

文章编号: 1009-3850(2001)01-0050-13

川西义敦措莫隆含锡花岗岩铁叶云母矿物学研究

管士平, 陈 明

(成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082)

摘要: 通过对措莫隆花岗岩中铁叶云母的矿物学研究, 可得出如下结论: ①可利用铁叶云母中的化学成分及 H_2O^+ , F^- , Cl^- 来表征岩浆期后热液的性质和成岩成矿条件; ②穆斯堡尔谱证实有 33.45% 的 Fe^{3+} 进入四面体, 并据此修正铁叶云母的晶体化学经验式; ③ Fe^{2+} 的 I S Q S 值与 $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$ 呈正相关, 可定性反映其形成时温度和 f_{O_2} ; ④ Fe^{2+} 在 M_1 , M_2 晶位上的有序度能反映岩浆结晶温度高低和冷却速度快慢; ⑤铁叶云母 b_0 值大小主要与 Fe^{3+} 多少有关; ⑥根据铁叶云母的化学成分判断措莫隆花岗岩属于含锡花岗岩; ⑦根据铁叶云母的红外光谱及差热分析特征判断措莫隆花岗岩属于壳源型岩浆成因。

关键词: 铁叶云母; 穆斯堡尔谱; 含锡花岗岩

中图分类号: P578.959

文献标识码: A

Mineralogy of siderophyllite from the Sn-bearing granites in Comolong, Yidun, western Sichuan

GUAN Shi-ping, CHEN Ming

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China)

Abstract: The Comolong Sn polymetallic deposit located in the Yidun island-arc zone, western Sichuan are believed to have a genetic affiliation to the late Yanshanian Comolong granites. Biotite is identified as an only silicate mineral with volatile components in the granites. The most important observations are that: (1) the chemical compositions and H_2O^+ , F^- and Cl^- in siderophyllite may be used to characterize the rock- and ore-forming conditions and the nature of magmas; (2) the crystallochemical formula should be re-

vised in that 33.45% of Fe^{3+} turned out by Mossbauer spectra to be aligned in the siderophyllite tetrahedrons; (3) there is a positive correlation between I.S and Q.S volumes of Fe^{2+} and $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$ ratios for siderophyllite, which may indicate the temperatures and oxygen fugacity during the formation of granite masses; (4) Fe^{2+} ordering at M_1 and M_2 sites may reflect the crystallization temperatures and cooling speeds of magmas; (5) the b_0 values for siderophyllite are always changeable as a function of Fe^{3+} contents; (6) the Comolung granites can be assigned, deduced from the chemical compositions of siderophyllite, to the Sn-bearing granites, and (7) the Comolung granites may be postulated to be of crustal-derived magmatic origin in the light of infrared absorption spectroscopy and differential thermal analysis.

Key words: siderophyllite; Mossbauer spectrum; Sn-bearing granite

川西义敦多金矿床位于义敦岛弧带上,与燕山晚期措莫隆花岗岩密切相关。黑云母是措莫隆花岗岩中唯一含挥发分的硅酸盐矿物。因此,笔者通过花岗岩中黑云母的特征研究,对该花岗岩成岩的物理化学条件、含矿岩浆热液的性质及成矿条件、花岗岩的成因等有深入的了解和认识。

1 黑云母的化学成分

1.1 黑云母的一般特征及其定名

措莫隆花岗岩中含有 5%~8% 的黑云母。单矿物用油浸法测定的 N_g 在 1.6564~1.6588 之间,其平均值为 1.6578(6 件), $2V$ 角在 $15.2^\circ \sim 16^\circ$ 之间,平均为 15.625° (4 件)。黑云母 6 件单矿物化学分析结果列表 1。本区黑云母的 $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}+\text{Mn})$ 比值在 0.1913~0.2944 之间,均小于 0.5, Brane(1974)指出火成岩中黑云母的 $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}+\text{Mn})$ 比值一般小于 1.0 者属原生黑云母,而热液蚀变黑云母的 $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}+\text{Mn})$ 比值大于 1.5^[1]。据此,可以认为笔者所研究的黑云母均系原生黑云母。

黑云母晶体化学式中 X_{Al} , X_{Fe} 和 X_{Si} 的平均值分别是 31.96%, 35.88% 和 55.32%, 据此将本区花岗岩中的黑云母定名为铁叶云母^[2], 其平均化学成分的晶体化学式列于表 1 中 b 项。

该化学式是根据穆斯堡尔谱确定有 Fe^{3+} 进入四面体,并根据 $\text{Fe}^{3+}(\text{IV})/\text{Fe}^{3+}$ 的比例计算的(后述)。

1.2 铁叶云母的化学成分与其花岗岩化学成分的关系

铁叶云母中 SnO_2 (除个别样品外)和 F^-/Cl^- 比值,随花岗岩的分异指数 DI ^[3] 增大而增大(图 1),随 DI 值增大铁叶云母中的 H_2O^+ 变化很小,在 3% 左右。随 DI 值增大,铁叶云母的 $\text{Fe}_2\text{O}_3/(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO})$ 值变化不大,说明花岗岩的氧化条件比较稳定。

图 2a 显示,措莫隆花岗岩的 H_2O^+ 含量与铁叶云母中 SnO_2 的含量成正相关;图 2b 则显示随花岗岩中 $\text{Fe}_2\text{O}_3/(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO})$ 增大,铁叶云母的 $\text{Fe}_2\text{O}_3/(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO})$ 也随之增大,因此,可利用铁叶云母的 $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$ 值来计算岩体形成的氧逸度 f_{O_2} ,并进一步计算成岩的水逸度 $f_{\text{H}_2\text{O}}$ 和总水压 $p_{\text{H}_2\text{O}}$ (管士平等,1999)。图 2c 显示随花岗岩的 F^-/Cl^- 比值增大,铁叶云母

表 1 措莫隆花岗岩黑云母化学成分($w_B/\%$)及其经验化学式计算结果

Table 1 Chemical compositions of siderophyllite from the Comolong granites based on empirical formulas

组分	DL02	DL03	DL04	DL05	DL06	DL07	平均值	测值范围	半单位晶胞中离子摩尔数		
SiO ₂	35.70	34.58	35.08	35.78	35.23	35.73	35.35	34.58~35.78	Si	2.766 ^a	2.76 ^b
TiO ₂	3.34	3.37	3.06	3.61	3.19	3.77	3.39	3.06~3.77	Al	1.2340	1.1209
Al ₂ O ₃	14.69	14.49	14.13	13.06	13.32	13.51	13.87	3.06~14.69	Fe ³⁺ (IV)	—	0.1131
Fe ₂ O ₃	3.88	4.75	6.66	6.13	7.69	5.33	5.94	3.88~7.69	T	4.0000	4.0000
FeO	22.30	22.64	23.35	21.96	21.62	21.63	22.25	21.62~23.35	Al ^{VI}	0.0445	0.1576
MnO	0.43	0.57	0.71	0.35	0.62	0.54	0.54	0.35~0.71	Fe ³⁺	0.3382	0.2251
MgO	6.14	5.63	3.99	4.67	4.11	5.47	5.00	3.99~6.14	Fe ²⁺	1.4557	1.4557
CaO	0.37	0.25	0.15	0.55	0.70	0.27	0.38	0.15~0.70	Mg	0.5831	0.5831
Na ₂ O	0.18	0.15	0.15	0.17	0.14	0.13	0.15	0.13~0.18	Mn	0.0356	0.0356
K ₂ O	8.10	8.43	8.66	8.38	8.14	8.99	8.45	8.10~8.99	Li	0.0550	0.0550
P ₂ O ₅	0.23	0.11	0.11	0.45	0.47	0.25	0.27	0.11~0.47	Ti	0.1995	0.1995
Li ₂ O	0.20	0.18	0.20	0.15	0.18	0.14	0.18	0.14~0.20	P	0.0179	0.0179
H ₂ O ⁺	3.38	3.46	3.16	3.01	3.48	2.82	3.22	2.82~3.48	(M)	2.7295	2.7295
F ⁻	1.48	1.31	1.49	1.40	1.22	1.42	1.39	1.22~1.49	K	0.8436	0.8436
Cl ⁻	0.28	0.26	0.28	0.29	0.29	0.36	0.29	0.26~0.36	Na	0.0233	0.0233
w(SnO ₂)/10 ⁻⁶	30.70	29.38	46.13	19.14	50.09	62.36	39.65	19.14~62.36	Ca	0.0320	0.0320
合计	100.70	100.18	101.18	99.96	100.40	100.36	100.67		(D)	0.8989	0.8989
F ⁻ /Cl ⁻	5.29	5.04	5.32	4.83	4.21	3.94	4.79	3.94~5.32	OH	1.6804	1.6804
分析单位:湖北地质实验研究所(1987);按 O+F+Cl=12,四面体阳离子之和为 4 计算;按常规法计算的黑云母经验化学式;按穆斯堡尔谱 Fe ³⁺ (IV)/Fe ³⁺ 比例计算 Fe ³⁺ 进入四面体后计算的黑云母经验化学式									F	0.3431	0.3431
									Cl	0.0389	0.0389
									(A)	2.0624	2.0624

F⁻/Cl⁻ 比值增多。图 2d、e 显示随花岗岩中的 H₂O⁺ 含量减少,铁叶云母中 F⁻/Cl⁻ 比值和 H₂O⁺ 含量增多,说明花岗岩中的 H₂O⁺, F⁻, Cl⁻ 在演化后期向铁叶云母中集中,尤其是 F⁻, Cl⁻。图 2f 说明花岗岩的 F⁻/H₂O⁺ 比值增大,铁叶云母的 F⁻/H₂O⁺ 比值有同步增大的趋势。笔者认为花岗岩中的 H₂O⁺, F⁻, Cl⁻ 和铁叶云母中的 H₂O⁺, F⁻, Cl⁻ 所存在的上述种种关系,表明铁叶云母中的 H₂O⁺, F⁻, Cl⁻ 基本上可以替代花岗岩中的 H₂O⁺, F⁻, Cl⁻ 来表征岩浆热液的性质。管士平等(1999)^[3] 计算了花岗岩成岩的物理化学条件及岩浆热液的 f_{HF} , f_{HCl} 与锡矿成矿条件。

1.3 花岗岩含锡性的判断

根建必具(1980)^[4] 研究日本西南部锡铜矿化、铅锌矿化和非含矿花岗岩类黑云母的挥发分所建立的(F+Cl)-Cl/OH 图解(图 3)来判别矿化与非矿化花岗岩。虽然它的应用是否广泛值得讨论,但由于构造环境与本区类似,仍可做为判别是否含锡花岗岩的参考标志。措

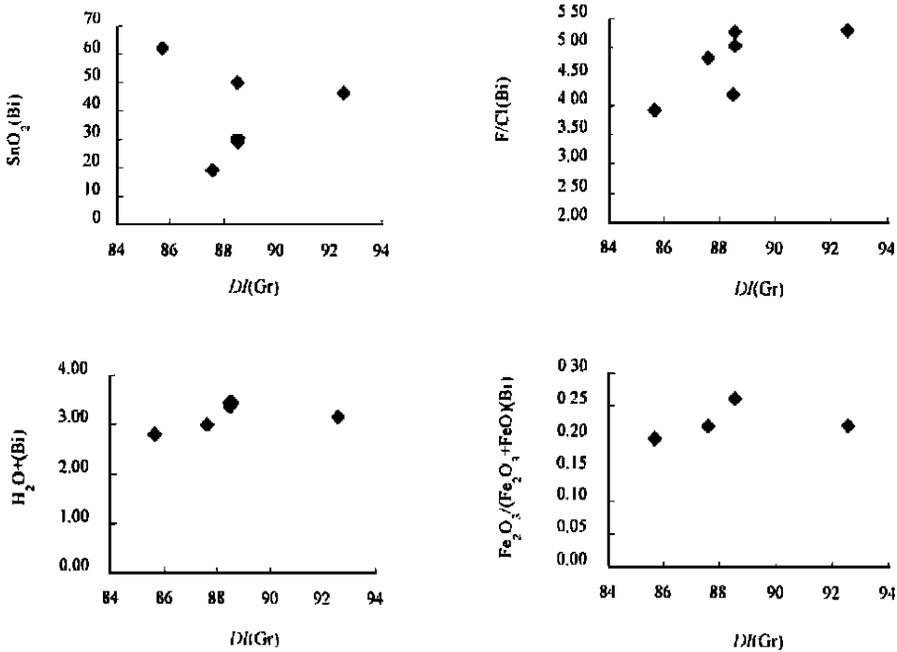


图1 措莫隆花岗岩分异指数(DI)与其铁叶云母成分关系

Fig. 1 Diagrams showing the relationship between chemical compositions of siderophyllite and differentiation index for the Comolong granites

莫隆花岗岩的6件铁叶云母均投影于锡铜矿化区(A区)。

邹天人等(1987)^[5]总结不同矿化岩浆岩的云母成分,编制了 $Mg^{2+}-(Fe^{2+}+Mn^{2+})-(Al^{3+}+Fe^{3+}+Ti^{4+})_{VI}$ 三角图解(图3)。本区花岗岩6件铁叶云母样品均落入锡钨等矿化花岗岩区。

总之,可利用铁叶云母的化学成分及挥发分来代表岩浆的成岩成矿条件、岩浆热液性质和判别岩体是否为含矿岩体。

2 铁叶云母的穆斯堡尔谱学特征

2.1 铁叶云母的穆斯堡尔谱实验及铁的位置指派

在室温298K条件下,收集3个铁叶云母样品的⁵⁷Fe谱线。使用IBM-PC/AT计算机化穆斯堡尔谱仪,放射源是⁵⁷Co(Rh),强度是25mci。谱线拟合采用CMT公司的PC-MOS程序,源对吸收体做等加速运动,记录道数为1024道,用硝酸钠标定速度增量。

按传统观点,云母类矿物具有很强的择优取向,为消除这种现象,把样品磨成细粉(小于200目),均匀地沾在直径为1.8cm的圆透明胶上,两层叠加在一起后进行实验。

拟合判据的选择 王启鸣等^[9]指出,如果用多对峰拟合,所得参数就比较合理,拟合曲线与实测点、线相当吻合,使 χ^2 值(固体中辐射/吸收核的振幅平方的平均值)明显下降,那么就采用多对峰拟合。 χ^2 值的大小是指示谱线拟合质量好坏的重要参数。Annersten

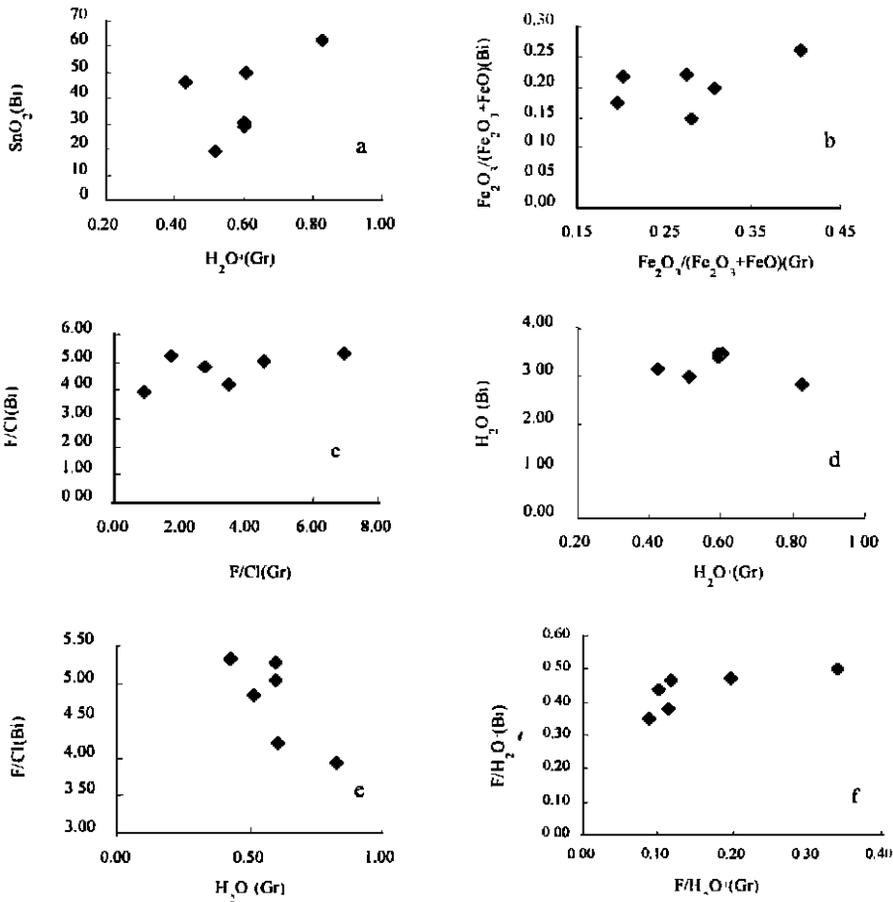


图2 措莫隆花岗岩与铁叶云母 H_2O^+ , F/Cl, SnO_2 , F/H_2O^+ 对比图

Fig. 2 Comparative diagrams of H_2O^+ , F/Cl, SnO_2 and F/H_2O^+ for the Comolong granites and their siderophyllite

(1974)^[7] 指出 χ^2 值最小指示图谱拟合质量高。因此, 本次实验采用 χ^2 最小为拟合判据, 不限制其它条件, 由中南民族学院穆斯堡谱实验室完成。实验结果见图4及表2。

谱线的指派 三个铁叶云母样品的穆斯堡尔谱图很相似, 按五对双峰拟合, χ^2 值最小, 五对双峰的位置指派为 Bancroft (1975)^[8] 根据精确的晶体结构分析成果, 证实了 Annersten (1974) 对黑云母各对双峰的指派, 即 Fe^{2+} 的外、内双峰分别对应 M_2 、 M_1 位置, 前者四极分裂 $Q.S$ 大于后者; Fe^{3+} 的外内双峰分别对应 M_1 、 M_2 , 前者四极分裂于 $Q.S$ 大于后者。本区铁叶云母与一般黑云母的穆斯堡尔谱有所不同, 存在第五对双峰。Hogarth (1970) 和 Annersten (1971)^[9] 等指出四面体中的 Fe^{3+} 具有较小的同质异能位移, $I.S$ 为 0.2618mm/s 。陈树荣 (1987)^[10] 等在研究福建魁岐晶洞花岗岩中的黑云母, 将第五套谱的 $I.S$ 为 0.257mm/s , $Q.S$ 为 0.287mm/s 拟定为四面体中的 Fe^{3+} 。Gordon (1983)^[11] 把金云母的第五套谱的 $I.S$ 为 $0.22 \sim 0.33\text{mm/s}$, $Q.S$ 为 $0.56 \sim 0.69\text{mm/s}$ 拟定为四面体中的 Fe^{3+} 。因此, 本区铁叶云母的 $I.S$ 为

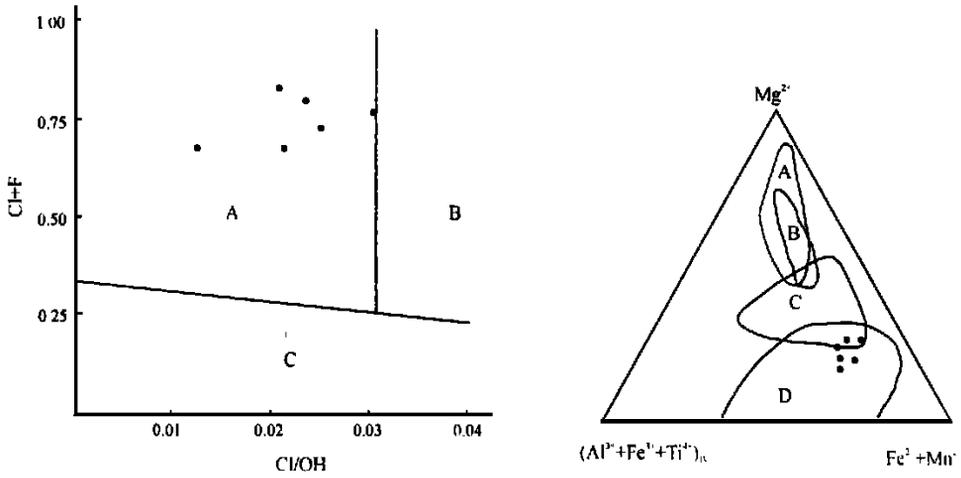


图3 措莫隆花岗岩中铁叶云母的含矿性判别图

左: A. 锡铜矿化区; B. 铅锌矿化区; C. 非矿化区。右: A. 与钒钛磁铁矿及玢岩铁矿有关的镁质黑云母; B. 与斑岩铜钼矿化有关的镁质黑云母; C. 未发现矿化花岗岩中的黑云母; D. 锡钨稀土等含矿花岗岩中的铁质黑云母

Fig. 3 Sn contents in siderophyllite from the Comolong granites

Left: A= tin-copper mineralized area; B= lead-zinc mineralized area; C= unmineralized area; Right: A= magnesian biotite related to vanado-titano-magnetite and porphyrite iron ores; B= magnesian biotite related to porphyry copper-molybdenum mineralization; C= unmineralized area; D= ferruginous biotite from the tin- and tungsten-bearing granites

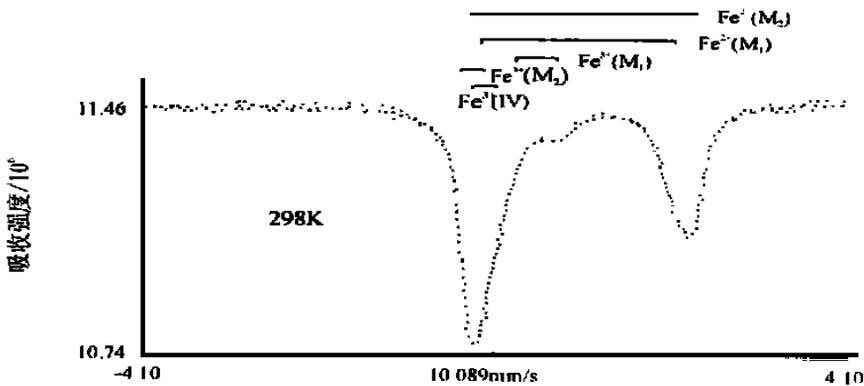


图4 铁叶云母(D104)的穆斯堡尔谱

Fig. 4 Mossbauer spectrum for siderophyllite (D104)

0.2078~0.2803mm/s, Q.S 为 0.231~0.3034mm/s 拟定为铁叶云母四面体的 Fe^{3+} 。

2.2 穆斯堡尔谱参数的地质意义

铁叶云母的 I.S 值和 Q.S 值与其成分的关系 同质异能位移 I.S 和四极分裂 Q.S 是穆斯堡尔谱实验室中的两个重要参数。I.S 值主要与矿物内铁原子核上的 S 电子密度有关, 并

随离子强度的增强而增大;Q.S 值是衡量铁位置上电场强度的尺度。

表 2 铁叶云母穆斯堡尔谱测定结果及其特征参数

Table 2 Mossbauer spectral parameters for siderophyllite from the Comolong granites

占位	Fe ²⁺ (M ₂ , N=6)				Fe ²⁺ (M ₁ , N=6)				Fe ³⁺ (M ₁ , N=6)				Fe ²⁺ (M ₂)/ Fe ²⁺ (M ₁)	
	样品编号	I S	Q.S	τ	A/%	I S	Q.S	τ	A/%	I S	Q.S	τ		A/%
	DL02	1.3871	2.588	0.6329	32.11	1.3503	2.2397	0.4462	32.83	0.8227	0.5314	0.8263	14.11	0.9781
	DL03	1.3911	2.5752	0.6927	28.03	1.3548	2.2456	0.4	35.62	0.7389	0.5815	1.2392	18.64	0.7869
	DL04	1.4027	2.6096	0.6233	23.13	1.3687	2.2833	0.4176	43.98	0.8526	0.5216	1.0908	11.52	0.5259
占位	Fe ³⁺ (M ₂ , N=6)				Fe ³⁺ (IV)				拟合度/%	Fe ³⁺ (IV)/ Fe ³⁺ (%)	Fe ³⁺ (M ₂)/ Fe ³⁺ (M ₁)			
样品编号	I S	Q.S	τ	A(%)	I S	Q.S	τ	A(%)						
	DL02	0.1145	0.2365	0.3022	7.5	0.2458	0.2317	0.574	13.45	93.83	38.36	0.5315		
	DL03	0.1253	0.2101	0.6741	7.69	0.2078	0.2507	0.8723	10.02	109.65	27.56	0.4126		
	DL04	0.1307	0.2458	0.4834	10.05	0.2803	0.3034	0.5812	11.32	105.33	34.42	0.8724		

I.S, Q.S 的单位为 mm/s; 样品由中南民族学院穆斯堡尔谱实验室分析。

铁叶云母 M₁, M₂ 位置 Fe²⁺ 的 I.S, Q.S 值关系(图 5a) M₁ 晶位上 Fe²⁺ 的 I.S 和 Q.S 呈线性相关, Q.S 值随 I.S 值增大而增大。M₂ 晶位上 Fe²⁺ 的 I.S, Q.S 近似呈线性相关。这个结论与马鸿文(1987)^[12] 研究西藏玉龙斑岩中黑云母的穆斯堡尔谱结论一致。

铁叶云母中 Fe²⁺ 的 I.S 值与 Fe/(Fe+Mg) 关系 因为黑云母的 Fe/(Fe+Mg) 与其形成温度和 f_{o2} 密切相关^[13], 故需用 Fe/(Fe+Mg) 与 I.S, Q.S 值的关系, 来讨论 I.S, Q.S 与其形成温度和 f_{o2} 的关系。如图 5b 所示, Fe²⁺ 在 M₁, M₂ 晶位上随 Fe/(Fe+Mg) 值增大, I.S 值增大; Fe²⁺ 在 M₁ 晶位上的 Q.S 位与 Fe/(Fe+Mg) (图 5c) 呈正相关, 而 Fe²⁺ 在 M₂ 晶位上 Q.S 值随 Fe/(Fe+Mg) 值增大变化不大。这些说明 Fe²⁺ 在 M₁, M₂ 晶位上 I.S 值的大小及在 M₁ 晶位上 Q.S 值的大小可以定性的反映出铁叶云母形成温度的高低及 f_{o2} 的大小。

铁叶云母 Fe³⁺ 的 I.S 值与 Q.S 关系 如图 5d 所示, M₂ 晶位上 Fe³⁺ 的 I.S 和 Q.S 基本无变化, 在 M₁ 晶位上 Fe³⁺ 的 Q.S 与 I.S 位呈负相关。图 5e, 5f 所示, Fe³⁺ 在 M₁ 和 M₂ 晶位上的 I.S 与 Q.S 基本上没有变化, 说明 Fe³⁺ 的 I.S 和 Q.S 值不能反映铁叶云母形成温度及 f_{o2} 的高低变化。因此, 用 Fe³⁺ 在 M₁ 和 M₂ 晶位上的吸收面积来计算它的有序度就显得没有什么意义。

2.3 铁叶云母中 Fe³⁺ 的占位有序度

黑云母的有序度是矿物学研究的重要方面。黑云母的有序度是指 Fe²⁺ 在 M₁ 和 M₂ 晶位上的分布, 它能反映岩浆结晶温度的高低和冷却速度的快慢。黑云母有序度高说明岩浆结晶温度低, 冷却慢, 反之岩浆结晶温度高, 冷却快。黑云母的有序度计算公式^[14] 为 $O_c = \text{Fe}^{2+}(\text{M}_2)/\text{Fe}^{2+}(\text{M}_1)$, 式中分子和分母表示 Fe²⁺ 在 M₂ 和 M₁ 晶位上的吸收面积。当 O_c=1 时, 表示 Fe²⁺ 在 M₁ 和 M₂ 晶位上完全有序; 当 O_c>1 时, 表示 Fe²⁺ 在 M₂ 晶位上有序; 当 O_c<1 时, 表示 Fe²⁺ 在 M₁ 晶位上有序。本区三件铁叶云母 D102, D103 和 D104 的 Fe²⁺(M₂)/Fe²⁺(M₁) 分别为 0.9781, 0.7809 和 0.5959, 平均为 0.7636, 说明 Fe²⁺ 在 M₁ 晶位上有序。D102 和 D103 为措莫隆花岗岩的过渡相, D104 为边缘相, 其 Fe²⁺ 的有序度反映了岩体过渡相结晶温度低,

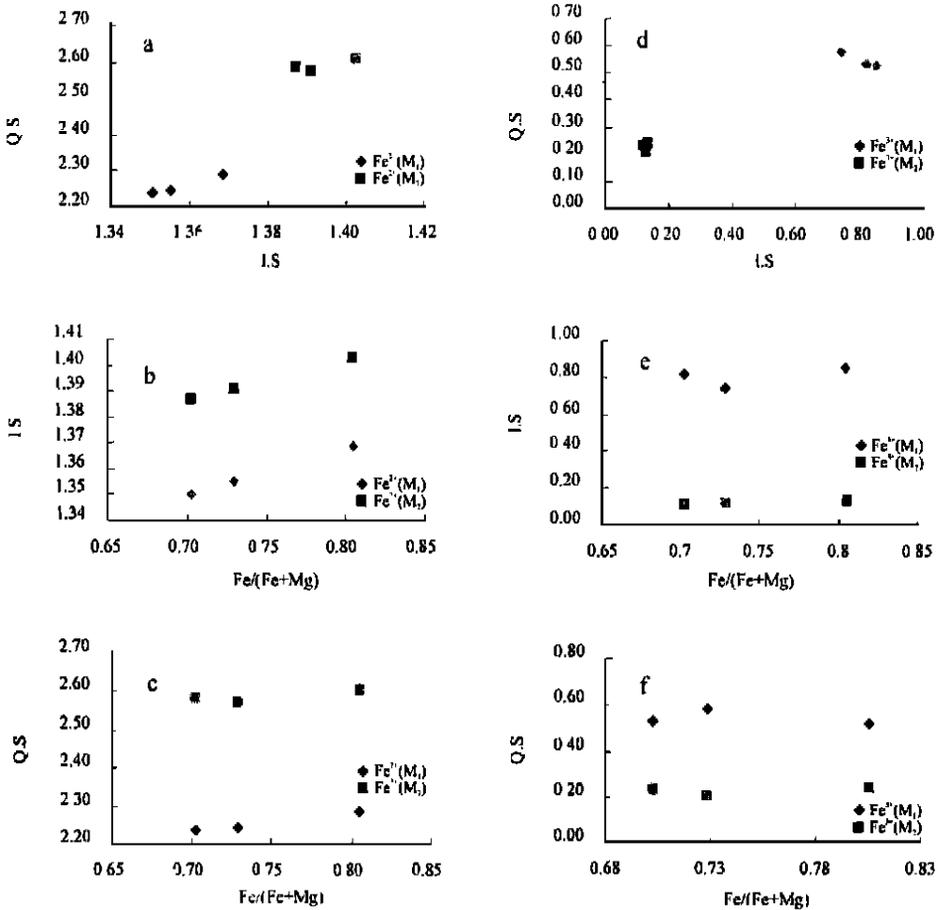


图5 铁叶云母的穆斯堡尔谱参数与 Fe/(Fe+Mg) 关系图

Fig. 5 Diagrams showing the relationship between Mossbauer spectral parameters and Fe/(Fe+Mg) ratios for siderophyllite

冷却速度较慢, 而边缘相岩浆结晶温度高, 冷却速度快, 这与岩石结构观察是一致的。

国外四件花岗岩中黑云母^[15] Fe²⁺(M₂)/Fe²⁺(M₁)和 Fe³⁺(M₂)/Fe³⁺(M₁)的平均值分别为 3.2675 和 1.3517, 表明 Fe²⁺ 和 Fe³⁺ 在 M₂ 晶位上有序; 国外三件角闪岩相中黑云母^[8] Fe²⁺(M₂)/Fe²⁺(M₁)和 Fe³⁺(M₂)/Fe³⁺(M₁)平均值分别为 6.31 和 1.083, 表明 Fe²⁺ 和 Fe³⁺ 在 M₂ 晶位上有序。国外花岗岩与角闪岩中黑云母的 Fe²⁺ 和 Fe³⁺ 有序度远高于本区花岗岩中的铁叶云母, 并且是在 M₂ 晶位上有序, 而不是在 M₁ 晶位上有序。

2.4 铁叶云母经验化学式的修正

按常规方法, 若 Si+Al 离子数大于 4, 则多余的 Al 离子数进入八面体, 若 Si+Al 离子数小于 4, 则将 Fe³⁺ 或 Ti 加入四面体, 使 Si⁴⁺+Al³⁺+Fe³⁺(Ti) 等于 4。本区铁叶云母 6 件样品的平均化学成分计算的离子数中, Si+Al 离子数大于 4, 则按常规方法建立了铁叶云母的经验化学式表 1 中 a 项。根据穆斯堡尔谱实验, 认定有 Fe³⁺ 进入四面体, 其 Fe³⁺(IV)/Fe³⁺(吸

收面积)的平均比例为 33.45%，按此比例计算 Fe^{3+} 离子数优先进入四面体，剩余的空缺部分由 Al^{3+} 离子填补，计算的平均化学经验式列于表 1b 项。

2.5 铁叶云母的择优取向问题

一般认为黑云母的穆斯堡尔谱的两个峰不对称是由矿物择优取向所引起的。因此，在似合时，用不对称方法拟合。笔者用片状铁叶云母所做的穆斯堡尔谱实验，证实片状铁叶云母双峰的不对称性与粉末状黑云母的不对称性相差很小。以 D104 样品为例，片状黑云母左峰面积与右峰面积之比为 2.0217，而粉末状铁叶云母左峰面积与右峰面积之比为 1.980，如果说是由于择优取向相引起图谱不对称的话，那么片状黑云母的穆斯堡尔谱不对称性应较大，实验结果否定这一结论。图谱中下沉量大的峰可有多峰叠加在一起，象 Fe^{2+} 的 M_1 和 M_2 晶位与四面体中的峰叠加，而下沉量小的峰仅仅只有 Fe^{2+} 的 M_1 和 M_2 峰叠加。用不对称法拟合，一般只能给出三对或四对峰，且 χ^2 值较大。本区铁叶云母用对称法拟合，以 χ^2 值最小为似合判据，比较合适。

3 铁叶云母的 X 射线衍射特征

在 298K, Cu 靶日产 X 射线衍射仪的条件下，七个单矿物衍射数据列于表 3。

3.1 铁叶云母晶体结构特征

根据措莫隆花岗岩中的铁叶云母的 X 射线衍射数据计算的晶胞参数列表 3。铁叶云母的 a_0 在 $5.353 \sim 5.388 (10^{-10} \text{m})$ 之间，平均为 $5.3689 (10^{-10} \text{m})$ ； b_0 在 $9.234 \sim 9.294 (10^{-10} \text{m})$ 之间，平均为 $9.2726 (10^{-10} \text{m})$ ； c_0 在 $10.196 \sim 10.237 (10^{-10} \text{m})$ 之间，平均为 $10.2089 (10^{-10} \text{m})$ 。单斜角 β 在 $100.196^\circ \sim 101.498^\circ$ 之间，平均为 100.4843° 。晶胞体积 V 在 $496.182 \sim 502.017 (10^{-30} \text{m}^3)$ ，平均为 $490.7920 (10^{-30} \text{m}^3)$ 。本区铁叶云母的晶胞参数高于南岭地区花岗岩中的黑云母(林月英, 1986)，这是因为 Fe^{3+} 进入四面体， Fe^{3+} 的半径是 $0.64 (10^{-10} \text{m})$ ，大于 Al^{3+} $0.51 (10^{-10} \text{m})$ 而引起四面体膨胀所致。

根据本区铁叶云母 a_0, b_0, c_0, β 及 V 与标准黑云母多型^[16]对比。本区铁叶云母属 1M 多型。

黑云母的二八面体与三八面体的划分是依据 $d(060)$ 值大小，一般认为^[16] $d(060) = 1.48 \sim 1.51 (10^{-10} \text{m})$ ，属二八面体； $d(060) = 1.51 \sim 1.53 (10^{-10} \text{m})$ ，属过渡型云母； $d(060) = 1.53 \sim 1.557 (10^{-10} \text{m})$ ，属三八面体云母。本区铁叶云母(表 4) $d(060)$ 均大于 $1.53 (10^{-10} \text{m})$ ，7 件样品平均为 $1.55 (10^{-10} \text{m})$ ，故本区铁叶云母属三八面体。

3.2 铁叶云母 b_0 值与其化学成分的关系

云母类矿物属层状硅酸盐，其晶胞参数 b_0 与其某些成分有密切关系，现讨论如下：

层间阳离子与八面体阳离子之和的比值与 b_0 呈近似正相关(图 6a)，说明层间阳离子越多， b_0 值越大。

四面体和八面体中的 Al^{3+} 与 b_0 略呈负相关(图 6b, c)，说明 Al^{3+} 离子越多， b_0 反而较小。

八面体阳离子总和[Sum(OCT)]与 b_0 关系(图 6d)为两者呈近似负相关，八面体阳离子越多， b_0 反而小，说明并不是晶胞中八面体离子数越多， b_0 会增大。

四面体中的 Fe^{3+} 与 b_0 关系(图 6e)，6 个点虽分成两群，但总体上与 b_0 呈较好的正相关。说明随氧化度的增高， Fe^{3+} 增多， b_0 值增大。反之则说明 Fe^{2+} 增多， b_0 反而变小。 $\text{Fe}/(\text{Fe} +$

Mg)与 b_0 关系(图6f)为随 $Fe/(Fe+Mg)$ 值增大, b_0 也增大,说明铁叶云母形成的温度和 f_{O_2} 可影响 b_0 值大小。

综上所述,可以认为影响 b_0 值的大小主要与 Fe^{3+} , Fe^{2+} , Al^{3+} 及层间大阳离子有密切相关,即 Fe^{3+} 增多, b_0 增大, $Fe^{3+}(M_2)$ 及 Al^{3+} 增多, b_0 反而减小,并不是八面体总离子数多, b_0 就变大。

表3 铁叶云母X射线衍射粉晶分析数据及其晶胞参数计算结果

Table 3 X-ray diffraction analytical data and unit cell parameters for siderophyllite

样品编号	d(001)	d(002)	d(003)	d(004)	d(005)	d(006)	d(113)	d(200)
DL01	10.0630	5.0250	3.3470	2.5090	2.0070	1.6740	2.9260	2.6370
DL02	10.0590	5.0230	3.3460	2.5080	2.0060	1.6730	2.9220	2.6350
DL03	10.0310	5.0100	3.3430	2.5070	2.0060	1.6720	2.9260	2.6340
DL04	10.0990	5.0270	3.3480	2.5100	2.0080	1.6740	2.9330	2.6420
DL05	10.0910	5.0270	3.3470	2.5100	2.0070	1.6720	2.9580	2.6400
DL06	10.0630	5.0270	3.3490	2.5100	2.0080	1.6730	2.9320	2.6400
DL07	10.0540	5.0250	3.3490	2.5110	2.0080	1.6730	2.9330	2.6360
平均值	10.0657	5.0234	3.3470	2.5093	2.0071	1.6730	2.9329	2.6377
样品编号	d(201)	d(060)	$a_0(10^{-10}m)$	$b_0(10^{-10}m)$	$c_0(10^{-10}m)$	β (度)	$V(10^{-30}m^3)$	备注
DL01	2.4510	1.5460	5.3850	9.2760	10.2040	100.1580	499.1970	分析者: 中国地质 大学(武 汉)测试中 心X光室 (1987)。
DL02	2.4470	1.5390	5.3530	9.2340	10.1970	100.1260	436.1820	
DL03	2.4470	1.5470	5.3540	9.2820	10.1960	100.2850	498.5570	
DL04	2.4500	1.5480	5.3720	9.2880	10.2110	100.3800	501.1410	
DL05	2.4550	1.5480	5.3880	9.2880	10.2370	101.4890	502.0170	
DL06	2.4520	1.5490	5.3680	9.2940	10.2060	100.4030	500.8090	
DL07	2.4490	1.5410	5.3620	9.2460	10.2100	100.5400	497.6410	
平均值	2.4501	1.5454	5.3689	9.2726	10.2087	100.4843	490.7920	

4 铁叶云母的红外光谱特征

7个铁叶云母样品的红外光谱图的七条曲线十分相似,相差较小。 $1000cm^{-1}$ 波数是Si-O-Si的伸缩振动,吸收极强,谷宽的大小与四面体中Si原子多少有关,同时 Fe^{3+} 进入四面体使Si-O价振动吸收带($1000cm^{-1}$)偏离低频方向(从 $1000\sim 995cm^{-1}$)。

本区铁叶云母的红外光谱图与南岭浅源系列花岗岩的黑云母^[17]极为相似,说明有类似的成因。

5 铁叶云母的差热分析

3个铁叶云母样品的差热分析实验条件是为采用LCT-1型热仪,容量为30mg,开温速率为 $20^\circ/分$,DTA量程是 $50mV$,实验结果如图8。

在 1150° 左右有一较弱的吸收谷,为结构水 OH^- 脱失温度,样品的熔融产物是小圆柱体。

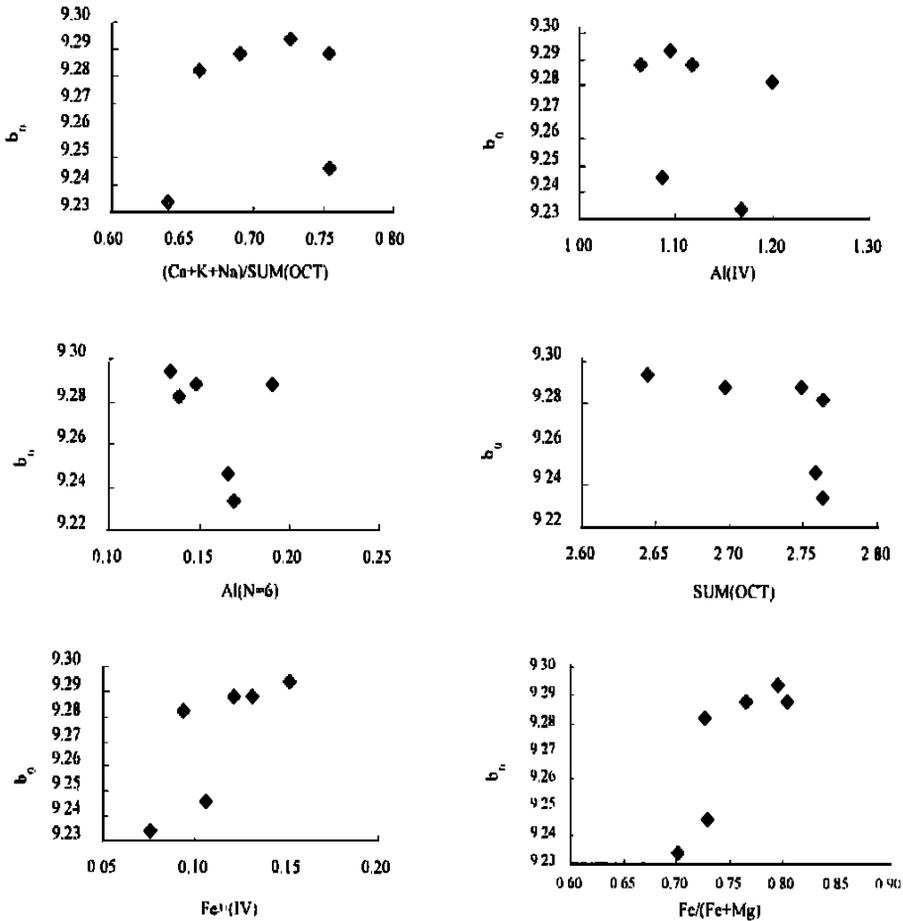


图6 铁叶云母 b_0 值与其化学成分的关系

Fig. 6 Diagrams showing the relationship between b_0 values and chemical compositions from siderophyllite

OH^- 脱失温度与分子中 Mg^{2+} 和 Fe 含量多少有关。 $Mg-O$ 键能高于 $Fe^{2+}-O$ 键能, 前者是 $39000 \times 4.1868J$, 后者是 $31000 \times 4.1868J$ 。 本区黑云母均系铁叶云母, 以 $Fe^{2+}(M_2)-O$ 键占优势, 破坏铁叶云母所需要的能量比破坏镁云母所需要的能量要小且容易一些。

本区铁叶云母的差热分析曲线与南岭花岗岩系列黑云母^[17] 及壳源型花岗岩黑云母^[18, 19] 差热分析曲线类似, 而与幔源型、壳幔型及长江系列花岗岩黑云母差热分析差别较大。 陈国玺(1987)^[20] 对华南及“三江”地区不同成因花岗岩的黑云母所做的差热分析认为壳源型花岗岩的黑云母 OH^- 脱失峰温度华南在 $1050 \sim 1150^\circ C$, “三江”在 $1180 \sim 1250^\circ C$ 之间, 溶化反应吸热峰形态宽缓, 溶化热高, 溶化产物是圆柱体。 壳幔型花岗岩黑云母 OH^- 脱失峰温度华南在 $1150 \sim 1250^\circ C$ 之间, “三江”在 $1180 \sim 1250^\circ C$, 溶化反应吸热峰形态窄陡, 溶化热较低, 溶化产物呈碗形、球形。 本区铁叶云母的 OH^- 脱失峰温度为 $1140 \sim 1157^\circ C$, 溶化产物呈圆柱体, 溶化反应吸热峰宽缓。 据此, 本区花岗岩属壳源型花岗岩。

(3) 铁叶云母的 b_0 值大小与 Fe^{3+} 和层间大阳离子关系密切, Fe^{3+} 及 K、Na、Ca 离子多, b_0 值大, Fe^{2+} 、 Al^{3+} 多, b_0 则变小。

(4) 铁叶云母的化学成分、红外光谱及差热分析特征, 表明其母岩为壳源型岩浆成因的花岗岩

(5) 铁叶云母的 Fe^{2+} 有序度反映了岩浆结晶温度的高低及冷却速度的快慢。

笔者在成文过程中得到成都地质矿产研究所沈敢富研究员的热情指导和帮助。在此表示衷心的感谢!

参考文献:

- [1] BEANE R E. Biotite stability in the porphyry copper environment [J]. *Economic Geology*. 1974, 69(2): 241—256
- [2] MILAN RIEDER 等. 云母的命名 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 1999, 18(3): 141—150
- [3] 管士平. 川西洛若隆—措莫隆复式花岗岩体岩石学及其有关锡矿成矿的物理化学条件 [A]. 特提斯地质 [C], 北京: 地质出版社, 1999, (23): 58—72
- [4] 芮宗瑶, 黄崇轲等. 中国斑岩铜钼矿床 [M]. 北京: 地质出版社, 1984, 78—92
- [5] 莫柱孙, 叶伯丹等. 南岭花岗岩地质学 [M]. 北京: 地质出版社, 1980, 233—235
- [6] 王启鸣, 李哲, 应育浦. 穆斯堡尔谱的最小平方拟合方法 [A]. *矿物物理和矿物材料研究* [C], 北京: 科学出版社, 1982, 90—95
- [7] ANNERSTEN H. Mossbauer studies of natural biotites [J]. *American Mineralogist*, 1974, 59(1): 143—151
- [8] BANCROFT G M and BROWN J R. A Mossbauer study of coexisting hornblendes and biotites: quantitative Fe^{3+}/Fe^{2+} ratios [J]. *American Mineralogist*, 1975, 60(3—4): 265—272
- [9] HOGARTH and BROWN. Biotite absorption, Mossbauer spectrum and chemical investigation of five phlogopite sample Quebec [J]. *Canadian Mineralogist*, 1975, 16: 710—722
- [10] 陈树荣等. 福建魁岐晶洞花岗岩中锰黑云母的矿物学研究 [J]. *地质论评*, 1987, 33(3): 212—227.
- [11] SMITH GORDON et al. Optical and Mossbauer spectra of manganese-bearing phlogopites: $Fe^{3+}-Mg^{2+}$ pair absorption as the origin of reverse pleochroism [J]. *American Mineralogist*, 1983, 68(7—8): 759—768
- [12] 马鸿文等. 西藏玉龙斑岩铜矿岩石学研究 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991, 86—90.
- [13] 周若, 王方正. 岩石物理化学 [M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1987, 129—132
- [14] 李哲, 应育浦. 矿物穆斯堡尔谱学 [M]. 北京: 科学出版社, 1996, 250—253
- [15] DYAR M D and BURN R G. Mossbauer spectral study of ferruginous one-layer trioctahedral micas [J]. *American Mineralogist*, 1986, 71(7—8): 955—965
- [16] 王濮, 潘兆鲁, 翁玲宝等. 系统矿物学(中册) [M]. 北京: 地质出版社, 1984, 431—438.
- [17] 杨文金, 王联魁等. 华南两个不同成因系列花岗岩的黑云母标型特征 [J]. *矿物学报*, 1986, 6(4): 298—307.
- [18] 王联魁等. 华南花岗岩两个成岩成矿系列的演化 [J]. *地球化学*, 1982, (4): 329—339.
- [19] 洪大卫. 华南花岗岩的黑云母和矿物相及其与矿化系列的关系 [J]. *地质学报*, 1982, 56(2): 149—164.
- [20] 陈国玺. 不同成因类型黑云母的差热分析特征及其意义 [J]. *科学通报*, 1987, 32(14): 151—160.