

# 平度大庄子金矿成矿流体特征与成矿分析

申玉科<sup>1</sup>, 王义春<sup>2</sup>, 刘正<sup>3</sup>, 于向波<sup>2</sup>, 张永林<sup>2</sup>

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

2. 山东黄金矿业(鑫江)有限公司, 山东 平度 266715;

3. 山东黄金集团烟台设计研究工程有限公司, 山东 烟台 264006)

**摘要:** 山东平度大庄子金矿发育 2 种矿化类型: 一是蚀变破碎带型矿体, 二是多金属硫化物石英脉型矿体。多金属硫化物石英脉型金矿体成矿流体以岩浆水为主, 兼有大气降水参与; 而蚀变岩型矿体成矿流体为岩浆水与大气降水的混合。石英脉矿化带的流体包裹体均一温度高于蚀变岩型矿化带的均一温度, 较深部位的流体包裹体均一温度高于浅部。大庄子金矿目前揭露的矿体处于成矿作用发生时深度较浅、温度相对较低的部位, 预测下部仍有较好的工业矿体。

**关键词:** 大庄子金矿; 成矿流体; 均一温度; 成矿分析; 山东省

**中图分类号:** P611; P618.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2012)03-0315-07

## 1 矿床地质简述

大庄子金矿床地处平度市西北约 20 km 处的胶北地体西南缘。矿区西临沂沭深大断裂; 南以平度—莱西断裂为界<sup>[1]</sup>, 与中生代发育的胶莱盆地相邻<sup>[2]</sup>。NNE 走向的焦家—新城断裂可能向南延伸至区内, 为多种构造要素的交汇部位<sup>[2]</sup>。

矿区范围内主要为第四系覆盖, 古元古界荆山群呈孤岛状断续分布于四甲村—侯家—大庄子一线以西, 勘查资料显示, 矿区东部的第四系之下亦有荆山群存在; 在矿区以西的后潘家一带尚有古元古界粉子山群出露; 在顾家—王埠庄一线以南的第四系之下, 中—下白垩系青山组和王氏组火山—沉积岩系呈角度不整合覆盖于荆山群之上。矿区范围内主要分布荆山群野头组, 岩性为斜长角闪岩、黑云角闪斜长片麻岩、黑云二长片麻岩、黑云变粒岩、含石墨大理岩和角闪片岩等。大庄子金矿产于古元古界荆山群变质岩中(图 1)。

矿区侵入岩出露较少, 大庄子—四甲一带发育有新元古代片麻状花岗岩, 呈小岩株出现。井下见

到的脉岩主要为煌斑岩或闪长玢岩等。在矿区东部 10 km 处玲珑花岗岩大面积出露, 形成较大的复式岩基。

矿区内主要的控矿断裂为大庄子断裂, 断裂长约 3 km, 走向 NNE, 倾向 SEE, 倾角上部较缓(约 25°), 下部变陡(近 45°)。大庄子断裂及其旁侧的雁列式断裂带严格控制了金矿体的空间分布, 雁列式断裂带中的金矿体产于大庄子断裂的下盘, 走向 NE 或 NNE, 倾向 NW, 倾角达 70~80°, 矿体规模普遍较小。

大庄子金矿床具有 2 种矿化类型: 一种为蚀变破碎带型矿体(I 号矿体), 由倾角较缓的大庄子断裂控制; 另一种是石英脉型矿体, 呈雁行排列, 由张扭性断裂控制。大庄子金矿石的金属矿物中方铅矿、闪锌矿较多, 最多可达 20%~30%; 而胶东地区其他金矿矿石的金属矿物则以黄铁矿、黄铜矿为主, 方铅矿含量较低。

## 2 包裹体形态及组分

成矿流体包裹体按组分不同, 可分为不同的类

收稿日期: 2012-07-08; 责任编辑: 余和勇

作者简介: 申玉科(1966-), 男, 高级工程师, 博士, 2006 年毕业于中国地质大学(北京), 从事区域成矿学与矿田构造研究。通信地址: 北京市海淀区民族大学南路 11 号, 地质力学研究所; 邮政编码: 100081; E-mail: shenyuke@126.com

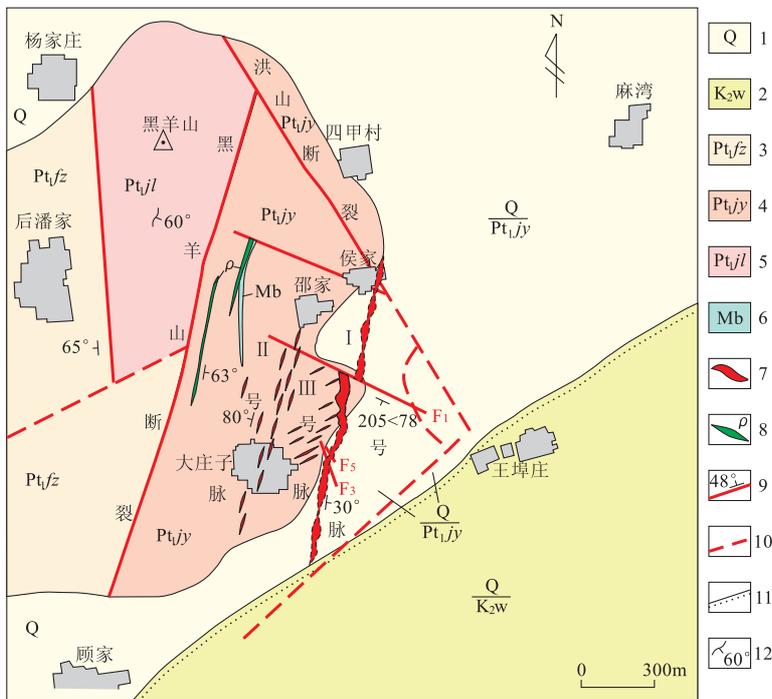


图1 大庄子金矿区构造地质图

(据平度市大庄子金矿区地质图, 2002, 修编)

Fig. 1 Structural map of the Dazhuangzi gold deposit

1. 第四系; 2. 白垩系王氏组; 3. 粉子山群祝家乔组; 4. 荆山群野头组; 5. 荆山群禄格庄组; 6. 大理岩带; 7. 蚀变岩型金矿体; 8. 石英脉型金矿体; 9. 断裂及产状; 10. 推测及物探解释断层; 11. 推测不整合地质界线; 12. 地层产状

型, 如气相包裹体、液相包裹体和气液包裹体等。大庄子金矿矿石非金属矿物以石英和方解石为主, 石英和方解石结晶过程中捕获了较多的流体包裹体。由于矿化类型的多样性和成矿的多阶段性, 成矿流体包裹体也具有多样性和复杂性。通过对石英和方解石中的流体包裹体进行微观观察、测量和分析, 依据其分布形态可分为孤立分布、均匀分布、零星分布、成带状分布和成群分布的流体包裹体。大部分流体包裹体呈均匀分布和成群分布, 其次呈带状分布, 少部分呈孤立分布和零星分布。其形态多为不规则状、椭圆形、多边形、浑圆状等, 少量呈长柱状, 大小一般在  $2\sim 15\mu\text{m}$  之间。

成矿流体包裹体按组分主要分为两大类: 富液相流体包裹体和  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$  三相流体包裹体。

显微镜下, 两类包裹体呈无色或无色—灰色; 液相包裹体大都由气相和液相盐水溶液两部分组成, 气液比一般  $< 35\%$ ; 而  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$  三相包裹体主要由液相盐水溶液、液相  $\text{CO}_2$  和气相  $\text{CO}_2$  组成, 气、液相  $\text{CO}_2$  比一般  $> 30\%$ , 最大可达  $60\%$ 。

包裹体中原生包裹体数量较少, 多呈孤立状分

布, 形态呈不规则状、多边形、浑圆状、椭圆形等, 部分为长柱状。原生包裹体体积较大, 分布没有规律性。而次生包裹体数量较多, 常常沿石英颗粒内部破裂面成群、成带分布, 少量呈孤立状分布。镜下观测, 包裹体组成的条带多组斜交, 或呈格子状。

大庄子金矿田流体包裹体的组分及包裹体的形态特征反映成矿作用发生在较浅、温度相对较低的环境。浅成低温条件下, 成矿流体快速冷却, 形成细小的、以液相为主的流体包裹体。同时次生包裹体沿石英颗粒内部破裂面成群或成带分布, 也说明在成矿作用过程中构造活动较为强烈, 成矿作用是深部热液活动与构造运动相互耦合的过程。

### 3 流体包裹体成分

#### 3.1 液相成分

成矿流体在地球内部运移过程中不断地与围岩发生物质与能量的交换, 其物质组成随流经地质体的不同而发生变化。成矿热液由于其所处的复杂地质环境而含多种化学阴离子和阳离子。对矿物内流体包裹体特征测试是研究成矿流体的有效方法。

大庄子金矿包裹体气液相成分中, 阳离子以  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  和  $\text{Ca}^{2+}$  为主,  $\text{Mg}^{2+}$  含量较低; 阴离子以  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  和  $\text{F}^-$  为主, 含少量  $\text{NO}_3^-$ , 基本不含  $\text{HCO}_3^-$ 。样品中  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  比值总体接近于 1, 流体类型为  $\text{K}^+-\text{Na}^+-\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}-\text{Cl}^--\text{F}^-$  型。

方铅矿石英脉中, 石英矿物内流体包裹体  $\text{SO}_4^{2-}$  的含量较高, 而  $\text{F}^-$  的含量较低;  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  的比值接近 2.5。绢云岩中, 石英流体包裹体中  $\text{Ca}^{2+}$  相对较高, 而  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  除个别样品外, 其比值接近于 1, 同时  $\text{Mg}^{2+}$  的含量也比其他岩石中高出 1 倍以上。绢云岩中  $\text{SO}_4^{2-}$  较低, 而  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  比值约为 0.4, 比其他类型岩石都小。

Roedder(1972)曾把成矿流体中  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  比值作为判别流体成因的参数, 认为岩浆热液  $\text{Na}^+/\text{K}^+ < 1$ , 而沉积或地下热卤水的  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  比值较高。由此说明, 大庄子金矿方铅矿石英脉型金矿体的成矿

流体以岩浆水为主,兼有大气降水的参与;而蚀变岩型矿体成矿流体为岩浆水与大气降水的混合。

### 3.2 气相成分

包裹体气相又划分为无机气相和有机气相 2 类。大庄子金矿流体包裹体内无机气相不发育,只含有极少量  $H_2$ ,  $H_2O$  和少量的其他气体(表 1)。

流体包裹体内有机气相相对于无机气相来说含量较高,主要有有机气相为  $CH_4$ , 而其他有机气体的含量则相对较低(表 2)。

对大庄子金矿床中 7 个矿化岩石样品薄片石英颗粒捕获的气液两相包裹体中的气相进行了激光拉曼分析,结果表明,气液两相包裹体中均检测出  $CO_2$ , 部分样品中含有  $CH_4$ ,  $N_2$  及  $H_2O$ ;  $CO_2$  拉曼光谱峰谱位置为  $1\ 284\ cm^{-1}$  和  $1\ 388\ cm^{-1}$ ,  $CH_4$  和  $N_2$  拉曼光谱峰谱位置为  $2\ 914\ cm^{-1}$  和  $2\ 328\ cm^{-1}$ ,  $H_2O$  拉曼光谱峰谱位置为  $3\ 423\ cm^{-1}$ (图 2, 图 3)。

## 4 均一温度

利用 84 个流体包裹体的均一温度测试结果,绘制均一温度—频数直方图(图 4),流体包裹体的均一温度分布范围为  $140\sim 403\ ^\circ C$ (表 3),流体成矿的最佳温度区间主要集中在  $200\sim 240\ ^\circ C$  和  $250\sim 300\ ^\circ C$  之间,属中低温热液矿床。个别包裹体的均一温度可达  $403\ ^\circ C$ 。依据成矿温度,大庄子金矿成矿作用大致可划分 2 个阶段:中温成矿阶段和低温成矿阶段。中温阶段成矿流体的温度在  $250\sim 300\ ^\circ C$ ,低温成矿阶段的成矿流体温度在  $200\sim 240\ ^\circ C$ 。

大庄子金矿的成矿温度与焦家金矿田的望儿山金矿、新城金矿相似,说明大庄子金矿与新城金矿和望儿山金矿具有相似的成矿环境。与胶东地区其他金矿不同的是,大庄子金矿目前采矿部位发育较多的铅锌矿,铅锌矿较发育亦说明其形成温度为中、低温环境。

表 1 大庄子金矿流体包裹体无机气相成分

Table 1 Inorganic gas phase composition of fluid inclusion in Dazhuangzi gold deposit

样品编号	测定矿物	质量/mg	分析项目				
			$H_2$	air	CO	$CO_2$	$H_2O$
R-3	石英	100	0.1120	0.3360	/	/	0.2867
B715-7(2)	石英	100	/	0.0380	/	/	0.1443
C-2	石英	100	0.0014	0.0565	/	/	0.0582
C-4	石英	100	0.0055	0.0883	/	/	0.0851
II-2	石英	100	0.0019	0.0442	/	/	0.0403
C-10	石英	100	0.0030	0.1060	/	/	0.1322

仪器型号 SQ203;检测器 TCD;气化室温度  $110\ ^\circ C$ ;热导检测器温度  $120\ ^\circ C$ ;爆裂温度  $500\ ^\circ C$ ;爆裂时间 5 min。

测试单位:核工业总公司冶金三所。量的单位:  $w_B/10^{-6}$ 。

表 2 大庄子金矿流体包裹体有机气相成分

Table 2 Organic gas phase composition of fluid inclusion in of Dazhuangzi gold deposit

序号	样品编号	样品名称	质量/mg	分析项目				
				$CH_4$	$C_2H_4 + C_2H_6$	$C_3H_6 + C_3H_8$	i- $C_4H_{10}$	n- $C_4H_{10}$
1	R-3	石英	100	6.249	/	0.7515	0.5806	0.2759
2	S-4	石英	100	0.9367	/	0.0297	/	/
3	B715-7(2)	石英	100	0.9949	/	0.2015	0.1512	0.0663
4	C-2	石英	100	1.552	/	0.2180	/	0.1245
5	C-4	石英	100	11.30	/	1.524	0.8802	0.4123
6	II-2	石英	100	1.615	/	0.2654	/	0.0408

仪器型号 SP3700;检测器 FID;柱箱温度  $40\ ^\circ C$ ;检测器温度  $121\ ^\circ C$ ;爆裂温度  $400\ ^\circ C$ ;爆裂时间 5 min。

测试单位:核工业总公司冶金三所。量的单位:  $w_B/10^{-6}$ 。

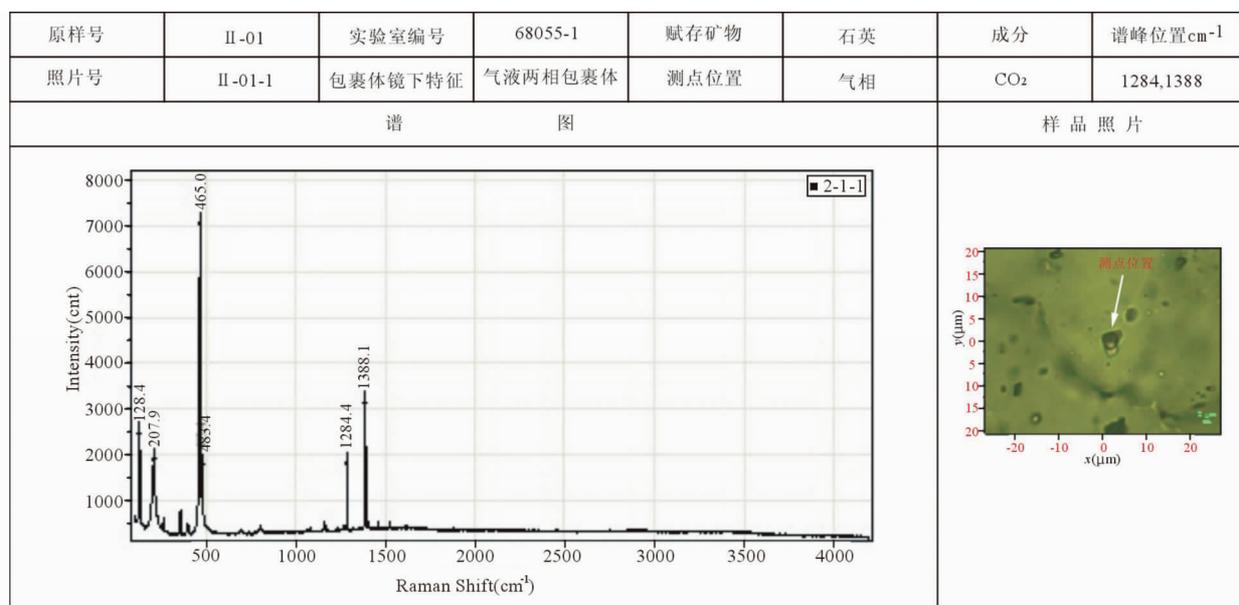


图 2 大庄子金矿石英脉型矿体气液两相包裹体激光拉曼光谱特征

Fig. 2 Laser Raman Spectroscopy of vapor-liquid 2-phase fluid inclusion of quartz vein type ore bodies in Dazhuangzi gold deposit

测试单位:核工业地质分析测试研究中心。仪器名称型号:LABHR-VIS LabRAM HR800 研究级显微激光拉曼光谱仪,波长 532 nm;激光器 Yag 晶体倍频固体激光器;扫描范围:100~4 200  $\text{cm}^{-1}$ ;温度 25  $^{\circ}\text{C}$ ;湿度 50%。

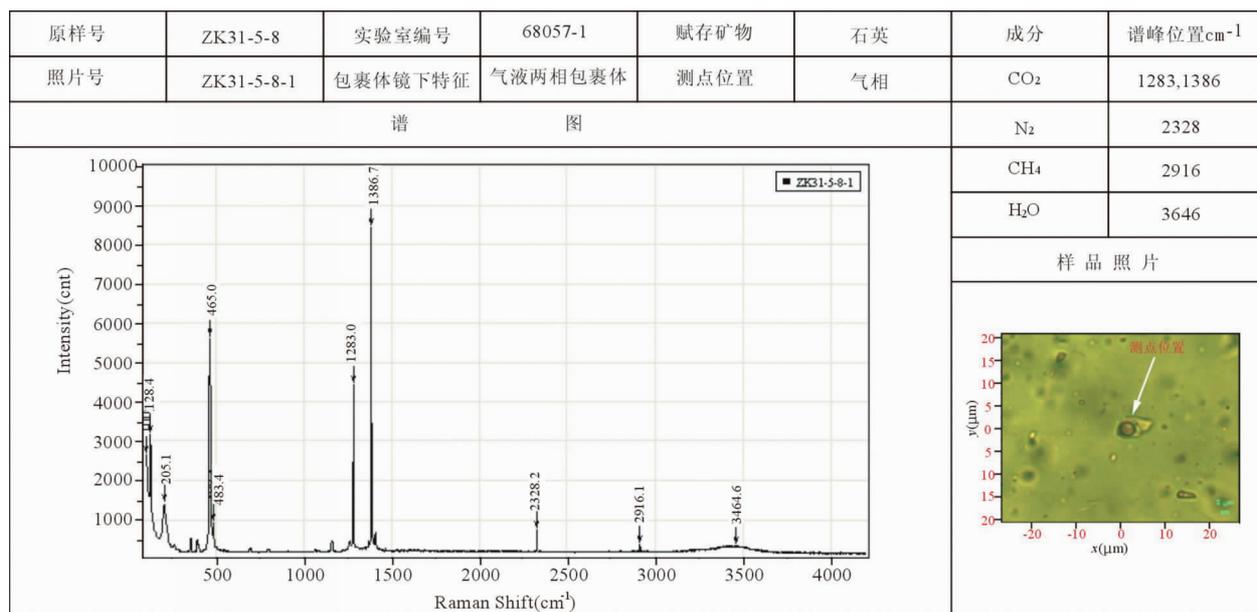


图 3 大庄子金矿蚀变岩型矿体气液两相包裹体激光拉曼光谱特征

Fig. 3 Laser Raman Spectroscopy of vapor-liquid 2-phase fluid inclusion of the altered cataclastic rock type ore body

测试单位:核工业地质分析测试研究中心。仪器名称型号:LABHR-VIS LabRAM HR800 研究级显微激光拉曼光谱仪,波长 532 nm;激光器 Yag 晶体倍频固体激光器;扫描范围:100~4 200  $\text{cm}^{-1}$ ;温度 25  $^{\circ}\text{C}$ ;湿度 50%。

表 3 大庄子金矿石英包裹体均一温度

Table 3 Homogenization temperature of fluid inclusion of ore bodies in Dazhuangzi gold deposit

包裹体分布状态	类型	均一温度范围/℃	平均均一温度/℃
均匀分布	富液包裹体	195~280	222.4
	H <sub>2</sub> O-CO <sub>2</sub> 三相包裹体	262~322	274.5
成群分布	富液包裹体	214~403	276.4
	H <sub>2</sub> O-CO <sub>2</sub> 三相包裹体	243~315	297.1
成带状分布	富液包裹体	148~290	217.9
	H <sub>2</sub> O-CO <sub>2</sub> 三相包裹体	256~342	299.3

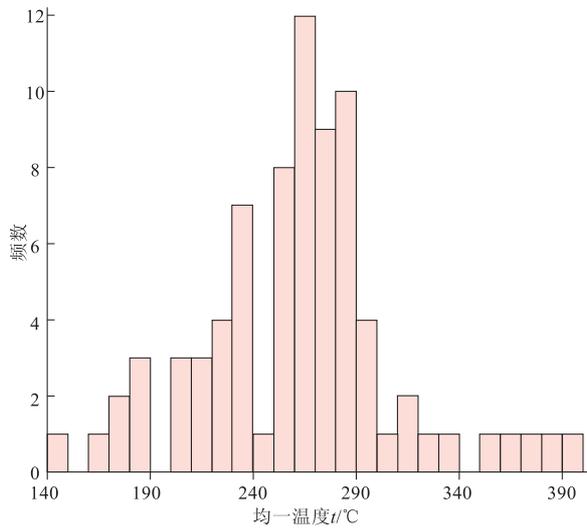


图 4 大庄子金矿流体包裹体均一温度—频数直方图

Fig. 4 Homogenization temperature-frequency histogram of fluid Inclusion in Dazhuangzi gold deposit

包裹体类型不同,其大小和均一温度有所差别,富液包裹体相对 H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> 三相包裹体体积较小,均一温度较低。同时,不同分布状态的流体包裹体的均一温度也存在差异:均匀分布和成带状分布的富液包裹体的平均均一温度较低,成群分布的富液包裹体的均一温度较高,平均高出约 50 ℃;而分布状态不同的 H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> 三相包裹体,其均一温度范围和平均均一温度的差别不大(表 4)。

石英脉型矿化带的流体包裹体均一温度比蚀变岩型矿化带的均一温度高,说明流体包裹体在被捕获时,石英脉矿化带内的温度普遍高于同标高的蚀变岩型矿化带内的温度。同时,蚀变岩型矿化带内较深部位的流体包裹体均一温度比浅部的高,说明在成矿作用过程中,可能由成矿流体的温度梯度造成。

表 4 大庄子金矿不同矿化带的流体包裹体均一温度

Table 4 Homogenization temperature of fluid inclusion in quartz within mineralized zone in Dazhuangzi gold deposit

矿化带	发育部位与分布状态	类型	均一温度范围/℃	平均均一温度/℃	
蚀变岩型	-280 m	富液包裹体	196~199	197.5	
		H <sub>2</sub> O-CO <sub>2</sub> 三相包裹体	/	/	
	-820~-1030 m	均匀分布	富液包裹体	195~206	200
		成群分布	H <sub>2</sub> O-CO <sub>2</sub> 三相包裹体	/	/
			富液包裹体	214~403	296.8
		成带状分布	H <sub>2</sub> O-CO <sub>2</sub> 三相包裹体	/	/
富液包裹体	148~255		186.8		
石英脉型	-130~-230 m	H <sub>2</sub> O-CO <sub>2</sub> 三相包裹体	256~278	268	
		富液包裹体	203~280	232.5	
	-130~-230 m	均匀分布	H <sub>2</sub> O-CO <sub>2</sub> 三相包裹体	262~322	274.5
		成群分布	富液包裹体	214~305	264.3
			H <sub>2</sub> O-CO <sub>2</sub> 三相包裹体	243~315	297.1
		成带状分布	富液包裹体	174~290	242.6
H <sub>2</sub> O-CO <sub>2</sub> 三相包裹体	275~342		307.5		

## 5 盐度

大庄子金矿流体包裹体的盐度分布差别较大,最大可达 22.44%,最小只有 0.88%,主要集中于 5%~9%之间。按流体包裹体盐度大小,流体可分为低盐度流体、中盐度流体、高盐度流体,方铅矿石英脉型矿体中流体的盐度较高,为高盐度流体。蚀变岩型矿体内,流体的盐度较复杂,3 种类型流体都有。包裹体的盐度总起来看,富液包裹体高于  $H_2O-CO_2$  三相包裹体(表 5)。成带状分布的  $H_2O-CO_2$  三相包裹体的盐度高于成群分布和均匀分布的  $H_2O-CO_2$  三相包裹体。在后期热液活动中,流体的盐度较低,裂缝方解石脉流体包裹体的盐度平均值为 4.47%。

结合流体包裹体的均一温度与盐度,大庄子金矿的成矿流体可以进一步分解为:低温低盐度流体、

中温低盐度流体、高温低盐度流体、中温中盐度流体、中温高盐度流体和低温高盐度流体(图 5)。在成矿作用进行过程中,成矿流体的演化具有一定的规律性,成矿作用的开始,地质流体一般是低温低盐度;随着成矿作用的发展,流体的温度会逐渐升高,流体的流量加大,此时的流体大都为高温低盐度;进入主成矿阶段,流体的温度随流体的减压沸腾作用的持续进行会逐渐降低,而盐度则会逐渐增大,成为中温高盐度流体;进一步发展下去,成矿流体将会变成低温高盐度流体,成矿作用减弱。成矿流体的演化模式可能表现为下面的过程:由早期的低温低盐度,经过中温低盐度→高温低盐度→高温中盐度→中温中盐度→低温中盐度,最后到低温高盐度。

流体包裹体的均一温度与盐度的负相关关系证明,主要工业矿床沉积在中低温阶段,与上述温度分布特点、成矿主要地质特征分析为中低温矿床的初步结论比较一致。

表 5 大庄子金矿石英包裹体的盐度

Table 5 Salinity of fluid inclusion in quartz within mineralized zone in Dazhuangzi gold deposit

矿物	包裹体分布状态	包裹体类型	$\omega(\text{NaCl}_{\text{平均值}})/\%$
石英	成带状分布	$H_2O-CO_2$ 三相包裹体	8.92
		富液包裹体	10.92
	成群分布	$H_2O-CO_2$ 三相包裹体	7.51
		富液包裹体	10.16
	均匀分布	$H_2O-CO_2$ 三相包裹体	6.65
		富液包裹体	11.56
裂缝方解石脉	成群分布	富液包裹体	4.47

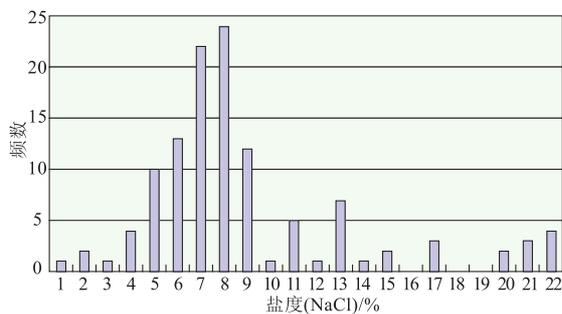


图 5 流体包裹体盐度-频度直方图

Fig. 5 Salinity-frequency histogram of fluid inclusion in Dazhuangzi gold deposit

## 6 结论

(1)大庄子金矿目前揭露的矿体成矿时处于部位较浅、温度相对较低的部位,预测深部仍有较好的工业矿体存在。

(2)多金属硫化物石英脉型金矿体成矿流体以岩浆水为主,兼有大气降水的参与;而蚀变岩型矿体成矿流体为岩浆水与大气降水的混合。

(3)富液包裹体均一温度低于三相包裹体,富液包裹体盐度总体高于  $H_2O-CO_2$  三相包裹体。

(4)石英脉矿化带的流体包裹体均一温度高于蚀变岩型矿化带的均一温度,较深部位的流体包裹体均一温度高于浅部。

**参考文献:**

- [1] 连国建,胡文瑄,张文兰,等. 胶东大庄子金矿床地质特征与成因探讨[J]. 矿床地质,2004,23(1):67-78.
- [2] 胡受奚,赵兹黄,徐金方,等. 华北地台金矿地质[J]. 北京:科学出版社,1997:1-220.
- [3] Roedder. The composition of fluid inclusion[C]//US Geological Survey Prof. Paper 440JJ. 1972:164.

## Study on fluid inclusion and metallogenic analysis of Dazhuangzi gold deposit in Pingdu

SHEN Yu-ke<sup>1</sup>, WANG Yi-chun<sup>2</sup>, LIU Zheng<sup>3</sup>, YU Xiang-bo<sup>2</sup>, ZHANG Yong-lin<sup>2</sup>

(1. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;

2. Shandong Gold Mining (Xinhui) Co. Ltd., Pingdu 266715, Shandong, China;

3. Yantai Design & Research Engineering CO Ltd. of Shandong Gold Group Co, Yantai 264006, Shandong, China)

**Abstract:** Two type gold mineralization occur in Dazhuangzi gold deposit in Pingdu. One is the altered cataclatic rock type and the other quartz vein type. Ore fluid of quartz vein type is dominated by magmatic water and incorporated with a little meteoric water. Ore fluid of the altered cataclatic rock type is the mixture of magmatic water and meteoric water. Homogenization temperature of quartz vein type fluid inclusion is higher than that of the altered cataclatic rock type and the temperature at deeper parts of the altered cataclatic rock type ore-body is higher than that at shallower parts. According to lower homogenization temperature measured the ore bodies mined in the Dazhuangzi Gold deposit occur at shallower environment and It is potential below the mined ore bodies.

**Key Words:** Dazhuangzi gold deposit; Ore fluids; homogenization temperature; analysis of mineralization; Shandong province