

四川乡城-稻城地区花岗岩地球化学 特征及构造背景探讨

费光春, 李佑国, 温春齐

(成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059)

【摘要】 四川乡城-稻城地区发育4套花岗岩体:包括石英闪长玢岩、花岗细晶岩、二长花岗(细晶)岩和花岗闪长岩,形成时代为印支期到燕山晚期。花岗岩的地球化学研究表明: $w(\text{SiO}_2)=57.82\%\sim 81.66\%$, $\sigma=0.06\sim 2.45$, $w(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})=1.38\%\sim 7.76\%$, $A/R=1.26\sim 2.93$,属于亚碱性岩体; ΣREE 含量较低,轻稀土相对富集, $\delta\text{Eu}=0.09\sim 1.28$, $(\text{La}/\text{Yb})_N=1.88\sim 11.96$,总体表现为右倾型。各套花岗岩微量元素地球化学特征差异明显,相对富集大离子亲石元素,贫化高场强元素, $\text{Rb}/\text{Sr}=0.04\sim 6.18$ 。根据花岗岩的 R1-R2 , $\text{Rb-Yb}+\text{Ta}$, Ta-Yb 构造判别图解和区域构造演化史研究,认为二长花岗岩形成于板内构造环境,花岗细晶岩、闪长玢岩和花岗闪长岩形成于岛弧构造环境,其形成与义敦岛弧带碰撞造山活动有关。

【关键词】 花岗岩;地球化学特征;构造背景;义敦岛弧

中图分类号:P588.12⁺1;P597⁺.2 文献标识码:A

文章编号:1001-6872(2009)02-0088-08

四川乡城-稻城地区位于义敦古岛弧带中南段,是三江构造带的重要组成部分。前人对义敦岛弧带的花岗岩的地球化学特征、时空分布特征、成矿专属性和区域构造演化已经进行了大量的研究。已有的地质学、地质年代学资料和新获取的锆石 U-Pb 定年结果表明,义敦岛弧带的花岗质岩石主要形成于

印支期到燕山晚期^[1]。花岗岩的地球化学属性、成因和形成的动力学背景研究表明义敦岛弧造山带的南北段有着不同的演化历史和成矿专属性^[2]。侯曾谦等人在义敦岛弧带识别出4套不同成因类型的花岗岩(印支期弧花岗岩、燕山早期同碰撞花岗岩、燕山晚期A型花岗岩和喜马拉雅期花岗岩),再造了

收稿日期:2009-03-09; 改回日期:2009-05-19

基金项目:中国地调局大调查(综合研究)项目(200310200018)

作者简介:费光春,男,28岁,讲师(博士生),矿物学、岩石学、矿床学专业,研究方向:岩石学、矿床学以及勘查地球化学。E-mail:feiguangchun07@cdut.cn.

义敦岛弧造山带的形成过程与演化历史,并阐明了岛弧碰撞造山带的成矿作用特征,成矿系统类型和矿床的时空分布^[2,3]。而在乡城稻城地区,对乡城部分浅成花岗岩的地球化学特征研究很初步^[4]。然系统研究该地区花岗岩的地球化学属性及构造背景对深入理解义敦岛弧带的形成演化历史,成矿专属性和进一步寻找矿产资源具有重要意义。选择对乡城-稻城竹鸡顶、热香、红卓和省母花岗岩地球化学特征及其构造背景进行研究,以期进一步丰富整个义敦岛弧带的岩浆岩和区域构造演化的认识。

1 区域地质背景和岩石学特征

四川乡城-稻城地区位于四川省西南部与云南省接壤地带,西起金沙江东岸,东至稻城县东义乡“三江”成矿带中段东北部。区内地层从前震旦系—三叠系均有出露,其中以三叠系地层分布最广,中酸性岩十分发育,共有大小岩体数百个,主要沿深大断裂带分布,在空间上构成了两条近南北向展布的巨

大花岗岩带(图 1),从东至西,依次为桑堆-省母-稻城带、格聂-茨林措带-普朗带(热香、然乌、红卓、热林、普朗、雪鸡坪)。另外在研究区的西部云南境内还有一条羊拉-鲁甸花岗岩带。

研究区的花岗岩类型有石英闪长玢岩、花岗细晶岩、二长花岗(细晶)岩、花岗闪长岩。石英闪长玢岩呈灰色,斑状结构,斑晶主要为斜长石、石英和少量角闪石、黑云母。粒度 0.5 mm~3 mm;硅化发育,黑云母蚀变成绿泥石,基质具有细晶-微晶结构,组成矿物为斜长石、石英、角闪石、黑云母和钾长石;副矿物有磷灰石、锆石、磁铁矿。花岗细晶岩的矿物粒度极细,其粒径一般为 0.05 mm~0.2 mm,多为 0.1 mm 左右。矿物成分主要有石英、微斜长石、斜长石、黑云母等,矿物组合总体上相当于二长花岗岩,局部地段相当于钾长花岗岩成分,硅化、阳起石化、绢云母化等发育,岩石具有他形至半自形粒状结构、局部可见文象结构,块状构造。二长花岗岩呈肉红色,细粒花岗结构,块状,片麻状构造。主要矿物成分有斜长石、钾长石、石英、黑云母、白云母等。花

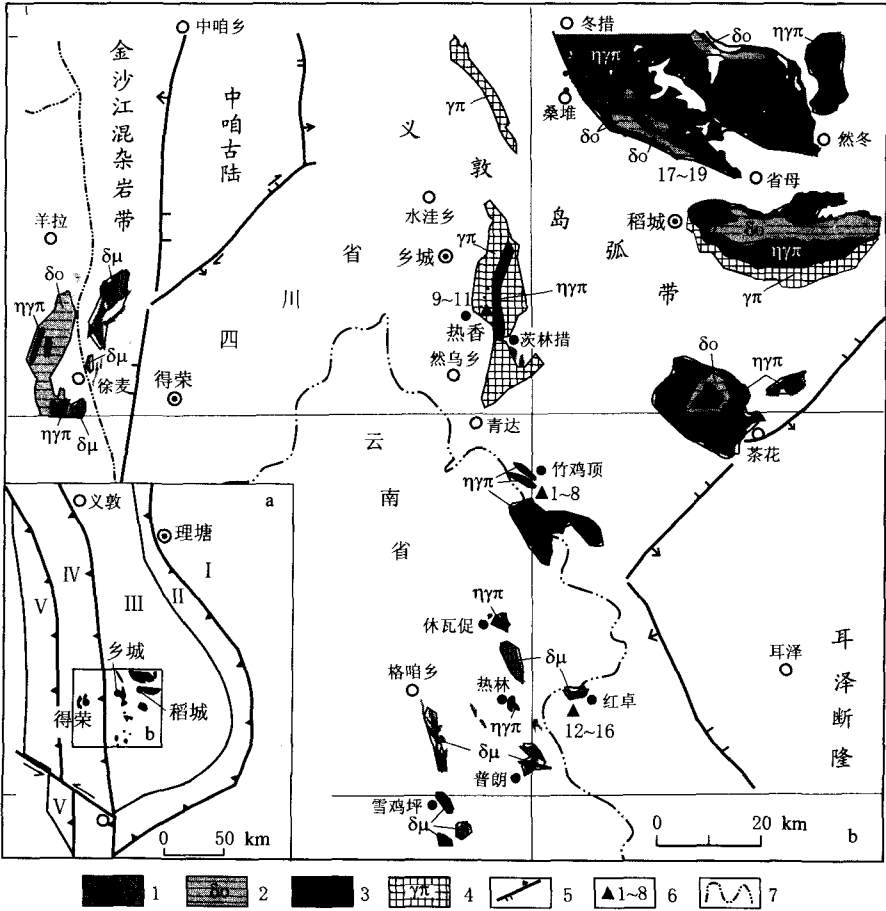


图 1 乡城-稻城地区花岗岩分布图

I. 扬子陆块; II. 甘孜-理塘结合带; III. 义敦岛弧带; IV. 中咱陆块; V. 金沙江结合带; 1. 闪长(玢)岩石英闪长玢岩; 2. 花岗闪长岩; 3. 二长花岗岩; 4. 钾长岩花岗岩花岗斑岩; 5. 断裂带; 6. 采样位置; 7. 省界

Fig. 1 Distribution of granites in the Xiangcheng-Daocheng area

岗闪长岩为浅灰色,中粒似斑状结构,矿物粒径 1 mm~3 mm,主要矿物有石英、斜长石、钾长石和黑云母,其中黑云母部分蚀变成绿泥石。斜长石呈半自形板柱状,长石具他形粒状结构。

2 样品采集和分析方法

样品采自大面积出露的花岗岩露头、坑道或者钻孔,共 19 件(取样位置见图 1)。竹鸡顶 8 件,其中采自地表露头 1 件(1 号样)、平硐(2 号,3 号样)2 件以及钻孔(4 号~8 号样)5 件;热香 3 件,其中坑道(9 号,10 号样)2 件;地表露头 1 件(11 号样),稻城 3 件,均采自地表露头;红卓 5 件,采自地表露头。样品经过室内洗净晾干,切制薄片,经镜下详细观察,挑选蚀变弱,较新鲜样品,除去样品风化面进行粗碎,用化学纯乙醇清洗过的玛瑙研钵手工研磨到 200 目,然后送样分析。常量元素和稀土元素由西南冶金地质测试中心分析,常量元素采用火焰原子吸收光度法测定,分析精度优于 2%~3%,详细分析方法见参考文献[5];稀土元素用中子活化测定,误差小于 5%,详细分析方法见参考文献[6];微量元素由成都理工大学应用核技术研究所分析,采用等离子质谱(ICP-MS)测定,误差小于 5%,详细分析方法见参考文献[7]。

3 分析结果

3.1 常量元素

研究区花岗岩化学成分含量见表 1。红卓(石英)闪长玢岩,其 $w(\text{SiO}_2)$ 介于 57.82% 与 64.35% 之间,以富钠为特征的中性岩浆岩类。里特曼指数 σ 为 1.31~2.45,碱度率(AR)为 1.56~2.24,分异指数(DI)为 50.4~67.91,岩浆分异程度中等。竹

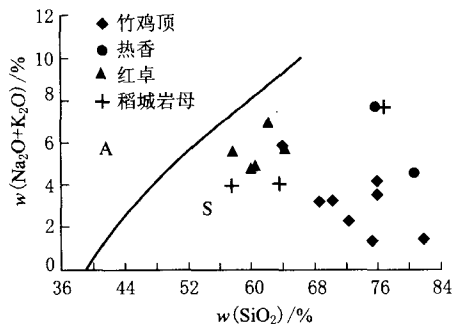


图 2 硅碱图(底图据 Irvine, T N, 1971)[8]
A. 碱性系列; S. 亚碱性系列

Fig. 2 The SiO_2 - $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ diagram

鸡顶花岗细晶岩的 $w(\text{SiO}_2)$ 变化较大(64.05%~81.66%),是由岩石硅化、阳起石化、金属硫化物矿化、绢云母化以及碳酸盐化、地表风化淋滤等原因造成。里特曼指数 σ 为 0.06~1.63,碱度率(AR)为 1.26~2.2,分异指数(DI)为 58.7~81.37,岩浆分异程度较高。热香细粒二长花岗岩 $w(\text{SiO}_2)$ 高(75.58%~80.55%),贫 TiO_2 , Al_2O_3 与 MgO ,富碱,地表样品(RX-4)相对坑道样品, $w(\text{SiO}_2)$ 大约高出 5%,贫钠而相对富钾,反映出地表具有更强的硅化和钾化和风化淋滤等作用。里特曼指数 σ 为 0.57~1.83,碱度率(AR)为 2.28~2.93,分异指数(DI)为 88.15~90.33,岩浆分异演化很彻底。稻城省母中粒黑云花岗闪长岩及其暗色细粒包体以富钠为特征,分异指数(DI)较低;二长花岗细晶岩则以富钾为特征,分异指数(DI)高,岩浆分异演化很彻底。里特曼指数 σ 为 0.8~1.76,碱度率(AR)为 1.38~2.22。在硅碱图中(图 2),样品全都落入碱性与亚碱性系列分界线的下方,属于亚碱性系列岩体。从图 3 中可以看出,绝大多数成分点落入 Miyashiro(1974)给出的分界线偏于钙碱性系列(CA)范围一侧,另外有少数成分点在(TH)拉斑系列范围内。过铝指数 A/CNK 均大于 1.1,属于过铝系列花岗岩,不属于过碱性岩类。

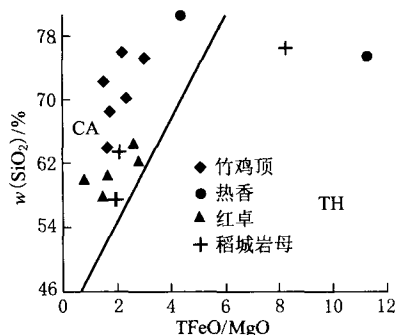


图 3 TFeO/MgO-SiO₂ 图(底图据 Miyashiro, 1974)[9]
CA. 钙碱性系列; TH. 拉斑系列

Fig. 3 The TFeO/MgO-SiO₂ diagram

3.2 稀土元素及微量元素组成特征

红卓岩体稀土元素分配型式为轻稀土富集型,分配曲线高度一致。总稀土含量较低,且变化较小,轻稀土伴有强烈的分馏作用,微弱 Eu 异常至无 Eu 异常,显示物质来源为幔源或壳幔源(图 4a)。微量元素 Ba, Th, U 的富集(图 4b), Nb, Ta, Sr, P, Ti 亏损。Nb, Ta 的亏损显示了岛弧环境的特点^[10], Nb, Sr, P 亏损表明存在一定量的地壳物质混染^[11], Ba, U, Th 的富集,暗示岩浆源区存在(深源)流体活动^[13]。Rb/Sr 比值为 0.04~0.3,显示靠近幔源的壳幔混合层的特征^[2]。红卓岩体的地球化学特征类

表 1 乡城-稻城地区花岗岩主要元素质量分数. $w(B)/\%$ 、微量元素和稀土元素质量分数. $w(B)/\times 10^{-6}$

Table 1 Main elements, trace elements and REE elements content of granites in the Xiangcheng-Daocheng area (in percentage, $[\times 10^{-6}]$)

位置	样号	岩石名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	总量	As	Au	Ba	Co	Cr	Cs	Cu	Hf		
竹鸡顶	1	花岗岩细晶岩	81.66	0.46	9.78	1.29	1.01	0.016	0.13	0.59	0.12	1.36	0.13	3.41	99.96	5.7	2.9	286	7.6	63	2.8	105	7.6		
	2	花岗岩细晶岩	72.22	0.45	9.37	0.47	2.21	0.03	1.73	3.64	0.089	2.21	0.16	7.19	99.77	5.9	5.5	304	10.1	67	23	41	6		
	3	花岗岩细晶岩	70.16	0.54	11.25	0.57	3.37	0.031	1.69	3.26	0.5	2.78	0.16	5.38	99.69	1.5	14.2	248	13	61	26.6	244	5.6		
	4	花岗岩细晶岩(26.8 m)	76.00	0.44	9.02	0.16	2.92	0.017	1.42	2.17	0.8	3.4	0.14	3.17	99.66	2.5	4.1	521	5.8	35	34.3	123	7.1		
	5	花岗岩细晶岩(81.0 m)	75.26	0.36	9.72	0.88	2.92	0.019	1.25	2.17	0.064	1.32	0.12	5.7	99.78	10.5	4.6	243	7.3	33	8.7	106	4		
	6	花岗岩细晶岩(187.6 m)	64.05	0.74	16.22	0.37	4.27	0.041	2.81	3.76	2.38	3.48	0.16	1.5	99.78	18.3	1.2	610	15.8	77	14.8	42	5.1		
	7	花岗岩细晶岩(含斑)(224.6 m)	68.54	0.5	10.38	1.69	6.24	0.091	4.57	2.67	0.59	2.68	0.2	1.63	99.78	22.5	3.4	169	35.1	64	19.9	1284	5.6		
	8	花岗岩细晶岩(253.5 m)	75.85	0.52	10.33	0.34	3.41	0.021	1.7	2.94	2.23	1.34	0.16	0.92	99.76	3.8	8.6	172	8.3	44	9.3	47	6.4		
热香	9	细粒二长花岗岩	75.58	0.14	12.06	0.99	1.7	0.02	0.23	0.86	3.17	4.53	0.059	0.5	99.84	13.5	8.3	187	2.2	49	8.8	103	4.6		
	10	细粒二长花岗岩	75.93	0.13	12.3	0.36	1.51	0.011	0.08	0.91	2.58	5.18	0.07	0.69	99.75	60.3	11.7	308	23.8	42	6.2	668	5.6		
红卓	11	细粒二长花岗岩	80.55	0.12	10.44	0.6	1.08	0.008	0.37	0.11	0.29	4.33	0.059	2.01	99.97	204.8	3.3	263	3.6	48	10.2	813	3.6		
	12	石英闪长岩	64.35	0.75	15.25	1.47	4.17	0.075	2.11	2.76	4.49	1.19	0.15	2.54	99.31	862	17	765	10.3	9.7	2.5	10.6	3.5		
	13	石英闪长岩	62.18	0.75	14.88	1.87	3.50	0.079	1.85	3.01	5.72	1.14	0.13	4.33	99.44	28.1	2.8	656	9.6	9.3	2.4	16.5	4.5		
	14	石英闪长岩	59.92	0.94	15.73	1.13	1.27	0.026	2.83	5.84	3.42	1.28	0.17	6.32	98.88	27.9	19	208	4.6	12.4	2.8	43.4	3		
	15	闪长岩	57.82	0.77	14.67	3.23	1.83	0.11	3.21	9.91	4.41	1.14	0.17	2.85	100.12	68	21	1037	14.8	23.2	5.6	131	3.3		
稻城省母	16	石英闪长岩	60.41	0.67	15.94	1.98	3.76	0.046	3.39	3.57	4.31	0.49	0.10	3.43	98.10	71.3	22	626	16.8	27.3	3.4	43.2	3.4		
	17	中粒黑云花岗岩闪长岩	63.59	0.63	15.88	1.49	4.31	0.13	2.71	5.83	2.66	1.40	0.023	0.99	99.643	<1.6	11	752	14.4	12.3	17.9	24.8	3		
	18	暗色细粒包体	57.57	1.00	17.73	1.04	5.64	0.14	3.43	6.78	2.59	1.36	0.38	1.19	98.850	1	6.5	644	11.7	22.1	13.9	11.1	4.2		
	19	二长花岗岩细晶岩	76.69	0.05	13.06	1.02	0.55	0.018	0.18	0.75	2.61	5.08	0.064	0.21	100.27	3.1	8.7	433	1	9.3	8.2	10.9	2.2		
样号	Nb	Pb	Rb	Sb	Sc	Sr	Ta	Th	U	W	Y	Zn	Zr	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	ΣREE	δCe	δEu*	(La/Yb) _N
1	14	235	62	3.6	5.26	85	1.09	9.16	1.6	5.1	27	63	325	34.95	68.54	34.03	5.51	0.86	1.03	1.97	0.26	172.66	0.92	0.43	11.96
2	6.1	105	117	4.2	6.12	232	1.11	8.59	1.7	3.9	19	55	165	36.46	69.24	32.87	5.83	1.1	0.88	2.09	0.29	172.2	0.91	0.59	11.76
3	7.2	138	186	4.2	8.57	195	1.59	9.57	2.2	32.5	24	51	155	34.84	65.06	33.29	6.12	1.12	0.94	2.78	0.37	169.5	0.88	0.58	8.45
4	5.6	<100	160	0.2	5.11	160	0.99	7.87	1.3	3.2	11	37	282	11.51	22.24	11.51	2.34	0.52	0.41	1.45	0.21	60.5	0.9	0.67	5.35
5	6.5	<100	80	0.3	6.19	153	0.85	6.91	1.5	1.5	14	24	192	22.84	42.54	23.03	3.92	0.77	0.66	1.68	0.22	112.71	0.87	0.59	9.17
6	5.9	105	213	0.2	14.44	174	2.58	16.69	3.1	3.1	12	50	205	41.34	81.54	41.7	6.79	1.14	1.08	3.27	0.45	206.78	0.92	0.52	8.52
7	3.2	260	212	7.5	7.92	85	1.21	9.39	1.7	31.6	11	150	98	31.77	59.26	32.34	5.47	1.01	0.75	1.89	0.28	153.66	0.87	0.6	11.33
8	4	103	99	0.3	6.75	168	1.27	8.27	1.9	1.5	12	33	244	26.85	53.1	26.98	4.98	0.96	0.89	2.39	0.34	138.6	0.92	0.56	7.57
9	46	195	323	6	1.7	38	11.36	57.97	13.3	2.5	18	49	132	55.56	106.92	37.78	5.25	0.14	0.98	4.56	0.61	241.41	0.99	0.08	8.21
10	54	110	276	4.3	1.9	78	10.7	48.35	22.2	1.5	25	178	68	39.28	69.61	36.86	3.84	0.24	0.61	3.57	0.49	176.33	0.84	0.21	7.42
11	39	147	247	13.4	1.62	40	8.3	43.72	15.5	3.6	25	76	70	42.01	89.46	35.17	5.55	0.17	1.17	6.22	1.97	214.22	1.04	0.09	4.55
12	3.4	47.9	61.6	3.4	13.5	207	0.9	9.1	2.4	2.0	18	26.5	20.7	46.2	19.8	2.7	0.735	0.487	1.89	0.267	106.82	1.05	0.82	7.38	
13	5.2	44.7	40.2	2.6	11.9	238	0.7	7.9	<1.6	1.9	22	70.5	23.8	54.1	20.7	2.83	0.97	0.563	1.62	0.249	120.11	1.1	1.02	9.9	
14	3.6	48.4	11.5	6.2	18.5	310	0.67	6.7	1.8	2.1	24	88	18.4	47	20	3.1	0.904	0.37	1.35	0.214	102.98	1.17	1.02	9.19	
15	5.1	68.0	40.8	5.2	14.6	270	0.8	9.2	1.7	3.4	14	67	21.4	47.8	16.8	2.65	1.01	0.375	1.69	0.247	103.69	1.11	1.28	8.54	
16	6.2	39.4	24.1	2.7	16.4	220	0.75	9.3	2.5	2.2	13	100	22.4	50.5	18.6	2.78	0.824	0.377	1.79	0.28	109.79	1.1	1.01	8.44	
17	6.8	35.2	104	3.03	32	272	1.1	9.2	2.8	2.2	24	9.2	37.2	87.2	34.7	6.16	1.23	1.01	3.26	0.49	198.16	1.11	0.62	7.69	
18	5.2	40.5	105	3.8	15.4	193	0.68	14.3	1.2	1.9	21	30.8	22.8	55.2	22.5	3.1	0.86	0.483	1.94	0.308	121.85	1.13	0.89	7.92	
19	13	60.0	187	12.3	2.2	51	2.5	21.6	11.7	1.1	53	12.4	14.9	49.9	16.1	3.12	0.419	0.748	5.34	0.838	111.19	1.53	0.38	1.88	

注: $w(Au)/10^{-9}$, 稀土元素采用 Boynton(1984)球粒陨石推荐值标准化^[12], δCe 、 δEu 和 ΣREE 采用内插法进行估算; 微量元素采用 Medonough(1989)原始地幔值标准化^[13]. 12、13、15 号样数据引自文献 [14]

似稻城俯冲造山期(印支期)措交玛弧花岗岩,后者的初始铈比值 I_{Sr} 为 0.708^[1],接近壳幔混合源岩石的 I_{Sr} 值(0.704~0.709),但未达到大陆地壳全岩的平均 I_{Sr} 值(0.712)^[15],推断红卓岩体物源属靠近幔源的壳幔混合源,与微量元素的分析结果一致。

竹鸡顶花岗细晶岩的稀土元素分配型式为轻稀土富集型,稀土总量变化较大,约 $60.5 \times 10^{-6} \sim 206.8 \times 10^{-6}$ (图 4c),轻稀土元素的分馏程度较重稀土元素高,呈现中等负 Eu 异常特点($\delta Eu=0.7 \sim 0.4$),显示为壳幔混合的特征。大离子亲石元素相对富集,尤其富集 Rb,Th 和 U (图 4d),而 Ba,Nb,

Sr,P,Ti 明显亏损。Nb,Ta,Ti 的强烈亏损是弧岩浆岩的特征^[10],Sr,P 的明显亏损,表明岩浆源区存在一定数量的地壳物质参与,与陈旭等人的研究结论一致^[4]。Rb/Sr 比值为 0.07~2.49,显示为靠近壳源的壳幔混合源花岗岩特征。此外,岩体中还存在较明显的 Pt,Pd 正异常,显示有深及地幔的物质加入,表明可能存在地幔热液上涌^[14]。竹鸡顶花岗细晶岩与云南中甸休瓦促花岗岩区域上毗邻(图 1),地球化学特征及成矿地质背景相似,均侵位于上三叠统喇嘛亚组,后者初始铈比值 I_{Sr} 为 0.707^[16],显示岩浆物源主要为壳幔混合源,推断竹鸡顶花岗

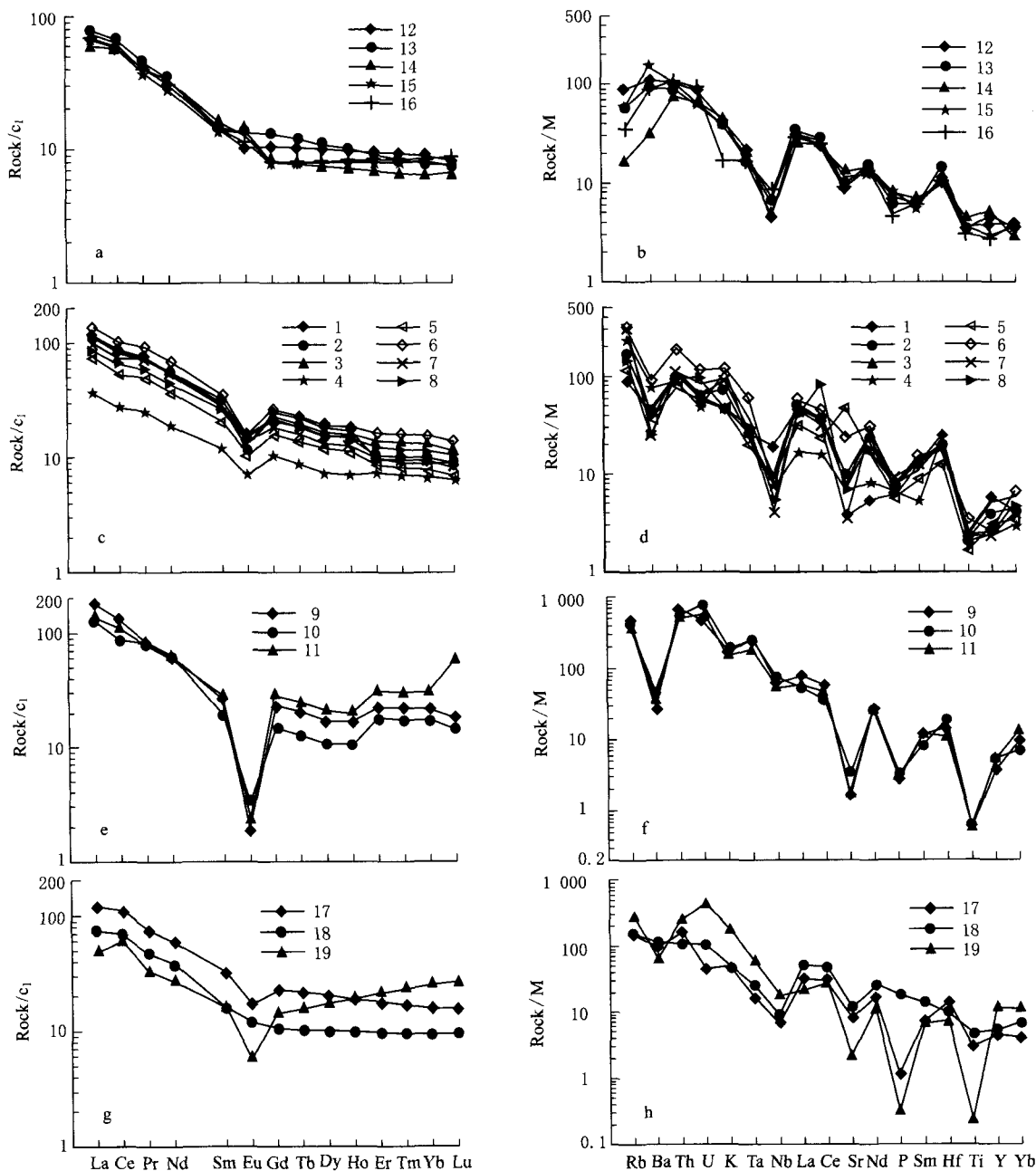


图 4 乡城-稻城花岗岩稀土和微量元素蛛网图^[14](样品号见表 1)

Fig. 4 Chondrite-normalized REE diagram and PM-normalized trace element spider diagram for the granites in the Xiangcheng-Daocheng area

岩的物源为壳幔混合源,与微量元素的分析结论一致。

热香细粒二长花岗岩的稀土元素总量相对较高($\Sigma\text{REE}=176\times 10^{-6}\sim 241\times 10^{-6}$),总量变化较小, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 比值在 4.55~8.21 之间,轻稀土相对富集。 $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 比值在 7.57~10.58 之间,轻稀土元素的分馏程度较重稀土元素高,负 Eu 异常显著而呈“V”字形分布(图 4e),显示物质来源为壳源。大离子亲石元素相对富集,尤其富集 Rb, Th, U 和 Ta(图 4f),而 Ba, Sr, Ti 强烈亏损, Nb 和 P 中等亏损。Ba 和 Sr 的强烈亏损是造山后花岗岩的特征,相对富 Ta 而 Nb, P, Ti 的亏损是起源于中上地壳的花岗岩的特征^[17]。高场强元素 Nb, Ta, Zr, Hf 富集成峰,表明它们已经远离岛弧环境,特别是 Ta 峰的出现是板内岩浆作用的显著标志^[18]。 $\text{Rb}/\text{Sr}=3.54\sim 8.5$,表明岩浆物源以壳源为主,花岗岩属于陆壳重熔型花岗岩,具有 A 型花岗岩特征。位于义敦岛弧北端的白玉连龙细粒二长花岗岩和雀儿山花岗岩的地球化学特征与热香岩体极为相似,连龙花岗岩初始铈比值 I_{Sr} 为 0.709 5^[17],大于 0.709,显示岩浆来源于以地壳物质为主的环境中;雀儿山花岗岩的 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值为 0.512 268~0.512 312 之间, $\epsilon\text{Nd}(0)=-6.4\sim -7.2$ 之间, $\epsilon\text{Nd}(t)=-5.3\sim -6.3$ 之间^[6],显示岩浆物源主要来源于壳源,推断热香岩体岩浆物源为壳源,与微量元素分析结论一致。

稻城省母地区的花岗岩稀土元素总量相对较低($\Sigma\text{REE}=111.19\times 10^{-6}\sim 198.16\times 10^{-6}$),分配型式属于轻稀土富集型,中等负铕异常,类似于热香地区的花岗岩(图 4h)。富集 Rb, Th, Nd 和 Hf, 亏损 Ba, Nb, Sr, P, Ti(图 4g)。黑云母花岗闪长岩体中暗色细粒包体(DR02)与其寄主岩石(DR01)比较,具有相对较低的稀土元素丰度,无 P 和 Ti 的异常,微亏损 Ba。在稀土元素分配图上属于轻稀土富集型,无 Eu 异常(图 4g)。中细粒黑云母花岗闪长岩 Rb/Sr 比值为 0.38,显示岩浆物源为壳幔混合源。二长花岗岩的 Rb/Sr 比值为 3.67,表明岩浆物源为壳源。稻城省母二长花岗岩与稻城冬措二长花岗岩区域上毗邻(图 1),地球化学特征相似。后者初始铈比值 I_{Sr} 为 0.711 0^[2],大于 0.709,推断省母二长花岗岩岩浆物源为壳源,与微量元素分析结论一致。

4 构造背景探讨

在 Batchelor 等人(1985)的 R1-R2 图上(图 5),竹鸡顶的样品除一个落入板块碰撞前区域之外,

其余都落入了幔源花岗岩区域中。因硅化现象普遍, R1 值应该比实际值偏小;热香的两个样品落入造山后 A 型花岗岩区域,另外一个花岗岩因硅化导致 R1 值偏高落入了幔源花岗岩区域;红卓样品大部分落入造山前区域,另外一个样品落入了碰撞后隆起区域;稻城二长花岗细晶岩落入造山后 A 型花岗岩区域,黑云母花岗闪长岩落入了幔源花岗岩区域。

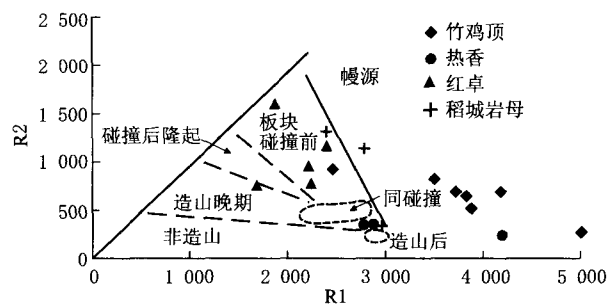


图 5 造环境 R1-R2 判别图(底图据 Batchelor *et al.*, 1985 修改)^[19]

Fig. 5 R1-R2 discrimination diagram for tectonic setting of granites in the Xiangcheng-Daocheng areas (from Batchelor *et al.*, 1985)^[19]

微量元素 Nb, Ta, Y, Yb 在板块环境判别图上的投点位置(图 6)表明:竹鸡顶花岗细晶岩、红卓闪长玢岩和稻城的黑云花岗闪长岩落入火山弧环境中,竹鸡顶少数花岗细晶岩跨入碰撞后区域;热香的二长花岗岩和稻城的二长花岗细晶岩落入板内花岗岩环境,指示热香岩体形成于一种碰撞造山后的形成环境。

花岗岩的形成构造环境与研究区的碰撞造山演化过程有关。侯增谦等人将区域整个演化过程分为俯冲造山、碰撞造山、造山后伸展及陆内造山四个阶段^[3]。俯冲造山作用以甘孜-理塘蛇绿混杂带和晚三叠世火山-岩浆弧发育为标志。在南段乡城-中甸,洋壳板片以低角度缓俯冲,形成以单调弧安山岩为特征的中甸弧(208 Ma~237 Ma)。云南中甸地区雪鸡坪石英闪长玢岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 $215.3\text{ Ma}\pm 2.3\text{ Ma}$ ^[20],由于红卓和雪鸡坪区域上毗邻,成矿地质背景和石英闪长玢岩的地球化学特征极为相似^[14],认为红卓石英闪长玢岩是火山弧环境下(中甸弧)俯冲造山的产物。

晚三叠世末期,甘孜-理塘洋盆沿俯冲带收缩为残余盆地,义敦岛弧与扬子陆块发生弧-陆碰撞,密度较轻的大陆板片向岛弧造山带下部俯冲,导致陆壳缩短和弧-陆汇聚碰撞,碰撞带地壳加倍加厚并形成以壳源为主的碰撞型花岗岩,贯入或就位于火山弧花岗岩带内部及其附近。稻城省母二长花岗岩

(19 号样)斜长石 Ar-Ar 年龄以及黑云母花岗闪长岩暗色细粒包体(18 号样)黑云母 Ar-Ar 年龄分别为 $202 \text{ Ma} \pm 0.51 \text{ Ma}$ 和 $228.61 \text{ Ma} \pm 0.51 \text{ Ma}$ ^①;稻城冬措二长花岗岩全岩 Rb-Sr 年龄和锆石 U-Pb 年龄分别为 208 Ma 和 200 Ma ^[1]。寄主岩石的年龄应

小于岩石包体年龄,表明稻城省花岗岩和冬措二长花岗岩均形成于印支晚期。结合岩石地球化学特征和构造环境投图,认为稻城二长花岗岩是岛弧环境下碰撞造山($208 \text{ Ma} \sim 138 \text{ Ma}$)的产物,花岗闪长岩是岛弧环境下俯冲造山的产物。

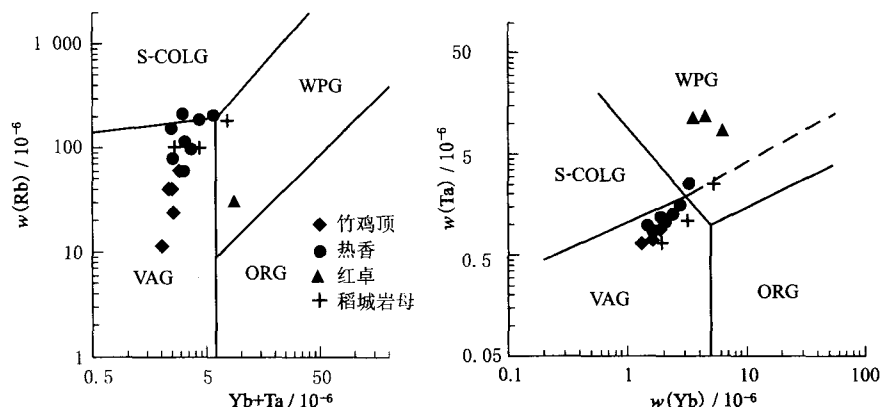


图6 乡城-稻城花岗岩构造环境微量元素判别图(底图据 Pearce, 1984)^[21]

VAG. 火山弧花岗岩; ORG. 洋脊花岗岩; WPG. 板内花岗岩; S-COLG. 同碰撞花岗岩

Fig. 6 Trace element discrimination diagrams for tectonic classification of granites in the Xiangcheng-Daocheng areas (after Pearce, 1984)

造山后伸展作用阶段的标志产物为燕山晚期的花岗岩,岩石组合为钾长花岗岩、花岗闪长岩和二长花岗(细晶)岩。由于地壳双倍增厚,地壳下部岩石变质导致高密度矿物组合(榴辉岩相),陆壳缩短作用使地壳和岩石圈增厚,导致下部热的软流圈大幅上涌,取代较冷的岩石圈,并导致地壳部分熔融,造成大规模岩浆作用,区域应力场由挤压作用体制转变为伸展作用体制。云南中甸休瓦促花岗岩全岩 Rb-Sr 年龄为 $88 \text{ Ma} \pm 3 \text{ Ma}$ ^[16],竹鸡顶和休瓦促区域上毗邻,成矿地质背景以及岩体地球化学特征相似,结合竹鸡顶岩石地球化学特征和构造环境投图,认为竹鸡顶花岗细晶岩是在岛弧环境下造山后伸展作用($138 \text{ Ma} \sim 75 \text{ Ma}$)的产物。

最新获取的热香二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄为 $79.33 \text{ Ma} \pm 0.7 \text{ Ma}$,也形成于燕山晚期,岩体具造山后板内岩浆作用特点。义敦岛弧的南段的碰撞造山作用程度弱于中北段^[2],热香岩体在造山后伸展阶段地壳熔融程度高于竹鸡顶岩体,岩浆物源来源相对竹鸡顶岩体具有更多的地壳成分。强烈的碰撞后造山伸展作用形成富碱,富铝低钙镁,具有显著的

负锶异常和更为富集的 HREE,较高的高场强元素含量(Hf, Nb, Ta, Ce 等)而具有 A 型花岗岩的特征,与热香岩体的地球化学特征一致。结合构造环境投图,认为热香花岗岩是碰撞造山后板内环境下伸展作用的产物。

5 结 论

5.1 四川乡城-稻城地区的过铝性花岗岩属于亚碱性岩体,包括钙碱性系列和拉斑系列两类。

5.2 花岗岩体轻稀土相对富集,重稀土相对亏损, Eu 异常值变化范围较大。岩石相对富集大离子亲石元素,贫化高场强元素。在原始地幔标准化蛛网图上显示出 Th, U, Hf 强烈富集,亏损 Nb, Sr, P, Ti 的特点,各类型的花岗岩岩石地球化学特征差异显著,指示其形成的构造环境的多样性。

5.3 除热香细粒二长花岗岩形成于板内构造环境外,其余花岗岩体形成于岛弧构造环境,是义敦岛弧造山带俯冲造山、碰撞造山及造山后伸展作用活动的产物。

参考文献

- [1] 吕伯西,王 增,张能德,等.三江地区花岗岩类及其成矿专属性[M].北京:地质出版社,1993,17-60.
- [2] 侯增谦,曲晓明,周继荣,等.三江地区义敦岛弧碰撞造山过程:花岗岩记录[J].地质学报,2001,75(4):484-497.
- [3] 侯增谦,杨岳清,曲晓明,等.三江地区义敦岛弧造山带演化和成矿系统[J].地质学报,2004,78(1):109-120.

①唐菊兴,李佑国.四川乡城-稻城-得荣斑岩型铜矿找矿方向研究报告,2006.

- [4] 陈旭,李佑国,许模,等.川西地区竹鸡顶铜矿床地质特征及矿床成因研究[J].地质与勘探,2008,44(1):42-45.
- [5] 李仕辉,赵艳.原子吸收光谱分析技术与应用[J].忻州师范学院学报,2008,24(2):25-28.
- [6] 韩松,董金泉,于福生,等.中子活化分析花岗岩中造岩矿物的稀土和微量元素特征[J].核技术,2005,28(6):445-448.
- [7] 刘亚轩,张勤,黄珍玉,等.ICP-MS法测定地球化学样品中As,Cr,Ge,V等18种微量痕量元素的研究[J].化学世界,2006(1):16-20.
- [8] Irvine T N,Baragat W R. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks[J]. Can J Earth Sci, 1971, 8: 523-548.
- [9] Miyashiro A. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins[J]. American Journal of Science, 1974, 274: 321-355.
- [10] 周家云,郑荣才,沈冰,等.四川冕宁木洛稀土矿床含矿岩体地球化学特征及其构造意义[J].矿物岩石,2007,27(1):83-89.
- [11] 谢建成,杨晓勇,Insung Lee. 安徽沿江地区燕山期含铜岩体稀土、微量地球化学特征[J].矿物岩石,2008,28(1):72-78.
- [12] Boynton W V. Cosmochemistry of the Rare Earth Elements; Meteorite Studies[A]. In: Henderson P(ed). Rare Earth Element Geochemistry[C]. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1984, 63-91.
- [13] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; Implication for the mantle composition and process[A]. In: Saunders A D, Norry M J (ed). Geological Society of London Special Publication[C]. 1989, 42: 313-345.
- [14] 费光春,李佑国,陈旭,等.川西乡城-稻城-得荣中带地区浅成花岗岩岩石化学特征及成矿潜力探讨[J].新疆地质,2006,24(3):305-309.
- [15] Faure G, Mensing T M. Isotopes: Principles and Applications[M]. Third edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2005.
- [16] 杨岳清,侯增谦,黄典豪,等.中甸弧碰撞造山作用和岩浆成矿系统[J].地球学报,2002,23(1):17-24.
- [17] 曲晓明,侯增谦,周书贵,等.川西连龙含锡花岗岩的时代与形成构造环境[J].地球学报,2002,23(3):223-228.
- [18] 曲晓明,侯增谦,唐绍华,等.义敦岛弧带弧后区板内岩浆作用的时代及意义[J].岩石矿物学杂志,2003,22(2):131-137.
- [19] Batchelor R A, Bowden P. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multication parameters[J]. Chemical Geology, 1985, 48(1):43-55.
- [20] 林清茶,夏斌,张玉泉.云南中甸地区雪鸡坪同碰撞石英闪长玢岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其意义[J].地质通报,2006,25(12):133-137.
- [21] Pearce J A, Harris N B M, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. Journal of Petrology, 1984, 25: 956-983.

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND TECTONIC IMPLICATION OF GRANITES IN THE XIANGCHENG- DAOCHENG, SICHUAN PROVINCE

FEI Guang-chun, LI You-guo, WEN Chun-qi

(College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Granites in Xiangheng-Daochen areas were mainly composed of quartz-diorite porphyrite, granite aplite, monzonitic granite (aplite) and granodiorite. The age of the granite was from Indosinian to late-Yanshanian. Based on the study of main elements, REE elements and trace elements of the Granites, it was showed that the $w(\text{SiO}_2) = 57.82\% \sim 81.66\%$, the Rittmann index (σ) = 0.06 ~ 2.45, the $AR = 1.26 \sim 2.93$, suggesting that the granites belonged to subalkaline. The gross of REE content was low, LREE was relatively rich, $\delta_{\text{Eu}} = 0.09 \sim 1.28$, $(\text{La}/\text{Yb})_N = 1.88 \sim 11.96$, and the shape of chondrite-normalized REE patterns inclined towards the right. The granites were of great difference in trace elements, relative LILE-enrichment and HFSE-depletion, $\text{Rb}/\text{Sr} = 0.04 \sim 6.18$. The discrimination diagrams of tectonic setting about R1-R2 , $\text{Rb-Yb} + \text{Ta}$, Ta-Yb and regional tectonic setting evolution revealed that monzonitic granites were formed in continental environment; granite aplite, quartz-diorite porphyrite and granodiorite were formed in island arc condition. They were resulted from the collision orogenic activities of Yidun island arc.

Key words: granites; geochemical characteristics; tectonic setting; Yidun island arc