

陕西安东江口花岗岩成因及构造环境浅析

曹凌飞, 陈远荣*, 高旭民, 孟鑫, 马旭

桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林

收稿日期: 2023年12月7日; 录用日期: 2024年1月9日; 发布日期: 2024年1月22日

摘要

本论文以陕西安东江口花岗岩为研究对象,从地质背景和地球化学角度探讨了花岗岩成因及构造环境。对东江口花岗岩研究发现: 1) 东江口岩体的岩性主要为岩浆混染作用形成的过渡岩石组合, 少部分为岩浆演化形成的岩石组合。2) 微量元素富集亲石元素, 亏损高场强元素; 富集轻稀土, 亏损重稀土且轻重稀土分馏程度强烈。3) 在花岗岩判断图解中, 岩石样品在 $Hf-Rb/10-Ta \times 3$ 图中投影到了碰撞大陆构造背景花岗岩内以及其与板内花岗岩的交界线; 显然, 东江口花岗岩体形成于碰撞大陆构造环境。

关键词

东江口花岗岩, 地球化学特征, 成因, 构造环境

A Brief Analysis of the Genesis and Tectonic Environment of Dongjiangkou Granite in Ningshan County, Shaanxi

Lingfei Cao, Yuanrong Chen*, Xumin Gao, Xin Meng, Xu Ma

College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

Received: Dec. 7th, 2023; accepted: Jan. 9th, 2024; published: Jan. 22nd, 2024

Abstract

In this paper, we took the Dongjiangkou granite in Ningshan County, Shaanxi as the research object to explore the genesis and tectonic environment of the granite from the perspectives of geological setting and geochemistry. The study of Dongjiangkou granite shows that: 1) The lithology of the Dongjiangkou rock mass is mainly a transitional rock assemblage formed by magmatic hybridiza-

*通讯作者。

tion, and a small part is a rock assemblage formed by magmatic evolution. 2) Trace elements are enriched in lithophilic elements and high field strength elements are lost; light rare earth is enriched, heavy rare earth is depleted, and the degree of fractionation of light and heavy rare earth is strong. 3) In the granite judgment diagram, the rock samples are projected into the granite of the collision continental tectonic background and the boundary line between the granite and the intraplate granite in the Hf-Rb/10-Ta \times 3 diagram. Obviously, the granite body of Dongjiang was formed in the tectonic environment of the collision continent.

Keywords

Dongjiangkou Granite, Geochemical Characterization, Genesis, Tectonic Environment

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 区域地质背景

1.1. 地层

陕西宁陕东江口花岗岩体大地构造上属秦岭造山带，具体位于商丹断裂带的次级断裂唐藏 - 商南断裂以南、山阳 - 凤镇断裂以北的区域。东江口岩体为呈北东向拉长的椭圆形，出露面积 544 km²，具有明显的岩相学分带，是典型的大型复式岩体。从外向内可以划分为五个岩相学单元，分别是小川街、营盘街、药王堂、沙洛帐和梅庄单元[1] [2] [3] [4]。岩体围岩主体为刘岭群浅变质岩，出露地层自震旦系至泥盆系均有(图 1)。其中，泥盆系刘岭组主要分布在山阳 - 凤镇断裂以北，岩性主要为板岩、石英绢云母片岩、变质砂岩和粉砂岩；泥盆系古道岭组主要分布在山阳 - 凤镇断裂以南，岩性主要为黑云母石英片岩、砂质条带灰岩和炭质硅质岩。寒武系主要分布在小川街和蔡家庄地区，岩性主要为灰色厚层硅质白云质灰岩、薄层灰岩和泥灰岩。震旦系主要分布在小川街和蔡家庄地区，其中灯影组主要岩性为白色厚层硅质白云质灰岩、白云岩；陡山沱组主要岩性为砾岩、砂岩、绿色千枚岩和泥灰岩；耀岭河群主要岩性为灰绿色晶屑凝灰岩。

1.2. 构造

区域性深大断裂主要包括唐藏 - 商南断裂(商丹断裂)和山阳 - 凤镇断裂两大断裂。商丹断裂带大量发育紧闭褶皱和逆冲断层，褶皱枢纽的延伸方向和断层走向大体一致，均为北西西向，是一个具有复杂构造特征和岩石组合的断裂带[5]。山阳 - 凤镇断裂呈北西西向展布，断裂具多期活动性，构造演化较为复杂。在海西期，它是在沉积作用及成矿流体活动同时发生的同生断裂作用下形成，并控制区域沉积盆地演化的巨型同生断裂；在印支 - 燕山期，构造 - 岩浆活动强烈尤其是沿断裂方向；在燕山 - 喜马拉雅期，大型逆冲推覆作用仍常在断裂处发生[6] [7] [8]。位于两大断裂之间的秦岭造山带区域在各种地质构造活动作用下，发育有海西期大型平缓顺层剪切构造、印支期挤压构造和张扭性水平剪切构造。海西期大型平缓顺层剪切构造在泥盆系刘岭组地层中发育，另外刘岭组地层中还发育有大量的紧闭同斜褶皱、流劈理和韧性剪切褶皱。印支期挤压构造内主要岩性为变质岩如糜棱岩化石英砂岩等，是陡峭型逆冲推覆的脆韧性断裂，与区域内深大断裂的展布方向基本一致，是商丹断裂和山阳 - 凤镇断裂两大深大断裂的次级断裂。印支期张扭性走滑构造呈北西向倾斜，运动方向为左行平移走滑。另外，研究区内还广泛发育

同生节理构造，它是在花岗岩岩浆冷凝成岩时形成的裂隙构造，其特点是在花岗岩体中发育一系列缓倾斜的、平行展布的裂隙。如果研究区内再次发生构造运动，裂隙将再次发生错动，同生构造节理会在错动的过程中进一步发展成为压扭性断层构造。

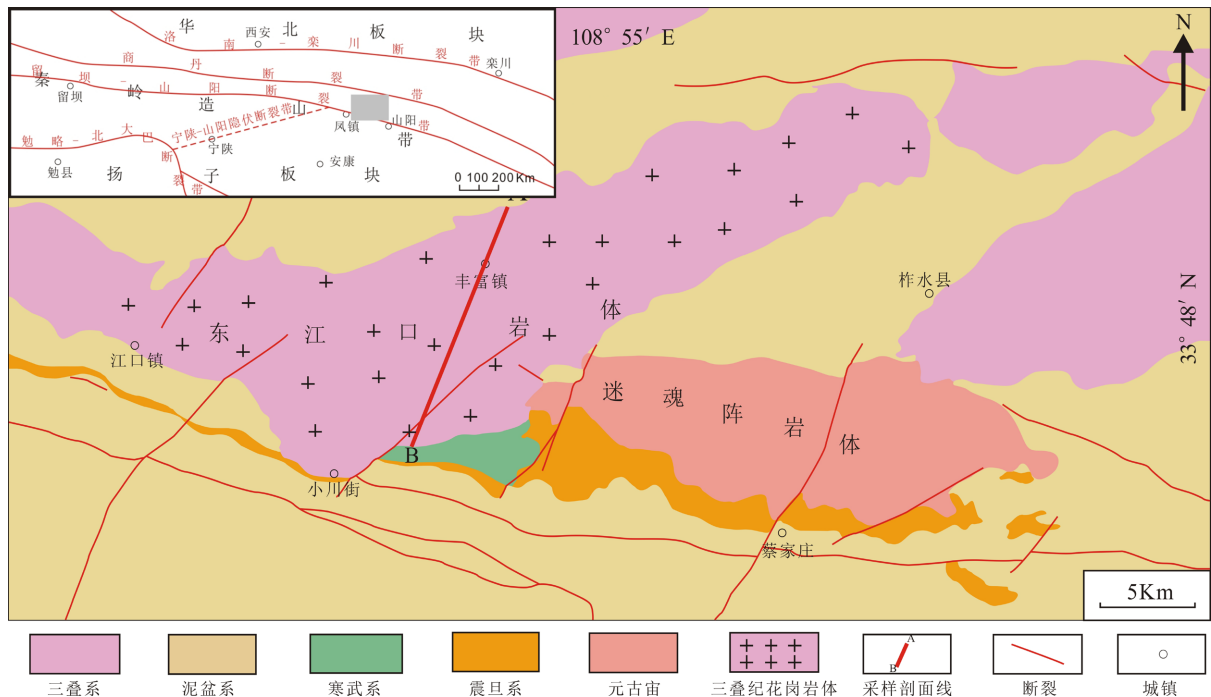


Figure 1. Geological sketch map of the Dongjiangkou granite distribution region

图 1. 东江口岩体分布区地质简图

1.3. 岩浆岩

区域内出露的代表性岩浆岩是侵入岩，主要是印支期二长花岗岩且以较大规模的岩基产出，是东江口岩体的主体岩性。岩石具块状构造，主要结构有花岗结构、二长结构以及似斑状结构，普遍具有明显的绢云母化和绿帘石化蚀变。其次为燕山期花岗闪长岩、花岗闪长斑岩等。相较于印支期，燕山期岩体岩性单一，规模不大。另外，区域内还分布有晋宁期细粒闪长岩，这类岩石组成的代表性岩体是迷魂阵岩体。迷魂阵岩体晚期更多的发育有闪长玢岩岩脉和岩珠，且伴随有热液蚀变现象出现，岩体热液蚀变表现为钾化、硅化、和绢云母化。另外，岩体也会与围岩侵入接触产生热液蚀变现象，接触带常见绿帘石化、绿帘石化及矽卡岩化等。

2. 地球化学特征

将采集的东江口岩石样品在实验室进行预处理。先将实验样品用清水清洗、晾干，然后粉碎至 200 目进行微量和稀土元素测试，微量、稀土测试工作由桂林理工大学广西隐伏金属矿产勘察重点实验室完成。测试结果见下表 1 及表 2。

2.1. 微量元素特征

从微量元素测试结果(表 1)可以看出，大离子亲石元素(Sr、Ba、Rb)含量变化较大，非活动性元素(Zr、Hf、Th)的含量也有较大变化，其他元素含量变化不大。Rb 的含量在 81.94×10^{-6} ~ 132.86×10^{-6} 之间，平

Table 1. Trace element analysis results of rock mass in Dongjiangkou granite in Shaanxi ($\times 10^{-6}$)
表 1. 陕西东沟岩体岩石微量元素分析结果($\times 10^{-6}$)

(a)								
样品	DGY-1	DGY-2	DGY-3	DGY-4	DGY-5	DGY-6	DGY-7	DGY-8
Rb	97.43	130.02	86.57	97.74	88.52	132.86	85.33	104.67
Sr	563.80	303.31	840.75	907.82	632.90	373.92	669.09	659.35
Zr	143.71	148.76	114.87	156.63	105.45	192.63	175.76	199.80
Ba	1025	852	1418	1538	1090	1168	1182	1246
Hf	4.35	4.23	3.29	4.55	3.12	5.63	5.35	5.88
Ta	1.23	1.29	1.07	1.17	1.11	1.39	0.87	1.48
Th	26.26	7.51	10.31	10.82	16.78	27.15	14.68	21.12
U	5.3	3.25	4.14	3.21	4.05	9.19	3.03	4.73
Zr/Hf	33.06	35.2	34.93	34.47	33.81	34.24	32.87	33.96
Rb/Sr	0.17	0.43	0.1	0.11	0.14	0.36	0.13	0.16
(b)								
样品	DGY-9	DGY-10	DGY-11	DGY-12	均值	克拉克值	浓度克拉克值	
Rb	88.96	81.94	110.21	91.61	99.66	108	0.92	
Sr	401.04	692.22	576.90	433.80	587.91	382	1.54	
Zr	157.45	152.27	118.24	128.51	149.51	148	1.01	
Ba	779	1517	1053	1144	1167	463	2.52	
Hf	4.84	4.46	3.40	3.65	4.40	4.5	0.98	
Ta	0.87	0.92	0.96	0.80	1.10	1.6	0.69	
Th	20.54	7.22	56.09	8.6	18.92	7.6	2.49	
U	2.93	2.00	3.85	1.55	3.94	2.03	1.94	
Zr/Hf	32.54	34.13	34.78	35.23	34.10			
Rb/Sr	0.22	0.12	0.19	0.21	0.20			

均值为 99.66×10^{-6} ; Sr 的含量在 303.31×10^{-6} ~ 907.82×10^{-6} 之间, 平均值为 587.91×10^{-6} ; Zr 的含量在 105.45×10^{-6} ~ 199.80×10^{-6} 之间, 平均值为 149.51×10^{-6} ; Ba 的含量在 779.07×10^{-6} ~ 1538.00×10^{-6} 之间, 平均值为 1167.81×10^{-6} ; Hf 的含量在 3.12×10^{-6} ~ 5.88×10^{-6} 之间, 平均值为 4.40×10^{-6} ; Ta 的含量在 0.80×10^{-6} ~ 1.48×10^{-6} 之间, 平均值为 1.10×10^{-6} ; Th 的含量在 7.22×10^{-6} ~ 56.09×10^{-6} 之间, 平均值为 18.92×10^{-6} ; U 的含量在 1.55×10^{-6} ~ 9.19×10^{-6} 之间, 平均值为 3.94×10^{-6} 。依据微量元素测试结果(表 2)绘制东江口花岗岩体微量元素对原始地幔标准化蛛网图(图 2) [9]-[17]。从图中可以看出, 东江口花岗岩体大部分微量元素相对高于原始地幔含量, 说明岩体的物质来源不只是地幔源。从图中还可以看出, 岩体中富含 Rb、Ba、Th 元素, 相对亏损 U、Yb 元素。另外, 岩体中 $Zr/Hf = 32.5\sim 35.2$, 平均值为 34.1, 介于地壳 Zr/Hf 值和地幔 Zr/Hf 值之间(地壳 $Zr/Hf = 33$, 地幔 $Zr/Hf = 37$), 说明岩体的物质来源为壳幔混源。样品中 $Rb/Sr = 0.10\sim 0.43$, 平均值为 0.20。火成岩中 Rb 主要在岩浆晚期阶段富集, Sr 则与 Rb 恰恰相反, 主要在岩浆早期阶段富集, 因此火成岩中 Rb/Sr 的值随岩浆分异程度的增加而增大。岩石样品中 Rb/Sr 的平均值为 0.20, 说明该地区岩浆分异程度较弱。

Table 2. REE element analysis results of Dongjiangkou granite in Shaanxi ($\times 10^{-6}$)
表 2. 陕西东沟岩体岩石稀土元素分析结果($\times 10^{-6}$)

(a)						
样品号	DGY-1	DGY-2	DGY-3	DGY-4	DGY-5	DGY-6
La	40.59	29.33	34.51	42.58	31.06	18.27
Ce	73.31	57.22	60.62	77.68	53.55	40.69
Pr	7.36	6.56	6.56	8.51	5.42	5.13
Nd	26.78	26.56	26.10	34.61	20.30	21.94
Sm	4.27	4.90	4.64	6.20	3.36	4.25
Eu	1.44	1.24	1.32	1.63	0.94	1.16
Gd	4.61	3.84	3.81	4.96	2.81	3.34
Tb	0.59	0.59	0.56	0.74	0.40	0.54
Dy	2.61	3.19	3.01	3.94	2.12	2.96
Ho	0.47	0.60	0.57	0.74	0.42	0.56
Er	1.48	1.57	1.50	1.99	1.12	1.53
Tm	0.18	0.25	0.25	0.32	0.18	0.26
Yb	1.45	1.53	1.52	1.92	1.14	1.66
Lu	0.19	0.23	0.23	0.30	0.18	0.26
Σ REE	165.32	137.60	145.18	186.12	122.99	102.55
Σ LREE	153.74	125.80	133.75	171.22	114.63	91.44
Σ HREE	11.57	11.80	11.44	14.90	8.36	11.10
LREE/HREE	13.29	10.66	11.70	11.49	13.72	8.24
(La/Yb) _N	20.10	13.77	16.34	15.89	19.59	7.90
(La/Sm) _N	6.14	3.86	4.80	4.44	5.98	2.77
(Gd/Yb) _N	2.63	2.08	2.08	2.13	2.04	1.67
δ Eu	0.97	0.84	0.93	0.87	0.91	0.91
(b)						
样品号	DGY-7	DGY-8	DGY-9	DGY-10	DGY-11	DGY-12
La	29.27	32.57	32.22	35.24	26.41	31.16
Ce	51.45	59.43	52.41	58.68	49.93	52.16
Pr	5.54	6.44	4.96	6.01	5.10	5.40
Nd	21.92	24.75	17.15	23.28	19.97	20.89
Sm	3.99	4.26	2.65	4.03	3.47	3.60
Eu	1.06	1.16	0.70	1.22	0.95	1.10
Gd	3.17	3.49	2.25	3.28	2.87	2.99
Tb	0.46	0.50	0.29	0.47	0.42	0.43
Dy	2.46	2.63	1.54	2.40	2.17	2.30
Ho	0.46	0.50	0.30	0.45	0.42	0.43

续表

Er	1.21	1.40	0.83	1.20	1.14	1.16
Tm	0.19	0.23	0.15	0.19	0.19	0.19
Yb	1.20	1.49	1.00	1.19	1.16	1.17
Lu	0.19	0.24	0.17	0.18	0.19	0.18
Σ REE	122.56	139.10	116.62	137.82	114.39	123.10
Σ LREE	113.22	128.60	110.09	128.46	105.83	114.26
Σ HREE	9.34	10.50	6.54	9.35	8.56	8.85
LREE/HREE	12.12	12.25	16.84	13.73	12.37	12.92
(La/Yb) _N	17.53	15.68	23.03	21.20	16.28	19.18
(La/Sm) _N	4.74	4.94	7.84	5.65	4.92	5.59
(Gd/Yb) _N	2.19	1.94	1.86	2.28	2.04	2.12

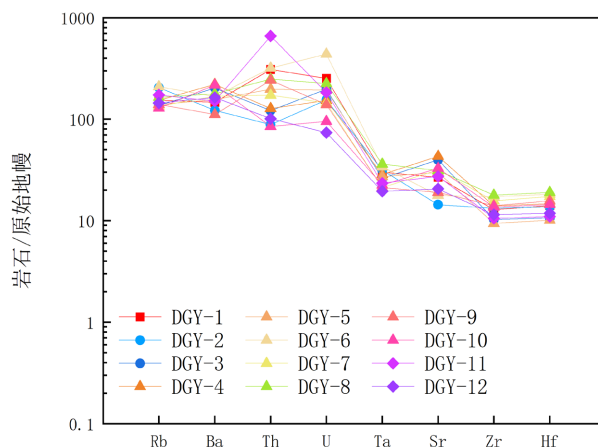


Figure 2. Normalized spider web map of trace elements on the original mantle (normalized values for mantle cited in Sun and McDonough, 1989)

图 2. 微量元素对原始地幔标准化蛛网图(地幔标准化数值引自 Sun and McDonough, 1989)

浓度克拉克值(表 1)是指在某一地质体中某种元素的平均含量与克拉克值的比值[18], 比值的大小可以反映元素的富集程度。当浓度克拉克值 > 1 时, 说明该元素在地质体中相对集中; 当浓度克拉克值 < 1 时, 说明该元素在地质体中相对分散。由表 1 可知, 样品中 Sr、Zr、Ba、Th、U 相对集中, 浓度克拉克值分别为 1.35、1.55、1.54、1.01、2.52、2.49、1.94; 样品中 Rb、Hf、Ta 相对分散, 浓度克拉克值分别为 0.64、0.37、0.92、0.98、0.69。

2.2. 稀土元素特征

东江口岩体花岗岩稀土元素总量 Σ REE = 102.55~182.12 $\times 10^{-6}$, 平均值为 134.45 $\times 10^{-6}$ 。其中, Σ LREE = 91.44~171.22 $\times 10^{-6}$, 平均值为 124.25 $\times 10^{-6}$; Σ HREE = 6.54~14.90 $\times 10^{-6}$, 平均值为 10.19 $\times 10^{-6}$, 表现出轻稀土富集, 轻重稀土分馏程度强烈的特征(表 2)。球粒陨石标准化稀土元素配分图(图 3)中稀土元素呈右倾型。LREE/HREE = 8.24~16.84, 平均值为 12.44, 比值较大, 说明矿床轻稀土元素富集, 重稀土元素亏损。(La/Yb)_N = 7.92~23.03, 均大于 1, 平均值为 17.21, 总体比值较高, 说明矿床轻重稀土分馏明显。

$(La/Sm)_N = 2.77\sim 7.84$ ，平均值为 5.14，说明轻稀土分馏明显，分馏程度强烈。 $(Gd/Yb)_N = 1.67\sim 2.63$ ，平均值为 2.09，说明重稀土分馏不明显，分馏程度微弱。此外，样品中 $\delta Eu = 0.86\sim 0.99$ ，均小于 1，平均值为 0.91，表现出微弱的负 Eu 异常。 $(La/Yb)_N-\delta Eu$ 图(图 4)中，岩石样品均投影到壳幔源区域。

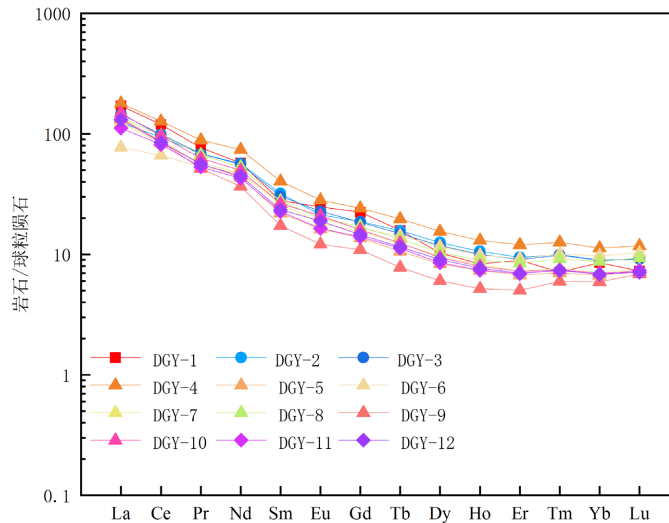


Figure 3. Diagram of the standardized distribution pattern of rare earth elements (standardized data for chondrites cited in Boynton, 1984)

图 3. 稀土元素标准化配分模式图(球粒陨石标准化数据引自 Boynton, 1984)

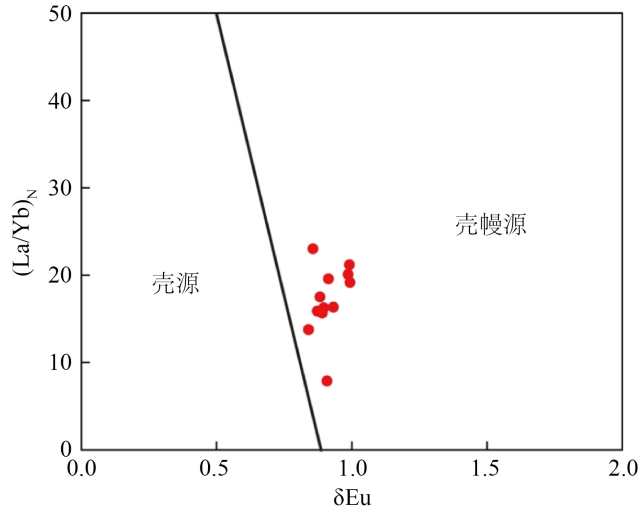


Figure 4. $(La/Yb)_N-\delta Eu$ diagram

图 4. $(La/Yb)_N-\delta Eu$ 图解

3. 构造环境分析

对于花岗岩的不同构造环境可以通过分析花岗岩中特定微量元素的地球化学特征来进行判别。具体方法是选择合适的微量元素，依据这些微量元素的地球化学数据，绘制这些数据间的微量数据图解，再添加前人的花岗岩构造环境研究的底图，可以直观地看到样品所对应的区域，最后再综合其他相关资料，综合分析研究区域的花岗岩构造环境，进而明确区域内花岗岩成因[16] [17] [18]。

根据花岗岩形成的构造环境的不同,可将花岗岩分为四类,分别是:大洋脊花岗岩、火山弧花岗岩、板内花岗岩和碰撞大地构造背景带花岗岩。大洋脊花岗岩主要位于海洋下地壳底部,起源于铁镁质岩浆的分离结晶。火山弧花岗岩大多是钙碱性花岗岩,大量呈线性分布。主要形成于大陆环境,地幔楔部分熔融并有地壳物质加入。板内花岗岩数量较少,主要是碱性花岗岩类,大多形成于洋岛、大陆裂谷和拉伸的大陆边界。碰撞大地构造背景带花岗岩体积变化较大,常呈带状分布,起源复杂。东江口花岗岩样品在 $\text{Hf-Rb}/10\text{-Ta} \times 3$ 图解(图 5)中,样品投影点绝大部分落在碰撞大地构造背景花岗岩区域内,少部分落到碰撞大地构造背景花岗岩与板内花岗岩的交界线上,这表明东江口花岗岩的形成与大陆碰撞的造山环境有关。结合前人的研究,认为东江口花岗岩体与三叠纪华南板块和华北板块的碰撞事件有关。具体形成过程可以概括为,随着造山运动由同碰撞向后碰撞转折,造山作用的应力状态由挤压向拉伸转变,地幔物质上涌侵入下地壳底部致使下地壳部分物质重熔,地壳重熔物质与幔源岩浆受深大断裂控制最后形成花岗岩体。

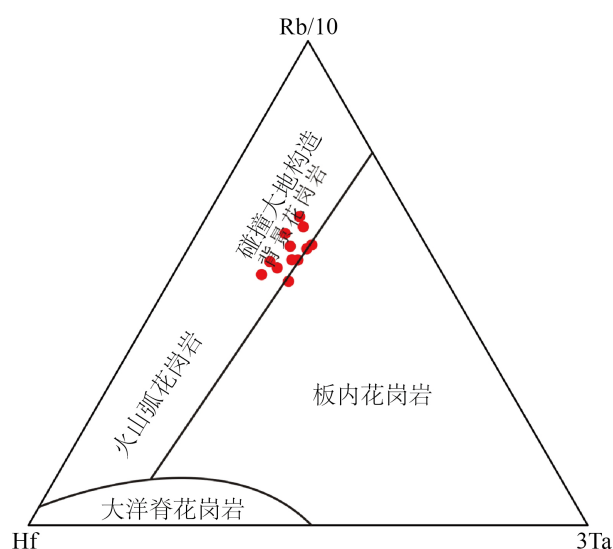


Figure 5. Hf-Rb/10-Ta \times 3 diagram

图 5. Hf-Rb/10-Ta \times 3 图解

4. 结论

前人研究表明,东江口岩体物质来源主要是大陆下地壳而非俯冲洋壳,壳幔源花岗岩的形成主要与幔源岩浆的混合作用有关,幔源岩浆在下地壳发生部分重熔的过程中更容易注入且发生岩浆混合作用。关于东江口花岗岩的成因,张成立等认为,该区域花岗岩的形成是同碰撞向后碰撞转换过程中大陆岩石圈拆沉作用的结果;也有学者认为,该区域花岗岩的形成主要是由于板块俯冲的作用;还有一些学者认为,主要是与扬子板块和南秦岭地块的碰撞拼合作用有关[19] [20]。本文通过对陕西南东江口花岗岩地质背景和地球化学特征的研究,结合构造环境、源区组成及前人研究资料,对东江口花岗岩成因及构造环境进行了分析。得出如下主要结论:

1) 东江口岩体具有明显的岩相学分带,是典型的大型复式岩体。从整体上看,东江口岩体从早期单元到晚期单元表现出由东向西侧向迁移式的同心环带状分布特征,是同源岩浆演化过程中不同阶段的产物,构成了一个较为完整的岩浆演化序列。

2) 东江口花岗岩 Sr、Zr、Ba、Th、U 相对集中,Rb、Hf、Ta 相对分散。岩体中富含 Rb、Ba、Th

元素, 相对亏损 U、Yb 元素; 球粒陨石标准化稀土元素配分图(图 3)中稀土元素呈右倾型, 轻稀土富集, 轻重稀土分馏程度强烈且表现出微弱的负 Eu 异常。此外, $(La/Yb)_N-\delta Eu$ 图(图 4)中表明东江口花岗岩的物质来源为壳幔源。

3) 在花岗岩构造环境判断图解中, 岩石样品中大部分投影点落在碰撞大陆构造背景花岗岩内, 少部分落在碰撞大陆构造背景花岗岩与板内花岗岩的交界线上, 表明东江口花岗岩的形成与大陆碰撞的造山环境有关。具体为造山运动由同碰撞向后碰撞转折, 造山作用的应力状态由挤压向拉伸转变的时期。

4) 结合构造环境、源区组成、花岗岩体地球化学特征以及前人研究资料, 本文认为花岗岩的成因是在秦岭造山带造山运动由同碰撞向后碰撞转折时期, 地幔物质上涌侵入下地壳底部致使下地壳部分物质重熔, 并由于东江口地区具有良好的成岩空间, 地壳重熔物质与幔源岩浆携带成岩物质, 在该区域深大断裂的控制下富集形成花岗岩体。

基金项目

科技部重点研发计划“科技发展基金(陈远荣)”(RZ18102528)资助。

参考文献

- [1] 张国伟, 孟庆任, 于在平, 等. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 1996(3): 193-200.
- [2] 张国伟, 张宗清, 董云鹏. 秦岭造山带主要构造岩石地层单元的构造性质及其大地构造意义[J]. 岩石学报, 1995, 11(2): 101-114.
- [3] 王清晨, 孙枢, 李继亮, 等. 秦岭的大地构造演化[J]. 地质科学, 1989(2): 129-142.
- [4] 王晓霞, 王涛, 张成立. 秦岭造山带花岗岩岩浆作用与造山带演化[J]. 中国科学: 地球科学, 2015, 45(8): 1109-1125.
- [5] 闫臻, 王宗起, 陈雷, 等. 南秦岭山阳-柞水矿集区构造-岩浆-成矿作用[J]. 岩石学报, 2014, 30(2): 401-414.
- [6] 李生全, 王军, 李向军. 柞水大西沟菱铁矿床地质特征及成因探讨[J]. 地质与勘探, 2018, 54(z1): 1373-1382.
- [7] 弓虎军, 朱赖民, 孙博亚, 等. 南秦岭地体东江口花岗岩及其基性包体的锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素组成[J]. 岩石学报, 2009, 25(11): 3029-3042.
- [8] 朱茂旭, 骆庭川, 张宏飞. 南秦岭东江口岩体群 Pb、Sr 和 Nd 同位素地球化学特征及其对物源的制约[J]. 地质地球化学, 1998(1):30-36.
- [9] 崔建堂, 赵长缨, 王炬川. 南秦岭东江口、柞水岩体岩石谱系单位划分及演化[J]. 陕西地质, 1999(2): 7-15.
- [10] 叶张煌, 刘嘉麒, 尹国胜, 等. 江西三清山花岗岩体的元素地球化学特征及其地质意义[J]. 桂林理工大学学报, 2013, 33(2): 200-208.
- [11] 杨恺, 刘树文, 李秋根, 等. 秦岭柞水岩体和东江口岩体的锆石 U-Pb 年代学及其意义[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2009, 45(5): 841-847.
- [12] 杨崇辉, 魏春景, 张寿广, 等. 南秦岭佛坪地区麻粒岩相岩石锆石 U-Pb 年龄[J]. 地质论评, 1999, 45(2): 173-179.
- [13] 吴纪修, 王文, 黄增保, 等. 西秦岭温泉钼矿区含钼花岗岩斑岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素组成及岩浆物质来源讨论[J]. 中国地质, 2021, 48(5): 1596-1608.
- [14] 刘春花, 吴才来, 雷敏, 等. 秦岭东江口和柞水花岗岩的矿物成分特征及其形成的温压条件[J]. 岩石矿物学杂志, 2013, 32(3): 341-354.
- [15] 邵世才, 张本仁, 李泽九. 秦岭造山带东江口花岗岩体群的地球化学研究及其构造环境[J]. 矿产与地质, 1991(6): 424-429.
- [16] J.P. Pearce, 马昌前. 花岗岩形成的大地构造环境及其痕量元素判别图解[J]. 地质科技情报, 1986(1): 57-67.
- [17] 赵振华. 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, 2007, 31(1): 92-103.
- [18] 黎彤. 地壳元素丰度的若干统计特征[J]. 地质与勘探, 1992(10): 3-9.
- [19] 张成立, 王涛, 王晓霞. 秦岭造山带早中生代花岗岩成因及其构造环境[J]. 高校地质学报, 2008, 14(3): 304-316.
- [20] 范鑫. 南秦岭地体东江口岩体的形成时代、地球化学组成特征及成因[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 中国科学技术大学, 2021.