

文章编号: 1000- 6524 (2002) 03- 0197- 12

桂北前寒武纪花岗岩类岩石的 地球化学与成因

邱检生^{1,2}, 周金城², 张光辉², 凌文黎³

(1. 南京大学 成矿作用国家重点实验室, 江苏 南京 210093; 2. 南京大学 地球科学系,
江苏 南京 210093; 3. 中国地质大学 地球科学学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 桂北广泛发育前寒武纪花岗岩类岩石, 按岩石组合特征可区分为二类, 一类为花岗闪长质岩石, 另一类为黑云母花岗质岩石。二类岩石的 A/NKC 值均在 1.10 以上, 属铝过饱和岩石, 但花岗闪长质岩石相对贫硅、钾, 富铁、镁, 贫铷、富锶、钡, 并具有较高的稀土元素总量和轻重稀土元素比值; 黑云母花岗质岩石则具更显著的铷负异常。二类岩石 $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ 值的变化范围与四堡群基底相近, 但花岗闪长质岩石更接近四堡群基底中的变质镁铁质-超镁铁质杂岩, 黑云母花岗质岩石则更靠近四堡群基底中的浅变质沉积岩。对岩石产出动力地质背景的全面分析表明, 区内二类花岗质岩石是华夏地块与扬子地块碰撞俯冲作用的不同阶段由成熟度不同的四堡群变质基底在不同深度经部分熔融作用的产物。

关键词: 花岗岩类岩石; 地球化学; 岩石成因; 前寒武纪; 广西北部

中图分类号: P588.12⁺ 1; P595

文献标识码: A

Geochemistry and petrogenesis of Precambrian granitoid rocks in northern Guangxi

QIU Jian_sheng^{1,2}, ZHOU Jin_cheng², ZHANG Guang_hui² and LING Wen_li³

(1. State Key Laboratory of Mineral Deposit Research of Nanjing University, Nanjing 210093, China; 2. Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 3. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Precambrian granitoid rocks are widely distributed in northern Guangxi. According to rock associations, these granitoid rocks can be grouped into two types, i. e., granodioritic rocks and biotite granitic rocks. The A/NKC values of both types of rocks are higher than 1.10, and hence they can both be assigned to aluminum over_saturation rocks. However, geochemical differences between the two types of rocks are also quite obvious. Compared with the biotite granitic rocks, the granodioritic rocks are relatively poor in silica and potassium

收稿日期: 2001- 08- 28; 修订日期: 2002- 03- 12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49872030); 国土资源部壳幔体系组成、物质交换及动力学开放实验室研究基金资助项目

作者简介: 邱检生(1965-), 男, 博士, 副教授, 从事岩石学及地球化学研究。

and enriched in iron and magnesium, and have lower rubidium abundance and higher strontium and barium content. As for REE content, the granodioritic rocks have higher Σ REE values and higher LREE/HREE ratios, whereas the biotite granitic rocks display quite clear negative europium anomalies. The variation ranges of $\epsilon_{Nd}(T)$ values of the two types of granitoid rocks are similar to those of the basement rocks (Sibao Group), but the $\epsilon_{Nd}(T)$ values of granodioritic rocks are more close to those of the metamorphic mafic - ultramafic rocks of the Sibao Group, and the biotite granitic rocks are close to the metasedimentary rocks of the Sibao Group in this aspect. Based on a comprehensive analysis of their tectonic setting, it is concluded that the two types of granitoid rocks were formed at different stages of the collision between the Cathaysia block and the Yangtze block, and were produced by partial melting of the Sibao Group with different maturities at different depths.

Key words: granitoid rocks; geochemistry; petrogenesis; Precambrian; northern Guangxi

桂北的罗城、融水一带是华南最古老花岗岩出露的典型地区, 该区分布有一系列前寒武纪花岗岩类岩石。按岩石组合特征, 这些岩石可分为二类, 一类为中酸性岩, 主要岩性为花岗闪长岩, 有少量石英闪长岩、英云闪长岩等, 代表性岩体有龙有、大寨、寨滚、蒙洞口、洞马和本洞等; 另一类为酸性岩, 主要岩性为黑云母花岗岩、黑云母二长花岗岩及少量二云母碱长花岗岩等, 典型岩体有平英、田朋、三防、元宝山等。前人对上述岩体进行过不同程度的研究, 特别是对本洞岩体和三防岩体的工作尤为深入, 积累了丰富的资料(王德滋等, 1982; 赵子杰等, 1987; 毛景文等, 1988; 李献华等, 1999; 葛文春等, 2001), 但对二类岩石的成因认识存在明显分歧。本文在系统对比其地质地球化学特征的基础上, 进一步探讨了岩石的成因。

1 岩体地质及岩石学特征

区内前寒武纪花岗岩在空间分布上明显受 NNE 向深大断裂的控制(图 1)。花岗闪长质岩石多呈椭圆状或不规则状小岩株侵入四堡群中, 部分岩体被丹洲群覆盖并被黑云母花岗质岩石侵入, 如本洞岩体的东部被丹洲群覆盖, 西北部被三防岩体侵入; 寨滚岩体的北部被田朋岩体侵入。这类岩体分布面积较小, 最大的本洞岩体面积约 43 km^2 , 其余岩体的面积多在 10 km^2 以下。黑云母花岗质岩石分布面积较大, 呈岩基或岩株产出, 最大的三防岩体面积达 767 km^2 , 近年来被肢解为更丹、吉羊、汪洞、水碾和兰马 5 个岩石单元^①。平英、田朋等岩体与区内锡多金属矿化密切相关(陈毓川等, 1995)。

对二类花岗岩的形成时代, 前人已发表较多的同位素年龄数据。早期的年龄数据较分散, 如本洞岩体的年龄变化于 $957 \sim 1100 \text{ Ma}$ 之间(伍实, 1976; 赵子杰等, 1987), 三防岩体的年龄变化于 $668 \sim 899 \text{ Ma}$ 之间(饶冰等, 1989; 赵子杰等, 1987; 陈毓川等, 1995), 新近发表的高精度 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年结果表明, 区内二类花岗岩的形成年龄相近, 均为 $820 \sim 825 \text{ Ma}$ (李献华, 1999), 同属晚元古代晋宁期岩浆活动的产物。由于野外可见三防岩体侵入本洞岩体, 田朋岩体侵入寨滚岩体, 且本洞岩体的东部被丹洲群覆盖, 而三防岩体的

^① 广西第七地质队. 1995. 三防幅区域地质调查报告(1:50000).

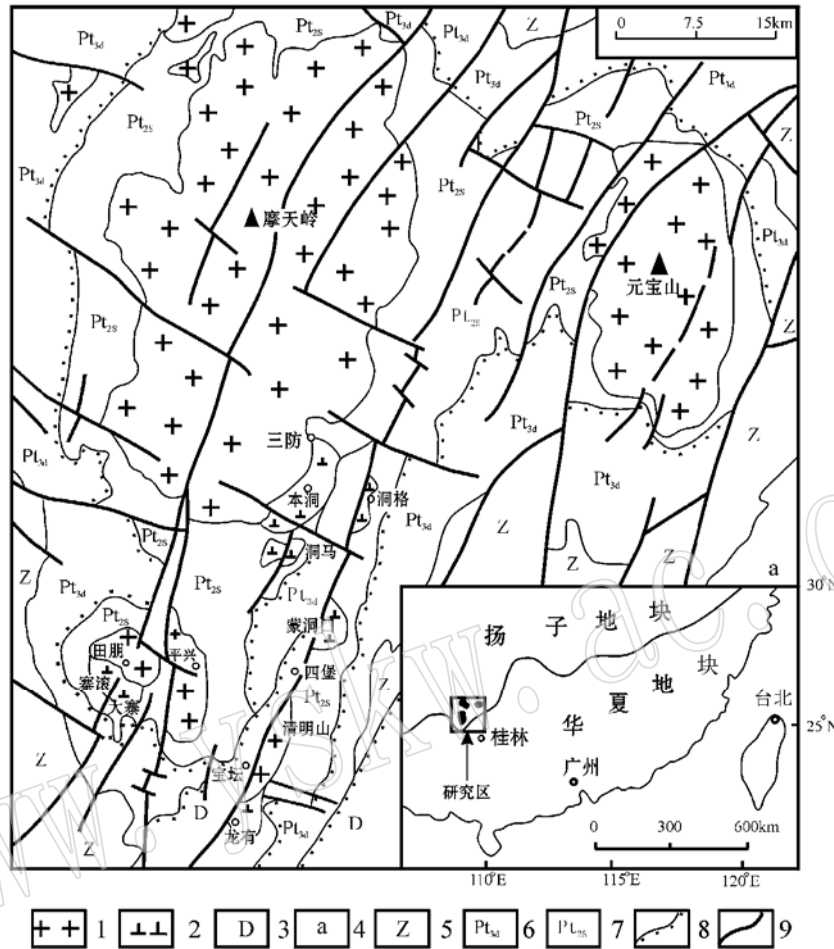


图 1 桂北前寒武纪花岗岩类岩石分布略图[据刘家远(1994)修改]

Fig. 1 Sketch geological map showing the distribution of Precambrian granitoid rocks in northern Guangxi
1—黑云母花岗岩; 2—花岗闪长岩; 3—泥盆系; 4—寒武系; 5—震旦系; 6—晚元古代丹洲群; 7—中元古代四堡群;
8—地层不整合界线; 9—断层

北部侵入丹洲群中,说明区内花岗闪长质岩石形成早,黑云母花岗质岩石形成晚。结合已有的年龄资料,我们认为陈毓川等(1995)将区内前寒武纪花岗岩分为四堡晚期和雪峰期的观点更符合地质实际,即以本洞为代表的花岗闪长质岩石形成于四堡晚期,而以三防岩体为代表的黑云母花岗质岩石形成于雪峰期。

花岗闪长质岩石的矿物组成主要为石英 14%~35%、斜长石($An = 5 \sim 40$) 32%~49%、钾长石 3%~18% 和黑云母 6%~20%, 缺乏角闪石,副矿物组合中普遍出现电气石,本洞岩体中还见有少量石榴子石^①。黑云母花岗质岩石的主要造岩矿物为石英 5%~49%、钾长石 32%~50%、斜长石($An = 5 \sim 10$) 10%~25%、黑云母 1%~5%。在三防岩体中还含有少量白云母,副矿物组合中除含电气石外,还普遍出现石榴子石,并发现有少量刚玉,显示

① 广西第七地质队. 1995. 三防幅区域地质调查报告(1:50000).

岩石具过铝特征。二类岩石中的黑云母在化学成分上存在较明显的差别,花岗闪长质岩石中黑云母富镁贫铁($MgO=9.40\% \sim 13.00\%$, $FeO=12.17\% \sim 18.34\%$,单矿物湿法化学分析值,下同),MF值较大,变化于 $0.46 \sim 0.60$,属镁铁质黑云母;而黑云母花岗质岩石中黑云母则相对富铁贫镁($MgO=4.31\% \sim 4.43\%$, $FeO=26.26\% \sim 26.31\%$),MF值较小($0.21 \sim 0.22$),属铁质黑云母(地矿部南岭项目花岗岩组,1989)。

2 地球化学

2.1 主元素

表1列出了区内二类花岗质岩石代表性岩体的岩石化学成分、CIPW标准矿物组成及

表1 桂北前寒武纪花岗岩代表性岩体岩石化学成分($w_B/\%$)、CIPW标准矿物及主要岩石化学参数
Table 1 Petrochemical compositions, CIPW normative minerals and predominant petrochemical parameters of the representative Precambrian granites in northern Guangxi

岩性 岩体名称 样号	花岗闪长质岩石					黑云母花岗质岩石			
	蒙洞口 MD-5	龙有 LY-21	大寨 DZ-23	寨滚 CG-26	本洞 BD-37	平英 PY-7	田朋 PY-13	田朋 TB-28	三防 SF-35
SiO ₂	69.52	65.00	65.78	66.58	70.82	72.26	76.70	75.66	76.94
TiO ₂	0.35	0.54	0.55	0.54	0.26	0.05	0.07	0.07	0.20
Al ₂ O ₃	14.86	14.74	15.46	15.23	14.79	13.10	13.09	12.82	11.79
Fe ₂ O ₃	1.30	1.27	1.06	1.56	0.69	0.56	0.81	0.37	0.69
FeO	2.04	3.82	3.73	3.07	1.97	0.86	0.38	1.10	1.41
MnO	0.08	0.09	0.09	0.10	0.06	0.03	0.04	0.03	0.05
MgO	1.80	3.48	2.87	2.76	1.48	0.26	0.26	0.20	0.54
CaO	1.88	3.15	2.92	3.25	1.58	0.30	0.27	0.50	1.14
Na ₂ O	2.43	2.18	2.32	2.46	2.59	2.80	2.59	3.08	2.18
K ₂ O	4.20	3.21	3.14	3.28	4.03	5.16	5.12	5.26	4.07
P ₂ O ₅	0.18	0.17	0.26	0.17	0.24	0.23	0.15	0.18	0.16
灼减	1.43	1.73	1.60	1.41	1.26	0.82	0.95	0.94	0.81
总量	100.07	99.38	99.78	100.41	99.77	100.43	100.43	100.21	99.98
Q	32.5	26.8	28.6	27.7	34.7	37.0	41.7	36.3	45.5
Ab	20.8	18.9	20.0	21.0	22.2	24.8	22.0	26.3	18.6
Or	25.2	19.4	18.9	19.6	24.2	31.9	30.4	31.3	24.3
An	8.3	14.9	13.0	15.2	6.4		0.4	1.3	4.7
C	3.4	2.4	3.6	2.1	3.9	3.0	3.2	1.6	2.1
Mt	1.9	1.9	1.6	2.3	1.0	0.8	1.2	0.5	1.0
Ilm	0.7	1.1	1.1	1.0	0.5	0.1	0.1	0.1	0.4
ALK	6.63	5.39	5.46	5.74	6.62	7.96	7.71	8.34	6.25
N/K	0.58	0.68	0.74	0.75	0.64	0.54	0.51	0.59	0.54
AKI	0.57	0.48	0.47	0.50	0.58	0.78	0.74	0.84	0.68
A/NKC	1.24	1.15	1.23	1.13	1.29	1.22	1.27	1.10	1.17
DI	78.5	65.1	67.5	68.3	81.1	93.6	94.2	93.8	88.3

Q—石英; Ab—钠长石; Or—钾长石; An—钙长石; C—刚玉; Mt—磁铁矿; Ilm—钛铁矿; ALK = $(Na_2O + K_2O)$; N/K = (Na_2O / K_2O) ; AKI = $(Na_2O + K_2O) / Al_2O_3$ (分子比); A/NKC = $Al_2O_3 / (Na_2O + K_2O + CaO)$ (分子比); DI—分异指数; 由南京大学地球科学系中心实验室用湿法化学法测定。

主要岩石化学参数, 结合前人已有的资料^{①②}, 编制了二类岩石 SiO₂ 含量对主要氧化物及有关岩石化学参数图解(图 2)。由图表可以看出, 与黑云母花岗质岩石相比, 花岗闪长质岩石贫硅、钾、富铁、镁、钙、锰。花岗闪长质岩石 SiO₂ 含量变化幅度较大, 与主要氧化物之间有明显的线性演化关系; 而黑云母花岗质岩石 SiO₂ 含量变化范围窄, 与主要氧化物之间线性演化关系不显著。花岗闪长质岩石的分异指数(DI 值)较低, 主要变化于 60~ 80 之间, 而黑云母花岗质岩石的 DI 值则多在 90 以上, 说明后者的分异演化程度高。由于二类岩石出露面积相差悬殊, 据统计, 相对偏基性的花岗闪长质岩石的出露面积仅相当于酸性黑云母花岗质岩石的 6% 左右, 这一现象不支持二者为同源岩浆分异演化产物的观点, 它们更可能具有各自独立的岩浆源。二类岩石的 Na₂O 含量相近(图 2f), 黑云母花岗岩类全碱(K₂O+Na₂O)和 AKI 值明显偏高(图 2g, h)。二类岩石的 A/NKC 值不存在显著差别, 绝大多数样品均在 1.10 以上(图 2i), CIPW 标准矿物中均出现刚玉, 可归为过铝质花岗岩, 这一富铝的成分特征指示二者的源区物质组成主要为硅铝质的地壳物质, 但其他化学成分之间的差异又说明它们的源区组成并非完全相同。花岗闪长质岩石相对贫硅, 富钙、镁、铁的特征除指

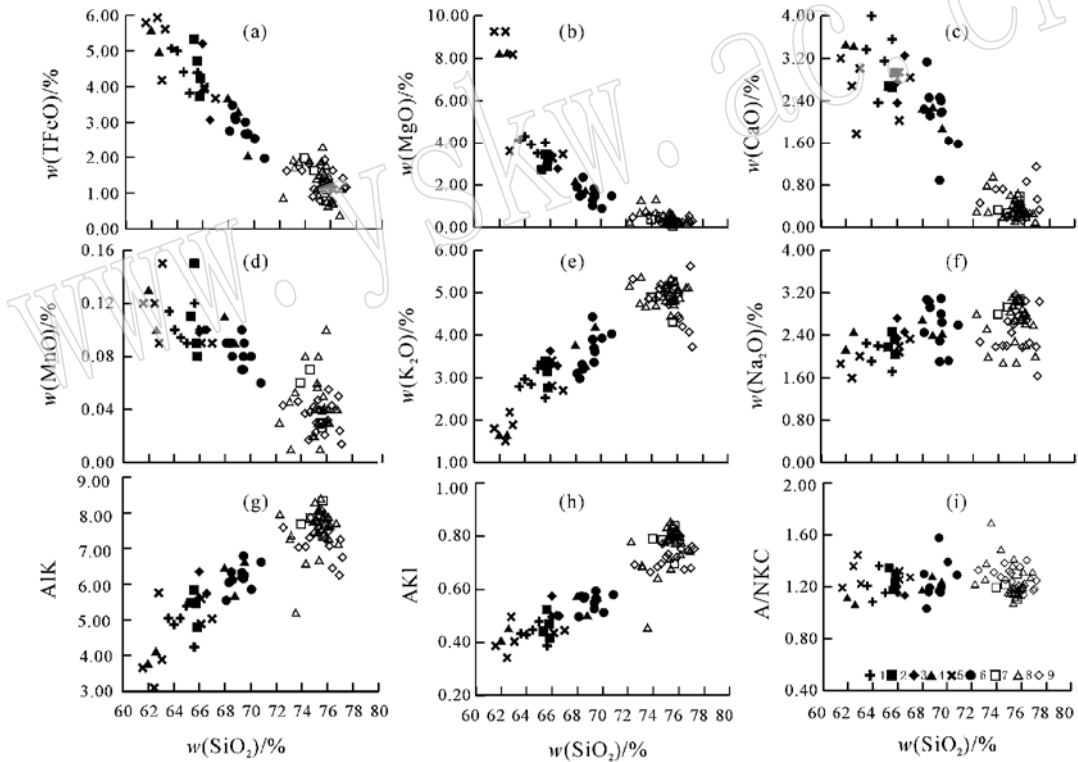


图 2 桂北前寒武纪二类花岗岩 SiO₂ 和氧化物及有关岩石化学参数关系图解

Fig. 2 Diagrams of SiO₂ versus oxides, SiO₂ versus petrochemical parameters of two types of Precambrian granites in northern Guangxi

1—龙有; 2—大寨; 3—寨滚; 4—蒙洞口; 5—洞马; 6—本洞; 7—田册; 8—平英; 9—三防

① 广西区调队. 1987. 宝坛地区区域地质调查报告(1: 50 000).

② 广西第七地质队. 1995. 三防幅区域地质调查报告(1: 50 000).

示其分异演化程度较低外,更大程度上可能反映其源区物质成熟度低,或在成岩过程中有少量幔源组分加入。

2.2 微量元素及稀土元素

表2列出了区内二类岩石代表性岩体的微量元素及稀土元素含量。与黑云母花岗质岩石相比,花岗闪长质岩石相对贫Rb,富Sr、Ba,二者的Rb/Sr值分别为0.96~1.27、3.98~

表2 桂北前寒武纪花岗质岩石代表性岩体稀土元素和微量元素含量 $w_B/10^{-6}$

Table 2 Trace element and REE contents of the representative Precambrian granitic rocks in northern Guangxi

岩性 岩体名称 样品	花岗闪长质岩石					黑云母花岗质岩石			
	蒙洞口	龙有	大寨	寨滚	本洞	平英		田朋	三防
	MD-5	LY-21	DZ-23	CG-26	BD-37	PY-7	PY-13	TB-28	SF-35
Rb	191	143	131	141	191	404	459	428	223
Sr	200	164	152	162	150	15	14	13	56
Ba	715	507	500	638	624	291	301	74	158
U	2	1	2	1	3	5	5	14	4
Th	13	13	13	14	12	10	9	10	13
Nb	10	9	12	10	10	13	14	11	7
Zr	144	159	172	170	103	59	62	62	106
Hf	4	5	4	7	5	6	4	4	4
Ga	18	16	18	15	16	19	17	16	14
Sc	11.5	16.9	15.8	14.8	9.7	4.2	4.4	4.2	5.6
Y	29	24	27	26	23	26	29	28	34
V	44	105	86	66	35	8	5	4	23
Co	7	11	12	12	4	/	6	/	5
Ni	26	68	54	39	26	12	11	10	12
Pb	40	13	22	35	29	33	29	29	30
Zn	58	78	76	72	35	29	25	26	43
Rb/Sr	0.96	0.87	0.86	0.87	1.27	26.93	32.79	32.92	3.98
Rb/Ba	0.27	0.28	0.26	0.22	0.31	1.39	1.52	5.78	1.41
La	38.71	37.96	38.06	38.57	28.10	8.70	8.16	11.43	27.78
Ce	78.41	73.19	77.43	75.67	54.24	18.67	17.76	22.07	52.76
Pr	9.07	8.43	8.94	8.65	6.22	2.71	2.65	2.97	6.27
Nd	35.81	33.78	34.97	34.38	24.36	8.26	8.07	9.23	22.83
Sm	7.29	6.60	6.91	6.76	5.01	2.58	2.55	2.74	5.24
Eu	1.25	1.21	1.22	1.21	0.94	0.07	0.10	0.12	0.51
Gd	6.80	5.95	6.48	6.12	4.86	2.96	3.04	3.16	5.76
Tb	0.98	0.85	0.93	0.88	0.74	0.64	0.67	0.66	1.00
Dy	5.79	4.93	5.47	5.27	4.32	4.36	4.67	4.48	6.77
Ho	1.19	1.02	1.15	1.10	0.89	0.85	0.94	0.87	1.48
Er	3.03	2.60	2.95	2.85	2.27	2.24	2.53	2.29	3.94
Tm	0.47	0.41	0.47	0.44	0.35	0.39	0.43	0.39	0.61
Yb	3.08	2.66	3.11	2.94	2.29	2.66	3.08	2.68	4.01
Lu	0.46	0.39	0.47	0.44	0.34	0.36	0.42	0.36	0.55
ΣREE	192.34	179.99	188.56	185.28	134.91	55.44	55.06	63.43	139.49
LREE/HREE	7.82	8.57	7.97	8.25	7.40	2.84	2.49	3.26	4.79
(La/Yb) _N	9.02	10.25	8.77	9.40	8.80	2.35	1.90	3.06	4.97
(La/Sm) _N	3.43	3.72	3.55	3.69	3.62	2.18	2.07	2.69	3.43
(Gd/Yb) _N	1.83	1.85	1.72	1.72	1.76	0.92	0.82	0.98	1.19
δEu	0.53	0.58	0.55	0.57	0.57	0.08	0.11	0.12	0.28

“/”表示低于检测值;稀土元素及Sc由南京大学成矿作用国家重点实验室用ICP-AES方法测定,其余由南京大学现代分析中心用XRF方法测定。

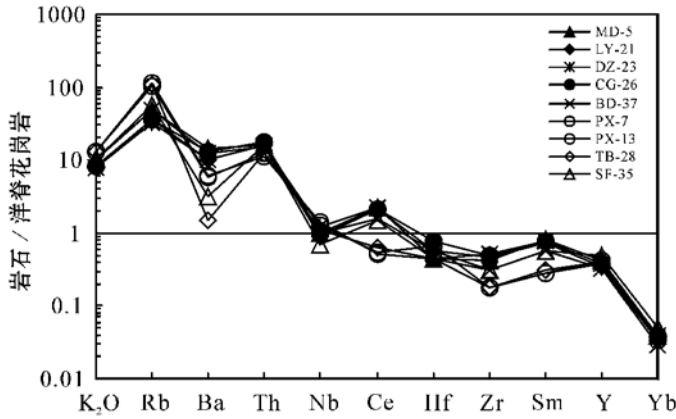


图3 桂北前寒武纪花岗岩微量元素标准化配分型式
Fig. 3 Ocean ridge granite (ORG) normalized trace element patterns of the Precambrian granites in northern Guangxi

32.92, Rb/Ba 值分别为0.22~0.31、1.39~5.78, 这一特征也指示二者除分异演化程度不同外, 源区组成应存在差异。黑云母花岗质岩石的微量元素组成与区内四堡群基底中的浅变质沉积岩有明显的相似性(饶冰等, 1989), 表征二者在成因上存在密切联系。二类岩石相对于洋脊花岗岩(Pearce *et al.*, 1984) 标准化的配分型式相似(图3), 均可与碰撞型花岗岩相对比。在花岗岩类构造环境判别图上(图4), 二类岩石均

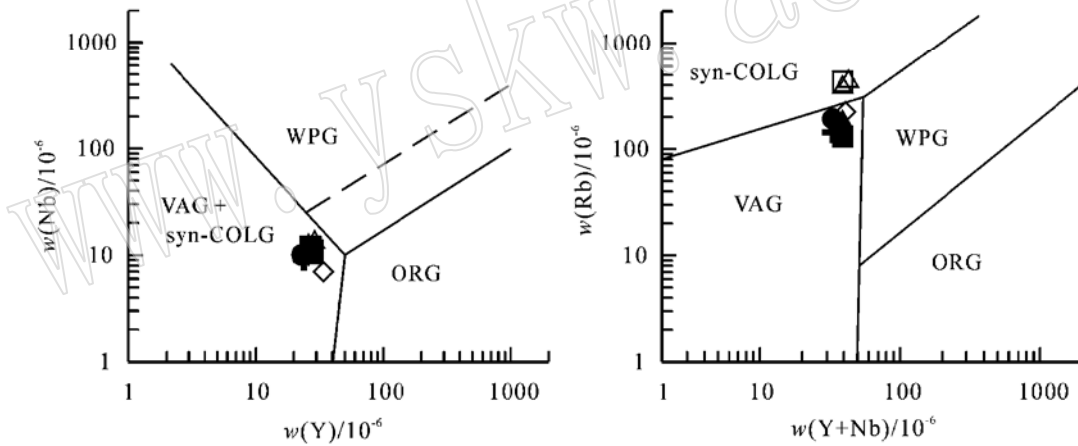


图4 桂北前寒武纪花岗岩微量元素构造判别图(据Pearce *et al.*, 1984)

Fig. 4 Trace element tectonic discrimination diagram of the Precambrian granites in northern Guangxi
VAG—火山弧花岗岩; ORG—洋脊花岗岩; WPG—板内花岗岩; syn-COLG—同碰撞花岗岩; 图例同图2

投影于火山弧与同碰撞花岗岩区, 表明二类花岗质岩石的形成均与碰撞造山作用有关。

二类岩石均富集轻稀土元素, 并具有不同程度的铕负异常(表2, 图5), 可与华南陆壳重熔型花岗岩(徐克勤等, 1989)相对比, 但二类岩石仍存在较显著的差异。与黑云母花岗质岩石相比, 花岗闪长质岩石稀土元素总量较高, 轻重稀土元素的分馏更明显, 其 ΣREE 值和 LREE/HREE 值主要变化于 $132.69\sim 192.34(10^{-6})$ 和 $7.40\sim 10.99(10^{-6})$ 之间, 而黑云母花岗质岩石的相应值则分别为 $28.64\sim 139.49(10^{-6})$ 和 $1.81\sim 6.23(10^{-6})$ (图6a), 稀土元素总量的变化范围更大。此外, 花岗闪长质岩石的铕负异常不及黑云母花岗质岩石显著, 二者的 δEu 值分别为 $0.50\sim 0.75$ 和 $0.08\sim 0.49$ (图6b), 表明黑云母花岗质岩石经历了较显著的斜长石分离结晶作用。花岗闪长质岩石的稀土元素特征与区内四堡群中的镁铁-超镁

铁质杂岩有一定的相似性(赵子杰等, 1987), 表明基底地层中的变质镁铁-超镁铁质岩石可能参与成岩过程, 花岗闪长质岩石高的过渡族元素含量及副矿物组合中存在铬铁矿、铬尖晶石等特征也证实了这种推断。

2.3 Sr-Nd 同位素地球化学

对于区内二类花岗质岩体(尤其是本洞和三防岩体)的 Sr-Nd 同位素组成, 前人已积累了较多资料(李志昌等, 1991; 葛文春等, 2001), 笔者对前人工作较薄弱的岩体补测了其 Sr-Nd 同位素组成(表 3)。

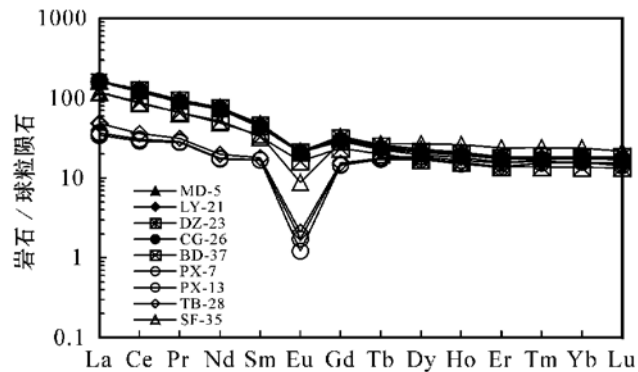


图 5 桂北前寒武纪花岗岩稀土元素球粒隕石标准化配分型式
Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of the Precambrian granites in northern Guangxi

由于 Rb-Sr 同位素体系的抗扰动能力较差, 加之

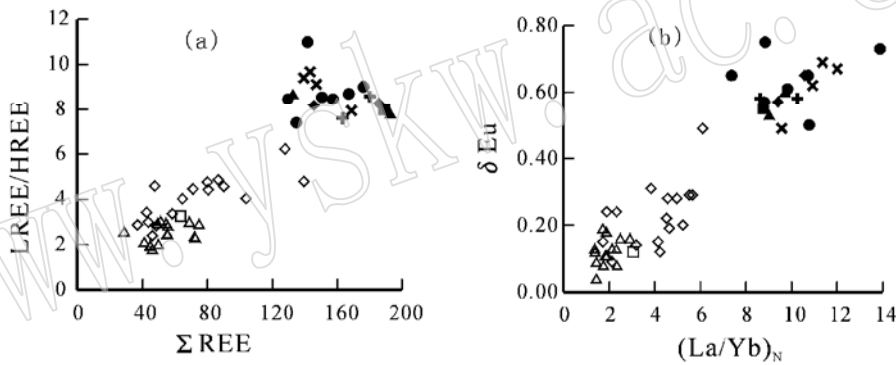


图 6 桂北前寒武纪花岗岩 LREE/HREE-ΣREE 及 δEu-(La/Yb)_N 关系图

Fig. 6 LREE/HREE-ΣREE and δEu-(La/Yb)_N diagrams of the Precambrian granites in northern Guangxi

图例同图 2

表 3 桂北前寒武纪花岗岩代表性岩体 Rb-Sr-Sm-Nd 同位素测定结果

Table 3 Rb-Sr and Sm-Nd isotopic composition of the Precambrian granites in northern Guangxi

样号	岩体	岩性	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	I_{Sr}	$\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}$	$\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}$	I_{Nd}	$\epsilon_{\text{Nd}}(T)$	$T_{\text{DM}}(T)$
MD_5	蒙洞口	花岗岩	2.819	0.739727 ± 16	0.69941	0.1158	0.512033 ± 5	0.511410	-1.45	1.75
LY_21	龙有	闪长岩	2.575	0.741424 ± 25	0.70460	0.1181	0.511938 ± 5	0.511303	-3.60	1.92
CG_26	寨滚	闪长岩	2.583	0.740745 ± 26	0.70380	0.1152	0.511943 ± 4	0.511324	-3.13	1.89
PY_13	平英	黑云母花岗岩	111.5	2.092057 ± 41	0.81820	0.1905	0.512391 ± 10	0.511367	-4.19	1.81
TB_28	田册	花岗岩	102.7	2.112355 ± 39	0.93903	0.1617	0.512304 ± 9	0.511435	-2.94	1.71

由国土资源部壳幔体系组成、物质交换及动力学开放实验室测定, 其中 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 和 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 所示的 2σ 误差为小数点后的最后位数; 花岗闪长岩和黑云母花岗岩的 I_{Sr} 和 $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ 值分别以 $t = 1000 \text{ Ma}$ 和 $t = 800 \text{ Ma}$ 计算, 为减少 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 变化对 Nd 模式年龄计算产生的影响, 表中所列 T_{DM} 年龄统一采用二阶段模式计算。

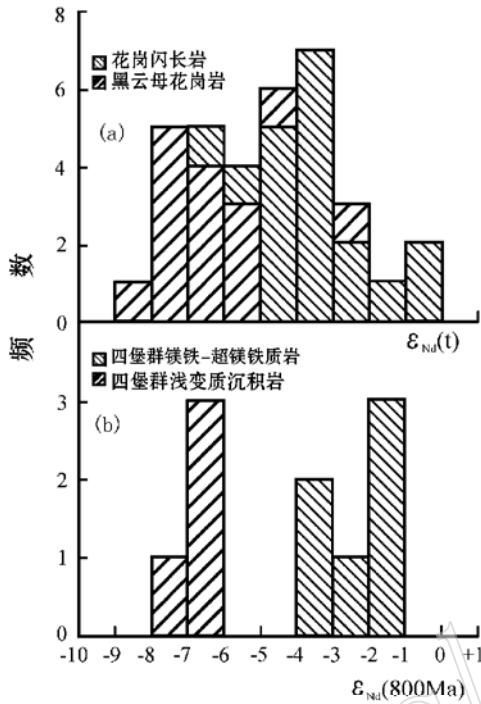


图7 桂北前寒武花岗岩与四堡群基底 εNd(T) 值分布直方图

Fig. 7 Histogram for the εNd(T) values of Precambrian granites and basement rocks of Sibao Group in northern Guangxi province

本文所研究的岩体形成时代均较老,因而导致了区内二类花岗质岩石的锶同位素初始比变化范围大,甚至出现了花岗闪长质岩石部分样品的 I_{Sr} 值小于 0.7000, 而黑云母花岗质岩石样品的 I_{Sr} 值普遍大于 0.8000 的不合理结果, 因此, 我们认为这类岩石的锶同位素组成不具有明确的成因意义。钕同位素组成由于其具强抗扰动性, 对于示踪前寒武纪花岗岩类的源区性质十分有效。由表 3 所列数据, 结合前人对区内二类花岗岩的 Nd 同位素测定资料(李志昌, 1991; 李献华, 1996; 葛文春等, 2001), 构筑了它们的 Nd 同位素组成分布直方图(图 7a)。由图可看出, 二类岩石的 $\epsilon_{Nd}(T)$ 值均小于 0, 反映它们主要起源于地壳物质的部分熔融, 但花岗闪长质岩石的 $\epsilon_{Nd}(T)$ 值较之黑云母花岗岩的 $\epsilon_{Nd}(T)$ 值相对偏高, 前者一般大于 -5, 而后者则多小于 -5, 说明二者的源区组成存在差别。进一步和区内四堡群基底变质岩的 Nd 同位素组成(李献华, 1996) 进行对比(将其 Nd 同位素组成校正到 800 Ma, 图 7b), 可以看出, 花岗岩的钕同位素组成变化范围与四堡群变质基底相似, 二类花岗岩的二阶段钕模式年龄也与四堡群的钕模式

年龄(李献华等, 1996) 相当, 说明二类花岗岩的成因与四堡群基底存在密切联系。对比二类花岗岩与四堡群基底中各岩石钕同位素组成可发现, 花岗闪长质岩石的 $\epsilon_{Nd}(T)$ 值更接近四堡群基底中的变质镁铁质-超镁铁质杂岩, 而黑云母花岗质岩石的 $\epsilon_{Nd}(T)$ 值更靠近四堡群基底中的浅变质沉积岩(图 7)。结合二类岩石形成时代上的差异, 我们认为区内二类花岗岩是四堡群基底二次熔融事件的产物, 其中花岗闪长质岩石最可能为夹杂着镁铁-超镁铁质杂岩的成熟度较低的四堡群变质基底经部分熔融的产物, 而黑云母花岗质岩石则主要由四堡群基底中成熟度较高的浅变质沉积岩(最可能为富铝的变质泥质岩) 经重熔再生形成。考虑到花岗闪长质岩石部分样品的 $\epsilon_{Nd}(T)$ 值较之变质基底中的镁铁-超镁铁质杂岩略高, 因此, 在这类岩石的形成过程中不排除有少量幔源组分加入的可能。

3 岩石成因讨论

二类岩石的成因一直是区内花岗岩研究争论的焦点, 特别是对花岗闪长质岩石的代表性岩体——本洞岩体, 过去一直被当作华南幔源型花岗岩的典型实例, 认为是幔源性岩浆分离结晶晚阶段的产物(王德滋等, 1982; 徐克勤等, 1989)。然而从前面的研究可以看出, 区

内花岗闪长质岩石与幔源型花岗岩的典型种属——大洋斜长花岗岩在矿物组合及岩石地球化学特征上均存在显著差异。尽管其钕同位素组成及微量元素和稀土元素地球化学特征与四堡群基底中的镁铁-超镁铁质杂岩有一定的相似性,但据目前已有的定年资料,花岗闪长质岩石与四堡群基底的形成年龄(李献华, 1996)有近 10 亿年的时差。因此,花岗闪长质岩石不可能是幔源性、超基性岩浆分异演化的产物。其他一些学者的研究也得出相同的结论(赵子杰等, 1987; 毛景文等, 1988; 李献华, 1999)。

对于黑云母花岗质岩石的代表性岩体——三防岩体的成因,以往曾认为其主体是通过交代方式形成,属原地、半原地型花岗岩化花岗岩(饶冰等, 1989; 徐夕生等, 1992)。然而根据岩体的野外产状及岩相学观察表明,区内黑云母花岗质岩体均具发育较完好的相带分异特征,可以规律地分出内部相、过渡相和边缘相,且多有补充侵入体存在而构成分异杂岩体(刘家远, 1994)。岩体中同一相带的岩性总体较均匀,缺乏变质矿物和条痕状、斑杂状构造。尽管岩体中片麻状构造发育,但不同部位片麻理的方向不一,大致具有围绕岩体边缘排列的特点(广西壮族自治区地质矿产局, 1985)。而混合岩化、花岗岩化花岗岩中片麻理的排列常与区域构造线方向一致,不随接触面方向变化而变化。此外,岩石中黑云母晶片大,晶体中缺乏石英等矿物包体。上述特征说明区内黑云母花岗质岩石应主要是通过重熔岩浆结晶而成。

从岩石产出的大地构造环境来看,区内二类花岗岩均分布于扬子地块的南缘。近年来根据对扬子地块南缘和东南缘出露的 3 套蛇绿岩(赣东北樟树墩、皖南伏川和桂北龙胜)的年代学研究表明,这些蛇绿岩的形成时代基本相同,年龄值变化于 929~ 1 160 Ma (徐备等, 1989; 周新民等, 1989; 周国庆等, 1991; 甘晓春等, 1996), 峰值集中在 1 000 Ma 左右。最近,毛景文等(2001)对广西宝坛地区与镁铁-超镁铁质岩有关的铜镍硫化物矿石进行 Re-Os 同位素定年,也获得了 $982 \text{ Ma} \pm 21 \text{ Ma}$ 的年龄值。上述资料表明华夏地块与扬子地块在 1 000 Ma 左右发生了碰撞对接,而此期正是区内花岗闪长质岩石的形成时期。根据花岗闪长质岩石过渡族元素(V、Co、Ni)含量较高,副矿物组合中存在铬铁矿、铬尖晶石,稀土元素及钕同位素组成与四堡群变质基底中的镁铁-超镁铁质火山-侵入杂岩相似等特点,结合 Heiz(1976)以夏威夷拉斑玄武质岩石为材料经部分熔融获得富铝长英质熔体的实验资料,我们认为区内花岗闪长质岩石应为在华夏地块与扬子地块碰撞早期,由夹杂着镁铁质杂岩的低成熟度的四堡群变质基底经部分熔融形成。随着俯冲作用的进一步进行,最终导致了华夏与扬子地块在晚元古代时期产生陆-陆碰撞。Li 等(1996)通过对扬子块体南缘中元古代以来沉积岩 T_{DM} 随时间演化的研究发现,在约 800 Ma 时沉积岩的 T_{DM} 显著降低,认为是伴随造山运动幔源物质加入的表现。该研究结果也说明在这一时期,伴随华夏地块向扬子地块的进一步陆内俯冲,在扬子块体南缘的深部存在大规模的幔源岩浆的底侵作用。正是由于板块俯冲及其诱发的幔源岩浆底侵等多重热事件的综合影响,促使了以四堡群为基底的成熟度较高的上部地壳物质的部分熔融,从而导致了区内大规模的花岗质岩浆活动,其岩浆源区深度应较之花岗闪长质岩石浅。因此,桂北前寒武纪二类花岗质岩石是在华夏地块与扬子地块碰撞俯冲作用的不同阶段,由成熟度不同的四堡群变质基底在不同深度经部分熔融作用的产物。

Reference

- Chen Yuchuan, Mao Jingwen, Zou Tianrin, *et al.* 1995. Metallogenic Series of Ore Deposits and Metallogenic Evolution through Geological History in North Guangxi[M]. Nanning: Guangxi Science and Technology Press, 433 (in Chinese).
- Gan Xiaochun, Li Xianhua, Zhao Fengqing, *et al.* 1996. Zircon U - Pb and Sm - Nd isochron ages of spilite from Danzhou Group, Guangxi Zhuang Autonomous Region[J]. *Geochimica*, 25(3): 270~ 276 (in Chinese with English abstract).
- Ge Wenchun, Li Xianhua, Li Zhengxiang, *et al.* 2001. Geochemical studies on two types of Neoproterozoic peraluminous granitoids in northern Guangxi[J]. *Geochimica*, 30(1): 24~ 34 (in Chinese with English abstract).
- Geology and Mineral Resource Bureau of Guangxi Zhuang Autonomous Region. 1985. Regional Geology of Guangxi[M]. Beijing: Geology Press, 1~ 853 (in Chinese with English abstract).
- Helz R T. 1976. Phase relations of basalts in their meeting ranges at $P_{H_2O} = 5$ kb. Part II. Meet compositions[J]. *J. Petrol.*, 16: 85~ 88.
- Li Xianhua. 1996. Sm - Nd isotopic systematics of Sibao Group from the southern margin of Yangtze block: implications for the crustal evolution[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 31(3): 218~ 228 (in Chinese with English abstract).
- Li Xianhua. 1999. U - Pb zircon ages of granites from northern Guangxi and their tectonic significance[J]. *Geochimica*, 28(1): 1~ 9 (in Chinese with English abstract).
- Li X H, McCulloch M T. 1996. Secular variation in the Nd isotopic composition of Neoproterozoic sediments from the southern margin of Yangtze Block: evidence for a Proterozoic continental collision in southeast China[J]. *Precambrian Research*, 76: 67~ 76.
- Li Zhichang, Zhao Zijie. 1991. The characteristics of neodymium and strontium isotopes from late Proterozoic granite masses in Bendong and Sanfang, Guangxi[J]. *Geology of Guangxi*, 4(1): 53~ 59 (in Chinese with English abstract).
- Liu Jiayuan. 1994. Tectonic evolution and genetic types of the Precambrian granitoids in south China and their relationships with mineralization[J]. *Geology of Anhui*, 4(1~ 2): 37~ 48 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Chen Yuchuan. 1988. On the genesis of Sibao granodiorites in north Guangxi[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 19(2): 289~ 298 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Du Andao. 2001. The 982 Ma Re - Os isotopic age for the Cu - Ni sulfide ores in Baotan region, Guangxi Province and its geological significance[J]. *Science in China*, 31(12): 992~ 998 (in Chinese).
- Pearce J, Harris N B W, Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. *J. Petrol.*, 25: 956~ 983.
- Rao Bing, Shen Weizhou, Zhang Zuhuan. 1989. Genetic study of Motianling granite body, Guangxi Province, China[J]. *J. Nanjing University (Earth Sciences)*, 3: 45~ 57 (in Chinese with English abstract).
- The Granitoid Research Group of the Nanling Project, MGR. 1989. Geology of Granitoids of Nanling Region and Their Petrogenesis and Mineralization [M]. Beijing: Geology Press, 1~ 471 (in Chinese with English abstract).
- Wang Dezi, Zhou Xinmin, Sun Youxiang. 1982. Characteristics of Precambrian mantle-derived granitoids in south China[J]. *J. Guilin College of Geology*, 4: 1~ 8 (in Chinese).
- Wu Shi. 1979. A study on isotopic geochronology of late Proterozoic Bendong intrusive massif in Guangxi[J]. *Geochimica*, 3: 187~ 194 (in Chinese with English abstract).
- Xu Bei, Qiao Guangsheng. 1989. Sm - Nd isotopic age and tectonic setting of the late Proterozoic ophiolites in northeastern Jiangxi Province [J]. *J. Nanjing University (Earth Science Edition)*, 3: 108~ 114 (in Chinese with English abstract).
- Xu Keqin, Zhu Jinchu, Liu Changshi, *et al.* 1989. Genetic series and material sources of granitoids in south China[J]. *J. Nanjing University (Natural Science Edition)*, 3: 1~ 18 (in Chinese with English abstract).
- Xu Xisheng, Zhou Xinmin. 1992. Precambrian S₁ type granitoids in south China and their geological significance [J]. *J. Nanjing University (Natural Science Edition)*, 28(3): 423~ 430 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Zijie, Ma Daquan, Lin Huikun, *et al.* 1987. A study on the Precambrian granitoids from Bendong and Sanfang massifs, northern Guangxi [A]. Yichang Institute of Geology and Mineral Resources. Research Reports of the Geology and Mineral

- Resources of Nanling [C]. Wuhan College of Geology Press, 1~ 27 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Guoqing, Zhao Jianxin. 1991. Sm- Nd isotope studies for the ophiolites in northeastern Jiangxi Province of southeastern margin of Yangtze Craton, southern China [J]. Chinese Science Bulletin, 36(2): 129~ 132 (in Chinese).
- Zhou Xinmin, Zou Haibo, Yang Jiedong, *et al.* 1989. Sm- Nd isochron ages of ophiolite suite in Shexian, Anhui Province and their original tectonic environment [J]. Chinese Science Bulletin, 34(16): 1 243~ 1 245 (in Chinese).

附中文参考文献

- 陈毓川, 毛景文, 邹天人, 等. 1995. 桂北地区矿床成矿系列和成矿历史演化轨迹 [M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 433.
- 地质矿产部南岭项目花岗岩专题组. 1989. 南岭花岗岩地质及其成因和成矿作用 [M]. 北京: 地质出版社, 1~ 471.
- 甘晓春, 李献华, 赵凤清, 等. 1996. 广西龙胜丹洲群碧碧岩锆石 U- Pb 及 Sm- Nd 等时年龄 [J]. 地球化学, 25(3): 270~ 276.
- 葛文春, 李献华, 李正祥, 等. 2001. 桂北新元古代两类过铝花岗岩的地球化学研究 [J]. 地球化学, 30(1): 24~ 34.
- 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 [M]. 北京: 地质出版社, 1~ 853.
- 李献华. 1996. 扬子块体南缘四堡群 Sm- Nd 同位素体系及其地壳演化意义 [J]. 地质科学, 31(3): 218~ 228.
- 李献华. 1999. 广西北部新元古代花岗岩锆石 U- Pb 年代学及其构造意义 [J]. 地球化学, 28(1): 1~ 9.
- 李志昌, 赵子杰. 1991. 广西晚元古代本洞和三防花岗岩类岩体 Nd Sr 同位素特征 [J]. 广西地质, 4(1): 53~ 59.
- 刘家远. 1994. 华南前寒武纪花岗岩类的构造演化、成因类型及与成矿的关系 [J]. 安徽地质, 4(1~ 2): 37~ 48.
- 毛景文, 陈毓川. 1988. 关于桂北四堡期花岗闪长岩成因的探讨 [J]. 岩石矿物学杂志, 7(4): 289~ 298.
- 毛景文, 杜安道. 2001. 广西宝坛地区铜镍硫化物矿石 982 Ma Rb- Sr 同位素年龄及其地质意义 [J]. 中国科学, 31(12): 992~ 998.
- 饶冰, 沈渭洲, 张祖还. 1989. 广西摩天岭岩体成因研究 [J]. 南京大学学报(地球科学版), 3: 45~ 57.
- 王德滋, 周新民, 孙幼祥. 1982. 华南前寒武纪幔源花岗岩类的基本特征 [J]. 桂林冶金地质学院学报, 4: 1~ 8.
- 伍实. 1979. 广西晚元古代本洞岩体同位素地质年代学研究 [J]. 地球化学, (3): 187~ 194.
- 徐备, 乔广生. 1989. 赣东北新元古代蛇绿岩套的 Sm- Nd 同位素年龄及原始构造环境 [J]. 南京大学学报(地球科学版), 3: 108~ 114.
- 徐克勤, 朱金初, 刘昌实, 等. 1989. 华南花岗岩类的成因系列和物质来源 [J]. 南京大学学报(地球科学版), 3: 1~ 18.
- 徐夕生, 周新民. 1992. 华南前寒武纪 S 型花岗岩类及其地质意义 [J]. 南京大学学报(自然科学版), 283: 423~ 430.
- 赵子杰, 马大铨, 林惠坤, 等. 1987. 桂北前寒武纪花岗岩本洞、三防岩体的研究 [A]. 南岭地质矿产科研报告集(一) [C]. 武汉地质学院出版社, 1~ 27.
- 周国庆, 赵建新. 1991. 华南扬子克拉通东南缘赣东北蛇绿岩的 Sm- Nd 同位素研究 [J]. 科学通报, 36(2): 129~ 132.
- 周新民, 邹海波, 杨杰东, 等. 1989. 安徽歙县伏川蛇绿岩套的 Sm- Nd 等时年龄及其地质意义 [J]. 科学通报, 34(16): 1 243~ 1 245.