的矿物包括六方碲银矿及针碲金银矿。

3.2.1 六方碲银矿

六方碲银矿多呈针状,长0.01—0.1 mm。反射色乳白带微弱的玫瑰色色调,反射率(目估)与方铅矿相近,反射多色性白带绿色至白带黄色色调,强非均质,偏光色浅褐至浅红色。因矿物颗粒细小,其名称由矿物的镜下特征结合成分(表4)而定。六方碲银矿中含少量的Pb、Au、S、Bi等杂质元素。该矿物在铅矾中与针碲金银矿共生(照片4)。

3.2.2 针碲金银矿

针碲金银矿呈他形粒状,粒径0.01—0.1 mm。反射色乳白至白带玫瑰色色调。强非均质,偏光色灰色至灰棕色。反射率(目估)与黄铜矿相近,硬度高于方铅矿,因矿物颗粒细小,其名称由镜下特征与成分(表4)结合而定。针碲金银矿中Pb、S杂质元素含量较高。针碲金银矿与六方碲银矿共生(照片4),与方铅矿伴生(照片8)。

3.3 金属碲化物及自然碲系列

本系列的矿物包括未定名矿物 M_1 ($AgS_{1+x}Te_{1-x}$)、未定名的Au—Ag碲化物(M_2)、Au—Pb碲化物(M_3)及Pb碲化物(M_4),它们的电子探针分析结果列于表5。

3.3.1 未定名矿物 M_1 ($AgS_{1+x}Te_{1-x}$)

该矿物呈不规则状,粒径0.01—0.1 mm。反射色灰色带绿色色调。强非均质,偏光色灰色至棕褐色。硬度 $Hv_{50}=126$ ($Hm=3.38$)(物性测定由中国地质科学院矿床地质研究所曹亚文完成);反射率 $R_{405}=30.8\%$, $R_{436}=32.19\%$, $R_{480}=32.32\%$, $R_{526}=32.28\%$, $R_{546}=31.66\%$, $R_{589}=30.16\%$, $R_{644}=28.17\%$, $R_{656}=27.45\%$ 。该矿物的化学式为 $AgS_{1+x}Te_{1-x}$,($x=0.09—0.58$)。杂质Pb含量较高(表5),达4.44%。未定名矿物 M_1 交代闪锌矿(照片3),交代方铅矿及针碲金银矿(照片8),与铅矾伴生(照片4)。

3.3.2 未定名矿物 M_2

该矿物呈他形粒状,粒径0.01—0.1 mm。反射色乳白至白带玫瑰色色调。强非均质,偏光色灰色至灰棕色。反射率(目估)高于方铅矿,硬度与方铅矿相近。其成分及计算的化学式见表5。 M_2 可能有两个亚种,一为 $(Au,Ag)(Te_{3+x}S_{1-x})$,另一为 $(Au,Ag)(Te_{1+x}S_{1-x})$,后者可能与结晶不完整或成分复杂的 M_1 相当,或是 $AgS_{1+x}Te_{1-x}$ 中Au取代Ag时x值增加且超过1的另一变种。 M_2 与 M_1 伴生(照片3),交代闪锌矿,但被绢云母细脉穿切。 M_2 中含有杂质元素Pb(0.67%—1.28%)。

3.3.3 未定名矿物 M_3

该矿物呈他形粒状,粒径0.05 mm左右。反射色灰白,弱非均质,反射率(目估)、硬度均与方铅矿接近。其成分与计算化学式见表5,其化学式相当于 $(Ag,Pb)(S_{1+x}Te_{1-x})$,可能是Pb取代Ag时 M_1 的另一变种。该矿物与 M_1 共生并交代黄铜矿(照片7)。

3.3.4 未定名矿物 M_4

该矿物颗粒极小,呈乳白色,强非均质,反射率(目估)低于方铅矿。在交代碲铅矿与方铅矿的自然碲中呈包裹体存在(照片1),其化学式相当于 $Pb(S_{1+x}Te_{1-x})$ 。

3.3.5 自然碲

自然碲多呈微细矿物集合体,反射色为锡白色,当含铅量较高或结晶颗粒细小时总体呈灰白色至乳黄色。强非均质,偏光色为灰色至灰棕色,反射率(目估)高于方铅矿,硬度低。自

表4 得田沟金矿床中 Au-Ag 双碲化物的电子探针分析结果 (wt%)

Table 4 Electron microprobe analyses of Au-Ag bitellurides from Detiangu gold deposit (wt%)

样品号	序号	矿物	元素											总和	化学分子式
			Cu	Fe	Pb	Au	Ag	S	Te	As	Sb	Bi			
D1-1	1	六方碲银矿	0.04	0.05	0.96	1.21	55.72	0.02	41.26	0.10	0.11	0.00	99.47	(Ag _{4.82} Au _{0.09}) Te ₃	
D1-1	2	六方碲银矿			0.02	0.32	56.02	0.10	41.75		0.22	98.43	Ag _{4.77} Te ₃		
D1-1	3	六方碲银矿			0.02	0.32	56.96	0.10	42.36		0.22	99.98	Ag _{4.77} Te ₃		
D1-1	4	六方碲银矿			0.41	0.14	56.85	0.00	42.26		0.00	99.66	Ag _{4.77} Te ₃		
D1-1	5	针碲金银矿	0.06	0.00	1.45	19.49	19.15	0.00	59.11	0.27	0.20	99.73	Au _{0.84} (Ag _{1.56} Pb _{0.06}) Te ₄		
92619-3	6	针碲金银矿	0.05	0.07	0.00	21.21	13.09	0.00	64.31	0.27	0.00	99.00	Au _{0.87} Ag _{0.99} Te ₄		
92630-4	7	针碲金银矿			8.68	20.39	13.81	1.29	55.84		0.00	100.01	Au _{0.87} Ag _{0.99} Te ₄		
D1-1	8	针碲金银矿			1.61	19.28	23.78	1.44	53.89		0.00	100.00	Au _{0.85} Ag _{1.92} (Te _{3.66} S _{0.32})		
D1-1	9	针碲金银矿			0.60	22.81	15.61	0.00	61.62		0.00	100.01	Au _{0.93} Ag _{1.20} Te ₄		

测试者: 1、5、6号样品由中国地质科学院矿床地质研究所余静、王文瑛测, 其余由中国地质大学电子探针室李树岩测。

表 5 得田沟金矿床中 Au、Ag、Pb-S-Te 矿物系列的电子探针分析结果 (wt%)
Table 5 Electron microprobe analyses of Au, Ag, Pb-S-Te mineral series from the Detianguou gold deposit (wt%)

样品号	序号	元素 矿物	Fe	Cu	Zn	Pb	Au	Ag	S	Te	As	Sb	Bi	总量	化学分子式
D1-1	1	未定名矿物 M ₁	0.06	0.08		1.98	0.25	47.26	20.99	28.67	0.10	0.00	0.00	99.39	Ag (Si _{1.48} Te _{0.52})
92619-3	2	M ₁	0.09	0.21		2.70	0.00	35.71	13.73	46.53	0.00	0.044	0.19	99.20	(Ag _{0.83} Pb _{0.03}) (Si _{1.09} Te _{0.91})
D1-1	3	M ₁				2.76		45.93	21.03	30.29	0.00	0.00		100.01	(Ag _{0.94} Pb _{0.03}) (Si _{1.48} Te _{0.54})
D1-1	4	M ₁				1.27	2.93	54.46	13.72	27.44			0.18	100.00	Ag _{1.57} (Si _{1.31} Te _{0.67})
D1-1	5	M ₁				1.10	0.00	58.14	15.72	25.04			0.00	100.00	Ag _{1.57} (Si _{1.43} Te _{0.57})
D1-1	6	M ₁				0.00	0.20	46.58	19.93	32.29			1.00	100.00	Ag _{0.99} (Si _{1.42} Te _{0.58})
D1-1	7	M ₁				1.19	0.23	46.39	20.34	31.65			0.20	100.00	Ag _{0.98} (Si _{1.44} Te _{0.56})
D1-1	8	M ₁				1.98	0.27	44.49	19.99	33.27			0.00	100.00	Ag _{0.93} Si _{1.41} Te _{0.59}
D1-1	9	M ₁				4.44	0.00	46.02	19.30	29.14			1.10	100.00	Ag _{1.03} Si _{1.45} Te _{0.55}
92619-3	10	M ₁					0.00	45.77	21.11	32.14			0.98	100.00	Ag _{0.93} Si _{1.45} Te _{0.55}
92619-3	11	M ₁					0.00	44.64	19.22	29.94			0.00	93.86	Ag _{1.03} Si _{1.42} Te _{0.58}
92619-3	12	M ₁					0.27	44.48	20.39	33.18			0.00	98.32	Ag _{0.93} Si _{1.41} Te _{0.59}
92619-3	13	M ₁				0.36	0.32	37.66	29.67	31.46			0.53	100.00	Ag _{0.60} Si _{1.58} Te _{0.42}
D1-1	14	M ₂				0.67	23.23	13.58	1.02	61.51			0.00	100.01	Au _{0.92} Ag _{0.98} (Te _{2.75} S _{0.25})
92619-3	15	M ₂				1.28	32.34	11.05	1.42	53.93			0.00	100.02	Au _{0.71} Ag _{0.44} Te _{1.83} S _{0.17}
92619-3	16	M ₃				47.80	0.00	22.91	14.86	14.43			0.00	100.00	Ag _{0.74} Pb _{0.60} Si _{1.61} Te _{0.39}
92619-4	17	M ₄				59.52	0.00	0.00	10.71	29.76			0.00	99.99	Pb (Si _{1.18} Te _{0.82})

测试者：4-17 号样品由中国地质大学（北京）电子探针室李树岩测，其余由中国地质科学院矿床地质研究所余静、王文瑛测。

然碲是热液作用晚期的产物,常交代碲铅矿和方铅矿(照片1),或在方铅矿中取代碲铅矿的位置(照片8)。自然碲中常含有少量铅或硫等杂质元素(见表6)。

表6 得田沟金矿中自然碲的电子探针分析结果(wt%)

Table 6 Electron microprobe analyses of native tellurium from the Detiangou gold deposit(wt%)

样号	序号	元素 矿物	Fe	Cu	Pb	Au	Ag	S	Te	As	Sb	Bi	总量	化学 分子式
G ₃	1	自然碲	0.04	0.14	1.28	0.13	0.00	0.06	96.75	0.31	0.22	0.08	99.01	Te
92619-3	2	自然碲	0.13	0.51	0.62	0.29	4.49	0.00	92.89	0.39	0.27	0.11	100.15	Te
92630-4	3	自然碲			27.13	0.00	0.43		72.45			0.00	100.01	Pb _{0.23} Te
DI-1	4	自然碲			1.18	0.00	0.24	0.88	97.11			0.00	99.41	Te _{0.97} So _{0.03}

测试者:3、4号样品由中国地质大学(北京)李树岩测;1、2号样品由中国地质科学院矿床地质研究所余静、王文瑛测

4 碲矿物系列的演化

经镜下观察,得田沟金矿床中碲、硫化物的共生组合有:碲铅矿+方铅矿+黄铜矿+自然金;碲银矿+碲铋银矿+碲金银矿;未定名矿物M₁+M₂;针碲金银矿+六方碲银矿+铅钒;碲金银矿+碲铋矿+碲铅矿+自然金;碲铋银矿+碲金银矿;M₁+M₃;自然碲+M₄;自然碲+铅矾。

将表2至表6中各矿物的化学成分作原子(%)投绘图,分别得Pb-S-Te体系的投绘图(图2)、Ag-Bi-Te体系的投绘图(图3)和Au-Ag-S-Te体系的投绘图(图4)。从图2可见,得田沟金矿床中Pb-S-Te体系的矿物向着碲含量(或负价元素)增加的方向演化;同样,从图3和图4也可见到,Ag-Bi-Te和Au-Ag-S-Te体系的矿物均朝碲含量增加的方向演化。

结合所观察到的矿物共生组合及交代关系,再参照图2、3和4,可归纳出得田沟金矿床中可能出现的碲矿物组合:(1)碲铅矿+方铅矿+碲银矿+碲铋银矿+碲金银矿+碲铋矿+自然

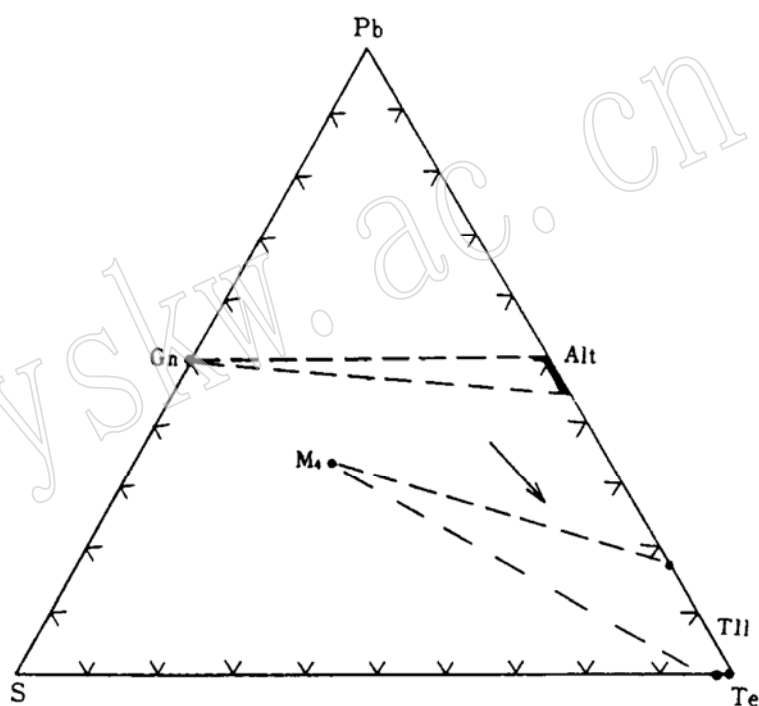


图2 得田沟金矿床中碲铅矿、未定名矿物PbS_{1.18}Te_{0.82}及自然碲的S-Te-Pb原子(%)投绘图

(箭头表示矿物共生组合的演化趋势)

Gn—方铅矿;Alt—碲铅矿;M₄—未定名矿物Pb(S_{1.18}Te_{0.82});

T11—自然碲

Fig. 2 Plot showing atomic percentage of S-Te-Pb in altaite, unnamed mineral PbS_{1.18}Te_{0.82} and native tellurium from the Detiangou gold deposit

(the arrow showing the evolution trend of the mineral paragenesis)

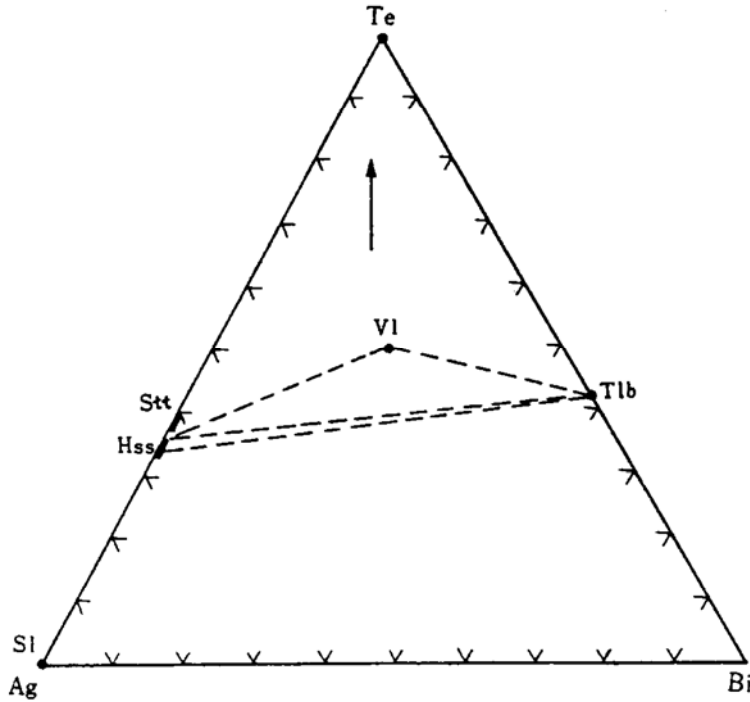


图 3 得田沟金矿床中六方碲银矿、碲银矿、碲铋银矿及碲铋矿的 Te-Ag-Bi 原子(%)投绘图
(箭头表示矿物共生组合的演化趋势)

Stt—六方碲银矿;Hss—碲银矿;Vl—碲铋银矿;Tlb—碲铋矿

Fig. 3 Plot showing atomic percentage of Te-Ag-Bi in stuetzite, hessite, volynskite and tellurobismuthite from the Detiangou gold deposit
(the arrow showing the evolution trend of the mineral paragenesis)

金(+自然银?);(2)针碲金银矿+六方碲银矿(+自然碲);(3)未定名矿物 $M_1+M_2+M_3+M_4$ +自然碲(+针碲金银矿+六方碲银矿)。以上三个碲矿物组合恰好代表了得田沟金矿床中碲矿物系列(及伴生矿物)自早到晚的三个演化(形成)阶段。

这三个阶段的矿物,无论是金银单碲化物向双碲化物乃至硫碲化物的演化,还是铅碲化物和铅硫化物向铅的硫碲化物的演化,都是该体系 fTe_2 和 fS_2 增高的反映。

5 碲矿物结晶过程中 fTe_2 的变化

利用 fTe_2-fS_2 图解^[1]以及矿石中的矿物组合,可以估算成矿过程中流体 fTe_2 的变化。据大量碲铅矿和与之共生的自然金的结晶以及不存在碲金矿的现象,可限定 fTe_2 变化于 $10^{-11.2}Pa$ 到 $10^{-15.1}Pa$ 之间。随着碲铅矿的结晶, fTe_2 下降,成矿流体中晶出少量碲银矿,并最后晶出微量自然银($fTe_2 \leq 10^{-19.5}Pa$)。在针碲金银矿和六方碲银矿晶出时,碲逸度有所升高,高于 γ 相与六方碲银矿的反应线,可达 $10^{-10.5}Pa$ 以上。最后自然碲晶出,表明成矿流体的 fTe_2 进一步提高,高于 $10^{-9.1}Pa$ 。利用 fTe_2-T 图解^[2]以及本矿床中流体包裹体均一温度最高值($390^\circ C$),可将自然碲晶出时的 fTe_2 限定在 $10^{-4.5}Pa$ 以下。由此可见,本矿床中碲矿物晶出的三个阶段,从早到晚 fTe_2 是不断升高的。

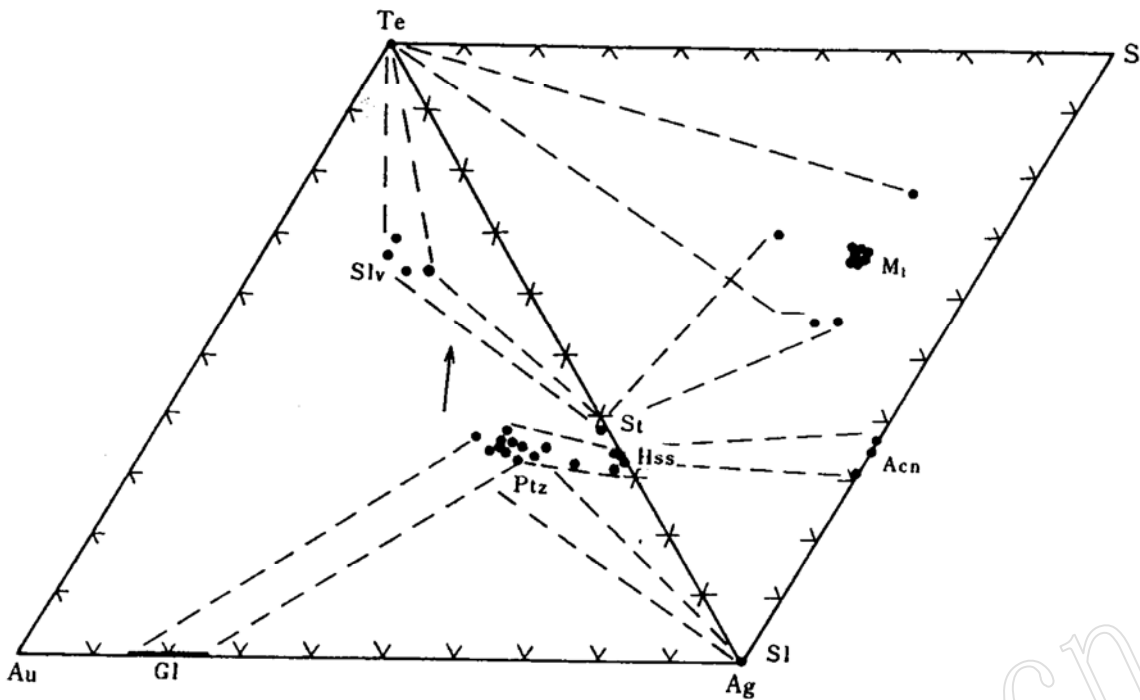


图4 得田沟金矿床中针碲金银矿、碲金银矿、六方碲银矿、碲银矿、自然碲、自然金、自然银、螺状硫银矿及未定名矿物 $Ag_{1+x}Te_{1-x}$ 的 S-Te-Au-Ag 原子(%) 投绘图
(箭头表示矿物共生组合的演化趋势)

Slv—针碲金银矿; Ptz—碲金银矿; Stt—六方碲银矿; Hss—碲银矿; G1—自然金; S1—自然银; Te—自然碲;
Acn—螺状硫银矿; M1—未定名矿物 $Ag_{1+x}Te_{1-x}$

Fig 4 Plot showing atomic percentage of S-Te-Au-Ag in sylvanite, petzite, stuetzite, hessite, native tellurium, native gold, native silver, acanthite and unnamed mineral $Ag_{1+x}Te_{1-x}$ from the Datangou gold deposit

(the arrow showing the evolution trend of the mineral paragenesis)

6 结论

(1) 得田沟金矿床中的碲含量已达工业要求, 且碲主要呈独立矿物存在, 易于选冶。该矿床可称为碲银金矿床。

(2) 根据矿物共生组合关系以及 fTe_2-T 和 fTe_2-fS_2 图解得知, 碲结晶过程可分为三个阶段, 即单碲化物阶段, 双碲化物阶段和硫碲化物及自然碲阶段, 矿物晶出时的 fTe_2 是不断升高的。

参 考 文 献

- 1 Afifi A M, Kelly W C and Essene E J. Phase relations among tellurides, sulfides, and oxides: I. Applications to tellurides-bearing ore deposits, *Econ. Geol.*, 1988, 83(2): 395-404.
- 2 Afifi A M, Kelly W C and Essene E J. Phase relations among tellurides, sulfides, and oxides: I. Thermochemical data and calculated equilibria. *Econ. Geol.*, 1988, 83(2): 377-390.

A Study of Telluride Mineral Series from the Detiangou Gold Deposit, Beijing

Cui Yanhe, Qi Shaomei

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

Key words: gold deposit; telluride mineral; metallonenic condition

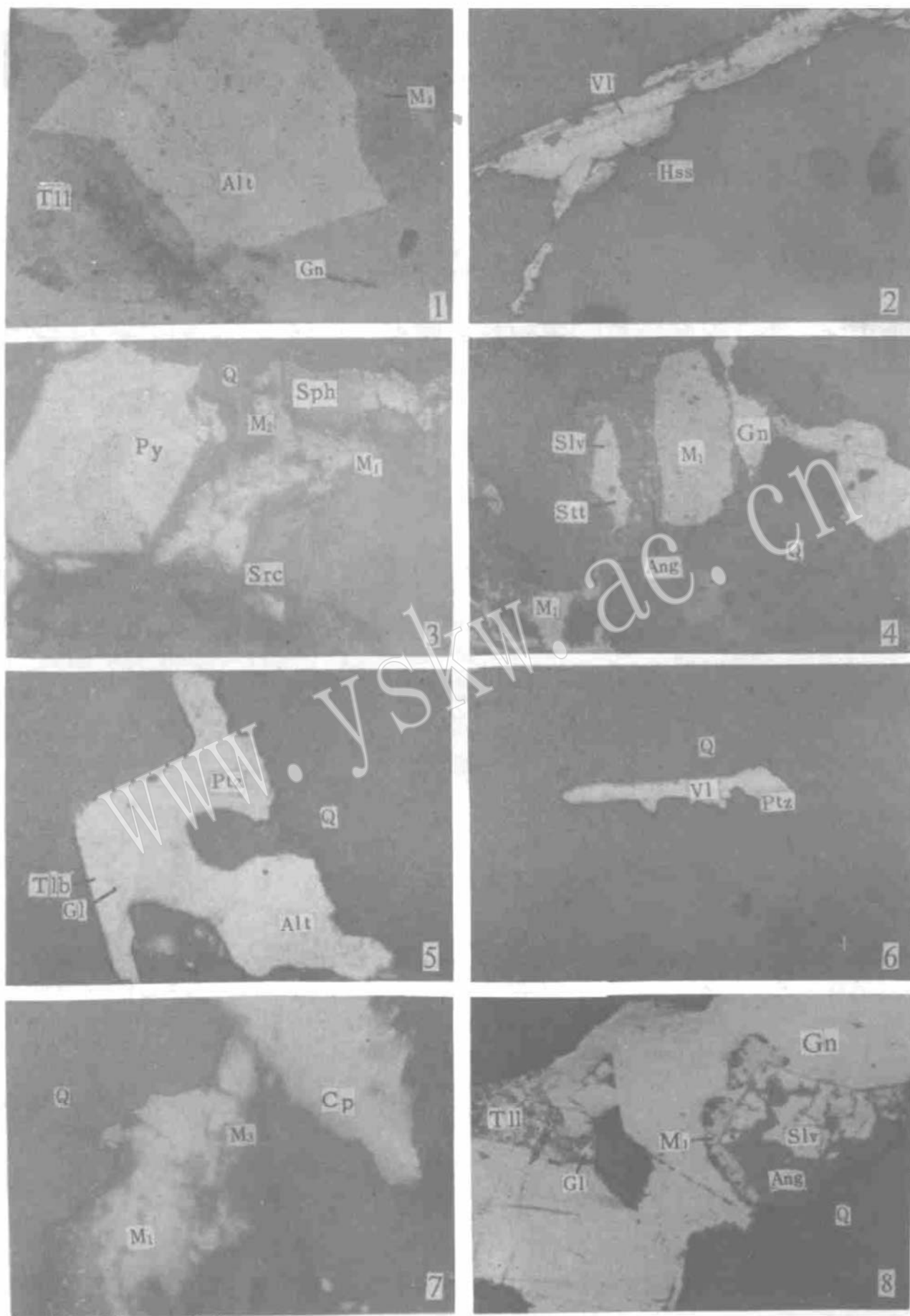
Abstract

The Detiangou gold deposit in Beijing is of gold-pyrite-polymetallic sulfide quartz vein type, generally controlled by ductile shear zones adjacent to the ore-control fault zone (F_1). Tellurium in the ores has been economically concentrated. Lots of interesting minerals have been discovered, such as tellurium-bearing minerals like altaite, petzite, volynskite, hessite and tellurbismuth, binary tellurides like sylvanite, stuetzite, unnamed minerals like $AgS_{1+x}Te_{1-x}$ ($x = 0.09-0.58$) (M_1), $(Au_{0.92}Ag_{0.98})(Te_{3.75}S_{0.25})$ (M_2), $(Au_{0.71}Ag_{0.44})(Te_{1.83}S_{0.17})$ (M_2), $(Ag_{0.74}Pb_{0.80})(S_{1.61}Te_{0.39})$ (M_3), and $PbS_{1.18}Te_{0.82}$ (M_4), and native tellurium. The paragenetic sequence of telluride minerals might be divided into three stages: (1) altaite + petzite + volynskite + hessite + tellurbismuth; (2) sylvanite + stuetzite (+Native tellurium), and (3) $M_1 + M_2 + M_3 + M_4$ + native tellurium, fTe_2 of the ore-forming fluid was increasing in the process of Te-Au-Ag mineralization

崔艳合等：北京市得田沟金矿床碲矿物系列的研究

图版说明

- 1 与方铅矿 (Gn) 共生的碲铅矿 (Alt) 被包裹未定名矿物 $Pb(S_{1.18}Te_{0.82})(M_1)$ 的自然碲 (T11) 交代 (一) 5000×
- 2 石英 (Q) 裂隙中碲铋银矿 (VI) 与碲银矿 (Hss) 共生 (一) 2500×
- 3 破碎黄铁矿 (Py) 边部石英 (Q) 裂隙中未定名矿物 $AgS_{1+x}Te_{1-x}(M_1)$ 与未定名矿物 $(Au_{0.71}Ag_{0.11})(S_{0.17}Te_{1.83})(M_2)$ 共生, 并交代闪锌矿 (Sph), 最后被绢云母 (Src) 细脉穿切 (一) 2000×
- 4 石英 (Q) 裂隙中铅矾 (Ang) 交代自然金 (Gl) 和方铅矿 (Gn), 包围针碲金银矿 (Slv) 和六方碲银矿 (Stt) 及未定名矿物 $AgS_{1+x}Te_{1-x}(M_1)$ (一) 1000×
- 5 石英 (Q) 中碲金银矿 (Ptz) 与碲铅矿 (Alt) 及碲铋矿 (Tlb) 共生, 碲铋矿中含有 (出溶的) 自然金 (Gl) (一) 5000×
- 6 石英 (Q) 中碲铋银矿 (VI) 与碲金银矿 (Ptz) 共生 (一) 2500×
- 7 石英 (Q) 中未定名矿物 $AgS_{1+x}Te_{1-x}(M_1)$ 及未定名矿物 $(Ag_{0.71}Pb_{0.80})(S_{1.61}Te_{0.39})(M_3)$ 交代黄铜矿 (Cp) (一) 2000×
- 8 包裹自然金 (Gl) 的方铅矿 (Gn) 与针碲金银矿 (Slv) 伴生, 被自然碲 (T11) 和未定名矿物 $AgS_{1+x}Te_{1-x}(M_1)$ 交代 (一) 2500×



(图版说明转鲍学昭等的图版下部)