

四川红原地区三叠纪花岗岩的地球化学特征及地质意义

白宪洲^{1,2}, 何明友¹, 罗改², 杨学俊², 熊昌利^{1,2}, 郑先纬²

(1. 成都理工大学, 四川 成都 610059; 2. 四川省地质调查院, 四川 成都 610081)

摘要: 红原地区三叠纪花岗岩位于松潘-甘孜造山带的北部, 侵位于三叠纪西康群砂板岩系中, 岩石类型主要为中细粒花岗闪长岩和二长花岗岩。岩石地球化学分析结果表明该区岩体属于准铝质-过铝质富钾钙碱性系列, 大部分为I型花岗岩(羊拱海和达盖寨岩体部分表现为A型) 稀土元素总量变化较大, 轻稀土元素相对富集, 稀土元素球粒陨石标准化配分型式为右倾型, δEu 异常不明显。轻重稀土元素分馏明显, 轻稀土元素分馏大于重稀土元素。岩石地球化学特征指示该区花岗岩体可能为同源的地壳物质的部分熔融作用所形成, 源岩可能为变杂砂岩和变中性火山岩, 热源可能来自于地幔岩浆的底侵作用。

关键词: 红原地区; 三叠纪; 花岗岩; 地球化学; 地壳源区

中图分类号: P588.12⁺1; P59

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2010)05-0479-09

Geochemical characteristics of Triassic granites in Hongyuan area, Sichuan Province, and their geological significance

BAI Xian-zhou^{1,2}, HE Ming-you¹, LUO Gai², YANG Xue-jun², XIONG Chang-li^{1,2} and ZHENG Xian-wei²
(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Sichuan Institute of Geological Survey, Chengdu 610081, China)

Abstract: Located in northern Songpan-Garzê orogenic belt and intruding into Triassic Xikang Group mainly comprising sandstone and slate, the Hongyuan granites are composed of medium-fine grained granodiorite and monzogranite. Geochemical analyses show that they have high SiO_2 (62.36% ~ 73.7%) and Al_2O_3 (13.84% ~ 16.69%) content, low TiO_2 (0.18% ~ 0.72%), Na_2O (2.64% ~ 4.43%) and K_2O (2.24% ~ 5.07%) content, and similar Na and K content. These granites are of metaluminous-peraluminous high-K calc-alkaline series and can be mostly classified as I type granite (some Yanggonghai and Dagaizhai granites can be classified as A type granite). Their total REE amounts vary considerably ($84.39 \times 10^{-6} \sim 241.07 \times 10^{-6}$). Light REE elements are of relative enrichment. They are enriched with large ion lithophile elements such as Ba, Rb and Th and depleted in high field strength elements like Nb and Ta. In chondrite-normalized REE patterns, all samples are LREE-enriched with insignificant Eu anomalies ($\delta\text{Eu} = 0.54 \sim 1.28$). Light and heavy REE are significantly fractionated. The fractional extent of light REE [$(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}} = 6.13 \sim 11.16$] is higher than that of heavy REE [$(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}} = 2.13 \sim 9.52$]. LA-ICP-MS U-Pb zircon ages (211.0 ± 0.11 Ma) of the granites suggest that their intrusion occurred in late Indosinian. The melt composition is different in different source positions. It is thought that these granites most likely resulted from partial melting of the homologous crust, and that there was a substantial proportion of biotite in the source region because they were metaluminous-peraluminous high-K calc-alkaline granites with high SiO_2 and Rb content and relatively high $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ratio. They were probably

收稿日期: 2009-07-08; 修订日期: 2010-05-01

基金项目: 中国地质调查局项目(1212010510304)

作者简介: 白宪洲(1975-), 男, 汉族, 在读博士, 工程师, 主要从事区域地质调查的工作与研究, E-mail: baixianzhou@163.com。

derived from metamorphic greywacke and intermediate volcanic rocks. Based on $Hf - Rb/10 - Ta \times 3$ triangular diagram and $Rb - (Y + Nb)$ discrimination diagram, the authors have reached the conclusion that the granites might have been formed in an collision environment after the main intracontinental collision and required an underplating or intraplating scheme of mantle-derived magma.

Key words: Hongyuan area; Triassic; granite; geochemistry; crust source

松潘-甘孜造山带位于特提斯-喜马拉雅造山系东缘,北邻劳亚冲板块,西接羌塘-昌都微板块,东南缘为稳定的扬子板块,经历了古特提斯及新特提斯两个连续的造山事件,素有“中国地质百慕大”之称(许志琴等,1992)。在松潘-甘孜造山带内广泛出露印支期-燕山期的中酸性侵入岩,这些岩体侵位于西康群中,是松潘-甘孜造山带构造发展过程中的一个重要部分(张志兰等,1991;黄永健等,2002;赵永久,2007)。近年来,许多专家和学者对松潘-甘孜造山带内花岗岩类进行了研究,包括地质年代学研究(袁海华等,1991,1994;胡健民等,2005)、成因机制及构造环境判别(张能德等,1993;黄永健等,2002;胡健民等,2005;赵永久,2007;Roger *et al.*, 2004)。在前人工作的基础上,笔者对红原地区三叠纪花岗岩体的地球化学特征及其地质意义进行了研究,为松潘-甘孜造山带晚古生代-早中生代构造格局及演化历史的研究提供基础资料。

1 区域地质背景

研究区位于青藏高原东北部,行政区划属四川省阿坝藏族羌族自治州的马尔康县、红原县、黑水县、松潘县及阿坝县,地理坐标为: $E102^{\circ}00' \sim 103^{\circ}30'$, $N32^{\circ}00' \sim 33^{\circ}00'$, 国际分幅为 I48C004001(1:25 万红原幅)。

该区位于松潘-甘孜褶皱带的北东部,地质演化对应于印支期扬子陆块北部边缘的裂解、聚合和碰撞造山作用过程(许志琴等,1992)。地层区划为玛多-马尔康地层分区的金川小区,主要出露古生界志留系、泥盆系、石炭系、二叠系,中生界三叠系、白垩系和新生界古近系、新近系、第四系。其中以西康群为代表的三叠系是区内最为发育的地层,岩性以灰、灰绿色浅变质的砂、板岩、千枚岩等组成的不等厚互层为主,厚度达数千米,但地层连续性差。

红原地区花岗岩体分布在红原县城南东的阿拉久沟南侧,包括羊拱海、达盖寨、二道桥、剑科、润德、包洛错米等十几个大小不一的岩体,均侵位于中上

三叠统西康群一套浅变质岩之中,其分布见图 1。

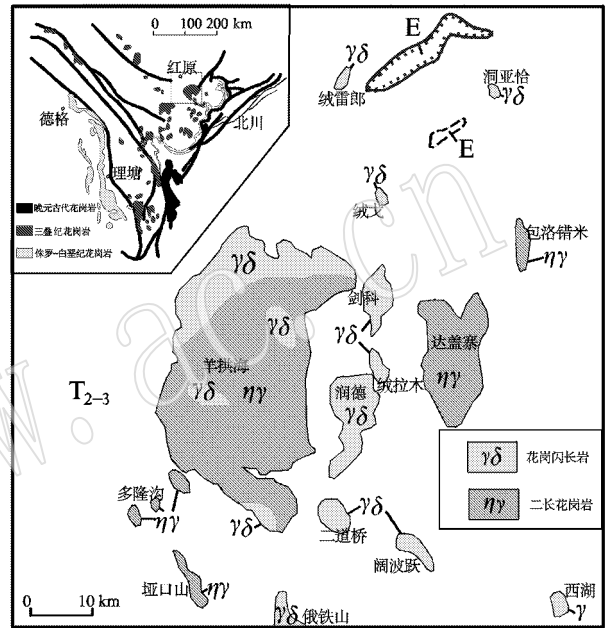


图 1 红原地区花岗岩体分布图 [背景据胡健民等 (2005) 修改]

Fig. 1 Distribution of granites in Hongyuan area (modified after Hu Jianmin *et al.*, 2005)

2 岩体地质及岩石学特征

红原地区的花岗岩主要表现为花岗闪长岩和二长花岗岩两种类型。总体上,二长花岗岩多分布在以羊拱海为中心的中心区域,主要包括羊拱海复式岩体之南部、达盖寨岩体、包洛错米岩体和岷山山岩体。而花岗闪长岩则主要分布在外围,包括羊拱海岩体之北部、二道桥岩体、剑科岩体、润德岩体等。

花岗闪长岩多呈岩株及脉状产出,灰白色,细-中粒,具半自形粒状结构、似斑状结构、二长结构,流动构造。主要造岩矿物为中长石、微斜长石、石英、黑云母、角闪石等。中长石约占 45%~67%,自形,板柱状,环带构造较为发育,少数构成斑晶,常受蚀变成绢云母、绿帘石及黝帘石;微斜长石 11%~

20%，多呈他形粒状、板状、格状双晶较发育，少数粒度较大并见有斜长石嵌入，在嵌入部位的斜长石一侧形成蠕英结构；石英 1%~25%，灰白色，他形不规则粒状，分布不均匀，且粒度变化大，局部呈集合体出现；黑云母 5%~10%，黑色，自形板状或片状集合，绿泥石化和水云母化；普通角闪石 1%~3%，次闪石化，含析离体，角闪石集中，其含量可增至 40%。

二长花岗岩主要以岩株、岩基形式产出，主要为灰白色，细-中粒结构、二长结构、斑状、似斑状结构。主要有微斜长石 21%~40%，灰白色，半自形-他形，常和斜长石互相交代，出现蠕英结构和指纹结构，粒度一般 1~1.5 mm，形成似斑晶可达 10 mm 以上；斜长石 29%~50%，主要是中长石，自形、半自形，板状，玻璃光泽，具聚片双晶，环构造，粒度一般为 1~2 mm，在岩体中心部位可大于 2 mm，构成似斑晶时增大到 1 cm 以上；石英 20%~29%，灰-灰白色，半透明，油脂光泽，呈他形粒状或粒状集合体，粒度一般 1~3 mm 之间；黑云母 2%~12%，黑色，多呈自形板状集合体，一般粒度小于 1 mm，在岩体边缘部分有时见定向排列而显示出似片麻状构造。岩石中次生矿物较为普遍，斜长石常变为绢云母、黝帘石，黑云母则变化为白云母绿泥石等。副矿物以锆石、磷灰石为主，次有铁钛矿、锐钛矿、榍石、金红石、独居石、磷钇矿等。

3 地球化学特征

本次研究对红原地区三叠纪花岗岩进行了系统采样，共采集了 22 件，包括羊拱海岩体 6 件，达盖寨岩体 5 件，二道桥岩体 4 件，剑科岩体 2 件，其他岩体共计 5 件。所采样品被送至宜昌地质矿产研究所中南实验检测中心对其主量、微量及稀土元素进行了分析测试，其结果见表 1。

3.1 主量元素

红原地区各岩体的主量元素见表 1。总体来看，红原地区各岩体 SiO₂ 含量较高（62.36%~73.70%），Al₂O₃ 含量为 13.84%~16.69%，TiO₂ 含量为 0.18%~0.72%，Na₂O 含量（2.64%~4.43%）与 K₂O 含量（2.24%~5.07%）相当，K₂O/Na₂O 比值接近 1（0.59~1.92），具 Na 和 K 含量相当的特征。MgO 含量为 0.34%~2.18%，全碱含量（Na₂O+K₂O）为 5.48%~8.42%。在 K₂O-SiO₂ 图解中样品落入高钾钙碱性系列（图 2）。岩体铝饱和指数

A/CNK 介于 0.60~1.13 之间，属准铝质-过铝质岩石。在 Na₂O-K₂O 图解中样品分别投入 I 型花岗岩区（共 13 件，其中羊拱海 3 件，达盖寨 2 件，二道桥和剑科及其他岩体全部共 8 件）和 A 型花岗岩区（共 9 件，其中羊拱海 3 件，达盖寨 2 件，其他 4 件）（图 3）。

3.2 微量及稀土元素

由表 1 可以看出，红原地区花岗岩富集大离子亲石元素（Ba、Rb、Th 等），亏损高场强元素（Nb、Ta

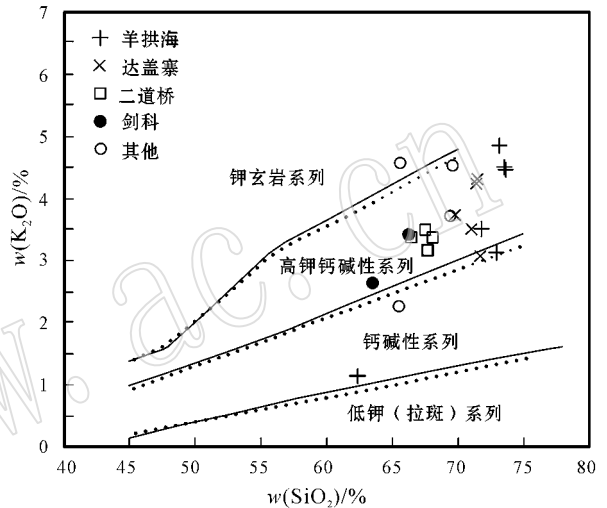


图 2 红原地区花岗岩 K₂O-SiO₂ 图解 (据 Le Maitre 等, 1989)

Fig. 2 K₂O-SiO₂ diagram of Hongyuan granites (after Le Maitre et al., 1989)

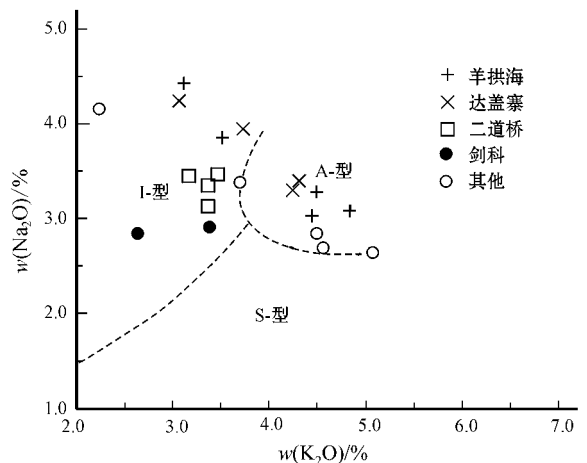


图 3 红原地区花岗岩 Na₂O-K₂O 图解 (据 Collins, 1982)

Fig. 3 Na₂O-K₂O diagrams of Hongyuan granites (after Collins, 1982)

续表 1

Continued Table 1

送样号	羊拱海岩体										达盖寨岩体										二道桥岩体						剑科岩体						其他岩体																																																																													
	D8005	D8006	D8011	D8008	D8642	D8643	D6605	D6608	D6611	D6614	D9602	D8007	D8649	D8650	D8652	D5248	D4601	D8617	D8420	D8601	D9156	D6319	D8005	D8006	D8011	D8008	D8642	D8643	D6605	D6608	D6611	D6614	D9602	D8007	D8649	D8650	D8652	D5248	D4601	D8617	D8420	D8601	D9156	D6319	D8005	D8006	D8011	D8008	D8642	D8643	D6605	D6608	D6611	D6614	D9602	D8007	D8649	D8650	D8652	D5248	D4601	D8617	D8420	D8601	D9156	D6319	D8005	D8006	D8011	D8008	D8642	D8643	D6605	D6608	D6611	D6614	D9602	D8007	D8649	D8650	D8652	D5248	D4601	D8617	D8420	D8601	D9156	D6319	D8005	D8006	D8011	D8008	D8642	D8643	D6605	D6608	D6611	D6614	D9602	D8007	D8649	D8650	D8652	D5248	D4601	D8617	D8420	D8601	D9156	D6319
Zr	80.7	112	88.8	237	118	83.2	94.6	93.9	112	100	159	146	176	167	164	158	173	164	108	130	136	121	80.7	112	88.8	237	118	83.2	94.6	93.9	112	100	159	146	176	167	164	158	173	164	108	130	136	121	80.7	112	88.8	237	118	83.2	94.6	93.9	112	100	159	146	176	167	164	158	173	164	108	130	136	121	80.7	112	88.8	237	118	83.2	94.6	93.9	112	100	159	146	176	167	164	158	173	164	108	130	136	121	80.7	112	88.8	237	118	83.2	94.6	93.9	112	100	159	146	176	167	164	158	173	164	108	130	136	121
Hf	3.04	4.27	3.19	7.86	4.16	3.31	3.4	3.54	4.31	3.76	5.3	4.9	5.53	6.13	6.06	5.43	5.89	5.75	3.87	4.79	4.59	4.66	3.04	4.27	3.19	7.86	4.16	3.31	3.4	3.54	4.31	3.76	5.3	4.9	5.53	6.13	6.06	5.43	5.89	5.75	3.87	4.79	4.59	4.66	3.04	4.27	3.19	7.86	4.16	3.31	3.4	3.54	4.31	3.76	5.3	4.9	5.53	6.13	6.06	5.43	5.89	5.75	3.87	4.79	4.59	4.66	3.04	4.27	3.19	7.86	4.16	3.31	3.4	3.54	4.31	3.76	5.3	4.9	5.53	6.13	6.06	5.43	5.89	5.75	3.87	4.79	4.59	4.66	3.04	4.27	3.19	7.86	4.16	3.31	3.4	3.54	4.31	3.76	5.3	4.9	5.53	6.13	6.06	5.43	5.89	5.75	3.87	4.79	4.59	4.66
Sn	13	12	3.3	11.2	8.2	17	9.2	13	9	8.8	3.15	5	1.7	2.5	1.75	6	22.5	6.4	3	8	2.1	6.6	13	12	3.3	11.2	8.2	17	9.2	13	9	8.8	3.15	5	1.7	2.5	1.75	6	22.5	6.4	3	8	2.1	6.6	13	12	3.3	11.2	8.2	17	9.2	13	9	8.8	3.15	5	1.7	2.5	1.75	6	22.5	6.4	3	8	2.1	6.6	13	12	3.3	11.2	8.2	17	9.2	13	9	8.8	3.15	5	1.7	2.5	1.75	6	22.5	6.4	3	8	2.1	6.6	13	12	3.3	11.2	8.2	17	9.2	13	9	8.8	3.15	5	1.7	2.5	1.75	6	22.5	6.4	3	8	2.1	6.6
U	11.1	2.81	1.28	2.56	3.78	15.6	1.46	1.44	5.19	5.54	3.05	2.37	3.99	5.68	9.6	2.56	4.62	3.06	1.37	2.78	1.91	1.47	11.1	2.81	1.28	2.56	3.78	15.6	1.46	1.44	5.19	5.54	3.05	2.37	3.99	5.68	9.6	2.56	4.62	3.06	1.37	2.78	1.91	1.47	11.1	2.81	1.28	2.56	3.78	15.6	1.46	1.44	5.19	5.54	3.05	2.37	3.99	5.68	9.6	2.56	4.62	3.06	1.37	2.78	1.91	1.47	11.1	2.81	1.28	2.56	3.78	15.6	1.46	1.44	5.19	5.54	3.05	2.37	3.99	5.68	9.6	2.56	4.62	3.06	1.37	2.78	1.91	1.47	11.1	2.81	1.28	2.56	3.78	15.6	1.46	1.44	5.19	5.54	3.05	2.37	3.99	5.68	9.6	2.56	4.62	3.06	1.37	2.78	1.91	1.47
Th	15.9	16.9	6.2	12	17.6	15.8	6.1	9	13.7	11.9	15.7	15.2	14.2	15.7	14.9	10.3	15.1	17	13.4	12.6	12.6	10.2	15.9	16.9	6.2	12	17.6	15.8	6.1	9	13.7	11.9	15.7	15.2	14.2	15.7	14.9	10.3	15.1	17	13.4	12.6	12.6	10.2	15.9	16.9	6.2	12	17.6	15.8	6.1	9	13.7	11.9	15.7	15.2	14.2	15.7	14.9	10.3	15.1	17	13.4	12.6	12.6	10.2	15.9	16.9	6.2	12	17.6	15.8	6.1	9	13.7	11.9	15.7	15.2	14.2	15.7	14.9	10.3	15.1	17	13.4	12.6	12.6	10.2	15.9	16.9	6.2	12	17.6	15.8	6.1	9	13.7	11.9	15.7	15.2	14.2	15.7	14.9	10.3	15.1	17	13.4	12.6	12.6	10.2
La	27.6	32.1	19.1	46.6	36.8	28	20.1	27.6	34.7	35.9	33.6	47.6	54.6	48.6	44.3	33.7	49.8	54.3	44	35.4	50.3	19.1	27.6	32.1	19.1	46.6	36.8	28	20.1	27.6	34.7	35.9	33.6	47.6	54.6	48.6	44.3	33.7	49.8	54.3	44	35.4	50.3	19.1	27.6	32.1	19.1	46.6	36.8	28	20.1	27.6	34.7	35.9	33.6	47.6	54.6	48.6	44.3	33.7	49.8	54.3	44	35.4	50.3	19.1	27.6	32.1	19.1	46.6	36.8	28	20.1	27.6	34.7	35.9	33.6	47.6	54.6	48.6	44.3	33.7	49.8	54.3	44	35.4	50.3	19.1	27.6	32.1	19.1	46.6	36.8	28	20.1	27.6	34.7	35.9	33.6	47.6	54.6	48.6	44.3	33.7	49.8	54.3	44	35.4	50.3	19.1
Ce	46	53.5	31	89	60.6	50.6	31.1	44	54.3	54.2	46.4	64	88.5	73	65.6	56.1	77	81.9	70.9	54	92	34.4	46	53.5	31	89	60.6	50.6	31.1	44	54.3	54.2	46.4	64	88.5	73	65.6	56.1	77	81.9	70.9	54	92	34.4	46	53.5	31	89	60.6	50.6	31.1	44	54.3	54.2	46.4	64	88.5	73	65.6	56.1	77	81.9	70.9	54	92	34.4	46	53.5	31	89	60.6	50.6	31.1	44	54.3	54.2	46.4	64	88.5	73	65.6	56.1	77	81.9	70.9	54	92	34.4	46	53.5	31	89	60.6	50.6	31.1	44	54.3	54.2	46.4	64	88.5	73	65.6	56.1	77	81.9	70.9	54	92	34.4
Pr	6.1	6.95	3.94	11.1	8.08	6.4	4.12	5.97	7.41	7.13	5.53	10.1	11.4	11.5	10	7.89	11.2	12	10	8.07	11.6	4.51	6.1	6.95	3.94	11.1	8.08	6.4	4.12	5.97	7.41	7.13	5.53	10.1	11.4	11.5	10	7.89	11.2	12	10	8.07	11.6	4.51	6.1	6.95	3.94	11.1	8.08	6.4	4.12	5.97	7.41	7.13	5.53	10.1	11.4	11.5	10	7.89	11.2	12	10	8.07	11.6	4.51	6.1	6.95	3.94	11.1	8.08	6.4	4.12	5.97	7.41	7.13	5.53	10.1	11.4	11.5	10	7.89	11.2	12	10	8.07	11.6	4.51	6.1	6.95	3.94	11.1	8.08	6.4	4.12	5.97	7.41	7.13	5.53	10.1	11.4	11.5	10	7.89	11.2	12	10	8.07	11.6	4.51
Nd	21	23.9	13.6	39.4	27.3	21.8	13.8	20.6	24.8	24.2	17.7	35.8	39.7	40.4	35.4	28.3	39.4	41.1	34.8	28.9	40.1	15.7	21	23.9	13.6	39.4	27.3	21.8	13.8	20.6	24.8	24.2	17.7	35.8	39.7	40.4	35.4	28.3	39.4	41.1	34.8	28.9	40.1	15.7	21	23.9	13.6	39.4	27.3	21.8	13.8	20.6	24.8	24.2	17.7	35.8	39.7	40.4	35.4	28.3	39.4	41.1	34.8	28.9	40.1	15.7	21	23.9	13.6	39.4	27.3	21.8	13.8	20.6	24.8	24.2	17.7	35.8	39.7	40.4	35.4	28.3	39.4	41.1	34.8	28.9	40.1	15.7	21	23.9	13.6	39.4	27.3	21.8	13.8	20.6	24.8	24.2	17.7	35.8	39.7	40.4	35.4	28.3	39.4	41.1	34.8	28.9	40.1	15.7
Sm	3.98	4.44	2.68	7.11	5.15	4.03	2.54	3.66	4.46	4.06	3.01	6.35	7.39	7.3	6.42	5.5	7.38	7.35	5.97	5.44	6.92	3.05	3.98	4.44	2.68	7.11	5.15	4.03	2.54	3.66	4.46	4.06	3.01	6.35	7.39	7.3	6.42	5.5	7.38	7.35	5.97	5.44	6.92	3.05	3.98	4.44	2.68	7.11	5.15	4.03	2.54	3.66	4.46	4.06	3.01	6.35	7.39	7.3	6.42	5.5	7.38	7.35	5.97	5.44	6.92	3.05	3.98	4.44	2.68	7.11	5.15	4.03	2.54	3.66	4.46	4.06	3.01	6.35	7.39	7.3	6.42	5.5	7.38	7.35	5.97	5.44	6.92	3.05	3.98	4.44	2.68	7.11	5.15	4.03	2.54	3.66	4.46	4.06	3.01	6.35	7.39	7.3	6.42	5.5	7.38	7.35	5.97	5.44	6.92	3.05
Eu	0.65	0.76	0.79	1.62	0.83	0.69	0.82	1.02	1.18	1.33	0.98	1.87	2.13	2.03	1.84	1.56	1.96	1.96	1.77	1.58	2.13	1.23	0.65	0.76	0.79	1.62	0.83	0.69	0.82	1.02	1.18	1.33	0.98	1.87	2.13	2.03	1.84	1.56	1.96	1.96	1.77	1.58	2.13	1.23	0.65	0.76	0.79	1.62	0.83	0.69	0.82	1.02	1.18	1.33	0.98	1.87	2.13	2.03	1.84	1.56	1.96	1.96	1.77	1.58	2.13	1.23	0.65	0.76	0.79	1.62	0.83	0.69	0.82	1.02	1.18	1.33	0.98	1.87	2.13	2.03	1.84	1.56	1.96	1.96	1.77	1.58	2.13	1.23	0.65	0.76	0.79	1.62	0.83	0.69	0.82	1.02	1.18	1.33	0.98	1.87	2.13	2.03	1.84	1.56	1.96	1.96	1.77	1.58	2.13	1.23
Gd	3.3	3.96	2.45	6.42	4.32	3.53	2.29	3.21	3.82	3.55	2.83	5.64	6.68	6.39	5.66	4.74	6	6.59	5.36	4.7	6.17	2.82	3.3	3.96	2.45	6.42	4.32	3.53	2.29	3.21	3.82	3.55	2.83	5.64	6.68	6.39	5.66	4.74	6	6.59	5.36	4.7	6.17	2.82	3.3	3.96																																																																

等),Sr 含量 $179 \times 10^{-6} \sim 1390 \times 10^{-6}$,其中大于 400×10^{-6} 的样品共有 17 件,小于 400×10^{-6} 的只有 5 件(全为羊拱海岩体)。

该区花岗岩的稀土元素总量变化较大, $\Sigma\text{REE} = (84.39 \sim 241.07) \times 10^{-6}$,与重稀土元素相比,轻稀土元素相对富集 (La/Yb)_N = 10.61 ~ 68.65;轻重稀土元素分馏十分明显,轻稀土元素 [(La/Sm)_N = 6.13 ~ 11.16]较重稀土元素 [(Gd/Yb)_N = 2.13 ~ 9.52]分馏明显。Eu 负异常略明显 ($\delta\text{Eu} = 0.54 \sim 1.28$),但达盖寨岩体的 3 个样品 ($\delta\text{Eu} > 1$)显示了弱的铕正异常,可能是由于下地壳物质部分熔融、产生的岩浆在上侵过程中因斜长石的局部堆积所致。在球粒陨石标准化的 REE 图解中呈右倾的轻稀土元素富集的趋势。所采样品的微量元素和稀土元素的变化特征一致,反映其可能是同源岩浆岩浆演化的产物或者具相同的源区。

3.3 花岗岩的形成年代

本次调查选择了羊拱海黑云母二长花岗岩中的 22 颗锆石,采用激光探针等离子质谱 LA-ICP-MS 进行了同位素定年。实验在西北大学大陆动力学国家重点实验室的 LA-ICP-MS 仪器上用标准测定程序进行。分析仪器为 Elan 6100DRC 型四极杆质谱仪和 Geolas200M 型激光剥蚀系统,激光器为 193 nm ArF 准分子激光器。激光剥蚀斑束直径为 30 μm 。从羊拱海黑云母二长花岗岩样品(D8006)中选取的锆石晶形完好,为浅黄色-无色透明长柱状、半截锥状、卵圆形晶体。锆石粒度多为 80 ~ 200 μm 之间,柱状晶体长宽之比为 2:1 ~ 3:1。锆石的内部结构清楚,阴极发光 (CL) 图像表现出典型的岩浆生长振荡环带和韵律环带结构。测定的年龄值可分为 3 组:①组 (899 ~ 1505) Ma,有 4 颗锆石;②组 (335 ~ 366) Ma,有锆石 3 颗;③组 (208 ~ 215) Ma,有锆石 15 颗,其锆石 U-Pb 谐和图见图 4,应用 Isoplot 软件计算得其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 的 2σ 加权平均年龄为 (211.0 ± 0.11) Ma,可代表其形成年龄,与胡健民等 (2005) 对毛尔盖岩体研究所得年龄 210.8 ± 3.5 Ma 基本一致,说明了红原地区花岗岩侵位的时间大致为晚印支期。

4 讨论

4.1 花岗岩的源区组成

相对高的 SiO_2 含量、具壳源特征的 Nd-Sr 同位

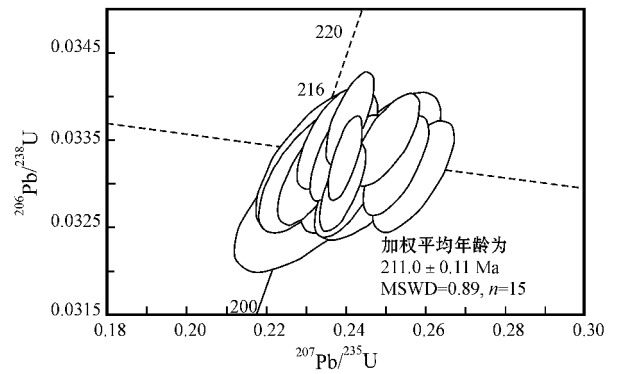


图 4 羊拱海花岗岩的锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 4 U-Pb concordia diagram of zircons in Yanggonghai granite

素组成 (胡健民等, 2005) 以及本区缺少同源的中基性岩浆活动排除了红原地区花岗岩体直接来自地幔源区的可能性,表明其可能形成于地壳物质的部分熔融。研究表明,不同的源区物质部分熔融形成的熔体往往具有不同的组成特征。一般说来,云母类矿物较之角闪石具有相对高的 K、Rb、Cs 等碱金属元素,而角闪石则相对富 Mg、Na 以及 Ca、Ba 等碱土金属。由角闪石脱水熔融形成的熔体通常富 Na、Ca,并具有较低的 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值,而由云母类矿物脱水形成的熔体则富含 Rb、Cs 并具有较高 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值 (Altherr *et al.*, 2000; Altherr and Siebel, 2002)。又由于白云母相对于黑云母富 Al 而贫 Fe、Mg,在脱水熔融反应中通常形成强过铝质的熔体,黑云母脱水熔融形成的熔体则具有较宽的组成范围 (准铝质至强过铝质) (Gardien *et al.*, 1995)。结合红原地区花岗岩体多呈准铝质至轻微过铝质的组成特征、具有较高的 SiO_2 和 Rb 含量以及相对高的 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值,认为其源区中可能含有相当比例的黑云母,推断其源岩可能为变杂砂岩和变中性火成岩。

4.2 构造环境讨论

对于松潘甘孜中生代花岗岩的成因机制,赵永久等 (2007a, 2007b) 倾向于地幔岩浆的底侵作用提供热源诱发地壳部分熔融。本次研究发现:在 Hf-Rb/10-3Ta 三角图解中 (图 5),所有岩体样品几乎都投影于火山弧花岗岩与板内花岗岩边界线上,即为碰撞大地构造背景上的花岗岩 (Rouison, 2000),而在 Rb-(Y+Nb) 判别图解 (图 6) 中,大部分样品投影于后碰撞花岗岩区域 (Pearce, 1996; 韩宝福,

表 2 羊拱海花岗岩中锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 同位素分析结果

Table 2 LA-ICP-MS U-Pb analytical data of zircons from Yanggonghai granite

测点	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	
	比值	1 σ	比值	1 σ	比值	1 σ	比值	1 σ	t/Ma	1 σ	t/Ma	1 σ	t/Ma	1 σ	t/Ma	1 σ
01	0.049 1	0.001 9	0.224 6	0.008 4	0.033 2	0.000 3	0.010 4	0.000 3	151	68	206	7	211	2	209	6
02	0.052 0	0.000 8	0.239 1	0.002 9	0.033 4	0.000 2	0.010 6	0.000 2	284	15	218	2	212	1	212	3
04	0.052 8	0.001 3	0.240 1	0.005 5	0.033 0	0.000 3	0.010 0	0.000 2	321	37	218	4	209	2	201	4
06	0.052 3	0.000 9	0.238 0	0.003 8	0.033 0	0.000 2	0.011 5	0.000 2	299	23	217	3	209	1	231	3
07	0.050 2	0.001 2	0.232 5	0.005 2	0.033 6	0.000 3	0.010 4	0.000 2	202	37	212	4	213	2	210	4
11	0.051 5	0.001 0	0.240 8	0.004 0	0.033 9	0.000 3	0.016 1	0.000 4	265	24	219	3	215	2	322	8
12	0.056 6	0.001 3	0.259 5	0.005 4	0.033 3	0.000 3	0.010 5	0.000 1	474	32	234	4	211	2	212	2
13	0.049 5	0.002 3	0.227 6	0.010 0	0.033 3	0.000 4	0.010 0	0.000 2	171	80	208	8	211	2	200	4
14	0.052 3	0.001 7	0.239 0	0.007 2	0.033 2	0.000 3	0.011 1	0.000 2	296	51	218	6	210	2	223	5
16	0.049 4	0.001 3	0.225 8	0.005 7	0.033 2	0.000 3	0.009 9	0.000 2	165	43	207	5	210	2	199	4
17	0.050 9	0.001 0	0.234 7	0.004 0	0.033 4	0.000 3	0.010 6	0.000 2	238	26	214	3	212	2	214	4
18	0.055 0	0.002 4	0.251 9	0.010 5	0.033 3	0.000 4	0.010 4	0.000 3	408	72	228	9	211	2	209	6
19	0.055 2	0.001 3	0.255 7	0.005 5	0.033 6	0.000 3	0.010 5	0.000 1	420	52	231	4	213	2	211	1
20	0.058 3	0.001 6	0.266 5	0.006 7	0.033 1	0.000 3	0.015 4	0.000 3	543	39	240	5	210	2	309	6
21	0.049 9	0.002 9	0.225 8	0.012 8	0.032 8	0.000 4	0.010 4	0.000 1	189	132	207	11	208	2	208	2

注 样品均由西北大学大陆动力学实验室测试,表中所示为参与加权平均年龄计算的数据。

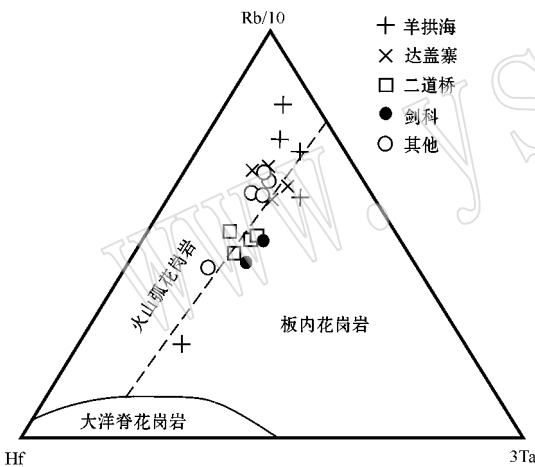


图 5 红原地区各岩体 Hf - Rb/10 - 3Ta 判别图解 (据 Harris, 1986)

Fig. 5 Hf - Rb/10 - 3Ta discrimination diagram of granite bodies in Hongyuan area (after Harris, 1986)

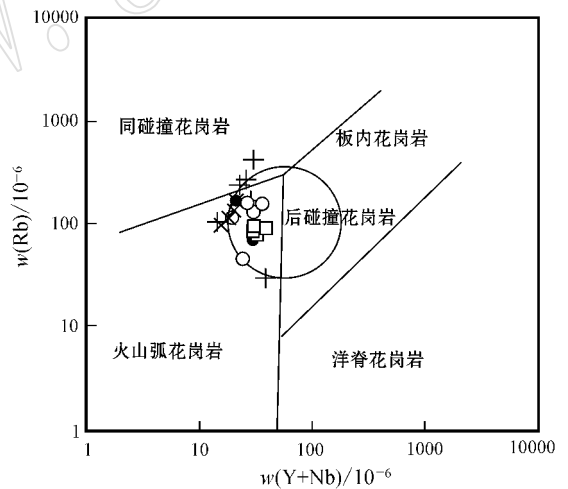


图 6 红原地区各花岗岩体 Rb - (Y + Nb) 判别图解 (据 Pearce, 1996, 图例同图 5)

Fig. 6 Rb - (Y + Nb) discrimination diagram of granite bodies in Hongyuan area (after Pearce, 1996, legends as for Fig. 5)

2007 赵振华, 2007 孟 (即同碰撞、火山弧及板内花岗岩交界处) 这说明花岗岩可能形成于主碰撞之后的陆内碰撞环境。

三叠纪末的印支运动导致松潘-甘孜地体及其周边地区的地壳侧向挤压增厚。当岩石圈地幔熔融形成的玄武质岩浆在壳幔边界发生底侵作用时,底侵的玄武质岩浆带来的高热使得增厚的下地壳发生部分熔融,形成新的岩浆,红原地区的花岗岩体就是在这种构造背景下形成的。

5 结论

(1) 红原地区三叠纪花岗岩的岩石类型以花岗闪长岩和二长花岗岩为主,属于高钾钙碱性系列,准铝质-过铝质。岩石大部分属于 I 型花岗岩,也有部分样品属于 A 型花岗岩。

(2) 红原地区花岗岩的微量和稀土元素特征显示

稀土元素总量变化较大,轻稀土元素富集,轻重稀土元素分馏十分明显,轻稀土元素较重稀土元素分馏明显。微量元素和稀土元素的变化特征一致,反映其可能是同源岩浆岩浆演化的产物或者具相同的源区。

(3) 红原地区花岗岩侵位的时间大致为晚印支期。该岩体可能形成于地壳物质的部分熔融,其源岩可能为变杂砂岩和变中性火山岩。

(4) 红原地区花岗岩形成于后碰撞的构造环境。三叠纪末的印支运动导致松潘-甘孜地体及其周边地区的地壳侧向挤压增厚。当岩石圈地幔熔融形成的玄武质岩浆在壳幔边界发生底侵作用时,底侵的玄武质岩浆带来的高热使得增厚的下地壳发生部分熔融,形成新的岩浆,红原地区的花岗岩体就是在这种构造背景下形成的。

References

- Altherr R, Holl A, Heger E, *et al.* 2000. High potassium, calc-alkaline I-type plutism in the European Variscides: northern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany) [J]. *Lithos.* 50: 51~73.
- Altherr R and Siebel W. 2002. I-type plutonism in a continental back-arc setting: Miocene granitoids and monzonites from the central Aegean Sea, Greece [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 143: 397~415.
- Collins W J. 1982. Nature and origin of A type granites with particular reference to Southeastern Australia [J]. *Contrib. Miner. Petro.*, 80: 189~200.
- Gardien V, Thompson A B, Grujic D, *et al.* 1995. Experimental melting of biotite + plagioclase + quartz muscovite assemblages and implications for crustal melting [J]. *Journal of Geophysical Research*, 100: 15 581~15 591.
- Han Baofu. 2007. Diverse post-collisional granitoids and their tectonic setting discrimination [J]. *Earth Science Frontiers*, 14(03): 64~72 (in Chinese with English abstract).
- Harris N B W, Pearce J A and Tindle A G. 1986. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism [A]. Coward M P and Reis A C. *Collision Tectonics Spec. Publ. Grol. Soc. Lond.* [C], 19: 67~81.
- Hu Jianmin, Meng Qingren, Shi Yurao, *et al.* 2005. SHRIMP U-Pb dating of zircons from granitoid bodies in the Songpan-Ganzi terrane and its implication [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 867~880 (in Chinese with English abstract).
- Huang Yongjian, Zhang Chengjiang, Wang Yunliang, *et al.* 2002. Genesis and tectonic significance of the Mesozoic Era granite terrain in Longmen Mountains orogen [J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 29(1): 69~73 (in Chinese).
- Le Maitre R W, Bateman P and Dudek A. 1989. *A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms* [M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Pearce J A. 1996. Sources and settings of granitic rocks [J]. *Episodes*, 19: 120~125.
- Roger F, Malavielle J, Leloup Ph H, *et al.* 2004. Timing of granite emplacement and cooling in the Songpan-Grazé Fold Belt (eastern Tibetan Plateau) with tectonic implications [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 22: 465~481.
- Rollison H R. 2000. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation Interpretation* [M]. Translated by Yang Xueming, Yang Xiaoyong and Chen Shuangxi. Hefei: University of Science and Technology Press (in Chinese).
- Xu Zhiqin, Hou liwei, Wang Zongxiu, *et al.* 1992. *Orogenic Processes of the Songpan-Garzé Orogenic Belt of China* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 4 (in Chinese).
- Yuan Haihua and Zhang Zhilan. 1994. A study of the chronology of granitoid rocks in Indosinian-Yanshan Period at the west Longmen mountains [A]. Luo Zhili. *Uplifting of Longmen mountains and Formation and Evolution of Sichuan Basin* [C]. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Publishing House, 330~337 (in Chinese).
- Yuan Haihua, Zhang Zhilan and Zhang Ping. 1991. The uplifting and cooling histories of Laojungou granite in the western margin of the Central Section Mountain [J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 18(1): 17~22 (in Chinese).
- Zhang Nengde and Zhang Huaiju. 1993. Ages of several granite plutons in northwestern Sichuan [J]. *Geochimica*, 3: 303~312 (in Chinese).
- Zhang Zhilan, Zhang Ping and Yuan Haihua. 1991. The geochemical information of dynamical mechanism forming Longmenshan Mountains [J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 18(1): 23~31 (in Chinese).
- Zhao Yongjiu. 2007. *Mesozoic Granitoids in Eastern Songpan-Garzé: Geochemistry, Petrogenesis and Tectonic Implications* (doctoral dissertation) [D]. Guangzhou: Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences (in Chinese).
- Zhao Yongjiu, Yuan Chao, Zhou Meifu, *et al.* 2007a. Post-orogenic extension of Songpan-Garzé orogen in Early Jurassic: Constraints from Niuxingou monzodiorite and Siguniangshan A-type granite of western Sichuan, China [J]. *Geochimica*, 36(2): 139~152 (in Chinese).
- Zhao Yongjiu, Yuan Chao, Zhou meifu, *et al.* 2007b. Geochemistry and petrogenesis of Laojungou and Mengtonggou granites in western Sichuan, China: constraints on the nature of Songpan-Ganzi basement [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(5): 995~1006 (in Chinese).
- Zhao Zhenhua. 2007. How to use the trace element diagrams to discriminate tectonic settings [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 31(1): 92~103 (in Chinese).

附中文参考文献

- 韩宝福. 2007. 后碰撞花岗岩类的多样性及其构造环境判别的复杂性[J]. 地学前缘, 14(03): 64~72.
- 胡健民, 孟庆任, 石玉若, 等. 2005. 松潘-甘孜地体内花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其构造意义[J]. 岩石学报, 21(3): 867~880.
- 黄永健, 张成江, 汪云亮. 2002. 龙门山造山带中生代花岗岩带成因及其构造意义[J]. 成都理工学院学报, 29(1): 69~73.
- 肖庆辉, 邓晋福, 马大铨, 等. 2002. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京: 地质出版社, 4.
- 许志琴, 侯立玮, 王宗秀, 等. 1992. 中国松潘-甘孜造山带的造山过程[M]. 北京: 地质出版社, 4.
- 袁海华, 张志兰. 1994. 龙门山冲断带西侧印支-燕山期花岗岩类岩石年代学研究[A]. 罗志立. 龙门山造山带的崛起和四川盆地的形成与演化[C]. 成都: 成都科学技术大学出版社, 330~337.
- 袁海华, 张志兰, 张平. 1991. 龙门山老君沟花岗岩的隆升及冷却史[J]. 成都地质学院学报, 18: 17~22.
- 张能德, 张怀举. 1993. 四川西北部几个花岗岩体的时代[J]. 地球化学, 3: 303~312.
- 张志兰, 张平, 袁海平. 1991. 龙门山形成动力机制的地球化学信息[J]. 成都地质学院学报, 18(1): 23~31.
- 赵永久. 2007. 松潘-甘孜东部中生代中酸性侵入体的地球化学特征、岩石成因及构造意义(博士论文)[D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所.
- 赵永久, 袁超, 周美夫, 等. 2007a. 松潘甘孜造山带早侏罗世的后造山伸展: 来自川西牛心沟和四姑娘山岩体的地球化学制约[J]. 地球化学, 36(2): 139~152.
- 赵永久, 袁超, 周美夫, 等. 2007b. 川西老君沟和孟通沟花岗岩的地球化学特征、成因机制及对松潘-甘孜地体基底性质的制约[J]. 岩石学报, 23(5): 995~1006.
- 赵振华. 2007. 关于岩石微量元素构造环境判别图解使用的有关问题[J]. 大地构造与成矿学, 31(1): 92~103.

《岩石矿物学杂志》“中国田黄石专辑”简介

为配合亚洲珠宝联合会于2010年夏季在北京举办规模宏大的评奖会和拍卖会,同时为总结交流寿山石及其珍品田黄石的研究新成果,举行寿山石及其珍品田黄石的学术研讨会,我刊于2010年6月底出版了一期增刊“中国田黄石专辑”。

我国是世界上惟一具有近万年玉文化的古国。寿山石及其珍品田黄石作为印石和工艺品,虽然只有1500余年的开发史,但因其色泽艳丽、质地细腻温润、通灵剔透、品质高雅,而被誉为“石中之王”、“石之美者”,受到百姓钟爱,并成为帝王将相、达官贵人和有识之士的珍藏品,为中华玉文化的发展做出了卓越的贡献。

本专辑刊出的论文,内容丰富,图片精美,主要从田黄石概论和发掘史及文化内涵,田黄石的形成条件、矿物组成、结构特征及分类,田黄石的鉴别准则和方法,田黄石艺术加工要点与方法,田黄石市场与收藏等5个方面对田黄石进行了论述,具有较高的理论价值、学术水平及应用价值,值得广大宝玉石研究和经营人士一读,是研究寿山石及其珍品田黄石的一本值得参考的重要资料。专辑定价120元,除供应会议外,尚有少量存书,欢迎订购。欲购书者请与《岩石矿物学杂志》编辑部联系购买。

联系地址 北京百万庄26号《岩石矿物学杂志》编辑部,邮编:100037,电话:010-68328475,网址:
http://www.yskw.ac.cn, E-mail: yskwzazhi@sohu.com.