

# 山东谢家沟金矿床矿石与金矿物特征

邓 军<sup>1,2</sup>, 王建国<sup>1</sup>, 韦延光<sup>1</sup>, 张志启<sup>3</sup>, 林吉照<sup>3</sup>, 闫顺玲<sup>3</sup>

1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083

2. 中国地质大学岩石圈构造、深部过程及探测技术教育部重点实验室, 北京 100083

3. 山东招远市金亭岭矿业有限公司, 山东招远 265400

**摘要:** 新发现的谢家沟大型金矿床位于山东招远市西南部, 对其进行详细的宏观、微观矿石学基础研究, 包括矿石类型和成矿期次的划分以及金矿物的成色等, 对指导该区找矿具有重要意义。矿石类型划分为原生矿石和氧化矿石, 其中原生矿石分为黄铁绢英岩、黄铁矿—黄铜矿绢英岩、多金属硫化物绢英岩和黄铁矿—黄铜矿石英脉等4类, 它们分布于脆—韧性剪切带不同部位, 成矿作用方式有差别。成矿期次分2期5阶段。金的赋存状态主要有包体金、晶隙金和裂隙金, 金矿物成色平均值为844.19, 为中深成矿作用产物, 其中包体金成色均值为859.96, 晶隙金为843.83, 裂隙金为833.08, 反映从包体金至晶隙金再到裂隙金的成矿作用温度是逐渐降低的。

**关键词:** 谢家沟金矿; 矿石分类; 矿石特征; 金矿物。

中图分类号: P618.51

文章编号: 1000-2383(2007)03-0373-08

收稿日期: 2006-05-06

## Ores and Gold-Bearing Characteristics in Xiejiagou Gold Deposit, Shandong Province

DENG Jun<sup>1,2</sup>, WANG Jian-guo<sup>1</sup>, WEI Yan-guang<sup>1</sup>, ZHANG Zhi-qi<sup>3</sup>,  
LIN Ji-zhao<sup>3</sup>, YAN Shun-ling<sup>3</sup>

1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. Key Laboratory of Lithosphere Tectonics and Lithoprobeing Technology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

3. Jintingling Mining Industry Co. Ltd., Zhaoyuan 265400, China

**Abstract:** Xiejiagou gold deposit, discovered in 2002, is located in the southwest of Zhaoyuan City, Shandong Province. The detailed study of macroscopic and microscopic perspectives of ores in Xiejiagou gold deposit reveals two types of gold-bearing ores: primary ores and oxidized ores. The primary ores, classified as pyritization and sericitization-silication granite, chalcopyritization-pyritization and sericitization-silication granite, multi-sulfide and sericitization-silication granite, and chalcopyrite-pyrite quartz vein, are located at different positions in the brittle-ductility shear-zone, reflecting 2 periods and 5 stages of metallization process. The gold occurred mainly in gold inclusion, between minerals and in cracks. The average gold fineness is 859.96 in gold inclusion, 843.83 between minerals and 833.08 in cracks, respectively, indicating that the gold mineralization occurred in the middle and deep layers and that the temperature of mineralization decreased gradually from the gold inclusion, between minerals and in crack.

**Key words:** Xiejiagou gold deposit; ore classification; ore features; gold mineral.

基金项目: 教育部跨世纪优秀人才培养计划; 山东招金集团地质找矿项目; 教育部科学技术研究重点项目(No. 01037); 国家自然科学基金项目(No. 40172036)。

作者简介: 邓军(1958-), 男, 教授, 博士生导师, 构造地质学和矿床学专业, 主要从事区域构造、成矿流体及成矿动力学的教学和科研工作。

E-mail: djun@cugb.edu.cn

谢家沟金矿是胶东地区新发现的大型矿床,产于焦家断裂带与招平断裂带之间,并受脆—韧性剪切带控制.在断裂构造位置上,与著名的焦家金矿和玲珑金矿不同.胶东地区以往的地质找矿和研究工作主要围绕招平断裂带、焦家断裂带及三山岛断裂带等大型断裂构造而展开(邓军等, 1996; 胡受奚等, 1998; 邓军等, 2000; 邓军等, 2000; 刘建明等, 2001; 沈远超等, 2001; 翟裕生和吕古贤, 2002; 邓军等, 2004a).谢家沟金矿的发现即是胶东地区地质找矿工作的重大突破.通过大比例尺地质填图,在谢家沟北部附近发现了与之相似的北冯家、山陈家、小宋家等矿化点.因此,谢家沟矿区有望成为一个超大型规模的金矿床.由中国地质大学(北京)与山东招金集团联合攻关,在该区开展了大量科学研究工作,本文重点分析矿床矿石和金矿物特征,对指导该区地质找矿工作具有重要意义.

## 1 矿床地质特征

谢家沟金矿床位于华北地台胶东隆起区西北缘(图 1). 矿区内出露岩石主要是片麻状黑云花岗岩(玲珑花岗岩)及燕山期花岗岩派生的中基性脉岩群, 偶见胶东群等老地层捕虏体, 其岩性主要为斜长角闪岩、黑云变粒岩、黑云斜长片麻岩等. 谢家沟金矿赋存在玲珑花岗岩内.

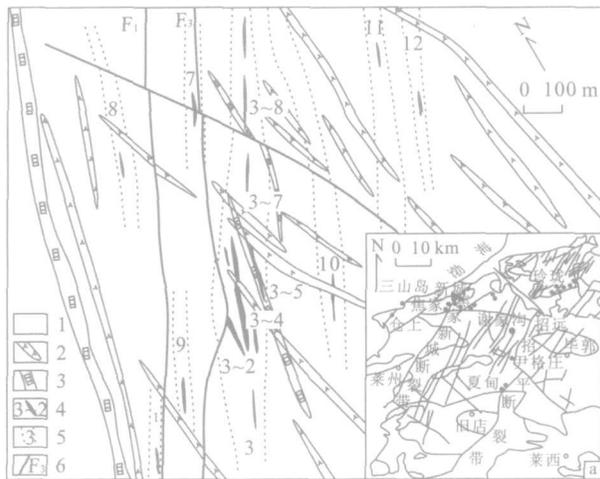


图 1 谢家沟金矿床矿区地质简图(a 图据山东第六地质队资料, 1988)

Fig. 1 Geological sketch of the Xiejiagou gold deposit

1. 玲珑花岗岩; 2. 中基性脉岩; 3. 疏铁矿带; 4. 矿体及编号; 5. 蚀变带及编号; 6. 断层及编号

矿区内发育走向北东  $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$  的脆—韧性剪切带构造, 其宏观特征表现为露头岩石强烈的蚀变和破碎, 局部孔雀石化和褐铁矿化, 深部岩石蚀变强烈, 并发育 S-C 组构和矿物定向排列, 偶见石英眼球. 矿体产于脆—韧性剪切带内, 且矿体与剪切带构造产状一致, 反映脆—韧性剪切带的控矿作用. 此外, 矿区内还发育 2 组断裂构造, 一组为走向北东  $10^{\circ} \sim 35^{\circ}$  的压扭性断裂, 另一组为  $310^{\circ} \sim 340^{\circ}$  走向的张性断裂. 前者通常发育规模较大的主断裂面(如  $F_3$ 、 $F_1$ ), 并具有继承性活动的特点, 后者则表现为该方向上大规模中基性脉岩群的产出(图 1).

由矿区 1:2000 地质填图及工程揭露, 根据岩石变形、蚀变和矿化特征, 矿区内圈出 8 条矿化破碎蚀变带(图 1), 从西往东编号依次为 8、1、9、7、3、10、11、12, 其走向  $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ , 倾向南东, 倾角  $82^{\circ} \sim 87^{\circ}$ , 近平行产出, 相距十几米至几百米. 破碎蚀变带规模大小不一, 宽几十米至 200 余米, 走向上延长最大超过 1000 m. 其中 3 号蚀变带规模最大, 已揭露出 3~2、3~4、3~5、3~7、3~8 号矿体, 矿体呈透镜状或不规则状, 走向上膨缩变化大, 倾向上矿体延深相对稳定, 深部资源潜力巨大. 1 号和 10 号破碎蚀变带已揭露出较大规模的工业矿体.

本文研究的典型矿石样品主要采自 3 号破碎蚀变带 3~2、3~4、3~5、3~7、3~8 矿体的中段, 部分采自 1 号和 10 号破碎蚀变带 170 m 中段的矿体.

## 2 矿石特征

### 2.1 矿石类型

谢家沟金矿主体为受脆—韧性剪切带控制的蚀变岩型金矿, 局部也发育含金石英脉, 是多种地质因素耦合和多期次叠加成矿作用的产物(杨士望, 1986; 王鹤年等, 1988; New ton, 1990), 其中金矿物主要分布于绢英岩中(图 2). 焦家金矿是典型的破碎蚀变岩型金矿, 玲珑金矿是著名的石英脉型金矿, 谢家沟金矿是两者的过渡类型, 矿石类型多样, 矿石矿物和脉石矿物组合复杂, 宏观上分为氧化矿石和原生矿石.

**2.1.1 氧化矿石** 氧化矿石产出局限, 主要分布在近地表和切割矿体的晚期断裂破碎带上, 以孔雀石化和褐铁矿化为典型特征, 该类矿石金品位较低, 一般小于  $5 \text{ g/t}$ . 矿石矿物主要有褐铁矿、黄铜矿、黄铁矿、孔雀石、铜兰、辉铜矿、黝铜矿及少量独立金矿物; 脉

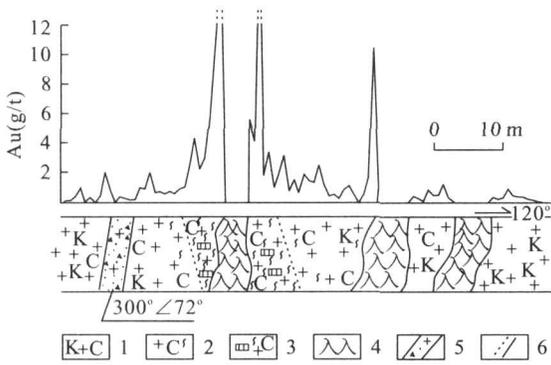


图 2 谢家沟金矿床 97 线地质剖面示意图

Fig. 2 Geological section on exploration line 97 in Xiejiaogou gold deposit

1. 钾化花岗岩; 2. 绢英岩化花岗岩; 3. 黄铁绢英岩; 4. 中基性脉岩; 5. 断层; 6. 地质界线

石矿物主要有石英、绢云母、斜长石及高岭土等。

**2.1.2 原生矿石** 原生矿石是矿床的主要矿石类型。据矿石矿物组合及产出特征, 其可分为黄铁绢英岩、黄铁矿—黄铜矿绢英岩、多金属硫化物绢英岩和黄铁矿—黄铜矿石英脉等 4 种类型。

(1)黄铁绢英岩: 分布于脆—韧性剪切切变带的中心附近, 是主成矿期早阶段的产物, 硅化和绢英岩化强烈。金属矿物主要是黄铁矿, 多为他形晶, 略显定向排列, 斑点状和稠密浸染状产出。黄铜矿含量少, 偶见呈稀疏浸染状分布。石英定向拉长、波状消光以及石英、绢云母等脉石矿物定向排列现象明显, 反映岩石经受脆—韧性剪切应力条件下的变形作用。矿石金品位一般  $(3 \sim 15) \times 10^{-6}$ 。

在脆—韧性剪切带中心部位, 常发育细脉状黄铁矿(超)糜棱岩, 黄铜矿含量少。黄铁矿细脉宽度多小于 5 mm, 呈北东走向。矿石金品位较高, 一般大于  $10 \times 10^{-6}$ , 最高可达  $350 \times 10^{-6}$  以上。显微观察表明, 矿石具有典型韧性变形特征, 如石英同质核幔结构、定向拉长和波状消光、石英和绢云母定向排列以及石英眼球构造等, 这些特征以及超糜棱岩的产出说明脆—韧性剪切带中心部位可能是构造应力作用较强部位。

(2)黄铁矿—黄铜矿绢英岩: 分布于脆—韧性剪切带中心两侧, 是主要的矿石类型。矿石矿物主要是黄铁矿和黄铜矿, 呈斑点状、不连续细脉状, 局部为团块状。黄铜矿主要沿黄铁矿裂隙和矿物颗粒的边缘分布, 偶见黄铁矿和黄铜矿呈细粒状浸染于脉石矿物中。矿石亦具有典型脆—韧性剪切作用的显微特征。矿石金品位一般小于  $10 \times 10^{-6}$ 。

(3)多金属硫化物绢英岩: 分布于远离脆—韧性剪切带中心两侧, 矿石矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、辉铜矿等。其中方铅矿交代黄铁矿, 形成交代溶蚀结构和交代残余结构。矿石构造以块状构造为主。矿石金品位不高, 一般为  $2 \sim 5 \text{ g/t}$ 。据矿石宏观产出特征和显微特征, 认为其主要形成于成矿作用的晚阶段。

(4)黄铁矿—黄铜矿石英脉: 分布于闪长玢岩两侧及附近的钾化花岗岩构造裂隙内, 是脉岩叠加成矿作用产物。矿石矿物相对简单, 主要是黄铁矿和黄铜矿, 多呈他形粒状平行共生, 偶见黄铜矿呈细脉状发育于黄铁矿裂隙中, 但溶蚀、交代作用不强烈。以块状构造为主, 少量为斑点状构造。脉石矿物含量少且单一, 主要是石英。矿石金品位高, 一般大于  $20 \times 10^{-6}$ 。

总之, 不同类型的矿石形成于不同的成矿环境和成矿阶段, 其成矿作用方式也不同。综合宏观、微观地质特征, 认为在脆—韧性剪切作用背景下, 黄铁绢英岩型矿石形成于成矿作用的早阶段, 金成矿与成矿流体的交代蚀变作用关系密切 (New ton, 1990)。黄铁矿—黄铜矿绢英岩型矿石是矿床的主要矿石类型, 为主成矿阶段的产物, 与成矿流体物理化学条件变化促使成矿物质大量沉淀有关, 同时伴随着较强的蚀变作用。多金属硫化物绢英岩型矿石的形成有两种可能: 一为成矿作用发展到晚期的多金属硫化物阶段, 成矿流体内部失去化学平衡而沉淀成矿, 另一为多金属硫化物成矿作用叠加于其他类型矿石上。黄铁矿—黄铜矿石英脉型矿石的形成主要发生在成矿的晚期或与后期成矿物质的活化迁移和二次富集有关, 尤其与闪长玢岩的叠加改造关系密切, 成矿作用以充填为主, 交代作用不强烈。

## 2.2 成矿期次划分和矿物生成顺序

根据宏观特征和微观矿石矿物穿插关系, 把金成矿作用分为 2 期 5 阶段, 即热液成矿期和表生氧化成矿期, 前者分为 5 个阶段, 即石英—黄铁矿阶段、石英—黄铁矿—黄铜矿阶段、石英—多金属硫化物阶段、石英—硫铁矿阶段和石英—碳酸盐阶段, 其中金主要形成于石英—黄铁矿阶段和石英—黄铁矿—黄铜矿阶段, 少量形成于石英—多金属硫化物阶段。不同成矿阶段形成的矿石类型不同, 石英—黄铁矿阶段形成黄铁绢英岩型矿石, 石英—黄铁矿—黄铜矿阶段形成黄铁矿—黄铜矿绢英岩, 石英—多金属硫化物阶段形成石英—多金属硫化物绢英岩。

表 1 谢家沟金矿床金矿物特征

Table 1 Statistical results of gold minerals in Xiejiaogou gold deposit

项目	赋存状态				粒度大小( $\mu\text{m}$ )			形状		
	包体金	晶隙金	裂隙金	粗粒( $>100$ )	中粗(100~50)	细粒( $\leq 50$ )	圆粒状	细脉状	不规则状	
统计结果										
粒数	32	12	54	14	34	50	37	24	37	
相对比例	32.6%	12.2%	55.2%	14.3%	34.7%	51.0%	37.8%	24.4%	37.8%	

根据不同成矿阶段形成的矿物组合,认为成矿作用的不同阶段,即石英—黄铁矿阶段→石英—黄铁矿—黄铜矿阶段→石英—多金属硫化物阶段→石英—硫铁矿阶段→石英—碳酸盐阶段,成矿温度逐渐降低,这与后文金矿物成色反映成矿温度逐渐下降是一致的。

### 3 金矿物特征

#### 3.1 金赋存状态

谢家沟金矿中金的赋存状态相对于焦家金矿和玲珑金矿更复杂,主要有包体金、晶隙金和裂隙金。对 3 号破碎蚀变带各矿体不同中段、不同类型矿物的显微观察统计表明,在 50 个光片中共发现明金 98 粒(表 1),其中包体金 32 粒(占 32.6%)、晶隙金 12 粒(占 12.2%)、裂隙金 54 粒(占 55.2%)。包体金的寄主矿物主要是黄铁矿和黄铜矿。包体金主要发育于黄铁绢英岩和黄铁矿—黄铜矿绢英岩等类型矿石中。晶隙金则主要分布于黄铁绢英岩内黄铁矿与黄铜矿之间以及硫化物与石英之间,极少数分布于石英矿物颗粒之间。裂隙金的寄主矿物主要是黄铁矿,产出状态有 2 种:一是金矿物呈细脉状产于黄铁矿裂隙中;另一是金矿物与多金属硫化物石英脉共生产于黄铁矿裂隙中。裂隙金分布于各种矿石类型之中。

在垂向上,金矿物的赋存状态表现出一定的规律性,即浅部包体金和晶隙金较发育,在深部裂隙金大量产出。在成矿的早晚关系上,黄铁矿中的包体金普遍形成较早,晶隙金次之,裂隙金则最晚。

#### 3.2 金粒度和形态

对 98 粒明金的统计(表 1)表明,金矿物的粒度和形态差别较大。粒径以小于 50  $\mu\text{m}$  的为主,占 51.0%,大于 100  $\mu\text{m}$  的金矿物 14 粒,占 14.3%,100~50  $\mu\text{m}$  的为 34 粒,占 34.7%。相对而言,包体金的粒度多为细粒,晶隙金的粒度差别大,最大达 500  $\mu\text{m}$ 。另外,在地表附近的氧化带中,各种赋存状

态的金矿物粒度相对较大。

金矿物形状有圆粒状、细脉状和不规则状。金矿物的形状与其赋存状态关系密切。包体金以圆粒状为主,晶隙金则以不规则状为主,裂隙金主要呈细脉状。

#### 3.3 金矿物成分

对不同类型矿石中不同赋存状态的 73 粒金矿物进行电子探针分析(表 2),结果表明金矿物除含 Au 外,Ag 含量也较高。据四分法划分原则(翟裕生和吕古贤,2002),金矿物为自然金(Au $>80\%$ )和银金矿(Au50%~80%,Ag20%~50%),其中前者占 68.5%,后者占 31.5%,这与焦家金矿和玲珑金矿大量产出的银金矿和金银矿的现象明显不同。谢家沟金矿中黄铁矿的包体金都是自然金。

金矿物除含 Au 和 Ag 外,还普遍含 As、Cu、Sb、Ni、Zn 和 Se 等微量元素,其中 Co 含量集中于 0.25%~0.50%,Ni 峰值则为 0.35%~0.55%。彼特罗夫斯卡娅(1980)认为金矿物富含 Co、Ni、Cu、Ti、Bi 等微量元素时,指示矿床为中深成矿床。

金成色是反映矿床本质特征的重要地质信息之一。本文对不同赋存状态金矿物的成色进行统计(表 3),反映如下地质意义:(1)包体金成色最高,均值为 859.96,最高值 926,标准差为 52.97,分异系数为 0.0616,反映包体金主要形成于早期成矿阶段,成矿温度较高,形成深度为中—深部(张震儒,1995;吕古贤等,1999);(2)晶隙金成色集中于 750~850 之间,均值为 843.83,反映成矿温度较高,但略低于包体金的形成温度。晶隙金发育于不同类型矿石中,成色变化范围大,标准差为 65.22,分异系数为 0.0773;(3)裂隙金成色相对较低,但变化范围较大,为 708~914,均值为 833.08,标准差为 61.73,分异系数为 0.0741,反映多期次成矿叠加的特点。

总之,谢家沟金矿不同赋存状态的金矿物成色较高,且变化范围大,明显高于胶东地区著名的焦家金矿和玲珑金矿的金成色,反映相对较高的成矿温度和复杂的成矿作用过程。

据金矿物电子探针分析结果,不同赋存状态金矿物的 Au/Ag 比值对  $[(\text{Co} + \text{Ni} + \text{Cu} + \text{Zn} + \text{Se})/$

表2 谢家沟金矿金矿物成分分析结果

Table 2 Composition analysis results of gold in Xiejiagou gold deposit

样号	赋存状态	矿石类型	电子探针分析(%)								
			Au	Ag	As	Cu	Ni	Co	Sb	Zn	Se
4-1210-18	包体金	黄铁绢英岩	88.40	10.17			0.29	0.32			
	包体金		90.87	9.11			0.24	0.44			
	裂隙金		86.48	11.25			0.80	0.56			
4-1210-20	裂隙金	黄铁绢英岩	72.68	25.56	0.14			0.27			0.11
	裂隙金		74.34	24.07	0.24			0.09			
	裂隙金		75.89	23.01	0.19			0.22			
	裂隙金		74.20	25.12	0.17			0.74			
3-1206-4	裂隙金	黄铁矿-黄铜矿 绢英岩	77.44	23.12	0.02	0.04	0.09			0.10	
	晶隙金		74.66	23.34	0.12	0.03	0.01		0.23	0.25	
	晶隙金		74.36	24.36	0.31			0.57			0.10
	晶隙金		77.45	19.71	0.19	0.11	0.51	0.6	0.28		0.25
	包体金		76.99	21.77	0.08	0.42					
4-1210-23	包体金	黄铁矿-黄铜矿 绢英岩	91.06	7.60			0.28	0.20			
	包体金		85.37	12.33		0.78	0.28			0.34	
	包体金		86.50	13.10	0.11	0.34	0.33			0.16	0.14
	包体金		85.59	13.59	0.13	0.65	0.10				0.15
3-1203-7	包体金	黄铁矿-黄铜矿 绢英岩	72.34	26.66			0.28	0.16	0.12		
	裂隙金		70.90	27.11			0.50	0.71			
	包体金		77.10	22.33		0.10	0.30			0.12	
	裂隙金		70.34	21.18			0.18			0.10	0.08
4-99-6	晶隙金	黄铁绢英岩	88.70	10.83		0.04	0.08				
3-1209-13	包体金	多金属硫化物 绢英岩	66.88	32.07	0.14			0.67			
03271	包体金	黄铁矿-黄铜矿 绢英岩	91.94	6.88		0.21	0.10	0.15			
	包体金		88.64	10.67			0.19	0.08			
	裂隙金		85.53	13.87	0.23	0.31					0.09
07303	包体金	黄铁矿-黄铜矿 石英脉	81.23	18.13	0.12	0.47					
04293	包体金	黄铁矿-黄铜矿 石英脉	88.78	10.03		0.14	0.16				
	裂隙金		84.74	14.62			0.56			0.23	
	裂隙金		86.68	12.61	0.18	0.53					
	包体金		86.29	13.55	0.16	0.09	0.03	0.44			
05163	裂隙金	黄铁矿-黄铜矿 绢英岩	79.37	19.48	0.22			0.26		0.01	
	裂隙金		70.72	28.40	0.23			0.48			
07251	裂隙金	黄铁矿-黄铜矿 石英脉	84.56	14.65		0.81	0.36	0.32			
	裂隙金		85.67	13.72	0.13	0.04		0.11		0.33	
07221	包体金	黄铁矿-黄铜矿 石英脉	78.31	20.46	0.29		0.10	0.16	0.10		
	裂隙金		77.63	20.42	0.16		0.26	0.24			
	裂隙金		76.61	20.88	0.26	0.40		0.65		0.38	
	裂隙金		82.19	17.37			0.23	0.34			
	包体金		79.62	20.00	0.11		0.24	0.47			
	裂隙金		81.24	17.71	0.12	0.28	0.14	0.06		0.09	
06053	裂隙金	多金属硫化物 绢英岩	86.17	13.89			0.01			0.04	
03145	裂隙金	黄铁绢英岩	86.13	13.87	0.01			0.01		0.02	
	裂隙金		79.54	19.52				0.60			
04214	裂隙金	黄铁矿-黄铜矿 石英脉	88.82	10.87	0.31					0.08	0.06
	裂隙金		88.65	10.75	0.14			0.29			
WYG	晶隙金	黄铁矿-黄铜矿	83.85	15.19	0.10		0.25	0.22			
06234	裂隙金	石英脉	75.51	24.00	0.06	0.08	0.43		0.16	0.10	

续表 2

样号	赋存状态	矿石类型	电子探针分析(%)								
			Au	Ag	As	Cu	Ni	Co	Sb	Zn	Se
07223	裂隙金	黄铁矿—黄铜矿 石英脉	90.33	8.67	0.19		0.54	0.37			
	裂隙金		91.16	7.98	0.14		0.08	0.38			
	裂隙金		89.93	9.35			0.23		0.33		
	裂隙金		90.35	8.63	0.22	0.34					
03014	包体金	黄铁绢英岩	93.00	6.92	0.20		0.19	0.21			
	裂隙金		91.47	8.72	0.20	0.10	0.21		0.07	0.10	
	裂隙金		90.97	8.45	0.35		0.05	0.19			
	裂隙金		90.97	8.85	0.04		0.23	0.53			
07242	晶隙金	多金属硫化物 绢英岩	89.34	10.13	0.19			0.25			
	晶隙金		89.98	9.19	0.40			0.43			
	晶隙金		87.30	11.06	0.28		0.40	0.66			
	晶隙金		89.84	9.23	0.21		0.13	0.14			
	晶隙金		90.49	9.94	0.22			0.19			
	晶隙金		90.88	9.69	0.12	0.05		0.02			
	晶隙金		86.82	12.02	0.27		0.04		0.12		
	包体金		86.01	12.63	0.40		0.28	0.50			
	包体金		90.20	9.40	0.28			0.12			
	裂隙金		88.55	11.48	0.42	0.08		0.06		0.10	
	裂隙金		87.67	11.50	0.03		0.44	0.36			
07181	裂隙金	黄铁绢英岩	87.80	11.48	0.33		0.07	0.45			
	包体金		87.73	12.02	0.17				0.12	0.07	
	包体金		87.73	12.07	0.43				0.12	0.06	
07251	裂隙金	黄铁矿—黄铜矿 石英脉	87.65	12.07	0.05		0.23	0.20			
	裂隙金		83.52	14.58	0.26	0.12	0.53	0.10		0.23	
	裂隙金		86.81	12.40	0.19	0.16	0.45	0.15			
	裂隙金		86.16	13.54	0.24			0.34			

注: 中国地质大学(北京)电子探针室测试, 2004年.

表 3 谢家沟金矿矿物成色分析

Table 3 Gold fineness in Xiejagou gold deposit

金赋存状态	包体金	晶隙金	裂隙金
成色	891, 926, 890, 776, 813, 897, 859, 857, 790, 793, 918, 854, 859, 854, 729, 773, 905, 925, 862, 902, 878, 875, 910, 903, 670	740, 754, 890, 746, 781, 842, 894, 900, 876, 903, 897, 903	857, 728, 753, 764, 769, 848, 868, 799, 708, 846, 786, 772, 823, 815, 715, 713, 861, 861, 888, 888, 755, 879, 881, 877, 877, 875, 844, 868, 859, 873, 798, 909, 906, 908, 914, 906
总和	21 309	10 126	29 991
金矿物颗粒数	25	12	36
均值	859.96	843.83	833.08
标准差	52.97	65.22	61.73
变异系数	0.061 6	0.077 3	0.074 1

(As+Sb)] 作图(图 3)显示, 包体金的投点分布于图的上方, 且比较分散, 说明包体金以自然金为主, 形成于早期成矿阶段, 并叠加了后期的成矿作用; 晶隙金的  $(Co+Ni+Cu+Zn+Se)/(As+Sb)$  比值多小于 2, 并且  $Au/Ag$  值集中于 2~10, 主要是含银自然金; 而裂隙金的投点分布范围广, 并且  $(Co+Ni+Cu+Zn+Se)/(As+Sb)$  比值大的裂隙金, 其  $Au/Ag$  值相对较低, 与复杂的成矿作用方式有关.

## 4 矿石和矿物特征对成矿作用的指示意义

矿石的糜棱岩化和构造变形特征反映了成矿作用发生于脆—韧性剪切构造变形的背景下. 这与矿石的微观特征——石英的同质核幔结构、定向拉长和波状消光、矿物定向排列以及宏观上的石英眼球、S-C 组构等所反映的变形性质相吻合.

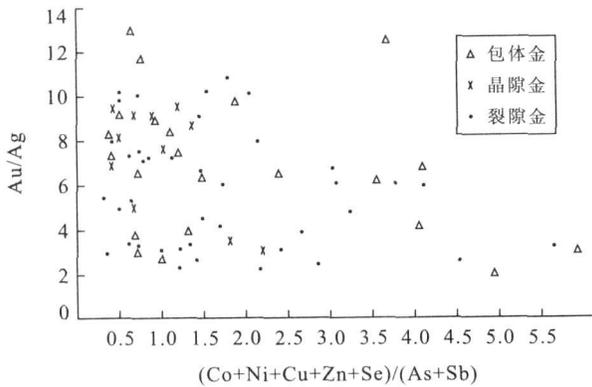


图3 金矿物(Au/Ag)-[(Co+Ni+Cu+Zn+Se)/(As+Sb)] 投点图

Fig.3 Scatter of point on (Au/Ag)-[(Co+Ni+Cu+Zn+Se)/(As+Sb)] of gold minerals

热液成矿期的5个成矿阶段所形成的矿物组合,反映了成矿阶段从早到晚是成矿温度逐渐降低的过程。

金的赋存状态反映了它与载金矿物的关系。黄铁矿开始出现最早,显示黄铁矿中包体金和部分晶隙金形成于成矿的早期,即石英—黄铁矿阶段。黄铜矿中包体金和部分晶隙金形成于石英—黄铁矿—黄铜矿阶段和多金属硫化物阶段。裂隙金则形成相对最晚,主要对应于脉岩叠加成矿阶段和多金属硫化物阶段。

金矿物的成色反映了丰富的地质信息,成矿流体中金的相对含量与金成色呈正相关(Newton, 1990; 张震儒, 1995; 梁俊红等, 2000; 邓军等, 2004b)。因此,谢家沟金矿金成色从包体金(859.96)→晶隙金(843.83)→裂隙金(833.08)不断降低及其趋势,说明在形成包体金、晶隙金和裂隙金的成矿流体演化过程中金的含量不断下降,成矿温度也是一个逐渐下降的过程,黄铁矿中包体金主要是自然金,成色最高,反映形成温度也最高,与自然金作为高温系列,银金矿作为高—中温系列的观点(梁俊红等, 2000)相一致。3种赋存状态金矿物成色的加权平均值为844.19,反映成矿作用发生于中深部环境,与脆—韧性剪切应力背景相一致。

## References

Deng, J., Fang, Y., Yang, L. Q., et al., 2000. Shear alteration, mass transfer and gold mineralization: An example from Jiaodong gold deposit concentration region, Shandong, China. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 25(4): 428—432 (in Chinese with English abstract).

Deng, J., Wang, Q. F., Huang, D. H., 2004a. The key problem and researching methods of the transportation and locating processes of metallogenic fluid. *Progress in Earth Science*, 19(3): 393—398 (in Chinese with English abstract).

Deng, J., Wang, Q. F., Yang, L. Q., et al., 2004b. The geological setting to the gold metallogeny in the northwestern Jiaodong Peninsula, Shandong Province. *Earth Science Frontiers*, 11(4): 527—533 (in Chinese with English abstract).

Deng, J., Xu, S. L., Fang, Y., et al., 1996. Tectonic system and mineralization dynamic of gold ore deposit in the northwestern part of the Jiaodong Peninsula. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).

Deng, J., Yang, L. Q., Zhai, Y. S., et al., 2000. Theoretical framework and methodological system of tectonics-fluids-mineralization system and dynamics. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 25(1): 71—78 (in Chinese with English abstract).

Hu, S. X., Wang, H. N., Wang, D. Z., et al., 1998. Gold deposit geology and geochemistry in East China. Science Press, Beijing (in Chinese).

Liang, J. H., Liu, H. B., Wang, J. G., 2000. The meaning of the typomorphic characteristic of native gold and its fineness feature in the researches of ore deposit. *Gold*, 21(12): 1—4 (in Chinese).

Liu, J. M., Ye, J., Xu, J. H., et al., 2001. Preliminary discussion on geodynamic background of Mesozoic gold metallogeny in eastern North China—With an example from eastern Shandong Province. *Progress in Geophysics*, 16(1): 39—46 (in Chinese with English abstract).

Lü, G. X., Lin, W. W., Luo, S. Y., et al., 1999. Physical chemistry of tectonic action and metallogenic prognosis for gold deposit. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).

Newton, R. C., 1990. Fluids and shear zones in the deep crust. *Tectonophysics*, 18(2): 21—27.

Shen, Y. C., Li, H. M., Liu, T. B., et al., 2001. Types of gold mineralization of Jiaojia type's gold deposit in Jiaodong district, Shandong Province, and their importance of studying. *Geology and Prospecting*, 37(1): 48—51 (in Chinese with English abstract).

Wang, H. N., Chen, J., Wang, Y., 1988. Geochemical studies of Au-bearing formation in Jiaodong Peninsula, Shandong Province. *Geochimica*, 12(3): 195—207 (in Chinese with English abstract).

Wang, H. N., Chen, J., Wang, Y., 1988. Geochemical studies of Au-bearing formation in Jiaodong Peninsula, Shandong Province. *Geochimica*, 12(3): 195—207 (in Chinese with English abstract).

Wang, H. N., Chen, J., Wang, Y., 1988. Geochemical studies of Au-bearing formation in Jiaodong Peninsula, Shandong Province. *Geochimica*, 12(3): 195—207 (in Chinese with English abstract).

nese with English abstract).

- Yang, S. W., 1986. Discussion on the Jiaodong Formation, gold-rooted formation and its controlling on gold mineralization in northwestern part of Jiaodong Peninsula. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 1(2): 1—12 (in Chinese with English abstract).
- Zhai, Y. S., Lü, G. X., 2000. Transition of tectonic and dynamic regime and mineralization. *Acta Geoscientia Sinica*, 23(2): 98—101 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Z. R., 1995. The application of gold fineness in geology. *Science and Technology of Gold*, 54(6): 21—24 (in Chinese).

### 附中文参考文献

- 邓军, 方云, 杨立强, 等, 2000. 剪切蚀变与物质迁移及金的富集——以胶东矿集区为例. *地球科学——中国地质大学学报*, 25(4): 428—432.
- 邓军, 王庆飞, 黄定华, 2004a. 成矿流体运输物理机制研究的关键难题与方法体系. *地球科学进展*, 19(3): 393—398.
- 邓军, 王庆飞, 杨立强, 等, 2004b. 胶西北金矿集中区成矿作用发生的地质背景. *地学前缘*, 11(4): 527—533.
- 邓军, 徐守礼, 方云, 等, 1996. 胶东西北部构造体系及金矿成

矿动力学. 北京: 地质出版社.

- 邓军, 杨立强, 翟裕生, 等, 2000. 构造—流体—成矿系统及其动力学的理论格架与方法体系. *地球科学——中国地质大学学报*, 25(1): 71—78.
- 胡受奚, 王鹤年, 王德滋, 等, 1998. 中国东部金矿地质学及地球化学. 北京: 科学出版社.
- 梁俊红, 刘海波, 王建国, 2000. 自然金的标型及成色特征在金矿床研究中的意义. *黄金*, 21(12): 1—4.
- 刘建明, 叶杰, 徐九华, 等, 2001. 初论华北东部中生代金成矿的地球动力学背景——以胶东金矿为例. *地球物理学进展*, 16(1): 39—46.
- 吕古贤, 林文蔚, 罗世元, 等, 1999. 构造物理化学与金矿成矿预测. 北京: 地质出版社.
- 沈远超, 李厚民, 刘铁兵, 等, 2001. 胶西北焦家式金矿化类型及其研究意义. *地质与勘探*, 37(1): 48—51.
- 王鹤年, 陈骏, 汪耀, 1988. 胶东金矿含金建造的地球化学研究. *地球化学*, 12(3): 195—207.
- 杨士望, 1986. 论胶东半岛西北部胶东群地层、金的矿源层和金矿床的层控性质. *地质找矿论丛*, 1(2): 1—12.
- 翟裕生, 吕古贤, 2002. 构造动力体制转换与成矿作用. *地球学报*, 23(2): 98—101.
- 张震儒, 1995. 金的成色研究在地质学中的应用. *黄金科学技术*, 54(6): 21—24.