

包裹体气液相成分在石英脉体含金性评价中的应用

邱检生 任启江 王德滋

(南京大学地球科学系)

王玉华

(武警黄金地质研究所·廊坊)

峪耳崖、沙溪及德兴矿床脉石英包裹体气液相成分及相应脉体含金量的系统测试,揭示了不同类型的矿床包裹体气液相成分特征上的差异,指出与花岗岩有关的岩浆热液型金矿床石英脉体的含金性主要受包裹体中液相成分控制,而斑岩型铜(金)矿床石英脉体的含金性主要受包裹体中气相成分制约。包裹体中 CO_2 含量、含盐度、 K^+/Na^+ 及 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 等参数可作为石英脉体含金性评价的有效标志。

关键词: 包裹体气液相成分; 含金性评价; 石英脉



样品的地质概况

研究样品,一是与花岗岩有关的岩浆热液型金矿床,以河北宽城峪耳崖金矿为代表;另一是斑岩型铜(金)矿床,以安徽沙溪及江西德兴为代表。研究样品既考虑

了含金性又兼顾了矿床类型,具有一定的代表性,样品的地质特征见表 1。

包裹体的气相成分对石英脉体含金性的制约

表 2 列出了石英包裹体的气相成分分析

表 1 样品的地质特征一览表

产地	样号	矿物组合	样品的地质简况
河北宽城峪耳崖	YR-12	Py-Q	该区为一与花岗岩有关的中温岩浆热液型金矿床,成矿温度 $250\sim 350^\circ\text{C}$, YR-42 产于花岗岩中的无矿石英脉,脉粗,石英纯白色,为成矿早期产物,石英中包裹体数量较多,其 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} -9.6\text{‰}$, $\delta\text{D}-90.4\text{‰}$; 其余样品均为产于花岗岩中的含矿石英脉,石英呈乳白—灰白色,石英中包裹体数量较少且小,气液比也小,其 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值平均为 5.32‰ , $\delta\text{D}-81.2\sim -88.0\text{‰}$
	YR-20	Cp-Py-Q	
	YR-22	Q(少量硫化物)	
	YR-42	Q	
	YR-57	Q(少量 Moly)	
	YR-163	Py-Cp-Q	
	YR-165	Py-Q	
	YR-213	Py-Cp-Q	
安徽沙溪	YR-215	Q(少量 Moly)	该区为一斑岩型铜(金)矿床,除 SX-109 为成矿晚期产物外,其余均为主成矿期石英脉,样品中包裹体数量较少,但类型较多,见气相、气液相及含子矿物包裹体,部分视域见沸腾包裹体群,大小以 $2\sim 5\mu$ 居多,主成矿期 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} 4.00\sim 4.63\text{‰}$, $\delta\text{D}-82.4\sim -71.7\text{‰}$
	SX-109	Py-GYP-Cal-Q	
	SX-128	Moly-Py-Q	
	SX-175	Py-Q	
	SX-313	Cp-Bn-Q	
江西德兴	SX-320	Cp-Q	该区为一斑岩铜矿,金为该矿的主要伴生元素之一, D-17(2)为赋存于九岭群变质岩中的无矿石英脉,石英纯白色,包裹体数量较多,以气液相包体为主; 其余样品均为产于花岗闪长斑岩中的含矿石英脉,包裹体特征类似于沙溪,但主成矿期的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值较沙溪偏低($<3\text{‰}$), $\delta\text{D}-90\sim -120\text{‰}$ ⁽¹⁾
	D-5(2)	Cp-Py-Q	
	D-17(2)	Q	
	D-20(1)	Py-Cp-Q	
	D-21	Cp-Py-Q	
	D-23	Py-Q	

* $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为石英单矿物的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{Q}}$ 值,利用 $1000\ln\alpha_{\text{Q-H}_2\text{O}} = 3.38 \times 10^{-6} T^{-2} - 3.4$ ⁽²⁾ 计算结果(同位素值由南京大学地球科学系中心实验室测定)。Py—黄铁矿; Cp—黄铜矿; Bn—斑铜矿; Moly—辉钼矿; Gyp—石膏; Cal—碳酸盐; Q—石英。

本文 1991 年 12 月收到。范若芬编辑。

结果,从表中可以看出:

1. 峪耳崖矿区,气相成分以 H_2O 占绝对优势,总体表现出 $H_2O > CO_2 > CO$ 的特点;在沙溪及德兴矿区,矿化较好的样品其 $CO > H_2O$,所有样品均表现出 $CO > CO_2$, $H_2O > CO_2$ 的特点。

2. CO/CO_2 比值在峪耳崖矿区绝大部分均小于 1,而在沙溪及德兴矿区均大于 1,反映出与花岗岩有关的岩浆热液型金矿床中,气相成分相对富 CO_2 , Веретенников 等对苏联乌拉尔金矿及陈光远等^[3] 对我国胶东金矿石英气液包裹体的研究均表明气相成分富 CO_2 的特点。峪耳崖、沙溪及德兴含矿与不含矿石英脉相比,也表现出含矿石英脉的 CO_2 含量高于不含矿石英脉,看来,脉石英包裹体中 CO_2 的含量是判别脉体含金性的一个有效标志。

3. 根据包裹体中存在的 $CO + 1/2O_2 = CO_2$ 平衡,可粗略估算脉体形成时的 f_{O_2} ,估算结果表明:峪耳崖矿区矿脉形

成时的 f_{O_2} 值变化于 $10^{-41} \sim 10^{-43}$ atm 之间,非矿脉形成时的 f_{O_2} 略高,约为 10^{-39} atm;沙溪及德兴矿床中矿脉形成时的 f_{O_2} 值变化于 $10^{-43.5} \sim 10^{-46.5}$ atm 之间,非矿脉较之矿脉形成时的 f_{O_2} 高,约为 10^{-42} atm,说明相对还原的环境有利于矿化,这种特点尤以斑岩铜(金)矿床成矿体系表现最为明显。陈光远等对胶东玲珑金矿的研究也得出热液演化到主成矿阶段其还原性大大增强的认识,还原环境有利于矿化可能与金的亲硫特性有关。

4. 包裹体中 $CO+CO_2$ 值在峪耳崖、沙溪及德兴矿床中,均表现出矿脉高于非矿脉,说明热液中气相成分的高含量有利于矿化。沙溪及德兴脉石英包裹体中 $CO+CO_2$ 量明显高于峪耳崖,表明气体的高含量对斑岩型矿床成矿作用的控制更明显,斑岩型铜(金)矿床主成矿期石英包裹体中常见沸腾包裹体群即是热液富含气体的有力证据。

表 2 包裹体气相成分及相应脉体金含量测试结果

类型	样号	CO	CO ₂	H ₂ O(气)	CO+CO ₂	CO / CO ₂	CO / H ₂ O	Au(ppb)	备注
		(ml / 100g)							
与花岗岩有关的 岩浆热液型矿床	YR-165	2.65	4.27	39.42	6.92	0.62	0.07	155×10 ³	矿脉
	YR-163	1.34	4.18	69.38	5.52	0.32	0.02	54×10 ³	
	YR-213	3.77	4.40	64.22	8.10	0.86	0.06	21.6×10 ³	
	YR-20	2.15	4.23	125.89	6.38	0.51	0.02	15×10 ³	
	YR-12	5.12	3.97	91.26	9.09	1.29	0.06	835	
	YR-215	3.35	2.81	38.06	6.16	1.19	0.09	150	
	YR-57	2.17	4.31	71.54	6.48	0.50	0.03	141.3	
	YR-22	0.79	4.30	33.74	5.09	0.18	0.02	86.25	
	YR-42	1.28	3.83	95.32	5.11	0.33	0.01	3	
斑岩铜(金)矿床	SX-313	217.88	18.05	164.76	235.93	12.07	1.32	650	矿脉
	D-5(2)	204.90	5.79	79.23	210.69	35.39	2.59	590	
	SX-320	70.70	15.68	188.07	86.38	4.51	0.37	400	
	SX-109	18.65	5.30	37.02	23.95	3.52	0.50	143	
	SX-175	42.88	6.33	59.45	49.21	6.77	0.72	121	
	D-21	57.25	6.11	56.44	63.36	9.37	1.01	78	
	SX-128	7.14	5.90	68.49	13.04	1.21	0.10	61.5	
	D-20(1)	56.69	5.65	50.31	62.34	10.03	1.13	48	
	D-23(2)	38.83	5.86	82.20	44.69	6.63	0.47	43	
	D-17(2)	7.98	4.47	76.82	12.45	1.79	0.10	11.3	

南京大学地球科学系中心实验室测定。

综上所述,包裹体中富 CO_2 、气体含量高及相对还原环境有利于金矿化。

液相成分对石英脉体含金性的制约

表 3 列出了样品的液相成分分析结果,从表中可看出:

1. 峪耳崖矿区,液相成分中阳离子以 K^+ 、 Na^+ 为主, $\text{K}^+ + \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$; 在沙溪及德兴矿区,液相成分中阳离子以 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 为主, $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ + \text{Na}^+$ 。两类矿床包裹体液相成分中阴离子均以 HCO_3^- 为主,但在峪耳崖矿区 $\text{Cl}^- \gg \text{F}^-$,说明成矿体系中金运移的主要形式可能是含

氯络合物,陈光远等对胶东金矿的研究也表明液相成分中 $\text{Cl}^- \gg \text{F}^-$; 在沙溪及德兴矿区, F^- 、 Cl^- 分离并不明显。两类矿床中 HCO_3^- 含量高,反映成矿热液处于弱酸性环境。

2. 沙溪及德兴矿区包裹体中阴、阳离子浓度较峪耳崖矿区明显偏高,显示斑岩型铜(金)矿床成矿流体具有较高的含盐度,而金矿床中成矿流体的含盐度偏低,Eastoe (1978) 曾报道潘古纳斑岩铜矿成矿流体的含盐度可高达 75%。两类矿床中含矿与不含矿石英脉相比,均表现出含矿石英脉具较高的离子浓度,即较高的含盐度,因此,成矿流体的含盐度对矿化具有一定的控制作用。

表 3 包裹体液相成分及相应脉体金含量测试结果 ($\times 10^3 \text{ppm}$)

矿床类型	样号	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	F	Cl	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$	F + Cl	K^+ / Na^+	$\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$	F / Cl	Au (ppb)	备注
与花岗岩有关的岩浆热液型矿床	YR 165	47.42	15.41	4.74	62.84	158.57	0.95	16.30	62.83	67.58	17.25	3.08	0.08	0.06	155×10^3	矿脉
	YR 163	6.01	4.22	3.41	0.97	19.49	0.44	2.44	10.23	4.38	2.88	1.42	3.52	0.18	54×10^3	
	YR 213	11.72	5.66	4.65	1.01	26.87	0.46	4.04	17.38	5.66	4.50	2.07	4.60	0.11	21.6×10^3	
	YR 20	11.18	2.70	1.89	1.26	11.00	0.24	4.51	13.88	3.15	4.75	4.14	1.50	0.05	15×10^3	
	YR 12	17.25	4.09	2.11	1.99	16.75	0.42	6.95	21.34	4.10	7.37	4.22	1.06	0.06	835	
	YR 215	2.41	9.23	9.64	0.80	31.32	0.96	3.21	11.64	10.44	4.17	0.26	12.05	0.30	150	
	YR 57	17.46	4.45	3.77	2.40	23.28	0.44	5.48	21.91	6.17	5.92	3.92	1.57	0.08	141.3	
	YR 22	2.35	6.37	5.37	1.34	36.89	0.91	2.35	8.72	6.71	3.26	0.37	4.01	0.39	86.3	
	YR 42	0.92	5.40	5.28	0.46	19.76	0.39	2.99	6.32	5.74	3.38	0.17	11.48	0.13	3	非矿脉
斑岩铜(金)矿床	SX 313	34.11	15.63	66.88	134.02	69.27	11.34	6.09	49.74	200.90	17.43	2.18	0.50	1.86	650	矿脉
	D 5(2)	66.36	49.97	186.78	114.07	126.57	10.44	27.24	116.33	300.85	37.68	1.33	1.64	0.38	590	
	SX 320	27.94	18.73	72.02	44.95	32.28	3.81	2.38	46.67	116.97	6.19	1.49	1.66	1.60	400	
	SX 109	6.83	36.43	71.62	14.96	146.70	85.22	27.00	43.26	86.58	112.22	0.19	4.79	3.16	143	
	SX 175	20.83	27.87	219.24	168.76	153.60	17.61	44.56	48.70	388.00	62.17	0.75	1.30	0.40	121	
	D 21	20.64	60.63	276.06	47.95	108.79	9.03	36.12	81.27	324.01	45.15	0.34	5.76	0.25	78	
	SX 128	14.84	32.75	225.83	120.99	163.77	6.55	9.63	47.59	346.82	16.18	0.45	1.87	0.68	61.5	
	D 20(1)	89.92	95.79	433.06	117.94	232.31	32.66	18.35	185.71	551.00	51.01	0.94	3.67	1.78	48	
	D 23(2)	36.05	70.95	8.16	10.93	56.76	3.43	6.36	107.00	19.09	9.79	0.51	0.75	0.154	43	
	D 17(2)	7.81	13.59	10.41	0.43	30.94	2.46	6.36	21.40	10.84	8.82	0.50	24.21	0.39	11.3	非矿脉

南京大学地球科学系中心实验室测定。

3. 两类矿床中含矿石英脉与不含矿石英脉相比,均表现出含矿石英脉具较高的 K^+ / Na^+ 比值及明显偏低的 $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$ 值,表明成矿流体中高 K^+ 、 Mg^{2+} 含量有利于矿化。

4. F^- / Cl^- 比值在两类矿床中区别明显,峪耳崖矿区 F^- / Cl^- 比值较低,而沙溪

及德兴矿区 F^- / Cl^- 比值较高。Boyle^[4] 的研究表明:内生热液中 F 极为活泼,在热液金矿床中理想的内生垂直分带,主要出现在矿床上部位置。两类矿床中 F^- / Cl^- 值的变化与峪耳崖矿床形成较深而沙溪及德兴矿床形成较浅的地质事实相吻合。

综上所述,液相成分中高盐度,高

K^+ / Na^+ 值及低 Ca^{2+} / Mg^{2+} 值等特点可作为脉体含金性评价的标志。

包裹体气液相成分与相应脉体金含量的相关分析

两类矿床中脉石英包裹体气液相成分与相应脉体金含量的相关统计分析表明(表4):与花岗岩有关的岩浆热液型金矿床中,石英脉体的含金性主要受液相成分控制,液相成分中 K^+ 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 、 $K^+ + Na^+$ 、 $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ 及 $F^- + Cl^-$ 等与脉体的金含量之间均具显著的正相关,而气相成分与脉体的含金性则缺乏明显的相关性;在斑岩型铜(金)矿床中,脉体的含金性最主要受气相成分控制,气相成分中 CO 及 $CO + CO_2$ 与脉体的金含量之间具明显的正

相关,相关性显著的置信概率在 99%以上,此外, CO_2 、 H_2O 、 CO / CO_2 及 CO / H_2O 与脉体的含金量之间具正消长关系;液相成分中,只有 K^+ / Na^+ 与脉体的金含量之间有较明显的正相关。两类矿床中包裹体气液相成分与脉体金含量的 R 型聚类谱系图(图 1、2)清楚地反映了上述关系。

结 论

1. 斑岩型铜(金)矿床较之与花岗岩有关的岩浆热液型金矿床脉石英包裹体中具较高的气体含量、含盐度、 CO / CO_2 及较低的 F^- / Cl^- 值。
2. 包裹体气液相成分中 CO_2 含量、含盐度、 K^+ / Na^+ 及 Ca^{2+} / Mg^{2+} 值等参数可

表 4 包裹体气液相成分与脉体金含量的相关关系

类型	统计数	CO	CO ₂	H ₂ O	CO+CO ₂	CO / CO ₂	CO / H ₂ O	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺
A	9	-0.03	0.27	-0.32	0.07	-0.11	0.28	0.84	0.77	-0.07
B	10	0.93	0.71	0.67	0.94	0.65	0.66	0.26	-0.35	-0.21

Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	K ⁺ + Na ⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	F ⁻ + Cl ⁻	K ⁺ / Na ⁺	Ca ²⁺ / Mg ²⁺	F ⁻ / Cl ⁻	r _{α=0.01}	r _{α=0.05}
0.93	0.91	0.37	0.84	0.87	0.92	0.84	0.18	-0.42	-0.31	0.76	0.63
0.35	-0.25	-0.13	-0.15	-0.05	-0.04	-0.16	0.87	-0.39	0.18	0.73	0.60

A—与花岗岩有关的岩浆热液型金矿床; B—斑岩型铜(金)矿床。

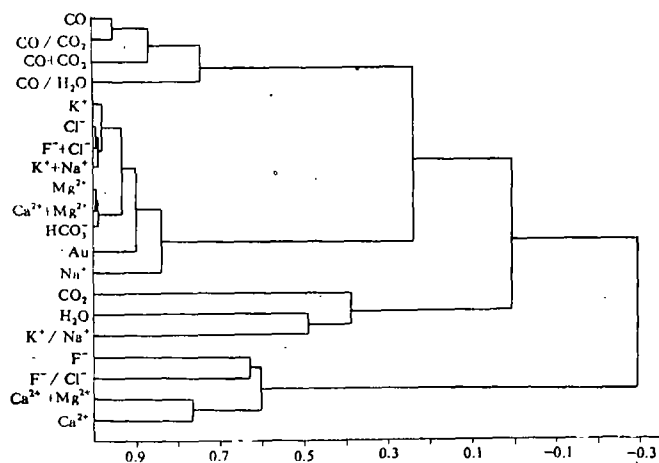


图 1 与花岗岩有关岩浆热液型金矿床中包裹体气液相成分与相应脉体金含量的 R 型聚类谱系图

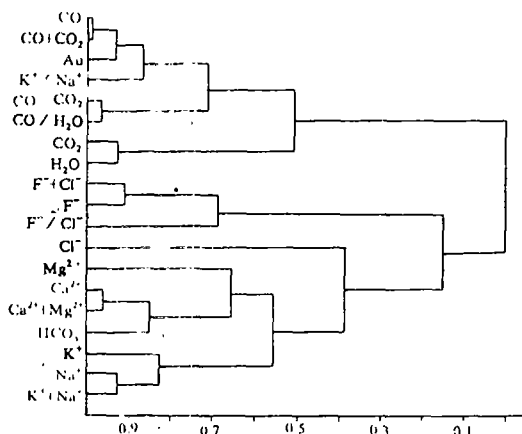


图2 斑岩型铜(金)矿床包裹体气液相成分与相应脉体金含量R型聚类谱系图

作为石英脉体含金性评价的有效标志。

3. 与花岗岩有关的岩浆热液型金矿床中石英脉体的含金性主要受液相成分控制,而斑岩型铜(金)矿床石英脉体的含金性主要受气相成分控制。

参考文献

- [1] 季克俭等,《热液矿床的矿源、水源和热源及矿床分布规律》,北京科学技术出版社,1989年。
- [2] Ckayton, R. N., et al, J. Geophys. Review, 1972, Vol.77, P.3057~3067.
- [3] 陈光远等,《胶东金矿成因矿物学与找矿》,重庆出版社,1989年。
- [4] Boyle, R.W., Geol. Surv. Bull., Canada, 1979.

Application of Inclusion Studies to Ore Potential Evaluation of Gold Quartz Veins

Qiu Jiansheng, Ren Qijiang, Wang Dezi, Wang Yuhua

A systematic measurement of gaseous and liquid compositions of inclusions in quartz veins and gold contents of the veins in the Yucrya, Shaxi and Dexin deposits was made. The results reveal that the gaseous and liquid compositions of inclusions are different in their characteristics for different types of deposits. The gold ore potentiality of quartz veins in magmatic-hydrothermal gold deposits related to granite is mainly controlled by the liquid composition of the inclusions, while that in porphyry copper(Au) deposits is restricted by the liquid composition. Parameters, such as CO₂ contents, salinity K⁺/Na⁺ and Ca²⁺/Mg²⁺ of the inclusions may be used as useful criteria for ore potential evaluation of gold quartz veins.

(上接第32页)

率还会明显增高。

根据以上讨论可知,某些有机质在层控矿床成矿过程中的作用,是值得重视的。本实验中温度间隔较大。因为有机质对温度的变化十分敏感,在两个相邻的温度点之间可能还有一些未知的地球化学现象,有待进一步研究。

参考文献

- [1] 傅家谟等,中国科学院地球化学研究所有机地球化学

开放实验室研究年报,1988,174~185页。

- [2] 涂光炽,《中国层控矿床地球化学》,第3卷,1988年,科学出版社,第255~297页。
- [3] Giordano, T.H., Econ. Geol. 1985, v.80, p.96~106,
- [4] Saxby, J.D., Geom. Geol., 1973, No.12, p.241~248.
- [5] Saxby, J. D., Handbook of Stratabound and Strala Form Ore Deposits, Amsterdam, Elsevier Publishing Co., p.111~133.

The Action of Fat-acid and Amino-acid on soaking and leaching of gold from rock formation: A Model experimental Study

Liu Jinzhong Fu Jiamo Lu Jialan

In this paper the model experimental results on studying the action of fat-acid and amino-acid on soaking and leaching of gold from rock formations are described. Other geochemical significances of this experiment are also expounded.