

DOI: 10.16788/j.hddz.32-1865/P.2020.04.004

引用格式: 于长琦, 贺根文, 周兴华, 等. 赣南银坑晚白垩世早期安山玢岩年代学及地球化学特征[J]. 华东地质, 2020, 41(4): 339-350.

## 赣南银坑晚白垩世早期安山玢岩年代学及地球化学特征

于长琦, 贺根文, 周兴华, 李 伟, 曾载淋, 卢国安

(江西省地质矿产勘查开发局赣南地质调查大队, 赣州 341000)

**摘要:** 银坑安山玢岩位于赣南雩山成矿带中部中生代断陷盆地边部。为研究岩浆岩侵位时代、岩石成因及构造背景, 该文进行了岩相学、锆石 U-Pb 年代学、地球化学等测试分析。研究表明: 赣南银坑地区安山玢岩为高钾钙碱性系列岩石, 岩石明显富集大离子亲石元素(K、Ba、Rb)、轻稀土元素和不相容元素(Th、U), 相对亏损高场强元素(Nb、Ta、Ti、P); 稀土元素配分曲线为右倾型,  $(La/Yb)_N$  为 7.90~8.56, 无明显 Eu 异常。Th 含量为  $(6.01 \sim 6.36) \times 10^{-6}$ , Th/Ta、Zr/Hf 和 Rb/Sr 值分别为 10.7~11.7、33.15~35.33 和 0.198~0.216, 均介于地壳与地幔值之间, 指示岩浆源岩主要为地幔物质的部分熔融, 并受到了陆壳混染作用影响。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $(99.89 \pm 0.30)$  Ma, 表明岩浆活动时代为晚白垩世早期, 形成大地构造背景与太平洋板块向西俯冲有关, 为活动大陆边缘弧后伸展作用下的产物。通过对红层盆地沉积序列进行对比分析, 认为该安山玢岩活动年龄可大致代表这些断陷盆地的形成时代。

**关键词:** 晚白垩世安山玢岩; 锆石 U-Pb 年代学; 地球化学特征; 伸展作用; 赣南

**中图分类号:** P588.14

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2096-1871(2020)04-339-12

南岭地区在大地构造上跨越了扬子板块、华夏板块、东南沿海褶皱系 3 个构造单元, 历经四堡、加里东、海西、印支、燕山、喜马拉雅等多期构造运动, 构造活动强烈, 伴之以多期次的岩浆活动<sup>[1-2]</sup>。赣南地区位于南岭 EW 向构造-岩浆岩带东段, 构造变形复杂, 岩浆活动以酸性岩类为主, 中性岩类出露较少, 零星分布于断陷红层盆地内部及边部, 发育在赣南和粤北晚中生代近 NE 向—NNE 向断陷盆地火山岩带, 与区域深大断裂走向几乎一致, 如赣南的赣州盆地、于都盆地、宁都盆地, 粤北的南雄盆地、韶关盆地等。一般认为, 闪长质岩石记载了大量壳幔相互作用信息<sup>[3-5]</sup>, 通过火山岩的对比研究, 结合其时空分布特征, 讨论这些火山岩带中安山玢岩的地球化学特征与壳幔相互作用的关系以及它们形成的构造环境, 对研究构造-火山岩-盆地形成

演化具有重要意义。

区内银、金、铅、锌、铜等矿产资源丰富, 已发现有柳木坑—牛形坝大型银多金属矿、营脑中型银多金属矿、高山角中型铜金矿及老虎头与小庄小型铅锌矿等。本文通过对银坑安山玢岩的岩石学、岩石地球化学、锆石 U-Pb 年代学研究, 旨在对其岩石成因、成岩构造背景进行初步探讨。该研究有助于深化该区岩浆演化和成岩成矿地质背景方面的认识。

### 1 地质背景及岩相学特征

银坑地区位于赣南中东部, 大地构造位置位于 EW 向南岭构造-岩浆岩带与 NNE 向武夷山构造带的交汇复合部位(图 1)。自新元古代以来, 该区经历了加里东期、海西期、印支期和燕山期多次构造活动的叠加, 构造型式复杂多样, 形成以 NNE 向断

\* 收稿日期: 2020-03-07 修订日期: 2020-04-09 责任编辑: 叶海敏

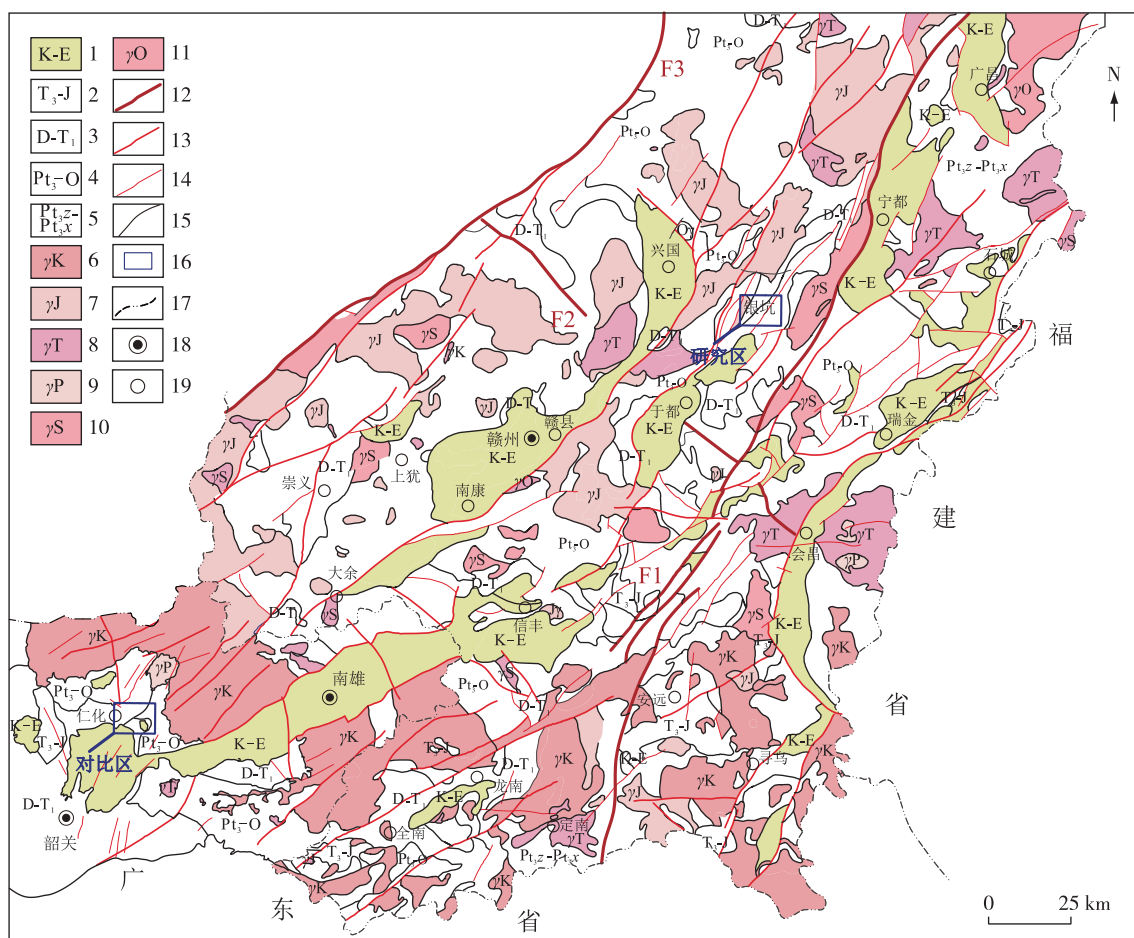
基金项目: 中国地质调查局“整装勘查区矿产地质调查与找矿预测(编号: DD20190159-22)”项目资助。

第一作者简介: 于长琦, 1990 年生, 男, 工程师, 主要从事区域地质调查与矿产勘查工作。Email: 798389174@qq.com。

通信作者简介: 贺根文, 1988 年生, 男, 工程师, 主要从事区域地质调查与矿产勘查工作。Email: 429056423@qq.com。

裂为主要的构造形迹,银坑地区安山玢岩出露和葛坳红层盆地展布明显受制于此。基底地层为一套浅变质岩,主要包括青白口纪库里组、南华纪上施组和沙坝黄组,岩性以浅灰绿色(偶夹紫红色)变质沉凝灰岩、变质凝灰质粉砂岩、粉砂质绢云千枚岩、变质杂砂岩等为主。层内褶皱较为发育,表现为一系列规模不等的复背斜、复向斜交替出现,褶皱轴迹轴向多呈近 SN 向弧形延伸,褶皱枢纽两端波状倾伏。晚古生代沉积一套浅海相地层,包括泥盆纪云山组,石炭纪中棚组、樟寮组、三门滩组、梓山组

及黄龙组,二叠纪车头组、栖霞组等,与下覆基底浅变质岩和上覆中生代地层为角度不整合接触。中生代地层为断陷湖盆相沉积,包括侏罗纪水北组、罗坳组等砂岩-粉砂岩建造,白垩纪石溪组、茅店组、周田组等红层沉积夹火山岩建造。该地区岩浆活动强烈,主要以加里东期长谭岩体、燕山期江背岩体、高山角岩体为主。长谭岩体主体岩性为斑状黑云母二长花岗岩,江背岩体主体岩性为斑状黑云母二长花岗岩、二长花岗岩等,高山角岩体主体岩性为斑状黑云母花岗闪长岩。



1.白垩系—第四系;2.三叠系—侏罗系;3.泥盆系—三叠系;4.青白口纪—奥陶纪浅变质岩;5.中元古代变质基底;6.白垩纪花岗岩;7.侏罗纪花岗岩;8.三叠纪花岗岩;9.二叠纪花岗岩;10.志留纪花岗岩;11.奥陶纪花岗岩;12.深大断裂(F1.鹰潭—安远深大断裂;F2.万安—会昌—云霄(闽)深大断裂;F3.遂川—临川深大断裂);13.断层;14.次级断层;15.地质界线;16.研究区;17.省界;18.市(地级市);19.县(县级市)

图1 赣南地质构造简图

Fig. 1 Geotectonic sketch map of Southern Jiangxi

银坑地区安山玢岩出露于银坑镇南部村头附近,位于 NNE 向逆冲推覆构造下盘,赣南葛坳红层

盆地西部,岩体面积约 0.5 km<sup>2</sup>,以岩瘤状产出,规模较小而零散。玢岩体侵入于二叠纪石英砂岩、长

石英砂岩和侏罗纪长石石英砂岩、粉砂岩中,部分被第四系掩盖,接触变质不发育(图 2)。

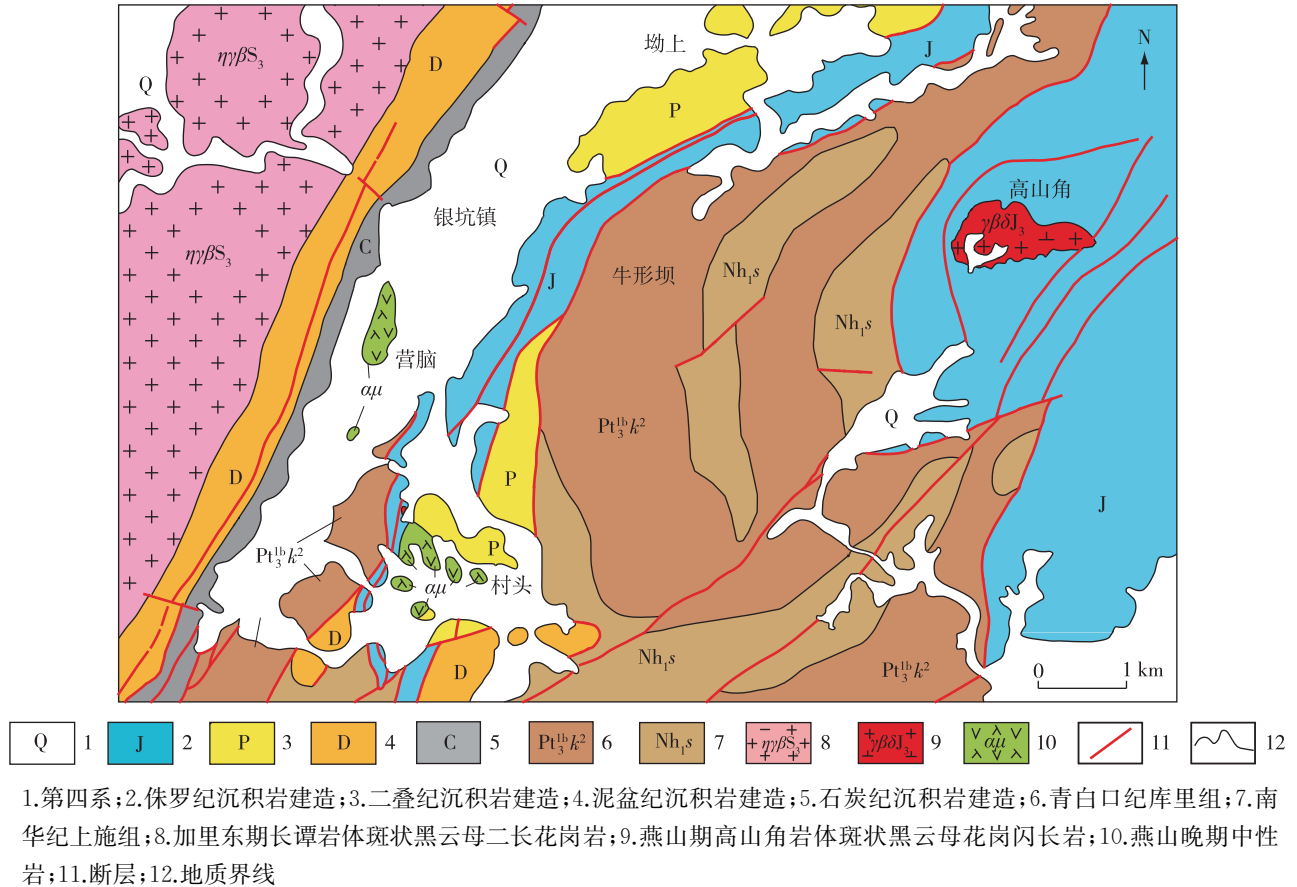


图 2 赣南银坑地区地质简图

Fig. 2 Geological sketch map of Yinkeng area in Southern Jiangxi

安山玢岩呈灰黑色、黑色,斑状结构、暗化边结构、聚斑结构,基质为显微晶质结构,块状构造(图 3)。主要矿物特征:斜长石斑晶(15%)半自形、柱状,可见聚片双晶(图 3(b)、(c))、环带(图 3(c)),牌号 An 为 37,为中长石,常呈聚斑状结构(图 3(b)、(c)、(d)),粒径 0.5~3 mm;基质(65%),显微晶质,中间充填暗化的角闪石、黑云母、磁铁矿等。角闪石斑晶(6%)自形长柱状,强烈暗化(图 3(a)),粒径 0.5~3 mm;基质(6%),显微晶质。黑云母斑晶(4%),自形、片状,不同程度暗化,粒径 0.5~2 mm;基质(4%),显微晶质。少量普通辉石斑晶,粒径 0.5~1 mm。副矿物为少量磁铁矿。

## 2 分析方法

### 2.1 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学

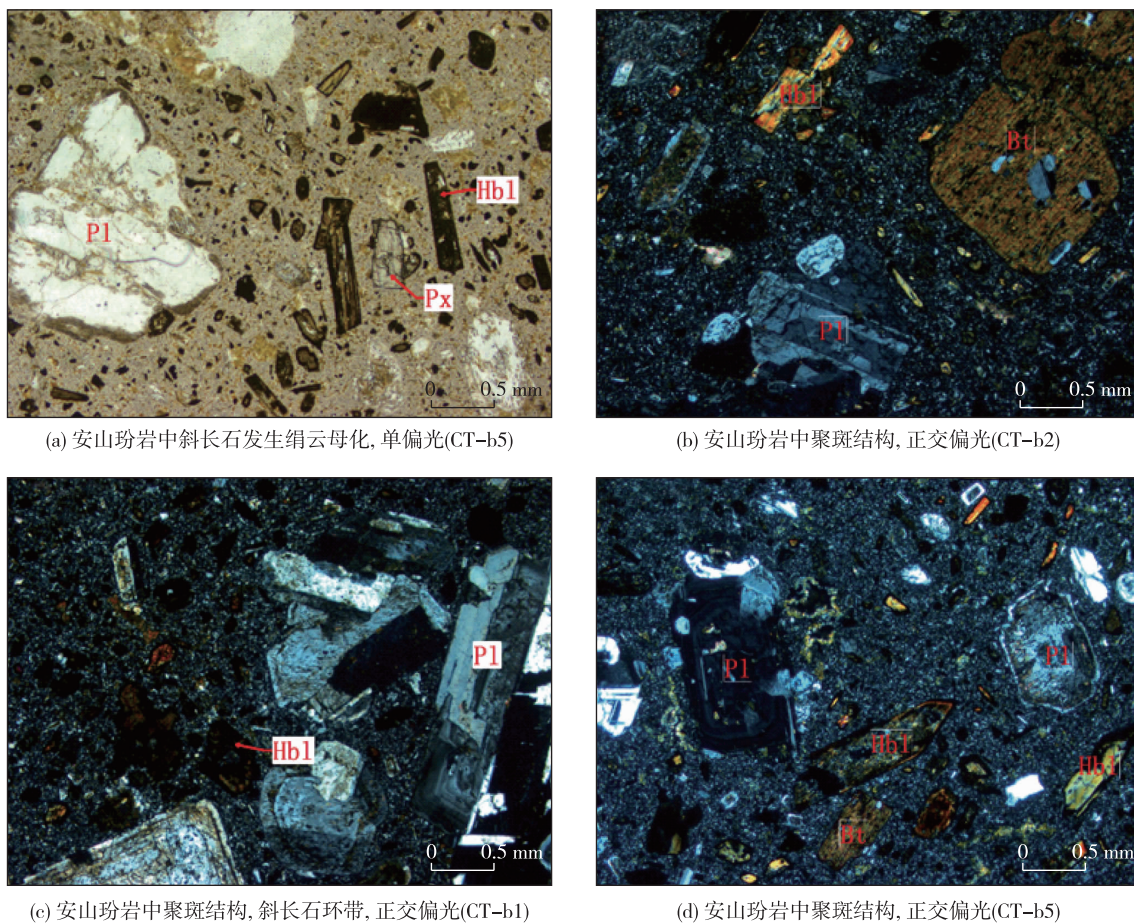
本次锆石 U-Pb 同位素定年由北京燕都中实测

试技术有限公司测试,利用 LA-ICP-MS 分析完成。激光剥蚀系统为 New Wave UP213,ICP-MS 为布鲁克 M90。激光剥蚀过程中采用氦气作载气、氩气为补偿气以调节灵敏度,二者在进入 ICP 之前通过一个 Y 型接头混合。每个时间分辨分析数据包括 20~30 s 的空白信号和 50 s 的样品信号。对分析数据的离线处理(包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量及 U-Th-Pb 同位素比值和年龄计算)采用软件 ICP MS DataCal<sup>[6]</sup>完成。详细的仪器操作条件和数据处理方法见文献[6-7]。本次测试剥蚀直径根据实际情况选择 30  $\mu\text{m}$ 。

### 2.2 岩石地球化学

硅酸盐全分析在北京燕都中实测试技术有限公司完成。将岩石粉碎至厘米级的块体,选取无蚀变及脉体穿插的新鲜样品用纯净水冲洗干净,烘干





Pl.斜长石; Hbl.角闪石; Bt.黑云母; Px.辉石

图3 赣南银坑地区中性岩岩相学特征显微照片

Fig. 3 Petrographical characteristics and microphotographs of intermediate rocks in Yinkeng area, Southern Jiangxi

并粉碎至200目以备测试使用。

主量元素测试首先将粉末样品称量后加 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  (1:8)助熔剂混合, 并使用融样机加热至 $1150^\circ\text{C}$ 使其在金铂坩埚中熔融成均一玻璃片体, 然后使用XRF(Zetium, PANalytical)测试, 测试结果保证数据误差 $<1\%$ 。微量元素测试将200目粉末样品称量并置入聚四氟乙烯溶样罐, 加入 $\text{HF}+\text{HNO}_3$ , 在干燥箱中将高压消解罐保持在 $190^\circ\text{C}$ 温度72小时, 后取出经过赶酸并将溶液定容为稀溶液上机测试。测试使用ICP-MS(M90, analytikjena)完成, 所测数据根据监控标样GSR-2显示误差 $<5\%$ , 部分挥发性元素及极低含量元素的分析误差 $<10\%$ 。

### 3 测试结果

#### 3.1 锆石 U-Pb 年代学

对样品CT-TW1中锆石同时进行了18个点U-Pb年代学的测试(表1, 图4)。所有样品点Th/U值为 $0.39\sim0.95$ , 锆石的CL图像显示出较好的震荡环带(图4), 说明本次分析的锆石为典型的岩浆锆石<sup>[8]</sup>。18个分析点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的测试结果集中于 $99.2\sim100.4\text{ Ma}$ , 落在谐和线及其附近, 群聚性和协和性较好, 18个 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 分析数据的加权平均年龄为 $(99.81\pm0.59)\text{ Ma}$ ,  $\text{MSWD}=0.071$ ; 谐和年龄值为 $(99.89\pm0.30)\text{ Ma}$ ,  $\text{MSWD}=3.3$ , 二者十分接近(图5), 代表了银坑火山岩的成岩年龄属于晚白垩世早期。

表 1 银坑安山玢岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic dating of Yinkeng andesitic porphyrite

测点号	含量/ $10^{-6}$				Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	
				Th/U		比值	$1\sigma$	比值	$1\sigma$	比值	$1\sigma$	比值	$1\sigma$	年龄/ Ma	$1\sigma$	年龄/ Ma	$1\sigma$	年龄/ Ma	$1\sigma$	年龄/ Ma	$1\sigma$
	Pb	Th	U																		
1	7	163	352	0.46	0.048 15	0.001 17	0.103 03	0.002 63	0.015 54	0.000 18	0.005 09	0.000 14	107	57	100	2	99	1	103	3	
2	10	235	450	0.52	0.048 9	0.001 14	0.104 95	0.002 72	0.015 57	0.000 20	0.005 24	0.000 13	143	55	101	2	100	1	106	3	
3	10	302	496	0.61	0.049 89	0.001 29	0.106 91	0.002 87	0.015 60	0.000 17	0.004 84	0.000 16	190	60	103	3	100	1	98	3	
4	9	177	410	0.43	0.049 12	0.001 18	0.104 96	0.002 51	0.015 63	0.000 20	0.005 42	0.000 17	153	56	101	2	100	1	109	3	
5	6	116	297	0.39	0.049 32	0.001 27	0.104 96	0.002 82	0.015 56	0.000 21	0.005 32	0.000 17	163	60	101	3	100	1	107	3	
6	7	184	323	0.57	0.048 87	0.001 34	0.103 46	0.002 95	0.015 55	0.000 22	0.005 20	0.000 17	142	64	100	3	99	1	105	3	
8	9	239	426	0.56	0.049 21	0.001 14	0.105 29	0.002 58	0.015 62	0.000 23	0.005 17	0.000 16	158	54	102	2	100	1	104	3	
9	7	197	308	0.64	0.050 45	0.001 57	0.106 76	0.003 47	0.015 53	0.000 28	0.004 92	0.000 16	216	72	103	3	99	2	99	3	
10	8	175	332	0.53	0.049 85	0.001 58	0.106 01	0.003 37	0.015 59	0.000 28	0.005 07	0.000 24	188	74	102	3	100	2	102	5	
13	8	236	337	0.70	0.048 23	0.001 45	0.103 43	0.003 35	0.015 63	0.000 20	0.005 22	0.000 14	111	71	100	3	100	1	105	3	
14	10	248	468	0.53	0.047 93	0.001 06	0.102 86	0.002 40	0.015 65	0.000 21	0.004 97	0.000 15	96	52	99	2	100	1	100	3	
15	11	263	546	0.48	0.048 83	0.001 06	0.104 12	0.002 57	0.015 60	0.000 23	0.005 25	0.000 14	139	51	101	2	100	1	106	3	
16	7	133	325	0.41	0.048 46	0.001 3	0.104 65	0.003 01	0.015 69	0.000 20	0.005 64	0.000 19	122	63	101	3	100	1	114	4	
17	6	140	295	0.48	0.047 73	0.001 42	0.101 42	0.003 06	0.015 51	0.000 17	0.004 85	0.000 17	86	70	98	3	99	1	98	3	
21	9	222	450	0.49	0.048 02	0.001 1	0.103 41	0.002 50	0.015 69	0.000 19	0.004 92	0.000 15	100	54	100	2	100	1	99	3	
22	8	248	391	0.63	0.048 04	0.001 21	0.102 22	0.002 64	0.015 62	0.000 23	0.005 10	0.000 18	101	59	99	2	100	1	103	4	
23	19	763	807	0.95	0.049 34	0.000 92	0.106 33	0.002 30	0.015 61	0.000 16	0.005 21	0.000 23	164	44	103	2	100	1	105	5	
24	10	271	430	0.63	0.048 47	0.001 04	0.104 90	0.002 42	0.015 66	0.000 17	0.004 84	0.000 17	122	50	101	2	100	1	98	3	

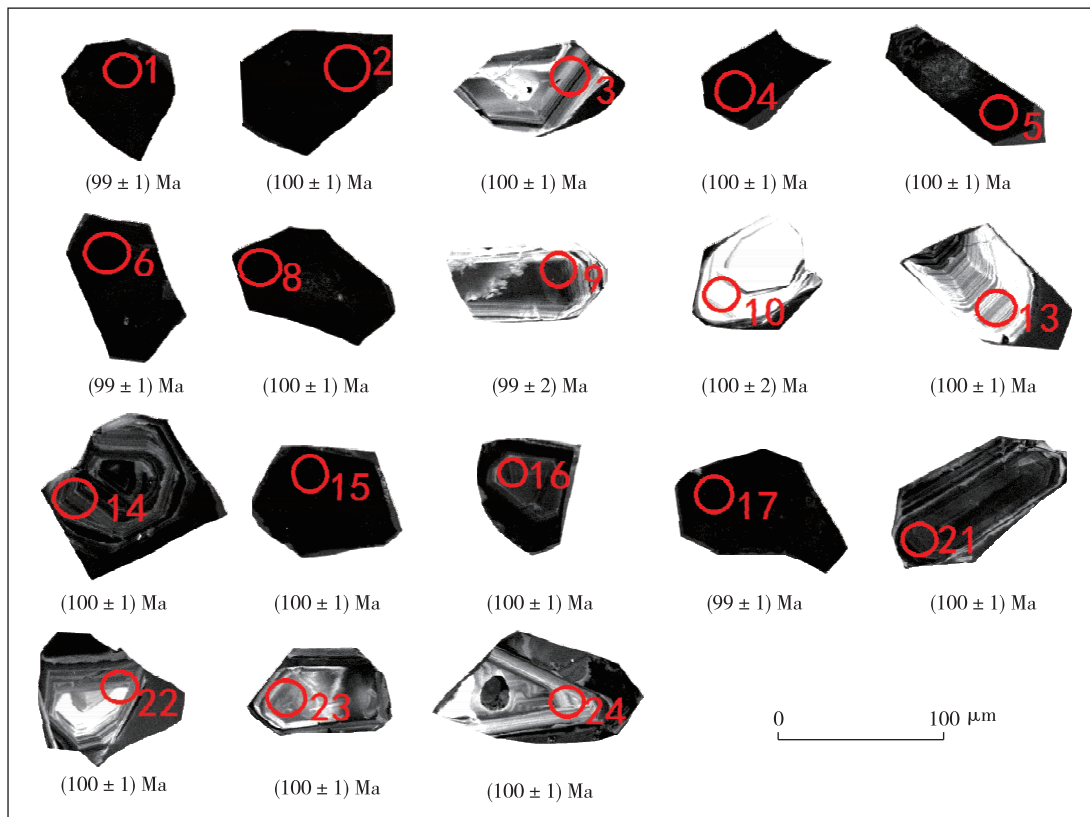


图 4 银坑安山玢岩锆石 CL 图像

Fig. 4 CL images of zircons in Yinkeng andesitic porphyrite

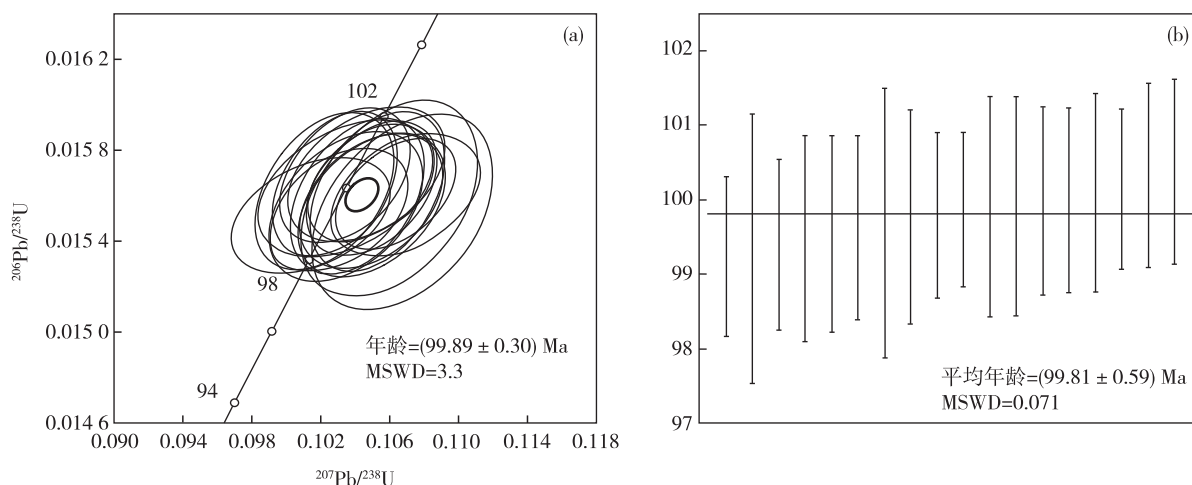


图5 银坑安山玢岩锆石 U-Pb 年龄谐和图(a)和加权平均年龄图(b)

Fig. 5 The zircon U-Pb concordia diagram (a) and weighted average ages (b) of Yinkeng andesitic porphyrite

### 3.2 岩石地球化学特征

银坑安山玢岩主量元素含量见表2,样品的 $\text{SiO}_2$ 含量为61.73%~62.02%,属中性岩石。在TAS图解(图6(a))上,样品全部落入亚碱性安山岩区。在 $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$ 图解(图6(b))上,样品全部落入高钾钙碱性区。

银坑安山玢岩稀土元素总量为 $(122.93 \sim 153.09) \times 10^{-6}$ ,平均值为 $133.58 \times 10^{-6}$ 。在球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图(图7(a))上,稀土元素配分曲线一致。 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 为7.90~8.56, $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 为3.40~3.51,变化范围较小,表明样品来自相同源区。稀土元素配分曲线明显右倾,LREE/HREE为3.07~4.17, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 平均值为8.24,轻稀土元素富集,分馏较明显。 $\delta\text{Eu}$ 为0.93~1.00(平均值为0.97),Eu异常不明显,表明无明显斜长石分异作用。

原始地幔标准化微量元素蛛网图(图7(b))显示,安山玢岩配分模式近一致。相对于原始地幔,岩石明显富集大离子亲石元素(如K、Ba、Rb)和不相容元素(如U、Th),相对亏损高场强元素(如Nb、Ta、Ti、P),P和Ti的亏损可能受到了磷灰石和钛铁矿分离结晶作用影响。 $\text{Th}/\text{Ta}$ 为10.7~11.7, $\text{Nb}/\text{Ta}$ 为18.25~19.19, $\text{Zr}/\text{Hf}$ 为33.15~35.33, $\text{Rb}/\text{Sr}$ 为0.198~0.216, $\text{La}/\text{Nb}$ 为2.01~2.34。

## 4 讨论

### 4.1 形成时代

白垩纪( $(105 \pm 5)$  Ma)是华南重要的构造-岩浆活化期<sup>[14-15]</sup>,特别是在东南沿海地区广泛形成了火山-花岗岩带<sup>[16]</sup>,如浙江的梁弄岩体( $\sim 101$  Ma)、龙王堂岩体( $\sim 110$  Ma)、山头郑岩体( $\sim 108$  Ma)<sup>[17]</sup>、大岙岩体( $\sim 100$  Ma)<sup>[18]</sup>;福建福州岩体( $\sim 104$  Ma)、丹阳岩体( $\sim 103$  Ma)<sup>[19]</sup>、古农岩体( $\sim 101$  Ma)<sup>[20]</sup>等。在华南内陆,白垩纪火山活动也有很多报道,江西广丰二渡关玄武质粗面安山玢岩( $\sim 105$  Ma)<sup>[21]</sup>;李献华等<sup>[22]</sup>曾报道了粤北存在白垩纪( $\sim 105$  Ma)基性岩脉;舒良树等<sup>[23]</sup>获得南雄盆地存在 $\sim 96$  Ma橄榄玄武岩;耿红燕等<sup>[24]</sup>报道了粤西郁南地区存在白垩纪( $\sim 100$  Ma)火山-侵入岩浆活动;祝新友等<sup>[25]</sup>在粤北凡口铅锌矿区内获得了隐伏的辉绿岩形成时代为122~90 Ma;蒋英等<sup>[11]</sup>获得粤北仁化妙禅寺、石背白垩纪安山玢岩测年结果分别为 $(105.0 \pm 0.7)$  Ma和 $(104.3 \pm 0.8)$  Ma。这些发现表明,华南东部晚中生代白垩纪大规模岩浆活化作用形成的火山-侵入岩带已经影响到南岭北缘与武夷山NNE向构造带西缘地区。

本次研究获得赣南银坑地区安山玢岩LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为 $(99.89 \pm 0.30)$  Ma,属于晚白垩世早期。

表 2 赣南银坑、于都田新及粤北石背—妙禅寺安山玢岩主量元素、微量元素及稀土元素分析结果

Table 2 Contents of major elements, trace elements and rare earth elements in Yinkeng-Tianxin and Shibei-Miaochansi andesitic porphyrites

样品编号	主量元素含量/%													微量元素含量/ $10^{-6}$			
	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	烧失量	总量	Li	Be	V	Mn
CT-H1	62.02	0.62	16.02	3.48	1.52	2.74	2.5	3.34	4.57	0.25	0.12	2.66	99.83	22.99	1.12	117.54	780.05
CT-H2	61.95	0.65	16.66	4.36	0.78	2.87	3.34	2.71	4.51	0.26	0.08	1.64	99.82	9.25	1.42	131.87	565.23
CT-H3	61.73	0.66	16.54	4.31	0.95	2.88	3.22	2.79	4.88	0.27	0.09	1.50	98.83	9.33	1.34	147.07	745.80
于都田新 <sup>[9]</sup>	62.75	0.61	16.97	5.17	0.38	2.89	3.28	1.15	3.08	0.26	0.10	2.05	98.69	16.80	1.76	57.70	—
粤北石背-H1 <sup>[10]</sup>	63.36	0.63	15.07	5.94*	—	3.16	2.31	3.96	5.23	0.29	0.05	—	100.00	—	—	126.00	368.00
粤北石背-H2 <sup>[10]</sup>	62.81	0.67	15.20	6.27*	—	3.12	2.24	4.09	5.26	0.30	0.05	—	100.00	—	—	128.00	379.00
粤北妙禅寺-H1 <sup>[10]</sup>	62.36	0.79	16.40	5.83*	—	3.19	2.32	2.68	5.95	0.33	0.14	—	100.00	—	—	118.00	806.00
粤北妙禅寺-H2 <sup>[10]</sup>	62.88	0.62	16.08	5.37*	—	3.25	2.79	2.24	6.40	0.28	0.09	—	100.00	—	—	105.00	819.00

样品编号	微量元素含量/ $10^{-6}$															
	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cs	Ba	Hf	Ta	W	Pb
CT-H1	11.25	3.58	15.65	41.45	14.79	78.13	362.11	19.84	108.87	10.40	2.73	559.07	3.16	0.57	0.53	0.35
CT-H2	10.87	3.76	16.90	45.88	15.51	82.14	385.17	18.06	107.39	10.36	2.73	545.73	3.04	0.54	0.54	0.44
CT-H3	21.77	260.67	36.98	46.39	15.11	78.40	394.96	33.91	91.17	10.60	2.61	550.36	2.75	0.56	3.58	0.43
于都田新 <sup>[9]</sup>	12.30	9.31	19.50	90.70	18.80	67.90	378.00	38.10	136.00	11.30	0.83	943.00	3.76	0.88	0.99	0.26
粤北石背-H1 <sup>[10]</sup>	16.10	39.50	17.50	59.30	15.10	119.00	487.00	14.60	122.00	7.27	8.91	558.00	3.08	0.66	—	18.60
粤北石背-H2 <sup>[10]</sup>	16.40	40.40	17.30	61.10	15.30	121.00	491.00	15.00	130.00	7.41	8.86	568.00	3.18	0.67	—	18.40
粤北妙禅寺-H1 <sup>[10]</sup>	11.30	8.53	12.70	76.30	15.70	135.00	134.00	18.30	150.00	6.83	12.70	677.00	3.70	0.67	—	27.60
粤北妙禅寺-H2 <sup>[10]</sup>	10.70	5.80	7.92	66.00	17.20	131.00	949.00	19.50	128.00	8.71	5.90	786.00	3.68	0.74	—	23.30

样品编号	微量元素含量/ $10^{-6}$						稀土元素含量/ $10^{-6}$										
	Bi	Th	U	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
CT-H1	0.02	6.21	1.62	20.89	40.96	4.85	19.57	3.78	1.16	3.44	0.58	3.18	0.65	1.74	0.27	1.72	0.30
CT-H2	0.03	6.36	1.22	22.27	41.31	5.08	20.96	3.98	1.22	3.45	0.57	3.21	0.63	1.66	0.27	1.77	0.29
CT-H3	0.02	6.01	1.58	24.85	42.15	5.64	24.60	4.58	1.40	4.57	0.77	4.43	0.92	2.38	0.36	2.14	0.39
于都田新 <sup>[9]</sup>	0.05	7.70	1.15	29.30	47.50	6.62	26.10	5.23	1.64	5.65	0.93	5.25	1.07	3.37	0.45	3.04	0.49
粤北石背-H1 <sup>[10]</sup>	—	9.65	2.50	24.80	47.20	5.76	22.10	4.04	1.10	3.18	0.50	2.81	0.59	1.66	0.26	1.68	0.26
粤北石背-H2 <sup>[10]</sup>	—	9.46	2.54	24.00	47.40	5.79	22.10	3.91	1.12	3.24	0.51	2.85	0.60	1.69	0.26	1.70	0.27
粤北妙禅寺-H1 <sup>[10]</sup>	—	9.60	2.46	28.00	51.50	6.05	23.10	4.18	1.24	3.95	0.63	3.10	0.68	1.99	0.29	1.87	0.28
粤北妙禅寺-H2 <sup>[10]</sup>	—	11.28	2.80	30.30	58.90	6.92	26.20	4.87	1.24	4.11	0.63	3.55	0.73	2.13	0.31	2.13	0.33

注: \* 表示该数据为全铁含量。

## 4.2 岩浆源区特征

地幔中 Th、Ta 含量极低, Th 仅为  $0.05 \times 10^{-6}$ <sup>[26]</sup>, 岛弧玄武岩的 Th 含量为  $0.27 \times 10^{-6}$ <sup>[27]</sup>, 而陆壳(尤其是花岗岩)中的 Th 含量最高为  $(16 \sim 21) \times 10^{-6}$ <sup>[28]</sup>。银坑安山玢岩 Th 含量很高, 为  $(6.01 \sim 6.36) \times 10^{-6}$ , Th/Ta 值也高, 为  $10.7 \sim 11.7$ , 显然受到了陆壳混染作用的影响。银坑安山玢岩 Nb/Ta 值为  $18.25 \sim 19.19$ , 略高于原始地幔 ( $17.5$ ), Zr/Hf 值为  $33.15 \sim 35.33$ , 介于大陆地壳

平均值(33)与原始地幔平均值(36.27)之间<sup>[29-30]</sup>, Rb/Sr 值为  $0.198 \sim 0.216$ , 介于上地幔(0.034)与地壳(0.35)之间<sup>[31]</sup>, 也反映出壳幔混合源的特点。

于都葛坳红层盆地底部安山玢岩在田新村附近出露, 各元素含量与银坑安山玢岩<sup>[10]</sup>基本一致(表 2), 属于高钾钙碱性岩系。稀土元素配分曲线明显右倾,  $(La/Yb)_N$  平均值为 6.56, 轻稀土元素富集,  $\delta Eu = 0.92$ , Eu 异常不明显。田新安山玢岩 Th 含量为  $7.70 \times 10^{-6}$ , Th/Ta 值为 8.80, Nb/Ta 值为



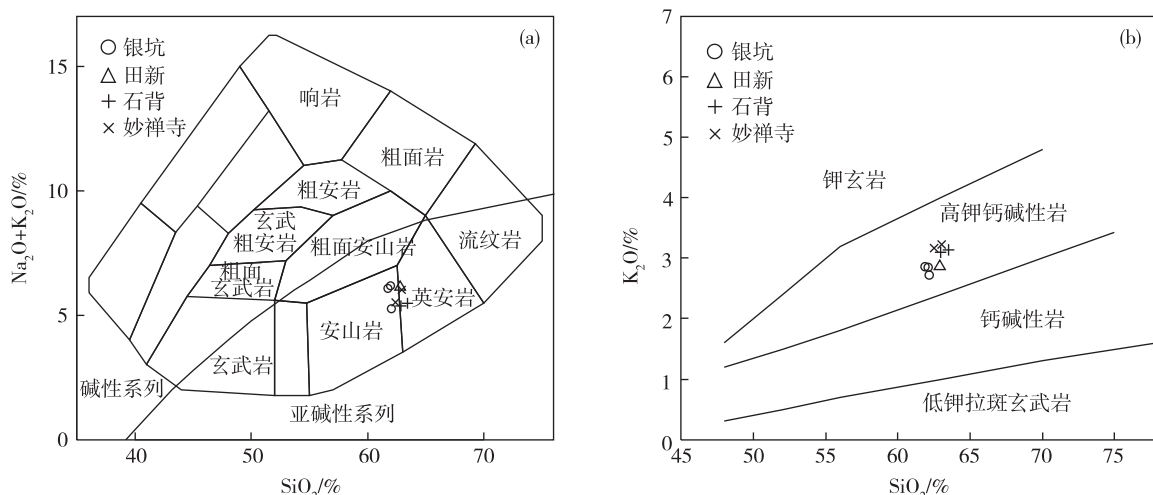


图6 赣南银坑、于都田新及粤北石背—妙禅寺安山玢岩 TAS 图解(a)和  $K_2O-SiO_2$  图解(b)<sup>[11]</sup>

Fig. 6 The TAS (a) and  $K_2O-SiO_2$  (b) diagrams of Yinkeng-Tianxin, Shibe-Miaochansi andesitic porphyrites<sup>[11]</sup>

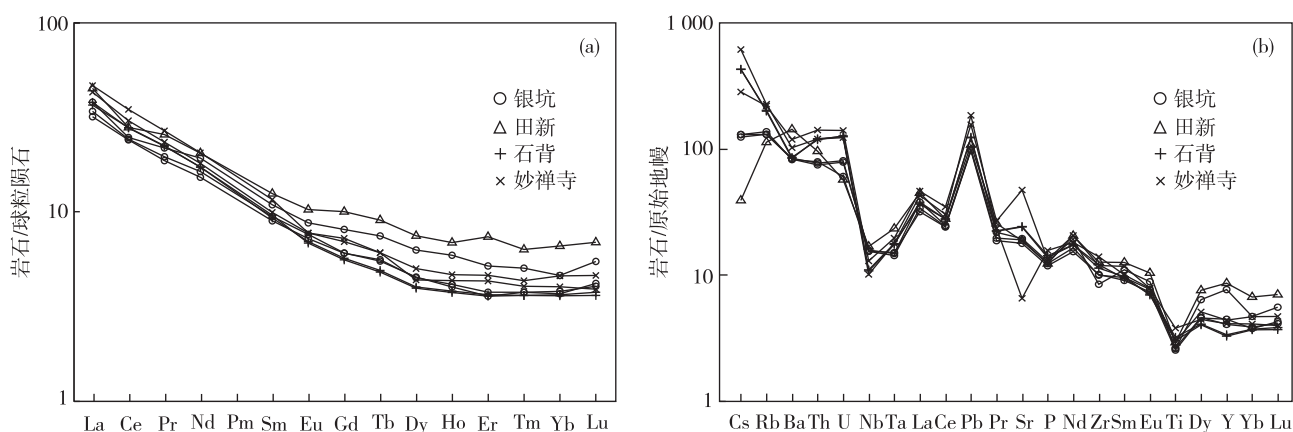


图7 赣南银坑、于都田新及粤北石背—妙禅寺安山玢岩球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图(a)<sup>[12]</sup>和原始地幔标准化微量元素蛛网图(b)<sup>[13]</sup>

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns (a)<sup>[12]</sup> and primitive mantle-normalized trace element spidergram (b)<sup>[13]</sup> of Yinkeng-Tianxin and Shibe-Miaochansi andesitic porphyrites

12.84, Zr/Hf 值为 36.17, Rb/Sr 值为 0.180, 均介于上地幔值与地壳值之间, 具有与银坑安山玢岩较为相似的地球化学特征(图 6, 图 7, 图 8)。对比分析表明, 二者可能源自相似的源区。

通过与粤北韶关丹霞盆地北部石背和妙禅寺安山玢岩进行对比研究, 发现两者主量元素和微量元素特征基本一致(表 2), 稀土元素配分曲线相似性较好, 均明显右倾, Eu 异常不明显, 均具有大离子亲石元素 K、Rb、U、Th 等富集, 高场强元素 Nb、Ta、Ti 亏损的特征(图 7)。于都盆地安山玢岩 Th/U 值为 3.81~6.70, 韶关盆地安山玢岩 Th/U 值为

3.72~4.03, 明显大于岛弧岩浆 Th/U 值(1.5~2.5)<sup>[32]</sup>, 表明二者并非形成于岛弧环境。于都、韶关安山玢岩  $SiO_2$  含量分别为 61.73%~62.75% 和 62.36%~63.36%, 其 Zr 含量分别为  $(91.17\sim136)\times 10^{-6}$  和  $(122\sim150)\times 10^{-6}$ , Zr/Y 值分别为 2.69~5.95 和 6.56~8.67, 均指示板内岩浆源区特征<sup>[33]</sup>。韶关盆地安山玢岩显示明显 Sr 异常现象(图 7(b)), 暗示其可能为源区岩浆在高氧逸度环境下发生过斜长石结晶分异作用(形成于贫水的环境), 部分样品 Sr 正异常可能与地壳混染有关<sup>[11]</sup>。

以上表明, 赣南地区安山玢岩既有幔源岩浆特



征又有壳源岩浆特征,具有地幔部分熔融形成的基性岩浆与地壳物质熔融形成的酸性岩浆混合形成特点<sup>[22]</sup>。但详细比较发现,韶关盆地安山玢岩地壳混染程度略高于于都盆地安山玢岩(图 8),韶关盆地石背和妙禅寺地区早期深大断裂不发育,导致火

山岩出露为大小不一的环形构造,而于都盆地位于鹰潭—安远深大断裂边部,相比之下,韶关盆地火山岩滞留在地壳深部岩浆房中的时间可能要长于于都盆地,而于都盆地火山岩能够较快形成供岩浆上升的通道,导致地壳混染程度低于前者。

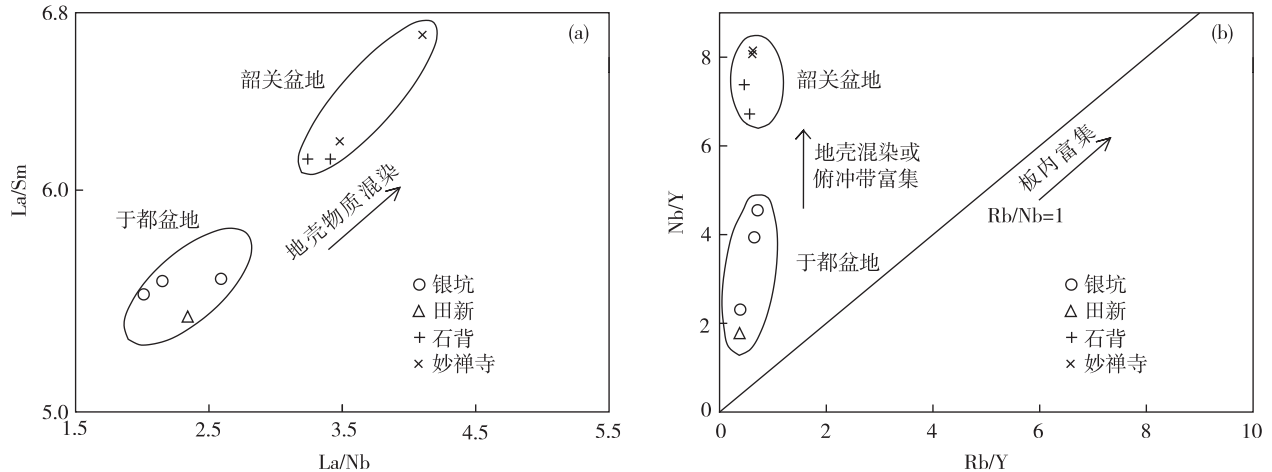


图 8 赣南银坑、于都田新及粤北石背—妙禅寺安山玢岩 La/Nb-La/Sm 图解(a)和 Rb/Y-Nb/Y 图解(b)

Fig. 8 The La/Nb-La/Sm (a) and Rb/Y-Nb/Y (b) diagrams of Yinkeng-Tianxin and Shibei-Miaochansi andesitic porphyrites

综上所述,赣南地区安山玢岩为中性岩石组合,属高钾钙碱性岩石系列,岩石化学组成显示其为地幔部分熔融的产物,具有陆壳混染的特点。由此认为,安山玢岩岩浆应为底侵的幔源基性岩浆与陆壳物质熔融产生的酸性岩浆混染交换形成,岩浆经历一定程度结晶分异作用,在活动大陆边缘弧后伸展作用下,最终上升侵位喷出地表。

#### 4.3 构造背景

中国东部自晚中生代开始发生了重大的岩浆作用与构造体制的变化,这些变化与太平洋板块向西俯冲的速率和俯冲角度以及板块的拆沉等有关<sup>[34-36]</sup>,国外学者<sup>[37-38]</sup>认为中国东部晚侏罗世—早白垩世岩浆活动与太平洋板块向西俯冲有关,晚白垩世开始转为陆内拉伸裂陷活动。邓晋福等<sup>[39]</sup>认为,中国东部燕山期火山岩是岩石圈拆沉与大洋俯冲的联合作用所致,由此造成岩浆活动带总体上从内陆向沿海方向的迁移,即侏罗纪花岗岩类主要分布于武夷山以西的内陆地区,白垩纪火山-侵入岩主要分布于浙闽沿海地区<sup>[21,24]</sup>。

赣南地区虽远离太平洋板块向欧亚大陆板块的俯冲带,但从晚中生代以来该地区的岩石圈动力学演化明显地受控于这两大板块的相互作用。从

Yb-Th/Ta 图解(图 9(a))和 Ta/Yb-Th/Yb 图解(图 9(b))中可以看出,样品均落在了活动大陆边缘区。La/Nb 值为 2.01~2.34(平均值 2.16),在活动大陆边缘区,La/Nb 值高(>2)是普遍现象<sup>[41]</sup>。因此,从岩石组合以及稀土元素、微量元素特征来看,赣南银坑安山玢岩形成于活动大陆边缘弧后伸展的大地构造环境。

从赣南地区白垩纪地层序列柱状对比图(图 10)中可以进一步看出,赣州、于都、宁都红层盆地底部都赋存安山岩,表明安山岩喷出与白垩纪地层沉积几乎是同时发生的,该区安山玢岩形成时代指示着赣南地区弧后盆地伸展构造活化时期,大致代表赣州、于都、宁都等一系列红层盆地的形成时代。赣州盆地白垩纪红层底部安山岩中夹少量墨绿色伊丁橄榄玄武岩(图 10),幔源物质的存在进一步说明晚白垩世早期形成的伸展断裂规模已延伸至岩石圈地幔。

赣南—粤北的长塘、仁居、寻乌盆地 105~96 Ma 双峰式火山岩<sup>[42]</sup>及赣南一系列红层盆地底部安山玢岩,说明赣南地区在晚白垩世早期已处于岩石圈的伸展环境。这些证据表明,包括南岭北部和武夷山西部在内的中国东南部广大地区,晚白垩

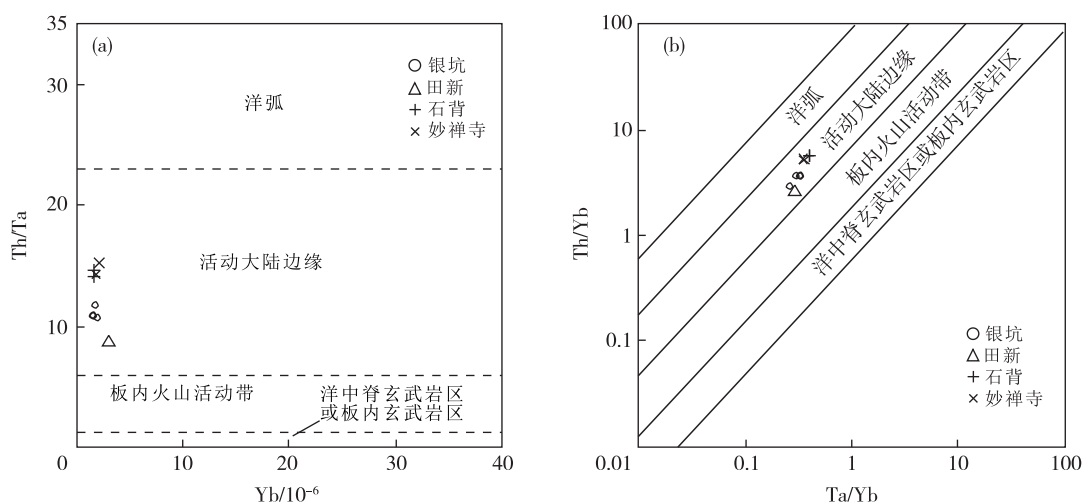


图9 赣南银坑、于都田新及粤北石背—妙禅寺安山玢岩 Yb-Th/Ta 图解(a)和 Ta/Yb-Th/Yb 图解(b)<sup>[40]</sup>

Fig. 9 The Yb-Th/Ta (a) and Ta/Yb-Th/Yb (b) diagrams of Yinkeng-Tianxin and Shibe-Miaochansi andesitic porphyrites<sup>[40]</sup>

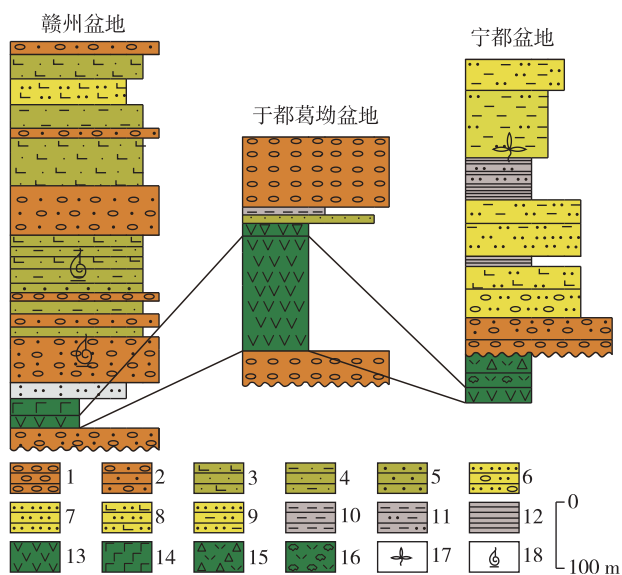


图10 赣南地区白垩纪地层序列柱状对比图

Fig. 10 Comparison of Cretaceous stratigraphic sequence column in Southern Jiangxi

世早期约 100 Ma 是一次重要的活动大陆边缘弧后伸展时代。

## 5 结 论

(1) 赣南银坑地区安山玢岩 LA-ICP-MS 锆石

U-Pb 年龄为  $(99.89 \pm 0.30)$  Ma, 属于晚白垩世早期。

(2) 赣南银坑地区安山玢岩属于高钾钙碱性系列岩石, 岩石明显富集大离子亲石元素 (如 K、Ba、Rb)、轻稀土元素和活泼的不相容元素 (如 Th、U), 相对亏损高场强元素 (如 Nb、Ta、Ti、P)。Th 含量为  $(6.01 \sim 6.36) \times 10^{-6}$ , Th/Ta、Zr/Hf 和 Rb/Sr 值分别为 10.7~11.7、33.15~35.33 和 0.198~0.216, 均介于地壳和地幔值之间, 指示岩浆源岩主要为地幔物质的部分熔融, 并受陆壳混染作用影响。

(3) 银坑安山玢岩形成大地构造背景与太平洋板块向西俯冲有关, 为活动大陆边缘弧后伸展作用下的产物。该安山玢岩活动年龄可大致代表这些断陷盆地的形成时代。

## 参考文献

- [1] 徐克勤, 孙鼎, 王德滋, 等. 华南多旋回的花岗岩类的侵入时代、岩性特征、分布规律及其成矿专属性的探讨[J]. 地质学报, 1963, 43(1): 1-26.
- [2] 徐克勤, 孙鼎, 王德滋, 等. 华南多旋回的花岗岩类的侵入时代、岩性特征、分布规律及其成矿专属性的探讨(续)[J]. 地质学报, 1963, 43(2): 141-152.
- [3] TURNER S, ARNAUD N, LIU J, et al. Post-collisional shoshonitic volcanism on the Tibetan plateau: Implications for convective thinning of the lithosphere and the source of ocean island basalts[J]. Journal of petrology, 1996, 37(1): 45-71.
- [4] 孟繁聪, 薛怀民, 李天福, 等. 苏鲁造山带晚中生代地幔

- 的富集特征——来自辉长岩的地球化学证据[J]. 岩石学报, 2005, 21(6): 1583-1592.
- [5] 胡芳芳,范宏瑞,杨进辉,等.鲁东昆嵛山地区宫家辉长闪长岩成因:岩石地球化学、锆石 U-Pb 年代学与 Hf 同位素制约[J]. 岩石学报, 2007, 23(2): 369-380.
- [6] 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 from mantle xenoliths [J]. *Journal of Petrology*, 2010, 51(1/2): 537-571.
- [7] LIU Y S, HU Z C, GAO S, et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard [J]. *Chemical Geology*, 2008, 257(1/2): 34-43.
- [8] 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.
- [9] 陈振宇,王登红,陈郑辉,等.赣南兴国田新白垩纪火山岩的锆石 U-Pb 定年及其构造背景[J]. 岩矿测试, 2012, 31(3): 543-548.
- [10] 蒋英,梁新权,梁细荣,等.粤北仁化白垩纪安山玢岩锆石年代学、地球化学和岩石成因研究[J].大地构造与成矿学, 2015, 39(3): 481-496.
- [11] MIDDLEMOST E A K. Naming materials in the magma/igneous rock system [J]. *Earth Science Reviews*, 1994, 37(3/4): 215-224.
- [12] SUN W D, 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.
- [13] MCDONOUGH W F, SUN S S. The composition of the Earth [J]. *Chemical Geology*, 1995, 120(3/4): 223-253.
- [14] 陈国达.中国地台“活化区”的实例并兼论“华夏古陆”问题[J]. 地质学报, 1956, 36(3): 239-272.
- [15] 陈国达.地壳动“定”转化递进说——论地壳发展的一般规律[J]. 地质学报, 1959, 39(3): 227-241.
- [16] 陈国达. 1:400 万中国大地构造图[M]. 北京: 地图出版社, 1977.
- [17] 陈江峰, FOLAND K A, 刘义茂. 苏州复式花岗岩体的精确<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 定年[J]. 岩石学报, 1993, 9(1): 77-85.
- [18] 王一先,赵振华,包志伟,等.浙江花岗岩类地球化学与地壳演化——I.显生宙花岗岩类[J]. 地球化学, 1997, 26(5): 1-15.
- [19] MARTIN H, BONIN B, CAPDEVILA R, et al. The Kuiki peralkaline granitic complex (SE China): Petrology and geochemistry [J]. *Journal of Petrology*, 1994, 35(4): 983-1015.
- [20] 周珣若,吴克隆.漳州 I-A 型花岗岩[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 8-117.
- [21] 徐夕生,谢昕.中国东南部晚中生代—新生代玄武岩与壳幔作用[J]. 高校地质学报, 2005, 11(3): 318-334.
- [22] 李献华,胡瑞忠,饶冰.粤北白垩纪基性岩脉的年代学和地球化学[J]. 地球化学, 1997, 26(2): 14-31.
- [23] 舒良树,邓平,王彬,等.南雄—诸广地区晚中生代盆山演化的岩石化学、运动学与年代学制约[J]. 中国科学(D 辑), 2004, 34(1): 1-13.
- [24] 耿红燕,徐夕生, O'REILLY S Y, 等. 粤西白垩纪火山—侵入岩浆活动及其地质意义[J]. 中国科学(D 辑), 2006, 36(7): 601-617.
- [25] 祝新友,王京彬,刘慎波,等.广东凡口 MVT 铅锌矿床成矿年代——来自辉绿岩锆石 SHRIMP 定年证据[J]. 地质学报, 2013, 87(2): 167-177.
- [26] SUN S S. Lead isotopic study of young volcanic rocks from midocean ridges, ocean islands and island arcs [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1980, 297(1431): 409-445.
- [27] WILSON M. Igneous petrogenesis: A Global Tectonic Approach[M]. London: Unwin Hyman, 1989: 1-466.
- [28] PITCHER W S, COBBING E J. Phanerozoic plutonism in the Peruvian edge [C]//Magmatism at a plate edge. London: Blackie, 1985: 19-25.
- [29] TAYLOR S R, MCLENNAN S M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution [J]. Blackwell Scientific Publications, 1985: 1-312.
- [30] STOLZ A J, JOCHUM K P, SPETTEL B, et al. Fluid- and melt-related enrichment in the subarc mantle: Evidence from Nb/Ta variations in island-arc basalts [J]. *Geology*, 1996, 24(7): 587-590.
- [31] TAYLOR S R, MCLENNAN S M. The geochemical evolution of the continental crust [J]. *Reviews of Geophysics*, 1995, 33(2): 241-265.
- [32] BECKER H, WENZEL T, VOLKER F. Geochemistry of glimmerite veins in peridotites from lower Austria: implications for the origin of K-rich magmas in collision zones [J]. *Journal of Petrology*, 1999, 40(2): 315-338.
- [33] PEARCE J A, NORRIS 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.
- [34] ENGBRETSON D C, COX A, GORDON R G. Rel-

- active motions between oceanic and continental plates of the Pacific basin[J]. Geological Society of America Special Paper, 1985, 206: 1-60.
- [35] MARUYAMA S, SEND T. Orogeny and relative plate motions; Example of Japanese islands[J]. Tectonophysics, 1986, 127(3/4): 305-329.
- [36] ZHOU X M, LI W X. Origin of Late Mesozoic igneous rocks in Southeastern China: Implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas [J]. Tectonophysics, 2000, 326: 269-287.
- [37] JAHN B M, MARTINEAU F, PEUCAT J J, et al. Geochronology of the Tananao schist complexes, Taiwan, and its regional tectonics significance[J]. Tectonophysics, 1986, 125(1/3): 103-124.
- [38] LAPIERRE H, JAHN B M, CHARVET J, et al. Mesozoic felsic arc magmatism and continental olivine tholeiites in Zhejiang Province and their relationship with the tectonic activity in southeastern China[J]. Tectonophysics, 1997, 274: 321-338.
- [39] 邓晋福, 赵国春, 赵海玲, 等. 中国东部燕山期火成岩构造组合与造山-深部过程[J]. 地质论评, 2000, 46(1): 41-48.
- [40] GORTON M P, SCHANDL E S. From continents to island arcs: A geochemical index of tectonic setting for arc-related and within plate felsic to intermediate volcanic rocks [J]. The Canadian Mineralogist, 2002, 38(5): 1065-1073.
- [41] SALTERS V, HART S R. The mantle sources of ocean ridges, island and arcs: The Hf-isotope connection [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1991, 104(2/4): 364-380.
- [42] 巫建华, 徐勋胜, 刘帅. 赣南—粤北地区晚白垩世早期长英质火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质通报, 2012, 31(8): 1296-1305.

## Chronology and geochemistry of the early stage of Late Cretaceous andesitic porphyrite in Yinkeng area, Southern Jiangxi Province

YU Chang-qi, HE Gen-wen, ZHOU Xing-hua, LI Wei, ZENG Zai-lin, LU Guo-an

(Gannan Geological Survey Party, Bureau of Geology and Exploration and

Development of Mineral Resources of Jiangxi Province, Ganzhou 341000, China)

**Abstract:** The Yinkeng andesitic porphyrite is located in the middle of Yushan metallogenic belt and at the edge of Mesozoic fault basin in Southern Jiangxi Province. To study the emplacement age, petrogenesis and tectonic setting of magmatite, the paper analyzes the petrography, zircon U-Pb chronology and geochemical characteristics. The results show that the Yinkeng andesitic porphyrite belongs to high-K calc-alkaline series, characterized by obvious enrichment of LILEs (K, Ba and Rb), LREEs and active incompatible elements (Th and U), and depleted HSFES (Nb, Ta, Ti and P), with right-dipping REE distribution curves,  $(La/Yb)_N$  of 7.90~8.56 and no obvious Eu anomaly. The Th content of  $(6.01 \sim 6.36) \times 10^{-6}$ , Th/Ta of 10.7~11.7, Zr/Hf of 33.15~35.33 and Rb/Sr of 0.198~0.216, all between crustal and mantle values, indicates the magmatic source rock is mainly from the partial melting of mantle materials and affected by crustal contamination. The LA-ICP-MS zircon U-Pb dating result of  $(99.89 \pm 0.30)$  Ma show that the magma activity occurred in the early stage of Late Cretaceous, and the geotectonic setting was related to the westward subduction of Pacific Plate, which was the product of back-arc extension of active continental margin. Through the comparative analysis of sedimentary sequence of red-bed basins, it is concluded that the activity age of andesitic porphyrite can roughly represent the formation age of the fault basins.

**Key words:** Late Cretaceous andesitic porphyrite; zircon U-Pb chronology; geochemical characteristics; extension; Southern Jiangxi Province