

河南元古宙爆破角砾岩型店坊金矿的 黄铁矿特征及其生成条件*

赵嘉农 任富根 丁士应 李增慧
(中国地质科学院天津地质矿产研究所, 天津300170)

摘 要 元古宙爆破角砾岩型店坊金矿床中的黄铁矿是主要载金矿物。黄铁矿多为{100}, 属硫亏损型($\text{Fe}_{1.0000}\text{S}_{1.8775-1.9821}$), $\text{Co}/\text{Ni} > 1(1.5-5.875)$, 热电系数导型为N型, $\delta^{34}\text{S}=4.8\text{‰}\sim 6.8\text{‰}$, 形成于温度较高($220\sim 438^\circ\text{C}$)、氧逸度为 $\log f_{\text{O}_2} < -37 \times 10^5\text{Pa}$ 、硫逸度为 $\log f_{\text{S}_2} = -39.85 \times 10^5 \sim -35.65 \times 10^5\text{Pa}$ 、氧化还原条件发生变化的开放系统中。这是与熊耳群岩浆侵入-火山喷发活动有关的爆破角砾岩型金矿成矿作用演化的记录和标志。

关键词 黄铁矿 爆破角砾岩型矿床 元古宙 河南

CHARACTER AND FORMING CONDITIONS OF PYRITE IN DIANFANG GOLD DEPOSIT OF PROTEROZOIC EXPLOSION BRECCIA TYPE, HENAN PROVINCE

Zhao Jianong Ren Fugen Ding Shiyang Li Zenghui
(Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, CAGS, Tianjin 300170)

Abstract Pyrites in Dianfang gold deposit of Proterozoic explosive breccia type are mainly gold-bearing minerals. Its crystal face symbol is measured as {100} and belongs to sulfur-depleted type ($\text{Fe}_{1.0000}\text{S}_{1.8775-1.9821}$), $\text{Co}/\text{Ni} > 1(1.5-5.875)$. The conductivity of pyroelectric coefficient is N type. The $\delta^{34}\text{S}$ ranges from 4.8‰ to 6.8‰. The formation conditions of pyrites is related to the magma intrusive-volcanic eruption activities at Xionger era, and is in the open system, in generally, the temperature is higher, ranges from 220°C to 438°C , the oxygen fugacity is high ($\log f_{\text{O}_2} > -37 \times 10^5\text{Pa}$) and the sulfur fugacity is low ($\log f_{\text{S}_2} = -39.85 \times 10^5 \sim -35.65 \times 10^5\text{Pa}$). The formation of the pyrite to plays an important role in marking and recording the gold metallogenic processes of Proterozoic explosion breccia type.

Key Words pyrite, explosive breccia type deposit, Proterozoic, Henan Province

1 引言

店坊金矿位于豫西外方山隆起西北部, 嵩县大章乡境内, 产在熊耳群焦园组火山角砾岩筒的南部。角砾岩筒平面上呈椭圆形, 南北宽约500 m, 东西延展1400 m, 受元古宙初始活动的东西向马超营断裂控制。角砾岩筒的围岩为焦园组流纹岩和英安质流纹岩。角砾岩筒的角砾成分复杂, 有流纹岩、安山岩、粗面岩、凝灰岩、石英岩和白云岩等, 偶见花岗岩角砾。砾石分选性差、大小混杂, 胶结物为火山碎屑和火山灰, 是与火山喷发通道有关的爆破角砾岩体。

店坊金矿以金伴生铅矿化为特征, 是多次矿化活动的产物, 可划分为3个矿化阶段: 早期为矿化角砾岩。角砾有明显蚀变现象, 白云岩角砾常有退色、重结晶现象, 边部-核部有星散状黄铁矿产出; 火山岩角砾和岩屑边缘多为石榴石化、透辉石化、阳起石化, 也有星散状黄铁矿, 代表性矿物有锰铝榴石、透辉石、黄铁矿、方铅矿。中期为复成分矿化角砾岩, 均已硅化、方解石化、阳起石化、绿泥石化、黑云母化, 同时出现的黄铁矿和方铅矿及伴生的自然金、针碲银金矿等矿物, 以条带状、斑状、团块状为特征。晚期以乳白色萤石化为标志, 也伴随有斑状、团块状和星散状黄铁矿产出^[1]。

2 黄铁矿物理性质及特征

店坊金矿三个矿化阶段都有黄铁矿产出, 但自形程度存有明显差异, 早、中期多为他形, 晚期则以粗大的

自形程度高的立方体 {100} 斑晶为主。

表1 黄铁矿一般特征
Table 1 General character of pyrites

样 号	产 状	形 态	硬 度 kg/mm ²	比重 (计算)	晶胞参数	矿化期
Q86505	星散状黄铁矿	他形	1331.7	5.06	5.4280	早
891301-54-1	方解石、黄铁矿角砾	他形	1225.7	5.09	5.4189	早
891301-1	石英、绿泥石、方解石、黄铁矿、方铅矿角砾	他形	1331.7	5.09	5.4191	中
891303-17-2*	磁黄铁矿、黄铁矿、赤铁矿、阳起石、白铁矿角砾	条纹状	792	5.09	5.4176 (计算)	中
891303-17-4	磁黄铁矿、黄铁矿、白铁矿、磁黄铁矿(赤铁矿)角砾	他形		5.05	5.4181 (计算)	中
891301-54-2	石英、方解石、黄铁矿、萤石角砾	立方体 {100}	1206	5.06	5.4171	晚
891301-18	粗晶方解石、黄铁矿角砾	立方体 {100}		5.08	5.4202	晚

* 白铁矿

各个矿化阶段黄铁矿的伴生矿物明显不同，早期主要为石榴石、透辉石、阳起石；中期为阳起石、黑云母、绿泥石、方解石；晚期则是萤石、方解石、石英。

黄铁矿的特征及有关矿物组合(表1)表明其形成于氧逸度高、硫逸度低、有利于 {100} 晶体生长的条件 [2]。

2.1 反射率测定

2.1.1 黄铁矿反射率色散值及颜色指数

采用德国MPV-3型显微光度计测定了各矿化阶段黄铁矿的反射率色散值及颜色指数(表2)。主要特点是颜色主波长(λ d)很相近(560~568微米)，颜色纯度(Pe)略有差异，视觉反射率(Rvis)差异较大，显示早期—中期—晚期的黄铁矿视觉反射率逐渐降低的趋势，除温压条件的影响外，也与其所含元素和微量元素有关(表7)。

表2 黄铁矿的反射率色散值和颜色指数
Table 2 Reflectivity dispersion value and colour indices of pyrite

样 号	矿化阶段	波 长(nm)										
		400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600
891300-54	早期	42.98	43.88	45.53	47.59	48.70	49.95	51.03	52.10	53.12	53.88	54.59
891303-16-2	中期	39.93	42.38	45.06	46.03	47.03	48.55	49.87	50.94	51.99	52.80	53.54
891300-31	晚期	49.05	46.56	44.64	42.28	40.91	40.99	41.82	43.09	44.52	46.52	47.87
样 号	矿化阶段	波 长(nm)					Rvis(%)	x	y	λ d(nm)	Pe	
		620	640	660	680	700						
891300-54	早期	55.40	56.89	58.11	59.42	60.18	52.78	0.3242	0.3299	565	0.0769	
891303-16-2	中期	54.40	55.80	57.27	58.72	59.54	51.63	0.3250	0.3303	560	0.06	
891300-31	晚期	49.79	52.24	54.24	57.57	59.75	44.86	0.3238	0.3158	568	0.120	

2.1.2 条纹状白铁矿反射率色散值及颜色指数

中期白铁矿是磁黄铁矿演化成黄铁矿+白铁矿+磁铁矿(赤铁矿)组合过程中生成的一种矿物，它与同时生成的黄铁矿的特征存有差异(表3)。

表3 条纹状白铁矿反射率色散值和颜色指数
Table 3 Reflectivity dispersion value and colour indices of striatus poliopyrites

波长(nm)	R ' g	R ' p
400	53.09	47.02
420	49.63	46.09
440	50.12	45.98
460	49.82	44.63
480	48.26	44.11
500	47.85	44.94
520	48.03	45.77
540	48.14	45.93
560	48.17	45.59
580	48.54	45.15
600	49.29	44.36
620	50.04	43.88
640	50.19	43.48
660	51.29	42.85
680	51.76	42.56
700	51.86	42.23
视觉反射率Rvis(%)	48.58	45.16
色度坐标x	0.3111	0.3079
色度坐标y	0.3124	0.3167
主波长λ d(nm)	571	573
颜色纯度Pe	0.1064	0.0833

沈阳地质矿产研究所姜信顺测定

2.2 χ 射线衍射分析

纯黄铁矿的晶胞参数 a_0 为5.4176Å，一般认为Co、Ni、As进入黄铁矿晶格会使 a_0 值增大。利用黄铁矿As含量与 a_0 值的关系式，计算晶胞参数：

$$a_0(\text{Å})=5.4174+0.0312\times \text{As}(\text{wt}\%) \text{ [3]}$$

计算结果见表4，可见计算值与实测值均比纯黄铁矿的 a_0 值偏大，而黄铁矿中Co、Ni含量甚微，其 a_0 值偏大主要是由于As类质同象替代S的结果，反映了黄铁矿处于硫逸度低的生成环境。

表4 黄铁矿含砷量和晶胞参数
Table 4 As content and cell parameter(a_0)

序号	样 号	As含量(%)	晶胞参数(Å)	
			实测值	计算值
1	891303-1	0.10	5.41913	5.4177
2	891300-54-1	0.21	5.41913	5.4181
3	891303-17-2	0.07		5.4176
4	891303-17-4	0.17		5.4179
5	891300-54-2		5.42804	
6	891301-18		5.42015	
7	Q86505		5.42804	

天津地质矿产研究所侯隽测定

2.3 热电系数(α)

Н о в г р о д в а等(1980)指出, 高温有利于Co、Ni代替黄铁矿中的Fe, 低温时As、Sb在黄铁矿中代替硫。高温形成的黄铁矿为N型(电子型), 低温形成的黄铁矿为P型(空穴型), 中温形成的黄铁矿为N与P型(电子-空穴型)共存即混合型 [2] 。本区早期矿化阶段星散状黄铁矿属N型, 中期矿化阶段黄铁矿属N型, 后期矿化阶段斑状黄铁矿属N型和NP型。店坊爆破角砾岩型金矿床中的黄铁矿主要是在较高温度条件下形成的, 这是本类型金矿床的标型特征(表5)。但随着成矿作用的进程, 温度有逐渐降低的趋势。

表5 黄铁矿的热电系数(α)
Table 5 Thermoelectrical coefficient of pyrite

序号	样号	矿化阶段	产 状	热电系数(a) μ V/°C
1	Q86505	早 期	星散状黄铁矿	-111.2(电子型)N型 Au=3.5×10 ⁻⁶
2	Q86611	早 期	星散状黄铁矿	-148.7 N型
3	891300-18	中 期	黄铁矿、方解石小型角砾	-136.5 N型
4	Q86613	晚 期	斑状黄铁矿角砾	-158.7~+338.7 (电子-空穴型)NP型 Au=2.87×10 ⁻⁶
5	891300-15-2	晚 期	石英、萤石、方解石、黄铁矿 {100} 角砾	-131.4 N型
6	891300-18	晚 期	粗晶黄铁矿 {100} 方解石角砾	-248~+494 NP型

中国地质大学(北京)邵伟测定, 1990

3 黄铁矿化学组分特征

3.1 化学成分

电子探针测定黄铁矿的化学成分和化学式(表6)表明, 店坊金矿黄铁矿S/Fe值大多数小于理论值1.1480, 属硫亏损型, 反映出该矿床的矿化处于成矿物质(S)供应不充足, 氧逸度高, 硫逸度低, 温度梯度大的环境 [3] 。

表6 黄铁矿(白铁矿)电子探针分析(wt%)
Table 6 Electronic analysis of pyrite

序号	样 号	Fe	S	Cu	Co	Ni	As	Ag	Au
1	891300-54-1	45.68	53.02	0.08	0.47	0.08	0.21	0.00	0.00
2	891303-1	46.51	53.14	0.04	0.06	0.04	0.1	0.00	0.00
3	891303-17-2*	46.57	52.95	0.03	0.09	0.02	0.07	0.00	0.00
4	891303-17-4	47.07	51.76	0.01	0.07	0.03	0.17	0.09	0.00
序号	样 号	Zn	Pb	Mn	总计	Co/Ni	S/Fe	分子式	

1	891300-54-1	0.00	0.00	0.00	99.54	5.875	1.1622	Fe _{1.0000} S _{1.8775}
2	891303-1	0.00	0.00	0.00	99.98	1.5	1.1427	Fe _{1.0000} S _{1.9073}
3	891303-17-2*	0.00	0.00	0.00	99.73	4.5	1.1372	Fe _{1.0000} S _{1.9165}
4	891303-17-4	0.00	0.00	0.00	99.20	2.33	1.0995	Fe _{1.0000} S _{1.9821}

中国地质科学院矿床研究所余静测定

注：1.早期矿化：方解石、黄铁矿角砾；2.中期矿化：方解石、石英、绿泥石、方铅矿、黄铁矿、白铁矿角砾；3.中期矿化：磁黄铁矿、黄铁矿、条纹状白铁矿、赤铁矿、阳起石角砾；4.中期矿化：磁黄铁矿、黄铁矿、条纹状白铁矿、磁铁矿(赤铁矿)角砾。

早期黄铁矿(No.1)Co /Ni高达5.875，S /Fe较高，为1.1622，分子式为Fe_{1.000} S_{1.8775}；中期(No.2、3、4)Co /Ni较低(1.5~4.5)，S /Fe较低(1.0995~1.1427)，分子式分别为Fe_{1.0000} S_{1.9073}、Fe_{1.0000} S_{1.9165}、Fe_{1.0000} S_{1.9821}，显示出Co /Ni、S /Fe渐次降低的趋势。而中期黄铁矿(No.3)是在磁黄铁矿演化成黄铁矿+条纹状白铁矿+磁铁矿(赤铁矿)^[4]组合过程中产生的，由于环境的开放造成了部分硫的逸散，促使黄铁矿(白铁矿)中S /Fe值降得更低。黄铁矿的Co /Ni>1(1.5~5.875)，具爆破角砾岩型的特征，是火山成因标志。

3.2 微量元素特征

经中子活化测定黄铁矿中的微量元素As、Sb、Co、Th和K含量较高(表7)。早期矿化阶段的黄铁矿K(9.69×10⁻⁶)、Sc(6.66×10⁻⁶)、Cr(8.30×10⁻⁶)、Sb(5.83×10⁻⁶)、Zn(2.99×10⁻⁶)、Ta(7.65×10⁻⁶)等元素含量较之其它成矿阶段为高，而Mo(1.58×10⁻⁶)、As(1.0×10⁻⁶)则较低；各个成矿阶段产出的黄铁矿都含有金(2.87×10⁻⁶~3.96×10⁻⁶)，标志黄铁矿是主要的载金矿物。

表7 黄铁矿微量元素(×10⁻⁶)
Table 7 Trace element in pyrite

序号	样 号	K	As	Mo	Sb	W	Au	V	Sc	Cr	Fe
1	Q86505	9.69	1.00	1.58	5.83	8.96	3.56	4.38	6.66	8.30	4.79
2	Q86453	4.38	6.17	2.55	2.08	7.08	3.06	5.01	1.93	3.55	3.88
3	Q86613	5.60	1.27	3.92	3.98	3.80	2.87	1.09	3.54	4.07	5.68
4	Q86624	3.11	4.07	2.31	3.28	8.88	3.37	1.71	3.55	4.81	5.39
序号	样 号	Co	Zn	Rb	Sr	Zr	Cs	Ba	Hf	Ta	Th
1	Q86505	2.66	2.99	2.98	1.34	2.67	4.80	1.06	8.42	7.65	3.68
2	Q86453	9.60	1.53	4.60	3.26	4.62	1.27	2.49	3.80	3.78	9.89
3	Q86613	6.30	1.23	1.28	2.23	8.56	9.79	1.02	3.64	1.31	1.21
4	Q86624	1.95	1.01	1.73	1.27	1.85	5.40	1.16	4.24	1.82	2.54

中国科学院高能物理所测试中心测定，1986

注：1.早期矿化：901钻孔机台火山角砾岩中星散状黄铁矿；2.中期矿化：Tc57槽矿化角砾岩中星散状黄铁矿；3.晚期矿化：后沟英安斑岩中斑状黄铁矿；4.晚期矿化：902钻孔143处以角砾产出的斑状黄铁矿。

3.3 稀土元素特征

中子活化测定黄铁矿中的稀土元素含量较低(34.37×10⁻⁶~50.80×10⁻⁶)(表8)。稀土元素配分模式表明轻稀土亏损(<10)，中、重稀土富集(10~100)(图1)。各个成矿阶段黄铁矿的特征有明显的差异，早期成矿阶段星散状黄铁矿有Ce、Eu正异常，而中晚期成矿阶段星散状、斑状黄铁矿具Ce、Nd、Yb负异常，与早期有明显的差别。Eu异常的演化，反映了成矿阶段流体物化条件的演变。初期成矿阶段Eu正异常，值较高(Eu/Sm=1.784、Eu/Eu^{*}=9.515)，表明流体中初始富含U；中期成矿阶段Eu下降(Eu /Sm=0.831、Eu /Eu^{*}=4.34)；晚期成矿阶段较低(Eu/Sm=0.299~0.481、Eu/Eu^{*}=2.138~2.567)，指示由还原条件转化为氧化条件，与磁黄铁矿演变为白铁矿+黄铁矿+磁铁矿(赤铁矿)所指示的条件相似，标志成矿过程是从封闭系统向开放系统演化。

表8 黄铁矿稀土元素含量(10⁻⁶)
Table 8 REE content in pyrite

样 号	地质特征	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm
Q86505	早期火山角砾岩中黄铁矿	3.870	3.850	1.090	5.110	3.750	6.690	0	2.76	0	5.400	0	1.110
Q86453	中期矿化阶段星散状黄铁矿	1.120	8.700	2.280	1.170	1.720	1.430	0	6.31	0	2.700	0	2.720
Q86613	晚期矿化阶段砾岩斑状黄铁矿	3.220	4.050	1.150	2.130	6.560	2.630	0	4.76	0	9.97	0	5.550
Q8624	晚期矿化阶段斑状黄铁矿	3.060	2.300	7.790	3.060	3.740	1.800	0	3.48	0	5.81	0	3.260
样 号	地质特征	Yb	Lu	Y	Σ REE	LREE	HREE		Eu /Sm		Eu /Eu [*]		
Q86505	早期火山角砾岩中黄铁矿	9.780	3.010	0	46.420	24.360	22.060		1.784		9.515		
Q86453	中期矿化阶段星散状黄铁矿	2.810	3.410	0	34.37	16.420	17.950		0.831		4.434		
Q86613	晚期矿化阶段砾岩斑状黄铁矿	8.720	2.060	0	50.80	19.740	31.060		0.401		2.138		
Q8624	晚期矿化阶段斑状黄铁矿	4.770	1.130	0	40.20	21.750	18.450		0.481		2.567		

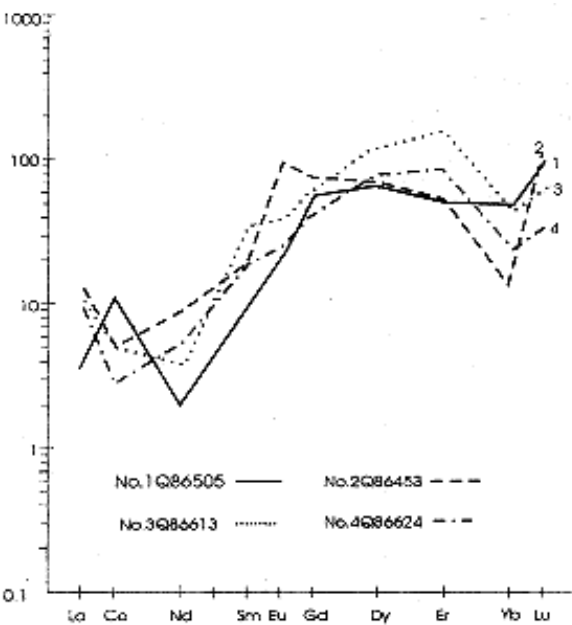


图1 黄铁矿的稀土元素图型
Fig.1 REE pattern of pyrite

1.早期矿化阶段星散状黄铁矿；2.中期矿化阶段星散状黄铁矿；3-4.晚期矿化阶段斑状黄铁矿

4 黄铁矿硫、铅同位素组成

4.1 硫同位素组成

店坊金矿矿石的硫同位素组成可分为两种类型：早期矿化阶段黄铁矿角砾 $\delta^{34}\text{S}$ 为4.8‰~5.5‰，平均5.1‰，总体平均5.77‰；晚期团块状、细脉状黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 为5.1‰~6.8‰，平均5.88‰，极差变化小，塔式效应明显，显示稍富重硫($\delta^{34}\text{S}$)的正值特征。上述特征表明矿石硫同位素分馏不明显，均一程度较高，接近陨石硫组成，显示深源特征；同时指示本区成矿物质来源于深源岩浆活动形成的熊耳群火山岩系。

4.2 铅同位素组成

分析店坊金矿铅同位素组成，英安斑岩及其中星散状黄铁矿同位素组成 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 17.2203~17.4121， $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 15.3850~15.5358， $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 37.1458~37.9026，显示地幔与造山带来源；火山角砾岩中早期星散状黄铁矿 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 17.0143~17.3138， $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 15.3803~15.7358， $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 37.6677~38.7644，显示地幔来源，只有一个落入上地壳来源范围内；火山角砾岩中晚期斑状黄铁矿 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 16.9514~17.0151， $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 15.2031~15.3959， $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 37.3210~37.7440，显示地幔与下地幔来源；火山角砾岩中晚期细脉状黄铁矿 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 17.2203， $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 15.3502， $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 37.4526，显示地幔来源；火山角砾岩中黄铁矿角砾 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 17.0001， $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 15.4664， $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 37.8591，显示造山带来源。铅同位素特征表明，黄铁矿铅同位素主要为地幔及其

与下地壳混合来源。

5 生成条件

5.1 成矿温度

与黄铁矿伴生的脉石矿物有锰铝榴石、阳起石、方解石、石英等，由均一法测定的温度(表9)表明以锰铝榴石矿物为标志的早期成矿阶段均一温度较高，达438℃，以阳起石矿物指示的早-中期矿化阶段的均一温度为260～350℃，而中晚期矿化阶段方解石石英均一温度为170～340℃，表明成矿温度有由高向低变化的趋势，矿化是在中-高温条件下发生的。无矿化的石英均一温度变化不定，可出现较高的温度(表9中的7、8项)，与矿化石英(170℃)有明显的差别。

表9 矿物包裹体均一温度
Table 9 Homogeneous temperature of mineral

序号	样 号	矿 物 组 合	均一温度(℃)
1	Q891305-46	锰铝榴石+黄铁矿+方铅矿	438
2	Q891305-38	阳起石+黄铁矿+方铅矿	320
3	Q89-1303-17	阳起石+黄铁矿+方铅矿	350、340、330、270、260
4	Q891305-41-2	方解石+黄铁矿	340、290
5	Q89-1301-10	方解石+黄铁矿	280、250、220
6	Q89-1303-24	石英+方铅矿	170
7	Q89-1303-23	石英(无矿化)	380
8	S89-3	石英(无矿化)	140、195、290、260、305、335、341、432
9	S89-12	花岗斑岩中石英	272
10	S89-13	流纹岩中石英	373

5.2 硫逸度、氧逸度

当六方磁黄铁矿与黄铁矿共存时，磁黄铁矿的成分与温度和硫逸度的关系(据Toulmin和Barton, 1964) [5]：

$$\log f_{S_2} = (70.03 - 85.83x_{FeS}) [(1000/T) - 1] + 39.30 \sqrt{1 - 0.998x_{FeS}} - 11.91$$

式中 f_{S_2} (硫逸度)($\times 10^5 Pa$)； x_{FeS} 六方磁黄铁矿中FeS的摩尔分数；T为温度，采用891303-17-4样品中磁黄铁矿主成分Fe63.07%和36.65%，故 $x_{FeS}=0.995$ ，温度为330～350℃，得硫逸度： $\log f_{S_2}$ 为-39.85～-35.65($\times 10^5 Pa$)，证实本矿床形成时硫逸度低。硫逸度、氧逸度是反映成矿过程中氧化-还原环境，且互为消长关系的统一体。硫逸度低表明成矿作用发生于偏氧化环境，也就是氧逸度偏高的开放系统，店坊金矿 $\log f_{O_2} < -37 \times 10^5 Pa$ 就说明了这一点，这与前面黄铁矿的物理、化学性质所反映的物化条件相吻合。

5.3 物质来源

5.3.1 硫同位素示踪信息

结合店坊金矿矿石硫同位素组成及其产状特征，以低正值为主的矿石硫同位素($\delta^{34}S$)与围岩火山角砾岩、英安斑岩中的黄铁矿 $\delta^{34}S$ 3.0‰～8.4‰，平均6.1‰相近，也与熊耳群火山岩中硫化物组成($\delta^{34}S$ 4.2‰)(赵瑞等, 1993资料)相似。表明二者硫源相同，经历了相似的物化条件下的分馏作用，也就是说主要载金矿物黄铁矿与围岩火山角砾岩中的黄铁矿硫源相同，指示成矿物质来源与火山活动有关。

5.3.2 铅同位素示踪信息

店坊金矿矿石中黄铁矿与围岩火山角砾岩中的黄铁矿铅同位素组成为正常铅范围，它主要是地幔及其与下地壳、造山带的混合来源，显示与熊耳群火山岩具有相似的铅同位素组成和相同的来源 [7]。铅同位素组成显示成矿物质与熊耳期火山活动有着密切的内在联系。

综上所述，店坊金矿黄铁矿等成矿物质与熊耳期岩浆侵入-火山喷发活动有关，二者具有相同的物源和相同的硫同位素分馏机制。黄铁矿的物理性质及化学组成、同位素组成等特征均表明店坊金矿成矿作用环境为：较

高温(220~438℃), 较高氧逸度($\log f_{O_2} = -39.85 \times 10^5 \sim -35.65 \times 10^5 \text{Pa}$)和较低硫逸度($\log f_{S_2} = -39.85 \times 10^5 \sim -$

$35.65 \times 10^5 \text{Pa}$)。随着成矿作用进程, 出现由封闭向开放系统的转化, 由还原向氧化条件变化, 从而形成多期成矿。由于受元古宙马超营断裂初始活动控制, 熊耳期岩浆侵入-火山喷发活动晚期火山热液阶段便伴随有初始金矿化作用, 相应硫同位素组成为低正值。初始矿化阶段(早期)所携带运移的矿质散布在爆破角砾岩筒中, 尔后又因火山气液及其它热液活动而发生多期矿化作用(中期、晚期)叠加, 显示Co/Ni>1的特征。黄铁矿的特征和生成条件, 正是反映本区元古宙爆破角砾岩型金矿成矿作用进程的记录和标志^[7]。

作者简介: 赵嘉农, 1931年生, 副研究员, 从事前寒武纪矿床地质研究

本文是“八五”国家重点黄金科技攻关项目90051—63—1部分成果

参 考 文 献

- 1 任富根等. 熊耳山-崞山地区金矿地质条件和找矿综合评价模式. 北京: 地质出版社, 1996, 92~93
- 2 陈光远, 邵伟, 孙岱生. 胶东金矿成因矿物学与找矿. 重庆: 重庆出版社, 1989, 112, 284, 327
- 3 周卫宁, 傅金宝, 李达明. 广西大厂矿区黄铁矿的标型特征研究. 岩石矿物学杂志, 1987, 1: 73~81
- 4 黄民智, 唐绍华, 黄许陈, 张慎昭. 铜陵地区几个铜矿床中磁黄铁矿的成因和演化. 中国地质科学院院报, 1983, 5: 49~50
- 5 张儒媛, 从柏林编著. 矿物温度计和矿物压力计. 北京: 地质出版社, 1983, 230~231
- 6 任富根, 杨芸英, 刘玉太. 店坊金矿硫、铅同位素组成特征和成矿作用问题的探讨. 中国地质科学院天津地质矿产研究所所刊, 1989, 21: 91~101
- 7 赵嘉农, 任富根, 丁士应, 李增慧. 元古宙爆破角砾岩型店坊金矿. 前寒武纪研究进展, 1998, 21(1): 1~10

* 收稿日期1998—09—02, 10月改回