

文章编号: 1000-4734(2003)02-0177-08

大兴安岭中南段燕山期三类不同成矿花岗岩中黑云母的化学成分特征及其成岩成矿意义

吕志成^{1,2}, 段国正², 董广华²

(1. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学开放实验室, 贵州 贵阳 550002; 2. 吉林大学, 吉林 长春 130026)

摘要: 大兴安岭中南段燕山期三类不同成矿花岗岩中黑云母主要为富铁黑云母和铁黑云母, 属富铁黑云母-铁叶云母系列。黑云母主要化学成分表明本区花岗岩碱度属正常碱度-过碱性岩石系列; 本区燕山期花岗岩为壳幔混源成因, 其岩石系列属于长江深源系列和南岭浅源系列之间的过渡类型。燕山期三个不同期次不同成矿系列的花岗岩中黑云母的化学成分明显不同, 燕山早期早阶段与铜成矿有关的花岗岩黑云母相对以富镁贫铁为特征, 燕山晚期早阶段与锡多金属矿化有关的花岗岩其黑云母成分相对以富铁贫镁为特征, 燕山早期晚阶段与铅锌银矿化有关的花岗岩黑云母成分处于两者之间, 黑云母的化学成分是判别本区三类不同成矿岩体的有效标志。

关键词: 黑云母的化学成分; 成岩成矿意义; 花岗岩; 大兴安岭中南段

中图分类号: P588.1; P594 **文献标识码:** A

作者简介: 吕志成, 男, 1966 年生, 博士后, 主要从事岩石、矿床地球化学等方面的研究工作。

黑云母是花岗岩中分布最广泛的主要暗色造岩矿物之一, 其化学成分与形成时的物理化学条件有着密切的成因联系。在黑云母系列矿物中, 由于存在着 Fe^{2+} -Mg-Mn、Si-Al-Fe-Ti 及 OH-F-Cl 等多元素的广泛类质同象替换, 在不同的成岩成矿条件下, 形成不同的黑云母亚种。这些矿物亚种的成分变化不仅记录了岩浆起源和演化等成岩信息, 而且亦可作为成矿岩体重要的判别标志。因此, 对黑云母化学成分的研究具有重要的意义。本文讨论了大兴安岭中南段燕山期三类不同成矿花岗岩中黑云母的成分特征及其对成岩成矿的指示意义。

1 地质背景

大兴安岭中南段北起乌兰浩特, 南至西拉木伦河, 东至松辽沉降带, 即北纬 $42^{\circ}50'$ 至 $46^{\circ}41'$ 之间的大兴安岭地区, 在区域地层分区中属大兴安岭分区林西小区和乌兰浩特小区。区内中生代花岗质岩浆侵入活动甚为发育, 按其形成的先后顺序可分为四个不同侵入期次的花岗岩类。它们分

别为: ①燕山早期早阶段中酸性浅成岩体, 岩石类型为闪长玢岩、斜长花岗斑岩和花岗闪长斑岩等, 典型岩体有莲花山岩体、布敦化岩体、闹牛山岩体及黄合吐岩体等。区内众多的铜矿床如莲花山铜矿床、布敦化铜矿床、闹牛山铜矿床及黄合吐铜矿床等与该期岩浆活动具有密切的时空和成因联系; ②燕山早期晚阶段花岗岩类, 主要岩石组合为花岗闪长岩-黑云母二长花岗岩-钾长花岗岩及部分碱长花岗岩和花岗斑岩, 典型岩体为杜尔基岩体、获尔塔拉岩体及敖兰敖日格岩体, 该期岩体与区内众多的铅锌银矿床的形成关系密切, 如孟恩陶勒盖铅锌银矿床; ③燕山晚期早阶段花岗岩类, 主要岩石类型有石英二长岩、二长花岗岩、钾长花岗岩、花岗斑岩及碱长花岗岩等, 典型岩体有浩布高岩体、马根坝勒岩体及东山湾岩体等, 该期花岗质岩浆活动与区内锡铅锌银多金属成矿具有密切的成因联系, 如浩布高锡铁铅锌银多金属矿床; ④燕山晚期晚阶段碱性花岗岩类, 典型岩体为巴尔哲岩体, 与稀土和铌钽矿床成矿关系密切。

燕山期花岗岩中黑云母含量为 3% ~ 5%, 有些岩体含量更少, 为 1% ~ 2%, 只有个别岩体含量可达 10%, 在一般岩体中黑云母均呈它形、半

收稿日期: 2002-11-29

基金项目: 教育部博士点基金项目(97018701); 国家杰出科学家基金项目(批准号: 49625304)

自形,片状镶嵌在长石、石英颗粒之间。

2 黑云母的化学成分

本次主要对燕山期前三期次花岗岩类中的黑云母进行了研究。黑云母的化学成分主要采用单

矿物化学分析和电子探针分析(个别样品由于受矿化蚀变的影响, K_2O 含量偏低), 采用林文蔚^[1]提出的方法对电子探针分析得到的 Fe 进行了调整, 在此基础上, 以 22 个氧为基础计算了黑云母的阳离子系数及部分参数(表 1)。

表 1 黑云母的化学成分

Table 1. Chemical compositions and parameters of biotite

时代	岩体名称	样号	w/%										
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
燕山 早期 阶段	斜长花岗斑岩	HH1	41.33	4.37	11.63	23.45	4.03	19.82	0.57	2.80	0.88	2.75	10.33
	斜长花岗斑岩	HH2	39.63	4.31	13.10	22.80	1.90	21.09	0.88	2.10	0.52	4.42	9.91
	斜长花岗斑岩	LH1	36.30	3.79	12.40	24.73	0.16	24.59	0.84	5.79	1.06	2.56	9.12
	斜长花岗斑岩	LH2	37.50	3.52	13.93	23.64	3.89	20.14	0.86	5.21	1.48	1.90	8.10
	斜长花岗斑岩	LH3	38.07	2.21	16.82	28.71	6.59	22.78	1.58	3.41	2.39	2.03	2.69
	斜长花岗斑岩	LH4	39.11	4.40	14.76	24.13	5.46	19.22	0.42	5.31	0.54	1.08	8.11
	斜长花岗斑岩	NN1	37.06	4.09	12.27	20.68	1.12	19.67	0.52	7.86	4.02	3.85	6.94
	斜长花岗斑岩	NN2	31.55	4.09	13.15	25.37	0.39	25.02	0.86	6.87	2.10	4.91	8.27
	斜长花岗斑岩	NN3	38.38	3.83	13.31	23.48	4.22	19.68	0.68	7.61	0.77	1.83	7.38
	斜长花岗斑岩	NN4	35.25	3.96	12.67	27.50	0.30	27.23	0.51	5.64	0.66	3.00	7.43
	黑云母花岗闪长岩	BH1	43.51	0.99	9.92	23.77	6.59	17.84	1.03	4.20	1.67	0.37	5.57
	黑云母花岗闪长岩	BH2	39.53	3.86	15.82	27.74	6.86	21.57	0.41	1.98	0.47	0.14	7.79
	黑云母花岗闪长岩	BH3	37.69	3.52	18.16	26.18	6.30	20.51	1.11	3.12	0.19	0.20	7.62
	黑云母花岗闪长岩	BH4	38.84	2.00	17.97	29.37	7.67	22.47	0.59	2.44	0.82	0.20	3.99
	黑云母花岗闪长岩	BH5	38.56	3.86	18.31	28.66	7.81	21.63	0.60	3.03	1.10	0.20	3.40
	花岗闪长斑岩	BG2	42.27	3.76	13.53	21.42	5.56	16.42	0.59	7.00	0.77	0.55	8.55
	花岗闪长斑岩	BG3	42.55	1.74	15.49	24.08	6.91	17.87	1.18	10.81	0.58	0.55	1.45
	斜长花岗斑岩	BX1	40.05	5.84	11.86	23.45	5.09	18.87	0.20	4.85	0.83	0.78	10.40
	斜长花岗斑岩	BX2	40.86	6.22	11.29	22.32	5.15	17.69	0.28	5.36	0.45	0.78	10.63
	斜长花岗斑岩	BX3	34.57	2.80	10.81	30.22	0.77	29.52	1.95	2.87	2.76	0.78	13.48
花岗闪长斑岩	A-004	35.60	3.71	13.82	6.58	14.87	0.56	12.1	5.59	0.57	2.21		
斜长花岗斑岩	BX4	40.34	1.32	13.81	30.44	6.57	24.53	1.52	1.56	2.35	0.78	6.10	
燕山 早期 阶段	粗粒黑云母花岗岩	Dr-1	34.45	2.86	13.89		14.69	16.48	0.52	4.61	1.65	0.60	4.57
	细粒黑云母花岗岩	Dr-2	32.40	2.42	16.00		14.37	20.00	0.90	4.30	1.02	0.42	1.21
	似斑状黑云母花岗岩	A-008	36.20	1.91	19.35		5.85	20.02	0.46	3.18	0.92	0.50	9.29
	黑云母钾长花岗岩	A-018	36.10	1.98	19.05		7.04	19.67	0.76	2.68	0.68	0.35	9.00
	钾长花岗岩	5440	37.06	2.24	19.52		6.71	23.35	0.37	1.18	0.06	0.40	7.50
	钾长花岗岩	5442	36.94	2.85	17.74		5.62	23.86	0.34	2.84	0.30	0.20	6.51
	钾长花岗岩	5443	37.72	1.61	20.97		7.08	21.20	0.38	0.79	0.12	0.25	8.52
	钾长花岗岩	5444	40.07	2.46	18.55		4.79	19.84	0.25	2.97	0.12	0.39	9.11
	钾长花岗岩	8911	36.27	2.97	15.65		5.90	24.28	0.79	2.47	1.19	0.60	5.61
	钾长花岗岩	8915	35.68	3.15	14.67		10.14	26.46	0.50	3.52	0.56	0.42	2.62
燕山 晚期 阶段	钾长花岗岩	013-1	31.65	3.12	14.70		8.19	21.85	0.81	3.20	0.76	0.30	6.96
	钾长花岗岩	5441	34.53	2.15	17.80		5.68	26.76	0.45	0.95	0.20	0.30	5.64
	钾长花岗岩	8036	35.02	3.24	15.37		10.11	26.46	0.33	2.09	1.20	0.24	3.06
	花岗斑岩	HB1	33.28	1.42	18.54	34.23	7.01	27.92	0.68	2.56	0.73	0.64	2.20
	花岗斑岩	HB2	43.38	2.13	17.23	22.25	6.25	16.62	0.62	0.47	2.29	0.57	9.06
	花岗斑岩	HB3	34.91	0.50	14.47	30.80	0.50	30.35	1.19	0.57	2.15	0.32	13.45
	花岗斑岩	HB4	37.31	2.98	16.59	28.26	5.18	23.60	0.48	2.40	0.66	3.00	5.49
	花岗斑岩	HB5	33.98	0.32	18.98	32.52	4.81	28.19	1.10	1.33	0.44	3.15	2.77
燕山 晚期 阶段	钾长花岗岩	HB6	39.06	1.16	12.86	29.92	3.40	26.86	0.69	1.94	0.34	2.90	7.56
	钾长花岗岩	HB7	35.04	2.21	14.49	27.99	0.26	27.75	1.63	1.13	0.68	2.52	11.76
	钾长花岗岩	HB8	37.20	1.49	17.05	30.85	5.78	25.65	0.83	1.70	0.80	3.29	3.24

续表 1

时代	岩体名称	样号	w/%					n(阳离子, 22个 O)					
			P ₂ O ₅	CO ₂	F	H ₂ O	LOI	Al ^{IV}	Si	Ti	Al ^{VI}	Fe ³⁺	Fe ²⁺
燕山 早 期 早 阶 段	斜长花岗斑岩	HH1	0.20				1.70	0.5966	3.4034	0.2705	0.5318	0.2496	1.3626
	斜长花岗斑岩	HH2	0.93				1.41	0.6900	3.3100	0.2706	0.5992	0.1194	1.4706
	斜长花岗斑岩	LH1	1.81				1.54	0.8817	3.1183	0.2447	0.3735	0.0103	1.7635
	斜长花岗斑岩	LH2	1.50				2.37	0.8575	3.1425	0.2217	0.5181	0.2452	1.4090
	斜长花岗斑岩	LH3	0.99				0.89	0.9196	3.0804	0.1344	0.6841	0.4011	1.5388
	斜长花岗斑岩	LH4	0.78				1.35	0.8330	3.1670	0.2678	0.5754	0.3326	1.2994
	斜长花岗斑岩	NN1	0.84				1.87	0.9170	3.0830	0.2558	0.2857	0.0701	1.3661
	斜长花岗斑岩	NN2	0.83				1.95	1.2377	2.7623	0.2692	0.1189	0.0257	1.8288
	斜长花岗斑岩	NN3	1.17				1.56	0.8552	3.1448	0.2359	0.4299	0.2601	1.3463
	斜长花岗斑岩	NN4	1.41				1.96	0.9591	3.0409	0.2568	0.3288	0.0195	1.9611
	黑云母花岗闪长岩	BH1	2.53				1.38	0.3022	3.6978	0.0632	0.6912	0.4213	1.2658
	黑云母花岗闪长岩	BH2	0.88				1.38	0.7835	3.2165	0.2361	0.7334	0.4199	1.4653
	黑云母花岗闪长岩	BH3	0.83				1.38	0.9408	3.0592	0.2148	0.7960	0.3847	1.3898
	黑云母花岗闪长岩	BH4	0.83				1.37	0.8426	3.1574	0.1222	0.8788	0.4690	1.5250
	黑云母花岗闪长岩	BH5	0.85				1.42	0.9299	3.0701	0.2310	0.7879	0.4678	1.4378
	花岗闪长斑岩	BG2	0.19				1.35	0.6590	3.3410	0.2234	0.6011	0.3306	1.0835
	花岗闪长斑岩	BG3	0.19				1.36	0.7476	3.2524	0.1000	0.6476	0.3973	1.1404
	斜长花岗斑岩	BX1	0.49				1.26	0.7308	3.2692	0.3583	0.4099	0.3126	1.2860
	斜长花岗斑岩	BX2	0.49				1.31	0.6835	3.3165	0.3795	0.3963	0.3145	1.1987
	斜长花岗斑岩	BX3	0.49				1.27	0.9542	3.0458	0.1854	0.1680	0.0510	2.1713
花岗闪长斑岩	A-004	0.19				0.35	1.3175	2.6825	0.2101	0.0000	0.3730	0.9354	
斜长花岗斑岩	BX4	0.49	0.51	0.82	3.14	1.27	0.6784	3.3216	0.0817	0.6614	0.4069	1.6862	
燕山 早 期 晚 阶 段	粗粒黑云母花岗岩	Dx-1	0.49	1.52	0.50	3.26	0.21	1.2858	2.7142	0.1694	0.0037	0.8706	1.0840
	细粒黑云母花岗岩	Dx-2	0.17	2.81	0.30	3.50	0.13	1.4288	2.5712	0.1444	0.0674	0.8579	1.3251
	似斑状黑云母花岗岩	A-008	0.10	0.22	2.12	1.31	0.89	1.1612	2.8388	0.1126	0.6268	0.3451	1.3107
	黑云母钾长花岗岩	A-018	0.07	0.20	2.61	1.27	1.10	1.1689	2.8311	0.1167	0.5915	0.4153	1.2879
	钾长花岗岩	5440	0.06	0.09		1.18		1.0410	2.9590	0.1344	0.7955	0.4030	1.5565
	钾长花岗岩	5442	0.11	0.80		2.28		1.0945	2.9055	0.1685	0.5497	0.3325	1.5668
	钾长花岗岩	5443	0.07	0.39		0.83		0.9960	3.0040	0.0964	0.9718	0.4241	1.4095
	钾长花岗岩	5444	0.08	0.27		0.89		0.8472	3.1528	0.1455	0.8727	0.2835	1.3033
	钾长花岗岩	8911	0.33	0.38		2.83		1.1140	2.8860	0.1776	0.3534	0.3532	1.6129
	钾长花岗岩	8915	9.55	0.38		2.69		1.1355	2.8645	0.1901	0.2523	0.4946	1.4645
钾长花岗岩	013-1	0.31	0.80		3.76		1.4404	2.5596	0.1897	0.0000	0.6169	1.7865	
燕山 晚 期 早 阶 段	钾长花岗岩	5441	0.09	2.36		2.60		1.1825	2.8175	0.1319	0.5289	0.3486	1.8229
	钾长花岗岩	8036	0.23	1.22		4.08		1.3068	2.6932	0.1873	0.0860	0.5849	1.6988
	花岗斑岩	HB1	0.97				0.80	1.1449	2.8551	0.0916	0.7293	0.4524	1.9997
	花岗斑岩	HB2	1.28				1.61	0.5606	3.4394	0.1269	1.0492	0.3728	1.1001
	花岗斑岩	HB3	0.98				0.93	0.8991	3.1009	0.0334	0.6155	0.0334	2.2507
	花岗斑岩	HB4	1.64				12.04	0.9137	3.0863	0.1853	0.7034	0.3223	1.6298
	花岗斑岩	HB5	3.75				2.67	1.0697	2.9303	0.0207	0.8590	0.3120	2.0296
	钾长花岗岩	HB6	1.68				1.16	0.6597	3.3403	0.0746	0.6362	0.2187	1.9177
钾长花岗岩	HB7	1.31				1.26	0.9129	3.0871	0.1464	0.5914	0.0172	2.0411	
钾长花岗岩	HB8	1.16				2.17	0.9012	3.0988	0.0933	0.7723	0.3622	1.7838	

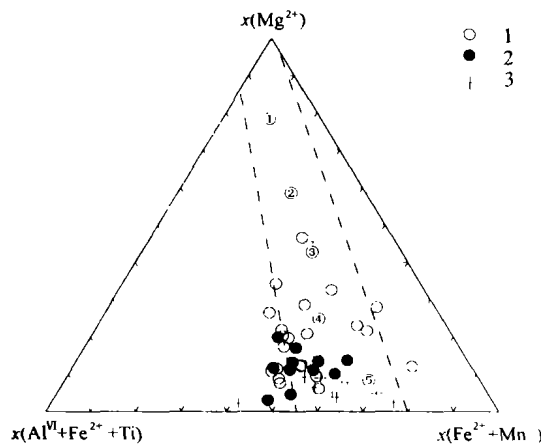
续表 1

时代	岩体名称	样号	n(阳离子, 22个O)							铁系数	镁系数	MF	Z	X	Y
			Mn	Mg	Ca	Na	K	OH	F						
燕山 早期 阶段	斜长花岗斑岩	HH1	0.0397	0.3435	0.0776	0.4388	1.0847	0.0000	0.0000	0.8244	0.1721	0.3935	4.0000	1.6011	2.7977
	斜长花岗斑岩	HH2	0.0622	0.2613	0.0465	0.7153	1.0554	0.0000	0.0000	0.8589	0.1365	0.2913	4.0000	1.8173	2.7833
	斜长花岗斑岩	LH1	0.0611	0.7409	0.0975	0.4261	0.9990	0.0000	0.0000	0.7054	0.2876	0.5776	4.0000	1.5226	3.1941
	斜长花岗斑岩	LH2	0.0610	0.6504	0.1328	0.3085	0.8656	0.0000	0.0000	0.7178	0.2749	0.6134	4.0000	1.3069	3.1055
	斜长花岗斑岩	LH3	0.1083	0.4110	0.2071	0.3183	0.2776	0.0000	0.0000	0.8252	0.1671	0.3994	4.0000	0.8029	3.2777
	斜长花岗斑岩	LH4	0.0288	0.6405	0.0468	0.1695	0.8374	0.0000	0.0000	0.7181	0.2783	0.6507	4.0000	1.0537	3.1444
	斜长花岗斑岩	NN1	0.0366	0.9740	0.3582	0.6206	0.7362	0.0000	0.0000	0.5959	0.3981	0.8196	4.0000	1.7149	2.9883
	斜长花岗斑岩	NN2	0.0638	0.8960	0.1969	0.8329	0.9233	0.0000	0.0000	0.6743	0.3184	0.6426	4.0000	1.9531	3.2023
	斜长花岗斑岩	NN3	0.0472	0.9288	0.0676	0.2905	0.7711	0.0000	0.0000	0.6336	0.3597	0.7999	4.0000	1.1292	3.2483
	斜长花岗斑岩	NN4	0.0373	0.7248	0.0610	0.5015	0.8173	0.0000	0.0000	0.7321	0.2643	0.5323	4.0000	1.3798	3.3282
	黑云母花岗闪长岩	BH1	0.0741	0.5317	0.1520	0.0609	0.6036	0.0000	0.0000	0.7604	0.2319	0.5682	4.0000	0.8166	3.0473
	黑云母花岗闪长岩	BH2	0.0282	0.2400	0.0410	0.0221	0.8083	0.0000	0.0000	0.8871	0.1114	0.2769	4.0000	0.8713	3.1229
	黑云母花岗闪长岩	BH3	0.0763	0.3772	0.0165	0.0315	0.7887	0.0000	0.0000	0.8247	0.1693	0.4093	4.0000	0.8366	3.2388
	黑云母花岗闪长岩	BH4	0.0406	0.2955	0.0714	0.0315	0.4136	0.0000	0.0000	0.8709	0.1268	0.3175	4.0000	0.5165	3.3312
	黑云母花岗闪长岩	BH5	0.0405	0.3594	0.0938	0.0309	0.3452	0.0000	0.0000	0.8413	0.1559	0.3911	4.0000	0.4698	3.3243
	花岗闪长斑岩	BG2	0.0395	0.8241	0.0652	0.0842	0.8617	0.0000	0.0000	0.6318	0.3618	0.8465	4.0000	1.0111	3.1022
	花岗闪长斑岩	BG3	0.0764	1.2308	0.0475	0.0815	0.1413	0.0000	0.0000	0.5554	0.4326	1.0058	4.0000	0.2703	3.5925
	斜长花岗斑岩	BX1	0.0138	0.5897	0.0726	0.1234	1.0825	0.0000	0.0000	0.7305	0.2678	0.6242	4.0000	1.2784	2.9703
	斜长花岗斑岩	BX2	0.0192	0.6481	0.0391	0.1227	1.1002	0.0000	0.0000	0.7001	0.2972	0.6946	4.0000	1.2620	2.9563
	斜长花岗斑岩	BX3	0.1455	0.3767	0.2604	0.1332	1.5144	0.0000	0.0000	0.8551	0.1372	0.2797	4.0000	1.9080	3.0979
花岗闪长斑岩	A-004	0.0357	1.3581	0.4511	0.0832	0.2123	1.5775	0.1953	0.4907	0.5026	1.1661	4.0000	0.7467	2.9124	
斜长花岗斑岩	BX4	0.1060	0.1913	0.2072	0.1244	0.6405	0.0000	0.0000	0.9162	0.0800	0.1929	4.0000	0.9721	3.1336	
燕山 早期 阶段	粗粒黑云母花岗岩	Dr-1	0.0347	0.5410	0.1392	0.0916	0.4591	1.7125	0.1245	0.7832	0.2138	0.6520	4.0000	0.6899	2.7033
	细粒黑云母花岗岩	Dr-2	0.0605	0.5083	0.0867	0.0646	0.1224	1.8519	0.0753	0.8111	0.1847	0.5368	4.0000	0.2737	2.9636
	似斑状黑云母花岗岩	A-008	0.0305	0.3715	0.0773	0.0760	0.9290	0.6849	0.5255	0.8168	0.1805	0.4338	4.0000	1.0822	2.7971
	黑云母钾长花岗岩	A-018	0.0505	0.3131	0.0571	0.0532	0.9000	0.6641	0.6470	0.8447	0.1515	0.3792	4.0000	1.0103	2.7750
	钾长花岗岩	5440	0.0250	0.1403	0.0051	0.0619	0.7636	0.6282	0.0000	0.9332	0.0660	0.1630	4.0000	0.8306	3.0548
	钾长花岗岩	5442	0.0226	0.3327	0.0253	0.0305	0.6529	1.1957	0.0000	0.8509	0.1476	0.3462	4.0000	0.7087	2.9728
	钾长花岗岩	5443	0.0256	0.0937	0.0102	0.0386	0.8652	0.4407	0.0000	0.9514	0.0480	0.1226	4.0000	0.9140	3.0212
	钾长花岗岩	5444	0.0167	0.3481	0.0101	0.0595	0.9140	0.4669	0.0000	0.8201	0.1784	0.4174	4.0000	0.9836	2.9697
	钾长花岗岩	8911	0.0532	0.2928	0.1014	0.0925	0.5692	1.5014	0.0000	0.8704	0.1266	0.2989	4.0000	0.7631	2.8431
	钾长花岗岩	8915	0.0551	0.3827	0.0653	0.0467	0.7125	1.4399	0.0000	0.8366	0.1597	0.4023	4.0000	0.8245	2.8393
燕山 晚期 阶段	钾长花岗岩	013-1	0.0342	0.4240	0.0485	0.0658	0.2702	2.0274	0.0000	0.8500	0.1482	0.3778	4.0000	0.3845	3.0513
	钾长花岗岩	5441	0.0311	0.1155	0.0175	0.0474	0.5868	1.4145	0.0000	0.9495	0.0498	0.1173	4.0000	0.6517	2.9788
	钾长花岗岩	8036	0.0215	0.2394	0.0988	0.0358	0.3001	2.0920	0.0000	0.9051	0.0941	0.2443	4.0000	0.4347	2.8179
	花岗斑岩	HB1	0.0494	0.3271	0.0671	0.1064	0.2407	0.0000	0.0000	0.8823	0.1157	0.2753	4.0000	0.4141	3.6495
	花岗斑岩	HB2	0.0416	0.0555	0.1945	0.0876	0.9160	0.0000	0.0000	0.9637	0.0354	0.0927	4.0000	1.1980	2.7461
	花岗斑岩	HB3	0.0895	0.0754	0.2045	0.0551	1.5235	0.0000	0.0000	0.9680	0.0308	0.0624	4.0000	1.7831	3.0979
	花岗斑岩	HB4	0.0336	0.2957	0.0585	0.4808	0.5791	0.0000	0.0000	0.8684	0.1296	0.3019	4.0000	1.1184	3.1702
	花岗斑岩	HB5	0.0803	0.1708	0.0406	0.5263	0.3046	0.0000	0.0000	0.9320	0.0659	0.1498	4.0000	0.8716	3.4725
	钾长花岗岩	HB6	0.0500	0.2471	0.0311	0.4805	0.8244	0.0000	0.0000	0.8963	0.1016	0.2232	4.0000	1.3361	3.1442
	钾长花岗岩	HB7	0.1216	0.1483	0.0642	0.4302	1.3212	0.0000	0.0000	0.9328	0.0637	0.1283	4.0000	1.8155	3.0660
钾长花岗岩	HB8	0.0585	0.2109	0.0714	0.5310	0.3442	0.0000	0.0000	0.9105	0.0873	0.2055	4.0000	0.9465	3.2811	

注:含铁系数 = $n(\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+})/n(\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+} + \text{Mg})$, 含镁系数 = $n(\text{Mg})/n(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+} + \text{Mn})$, $\text{MF} = 2n(\text{Mg})/n(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mn})$, $X = n(\text{Ca} + \text{Na} + \text{K})$, $Y = n(\text{Al}^{\text{VI}} + \text{Fe}^{3+(\text{VI})} + \text{Fe}^{2+} + \text{Ti}^{\text{VI}} + \text{Mn} + \text{Mg})$, $Z = n(\text{Si} + \text{Al}^{\text{IV}} + \text{Fe}^{3+(\text{IV})} + \text{Ti}^{\text{IV}})$;成分分析由北京理化测试中心和长春科技大学测试中心完成。

在黑云母的 $Mg-(Al^{IV} + Fe^{3+} + Ti)-(Fe^{2+} + Mn)$ 分类图^[2]中,本区燕山早期早阶段花岗岩中的黑云母主要为富铁黑云母和铁黑云母,燕山早期晚阶段花岗岩中黑云母主要为铁黑云母,燕山晚期早阶段花岗岩中黑云母主要为铁黑云母(图 1)。因而,本区中生代花岗岩中黑云母主要为富铁黑云母和铁黑云母,属富铁黑云母-铁叶云母系列。与产于哀牢山—金沙江裂谷系富碱侵入岩^[3]和云南老王寨金矿煌斑岩^[4]中的富镁黑云母和金云母明显不同。与个旧含锡黑云母花岗岩、千里山含锡黑云母花岗岩、西藏南部壳性花岗岩及华南花岗岩中的黑云母种类较为一致,但与长江中下游花岗岩中的富镁黑云母明显不同,反映了大兴安岭中南段壳型花岗岩中黑云母的成分特点。壳型花岗岩中黑云母的 MF 值一般小于 0.5^[3],而钙碱性斑岩中黑云母的 MF 为 1.27~1.36,平均值为 1.32^[3],本区燕山早期早阶段花岗岩类 MF 平均值为 0.55,个别样品 MF > 1, MF 值介于二者之间,与典型壳型花岗岩中的黑云母不同,暗示了本区花岗岩形成时有幔源物质混入的成分特点。同时由表 1 可知,大兴安岭中南段燕山期花岗岩中黑云母由早期向晚期演化, MF 值逐渐变小(MF 平均值由 0.55→0.38→0.22),从而表明在岩浆演化过程中,随着酸度的升高,岩浆中含水量和氧逸度增加,岩浆向富铁方向演化。反映在花岗岩中黑云母的化学成分上,则是含铁系数(0.75→0.76→0.91)的增加和含镁系数(0.24→0.23→0.09)的降低,这与哀牢山—金沙江裂谷系富

碱侵入岩和云南老王寨金矿煌斑岩中的镁铁黑云母的含镁系数(0.65~0.79)和含铁系数(0.28~0.20)的变化正好相反,前者向富铁方向演化,后者向富镁方向演化,而与华南壳型花岗岩中黑云母的含镁系数(0.0~0.4)和含铁系数(0.52~0.98)的变化趋势相同。综合本区花岗岩中黑云母的化学成分及其他参数,并与华南南岭系列和长江中下游系列花岗岩中的黑云母特征相比较,发现本区黑云母参数介于华南二系列之间,兼具二系列的某些特点,反映了大兴安岭中南段壳源花岗岩经幔源物质轻度混染的成分特点。



1. 燕山早期早阶段 2. 燕山早期晚阶段 3. 燕山晚期早阶段

图 1 黑云母的 $Mg-Al^{IV} + R^{2+} - Fe^{2+} + Mn$ 图解^[2]

Fig. 1. $Mg-Al^{IV} + R^{2+} - Fe^{2+} + Mn$ diagram of biotite (after Foster, 1960).

表 2 本区黑云母与华南二成因系列花岗岩黑云母特征对比

Table 2. Comparison of the characteristics of biotite from granites between the southern-middle section of the Da Hinggan Ling Mountains and South China

	南岭系列	长江中下游系列	大兴安岭中南段
全岩 ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	> 0.710	< 0.710	0.7024~0.7096
全岩 δ ¹⁸ O‰	> 10	< 10	8.4~9.0
全岩微量元素	富 Rb、Sn、W、Be	富 Co、Ni、Ba、V	富 Co、Ni、V、Sn、W
云母组合	黑云母 + 白云母 + 钛铁矿 + 富铝硅酸盐	黑云母 + 磁铁矿 + 角闪石 + 贫铝硅酸盐	黑云母 + 磁铁矿 + 富铝硅酸盐
多色性	大多数为褐红-浅绿	大多数褐红-棕红	褐绿-深褐
N _g	大多数 > 1.640	大多数 < 1.640	> 1.640
w(Al ₂ O ₃)	大多数 > 15%	大多数 < 15%	2/3 > 15%, 1/3 < 15%
w(TiO ₂)	大多数 > 3.0%	大多数 < 3.0%	1/2 > 3%, 1/2 < 3%
w(MgO)	< 8.0%	> 8.0%	< 8.0%
MF	< 0.45	> 0.45	0.55
八面体主要阳离子组合	Al ³⁺ + Fe ²⁺ + Li + Mg	Ti + Mg + Fe ²⁺ + Fe ³⁺	Fe ²⁺ + Fe ³⁺ + Al + Mg + Ti

3 黑云母的红外光谱学特征

由于黑云母成分复杂,类质同像广泛,获得的红外光谱(图2)也较为复杂,主要出现在400~3700 cm^{-1} 范围内。

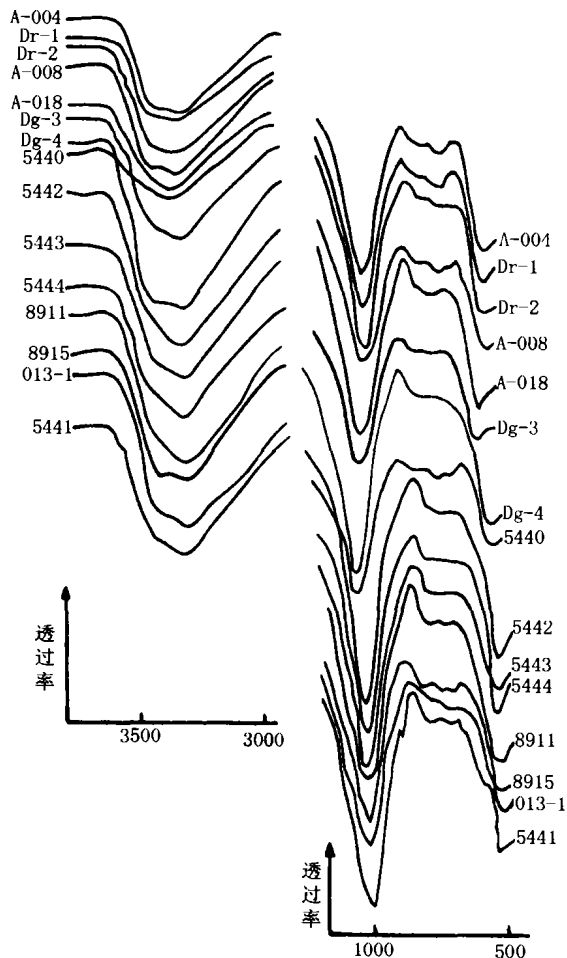


图2 黑云母的红外光谱图(Dg-3、Dg-4为燕山早期晚阶段,无化学分析,其余样品号同表1)

Fig. 2. Infrared spectra of biotite.

3700 cm^{-1} 附近 Mg^{2+} -(OH)的伸缩振动:燕山期岩体在3665~3685 cm^{-1} 范围内变化,并且随时代变新,单位 Mg^{2+} 含量降低,使谱带向低频位移。

3670 cm^{-1} 附近 Al^{3+} 、 Mg^{2+} -OH的振动:燕山早期晚阶段岩体中黑云母为3660~3670 cm^{-1} ,燕山晚期早阶段岩体黑云母为3661~3663 cm^{-1} ,表明随时代变新Al置换Mg增高,这与化学分析的计算结果是一致的。

3500 cm^{-1} 附近 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} -OH的振动谱带:燕山早期早阶段花岗岩中黑云母为3575 cm^{-1} ,燕山早期晚阶段花岗岩中黑云母为3550~3580

cm^{-1} ,燕山晚期早阶段花岗岩中黑云母为3540~3548 cm^{-1} ,表明随时代变新, Fe^{3+} 在黑云母中含量降低,使谱带向低频位移。

3440 cm^{-1} 附近谱带:燕山早期早阶段花岗岩中黑云母为3428 cm^{-1} ,燕山早期晚阶段岩体中黑云母为3430~3442 cm^{-1} ,燕山晚期早阶段花岗岩中黑云母为3436~3440 cm^{-1} ,燕山期各期次岩体黑云母谱带频率相近,表明燕山期岩体黑云母单位晶胞内K、Na基本相同。

1000 cm^{-1} 附近谱带:燕山早期早阶段花岗岩中黑云母为995 cm^{-1} ,燕山早期晚阶段花岗岩中黑云母为1000~1008 cm^{-1} ,燕山晚期早阶段花岗岩中黑云母为1001~1002 cm^{-1} ,因 $\text{Al} \rightarrow \text{Si}$ 使谱带向低频位移。

750~780 cm^{-1} 附近谱带:燕山早期早阶段花岗岩中黑云母为752 cm^{-1} ,燕山早期晚阶段花岗岩中黑云母为750~778 cm^{-1} ,燕山晚期早阶段花岗岩中黑云母为748~770 cm^{-1} ,燕山期岩体黑云母谱带变化范围大且不稳定,表明形成于不同条件下的燕山期岩体,其黑云母中 Al^{IV} 替代 Si^{IV} 的程度不同。640~720 cm^{-1} 区间谱带:不同样品出现谱带的强度及分辨率不同,尤其随岩体黑云母时代不同,该谱带出现明显的差异,此谱带可能与 Al/Si 的有序无序有关。

450~460 cm^{-1} 范围内的谱带:燕山早期早阶段花岗岩中黑云母为455 cm^{-1} ,燕山早期晚阶段花岗岩中黑云母为445~468 cm^{-1} ,燕山晚期早阶段花岗岩中黑云母为446~462 cm^{-1} ,燕山期岩体黑云母谱带变化范围大,总体随 Fe^{3+} (Fe^{2+})置换Mg的程度增加,谱带向低频位移。

4 讨论

4.1 成岩意义

岩浆岩中的云母成分可用来划分寄主岩石的系列和类型,并反映岩石的成因。在A A 马拉库舍夫等^[5]的黑云母成分与寄主岩石碱度关系图解中,燕山早期花岗岩中黑云母主要位于正常碱度区和高碱度区,燕山晚期早阶段花岗岩中的黑云母主要位于低碱度区和正常碱度区,这与岩石化学分析结果所得的结论基本一致。在黑云母的 $\Sigma\text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO})$ -MgO与岩浆物质来源关系图解^[6]中,本区燕山期花岗岩黑云母投影于壳源区和壳幔混源区,表明了本区花岗岩壳幔混源的成因特点,与目前多数学者认为它们为壳幔混源的

成因认识相一致。杨文金^[7,8]等研究了华南两个不同成因系列花岗岩的云母成分标型特征,即南岭浅源系列和长江深源系列,浅源南岭系列花岗岩中的特征矿物为铁质黑云母+白云母+钛铁矿+富铝硅酸盐;长江深源系列花岗岩中特征矿物组合为镁质黑云母+角闪石+磁铁矿+贫铝硅酸盐。本区燕山期花岗岩中特征矿物组合为铁质黑云母+角闪石+富铝硅酸盐+磁铁矿+钛铁矿,介于二者之间,兼具有两系列花岗岩的特点,反映了本区花岗岩属于深源和浅源花岗岩之间的过渡类型。岩石中黑云母的镁质率 $[M = n(\text{Mg})/n(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mn})]$ 是区别长江深源系列和南岭浅源系列花岗岩的一个可靠的判别标志,南岭浅源系列黑云母 $M < 0.45$,长江深源系列黑云母 $M > 0.45$,本区燕山期三期次花岗岩由早到晚黑云母 M 平均值分别为 0.55, 0.38 和 0.22,表明本区燕山早期早阶段花岗岩属于长江深源系列,燕山早期晚阶段花岗岩和燕山晚期早阶段花岗岩属于浅源南岭系列,亦说明本区燕山期花岗岩属于两系列之间的过渡类型。燕山早期早阶段花岗岩中黑云母四次配位 Si 原子数平均值为 3.172 5,燕山早期晚阶段花岗岩中黑云母四次配位的 Si 原子数平均值为 2.84,燕山晚期早阶段花岗岩中四次配位的 Si 原子数为 3.01,与漳州白垩纪 I 型和 A 型花岗岩黑云母中四次配位的 Si 原子数^[9]相比

较,本区燕山早期晚阶段花岗岩中黑云母 Si 的原子数与 I 型花岗岩相当,燕山早期早阶段和燕山晚期早阶段花岗岩中黑云母 Si 的原子数与 A 型花岗岩中黑云母 Si 的原子数相当。在黑云母的 $\text{MgO}-\text{FeO}^*-\text{Al}_2\text{O}_3$ 图解中,本区燕山早期早阶段花岗岩主要投于钙碱性花岗岩区和碱性花岗岩区,燕山早期晚阶段和燕山晚期早阶段花岗岩主要投于碱性花岗岩和造山期后花岗岩区,这与本区自中生代以来处于造山期后或稳定大陆板内的构造环境相一致。

4.2 黑云母的成矿意义

由于特殊的层状结构特点,黑云母还是许多成矿元素的载体或富集矿物。其化学成分的演化能灵敏地指示不同矿化类型及其与成矿关系,并且可作为某些矿床的找矿标志^[10]。由本区燕山期不同成矿系列花岗岩的 $\text{MgO}-\text{FeO}$ 图解及含镁系数和含铁系数图解(图略)可知,燕山期三个不同期次不同成矿系列的花岗岩其黑云母化学成分明显不同,燕山早期早阶段与铜成矿有关的花岗岩其黑云母相对以富镁贫铁为特征,燕山晚期早阶段与锡多金属矿化有关的花岗岩其黑云母成分相对以富铁贫镁为特征,燕山早期晚阶段与铅锌银成矿有关的花岗岩其黑云母成分介于两者之间。

参考文献:

- [1] 林文蔚,彭丽君.由电子探针分析数据估算角闪石、黑云母中的 Fe^{3+} 、 Fe^{2+} [J]. 长春地质学院学报,1994,24(2):156~162.
- [2] Foster M D. Interpretation of composition of trioctahedral micas[J]. U. S. Geol. Surv. Prof. Paper,1960,354-B: 1~49.
- [3] 谢应雯,张玉泉.哀牢山-金沙江裂谷系岩石中镁铁云母成分特征及其岩石学意义[J]. 矿物学报,1995,15(1):82~87.
- [4] 黄智龙,等.云南老王寨金矿区煌斑岩中云母的矿物化学[J]. 矿物学报,1997,17(1):63-70.
- [5] 王奎仁. 地球与宇宙成因矿物学[M]. 合肥:安徽教育出版社,1989. 196~218.
- [6] 杨文金,王联魁,等.华南两个不同成因系列花岗岩的云母标型特征[J]. 矿物学报,1986,(4):298~397.
- [7] 杨文金,王联魁,等.从云母微量元素特征探讨华南花岗岩的成因和演化[J]. 矿物学报,1988,(2):127~135.
- [8] 陈国安,周岫若.漳州地区白垩纪 I 型和 A 型花岗岩中黑云母的矿物学特征[J]. 矿物岩石,1996,(2):25~30.
- [9] 邱家骧,等.秦巴碱性岩[M]. 北京:地质出版社,1993. 140.
- [10] 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,(2):147~164.

**MINERAL CHEMISTRY OF BIOTITE FROM GRANITES ASSOCIATED WITH
DIFFERENT MINERALIZATION IN THREE STAGES OF YANSHANIAN
PERIOD IN THE SOUTHERN-MIDDLE PARTS OF THE DA HINGGAN LING
MOUNTAINS AND ITS PETROGENETIC AND METALLOGENIC SIGNIFICANCE**

LU Zhi-cheng^{1, 2}, DUAN Guo-zheng², DONG Guang-hua²

(1. *Open Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;*

2. *Changchun University of Science and Technology, Changchun 130026, China*)

Abstract: Based on the mineralogical composition OF biotite occurring in Yanshanian granites in the southern-middle parts of the Da Hinggan Ling Mountains, it is suggested that the biotites in the Yanshanian granites are mainly lepidomelance and Fe-rich biotite, and they belong to the lepidomelance-annite series. The major composition of biotite shows that its host rocks are alkalic and calc-alkaline series rocks, and the Yanshanian granites have characters of the Nanling granite series and Yangtze river granite series, manifesting the granites in the region are of the mantle-crust mixing type. The granites, which evolved in three different stages of the Yanshanian period, stemmed from the same magma source. Biotites from the granites associated with different mineralization in three stages of the Yanshanian period are different in composition. The biotite is characterized by high contents of Mg and low contents of Fe²⁺, which is from granites associated with Cu mineralization in the early stage of the Early Yanshanian period. And the biotite enriched in Fe and depleted in Mg is from granites related to Sn-polymetal mineralization at the early stage of the Late Yanshanian period. The biotite from the late stage of the Early Yanshanian granites related to lead-zinc-silver mineralization is similar to the biotite from the early stage of the Early Yanshanian granites and to that from the early stage of the Late Yanshanian granites.

Key words: chemical composition of biotite; petrogenetic and metallogenic significance; granite; southern-middle parts of the Da Hinggan Ling Mountains