

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2021.01.009

赣南遂川地区基性岩脉的性质及构造意义

李功振¹, 陈志洪²

(1. 四川省冶金地质勘查院, 成都 610061;

2. 中国地质调查局南京地质调查中心, 南京 210016)

摘要: 文章以赣南遂川地区的基性岩脉为研究对象,通过野外地质观察和室内岩石学、地球化学以及锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测定分析,并对其岩石学、地球化学特征、形成时间、岩浆成因及构造环境等有关问题进行探讨。基性岩脉测年结果为 $446 \text{ Ma} \pm 6.6 \text{ Ma}$ — $422.3 \text{ Ma} \pm 7.3 \text{ Ma}$,属加里东晚期区域性伸展环境的产物。主、微量元素分析显示基性岩脉为拉斑碱性系列,属于富钠基性岩类;稀土配分曲线与地幔岩浆型稀土元素曲线模式相似,说明岩浆来源与地幔岩浆有密切关系。赣南存在加里东期的酸性和基性侵入岩,反映了地壳构造环境由早期挤压环境渐变为后期伸展环境的演化过程。

关键词: 遂川;基性岩脉;锆石 U-Pb 测年;加里东期;赣南

中图分类号: P588.124;P588.13 **文献标识码:** A

岩浆源区特征等进行探讨。

0 引言

赣南遂川地区位于钦杭结合带以南、南岭隆起带以东的罗霄—诸广隆起内。区内岩浆岩主要为酸性岩类,基性岩零星分布。江西地质局区调大队^[1]在区调时认为赣南遂川地区基性岩是燕山晚期岩浆活动结束的标志;王登红等^[2]对赣南安远蔡坊镇的路迳似金伯利岩(金伯利质煌斑岩)研究过程中,获得 SHRIMP 法锆石 U-Pb 年龄为 132.0 Ma ;左祖发等^[3]通过(LA-ICP-MS)锆石 U-Pb 法测定横市基性岩脉形成于晚志留世。有研究^[4]表明,基性岩脉的同位素年代学和地球化学研究将会更加明晰区域岩浆岩形成环境和构造组合关系。为此,本文基于“江西 1:25 万兴国幅区域地质调查修测”工作,针对遂川地区基性岩脉开展了野外地质观察和室内岩石学、地球化学以及锆石 U-Pb 年龄研究,力图对基性岩体的岩石学、地球化学特征、形成时间、岩浆成因、

1 岩石地质特征

赣南遂川基性岩脉位于华夏板块的罗霄褶皱带中部^[5]。岩脉的围岩为南华系—寒武系变质砂泥岩。区域褶皱十分发育,紧闭倒转背斜与向斜交替出现。基性岩脉主要分布于张坑—横市一带。岩脉在地表出露不连续,主要呈岩瘤状,宏观上基性岩脉的产出受控于 NNE 向深大断裂(图 1)。张坑、清江和增坑等岩体出露面积分别为 2 km^2 、 0.15 km^2 和 0.2 km^2 。

遂川基性岩脉的边缘为辉长闪长岩,岩石呈细粒—微细粒结构(图 2)。基性岩中的围岩捕虏体主要分布于岩体的顶部,分布范围较小,周围岩体具有明显的斑点状构造,颗粒粒度变化较大,同化混染作用明显。观察岩石薄片,岩石发生强烈的自变质,主要为纤闪石化、绢云母化。

收稿日期: 2020-05-28; 改回日期: 2021-01-27; 责任编辑: 余和勇

基金项目: 中国地质调查局项目“江西 1:25 万兴国县幅区调(修测)(2015—2017)” (批准号:12120115030101)资助。

作者简介: 李功振(1992—),男,助理工程师,硕士,主要从事构造地质、地热地质相关工作。通信地址:四川省成都市成华区崔家店路 75 号 9-1 幢;邮政编码:610061;E-mail:1486317394@qq.com

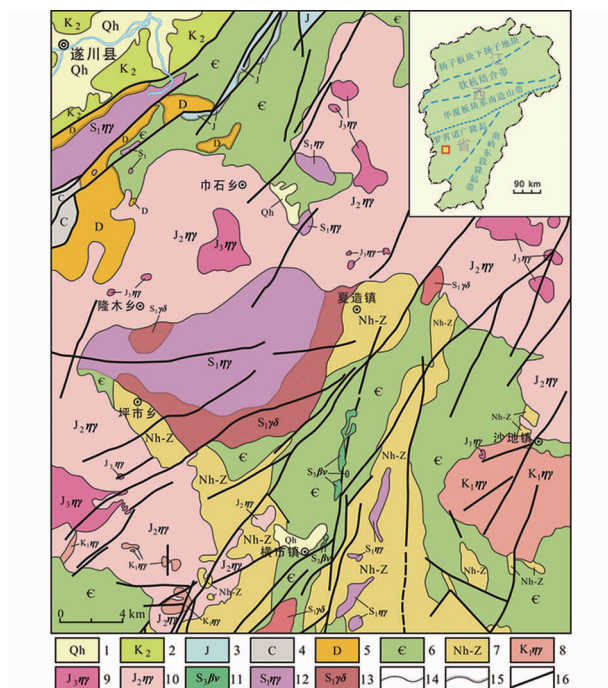


图 1 基性岩脉及周边岩体构造分布

Fig. 1 Tectonic location of basic dykes and the surrounding rock mass

1. 第四系; 2. 上白垩统; 3. 侏罗系; 4. 石炭系; 5. 泥盆系;
6. 寒武系; 7. 南华系-震旦系; 8. 早白垩世二长花岗岩;
9. 晚侏罗世二长花岗岩; 10. 中侏罗世二长花岗岩;
11. 晚志留世基性岩; 12. 早志留世二长花岗岩;
13. 早志留世花岗闪长岩; 14. 地质界线;
15. 不整合地质界线; 16. 断裂

2 分析和结果

2.1 样品采集与测试

由于基性岩中的锆石含量较少,野外采集的单个样品质量均 >20 kg。锆石的挑选工作全程未使用任何化学试剂。锆石制靶、阴极发光(CL)照相在 Gatan Mini CL 型阴极荧光光谱仪和 JSM-6510 型扫描电子显微镜上完成。以锆石的阴极发光照射结果挑选典型的岩浆锆石(图 3)进行锆石 U-Pb 测年分析^[6-7]。

锆石 U-Pb 同位素测年采用合肥工业大学资源与环境工程学院 LA-ICP-MS 实验室的 Agilent 7500a 分析仪器及与之配套的 Geo Las Pro 激光剥蚀系统完成。运用 ICP-MS Data Cal 程序来分析年龄数据^[8-9],以 Andersen(2002)的算法对普通铅进行校正^[10],使用最新版的 Isoplot 3.0 来计算锆石的年龄并绘制相关年龄协和图。

主、微量元素测定由中国地质调查局南京地质矿产所测试中心完成。主量元素测定采用荷兰飞利浦公司生产的 PW2403 型 X 荧光光谱仪测定,主量元素的分析精度优于 5%,符合相关精度要求;微量元素分析的精度优于 10%,部分元素精度优于 5%。

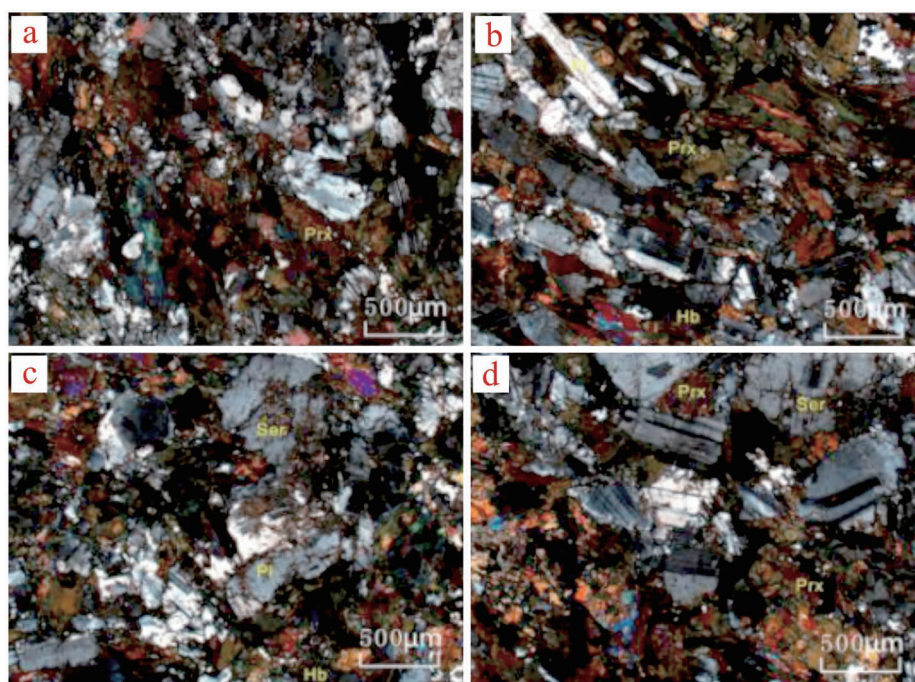


图 2 赣南地区辉长辉绿岩显微照片

Fig. 2 Photomicrograph of diabase and gabbro in South Jiangxi province

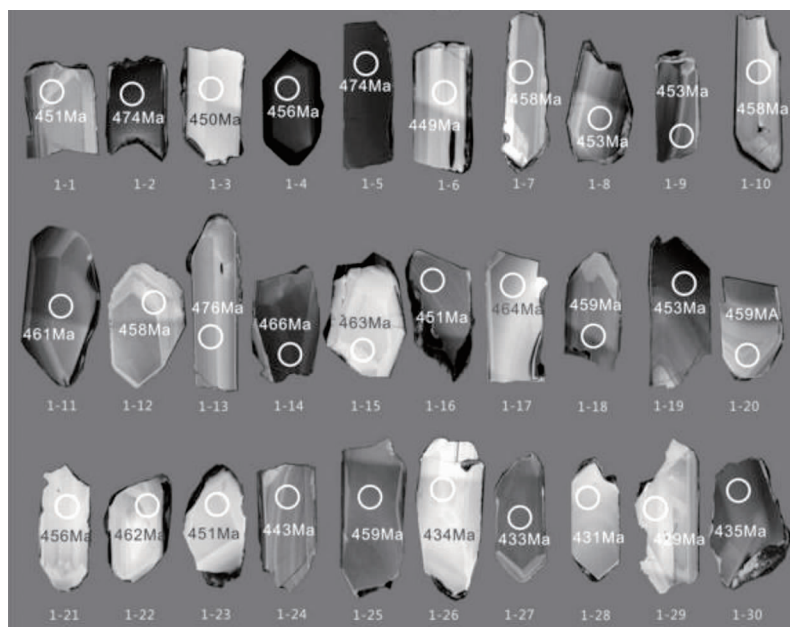


图3 15SC-1 样品锆石 CL 图像

Fig. 3 Zircon CL image of sample 15SC-1

2.2 分析结果

(1) 锆石 U-Pb 测年结果

基性岩 4 个样品(15SC-1、15SC-2、15SC-3、15SC-4)的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄结果(表 1、图 4)分别为 $446 \text{ Ma} \pm 6.6 \text{ Ma}$ 、 $431.9 \text{ Ma} \pm 5.7 \text{ Ma}$ 、 $422.3 \text{ Ma} \pm 7.3 \text{ Ma}$ 和 $426.6 \text{ Ma} \pm 6.9 \text{ Ma}$, 加权平均值为 $432.2 \text{ Ma} \pm 6.6 \text{ Ma}$ 。与邻区大坪岩体、沙地岩体为同时期岩浆作用的产物(大坪岩体花岗闪长岩 U-Pb 年龄 $441.3 \text{ Ma} \pm 5.2 \text{ Ma}$ 、沙地岩体细粒黑云母花岗岩 U-Pb 年龄 $428.3 \text{ Ma} \pm 5.9 \text{ Ma}^{[11]}$)。

(2) 主微量稀土元素分析结果

样品的全岩主量元素和微量元素分析显示, 这些岩石的烧失量大都小于 2%。辉长岩 $w(\text{SiO}_2) = 50.26\% \sim 53.38\%$, 平均 51.41% ; $w(\text{Al}_2\text{O}_3) = 15.96\% \sim 17.04\%$, $w(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 1.53\% \sim 3.76\%$, $w(\text{FeO}) = 6.14\% \sim 8.35\%$, $w(\text{TiO}_2) = 0.36\% \sim 1.17\%$, $w(\text{MgO}) = 5.77\% \sim 7.89\%$, 变化范围不大; Mg 指数($\text{Mg}^\#$) = $36.62 \sim 46.75$, 平均 39.43, 不同的 $\text{Mg}^\#$ 反映了岩浆分离结晶演化程度的差异。

样品的微量元素原始地幔标准化配分图显示, Ba、Nb、Ce、Nd、P、Y 元素相对弱亏损, Rb、Th、U、La、Sr、Zr、Ti 元素相对富集。Sr 的正异常, 反映了斜长石发生了一定程度的分离结晶作用。

稀土元素标准化图解显示, 部分辉长岩具有 Eu 的轻正异常, 标准化后的 Eu^* 值平均值 1.10,

$w(\sum \text{REE})$ 平均值为 96.42×10^{-6} , 与正常辉长岩一致; $w(\text{LREE}) = 71.27 \times 10^{-6} \sim 97.66 \times 10^{-6}$, $w(\text{HREE}) = 9.06 \times 10^{-6} \sim 11.49 \times 10^{-6}$, $w(\text{LREE})/w(\text{HREE}) = 7.4 \sim 8.78$, 具有轻稀土富集、重稀土亏损特征; $w(\text{La})_N/w(\text{Yb})_N = 8.03 \sim 10.56$, $w(\text{Gd})_N/w(\text{Yb})_N = 1.35 \sim 1.78$ 。样品的稀土配分模式曲线明显右倾, 表明其岩浆源区一致, 稀土元素标准化曲线拟合程度较好, 显示轻稀土元素(LREE)分馏较好、重稀土元素(HREE)分馏较差的特点。

3 个样品的稀土元素配分曲线与地幔岩浆基本一致, 指示岩浆源区与幔源岩浆相关; 样品 15SC-2 的配分曲线存在偏差, 推测为下地壳物质不均一混染作用的结果。

3 讨论

3.1 形成时代

遂川基性岩脉基性岩 4 个样品的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄结果为 $446 \text{ Ma} \pm 6.6 \text{ Ma}$ 、 $431.9 \text{ Ma} \pm 5.7 \text{ Ma}$ 、 $422.3 \text{ Ma} \pm 7.3 \text{ Ma}$ 和 $426.6 \text{ Ma} \pm 6.9 \text{ Ma}$, 加权平均值为 $432.2 \text{ Ma} \pm 6.6 \text{ Ma}$ 。与邻区大坪岩体(花岗闪长岩 U-Pb 年龄 $441.3 \text{ Ma} \pm 5.2 \text{ Ma}$)、沙地岩体(细粒黑云母花岗岩 U-Pb 年龄 $428.3 \pm 5.9 \text{ Ma}^{[11]}$)为同时期岩浆作用的产物。

表 1 赣南地区遂川基性岩脉 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年分析结果

Table 1 The results of LA-ICP-MS zircon U-Pb dating analysis of the basic dykes in Suichuan area

测点	$w_B/10^{-6}$			同位素比值								年龄/Ma					
	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	谐和度/%	
01	197	228	0.86	0.0574	0.0023	0.5696	0.0233	0.0724	0.0023	506	87.0	458	15.1	451	13.8	98	
02	405	345	1.17	0.0534	0.0019	0.5595	0.0214	0.0763	0.0024	346	86.1	451	13.9	474	14.6	95	
03	67.5	63.7	1.06	0.0588	0.0036	0.5865	0.0381	0.0723	0.0025	567	135	469	24.4	450	15.3	95	
04	244	304	0.80	0.0557	0.0020	0.5648	0.0214	0.0733	0.0022	439	81.5	455	13.9	456	13.1	99	
05	223	260	0.86	0.0527	0.0023	0.5515	0.0233	0.0763	0.0024	317	101.8	446	15.3	474	14.3	93	
15SC-2(辉长闪长岩)(114°41'43.12"E,26°6'8.16"N)																	
01	54.4	76.5	0.71	0.0670	0.0038	0.6651	0.0370	0.0737	0.0026	839	116	518	22.5	458	15.4	87	
02	132	207	0.64	0.0603	0.0025	0.6062	0.0255	0.0734	0.0025	613	87.0	481	16.1	457	14.8	94	
03	119	107	1.11	0.0622	0.0030	0.6132	0.0310	0.0714	0.0024	683	106.5	486	19.5	445	14.6	91	
04	142	128	1.11	0.0610	0.0026	0.5886	0.0265	0.0703	0.0022	639	92.6	470	16.9	438	13.5	92	
05	245	195	1.26	0.0534	0.0022	0.5048	0.0208	0.0689	0.0022	346	92.6	415	14.1	430	13.5	96	
15SC-3(辉长岩)(114°41'23.32"E,26°4'44.43"N)																	
01	524	449	1.17	0.0563	0.0021	0.5073	0.0214	0.0662	0.0028	465	78.7	417	14.4	413	16.9	99	
02	208	176	1.18	0.0584	0.0026	0.5721	0.0270	0.0714	0.0029	546	91.7	459	17.5	445	17.2	96	
03	417	365	1.14	0.0559	0.0021	0.5307	0.0229	0.0690	0.0027	456	82.4	432	15.2	430	16.0	99	
04	429	445	0.96	0.0545	0.0019	0.5779	0.0224	0.0767	0.0028	391	84.3	463	14.4	476	17.0	97	
05	223	202	1.10	0.0547	0.0024	0.5462	0.0248	0.0725	0.0029	398	98.1	443	16.3	451	17.2	98	
15SC-4(辉长岩)(114°40'50.89"E,26°3'10.09"N)																	
01	496	396	1.25	0.0596	0.0022	0.5710	0.0228	0.0693	0.0029	587	79.6	459	14.8	432	17.5	94	
02	176	172	1.02	0.0589	0.0024	0.5499	0.0251	0.0660	0.0024	565	90.7	445	16.4	412	14.7	92	
03	380	302	1.26	0.0555	0.0020	0.5229	0.0220	0.0671	0.0026	435	86.1	427	14.7	419	15.7	98	
04	56.3	53.4	1.05	0.0568	0.0034	0.5428	0.0332	0.0692	0.0027	483	131	440	21.8	431	16.5	97	
05	289	230	1.26	0.0574	0.0024	0.5417	0.0240	0.0680	0.0027	506	90.7	440	15.8	424	16.3	96	

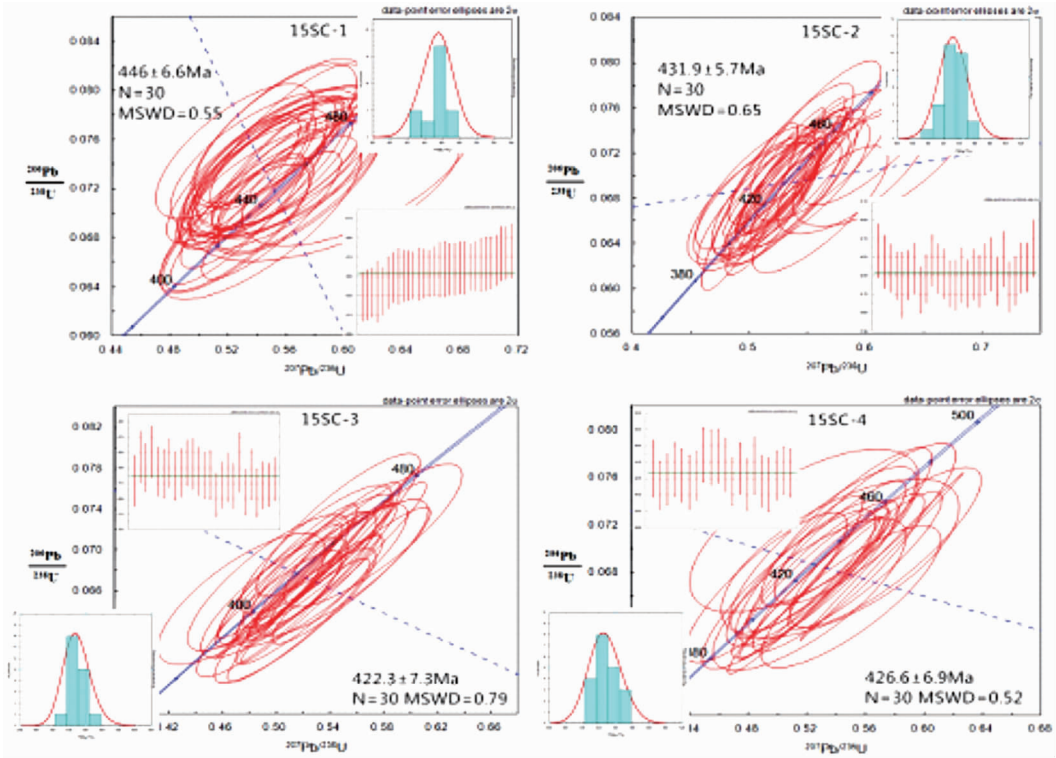


图 4 锆石 U-Pb 谐和年龄图

Fig. 4 Zircon U-Pb age of concord diagram

3.2 岩石成因

在 Winchester 等的 $\text{Nb}/\text{Y} - \text{Zr}/\text{TiO}_2$ 判别图解^[12](图 5)中,遂川基性岩的样品属于碱性玄武质岩石,正常岩浆的 $\text{Mg}^* = 34 \sim 67$,包括了原始岩浆到高分异演化的组分。 $\text{Eu}^* = 1.03 \sim 1.19$, $w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}}$ 平均值为 9.39, $w(\text{Gd})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}}$ 平均值为 1.68,表现出富集轻稀土的特征。微量元素图解表明,样品中富集 Sr、Ti 元素,推测是由于铁钛氧化物和长石在部分样品中呈现不同程度的富集。

稀土配分曲线(图 6)显示轻稀土富集,指示源区存在角闪石和辉石,或者发生过辉石、角闪石的分离结晶;在原始地幔标准化曲线上可以看出,赣南基性岩样品与大陆弧玄武岩(CAB)、大洋弧玄武岩(OAB)以及洋岛玄武岩(OIB)都不同(图 7)。显示亏损 Ba 元素是由于基性岩岩浆同化混染了部分上

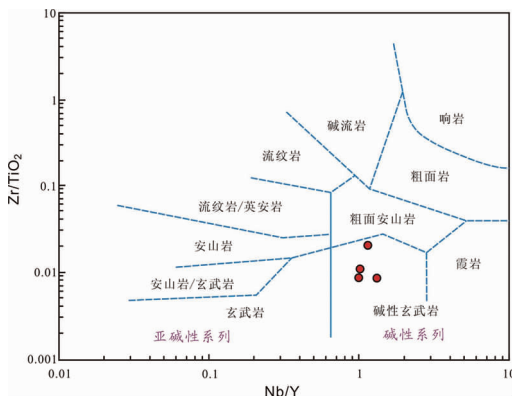


图 5 $\text{Nb}/\text{Y} - \text{Zr}/\text{TiO}_2$ 图解^[12]

Fig. 5 Diagram of Nb/Y vs Zr/TiO_2

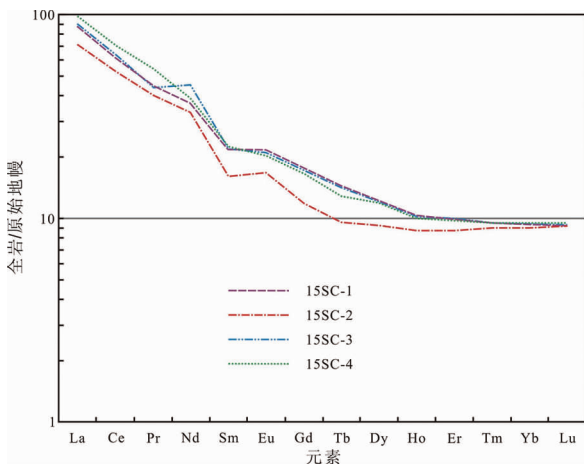


图 6 球粒陨石标准化稀土图解
(标准化数据文献^[14])

Fig. 6 The chondrite-normalized REE pattern of the dyke

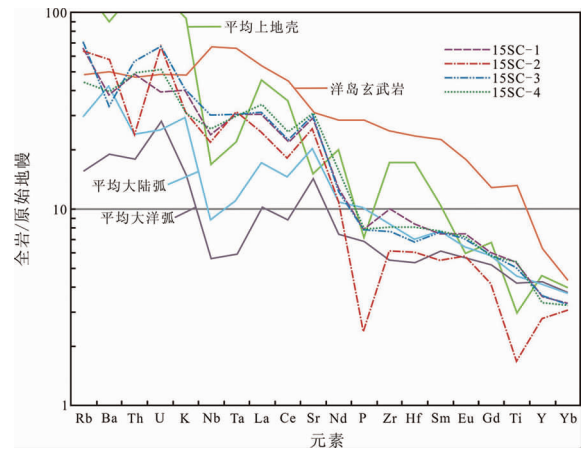


图 7 原始地幔标准化微量元素图解

Fig. 7 The primitive mantle-normalized REE pattern of the dyke

1. 球粒陨石数据据文献^[13];
2. 原始地幔数据据文献^[13];
3. 平均上地壳成分据 Rudnick 和 Gao(2004);
4. 大洋弧玄武岩和大陆弧玄武岩数据据 Kelemen 和 Hanghøj(2004);
5. 洋岛玄武岩数据据 Sun 和 McDonough(1989)

地壳物质中的 Th、U 元素。Nb、Ta 没有明显的亏损,略微富集 Zr,呈现出明显非岛弧的特征。Ti 元素轻微富集与岩体中含有磁铁矿有关,Ti 元素高可能也指示伸展构造环境,与 OIB 类似。由于地壳中 $w(\text{U})$ 值平均为 910×10^{-6} (Rudnick, 2007),地幔含量只有 22×10^{-6} ;地壳 Pb 平均为 8000×10^{-6} ,地幔为 185×10^{-6} ,Pb 元素的壳/幔比值为 42,而 Nd 元素壳/幔比值为 12.1,Sm 元素比值壳/幔为 8.12, Hf 元素壳/幔比值为 10, Lu 元素壳/幔比值为 4.18,中上地壳 U 的含量可能更高,而地幔 Pb 含量非常低,因此 Pb 同位素极其容易受到地壳的混染,样品 Pb 同位素组成不能代表原始岩浆组成,但是可以表明辉长岩、闪长岩岩浆在形成时都卷入了具有高 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 的成熟地壳物质。综上,赣南基性岩脉源于亏损的软流圈地幔,岩浆上升期受成熟地壳物质组分的改造,使其地球化学特征既与洋岛玄武岩有明显差异,同时也区别于岛弧玄武岩。

在 Pearce J A 等构造判别图^[14]中,投影点靠近板内区域(图 8);而 4 个样品的 $\text{A}/\text{NCK} = 0.83 \sim 0.87$,均 < 1 ,属于准铝质基性岩类。因此认为遂川辉长岩脉是板内岩浆作用的产物。

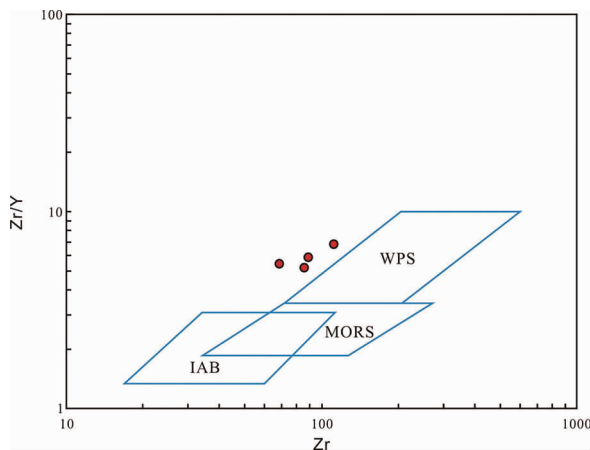
图8 Zr/Y-Zr 地球化学判别图解^[14]

Fig. 8 Geochemical diagram of Zr/Y vs Zr

4 结论

(1)赣南遂川辉长岩脉为早古生代晚志留世岩浆活动的产物,4个样品的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素定年结果分别为 $446 \text{ Ma} \pm 6.6 \text{ Ma}$ 、 $431.9 \text{ Ma} \pm 5.7 \text{ Ma}$ 、 $422.3 \text{ Ma} \pm 7.3 \text{ Ma}$ 和 $426.6 \text{ Ma} \pm 6.9 \text{ Ma}$ 。

(2)赣南遂川基性岩脉的总体岩性为辉长辉绿岩,属于拉斑玄武岩系列和碱性系列;为高钠、富钛、准铝质的基性岩类。

(3)遂川基性岩脉形成于加里东运动褶皱造山、地壳增厚后期的伸展环境,是幔源岩浆与下地壳同化混染作用的产物,在区域拉张条件下就位的浅成侵入体。

参考文献:

- [1] 江西省地质局区域地质调查大队. 1:20万井冈山幅区域地质调查报告[R]. 南昌:江西省地质矿产勘查开发局, 1974.
- [2] 王登红, 陈振宇, 许建祥, 等. 赣南路透似金伯利岩(金伯利质煌斑岩)锆石的特点和年龄及其构造意义[J]. 岩矿测试, 2012, 31(4): 705-710.
- [3] 左祖发, 罗春林, 王会敏, 等. 赣南横市地区基性岩墙的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义[J]. 地质论评, 2015, 61(6): 1417-1428.
- [4] 林广春, 李献华, 李武显. 川西新元古代基性岩墙群的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄、元素和 Nd-Hf 同位素地球化学: 岩石成因与构造意义[J]. 中国科学: D 辑, 2006, 36(7): 630-645.
- [5] 杨明桂, 梅勇文. 钦-杭古板块结合带与成矿带的主要特征[J]. 华南地质与矿产, 1997(3): 52-59.
- [6] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 2004, 49(16): 1589-1604.
- [7] 周剑雄, 陈振宇. 电子探针下锆石阴极发光的研究[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 2007: 1-104.
- [8] Liu Y S, Hu Z C, Gao S, et al. In situ analysis of major and trace elements of an hydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard [J]. Chemical Geology, 2008, 257(1): 34-43.
- [9] Liu Y S, Gao S, Hu Z C, et al. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons of mantle xenoliths [J]. Journal of Petrology, 2010, 51(1/2): 537-571.
- [10] Anderson T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. Chemical Geology, 2002, 192(1): 59-79.
- [11] Zhang F, Wang Y, Fan W, et al. Zircon U-Pb Geochronology and Hf Isotopes of the Neoproterozoic Granites in the Central of Jiangnan Uplift [J]. Geotectonica Et Metallogenia, 2011, 35(1): 73-84.
- [12] Winchester J A, Floyd P A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products [J]. Chemical Geology, 1977(20): 325-343.
- [13] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes [J]. Geological Society London Special Publications, 1989, 42(1): 313-345.
- [14] Pearce J A, Norry M J. Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1979, 69(1): 33-47.

The nature and tectonic significance of basic dykes in Suichuan area, south Jiangxi province

LI Gongzhen¹, CHEN Zhihong²

(1. *Sichuan Metallurgical Geological Exploration Institute, Chengdu 610061, China;*

2. Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, China)

Abstract: This paper deals with the basic dykes in Suichuan area of the south Jiangxi province. Petrology, geochemical characteristics, formation time, magma genesis and tectonic environment of the dykes are discussed based on field observation and indoor petrological and zircon U-Pb dating analysis. Four samples are dated at $446 \text{ Ma} \pm 6.6 \text{ Ma}$, $431.9 \text{ Ma} \pm 5.7 \text{ Ma}$, $422.3 \text{ Ma} \pm 7.3 \text{ Ma}$ and $426.6 \text{ Ma} \pm 6.9 \text{ Ma}$ showing that the dykes are products of regional tension during the early Paleozoic Silurian late Caledonian period. Analysis of the trace and major elements shows that the mafic dykes fall into the tholeiite series and alkaline series belonging to the sodium-rich basite. Their REE patterns similar to those of mantle magma indicates that source material of the dykes are closely related to mantle rock. The both acid and basic intrusions of Caledonian period occur in the area reflect the crustal tectonic setting evolved from the early compression to the late extension in the area.

Key Words: Suichuan area; mafic dyke; zircons U-Pb age; Caledonian period; the south Jiangxi province