

广西钦甲花岗岩体岩石地球化学特征及成因研究

王永磊, 王登红, 张长青, 王成辉

(中国地质科学院 矿产资源研究所, 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037)

摘要: 华南地区加里东期花岗岩远不如燕山期那么发育, 位于广西西南部的钦甲岩体是较为著名的加里东岩体之一。钦甲岩体位于扬子板块西南缘, 属早古生代花岗岩体。本文在前期年代学研究的基础上对钦甲岩体的岩石地球化学特征进行了分析探讨, 其 SiO_2 含量为 65.94%~72.23%, 全碱含量 ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) 为 6.27%~9.11%, K_2O 的含量普遍大于 Na_2O , A/CNK 值为 1.02~1.24, 属弱过铝质花岗岩类。岩石稀土元素含量偏低, 变化范围为 $17.18 \times 10^{-6} \sim 128.33 \times 10^{-6}$, 其配分曲线呈轻稀土富集并缓向右倾斜, 重稀土较为平坦, 具较明显的铕负异常。微量元素以富集大离子元素 Rb、Th, 亏损 Ba、Sr 为特征, 其形成可能和扬子板块与华夏板块之间的汇聚挤压有关, 其源岩主要由含少量泥质的砂质岩组成, 并可能有具 Ce 负异常的沉积物参与部分熔融。

关键词: 加里东 地球化学特征 花岗岩成因 Ce 负异常 钦甲岩体

中图分类号: P588.12⁺1; P595

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2012)02-0155-09

Geochemistry and petrogenesis of the Qinjia granite in Guangxi

WANG Yong-lei, WANG Deng-hong, ZHANG Chang-qing and WANG Cheng-hui

(MRL Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: The Caledonian granites in South China are not so well developed as Yanshanian granites, and the Qinjia granite in southwest Guangxi is one of the famous Caledonian granites. The Qinjia granitoid pluton, located at the southwestern edge of Yangtze plate, is a typical Early Paleozoic pluton. Based on previous research result of geochronology, the authors performed a lot of detailed work on geochemistry. The SiO_2 content of rocks is in the range of 65.94%~72.23%, the total alkalis content ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) is in the range of 6.27%~9.11%, and the K_2O content of most rocks is higher than Na_2O content. The A/CNK values are 1.02~1.24, assigned to species of weakly peraluminous. The rocks have low and remarkably varying REE, ranging from 17.18×10^{-6} to 128.33×10^{-6} , and their distribution patterns show LREE enrichment with gentle rightly-oblique deviation, relatively flat HREE and significant negative Eu anomaly. In trace elements, the Qinjia pluton is enriched in LILE Rb, Th and depleted in Ba, Sr. The research results show that the formation of Qinjia granite was probably linked with the collision between Yangtze plate and Cathaysia plate, and the source rocks of Qinjia granite were mainly composed of politic sandstone rocks, and some sediments with negative Ce anomalies probably entered magma source.

Key words: Caledonian; geochemical characteristics; granite genesis; negative Ce anomalies; Qinjia granite

收稿日期: 2011-04-13; 修订日期: 2011-09-30

基金项目: 全国危机矿山接替资源找矿项目之桂东-粤西地区铅锌金等矿床成矿规律总结研究(20089946) 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(K0907)

作者简介: 王永磊(1980-), 男, 助理研究员, 主要从事矿床学研究, E-mail: yongleiw@163.com

华南地区主要由扬子和华夏两个地质构造单元组成,自元古宙开始经历了多期次不同规模、不同级别的构造事件,最终导致扬子和华夏两个构造单元的拼接和焊合。其中加里东运动作为一次强烈而广泛发育的地壳运动,在华南形成了大量的花岗岩,主要分布于湘-赣、湘-桂及桂-粤交界地区,集中于政和-大埔及绍兴-江山-萍乡两条区域性深大断裂构成的喇叭形区域之间,有线状分布的特点。华南燕山期花岗岩与成矿作用关系较为密切,前人对其进行过较为深入的研究(陈毓川等, 1990; 王登红等, 2007, 2010; 刘善宝, 2010),而对加里东期花岗岩的研究程度则相对薄弱,对其构造背景也有不同认识。如楼法生等(2002)认为赣中武功山地区山岩体产生于大陆边缘弧环境,许德如等(2006)认为早古生代可能的陆-弧-陆碰撞是导致湘东板杉铺埃达克质花岗闪长岩产生的重要机制,张芳荣等(2009)则认为华南东段加里东期花岗岩类的形成背景为板内造山环境。

钦甲岩体位于扬子板块西南缘,其岩体南北两侧产有德保和建屯等铜矿床(点)。1:20 万区调资料将其划归为中生代岩浆岩^①,而 20 世纪 80 年代以来,多种同位素定年方法(黑云母 K-Ar 法、全岩 Rb-Sr 法、锆石 U-Pb 法)的结果为 221~526 Ma 不等(图 1)^②。笔者曾对钦甲岩体不同单元进行过详细的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年龄测定,获得钦甲岩体成岩年龄范围为 412.4~442.4 Ma(王永磊等, 2011),表明其为加里东期的复式花岗岩体。目前尚未有研究者对钦甲岩体的岩石学、地球化学特征等进行过详细研究,这在一定程度上影响了对其形成环境、地球动力学背景的探讨,本文试图通过对钦甲岩体的岩石学及岩石地球化学的系统研究,探讨钦甲岩体的岩浆属性、岩浆源区特征及形成构造背景,为华南加里东期构造演化提供岩石学方面的制约。

1 岩体地质概况

钦甲岩体位于桂西德保和靖西等县市交界区,出露面积达 45 km²。岩体侵位于寒武纪地层中,两者呈明显的侵入接触,岩体与围岩接触面波状起伏,

向四周倾斜。前人依据岩石中矿物组分和结构及矿物结晶程度、颗粒大小等特征,将出露岩体划分为 3 个相带:即内部相、过渡相及边缘相,各相带间为逐渐过渡关系(图 1)。内部相主要由中粗粒斑状黑云母花岗岩和粗-中粒花岗岩组成,过渡相由细-中粒花岗岩和细-中粒斑状黑云母花岗岩组成,而边缘相则由细粒花岗岩和细粒斑状黑云母花岗岩组成。由于地表植被覆盖较厚,本次研究未能观察到上述岩体分带特征。

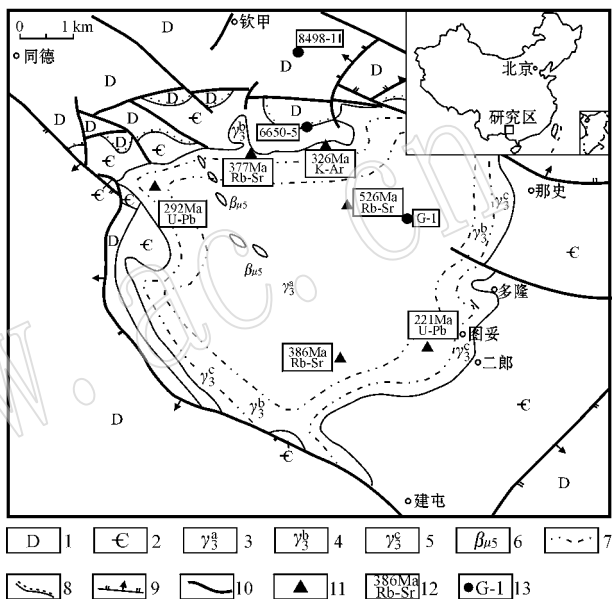


图 1 钦甲花岗岩体地质简图(据广西第二地质队^③修编)

Fig. 1 Geological sketch map of Qinqia granite pluton (modified after No. 2 Geological Party of Guangxi^③)

1—泥盆系; 2—寒武系; 3—加里东期花岗岩内部相; 4—加里东期花岗岩过渡相; 5—加里东期花岗岩边缘相; 6—燕山期基性岩; 7—岩体相带界线; 8—不整合界线; 9—正断层; 10—性质不明的断层; 11—前人同位素年龄样品采集地点; 12—同位素年龄及方法; 13—本次研究部分样品采集地点及编号

1—Devonian; 2—Cambrian; 3—internal phase of Caledonian granite; 4—transitional phase of Caledonian granite; 5—edge phase of Caledonian granite; 6—Yanshanian basic rock; 7—rock facies boundary; 8—unconformable fault; 9—normal fault; 10—inferred fault; 11—previous sampling location; 12— isotopic age and methods; 13— sampling location of this study

2 岩相学特征

本次研究采集到 3 种岩相的岩石标本,分别为

① 地质部广西壮族自治区地质局. 1968. 1/20 万靖西幅区域地质测量报告书.

② 广西壮族自治区地质矿产局. 1985. 广西壮族自治区区域地质志.

③ 广西第二地质队. 1984. 广西壮族自治区德保县钦甲铜锡矿地质研究.

中粗粒黑云角闪花岗岩(图 2a)、斑状黑云母花岗岩(图 2c)及黑云钾长花岗岩(图 2e)。黑云角闪花岗岩出露于地表,灰白色,具花岗结构,主要由石英、斜长石、钾长石、角闪石及少量的黑云母组成(图 2b);斑

状黑云母花岗岩为隐伏岩体,灰白色,似斑状结构,斑晶主要为石英、斜长石、少量碱性长石,其中部分斜长石发生绢云母化蚀变,基质为显微晶质结构,主要有石英、斜长石、少量碱性长石及黑云母(图2d);

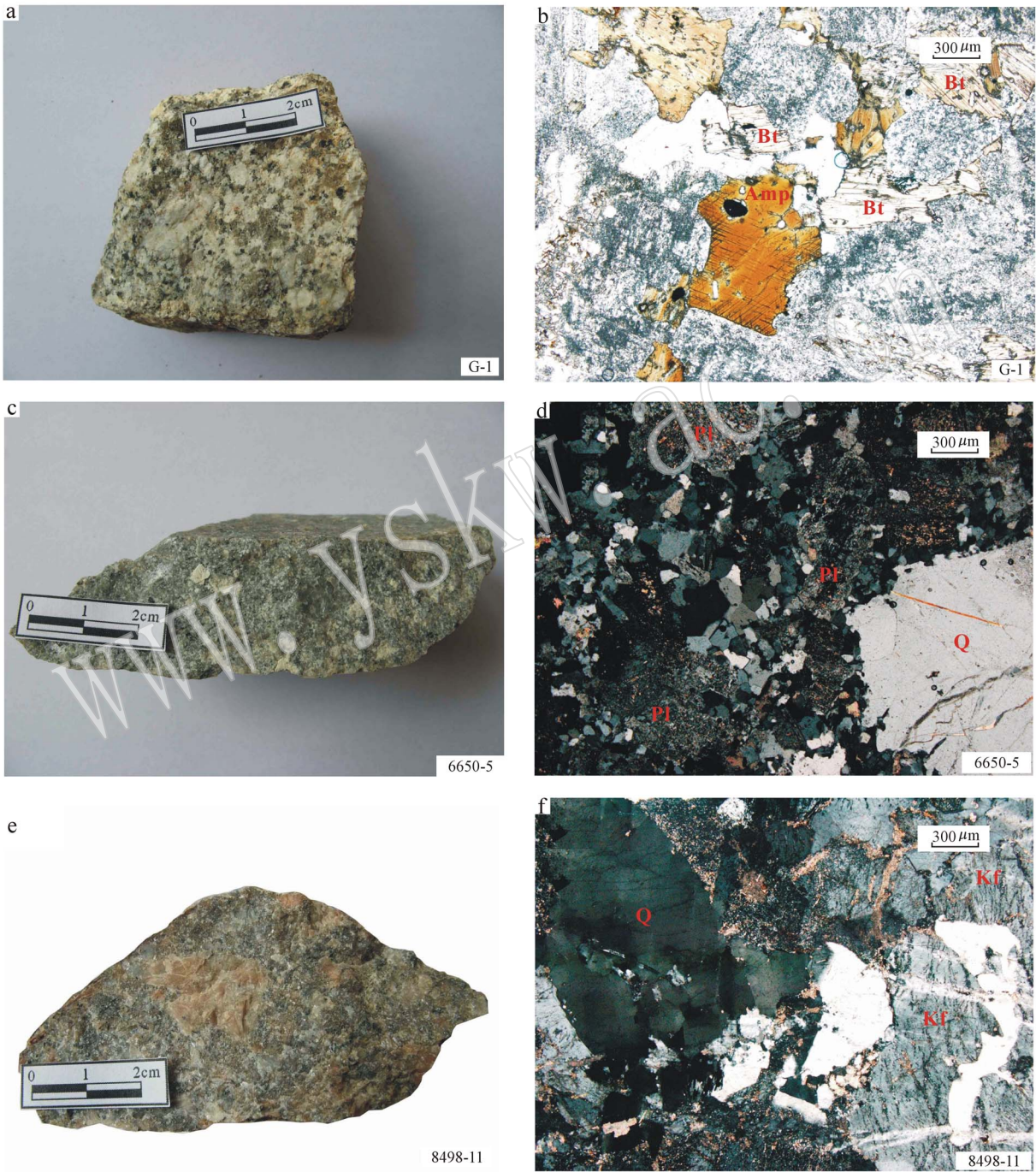


图 2 钦甲花岗岩体的岩石标本及显微特征(其中图 b 为单偏光,d 和 f 为正交偏光)

Fig. 2 Rock samples and microscopic features of the granites (a —plainlight, d and f—crossed nicols)

Bt—黑云母; Amp—角闪石; Q—石英; Pl—斜长石; Kf—钾长石

Bt—biotite; Amp—amphibole; Q—quartz; Pl—plagioclase; Kf—k-feldspar

黑云钾长花岗岩为隐伏岩体,肉红色,花岗结构,矿物组成主要为石英、钾长石、斜长石和少量的黑云母(图 2f)。野外未能明显观察到三者的地质接触关系。

3 岩石地球化学

主量元素和微量元素分析在国家地质实验测试

中心完成,其中主量元素的检测仪器为 X 荧光光谱仪(2100),微量元素的检测仪器为等离子质谱(X-se-ries),结果见表 1。数据处理采用路远发(2004)的地球化学工具软件包 GeoKit 程序。

3.1 主量元素
 钨甲岩体不同单元的主量元素化学成分差异并不十分明显,样品的 SiO₂ 含量为 65.94%~72.23%,

表 1 钨甲岩体主量元素($w_B/\%$)和微量元素($w_B/10^{-6}$)分析结果
Table 1 Major elements ($w_B/\%$) and trace elements ($w_B/10^{-6}$) of Qinjia granite

岩性	黑云钾长花岗岩					斑状黑云母花岗岩					黑云角闪花岗岩		
样品号	8536-17	8536-18	8498-11	D-2	612-9	8574-11	8498-10	6612-13	8498-12	612-11	6650-5	G-3	G-1
SiO ₂	70.56	69.68	68.97	71.28	72.23	65.94	70.44	69.03	70.82	69.56	70.39	71.68	71.05
TiO ₂	0.39	0.39	0.4	0.33	0.42	0.38	0.38	0.46	0.39	0.41	0.4	0.35	0.4
Al ₂ O ₃	14	14.24	14.36	14.05	14.08	13.77	13.32	14.22	14.26	13.94	13.91	13.58	14.17
Fe ₂ O ₃	0.62	0.39	0.55	0.45	0.51	0.22	0.22	0.47	0.52	1.44	0.36	0.4	0.98
FeO	1.96	2.1	2.1	1.96	1.13	2.39	2.07	0.85	2.1	1.56	1.99	2.14	1.96
MnO	0.05	0.05	0.04	0.03	0.02	0.04	0.1	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.05
MgO	0.88	0.78	0.78	0.66	0.42	0.9	0.46	0.4	0.89	0.89	1.05	0.59	0.86
CaO	1.54	1.32	1.8	0.8	1.06	2.97	2.04	2.59	1.7	1.61	1.54	1.85	1.44
Na ₂ O	3.78	3.47	2.96	2.58	3.3	1.26	0.3	3.09	3.1	1.94	2.54	3.64	3.16
K ₂ O	4.17	4.88	5.44	5.2	5.33	5.01	6.07	6.02	4.99	5.83	5.28	3.9	5.02
P ₂ O ₅	0.09	0.08	0.09	0.06	0.09	0.09	0.07	0.09	0.08	0.09	0.08	0.07	0.08
LOI	1.37	2.09	1.71	1.81	1.66	6.1	4.51	2.34	1.44	2.78	1.83	0.94	1.02
Total	99.41	99.47	99.2	99.21	100.25	99.07	99.98	99.6	100.33	100.08	99.4	99.18	100.19
A/CNK	1.04	1.06	1.02	1.24	1.07	1.07	1.24	0.87	1.05	1.12	1.10	1.00	1.07
K ₂ O/Na ₂ O	1.10	1.41	1.84	2.02	1.62	3.98	20.23	1.95	1.61	3.01	2.08	1.07	1.59
La	20.6	16.8	19.2	16.2	15.1	27.6	26.2	27.1	28.3	27.8	24.3	3.46	9.67
Ce	35.9	28	37.1	34.2	23.1	53.4	35.5	43.2	46.6	52.1	41.2	6.32	20.7
Pr	4.82	3.98	4.48	4.01	3.55	6.07	5.85	6.22	6.55	6.27	5.82	0.81	2.3
Nd	17.3	14.8	16.2	15.2	12.9	22.1	21.5	22.5	22.7	22.2	21	2.92	8.35
Sm	3.44	3.04	3.36	3.68	2.67	4.38	4.57	4.72	4.71	4.64	4.55	0.69	2
Eu	0.66	0.63	0.7	0.65	0.48	0.82	0.76	0.69	0.76	0.93	0.65	0.08	0.33
Gd	3.41	3.24	3.28	4.09	2.79	4.51	4.86	4.85	4.54	5	4.31	0.7	2.02
Tb	0.57	0.49	0.53	0.69	0.4	0.66	0.73	0.73	0.74	0.72	0.66	0.12	0.38
Dy	3.37	2.99	3.01	4.14	2.35	3.43	4.45	4.3	4.14	4.09	3.87	0.75	2.3
Ho	0.72	0.61	0.58	0.87	0.46	0.7	0.96	0.93	0.84	0.78	0.76	0.17	0.47
Er	2.26	1.84	1.78	2.7	1.51	2.11	3.06	2.85	2.61	2.47	2.28	0.5	1.45
Tm	0.33	0.28	0.25	0.42	0.22	0.29	0.48	0.43	0.37	0.38	0.32	0.07	0.22
Yb	2.27	1.69	1.56	2.88	1.44	1.98	3.46	2.84	2.46	2.46	2.21	0.51	1.42
Lu	0.32	0.27	0.25	0.43	0.23	0.28	0.52	0.44	0.35	0.37	0.33	0.08	0.21
Y	21.7	18	17.1	24.3	13.7	21.1	29.1	27.9	25	23.8	22	4.57	13.6
ΣREE	95.97	78.66	92.28	90.16	67.20	128.33	112.90	121.80	125.67	130.21	112.26	17.18	51.82
LREE/HREE	6.24	5.89	7.21	4.56	6.15	8.19	5.10	6.01	6.83	7.00	6.62	4.92	5.12
δEu	0.59	0.61	0.64	0.51	0.54	0.56	0.49	0.44	0.50	0.59	0.45	0.35	0.50
δCe	0.84	0.80	0.94	0.99	0.74	0.97	0.67	0.78	0.80	0.92	0.81	0.88	1.03
Rb	143	164	174	192	193	235	222	195	160	262	183	16.3	99.4
Sr	93	84.5	80.5	98.9	78.9	73.2	34.6	191	139	93.8	106	10	45.7
Ba	487	694	624	1211	1740	874	693	1971	474	4180	453	59.7	330
Zr	169	157	135	159	145	136	153	143	65.5	161	130	16.8	83.9
Hf	4.76	4.7	4.16	5.19	4.3	3.77	4.59	4.16	1.94	4.68	4.05	0.62	2.61
Th	26.3	22.5	21.3	29.1	18.1	20.7	26	17.9	22.1	22.4	23.3	3.58	14.8
U	6.55	5.39	5.82	7.41	4.55	7.03	6.73	3.6	3.49	6.01	7.51	0.78	2.37
Ta	1.2	1.17	1.18	1.69	1.19	1.07	1.14	1.21	0.57	1.22	1.31	0.15	0.69
Nb	9.81	9.33	9.2	10.2	9.72	10.2	9.36	9.9	4.39	9.6	10	1.01	5.07
Rb/Sr	1.54	1.94	2.16	1.94	2.45	3.21	6.42	1.02	1.15	2.79	1.73	1.63	2.18
Rb/Ba	0.29	0.24	0.28	0.16	0.11	0.27	0.32	0.10	0.34	0.06	0.40	0.27	0.30
Ba/Th	18.52	30.84	29.30	41.62	96.13	42.22	26.65	110.11	21.45	186.61	19.44	16.68	22.30

在 QAP 岩石化学分类图解中(图 3a),绝大部分落入花岗岩范围。碱含量普遍较高, $(K_2O + Na_2O)$ 值为 $6.27\% \sim 9.11\%$, K_2O/Na_2O 比值大于 1, 在 $K_2O - SiO_2$ 图解上(图 3b),大部分样品落入钾玄岩系列,

少量落入高钾钙碱性系列。 A/CNK 值范围为 $1.02 \sim 1.24$, 总体属于弱过铝质, CIPW 标准矿物中出现刚玉, 同样也显示了岩体过铝质的特征。 CaO/Na_2O 较高, 介于 $0.31 \sim 6.8$, Al_2O_3/Ti_2O_5 为 $30.91 \sim 42.58$,

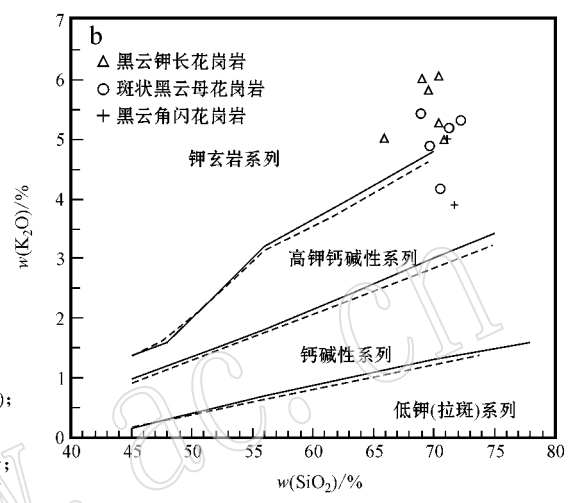
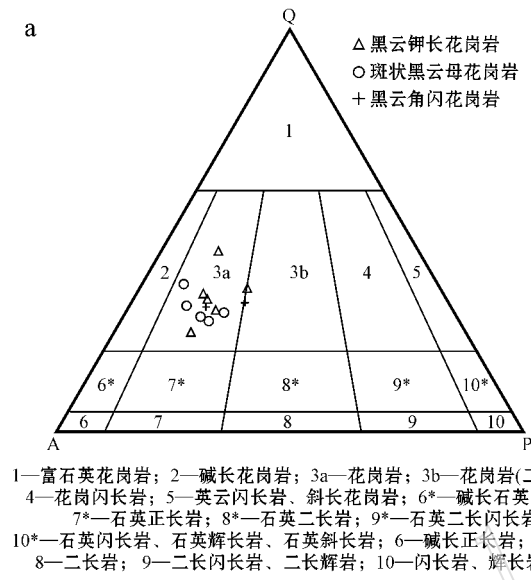


图 3 侵入岩的 QAP 分类图(a, 据 Maniar and Piccoli, 1989)和 $K_2O - SiO_2$ 图解(b, 据 Rickwood, 1989)

Fig. 3 Diagram of QAP (a, after Maitre and Piccoli, 1989) and K_2O versus SiO_2 (b, after Rickwood, 1989)

大多数为中低含量。

3.2 微量元素

钦甲岩体的稀土元素整体上含量较低, $\sum REE = 17.18 \times 10^{-6} \sim 128.33 \times 10^{-6}$, 具有轻-中等的铈负异常, $\delta Eu = 0.35 \sim 0.64$, 部分样品具有明显的 Ce 负异常, $\delta Ce = 0.67 \sim 1.03$ 。斑状黑云母花岗岩的稀土元素含量较高, $\sum REE = 112.26 \times 10^{-6} \sim 130.21 \times 10^{-6}$, 而黑云角闪花岗岩的稀土含量则偏低, $\sum REE = 17.18 \times 10^{-6} \sim 51.82 \times 10^{-6}$ 。稀土元素配分模式整体呈右倾型(图 4a), 其中轻稀土相对较为富集, $LREE/HREE = 4.56 \sim 8.19$, 轻重稀土之间的分馏较为明显, $La_N/Yb_N = 3.80 \sim 9.42$, LREE 的分馏程度大于 HREE。

在微量元素蛛网图上(图 4b), 钦甲岩体不同样品的微量元素分布型式基本相似, 整体表现为 Rb、Th、U、Zr、Hf、La 富集, Ba、Sr、Nb、P、Ti 亏损, 类似于大陆弧背景下的花岗岩特征, 其中 Ba、Sr、Ti、P 等元素的亏损可能是由于斜长石、磷灰石和钛铁矿等矿物的分离结晶作用所致, 而 Nb 的亏损则可能暗示了其地壳来源性质。钦甲岩体的 Rb/Sr 比值为 $1.02 \sim 6.02$, Rb/Nb 比值为 $14.58 \sim 36.45$, 明显高于全球上

地壳的平均值(分别为 0.32 和 4.5, Taylor and McLennan, 1985), 反映其源自成熟度较高的陆壳物质。

4 讨论

4.1 岩浆源区特征

前人研究表明, 过铝质花岗岩的源区较为复杂, 一般认为它是地壳物质部分熔融的产物, 且沉积岩/变质沉积岩是其主要的源岩(Chapell and white, 1992; Sylvester, 1998)。对于过铝质花岗岩, CaO/Na_2O 比值的差异能够反映其源区中粘土含量的差异(Skjerlie and Johnson, 1996; Sylvester, 1998), 泥质源区生成的花岗岩 $CaO/Na_2O < 0.3$, 而砂质岩成分源区生成的花岗岩 $CaO/Na_2O > 0.3$ 。钦甲岩体的样品 $CaO/Na_2O > 0.3$, 反映其源岩以砂质成分为主, 少量泥质成分。花岗岩的 Rb-Ba-Sr 元素变化也与其源岩成分有关, Rb/Ba 和 Rb/Sr 体系也能反映其源岩的成分(Skjerlie and Johnson, 1996; Sylvester, 1998), 在 Rb/Ba - Rb/Sr 判别图(图 5)上, 钦甲岩体的样品绝大多数落入砂质岩区域内, 指示其源岩主要由含少量泥质的砂质岩组成。

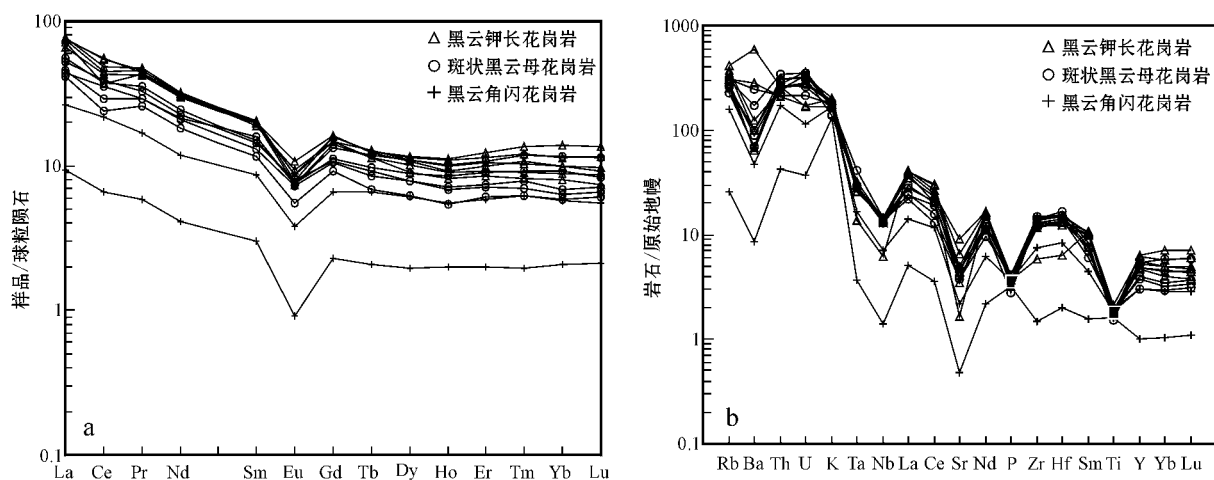


图 4 钦甲岩体的 REE 配分图(a)和微量元素蛛网图(b)

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized spider diagram (b) of the Qinjia granite
球粒陨石标准化值据 Taylor 和 McLennan (1985), 原始地幔标准化值据 Sun 和 McDonough (1989)

Chondrite-normalized REE standard value after Taylor and McLennan (1985), primitive mantle-normalized standard value after Sun and McDonough (1989)

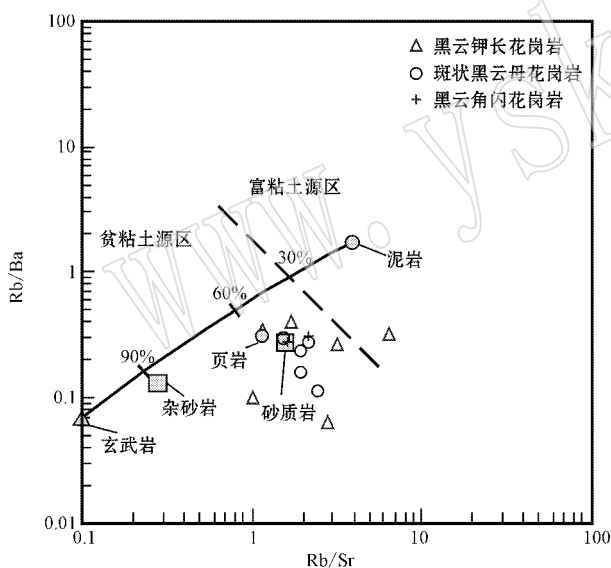


图 5 $Rb/Ba - Rb/Sr$ 图解(据 Sylvester, 1998)

Fig. 5 Diagram of Rb/Ba versus Rb/Sr (after Sylvester, 1998)

钦甲岩体不同单元样品的 δCe 变化范围为 0.67 ~ 1.03, 绝大部分具有较为显著的 Ce 负异常。对于海水、深海沉积物及风化土壤, Ce 异常比较常见 (Taylor and McLennan, 1995; Pan and Stauffer, 2000), 在基性火成岩中仅有少量报道 (White and Patchett, 1984; Ramsay *et al.*, 1984), 此外曾令森等 (2005) 报道美国加州南 Sierra Nevada 岩基中混合岩的浅色体具有显著 Ce 负异常, 而在花岗岩中则鲜有报道。岩浆岩中所观测到的 Ce 异常往往归结为

那些曾参与地表过程(沉积作用或风化作用)的组分参与成岩过程, 如一些大洋岛弧中具有 Ce 负异常的基性岩浆岩要求沉积物参与部分熔融。目前关于岩浆岩中 Ce 负异常的成因主要有两种观点: 一是认为具 Ce 异常的深海沉积物或表壳物质随俯冲作用进入原岩, 参与部分熔融, 形成具 Ce 负异常的基性岩浆 (Hole *et al.*, 1984); 另一种则认为俯冲带发生部分熔融的地幔楔受来自俯冲岩片的脱水交代作用, 导致岩浆的源区具有 Ce 负异常 (White and Patchett, 1984), 但至今并没有足够的证据表明俯冲岩片脱水作用所产生的流体具有 Ce 负异常。此外, Ba 是俯冲带流体中非常丰富的元素, 高 Ba/Th 比值 (> 300) 一般指示俯冲带流体对岩浆源区的贡献比较显著 (Devine, 1995), 而钦甲岩体的 Ba/Th 比值低于 187, 说明俯冲带流体对岩浆源区的影响不很显著。综上所述, 钦甲岩体的形成过程中很可能有具 Ce 异常的深海沉积物或表壳物质参与部分熔融, 这也暗示着华南新元古-早古生代可能有洋盆的存在 (刘宝珺等, 1993; 彭松柏等, 2006)。

4.2 成岩构造环境

钦甲岩体在铝饱和指数图解 (图 6) 中主要落在过铝质区, 与大陆边缘弧花岗岩类及大陆碰撞花岗岩类性质较为相似。用 Pearce 等 (1984) 提出的用微量元素判别花岗岩构造环境的图解进行判别 (图 7), 它们主要分布在火山弧花岗岩与同碰撞花岗岩之间靠近火山弧花岗岩的区域, 暗示与板块的俯冲碰撞

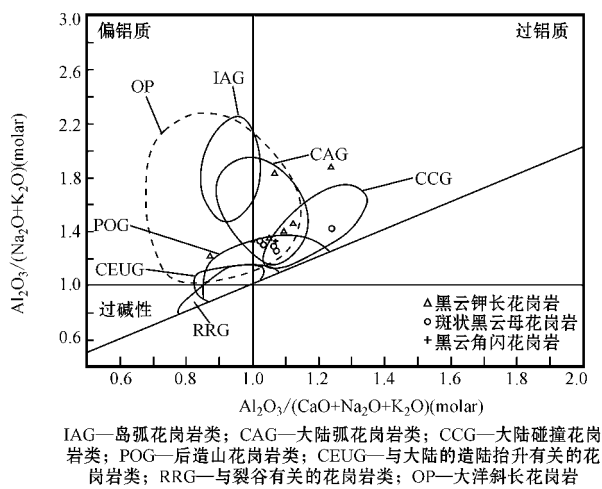


图 6 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 图解 (据 Maniar 和 Piccoli, 1989)

Fig. 6 Diagram of $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ versus $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ (after Maniar and Piccoli, 1989)

有关。该图中 VAG (火山弧花岗岩区) 包括 Maniar 和 Piccoli (1989) 分类中的岛弧花岗岩类和大陆弧花岗岩类, 而岩石地球化学特征表明其不具有岛弧花岗岩的特征。在 SiO_2 对 $\lg \text{CaO}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 图解 (图 8) 中, 钦甲岩体全岩样品数据点全部落在在挤压型与拉张型花岗岩区的重叠部位, 其中黑云钾长花岗岩 ($412.4 \pm 1.4 \text{ Ma}$) 偏向于拉张型花岗岩区, 而斑状黑云母花岗岩 ($442.4 \pm 1.8 \text{ Ma}$) 偏向于挤压型花岗岩区, 黑云角闪花岗岩 ($434.8 \pm 1.7 \text{ Ma}$) 则位于二者的过渡区, 暗示钦甲岩体形成于由挤压逐渐向拉张转变的构造环境。

钦甲岩体的成岩时代范围 $412.4 \sim 442.4 \text{ Ma}$, 为晚奥陶世—志留纪 (王永磊等, 2011), 而奥陶纪是中国南方早古生代加里东构造旋回的重要转折阶段, 主要发生了两次构造幕: 第一幕为郁南运动 (寒

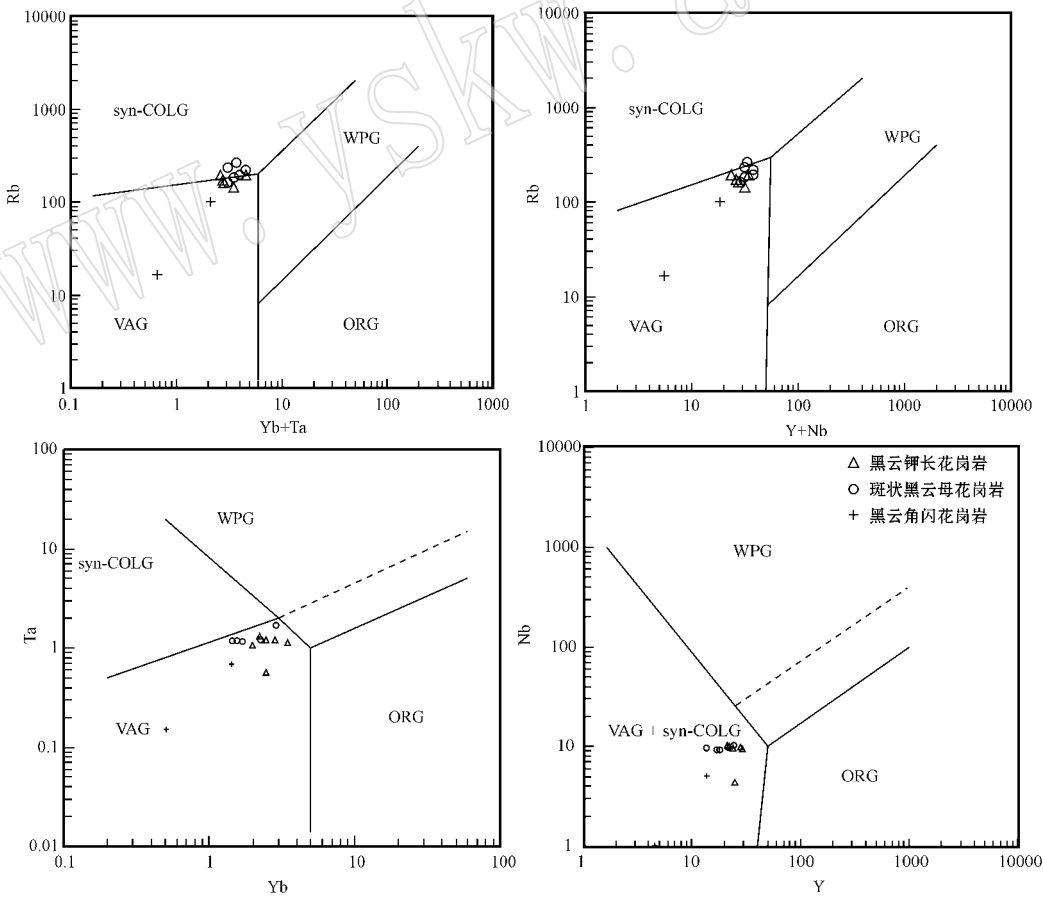


图 7 钦甲岩体形成构造环境的微量元素判别图 (据 Pearce 等, 1984)

Fig. 7 Trace element discrimination of tectonic environments of Qinjia granite (after Pearce *et al.*, 1984)

syn-COLG—同碰撞花岗岩; VAG—弧花岗岩; ORG—洋中脊花岗岩; WPG—板内花岗岩

syn-COLG—syn-collisional granite; VAG—volcanic arc granite; ORG—oceanic granite; WPG—intraplate granite

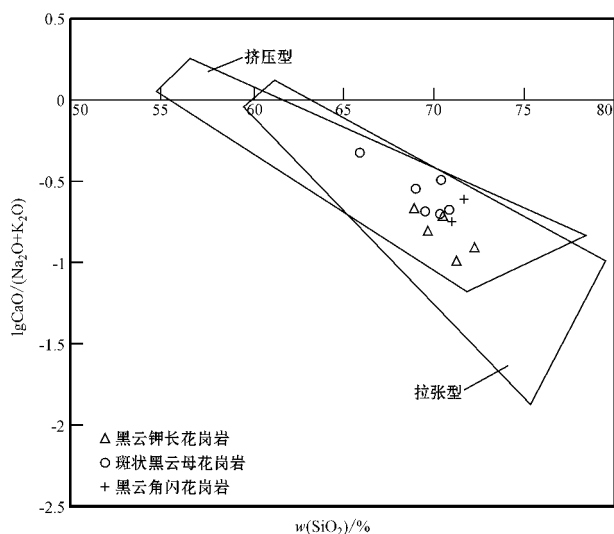


图 8 钦甲岩体 $\lg\text{CaO}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$ 图

Fig. 8 $\lg\text{CaO}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ versus SiO_2 plot of Qinjia granite

武纪—奥陶纪)、第二幕为都匀运动(奥陶纪—志留纪)。这两次构造活动导致海平面转为全面下降的过程,构造变革的地质响应是扬子和华夏两个大陆边缘转化为隆起带,并伴有岩浆活动。自寒武纪经奥陶纪到志留纪,钦甲花岗岩体所处的滇黔桂地区从大片海域演变为大片古陆即“滇黔桂古陆”(刘宝珺等,1994),同时研究区的下古生代地层也在加里东期褶皱上升,经受长期的风化剥蚀,从而缺失了志留—奥陶系。刘宝珺等(1990)认为从中奥陶世开始,华夏板块向北俯冲,导致了加里东期的碰撞,中国南方的构造性质逐渐转为挤压,使扬子陆块东南缘由西向东、由南向北逐渐褶皱抬升,同时在华夏陆块西北缘抬升隆升,形成隆起区。梅冥相等(2005)认为从晚奥陶世到志留纪早期,滇黔桂区域呈北东—南西向展布的大致沿柳州至南宁一线的走滑板块边界,演变为碰撞板块边界,使研究区域抬升为古陆。综上所述,钦甲岩体的形成可能与板块的俯冲碰撞有关,由于受到强烈挤压作用的影响,使地壳岩石部分熔融产生花岗质岩浆,从而形成钦甲岩体,而其不同单元则对应于俯冲碰撞的不同阶段。

5 结论

岩石地球化学研究表明,钦甲岩体的 A/CNK 值为 1.02~1.24,属弱过铝质,具有较低的稀土含量,岩浆来源于早期地壳物质的部分熔融,其源岩主

要为含少量泥质组分的砂质岩,可能有具 Ce 异常的深海沉积物或表壳物质参与部分熔融,暗示华南新元古—早古生代可能有洋盆的存在。结合区域构造演化历史,认为其形成于挤压环境,可能和扬子板块与华夏板块之间的汇聚挤压有关,而且由早期到晚期,其不同单元花岗岩的形成构造环境也由挤压逐渐向拉张转变。

References

- Chen Yuchuan, Pei Rongfu, Zhang Hongliang, *et al.* 1990. The geology of nonferrous and rare metal deposits related to Mesozoic granitoids in the Nanling region, China [J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, 20 : 79~85 (in Chinese with English abstract).
- Cheppell B W and White A J R. 1992. I- and S-type granites in the Lachlan fold belt [J]. *Earth Sciences*, 83(1~2) : 1~26.
- Devine J D. 1995. Petrogenesis of the basalt-andesite-dacite association of Grenada, Lesser Antilles island arc, revisited [J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 69(1~2) : 1~33.
- Hole M J, Saunders A D, Marriner G F, *et al.* 1984. Subduction of pelagic sediments: Implications for the origin of Ce-anomalous basalts from the Mariana Islands [J]. *Journal of Geological Society, London*, 141 : 453~472.
- Liu Baojun and Xu Xiaosong. 1994. *Atlas of Sedimentary-Facies and Palaeogeography in South China* [M]. Beijing: Science Press, 1~339 (in Chinese).
- Liu Baojun, Xu Xiaosong, Pan Xingnan, *et al.* 1993. Sedimentation of Ancient Continent of South China, Its Crust Evolution and Metallogenesis [M]. Beijing: Science Press, 1~236 (in Chinese).
- Liu Baojun, Zhou Minghui and Wang Ruzhi. 1990. Early Palaeozoic palaeogeography and tectonic evolution of South China [J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, 20 : 97~98 (in Chinese with English abstract).
- Liu Shanbao, Wang Denghong, Chen Yuchuan, *et al.* 2010. SHRIMP U-Pb dating of Jingtuo composite pluton in Liulong gold orefield of Xingguo County, southern Jiangxi Province, and its geological significance [J]. *Mineral Deposits*, 29(2) : 290~300 (in Chinese with English abstract).
- Lou Fasheng, Shu Liangshu, Yu Jinhai, *et al.* 2002. Petrological and geochemical characteristics and origin of the Wugongshan dome granite, Jiangxi [J]. *Geological Review*, 48(1) : 80~88 (in Chinese with English abstract).
- Lu Yuanfa. 2004. GeoKit-A geochemical toolkit for microsoft excel [J]. *Geochimica*, 33(5) : 459~464 (in Chinese with English abstract).
- Maniar P D and Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids [J]. *GSA Bull.*, 101(5) : 635~643.
- Mei Mingxiang, Ma Yongsheng, Deng Jun, *et al.* 2005. Tectonic palaeogeographic changes resulting from the Caledonian movement

- and the formation of the Dian-Qian-Gui Basin: Discussion on the deep exploration potential of oil and gas in the Dian-Qian-Gui Basin [J]. *Earth Science Frontiers*, 12(3): 227~236 (in Chinese with English abstract).
- Pan Y and Stauffer M R. 2000. Cerium anomaly and Th/U fractionation in the 1.85 Ga Flin Flon Paleosol: clues from REE- and U-rich accessory minerals and implications for paleoatmospheric reconstruction [J]. *American Mineralogist*, 85: 898~911.
- Pearce J A, Harris N B W and Tindle A. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *Petrol.*, 25(4): 956~983.
- Peng Songbai, Jin Zhenmin, Fu Jianming, *et al.* 2006. Geochemical characteristics of basic intrusive rocks in the Yunkai uplift, Guangdong-Guangxi, China, and their tectonic significance [J]. *Geological Bulletin of China*, 25(4): 434~441 (in Chinese with English abstract).
- Ramsay W R H, Crawford A J and Foden J D. 1984. Field setting mineralogy chemistry and genesis of arc picrites New Georgia Solomon Islands [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 88: 336~402.
- Rickwood P C. 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides for major and minor elements [J]. *Lithos*, 22: 247~263.
- Skjerlie K P and Johnson A D. 1996. Vapour-absent melting from 10 to 20 kbar of crustal rocks that contain multiple hydrous phases: Implications for anatexis in the deep to very deep continental crust and active continental margins [J]. *Journal of Petrology*, 37(3): 661~691.
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes [A]. Saunders A D and Norry M J. *Magmaism in the Ocean Basin* [C]. *Geol. Soc. Special Publ.*, 42: 313~345.
- Sylvester P J. 1998. Post-collisional strongly peraluminous granites [J]. *Lithos*, 45(1~4): 29~44.
- Taylor S R and Mcleannan S M. 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution* [M]. Oxford: Blackwell.
- Taylor S R and McLennan S M. 1995. The geochemical evolution of the continental crust [J]. *Reviews of Geophysics*, 33: 241~265.
- Wang Denghong, Chen Yuchuan, Chen Zhenghui, *et al.* 2007. Assessment on mineral resource in Nanling region and suggestion for further prospecting [J]. *Acta Geologica Sinica*, 81(7): 882~890 (in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong, Chen Zhenghui, Chen Yuchuan, *et al.* 2010. New data of the rock-forming and ore-forming chronology for China's important mineral resources areas [J]. *Acta Geologica Sinica*, 84(7): 1 030~1 040 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yonglei, Wang Denghong, Zhang Changqing, *et al.* 2011. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Qinjia granite in Guangxi Province and its geologic significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 85(4): 475~481 (in Chinese with English abstract).
- White W M and Patchett J. 1984. Hf-Nd-Sr isotopes and incompatible element abundances in island arcs: implications for magma origins and crust-mantle relations [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 67: 167~185.
- Xu Deru, Chen Guanghao, Xia Bin, *et al.* 2006. The Caledonian adakite-like granodiorites in Banshanpu area, eastern Hunan Province, South China: Petrogenesis and geological significance [J]. *Geological Journal of China Universities*, 12(4): 507~521 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Lingsen, Mihai DUCEA and Jason SALEEBY. 2005. The formation of leucosomes with pronounced negative Ce anomalies from metasediment partial melting: Implications for the origins of Ce anomalies in oceanic island arc lavas [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 24(5): 425~430 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Fangrong, Shu Liangshu, Wang Dezi, *et al.* 2009. Discussions on the tectonic setting of Caledonian granitoids in the eastern segment of South China [J]. *Earth Science Frontiers*, 16(1): 248~260 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈毓川, 裴荣富, 张宏良, 等. 1990. 南岭地区与中生代花岗岩类有关的有色、稀有金属矿床地质 [J]. *中国地质科学院院报*, 20: 79~85.
- 刘宝瑒, 许效松. 1994. *中国南方岩相古地理图集* [M]. 北京: 科学出版社, 1~339.
- 刘宝瑒, 许效松, 潘杏南, 等. 1993. *中国南方古大陆沉积、地壳演化与成矿* [M]. 北京: 科学出版社, 1~236.
- 刘宝瑒, 周名魁, 王汝植. 1990. 中国南方早古生代古地理轮廓与构造演化 [J]. *中国地质科学院院报*, 20: 97~98.
- 刘善宝, 王登红, 陈毓川, 等. 2010. 赣南兴国留龙金矿田井头复式岩体锆石 SHRIMP U-Pb 定年及地质意义 [J]. *矿床地质*, 29(2): 290~300.
- 楼法生, 舒良树, 于津海, 等. 2002. 江西武功山穹隆花岗岩岩石地球化学特征与成因 [J]. *地质论评*, 48(1): 80~88.
- 路远发. 2004. GeoKit: 一个用 VAB 构建的地球化学工具软件包 [J]. *地球化学*, 33(5): 459~464.
- 梅冥相, 马永生, 邓 军, 等. 2005. 加里东运动构造古地理及滇黔桂盆地的形成——兼论滇黔桂盆地深层油气勘探潜力 [J]. *地学前缘*, 12(3): 227~236.
- 彭松柏, 金振民, 付建明, 等. 2006. 两广云开隆起区基性侵入岩的地球化学特征及其构造意义 [J]. *地质通报*, 25(4): 434~441.
- 王登红, 陈毓川, 陈郑辉, 等. 2007. 南岭地区矿产资源形势分析和找矿方向研究 [J]. *地质学报*, 81(7): 882~890.
- 王登红, 陈郑辉, 陈毓川, 等. 2010. 我国重要矿产成岩成矿年代学研究新数据 [J]. *地质学报*, 84(7): 1 030~1 040.
- 王永磊, 王登红, 张长青, 等. 2011. 广西钦甲花岗岩体单颗粒锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义 [J]. *地质学报*, 85(4): 475~481.
- 许德如, 陈广浩, 夏 斌, 等. 2006. 湘东地区板杉铺加里东期埃达克质花岗岩闪长岩的成因及地质意义 [J]. *高校地质学报*, 12(4): 507~521.
- 曾令森, Mihai DUCEA, Jason SALEEBY. 2005. 变泥质岩的深熔作用与具铈 (Ce) 负异常熔体的成因 [J]. *岩石矿物学杂志*, 24(5): 425~430.
- 张芳荣, 舒良树, 王德滋, 等. 2009. 华南东段加里东期花岗岩类形成构造背景探讨 [J]. *地学前缘*, 16(1): 248~260.