新疆金窝子金矿流体包裹体研究

Study on the Fluid Inclusions of Jiwozi Gold Deposit in Xinjiang

张增杰[1,2] 陈衍景[2] 陈华勇[2] 鲍景新[2]

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 10037; 2 北京大学地质学系, 北京 100871)

Zhang Zengjie[1,2], Chen Yangjing[2], Chen Huayong[2] and Bao Jingxin[2]

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 Department of Geology, Peking University, Beijing 100871, China)

摘 要 本文通过对金窝子金矿床流体包裹体单个和群体的全面分析，得出：该矿床为一中低温热液矿床，成矿存在明显的三阶段， 成矿流体主要来源于壳源流体，成矿流体的特征为：Na^+离子含量非常高，CO_2 的相对含量和 CO_2/CH_4 比值较高，并且轻稀土略微富集；成矿流体与矿区岩浆岩关系不密切；金可能是与其他离子和多种气体分子一起形成稳定的离子团随流体一起迁移的，钾交代是矿质聚集和稳定迁移的原因；金的最后沉淀可能是 pH 的变化。

关键词 钾交代 流体包裹体 金窝子

金窝子金矿是我国西北地区一个产在花岗岩中的非岩浆热液矿床。矿区为一古采区，研究程度较高，但目前有关成矿物质的聚集、迁移和沉淀的机理还不清楚。通过流体包裹体研究矿床成因已经成为当前非常重要的方法（Wilkinson，2001），所以本文拟通过流体包裹体开展该方面的研究。

1 矿区概况

金窝子金矿床位于新(疆)甘(肃)交界处，构造位置为哈萨克-准葛尔板块与塔里木板块缝合带东部古老基底上晚古生代形成的上叠盆地中。矿区地层为泥盆纪金窝子组（D_3j）和二叠纪菊石滩组（P_1j）组成的一套陆源碎屑夹火山碎屑岩和海相碳酸盐岩的组合。矿区岩浆岩主要为早海西期黑云母二长花岗岩，是成矿的围岩。矿体的特征表现为岩体中一系列的张裂脉。矿石呈它形—半自形—自形粒状结构，块状斑点状、梳状、条带状和角粒状构造。

2 流体包裹体测试

本文研究的对象主要是金窝子金矿石英中的流体包裹体，为了便于对比同时还做了矿体围岩-花岗岩中石英的包裹体的研究。矿区采样主要在 3 号脉的三、四中段，有 10 个样为四中段矿体每 20 m 一个的系统采样。本研究从 2 个方面着手：一是通过显微冷热台和拉曼光谱对矿区流体包裹体进行单体分析；另外一个方面是进行包裹体群分析，即通过离子色谱、四极质谱和 ICP-ms 分析矿石共生矿物包裹体中的液、气相成分和稀土微量成分。为了进一步深入研究，我们在分析包裹体稀土微量成分时，也做了包裹体主矿物石英相应成分的测试。

2.1 包裹体单体分析结果

据显微镜观察，本矿床石英包裹体主要为气液两相，椭圆状、负晶形等形态，大小为 5～14 μm。把所测成矿期包裹体均一温度数据与前人资料（雒利平，1999）在给定的温度区间进行频数统计，可以看出包体的均一温度明显分为 3 个区间：<150°C、170～270°C、>270°C，最高不超过 328°C。包裹体盐度 $w(NaCl_{eq})$为 5%～16%。所有均一温度高

第一作者简介 张增杰，男，1974 年生，博士，从事同位素地球化学和矿床地球化学研究工作。

的包裹体温度盐度也较高，表现出在各自的石英期次中从早期到晚期盐度都下降的的规律。花岗岩中包体均一温度、盐度偏低，平均分别为 183°C 和 1%。

拉曼光谱的测试结果为：流体包裹体气液相成分主要为 H_2O、CO_2 和 CH_4；成矿期后气液相含 CO_2 较少，花岗岩包裹体则主要为水。

2.2 包裹体群液、气相成分测试结果

（1）液相成分测试结果：由表 1 可知：成矿流体中 Na^+离子含量非常高，K^+离子非常低，到成矿期后 Na^+离子含量减少，K^+离子稍有增加，但仍小于 Na^+离子含量；F^-/Cl^-的值非常高，全大于（等于）0.014，表征了浅源流体的性质；Cl^-、SO_4^{2-}离子含量稳定，从早期到晚期变化不大，但在成矿期彼此呈明显的反消长关系。花岗岩石英里包裹体成分与成矿期流体相比，只有 K^+离子比成矿期的含量高，碱总量又低，表明没有经过钾交代；Na^+/K^+明显减小并趋近于 1，表明该流体的来源既不是高钾的地表热液，也不是高钠的深源热液。

表 1 金窝子矿区流体包裹体液相分析结果（10-9E mol/g）

样品编号	主矿物	期次	F^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	F^-/Cl^-	Cl^-/F^-	SO_4^{2-}/Cl^-	Na^+/K^+
H-4	石英	成矿期		37.465	131.735	355.217	0.572	5.000	17.000			3.516	621.020
H-10	石英	成矿期	6.842	203.662	33.673	261.739	0.671	2.830	14.250	0.034	29.766	0.165	390.300
H-13	石英	成矿期	8.421	80.845	331.633	247.188	3.300	10.420	28.500	0.104	9.600	4.102	74.895
H-14	石英	成矿期	15.789	107.042	88.673	193.478	0.947	3.790	13.750	0.148	6.780	0.828	204.360
H-15	石英	成矿期		68.169		324.783	1.986	6.670	30.000				163.574
H-16	石英	成矿期	4.211	58.873	106.735	186.522	1.414	3.790	11.750	0.072	13.981	1.813	131.954
H-18	石英	成矿期		65.634	438.776	203.478	2.558	7.500	15.000			6.685	79.560
H-19	石英	成矿期		49.296	280.612	319.565	55.897	5.830	22.500			5.692	5.717
H-20	石英	成矿期		167.324	83.776	149.130	28.974	3.790	13.500			0.501	5.147
H-21	石英	成矿期	5.053	197.746	87.347	307.826	19.744	1.880	11.000	0.026	39.134	0.442	15.591
H-22	石英	成矿期	4.211	307.887	52.755	289.565	14.615	3.790	12.250	0.014	73.115	0.171	19.812
H-11	石英	期后	4.211	37.465	29.694	111.304	44.615	4.580	15.500	0.112	8.897	0.793	2.495
H-24	石英	期后	6.316	55.070	68.980	121.304	66.667	5.830	27.250	0.115	8.719	1.253	1.820
H-25	石英	期后	4.211	89.296	106.633	222.609	97.436	11.250	3.000	0.047	21.205	1.194	2.285
H-27	石英	花岗岩	16.316	5.915	11.122	70.000	15.385	1.880	2.180	2.758	0.363	1.880	4.550
H-29	石英	花岗岩	5.263	37.183	15.510	71.739	64.103	0.460		0.142	7.065	0.417	1.119

注：测试实验室为中国科学院矿物资源探测中心。

（2）气相成分测试结果：据表 2，成矿期流体特征是（相对与非成矿流体）CO_2 的相对含量和 CO_2/CH_4 比值较高，Ar、C_2H_6 与成矿呈反消长关系；通过以上分析 CH_4 与本矿床关系并不密切；花岗岩中流体特征明显不同于成矿期和晚期的流体，含气体量较多，又不具备地表流体的性质，很可能代表了岩浆期后热液。这种期后热液与成矿应该关系不大。

2.3 包裹体稀土微量成分群分析结果

稀土成分分析结果：无论是石英还是石英中的包裹体，其稀土含量都表现为轻稀土富集，只是成矿期后的石英包体比成矿期的轻微富集 Dy 和 Gd，且明显富集稀土总量。

微量成分分析结果：石英和其包裹体的微量元素含量都是极不均匀的，但分布形式相似，都有 3 个含量高值：Rb 和 Si、Cs 和 Ba、Pb 和 Bi，但成矿期 Sr、Cs 和 Bi 3 种微量元素的含量明显比成矿期后的其它样品高。

3 结果讨论

（1）通过以上石英及其包裹体的稀土微量成分分析结果，无论是成矿期还是期后石英及其对应的包裹体，同一样品的两者微量元素的变化规律、稀土的配分模式是非常一致的。由此可推出：包裹体中的流体是和形成其石英的流体是同种流体，

表 2　金窝子矿区矿体石英流体包裹体气相成分(%)

	主矿物	期次	CH_4	H_2O	CO	N_2	C_2H_6	O_2	H_2S	Ar	CO_2	CO_2/H_2O	CO_2/CH_4	$CO_2/\Sigma C$
H-4	石英	成矿期	0.158	90.728	1.824	0.407	0.172	0.104	0.110	0.053	6.444	0.071	40.785	2.992
H-10	石英	成矿期	0.175	93.268	0.767	0.516	0.110	0.092	0.068	0.030	4.973	0.053	28.417	4.727
H-13	石英	成矿期	0.284	90.885	0.380	0.579	0.199	0.095	0.075	0.058	7.445	0.082	26.215	8.627
H-14	石英	成矿期	0.257	93.012	0.114	0.467	0.177	0.073	0.057	0.044	5.798	0.062	22.560	10.580
H-15	石英	成矿期	0.312	92.576	0.000	0.457	0.144	0.095	0.122	0.044	6.250	0.068	20.032	13.706
H-16	石英	成矿期	0.537	91.933	0.000	0.576	0.338	0.185	0.235	0.093	6.103	0.066	11.365	6.975
H-18	石英	成矿期	0.278	91.314	0.000	0.678	0.191	0.126	0.077	0.054	7.282	0.080	26.194	15.527
H-19	石英	成矿期	0.293	92.336	0.000	0.484	0.164	0.107	0.182	0.043	6.391	0.069	21.812	13.985
H-20	石英	成矿期	0.456	83.698	0.000	0.509	0.236	0.119	0.162	0.053	14.767	0.176	32.384	21.340
H-21	石英	成矿期	0.212	90.652	0.000	0.465	0.136	0.112	0.109	0.028	8.288	0.091	39.094	23.816
H-22	石英	成矿期	0.348	85.353	0.000	0.479	0.242	0.145	0.146	0.040	13.249	0.155	38.072	22.456
H-11	石英	期后	0.210	90.110	1.322	0.577	0.194	0.091	0.063	0.100	7.334	0.081	34.924	4.249
H-24	石英	期后	0.457	96.025	0.299	0.339	0.404	0.134	0.088	0.155	2.099	0.022	4.593	1.809
H-25	石英	期后	0.286	97.187	0.340	0.341	0.227	0.105	0.051	0.072	1.392	0.014	4.867	1.632
H-27	石英	花岗岩	0.720	91.140	2.017	1.398	0.856	0.167	0.339	0.392	2.974	0.033	4.131	0.828
H-29	石英	花岗岩	0.455	91.440	0.781	0.748	0.833	0.166	0.365	0.263	4.949	0.054	10.877	2.392

注：以上测试实验室为中国科学院矿物资源探测中心

包裹体中流体显示的信息即代表了形成石英流体的信息，所以我们通过流体包裹体研究本矿床的成矿流体是切实可行的。

（2）通过对矿体围岩花岗岩的石英包裹体的研究，其性状和成分与成矿期石英包裹体基本上不一致，所以花岗岩与成矿流体关系不大。

（3）依据野外地质的研究，成矿可分为 3 个阶段：早期石英阶段、中期硫化物-石英阶段和晚期石英阶段。这应与包裹体均一温度的 3 个区间和在四极质谱中包裹体放气的 3 个阶段相对应，所以成矿各阶段的温度就届于这两种温度之间，本矿床是一个中低温热液矿床。

（4）从统一右倾型的稀土配分模式、微量元素变化规律来看，成矿流体主要表现为一种壳源流体。成矿流体的特征为，Na^+离子含量非常高，CO_2 的相对含量和 CO_2/CH_4 比值较高，并且轻稀土略微富集。

（5）由围岩蚀变交代柱成分的研究，从新鲜花岗岩到黄铁绢英岩 Na_2O 的含量逐渐降低而 K_2O 含量逐渐升高，这与本文研究中成矿流体的 Na^+含量明显大于 K^+含量相匹配。这表明成矿前后碱质离子的变化与矿质的聚集和矿床的形成密切相关。在 20 世纪 70～80 年代，我国学者胡受奚和杜乐天就提出了碱交代在金属成矿中的重要作用，后来杜乐天（1996）在其专著《烃碱流体地球化学原理》中详细论述了碱交代促使成矿的本质原因：碱质的存在使得原来稳定的物质组分变得不稳定，从而发生碱交代从矿源岩中浸出硅质和矿质，也是由于碱质的存在使得被浸出的物质在流体中稳定迁移。由于本矿床也明显的发生钾交代和围岩去硅作用，所以推测钾交代也是本矿床形成的重要原因。

（6）根据柯尔任斯基“ 酸的超前波 ”理论，富碱的流体与围岩发生碱交代作用后，流体硅质增加酸度增加即可发生 SiO_2 的沉淀，矿质也会随之沉淀，从而金也沉淀。所以 pH 的变化可能是矿床最终形成的原因。

致　谢：在本文研究过程中，曾受到北京大学的艾永富、高秀丽、李建等老师，中国地质大学（武汉）的吕新彪、何谋春等老师，以及中国科学院地质与地球物理所的朱和平、靳金娣、王丽娟等老师和李新俊博士的指导和帮助，在此特表感谢！

参　考　文　献

陈柏林, 吴淦国, 叶德金, 等. 2000. 北山地区金矿床的赋存状态和金矿物特征[J]. 矿物学报, 20(3): 242～249.

雒利平, 冯建忠, 傅水兴, 等. 1999. 甘肃金窝子金矿地质地球化学特征[J]. 有色金属矿产与勘查, 8(5): 522～525.

杜乐天. 1996. 烃碱流体地球化学原理-重论热液作用和岩浆作用[M]. 北京: 科学出版社. 1～552.

Wilkinson J J. 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. Lithos, 55: 229～272.