

文章编号: 1000-4734(2010)02-0215-08

黔东南宰便新元古代镁铁 超镁铁质岩地球化学

王劲松¹, 周家喜^{2*}, 杨德智^{1,3}, 范良伍², 韩², 龙宣霖¹

(1. 贵州省地矿局 102 地质大队, 贵州 遵义 563003; 2. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002; 3. 中国地质大学(武汉) 湖北 武汉 430074)

摘要: 在黔东南从江宰便地区进行地质填图过程中发现一处镁铁 超镁铁质岩体, 该岩体属新元古代钙碱质岩系, 矿物成分主要为长石、辉石和绿泥石等。其主量成分以高 Na_2O (5.04% ~ 6.64%)、 CaO (0.76% ~ 6.67%) 和 MgO (6.79% ~ 7.88%)、低 TiO_2 (0.30% ~ 0.4%)、贫 K_2O (0.10% ~ 0.29%) 和 P_2O_5 (0.04% ~ 0.05%) 为特征。稀土总量 ΣREE 较高, 为 $83.37 \times 10^6 \sim 164.97 \times 10^6$, 其 LREE/HREE 和 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 变化较大, 分别为 3.50 ~ 7.25 和 2.90 ~ 7.58 表明轻和重稀土分馏较大, $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 和 $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ 相对较小, 分别为 1.81 ~ 3.19 和 1.22 ~ 1.53 表明轻稀土和重稀土内部分馏较小。在球粒陨石标准化图解上, 为轻稀土富集, 无 Eu/C 明显异常的平坦型; 在原始地幔标准化曲线上出现较为明显的 Nb/Ta 负异常。微量元素及 Y/Nb 、 Zr/Ni 等参数暗示其为过渡富集型地幔部分熔融的产物。综合研究表明该岩体形成于约 800Ma 的板内拉张环境, 可能与导致 Rodinia 超大陆裂解的地幔柱有关。

关键词: 镁铁 超镁铁质岩体; 地球化学; 新元古代; 从江宰便

中图分类号: P588 P591 文献标识码: A

作者简介: 王劲松, 男, 1967 年生, 高级工程师, 总工程师, 主要从事矿产勘查工作。E-mail: jswan@02.g@163.com

位于扬子地台周缘新元古代 Rodinia 超大陆裂解期间形成的岩浆岩一直是近年来的研究热点^[1-14], 对这些岩浆岩成因和构造背景的认识还存在争议, 大多数学者认为地幔柱是导致 Rodinia 超大陆裂解的重要原因^[1-9], 岩浆岩则为地幔柱活动的产物, 但也有部分学者主张岩浆岩产于岛弧环境^[10-14]。桂北、湘西新元古代岩浆岩地球化学研究已取得丰硕成果^[1-14], 与之相邻, 且地质背景相似的黔东南地区, 除曾昭光等^[15]首次在宰便-高武地区发现新元古代基性火山岩并和曾雯等^[16]对该区部分岩浆岩进行单颗粒锆石 U-Pb 定年外, 对本区岩浆岩特别是镁铁 超镁铁质侵入岩地球化学研究还十分薄弱。笔者在对宰便地区进行地质填图过程中, 新发现一处镁铁 超镁铁质侵入岩体(图 1), 本文报道该岩体的地球化学特征,

为研究 Rodinia 超大陆裂解事件提供新的制约。

1 地质背景及岩体特征

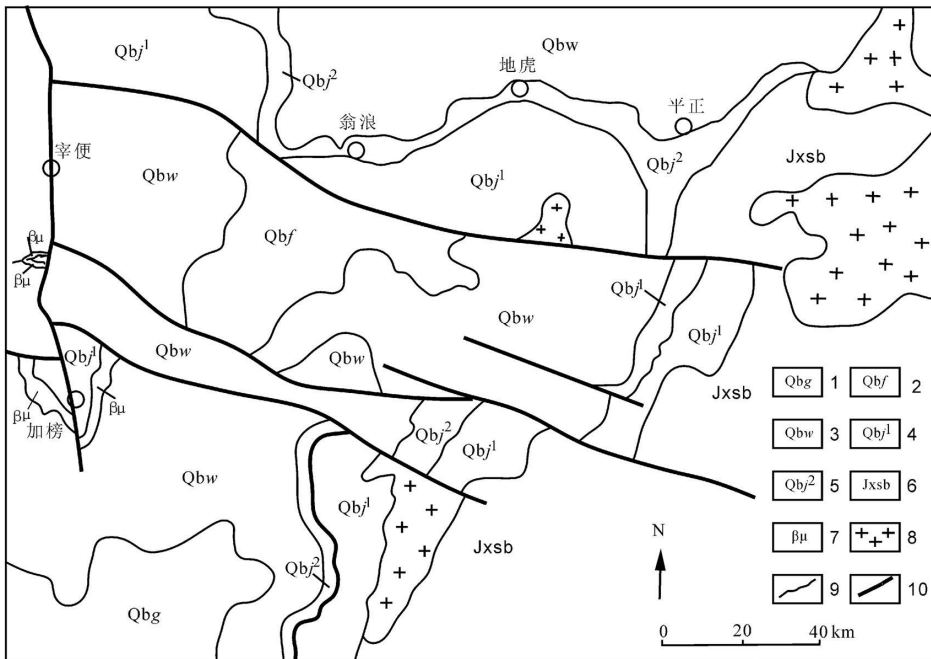
宰便镁铁 超镁铁质侵入岩体位于贵州省从江县, 距从江县城约 70 km。本区位于扬子陆块与华南褶皱系的过渡带上, 即江南造山带西南段^[15]。区内出露地层主要为中元古代文通组和上元古界青白口系拱洞组(Qbg)、番召组(Qbf)、乌叶组(Qbw)及甲路组(Qb) (图 1), 该套地层为浅变质沉积岩, 主要为绢云母板岩及砂质板岩。区域内岩浆岩发育, 零星分布, 岩类繁多, 有超基性岩, 基性岩、酸性侵入岩, 其中摩天岭花岗岩(桂北称三防岩体)为规模最大。构造复杂, 主要发育有南北向、北西西向和北北东向三组断层, 以近南北向宰便断裂为主导断裂^[15,17], 其次级断裂十分发育(图 1)。

宰便镁铁 超镁铁质岩体呈岩株、岩墙状, 规模小于 1 km²。手标本观察岩石呈绿色、灰绿色-深绿色, 块状构造, 可见变余辉绿结构, 显微鉴定发现其主要矿物为: 基性斜长石、钠长石、辉石和黑云母等, 蚀变强烈, 并有后期石英脉贯穿。基性斜长石绝大部分脱钙呈钠更长石, 仅局部偶见;

收稿日期: 2009-10-05

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)课题(2007CB411402); 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室开放基金(2009014); 中国科学院地球化学研究所与贵州地矿局 102 队合作项目

* 通讯作者, E-mail: jrcy@163.com



1拱洞组; 2番召组; 3乌叶组; 4甲路组一段; 5甲路组二段; 6四堡岩群; 7辉绿岩; 8花岗岩; 9地层界限; 10断层

图 1 宰便镁铁超镁铁质岩地质略图(据曾昭光等^[15]修改)

Fig. 1. Geological map of Zaibian mafic-ultramafic rocks (after Zeng et al., 2003).

原生钠长石绿泥石化强烈, 次生钠长石呈长柱状或它形, 部分泥化; 仅见少量蚀变残余辉石, 蚀变有绿泥石化, 纤闪石化、透闪石化; 黑云母呈片状集合体, 常被绿泥石取代。电子探针观察辉长辉绿结构明显(图 2), 电子探针研究发现该岩体中主要矿物为钠长石和镁铁质蚀变矿物, 其镁铁超镁铁质岩蚀变矿物镁、铁含量高, 根据成分是绿泥石之类的矿物, 副矿物有金红石、钛铁矿等。

2 样品采集与分析

样品由镁铁超镁铁质岩与围岩接触带向内不等距打块采集(图 1)。主量元素由中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室彭少松采用湿化学分析; 微量元素分析方法为对 200 目的样品准确称取 50 mg 采用 HF+HNO₃ 消解, 在中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室采用 ICP-MS 方法, 测试在四级杆型电感耦合等离子体质谱(Quadrupole Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer = Q-ICP-MS)上进行, 该仪器对 REE 及微量检测下限为 $n \times 10^{13} \sim n \times 10^{12}$, 分析数据的相对误差小于 10%, 绝大多数优于 5%, 具体分析方法见 Qi 等^[18]。宰便镁铁超镁铁质岩主量元素、微量和稀土元素结果见表 1。

3 岩石地球化学特征

3.1 岩石主化学成分及分类

宰便镁铁超镁铁质岩以低 TiO_2 (0.30% ~ 0.4%)、贫 K_2O (0.10% ~ 0.29%) 为特征。在岩石的 $Na_2O+K_2O-SiO_2$ (TAS) 图解中, 除 1 个样品落入亚碱性外, 绝大部分样品属于碱性玄武岩类(图 3)。从 $TF_2O_3/MgO-SiO_2$ 图解看, 除 1 个样品落入拉斑质岩系外, 绝大部分样品属于钙碱质岩系(图 4) 与 TAS 图解相似。在 AEM 图上, 全部样品落入钙碱性岩系(图 5), 与 $TAS-TF_2O_3/MgO-SiO_2$ 图解基本一致。

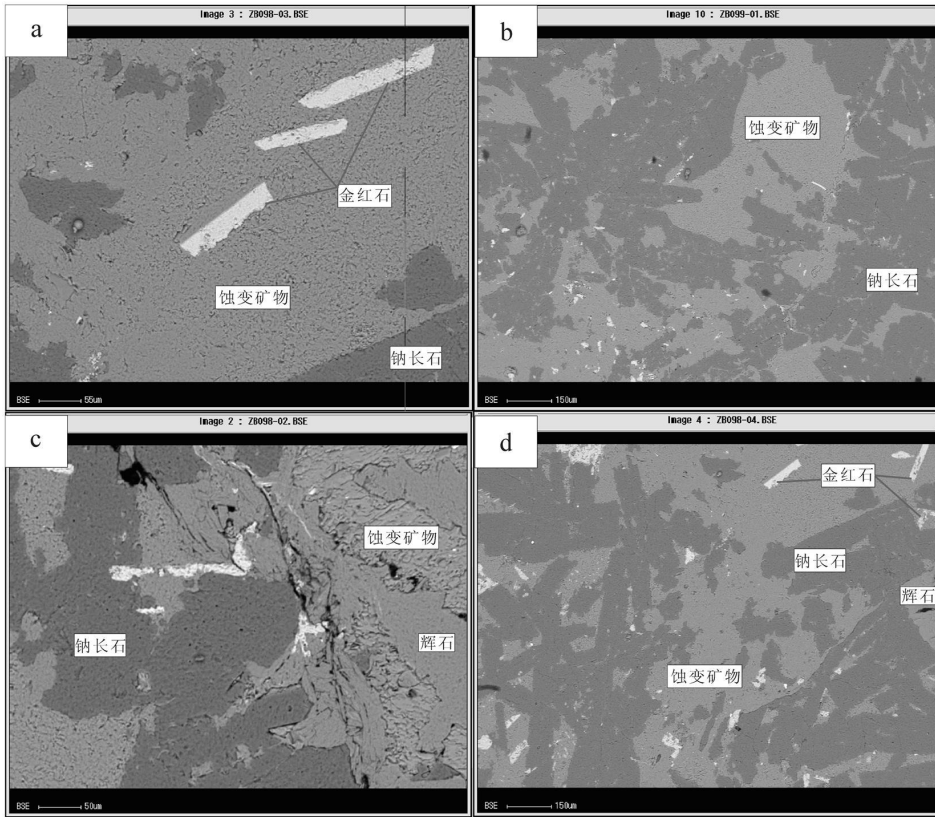
3.2 稀土元素特征

本区全部样品均呈现轻稀土富集(图 6), 稀土总量较高, ΣREE 为 $83.37 \times 10^6 \sim 164.97 \times 10^6$, 其 $LREE/HREE$ 和 $(La/Yb)_N$ 变化较大, 分别为 3.50 ~ 7.25 和 2.90 ~ 7.58 但 $(La/Sm)_N$ 和 $(Gd/Yb)_N$ 相对较小, 且稳定, 分别为 1.81 ~ 3.19 和 1.22 ~ 1.53 说明镁铁超镁铁质岩 $LREE$ 和 $HREE$ 之间分馏较大, 而轻重稀土内部分馏较小。 δEu 和 δCe 分别为 0.88 ~ 1.04 和 0.90 ~ 1.05 无明显的 Eu 、 Ce 异常, 部分样品具有弱的 Eu 、 Ce 正

表 1 黔东南宰便镁铁超镁铁质岩主量元素(%)、微量元素和稀土元素(10^6)分析结果Table 1. Major element (wt%), trace elements and REE ($\mu\text{g/g}$) of Zaibian rocks, southeast of Guizhou Province, China

样品	ZB-09-07	ZB-09-08	ZB-09-09	ZB-09-10	ZB-01	ZB-02	ZB-05	ZB-06	ZB-07	ZB-08
SO ₂	51.43	48.51	50.96	50.90	44.25	50.14	45.73	54.53	45.49	49.01
Al ₂ O ₃	18.42	18.37	19.01	19.03	17.60	18.60	17.31	17.68	16.84	16.54
Fe ₂ O ₃	9.55	10.26	9.52	8.95	9.47	9.44	9.04	9.17	8.41	9.06
CaO	0.76	2.15	0.95	1.73	6.34	2.13	6.09	0.54	6.67	4.51
MgO	7.57	7.80	7.20	6.94	7.49	7.88	7.10	7.68	6.79	6.95
K ₂ O	0.10	0.17	0.10	0.10	0.28	0.11	0.29	0.11	0.27	0.15
Na ₂ O	6.24	6.21	6.20	6.64	5.48	5.04	5.40	5.29	5.30	5.37
MnO	0.44	0.20	0.13	0.12	0.20	0.15	0.21	0.11	0.18	0.17
TO ₂	0.36	0.36	0.40	0.35	0.38	0.37	0.35	0.38	0.30	0.35
P ₂ O ₅	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
LOI	4.84	5.64	4.65	5.02	8.52	5.87	8.58	4.57	9.47	7.64
Total	99.75	99.71	99.77	99.82	100.05	99.77	100.14	100.10	99.77	99.80
Mg#	44.2	43.2	43.1	43.7	44.2	45.5	44.0	45.6	44.7	43.4
Rb	1.67	1.34	0.822	0.644	2.98	0.871	3.04	1.65	2.87	2.61
Sr	105	261	175	155	360	265	369	176	383	338
Ba	171	100	57	52	1310	158	1380	148	1480	1280
Nb	18.8	17.6	21.2	19.8	19.1	16	20.6	15.7	19.5	19.9
Ta	1.29	1.26	1.48	1.36	1.43	1.12	1.59	1.12	1.44	1.46
Zr	153	154	177	165	186	130	202	135	180	187
Hf	3.66	3.56	4.15	3.89	4.19	3.02	4.76	3.23	4.27	4.44
Pb	9.87	34.71	12.85	18.15	13.75	11.00	16.00	9.41	45.42	27.39
Th	3.25	3.21	3.57	3.44	4.19	2.79	4.25	2.72	4.25	3.98
U	0.699	0.777	0.836	0.836	0.874	0.621	0.921	0.605	0.842	0.854
Cr	251	224	227	197	201	223	218	230	167	170
Co	82.8	71.6	81.4	59.8	74.5	71.2	52.9	69.9	50.5	72.8
Ni	83.2	93.5	85.2	88.2	71.9	150	83.3	155	68.1	68.1
Sc	33.7	34.1	33.8	34.9	32.9	28.7	31.5	28.3	27.5	31.4
V	181	177	186	179	172	160	175	169	156	177
La	33.5	16.6	22.2	17.8	17.6	15.7	16.5	14.2	21.7	17.6
Ce	64.3	34.6	46.3	39.2	40.3	30	36.8	29.8	47.5	38.6
Pr	8.12	4.45	5.67	4.57	5.48	4.06	5	3.69	6.07	5.09
Nd	30.7	18.7	23.5	18.7	22.8	17	21.9	15.8	26.1	22.4
Sm	6.61	4.71	5.35	4.5	5.73	4.4	5.73	3.69	6.48	5.58
Eu	1.75	1.59	1.75	1.40	1.90	1.32	1.80	1.19	2.17	1.84
Gd	5.65	4.78	4.92	4.25	6.02	4.09	6.12	3.71	6.58	5.74
Tb	0.947	0.902	0.947	0.801	1.14	0.774	1.17	0.666	1.24	1.06
Dy	5.32	5.37	5.51	5.15	6.79	4.83	7.06	4.11	7.24	6.54
Ho	1.12	1.17	1.21	1.12	1.52	1.07	1.53	0.901	1.56	1.48
Er	3.07	3.17	3.19	3.13	3.99	2.82	4.22	2.5	4.11	3.81
Tm	0.438	0.427	0.462	0.443	0.539	0.4	0.587	0.373	0.566	0.526
Yb	2.98	2.86	3.01	2.8	3.75	2.47	3.83	2.4	3.77	3.52
Lu	0.46	0.424	0.446	0.396	0.535	0.367	0.564	0.341	0.545	0.501
Y	27.6	28.9	29.4	27.7	39.7	27.6	40.4	22.5	39.9	36
∑ REE+Y	192.57	128.65	153.87	131.96	157.79	116.90	153.22	105.87	175.53	150.28
IRE/HRE	7.25	4.22	5.32	4.76	3.86	4.31	3.50	4.56	4.30	3.93
(La/Yb) _N	7.58	3.91	4.97	4.29	3.16	4.29	2.90	3.99	3.88	3.37
(La/Sm) _N	3.19	2.22	2.61	2.49	1.93	2.24	1.81	2.42	2.11	1.98
(Gd/Yb) _N	1.53	1.35	1.32	1.22	1.30	1.34	1.29	1.25	1.41	1.32
δEu	0.88	1.02	1.04	0.98	0.99	0.95	0.93	0.99	1.02	0.99
δCe	0.94	0.97	0.99	1.05	0.99	0.90	0.98	0.99	1.00	0.98
Nb/U	27	23	25	24	22	26	22	26	23	23
Hf/Th	1.13	1.11	1.16	1.13	1.00	1.08	1.12	1.19	1.00	1.12
Th/Zr	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Nb/Zr	0.12	0.11	0.12	0.12	0.10	0.12	0.10	0.12	0.11	0.11
Zr/Y	5.54	5.33	6.02	5.96	4.69	4.71	5.00	6.00	4.51	5.19
Th/La	0.10	0.19	0.16	0.19	0.24	0.18	0.26	0.19	0.20	0.23
Th/Hf	0.89	0.90	0.86	0.88	1.00	0.92	0.89	0.84	1.00	0.90
Ta/Hf	0.35	0.35	0.36	0.35	0.34	0.37	0.33	0.35	0.34	0.33
La/Yb	11.24	5.80	7.38	6.36	4.69	6.36	4.31	5.92	5.76	5.00
La/Nb	1.78	0.94	1.05	0.90	0.92	0.98	0.80	0.90	1.11	0.88

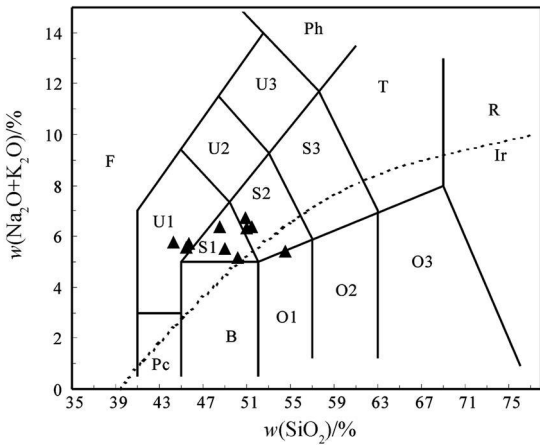
注: 样品 ZB-09-07为强蚀变辉绿岩, ZB-09-08接触带辉绿岩, ZB-09-09 ZB-09-10 ZB-01, ZB-02 ZB-05, ZB-06, ZB-07和 ZB-08为蚀变辉绿岩; Mg# = $100 * \text{MgO} / (\text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$; LOI为烧失量。



a金红石呈长柱状和钠长石分布在蚀变矿物中；b残余的辉绿辉长结构，亮的为钛铁矿，较亮的金红石；
c辉石和钠长石，残余辉长结构；d残余辉长结构

图 2 宰便镁铁 超镁铁质岩电子探针背闪射照片

Fig. 2 EPMA Photos of Zaijian mafic-ultramafic rocks



Pc苦橄玄武岩；B玄武岩；O₁玄武安山岩；O₂安山岩；O₃-
英安岩；R流纹岩；S₁粗面玄武岩；S₂玄武岩质粗面安山
岩；S₃粗面安山岩；T粗面岩；U₁碱玄岩；U₂响岩质碱玄
岩；U₃碱玄岩响岩；Ph响岩；F副长石岩

图 3 宰便镁铁 超镁铁质岩 TAS图解

Fig. 3. The TAS diagram of Zaijian mafic-ultramafic rocks

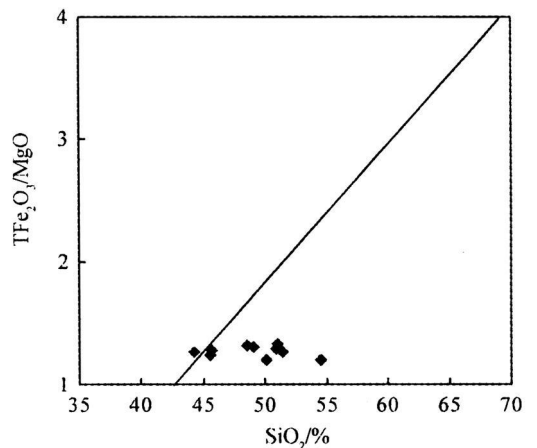


图 4 宰便镁铁 超镁铁质岩 TFe₂O₃/MgO-SiO₂图解

Fig. 4 The TFe₂O₃/MgO vs SiO₂ diagram of
Zaijian mafic-ultramafic rocks

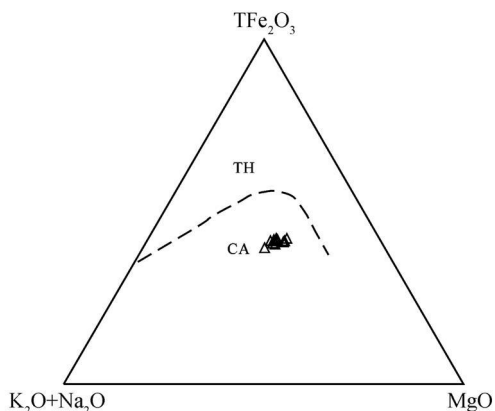


图 5 宰便镁铁 超镁铁质岩 AFM图解

Fig. 5. The AFM diagram of Zaibian mafic-ultramafic rocks

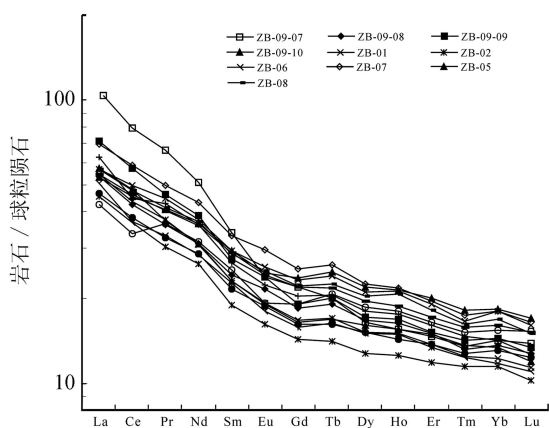


图 6 宰便镁铁 超镁铁质岩 REE 配分模式

Fig. 6. The REE diagram of Zaibian mafic-ultramafic rocks

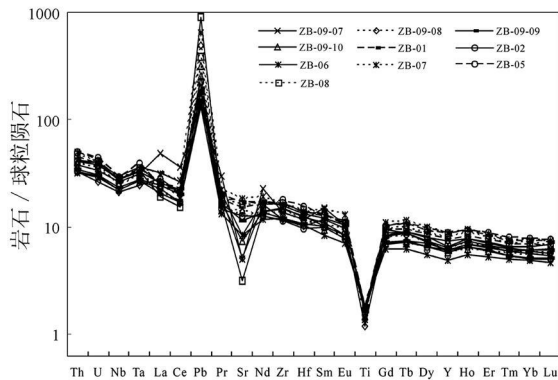


图 7 宰便镁铁 超镁铁质岩微量元素蛛网图

Fig. 7. Trace element diagram of Zaibian mafic-ultramafic rocks

异常特征, 暗示岩浆存在微弱的斜长石堆晶作用。

3.3 微量元素特征

在微量元素方面 (表 1 和图 7), LILE (K, Ba, Rb) 相对 MORB 高出数十倍, 与板内玄武岩相似。

相应的 HFSE 比值中, Y/Nb 、 Zr/Nb 低于原始地幔平均值 (14.8), 指示其为过渡型富集地幔部分熔融的产物。原始地幔标准化蛛网图中, 镁铁超镁铁质岩 HFSE 中亏 Nb、Ti 富 Pb 暗示宰便镁铁超镁铁质岩存在一定程度的地壳混染, 与康滇地区新元古代辉绿岩相比, Nb、Ti 的亏损程度远低于, 表明受地壳混染的程度较低^[7]。

4 岩石成因与构造环境

曾雯等^[16]对黔东南地区摩天岭花岗岩、下江群基性火山岩及加榜基性侵入岩进行了精确的锆石 U-Pb 法定年, 年龄结果分别为 825 Ma、815 Ma 和 788 Ma 形成时代为新元古代中后期。笔者对宰便镁铁超镁铁质岩原生岩浆锆石高精度 SMS 锆石 U-Pb 年龄上交点年龄约为 800 Ma (未发表数据), 其形成时代为新元古代中期。最新的年代资料表明扬子地块的南缘新元古代裂谷系 (桂北的丹洲群、湖南的板溪群等对应地层) 底部的下限年龄约 820 Ma^[19], 说明宰便镁铁超镁铁质岩年代符合实际地质情况。

有学者将扬子地块和华夏地块新元古代碰撞与新元古代 Rodinia 超大陆的重建联系在一起^[20-21]。在 Rodinia 超大陆形成的聚合时间上已基本取得共识, 赣东北、皖南和桂北蛇绿岩 (约 1.0 Ga) 被认为是扬子地块和华夏地块碰撞缝合带的标志, 时代上与全球 Grenvillian 造山带也基本一致, 反映华南 Rodinia 超大陆形成的时间^[5], 而对 Rodinia 超大陆裂解期间形成的岩浆岩成因和形成环境存在较大争议^[1-4, 19-21]。

由于研究区镁铁超镁铁质岩基本都存在不同程度的绿泥石化、透闪石化等蚀变, 所以用低级区域变质及蚀变过程中不活泼的高场强元素 Tb、Nb、Ta、Zr、Hf、REE 等来探讨镁铁超镁铁质岩体的地球化学特征^[14]、成因及形成环境等。

REE 和 HFSE 对探讨地幔岩源区特征、地幔部分熔融、岩浆演化等具有重要意义^[22]。上已述及镁铁超镁铁质岩 REE 和 HFSE 含量明显高于原始地幔、N-MORB, 其稀土配分为 IREE 富集型, $(La/Sm)_N > 1$, Y/Nb 和 Zr/Nb 分别为 1.39 ~ 2.08 和 8.13 ~ 9.81, 这些特征暗示其母岩为交代过渡地幔富集地幔部分熔融的产物; 岩石的 REE 和 HFSE 含量变化范围宽、参数变化大, 这些特征表明其母岩浆可能为交代过渡富集地幔不同程度部分熔融的产物, 同时也指示岩浆演化过程中

存在结晶分异作用或岩浆上升过程存在混染作用。

前人提出的各种地球化学构造环境判别图解在探讨成岩动力学背景上发挥了巨大作用, 在的 Hf3-Th-Nb/16图中 (图 8 a), 样品落入 E-MORB + WPT与 WPAB交界处; 在 Zr/4-2Nb-Y图解上

(图 8 b), 亦靠近板内碱性玄武岩区; 在 Y/15-La/10-Nb/8图解 (图 8 c)中, 样品落入大陆玄武岩与富集地幔交界区; 在 Zr/Y-Zr图解中 (图 8 d), 全部样品落入板内玄武岩区。这些与宰便镁铁超镁铁质岩稀土配分模式、微量蛛网模式所揭示的结果是完全一致的; 在 Ta/Hf-Th/H和 Nb/Zr-Th/Y

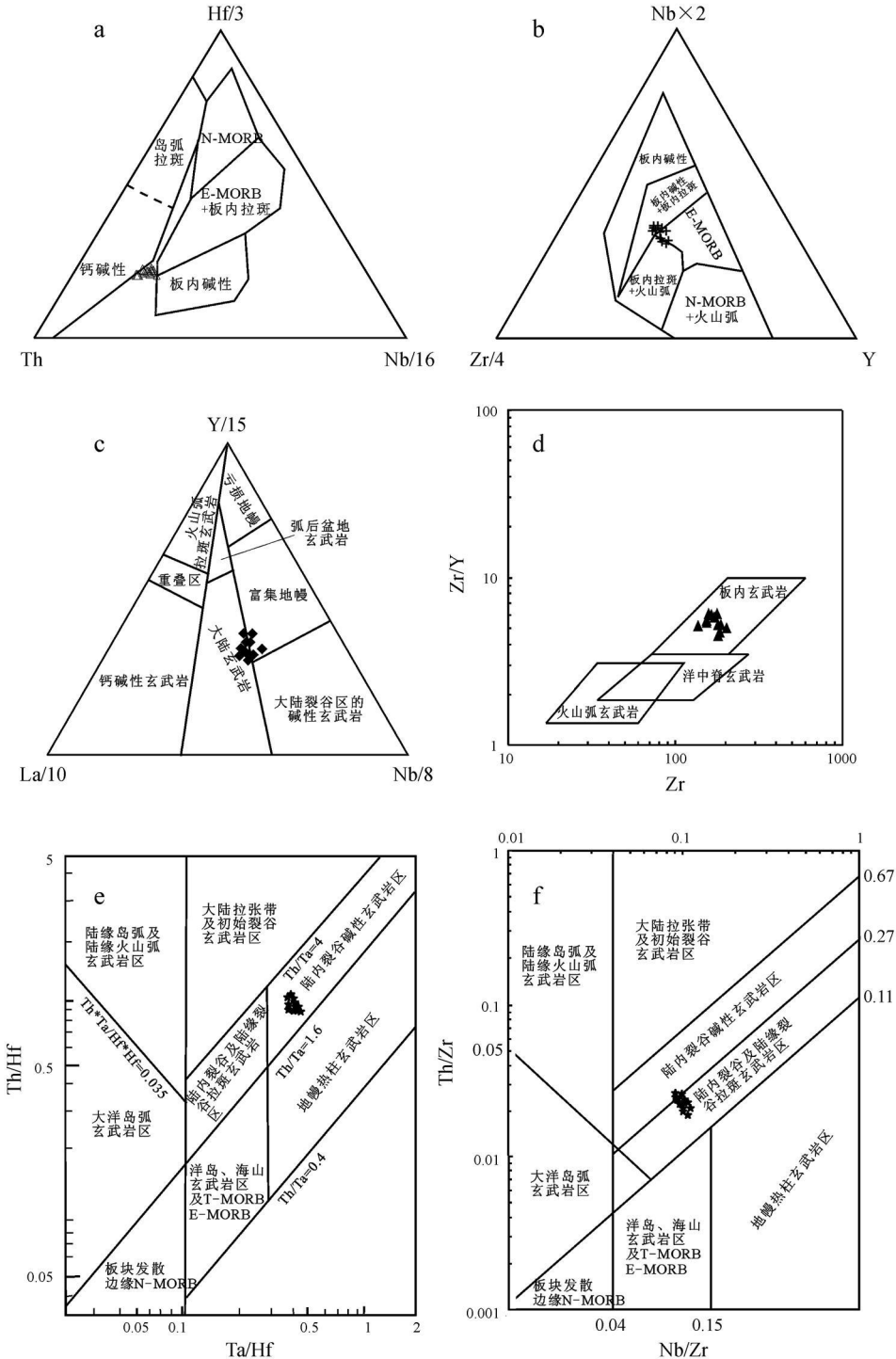


图 8 宰便镁铁超镁铁质岩构造环境判别图解

Fig. 8 The tectonic setting of Zhibian mafic ultramafic rocks

Zr²³²⁴) 中 (图 8e-f) 全部样品均落入板内拉张环境, 在 Ta/Hf/Th/H 全部样品都靠近板内玄武岩与地幔柱玄武岩的交界, 考虑到岩浆的结晶分异作用及陆壳混染, 其原始岩浆可能更加接近地幔热柱玄武岩区 (地壳混染使 Zr/H 含量增高)。微量元素、稀土元素特征均暗示其可能来自拉张环境的大陆板内过渡型地幔或富集地幔源区, 其形成可能与导致 Rodinia 超大陆裂解的地幔柱有关。

5 结 论

位于江南造山带西南段的黔东南宰便镁铁 -

超镁铁质岩属于钙碱玄武岩系, 形成于板内拉张环境, 其源区为过渡型富集地幔, 是导致 Rodinia 超大陆裂解的华南地幔柱活动产物。

致谢: 野外工作得到贵州地矿局 102 地质大队杜国华队长的大力支持; 成文过程得到地球化学研究所严再飞助理研究员的指导, 在此表示感谢!

参 考 文 献:

- [1] 李献华. 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, 1999, 28(1): 1-9.
- [2] Li X H, Li X H, Niny P D, Wang J. The breakup of Rodinia: Did it start with a mantle plume beneath South China? [J]. EPSL, 1999, 173: 171-181.
- [3] 李献华, 李正祥, 葛文春, 周汉文, 李武显, 刘颖. 华南新元古代花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及其构造意义 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2001, 20(4): 271-273.
- [4] Li X H, Li Z X, Ge W C, Li W X, Liu Y, Wang M T D. Neoproterozoic granitoids in South China: Crustal melting above a mantle plume at ca. 825 Ma? [J]. Precamb Res, 2003, 122: 45-83.
- [5] Li Z X, Li X H, Zhou H, Kiny P D. Grenvillian continental collision in South China: New SHRMP U-Pb zircon results and implications for the configuration of Rodinia [J]. Geology, 2002, 30: 163-166.
- [6] Li X H, Li Z X, Zhou H, Liu Y, Kiny P D. U-Pb zircon geochronology, geochemistry and Nd isotopic study of Neoproterozoic bimodal volcanic rocks in the Kangding Rift of South China: Implications for the initial rifting of Rodinia [J]. Precamb Res, 2002, 113: 135-155.
- [7] Li Z X, Li X H, Kiny P D, Wang J, Zhang S, Zhou H. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents: Evidence for a superplume that broke up Rodinia [J]. Precamb Res, 2003, 122: 85-109.
- [8] Ling W, Gao S, Zhang B R, Li H M, Liu Y. Neoproterozoic tectonic evolution of the northwestern Yangtze Craton, South China: Implications for amalgamation and breakup of the Rodinia supercontinent [J]. Precamb Res, 2003, 122: 111-140.
- [9] 凌文黎, 王歆华, 程建萍. 扬子北缘晋宁期望江山基性岩体的地球化学特征及其构造背景 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2001, 20: 218-221.
- [10] Zhou M F, Yan D P, Kennedy A K, Li Y Q, Ding J. SHRMP U-Pb zircon geochronological and geochemical evidence for Neoproterozoic arc magmatism along the western margin of the Yangtze Block, South China [J]. EPSL, 2002, 196: 51-67.
- [11] Zhou M F, Kennedy A K, Sun M, Malpas J, Lesher C M. Neoproterozoic arc-related mafic intrusions along the Northern margin of South China: Implications for the accretion of Rodinia [J]. J Geol, 2002, 110: 611-618.
- [12] 颜丹平, 周美夫, 宋鸿林, Malpas J. 华南在 Rodinia 古陆中的位置的讨论—扬子地块西缘变质岩岩浆岩的证据及其与 Seychelles 地块的对比 [J]. 地学前缘, 2002, 9(4): 49-50.
- [13] 邱检生, 周金城, 张光辉, 凌文黎. 桂北前寒武纪花岗岩类岩石的地球化学与成因 [J]. 岩石矿物学杂志, 2002, 21(3): 197-208.
- [14] 周金城, 王孝磊, 邱检生, 高剑锋. 桂北中-新元古代镁铁质超镁铁质岩的岩石地球化学 [J]. 岩石学报, 2003, 19(1): 9-18.
- [15] 曾昭光, 刘灵, 舒永宽, 张华, 等. 贵州宰便-高武地区中新元古代火山岩的发现及其意义 [J]. 贵州地质, 2003, 20(3): 135-138.
- [16] 曾雯, 周汉文, 钟增球, 曾昭光, 等. 黔东南新元古代岩浆岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄及其构造意义 [J]. 地球化学, 2005, 34(6): 548-556.
- [17] 杨德智, 周家喜, 王劲松, 陈昌平, 丁伟, 刘永坤, 陈远兴. 黔东南那哥铜多金属矿床地质地球化学 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2010, 29(2): (印刷中).
- [18] Qi L, Hu J, Gregoire D C. Determination of trace elements in granites by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. TALANTA, 2000, 51(3): 507-513.
- [19] Wang J, Li X H, Duan T Z, et al. Zircon SHRMP U-Pb dating for the Cangshupu volcanic rocks and its implications for the lower boundary age of the Nanhua system in South China [J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48: 1663-1669.

- [20] Li Z X, Zhang L, Powell C M. South China in Rodinia: Part of the missing link between Australia, East Antarctica and Laurentia [J]. *Geology*, 1995, 23: 407-410.
- [21] Li Z X, Zhang L, Powell C M. Positions of the East Asian cratons in the Neoproterozoic supercontinent Rodinia [J]. *Aust J Earth Sci*, 1996, 43: 593-604.
- [22] 赵振华. 微量元素地球化学原理 [M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [23] 汪云亮, 张传林, 修淑芝. 玄武岩形成的大地构造环境得的 $Th/HfTa/H$ 判别 [J]. *岩石学报*, 2001, 17(3): 413-421.
- [24] 孙书勤, 汪云亮, 张成江. 玄武岩类岩石大地构造环境的 $Th/Nb/Z$ 判别 [J]. *地质论评*, 2003, 49(1): 40-47.

Geochemistry of Neoproterozoic Mafic Ultramafic Rocks in Zaibian, SE Guizhou Province, China

WANG Jing-song¹, ZHOU Jia-xi¹, YANG De-zhi³, FAN Lian-wu¹, DING W ei¹, LIU Yong-kun¹

(¹ Guizhou Bureau of Exploration and Development of Geology and Mineral Resources, Zunyi 563003, China)

(² State Key Laboratory of Ore Deposits Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guiyang 550002, China)

(³ China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China)

Abstract The Neoproterozoic mafic ultramafic rocks have been found in Zaibian area by geologic mapping. The mafic ultramafic rocks are belonging to calc-alkaline; their mineral compositions are mainly feldspar, pyroxene and chlorite of the mafic ultramafic rocks. The major elements have the characteristics of high contents of Na_2O (5.04%—6.64%), CaO (0.76%—6.67%) and MgO (6.79%—7.88%), low contents of TiO_2 (0.30%—0.4%), and poor contents of K_2O (0.10%—0.29%) and P_2O_5 (0.04%—0.05%). The ΣREE is relatively high with 83.37×10^6 — 164.97×10^6 , and the variety values of LREE/HREE and $(La/Yb)_N$ are relatively large, indicating that the fractionation between light rare earth elements and heavy rare earth elements is existent. However, the $(La/Sm)_N$ and $(Gd/Yb)_N$ are relatively less with 1.81—3.19 and 1.22—1.53, respectively, reflecting that the fractionation of light rare earth elements and heavy rare earth elements is feebly. The Zaibian mafic ultramafic rocks are LREE enriched and have no evident Eu with Ce abnormality but have evident Nb and anomaly negative Ta. The trace elements Y/Nb and Zr/Nb imply that the mafic ultramafic rocks maybe originated from the Transition Enriched Mantle. The results indicate that the mafic ultramafic rocks maybe formed in the inner plate at about 800 Ma and maybe related with the mantle plume which makes the Rodinia breakup.

Key words mafic ultramafic rocks; geochemistry; Neoproterozoic; Congjiang; Zaibian