

http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx

# 江西焦里夕卡岩银铅锌钨矿床的 矿化夕卡岩分带和流体演化

李大新 赵一鸣

中国地质科学院矿产资源研究所,北京,100037

**内容提要** 江西上犹焦里夕卡岩银多金属矿床产于燕山期花岗闪长岩和上寒武统变质砂岩、粉砂岩和结晶灰岩的外接触带。矿床的矿化夕卡岩分带十分明显,自岩体接触带向东和向上,夕卡岩类型、矿物成分和矿石类型依次发生变化,由含白钨矿(伴有银铅锌矿)的钙夕卡岩演变为含银铅锌(钨)矿的锰质夕卡岩。前者主要由钙铝榴石、钙铁辉石、透辉石、硅灰石、萤石和白钨矿等组成;后者则由锰质钙铝榴石、锰铝榴石、锰质钙铁辉石、锰质透辉石、钙蔷薇辉石、锰质符山石和锰质阳起石组成,伴有闪锌矿、方铅矿、磁黄铁矿、辉银矿、自然银和少量白钨矿。流体包裹体研究表明,自岩体接触带往围岩方向,流体的温度呈现逐渐降低、盐度逐渐减小、密度值逐渐变高的演化趋势。其中,含钨钙夕卡岩的均一温度峰值区为420~340℃,盐度(NaCl<sub>eq</sub>)12.7%~8%;含银铅锌锰质夕卡岩的温度峰值区为360~320℃,盐度(NaCl<sub>eq</sub>)11.7%~4.5%;而晚期含矿退化热液阶段石英、萤石等交代矿物的均一温度范围较宽(380~160℃),反映了夕卡岩期后酸性淋滤阶段金属硫化物形成温度。矿化夕卡岩分带是银多金属矿床的重要找矿标志。

**关键词** 银多金属矿床 矿化夕卡岩分带 流体演化 焦里 江西

焦里夕卡岩银多金属矿床位于江西上犹县(经度:114°18'40",纬度:25°53'27"),是江西省地质局908地质队1958年发现的。该队(1958~1961)和江西省地矿局赣南地质调查大队(1984~1989)曾先后

对矿区进行过勘查工作,并分别提交了有关普查和详查报告,确定为一中型夕卡岩银铅锌钨矿床,还伴生一定量Bi、Cd和萤石。矿石的Ag平均品位154×10<sup>-6</sup>、Pb 2.02%、Zn 1.19%、WO<sub>3</sub> 0.296%。李赞春和唐尚熹(1990)对该矿区的矿床地质特征作过报导,但对矿区的夕卡岩矿物学、岩石学和流体包裹体方面未作深入研究。笔者等于2001年秋对该矿区进行了野外调研,通过有关室内研究工作,着重对岩浆

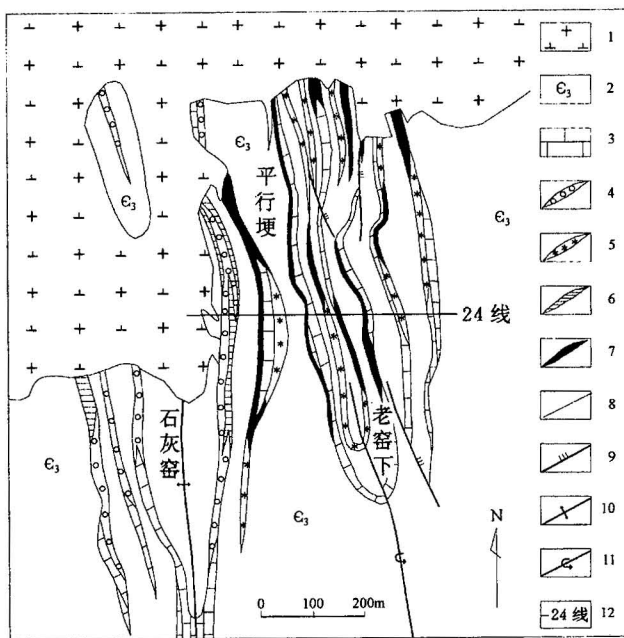


图1 江西上犹焦里夕卡岩银多金属矿区地质略图  
[根据李赞春等(1990)修改]

Fig. 1 Geological sketch map of the Jiaoli skarn  
Ag-polymetallic deposit

[Based on the data of Li Zanchun et al. (1990)]

- 1—Yanshanian granodiorite; 2—Upper Cambrian metasandstone;
- 3—crystalline limestone; 4—calcic skarn; 5—manganoan skarn;
- 6—W(Ag)-bearing skarn; 7—Ag(Pb, Zn)-bearing skarn; 8—geological boundary line; 9—compressional fault; 10—anticlinal axis; 11—inverted anticline; 12—exploration line

注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号40073016)的成果。  
收稿日期:2003-09-19;改回日期:2003-10-25;责任编辑:章雨旭。

作者简介:李大新,男,1952年生。现为中国地质科学院矿产资源研究所副研究员,主要从事金属矿床地质地球化学研究。

岩特征、矿化夕卡岩分带、夕卡岩矿物成分和流体演化进行了较系统深入的研究和探讨。

### 1 地质背景

焦里矿区位于华南造山带赣州地体之上犹断隆带西侧，南岭成矿带的东端。

#### 1.1 地层

矿区出露地层是上寒武统水石群，为一套浅变质的碎屑岩夹碳酸盐岩岩系，分两个岩性段：

第一岩性段 分布于矿区中心部位，主要岩性为变质细粒石英砂岩、变质粉砂岩，夹四层结晶灰岩，局部见砂质板岩。该岩性段厚度大于246m。结晶灰岩呈似层状、透镜状，厚度变化较大，一般1~30m，为主要赋矿层位。灰岩含 CaO 45.25%~50.80%，MgO 2.05%~3.96%，SiO<sub>2</sub> 5.19%~10.47%，Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.03%~2.52%，Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.66%~1.37%<sup>①</sup>。

第二岩性段 为一套变质中细粒长石石英砂岩、变质粉砂岩、砂质板岩和云母板岩，厚352m，分布于矿区东南部和西南角。

#### 1.2 构造

区内发育一组线型紧密同斜倒转褶皱，轴线方向 NW340°~353°。轴面倾向东，倾角约70°。它们是控制区内地层分布及矿体产状、形态和分布的主要构造(图1,2)。

复式背斜轴位于石灰窑一带，轴部西翼出露上寒武统水石群第一岩性段，两翼出露第二岩性段地层。东翼地层倾向东，倾角60°~70°，轴面近直立，整体平缓向南倾伏。

NNW 向压性断裂是区内规模最大的一组断裂，多为层间破碎带，尤以结晶灰岩与变质(粉)砂岩的接触部位最发育，具多次活动特征，在成矿期起导矿作用，成矿后继续，对矿体有破坏作用。

#### 1.3 岩浆岩

在矿区的西北部出露营前岩体之南缘部分(图1)。该岩体侵入于焦里复背斜的轴部，出露面积约50 km<sup>2</sup>，呈不规则椭圆形岩株状产

出，东、西、南三面向外倾斜，倾角45°~60°。岩体中心部分为花岗闪长岩，边缘为似斑状花岗闪长岩，斑晶主要为中长石和钾长石，一般大小为2~5cm，基质由斜长石、钾长石、石英和黑云母组成，粒径0.5~3mm。副矿物有磁铁矿、磷灰石、榍石和锆石。花岗闪长岩的 K-Ar 同位素年龄为171.6~173.3 Ma(李赞春等,1990)。

在340m 坑道中花岗闪长岩的边缘，还可见钾化细粒二长花岗岩的侵入，其宽度5~15m 不等。

表1列出了花岗闪长岩、似斑状花岗闪长岩和钾化细粒二长花岗岩的主元素化学成分、微量元素和稀土元素的分析结果。从表1可以看出，钾化二长花岗岩的 Pb、Mo 和 W 等金属元素含量明显比花岗闪长岩要高一个数量级以上，而 REE 含量普遍比花岗闪长岩要低，但REE分配模式则和花岗闪长岩

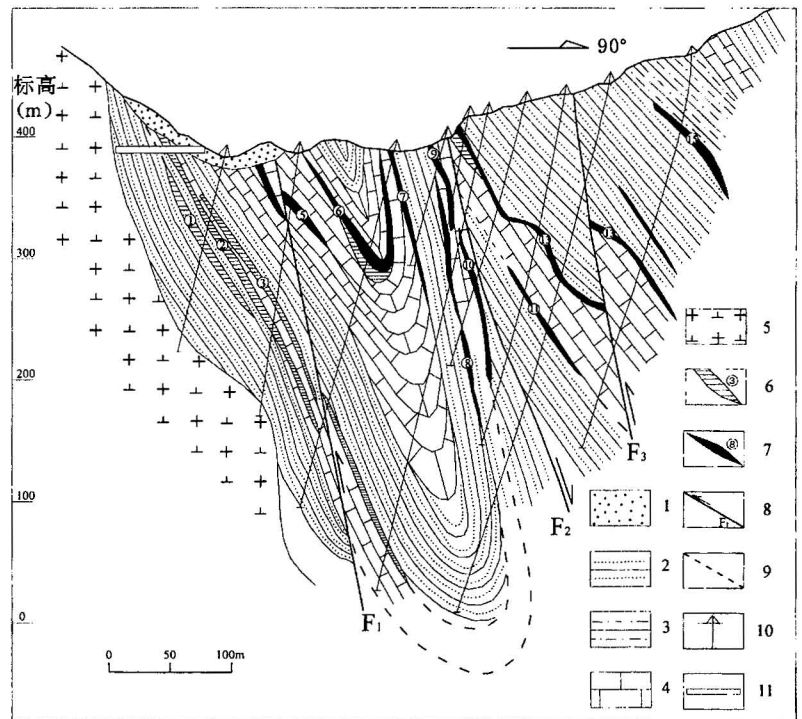


图 2 江西上犹焦里夕卡岩银多金属矿床24线矿化夕卡岩分带剖面 [根据李赞春等(1990)修改]

Fig. 2 Mineralization skarn zonal profile (24th line) of the Jiaoli Ag-polymetallic deposit [Based on the data of Li Zanchun et al. (1990)]

- 1—第四系；2—寒武系上统变质石英砂岩；3—变质粉砂岩；4—结晶灰岩；5—花岗闪长岩；6—钙夕卡岩白钨矿矿体及编号；7—锰质夕卡岩银铅锌钨矿矿体及编号；8—断裂及编号；9—推断地质界线；10—钻孔位置；11—坑道
- 1—Quaternary； 2—Upper Cambrian metasandstone； 3—metasiltstone； 4—crystalline limestone； 5—granodiorite； 6—calcic skarn—scheelite orebodies and No.； 7—manganian skarn Ag—Pb—Zn orebodies and No.； 8—fault； 9—infer geological boundary line； 10—location of the drill hole； 11—gallery

表 1 焦里矿区花岗闪长岩的化学成分、微量元素和稀土元素分析结果

Table 1 Chemical analyses, trace elements, and REE compositions of granodiorite from the Jiaoli deposit

样号	岩石名称	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	CO <sub>2</sub>	总和
340R-1	花岗闪长岩	63.20	0.66	14.85	2.67	3.22	0.15	1.83	4.20	2.67	4.87	0.52	0.78	0.02	99.64
340R-2	花岗闪长岩	65.60	0.64	13.97	2.06	3.36	0.15	1.62	3.46	2.42	5.20	0.53	1.10	0.25	100.36
340P-4	花岗闪长岩	59.56	1.18	13.57	1.57	6.75	0.13	3.51	3.94	1.20	4.55	0.98	2.20	0.19	99.33
300P-5	斑状花岗闪长岩	61.40	0.85	13.81	1.86	5.44	0.17	2.38	4.48	1.97	5.19	0.66	1.46	0.12	99.79
340R-4	钾长二长花岗岩	72.94	0.24	13.32	0.26	1.49	0.04	0.42	1.64	2.06	6.52	0.12	0.74	0.28	99.79

样号	岩石名称	Ba	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Sr	V	Zn	Bi	Cd	Mo	Sn	W	As	Ag
340R-1	花岗闪长岩	594	6.4	76	20	<4	34	480	90	65	<10	<1	1.8	5.1	0.9	7.88	0.04
340R-2	花岗闪长岩	767	7.4	142	20	<4	44	399	91	70	<10	<1	1.1	5.2	2	3.45	0.07
340P-4	花岗闪长岩	1053	19	132	31	21	29	328	254	94	<10	<1	14	3.5	1.2	3.65	0.03
300P-5	斑状花岗闪长岩	777	10	98	93	5.1	26	448	149	94	<10	<1	1.9	6.1	1.3	1.5	0.02
340R-4	钾长二长花岗岩	209	1.6	100	19	<4	100	264	24	26	<10	<1	37	2.9	16	4.99	0.04

样号	岩石名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
340R-1	花岗闪长岩	47.75	90.99	8.51	36.60	7.07	1.70	6.63	0.98	5.36	1.15	3.05	0.46	3.12	0.51	27.49
340R-2	花岗闪长岩	52.11	97.94	9.73	43.19	8.90	1.71	9.10	1.29	7.03	1.51	4.04	0.58	4.05	0.67	36.60
340P-4	花岗闪长岩	52.11	106.22	10.45	48.84	9.35	1.61	10.54	1.28	7.70	1.57	4.39	0.64	4.26	0.71	38.44
300P-5	斑状花岗闪长岩	54.48	108.86	10.34	44.85	8.71	1.77	8.74	1.27	6.26	1.34	3.46	0.52	3.52	0.54	31.85
340R-4	钾长二长花岗岩	20.10	39.78	3.65	13.85	2.35	0.57	2.42	0.35	1.92	0.40	1.22	0.15	1.09	0.17	9.12

注:分析者:国家地质实验测试中心许俊玉、陈晓青;主要元素用 XRF 分析;微量元素用 AES 和 MS 分析;稀土元素用 MS 分析。

相似,即呈右倾的曲线,均有一个小的 Eu 负异常,反映了“S”型花岗岩和“I”型花岗岩的过渡特征。

## 2 夕卡岩类型、矿物成分及其分带

在焦里矿区存在两类夕卡岩,即钙夕卡岩和锰质夕卡岩,前者主要伴生白钨矿矿化,后者则主要伴生银、铅、锌矿化。

含白钨矿钙夕卡岩产于靠近花岗闪长岩岩体的接触带,包括1、2、3号矿体。夕卡岩的组成矿物主要为透辉石(Di 79.8~86.0; Hd 13.3~23.3; Jo 0.6~1.1)和钙铝榴石(Gr 74.3~86.3; Ad 11.2~

23.3; Sp 0.7~0.9),次有钙铁辉石(Di 48.1; Hd 49.5; Jo 2.4)、钙铁榴石(Gr 35.2; Ad 58.5; Sp 3.3)和硅灰石(表2、3,图4、5)。白钨矿的生成比上述夕卡岩矿物要晚,形成于退化热液交代阶段,

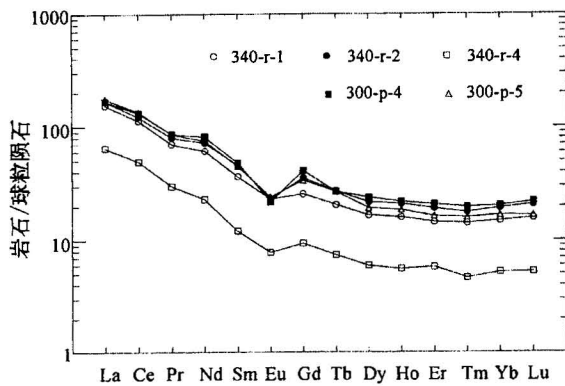


图 3 焦里矿区花岗闪长岩类稀土元素分布模式  
Fig. 3 Distribution REE pattern of granodiorite in the Jiaoli deposit

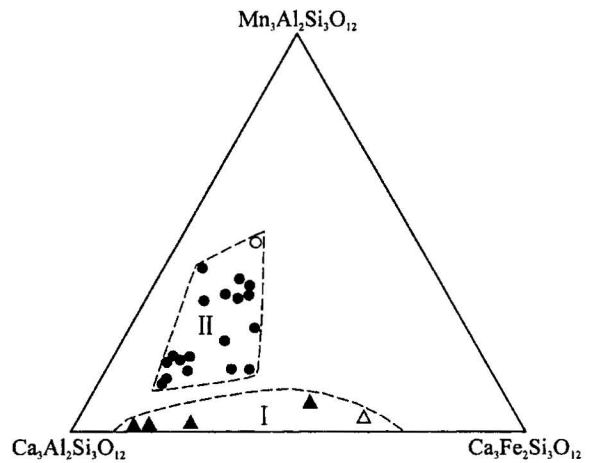


图 4 焦里夕卡岩银多金属矿床石榴石成分三角图  
Fig. 4 Compositions of garnets in the Jiaoli Ag-polymetallic deposit  
I—钙夕卡岩带; II—锰质夕卡岩带;  
▲—钙铝榴石; △—钙铁榴石;  
●—锰质钙铝榴石; ○—锰铝榴石  
I—Calcic skarn zone; II—Manganian skarn zone;  
▲—grossular; △—andradite; ●—manganian grossular; ○—spessartine

表 2 焦里夕卡岩银多金属矿床代表性石榴石和符山石电子探针分析结果(%)  
Table 2 Selected electron probe analyses (%) of garnets and vesuvianite in the Jiaoli deposit

	样品编号	矿物名称	化学组成(%)									
			SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	总计
含钨钙夕卡岩带	300-4-1	钙铁榴石	36.83	0.25	8.88	17.90	1.40	0.17	32.07	0.00	0.00	97.50
	340-1-1	钙铝榴石	39.03	0.21	19.33	5.01	0.44	0.23	34.67	0.00	0.00	98.93
	340-2	钙铝榴石	38.57	0.33	16.65	7.64	0.42	0.11	34.80	0.00	0.00	98.51
	340-4-1	钙铝榴石	39.56	0.21	19.79	4.13	0.34	0.12	35.85	0.01	0.00	100.00
含银铅锌夕卡岩带	340-4-3	锰质钙铝榴石	38.31	0.09	18.92	4.82	8.56	0.01	28.25	0.00	0.00	98.96
	380-5-1	锰质钙铝榴石	37.9	0.48	18.79	5.27	16.01	0.03	19.89	0.00	0.01	98.38
	380-5-3	锰质钙铝榴石	38.65	0.27	18.84	4.16	8.14	0.02	28.79	0.01	0.00	98.88
	380-17	锰质钙铝榴石	37.52	0.09	17.76	5.53	6.44	0.01	30.24	0.00	0.00	97.58
	400-4-1	锰质钙铝榴石	37.73	0.18	18.24	6.21	14.76	0.07	21.09	0.00	0.00	98.27
	400-4-2	锰铝榴石	36.65	0.08	19.41	4.74	19.72	0.18	16.26	0.00	0.00	97.04
	400-13-1	锰质钙铝榴石	38.56	0.02	18.64	5.44	6.27	0.01	30.76	0.01	0.00	99.71
	400-13-2	锰质钙铝榴石	37.64	0.04	17.97	6.43	13.40	0.06	23.64	0.01	0.00	99.19
	400-13-1	锰质符山石	37.71	0.19	18.27	5.12	3.52	0.02	33.59	0.02	0.00	98.44
	样品编号	矿物名称	端元组成(%)									
			Ca <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub>	Ca <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub>	Mn <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub>	Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub>	Fe <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub>					
含钨钙夕卡岩带	300-4-1	钙铁榴石	35.2	58.5	3.3	0.7	2.3					
	340-1-1	钙铝榴石	83.2	12.5	0.9	0.9	2.5					
	340-2	钙铝榴石	74.3	23.3	0.9	0.4	1.1					
	340-4-1	钙铝榴石	86.3	11.2	0.7	0.5	1.3					
含银铅锌夕卡岩带	340-4-3	锰质钙铝榴石	66.7	12.5	18.9	0.1	1.8					
	380-5-1	锰质钙铝榴石	48.2	8.4	37.4	0.1	5.9					
	380-5-3	锰质钙铝榴石	68.8	11.7	18.3	0.1	1.1					
	380-17	锰质钙铝榴石	67.6	16.6	14.5	0.1	1.2					
	400-4-1	锰质钙铝榴石	46.6	15.0	34.0	0.3	4.1					
	400-4-2	锰铝榴石	41.0	6.5	45.6	0.7	6.2					
	400-13-1	锰质钙铝榴石	69.6	15.2	13.6	0.1	1.5					
	400-13-2	锰质钙铝榴石	50.2	16.4	29.8	0.3	3.3					

注：样品由中国地质科学院矿产资源研究所电子探针室余静分析。

表 3 焦里夕卡岩银多金属矿床辉石电子探针分析结果  
Table 3 Selected electron probe analyses of pyroxenes in the Jiaoli mine

	样品号	矿物名称	化学组成(%)										端元组成(%)		
			SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	总计	①	②	③
含钨钙夕卡岩带	300-2-4	钙铁辉石	50.86	0.03	0.68	15.05	0.73	8.20	24.16	0.03	0.00	99.75	48.1	49.5	2.4
	340-1-1	透辉石	53.52	0.01	0.34	6.32	0.16	14.40	24.8	0.05	0.11	99.71	79.7	19.7	0.6
	340-2	透辉石	52.89	0.03	0.62	7.32	0.34	13.37	24.96	0.03	0.00	99.57	75.7	23.3	1.0
	380-17	透辉石	53.72	0.01	0.16	4.35	0.24	15.79	25.38	0.01	0.00	99.65	86.0	13.3	0.7
	300-2-4	硅灰石	50.46	0.00	0.00	0.26	0.34	0.02	47.1	0.02	0.00	98.19			
含银铅锌锰质夕卡岩带	300-18	锰质透辉石	50.24	0.01	0.28	13.95	5.23	8.35	20.16	0.10	0.02	98.34	43.6	40.9	15.5
	340-1-3	锰质钙铁辉石	50.02	0.01	0.13	13.34	8.89	4.61	22.84	0.10	0.00	99.94	26.8	43.9	29.3
	340-1-4	锰质透辉石	50.98	0.01	0.25	11.17	5.97	8.15	22.4	0.09	0.00	99.02	45.4	35.0	19.6
	340-4-3	锰质钙铁辉石	50.60	0.01	0.11	12.38	8.27	5.32	22.98	0.10	0.00	99.77	31.3	41.0	27.7
	340-4-4	锰质钙铁辉石	49.90	0.04	0.15	14.35	7.78	4.36	22.91	0.12	0.00	99.61	25.9	47.8	26.3
	340-4-6	锰质钙铁辉石	49.92	0.02	0.21	13.73	8.20	4.29	22.90	0.09	0.00	99.36	25.7	46.3	28.0
	400-4-3	锰质透辉石	50.62	0.00	0.15	10.25	8.00	6.60	23.85	0.05	0.00	99.52	39.1	34.0	26.9
	④	钙蔷薇辉石	47.76	0.00	0.04	1.76	16.70	0.17	32.54	0.00	0.00	98.97			

注：样品由中国地质科学院矿产资源研究所电子探针室余静分析。① CaMgSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>；② CaFeSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>；③ CaMnSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>。④ 据江西省地质矿产局赣南地质大队。

并与萤石、石英等矿物紧密共生。

含银铅锌锰质夕卡岩(4~17号矿体)产于离花

岗闪长岩体有一定距离的外接触带(图2)。其组成矿物主要为锰质钙铁辉石(Di 25.7~31.3; Hd 41.0

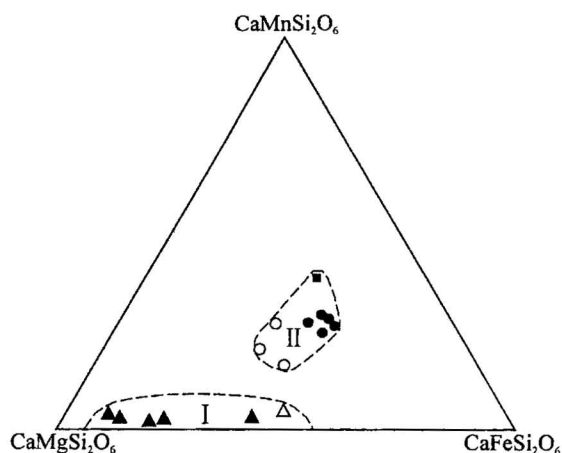


图5 焦里夕卡岩银多金属矿床单斜辉石成分三角图

Fig. 5 Compositions of clinopyroxenes in the Jiaoli Ag-polymetallic deposit

I—钙夕卡岩带；II—锰质夕卡岩带；●—锰质钙铁辉石；○—锰质透辉石；▲—透辉石；△—钙铁辉石；■—锰钙辉石  
I—calcic skarn zone；II—manganian skarn zone；●—manganian hedenbergite；○—manganian diopside；▲—diopside；△—hedenbergite；■—johannsenite

~46.3；Jo 26.3~29.3）、锰质透辉石（Di 39.1~45.5；Hd 34.0~40.9；Jo 26.3~29.3）、锰质钙铝榴石（Gr 46.6~50.2；Ad 8.4~16.4；Sp 11.1~37.4），局部有锰铝榴石（Gr 41.0；Ad 6.5；Sp 45.6）、钙蔷薇辉石和锰质符山石（表2、3，图4、5）。与其伴生的铅、锌、银矿物也形成于退化热液交代阶段，其共生的矿物为锰质阳起石（表4）、石英、萤石和方解石。

野外观察表明，锰质夕卡岩的形成明显晚于钙夕卡岩，前者常呈脉状穿切早期的钙夕卡岩。

锰质夕卡岩是赵一鸣等（1983、1990、1991）通过对福建马坑、大排、辽宁八家子和内蒙古白音诺等铅锌（银）矿床的研究，并和国外同类矿床，如美国新墨西哥州的Groundhog铅锌（银）矿床（Meinert, 1987），日本Nakatatsu铅锌（银）矿床（Shimizu and Iiyama, 1982）和韩国的（Yoenhwa-Ulchin铅锌（银）矿床（Yun and Einaudi, 1982）等对比研究后，划分出的一个新的夕卡岩建造。它有一套不同于钙夕卡

岩和镁夕卡岩的较特殊的锰质硅酸盐矿物组合，并常和含铁、铜、钨、锡的钙夕卡岩或镁夕卡岩构成一定的交代分带，是评价Pb—Zn—Ag夕卡岩矿床的重要成矿标志之一（赵一鸣等，1997、2001、2002）。

### 3 矿体、矿石及其分带

夕卡岩白钨矿体和银—铅—锌矿体呈似层状或透镜状产于上寒武统水石群第一岩性段的灰岩透镜体中。它们沿结晶灰岩与变质石英细砂岩（粉砂岩）接触面产出，并选择性地交代了灰岩。矿区共有17条矿体，分布于营前岩体东南缘的外接触带，距岩体约0~500m范围内。钙夕卡岩白钨矿矿体（1、2、3号）产于距花岗闪长岩体较近的外接触带，而锰质夕卡岩银铅锌矿体（4~17号）则产于距岩体接触带相对较远的围岩中，构成了明显的分带（图2）。

矿体产状与地层产状一致，即走向北北西350°~355°，在平面上呈近于平行的透镜体（图1）。受同斜倒转褶皱的制约，倾向东或北北东，倾角60°~85°。矿体走向延长一般200~300m，最长480m，延深100~200m，最大倾斜延深400m，厚度一般1~3m，局部可达10~13m。

与上述钨和银铅锌矿体相对应，矿石类型明显分为两种：一种是白钨矿矿石，其组成矿物为白钨矿，伴有少量闪锌矿、方铅矿、磁黄铁矿和黄铁矿及微量银矿物（辉银矿、螺状硫银矿、自然银等）。脉石矿物主要为透辉石、钙铝榴石、萤石、石英等。

另一种是银铅锌矿石，组成矿物主要有方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿和黄铁矿，伴有少量白钨矿和微量辉银矿、螺状硫银矿、碲银矿、自然银、自然铋、硫铋铅矿和斜方辉铋铅矿等。脉石矿物主要为锰质钙铁辉石、锰质透辉石、锰质钙铝榴石、锰质阳起石、方解石、萤石和石英，局部有钙蔷薇辉石和锰质符山石。

在空间分布上，白钨矿矿石（体）产于靠近花岗

表4 焦里矿区锰质阳起石电子探针分析结果（%）

Table 4 Electron probe analyses (%) of manganian actinolite in the Jiaoli deposit

样品编号	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	总计
300-18	50.24	0.01	0.28	13.95	5.23	8.35	20.16	0.10	0.02	98.36
340-5-3	53.67	0.06	0.94	15.76	4.99	11.94	10.75	0.28	0.14	98.53
340-9	51.55	0.04	1.67	16.26	4.40	10.37	11.36	0.33	0.20	96.17
380-5-1	52.16	0.02	0.94	16.41	5.83	10.77	11.61	0.22	0.14	98.10
380-5-3	52.74	0.04	1.00	17.08	7.16	10.83	9.30	0.22	0.11	98.48
380-17	53.56	0.03	0.66	16.09	6.05	11.29	10.52	0.17	0.14	98.51
400-4-1	53.40	0.02	0.72	15.15	5.23	11.61	11.50	0.18	0.12	97.92
400-4-2	52.99	0.02	1.23	13.87	4.53	13.28	11.95	0.24	0.09	98.20

注：样品由中国地质科学院矿产资源研究所电子探针室余静分析。



闪长岩的外接触带约100m 范围内,而银铅锌矿矿石(体)则产于距花岗闪长岩接触带有一定距离(100~500m)的上寒武统围岩中,构成一定分带。但其中6号矿体西部由白钨矿组成,而东部则为银铅锌矿体,似乎是二类矿石(体)之间的过渡带(图2)。

### 4 成岩成矿阶段

焦里矿床经历了一个较复杂的成岩成矿过程,具有多阶段的成岩成矿特点。根据野外和室内显微镜观察所获得的矿物共生组合关系,可大致划分为三个阶段:即早期钙夕卡岩阶段,晚期锰质夕卡岩阶段和夕卡岩期后的退化热液交代阶段(酸性淋滤交代阶段)。

(1) 早期钙夕卡岩阶段:本阶段主要形成不含锰的无水夕卡岩矿物,如透辉石、钙铁辉石、钙铝榴石和硅灰石。

(2) 晚期锰质夕卡岩阶段:该阶段形成的夕卡岩矿物普遍含 Mn 较高但大多不含水,如锰质透辉石、锰质钙铁辉石、锰质钙铝榴石、锰铝榴石,局部有钙蔷薇辉石和锰质符山石。

(3) 夕卡岩期后的退化热液阶段:退化热液交代阶段是矿区最主要的成矿阶段,形成大量萤石、石英、方解石和含水硅酸盐矿物锰质阳起石、绿帘石、

葡萄石和绿泥石等,它们明显地叠加在早阶段的钙夕卡岩和锰质夕卡岩之上,并交代这两类夕卡岩,伴生钨、铅、锌、银等矿化。该成矿阶段又可进一步划分为三个亚阶段,即萤石—白钨矿亚阶段、锰阳起石—闪锌矿—磁黄铁矿亚阶段和碳酸盐—方铅矿—银矿物—硫盐矿物亚阶段。石英是这三个亚阶段的贯通矿物,它甚至在夕卡岩阶段已有少量生成。

### 5 流体包裹体特征及其演化

#### 5.1 包裹体类型和分布

作者在焦里银多金属矿区内,对各类夕卡岩和矿石共采集了17件样品进行了流体包裹体研究。样品主要采集于24勘探线300、340、380、400中段的含钨钙夕卡岩带和含银铅锌锰质夕卡岩带中,并通过显微镜对流体包裹体进行观测和分类。然后用法国产 Chaixmoca 冷热台(+600℃~-180℃),对各类夕卡岩矿物中不同类型包裹体的均一温度、冰点进行连续观测,最后应用 NaCl-H<sub>2</sub>O 体系的冰点—盐度数据(卢焕章等,1990;刘斌和沈昆,1999),分别获得包裹体的捕获温度和盐度。

焦里矿区中流体包裹体根据其在室温和常压下的物态、气相百分数、均一方式分为四类,即:A类(液体包裹体):由气、液两相组成,气相百分数<

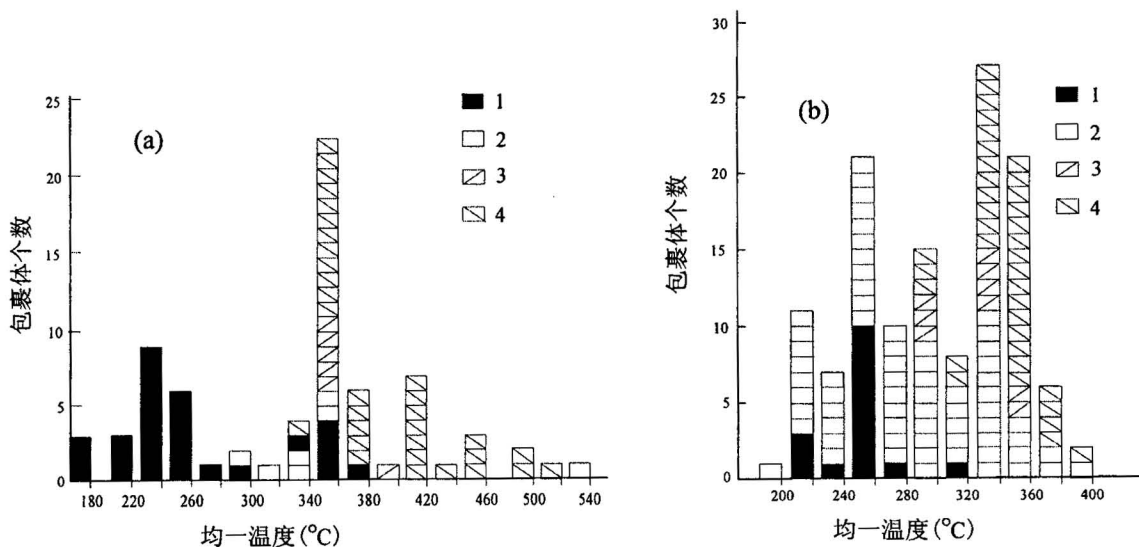


图 6 焦里矿区包裹体均一温度直方图

(a)一含钨钙夕卡岩带;(b)一含银铅锌锰质夕卡岩带

Fig. 6 Histograms of fluid inclusion homogenization temperatures in the Jiaoli mine

(a)—W-bearing calcic skarn zone; (b)—Ag—Pb—Zn-bearing manganiferous skarn zone)

(a): 1—萤石;2—石英;3—透辉石;4—钙铝榴石; (b): 1—萤石;2—石英;3—锰质钙铁辉石;4—锰质钙铝榴石

(a): 1—fluorite; 2—quartz; 3—Diopside; 4—Grossular; (b): 1—fluorite; 2—quartz;

3—manganiferous hedenbergite; 4—manganiferous grossular

50%，是最常见的类型，分布于各类夕卡岩和矿石中；B类(气体包裹体)：由气、液两相组成，气相百分数>50%，加热时，多数气泡扩大，均一为气相，个别气泡初起不变，而在某一温度点突然消失，这是临界状态下捕获的包裹体特征，主要分布于钙夕卡岩带内1、2号钨矿体中；C类(多相包裹体)：由气相、液相和一种以上固相子矿物组成，气相百分数通常小于50%，见到的子矿物有磁铁矿( $Fe_3O_4$ )和赤铁矿( $Fe_2O_3$ )等，但很少见，局部分布于近岩体的钙夕卡岩接触带中；D类(含液相 $CO_2$ 包裹体)：由液相 $CO_2$ 、气相 $CO_2$ 和水溶液组成，较小体积的液相 $CO_2$ 常呈“双眼皮”结构包于气泡外，加热时，先是液相 $CO_2$ 和气相 $CO_2$ 均一为液相 $CO_2$ 或气相 $CO_2$ ，直至液相 $CO_2$ 和气相 $CO_2$ 与水溶液相均一为液相或气相，少量见于锰质夕卡岩带或银铅锌矿化带中。

### 5.2 包裹体特征

含钨钙夕卡岩带的钙铝榴石和透辉石中，A类和B类包裹体均发育，C类次之，且个体直径一般在15~40 $\mu m$ 之间，最大可达80 $\mu m$ ，分布形态通常以孤立状长条形、不规则形居多，气相百分数变化悬殊(15%~80%)。石英和萤石中的包裹体一般呈群状、线状分布的不规则形、负晶形和多边形，个体大小8~30 $\mu m$ ，气相百分数较低(10%~30%)。

含银铅锌锰质夕卡岩带的锰铝榴石、锰质钙铝榴石、锰质透辉石和锰质钙铁辉石中，A类包裹体发育，B类和D类较少。其个体大小在10~35 $\mu m$ 之间，气相百分数10%~40%，形态多样，部分还含 $CO_2$ 和子晶多相包裹体。石英和萤石包裹体常呈线状或串珠状分布的长条形、菱形和不规则形，个体普遍小(8~25 $\mu m$ )，气相百分数低(10%~20%)。

### 5.3 均一温度、盐度和密度

由于夕卡岩矿物的透明度低，且包裹体少而小，难以获取较多的数据。对17件样品，共测得均一温度点200多个。图6分别展示了钙夕卡岩带和锰质夕卡岩带包裹体均一温度数据，其温度范围较宽，并显示出复杂的多峰态直方图，反映了该矿床具有多阶段的成岩成矿特点。

钙夕卡岩带(图6a)中包裹体的均一温度在540~160 $^{\circ}C$ 之间变化。其中，420~340 $^{\circ}C$ 峰值区代表的是早期钙夕卡岩蚀变流体的温度，它们主要发育于钙铝榴石和透辉石中；380~160 $^{\circ}C$ 则反映的是夕卡岩期后的退化热液对早期钙夕卡岩的多次叠加和改造，应属石英、萤石等及其伴生的钨、铅、锌、银矿化形成的温度，其主要集中在360~340 $^{\circ}C$ 和260~

220 $^{\circ}C$ 峰值区。

锰质夕卡岩带(图6b)包裹体的均一温度变化于400~180 $^{\circ}C$ 之间，基本上可分为360~320 $^{\circ}C$ 和260~240 $^{\circ}C$ 两组峰值区。前者代表的是晚期锰质夕卡岩蚀变流体的温度区间，它们主要发育于锰质钙铁辉石和锰质钙铝榴石中；后者显然也反映了夕卡岩期后的退化热液对晚期锰质夕卡岩的叠加和改造的主要温度范围。

根据所获得的77个冰点数据(-2.0~-8.8 $^{\circ}C$ 之间)表明，矿区流体包裹体的盐度较低(图7)，为3%~12.7%(NaCl<sub>eq</sub>)，密度变化于0.65~0.93g/cm<sup>3</sup>之间(图略，下同)。其中，钙夕卡岩带钙铝榴石和透辉石中的流体包裹体盐度集中在8%~12.7%(NaCl<sub>eq</sub>)之间，密度为0.65~0.8g/cm<sup>3</sup>；锰质夕卡岩带锰质钙铁辉石和锰质钙铝榴石中的流体包裹体盐度集中在5.3%~11%(NaCl<sub>eq</sub>)之间，密度为0.7~0.85g/cm<sup>3</sup>；而石英、萤石中的流体包裹体盐度范围很宽，为3%~11.5%(NaCl<sub>eq</sub>)，密度为0.77~0.92g/cm<sup>3</sup>。

综上所述，焦里矿区流体包裹体均一温度和盐

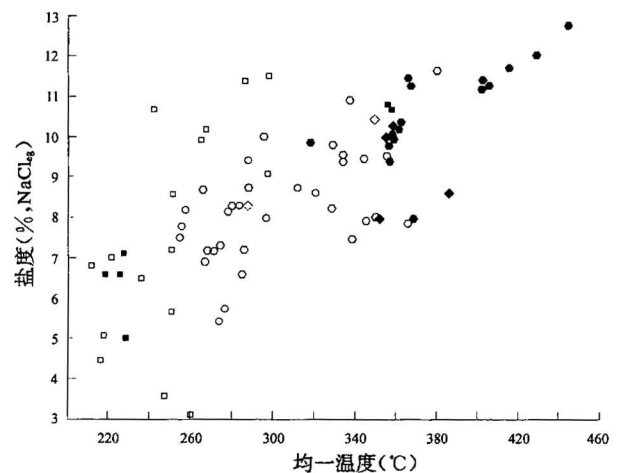


图7 焦里矿区流体包裹体均一温度和盐度的关系

Fig. 7 Relationship between fluid homogenization temperatures and salinities in Jiaoli mine

- 钙夕卡岩带(I)的萤石内包裹体；□—锰质夕卡岩带(II)中萤石内的包裹体；○—锰质夕卡岩带的石英内包裹体；◆—钙夕卡岩带的透辉石内包裹体；◇—锰质夕卡岩带的锰质钙铁辉石内包裹体；●—钙夕卡岩带中钙铝榴石内的包裹体；○—锰质夕卡岩带的锰质钙铝榴石内包裹体
- Fluid inclusion in fluorite of calcic skarn zone (I)；□—fluid inclusion in fluorite of manganian skarn zone (II)；○—Fluid inclusion in quartz of skarn zone II；◆—fluid inclusion in diopside of skarn zone I；◇—fluid inclusion in manganian hedenbergite of skarn zone II；●—fluid inclusion in grossular of skarn zone I；○—Fluid inclusion in manganian grossular of skarn zone II

度及其与花岗闪长岩体接触带的关系显示(图7和图8):自岩体接触带往围岩方向(由西往东),流体总体呈现温度逐渐降低、盐度逐渐减小的演化趋势。即由早期较高温度和盐度的钙夕卡岩,向晚期相对较低温和盐度的锰质夕卡岩及更低温、低盐度的夕卡岩期后退化热液阶段呈规律性演化。

通过与我国主要类型夕卡岩矿床的流体包裹体资料(赵一鸣等,1990)进行对比,焦里夕卡岩银铅锌钨矿床流体包裹体以较低的均一温度和盐度为特点,明显区别于国内铁、铜、钼、钨、锡、金夕卡岩矿床(包括钙夕卡岩和镁夕卡岩),后者的夕卡岩矿物中的流体包裹体均一温度一般为450°~700°C、盐度一般为30%~50%(NaCl<sub>eq</sub>),但与辽宁八家子夕卡岩银铅锌矿床基本相类似。它也不同于国内斑岩铜(钼)矿床的高温、高盐度的流体包裹体(芮宗瑶等,1984;张绮玲等,2003;李大新等,2003)。

## 6 结语

(1) 由于焦里矿区的围岩是上寒武统变质砂岩和结晶灰岩,因此,含 Ag、Pb、Zn 锰质夕卡岩的矿物组成主要为锰质钙铁辉石、锰质透辉石、锰质钙铝榴

石、锰质符山石、钙蔷薇辉石和锰质阳起石等。它与福建马坑矿区的含 Pb、Zn 锰质夕卡岩较为相似,但与白云质大理岩为围岩的辽宁八家子 Ag、Pb、Zn 矿床的锰质夕卡岩有一定差别。

(2) 焦里矿区的夕卡岩矿化分带十分明显,从靠近花岗闪长岩体向围岩方向分带序列依次为:含白钨矿钙夕卡岩 → 含 Ag、Pb、Zn 锰质夕卡岩带。这是评价夕卡岩银多金属矿床的重要标志之一。

(3) 夕卡岩矿化作用经历了三个阶段:即早期钙夕卡岩阶段、晚期锰质夕卡岩阶段和夕卡岩期后退化热液交代阶段。钨、铅、锌、银矿化主要形成于退化热液交代阶段。

(4) 流体包裹体研究表明,自岩体接触带自西向东往围岩方向,流体的温度呈现逐渐降低、盐度逐渐减小、密度值逐渐变高的演化趋势。成岩成矿作用是在温度 540°~160°C 和盐度为 3%~12.7% (NaCl<sub>eq</sub>) 条件下进行的。这说明,成矿流体是从岩体东南部接触带向更东部的围岩方向流动演化的,而不是从北向南。

致谢 在野外地质调查过程中得到焦里铅锌矿山张国建工程师的大力支持和热情帮助,电子探针分析由矿产资源研究所余静同志协助完成,流体包裹体研究得到李荫清和盛继福两位研究员的帮助,在此,我们向上述同志表示衷心的感谢。

### 注 释

① 江西地质矿产局赣南地质大队。1989. 江西省上犹县焦里银多金属矿区详细普查地质报告。

### 参 考 文 献

李大新,张德全,崔艳合,丰成友. 2003. 小赛什腾山斑岩铜(钼)矿床根部带的特征. 地球学报,24(3):211~218.

李赞春,唐尚熹. 1990. 焦里上犹银多金属矿床地质特征. 江西地质,4(4):357~369.

刘斌,沈昆. 1999. 流体包裹体热力学. 北京:地质出版社,1~290.

卢焕章,李秉伦,沈昆等. 1990. 包裹体地球化学. 北京:地质出版社,1~242.

芮宗瑶,黄崇轲,齐国明,徐珏,张洪涛. 1984. 中国斑岩铜(钼)矿床. 北京:地质出版社. 1~350.

张绮玲,曲晓明,徐文艺等. 2003. 西藏南木斑岩铜钼矿床的流体包裹体研究. 岩石学报,19(2),251~259.

赵一鸣,谭惠静,许振南等. 1983. 闽西南地区马坑式钙夕卡岩型铁矿床. 中国地质科学院矿床地质研究所刊[专辑1]. 北京:地质出版社,1~141.

赵一鸣,林文蔚,毕承思,李大新,蒋崇俊. 1990. 中国夕卡岩矿床. 北京:地质出版社,1~354.

赵一鸣. 1997. 我国一些重要夕卡岩 Pb-Zn 多金属矿床的交代分带. 矿床地质,16(2),120~129.

赵一鸣,李大新,毕承思. 2001. 我国含银夕卡岩矿床的分布和地质特征. 矿床地质,20(2),153~162.

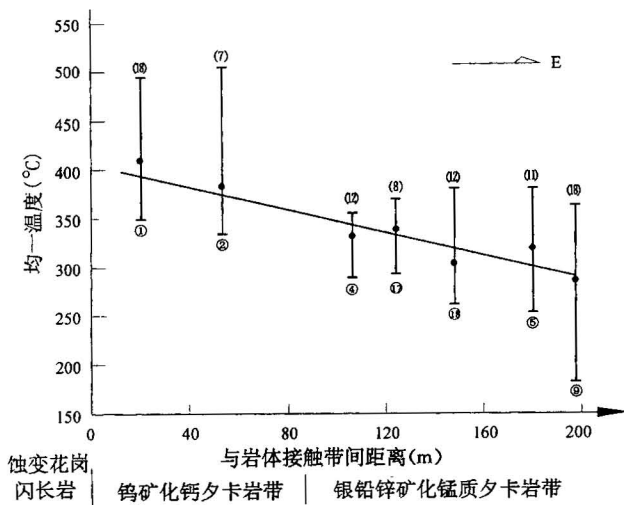


图 8 焦里矿区流体包裹体均一温度与岩体接触带的关系

Fig. 8 Fluid inclusion homogenization temperatures in the Jiaoli mine plotted as a function of distance from the contact zone to distal wall rocks

●—夕卡岩矿物包裹体温度平均值;(18)—括号内数字为夕卡岩矿物包裹体温度点数;④—圆圈内数字为矿体编号  
 ●—Average temperature of the fluid inclusions of skarn minerals; (18)—number in brackets is the number of the fluid inclusion points for temperature measuring in skarn minerals; ④—the cycled number is the No. of ore-body



赵一鸣, 李大新, 董永观. 2002. 再论含 Pb—Zn(Ag) 锰质夕卡岩建造. 矿床地质, 21(增刊), 548~552.

### References

- Li Daxin, Zhang Dequan, Cui Yanhe, et al. 2003. The root part of the Xiaosaishitengshan porphyry Cu (Mo) deposit. *Acta geoscientia sinica*, 24 (3): 211~218.
- Li Zanchun and Tang Shangxi. 1990. Geological characteristics of the Jiaoli Ag—polymetallic deposit, Shangyou. *Jiangxi Geology*, 4 (4): 357~369 (in Chinese with English abstract).
- Liu Bin and Shen Kun. 1999. Fluid inclusion thermodynamics. Beijing: Geological Publishing House, 1~290 (in Chinese with English summary).
- Lu Huanzhang, Li Binglun, Shen Kun, et al. Fluid inclusion geochemistry. Beijing: Geological Publishing House, 1~242 (in Chinese with English abstract).
- Meinert L D. 1989. Skarn zonation and evolution in the Groundhog mine, Central mining New Mexico. *Econ. Geol.*, 82(3): 523~545.
- Rui Zongyao, Huang Chongke, Qi Gaoming, Xu Jue, Zhang Hongtao. 1984. Porphyry copper (molybdenum) deposits of China. Beijing: Geol. Pub. House, 1~350 (in Chinese).
- Shimizu M, Iiyama J T. 1982. Zinc—lead skarns deposits of the Nakatsutsu Mine, Central Japan. *Econ. Geol.*, 77(4): 1000~1012.
- Yun S, Einaudi M T. 1982. Zinc—lead skarns of the Yeonhwa—Ulchin district, South. *Econ. Geol.*, 77 (4): 1013~1032.
- Zhang Qilin, Qu Xiaoming, Xu Wenyi et al. 2003. Study of the fluid inclusions from Nanmu porphyry Cu—Mo deposit in Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 19(2): 251~259.
- Zhao Yiming, Tan Huijing, Xu Zhennan, et al. The calcic—skarn iron ore deposits of Makeng type in southwest Fujian. *Bulletin of the Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences (Special issue No. 1)*. Beijing: Geological Publishing House, 1~141 (in Chinese with English summary).
- Zhao Yiming, Lin Wenwi, Bi Chengsi, Li Daxin, Jiang Chongjun. 1990. Skarn deposits of China. Beijing: Geol. Publ. House, 1~354 (in Chinese with English summary).
- Zhao Yiming. 1991. Manganoean skarn formation. In: *Skarns—their genesis and metallogeny*. Athens: Theophrastus Publications, S. A., 165~180.
- Zhao Yiming. 1997. Metasomatic zoning in some major Pb—Zn—polymetallic skarn deposits of China. *Mineral Deposits*, 16(2), 120—129 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Yiming, Li Daxin, Bi Chengsi, Dong Yongguan. 2001. Distribution and geological characteristics of silver skarn deposits in China. *Mineral Deposits*, 20 (2): 153~162 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Yiming, Li Daxin, and Dong Yongguan. 2002. Further discussion on Pb—Zn (Ag)—bearing manganoean skarn formation. *Mineral Deposits*, 21 (supp.): 548~552 (in Chinese).

## Skarn Mineralization Zonation and Fluid Evolution in the Jiaoli Deposit, Jiangxi Province

LI Daxin, ZHAO Yiming

*Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*

### Abstract

The Jiaoli Ag—Pb—Zn—W skarn deposit is located in southern Jiangxi Province, China. The orebodies occur in the exocontact zone between a Yanshanian (171.6~173.3 Ma) granodiorite and Upper Cambrian metasandstone and crystalline limestone. Skarn mineralization zoning in the deposit is very pronounced. From the intrusive contract zone to country wall rocks, two ore-bearing skarn zones may be distinguished: proximal scheelite-bearing calcic skarn zone and Ag—Pb—Zn-bearing manganoean skarn zone. The W-bearing calcic skarn is composed of grossular, andradite, diopside, wollastonite, scheelite, and fluorite; while the Ag—Pb—Zn-bearing manganoean skarn consists mainly of manganoean grossular, spessartine, manganoean actinolite, and manganoean vesuvianite, associated with sphalerite, galena, pyrrhotite, argentite, silver, and minor scheelite. Study of the fluid inclusions suggests that ore-bearing fluids flowed from the deep contract zone of the intrusion in the west to the shallow depth in the east. With decreasing temperatures and salinities, the peak values of homogenization temperatures in the W-bearing calcic skarn are 420~340°C. Their salinities range from 12.7%~8% (NaCl<sub>eq</sub>). In the Ag—Pb—Zn-bearing manganoean skarn, the peak values of homogenization temperatures are 360~320°C with salinities being 11.7%~4.5% (NaCl<sub>eq</sub>). While for late ore-bearing retrograde hydrothermal metasomatic products, fluolite and quartz, their homogenization temperatures range from 380 to 180°C.

**Key words:** Ag—polymetallic deposit; mineralization skarn zoning; fluid evolution; Jiaoli; Jiangxi