

在低温开放体系水/岩反应过程中 金、锑、钨的实验地球化学研究*

牛贺才 马东升

(南京大学地球科学系, 南京 210008)

关键词 低温热液、Au-Sb-W 含矿建造、水/岩反应

湘西元古代地层中广泛分布着以沃溪、西冲、漠滨为代表的 Au-Sb-W、Au-Sb 及单 Au 层控金矿床。矿物组合、围岩蚀变及成矿物理化学条件研究表明,它们均属中-低温热液矿床,其主要成矿作用是在低温条件下进行的。已往的研究揭示,该类矿床的成矿物质主要来自浅变质的元古界 Au-Sb-W 含矿建造^[1-3]。成矿流体的化学组成及氢、氧稳定同位素研究显示,在成矿过程中,地下水曾对矿质的迁移-富集起了重要作用^[4]。放射性同位素的研究表明,矿床的形成与雪峰构造事件有关^[5]。综上所述,在雪峰造山作用的能量驱使下,不同性质的地下水(低温热液)与 Au-Sb-W 含矿建造相互作用,使 Au、Sb、W 活化转移,并在构造扩容部位富集成矿。显而易见,湘西层控 Au 矿的成矿作用是一个低温开放体系水/岩反应过程。有关该过程中元素成矿的模拟实验研究以往进行得很少,在国内尚无正式报道。为此,针对湘西层控金矿的具体特点,作者开展了低温开放体系水/岩反应的实验研究,以了解 Au、Sb、W 在这种成矿环境中的地球化学行为。

一、实验方法、条件及实验结果

实验在 $3000 \times 10^5 \text{Pa}$ 淋滤装置上进行,压力用标准压力表测定,温度用两支校正的镍铬、镍铝热电偶测定。实验样品为未受矿化影响的板溪群马底驿组紫红色板岩,其成矿元素 Au、Sb 和 W 的含量分别为 5.5ppb、40ppm 和 5.5ppm,明显高于世界板岩的平均值^[6]。为了增加有效反应界面,将样品粉碎至 200 目。每次取 4g 固体样品放入用金属钛制成的样品管内,同时将快速定量滤纸固定在样品管两端,以防止固体样品在取样时流失。实验表明,在低温条件下,快速定量滤纸能有效地起到渗透膜的作用。

对流动反应溶液的取样速度为每小时 20ml,取样过程中用压力泵泵进反应溶液,维持体系内流体压力变化不超过 $\pm 25 \times 10^5 \text{Pa}$ 。在取样之前,放掉介于样品管与取样阀之间未与岩石反应的那部分溶液。

根据有关矿床流体包裹体的研究结果,选用 0.1—0.5mol NaCl、0.25mol NaHCO_3 溶液作为反应溶液。该溶液由去离子水与化学纯试剂配制而成。实验温度为 140—250℃,压力为 $200—800 \times 10^5 \text{Pa}$ 。

本文 1991 年 1 月 11 日收到。

* 中国科学院矿床地球化学开放实验室资助课题。

所有样品分析均由中国科学院地球化学研究所完成。

通过十余次的实验,作者研究了温度、压力、反应溶液性质及水岩比值对水/岩反应的影响,结果如表1和表2所示。

表1 不同温度、压力、介质条件下水/岩反应实验结果(取样量180ml)

实验 编号	温度 (°C)	压力 ($\times 10^5 \text{Pa}$)	反应溶液 性质	反应后溶 液中金含 量(ppb)	金的淋 滤率 (%)	反应后 溶液中 钨含量 (ppm)	钨的淋 滤率 (%)	反应后 溶液中 钼含量 (ppm)	钼的淋 滤率 (%)	SiO ₂ 的 淋滤量 (mg)	K ₂ O的 淋滤量 (mg)
N-9	200	200	0.5mol NaCl	6.6×10^{-1}	54.0	1×10^{-3}	0.8	8×10^{-3}	9.0	12.7	2.45
N-6	200	400	0.5mol NaCl	8.1×10^{-1}	66.3	4×10^{-3}	3.2	7×10^{-3}	7.9	17.9	2.56
N-7	200	600	0.5mol NaCl	8.9×10^{-1}	72.8	4×10^{-3}	3.2	7×10^{-3}	7.9	21.8	2.74
N-8	200	800	0.5mol NaCl	8.9×10^{-1}	72.8	4×10^{-3}	3.2	7×10^{-3}	7.9	24.9	4.06
N-10	200	400	0.25mol NaCl	7.9×10^{-1}	64.6	2×10^{-3}	1.6	8×10^{-3}	9.0	13.8	2.30
N-11	200	400	0.1mol NaCl	7.5×10^{-1}	61.3	2×10^{-3}	1.6	8×10^{-3}	9.0	9.8	1.56
N-12	200	400	0.25mol NaHCO ₃	6.9×10^{-1}	56.4	2×10^{-3}	16	4.5×10^{-3}	50.6	19.3	1.60
N-13	250	400	0.5mol NaCl	8.3×10^{-1}	67.9	2×10^{-3}	16	2.2×10^{-3}	24.8	40.9	2.62
N-14	170	400	0.5mol NaCl	6.9×10^{-1}	56.4	3×10^{-3}	2.4	/	/	8.4	2.06
N-15	140	400	0.5mol NaCl	6.2×10^{-1}	50.7	1×10^{-3}	0.8	/	/	2.4	1.78

表2 水岩比对水/岩反应的影响

实验 编号	温度 (°C)	压力 ($\times 10^5 \text{Pa}$)	反应溶 液性质	水岩比 (重量)	钨的淋 滤率 (%)	钼的淋 滤率 (%)	SiO ₂ 的 淋滤量 (mg)	K ₂ O的 淋滤量 (mg)
N-13-1	250	400	0.5mol NaCl	15:1	12.0	16.0	16.00	1.20
N-13-2	250	400	0.5mol NaCl	30:1	15.7	21.9	29.41	2.34
N-13-3	250	400	0.5mol NaCl	45:1	16.6	26.2	40.98	2.63

二、实验结果的讨论

在 NaCl-H₂O-岩石体系中,当温度低于 200°C(含 200°C)时,随着温度的升高,Au 的淋滤率, K₂O、SiO₂ 的淋滤量明显增大,而W和Sb 的淋滤率则基本不变。在这种低温条件下,Au 的淋滤率在 50.7—72.8% 的范围内变化,Sb 的变化范围为 7.9—9.0%,而W 的淋滤率最高仅达 3.2%,此时,元素的相对活动性为 Au > Sb > W。显然,若含 NaCl 的低温热液与 Au-Sb-W 含矿建造相互作用,则可以使 Au 明显活化,也能使其中部分 Sb 活化迁移,有利于形成单 Au 及 Au-Sb 矿床,前者如漠滨金矿,后者如西冲金矿。在 250°C 时,Au、Sb、W、SiO₂ 和 K₂O 的淋滤率(量)都明显高于 200°C 时的淋滤率(量),显而易见,若含 NaCl 的中温

($>200^{\circ}\text{C}$)热液与 Au-Sb-W 含矿建造相互作用,则有利于形成 Au-Sb-W 的矿化组合。如表 1 所示,无论是在低温,还是在中温条件下,含 NaCl 的热液与 Au-Sb-W 含矿建造相互作用,均可使其中的 K_2O 、 SiO_2 发生较强烈的活化转移,且与成矿元素一起运移。这与湘西层控 Au 矿床中普遍发育硅化和低温钾质蚀变(绢云母化)的地质事实相吻。实验同时也显示, SiO_2 和 K_2O 的淋滤量与溶液的 NaCl 浓度呈正消长,可以推断,成矿流体盐度越大,围岩蚀变也应越强。实验还表明,在 200°C 的低温条件下,Au 的淋滤率与压力呈正消长关系,而 W 和 Sb 的淋滤率在压力发生变化时则没有明显的改变。因此,高压低温热液与 Au-Sb-W 含矿建造相互作用更有利于 Au 的大量活化,形成单金矿床。

在温度、压力相同的实验条件下,与 $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ -岩石体系相比, W、Sb、 SiO_2 在 $\text{NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$ -岩石体系中的淋滤率(量)明显增大, 200°C 时 W、Sb 的淋滤率分别达到 16% 和 50.6%。在 $\text{NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$ -岩石体系中 Au、 K_2O 的淋滤率(量)虽然有所下降,但仍然较高。实验表明,富 HCO_3^- 的低温热液与 Au-Sb-W 含矿建造相互作用,可以使其中的 Au、Sb、W 一起活化转移,有利于形成 Au-Sb-W 矿床,如沃溪金矿。包裹体液相成分分析表明,沃溪 Au-Sb-W 矿床成矿流体中 HCO_3^- 的含量明显高于西冲 Au-Sb 矿床和漠滨单 Au 矿床。可见,成矿流体中 HCO_3^- 含量的高低是控制湘西层控 Au 矿床矿化组合的主要因素之一。

实验研究同时还揭示,随着水岩比值(重量)的增大,常量组分 SiO_2 、 K_2O 的淋滤量明显增大,成矿元素 W、Sb 的淋滤率虽也有所增长,但增长幅度较小(表 2)。显然,在低温热液与 Au-Sb-W 含矿建造相互作用过程中,对成矿元素活化转移起主导作用的是最先与岩石进行反应的那部分热液。

三、结 论

实验研究表明,以 NaCl 和 NaHCO_3 为主要成分的低温热液与湘西元古界 Au-Sb-W 含矿建造相互作用可以使成矿元素有效地活化转移,为矿床的形成提供了物质基础。含 NaCl 的低温热液与 Au-Sb-W 含矿建造相互作用,有利于形成 Au-Sb 及单 Au 层控矿床,而富含 HCO_3^- 的低温热液与其相互作用,则有利于形成 Au-Sb-W 层控矿床。成矿流体的盐度对矿化的影响并不显著,但对围岩蚀变的强度却有明显的控制作用。

致谢:在实验过程中,承蒙中国科学院矿床地球化学开放实验室、地球化学研究所的赵斌研究员、樊文苓和王玉荣副研究员、杨美奇高级工程师、易东山工程师等的指导与帮助,在此一并致以衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] 涂光炽等,中国层控矿床地球化学,第二卷,科学出版社,北京,1987,61—97.
- [2] 刘英俊、马东升,地质找矿论丛,2(1987),4: 1—14.
- [3] 刘英俊、马东升,国际金矿地质与勘探学术会议论文集,东北工学院出版社,沈阳,1989,84—90.
- [4] 马东升,矿床地质与矿床地球化学研究新进展,兰州大学出版社,1990,15—16.
- [5] 罗献林,桂林冶金地质学院学报,9(1989),1: 25—34.
- [6] 刘英俊等,元素地球化学,科学出版社,北京,1984,242—336.