

文章编号: 1009-3850(2006)04-0015-10

西藏过铝花岗岩矿物化学特征及其岩石学意义

廖忠礼¹, 潘桂棠¹, 朱弟成¹, 王立全¹, 耿全如¹,

张予杰¹, 熊兴国², 陈文彬¹, 彭智敏¹, 朱 兵³

(1. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082; 2. 贵州省地质调查院, 贵州 贵阳 550004; 3. 四川省地质调查院, 四川 成都 610082)

摘要: 本文系统地讨论了西藏过铝花岗岩中斜长石、钾长石、黑云母、白云母和电气石的矿物化学特征。结果表明: 岩石中的斜长石均以 Ab 为主, 占 78.73% ~ 100%, An 分子为 0.13% ~ 18.93%, 而 Or 分子仅为 0.19% ~ 3.74%; 在长石的成分分类图解中多分布于更长石区内, 少量分布于钠长石区。钾长石的端元组分中 Or 含量最高, 为 81% ~ 98.48%, Ab 为 1.52% ~ 19.00%, 基本不含 An 分子, 在成分分类图解中集中分布在 Ab—Or 线的正长石区内。斜长石中 $Ab > An > Or$, 主要属更长石, 极少量为中长石; 钾长石具有高 Or 含量, 显示 $Or >> Ab >> An$, 属钾透长石。白云母在以 22 个氧原子计算的分子式中, Si 与 Al 的阳离子数均较高, 其中 Si 为 6.0575 ~ 6.6412, 属多硅白云母; 黑云母中 Si 阳离子数绝大多数小于 6, 值介于 5.3227 ~ 6.1265 之间, 平均为 5.5718; Al 离子数为 1.8735 ~ 2.6464, 四面体配位为 Si、 Al^{IV} 所占据, 八面体配位的阳离子中 Al^{VI} 为 0.2101 ~ 1.7388, 大离子位中以 K 为主。过铝花岗岩中黑云母的 $Mg/(Mg+Fe)$ 比全岩的 $Mg/(Mg+Fe)$ 比值略高, 但二者具有正相关关系, 说明了其成因仍以岩浆成因为主。在云母类矿物的成因图解显示, 研究区内大多数黑云母均位于 C 区, 属壳源。

关键词: 过铝花岗岩; 矿物化学; 岩石成因; 西藏

中图分类号: P588.12⁺1

文献标识码: A

造岩矿物化学成分是源区部分熔融、熔体结晶分异作用和成岩作用机理的反映, 对探讨岩浆活动的深部地质动力学条件具有重要意义。长石类和云母类矿物是花岗岩主要组成矿物, 它们通常保存了大量形成时周围岩浆介质的物理化学信息^[1,2], 因而是一种直接研究岩浆结晶演化及成岩温压条件的理想对象^[3]。西藏过铝花岗岩系统的矿物学、矿物化学资料尚不多见, 本文主要借助电子探针, 对西藏过铝花岗岩的主要造岩矿物进行了较为系统的研究, 获得了一些有用的信息。

1 地质概况

过铝花岗岩的岩浆活动在青藏高原有一定分布, 是强烈岩浆活动的一种重要形式。分布于西藏境内的 61 个过铝花岗岩体, 主要呈带状分布于班公湖—改则—安多怒江带一线以南的 6 个花岗岩带^[4,5], 喜马拉雅地区是闻名世界的过铝花岗岩研究基地^[6,7]。过铝花岗岩因其与造山带演化和青藏高原隆升密切相关而倍受关注^[8~10]。对于这些淡色花岗岩的成因, 一般认为是地壳来源^[11~13], 是碰撞后

收稿日期: 2006-08-16

第一作者简介: 廖忠礼, 1969 年生, 博士, 副研究员, 从事岩石学及青藏高原地质方面的研究。

资助项目: 国家重点基础研究发展规划项目 (2002CB412609), 国家自然科学基金 (40503005, 40572051), 中国地质调查局“青藏高原南部空白区基础地质调查与研究” (1212010310102)。

陆内挤压造山的产物, 邓晋福等^[9]则进一步认为它们是陆内俯冲带的产物, 是陆内俯冲的岩石学记录。

现有资料显示^[8, 9, 15~30], 西藏过铝花岗岩的同位素年龄按岩带的不同有差异, 一般在10~20Ma之间, 反映其岩浆活动主要集中于新近纪, 而且主要在23Ma及其以后侵位的, 岩浆活动强度基本呈增强趋势。特别是拉轨岗日-喜马拉雅带, 属中新世, 为喜马拉雅晚期产物; 而藏北-冈底斯带部分岩体为90~140Ma, 属白垩纪。

2 岩石系列与组合

西藏过铝花岗岩的岩石类型主要有电气石花岗岩、白云母花岗岩和二云母花岗岩, 岩石系列主要为含钾较高的钙碱性系列, 具较高的 SiO_2 、 Al_2O_3 和较低的 TiO_2 、 MgO 含量。 SiO_2 含量在65.7%~79.52%之间; Al_2O_3 为10.42%~18.29%; CaO 为0.15%~3.39%; Na_2O 、 K_2O 为0.26~3.6, 有66%小于1, 即多数样品 $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$ 。

稀土元素配分型式总体极为相似, 皆具较强负铕异常, δ_{Eu} 为0.15~0.88, 平均为0.53, REE值不高, 为 $(19.97 \sim 260.14) \times 10^{-6}$, 为稀土富集型的壳源物质重熔结晶的产物。 $(\text{Ce}/\text{Yb})_N$ 平均值由南部喜马拉雅带的11.20到北部藏北带增高到12.73, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 由南向北逐渐增高(平均值由11.68至16.8), 显示西藏过铝花岗岩由南向北, 岩浆分异演化增强、轻重稀土分馏加剧。其岩石形成过程中, 由南而北, 岩浆呈强至弱的演化次序。同样, Nd-Sr同位素也表明其为典型的S型花岗岩。

岩石中微量元素Rb和Th强烈富集, 而Ba和Ce略有富集, Zr、Sm、Y、Yb则相对亏损。岩石微量元素型式图显示出同碰撞花岗岩的模式。

其岩石类型按Barbarin的分类^[10], 均属于含白云母过铝质花岗岩类(MPGs)。3种主要岩石类型在空间分布上, 高喜马拉雅岩带的岩石类型主要为电气石花岗岩, 北喜马拉雅南带、拉轨岗日带主要为白云母花岗岩和电气石花岗岩, 而措勤-申扎带、南冈底斯带主要为二云母花岗岩, 即由南而北, 电气石含量越来越少; 按侵入顺序, 从早到晚的演化趋势为: 二云母花岗岩→白云母花岗岩→电气石花岗岩, 指示靠南部侵入时代相对较晚, 而越靠北越早。

西藏过铝花岗岩类发生在两个大陆地壳板块的碰撞阶段, 岩浆来源于上地壳的重熔。冈底斯过铝花岗岩类, 岩浆来源深度较大, 这得到了锆石SHRIMP年龄结果的支持。笔者在罗扎岩体选择单

颗粒锆石进行了SHRIMP年龄测定, 得到 $116 \pm 43\text{Ma}$ 白云母花岗岩的侵位年龄^[31]。而喜马拉雅期花岗岩类, 则主要是大陆板块碰撞以后, 处于相对稳定环境中形成的花岗岩类, 岩浆来源比较浅。喜马拉雅岩区过铝花岗岩同位素年龄为20~10Ma, 属中新世, 为中央结晶岩系部分熔融的产物。

3 长石的矿物化学特征

长石是组成花岗岩类最主要的造岩矿物, 对研究区内主要过铝花岗岩类的长石进行的电子探针分析结果见表1、表2。

斜长石是化学成分变化比较大的一类造岩矿物, 它普遍以自形、半自形出现在各类花岗岩中。斜长石的化学成分可灵敏地反映出岩浆总成分的演化。从表1中可以看出, 在斜长石的主要氧化物中, SiO_2 含量在61.18%~69.65%间, 平均66.41%; Al_2O_3 在17.849%~24.95%间, 平均20.57%; Na_2O 为5.99%~12.182%, 平均10.44%; CaO 为0~6.95%, 个别样品偏低, 仅0.026%; K_2O 含量最低, 为0~1.96%, 平均0.2151%。

基于氧化法计算^[32]的斜长石端元组份中可以看出, 各岩类的斜长石均以Ab为主, 占78.73%~100%, An分子为0.13%~18.93%, 而Or分子最少, 仅为0.19%~3.74%。在长石的成分分类图解中(图1), 多分布于更长石区内, 少量分布于钠长石区, 与岩矿鉴定结果基本一致。

主要岩石类型的钾长石电子探针分析结果及氧化法计算^[32]的端元组份见表2。钾长石的 SiO_2 在

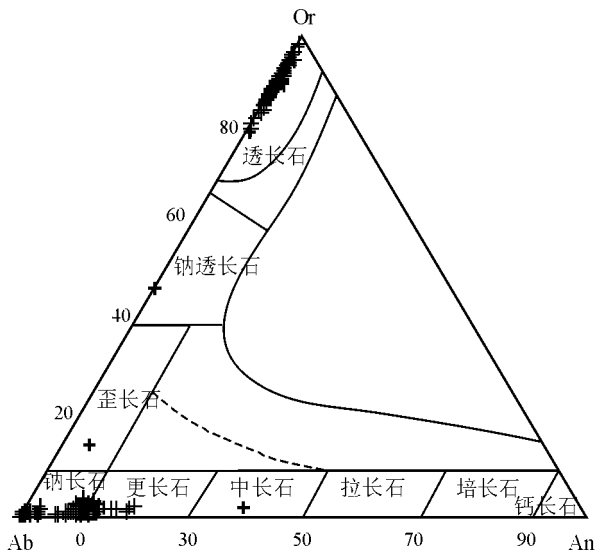


图1 长石成分 Or—Ab—An 分类图解

Fig. 1 Or—Ab—An diagram of feldspar

表 1 斜长石的化学成分电子探针分析结果($w_B/\%$)
Table 1 Microprobe analyses ($w_B/\%$) of plagioclase

岩带	岩体	样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	NiO	总量	Or	Ab	An
措勤-申扎带 ^①	央雄勒	2031/1	66.9	0	19.25	0.11	0	0.21	2.14	9.64	0.43	0		98.68	1.16	97.81	1.03
	曲松乃嘎	2042/1	69.03	0	19.33	0.02	0	0.24	0.2	10.54	0.19	0.01		99.56	14.44	80.11	5.45
	曲松乃嘎	2042/1	64.9	0	22.52	0.37	0	0.29	0.88	7.15	1.96	0		98.07	2.55	86.80	10.65
	松木果	3417/1	61.18	0.04	24.95	0	0.08	0.22	6.95	5.99	0.22	0.01		99.64	1.45	60.05	38.50
南冈底斯带	郎那 ^①	32176/1	68.85	0.03	19.08	0.08	0.09	0.37	0.22	11.02	0.11	0		99.85	0.65	98.27	1.08
	罗扎	LZ03-1	68.604	0.037	19.24	0.137	0.492	0	0.213	11.593	0.102	0.233	0.04	100.692	0.57	98.43	1.00
		LZ03-1	67.719	0.036	19.925	0.032	0.368	0.008	0.026	11.249	0.112	0.146	0	99.62	0.65	99.22	0.13
		LZ03-1	67.95	0	19.977	0	0.243	0	0.55	11.02	0.081	0.08	0.191	100.091	0.47	96.86	2.67
		LZ03-1	68.345	0.079	17.849	0.136	0.135	0	0.062	11.46	0.023	0	0	98.089	0.13	99.57	0.30
		LZ03-1	68.973	0	19.48	0	0	0.007	0.149	11.784	0.101	0.158	0	100.652	0.56	98.75	0.69
		LZ03-1	68.993	0.018	18.924	0.025	0.302	0.018	0.251	11.287	0.097	0	0	99.914	0.56	98.24	1.21
		LZ05-1	68.603	0.036	19.497	0.071	0.175	0.001	0.059	11.053	0	0.248	0.002	99.744	0.00	99.71	0.29
		LZ05-1	68.766	0.026	18.135	0.002	0.221	0.002	0.094	11.066	0.124	0.059	0.097	98.593	0.73	98.81	0.46
		LZ06-1	66.887	0	21.537	0	0.05	0	0.452	10.252	0.095	0	0	99.274	0.59	97.04	2.36
		LZ06-1	66.667	0	21.501	0	0.287	0	0.576	10.612	0.202	0.061	0.097	100.004	1.20	95.92	2.88
		LZ06-1	67.214	0.071	20.756	0	0.083	0	0.386	9.557	0.346	0.225	0	98.637	2.28	95.59	2.13
		LZ09-1	68.915	0.042	19.105	0	0.057	0	0.314	11.924	0.127	0.099	0	100.583	0.69	97.89	1.42
		LZ09-1	69.659	0.023	19.042	0.055	0.103	0.016	0	11.343	0.083	0	0	100.324	0.48	99.52	0.00
拉轨岗日带	曲珍	QZ02-1	64.895	0	22.098	0	0.042	0.055	2.479	10.222	0.552	0.408	0	100.751	3.04	85.50	11.46
		QZ02-1	65.806	0	20.95	0	0	0	2.789	10.159	0.165	0	0	99.869	0.92	86.03	13.05
		QZ02-1	64.158	0.01	22.816	0.189	0.107	0	3.989	9.667	0.146	0	0	101.081	0.80	80.78	18.42
		QZ02-1	64.775	0	22.161	0	0.046	0.016	4.112	9.303	0.366	0.11	0.38	101.269	2.04	78.73	19.23
		QZ02-1	65.195	0	23.036	0.085	0.146	0.005	2.845	9.429	0.29	0	0	101.03	1.70	84.25	14.05
		QZ02-1	64.376	0.024	22.228	0	0	0.033	3.554	8.683	0.289	0.273	0	99.459	1.75	80.12	18.12
		QZ02-1	63.001	0	23.578	0.035	0.183	0	3.522	9.957	0.248	0	0	100.524	1.35	82.52	16.13
		QZ02-1	63.745	0.069	21.768	0	0	0	3.39	10.267	0.243	0.355	0.4	100.238	1.30	83.47	15.23
		QZ02-3	68.473	0.032	18.551	0	0.052	0.023	0.122	12.182	0.166	0.102	0	99.702	0.88	98.57	0.55
		QZ02-3	68.421	0.008	19.024	0	0.277	0	0.131	11.829	0.093	0	0	99.783	0.51	98.88	0.61
		QZ02-3	65.481	0.047	21.162	0	0.827	0.009	2.349	10.565	0.281	0	0	100.721	1.53	87.69	10.77
		QZ02-3	68.305	0.002	19.094	0.053	0.32	0.005	0.126	11.502	0.015	0	0	99.421	0.09	99.31	0.60
		QZ02-4	65.908	0	20.885	0	0.505	0	2.174	10.566	0.307	0.154	0	100.499	1.69	88.28	10.04
		QZ02-4	66.424	0	19.723	0	0	0	1.896	10.017	0.654	0.689	0.05	99.452	3.74	87.14	9.11
	哈金桑惹 ^②	D7136B1	65.95	0	20.59	0.07		0	1.99	10.2	0.26			99.5	1.49	88.92	9.59
北喜马拉雅带	库拉岗日	LZX03-1	64.797	0	21.598	0.148	0.117	0.064	2.549	10.904	0.111	0.114	0	100.402	1.75	86.26	11.99
		LZX03-1	64.333	0	21.243	0	0	0	2.616	9.877	0.405	0	0.163	98.637	0.00	100.00	0.00
		LZX01-3	66.059	0	21.403	0	0.217	0.036	2.581	10.263	0.316	0.066	0	100.941	0.00	100.00	0.00
		LZX01-3	66.848	0	20.829	0	0	0	0	10.884	0	0	0.209	98.77	0.41	89.07	10.52
		LZX01-3	66.287	0	21.318	0.105	0	0	0	10.445	0	0	0.217	98.372	0.31	88.05	11.65
		LZX01-3	65.367	0.018	20.726	0.328	0.065	0.005	2.222	10.393	0.072	0.029	0.314	99.538	1.28	88.09	10.63
		LZX01-3	65.891	0.082	21.581	0.083	0.041	0	2.396	10.009	0.053	0.017	0.099	100.252	1.34	85.44	13.22
		LZX01-3	65.78	0	20.996	0	0.248	0	2.323	10.639	0.235	0	0.118	100.34	0.76	88.19	11.05
		LZX02-1	63.542	0.076	21.897	0.058	0	0.006	2.96	10.568	0.252	0.661	0.154	100.176	0.59	88.04	11.37
		LZX02-1	66.241	0	20.185	0	0.065	0.027	2.415	10.648	0.14	0.204	0	99.925	2.30	85.23	12.47
	得嘎 ^③	1152B	65.59	0	20.31	0.12	0	0.01	2.43	10.1	0.16			100.43	0.91	87.46	11.63
	泽拉 ^③	2184B	66.64	0	21.39	0.01	0	0	2.92	10.78	0.11			101.89	0.58	86.48	12.94
	亭乡 ^③	4045B	65.06	0.02	20.82	0	0	0.2	2.55	9.21	0.18			99.52	1.10	85.77	13.12
	得嘎 ^③	P14B0	66.05	0	20.75	0	0	0.31	2.38	9.8	0.17			100.9	1.00	87.29	11.71
	拉康 ^③	3253B	69.652	0	18.758	0	0	0	0.63	11.863	0.13			101.075	0.70	96.47	2.83
	拿交 ^③	3278B	65.86	0	21.04	0	0	0.17	1.93	10.3	0.32			101.15	1.82	88.97	9.21
	渔若 ^③	2183B	65.66	0	20.22	0.16	0.16	0	2.36	9.66	0			99.52	0.00	88.11	11.89
	拉康 ^③	3294B	66.477	0	20.114	0.006	0.001	0	2.354	10.364	0.319			99.67	1.77	87.28	10.95
	公章浦 ^③	2179B	62.645	0	20.02	0.013	0	0	1.992	11.246	0.486			96.742	2.52	88.79	8.69
高喜马拉雅带 ^②	顶嘎	D6421RZ1	67.33	0	19.68	0.09	0.11	0	1.32	11.52	0.1			100.31	0.53	93.54	5.92
	告乌	D2465RZ1	66.58	0	20.02	0.2	0	0	1.61	10.5	0.16			99.57	0.92	91.34	7.74

注: 数据测试单位: 成都地质矿产研究所分析测试中心, 仪器型号: JCA-A-733型电子探针, 分析条件 电压15kv、束电流2.010-8A。(下同); ①1: 25万尼玛区幅、热布喀幅; ②1: 25万江孜县幅、亚东县幅; ③1: 25万洛扎县幅。

表 2 钾长石的化学成分电子探针分析结果($w_B/\%$) Table 2 Microprobe analyses ($w_B/\%$) of K feldspar																	
岩带	岩体	样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	NiO	总量	Or	Ab	An
措勤-申扎带 ^①	央雄勒	2042/1	64.24	0.07	18.53	0.01	0.06	0	0	0.74	15.87			99.52	93.38	6.62	0.00
	曲松乃嘎	2031/1	64.18	0.12	18.47	0	0	0.03	0.09	1.06	15.3			99.25	90.07	9.49	0.45
	松木果	35093/1	63.88	0.12	18.57	0	0	0.1	0.21	0.93	15.28			99.09	90.57	8.38	1.05
		3417/1	63.91	0.16	18.29	0.09	0.01	0	0	0.62	15.08			98.16	94.12	5.88	0.00
南冈底斯带	郎那 ^①	32176/1	64.51	0	18.39	0	0.01	0	0	0.17	16.78			99.86	98.48	1.52	0.00
	罗扎	LZ05-1	64.264	0.032	18.956	0.093	0	0	0.031	0.561	16.177	0	0	100.114	94.85	5.00	0.15
		LZ05-1	63.984	0	17.413	0	0.261	0.043	0.055	0.576	16.936	0.534	0	99.802	94.84	4.90	0.26
		LZ05-1	63.609	0.04	18.457	0	0	0	0.014	0.67	16.708	0	0.027	99.525	94.19	5.74	0.07
		LZ05-1	64.7	0	18.449	0	0	0	0.06	0.747	16.107	0.34	0	100.403	93.14	6.57	0.29
		LZ05-1	64.434	0	18.43	0	0.018	0.024	0	0.871	16.455	0.126	0.243	100.6	92.55	7.45	0.00
		LZ05-1	64.504	0.028	18.997	0	0.075	0	0.014	0.497	16.439	0.117	0	100.672	95.54	4.39	0.07
		LZ06-1	64.406	0	18.765	0	0.093	0	0.118	0.818	15.744	0	0	99.944	92.14	7.28	0.58
		LZ06-1	64.553	0	16.837	0.032	0	0	0	0.354	16.687	0.152	0	98.614	96.88	3.12	0.00
		LZ06-1	64.397	0	18.658	0	0	0	0.014	0.775	16.356	0	0.097	100.295	93.22	6.72	0.07
		LZ06-1	64.037	0	18.523	0.185	0	0	0.049	0.728	16.111	0	0.088	99.721	93.35	6.41	0.24
		LZ09-1	64.67	0	18.325	0.046	0.215	0	0.027	0.748	16.052	0	0	100.082	93.26	6.61	0.13
		LZ09-1	64.805	0.079	18.903	0	0	0	0	0.778	16.538	0.105	0	101.208	93.32	6.68	0.00
拉轨岗日带	曲珍	QZ02-1	64.504	0	18.544	0.144	0.176	0.023	0.032	0.989	16.756	0.084	0	101.312	91.63	8.22	0.15
		QZ02-1	64.113	0	17.816	0.111	0.024	0	0.049	1.042	16.718	0	0.034	99.906	91.14	8.64	0.22
		QZ02-3	65.286	0.034	18.265	0.086	0	0.006	0.048	1.202	15.114	0	0.02	100.062	89.00	10.76	0.24
		QZ02-3	65.042	0	17.79	0.019	0	0.012	0.104	0.944	15.743	0.232	0.288	100.176	91.18	9.31	0.51
		QZ02-4	64.891	0.048	18.778	0.23	0.159	0.005	0.069	1.603	15.173	0	0.245	101.202	85.88	13.80	0.33
		QZ02-4	64.222	0.029	18.027	0.039	0.253	0.005	0.127	1.839	15.569	0.335	0	100.445	84.28	15.14	0.58
	哈金桑惹 ^③	D7136B1	64.79	0.01	18.04	0	0	0	0.05	1.4	14.38			99.36	86.86	12.90	0.24
	波东拉 ^⑤	D4210H1	65.87	0	18.26	0.04	0.36	0	0	0.71	14.99			101.5	93.25	6.75	0.00
		D5443DB1	65.36	0.24	17.5	0.14	0	0	0	1.28	15.04			100.11	88.89	11.11	0.00
		D5440RZ1	64.12	0	18.29	0	0.25	0	0	1.51	14.47			99.52	86.06	13.94	0.00
		D5442B1	65.61	0	17.74	0	0	0	0	1.35	14.85			100	87.87	12.13	0.00
	康马 ^④	P9(20)	64.64	0	18	0	0	0	0	1.48	14.52			99.28	86.58	13.42	0.00
		D6421RZ1	65.16	0.17	17.89	0	0.2	0	0	1.87	13.81			99.49	82.91	17.09	0.00
北喜马拉雅南带	库拉岗日	LZX03-1	64.786	0.045	18.785	0	0	0.026	0.095	1.697	15.115	0.242	0.174	100.964	85.03	14.52	0.45
		LZX03-1	64.843	0.068	17.58	0.021	0.183	0.023	0.018	1.44	15.058	0	0.139	99.375	87.23	12.68	0.09
		LZX02-1	64.005	0	18.828	0	0	0.009	0	1.568	15.595	0.215	0	100.221	86.74	13.26	0.00
		LZX02-1	64.812	0.009	17.903	0	0.094	0	0.066	1.722	16.075	0	0	100.681	85.74	13.97	0.30
		LZX02-1	64.189	0.05	18.66	0.151	0	0	0.069	1.435	15.924	0	0.488	100.966	87.67	12.01	0.32
		LZX02-1	64.862	0.089	17.98	0.023	0	0.032	0	1.29	15.933	0.259	0	100.467	89.04	10.96	0.00
	得嘎 ^③	1152B	65.2	0.17	17.37	0.07	0.13	0	0	0.53	14.53			98	94.75	5.25	0.00
	泽拉 ^③	2148B	64.71	0	17.56	0.03	0	0	0	1	14.98			98.28	90.79	9.21	0.00
	亭乡 ^③	4045B	65.24	0	17.07	0.46	0	0	0	0.8	14.8			98.37	92.41	7.59	0.00
	得嘎 ^③	P14B0	65.03	0.16	17.67	0.11	0	0	0	1.13	14.53			98.63	89.43	10.57	0.00
	拉康 ^③	3253B	52.018	0	18.381	0	0	0.013	0	0.781	17.458			98.651	93.63	6.37	0.00
	拿交 ^③	3278B	64.69	0.01	17.34	0	0.01	0	0	1.55	14.42			98.02	85.95	14.05	0.00
高喜马拉雅带 ^③	渔若 ^③	2183B	63.97	0.21	17.18	0.14	0.2	0	0.01	0.3	14.83			96.84	96.96	2.98	0.05
	拉康 ^③	3294B	64.485	0.003	18.148	0	0.016	0	0	0.698	10.21			93.56	90.58	9.42	0.00
	公章浦 ^③	2179B	62.408	0	19.23	0.012	0.056	0	0	1.287	16.098			99.091	89.16	10.84	0.00
	顶嘎	D6421RZ1	64.98	0	17.62	0	0	0	0.04	0.91	14.81			98.67	91.29	8.46	0.25
		D6421DB1	65.72	0.08	18.24	0.15	0.14	0	0.09	1.07	14.78			100.44	89.62	9.88	0.50
	告乌	D2448B1	66.55	0	18.14	0	0	0	0	0.79	15.67			101.27	92.89	7.11	0.00
		D2465RZ1	64.11	0.01	18.4	0	0.32	0	0.01	1.05	15.06			99.77	90.38	9.54	0.08

62.018%~65.286%之间,平均64.889%; Al_2O_3 变化于16.837%~19.230%之间,平均64.889%; K_2O 含量较高,为10.210%~17.458%, Na_2O 含量较低,为0.10%~2.09%;几乎不含 CaO 。

在端元组分中,Or 含量最高,为81%~98.48%,Ab 次之,为1.52%~19.00%,基本不含 An 分子。在图1中集中分布在 Ab—Or 线的正长石区内,为透长石。

斜长石中, $\text{Ab} > \text{An} > \text{Or}$, 主要属更长石,极少量为中长石;钾长石具有高 Or 含量,显示 $\text{Or} \gg \text{Ab} \gg \text{An}$,属钾透长石。

4 云母的矿物化学特征

云母是富铝花岗岩类最重要的造岩矿物之一,在喜马拉雅岩区花岗岩中广泛发育白云母和黑云母,而在冈底斯岩区的花岗岩类中白云母仅在最晚期的某些花岗岩中局部出现,主要为黑云母。

富含白云母是过铝花岗岩的主要特征之一,部分岩体中白云母的电子探针分析见表3。从成分看,花岗岩中的白云母以高铝(Al_2O_3 为28.15%~35.841%)、富钾铁(K_2O 为8.23%~12.283%, FeO^* 为0.49%~6.48%,平均2.79%)、低镁(MgO 为0.027%~1.466%,平均0.63%)、贫钠(Na_2O 为0.05%~0.76%,平均0.33%)为特征。在以22个氧原子计算的分子式中,Si 与 Al 的阳离子数均较高,其中 Si 为6.0575~6.6412,属多硅白云母,Al 为4.5244~5.5960,也反应了寄主岩石的铝、硅饱和特性。

一般认为云母类矿物的铁、镁含量能反映其寄主岩浆的物质来源,在云母类矿物的 $\text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO}) - \text{MgO}$ 图中(图2),区内绝大多数白云母均位于 C 区,属壳源;邓晋福等^[6] 也认为白云母花岗岩浆主要是来自俯冲板块顶部泥质沉积物的局部熔融,并将富含白云母的花岗岩视为陆内俯冲带造山的岩石学标志之一。

黑云母一般的晶体化学式是: $\text{X}_2\text{Y}_6\text{Z}_8\text{O}_{22}(\text{O}, \text{F}, \text{OH})_4$, 其中, X 位主要由键力较弱的大阳离子 K 以及少量的 Na、Ca 等占据, Y 位为八面体配位的较小的阳离子所占据,主要有 Mg 、 Fe^{3+} 、 Fe^{2+} 、 Al^{VI} 、 Mn 、 Ti 、 Cr 、 P 等,而 Z 位主要由四面体配位的阳离子 Si、 Al^{IV} (偶有 Fe^{3+}) 所占据^[32], 对黑云母的电子探针分析结果应以24个阴离子为基准计算晶体化学式。电子探针不能区分 Fe^{3+} 和 Fe^{2+} , 也不能检测出羟基(OH^-) 等的含量,故应以22个氧为基准计算晶体化

学式。

黑云母的化学成分及以22个氧原子计算的阳离子数见表4,其主要氧化物含量较为接近,其中 SiO_2 为33.587%~43.310%,平均38.265%; Al_2O_3 为18.160%~25.217%,平均22.181%; MgO 变化较大,在1.157%~4.008%,个别为0.610%,平均3.042%; FeO 为12.953%~26.434%,个别为5.04%,平均19.058%。根据黑云母的成分分类图解(图3),均为高铁黑云母。

实验认为黑云母的 Al_2O_3 含量与温度及钾的活度为负相关^[33]。从已有的数据分析,黑云母 Al_2O_3

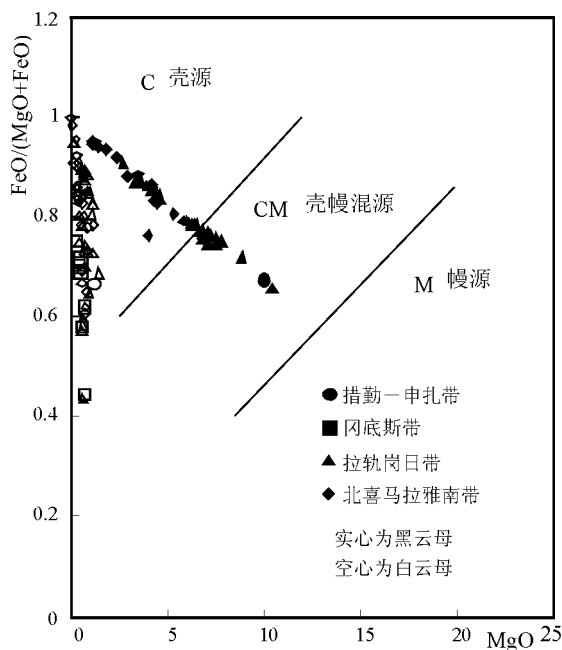


图2 云母类型的成因图解

Fig. 2 Genetic diagram of mica

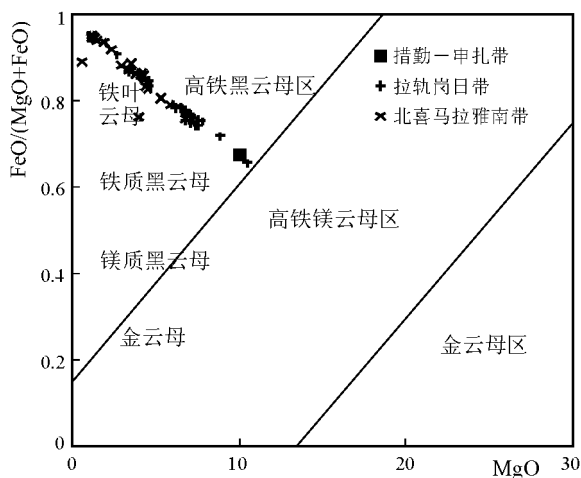


图3 黑云母的成分分类图解

Fig. 3 Classification diagram of biotite

表3 白云母的化学成分 (w_B%)及晶体化学式 (以O₂₂为基础的阳离子数)

Table 3 Microprobe analyses (w_B%) of muscovite

岩体	样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	NiO	总量	Si	Ti	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	Cr	Ni	Si
曲松乃嘎 松木果 ¹⁾	2042/1	47.61	0.33	35.11	2.08	0	0.38	10.64	0.42	0	0.01		98.58	6.0933	0.0318	1.9067	3.3888	0.2226	0.0000	0.0725		0.1042				6.0933
	35093/1	47.67	0.61	34.77	2.28	0.04	1.13	9.75	0.42	0	0.06		97.73	6.0894	0.0586	1.9106	3.3238	0.2435	0.0043	0.2152	1.3343	0.1040	0.0000			6.0894
	LZ03-1	46.419	0.291	33.593	0.525	0	0.643	0	0.089	11.91	0.738	0	94.208	6.3027	0.0207	1.6793	3.6781	0.0596	0.0000	0.1302	0.0000	0.0234	2.0619	0.0792	0.0000	6.3027
罗扎	LZ03-1	45.486	0.198	33.442	0	0	0.027	0.015	0.11	11.394	0.026	0.452	91.151	6.3260	0.0207	1.6740	3.8071	0.0000	0.0000	0.0056	0.0022	0.0297	2.0205	0.0029	0.1011	6.3260
	LZ05-1	45.913	0.74	33.94	1.057	0	0.639	0.07	0.381	11.972	0.32	0.137	95.17	6.1936	0.0751	1.8064	3.5893	0.1192	0.0000	0.1285	0.0101	0.0996	2.0592	0.0341	0.0297	6.1936
	LZ05-1	45.423	0.752	34.125	1.001	0.043	0.443	0	0.345	12.283	0.157	0	94.573	6.1662	0.0768	1.8338	3.6256	0.1136	0.0049	0.0897	0.0000	0.0908	2.1260	0.0168	0.0000	6.1662
	LZ06-1	46.777	0.662	34.389	0.785	0.009	0.566	0	0.589	10.959	0	0.091	94.827	6.2567	0.0666	1.7433	3.6774	0.0878	0.0010	0.1129	0.0000	0.1527	1.8690	0.0000	0.0196	6.2567
	LZ06-1	46.545	0.504	34.601	1.018	0.054	0.396	0	0.512	10.85	0	0.018	94.498	6.2465	0.0509	1.7535	3.7190	0.1142	0.0061	0.0792	0.0000	0.1332	1.8566	0.0000	0.0039	6.2465
	LZ09-1	46.301	0.207	35.558	0.756	0.065	0.318	0.027	0.445	11.41	0	0.098	95.185	6.1830	0.0208	1.8170	3.7790	0.0844	0.0074	0.0633	0.0039	0.1152	1.9428	0.0000	0.0211	6.1830
	LZ09-1	46.753	0.217	33.217	0.699	0	0.227	0	0.397	11.59	0.198	0	93.298	6.3757	0.0223	1.6243	3.7140	0.0797	0.0000	0.0461	0.0000	0.1050	2.0152	0.0213	0.0000	6.3757
	LZ09-1	46.934	0.228	35.651	1.056	0	0.432	0	0.538	11.995	0.194	0.109	97.137	6.1795	0.0226	1.8205	3.7113	0.1163	0.0000	0.0848	0.0000	0.1373	2.0137	0.0202	0.0231	6.1795
	LZ09-1	46.627	0.221	35.33	1.054	0	0.428	0	0.25	11.501	0	0	95.412	6.2119	0.0221	1.7881	3.7588	0.1174	0.0000	0.0850	0.0000	0.0646	1.9536	0.0000	0.0000	6.2119
曲珍	QZ02-1	46.15	0.514	34.859	0.952	0.033	0.64	0.021	0.623	11.674	0.056	0	95.52	6.1696	0.0517	1.8304	3.6617	0.1064	0.0037	0.1276	0.0030	0.1615	1.9899	0.0059	0.0000	6.1696
	QZ02-1	46.075	0.601	33.639	0.796	0	0.593	0	0.473	10.45	0	0.045	92.672	6.2871	0.0617	1.7129	3.6967	0.0908	0.0000	0.1206	0.0000	0.1251	1.8181	0.0000	0.0099	6.2871
	QZ02-3	47.728	0.104	33.585	1.756	0	0.956	0	0.155	11.775	0.214	0.2	96.474	6.3339	0.0104	1.6661	3.5864	0.1949	0.0000	0.1891	0.0000	0.0399	1.9924	0.0225	0.0427	6.3339
	QZ02-3	48.341	0.001	33.023	0.9	0	0.633	0.004	0.148	10.956	0.119	0	94.126	6.4873	0.0001	1.5127	3.7100	0.1010	0.0000	0.1266	0.0006	0.0385	1.8747	0.0126	0.0000	6.4873
	QZ02-3	48.945	0.199	33.567	1.446	0	0.48	0.042	0.094	11.633	0.032	0	96.438	6.4472	0.0197	1.5528	3.6580	0.1593	0.0000	0.0943	0.0059	0.0240	1.9538	0.0033	0.0000	6.4472
	QZ02-3	48.409	0.149	33.294	2.413	0.006	0.886	0.047	0.077	10.795	0.204	0	96.281	6.4030	0.0148	1.5970	3.5928	0.2669	0.0007	0.1747	0.0067	0.0197	1.8205	0.0213	0.0000	6.4030
	QZ02-4	48.293	0.36	31.741	3.222	0	1.466	0.045	0.373	11.936	0	0	97.437	6.3950	0.0358	1.6050	3.3485	0.3568	0.0000	0.2894	0.0064	0.0958	2.0153	0.0000	0.0000	6.3950
	QZ02-4	48.227	0.164	31.738	3.037	0.408	1.123	0	0.186	11.574	0	0	96.457	6.4332	0.0165	1.5668	3.4226	0.3388	0.0461	0.2233	0.0000	0.0481	1.9686	0.0000	0.0000	6.4332
	康马	P9 (20)	46.69	0.94	28.68	6.06	0.00	0.72	0.01	0.23	9.58			92.91	6.5022	0.0984	1.4978	3.2092	0.7057	0.0000	0.1495	0.0015	0.0621	1.7011		
P9 (21)		46.60	1.11	29.05	6.12	0.05	0.71	0.00	0.22	9.46			93.32	6.4606	0.1157	1.5394	3.2070	0.7095	0.0059	0.1467	0.0000	0.0591	1.6723			6.4606
P9 (22)		46.85	1.05	29.05	6.48	0.18	0.83	0.00	0.16	9.06			93.66	6.4673	0.1090	1.5327	3.1932	0.7480	0.0210	0.1708	0.0000	0.0428	1.5946			6.4673
D6421RZ1		46.77	0.97	29.20	5.38	0.00	0.97	0.00	0.30	9.29			92.88	6.4805	0.1011	1.5195	3.2487	0.6233	0.0000	0.2004	0.0000	0.0806	1.6413			6.4805
D2465RZ1		47.46	1.10	28.57	4.60	0.20	1.09	0.00	0.26	8.72			92	6.5862	0.1148	1.4138	3.2587	0.5338	0.0235	0.2255	0.0000	0.0700	1.5429			6.5862
D6421RZ1		47.96	0.05	33.70	3.23	0.10	0.17	0.00	0.24	10.01			95.46	6.3861	0.0050	1.6139	3.6744	0.3596	0.0113	0.0337	0.0000	0.0620	1.6995			6.3861
D7136B1		46.10	1.28	29.82	5.05	0.01	0.73	0.00	0.32	9.07			92.38	6.4088	0.1338	1.5912	3.2943	0.5870	0.0012	0.1513	0.0000	0.0862	1.6077			6.4088
D4210H1		47.01	0.58	33.49	2.10	0.01	0.58	0.00	0.48	9.92			94.17	6.3250	0.0587	1.6750	3.6353	0.2363	0.0011	0.1163	0.0000	0.1252	1.7018			6.3250
洛扎		LZX01-3	46.014	1.077	35.174	1.879	0.075	0.364	0.046	0.453	11.948	0	0	97.031	6.0942	0.1073	1.9058	3.5843	0.2081	0.0084	0.0719	0.0065	0.1163	2.0177	0.0000	0.0000
	LZX01-3	46.126	0.502	35.409	1.827	0.42	0.37	0.015	0.373	11.025	0.158	0	96.223	6.1314	0.0502	1.8686	3.6783	0.2031	0.0473	0.0733	0.0021	0.0961	1.8686	0.0166	0.0000	6.1314
	LZX02-1	45.577	0.531	34.132	1.145	0	0.744	0	0.567	11.056	0	0.109	93.861	6.1879	0.0542	1.8121	3.6491	0.1300	0.0000	0.1506	0.0000	0.1492	1.9139	0.0000	0.0238	6.1879
	LZX02-1	45.766	0.694	34.208	1.151	0	0.57	0	0.521	10.991	0	0.157	94.058	6.1961	0.0707	1.8039	3.6541	0.1303	0.0000	0.1150	0.0000	0.1368	1.8973	0.0000	0.0342	6.1961
	LZX03-1	45.827	0.902	35.239	1.358	0	0.603	0.005	0.573	11.287	0.303	0	96.097	6.1023	0.0903	1.8977	3.6323	0.1512	0.0000	0.1197	0.0007	0.1479	1.9164	0.0319	0.0000	6.1023
库拉岗日	LZX03-1	45.964	0.878	35.841	1.295	0.199	0.792	0	0.76	10.961	0.035	0.196	96.92	6.0575	0.0870	1.9425	3.6241	0.1427	0.0222	0.1556	0.0000	0.1942	1.8418	0.0036	0.0416	6.0575
	3253B	46.25	0.33	32.95	4.39	0.12	1.19	0	0.25	10.77			96.25	6.2081	0.0333	1.7919	3.4204	0.4927	0.0136	0.2381	0.0000	0.0651	1.8433			6.2081
得嘎 ²⁾	1152B	47.01	0.34	32.01	3.6	0.36	0.41	0	0.2	9.72			94.74	6.3882	0.0347	1.6118	3.5145	0.4091	0.0414	0.0831	0.0000	0.0527	1.6841			6.3882
	2148B	47.09	0.34	33.09	2.04	0.07	0.76	0	0.28	10.33			94	6.3580	0.0345	1.6420	3.6232	0.2303	0.0080	0.1530	0.0000	0.0733	1.7783			6.3580
卓乡 ³⁾	4045B	46.35	0.42	33.19	3.62	0.11	0.66	0	0.57	10.29			96.23	6.2309	0.0425	1.7691	3.4891	0.4069	0.0125	0.1323	0.0000	0.1486	1.7638			6.2309
	P14B0	46.34	0.43	32.33	3.47	0.21	0.64	0	0.37	10.66			95.33	6.2916	0.0439	1.7084	3.4645	0.3939	0.0241	0.1295	0.0000	0.0974	1.8454			

表4 黑云母的化学成分(wt%)及晶体化学式(以O₁₀为基础的阳离子数)

Table 4 Microprobe analyses (wt%) of biotite

岩体	样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	NiO	总量	Si	Ti	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Fe	Mn	Ca	Mg	Na	K	Cr	Ni
曲松乃嘎 ^①	2042/1	37.7	2.67	15.64	20.99	0.38	9.98	0.06	0.08	9.12			96.62	5.6898	0.3030	2.3102	0.4715	2.6489	0.0486	2.2455	0.0097	0.0234	1.7550		
	QZ02-1	34.988	2.547	18.441	24.562	0.297	4.18	0.049	0.079	9.522	0.296	0	94.961	5.5082	0.3015	2.4918	0.9296	3.2334	0.0396	0.9811	0.0083	0.0241	1.9114	0.0368	0.0000
	QZ02-1	35.669	2.188	17.761	24.315	0.148	4.419	0.052	0.037	9.777	0.242	0	94.609	5.6256	0.2595	2.3744	0.9268	3.2067	0.0198	1.0390	0.0088	0.0113	1.9661	0.0302	0.0000
	QZ02-1	35.961	2.477	19.232	25.32	0.143	4.554	0.008	0.079	8.757	0.084	0.071	96.685	5.5137	0.2856	2.4863	0.9889	3.2463	0.0186	1.0410	0.0013	0.0235	1.7120	0.0102	0.0175
曲珍	QZ02-3	35.143	2.685	19.266	23.592	0.359	4.539	0.183	0.058	10.13	0	0	96.054	5.4432	0.3127	2.5568	0.9599	3.0555	0.0471	1.0712	0.0304	0.0174	2.0005	0.0000	0.0000
	QZ02-3	35.057	2.694	18.331	23.948	0.553	4.681	0.001	0.093	9.474	0	0.204	95.036	5.4957	0.3176	2.5043	0.8823	3.1392	0.0734	1.0940	0.0002	0.0283	1.8937	0.0000	0.0514
	QZ02-4	34.336	2.628	18.868	25.253	0.245	4.252	0	0.08	10.1	0.568	0.012	96.343	5.3806	0.3097	2.6194	0.8651	3.3090	0.0325	0.9933	0.0000	0.0243	2.0180	0.0704	0.0030
	QZ02-4	35.353	2.57	17.718	25.189	0.239	4.219	0	0.089	10.056	0.201	0.124	95.757	5.5506	0.3034	2.4494	0.8289	3.3069	0.0318	0.9875	0.0000	0.0271	2.0131	0.0249	0.0313
哈金桑惹 ^②	D7136B1	35.37	1.79	17.23	27.23	1.14	2.71	0.05	0.04	9.59			95.34	5.6407	0.2147	2.3593	0.8789	3.6312	0.1540	0.6443	0.0085	0.0124	1.9500		
	D4210H1	36.35	2.91	17.66	22.83	0.44	6.19	0.00	0.20	9.46			96.25	5.5806	0.3359	2.4194	0.7758	2.9308	0.0572	1.4168	0.0000	0.0595	1.8518		
	P9(19)H1	37.00	2.15	16.58	20.09	0.48	10.48	0.00	0.00	9.33			96.45	5.5959	0.2445	2.4041	0.5511	2.5407	0.0615	2.3629	0.0000	0.0000	1.7992		
	P9(20)	35.52	2.92	15.69	23.48	0.61	7.29	0.00	0.18	9.46			95.34	5.5630	0.3439	2.4370	0.4589	3.0749	0.0809	1.7021	0.0000	0.0547	1.8891		
康马 ^③	F5440RZ1	35.11	3.04	16.51	24.06	0.50	6.44	0.04	0.12	9.11			95.02	5.5123	0.3589	2.4877	0.5671	3.1587	0.0665	1.5074	0.0067	0.0365	1.8237		
	D5443DB1	35.30	2.80	15.26	23.82	0.67	7.79	0.18	0.44	9.27			95.53	5.5308	0.3299	2.4692	0.3485	3.1207	0.0889	1.8196	0.0302	0.1337	1.8519		
	D5343RZ1	35.85	2.71	17.68	22.06	0.25	7.55	0.00	0.42	9.47			96.05	5.4995	0.3126	2.5005	0.6958	2.8297	0.0325	1.7267	0.0000	0.1249	1.8523		
	LZX01-3	33.512	1.621	20.083	28.199	0.455	1.899	0.011	0.066	9.196	0.039	0	95.082	5.3536	0.1947	2.6464	1.1346	3.7669	0.0616	0.4523	0.0019	0.0204	1.8731	0.0049	0.0000
洛扎	LZX01-3	33.651	2.175	19.427	27.984	0.511	1.872	0	0.033	9.795	0.034	0.109	95.591	5.3679	0.2609	2.6321	1.0200	3.7327	0.0690	0.4452	0.0000	0.0102	1.9922	0.0043	0.0280
	LZX02-1	34.666	2.769	19.514	22.454	0.424	5.858	0	0.192	9.914	0.453	0	96.245	5.3502	0.3213	2.6498	0.8995	2.8978	0.0554	1.3479	0.0000	0.0574	1.9509	0.0553	0.0000
	LZX02-1	34.204	2.683	19.992	22.345	0.341	5.35	0.059	0.298	9.832	0.051	0	95.155	5.3227	0.3139	2.6773	0.9891	2.9076	0.0449	1.2412	0.0098	0.0899	1.9508	0.0063	0.0000
	LZX03-1	34.997	2.576	20.017	21.943	0.395	4.374	0.036	0.14	9.378	0.027	0.134	94.016	5.4711	0.3028	2.5289	1.1589	2.8684	0.0523	1.0194	0.0060	0.0424	1.8693	0.0033	0.0337
泽拉拉 ^④	LZX03-1	35.165	2.823	19.431	21.869	0.27	4.516	0.06	0.08	9.79	0	0.019	94.022	5.5035	0.3322	2.4965	1.0874	2.8619	0.0358	1.0537	0.0101	0.0243	1.9536	0.0000	0.0048
	2148B	35.8	2.29	18.16	21.44	0.36	6.78	0	0.1	9.66	0.043		94.633	5.5559	0.2672	2.4441	0.8772	2.7822	0.0473	1.5686	0.0000	0.0301	1.9115		
	3253B	39.89	0.784	23.107	20.93	0.744	1.157	0	0.131	9.511			96.254	5.9355	0.0877	2.0645	1.9874	2.6041	0.0938	0.2567	0.0000	0.0378	1.8044		
	3278B	37.11	2.16	19.52	23.35	0.75	3.41	0	0	8.78	1.03		96.11	5.6992	0.2494	2.3008	1.2321	2.9986	0.0975	0.7807	0.0000	0.0000	1.7193		
拿交 ^⑤	2183B	35.69	1.16	19.86	26.9	0.8	2.35	0.1	0.33	8.6	0.42		96.21	5.5689	0.1361	2.4311	1.2209	3.5098	0.1057	0.5467	0.0167	0.0998	1.7110		
	2168B	43.31	4.24	29.94	5.04	1	0.61	0	0.17	9.74	0.96		95.01	6.0049	0.4420	1.9951	2.8970	0.5843	0.1174	0.1261	0.0000	0.0457	1.7219		
	3294B	33.587	1.663	19.463	22.792	0.831	2.979	0	1.151	10.243	0.05		92.759	5.4351	0.2024	2.5649	1.1469	3.0841	0.1139	0.7187	0.0000	0.3611	2.1134		
	2179B	42.39	0.613	25.217	12.953	0.219	4.008	0	0.108	7.575	0.039		93.122	6.1265	0.0666	1.8735	2.4215	1.5654	0.0268	0.8636	0.0000	0.0303	1.3959		
公草浦 ^⑥	D2465RZ1	34.99	2.32	19.60	24.36	1.23	3.88	0.00	0.30	9.24			96.04	5.4384	0.2711	2.5616	1.0286	3.1660	0.1619	0.8991	0.0000	0.0904	1.8312		
	D2448B1	36.93	1.89	20.16	23.84	0.77	1.47	0.00	0.03	8.30			93.54	5.7825	0.2225	2.2175	1.5027	3.1214	0.1021	0.3431	0.0000	0.0091	1.6571		

含量平均值按岩带由南而北依次为 15.64%、17.19%、20.55%，呈现增高的趋势，说明成岩温度逐渐降低。

据国内外研究，岩浆成因黑云母中 $\text{TiO}_2/\text{MnO} < 11$ ，极少数可达 25，而变质成因黑云母中 TiO_2/MnO 都相当高^[34]。笔者应用这一理论对该区 30 个黑云母成分数据作了统计， TiO_2/MnO 比值范围主要为 1.41~10.84，平均 5.43，说明均为岩浆成因黑云母。

黑云母的成分特征在一定程度上反映了岩石形成的物理化学环境。一般认为黑云母中 TiO_2 含量同温度为正相关。黑云母 Ti 含量为 0.0666~0.4420%，具有中等的 Ti 含量， $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$ 在 0.0796~0.4819 之间，平均为 0.2590。根据近年来对黑云母成分的研究表明^[35,39]，由退变质和固相线下交代作用形成的黑云母，以低的 Ti 含量为特征（以 22 个氧为基准，Ti 含量小于 0.20%），酸性侵入岩中的黑云母，具有中等的 Ti 含量（0.20%~0.55%），且 $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$ 多介于 0.30~0.55 之间，而大多数进变质成因的黑云母，Ti 的变化范围较大，但 $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$ 比值多大于 0.55。

计算结果表明，黑云母中 Si 离子数绝大多数小于 6，介于 5.3227~6.1265 之间，平均 5.5718；Al 离子数为 1.8735~2.6464，平均 2.4282，四面体配位为 Si、 Al^{IV} 所占据，八面体配位的阳离子中 Al^{VI} 为 0.2101~1.7388，平均为 0.9083；大离子位中以 K 为主。

岩石中黑云母与其全岩的成分进行比较，可能是确定黑云母成因类型的又一重要途径。火成岩石学的一个基本原理是：部分熔融体比与之平衡的铁镁硅酸盐矿物有较低的 $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$ 比值。张德全^[37]认为，黑云母的 $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$ 与全岩的 $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$ 比值接近时，表明黑云母是从熔体中结晶出来的；若前者比后者高得多，且不随后者增加而增加，则为耐火的熔融残余；前者比后者低得多，有可能是次生变化或其它因素造成的。过铝花岗岩中黑云母的 $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$ 比全岩的 $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$ 比值略高，但二者具有正相关关系，说明了其成因仍以岩浆成因为主。

此外，在云母类矿物的成因图解中（图 2），区内大多数黑云母均位于 C 区，属壳源。

5 关于岩石成因的讨论

同位素研究结果表明^[9]，西藏过铝花岗岩锆同位素初始值分布范围为 0.72199~0.75513，为高的锆同位素初始比值； $\epsilon\text{Nd}(t)$ 值分布范围为 -16.0~

-9.6，为低的 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 值； $\delta^{18}\text{O}$ 值较高为 8.9‰~18.79‰^[15,38,39]，具高的氧同位素比值。表明西藏过铝花岗岩没有地幔的卷入，它是泥质岩石局部熔融的产物，而不是加厚陆壳底部或陆内俯冲带上板片底部的已分离出低熔花岗岩岩浆的陆壳岩石的熔融产物。 $\epsilon\text{Sr}(t)$ - $\epsilon\text{Nd}(t)$ 图解^[9]也表明岩浆来源于上地壳。

西藏过铝花岗岩大多具有高 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ，低 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 和高 Pb 同位素组成特点。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值普遍高于原始地幔值（0.7044），表明岩石原始岩浆形成和演化过程中主要为地壳物质组分，而冈底斯带可能有再循环而进入地幔的地壳物质组分。事实上，青藏高原在板块碰撞这一特定的构造条件下，由于强烈的挤压应力和陆壳的缩短和加厚，完全有可能使大量的地壳物质披带入地幔，从而形成一特殊的加厚陆壳底部壳幔混合带。由这种不均一的富集型壳幔混合带起源的岩浆将带有类似于岛弧火山岩的显著的地球化学烙印^[3]。因此，如果主元素、同位素及矿物化学所提供的地球化学信息的确代表了西藏大陆地壳的主要特征的话，则该区地壳将是加厚陆壳的产物。青藏高原特殊的构造背景与西藏这一套特殊的过铝花岗岩的岩浆起源和形成与这种特殊的加厚陆壳类型有着直接的成生关系。

6 结 论

(1) 岩石中的斜长石均以 Ab 为主，占 78.73%~100%，An 分子为 0.13%~18.93%，而 Or 分子最少，仅为 0.19%~3.74%，在长石的成分分类图解中多分布于更长石区内，少量分布于钠长石区。斜长石中 $\text{Ab} > \text{An} > \text{Or}$ ，主要属更长石，极少量为中长石。

(2) 钾长石的端元组分中 Or 含量最高，为 81%~98.48%，Ab 次之，为 1.52%~19.00%，基本不含 An 分子，集中分布在 Ab-Or 线的正长石区内。钾长石具有高 Or 含量，显示 $\text{Or} > \text{Ab} > \text{An}$ ，属钾透长石。

(3) 白云母在以 22 个氧原子计算的分子式中，Si 与 Al 的阳离子数均较高，其中 Si 为 6.0575~6.6412，属多硅白云母。

(4) 黑云母中 Si 离子数绝大多数小于 6，介于 5.3227~6.1265 之间；Al 离子数为 1.8735~2.6464；四面体配位为 Si、 Al^{IV} 所占据，八面体配位的阳离子中 Al^{VI} 为 0.2101~1.7388，大离子位中以 K 为主。过铝花岗岩中黑云母的 $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$ 比全岩的 $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$ 比值略高，但二者具有正相关关系，说明

了其成因仍以岩浆成因为主。在云母类矿物的成因图解表明,区内大多数黑云母均位于C区,属壳源。

野外工作中得到巴登珠、肖润、刘鸿飞、江万、谢国刚、江元生、曲永贵、卢书炜等的帮助,岩石化学作图使用了路远发编制的Geokit软件^[40],谨致谢意。

参考文献:

- CHENEY S M, DEAN C P. Liquidus phase reactions in the CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂ system at 3.0 GPa: the aluminous pyroxene thermal divide and high-pressure fraction of picritic and komatiitic magmas [J]. *Journal of Petrology*, 1998, 39(1): 3—27.
- KUN M K, JON P D. The origin and evolution of large-volume silicic magma system: long valley Caldera [J]. *International Geology Review*, 1997, 39(11): 1033—1052.
- 赖绍聪. 青藏高原新生代火山岩矿物化学及其岩石学意义[J]. *矿物学报*, 1999, 19(2): 236—244.
- 廖忠礼, 莫宣学, 潘桂棠, 等. 西藏南部过铝花岗岩分布特征及其意义[J]. *沉积与特提斯地质*, 2003, 22(3): 12—20.
- 廖忠礼, 莫宣学, 潘桂棠, 等. 初论西藏过铝花岗岩[J]. *地质通报*, 2006, 25(7): 812—821.
- 邓晋福, 赵海玲, 赖绍聪, 等. 白云母/二云母花岗岩形成与陆内俯冲作用[J]. *地球科学*, 1994, 19(2): 139—147.
- 肖庆辉, 邓晋福, 马大钲, 等. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京: 地质出版社, 2002. 1—50.
- 邹光富, 朱同兴, 冯心涛, 等. 藏南岗巴-定日地区花岗岩单元特征及构造环境[J]. *沉积与特提斯地质*, 2003, 23(1): 16—26.
- 童劲松, 钟华明, 夏军, 等. 藏南洛扎地区过铝质花岗岩的地球化学特征及构造背景[J]. *地质通报*, 2003, 22(5): 308—318.
- 张金阳, 廖群安. 藏南定结淡色花岗岩——基底隆升降压熔融成因的地质证据[J]. *西北地质*, 2004, 37(2): 7—12.
- HARRISON T M, MCKEEGAN K D, LEFORT P. Detection of inherited monazite in the Manaslu leucogranite by ²⁰⁸Pb/²³²Th ion microprobe dating: Crystallization age and tectonic implications [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1995, 133(3—4): 271—282.
- ENGLAND P, LEFORT P, MOLNAR P, PECHER A. Heat sources for Tertiary metamorphism and anatexis in the Annapurna-Manaslu region, Central Nepal [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1992, 97(B2): 2107—2128.
- GUILLOT S, LEFORT P. Geochemical constraints on the bimodal origin of High Himalayan leucogranite [J]. *Lithos.* 1995, 35(3—4): 221—234.
- BARBARIN B. Granitoids main petrogenetic classifications in relation to origin and tectonic setting [J]. *Geological Journal*, 1990, 25(3): 227—238.
- 刘振声, 王洁民. 青藏高原南部花岗岩地质地球化学[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1994.
- 王俊文, 成忠礼, 桂训唐, 等. 西藏南部某些中酸性岩体的铷-锶同位素研究[J]. *地球化学*, 1981, (3): 242—246.
- 张玉泉, 戴漳谨, 洪阿实. 西藏高原南部花岗岩同位素地质年代学[J]. *地球化学*, 1981, (1): 8—18.
- SORKHABI R B, STUMP E. Rise of the Himalaya: A geochronologic approach [J]. *GSA Today*, 1993, 3(4): 87—92.
- Debon, F., 等. 西藏南部三个深成岩带的化学-矿物特征和 Rb-Sr 法地质年龄测定[A]. 李光岑, J. L. 麦尔西叶, 等. 中法喜马拉雅考察成果(1980)[C]. 北京: 地质出版社, 1984. 295—304.
- 周云生, 张旗, 梅厚均, 等. 西藏岩浆活动和变质作用[M]. 北京: 科学出版社, 1981.
- 涂光炽, 张玉泉. 西藏南部花岗岩类地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1982. 1—190.
- 潘桂棠, 王培生, 徐耀荣, 等. 青藏高原新生代构造演化[M]. 北京: 地质出版社, 1990. 32—58.
- 刘国惠, 金成伟, 王富宝, 等. 西藏变质岩及火成岩[M]. 北京: 地质出版社, 1990.
- 西藏自治区地质矿产局. 西藏自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1993. 319—393.
- 王增, 申屠保涌, 丁朝建, 等. 藏东花岗岩类及其成矿作用[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1995.
- 江万, 张双全, 莫宣学, 等. 青藏高原冈底斯带花岗岩及其中铁镁质微粒包体的岩石学特征[A]. 特提斯地质(22)[C]. 北京: 地质出版社, 1998. 90—96.
- 杨晓松, 金振民. 部分熔融与青藏高原地壳加厚的关系综述[J]. *地质科技情报*. 1999, (1): 24—28.
- PIERRE DEZES. Tectonic and Metamorphic Evolution of the Central Himalayan Domain in Southeast Zaskar (Kashmir, India) [C]. Lausanne: Universite de Lausanne, 1999, 99—118.
- AN YIN, HARRISON T M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibet Orogen [J]. *Annual Review of Earth and Planetary Science*, 2000, 28(30): 211—280.
- 陈振华, 刘云, 李均良. 西藏当惹雍错吉松环斑花岗岩的发现及地质意义[J]. *沉积与特提斯地质*, 2006, 26(2): 16—20.
- LIAO ZHONG LI *et al.* Spatial and temporal distribution of peraluminous granites in Tibet and their tectonic significance [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2006 (in press).
- 靳是琴, 李鸿超. 成因矿物学概论[M]. 长春: 吉林大学出版社, 1984.
- 林景旸. 岩浆成因导论[M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- 廖庆康, 彭懋媛, 等. 花岗岩区填图方法[M]. 南宁: 广西师范大学出版社, 1992.
- 马昌前, 杨坤光, 唐仲华, 等. 花岗岩类岩浆动力学——理论方法及鄂东花岗岩类例析[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994.
- 顾雄飞, 梅厚钧, 等. 中国大陆东南部花岗岩类的云母[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- 张德全, 孙桂英. 中国东部花岗岩[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1988.
- BLATTNER P, *et al.* Contrasting ¹⁸O enrichment and origins of High Himalayan and Transhimalayan intrusives [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1983, 65(2): 276—286.
- BLATTNER P, ABERT R, ADAMS C J, *et al.* Oxygen isotope trends and anomalies in granitoids of the Tibetan plateau [J]. *Journal of Asian Earth Science*, 2002, 21: 241—250.
- 路远发. GeoKit: 一个用 VBA 构建的地球化学工具软件包[J]. *地球化学*, 2004, 33(5): 459—464.

Mineral chemistry and petrography of the peraluminous granites in Xizang

LIAO Zhong-li¹, PAN Gui-tang¹, ZHU Di-cheng¹, WANG Li-quan¹, GENG Quan-ru¹, ZHANG Yu-jie¹, XIONG Xing-guo², CHEN Wen-bin¹, PENG Zhi-min¹, ZHU Bing³

(1. *Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China*; 2. *Guizhou Institute of Geological Survey, Guiyang 550004, Guizhou, China*; 3. *Sichuan Institute of Geological Survey, Chengdu 610082, Sichuan, China*)

Abstract: The present paper deals, in detail, with the mineral chemistry of plagioclase, K-feldspar, biotite, muscovite and tourmaline from the peraluminous granites in Xizang. The results show that plagioclase in various rocks contains 78.73%—100% of Ab, 0.13%—18.93% of An, and only 0.19%—3.74% of Or. In the classification diagram of feldspar, the projection plots of plagioclase mostly fall into the field of oligoclase, and rarely into the field of albite. In the end-members of K-feldspar, Or reaches up to 81%—98.48%, and Ab to 1.52%—19.00% in the absence of An. In the same diagram, the projection plots of K-feldspar are concentrated to the field of orthoclase along the Ab—Or line. Plagioclase contains $Ab > An > Or$, suggesting a kind of oligoclase, with rare andesine. K-feldspar is higher in Or content, and assigned to K-sandine showing $Or \gg Ab \gg An$. In the formula of muscovite, the cation numbers of Si and Al are generally higher, with Si cation numbers of 6.0575—6.6412, suggesting a kind of lepidomorphite. In the formula of biotite, the cation numbers of Si are mostly less than 6, ranging between 5.3227 and 6.1265, and with an average of 5.5718. The cation numbers of Al range between 1.8735 and 2.6464. The tetrahedral coordination is occupied by Si and Al^{IV} , the latter of which range between 0.2101 and 1.7388 in the octahedral coordination in which K is dominated in the macro-ionic sites. The $Mg/(Mg + Fe)$ ratios are slightly higher in biotite from the peraluminous granites than those in the whole rocks. The positive correlation between them indicates that the peraluminous granites are of magmatic origin. In the genetic diagram of mica minerals, biotite in the study area mostly falls into the field C, indicating a crustal origin.

Key words: peraluminous granite; mineral chemistry; petrogenesis, Xizang