

胶东谢家沟金矿岩石地球化学及流体包裹体研究

辛洪波¹, 王建国², 曲晓明¹, 邓军², 韦延光³

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 中国地质大学, 北京 100083; 3. 中国地质调查局, 北京 100011)

[摘要] 文章对谢家沟金矿进行了详细的地质学、岩石地球化学及流体包裹体研究。微量元素研究表明, 谢家沟金矿控矿的主因子组合 $F1$ 为: Au、Ag、As、Bi、Cu、Pb、Mo、Sb、Co、Ni、Mn, 其贡献百分比占 65.691%, 为主成矿作用所致, 形成了该区的韧性剪切带型金矿; 通过对流体包裹体的研究得知, 谢家沟金矿形成于深成、中低温的成矿环境, 其成矿温度为 $270^{\circ}\text{C} \sim 330^{\circ}\text{C}$, 成矿压力为 $3100 \times 10^5 \text{ Pa}$, 约在地下 11km 深处; 最后, 结合胶东地区所处的区域地质背景及其演化, 认为谢家沟金矿形成于碰撞造山晚期的伸展构造环境。胶东地区主断裂带剪切应力场大小和方向的不不断调整在研究区产生了剪切应力场, 是控制谢家沟矿化的主要构造。

[关键词] 谢家沟金矿 韧性剪切带 岩石地球化学 流体包裹体 成矿构造环境

[中图分类号] P618.51; P632 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2007)05-0061-07

0 引言

谢家沟金矿是胶东地区新发现的一个大型金矿床, 位于招远市南西约 10km 处的谢家沟村以东, 地理坐标为北纬 $37^{\circ}18'00'' \sim 37^{\circ}19'42''$, 东经 $120^{\circ}18'47'' \sim 120^{\circ}21'00''$ 。与胶东地区著名的焦家金矿、玲珑金矿不同, 它不产出于区域性深大断裂带上, 而是位于焦家断裂带和招平断裂带之间, 矿体的产出主要受矿区尺度范围的韧性剪切带控制。以往在胶东地区的金矿找矿工作主要集中于大型断裂带(三山岛断裂、焦家断裂、招平断裂)边界及盆地周边^{[4][5][8]}, 该矿床的发现不仅丰富了胶东金矿的成矿类型(经专家会诊, 该矿床的成矿类型暂定为韧性剪切带破碎蚀变岩型金矿), 更从根本上摒弃了在大型断裂带周围找矿的理念, 预示着胶东地区尚有很大的找矿潜力。因此, 对该矿床进行研究就显得尤为重要, 文章将主要从岩石地球化学和流体包裹体特征等方面进行探讨。

1 矿床地质及岩相学特征

谢家沟矿床位于招平断裂带以西约 3.5km、招远市南约 10km 处的谢家沟以东地区。区内地层仅见少量第四系沿沟谷、丘陵分布。岩浆岩大面积出

露, 为中生代玲珑黑云母花岗岩。脉岩广布, 多近南北向展布(图 1)。

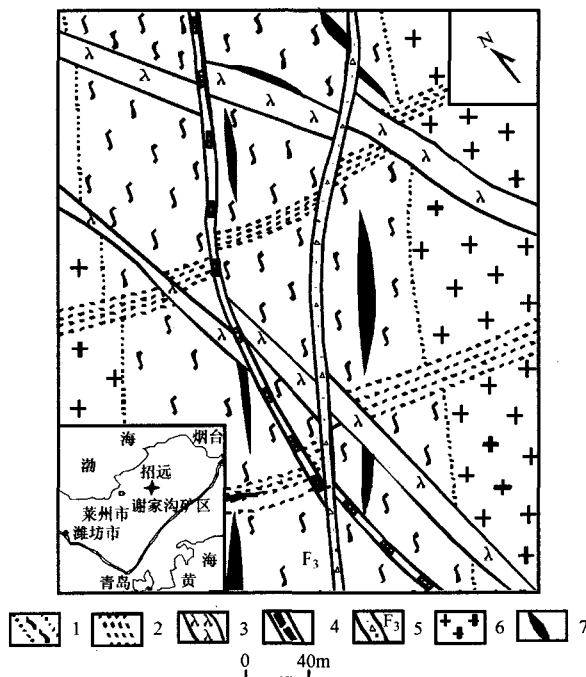


图 1 谢家沟金矿含矿蚀变带构造纲要图

1—韧性剪切带; 2—平移断层; 3—张性断裂构造(充填脉岩); 4—压扭性构造; 5—张扭性正断层; 6—中生代花岗岩; 7—矿体

[收稿日期] 2006-06-08; **[修订日期]** 2006-10-23。

[基金项目] 科技部 973 计划项目(编号: 2002CB412605)资助。

[第一作者简介] 辛洪波(1977 年—), 男, 2005 年毕业于中国地质大学, 获博士学位, 助理研究员, 现主要从事金属矿产资源方面的研究工作。

1.1 韧性剪切带特征

谢家沟金矿区发育一组平行产出、总体走向 NE30° 的韧性剪切带构造,产状 $115^{\circ} \sim 120^{\circ} \angle 75^{\circ} \sim 85^{\circ}$,矿体为韧性剪切带构造所控制。该韧性剪切带的宏观特征表现为,主应变带为绢英岩化糜棱岩或石英硫化物胶结的结晶糜棱岩。剪切带由主应变带中心向外岩性学变化明显,依次为糜棱岩、初糜棱

岩、糜棱岩化钾化花岗岩、劈理化花岗岩带。其构造岩在显微镜下具有典型的剪切带显微构造变形特征:石英的核幔构造(图 2a)、残斑眼球和旋转眼球构造(图 2b)、显微 S-C 组构、波状消光、压力影及云母鱼等构造。矿物(绢云母、石英等)定向拉长,定向排列。

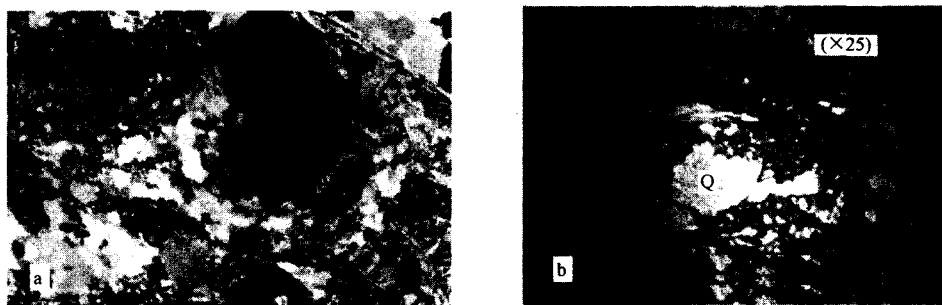


图 2 谢家沟金矿韧性剪切带显微构造特征

a. 核幔构造;b. 眼球构造

1.2 构造演化

谢家沟矿区构造变形相当发育,主要表现为玲珑花岗岩期后的断裂构造,分为 5 期(图 1):第一期为控矿韧性剪切带,走向为 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$,控制了矿体的产出形态和规模;第二期为近东西向的平移断层构造系统,局部地段表现为密集发育的剪节理系;第三期为北北西向的张性断裂构造,其内充填中基性脉岩,形成中基性脉岩群,岩脉切割原有矿体,并使成矿元素进一步富集,在脉岩两侧局部地段形成富矿体;第四期为北东向的压扭性断裂构造,穿切矿体及脉岩,产状近直立,为成矿后的破矿构造;第五期为北东向的张扭性正断层,改组断裂的典型特征是充填硫化物石英脉或黄铁矿脉,其硫化物石英脉中不含金或含微量的金,构不成工业矿体,作者称之为硫铁矿带。

在构造演化上,金成矿期主要有两期:一是韧性剪切带金成矿作用;二是在张性构造背景下与脉岩有关的热流体成矿作用。

1.3 岩相学特征

该矿区的矿石矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、赤铁矿、褐铁矿、孔雀石、方铅矿、闪锌矿、碲铋铅矿以及自然金等;脉石矿物主要有石英、绢云母和绿泥石等。其中,在矿石矿物中,赤铁矿、褐铁矿、孔雀石等次生氧化矿物只在矿脉的近地表发育,而其他原生矿物在各矿脉体之间以及在同一矿脉不同标高的分

布有一定差异。根据矿石的矿物共生组合,可以将该矿区的原生矿石分为 5 种类型:黄铁绢英岩矿石、黄铁矿-石英脉型矿石、黄铜矿-黄铁矿-石英脉型矿石、黄铜矿-方铅矿-石英脉型矿石、黄铁矿细脉-钾化花岗岩型矿石。金的赋存状态主要有黄铁矿和黄铜矿中的包体金、黄铁矿中的裂隙金以及黄铜矿、黄铁矿和石英之间的晶隙金。其中,以裂隙金(52%)和包体金(37%)为主,晶隙金较少(11%)。

2 岩石地球化学分析

谢家沟矿区出露的岩石类型主要有黑云母花岗岩、各种蚀变岩及复杂的脉岩,文章分别对其常量元素、稀土元素和微量元素进行了系统分析(表 1、表 2、表 3)。

2.1 常量元素

由表 1 中黑云母花岗岩及各种蚀变岩样品的常量元素分析结果可以看出,岩石 SiO_2 含量的变化范围很小,为 67.38% ~ 71.28%,反映了岩浆分异过程的一致性;3 号样品(采样位置为花岗岩与脉岩接触带附近)含有较低的 Al_2O_3 和很高的 Fe_2O_3 ,可能是受到了后期脉岩混合岩化作用的结果;岩石里特曼指数($\sigma = (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})^2 / (\text{SiO}_2 - 43)$)介于 1.9 ~ 2.4 之间,且 $\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$,为钙碱性铝过饱和系列岩石,其中 3 号样品里特曼指数较低,为 0.79。

表 1 谢家沟金矿岩石常量元素分析结果

		$\omega_B/\%$													
序号	岩性	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	TiO ₂	H ₂ O ⁺	CO ₂	TOTAL
1	黑云母花岗岩	69.85	16.25	0.59	1.10	0.56	2.67	4.79	2.83	0.073	0.063	0.21	0.42	0.30	99.71
2	钾化花岗岩	71.28	15.45	0.47	0.76	0.39	1.64	4.62	3.66	0.044	0.051	0.16	0.90	1.15	100.57
3	黄铁绢英岩	67.38	11.97	9.52	1.30	0.64	1.58	0.62	3.76	0.063	0.038	0.12	1.84	1.66	100.48
4	黄铁绢英岩	67.91	15.66	0.75	1.50	0.52	2.04	3.38	4.18	0.070	0.057	0.18	1.26	2.20	99.70
5	黄铁绢英岩	69.49	15.15	1.11	0.77	0.43	2.04	2.81	4.29	0.058	0.058	0.18	1.39	1.72	99.50
6	黄铁绢英岩	69.17	15.69	1.13	0.94	0.45	1.80	4.33	3.54	0.068	0.064	0.18	1.08	1.39	99.84

注:表 1~3 测试由地科院物化探研究所完成,使用的仪器为等离子体光谱仪(ICP-OES/MS),2004。

2.2 稀土元素

文章对谢家沟矿区出露的主要岩石类型进行了稀土微量元素分析(表 2)。其中黑云母花岗岩和矿石样品的 Σ REE 明显偏低,前者为 74.35×10^{-6} ,后者为 $31.31 \times 10^{-6} \sim 78.44 \times 10^{-6}$,轻重稀土分馏明显, $(La/Yb)_N$ 在 9.74~30.18 之间,具有弱的负铈异常, δEu 介于 0.64~0.83 之间;脉岩(闪长玢岩和煌斑岩)样品的 Σ REE 较高,介于 $154.47 \times 10^{-6} \sim 186.19 \times 10^{-6}$ 之间,轻重稀土分馏明显, $(La/Yb)_N$ 在 20.54~49.14 之间,也具有弱的负铈异常, δEu 介于 0.73~0.88 之间。各种岩石样品的球粒陨石标准化分配曲线(图 3)均呈平缓的右倾型式,只是稀土总量上存在较大的差异。

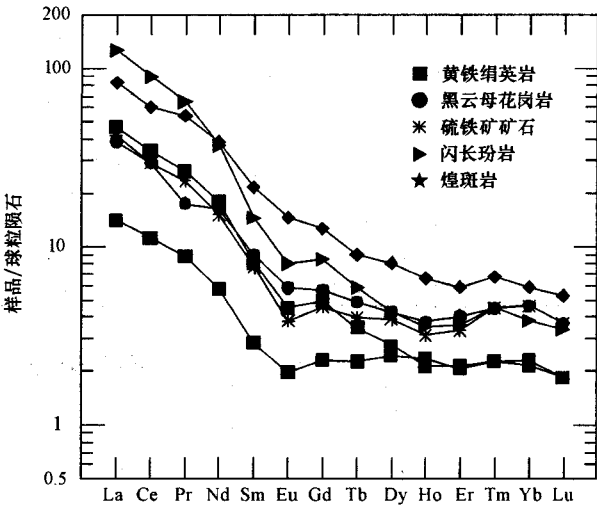


图 3 谢家沟金矿岩石稀土元素分配曲线

表 2 谢家沟金矿岩石稀土元素分析结果

		$\omega_B/10^{-6}$													
序号	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
1	黑云母花岗岩	14.2	28.2	2.38	11.6	2.06	0.51	1.72	0.28	1.62	0.32	1.01	0.16	1.15	0.14
2	闪长玢岩	46.19	85.1	8.82	26.1	3.36	0.7	2.58	0.34	1.61	0.3	0.9	0.16	0.94	0.13
3	煌斑岩	30.2	57.3	7.41	27.2	4.98	1.26	3.84	0.52	3.06	0.56	1.47	0.24	1.47	0.2
4	黄铁绢英岩	17.2	32.8	3.6	12.7	1.88	0.39	1.5	0.2	1.05	0.18	0.53	0.08	0.57	0.07
5	黄铁绢英岩	5.16	10.7	1.2	4.1	0.66	0.17	0.7	0.13	0.92	0.2	0.51	0.08	0.53	0.07
6	硫铁矿矿石	15.2	28.4	3.2	10.6	1.76	0.33	1.4	0.23	1.47	0.27	0.83	0.16	1.14	0.14

2.3 微量元素

由于谢家沟矿床只有 3 号脉体的工程控制程度较高,且矿体产状近直立,所以文章只选取了 3 号脉 110 线的 18 件样品进行相关的微量元素分析(表 3)。

2.3.1 相关性分析

对谢家沟矿床 3 号脉体的 18 件样品微量元素进行相关性分析,结果见表 4。可以看出,与 Au 呈正相关的元素有 Ag、As、Bi、Cu、Pb、Mo、Sb、Co、Ni;与 Ag 呈正相关的元素有 Au、As、Bi、Cu、Pb、Mo、Sb、Co、Ni、Mn。不难发现,As、Bi、Cu、Pb、Mo、Sb、Co、Ni 等元素与成矿主元素 Au、Ag 具有较强的相关性。

2.3.2 聚类分析

由于样品数量较大,文章采用 R 型聚类分析对

样品的 14 种微量元素进行变量聚类分析,分析工具采用 SPSS 统计分析软件。

从聚类分析谱系图(图 4)上可以看出,明显相关的一组元素为 Au、Ag、Cu、Pb、As、Bi、Co、Ni、Mo,相关系数大于 0.8,它们是该矿区主要的成矿及伴生元素,其中 Ag、Cu、Pb、As、Bi、Co、Ni、Mo 等元素强烈相关,相关系数高达 0.95 以上;另一个元素组合为 Zn、Hg,其相关系数大于 0.9,二者常相伴出现;Mn、Sb、W 与其他元素相关系数较小,说明它们有着相对独立的富集作用。

2.3.3 因子分析

表 5 列出了由因子载荷矩阵和方差极大正交旋转矩阵给出的主因子组合及其特征值累计百分比。

表 3 谢家沟金矿含矿岩石微量元素分析结果

 $\omega_B/10^{-6}$

	样品编号	岩性	Au	Ag	As	Bi	Cu	Pb	Mo	W	Zn	Sb	Hg	Co	Ni	Mn
200m 水平	3-1203-13	绢英岩化花岗岩	12 423	9210	3.2	2.5	2627	24.1	0.7	3.1	36.5	0.2	3.5	4.3	4.9	368
	3-1203-15	绢英岩化花岗岩	54.5	234	0.8	0.9	28.6	15.7	1.4	2.1	72.5	0.2	3.5	1.6	5.5	956
	3-1203-7	黄铁矿石英脉	14 740	154 700	38	50.4	13 997	663.6	13.8	2.5	77.2	0.3	4.5	59.4	20	1286
	3-1203-5	钾化花岗岩	282	121	1	0.3	51.8	17.1	0.6	1.8	24.1	0.2	4	1.9	3.5	709
	3-1203-11	绢英岩化花岗岩	107	155	1	0.2	14.6	31.6	0.9	1.5	38.1	0.1	4.5	4.2	4.4	714
180m 水平	3-1203-12	绢英岩化花岗岩	54.5	231	0.8	0.1	43.1	16.9	0.4	2	18	0.2	4	1.9	3.1	529
	3-1218-1	绢英岩化花岗岩	44.9	1118	1	0.4	538.5	21.1	0.5	1.9	2931	0.2	8.5	2.6	3.3	835
	3-1218-3	绢英岩	80	294	0.7	0.7	13.7	15.2	0.7	1.6	36.4	0.1	4	1.5	3.2	731
	3-1218-4	钾化花岗岩	19.2	32	0.7	0.1	5.6	22.2	0.3	0.6	25.2	0.1	4	2.1	3.7	583
	3-1218-5	钾化花岗岩	473	431	1.9	0.3	53.8	39.2	0.6	0.9	90.1	0.2	4.5	3.6	5.7	657
	3-1209-1	黄铁矿化绢英岩	41.1	76	1.2	0.1	21.6	12.8	0.6	1.1	14	0.2	4	1.1	2.6	564
	3-1209-3	钾化花岗岩	22	43	0.6	0.1	7	16.3	0.3	0.6	22.5	0.2	3.5	1.6	2.9	551
160m 水平	3-1209-4	钾化花岗岩	17.4	109	0.7	0.1	2	25.1	0.3	0.5	20.7	0.1	4	1.8	3.1	472
	3-1209-5	硅化花岗岩	12.5	45	0.5	0.1	7.1	9.1	1.5	3.2	31.1	0.1	3.5	1	2.7	618
	3-1209-7	硅化花岗岩	5204	1128	1.9	0.6	20.9	20.2	0.4	2.2	20.9	0.2	4.5	5.1	3.6	576
	3-1209-8	钾化花岗岩	54.5	38	0.7	0.1	6.2	15.3	0.3	0.8	16.7	0.1	3.5	2	3.9	658
	3-1209-9	钾化花岗岩	13.2	46	1	0.1	3.9	43.8	0.5	0.6	45.3	0.2	4	2.7	4	669
	3-1209-12	黄铁矿化绢英岩	155	399	1.6	0.5	52.6	32.5	0.5	3.2	30.5	0.1	4	1.6	3.7	811

表 4 谢家沟金矿 3 号脉微量元素相关系数表

	Au	Ag	As	Bi	Cu	Pb	Mo	W	Zn	Sb	Hg	Co	Ni	Mn
Au	1													
Ag	0.76	1												
As	0.77	1.00	1											
Bi	0.75	1.00	1.00	1										
Cu	0.83	0.99	0.99	0.99	1									
Pb	0.72	1.00	1.00	1.00	0.98	1								
Mo	0.72	0.99	0.99	0.99	0.98	0.99	1							
W	0.46	0.25	0.25	0.25	0.30	0.21	0.28	1						
Zn	-0.09	-0.04	-0.05	-0.04	-0.02	-0.04	-0.05	0.06	1					
Sb	0.57	0.57	0.58	0.57	0.59	0.56	0.55	0.12	0.15	1				
Hg	-0.04	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.04	0.03	0.95	0.20	1			
Co	0.76	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	0.99	0.23	-0.04	0.58	0.08	1		
Ni	0.75	0.98	0.98	0.98	0.97	0.98	0.97	0.23	-0.07	0.59	0.04	0.98	1	
Mn	0.29	0.72	0.72	0.73	0.67	0.74	0.76	0.25	0.21	0.39	0.27	0.72	0.76	1

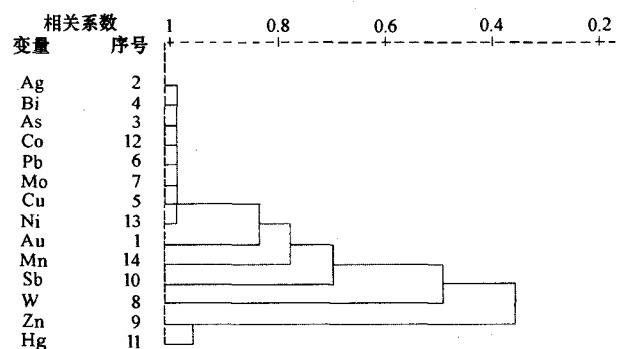


图 4 谢家沟金矿 3 号脉微量元素 R 型聚类分析图解

由因子载荷矩阵给出 3 个主因子: F_1 , Au、Ag、As、Bi、Cu、Pb、Mo、Sb、Co、Ni、Mn; F_2 , Zn、Hg; F_3 , Au、Cu、W。其中, F_1 为起主导作用的因子, 其元素

组合与聚类分析的结果基本相同。

方差极大正交旋转矩阵也给出 3 个主因子: F_1 , Au、Ag、As、Bi、Cu、Pb、Mo、Sb、Co、Ni、Mn; F_2 , Zn、Hg; F_3 , Au、Cu、W。其结果与因子载荷矩阵给出的主因子完全吻合。

3 个主因子的特征值累计百分比分别为 F_1 : 67.965%; F_2 : 82.685%; F_3 : 90.119%。3 个主因子分别代表了 3 期不同的成矿作用, F_1 主因子的贡献百分比占 65.691%, 为主成矿作用所致, 形成了该区的韧性剪切带型金矿; 另一与金有关的主因子为 F_3 (Au、Cu、W), 代表的是以铜为主的多金属成矿期; F_2 (Zn、Hg) 可能代表的是区域火山作用对该区成矿作用的影响。

表 5 谢家沟金矿 3 号脉微量元素因子分析结果

因子载荷矩阵	特征值累计百分比/%	方差极大正交旋转矩阵	特征值累计百分比/%
F1: Au, Ag, As, Bi, Cu, Pb, Mo, Sb, Co, Ni, Mn	F1: 67.965	F1: Au, Ag, As, Bi, Cu, Pb, Mo, Sb, Co, Ni, Mn	F1: 65.691
F2: Zn, Hg	F2: 82.685	F2: Zn, Hg	F2: 80.439
F3: Au, Cu, W	F3: 90.119	F3: Au, Cu, W	F3: 90.119

3 流体包裹体特征

文章对 15 个采自谢家沟金矿的矿石样品进行了流体包裹体测试分析,样品均采自井下的新鲜矿石。包裹体显微测温是在中国地质大学完成的,采用的仪器为英国产 Linkam-THMS 600 型冷热台,其温度范围为 -198℃ ~ +600℃。测温时,设置的温度变化速率为 10℃/min,为保证测温的准确性,在相变点温度附近,温度变化速率为 1℃/min。

3.1 流体包裹体岩相学特征

谢家沟金矿流体包裹体的类型比较简单,从形态上看,主要呈等轴状或长柱状。从成分含量上看,主要包括以下 4 种类型:①盐水溶液包裹体:分布最多的包裹体类型,个体较小,一般在 2 ~ 14μm 之间,

主要由气液两相组成,气体约占包裹体体积的 10% ~ 30%;②纯气体包裹体:主要成分为 CO₂ 等气体^[9],镜下颜色较暗,呈不规则状分布;③CO₂ 三相包裹体:该类包裹体数量少,个体较大,一般在 15 ~ 50μm 之间,多呈浑圆状;④含子晶的三相包裹体:该类包裹体少见,呈柱状或纺锤状分布在石英矿物中,大小在 20 ~ 30μm 之间,子矿物多为石盐晶体。

3.2 均一温度

如前所述,气液两相包裹体普遍发育于早期石英、成矿期石英及晚期石英中,包裹体大小 2 ~ 10μm,气液比变化范围大,但主要集中在 10% ~ 20%。作者对 3 类石英中的气液包裹体均进行了均一法测温,结果如图 5 所示。

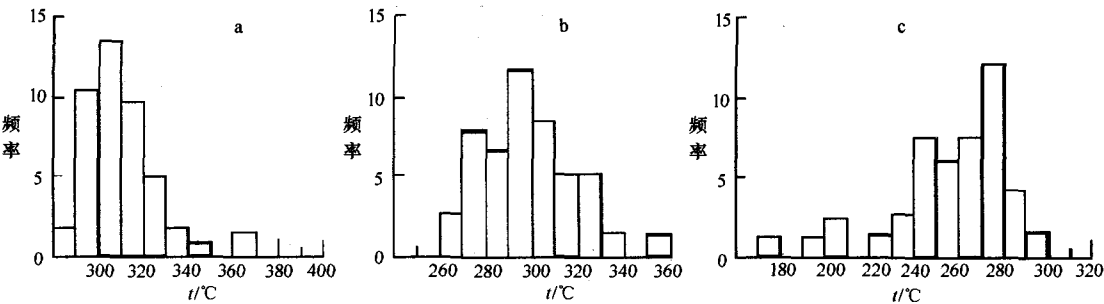


图 5 谢家沟金矿石英包裹体均一温度直方图
a. 早期石英; b. 成矿期石英; c. 晚期石英

早期石英中包裹体的冰点温度为 -1.6℃ ~ -4.1℃,均一到液相为主,均一温度 280.2℃ ~ 360.5℃,温度峰值在 290℃ ~ 330℃ (图 5a),根据 NaCl-H₂O 体系的包裹体盐度计算公式($S = 1.78t - 0.0442t^2 + 0.000557t^3$, t 为冰点温度),求得相应的流体盐度为 2.7% ~ 6.6%;成矿期石英包裹体的冰点温度为 -2.0℃ ~ -5.9℃,均一到液相为主,均一温度 265.8℃ ~ 364.4℃,温度峰值在 270℃ ~ 330℃ (图 5b),算得的盐度为 3.4% ~ 9.1%;晚期石英包裹体的冰点温度为 -3.6℃ ~ -7.2℃,均一到液相为主,均一温度 171.1℃ ~ 313.8℃,温度峰值在 250℃ ~ 290℃ (图 5c),算得的盐度为 5.9% ~ 10.7%。

CO₂ 三相包裹体在冷冻到 -58.2℃ ~ -57.2℃

时,出现 CO₂ 三相点,略低于纯 CO₂ 三相点温度 (-56.6℃),表明包裹体除含 CO₂ 外,尚有少量其他挥发性组分。温度逐渐升高,获得 CO₂ 笼合物的融化温度 +2.4℃ ~ +10.2℃。CO₂ 部分均一温度为 24.0℃ ~ 29.8℃,并以均一到气相为主。CO₂-H₂O 完全均一温度为 298.0℃ ~ 401.4℃,峰值为 320℃ ~ 350℃ (图 6)。

3.3 成矿压力

根据成矿期石英包裹体的均一温度及计算的盐度数据,利用图解法在盐度-均一温度图解上可以求得包裹体溶液的密度。取盐度平均值为 5.36%,均一温度平均值为 290℃,求得成矿流体的密度约为 0.79 × 10³ kg/m³ (图 7)。进一步利用溶液充填度 ($FD = V_{H_2O} / (V_{H_2O} + V_{CO_2})$)、均一温度和密度,在 p -

t 图解上求得谢家沟金矿的成矿压力约为 $3100 \times 10^5 \text{ Pa}$ (图 8), 约在地下 11km 深处, 是一种深成、中低温的成矿环境。

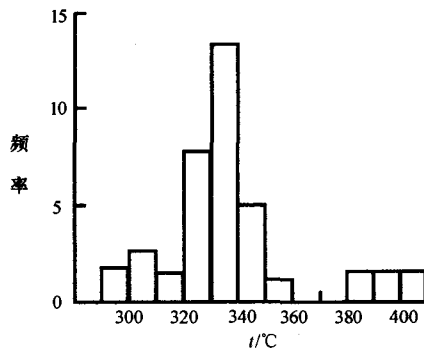


图 6 谢家沟金矿 CO_2 三相包裹体均一温度直方图

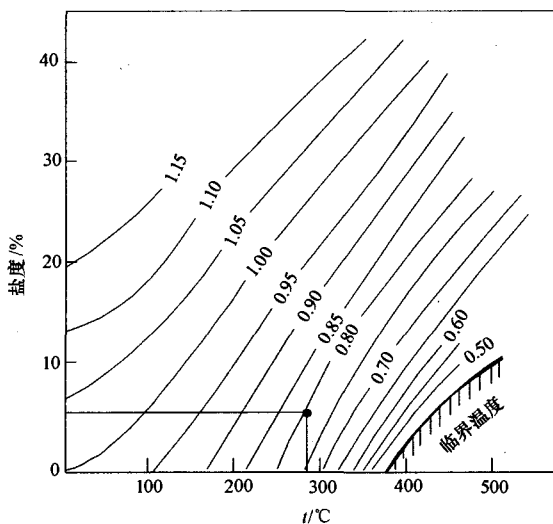


图 7 谢家沟金矿流体包裹体盐度 - 均一温度图解

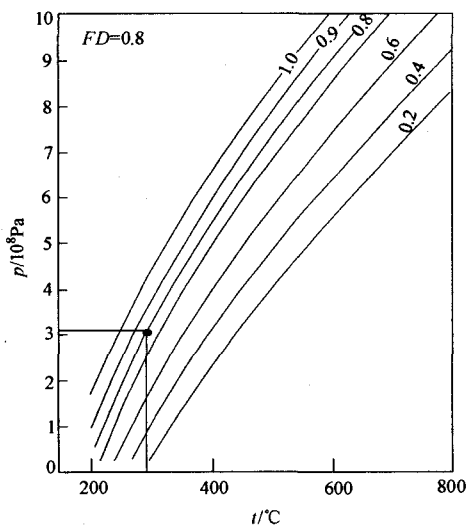


图 8 谢家沟金矿流体包裹体 $p-t$ 图解

4 讨论与结论

胶东矿集区东面太平洋, 西界郯庐断裂, 南邻由大陆碰撞 - 深俯冲形成的苏鲁超高压榴辉岩带, 下伏地幔, 这些构造背景控制或影响了成矿作用的全过程。中生代以来, 胶东矿集区经历了两个最显著的构造热事件, 分别是扬子与华北克拉通的碰撞造山作用、古太平洋板块向欧亚大陆板块俯冲及其相关地质作用^[1-2]。环太平洋地区的成岩成矿作用与太平洋板块俯冲的密切关系是显而易见的。作为环太平洋成矿带的一部分, 中国东部的成矿作用也曾被多数学者解释为太平洋板块俯冲的产物, 因此, 胶东矿集区形成于古太平洋板块向欧亚大陆俯冲是 1990 年之前的倾向性认识。然而, 随着苏鲁超高压榴辉岩带地质研究的深入, 以及同碰撞流体成矿作用理论^[3]日趋成熟, 彻底改变了胶东地质的传统观念, 普遍认识到胶东是中生代碰撞造山带^[11-12]。

胶东矿集区大规模的成矿作用发生在 100Ma ~ 140Ma, 以 110Ma ~ 130Ma 为高峰。大规模成矿的时间略微滞后于大规模花岗岩浆形成时间。大规模成矿作用发生在华南与华北古板块碰撞过程的挤压向伸展转变期的减压增温体制^[2]。谢家沟金矿作为胶东矿集区的一部分, 必然也形成于碰撞造山的区域构造背景下。根据作者对谢家沟金矿系统的 K - Ar 同位素年代学研究, 谢家沟金矿的成矿年龄为 105Ma ~ 130Ma^[10], 与前人研究的胶东地区金矿的成矿年龄相一致。如前文所述, 谢家沟金矿的容矿花岗岩形成于晚造山环境下, 而成矿年龄相对来讲还要晚于花岗岩的形成年龄, 所以有理由认为谢家沟金矿主要形成于碰撞造山晚期相对伸展的构造环境下。

此外, 根据前人对招远地区开展的地球物理研究资料, 在谢家沟矿区的深部存在隐伏的郭家岭花岗岩。而胶东矿集区金矿化与郭家岭花岗岩时空关系甚为密切^[6], 笔者认为该隐伏岩体为成矿提供了大量的能量和流体及部分成矿物质来源, 是重要的控矿因素之一。已有研究资料表明^[7], 玲珑花岗岩与郭家岭花岗岩为同一岩浆系列在不同演化阶段的产物。在玲珑花岗岩结晶冷凝之后, 含矿的岩浆期后热液在后期的郭家岭花岗岩岩浆作用下, 含矿流体与岩石发生强烈的水 - 岩反应, 促使大量的成矿物质沉淀。胶东地区多数金矿床, 尤其是大型金矿床, 其深部都发育有隐伏的郭家岭花岗岩, 从而反映了郭家岭花岗岩岩浆活动对该地区金成矿作用的贡

献。

综上所述,文章主要得出以下结论:

1) 由因子载荷矩阵给出3个主因子: F_1 , Au、Ag、As、Bi、Cu、Pb、Mo、Sb、Co、Ni、Mn; F_2 , Zn、Hg; F_3 , Au、Cu、W。3个主因子的特征值累计百分比分别为 F_1 :67.965%; F_2 :82.685%; F_3 :90.119%。3个主因子分别代表了3期不同的成矿作用, F_1 主因子的贡献百分比占65.691%,为主成矿作用所致,形成了该区的韧性剪切带型金矿;另一与金有关的主因子为 F_3 (Au、Cu、W),代表的是以铜为主的多金属成矿期。

2) 通过对流体包裹体的研究得知,谢家沟金矿形成于深成、中低温的成矿环境,其成矿温度为 $270^{\circ}\text{C} \sim 330^{\circ}\text{C}$,成矿压力为 $3100 \times 10^5 \text{ Pa}$,约在地下11km深处。

3) 谢家沟矿床是在扬子与华北克拉通的碰撞造山作用及古太平洋板块向欧亚大陆板块俯冲的区域地质背景下形成的,碰撞造山是主因,矿床形成于碰撞造山晚期的伸展构造环境。胶东地区主断裂带剪切应力场大小和方向的不断调整在研究区产生了剪切应力场,是控制谢家沟矿化的主要构造。今后,胶东地区的找矿工作应向大型的韧性剪切带有所侧重。

[参考文献]

- [1] 陈衍景,陈华勇,Zaw k,等. 中国陆区大规模成矿的地球动力学:以夕卡岩型金矿为例[J]. 地学前缘,2004,11:57-83.

- [2] 陈衍景,Franco PIRAJNO,赖勇,等. 胶东矿集区大规模成矿时间和构造环境[J]. 岩石学报,2004,20(4):907-922.
- [3] 陈衍景,富士谷. 豫西金矿成矿规律[M]. 北京:地震出版社,1992:234.
- [4] 邓军,方云,杨立强,等. 剪切蚀变与物质迁移及金的富集——以胶东矿集区为例[J]. 地球科学,2000,25(4):428-432.
- [5] 邓军,王庆飞,杨立强,等. 胶西北金矿集中区成矿作用发生的地质背景[J]. 地学前缘,2004,11(4):527-533.
- [6] 关康,罗镇宽,苗来成,等. 郭家岭型花岗岩地球化学特征与金矿化的关系[J]. 地质找矿论丛,1997,12(4):1-8.
- [7] 曲晓明,王鹤年,饶冰. 胶东金矿区两种花岗岩之间熔融再生关系的实验研究[J]. 地球科学——中国地质大学学报,1998,23(1):55-58.
- [8] 沈远超,杨金中,刘铁兵,等. 胶东新型金矿——层间滑动角砾岩型金矿床[J]. 地质与勘探,2002,38(2):11-14.
- [9] 韦延光,王建国,邓军,等. 山东谢家沟金矿流体包裹体研究及其地质意义[J]. 现代地质,2005,19(2):224-230.
- [10] 辛洪波,邓军,曲晓明,等. 胶东谢家沟金矿床地质特征与成矿时代研究[J]. 黄金科学技术,2006,14(3):1-6.
- [11] Liou J G, Zhang R Y, Wang X, et al. Metamorphism and tectonics of high-pressure and ultra-high-pressure belts in the Dabie-Sulu region, China[A]. Yin A, Harrison T M. The Tectonic Evolution of Asia[C]. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1996:300-344.
- [12] Sengor A M C, Natalin B A. Paleotectonics of Asia: fragments of synthesis[A]. Yin A, Harrison T M. The Tectonic Evolution of Asia[C]. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1996:486-640.

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND FLUID INCLUSION IN THE XIEJIAGOU GOLD DEPOSIT, JIAODONG AREA

XIN Hong-bo¹, WANG Jian-guo², QU Xiao-ming¹, DENG Jun², WEI Yan-guang³

(1. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

2. China University of Geosciences, Beijing 100083; 3. China Geological Survey, Beijing 100011)

Abstract: Detailed researches on geology, geochemistry and fluid inclusion are taken for Xiejiagou gold deposit. Research on trace elements shows that the major factor F_1 in the Xiejiagou gold deposit is Au, Ag, As, Bi, Cu, Pb, Mo, Sb, Co, Ni, Mn, and its distribution is 65.691%, which is the result of the main mineralization. Fluid inclusion data shows that Xiejiagou gold deposit was formed in the deep environment and middle to low temperature. Metallogenetic temperature is from 270°C to 330°C and metallogenetic pressure is $3100 \times 10^5 \text{ Pa}$. Considering regional geological setting and its evolvement, it is suggested that Xiejiagou gold deposit was formed in an extensional tectonic environment during the late period of plate collision. The shearing stress field, formed by the adjustment of intention and direction of the main faults in the Jiaodong area, is the dominant ore-controlling structure in the Xiejiagou gold deposit.

Key words: ductile shear zone, rock geochemistry, fluid inclusion, metallogenetic tectonic environment, Xiejiagou gold deposit