

文章编号: 1000-4734(2012) 01-0022-06

金在花岗质熔体中溶解度的初步实验研究

胡晓燕¹, 毕献武¹, 蔡国盛², 陈佑纬¹, 董少花^{1,3}

(1. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;

2. 贵州省有色金属和核工业地质勘查局, 贵州 贵阳 550002; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要:以合成花岗岩、水、不同浓度的盐酸溶液、氢氟酸溶液作为反应初始物,在850℃,100 MPa,接近于NNO的条件下开展了金在不同花岗质熔体中溶解度的实验研究,实验固液相产物中的金含量使用石墨炉原子吸收法测定。实验结果显示,金在花岗质熔体中的溶解度变化范围为1.87~156.62 μg/g,流体相中金溶解度为0.31~6.92 μg/g;金在熔体相中的溶解度较其在共存液相中的高。花岗质熔体相中金溶解度明显受熔体化学组成的影响,过碱性富钠花岗质熔体中金溶解度明显高些;金在花岗质熔体中的溶解度随着熔体中Na₂O/K₂O摩尔比增大而增大;在氟氯共存岩浆体系中,氟含量变化对金在熔体相中的溶解度影响不明显,而液相中氯含量增大有利于提高金在流体相中的含量。

关键词:金; 花岗质熔体; 溶解度; 实验研究

中图分类号:P578.1;P617.9 **文献标识码:**A

作者简介:胡晓燕,女,1974年生,博士,主要从事矿床学、实验地球化学研究。E-mail: huxiaoyan@mails.gyg.ac.cn

国内外许多重要的金矿床的形成与花岗岩有着密切的时间、空间及成因联系,如巴布亚新几内亚Lihir岛与钾质侵入岩有关的浅成金矿床^[1]、我国新疆北部及云南哀牢山地区的与富碱侵入岩有关的金矿床等^[2-6]。长期以来,这类金矿床的成矿物质来源、成矿流体特征、矿床成因机制等受到广泛的关注^[7-8]。为此,前人开展了许多研究工作,其中有不少是关于金在不同流体相间溶解、迁移、沉淀机制的实验研究工作^[9-14]。近年来,高温高压条件下金在岩浆体系中的分配、迁移机制日趋受到重视^[15-16];而在高温高压条件下金在花岗质熔体相中的溶解度受到哪些因素的影响、影响机制如何?尚不清楚。因此,开展金在花岗质熔体中溶解度的实验研究,对深入认识与岩浆活动有关的金矿床形成机制、完善金成矿理论具有重要的意义。

1 实验方法

1.1 实验初始物

为了控制熔体化学组成的变化,实验固相初

始物选用人工合成的凝胶,凝胶的制作选用分析纯化学试剂作为合成的原始材料;其中的SiO₂、Na₂O、K₂O、Al₂O₃分别来源TEOS、Na₂CO₃、KHCO₃、高纯铝粉^[17]。凝胶主量元素含量在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室用Axios-PW4400型X荧光光谱仪分析,测量精度为1%~5%,其化学组成如表1所示。其中H01~H04具有相近的铝饱和指数(ASI约为1.05)、Na₂O/K₂O摩尔比(约为1.31)、碱质总量(Na₂O+K₂O)逐渐增大、SiO₂含量逐渐减小的趋势;H05~H08具有相近的铝饱和指数(ASI约为1.04)、碱质总量(Na₂O+K₂O约为7.6 mol%),Na₂O/K₂O摩尔比值从0.64逐渐增大至1.57。

初始液相有去离子水、浓度为0.001~2 mol/L的盐酸溶液、0.01~1 mol/L的氢氟酸溶液,2 mol/L的NaCl和KCl溶液。反应固液相质量比约为1:1,反应过程中金来源于反应容器装样品的金管。在氟氯共存岩浆体系的实验中,摩尔比为1:1的NaF和KF混合物作为含氟固相初始物加入。

1.2 实验条件

实验在中国科学院矿床地球化学国家重点实验室的成矿实验室快速淬火高压设备上开展。根

收稿日期:2011-05-03

基金项目:国家自然科学基金(批准号:41103030;41130423);贵州省科学技术基金(黔科合J字[2010]2232号)

表 1 实验初始物凝胶的化学组成
Table 1. Composition of the starting gels

凝胶	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Na ₂ O/K ₂ O ^a	ASI ^b
H01	72.11	14.28	4.76	5.53	1.31	1.03
H02	69.61	15.98	5.23	6.06	1.31	1.05
H03	69.59	15.82	5.15	5.95	1.31	1.06
H04	66.72	18.11	6.07	6.97	1.32	1.03
H05	77.02	12.79	2.82	6.69	0.64	1.08
H06	77.65	13.09	3.33	5.98	0.85	1.09
H07	76.06	12.60	4.11	4.91	1.27	1.04
H08	77.25	12.32	4.41	4.28	1.57	1.04
H09	77.15	12.34	2.11	7.46	0.43	1.06
H10	78.39	9.82	4.15	7.36	0.86	0.66
H11	78.38	10.41	3.87	6.83	0.86	0.76
H12	77.51	11.20	3.58	6.40	0.85	0.88
H13	78.05	14.44	2.95	5.30	0.85	1.37
H14	75.26	11.80	5.15	4.62	1.69	0.88

a) 凝胶中 Na₂O 与 K₂O 的摩尔比; b) ASI = Al₂O₃ / (Na₂O + K₂O), 其中 Al₂O₃、Na₂O、K₂O 为摩尔数。

据以往实验经验^[18, 19], 实验温度、压力分别为 850 ℃、100 MPa, 实验反应时间为 96 h。

实验所用的这套快速淬火高压设备的压力介质为去离子水, 高压釜体分为反应釜和淬火釜两部分, 淬火釜外壁上装冷却器, 实验过程中冷却水不断地循环于冷却器中使淬火端保持在近室温状态以利于达到快速淬火的目的。将装有样品的金管装入反应釜后需放入一根长 100 mm、直径为 7 mm、用 1Cr18Ni9Ti 型钢制成的填充棒, 填充棒一方面可减少冷热两端因温差而产生的对流, 另一方面可保证淬火时样品处于淬火釜的冷却部位。实验所用高压釜体及填充棒分别为镍基材料 GH49 和 1Cr18Ni9Ti 合金, 在温压为 800 ~ 850 ℃、100 MPa 的条件下, 以水作为介质的高温高压实验条件下能产生接近 NNO 的氧逸度^[20, 21]。

1.3 实验步骤

(1) 实验固相初始物(约 150 mg 凝胶及拟定加入 NaF + KF 固相混合物) 用万分之一的电子天平准确称取后放入长 5 cm, 内外径分别为 4.6 mm 和 5.0 mm 的金管中; 接着用微量进样器将相应的初始溶液缓缓加入管内底端。

(2) 加样完毕后立即用氧炔焰将管口焊封, 焊封时将装有样品的金管底端浸在冰水混合物中以减小液相的挥发。将焊封前后重量差小于 ±

0.5 mg 的金管放入烘箱在 110 ℃ 条件下恒温 2 h, 取出称重, 重量变化小于 ±0.5 mg 为合格样; 再将合格样装入高压釜中。

(3) 将高压釜内的温压升至设定的温压条件, 恒温恒压 96 h 后快速淬火取出金管称重检测, 装有样品的金管质量变化小于 ±0.5 mg, 表明实验成功。

(4) 取出金管中的固相及液相, 分析金在熔体相及液相中的含量。

1.4 实验产物分析

取部分固相产物用玛瑙碾钵研磨至 200 目以上, 然后用电子天平准确称取 50 mg 固相粉末装入特氟隆坩埚中, 加入 1 mL 亚沸蒸馏 HF 和 1 mL 亚沸蒸馏 HNO₃, 加热溶解后赶尽 HF, 再将澄清的溶液装入管中并用称重法确定溶液重量。此液相和液相产物中的金含量在中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室用石墨炉原子吸收法分析测定。

2 实验结果

2.1 熔体化学组成的影响

在单一的含氯或含氟岩浆体系实验中, 实验固液相初始物及实验产物中金在熔体相中的浓度如表 2 所示。所测得的金在花岗质熔体相中的溶解度为 1.87 ~ 156.62 μg/g。实验选用较低浓度的 HCl 溶液作为反应初始液相, 具有不同化学组成的凝胶作为初始固相, 观测熔体相化学组成对金在熔体中的溶解度的影响。

A 组实验中, 用具有相近铝饱和指数(ASI: 1.03 ~ 1.06)、钠钾摩尔比值(约为 1.31)的 H01 至 H04 号凝胶与 0.1 mol/L 的盐酸溶液反应, 观测熔体化学组成中 SiO₂ 含量变化对金在熔体相中溶解度的影响, 金在这些熔体相中的溶解度变化范围为 23.01 ~ 72.29 μg/g, 熔体相中 SiO₂ 含量变化似乎对金在熔体相中的溶解度没有规律性的影响。此外, A 组实验中, 作为反应初始物的凝胶 H10、H12 都具有相近的 SiO₂ 摩尔含量和 Na₂O/K₂O 摩尔比值, H10 凝胶的 ASI 值为 0.66, H12 凝胶的 ASI 值为 0.88, 以 H10 作为初始固相的 H104 号实验金在熔体相中的溶解度(24.82 μg/g) 明显高于以 H12 作为初始固相实验 H121 测得的金在熔体相中的溶解度(6.83 μg/g), 两个

表 2 熔体相中金含量及对应实验初始物
Table 2. Gold solubility with different gel and
liquid solutions as starting materials

实验 编号	凝胶	初始 液相	熔体相中 Au 浓度($\mu\text{g/g}$)
A 组			
H013	H01	0.1 mol/L HCl	27.43
H035	H03	0.1 mol/L HCl	51.92
H034	H03	0.1 mol/L HCl	48.19
H024	H02	0.1 mol/L HCl	72.29
H042	H04	0.1 mol/L HCl	23.01
H104	H10	0.1 mol/L HCl	24.82
H121	H12	0.1 mol/L HCl	6.83
B 组			
H051	H05	0.1 mol/L HCl	12.09
H066	H06	0.1 mol/L HCl	19.62
H061	H06	0.1 mol/L HCl	48.19
H074	H07	0.1 mol/L HCl	72.29
H081	H08	0.1 mol/L HCl	84.34
C 组			
CH113	H11	2 mol/L HCl	16.95
CH114	H11	1 mol/L HCl	16.40
CH111	H11	0.1 mol/L NaCl	6.04
H141	H14	0.01 mol/L HCl	7.44
CH115	H11	0.01 mol/L HCl	1.87
NH111	H11	2 mol/L NaCl	156.62
KH111	H11	2 mol/L KCl	9.05
FH111	H11	0.01 mol/L HF	7.68
FH112	H11	0.1 mol/L HF	3.94
FH119	H11	1 mol/L HF	3.03
WH111	H11	去离子水	2.27

实验对比发现熔体铝饱和指数增大时金在熔体相中的溶解度降低,是否铝饱和指数的增大会导致金在熔体相中溶解度降低还需实验验证。

从 B 组实验可以明显看到,当熔体化学组成 ASI(约为 1)、 SiO_2 摩尔含量(约 84%)、碱质总量基本不变的条件下,改变熔体 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 摩尔比值,当初始固相 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 摩尔比值由 0.64 增至 1.57 时,金在熔体中的溶解度从 12.09 $\mu\text{g/g}$ 增至 84.34 $\mu\text{g/g}$ 。熔体相中的 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 的摩尔比质增高时,金在熔体中的含量逐渐增大,如图 1 所示。此外,从 C 组中的 CH115 (H11 号凝胶的 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 摩尔比值为 0.86,熔体中金含量为

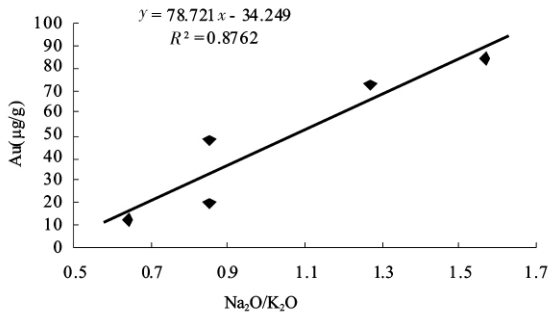


图 1 熔体中金的溶解度与 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 摩尔比的关系图

Fig. 1. Relationship between gold solubility in silicate melt and $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ mole ratio in starting material.

1.87 $\mu\text{g/g}$) 与 CH141(H14 号凝胶 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 的摩尔比值为 1.69,熔体中金含量 7.44 $\mu\text{g/g}$) 实验对比也可发现熔体 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 摩尔比值越高,熔体相中相对金含量越高。

2.2 流体的影响

C 组实验主要是固定固相初始物(主要用 H11 号凝胶, $\text{ASI} = 0.76$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 摩尔比为 0.86), 改变流体相来观测金在花岗质熔体中溶解度的变化。初始液相有去离子水、0.01 ~ 2 mol/L 的盐酸溶液、0.01 ~ 1 mol/L 的 HF 溶液、2 mol/L 的 NaCl、KCl 溶液。实验结果显示,以水和低浓度的 HCl 溶液及 HF 溶液作为初始液相的实验所测得的金在熔体中的溶解度较低仅为几个 $\mu\text{g/g}$; 流体相 HF 浓度的改变对金在熔体相中的溶解度影响不明显; 而流体相中 HCl 溶液浓度增大时熔体相中金含量有增大的趋势; 尤其当流体为 2 mol/L 的 NaCl 溶液时,熔体相中的金含量值高达 156.62 $\mu\text{g/g}$,表明在富钠富氯岩浆体系在熔体相中可溶解较多的金。都使用 0.01 mol/L 的 HCl 溶液作为初始液相的实验 H141(H14 号凝胶的 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 摩尔比为 1.69) 和实验 CH115 (H11 号凝胶的 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 摩尔比为 0.86) 的对比也可发现,熔体相 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 摩尔比值越高相对越有利于增大金在熔体相中的溶解度。

2.3 氟氯共存体系中金溶解度

氟氯共存岩浆体系金在熔体相、流体相中的溶解度及实验初始物如表 3 所示。

表 3 氟氯共存花岗质岩浆体系中金在熔流体相中的溶解度
Table 3. Gold solubilities in silicate melt and aqueous fluid in F and Cl coexisting magma

实验编号	实验初始物				$w(\text{Au}) / (\mu\text{g/g})$	
	$m(\text{凝胶}) / \text{mg}$	$m(\text{NaF} + \text{KF}) / \text{mg}$	$m(\text{液相}) / \text{mg}$	$w(\text{F}) / \%$	熔体相	液相
A 组(初始固相为 H6 ,其 ASI = 1. 10 ,初始液相为 1 mol/L)						
CFH6-3	146. 5	18. 4	146. 5	4. 24	53. 44	1. 61
CFH6-2	151. 8	10. 1	151. 8	1. 37	14. 17	1. 56
CFH6-4	150. 3	5. 5	150. 3	1. 34	34. 55	4. 70
CFH6-5	149. 4	3. 0	149. 4	0. 75	34. 47	6. 92
CFH6-6	151. 9	0. 0	151. 9	0. 00	39. 47	4. 35
B 组(初始固相为 H6 ,其 ASI = 1. 10 ,初始液相为 0. 1 mol/L)						
CFH605	150. 3	19. 6	147. 6	4. 43	24. 60	1. 03
CFH603	150. 2	10. 4	149. 3	2. 46	80. 64	1. 02
CFH601	150. 3	5. 1	148. 4	1. 25	36. 98	1. 08
CFH606	148. 4	0. 0	140. 6	0. 00	19. 62	4. 35
C 组(初始固相为 H13 ,其 ASI = 1. 37 ,初始液相为 0. 001 mol/L)						
FH13-2	148. 1	14. 8	148. 1	3. 43	52. 87	0. 31
FH13-3	148. 0	10. 4	148	2. 48	20. 99	0. 69
FH13-4	148. 5	6. 0	148. 5	1. 47	30. 51	0. 68

A 组以 H6 号凝胶(ASI = 1. 37) 和不同量的(NaF + KF) 作为初始固相 ,初始液相为 1 mol/L HCl 溶液。F 在初始固相中的加入量从无到有不断增加 ,固相初始物中 $w(\text{F})$ 由 0 渐增至 4. 24 % ,金在熔体相中的溶解度为 14. 17 ~ 53. 44 $\mu\text{g/g}$,流体相中金浓度为 1. 56 ~ 6. 92 $\mu\text{g/g}$ 。金在熔体相中的溶解度明显高于其在流体相中的溶解度 ,氟含量的变化对金在熔体中的溶解度影响不明显。

B 组以 H6 号凝胶和不同量的(NaF + KF) 作为初始固相 ,初始液相为 0. 1 mol/L HCl 溶液。F 在初始固相中的加入量由 0 渐增至 4. 43 % ,金在熔体相中的溶解度为 19. 62 ~ 80. 64 $\mu\text{g/g}$,流体相中金含量为 $1. 02 \times 10^{-6} \sim 4. 35 \times 10^{-6}$ 。金在熔体相中的溶解度也明显高于其在流体相中的溶解度。

C 组以 H13 号凝胶(ASI = 1. 10) 和不同量的(NaF + KF) 作为初始固相 ,初始液相为 0. 001 mol/L HCl 溶液。固相初始物中 F 质量分数由 1. 47% 渐增至 3. 43% ,金在熔体相中的溶解度为 20. 99 ~ 52. 87 $\mu\text{g/g}$,流体相中金的溶解度低为 0. 31 ~ 0. 69 $\mu\text{g/g}$ 。表明流体相氯含量的降低可能是导致流体相中金溶解度降低的主要原因。

A、B、C 3 组实验共有的特征是金在熔体相中的溶解度明显高于其在流体相中的溶解度 ,表明

金趋向于分配进入到花岗质熔体相中。3 组实验对比 ,发现岩浆体系中氟含量的变化对金在熔体相中的溶解度影响不明显 ,而流体相中 HCl 浓度的增大有利于增大金在流体相中的含量。

3 讨论和结论

成矿元素在熔体中的溶解度受到熔体结构的影响 ,而熔体结构主要取决于熔体的化学组成^[22-25] ,在温压、流体介质不变的前提下 ,花岗质熔体中碱质组分的增加可使熔体 NBO/T 值增大; 熔体聚合度减小 ,从而有利于元素在其中的扩散、溶解。富碱花岗质熔体具较低的聚合度可能是金在其中溶解度增大的原因。在硅酸盐熔体中 Na-O 键的键分离能小于 K-O 键的键分离能 , Na^+ 的活动性大于 K^+ 的活动性^[26] ,有关水在硅酸盐熔体中的溶解度实验证实与 Na^+ 结合的非桥氧比与 K^+ 结合的非桥氧相对容易被释放出来^[27]; 因此富钠的花岗质熔体有利于增大金在其中的溶解度。改变熔体化学组成的实验结果表明 ,熔体化学组成对金在熔体相中的溶解度是有一定影响的 ,富钠的碱质熔体相对有利于增大金在花岗质熔体中的溶解度。

岩浆体系中挥发性组分氟、氯对金在熔体、流体相中的溶解度有不同的影响。实验研究结果表

明,花岗质岩浆体系中氟含量的变化对金在熔体、流体相中的溶解度影响不明显,而氯含量的变化却对金在熔流体相中的溶解度有着明显的影响,这可能是由于氯能与金形成较稳定的络合物 $\text{AuCl}_2^{-[28]}$, 岩浆体系中氯含量的增大有利于增大

金在熔体、流体相中的溶解度,从而增大岩浆萃取、富集、运移金的能力。实验结果中金在熔体相中的溶解度明显高于金在共存流体相中的溶解度,表明花岗质熔体尤其富钠的碱质熔体具有富集运移金的能力。

参 考 文 献:

- [1] Müller D, Franz L, Herzig P M, et al. Potassic igneous rocks from the vicinity of epithermal gold mineralization, Lihir Island, Papua New Guinea [J]. *Lithos*, 2001, 57: 163-186.
- [2] 毕献武, 胡瑞忠, Cornell D H. 富碱侵入岩与金成矿关系: 云南省姚安金矿床成矿流体形成演化的微量元素和同位素证据 [J]. *地球化学*, 2001, 30(3): 264-272.
- [3] 毕献武, 胡瑞忠, Mungall J E, et al. 与铜、金矿化有关的富碱侵入岩矿物化学研究 [J]. *矿物学报*, 2006, 26(4): 377-386.
- [4] Zhou Taofa, Yuan Feng, Yue Shucang, et al. Geochemistry and evolution of ore-forming fluids of the Yueshan Cu-Au skarn- and vein-type deposits, Anhui Province, South China [J]. *Ore Geology Reviews*, 2007, 31: 279-303.
- [5] Yang Fuquan, Mao Jingwen, Bierlein F P, et al. A review of the geological characteristics and geodynamic mechanisms of Late Paleozoic epithermal gold deposits in North Xinjiang, China [J]. *Ore Geology Reviews*, 2009, 35(2): 217-234.
- [6] Zhou Taofa, Yuan Feng, Yue Shucang, et al. Geochemistry and evolution of ore-forming fluids of the Yueshan Cu-Au skarn- and vein-type deposits, Anhui Province, South China [J]. *Ore Geology Reviews*, 2007, 31: 279-303.
- [7] Spooner E T C. Magmatic sulphide/volatile interaction as a mechanism for producing chalcophile element enriched, Archean Au-quartz hydrothermal ore fluids [J]. *Ore Geol Rev*, 1993, 7: 359-379.
- [8] Richards J P. Alkaline-type epithermal gold deposits—a review [A]. Thompson J F H. *Magmas, Fluids, and Ore Deposits* [C]. Mineral Assoc Can, Short Course Ser, 1995, 23: 367-400.
- [9] Henley R W. Solubility of gold in hydrothermal chloride solutions [J]. *Chem Geol*, 1973, 11: 73-87.
- [10] Cloke P I, Kelly W C. Solubility of gold under inorganic supergene conditions [J]. *Econ Geol*, 1964, 59: 259-270.
- [11] Seward T M. The complexes of gold and the transport of gold in hydrothermal ore solutions [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1973, 37: 379-399.
- [12] Непко И Я, 等. 金在 HCl 的 KCl 溶液中的高温溶解度及金矿床成因 [J]. *地质科学译丛*, 1990, 7(1): 34-39.
- [13] 王声远, 樊文苓. Au 在 $\text{SiO}_2\text{-HCl-H}_2\text{O}$ 体系中 200℃ 溶解度测定——硅化对金矿化的意义初探 [J]. *矿物学报*, 1994, 14(1): 46-55.
- [14] 李强之, 陈衍景, 徐登科, 等. 内蒙古哈达门沟金矿床单矿物金浸出实验研究及其地质意义 [J]. *矿床地质*, 2003, 22(3): 271-277.
- [15] Frank M R, Candela P A, Piccoli P M, et al. Gold solubility, speciation, and partitioning as a function of HCl in the brine-silicate melt-metallic gold system at 800℃ and 100 MPa [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2002, 66(21): 3719-3732.
- [16] Simon A C, Frank M R, Pettke T, et al. Gold partitioning in melt-vapor-brine systems [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2005, 69(13): 3321-3335.
- [17] Hamilton D L, Henderson C M B. The preparation of silicate compositions by a gelling method [J]. *Silicate Synthesis*, 1968: 832-838.
- [18] 胡晓燕, 尚林波, 毕献武, 等. 锡在流体和花岗质硅酸盐熔体间分配行为的实验研究 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2007, 26(4): 359-365.
- [19] Hu Xiaoyan, Bi Xianwu, Hu Ruizhong, et al. Experimental study on tin partition between granitic silicate melt and coexisting aqueous fluid [J]. *Geochemical Journal*, 2008, 42(2): 141-150.
- [20] Chou I M. Oxygen buffer and hydrogen sensor techniques at elevated pressures and temperatures. Ulmer G C, Barnes H L. *Hydrothermal Experimental Techniques* [M]. New York: John Wiley, 1987: 61-99.
- [21] Taylor J R, Wall V J, Pownceby M I. The calibration and application of accurate redox sensors [J]. *Am Minera*, 1992, 77: 284-295.
- [22] 袁万明. 岩浆熔体 NBO/T 值计算法的改进 [J]. *岩石学报*, 1990, 3(3): 71-77.
- [23] 袁万明. 硅酸盐熔体结构与某些地质特征的关系 [J]. *岩石学报*, 1994, 10(3): 301-310.
- [24] 蒋国昌, 尤静林, 吴永全, 等. 硅酸盐熔体微结构单元的探讨 [J]. *地质地球化学*, 2003, 31(4): 80-86.
- [25] Mysen B O, Virgo D, Seifert F A. Relationships between properties and structure of aluminosilicate melts [J]. *American Mineralogist*, 1985, 70: 85-105.
- [26] 章邦桐. 花岗岩物理化学及铀成矿作用 [M]. 北京: 原子能出版社, 1992: 9-18.
- [27] Behrens H, Meyer M, Holtz F, et al. The effect of alkali ionic radius, temperature, and pressure on the solubility of water in MAlSi_3O_8

melt (M = Li ,Na ,K ,Rb) [J]. *Chemical Geology* ,2001 ,174: 275-289.

[28] Dadze T P , Akhmedzhanova G M , Kashirtseva G A , et al. Solubility of gold in sulfide-containing aqueous solutions at $T = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ [J]. *Journal of Molecular Liquids* ,2001 ,91: 99-102.

A Preliminary Experimental Study on the Solubility of Gold in Granitic Silicate Melts

HU Xiao-yan¹ , BI Xian-wu¹ , CAI Guosheng² , CHEN You-wei¹ , DONG Shao-hua^{1,3}

(1. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry , Institute of Geochemistry , CAS , Guiyang 550002 , China;

2. Guizhou Bureau of Nonferrous Metal and Nuclear Industry Geological Exploration , Guiyang 550002 , China;

3. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences , CAS , Beijing 100049 , China)

Abstract: Haplogranitic gels and distilled water , hydrochloric acid solutions and hydrofluoric acid solution were employed as starting solid materials and fluid in this experimental study. The temperature and pressure were $850\text{ }^{\circ}\text{C}$, 100 MPa , respectively , and the fugacity was near NNO. Gold content in silicate melt and aqueous fluid were measured with a flame atomic-absorption spectrometer (AAS) . Results show that the solubility of gold in different melts is ranged from 1.87×10^{-6} to 156.62×10^{-6} and gold contents in aqueous fluid are vary from 0.31×10^{-6} to 6.92×10^{-6} . Gold content in silicate melt phase is higher than that in the coexisting aqueous fluid. Solubility of gold is affected by composition of the melt , and gold solubility in Na-rich peralkaline silicate melts is obviously higher and increases with increasing $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ mole ratio. Fluorine has no obviously influence on gold solubility in melt phase , but increasing chlorine content can improve gold concentration in aqueous fluid phase , in fluorine and chlorine coexisting magma system.

Key words: silicate melt; solubility; experimental study