

江南造山带西段新元古代下江群岩石地球化学特征及沉积构造环境

邓小杰¹, 覃永军^{2,3}, 强希润¹, 牟 军¹, 田文明¹, 黄雄伟¹

(1. 贵州省地质调查院, 贵州 贵阳 550081; 2. 贵州省地质矿产勘查开发局, 贵州 贵阳 550004;
3. 自然资源部基岩区矿产资源勘查工程技术创新中心, 贵州 贵阳 550081)

[摘 要]江南造山带西段广泛分布一套厚达万米的区域浅变质陆源碎屑岩夹火山碎屑岩岩系, 其中位于武陵运动界面之上、雪峰运动界面之下的地层, 在贵州称下江群、湖南称板溪群和广西称丹洲群, 是研究江南古陆新元古代沉积盆地演化的重要对象之一。下江群广泛出露于黔东南地区, 自下而上分为甲路组、乌叶组、番召组、清水江组、平略组和隆里组。本文选择下江群为研究对象, 在广泛的区域地质路线调查和剖面测制基础上, 选取代表性的剖面开展系统的岩石地球化学测试, 结果显示: 下江群的 SiO_2 含量介于 61.10%~75.06%, 平均为 67.45%; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值较高; $\text{TFe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ 含量较低, 平均 5.74%; Sr、Nb 元素整体含量较低, 显示亏损; Y 元素富集; 轻稀土元素相对富集, 重稀土则相对亏损; 稀土配分模式总体为右倾, 轻稀土斜率较大, 重稀土趋于平坦。其中, 甲路组平均微量元素含量总体与后太古代页岩的接近, 而乌叶组、番召组、清水江组、平略组和隆里组的平均微量元素含量总体与上地壳接近。通过地球化学特征参数和参数判别图解, 结合下江群沉积学特征, 认为下江群的沉积构造环境属于一个活动大陆边缘的弧后盆地沉积环境, 沉积物可能来自盆地北侧的扬子陆块和南侧龙胜岛弧。

[关键词]沉积构造环境; 岩石地球化学; 下江群; 新元古代; 黔东南

[中图分类号] P534.31; P595; P545 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-5943(2022)03-213-12

碎屑沉积岩由物源区岩石经过风化、搬运、沉积及成岩作用等地质作用改造形成, 记录了岩石形成过程中相关信息, 但其地球化学成分仍然主要受到物源区控制(邵磊, 2000)。因此, 碎屑岩岩石组成及地球化学特征可以揭示其物源区性质、构造环境及沉积盆地构造属性与演化历史(Bhatia and Crook, 1986)。碎屑岩地球化学常用的方法包括岩石主量元素含量和比值($\text{TFe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ 、 TiO_2 、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$)(Bhatia, 1983; Bhatia and Crook, 1986; Roser and Korsch, 1986)、地球化学活动性不强的微量以及高场强元素(Th、Sc、Zr 及稀

土元素等)及其比值(La/Sc 、 La/Th 、 Co/Th 、 Th/Sc 、 Cr/Th 、 Cr/Zr)(Bhatia, 1983; Taylor and McLennan, 1985; Bhatia and Crook, 1986)和重矿物组合及其辉石、碎屑尖晶石、石榴石、锆石等单矿物的元素比值(杨江海等, 2012)等。

江南造山带位于扬子陆块东南缘, 是扬子陆块与华夏陆块在新元古代碰撞拼合产物, 其形成过程与时限长期是地学研究的热点之一(郭令智, 1996)。在江南造山带西段(贵州境内)广泛分布一套厚达万米的陆源碎屑岩夹火山碎屑岩岩系, 武陵运动界面之下的地层称梵净群, 武陵运动界

[收稿日期] 2022-03-07 **[修回日期]** 2022-07-19

[基金项目] 本研究得到了贵州省科技计划项目(合同编号: 黔科合基础[2019]1179号、黔科合支撑[2020]4Y033号)、贵州省地矿局地质科研项目(合同编号: 黔地矿科合[2017]31号)和中国地质调查局地质调查项目(项目编码: DD20160018-01)的联合支持。

[作者简介] 邓小杰(1985—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事基础地质调查与研究; E-mail: tlxccc8299@qq.com.

[通讯作者] 覃永军(1983—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事地质矿产研究与科技管理工作, E-mail: qinyongjun2008@163.com.

面之上、雪峰运动界面之下的地层称下江群。梵净山群在区域上与湖南冷家溪群和广西四堡群相邻成片、层位相当,下江群在区域上与湖南板溪群和广西丹洲群相邻成片、层位相当,是研究扬子和华夏陆块对接演化的重要对象之一。目前关于梵净山群形成于岛弧沉积环境的认识逐渐趋于统一(郭令智,1996),认为梵净山群与上覆下江群的区域性角度不整合,反映了扬子陆块与华夏陆块的碰撞拼贴作用,并认为正是这次构造事件形成了统一的华南海域,之后沉积的下江群及其相当层位地层属于陆内裂谷背景下的沉积产物。随着有关下江群研究的不断深入,一些研究者发现下江群的沉积物具有岛弧环境信息(覃永军,2015),并在区域上的广西龙胜一带发现有同时代(760 Ma)、具岛弧特征的玄武岩出露(Lin et al.,2015),显示下江群时期扬子和华夏陆块之间仍然存在沟—弧—盆体系。下江群的沉积环境是陆内裂谷背景还是岛弧环境?这一问题仍然值得进一步研

究讨论。本文选取下江群为研究对象,充分利用项目团队在研究区取得的区域地质调查资料,开展下江群陆源碎屑岩的常量、微量和稀土元素特征比值等研究,为认识研究区下江群时期各地层沉积构造环境和沉积盆地性质提供新的岩石地球化学依据。

1 地质背景

江南造山带西段(贵州境内)地区大地构造位置处于扬子陆块东南缘(图1),广泛出露出一套巨厚的浅变质陆源碎屑夹火山碎屑岩组合。其中下江群是该套地层的重要组成部分(图1),根据岩性组合特征下江群自下而上分为甲路组、乌叶组、番召组、清水江组、平略组和隆里组,其沉积时代大致限定在820~720 Ma范围(覃永军等,2015)。各地层岩性简要描述如下:

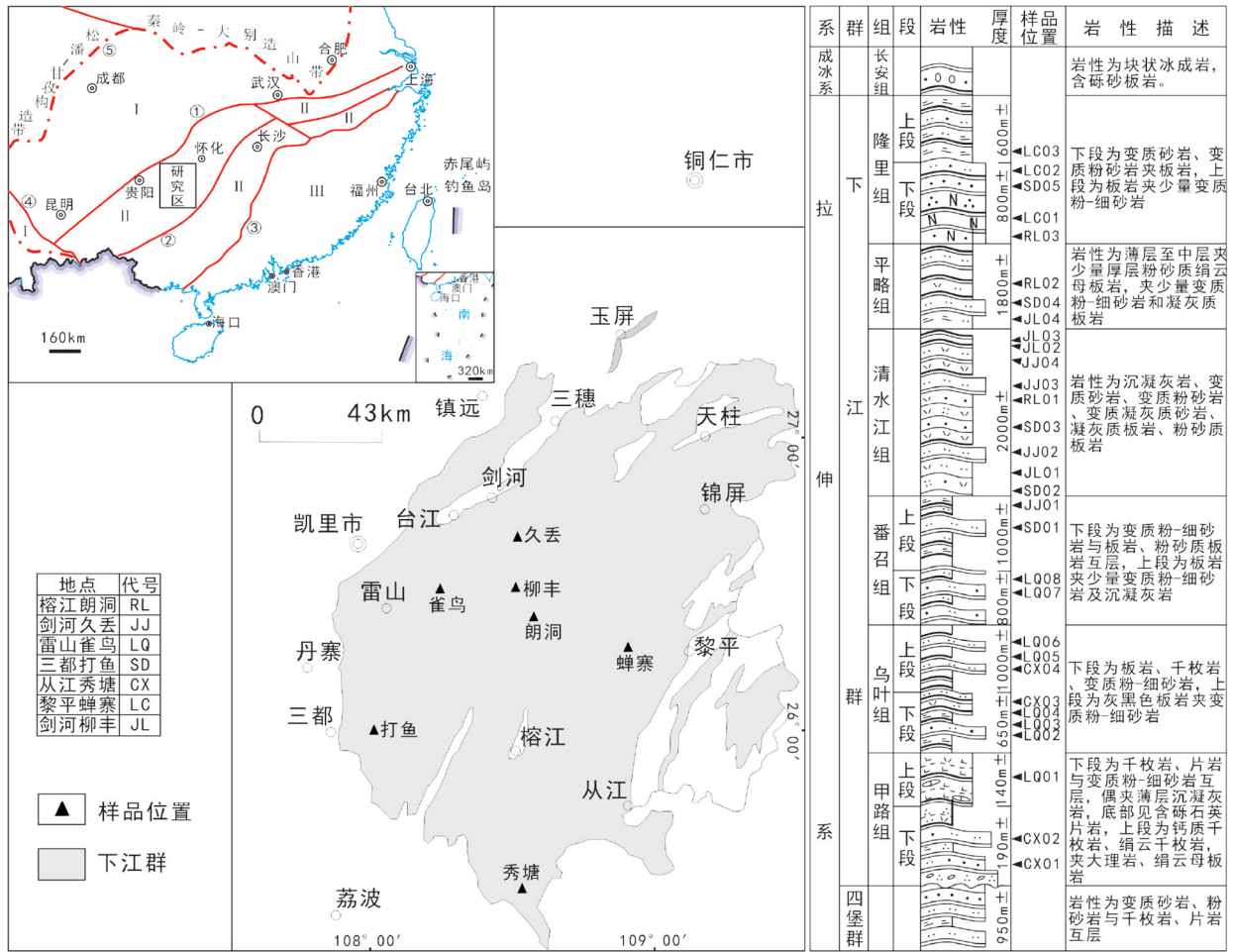


图1 研究区大地构造位置和采样位置图(底图据覃永军等,2015)

Fig. 1 Geotectonic location and Sample location in the study area(after Qin et al.,2015)

甲路组(Pt_3j):在研究出露较少,仅在雷公山、从江县南部等地分布。分为二段:第一段以灰-灰绿色变质砾岩、千枚岩和砂质板岩为主,其中砾石成分复杂,包括变石英岩、变质砂岩、千枚岩和角岩等;第二段为灰绿色钙质绢云千枚岩、板岩和粉砂质板岩组合,夹大理岩透镜体。与下伏地层梵净山群(四堡群)呈角度不整合接触关系(图1)。

乌叶组(Pt_3w):分布范围同甲路组。分为二段:第一段以灰至灰绿色粉砂质板岩、绢云板岩为主,局部具较清晰的复理石韵律;第二段主要为深灰至灰黑色炭质板岩。

番召组(Pt_3f):在研究区广泛分布。分为二段:第一段以灰至浅灰绿色变质砂岩、变质粉砂岩与绢云板岩互层,砂岩中偶见同生砾石;第二段为灰色粉砂质板岩夹少许变质砂岩、变质凝灰岩。

清水江组(Pt_3q):在研究区分布最为广泛的一套地层,含较多凝灰质为特点。岩性为灰至深灰色变余凝灰质砂岩、凝灰质粉砂岩、变余沉凝灰岩和凝灰质板岩,具有明显的复理石韵律。

平略组(Pt_3p):在研究区分布范围同清水江组,为一套由浅灰、灰至灰绿色绢云板岩、粉砂质板岩为主组成的地层,局部夹少量凝灰质板岩与变余砂岩,发育复理石韵律、滑塌构造等重力流沉积现象。

隆里组(Pt_3l):在研究区的西部和东北部零星分布,为一套以砂板岩为主的地层。分二段:第一段为变质不等粒含砾砂岩、变质粉砂-细砂岩与板岩大致1:1的比例交互成层,具明显的复理石韵律;第二段由浅灰至淡绿色绢云板岩、绿泥斑点板岩、粉砂质绢云板岩夹少量变质砂岩组成。与上覆成冰系长安组呈整合接触关系(图1)。

2 采样信息及样品特征

本文研究样品采自江南造山带西段(贵州境内)的三都县打鱼、雷山县雀鸟、剑河县久丢和柳丰、榕江县朗洞、黎平县蝉寨和从江县秀塘地区的下江群地层。共采集下江群各组层位样品31件,样品采集地点和样品层位见图1。岩性主要为绢云板岩、粉砂质板岩、变质粉砂岩和变质细砂岩4类。

绢云板岩:绢云母约占样品总量65%~95%,不均匀分布,结晶粒度<0.10 mm,显微鳞片变晶,半自形—自形。陆源碎屑约占样品总量5%~35%,以粒度<0.06~0.004 mm粉砂级陆源碎屑为主(图

2a),碎屑组分见石英矿物屑、岩屑(板岩岩屑、变余陆源碎屑岩岩屑等)、长石矿物屑及其它矿物屑(云母矿物屑、绿泥石矿物屑、锆石矿物屑等)。

粉砂质板岩:样品中陆源碎屑约占样品总量35%~50%,以粒度<0.06~0.004 mm粉砂级陆源碎屑为主,呈次圆状、圆状,磨圆度和分选性均较好。碎屑组分见石英矿物屑、长石矿物屑、岩屑(板岩岩屑、变余陆源碎屑岩岩屑和变质硅质岩岩屑等)及其它矿物屑(绿泥石矿物屑、云母矿物屑、锆石矿物屑等)。填隙物约占样品总量50%~65%,成分为绢云母变晶,呈层分布,结晶粒度<0.10 mm(图2b)。

变质粉砂岩:具有变余粉砂状结构,陆源碎屑约占样品总量70%~85%,分布不甚均匀。以粒度<0.06~0.004 mm粉砂级陆源碎屑为主,呈次圆状、圆状,磨圆度和分选性均较好。碎屑组分见岩屑(含量约40%,见板岩岩屑、变余陆源碎屑岩岩屑和变质硅质岩岩屑等)、石英矿物屑(含量约25%)、长石矿物屑(含量约15%)及其它矿物屑(含量约2%~5%,绿泥石矿物屑、云母矿物屑、锆石矿物屑等)。由于碎屑组分粒度过于细小,各组分含量估计可能有误差。填隙物约占样品总量15%,不均匀分布于陆源碎屑之间(图2c)。

变质细砂岩:变余细粒砂状结构。陆源碎屑约占样品总量85%及以上,分布不甚均匀,粒度<0.25~0.06 mm细砂级陆源碎屑,呈次圆状、圆状,磨圆度和分选性均较好。碎屑组分为岩屑(含量约30%~50%,变余陆源碎屑岩岩屑和变质硅质岩岩屑等)、长石矿物屑(含量约25%~28%)、石英矿物屑(含量约25%)及其它矿物屑(含量约2%~5%,绿泥石矿物屑、云母矿物屑、锆石矿物屑等)。碎屑组分成熟度中等。填隙物约占样品总量少于15%,不均匀分布于陆源碎屑之间,成分主要为绢云母变晶(图2d)。

3 岩石地球化学特征

研究样品由澳实分析检测(广州)有限公司测试。采用ME-XRF26d(偏硼酸锂溶解,X射线荧光光谱分析,各氧化物的检测范围为0.01%~100%)和M61-MS81(硼酸锂熔融+四酸消解,等离子质谱-光谱定量,元素整体检测范围为0.01~10 000 ppm)分别化验分析主量和微量元素。

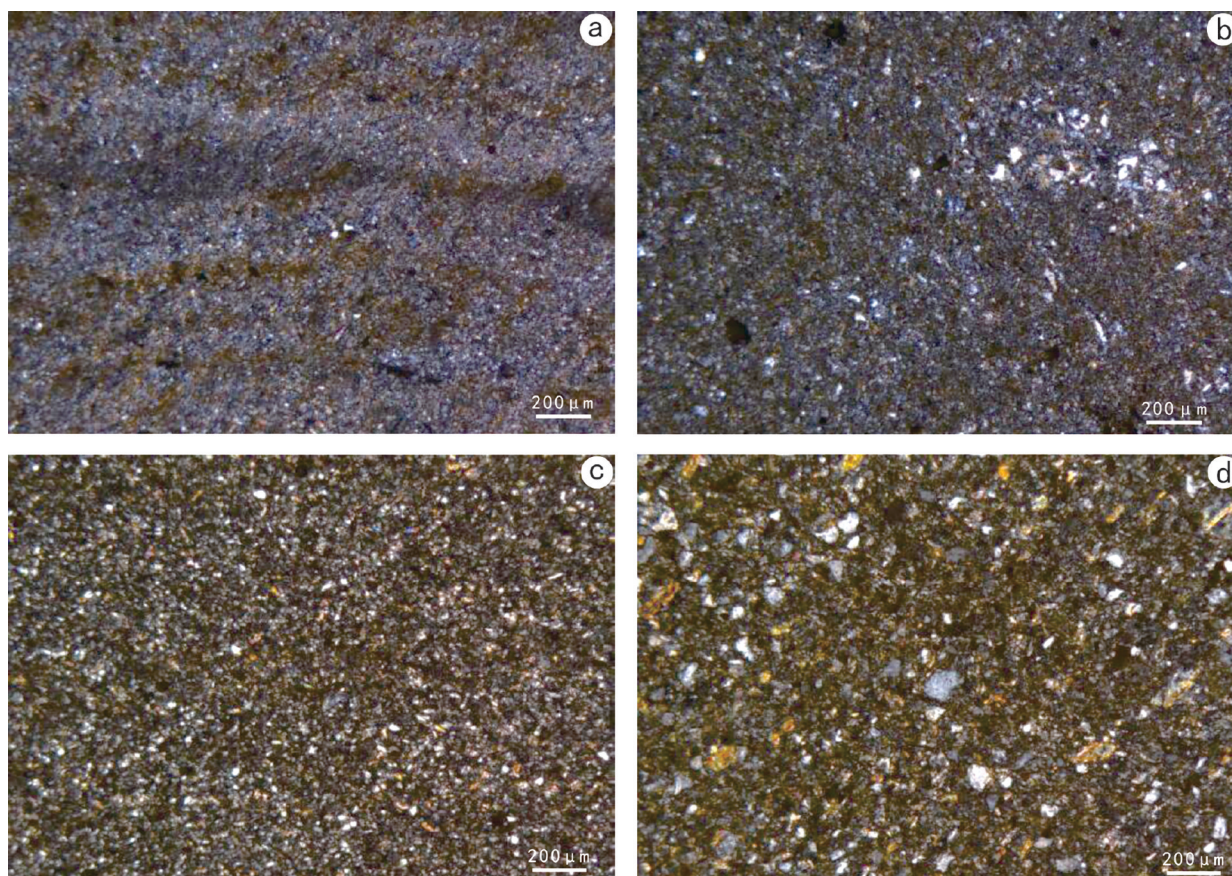


图2 下江群碎屑岩样品镜下特征

Fig. 2 Microscopic characteristics of clastic rock of Xiajiang Group

a—绢云板岩;b—粉砂质板岩;c—变质粉砂岩;d—变质细砂岩

3.1 常量元素

研究区下江群碎屑岩的主元素特征见表1。(1)下江群碎屑岩的 SiO_2 含量介于61.10%~75.06%之间,平均67.66%,相当于花岗闪长岩类,其中,乌叶组和平略组相对于其他地层, SiO_2 含量范围较大,乌叶组含量范围为63.83%~75.06%,平略组含量为61.10%~74.56%。(2)下江群碎屑岩的 Al_2O_3 含量12.01%~22.26%,平均16.42%,其中 Al_2O_3 含量最小和最大值样品都来自平略组,范围变化最大,下江群的 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ 比值为0.16~0.36,平均比值为0.25。(3)下江群碎屑岩的 CaO 含量极低,介于0.01%~2.83%,平均值为0.42%,含量变化范围较大的为清水江组和平略组,含量范围分别为0.05%~2.83%和0.01%~1.82%。(4)下江群碎屑岩的 TiO_2 含量各地层含量较稳定,为0.27%~0.87%,平均含量为0.59%。(5)下江群碎屑岩的 MnO 、 P_2O_5 含量均较低, MnO 含量平均值分别为0.09%,除去清水江组1件样品 P_2O_5 含量较高为

1.9%以外,其余样品平均含量为0.09%。(6)下江群碎屑岩的 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值分布范围较宽(0.43~56.11)。(7)下江群碎屑岩的 $\text{TFe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ 含量介于2.06%~8.47%之间,平均5.74%,甲路组 $\text{TFe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ 含量总体上较高,其余地层含量相当。

从样品主量元素相关性可以看出, SiO_2 含量与 Al_2O_3 、 K_2O 呈微弱的负相关关系,说明 SiO_2 主要赋存在碎屑物质中,且随着矿物成熟度的增加,不稳定成分(长石和岩屑)逐渐降低。

3.2 微量元素

研究区下江群碎屑岩的微量元素含量特征见表2,甲路组平均微量元素特征总体与后太古代页岩的微量元素含量(Taylor and McLennan, 1985)接近,乌叶组、番召组、清水江组、平略组和隆里组的平均微量元素特征总体与上地壳的微量元素含量接近。在上地壳标准化蛛网图中(图3),整个下江群均显示Sr、Nb元素亏损,整体含量较低,Y元素富集。另外,甲路组中Zn、Cr、Co、Sc、

Pb 元素相对较富集, Sr 的亏损高于其他地层, Cr 的富集也明显强于其他地层; 乌叶组中出现 Ba 和 Cr 的轻微富集; 番召组中呈现 Ba 和 Zr 轻微富集, U 和 Pb 的亏损, 以及 Co 的亏损强于其他地层; 清水江组中 Sr 元素的亏损弱于其他地层, U 的亏损; 平略组中表现出 Ba、Zn 和 Sc 的富集, Cr、U 和 Pb 的亏损; 隆里组为 Ba 和 Zr 的富集强于其他地层, Zn 富集、Pb 亏损。

3.3 稀土元素

稀土元素分析结果表见表 3, 研究各组稀土元素平均总含量 (ΣREE) 为 $177.78 \times 10^{-6} \sim 248.02 \times 10^{-6}$, 隆里组含量最高, 平均总稀土含量为 248.02×10^{-6} , 番召组含量最低, 为 177.78×10^{-6} 。各组平均 $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 为 $6.40 \sim 8.04$, 显示下江群轻稀土元素相对富集, 重稀土相对亏损。在球粒陨石标准化分配模式中 (图 4), 稀土元素分配模式均显示右倾, 轻稀土元素富集, 重稀土元素较平坦, 与 $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 比值反应的特征相同。所有样品均显示明显的 Eu 负异常。隆里组为中等 Ce 负异常, 其余各组正常。

4 沉积构造环境判别

陆源沉积物的化学组成受物源类型、风化条件、搬运方式以及成岩后生作用等多种因素的制约, 而这些因素又主要受沉积盆地的构造环境所控制 (Blatt, 1980)。长期以来, 许多地质学家一直致力于探索沉积物化学组成识别古代沉积盆地的构造环境 (Floyd et al., 1991; Gu, 1996)。尽管沉积物地球化学组成与沉积构造环境之间的关系较为复杂 (Haughton, 1991), 但沉积岩的某些常量元素、微量元素和稀土元素的特征值在判别古代沉积盆地构造背景中发挥了重要作用。

4.1 常量元素

根据 Bhatia (1983) 提出砂岩 11 种常量元素判别沉积构造背景的公式。对研究区沉积岩的个主元素 11 个常量元素氧化物变量所作的判别分析表明 (图 5), 研究区下江群的样品投点主要落入大陆岛弧和活动大陆边缘范围, 仅乌叶组 2 件样品落入了大洋岛弧。

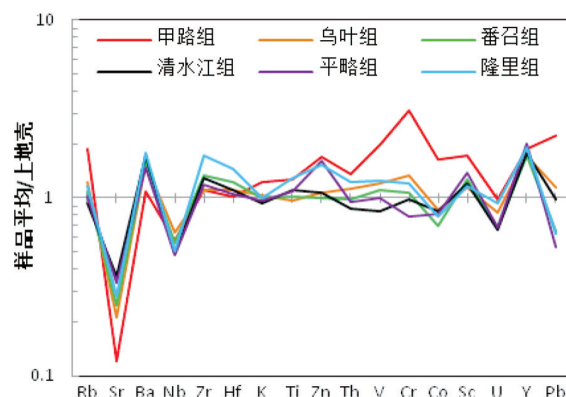


图 3 下江群碎屑岩微量元素上地壳标准化蛛网图 (上地壳数据据 Taylor and McLennan, 1985)

Fig. 3 The comparison plot of upper crust of trace elements in clastic rocks of Xiajiang Group (from Taylor and McLennan, 1985)

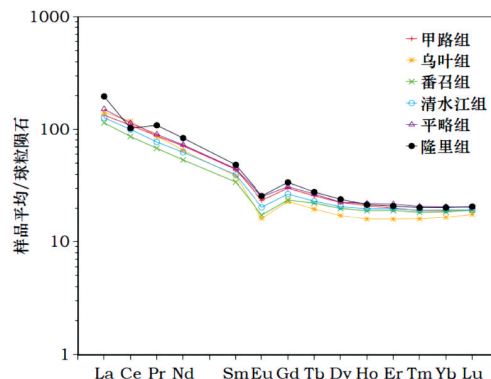


图 4 下江群碎屑岩稀土元素球粒陨石标准化分配模式 (球粒陨石数据据 Boynton, 1984)

Fig. 4 Chondrite-normalized distribution model of rare earth elements in clastic rocks of Xiajiang Group (from Boynton, 1984)

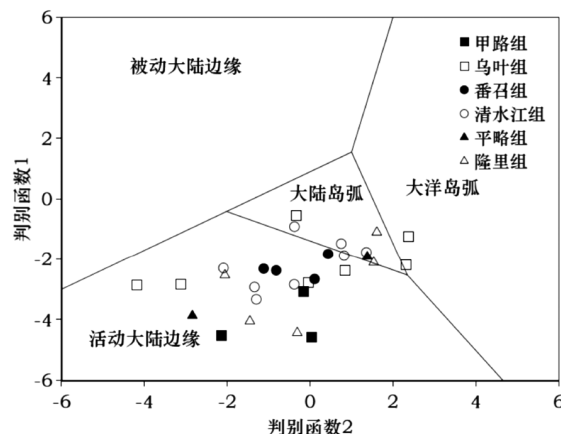


图 5 下江群碎屑岩主元素函数构造环境判别图 (底图据 Bhatia, 1983)

Fig. 5 Tectonic setting discrimination diagram of major elements function of clastic rocks from the Xiajiang Group (from Bhatia, 1983)

表 1 黔东南地区下江群碎屑岩常量元素分析结果及特征参数表(%)

Table 1 Major elements compositions and characteristic parameter of clastic rocks from the Xiajiang Group in Southeastern Guizhou

序号	层位	采样位置	岩性	样品编号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TF _{e2} O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	SiO	SO ₃	BaO	Cr ₂ O ₃	烧失	总量	TF _{e2} O ₃ +MgO	Al ₂ O ₃ / SiO ₂	K ₂ O/ Na ₂ O
1	甲路组	从江秀塘	变质细砂岩	CX01	64.10	18.44	6.19	0.03	1.60	4.92	0.16	0.72	0.05	0.11	0.01	0.01	0.07	0.02	3.21	99.64	7.79	0.29	30.75
2	甲路组	从江秀塘	变质粉砂岩	CX02	63.35	18.53	6.74	0.04	1.73	3.97	0.59	0.87	0.05	0.16	0.01	0.01	0.07	0.08	3.55	99.75	8.47	0.29	6.73
3	甲路组	雷山雀鸟	绢云板岩	LQ01	67.25	16.28	5.35	0.38	1.22	3.48	1.86	0.69	0.06	0.11	0.01	0.01	0.10	0.01	2.65	99.46	6.57	0.24	1.87
4	乌叶组	雷山雀鸟	变质细砂岩	LQ02	75.06	14.36	1.80	0.12	0.26	2.17	4.24	0.27	0.03	0.04	0.01	0.01	0.06	0.01	1.37	99.81	2.06	0.19	0.51
5	乌叶组	雷山雀鸟	变质细砂岩	LQ03	67.72	17.52	3.43	0.12	0.70	5.33	1.40	0.51	0.04	0.04	0.01	0.01	0.13	0.01	2.80	99.77	4.13	0.26	3.81
6	乌叶组	雷山雀鸟	绢云板岩	LQ04	65.00	17.12	4.20	1.00	0.90	5.13	1.23	0.48	0.07	0.11	0.01	0.17	0.18	0.01	4.19	99.80	5.10	0.26	4.17
7	乌叶组	从江秀塘	绢云片岩	CX03	69.26	14.91	5.29	0.24	1.68	2.33	3.13	0.70	0.07	0.13	0.01	0.01	0.07	0.01	2.00	99.84	6.97	0.22	0.74
8	乌叶组	从江秀塘	变质粉砂岩	CX04	65.06	17.62	4.76	0.04	1.96	3.78	2.06	0.73	0.08	0.06	0.01	0.83	0.13	0.02	3.10	100.24	6.72	0.27	1.83
9	乌叶组	雷山雀鸟	粉砂质板岩	LQ05	71.71	13.30	3.68	0.66	1.22	1.62	3.79	0.36	0.03	0.10	0.01	1.01	0.05	0.01	2.13	99.68	4.90	0.19	0.43
10	乌叶组	雷山雀鸟	变质粉砂岩	LQ06	63.83	18.60	4.69	0.06	1.94	4.10	1.78	0.70	0.04	0.06	0.01	0.69	0.10	0.02	3.77	100.39	6.63	0.29	2.30
11	番召组	雷山雀鸟	变质细砂岩	LQ07	64.83	18.32	4.69	0.30	1.16	3.84	2.35	0.67	0.05	0.06	0.01	0.49	0.11	0.02	2.86	99.76	5.85	0.28	1.63
12	番召组	雷山雀鸟	粉砂质板岩	LQ08	68.49	16.62	5.22	0.20	1.16	2.93	2.60	0.51	0.14	0.11	0.01	0.01	0.09	0.02	2.58	100.69	6.38	0.24	1.13
13	番召组	三都打鱼	变质粉砂岩	SD01	67.20	18.18	3.91	0.06	0.89	3.60	2.52	0.67	0.03	0.04	0.01	0.01	0.11	0.03	2.77	100.03	4.80	0.27	1.43
14	番召组	剑河久云	粉砂质板岩	JI01	68.23	16.49	4.94	0.09	0.86	3.03	1.95	0.57	0.08	0.07	0.02	0.01	0.10	0.01	3.23	99.68	5.80	0.24	1.55
15	清水江组	三都打鱼	变质细砂岩	SD02	67.30	15.92	4.81	1.41	0.90	2.42	2.93	0.62	0.07	0.12	0.01	0.48	0.08	0.03	3.01	100.11	5.71	0.24	0.83
16	清水江组	三都打鱼	变质细砂岩	SD03	68.92	16.66	3.51	0.39	0.76	3.17	3.50	0.51	0.10	0.06	0.01	0.27	0.12	0.01	2.46	100.45	4.27	0.24	0.91
17	清水江组	剑河柳丰	粉砂质板岩	JI01	68.24	15.82	4.94	0.11	1.25	4.23	0.88	0.58	0.08	0.04	0.01	0.01	0.12	0.01	3.36	99.68	6.19	0.23	4.81
18	清水江组	剑河柳丰	粉砂质板岩	JI02	67.02	15.93	4.81	0.60	1.44	3.05	2.92	0.62	0.11	0.15	0.02	1.44	0.10	0.01	2.58	100.80	6.25	0.24	1.04
19	清水江组	剑河柳丰	绢云板岩	JI03	69.11	12.92	4.34	2.83	1.23	2.53	1.96	0.39	1.90	0.15	0.02	0.01	0.08	0.01	2.20	99.68	5.57	0.19	1.29
20	清水江组	榕江朗洞	变质细砂岩	RL01	66.72	16.97	4.40	0.08	0.95	3.82	2.11	0.75	0.05	0.10	0.02	2.41	0.10	0.01	3.29	101.78	5.35	0.25	1.81
21	清水江组	剑河久云	变质粉砂岩	JI02	66.95	17.56	4.61	0.05	0.90	3.94	1.37	0.62	0.07	0.02	0.01	0.01	0.13	0.01	3.23	99.48	5.51	0.26	2.88
22	清水江组	剑河久云	变质粉砂岩	JI03	70.24	15.20	4.19	0.30	0.97	4.16	2.30	0.50	0.07	0.07	0.02	0.02	0.11	0.01	2.03	100.19	5.16	0.22	1.81
23	清水江组	剑河久云	变质粉砂岩	JI04	72.72	14.11	3.47	0.22	0.53	2.21	3.75	0.56	0.04	0.07	0.02	0.19	0.08	0.01	2.00	99.98	4.00	0.19	0.59
24	平略组	剑河柳丰	粉砂质板岩	JI04	74.56	12.01	2.85	1.82	0.80	2.50	1.86	0.36	0.90	0.13	0.02	0.01	0.10	0.01	2.18	100.11	3.65	0.16	1.34
25	平略组	三都打鱼	变质粉砂岩	SD04	67.61	16.42	4.93	0.47	1.46	2.63	2.73	0.60	0.09	0.09	0.01	0.11	0.07	0.02	2.69	99.93	6.39	0.24	0.96
26	平略组	榕江朗洞	绢云板岩	RL02	61.10	22.26	4.28	0.01	1.07	5.05	0.09	0.64	0.04	0.04	0.07	0.01	0.01	0.14	4.85	99.63	5.35	0.36	56.11
27	隆里组	榕江朗洞	变质粉砂岩	RL03	67.52	15.97	4.97	0.63	1.65	2.77	2.38	0.68	0.09	0.06	0.02	0.02	0.08	0.01	2.70	99.55	6.62	0.24	1.16
28	隆里组	三都打鱼	变质细砂岩	SD05	67.97	15.94	4.40	0.56	1.40	2.58	3.66	0.65	0.09	0.07	0.01	0.14	0.09	0.01	2.30	99.87	5.80	0.23	0.70
29	隆里组	黎平岷寨	粉砂质板岩	LC01	65.94	18.02	4.87	0.02	1.33	4.31	0.28	0.64	0.04	0.06	0.01	0.01	0.15	0.01	4.42	100.11	6.20	0.27	15.39
30	隆里组	黎平岷寨	变质细砂岩	LC02	67.60	17.50	3.51	0.12	1.27	4.66	1.78	0.63	0.06	0.06	0.02	0.01	0.14	0.01	2.84	100.21	4.78	0.26	2.62
31	隆里组	黎平岷寨	粉砂质板岩	LC03	66.73	17.52	5.64	0.01	1.32	3.57	0.14	0.57	0.06	0.15	0.01	0.01	0.08	0.01	4.52	100.34	6.96	0.26	25.50

表2 黔东南地区下江群碎屑岩微量元素分析结果表(10⁻⁶)

Table 2 Trace elements compositions of clastic rocks from the Xiajiang Group in Southeastern Guizhou

序号	样品编	采样位置	层位	岩性	Rb	Sr	Ba	Nb	Zr	Hf	K(%)	Ti(%)	Zn	Th	V	Cr	Co	Sc	U	Y	Pb
1	CX01	从江秀塘	甲路组	变质细砂岩	280.0	32.3	512	13.3	200	5.6	4.16	0.44	137	16.60	131	120	12.5	20.5	2.97	52.9	75.8
2	CX02	从江秀塘	甲路组	变质粉砂岩	204.0	33.8	525	15.3	234	6.4	3.23	0.43	107	16.30	144	140	20.5	22.0	3.15	39.7	48.8
3	LQ01	雷山雀鸟	甲路组	板岩	152.5	60.2	752	14.9	200	5.7	2.92	0.28	120	10.90	80	65	16.7	15.1	2.15	31.8	9.5
4	LQ02	雷山雀鸟	乌叶组	变质细砂岩	77.1	71.3	454	14.7	224	7.2	1.80	0.15	37	12.75	20	13	2.8	8.1	2.89	56.0	93.7
5	LQ03	雷山雀鸟	乌叶组	变质细砂岩	200.0	26.1	1085	16.3	218	7.0	4.46	0.30	60	12.85	50	27	5.8	13.8	2.18	40.4	3.1
6	LQ04	雷山雀鸟	乌叶组	绢云板岩	180.5	68.2	1490	16.3	205	6.7	4.19	0.26	59	12.00	41	20	5.5	11.4	1.88	46.9	9.6
7	CX03	从江秀塘	乌叶组	绢云片岩	109.5	68.5	592	14.9	186	5.0	1.95	0.29	134	10.15	72	80	22.5	13.5	1.83	26.1	15.1
8	CX04	从江秀塘	乌叶组	变质粉砂岩	154.0	76.1	1070	17.1	269	7.5	3.22	0.44	111	13.05	108	71	12.0	16.5	2.87	40.0	24.6
9	LQ05	雷山雀鸟	乌叶组	粉砂质板岩	68.2	140.0	382	15.6	162	5.1	1.37	0.20	74	10.90	61	36	7.0	8.0	2.09	26.7	7.2
10	LQ06	雷山雀鸟	乌叶组	变质粉砂岩	167.5	68.7	903	16.2	219	6.2	3.39	0.38	53	13.25	157	83	4.3	16.7	2.49	30.2	8.6
11	LQ07	雷山雀鸟	番召组	变质细砂岩	138.0	88.0	932	15.6	319	8.4	3.26	0.31	77	10.15	63	27	7.1	13.5	2.16	40.3	12.0
12	LQ08	雷山雀鸟	番召组	粉砂质板岩	109.5	91.4	733	13.3	181	5.3	2.41	0.28	66	11.90	64	36	10.1	13.0	1.83	43.2	4.6
13	SD01	三都打鱼	番召组	变质粉砂岩	138.5	101.0	864	15.0	259	7.6	3.07	0.29	63	10.05	77	47	2.7	14.7	1.87	26.2	20.3
14	JJ01	剑河久云	番召组	粉砂质板岩	102.0	65.6	980	12.2	253	7.0	2.51	0.33	80	9.66	62	40	8.2	14.4	1.80	43.8	15.6
15	SD02	三都打鱼	清水江组	变质细砂岩	83.4	163.0	677	10.3	214	6.0	2.08	0.36	93	8.87	57	33	10.8	13.7	1.71	29.7	23.8
16	SD03	三都打鱼	清水江组	变质细砂岩	109.0	127.5	986	14.5	282	7.8	2.63	0.31	83	12.65	43	18	5.9	12.0	2.41	45.6	20.5
17	JL01	剑河柳丰	清水江组	粉砂质板岩	130.0	71.4	1100	13.0	242	6.3	3.20	0.30	77	10.55	50	35	8.8	12.9	2.20	45.7	19.2
18	JL02	剑河柳丰	清水江组	粉砂质板岩	89.8	177.0	781	10.0	205	5.3	2.17	0.35	81	8.12	57	24	18.1	16.8	2.40	33.1	21.5
19	JL03	剑河柳丰	清水江组	绢云板岩	113.5	155.0	1125	15.2	206	5.3	2.93	0.30	67	9.59	32	17	3.9	11.7	1.50	49.3	26.2
20	RL01	榕江朗洞	清水江组	变质细砂岩	131.0	125.5	960	11.3	314	7.5	3.14	0.43	94	7.89	59	24	12.5	16.1	1.50	38.2	25.3
21	JJ02	剑河久云	清水江组	变质粉砂岩	122.5	43.1	1230	13.2	241	6.9	3.03	0.32	42	9.75	65	80	4.9	14.7	1.92	42.0	9.6
22	JJ03	剑河久云	清水江组	变质粉砂岩	120.5	117.5	1160	13.7	257	7.0	3.21	0.31	79	9.90	46	50	5.5	10.7	1.80	35.9	17.3
23	JJ04	剑河久云	清水江组	变质粉砂岩	41.9	170.0	514	8.7	237	6.1	1.15	0.31	66	6.72	44	30	5.3	11.6	1.32	37.0	14.2
24	JL04	剑河柳丰	平略组	粉砂质板岩	86.0	196.0	695	10.3	148	4.0	1.97	0.25	78	8.36	55	20	6.5	15.4	1.40	44.9	9.0
25	SD04	三都打鱼	平略组	变质粉砂岩	104.5	134.0	500	11.2	235	6.3	2.22	0.34	186	11.90	78	42	11.7	12.9	2.22	33.1	11.1
26	RL02	榕江朗洞	平略组	绢云板岩	149.5	21.3	1260	14.5	290	8.1	3.99	0.39	81	10.10	46	20	6.3	17.4	2.10	56.3	11.6
27	RL03	榕江朗洞	隆里组	变质粉砂岩	90.5	152.5	650	12.3	483	10.8	1.93	0.50	76	12.15	79	46	8.2	13.5	2.70	32.1	11.2
28	SD05	三都打鱼	隆里组	变质细砂岩	95.1	158.0	703	12.3	360	9.2	2.16	0.37	182	12.55	75	46	8.8	10.6	2.78	34.2	13.8
29	LC01	黎平岷寨	隆里组	粉砂质板岩	176.0	41.1	1520	13.2	262	7.4	3.65	0.38	113	13.50	90	50	7.2	14.8	2.83	57.3	18.5
30	LC02	黎平岷寨	隆里组	变质细砂岩	159.5	106.5	1360	13.9	340	9.1	3.57	0.36	67	15.65	60	30	5.9	11.0	2.98	44.5	13.8
31	LC03	黎平岷寨	隆里组	粉砂质板岩	136.5	33.2	710	11.2	202	6.1	2.78	0.34	112	11.40	72	40	9.5	14.4	1.76	43.0	5.9

表 3 黔东南地区下江群碎屑岩稀土元素分析结果表 (10^{-6})

Table 3 REE contents of clastic rocks from the Xiajiang Group in Southeastern Guizhou

序号	样品编	采样位置	层位	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
1	CX01	从江秀塘	甲路组	变质细砂岩	40.50	92.00	11.70	51.40	10.75	2.29	10.15	1.59	9.64	1.95	5.28	0.75	4.68	0.68
2	CX02	从江秀塘	甲路组	变质粉砂岩	46.70	94.90	11.48	45.10	8.77	1.71	7.54	1.19	6.96	1.47	4.07	0.61	3.98	0.64
3	LQ01	雷山雀鸟	甲路组	板岩	37.30	77.50	8.82	32.20	6.29	1.18	5.67	0.88	5.15	1.11	3.27	0.49	3.23	0.52
	LQ02		甲路组	平均	41.50	88.13	10.67	42.90	8.60	1.73	7.79	1.22	7.25	1.51	4.21	0.62	3.96	0.61
4	LQ03	雷山雀鸟	乌叶组	变质细砂岩	46.20	100.20	11.73	45.80	9.95	1.51	8.51	1.47	8.84	1.94	5.69	0.86	5.42	0.9
5	LQ04	雷山雀鸟	乌叶组	变质细砂岩	40.00	84.50	9.67	37.10	7.40	1.30	6.24	1.12	6.42	1.43	4	0.63	4.14	0.69
6	CX03	雷山雀鸟	乌叶组	绢云板岩	48.00	100.00	11.35	43.80	9.54	1.50	8.31	1.41	7.99	1.66	4.67	0.7	4.67	0.75
7	CX04	从江秀塘	乌叶组	绢云片岩	37.80	79.30	8.58	31.30	5.87	1.27	5.31	0.81	4.7	0.98	2.65	0.42	2.76	0.41
8	LQ05	从江秀塘	乌叶组	变质粉砂岩	53.60	113.00	12.38	46.80	8.63	1.45	7.61	1.17	6.94	1.43	4.15	0.63	4.1	0.67
9	LQ06	雷山雀鸟	乌叶组	粉砂质板岩	32.30	67.40	7.58	26.70	5.51	0.85	4.27	0.7	4.34	0.89	2.64	0.42	2.9	0.47
10	LQ07	雷山雀鸟	乌叶组	变质粉砂岩	50.80	106.00	12.00	43.50	8.45	1.25	5.98	0.92	5.27	1.1	3.19	0.5	3.34	0.56
	LQ08		乌叶组	平均	44.10	92.91	10.47	39.29	7.91	1.30	6.60	1.09	6.36	1.35	3.86	0.59	3.90	0.64
11	SD01	雷山雀鸟	番召组	变质细砂岩	43.10	91.20	10.33	40.20	8.19	1.56	6.49	1.12	6.46	1.39	3.94	0.62	3.93	0.67
12	JJ01	雷山雀鸟	番召组	粉砂质板岩	46.20	87.50	10.60	40.00	8.53	1.48	7.33	1.23	7.37	1.55	4.28	0.6	3.78	0.55
13	SD02	三都打鱼	番召组	变质粉砂岩	10.40	19.60	2.42	9.60	2.25	0.53	2.73	0.58	3.86	0.92	2.86	0.47	3.38	0.58
14	SD03	剑河久丢	番召组	粉砂质板岩	42.30	81.20	9.83	38.80	7.64	1.53	7.95	1.27	7.9	1.59	4.94	0.69	4.4	0.68
	JJ01		番召组	平均	35.50	69.88	8.30	32.15	6.65	1.28	6.13	1.05	6.40	1.36	4.01	0.60	3.87	0.62
15	JJ02	三都打鱼	清水江组	变质细砂岩	31.90	67.70	7.97	30.20	6.29	1.27	5.17	0.87	5.08	1.09	3.06	0.47	3.12	0.49
16	JJ03	三都打鱼	清水江组	变质细砂岩	55.60	114.50	12.98	48.80	9.10	1.70	7.91	1.24	7.65	1.58	4.49	0.67	4.36	0.66
17	RI01	剑河柳丰	清水江组	粉砂质板岩	59.50	107.50	13.10	53.20	10.05	1.74	8.78	1.3	7.15	1.54	4.18	0.64	3.92	0.61
18	JJ02	剑河柳丰	清水江组	粉砂质板岩	31.20	65.40	7.55	31.50	7.27	1.44	6.11	0.95	5.57	1.26	3.65	0.5	3.24	0.5
19	JJ03	剑河柳丰	清水江组	绢云板岩	31.10	65.80	8.72	37.20	9.16	1.39	8.27	1.33	7.99	1.69	4.61	0.68	4.5	0.64
20	JJ04	榕江朗洞	清水江组	变质细砂岩	33.80	79.30	8.68	35.60	7.31	1.79	5.66	0.93	6.1	1.36	4.41	0.68	4.81	0.76
21	JJ04	剑河久丢	清水江组	变质粉砂岩	42.50	81.60	9.59	37.80	7.23	1.29	7.08	1.18	7.37	1.54	4.72	0.73	4.41	0.72
22	SD04	剑河久丢	清水江组	变质粉砂岩	39.40	83.10	8.91	34.10	6.85	1.33	6.62	1	6.43	1.33	4.14	0.6	3.95	0.61
23	RI02	剑河久丢	清水江组	变质粉砂岩	29.10	62.70	7.51	30.20	6.42	1.52	6.63	1.03	6.56	1.37	4.09	0.62	4.04	0.59
	RI03		清水江组	平均	39.34	80.84	9.45	37.62	7.74	1.50	6.91	1.09	6.66	1.42	4.15	0.62	4.04	0.62
24	SD05	剑河柳丰	平略组	粉砂质板岩	43.80	81.50	9.81	41.50	8.59	1.73	7.84	1.21	6.04	1.37	4.02	0.52	3.36	0.55
25	LC01	三都打鱼	平略组	变质粉砂岩	38.20	83.30	9.33	34.90	6.62	1.42	5.99	0.91	5.56	1.21	3.4	0.52	3.34	0.51
26	LC02	榕江朗洞	平略组	绢云板岩	59.30	110.50	13.95	54.90	10.95	2.42	10.25	1.68	10.25	2.17	6.29	0.98	6.21	0.91
	LC03		平略组	平均	47.10	91.77	11.03	43.77	8.72	1.86	8.03	1.27	7.28	1.58	4.57	0.67	4.30	0.66
27	CX01	榕江朗洞	隆里组	变质粉砂岩	39.10	80.60	9.32	37.60	7.41	1.47	6.21	0.97	5.72	1.2	3.47	0.52	3.58	0.56
28	CX02	三都打鱼	隆里组	变质粉砂岩	38.50	82.30	9.32	34.80	6.64	1.43	5.62	0.96	5.7	1.26	3.64	0.56	3.76	0.63
29	LQ01	黎平岷寨	隆里组	粉砂质板岩	93.40	67.10	19.45	73.00	13.30	2.83	12.85	1.86	10.55	1.98	5.48	0.82	5.17	0.8
30	LQ02	黎平岷寨	隆里组	变质细砂岩	64.80	128.50	15.00	58.40	10.70	1.90	9.89	1.39	8.36	1.66	4.89	0.73	4.59	0.73
31	LQ03	黎平岷寨	隆里组	粉砂质板岩	68.7	56.1	13.25	47.6	9.2	1.8	9.31	1.41	8.31	1.61	4.5	0.65	4.09	0.61
			隆里组	平均	60.90	82.92	13.27	50.28	9.45	1.89	8.78	1.32	7.73	1.54	4.40	0.66	4.24	0.67

Roser 和 Korsch (1986) 发现 K_2O/Na_2O-SiO_2 图解可以有效示踪砂岩形成构造环境,可以确定砂岩的沉积构造古地理背景,来自这三类不同构造环境的砂岩和泥岩在 K_2O/Na_2O-SiO_2 图上落入明显的不同区域。将研究区样品进行投点,结果显示(图6):下江群样品全部落入了活动大陆边缘和岛弧范围。

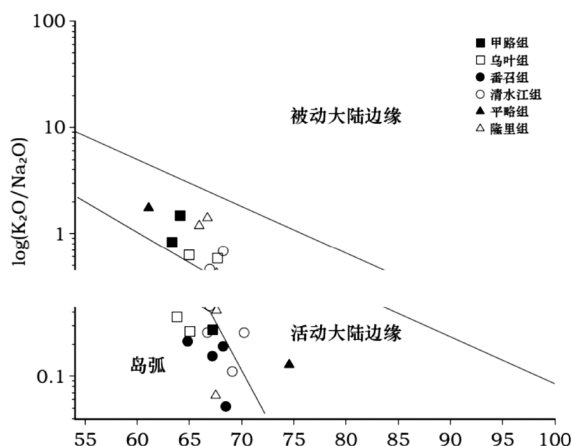


图6 下江群碎屑岩 K_2O/Na_2O-SiO_2 构造环境判别图
(底图 Roser and Korsch, 1986)

Fig. 6 Tectonic setting discrimination diagram of K_2O/Na_2O-SiO_2 of clastic rocks from the Xiajiang Group
(from Roser and Korsch, 1986)

Bhatie (1983) 提出 $Al_2O_3/SiO_2 \sim TFe_2O_3 + MgO$ 、 $K_2O/Na_2O-Fe_2O_3 + MgO$ 、 $TiO_2-TFe_2O_3 + MgO$ 图解可以用来进一步标定砂岩形成的大地构造位置。将研究区样品数据进行投图,在 $TiO_2-Fe_2O_3+MgO$ 判别图中(图7a),下江群大部分样品落入了大陆岛弧范围,部分样品落入活动大陆边缘,甲路组 1 件样品落入了大洋岛弧范围;在 $K_2O/Na_2O-TFe_2O_3 + MgO$ 判别图中(图7b),乌叶组 1 件落入了大陆岛弧范围,有 2 件样品落入了大陆岛弧和活动大陆边缘共同区域,2 件样品落入了活动大陆边缘范围,4 件样品邻近活动大陆边缘,1 件落入活动大陆边缘和被动大陆边缘共同区域;在 $Al_2O_3/SiO_2-TFe_2O_3 + MgO$ 判别图中(图7c),部分样品落入大陆岛弧和活动大陆边缘范围。因此,可进一步说明下江群沉积构造范围为大陆岛弧相关的活动大陆边缘背景。

4.2 微量稀土元素

稀土元素(REE)和高场强元素以及部分过渡金属元素(如 Co)通常被认为是沉积过程中最稳定的元素,因此,利用这些元素可以有效判别碎

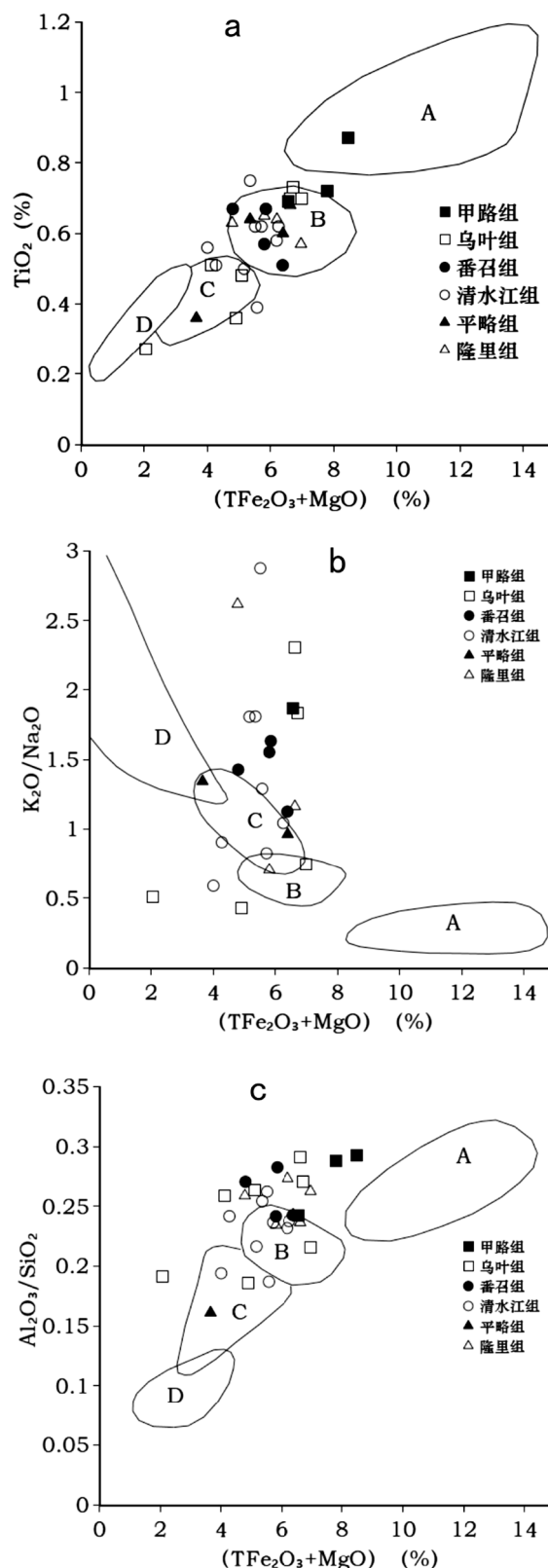


图7 下江群碎屑岩主元素构造环境判别图
(底图据 Bhatia, 1983)

Fig. 7 Tectonic setting discrimination diagram of major elements of clastic rocks from the Xiajiang Group (from Bhatia, 1983)
A—大洋岛弧; B—大陆岛弧; C—活动大陆边缘; D—被动大陆边缘

屑岩源区成分。Bhatia (1985) 在研究澳大利亚古生代浊积杂砂岩的构造环境时,认为最具构造判别意义的是 La-Th-Sc, Th-Sc-Zr/10 及 Th-Co-Zr/10 三角图解,在图 8a 中,下江群主要落入大陆岛弧范围,图 8b 中基本上都落入大陆岛弧范围,图 8c 中主要落入了大陆岛弧,部分落入被动大陆

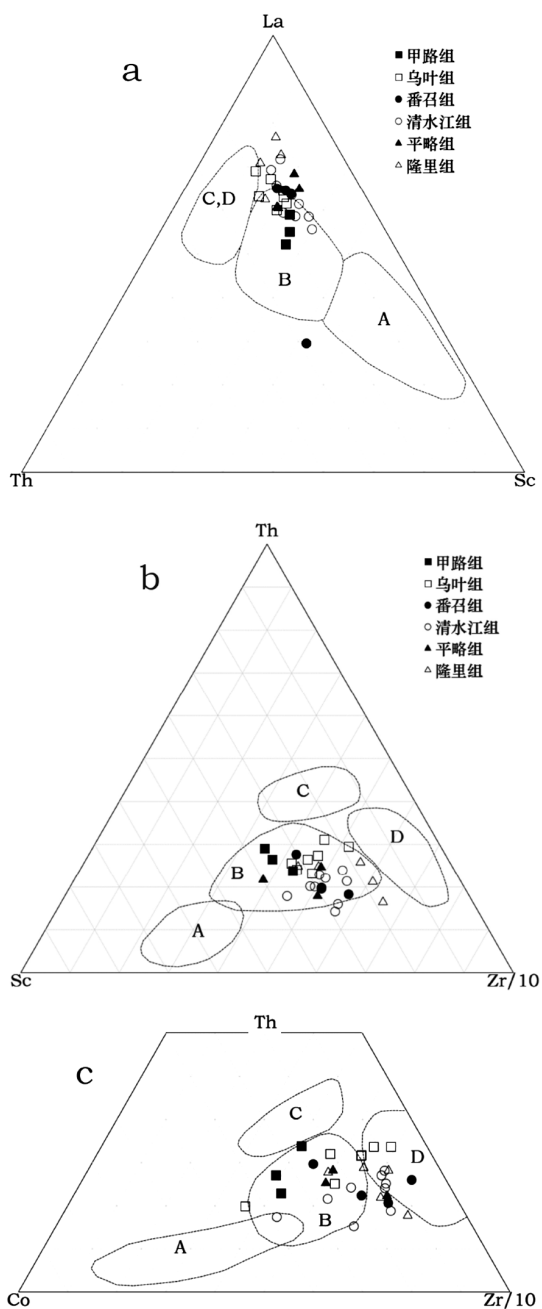


图 8 下江群碎屑岩 La-Th-Sc(a)、Th-Co-Zr/10(b) 和 Th-Sc-Zr/10(c) 构造环境判别图 (底图据 Bhatia, 1985)

Fig. 8 Tectonic setting discrimination diagram of La-Th-Sc(a), Th-Co-Zr/10(b) and Th-Sc-Zr/10(c) of clastic rocks from the Xiajiang Group (after Bhatia, 1985)
A—大洋岛弧; B—大陆岛弧; C—活动大陆边缘; D—被动大陆边缘

边缘。在 Ti/Zr—La /Sc 图中(图 9a),下江群多数样品落入大陆岛弧区域,部分样品落入活动大陆边缘范围,乌叶组 1 件样品落入到被动边缘区域。在 La/Y—Sc/Cr 图中(图 9b),样品也主要落入大陆岛弧范围,部分落入活动大陆边缘,甲路组和乌叶组各 1 件落入被动大陆边缘。

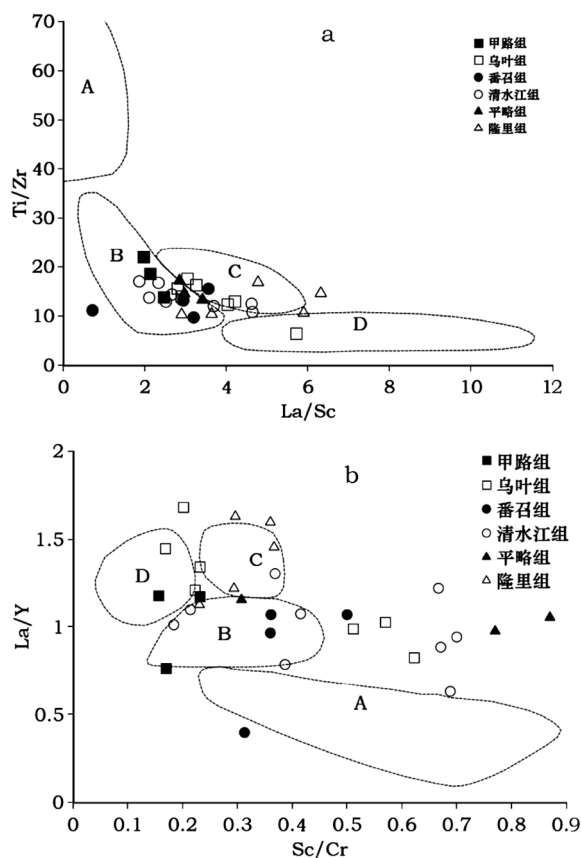


图 9 黔东南下江群碎屑岩 Ti/Zr—La /Sc(a) 和 La/Y—Sc/Cr(b) 构造环境判别图 (底图据 Bhatia, 1985)

Fig. 9 Tectonic setting discrimination diagram of Ti/Zr—La /Sc(a) and La/Y—Sc/Cr(b) of clastic rocks from the Xiajiang Group (after Bhatia, 1985)
A—大洋岛弧; B—大陆岛弧; C—活动大陆边缘; D—被动大陆边缘

5 沉积盆地性质

Rodinia 超大陆裂解初期的华南西部大地构造属性和盆地原型性质是一个争议较大的基础地质问题(张传恒等, 2009),主要有两种不同的认识:一种观点认为华南西部广泛发育新元古代裂谷型双峰模式岩浆岩(Li et al., 2003; Zhou et al., 2006)和沉积记录(杨菲等, 2012; 徐世林和杨瑞东, 2016),是全球性新元古代裂谷带环境的产物;另一种观点则认为华南西部的新元古代岩浆岩不

是裂谷型岩浆岩,而属俯冲型造山带的产物,当时应处于汇聚板块边缘带内(zhou et al., 2006; 张传恒等, 2009; 曹卫刚等, 2012)。在早期研究基础上(牟军等, 2015; 戴维等, 2017), 结合本次研究资料, 作者认为江南造山带西段(贵州境内)下江群沉积期主要处于一个活动大陆边缘的弧后盆地沉积环境, 沉积物一部分来自盆地北侧的扬子陆块, 一部分则来自盆地南侧的龙胜岛弧带(Gu et al., 2002; Lin et al., 2015)。经历武陵造山运动构造事件后, 研究区形成了北西高南东低及次级拗陷的古地貌格局, 长期处于剥蚀夷平和填平阶段, 沉积盆地扩大, 沉积了甲路、乌叶组、番召组和清水江组, 沉积盆地范围在清水江组沉积期达到最大。之后沉积盆地开始萎缩, 沉积了平略组和隆里组。

6 结论

(1) 研究区新元古代下江群各地层具有大致相似的地球化学组成特征, 表现为: SiO_2 平均含量约为 67.45%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 较高, $\text{TFe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ 含量较低; 显示 Sr、Nb 元素亏损, 整体含量较低, Y 元素富集; 轻稀土元素稀土相对富集, 重稀土则相对亏损, 稀土配分模式总体为右倾, 轻稀土斜率较大, 重稀土趋于平坦。

(2) 地球化学研究显示, 研究区下江群在沉积期处于一个活动大陆边缘的弧后盆地沉积环境, 沉积盆地经历了扩大和萎缩过程, 沉积物可能主要来自盆地北侧的扬子陆块和南侧的龙胜岛弧带。

[参考文献]

- 曹卫刚, 杜定全, 顾尚义, 等. 2012. 黔东南新元古代花岗质岩石地球化学特征及大地构造背景研究[J]. 贵州大学学报: 自然科学版, 29(2): 33-38.
- 戴维, 徐亚军, 杜远生, 等. 2017. 黔东南新元古代下江群碎屑岩地球化学特征及其大地构造意义[J]. 地质论评, 63(5): 1153-1168.
- 郭令智. 1996. 江南中-新元古代岛弧的运动学和动力学[J]. 高校地质学报, 2(1): 1-13.
- 牟军, 罗香建, 王安华, 等. 2015. 贵州锦屏地区新元古代下江群地球化学特征及构造环境研究[J]. 高校地质学报, 21(01): 68-78.
- 邵磊, 刘志伟, 朱伟林. 2000. 陆源碎屑岩地球化学在盆地分析中的应用[J]. 地学前缘, 7(03): 297-304.
- 覃永军. 2015. 江南造山带西段新元古代下江群年代地层标定与盆地演化[D]. 武汉: 中国地质大学博士学位论文, 1-136.
- 覃永军, 杜远生, 牟军, 等. 2015. 黔东南地区新元古代下江群的地层年代及其地质意义[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 40(07): 1107-1131.
- 徐世林, 杨瑞东. 2016. 黔东南新元古代下江群甲路组大理岩的碳氧同位素组成及其意义[J]. 贵州地质, 33(2): 91-95.
- 杨菲, 汪正江, 王剑, 等. 2012. 华南西部新元古代中期沉积盆地性质及其动力学分析——来自桂北丹洲群的沉积学制约[J]. 地质论评, 58(5): 854-864.
- 杨江海. 2012. 造山带碰撞—隆升过程的碎屑沉积响应[D]. 武汉: 中国地质大学博士学位论文, 1-150.
- 张传恒, 刘耀明, 史晓颖, 等. 2009. 下江群沉积地质特征及其对华南新元古代构造演化的约束[J]. 地球学报, 30(04): 495-504.
- Bhatia M R, Crook K A W. 1986. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 92(2): 181-193.
- Bhatia M R. 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones[J]. Journal of Geology, 91(6): 611-627.
- Bhatia M R. 1985. Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic graywackes and mudrocks: Provenance and tectonic control[J]. Sedimentary Geology, 45(1-2): 97-113.
- Blatt H, Middleton G V, Murray RC. 1980. Origin of sedimentary rocks[M]. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. 1-618.
- Boynton W V. 1984. Cosmochemistry of the Rare Earth Elements: Meteorite Studies[M]. In: Henderson P, Eds. Rare Earth Element Geochemistry. Amsterdam: Elsevier. 63-114.
- Floyd P A, Shail R, Leveridge B E, et al. 1991. Geochemistry and provenance of Rhenohercynian synorogenic sandstones: Implications for tectonic environment discrimination. developments in sedimentary provenance studies[J]. Geological Society London Special Publication, 5: 173-188.
- Gu X X. 1996. Turbidite-hosted micro-disseminated gold deposits[M]. Chengdu: Chengdu University of Science Technology Press. 1-239.
- Gu X X, Liu J M, Zheng M H, et al. 2002. Provenance and tectonic setting of the Proterozoic turbidites in Hunan, South China: Geochemical evidence[J]. Journal of Sedimentary Research, 72(3): 393-407.
- Haughton P D W, Todd S P, Morton A C. 1991. Sedimentary provenance studies[J]. Geological Society London Special Publication, 57: 1-11.
- Li X H, Li Z X, Ge W C, et al. 2003. Neoproterozoic granitoids in South China: Crustal melting above a mantle plume at ca. 825 Ma? [J]. Precambrian Research, 122(1-4): 45-83.
- Lin M S, Peng S B, Jiang X F, et al. 2015. Geochemistry, petrogenesis and tectonic setting of Neoproterozoic mafic-ultramafic rocks from the western Jiangnan orogen, South China[J]. Gondwana Research, 35: 338-356.
- Roser B P, Korsch R J. 1986. Determination of Tectonic Setting of Sandstone-mudstone Suites Using SiO_2 content and $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$

Ratio[J]. The Journal of Geology, 94(5):635–650.
 Taylor S R, McLennan S M. 1985. The Continental Crust: Its
 Composition and Evolution[M]. Oxford: Blackwell. 11–312.
 Zhou M F, Ma Y X, Yan D P, et al. 2006. The Yanbian Terrane (South-

ern Sichuan Province, SW China): A Neoproterozoic arc
 assemblage in the western margin of the Yangtze Block [J]. Pre-
 cambrian Research, 144(1–2):19–38.

Lithogeochemistry Characteristics and Sedimentary Tectonic Environment of Neoproterozoic Xiajiang Group in the Western Jiangnan Orogenic Belt

DENG Xiao-jie¹, QIN Yong-jun^{2,3}, QIANG Xi-run¹, MU Jun¹,
 TIAN Wen-ming¹, HUANG Xiong-wei¹

(1. Guizhou Geological Survey, Guiyang 550081, Guizhou, China; 2. Guizhou Bureau of Geology
 and Mineral Exploration and Development, Guiyang 550004, Guizhou, China; 3. Technical
 Innovation Center of Mineral Resources Exploration Engineering in Bedrock Area of the
 Ministry of Natural Resources, Guiyang 550081, Guizhou, China)

[Abstract] The southeastern Guizhou Province in the western section of Jiangnan orogenic belt is widely distributed a set of continental clastic rocks with volcanic clastic rock series up to ten thousand meters thick. The strata above the Wuling movement interface and below the Xuefeng movement interface are called Xiajiang Group, which is equivalent to Banxi Group in Hunan and Danzhou Group in Guangxi. It is one of the important objects to study the evolution history of Neoproterozoic sedimentary basins in Jiangnan oldland. Xiajiang Group is widely exposed in southeastern Guizhou in the western part of Jiangnan orogenic belt, which is a set of regional shallow metamorphic terrigenous–volcanic clastic formation. From bottom to top, Xiajiang Group is divided into Jialu Formation, Wuye Formation, Fanzhao Formation, Qingshuijiang Formation, Pinglue Formation and Longli Formation. In this study, each stratum of Xiajiang Group in the study area was taken as the research object. On the basis of extensive regional geological route survey and profile measurement, representative profiles are selected to carry out systematic rock geochemical tests. The results show that the SiO₂ content of Xiajiang Group is between 61.10% and 75.06%, with an average of 67.45%. The K₂O / Na₂O ratio is higher, while the TFe₂O₃ + MgO content is lower, with an average of 5.74%. Sr, Nb elements overall content is low, showing a loss; Y element enrichment; light rare earth elements are relatively enriched, while heavy rare earth elements are relatively depleted; the distribution pattern of rare earth is generally right-leaning, the slope of light rare earth is large, and the heavy rare earth tends to be flat. Among them, the average trace element content of Jialu Formation is generally close to that of post Archean shale, while the average trace element content of Wuye Formation, Fanzhao Formation, Qingshuijiang Formation, Pinglue Formation and Longli Formation is generally close to that of upper crust. Comprehensive geological and geochemical research results of each group, That suggests that the sedimentary period of Xiajiang Group in the study area is in a back–arc basin sedimentary environment on the active continental margin. The sediments are mainly from the Yangtze continental block on the north side of the basin and the Longsheng island arc belt on the south side of the basin.

[Key Words] Sedimentary tectonic environment; lithogeochemistry; Xiajiang Group; Neoproterozoic; southeastern Guizhou