

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

西藏过铝花岗岩的岩石化学特征及成因探讨

廖忠礼¹⁾, 莫宣学²⁾, 潘桂棠¹⁾, 朱弟成¹⁾, 王立全¹⁾, 耿全如¹⁾, 赵志丹²⁾, 熊兴国³⁾, 董国臣²⁾

1) 成都地质矿产研究所, 610082; 2) 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京, 100083; 3) 贵州省地质调查研究院, 贵阳, 550004

内容提要: 西藏班公湖—改则—安多—怒江带一线以南分布有 61 个主要过铝花岗岩体, 其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, 它们的主量元素组成为 $\text{SiO}_2 = 65.70\% \sim 79.52\%$, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 2.20\% \sim 12.51\%$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 0.49 \sim 1.04$ 及 $\text{A}/\text{CNK} = 1.04 \sim 1.38$ 。随着 SiO_2 的增加, 岩石中 Al_2O_3 逐渐下降, 而其他的氧化物较离散。岩石系列主要为含钾较高的钙碱性系列, 具典型的(强)过铝花岗岩特征。铝饱和指数图解、QAP 图解投点大多数落在 CCG 区, 表明其为大陆碰撞构造环境。Ab-Or-Q-H₂O 相图表明过铝花岗岩形成的压力为 0.05~0.2 GPa, 推断温度低于 700℃。根据岩石化学分析, 可以得出这样的推论, 西藏过铝花岗岩类发生在两个大陆地壳板块的碰撞阶段, 源岩来源于上地壳的重熔, 成为 S 型花岗岩。其中南冈底斯带和拉轨岗日带具有许多相似的性质, 这些相似的性质可能暗示二者有相同的岩浆源区或(和)相同的构造环境。

关键词: 过铝花岗岩; 岩石化学; 构造环境; 成因; 岩浆源区; 西藏

1 西藏过铝花岗岩的地质概况

分布于西藏境内的 61 个主要过铝花岗岩体, 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(图 1)。喜马拉雅地区是闻名世界的过铝花岗岩研究基地(邓晋福等, 1994; 肖庆辉等, 2002; 廖忠礼等, 2003, 2006a), 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(邹光富等, 2003; 童劲松等, 2003; 张金阳等, 2004)。对于这些淡色花岗岩的成因, 一般认为是地壳来源(Harrison et al., 1995; England et al., 1992; Guillot et al., 1995), 是碰撞后陆内挤压造山的产物, 邓晋福等(1994)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。

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。此外, 在平都山口见有红柱石二云母花岗岩, 在聂拉木江林、仁布县曲珍、乃东县叶腊香波见及石榴石花岗岩。这些岩石类型, 按 Barbarin(1990)的分类, 均属于含白云母过铝质花岗岩类(MPGs)。三种主要岩石类型时空分布特征为: ①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, 由南而北, 电气石含量越来越少。②按侵入顺序从早到晚为: 二云母花岗岩→白云母花岗岩→电气石花岗岩, 靠南部侵入时代相对较晚, 而越靠北越早。

现有资料(周云生等, 1981; 王俊文等, 1981; 张玉泉等, 1981; 涂光炽等, 1982; Debon et al., 1984; 潘桂棠等, 1990; 刘国惠等, 1990; Sorkhabi et al., 1993; 西藏自治区地质矿产局, 1993; 刘振声等, 1994; 王增等, 1995; 江万等, 1998; 杨晓松等, 1999; Dèzes, 1999; Yin et al., 2000; 邹光富等, 2003; 童劲松等, 2003; 廖忠礼等, 2006a、2006b; 陈振华等, 2006)显示, 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 10~20 Ma 之间, 特别是北喜马拉雅带, 属中新世, 为喜马拉雅晚期产物; 而雅鲁藏布结合带以北 3 个岩带的部分岩体为 90~140 Ma, 主要集中在白垩纪和中新世, 还有晚侏罗世和始新世。

2 岩石化学特征

注: 本文为国家重点基础研究发展规划项目(编号 2002CB412609), 国家自然科学基金项目(编号 40503005 和 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项目(编号 1212010310102)资助的成果。

收稿日期: 2006-07-11; 改回日期: 2006-08-14; 责任编辑: 郝梓国、刘志强。

作者简介: 廖忠礼, 男, 1969 年生。博士, 副研究员。主要从事岩石学及青藏高原地质研究。通讯地址: 610082, 四川省成都市一环路北三段 2 号; 电话: 028-83225611; Email: cdlzhongli@cgs.gov.cn。

表 1 主要过铝花岗岩体主量元素平均化学成分 (%)

Table 1 Major element data (%) for Tibet peraluminous granite

岩带	岩体名称	样品数	岩性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	烧失量	总量	来源
班戈带	班戈	5	中—细粒二云二长花岗岩	73.63	0.23	13.66	0.29	2.06	0.05	0.41	0.89	2.70	4.60	0.20	0.57	99.48	西藏地矿局, 2003 ^①
	德母拉	4	二云母花岗岩	73.46	0.34	13.17	1.67	1.53	0.02	1.39	0.25	3.33	4.23	0.10	1.49	100.95	涂光炽等, 1982
措勤—申扎带	甲岗山	1	白云母花岗岩	74.43	0.04	14.29	0.16	1.33	0.31	0.17	0.78	2.84	3.96	0.05	1.48	99.84	吉林大学, 2003 ^②
	央雄勒	3	斑状中粒二云二长花岗岩	73.29	0.12	14.80	0.38	0.95	0.03	0.40	1.53	2.98	4.06	0.12	1.13	99.80	河南地矿局, 2003 ^③
	查木岗	2	中斑状中粒二云正长花岗岩	73.45	0.14	13.67	0.40	0.96	0.04	0.67	0.83	2.47	5.77	0.17	1.29	99.85	河南地矿局, 2003 ^③
	松木果	2	中—细粒白云母二长花岗岩	73.48	0.21	14.09	0.26	1.10	0.02	0.46	0.52	2.85	5.44	0.18	1.23	99.82	河南地矿局, 2003 ^③
	文部	3	中细粒二云二长花岗岩	72.35	0.21	14.38	0.56	1.42	0.04	0.78	0.71	2.57	5.11	0.19	1.18	99.49	江西地矿局, 2003 ^③
	朗县	5	二云母花岗岩	72.88	0.11	15.06	1.11	0.77	0.07	0.51	2.15	4.26	2.80	0.05	0.52	100.30	周云生等, 1981; 涂光炽等, 1982
南冈	桑日	1	二云母花岗岩	73.12	0.08	15.33	0.35	0.53	0.1	0.18	0.98	4.54	3.9	0.04		99.15	涂光炽等, 1982
	林芝	5	二云母花岗岩	70.93	0.37	15.10	1.57	1.48	0.05	0.76	2.52	3.65	2.47	0.19	0.53	99.62	周云生等, 1981; 涂光炽等, 1982
	米林	2	斑状二云二长花岗岩	75.11	0.32	12.29	2.32	1.00		0.68	2.19	3.30	2.75	0.09		100.02	周云生等, 1981
	宁中	6	斑状电气石白云母花岗岩	75.92	0.11	13.91	0.47	0.68	0.05	0.15	0.52	4.59	2.93	0.23	1.28	99.96	本文; 地科院地质力学所, 2003 ^④
	羊八井	3	二云母花岗岩	73.24	0.15	13.76	0.76	0.98	0.08	0.30	1.08	4.14	4.14	0.05	0.59	99.27	本文; 地科院地质力学所, 2003 ^④
	罗扎	12	白云母花岗岩	73.90	0.19	14.29	0.37	0.75	0.02	0.31	0.65	2.99	4.99	0.27	1.15	99.87	本文; 吉林大学, 2003 ^⑤
底斯带	松多	1	二云二长花岗岩	71.72	0.15	13.81	2.35	0.93	0.03	0.4	0.45	3.48	5.46	0.2	2.067	100.3	西藏地矿局, 1996 ^⑥
	南木林	1	二云二长花岗岩	75.78	0.09	13.1	0.92	0.57		0.54	0.45	3.6	4.32			99.37	周云生等, 1981
	雪古拉	2	二云母花岗岩	74.26	0.13	13.51	0.41	1.00	0.05	0.20	0.86	3.62	5.04	0.11		99.16	刘国惠等, 1990
斯带	郎那	3	二云母花岗岩	74.73	0.12	13.88	0.42	0.90	0.07	0.35	1.08	4.47	2.81	0.08	0.60	99.50	河北地矿局, 2003 ^⑦
	麦拉	1	电气石花岗岩	76.64		12.92	0.30	0.93			0.59	3.45	5.00			99.83	周云生等, 1981
	多德	2	二云母花岗岩	73.99	0.18	13.57	0.54	1.09	0.04	0.39	1.50	3.27	4.49	0.04	0.41	99.49	涂光炽等, 1982
	尼龙岗	1	二云母花岗岩	73.5	0.09	15.85	0.21	0.98	0.03	0.18	1.06	3.84	4.12	0.03	0.77	100.66	涂光炽等, 1982
	三安曲林	1	二云母花岗岩	71.51	0.14	16.61	0.3	0.71	0.02	0.48	1.08	4.35	4.25	0.05	0.82	100.32	涂光炽等, 1982
	甲格	5	斑状二云母花岗岩	69.94	0.17	17.71	1.14	0.92	0.04	0.41	2.06	4.52	2.84	0.06	0.42	100.15	涂光炽等, 1982
	夏如	3	细粒二云二长花岗岩	74.73	0.12	13.88	0.42	0.90	0.07	0.35	1.08	4.47	2.81	0.08	0.60	99.50	河北地矿局, 2003 ^⑧

续表 1

岩带	岩体名称	样品数	岩性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	烧失量	总量	来源
拉 叭 岗 日 带	曲珍	8	电气石二云母花岗岩	72.79	0.12	15.19	0.41	0.58	0.32	0.95	4.49	2.91	0.10	0.81	98.69	本文; 西藏地矿局, 1994 [®]
	绒博	7	二云二长花岗岩	72.73	0.19	14.49	0.59	0.99	0.79	1.24	3.40	3.90	0.10	1.51	99.98	本文; 西藏地矿局, 1994 [®]
	康马	9	片麻状二云母花岗岩	74.63	0.18	13.76	0.83	0.98	0.53	1.38	3.46	4.05	0.06	0.46	100.36	本文; 周云生等, 1981; 刘国惠等, 1990
	加措拉	3	二云母花岗岩	71.74	0.15	15.18	1.01	0.83	0.78	1.28	3.86	4.03	0.09	0.60	99.59	本文; 周云生等, 1981; 涂光炽等, 1982
	扎日寺种	5	二云二长花岗岩	71.90	0.26	15.02	0.27	1.20	0.69	1.35	3.80	4.03	0.14	0.91	99.61	邹光富等, 2003
	节金浦	2	二云花岗岩	72.71	0.18	14.57	0.62	0.72	0.62	1.16	3.75	3.89	0.11	1.22	99.56	邹光富等, 2003
	姜无拉	4	似斑状二长花岗岩	72.31	0.23	14.90	0.35	1.08	0.63	1.24	3.98	3.92	0.13	0.88	99.67	邹光富等, 2003
	曲布桑	1	中粒二云母花岗岩	72.36	0.196	14.89	0.15	0.97	0.61	1.4	4.23	4.15	0.099	0.79	99.87	邹光富等, 2003
	布扎	2	二云花岗岩	72.22	0.29	14.84	0.38	1.19	0.71	1.45	3.81	4.03	0.13	0.91	99.96	邹光富等, 2003
	打拉	2	似斑状黑云母花岗岩	71.45	0.24	14.65	2.17	0.89	—	1.01	2.56	3.73	0.14	—	100.27	周云生等, 1981
北 喜 马 拉 雅 南 带	马拉山	6	片麻状二云母花岗岩	72.20	0.24	15.00	0.31	1.43	0.64	1.54	3.91	3.98	0.09	0.70	100.07	本文; 周云生等, 1981; 刘国惠等, 1990
	纳木那尼	3	二云花岗岩	74.54	0.05	13.94	0.43	0.29	0.12	0.67	4.13	4.07	0.17	1.18	99.60	涂光炽等, 1982
	定吉	2	电气石白云母花岗岩	73.63	0.07	14.36	0.42	0.76	0.17	0.87	3.58	4.70	0.14	—	98.72	刘国惠等, 1990
	拉纳岗日	3	片麻状二云母花岗岩	71.97	0.24	14.88	0.23	1.37	0.04	1.20	3.91	4.09	0.13	—	98.66	刘国惠等, 1990
	库拉岗日	2	含电气石二云母花岗岩	72.53	0.12	14.94	0.38	0.76	0.04	0.97	4.98	3.57	0.13	0.81	99.54	本文
	告乌	14	电气石白云母花岗岩	73.33	0.12	14.92	0.68	0.59	0.02	0.34	4.09	4.53	0.16	1.04	99.73	中国地质大学(北京), 2003 [®] ; 刘国惠等, 1990 涂光炽等, 1982; 周云生等, 1981
	托丹	8	电气石白云母花岗岩	73.24	0.12	14.98	0.54	0.62	0.03	0.33	4.20	4.34	0.13	0.82	100.11	本文; 周云生等, 1981; 涂光炽等, 1982
	科加	4	电气石花岗岩	72.82	0.11	14.61	0.95	0.32	0.01	1.01	3.62	4.63	0.15	1.28	99.83	周云生等, 1981; 涂光炽等, 1982
高 喜 马 拉 雅 带	错那	7	含电气石二云母花岗岩	73.83	0.13	14.33	0.17	0.78	0.03	1.27	3.80	4.73	0.08	0.44	99.91	周云生等, 1981; 涂光炽等, 1982
	拉康	1	含电气石二云母花岗岩	74.35	—	15.42	0.27	0.48	—	0.75	4.39	3.73	—	—	99.58	西藏地矿局, 1993
	平都山	2	红柱石二云母花岗岩	71.60	0.25	13.41	1.79	0.90	—	1.61	0.97	3.73	0.29	—	98.62	周云生等, 1981
	绒布寺	4	电气石二云母花岗岩	73.23	0.08	14.11	1.19	0.42	0.01	0.34	0.71	3.48	0.26	0.78	99.15	成都地质矿产研究所, 2003 [®]
	普士拉	1	含电气石白云母二长花岗岩	72.48	0.04	15.16	0.47	0.51	0.01	0.18	0.93	5.07	0.18	0.46	99.09	成都地质矿产研究所, 2003 [®]
	聂拉木	10	电气石白云母花岗岩	73.86	0.13	14.35	0.54	0.59	0.03	0.27	3.52	4.62	0.18	0.81	99.56	周云生等, 1981; 刘国惠等, 1990; 成都地质矿产研究所, 2003 [®]

注: 本文数据分析者: 湖北武汉岩矿综合测试中心

表 2 主要过铝花岗岩体的标准矿物及主要参数

Table 2 Modal compositions and main parameter of peraluminous samples from Tibe

岩带	名称	样品数	岩性	Ap	Il	Mt	Hm	Or	Ab	An	Qz	C	Hy	DI	A/CNK	SI	σ_{43}	σ_{25}	AR	来源
班戈带	班戈	5	中-细粒二云二长花岗岩	0.44	0.44	0.43	0.00	27.53	23.14	3.28	37.31	3.09	4.33	87.98	1.24	4.08	1.73	1.10	3.01	同
	德母拉	4	二云母花岗岩	0.22	0.65	2.43	0.00	25.12	28.32	0.66	35.32	2.89	4.39	88.76	1.25	11.44	1.87	1.18	3.58	
措勤—申扎带	甲岗山	1	白云母花岗岩	0.11	0.08	0.24	0.00	23.79	24.43	3.64	40.34	4.09	3.30	88.56	1.38	2.01	1.46	0.94	2.64	表
	央雄勒	3	斑状中粒二云二长花岗岩	0.27	0.23	0.56	0.00	24.32	25.56	6.98	36.76	3.02	2.32	86.63	1.23	4.56	1.63	1.03	2.52	
	查木岗	2	中斑状中粒二云正长花岗岩	0.38	0.27	0.59	0.00	34.59	21.20	3.16	34.57	2.25	2.99	90.36	1.16	6.52	2.22	1.41	3.63	
	松木果	2	中-细粒白云母二长花岗岩	0.40	0.40	0.38	0.00	32.60	24.45	1.54	34.54	3.00	2.68	91.60	1.22	4.55	2.24	1.43	3.62	
	文部	3	中细粒二云二长花岗岩	0.42	0.41	0.83	0.00	30.71	22.12	2.45	35.39	3.80	3.88	88.22	1.30	7.47	1.99	1.26	3.07	
	朗县	5	二云母花岗岩	0.11	0.21	1.61	0.00	16.58	36.13	10.40	32.02	1.22	1.72	84.73	1.08	5.40	1.67	1.04	2.39	
南冈底斯带	桑日	1	二云母花岗岩	0.09	0.15	0.51	0.00	23.24	38.74	4.67	29.44	1.96	1.20	91.42	1.14	1.89	2.36	1.49	3.14	1
	林芝	5	二云母花岗岩	0.42	0.71	2.30	0.00	14.73	31.17	11.49	34.10	2.27	2.82	79.99	1.14	7.65	1.33	0.82	2.06	
	米林	2	斑状二云二长花岗岩	0.20	0.61	2.29	0.74	16.24	27.91	10.33	39.90	0.10	1.69	84.05	0.99	6.77	1.14	0.73	2.44	
	宁中	6	斑状电气石白云母花岗岩	0.50	0.21	0.68	0.00	17.39	39.01	1.23	37.07	2.75	1.15	93.47	1.19	1.70	1.72	1.11	3.18	
	羊八井	3	二云母花岗岩	0.11	0.29	1.12	0.00	24.79	35.50	5.13	30.60	0.62	1.84	90.89	1.04	2.91	2.26	1.43	3.52	
	罗扎	12	白云母花岗岩	0.60	0.37	0.54	0.00	29.87	25.62	1.66	36.34	3.41	1.59	91.83	1.24	3.29	2.05	1.31	3.29	
斯底斯带	松多	1	二云二长花岗岩	0.44	0.29	2.69	0.52	32.60	29.75	1.07	29.84	1.81	1.01	92.18	1.11	3.17	2.77	1.72	4.36	1
	南木林	1	二云二长花岗岩	0.00	0.17	1.34	0.00	25.69	30.65	2.25	36.71	1.69	1.49	93.05	1.15	5.43	1.91	1.24	3.81	
	雪古拉	2	二云母花岗岩	0.24	0.25	0.60	0.00	30.03	30.88	3.65	31.69	0.78	1.89	92.59	1.04	1.95	2.39	1.53	4.03	
	郎那	3	二云母花岗岩	0.18	0.23	0.62	0.00	16.79	38.24	4.94	35.17	1.71	2.13	90.19	1.12	3.91	1.66	1.07	2.90	
	麦拉	1	电气石花岗岩	0.00	0.00	0.44	0.00	29.60	29.24	2.93	35.57	0.76	1.46	94.41	1.06	0.00	2.12	1.38	4.34	
	多德	2	二云母花岗岩	0.09	0.35	0.79	0.00	26.77	27.92	7.27	33.79	0.70	2.32	88.48	1.05	3.99	1.94	1.23	3.12	
雅江带	尼龙冈	1	二云母花岗岩	0.07	0.17	0.30	0.00	24.37	32.53	5.09	32.27	3.21	1.98	89.17	1.25	1.93	2.08	1.31	2.78	同
	三安曲林	1	二云母花岗岩	0.11	0.27	0.44	0.00	25.24	36.99	5.09	26.79	3.01	2.07	89.02	1.21	4.76	2.59	1.59	2.89	
	甲格	5	斑状二云母花岗岩	0.13	0.32	1.66	0.00	16.81	38.32	9.89	27.72	3.59	1.57	82.85	1.24	4.17	2.01	1.21	2.19	
	夏如	3	二云母花岗岩	0.17	0.22	0.61	0.00	16.79	38.26	4.96	35.15	1.71	2.13	90.19	1.12	3.65	1.72	1.10	2.95	

续表 2

岩带	名称	样品数	岩性	Ap	Il	Mt	Hm	Or	Ab	An	Qz	C	Hy	DI	A/CNK	SI	σ_{43}	σ_{25}	AR	来源
拉	曲珍	8	电气石二云母花岗岩	0.22	0.23	0.61	0.00	17.57	38.81	4.21	33.74	3.21	1.39	90.12	1.24	3.67	1.82	1.16	2.69	同
	织博	7	二云二长花岗岩	0.22	0.37	0.87	0.00	23.41	29.22	5.65	34.48	2.68	3.11	87.11	1.20	8.17	1.78	1.12	2.73	
	康马	9	片麻状二云母花岗岩	0.13	0.34	1.20	0.00	23.96	29.30	6.50	35.04	1.31	2.21	88.30	1.09	5.38	1.78	1.14	2.97	
	加措拉	3	二云母花岗岩	0.20	0.29	1.48	0.00	24.06	32.99	5.88	30.26	2.36	2.48	87.31	1.16	7.42	2.16	1.34	2.84	
	扎日诗种	5	二云二长花岗岩	0.31	0.50	0.40	0.00	24.13	32.58	5.95	30.48	2.28	3.37	87.19	1.15	6.91	2.11	1.32	2.83	
	节金浦	2	二云花岗岩	0.24	0.35	0.91	0.00	23.37	32.26	5.19	33.18	2.36	2.13	88.81	1.17	6.46	1.95	1.23	2.89	
	娄无拉	4	似斑状二长花岗岩	0.29	0.44	0.51	0.00	23.44	34.08	5.45	30.63	2.16	2.99	88.15	1.14	6.33	2.12	1.33	2.92	
	曲布桑	1	中粒二云母花岗岩	0.22	0.38	0.22	0.00	24.75	36.12	6.42	27.84	1.12	2.93	88.72	1.06	6.03	2.38	1.49	3.12	
	布扎	2	二云花岗岩	0.29	0.56	0.56	0.00	24.03	32.54	6.49	30.42	1.87	3.25	87.00	1.12	7.02	2.09	1.31	2.86	
	打拉	2	似斑状黑云母花岗岩	0.31	0.45	2.17	0.67	20.33	31.47	11.84	29.83	0.43	2.51	81.63	1.01	8.98	1.81	1.11	2.43	
	马拉山	6	片麻状二云母花岗岩	0.20	0.46	0.45	0.00	23.67	33.29	7.16	29.47	1.66	3.65	86.43	1.11	6.23	2.13	1.32	2.82	
	纳木那尼	3	二云花岗岩	0.38	0.10	0.63	0.00	24.43	35.50	2.36	34.24	1.92	0.44	94.18	1.12	1.33	2.12	1.37	3.56	
	定吉	2	电气石白云母花岗岩	0.31	0.13	0.62	0.00	28.13	30.68	3.54	33.02	2.13	1.45	91.82	1.14	1.77	2.23	1.42	3.38	
	拉纳岗日	3	片麻状二云母花岗岩	0.29	0.46	0.34	0.00	24.49	33.53	5.26	29.91	2.15	3.57	87.94	1.14	5.97	2.20	1.37	2.98	
北喜马拉雅南带	库拉岗日	2	含电气石二云母花岗岩	0.29	0.23	0.56	0.00	21.36	42.67	4.10	27.55	1.42	1.83	91.58	1.08	3.39	2.46	1.55	3.32	1
	告乌	14	电气石白云母花岗岩	0.35	0.23	0.99	0.00	26.90	34.77	2.74	30.50	2.30	1.21	92.17	1.15	3.32	2.45	1.54	3.45	
	托丹	8	电气石白云母花岗岩	0.29	0.23	0.79	0.00	25.83	35.79	3.03	30.38	2.29	1.38	92.00	1.15	3.29	2.40	1.52	3.37	
	科加	4	电气石花岗岩	0.33	0.21	0.76	0.44	27.76	31.08	4.19	32.26	2.16	0.81	91.10	1.14	3.25	2.27	1.43	3.24	
	错那	7	含电气石二云母花岗岩	0.18	0.25	0.25	0.00	28.10	32.33	5.86	30.30	0.83	1.92	90.72	1.05	3.17	2.36	1.49	3.41	
	拉康	1	含电气石二云母花岗岩	0.00	0.00	0.39	0.00	22.13	37.30	0.95	32.86	3.83	2.54	92.29	1.33	7.80	2.10	1.34	3.17	
	平都山	2	红柱石二云母花岗岩	0.64	0.48	2.21	0.29	24.56	31.99	3.15	30.89	1.72	4.07	87.44	1.09	13.27	2.13	1.32	3.39	
	绒布寺	4	电气石二云母花岗岩	0.58	0.15	1.17	0.40	27.39	29.93	2.03	34.73	2.76	0.86	92.04	1.18	3.40	2.12	1.35	3.37	
	普士拉	1	含电气石白云母二长花岗岩	0.40	0.08	0.69	0.00	30.38	30.88	3.60	30.53	2.48	0.96	91.79	1.16	1.83	2.53	1.59	3.34	
	聂拉木	10	电气石白云母花岗岩	0.40	0.25	0.79	0.00	27.64	30.16	2.29	34.54	2.76	1.17	92.34	1.19	2.83	2.14	1.36	3.37	

表

表3 西藏南部过铝花岗岩岩石化学统计值

Table 3 Petrochemical statistic value of peraluminous samples in south part of Tibet

项目	$\bar{x}$	max	min	σ_x	$\sigma_x/\bar{x}(\%)$
SiO ₂	73.27	79.52	65.70	3.36	4.59
TiO ₂	0.16	0.65	0.01	0.01	6.52
Al ₂ O ₃	14.48	20.17	10.42	1.26	8.70
Fe ₂ O ₃	0.59	5.21	0.00	0.44	75.21
FeO	0.96	2.66	0.16	0.26	27.03
MnO	0.04	0.31	0.00	0.00	2.03
MgO	0.44	2.02	0.01	0.10	22.82
CaO	1.08	3.38	0.15	0.34	31.88
Na ₂ O	3.71	6.14	1.48	0.48	12.96
K ₂ O	4.17	6.37	0.72	0.95	22.80
P ₂ O ₅	0.13	0.50	0.01	0.01	5.10

2.1 主量元素成分及标准矿物特征

西藏过铝花岗岩类主要岩体的主量元素和计算的 CIPW 标准矿物及主要参数如表 1、表 2。

经计算处理,西藏过铝花岗岩类主要岩体岩石分异指数在 87.44~92.34 之间,指示分异程度较高;固结指数为 1.83~13.27,平均为 4.75。

为了说明西藏过铝花岗岩的化学组成特征,笔者对 222 个样品的 11 项主量元素分析数据作了统计分析,主要特征值列于表 3。由此可见,对于大多数造岩氧化物而言,其变化系数大多大于 20%;反映铁镁质矿物含量变化的 Fe₂O₃、FeO、MgO 变化系数较大;SiO₂ 和 Al₂O₃ 的变化系数较小,暗示在岩浆演化过程中这两种氧化物没有发生明显的分馏,亦即没有以这两种氧化物为主要组分的矿物发生异常聚集或分离,它们的变异是逐渐的、贯穿整个岩浆演化进程的。岩石化学变异特征为:随着 SiO₂ 的增加,岩石中 Al₂O₃ 逐渐下降,而其他的氧化物较离散,表明过铝花岗岩主要不是分离结晶作用产生,而可能主要是部分熔融或重熔产生的。

2.2 岩石系列的判别

在 K₂O-Na₂O 图解上(图 2),大多数样品落入钾质区,但南冈底斯带在三个区均有分布,以钾质区居多;而班戈—伯舒拉岭带、措勤—申扎带的部分样品落入高钾质区。

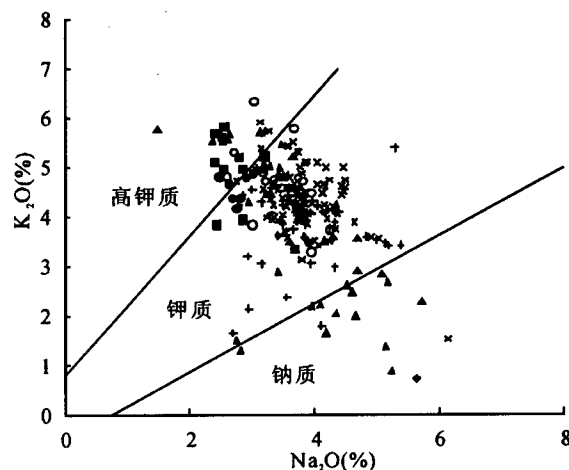
在 SiO₂-Alk 图解上(图 3),所有样品均落入 Irvine 分界线以下,即亚碱性系列区,但全碱含量与 SiO₂ 线性相关趋势不明显。

在 SiO₂-K₂O 判别图解上(图 4),主要落入高钾钙碱性系列岩区,南冈底斯带和拉轨岗日带的少量样品落入钙碱性系列岩区,雅鲁藏布结合带三个样品中有一个落入拉斑玄武系列。

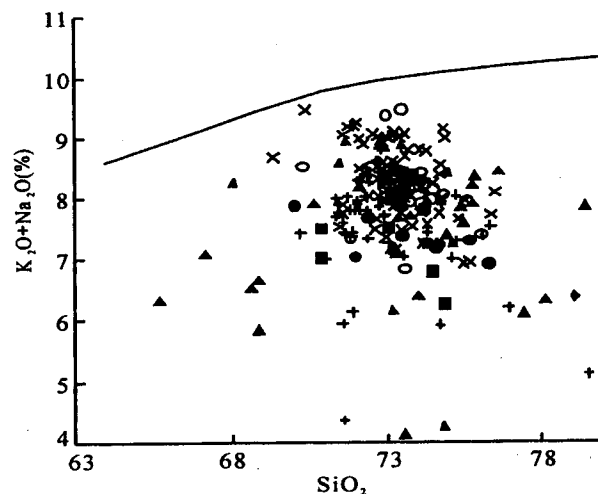
在 FAM 判别图解上(图 5),显示了典型的钙碱性趋势。因此认为其属于钙碱性系列。

综上,西藏过铝花岗岩的岩石系列主要为含钾较高的钙碱性系列。这与其地质背景相一致(刘振声等,1994;莫宣学等,2005;廖忠礼等,2006a、2006c、2006d)。

2.3 不同氧化物比值特征

图2 西藏南部过铝花岗岩 K₂O—Na₂O 图解Fig. 2 K₂O vs. Na₂O diagram of peraluminous

granite in south part of Tibet ●—班戈—伯舒拉岭带; ■—措勤—申扎带; ▲—南冈底斯带; ◆—雅鲁藏布结合带; +—拉轨岗日带; ×—北喜马拉雅南带; ○—高喜马拉雅带
●—Bange—Boshulaling zone; ■—Cuogin—Shenzha zone; ▲—South Gangdze zone; ◆—Yaluzangbu sutured zone; +—Laguigangri zone; ×—South zone of North Himalaya; ○—high Himalaya zone

图3 全碱-SiO₂ 图解(图式据 Irvine, 1971)Fig. 3 Alk vs. SiO₂ diagram(after Irvine, 1971)

图例同图 2(the symbol same as Fig. 2)

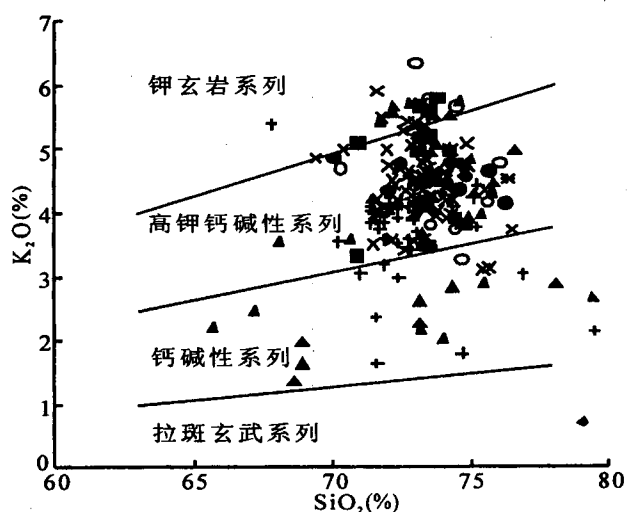


图4 SiO_2 - K_2O 图解(据 Peccerillo 等, 1976)图例同图 1
Fig. 4 SiO_2 vs. K_2O diagram (after Peccerillo et al., 1976)
图例同图 2 (the symbol same as Fig. 2)

花岗岩类的岩石化学成分直接受物质来源和形成方式等因素的制约。换言之,花岗岩的岩石化学组分是其成因的记录,可以利用岩石化学组判别花岗岩的成因类型。为此,国内外的岩石学家,如徐克勤(1981)、Chappell(1974)等,选择了一些特征性的氧化物比值作为判别花岗岩成因类型的标准。西藏过

铝花岗岩亦可总结出类似的标准。

2.3.1 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ (重量百分比)

根据西藏过铝花岗岩的 222 件样品分析资料,进行了 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值的统计,表明,自南而北,过

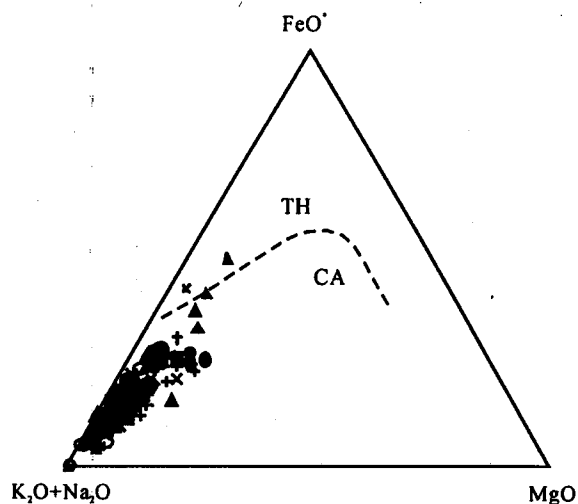


图5 西藏过铝花岗岩 FAM 图解
(底图据 Miyashiro A., 1974)
Fig. 5 FAM diagram of peraluminous samples in Tibet
(after Miyashiro, 1974)
图例同图 2 (the symbol same as Fig. 2)

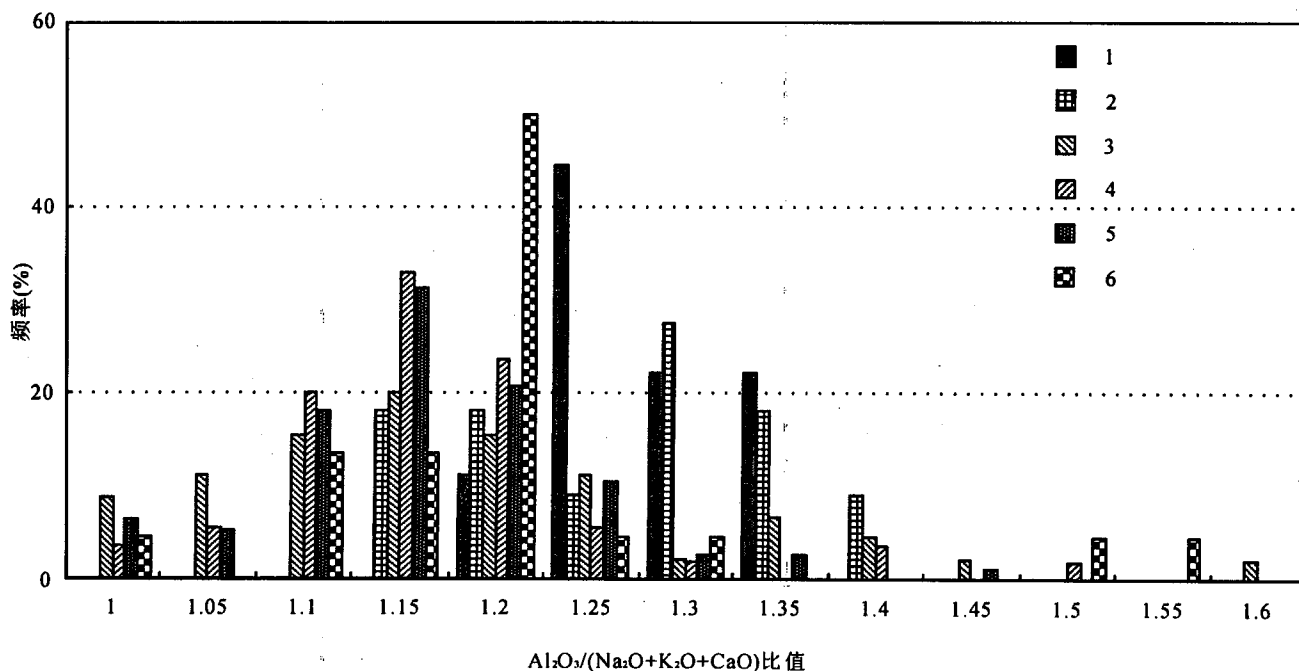


图6 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO})$ 比值频率分布直方图

Fig. 6 Frequency distribution diagram for $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO})$

1—班戈—伯舒拉岭带; 2—措勤—申扎带; 3—南冈底斯带; 4—拉轨岗日带; 5—北喜马拉雅南带; 6—高喜马拉雅带
1—Bange—Boshulaling zone; 2—Cuogin—Shenzha zone; 3—South Gangdze zone; 4—Laguigangri zone;
5—South zone of North Himalaya; 6—high Himalaya zone

铝花岗岩的 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值分布区范围基本呈由窄变宽的趋势,冈底斯—念青唐古拉构造—岩浆岩带出现的峰值要小于喜马拉雅构造—岩浆岩带,即前者相对含钾高,后者含钠要高一些。

2.3.2 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO})$ (分子比)

图6显示了各岩带花岗岩中 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO})$ 比值(A/CNK, 铝饱和指数)的频率分布特征。6个岩带自南而北峰值集中分布在1~1.4。拉轨岗日带铝饱和指数出现的范围最大,频率分布高峰区为1~2.3。整个地区铝饱和指数 A/CNK 为0.85~2.26,平均为1.16,大于1.1。

2.3.3 $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+}+\text{Fe}^{2+})$ (原子比)

花岗岩中的铁原子比也在一定程度上反映了物质来源。各岩带花岗岩的 $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+}+\text{Fe}^{2+})$ 比值分布范围一般较大,但频率分布高峰区却有一定差异,但规律不明显。结合各岩带的比值特征,我们可以看出,过铝花岗岩 $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+}+\text{Fe}^{2+})$ 一般小于0.9。另外需指出,岩石的风化以及在分析测试过程中的一些人为因素,往往导致该值偏高。

2.4 Q-Di-C 矿物特征

从各岩带花岗岩在图7的投影点可以看出:喜马拉雅岩带投影点较集中,而南冈底斯岩带花岗岩投影点较分散。222件样品中除了7件投影点落于辉石区外,其余都落于刚玉区,并有相对较高的标准石英含量,反映其为铝过饱和岩石系列,属S型花岗岩。刚玉标准分子分布范围为0.02~9.31,主要在1.2~3.1之间,平均为2.22,大于1,其中班戈—伯舒拉岭带和措勤—申扎带具有较高的刚玉标准分子,分布范围为1.99~4.10,平均为3.11。这些具典型的(强)过铝花岗岩特征。

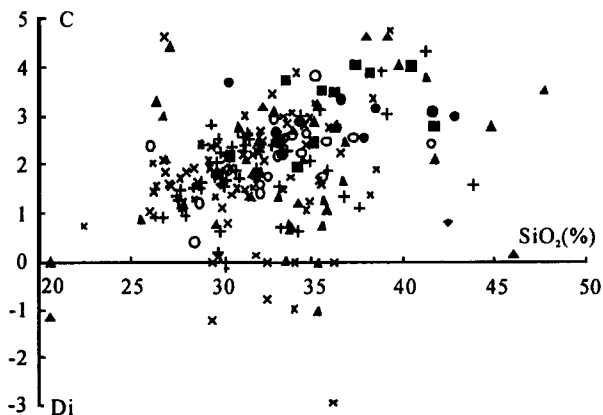


图7 主要岩体 Q-Di-C 图解(图例同图1)

Fig. 7 Q-Di-C diagram of main rockbody
图例同图2(the symbol same as Fig. 2)

3 讨论

3.1 岩浆起源和源区性质讨论

西藏过铝质花岗岩的岩石化学特征表明, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 比值大于100、 $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值均小于0.3(图3),根据 Sylvester(1998)的研究,表明源区为泥岩质成分,熔融温度在875℃以下,同时,熔融源区深度相对浅。并且,泥岩质成分的源区其成熟度较高,而砂岩成分源区其成熟度较低(Sylvester, 1998),这似乎表明西藏过铝质花岗岩的源区的成分成熟度高。而其 MgO/TFe 比值均小于0.25,表明其是泥岩质再循环表壳发生部分熔融的产物。这与地球化学分析的结果相一致(廖忠礼等, 2006a)。

Taylor(1985)认为,地球演化过程中 K、Rb 不断向上迁移进入硅铝层,上地幔越来越亏损 K、Rb, Sr 主要富集在斜长石中代替 Ca 的位置,因此,花岗岩的 Rb/Sr 比值越高,说明源岩主要来自上部陆壳。据 Taylor(1985)的资料计算,上部陆壳的 Rb/Sr 值大

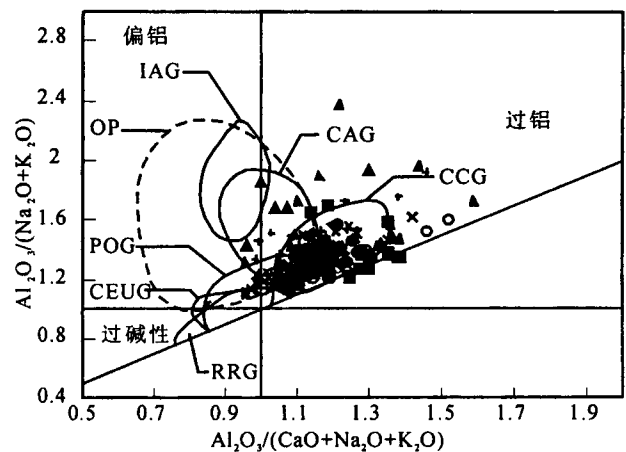


图8 主要岩体铝饱和指数图(图式据 Maniar 等, 1989)

Fig. 8 Al_2O_3 vs. $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO})$ diagram
of main rock body(after Maniar et al., 1989)

IAG—岛弧花岗岩类, CAG—大陆弧花岗岩类, CCG—大陆碰撞花岗岩类, POG—后造山花岗岩类, RRG—与裂谷有关的花岗岩类, CEUG—与大陆的造陆抬升有关的花岗岩, OP—大洋斜长花岗岩。岩石化学数据来自: ●—班戈—伯舒拉岭带; ■—措勤—申扎带; ▲—南冈底斯带; ◆—雅鲁藏布结合带; +—拉轨岗日带; ×—北喜马拉雅南带; ○—高喜马拉雅带

IAG—Island arc granite; CAG—continental arc granite; CCG—continental collision granite; POG—post-orogen granite; RRG—raft-related granite; CEUG—continental uplift-related granite; OP—oceanic plagiogranite. Petrochemical data from Bange—Boshulaling zone (●); Cuogin—Shenzha zone (■); South Gangdze zone (▲); Laguigangri zone (+); South zone of North Himalaya (×); high Himalaya zone (○)

约为 0.32, 大陆壳平均 Rb/Sr 值为 0.24。研究区过铝花岗岩体的 Rb/Sr 值远大于 0.32, 并结合 Sr-Nd 同位素地球化学分析结果(廖忠礼等, 2006a), 据此可判断西藏过铝花岗岩的源岩为上部陆壳。

前文的研究表明: 1) 岩石具 S 型花岗岩特点, 表现为普遍含有较多的刚玉分子, $Al_2O_3/(K_2O + Na_2O + CaO)$ 分子平均比值大于 1.1; 2) 岩石所形成的深度较小, 是沉积岩部分熔融形成的花岗质岩浆上升侵位形成的。这些为成岩物质主要来源于地壳沉积改造提供了依据。

综上, 西藏过铝质花岗岩是再循环的表壳岩在相对低温的浅部地壳发生部分熔融的产物。

3.2 成因探讨及大地构造环境分析

3.2.1 铝饱和指数

西藏过铝花岗岩的 A/CNK 值大于 1.1, 刚玉质量分数平均为 2.22。利用铝饱和指数特征, 可以判别构造环境。Maniar 和 Piccoli(1989)认为, 不同构造环境的花岗岩类岩石的化学特征是不同的, 其特征可总结以下几点: (1) RRG 和 CEUG 具有 SiO_2 的双峰式分布, 而其余的花岗岩类则为单峰式分布; (2) 根据平均的碱钙指数, IAG、CAG、CCG、POG 和 OP 可划归为钙碱性而 RRG 和 CEUG 为碱性; (3) 图 8 表示的铝饱和指数特征, 只有 CCG 为强过铝质的 ($A/CNK > 1.15$), IAG、CAG 和 OP 为强偏铝质的 ($A/CNK > 1.4$), RRG 和 CEUG 则是相当过碱质的花岗岩类 (Maniar et al., 1989)。由铝饱和指数图 (图 8)

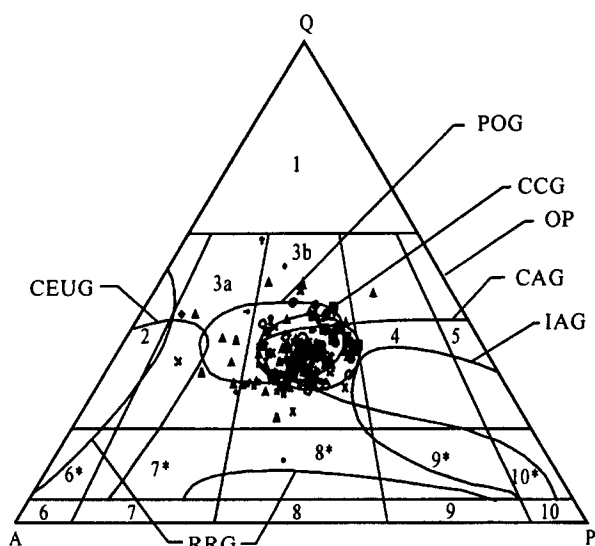


图 9 石英(Q)—碱性长石(A)—斜长石(P)三元图解 (图式据 Maniar 等, 1989)

Fig. 9 Diagram for Q-A-P (after Maniar et al., 1989)
图例同图 2 (the symbol same as Fig. 2)

可判别: 西藏过铝花岗岩主要落在 CCG 区内, 属大陆碰撞造山环境; 而南冈底斯带和拉轨岗日带的部分投点则落在 CCG 和 CAG 区内, 为大陆碰撞和大陆弧造山环境, 这也说明南冈底斯带和拉轨岗日带具相似性。

3.2.2 QAP 图解

不同构造环境的花岗岩类岩石, 其石英、碱性长石和斜长石含量都不一样, 在 QAP 图解上 (石英-碱性长石-斜长石换算为 100%) 都有自己的特定位置, 因此利用该图解可大致确定花岗岩类的构造环境 (图 9)。不同构造环境, 其岩石类型不一样, 大致可归纳为以下几种: (1) IAG 为石英闪长岩、石英二长闪长岩、英云闪长岩和花岗闪长岩; (2) CAG 为英云闪长岩、花岗闪长岩和花岗岩 ($A/P \leq 2.0$); (3) CCG 为花岗岩 ($A/P \leq 2.0$); (4) POG 为花岗岩; (5) RRG 显示有双峰式分布形式, 其岩石为碱性花岗岩、石英碱性正长岩和石英二长岩; (6) CEUG 为花岗岩 ($A/P > 2.0$)、碱性花岗岩、石英碱性正长岩和石英正长岩; (7) OP 为英云闪长岩。图 9 指示西藏过铝花岗岩的 QAP 图解大多数投点落在 CCG 区, 表明其为大陆碰撞构造环境; 但南冈底斯带和拉轨岗日带的少量投点落在 POG 区, 表明这两个岩带有后造山构造

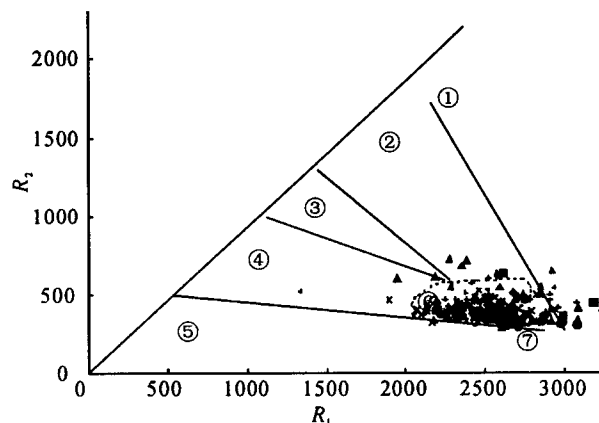


图 10 R_1 - R_2 多阳离子图解 (底图据 Batchelor 等, 1985)

Fig. 10 Discriminant diagram of the tectonic setting of R_1 - R_2 (after Batchelor et al., 1985)

①—地幔斜长花岗岩; ②—破坏性活动板块边缘 (板块碰撞前) 花岗岩; ③—板块碰撞后隆起期花岗岩; ④—晚造期花岗岩; ⑤—非造山区 A 型花岗岩; ⑥—同碰撞 (S 型) 花岗岩; ⑦—造山期后 A 型花岗岩。其他图例同图 2

①—Mantle plagiogranite; ②—granite in destructive active plate margin; ③—granite of uplift period in plate collision; ④—late orogen granite; ⑤—A-type granite in non-orogen area; ⑥—synorogenic S-type granite; ⑦—postorogenic A-type granite. the other symbol same as Fig. 2

环境的成分。

3.2.3 R_1-R_2 多阳离子参数

Batchelor 等(1985)利用主要花岗岩类岩石组合示意图解,区分了产出于不同构造环境中的花岗岩类(图 10)。根据二云母花岗岩主要氧化物的含量,通过一定程序换算成 R_1 和 R_2 值,投在 R_1-R_2 多阳离子图解上,绝大多数样品投影点落在同碰撞(S 型)花岗岩区及其附近,其中班戈岩体、央雄勒岩体投在板块碰撞前区,南冈底斯带的林芝岩体、松多岩体投在造山晚期花岗岩。表明西藏过铝花岗岩的源区相当于上地壳,矿物的分离结晶不占主导,仅在部分岩体发生;主要发生部分熔融作用。形成构造环境为同碰撞—晚造山环境。

上述分析表明,西藏过铝花岗岩的化学成份变化不大,总体基本接近,主要岩体的岩石化学特征基本相同,常量元素组成相似,具较高的 Si_2O 、 Al_2O_3 和较低的 TiO_2 、 MgO 含量;按岩带从南到北,岩石化学总的呈现出 TiO_2 、 CaO 、 MnO 、 FeO 逐渐增加而 Al_2O_3 、 Na_2O 逐渐减少的趋势。西藏过铝花岗岩不仅为典型的过铝花岗岩,而且多数属于强过铝花岗岩,按 Barbarin(1990)的分类为 MPGs,西藏过铝花岗岩的铝饱和指数图解、QAP 图解投点大多数落在 CCG 区,表明其为大陆碰撞构造环境。

3.3 温压条件分析

将西藏过铝花岗岩类岩石的标准矿物成分分别

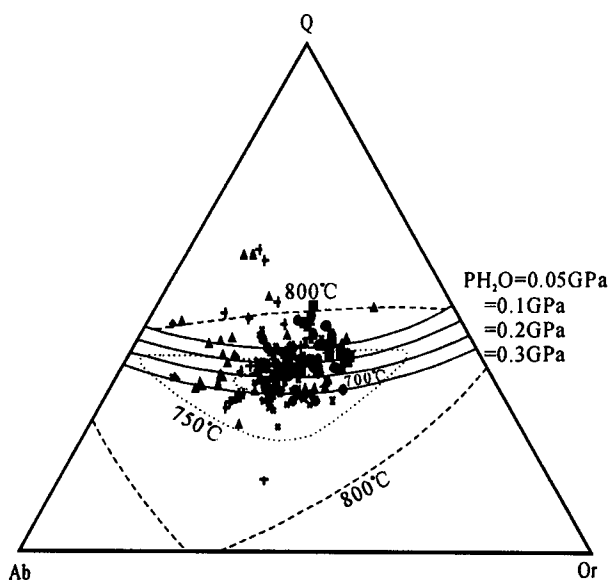


图 11 西藏过铝花岗岩 Q-Ab-Or-H₂O 图解

(图式据 Tuttle et al., 1958)

Fig. 11 Diagram for Q-Ab-Or-H₂O
(after Tuttle et al., 1958)

图例同图 2(the symbol same as Fig. 2)

投影在 Ab-Or-Q-H₂O 相图(图 11)上。根据相图分析可以看出:西藏过铝花岗岩的标准矿物投影点在图中的分布区域较小,绝大多数落在低温槽内草履状图形内及其附近,并且处于水压和温度相对较低的位置内,投影点密集并靠近在三相最低共结点附近,有向压力降低方向延展的趋势,反映出带内花岗岩形成环境的温度、压力相对偏低。一般认为,落在低温槽内的属低熔熔浆的产物,故从图上推断,过铝花岗岩形成的压力为 0.05~0.2 GPa,温度低于 700℃。其中,南冈底斯岩带和拉轨岗日带的标准矿物投影点分布范围相对较大,反映出花岗岩形成的物理化学条件较复杂,岩浆来源于温压较高的环境。

以上分析表明:西藏过铝花岗岩类发生在两个大陆地壳板块的碰撞阶段,源岩来源于上地壳的重熔。

4 结论

(1) 西藏过铝花岗岩的岩石系列主要为含钾较高的钙碱性系列,具典型的(强)过铝花岗岩特征。

(2) 西藏过铝质花岗岩是再循环的表壳岩石在相对低温的浅部地壳发生部分熔融的产物。

(3) 西藏过铝花岗岩的铝饱和指数图解、QAP 图解投影点大多数落在 CCG 区,表明其为大陆碰撞构造环境。

(4) Ab-Or-Q-H₂O 相图表明:过铝花岗岩形成的压力为 0.5~2 kbar,推断温度低于 700℃。其中,南冈底斯岩带和拉轨岗日带的标准矿物投影点分布范围相对较大,反映出花岗岩形成的物理化学条件较复杂,岩浆来源于温压较高的环境。

根据以上岩石化学分析,可以得出这样的推论,西藏过铝花岗岩类发生在两个大陆地壳板块的碰撞阶段,源岩来源于上地壳的重熔,成为 S 型花岗岩。其中南冈底斯带和拉轨岗日带具有许多相似的性质,这些相似的性质可能暗示二者有相同的岩浆源区或(和)相同的构造环境。

致谢:野外工作期间,得到巴登珠、肖润、江万等的大力支持和帮助,岩石化学作图使用了路远发编制的 Geokit 软件(路远发,2004),审稿老师提出了不少建设性的意见、建议,谨致谢意!

注 释

① 西藏自治区地质矿产局. 中华人民共和国 1:25 万班戈县幅区域地质调查报告.

② 吉林大学. 2003. 中华人民共和国 1:25 万申扎县幅区域地质调

查报告.

- ③ 河南省地质调查院. 2003. 中华人民共和国 1: 25 万尼玛区幅、热布喀幅区域地质调查报告.
- ④ 江西省地质调查院. 2003. 中华人民共和国 1: 25 万邦多区幅、措麦区幅区域地质调查报告.
- ⑤ 中国地质科学院地质力学研究所. 2003. 中华人民共和国 1: 25 万当雄县幅区域地质调查报告.
- ⑥ 西藏自治区地质矿产局. 1994. 中华人民共和国 1:20 万南木林幅区域地质调查报告.
- ⑦ 河北省地质调查院. 2003. 中华人民共和国 1: 25 万萨嘎县幅、桑桑县幅、吉隆县幅区域地质调查报告.
- ⑧ 西藏自治区地质矿产局. 1996. 中华人民共和国 1:20 万浪卡子幅区域地质调查报告.
- ⑨ 中国地质大学(北京). 2003. 中华人民共和国 1: 25 万江孜县幅、亚东县幅区域地质调查报告.
- ⑩ 中国地质调查局成都地质矿产研究所. 2003. 中华人民共和国 1: 25 万聂拉木县幅区域地质调查报告.

参考文献

- 陈振华, 刘云, 李均良. 2006. 西藏当惹雍错吉松环斑花岗岩的发现及地质意义. 沉积与特提斯地质, 26(2): 16~20.
- 邓晋福, 赵海玲, 赖绍聪, 刘厚祥, 罗照华. 1994. 白云母/二云母花岗岩形成与陆内俯冲作用. 地球科学: 中国地质大学学报, 19(2): 139~147.
- 江万, 张双全, 莫宣学, 赵崇贺, 郭铁鹰. 1998. 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. 特提斯地质, 22: 90~96.
- 廖忠礼, 莫宣学, 潘桂棠, 朱弟成, 王立全, 江新胜, 赵志丹. 2003. 西藏南部过铝花岗岩分布特征及其意义. 沉积与特提斯地质, 22(3): 12~20.
- 廖忠礼, 莫宣学, 潘桂棠, 朱弟成, 王立全, 赵志丹, 江新胜. 2006a, 初论西藏过铝花岗岩, 地质通报, 25(7): 812~821.
- 廖忠礼, 莫宣学, 潘桂棠, 朱弟成, 王立全, 赵志丹, 耿全如, 董国臣. 2006b. 西藏曲珍过铝花岗岩的地球化学特征及地球动力学意义. 岩石学报, 22(4): 845~854.
- 廖忠礼, 莫宣学, 潘桂棠, 朱弟成, 王立全, 赵志丹. 2006c. 西藏过铝花岗岩锆石群型的成因信息. 大地构造与成矿学, 30(1): 63~71.
- 廖忠礼, 莫宣学, 潘桂棠, 朱弟成, 王立全, 赵志丹, 江新胜. 2006d. 西藏过铝花岗岩的副矿物特征及其岩石成因意义. 地球学报, 27(2): 115~122.
- 刘国惠, 金成伟, 王富宝, 王松产, 王碧香, 许荣华, 丁孝石. 1990. 西藏变质岩及火成岩. 北京: 地质出版社.
- 刘振声, 王洁民. 1994. 青藏高原南部花岗岩地质地球化学. 成都: 西南交通大学出版社. 1~133.
- 路远发. 2004. GeoKit: 一个用 VBA 构建的地球化学工具软件包. 地球化学, 33(5): 459~464.
- 莫宣学, 董国臣, 赵志丹, 周肃, 王亮亮, 邱瑞照, 张凤琴. 2005. 西藏冈底斯带花岗岩的时空分布特征及地壳生长演化信息. 高校地质学报, 11(3): 281~290.
- 潘桂棠, 丁俊, 姚冬生, 王立全, 罗建宁, 颜仰基, 雍永源, 郑建康, 梁信之, 秦德厚, 江新胜, 王全海, 李荣社, 耿全如, 廖忠礼, 朱弟成. 2004. 青藏高原及邻区地质图(1:150 万)(附说明书). 成都: 成都地图出版社. 1~133.
- 潘桂棠, 李兴振, 王立全, 丁俊, 陈智梁. 2002. 青藏高原及邻区大地构造单元初步划分. 地质通报, 21(11): 701~707.
- 潘桂棠, 王培生, 徐耀荣, 焦淑沛, 向天秀. 1990. 青藏高原新生代构造演化. 北京: 地质出版社. 32~58.
- 童劲松, 钟华明, 夏军, 鲁连魁, 杨世学. 2003. 藏南洛扎地区过铝质花岗岩的地球化学特征及构造背景. 地质通报, 22(5): 308~318.
- 涂光炽, 张玉泉. 1982. 西藏南部花岗岩类地球化学. 北京: 科学出版社. 1~190.
- 王俊文, 成忠礼, 桂训唐, 许荣华, 张玉泉. 1981. 西藏南部某些酸性岩体的铷-锶同位素研究. 地球化学, 1981(3): 242~246.
- 王增, 申屠保涌, 丁朝建, 姚鹏, 耿全如. 1995. 藏东花岗岩类及其成矿作用. 成都: 西南交通大学出版社.
- 西藏自治区地质矿产局. 1993. 西藏自治区区域地质志. 北京: 地质出版社. 319~393.
- 肖庆辉, 邓晋福, 马大铨, 洪大卫, 莫宣学, 卢欣祥, 李志昌, 汪雄武, 马昌前, 吴福元, 罗照华, 王涛. 2002. 花岗岩研究思维与方法. 北京: 地质出版社. 1~50.
- 徐克勤. 1981. 华南不同时代花岗岩类及其与成矿关系. 南京: 南京大学出版社.
- 杨晓松, 金振民. 1999. 部分熔融与青藏高原地壳加厚的关系综述. 地质科技情报, 18(1): 24~28.
- 张金阳, 廖群安. 2004. 藏南定结淡色花岗岩—基底隆升降压熔融成因的地质证据. 西北地质, 37(2): 7~12.
- 张玉泉, 戴潼漠, 洪阿实. 1981. 西藏高原南部花岗岩同位素地质年代学. 地球化学, 1981(1): 8~18.
- 周云生, 张旗, 梅厚均, 金成伟, 邓万明, 林学农, 张魁武, 张兆忠, 刘关键, 李召华. 1981. 西藏岩浆活动和变质作用. 北京: 科学出版社.
- 邹光富, 朱同兴, 冯心涛, 李建忠, 贾保江, 周铭魁. 2003. 藏南岗巴一定日地区花岗岩单元特征及构造环境. 沉积与特提斯地质, 23(1): 16~26.
- Barbarin B. 1990. Granitoids main petrogenetic classifications in relation to origin and tectonic setting. Geol. J. 25: 227~238.
- Batchelor R A, Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. Chem Geol, 48: 43~55.
- Chappell B W, White A J R. 1974. Two contrasting granite types. Pacific Geol., 8: 173~174.
- Debon F, Sonet J, 刘国惠, 金成伟, 许荣华. 1984. 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. 李光岑, J L 麦尔西叶主编. 中法喜马拉雅考察成果(1980). 北京: 地质出版社. 295~304.
- England P, Le Fort P, Molnar P, Pecher A. 1992. Heat sources for Tertiary metamorphism and anatexis in the Annapurna — Manaslu region Central Nepal. J. Geophys. Res. 97: 2107~2128.
- Guillot S, Le Fort P. 1995. Geochemical constrains on the bimodal origin of High Himalayan leucogranite. Lithos. 35: 221~234.
- Harrison TN, McKeegan K D, Le Fort P. 1995. Detection of inherited monazite in the Manaslu leucogranite by $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ ion

- microprobe dating. Crystallization age and tectonic significance. *Earth Planet. Sci. Lett.* 133: 271~282.
- Maniar P D, Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 101:635~643.
- Dèzes P. 1999. Tectonic and Metamorphic Evolution of the Central Himalayan Domain in Southeast Zaskar (Kashmir, India). *Mem. Geol. (Lausanne)*. 32: 99~118.
- Sorkhabi R B. 1993. Stump E. Rise of the Himalaya: A Geochronologic Approach. *GSA Today*. 3(4):87~92.
- Sysvestor P J. 1998. Post-collisional strong peraluminous granites. *Lithos*, 45:29~44.
- Taylor S R, Mcleannan S M. 1985. The continental crust: its composition and evolution. Oxford: Blackwell.
- Tuttle O F, Bowen N L. 1958. Origin of Experimental Studies in the System —NaAlSi₃O₈-KAlSi₃O₈-SiO₂-H₂O. *Geol. Soc. Amer. Mem.* 74: 65~75.
- Yin A, T. M. Harrison. 2000. Geologic Evolution of the Himalayan—Tibet Orogen *Annu. Rev. Earth Planet Sci.* 28:211~80

Petrochemistry Characteristic and Petrogenesis of Peraluminous Granite in the Tibet

LIAO Zhongli¹⁾, MO Xuanxue²⁾, PAN Guitang¹⁾, ZHU Dicheng¹⁾

WANG Liquan¹⁾, GEN Quanru¹⁾, ZHAO Zhidan²⁾, XIONG Xingguo³⁾, DONG Guochen²⁾

1) *Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu*, 610082; 2) *The Key Laboratory of*

Lithospheric Tectonics and Exploration, China University of Geosciences, Beijing, 100083;

3) *Guizhou Academy of Geologic Survey, Guiyang*, 550004

Abstract

There are 61 major peraluminous granitic bodies in Tibet (TPGs) to the south of the Bangong Co-Gerze-Amdo-Nu Jiang suture, and the include tourmaline granite, muscovite granite, and two-mica granite. The TPGs have SiO₂ = 65.7%~79.52%, K₂O + Na₂O = 2.20%~12.51%, K₂O/Na₂O = 0.49~1.04 and A/CNK = 1.04~1.38. Al₂O₃ gradually decrease and the other oxide disperse along with the increase of SiO₂. The rock series is mainly calc-alk series with high Potassium. It has typical characteristic of strong peraluminous granite. From the aluminum saturation index and QAP plots, the peraluminous granites plot mostly within the Continental Collision Granite (CCG) field, indicating that the peraluminous granites in Tibet formed in a continental collisional setting. Ab-Or-Q-H₂O phase diagram indicate the pressure of 0.5~2 k bar in TPGs. It can be deduced the form temperature is under 700°C. The TPGs is mainly occurred the collision stage between two continental crust plates, original magma is rooted in the remelting from upper crust. It is the S-type granite in petrogenesis. There are similar character between the Southern Gandise belt and the Lhagoi Kangri belt. These similar character suggest it has the same magma source and the same tectonic setting in the two belts.

Key words: peraluminous granite; petrochemistry; tectonic setting; petrogenesis; magma source; Tibet