金家庄超基性岩型金矿围岩蚀变地球化学研究

李红阳 杨竹森 丁振举 罗泰义 高振敏

中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放实验室,贵阳,550002

内容提要 金家庄金矿近矿围岩蚀变为蛇纹石化、滑石化、碳酸盐化和硅化。岩石化学与微量元素研究表明,从未蚀变—强蚀变透辉岩至矿化蚀变岩,SiO_2、CaO、Al_2O_3 含量逐渐降低,CO_2、H_2O、S 和 Au、Ag、Cu 含量逐渐增高。蚀变岩石同位素研究揭示,碳同位素较低($\delta^{13}C = -7.6‰ \sim -7.1‰$),硫同位素为低的正值($\delta^{34}S_{\Sigma S} \approx \delta^{34}S_{硫化物} \approx +2.5‰$),氧同位素($\delta^{18}O = 12.10‰ \sim 22.3‰$)远高于超基性岩正常范围。围岩蚀变热液主要源于大气降水,碳、硫和成矿元素主要是在围岩蚀变过程中从超基性岩中萃取。

关键词 超基性岩型金矿床 围岩蚀变 地球化学 金家庄 河北省

金家庄金矿位于河北省西北部张家口崇礼—赤城金矿集中区(李红阳等,1994,1996)。金矿体主要呈脉状产在小张家口超基性岩体的透辉岩和闪辉岩及辉岩—橄榄岩体内(陈安国等,1996),矿体走向近 EW,长 80~200 m,厚 0.8~4.5 m(图 1)。矿石类型以蚀变岩(蚀变透辉岩)型为主,含金石英脉型次之(彭岚等,1990;冯配学等,1992)。矿石构造主要有脉状、块状、浸染状和角砾状;矿石结构包括各种交代结构和自形、半自形粒状结构。金属矿物主要是黄铁矿、方铅矿,含有少量闪锌矿和黄铜矿以及磁铁矿;脉石矿物包括方解石、菱镁矿、绿泥石、石英、蛇纹石等(彭岚等,1990)。金家庄金矿床矿石中的黄铁矿和闪锌矿等金属矿物,普遍含有 Pt、Pd、Ni 等深源元素并出现针镍矿,而且其近矿围岩蚀变地球化学特征也有某些特殊之处。本文着重讨论了金家庄金矿床的围岩蚀变类型、蚀变岩石化学成分、微量元素、稀土元素含量变化和碳、氢、氧、硫稳定同位素组成特征及其与金矿成矿的内在联系。

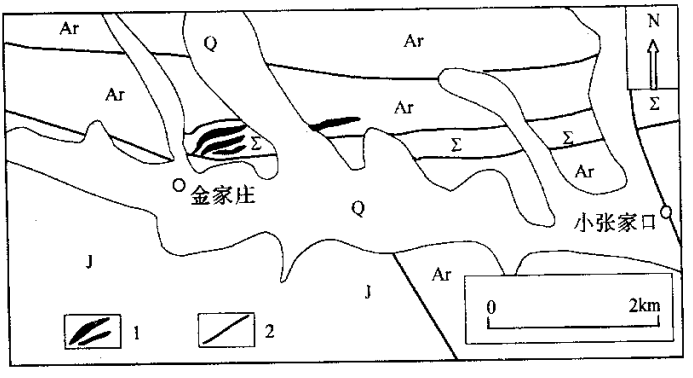

图 1 金家庄金矿区域地质图

Fig.1 Regional geological map of the Jinjiazhuang gold deposit

Q—第四系松散堆积物;J—侏罗系层状火山岩;Ar—太古界桑干群变质岩;Σ—超基性岩;1—金矿体;2—断层

Q—Quatemary sediments; J—Jurassic bedded volcanic rocks; Ar—Archaeozoic; Σ—ultrabasic rock; 1—gold orebody; 2—fault

1 围岩蚀变类型

金家庄金矿围岩蚀变主要为容矿围岩超基性岩受到热水作用

注 本文为中国科学院地球化学研究所矿床开放研究基金(编号 980418)和原地质矿产部"八五"科技攻关项目(编号 85-01-002-06-01)及王宽城教育基金联合资助。

本文 1999 年 5 月收到,2000 年 5 月改回,郝梓国编辑。

万方数据

而产生的广泛的蚀变。其中蛇纹石化-滑石化主要发育于成矿前期和早期,碳酸盐化、绿泥石化及黄铁矿化发育于成矿前和成矿期,硅化则主要在成矿期发育。不同类型与期次的围岩蚀变往往叠加在一起,形成蚀变程度不同的蚀变岩石组合。

(1)蛇纹石化-滑石化 蛇纹石化和滑石化是金家庄金矿床容矿围岩超基性岩发生的重要蚀变作用之一。在热水作用下,超基性岩中的橄榄石、辉石等镁铁质矿物与 H_2O 发生水-岩反应,生成蛇纹石 进一步的水-岩反应,产生滑石以及菱镁矿与方解石等碳酸盐矿物。蛇纹石化-滑石化过程中所释放出的金,多以硫化物和砷化物及自然金形式富集在碳酸盐化蚀变岩中。

(2)碳酸盐化 碳酸盐化是金家庄金矿床围岩蚀变的标志与特征。除少量伴随超基性岩体侵入出现的岩浆热液自交代方解石脉以外,以菱镁矿-方解石脉为代表的碳酸盐化,广泛发育于整个金矿区。而且,与硅化密切伴生的强烈碳酸盐化蚀变岩——滑石菱镁岩或石英滑石菱镁岩,成为金家庄超基性岩型金矿的重要矿石类型。

(3)硅化 硅化多呈细脉状和浸染状与碳酸盐化伴生。但是,根据未蚀变超基性与各类蚀变岩石化学分析结果,金家庄金矿床的硅化并非外来富含硅质热液的交代与充填,而主要是地下热水与近矿围岩——小张家口超基性岩发生水-岩反应,镁铁硅酸盐矿物遭受水热蚀变释放 SiO_2 而形成的富含硅质热液的进一步与容矿围岩水-岩反应产物。

2　岩石化学

围岩蚀变过程中,围岩与热液之间化学成分不断交换导致蚀变前后岩石化学成分发生不同程度的改变。因此,对金矿床不同蚀变程度岩石的化学成分进行统计分析,可以研究围岩蚀变过程中成矿流体的物质组分,成矿有关元素的带入与带出,以及热液蚀变与金矿成矿内在联系。笔者系统采集了金家庄金矿床不同蚀变程度的岩石样品,其化学成分分析结果列入表 1,SiO_2、Al_2O_3、CaO、CO_2、H_2O 等化学成分的含量变化示于图 2。可见,随蚀变作用的逐渐增强,SiO_2、CaO 及 Al_2O_3 含量逐步降低,CO_2、H_2O、S、MnO 含量则不断增加,TiO_2、Na_2O、K_2O、MgO 等变化不明显。

表 1　各类蚀变岩石化学分析结果(%)

Table 1　Chemical analyses(%) of various types of altered rocks

蚀变岩石类型	未蚀变透辉岩	微弱蚀变透辉岩	弱蚀变透辉岩	中等蚀变透辉岩	强蚀变透辉岩	很强蚀变透辉岩	矿化蚀变岩
样号	J24,92-4	92-7	J23,92-8	92J17,92-9	94J5,92-6	92-10	92-11
序号	1	2	3	4	5	6	7
SiO_2	45.47	42.32	39.69	39.87	33.53	32.14	31.08
TiO_2	0.58	0.41	0.85	1.02	1.82	1.04	0.23
Al_2O_3	34.10	3.42	2.22	2.68	3.66	2.79	0.55
Fe_2O_3	36.89	9.36	12.64	13.21	14.46	9.66	3.93
FeO	5.24	5.22	7.52	6.50	9.22	6.17	5.20
CaO	21.65	19.17	17.52	16.36	14.78	11.38	11.20
MgO	14.43	16.08	12.99	12.91	11.35	15.63	15.68
Na_2O	0.09	0.10	0.12	0.14	0.08	0.06	0.10
K_2O	0.05	0.08	0.10	0.09	0.30	0.08	0.10
MnO	0.12	0.10	0.13	0.13	0.26	0.41	1.32
P_2O_5	0.04	0.04	0.06	0.04	2.16	0.22	0.04
H_2O	0.86	1.52	2.38	2.80	3.14	4.66	5.36
CO_2	0.33	2.40	3.60	4.15	4.90	14.60	19.80
S	0.01	0.04	0.80	0.02	0.32	0.51	2.53

分析单位 国土资源部测试技术研究所。未—弱蚀变透辉岩取自 ZK0-2,中等—很强蚀变及矿化蚀变岩取自 2 号和 5 号硐及露采坑。

各类蚀变岩石中 SiO_2、CaO、CO_2 的含量变化与金含量的关系如图 3 和表 2 所示。随着蚀变程

万方数据

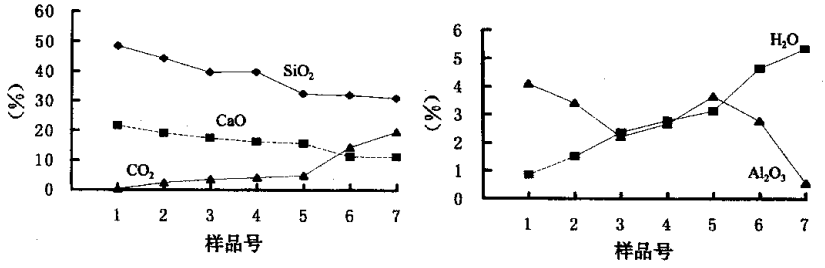

图 2 各类蚀变岩石主要化学成分含量变化曲线

Fig.2 Variation of major chemical compositions in altered rocks

1—未蚀变透辉岩;2—微弱蚀变透辉岩;3—弱蚀变透辉岩;4—中等蚀变透辉岩;
5—强蚀变透辉岩;6—很强蚀变透辉岩;7—矿化蚀变岩

Unaltered diopsidite;2—slightly altered diopsidite;3—weakly altered diopsidite;4—moderately altered diopsidite;
5—strongly altered diopsidite;6—very strongly altered diopsidite;7—mineralized altered rock

度的逐渐加深,岩石中 SiO_2 和 CaO 的含量逐渐减少,而 CO_2 的含量则逐渐增加;Au 与 SiO_2 和 CaO 呈典型的负相关,与 CO_2 则为典型的正相关。关于引起围岩蚀变的热液来源,金家庄金矿蚀变岩中普遍缺少与中酸性岩浆活动有关热液通常所含较多的 SiO_2、K_2O、Na_2O 等组分,可能反映成矿活动并无多少岩浆热液的参与。

3 微量元素

在金家庄金矿围岩蚀变过程中,微量元素也发生了一定的变化(表 2)。随蚀变程度的逐步加深,Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb 等成矿元素的含量逐渐增高。其富集系数分别为:Ag 40,Cu 90,Pb > 50,Zn > 20,As > 10,Sb 5。Pt 和 Pd 的含量在强烈蚀变透辉岩中富集系数 > 10。Cr、Co、Ni 无明显富集或贫化。各类蚀变岩石过渡系列元素的科勒尔图解如图 4。岩石中均明显亏损 Cr 和 Ni,富集一定的 Cu 和 Zn,标准化曲线形状均呈'W'型。反映未蚀变透辉岩为超基性岩浆分异结晶的产物,以及蚀变岩石中过渡元素对超基性岩的某种继承性和一定的演化特征。

4 稀土元素

不同蚀变程度的岩石稀土元素含量如表 2,稀土元素的配分模式示于图 5。总体上,未蚀变

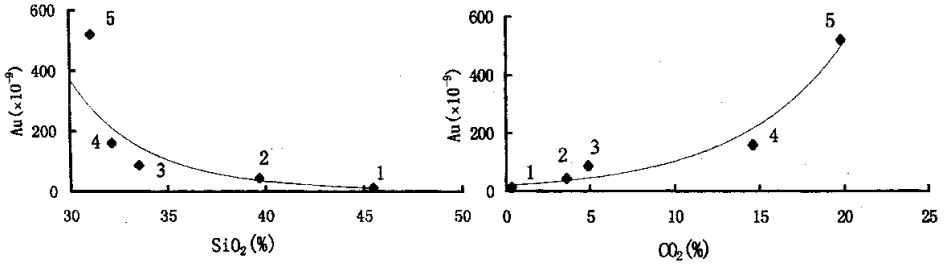

图 3 蚀变岩石化学成分与金含量变化关系

Fig.3 Relationship between chemical composition and gold content of altered rocks

1—未蚀变透辉岩;2—弱蚀变透辉岩;3—强蚀变透辉岩;4—很强蚀变透辉岩;5—矿化蚀变岩

1—Unaltered diopsidite;2—weakly altered diopsidite;3—strongly altered diopsidite;4—very strongly altered diopsidite;5—mineralized altered rock

万方数据

的透辉岩和各类蚀变与矿化蚀变岩稀土元素含量均较低,中稀土元素均略显富集,稀土元素的分布曲线多呈'弓'形,揭示蚀变岩石中稀土元素对超基性岩的一定继承性。但是,矿化蚀变岩和强蚀变透辉岩分别显示出对稀土元素的一定贫化和富集作用,又指示蚀变岩石中稀土元素对蚀变母岩超基性岩的一定演化特征。

5 稳定同位素

(1) 碳同位素　笔者对蚀变岩石中方解石样品进行了碳同位素分析(表 3)。其中,中等—强蚀变与矿化岩石的 3 件方解石样品碳同位素组成均较低,$\delta^{13}C = -7.2‰ \sim -7.6‰$,与弱蚀变透辉岩方解石样品的碳同位素组成($\delta^{13}C = -6.4‰$)接近。4 件样品的碳同位素组成均位于碳质球粒陨石($\delta^{13}C = -6.85‰$)及地幔碳同位素组成范围($\delta^{13}C = -5‰ \sim -8‰$)之内,表明含矿流体中的碳可能主要为幔源,即由小张家口超基性岩供给。

(2) 氢、氧同位素　样品采自不同蚀变与矿化岩石中脉状方解石和石英(表 4)。其中,弱蚀变透辉岩方解石样品的氧同位素组成为 $\delta^{18}O = 7.5‰$,强蚀变透辉岩和矿化蚀变岩方解石的氧同位素组成均为 $\delta^{18}O = 22.3‰$,中等 – 强蚀变与矿化岩石石英的氧同位素组成为 $\delta^{18}O_{石英} = 12.10‰ \sim 13.42‰$。显然,各类蚀变岩石的氧同位素组成远高于超基性岩氧同位素组成正常范围($\delta^{18}O = 5.5‰$),而且,随蚀变与矿化的逐渐增强,氧同位素值具有明显增高的趋势。而利用 Mahews(1979)实验数据计算的成矿流体氢氧同位素变化范围为 $\delta^{18}O_{H_2O} = 5.56‰ \sim 7.39‰$,$\delta D$ 为 $-95‰ \sim -115.3‰$。这又表明成矿流体的氧同位素组成总体低于岩浆水($7.0‰ \sim 9.5‰$)。更进一步,假定源于中生

表 2　各类蚀变岩石微量元素含量($\times 10^{-6}$)

Table 2　Trace element contents($\times 10^{-6}$) of various types of altered rocks

样品	未蚀变透辉岩	弱蚀变透辉岩	强蚀变透辉岩	很强蚀变透辉岩	矿化蚀变岩
样号	J24,92-4	J23,92-8	94J5,92-6	92-10	92-11
序号	1	2	3	4	5
Fe(%)	6.93	13.1	14.7	10.2	4.64
Ti(%)	0.37	0.42	1.02	0.59	0.01
Mn(%)	0.08	0.08	0.18	0.30	0.57
Rb	15	17	32	17	16
K	90	485	1900	130	290
Sr	87.9	91.1	210.9	107	201
Cr	148	73.2	48.7	214	356
Co	38.2	38.3	64.9	61.6	25.6
Ni	58.9	159	48.4	131	262
V	227	237	855	438	9.45
Cu	14.9	36.3	344	152	1389
Pb	110	130	140	120	7400
Zn	77.7	88.7	272	1679	1972
As	1.8	3.1	4.0	11.3	37.9
Sb	0.36	0.54	0.54	0.95	2.34
Bi	0.50	1.04	0.34	0.38	2.45
Au	0.0126	0.0444	0.087	0.16	0.52
Ag	0.6	0.9	1.3	1.6	24.7
Os	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Rn	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Lr	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Rb	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Pt	0.007	0.006	0.002	0.021	<0.001
Pd	<0.001	0.007	<0.001	0.014	<0.001
La	1.95	1.62	12.2	1.90	0.808
Ce	4.57	4.22	35.8	6.59	1.23
Pr	1.06	0.83	6.34	1.30	0.61
Nd	7.42	5.26	35.4	8.60	0.637
Sm	2.74	1.66	9.0	2.62	0.169
Eu	0.88	0.62	2.24	0.96	0.099
Gd	7. 68	6.38	10.08	7.55	0.153
Tb	<0.3	<0.3	0.71	0.30	0.018
Dy	1.41	0.99	4.08	1.60	0.068
Ho	0.24	0.13	0.69	0.27	0.016
Er	0.53	0.42	1.46	0.61	0.034
Tm	<0.1	<0.1	0.20	<0.1	0.004
Yb	0.32	0.27	0.80	0.42	0.026
Lu	<0.1	<0.1	0.10	<0.1	0.004

分析单位 国土资源部测试技术研究所。

万方数据

代的大气降水与超基性岩进行同位素交换，当水/岩比值(W/R)为 0.05 时，可以计算出氢、氧同位素组成为 $\delta^{18}O_{H_2O}=3.46‰$，$\delta D_{H_2O}=-98.8‰$，其与成矿流体的氢氧同位素组成($\delta^{18}O_{H_2O}=5.56‰\sim7.39‰$，$\delta D=-95‰\sim-115.3‰$)也基本吻合。因此，氢、氧同位素资料指示成矿流体可能主要源于大气降水。

表 3 碳同位素组成(‰)

Table 3 Carbon isotopic compositions(‰)

样品号	采样位置	蚀变岩石	测试矿物	$\delta^{13}C_{方解石}$(PDB)	$\delta^{13}C_{CO_2}$(计算)①
J23	ZK0-2,156m	弱蚀变透辉岩	方解石(成岩期后)	-6.4	
92J17-18	2 号硐	中等蚀变透辉岩	方解石(成矿期)	-7.1	
07	1 号脉	强蚀变透辉岩	方解石(成矿期)	-7.6	-6.075
08	1 号脉晶洞	矿化蚀变岩	方解石(成矿期)	-7.5	-5.975

分析单位:中国地质科学院矿床地质研究所。① 据 $\delta^{13}C_{CO_2}-\delta^{13}C_{方解石}=-2.4612+7.6663\times13^3T^{-1}-2.9880\times106^3T^{-2}$(Bottinga,1969)

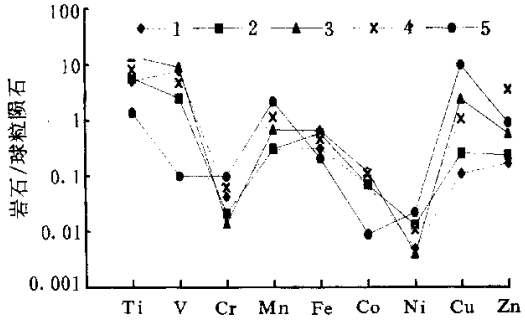

图 4 各类蚀变岩石过渡元素分布曲线(图例同图 3)

Fig.4 Chondrite-normalized trace element patterns of various altered rocks (see figure 3 for explanation of sample No.)

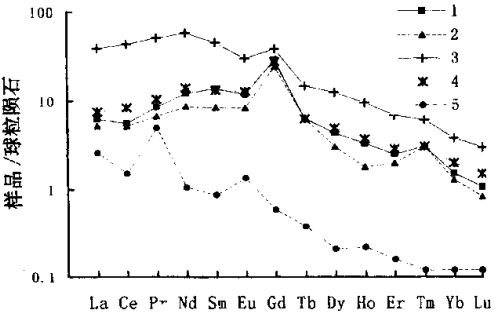

图 5 各类蚀变岩石稀土元素配分模式(图例同图 3)

Fig.5 Chondrite-normalized REE patterns of various altered rocks (see figure.3 for explanation of sample No.)

表 4 氢、氧同位素组成(‰)

Table 4 Hydrogen and oxygen isotopic compositions(‰)

样品号	蚀变岩石	爆裂温度(℃)	方解石 $\delta^{18}O$	石英 δD	$\delta^{18}O_{石英}$	$\delta^{18}O_{H_2O}$(计算)①
J23	弱蚀变透辉岩		7.5			
87-34,4	中等蚀变透辉岩		300	-103	12.10	5.56
7,5	强蚀变透辉岩	300	22.3	-95	12.66	6.22
8,Bw-12*	矿化蚀变岩	340	22.3	-115.3	13.42	7.39

分析单位:中国地质科学院矿床地质研究所。① 据中国地质大学与 516 队合作研究报告,据 $1000\ln\alpha_{石英-水}=3.05\times106T^{-2}-2.05$(Matthews,1979)计算。

(3) 硫同位素 表 5 给出了各类蚀变岩石黄铁矿样品及矿化岩石中的黄铁矿、方铅矿及黄铜矿样品的硫同位素组成。其中，黄铁矿的硫同位素组成变化范围为 $\delta^{34}S=-0.2‰\sim+5.3‰$，方铅矿的 $\delta^{34}S=2.81‰\sim3.3‰$。两黄铜矿样品的硫同位素组成差别较大，分别为 -8.72‰和 2.6‰。除黄铜矿一件样品硫同位素组成明显较低之外，金家庄金矿各类蚀变岩硫化物的硫同位素组成总体比较接近，为低的正值，矿物之间的硫同位素分馏作用不明显。因此，金家庄金矿床各种硫化物 $\delta^{34}S$ 平均值基本上代表了成矿流体的硫同位素组成，表明 δ^{34}

万方数据

$S_{\sum S} \approx \delta^{34}S_{硫化物} \approx +2.5‰$，接近于幔源硫。与此同时，随蚀变作用的逐渐增强，黄铁矿的硫同位素组成具有明显逐步增高的趋势，而且其变化范围逐步增大。这些现象可能表明成矿流体的硫，除主要由小张家口超基性岩提供之外，还有其他浅源硫的不断加入。

表 5　硫同位素组成(‰)

Table 5　Sulfur isotopic compositions (‰)

样品号	采样位置	蚀变岩石	黄铁矿	黄铜矿	方铅矿
J24-26	ZK0-2,215-201 m	未蚀变透辉岩	0.9 ~ 2.5(2)		
J23	ZK0-2,156 m	弱蚀变透辉岩	2.1		
92J17-18	2 号硐	中等蚀变透辉岩	1.2 ~ 2.9(2)		
94J5-6	2 号硐和 5 号硐	强蚀变透辉岩	−0.2 ~ +3.2(2)		
85J31 − 33	2 号硐和露采坑	矿化蚀变岩	2.1 ~ 5.3(3)	−8.72 ~ 2.6(2)	2.81 ~ 3.3(2)

分析单位：吉林地质科学研究所和中国地质科学院矿床地质研究所，括号内为样品数。

6　结论

通过对金家庄金矿近矿围岩蚀变的主要元素、微量元素、稀土元素以及碳、氧同位素的变化规律研究表明，引起金家庄金矿围岩蚀变的热液主要为源于大气降水的地下热水溶液，岩浆热液的成分很少，热水溶液中的碳、硫和主要成矿元素主要来源于超基性岩，是在地下热水溶液循环过程中从小张家口超基性岩中萃取而来。地下热水溶液与深部超基性岩发生　979)计算。

(3) 硫同位素　表 5 给出了各类蚀变岩石黄铁矿样品及矿化岩石中的黄铁矿、方铅矿及黄铜矿样品的硫同位素组成。其中，黄铁矿的硫同位素组成变化范围为 $\delta^{34}S = -0.2‰ \sim +5.3‰$，方铅矿的 $\delta^{34}S = 2.81‰ \sim 3.3‰$。两黄铜矿样品的硫同位素组成差别较大，分别为 −8.72‰和 2.6‰。除黄铜矿一件样品硫同位素组成明显较低之外，金家庄金矿各类蚀变岩硫化物的硫同位素组成总体比较接近，为低的正值，矿物之间的硫同位素分馏作用不明显。因此

1 疚奶岢隽诵矶啾∂笠饧　岩石学报，12(1)：156 ~ 162.

李红阳，彭岚，王国富. 1994. 冀西北崇礼—赤城含金剪切带成矿机制. 贵金属地质，4(3)：169 ~ 175.

李红阳，闫升好，王金锁等. 1996. 初论地幔热柱与成矿——以冀西北金银多金属成矿区为例. 矿床地质，15(3)：249 ~ 256.

马配学，彭岚，李红阳等. 1992. 河北金家庄金矿床地质特征及矿床成因探讨. 河北地质学院学报，15：508 ~ 515.

彭岚，金光惠，李桂林等. 1990. 冀北小张家口超基性岩区金矿床地质特征. 金矿地质论文集(第一辑)，北京：地质出版社，100 ~ 113.

Geochemistry of Wall-rock Alteration of the Jinjiazhuang Ultrabasic Rock-Type Gold Deposit

Li Hongyang　Yang Zhusen　Ding Zhenju　Luo Taiyi　Gao Zhenmin

Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, 550002

Abstract

Wall-rock alteration of the Jinjiazhuang gold deposit is dominantly serpentinization, talcization, car-

万方数据

bonatization, and silicification. Studies of petrochemistry and trace elements show that the contents of SiO_2, CaO and Al_2O_3 decrease progressively while those of CO_2, H_2O, S, Au, Ag and Cu increase gradually, from unaltered, slightly altered and strongly altered diopsidites to the most intensely mineralized and altered rocks. Stable isotope studies of the altered rocks indicate the following: the $\delta^{13}C$ values are low, range from $-7.6‰$ to $-7.1‰$, the $\delta^{34}S$ values are low and positive ($\delta^{34}S_{\sum S} \approx \delta^{34}S_{sulphide} \approx +2.5‰$), and the $\delta^{18}O$ values are within the range of 12.10‰ to 22.3‰, much higher than those of normal ultrabasic rocks. It is possible that the hydrothermal fluids which led to wall-rock alteration were predominantly derived from meteoric water, and that carbon, sulphur and major ore-forming elements were extracted by fluids of meteoric origin reacting with the source rocks (ultrabasic rocks) from the ultrabasic rocks during the wall-rock alteration.

Key words: ultrabasic rock-type gold deposit; wall-rock alteration; geochemistry; Jinjiazhuang; Hebei Province

作 者 简 介

李红阳,男,1959 年生。1982 年于河北地质学院获学士学位,1988 年于长春地质学院数学地质专业获硕士学位,1998 年于中国地质科学院矿床专业获博士学位。现在中国科学院地球化学研究所从事矿床地球化学博士后研究。通讯地址:550002,贵阳市观水路 73 号,中国科学院地球化学研究所矿床开放室;**电话**:0851-5891238;**电子信箱**:zhm gao @ ms.gyig.ac.cn。

万方数据

万方数据 WANFANG DATA 文献链接

金家庄超基性岩型金矿围岩蚀变地球化学研究

作者： 李红阳， 杨竹森， 丁振举， 罗泰义， 高振敏， Li Hongyang， Yang Zhusen ， Ding Zhenju， Luo Taiyi， Gao Zhenmin

作者单位： 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放实验室,贵阳,550002

刊名： 地质论评 ISTIC PKU

英文刊名： GEOLOGICAL REVIEW

年，卷(期)： 2000，46(5)

被引用次数： 2次

参考文献(5条)

1. 彭岚;金光惠;李桂林 冀北小张家口超基性岩区金矿床地质特征 1990

2. 马配学;彭岚;李红阳 河北金家庄金矿床地质特征及矿床成因探讨 1992

3. 李红阳;闫升好;王金锁 初论地幔热柱与成矿--以冀西北金银多金属成矿区为例 1996(03)

4. 李红阳;彭岚;王国富 冀西北崇礼-赤城含金剪切带成矿机制 1994(03)

5. 陈安国;马配学;李红阳 河北省赤城县小张家口超基性岩体主要特征和时代 1996(01)

相似文献(1条)

1. 期刊论文 李红阳.丁振举.杨竹森.罗泰义.高振敏.LI Hong-yang.DING Zhen-ju.YANG Zhu-sen.LUO Tai-yi.GAO Zhen-min 金家庄超基性岩型金矿蚀变矿化过程中物质组分变化定量研究 -地质找矿论丛 2000,15(4)

金家庄金矿围岩蚀变主要为蛇纹石化-滑石化、碳酸盐化、绿泥石化及硅化.根据不同蚀变程度透辉岩化学成分与微量元素组分得失定量计算,SiO2,CaO,Al2O3,Na2O和CO,Cr,Pb等在各类蚀变透辉岩中明显亏损,在矿化蚀变岩和含金石英细脉中显著富集;CO2,H2O,S和Au,Cu在各类蚀变-矿化岩石中均显富集;TiO2,MgO,V,Sr及Pr表现为相对"惰性".SiO2,CaO,Al2O3等物质组分得失变化主要反映了蚀变矿化过程中元素在超基性岩内的再分配.围岩蚀变主要为超基性岩遭受富含CO2热水作用而发生的系列水-岩反应产物.

引证文献(2条)

1. 涂怀奎 中国西部铂矿床类型与找矿方向探讨[期刊论文]-化工矿产地质 2004(4)

2. 陶琰.朱丹.高振敏.罗泰义 金宝山铂族元素矿床铂族元素的热液活动研究[期刊论文]-矿物岩石地球化学通报 2003(1)

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_dzlp200005013.aspx

下载时间：2011年6月19日