

# 河北金家庄超基性岩型金矿床的地球化学特征

李红阳, 杨竹森, 振举, 罗泰义, 高振敏

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002)

[摘要] 对金家庄金矿的金属矿物化学成分、流体包裹体成分和同位素组成进行了分析。研究表明, 金家庄金矿在矿石矿物成分上以黄铜矿、闪锌矿、黄铁矿等主要金属矿物中普遍含有 Pt、Pd、Ni 等深源元素并出现针镍矿为特征, 在成矿物质来源上, 碳、硫和主要成矿元素主要来源于超基性岩体, 成矿热液则可能主要来源于地下热水溶液。

[关键词] 超基性岩型金矿床 地球化学 河北赤城金家庄

[中图分类号] P618. 51, P59 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2000)04-0024-04

金家庄金矿是我国为数不多的超基性岩型金矿床之一。为了探讨该类型金矿床的地质地球化学特征与成因机理, 作者对金家庄金矿主要金属矿物的化学成分、流体包裹体和同位素组成进行了分析。研究揭示, 金家庄超基性岩型金矿在矿石成分和成矿物质来源等方面具有某些独到之处。

## 1 矿床地质概况

金家庄金矿是冀西北张家口金矿集中区的一个组成部分<sup>[1, 2]</sup>, 矿体产在赤城县金家庄一小张家口超基性岩体的闪辉岩、透辉岩、辉岩及橄榄岩体内, 以及岩体与围岩接触带附近的混合岩化片麻岩之中(图1)<sup>[3, 4]</sup>。矿体形态多呈脉状, 走向近EW。矿体

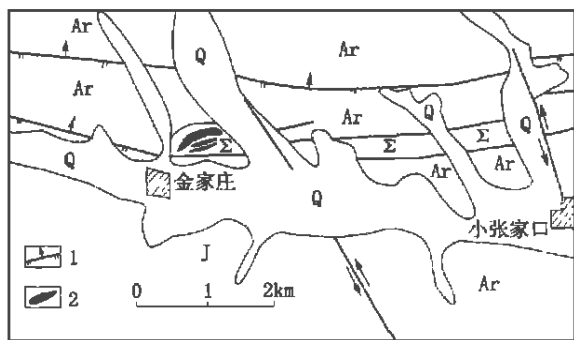


图1 金家庄金矿区域地质图

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

长80 m~200 m, 厚0.8 m~4.5 m。近矿围岩蚀变强烈, 主要有硅化、黄铁矿化、碳酸盐化、绿泥石化、绢云母化及钾化等。矿石类型以破碎蚀变岩(辉石岩)型为主, 含金石英脉型次之。前者又包括石英—多

金属硫化物蚀变岩型和绢云母—碳酸盐化蚀变岩型两种矿石。矿石构造有脉状、块状、浸染状和角砾状等。矿石结构有自形、半自形粒状结构和各种交代结构及碎裂结构。金属矿物以黄铁矿、方铅矿为主, 其次为闪锌矿、黄铜矿和磁铁矿。金银矿物有银金矿、自然金、脆银矿和深红银矿等。脉石矿物主要为绿泥石、石英、方解石及蛇纹石等<sup>[5]①</sup>。

## 2 金属矿物的化学成分特征

金属矿物的化学成分分析结果如表1所示, 黄铜矿、闪锌矿、黄铁矿等主要矿物中普遍含有 Pt、Pd、Ni 等深源元素, 构成金家庄金矿床金属矿物化学成分的一大特点。这种情况在其它类型的金矿床中比较少见。加之针镍矿的出现, 反映了超基性岩型金矿在金属矿物化学成分上具有某些独特之处。现将主要金属矿物的化学成分特征分述如下。

表1 主要金属矿物的电子探针分析结果 %

矿物 样号	黄铜矿		针镍矿		黄铁矿		方铅矿		闪锌矿
	WJ-20	B6-1	WJ-15	B6-1	J-3	WJ-15	J-3	WJ-20	WJ-15
S	34.65	32.92	34.05	52.96	52.92	12.25	12.20	12.02	31.50
Fe	30.23	27.53	0.31	47.50	47.51	0.12	0.14	0.08	4.53
Cu	34.76	32.15	0.56	0.17	0.17	—	—	0.24	0.76
As	0.36	0.23	—	0.10	0.12	0.2	0.10	0.21	0.16
Se	0.34	0.28	0.15	0.09	0.10	—	—	—	1.60
Te	0.22	—	—	0.08	0.07	0.25	0.14	0.14	0.05
Pb	—	—	—	—	—	88.08	88.05	88.54	—
Zn	0.10	0.02	—	—	—	—	—	—	60.31
Sb	—	0.04	—	0.27	0.25	0.07	0.05	—	0.12
Co	—	—	1.44	—	0.07	0.01	0.06	0.07	—
Ni	0.09	0.02	62.99	0.29	0.21	—	0.02	0.08	0.07
Pt	0.65	3.10	—	—	0.09	—	0.04	—	—
Pd	0.09	0.44	0.20	—	0.10	—	0.08	—	0.17
Au	—	2.73	—	—	—	—	—	—	—
Ag	—	0.26	0.10	0.15	0.11	0.29	0.25	0.29	0.18
Cd	—	0.33	0.22	0.12	0.13	—	—	—	0.57
Total	101.47	100.01	100.00	101.72	101.85	101.25	101.13	101.51	100.01

分析单位: 中国地质大学(北京)电子探针分析室。

[收稿日期] 1999-04-08; [修定日期] 1999-08-11; [责任编辑] 曲丽莉

[基金项目] 地质矿产部“八五”科技攻关项目和中国科学院王宽诚教育基金及中国科学院矿床地球化学开放研究基金联合资助。

① 彭岚, 马配学, 李红阳, 陈安国, 冀北与基性超基性岩有关的金矿床地质特征. 科研报告, 1993.

**黄铜矿** 如表 1 所示, 黄铜矿中含有较多的 Pt、Pd、Ni 等深源元素。其中 B6-1 号样品的黄铜矿含 Pt 3.10%、Pd 0.44%、Ni 0.02%、Au 2.73%。

**闪锌矿** 从电子探针分析结果(表 1)可以看出, 闪锌矿中铁的含量较高(4.53%)。闪锌矿中也含有一定的 Ni、Pd 等深源元素。其中 Pd 的含量为 0.17%, Ag 为 0.18%。

**针镍矿** 针镍矿属于此类金矿床的特征矿物, 常和黄铁矿、黄铜矿及磁铁矿连生或被这些矿物所包裹。针镍矿中 S 的含量为 34.04%, Ni 的含量为 62.99%, 均低于其标准值。Co 的含量为 1.44%, Fe 为 0.31%, Cu 为 0.56%。同其它金属硫化物一样, 针镍矿中也含有一定的 Pd。

**方铅矿** 方铅矿的化学成分如表 1。方铅矿 S 的含量为 12.02%~12.25%, 较理论值低。而 Pb 含量大于 88%, 高于理论值。As 和 Te 的含量较高, 一般大于 0.2%。Ag 在方铅矿中的含量较高, 3 个样品有 2 个含银 0.29%。单矿物光谱分析也证实, 银在方铅矿中的含量大于  $1000 \times 10^{-6}$ 。方铅矿是银的载体矿物。3 个方铅矿样品中有 1 个样品中含有一定的 Pt、Pd、Ni 等深源元素, 其中 Pt 0.04%、Pd 0.08%、Ni 0.02%。

**黄铁矿** 黄铁矿 S 的含量为 52.92%~52.96%, 低于其标准值(53.45%), 而 Fe 的含量为 47.50%~47.51%, 高于标准值(46.55%)。J-3 样品中黄铁矿也有一定的 Pt、Pd、Ni 等深源元素, 其中 Pt 0.09%、Pd 0.10%。不同晶体形态的黄铁矿中金含量普遍较低, 为  $(n \times 10) \times 10^{-9}$ 。含金量最高者为它形细粒状黄铁矿( $352.9 \times 10^{-9}$ )。黄铁矿中银的含量也较低, 多为  $n \times 10^{-6}$ , 最高  $40 \times 10^{-6}$ 。不同晶体形态的黄铁矿的 Co/Ni 为 1~1.62, 与岩浆热液成因的金矿床的 Co/Ni 比值比较接近。金矿中黄铁矿的 Au/Ag 也较低, 为 0.036~0.076。

**银金矿和自然金** 矿石中的金矿物以银金矿为主, 约占 70%, 自然金占 30%。本区金矿床金的成色在 524~993 之间, 平均不到 800, 相对偏低。

### 3 单矿物稀土元素分布特征

黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿等金属矿物的单矿物稀土元素分析结果见表 2。从表 2 中可以看出, 矿石中主要金属矿物的稀土元素含量普遍较低, 与赋矿的超基性岩十分接近。稀土元素的分布曲线如图 2 所示, 呈平缓的右倾型。中稀土元素略显富集, Eu 异常不显著, 与超基性岩“弓”形的稀土元素

分布曲线基本吻合, 反映成矿作用与超基性岩有关。

表 2 主要金属矿物的单矿物稀土元素含量  $10^{-9}$

	超基性岩 R (6 个样品平均)	黄铜矿 94-1	方铅矿 94-3	闪锌矿 94-2	黄铁矿 94-5
La	3.12	4.12	4.27	4.16	5.21
Ce	10.08	9.05	9.12	9.31	9.54
Pr	1.72	1.10	1.01	1.06	1.21
Nd	10.81	5.27	6.77	6.65	5.38
Sm	3.11	2.31	2.12	2.09	2.67
Eu	0.85	0.51	0.35	0.42	0.58
Gd	2.78	1.61	1.18	1.30	1.49
Tb	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3
Dy	1.44	1.01	0.98	0.94	1.01
Ho	0.20	0.14	0.12	0.17	0.20
Er	0.45	0.24	0.19	0.23	0.38
Tm	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.1
Yb	.26	0.15	0.12	0.13	0.20
Lu	< 0.1	0.04	0.02	0.02	0.01
Y	4.27	3.45	3.21	3.41	5.23
ΣREE	39.4	29.64	29.86	30.29	33.51

分析单位: 地矿部测试技术研究所; 94-1, 94-2, 94-3, 94-5 为单矿物编号。

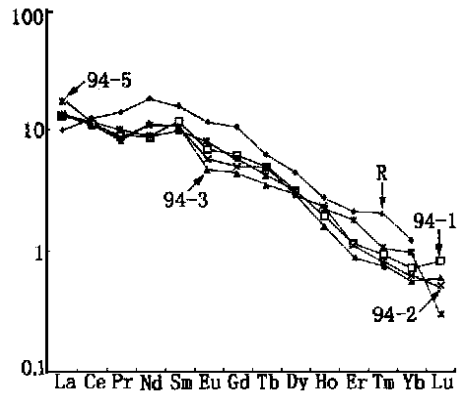


图 2 主要金属矿物的单矿物稀土元素配分模式 (编号见表 2)

### 4 流体包裹体成分

主要矿脉石英流体包裹体成分分析结果如表 3。可以看出, 流体包裹体成分普遍富含  $\text{CO}_2$ , 矿液中阴离子成分以  $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{F}^-$  为特征, 反映本区金矿床成矿溶液为富硫的  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$  型。流体包裹体成分的变化与金的含量有一定的相关性。比如, 伴随包裹体成分中  $\text{CO}_2$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  含量的增大, 矿石的含金品位也多表现出明显地增高。这一特征可能反映了成矿溶液中  $\text{CO}_2$  和 S 对金的迁移及沉淀起着重要的作用。

根据流体包裹体成分分析数据对成矿流体盐度计算, 金矿成矿溶液含盐量为 (0.61~13.3) wt%。成矿溶液盐度变化与矿石品位也有一定的相关性。其中富矿石对应的流体盐度为 (5~10) wt%, 低品位矿石所对应流体的盐度大于 10 wt% 或小于 5 wt%。

表 3 主要矿脉石英包裹体成分分析结果

10<sup>-9</sup>

样号	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CO <sub>2</sub>	O	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	O <sub>2</sub> +N <sub>2</sub>
BD-75	2964	971	12428	2896	597	5561	28313	187424	1176	613	276	1740006	7433
BD-17	11243	1556	—	622	162	863	17505	37462	764	—	65	926008	3871
KW-32	8770	3883	2451	534	115	3539	11596	34863	723	873	434	934333	2804
KW-6	—	3503	—	—	307	3049	5175	108568	865	—	46	871458	4830
KW-57	3666	3035	74519	1183	201	9082	11646	41288	907	473	150	88718	6670
KW-3	807	1683	—	—	1809	4124	8443	75327	1097	230	84	902083	4610
KW-12	746	1888	1701	985	218	2712	18838	132448	513	59	66	778358	3480
KW-8	248	124	10482	248	1902	3434	12220	48577	4743	1062	639	886007	21246
BD-35	725	1268	—	—	1131	2785	4465	24988	5165	353	243	929465	30320

资料来源:中国地质大学河北金家庄金矿科研组。

石英中流体包裹体的均一温度变化范围较大。石英—黄铁矿脉中石英流体包裹体的均一温度较高,为 320℃~400℃;多金属硫化物型矿脉流体包裹体的均一温度为 250℃~320℃;碳酸盐型矿脉的形成温度最低,方解石的爆裂温度为 270℃。

### 5 同位素地球化学特征和成矿物质来源分析

#### 5.1 硫同位素组成特征和硫的来源

硫同位素研究测定的矿物包括黄铁矿、方铅矿及黄铜矿,其结果如表 4。黄铁矿的硫同位素组成变化范围为 δ<sup>34</sup>S = -1.4‰~+4.7‰,方铅矿的 δ<sup>34</sup>S = 1.3‰~3.3‰。2 个黄铜矿样品的硫同位素组成变化较大,分别为 2.6‰和 -8.72‰。总体看来,各种硫化物的硫同位素组成接近,矿物之间的硫同位素分馏作用不明显。因此,各种硫化物 δ<sup>34</sup>S 平均值基本上代表了成矿溶液的同位素组成,即 δ<sup>34</sup>S<sub>ΣS</sub> ≈ δ<sup>34</sup>S<sub>硫化物</sub> ≈ +2‰,接近于幔源硫。

表 4 主要硫化物的硫同位素组成 ‰

样号	采样位置	赋矿围岩	黄铁矿	黄铜矿	方铅矿
02-7	ZK0-2	透辉岩	2.6~2.7(2)		
02-12	ZK0-2	透辉岩	4.7		
12-1	ZK1-2	透辉岩	1.2~1.6(2)		
12-4	ZK1-2	透辉岩	-0.2~+0.2(2)		
12-5	ZK1-2	透辉岩	2.1~2.3(2)		
12-8	ZK1-2	透辉岩	3.1	2.6	
12-0	ZK1-2	透辉岩	-0.9		
12-10	ZK1-2	透辉岩	-1.4		
87-01	地表	透辉岩			3.1
87-02	2 号硐	透辉岩			3.1
87-03	5 号硐	透辉岩			3.3
115	露天坑	透辉岩			2.81
103	K4-1	透辉岩			2.96
101	地表	透辉岩		-8.72	
T22 *	D8	透辉岩	0.9		
T23 *	D8	透辉岩			1.5
T24 *	D21	透辉岩			1.4
T28 *	4 号脉	透辉岩			1.3

分析单位:中国有色金属工业总公司吉林地质科学研究所; \* 据胡达骥(1992); (2): 样品数。

#### 5.2 碳同位素特征及碳的来源

样品来自 1 号硐中的方解石,其分析结果如表 5。可以看出,碳同位素组成数值较低,δ<sup>13</sup>C = -7.5‰

~-7.6‰。此值与赋矿围岩—超基性岩的碳同位素组成接近,表明矿液中的碳以幔源为主,即主要由超基性岩提供。

#### 5.3 氢、氧同位素组成特征和水的来源

样品取自矿区内不同期次的石英及方解石,分析结果如表 5,石英矿物的氧同位素组成为 δ<sup>18</sup>O<sub>石英</sub> = 12.02‰~12.66‰。方解石矿物的氧同位素组成为 δ<sup>18</sup>O = 22.3‰。

利用 Mahews(1979)实验确定的石英—水氧同位素平衡分馏方程计算了成矿溶液的氧同位素组成(表 5)。成矿溶液的氧同位素变化范围为 δ<sup>18</sup>O<sub>H<sub>2</sub>O</sub> = 5.56‰~6.22‰,δD 的分布范围为 -95‰~-103‰。可见矿液的氢、氧同位素组成低于正常岩浆水。假定源于中生代的大气降水与辉石岩进行同位素交换,当水—岩比值(W/R)为 0.05 时,可以计算出氢、氧同位素组成为 δ<sup>18</sup>O<sub>H<sub>2</sub>O</sub> = 3.46‰,δD<sub>H<sub>2</sub>O</sub> = -98.8‰,其与成矿溶液的氢氧同位素组成(δ<sup>18</sup>O<sub>H<sub>2</sub>O</sub> = 5.56‰~6.22‰,δD = -95‰~-103‰)基本吻合。因此,可以认为成矿溶液可能主要源于大气降水。

表 5 碳、氢、氧同位素组成 ‰

样号	取样位置及赋矿围岩	测定矿物	δ <sup>13</sup> C	δD-SMOW	δ <sup>18</sup> O-SMOW	δ <sup>18</sup> O <sub>H<sub>2</sub>O</sub> (计算) #
07	1 号脉	方解石	-7.5			
08	1 号脉	方解石	-7.6			
7	超基性岩	方解石			22.3	
8	超基性岩	方解石			22.3	
3	超基性岩	石英			12.02	5.59
4	超基性岩	石英		-103	12.10	5.56
5	超基性岩	石英		-95	12.66	6.22
87-11	橄辉岩	全岩	-3.31		19.4	
87-34	辉岩	全岩	-9.0		19.0	

分析单位:中国地质科学院矿床地质研究所; # 据 1000L<sub>矿</sub>石英-水 = 3.05 × 10<sup>6</sup> T<sup>-2</sup> - 2.05 (Mathews, 1979) 计算。

### 6 结论

1) 在矿石矿物成分上,黄铜矿、闪锌矿、黄铁矿等主要金属矿物中普遍含有 Pt、Pd、Ni 等深源元素,并出现针镍矿。

2)主要金属矿物的稀土元素含量普遍较低,中稀土元素略显富集, Eu 异常不显著,与赋矿的超基性岩“弓”形的稀土元素分布曲线基本吻合。

3)流体包裹体成分普遍富含 CO<sub>2</sub>,矿液中阴离子成分以 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > Cl<sup>-</sup> > F<sup>-</sup> 为特征,为富硫的 H<sub>2</sub>O—CO<sub>2</sub> 型。

4)硫的同位素组成  $\delta^4S_{\Sigma S} \approx \delta^4S_{\text{硫化物}} \approx +2\%$ , 接近于幔源硫。碳同位素组成数值较低为  $\delta^3C = -7.5\% \sim -7.6\%$ ,与赋矿围岩——超基性岩的碳同位素组成接近,以幔源为主。

5)矿液的氢、氧同位素组成  $\delta^8O_{H_2O} = 5.56\% \sim 6.22\%$ ,  $D = -95\% \sim -103\%$ , 低于正常岩浆水,指示成矿溶液可能主要源于大气降水。

6)金家庄金矿床是以超基性岩体为主要矿物质来源,以大气降水为迁移介质的超基性岩型或蚀变辉石岩型的中温热液金矿床。

[参考文献]

- [1] 李红阳, 闫升好, 王金锁, 等. 初论地幔热柱与成矿—以冀西北金银多金属成矿区为例[J]. 矿床地质, 1996, 15(3).
- [2] 李红阳, 彭岚, 王国富. 冀西北崇礼—赤城含金剪切带成矿机制[J]. 贵金属地质, 1994, 4(3).
- [3] 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[J]. 岩石学报, 1996, 12(1): 152~162.
- [4] 彭岚, 金光惠, 等. 冀北小张家口超基性岩区金矿床地质特征及其成矿问题[M]. 金矿地质论文集(第一辑). 北京: 地质出版社, 1990.
- [5] 马配学, 彭岚, 李红阳, 等. 河北金家庄金矿床地质特征及矿床成因探讨[J]. 河北地质学院学报, 1992, (5).

## CHARACTERISTICS OF GEOCHEMISTRY IN THE JINJIAZHUANG ULTRABASIC ROCK—TYPE GOLD DEPOSIT IN CHICHENG COUNTY, HEBEI PROVINCE

LI Hong—yang, YANG Zhu—sen, DING Zhen—ju, LUO Tai—yi, GAO Zhen—min

**Abstract:** The Jinjiazhuang gold deposit exists in the Zhangjiakou gold mineralized area of northwest Hebei. The ore bodies mostly occur in Xiaozhangjiakou ultrabasic rocks mainly consisting of diopsidite. Electron microprobe analysis indicated that it is characterized by the richness of platinum group elements in metallic minerals such as chalcopyrite, galena, sphalerite and pyrite, and the presence of millerite in the gold ore. Studies on carbon, sulfur and lead isotope show that carbon, sulfur and metallogenic elements chiefly come from the Xiaozhangjiakou ultrabasic rocks. However the ore—fluids were largely heated underground waters supported by the hydrogen and oxygen isotopic evidence.

**Key words:** ultrabasic rock—type gold deposit, geochemistry, Jinjiazhuang

第一作者简介:

李红阳(1959年—),男。1982年毕业于河北地质学院地质系矿产普查专业,1988年在长春地质学院获数学地质专业硕士学位,1998年在中国地质科学院获矿床学博士学位。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工作。

通讯地址:贵州省贵阳市观水路73号 中国科学院地球化学研究所矿床开放室 邮政编码:550002



(上接第10页)

## TO CARRY OUT THE SERIES STANDARDS OF GB/T19000—ISO9000 FOR GEOLOGY EXPLORATION DEPARTMENTS

LI Zhi—ming

**Abstract:** There are lots of problems on hand of quality management of Geology Exploration departments, and therefore, to meet the needs of their economic development, Geology Exploration Departments have to carry out the quality management and quality assurance series standards. According to the peculiarity of their works and results, their works can be classified as geology investigation research and geology exploration technique method, and have themselves quality management model.

**Key words:** Geology Exploration Departments, GB/T19000—ISO9000 standards

第一作者简介:

李智明(1963年—),男。高级工程师,1984年毕业于中南矿冶学院地质系,1989年中南工业大学获硕士学位,现在在中国地质调查局西北项目管理办公室从事地质调查项目管理工作。

通讯地址:西安市友谊东路166号 中国地质调查局西北项目管理办公室 邮政编码:710054

