

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

绿岩中金淋滤作用的实验研究*

刘玉山 张桂兰

田 军

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)

(长春地质学院)



在 200—550℃ 和 60MPa 条件下, 以氯化物溶液对绿岩中金进行了淋滤实验, 部分实验控制了氧逸度。实验结果显示, 金的淋滤率与温度、溶液成分、酸碱度及氧逸度有关。在氧化和酸性溶液的实验中, 淋滤率达 50% 以上。已查明金的淋滤作用受岩石中金溶解形成氯络合物的反应制约。因此, 笔者认为花岗岩浆活动派生的酸性氯化物溶液活化迁移了绿岩中的金并富集成矿。

关键词 淋滤作用 金矿床 绿岩

1 概述

金矿和金的成矿作用前人已有详尽的研究。尽管如此, 金矿成矿过程中的一些基本问题, 例如金是如何迁移富集的, 却迄今还未查清^[1]。另一方面, 有关金在高温、高压条件下的成矿作用实验资料较少, 且不够一致。R. W. Henley 的水热实验表明, 金在氯化物溶液中的溶解度较高, 可达 $n \times 10^{-6}$ ^[2]。J. J. Rytuba 用黄铁矿-磁黄铁矿作缓冲剂的溶解度实验则发现, 金在 NaCl 溶液中的溶解度很低^[3]。T. M. Seward 等的实验结果得出, 金在 300℃ 以下富硫溶液中能以硫氢络合物形式迁移^[4]。另一些人则认为金在热液中主要以氯化物络合物形式迁移。有关金的活化和淋滤实验资料极少。为查明金的表生富集原因, A. W. Mann 实验研究了 25℃ 的 NaCl 溶液、FeSO₄ + NaCl 溶液以及 NaCl + HCl 溶液对金和银的活化溶解作用, 结果显示 HCl 溶液和 NaCl + HCl 酸性溶液对金的活化溶解能力大, 并指出 MnO₂ 氧化剂有助于金的活化溶解^[5]。新近, 范宏瑞研究了 250—550℃ 的 NaCl 溶液和 NaCl + Na₂S 溶液对砂岩和千枚岩中金的淋滤作用, 淋滤率多在 20% 以下^[6]。

本文在 200—550℃ 和 60MPa 实验条件下研究了氯化物溶液对绿岩(变角闪辉石岩)中金的淋滤作用, 特别着重研究了氧逸度和溶液酸碱度对金活化溶解的影响, 并试图以实验结果揭示在热液成矿过程中金从绿岩中活化、迁移与富集的条件。

* 国家自然科学基金(4870204)和地质行业科技发展基金联合资助项目。

本文 1991 年 5 月收到, 1992 年 3 月改回, 季国容编辑。

2 实验的技术方法

绿岩中金的淋滤实验是用冷封自紧式高压容器完成的。这种容器不带取样装置, 溶液不能流动。因此这类实验更确切地说应是浸滤实验。容器由 1Cr18Ni9Ti 高温不锈钢制成。容器胴体的容积(不带衬套时)约 13mL。当用聚四氟乙烯管作衬套时, 容器的有效容积约为 6—7mL。实验用井式电炉加热, 实验温度由 XCT—191 温度调节仪连接 ZK—1 可控硅电压调整器来维持和控制。实验压力则根据水和 NaCl 水溶液的温度-压力-密度关系计算和设定, 因此压力误差可能稍大。

实验的温度、压力条件和使用的淋滤溶液主要是参考我国胶东热液金矿床成矿条件和成矿溶液的流体包裹体研究资料设计和选定的。这种矿床的成矿温度多在 350—220℃ 的范围, 成矿压力变化于 24—75MPa, 成矿溶液为 (K, Na)Cl + CO₂, 盐度 5%—10%。因此选定本实验的温度为 200—550℃ (以 250—350℃ 为主), 压力为 60MPa。实验使用的淋滤溶液为 KCl 溶液和稀 HCl 溶液。

用作被淋滤的岩石样品, 是取自冀东金厂峪地区太古宙绿岩带中的变角闪辉石岩。该岩石主要由角闪石、辉石、斜长石、黑云母、磁铁矿等矿物组成。在化学成分上, 它含铁较高(15%±)。岩石的化学成分见表 1。该岩石的部分造岩矿物经中子活化法分析表明, 除斜长石含 0.01×10^{-6} 金外, 辉石、角闪石中未分析出金。曾用原子吸收光谱和中子活化法测定了用作淋滤样品的岩石粉末的金含量。对三个样品的测试结果是: 岩粉含金为 11.7×10^{-9} , 8.5×10^{-9} (原子吸收光谱测定) 和 5.9×10^{-9} (中子活化法测定)。考虑到本研究中实验溶液的金含量均由中国地质科学院岩石矿物测试技术研究所用原子吸收光谱测定, 因此我们把该所原子吸收光谱对岩粉中金的两次分析结果的平均值 10.1×10^{-9} 作为实验岩样之金的原始含量。

表 1 实验用角闪辉石岩(绿岩)的化学成分

Table 1 Chemical compositions of hornblende-pyroxenite (greenstone) used for experiment

成 分	含量(%)	成 分	含量(%)
SiO ₂	42.12	Na ₂ O	2.75
Al ₂ O ₃	7.07	MnO	0.17
TiO ₂	0.95	P ₂ O ₅	1.30
Fe ₂ O ₃	7.64	烧失	2.67
FeO	7.10	Au	10.1×10^{-9}
MgO	9.85	Cu	99.0×10^{-6}
CaO	15.81	Pb	3.5×10^{-6}
K ₂ O	2.40	Zn	218.0×10^{-6}

淋滤实验的一般程序为: 用天平称取一定重量(0.2—2g)的绿岩岩粉, 放入高压容器腔孔中(有衬套时则放入衬套中), 按设定的填充度注入一定容量的氯化物水溶液, 封装好高压容器。再将装好样的高压容器放置到井式电炉中加热, 待温度上升到设定温度后仪器即维持该温度, 进行恒温、恒压反应。实验持续的时间为 5—16d。实验时间较长为的

是让溶液与岩粉充分反应,达到化学平衡。实验结束后将高压容器投入冷水中淬火,再打开高压容器,取出实验溶液并使之与固体岩粉分离。实验溶液送化验室测定金含量。

由于聚四氟乙烯衬套只能经受到 300℃ 的温度,故少量 350℃ 的实验是用石英管取代上述衬套。石英管在装入岩粉和实验溶液后用火焰焊封上,再装入高压容器。以后的实验程序类似。为考查氧逸度对金淋滤的影响,少数实验还使用了磁铁矿-赤铁矿氧缓冲剂(符号 HM),把实验维持在氧化条件下^[7]。

各种淋滤实验中岩样和实验溶液在高压容器中的装样情况示意展示于图 1。

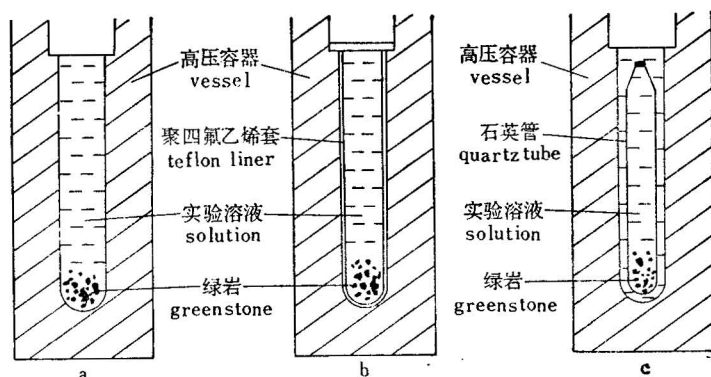


图 1 淋滤实验装样示意图

Fig. 1 Various designs of the leaching experiment

a. 无衬套实验; b. 带聚四氟乙烯衬套实验; c. 焊封石英管实验

a. Experiment without liner; b. with teflon liner; c. with welded quartz tube

3 淋滤实验结果

在 200—550℃ 与 60MPa 条件下,不同浓度氯化物溶液对绿岩中金淋滤作用的实验结果列于表 2。表中淋滤作用结果采用“淋滤率”表达。淋滤率由下式计算得出:

$$\text{淋滤率}(\%) = \frac{\text{溶液含金量}(\times 10^{-9}) \times \text{溶液重量}}{\text{岩石含金量}(10.1 \times 10^{-9}) \times \text{岩样重量}} \times 100(\%)$$

为考查氧化还原条件对金淋滤的影响,一些实验是在无衬套钢高压容器中完成的;另一些是在带衬套容器中完成的;还有一些实验用氧缓冲剂控制了氧逸度。钢容器中的实验是还原条件,根据前人研究,在铬镍钢制成的容器中,在溶有硅酸盐的水热条件下,其氧逸度接近由 QFM 氧缓冲剂限定的数值。在用氧缓冲剂的实验中,我们使用的是高氧逸度的固体氧缓冲剂 HM,因此,实验造成的是氧化环境。带衬套不加氧缓冲剂的实验,推测它的环境为弱氧化,其氧逸度值可能介于 QFM 和 HM 之间。前人对金的地球化学性质的研究曾多次指出,金的溶解及络合作用必须在氧化条件下进行。本实验结果亦清楚地表明,氧逸度值对岩石中金淋滤作用的影响也是很大的。

对表 2 的实验结果加以综合分析,便可以得出实验温度、淋滤溶液的成分、酸碱度以及氧逸度对绿岩中金淋滤作用的影响。从淋滤实验结果可以得出:

表 2 绿岩中金淋滤作用的实验条件和实验结果
Table 2 Conditions and results of experiments on the leaching of Au from greenstone

实验号 No.	温度 ℃	压力 MPa	时间 h	岩样* 重量 g	岩样中 金总量 ng	实验溶液		溶液 pH		反应容器**	溶液中 金总量 ng	淋滤率 %	备 注
						成分	重量(g)	实验前	实验后				
L-7	450	60	168	4.7	40.47	H ₂ O	33.90	6.5	6.5	Fe	5.38	11.34	两次实验平均值(下同)
L-26	300	60	168	1.0	10.10	1mol/L KCl	10.00	6.5	7.0	Fe	0.42	4.18	
L-13	400	60	120	2.0	20.20	1mol/L KCl	7.43	6.5	7.0	Fe	0.88	4.33	
L-4	450	60	168	1.0	10.10	0.5mol/L KCl	6.10	6.0	6.0	Fe	0.50(2)	4.95(2)	
L-1	450	60	168	10.0	101.00	1mol/L KCl	41.33	6.0	6.0	Fe	3.11	3.08	
L-10	500	60	120	2.0	20.20	1mol/L KCl	5.49	6.5	6.5	Fe	1.32	6.52	
L-30	550	60	144	2.0	20.20	1mol/L KCl	3.50	6.5	6.5	Fe	4.20(2)	19.90(2)	
L-23	200	60	120	0.5	5.05	1mol/L KCl	5.71	6.5	5.0	Tf	0.56	11.30	
L-16	250	60	120	0.5	5.05	H ₂ O	5.36	6.5	7.0	Tf	0.20	3.96	
L-32	250	60	168	0.5	5.05	0.1mol/L KCl	5.36	6.5	6.5	Tf	2.03	40.19(2)	
L-17	250	60	120	0.5	5.05	0.5mol/L KCl	5.36	6.5	7.0	Tf	2.10	41.58	HM 氧缓冲剂(下同)
L-34	250	60	240	0.5	5.05	1mol/L KCl	5.36	6.5	6.0	Tf	0.88	17.53	
L-24	300	60	168	0.5	5.05	1mol/L KCl	4.97	6.5	6.0	Tf	2.53(2)	50.00(2)	
L-36	350	60	168	0.2	2.02	1mol/L KCl	2.00	6.5	6.0	Si	1.04	51.97	
L-29	250	60	240	0.5	5.05	1mol/L KCl	5.36	6.5	7.0	Tf(HM)	1.85	36.60	
L-28	300	60	240	0.5	5.05	1mol/L KCl	4.90	6.5	6.5	Tf(HM)	1.93	38.22	
L-37	350	60	168	0.2	2.02	1mol/L KCl	2.00	6.5	6.0	Si(HM)	1.39	68.87	
L-22	200	60	288	0.5	5.05	0.1mol/L HCl	5.76	0.5	5.0	Tf	0.00	0.00	
L-19	250	60	144	0.5	5.05	0.01mol/L HCl	5.40	1.5	5.5	Tf	2.80	55.45	
L-20	250	60	144	0.5	5.05	0.1mol/L HCl	5.36	0.5	4.5	Tf	3.41	67.52	
L-21	250	60	144	0.5	5.05	0.3mol/L HCl	5.36	0.5	4.5	Tf	2.26	44.75	
L-25	300	60	168	0.5	5.05	0.1mol/L HCl	4.97	0.5	4.5	Tf	5.15	100.00	
L-31	250	60	240	0.5	5.05	0.1mol/L HCl	5.35	0.5	4.5	Tf(HM)	2.03	40.26	
L-27	300	60	144	0.5	5.05	0.1mol/L HCl	4.90	0.5	5.0	Tf(HM)	2.90	57.40	

* 绿岩平均含金为 10.1×10^{-9}

** Fe-不锈钢反应容器; Tf-容器带聚四氟乙烯内衬; Si-样品焊封于石英管中。

1) 金虽几乎不溶于纯水,但一定成分的电解质溶液对绿岩中金有相当的溶解、淋滤作用。本实验结果显示,不同浓度的 $\text{KCl-H}_2\text{O}$ 溶液和 $\text{HCl-H}_2\text{O}$ 溶液均对金有明显的淋滤作用。稀盐酸水溶液对金的淋滤作用最强,其次是 KCl 溶液,它们在 $300\text{--}350^\circ\text{C}$ 的氧化条件下对岩石中金的淋滤率可达 50% 以上(图 2)。因此实验结果证明氯化物成分的热液对绿岩类源岩中的金有较强的活化、淋滤和迁移能力。

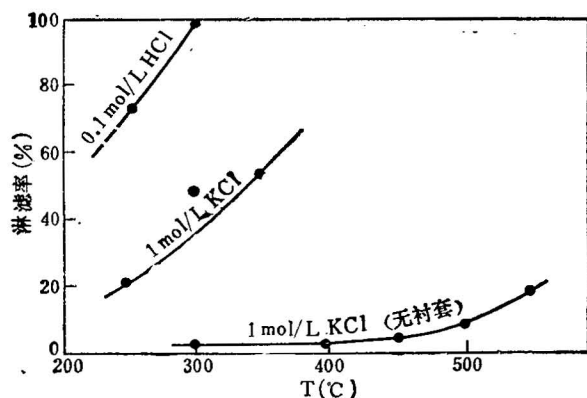


图 2 不同温度下氯化物溶液对绿岩中金的淋滤率

Fig. 2 Leaching rate of gold from greenstone by chloride solution vs. temperature

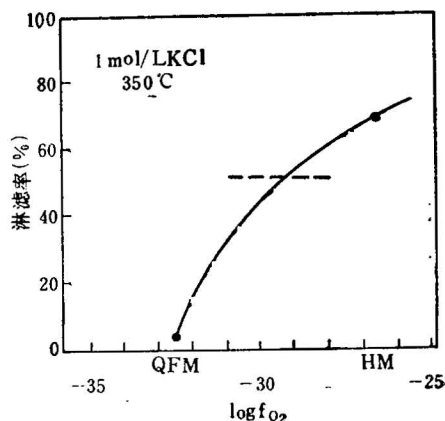


图 3 氧逸度对金淋滤率的影响

Fig. 3 Leaching rate of gold as the function of oxygen fugacity

QFM 和 HM 为氧缓冲剂符号

QFM, HM = symbol of oxygen buffers

2) 氧化条件有利于氯化物溶液对岩石中金的溶解和淋滤。例如在相同的温压条件下,同是 1mol/L 的 KCl 溶液,由于氧逸度不同,对金的淋滤作用差别很大:在还原条件下(无衬套钢高压容器中的实验),金的淋滤率多在 10% 以下。在使用 HM 氧缓冲剂的氧化条件实验中,金的淋滤率则明显提高了,达到 36.60% (250°C) 和 68.87% (350°C) (图 3)。

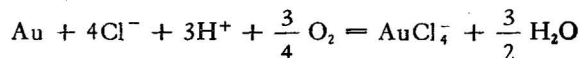
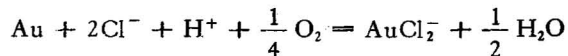
3) 较高温度也是金从岩石中淋滤出来的必要条件之一。氧逸度一定时, $\text{KCl-H}_2\text{O}$ 溶液和 $\text{HCl-H}_2\text{O}$ 溶液对岩石中金的淋滤率随温度升高而增大, 200°C 低温溶液对金的淋滤率较小, $>300^\circ\text{C}$ 时,加 HM 缓冲的氧化溶液对岩石中金的淋滤率就相当高了。

4 实验结果讨论

上述实验得出的高温氯化物溶液对绿岩中的金具显著的淋滤作用的结果,主要归因于金与电解质溶液的化学反应。具体说就是淋滤溶液中的络合物配位基 Cl^- 与岩石中游离的自然金发生化学反应形成可溶性的、具有高温稳定性的金氯络合物。然而,金在溶液中主要以何种络合物形式溶解则是复杂的,不仅与溶液的成分和物理化学参数有关,而且不同学者认识也不太一致。有人认为金氯络合物是主要溶解形式;有人则强调硫氢络合物的主导作用。但在我们的实验体系里,硫几乎缺失,淋滤溶液的成分是 $\text{KCl-HCl-H}_2\text{O}$, 绿岩中金主要是自然金。这样,在绿岩淋滤过程中发生的化学反应主要是金与 KCl-HCl-

H₂O 溶液之间的溶解和络合作用,在溶液中形成各种金的羟基络合物和氯络合物。根据我们对类似体系高温溶液的拉曼光谱研究结果和热力学分析推断,在本实验溶液中虽然可以形成种类繁多的金的氯络合物和羟基络合物,但主要的是 AuCl₂⁻ 和 AuCl₄⁻ 两种。

这样,我们把绿岩中金溶解淋滤形成金氯络合物的过程用下列反应式表示:



它们的化学反应平衡常数为:

$$K_1 = \frac{[\text{AuCl}_2^-]}{[\text{Cl}^-]^2 \cdot [\text{H}^+] \cdot [\text{O}_2]^{\frac{1}{4}}}$$

$$K_2 = \frac{[\text{AuCl}_4^-]}{[\text{Cl}^-]^4 \cdot [\text{H}^+]^3 \cdot [\text{O}_2]^{\frac{3}{4}}}$$

由此得出以 AuCl₂⁻ 和 AuCl₄⁻ 形式溶于溶液中的金为(以络合物活度表示):

$$\log [\text{AuCl}_2^-] = \log K_1 + 2 \log [\text{Cl}^-] + \frac{1}{4} \log f_{\text{O}_2} - \text{pH}$$

$$\log \text{AuCl}_4 = \log K_2 + 4 \log [\text{Cl}^-] + \frac{3}{4} \log f_{\text{O}_2} - 3\text{pH}$$

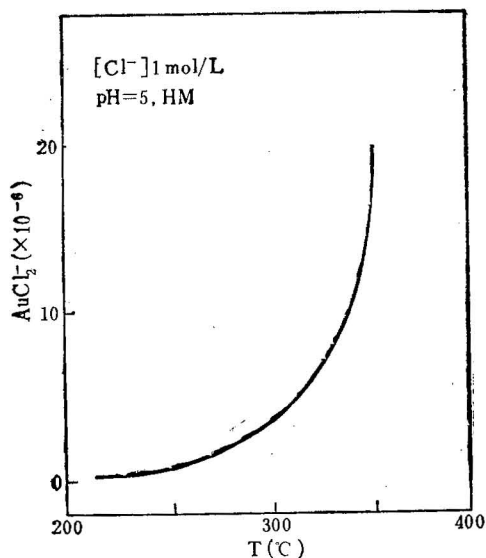


图 4 以 AuCl₂⁻ 形式的金溶解度及与温度的关系(计算值)

Fig. 4 Solubility of gold as AuCl₂⁻ complex vs. temperature (calculated)

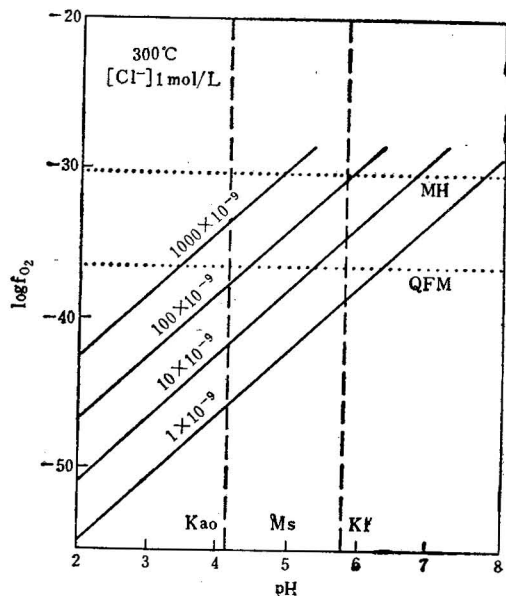


图 5 在 300°C 时 1mol/L 氯化物溶液中金浓度的(计算值)

Fig. 5 Solubility of gold in 1 mol/L chloride solution at 300°C (calculated)

以金氯络合物形式溶解于溶液中金的总量约为:

$$\log C_{Au} \cong \log K_1 + \log K_2 + 6 \log [Cl^-] + \log f_{O_2} - 4pH$$

可见,从溶解反应热力学原理上分析,溶液溶解淋滤出的金是阴离子配位体 Cl^- 和 f_{O_2} , pH 的函数,亦是温度的函数(平衡常数 K 是温度的函数)。具体来说,金的溶解淋滤量随温度升高、溶液氯活度增大、氧逸度和酸度增大而增加;在温度变化不大时氧化性的酸性氯化物溶液具有较大的溶解淋滤能力。

利用高温热力学数据,我们即可根据上式计算出一定温度下溶液溶解绿岩中金的量。由于缺少 $AuCl_4^-$ 的高温热力学参数,这里我们只计算了 200—400℃ 金以 $AuCl_2^-$ 形式的溶解度(图 4)以及 300℃ 时溶液中金浓度与溶液酸碱度和氧逸度的关系(图 5)。这些定量计算资料同样说明了金溶解与温度、溶液酸碱度和氧逸度的关系,显示金以金氯络合物形式在溶液中的溶解量随溶液酸度和氧逸度升高而增大,在其它条件一定时,升高温度也能提高金的溶解能力。

上述讨论表明,实验得出的绿岩中金的淋滤作用的一些结论和规律并非是偶然的,而是受金与氯化物溶液间的化学反应原理约制的,淋滤作用的主导过程是绿岩中自然金在氯化物溶液中的溶解反应。

这一讨论只限于 $Au-Cl-H_2O$ 体系。成矿溶液中也常含 S^{2-} ,含 S^{2-} 的 $Au-Cl-S-H_2O$ 体系有待于下一步研究。

5 绿岩中金的活化迁移问题

对于分散在绿岩中的金是如何被活化、迁移,进而富集成矿的问题,至今仍存在着争议。

在加拿大,太古宙脉金矿床直接产在太古宙绿岩带中,且无明显的岩浆活动。矿床中的金被认为是由变质热液活化迁移而来的。地壳下部的岩石在角闪岩相和麻粒岩相变质过程中发生脱水和脱碳酸盐作用,形成富 CO_2 和低盐度的变质流体(太古宙脉金矿的成矿溶液 $(K,Na)Cl$ 通常在 5% 以下),这种流体与绿岩反应,活化、淋滤了绿岩中的金。根据 T. M. Seward (1973, 1982) 的研究,金在富硫还原性的溶液中(氯化物浓度很小)主要以硫氢络合物形式迁移,在 300℃ 上下时以 $Au(HS)_2^-$ 为主^[7,8]。当然这种看法也是有争论的。

我国胶东、小秦岭、华北等地的热液型金矿床亦与太古宙变质岩地层(相当于绿岩)有关,金被认为来源于这套古老的绿岩。但是,我国的这类金矿与加拿大的太古宙脉金矿又有很大的区别。我国这些矿床中绝大多数形成于中生代,与燕山期花岗岩同期,矿床与花岗岩两者有密切的成因联系。有人认为这种花岗岩可能是由古老地层(包括部分绿岩)重熔形成的^[9]。

本实验研究就是根据我国热液金矿的上述地质、地化条件设计的。花岗质岩浆活动派生出的是一种富含氯、氟和水等挥发组分的弱酸性氯化物水溶液。矿物中流体包裹体研究表明,胶东金矿的成矿溶液就是一种以 KCl 为主要成分的高温热液, $(K,Na)Cl$ 的盐度为 5%—10%,还有一些 SO_4^{2-} , $pH = 4-6$ 。根据淋滤实验的结果,这种溶液在 300℃ 以上高温下对绿岩中的金有较大的淋滤能力,其淋滤率可达 50% 以上。

综上所述,我们认为我国胶东等地的热液金矿床是中生代花岗质岩浆活动派生的热液使太古宙绿岩带岩石中的金活化、迁移、富集而成的。高氧逸度的中酸性氯化物溶液有利于岩石中金的淋滤、迁移。由此推断,与 I 型花岗质岩浆有关的热液活动,较之 S 型花岗质岩浆活动,具有较高的氧逸度,因此更有利于金的活化、富集成矿。绿岩中金的淋滤可能发生在 300℃ 以上热液活动阶段,相当于云英岩化或绢英岩化阶段。在这种高温弱酸性氯化物溶液中,金主要以金氯络合物形式存在。多次的构造热液活动有利于金的迁移、富集,形成高浓度的含矿热液。温度降低、溶液与围岩反应(特别是与含硫、含铁和碳酸盐成分的围岩反应)引起的酸度和氧逸度降低,导致溶液中金氯络合物的分解和金的沉淀。根据实验资料和矿床地球化学研究结果推测,金的沉淀(矿化)主要发生在 300—200℃ 和相当于黄铁矿-磁黄铁矿-磁铁矿缓冲剂控制的较还原的地球化学环境中。

可以说,太古宙基性变质岩系(绿岩)是热液金矿床中金的来源,而矿床本身则形成于燕山期花岗质岩浆(或重熔岩浆)伴生的热液和构造活动中。因此,在太古宙绿岩的分布区,燕山期花岗岩、特别是 I 型花岗岩岩体周围及构造活动带,都是寻找这类热液金矿床的远景区。

本文是国家自然科学基金与地质行业科技发展基金联合资助项目“金的淋滤和迁移形式的实验研究”的部分研究成果。长春地质学院毛成云和王安建老师为实验提供了角闪辉石岩(绿岩)样品。岩石和实验溶液中金含量由中国地质科学院岩石矿物测试技术研究所邓月金、陈静分析。此外,笔者在实验和撰写本文过程中还得到了李鹏九、陈淑卿、王高尚、张生诸同志的支持和帮助,作者在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 Boyle R W. The geochemistry of gold and its deposits. Geological Survey of Canada, Bulletin. 1979, 280: 1—200.
- 2 Henley R W. Solubility of gold in hydrothermal chlorite solutions. Chemical Geol, 1973, 11(1): 73—87.
- 3 Rytuba J J and Dickson F W. Reaction of $Py + Po + Qz + Au$ with $NaCl-H_2O$ solutions, 300—500°C, 500—1500 bars, and genetic implications. Problems of Ore Deposits, 4th IAGCD Symposium, Varnia. 1974, 2: 739—799.
- 4 Seward T M. Thio complexes of gold and the transport of gold in hydrothermal ore solutions. Geoch. Cosmoch. Acta, 1973, 37:320—326.
- 5 Mann A W. Mobility of gold and silver in lateritic weathering profiles:some observation from Western Australia. Econ. Geol, 184, 79(1):38—49.
- 6 范宏瑞. 高温、高压下金的浸滤实验. 地质论评,1991,37(1): 89—94页.
- 7 刘玉山,林盛中,李九玲. 成矿作用实验研究. 北京:北京科技出版社. 1990.347—360页.
- 8 Seward T M. Transport and deposition of gold in hydrothrmal systems, Proceedings of Conference on Geology, Geochemistry and origin of cold deposits. Zimbabwe, 1982. 165—181.
- 9 姚凤良,刘连登,孔庆存,宫润谭. 胶东西北部脉状金矿床. 长春:吉林科技出版社. 1990. 126—143页.

AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE LEACHING OF GOLD IN GREENSTONE WITH CHLORIDE SOLUTIONS

Liu Yushan, Zhang Guilan

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing)

and Tian Jun

(Changchun College of Geology, Changchun, Jilin)

Abstract

Leaching experiments of gold in greenstone were carried out with chloride solutions at temperatures of 200 to 550°C and a pressure of 60 MPa. Oxygen fugacity was controlled by HM oxygen buffer for some experiments in order to examine the role of oxygen fugacity on the leaching.

Experimental results show that the leaching rate depends on the composition, acidity, oxygen fugacity and temperature of the solutions. Low pH values, high oxygen fugacity and elevated temperatures are favourable for leaching out of gold from the rocks. The leaching rate attains 50% or more in runs with oxidative and acid chloride solutions.

The leaching is controlled by the dissolution process of gold chloride complexes. Thus the authors suggest that acid chloride solutions genetically related to the granitic magmatism is responsible for the remobilization of gold from the source greenstone and gold concentration.

Key words: Leaching, gold deposits, greenstone

作 者 简 介

刘玉山,生于1935年。1961年毕业于前苏联列宁格勒大学,长期从事高温高压成岩成矿实验研究。现任中国地质科学院矿床地质研究所实验岩石矿物研究室主任、研究员。通讯处:北京阜外百万庄26号中国地质科学院矿床地质研究所,邮政编码:100037,传真(Fax) 0086-1-8310894。