DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2020.01.004

引用格式:杨彪,王正其,肖金根,等.安徽黄梅尖地区基性岩脉 K-Ar 年代学、地球化学特征及地质意义[J].华东地质,2020,41 (1):27-35.

# 安徽黄梅尖地区基性岩脉 K-Ar 年代学、 地球化学特征及地质意义

# 杨 彪<sup>1</sup>,王正其<sup>2</sup>,肖金根<sup>1</sup>,曹达旺<sup>1</sup>

(1.安徽省核工业勘查技术总院,芜湖 241000;2.东华理工大学,南昌 330013)

**摘要:**在野外地质调查和室内综合研究的基础上,通过对黄梅尖地区辉绿玢岩 K-Ar 年代学、地球化学和 Sr-Nd 同位素特征进行研究,探讨辉绿玢岩的形成时代、岩石成因及构造背景。K-Ar 年代学研究表明,辉绿玢岩形成 于~107 Ma,是早白垩世岩浆活动的产物,形成时代晚于该地区火山岩和侵入岩,与该地区铀成矿年龄基本一致; 辉绿玢岩的侵入可能是该地区岩浆作用的最后一幕,铀成矿可能与辉绿玢岩具有成因联系。地球化学特征表明, 辉绿玢岩富集大离子亲石元素 K、Rb、U、Pb 和轻稀土元素,亏损高场强元素 Nb、Ta、P、Ti,具有较高的 I<sub>sr</sub>值和负 <sub>€Nd</sub>(t)值,具有富集地幔源区特征;辉绿玢岩是在地壳伸展和岩石圈减薄的构造背景下,由俯冲交代作用形成的富 集地幔部分熔融形成的,表明~107 Ma 时该地区仍处于伸展构造环境下。

关键词: 辉绿玢岩;地球化学特征;K-Ar 年代学;Sr-Nd 同位素;黄梅尖地区;安徽

**中图分类号:**P588.12<sup>+</sup>4 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-1871(2020)01-027-09

代表大陆拉张裂解的基性岩脉包含丰富的幔 源信息,可作为衡量重要构造转换时间的标尺<sup>[1]</sup>,对 于研究深部地幔性质和大陆动力学演化具有重要 意义,是国内外学者研究的热点<sup>[2]</sup>,众多学者对基性 岩脉的年代学、地球化学特征及其与铀成矿的关系 进行了研究<sup>[3-8]</sup>。安徽黄梅尖地区中生代岩浆活动 频繁,基性岩脉出露较少,前人主要对黄梅尖岩体 及邻区火山岩的地质背景、岩石成因、时代和铀成 矿规律进行了研究<sup>[9-19]</sup>。辉长岩和玄武岩地球化学 特征及同位素年代学研究表明,其原始岩浆来源于 富集的岩石圈地幔,成岩年龄为115~125 Ma<sup>[20-22]</sup>。 目前,对该区辉绿玢岩的研究相对较少。

本文以黄梅尖岩体内的辉绿玢岩为研究对象, 在野外地质调查和室内综合研究的基础上,对辉绿 玢岩进行 K-Ar 年代学、地球化学及 Sr-Nd 同位素 特征研究,探讨黄梅尖地区辉绿玢岩的形成时代、 岩石成因和构造演化特征,为进一步探讨该区铀矿 成矿作用提供参考。

# 1 地质背景

黄梅尖地区位于庐枞盆地东南缘,扬子板块北 缘,西临郯庐深大断裂,东临长江断裂。区内出露的 地层主要有早侏罗世磨山组(J\_m)、中侏罗世罗岭组 (J<sub>2</sub>*l*)陆相碎屑沉积岩和早白垩世龙门院组(K<sub>1</sub>*l*)、砖 桥组(K<sub>1</sub>z)火山岩(图 1)。黄梅尖碱性岩体是庐枞盆 地出露面积最大的岩体,形成于火山岩之后,岩体与 火山岩系及沉积地层呈侵入接触关系,是由2个阶段 4次侵入活动形成的复式岩体。第一阶段为主侵入 阶段,形成了黑云母正长岩和石英正长岩,石英正长 岩是第二次侵入活动的产物,为黄梅尖岩体的主体岩 性;第二阶段为补充侵入阶段,形成细粒似斑状石英正 长岩和花岗岩。区内脉岩发育,主要有花岗岩脉、正长 岩脉、正长斑岩脉、闪长斑岩脉和辉绿玢岩脉。区内以 NW 向断裂为主,其次有 EW 向、SN 向和 NE 向断裂 (图 1),这些断裂为晚期岩浆和成矿热液活动提供了有 利通道,与黄梅尖地区铀成矿密切相关。

<sup>\*</sup> 收稿日期:2018-11-07 修订日期:2019-03-13 责任编辑:谭桂丽

基金项目:安徽省国土资源厅"安徽省枞阳县黄梅尖及邻区铀成矿条件和找矿预测(编号:2012-K-2)"项目资助。 第一作者简介:杨彪,1988 年生,男,工程师,主要从事地质调查与矿产勘查工作。



1.第四系;2.砖桥组;3.龙门院组;4.罗岭组;5.磨山组;6.燕山晚期第二阶段第二次侵入花岗岩;7. 燕山晚期第二阶段第二次 侵入正长斑岩;8. 燕山晚期第二阶段第一次侵入细粒似斑状石英正长岩;9. 燕山晚期第一阶段第二次侵入石英正长岩; 10. 燕山晚期第一阶段第一次侵入黑云母正长岩;11.辉石粗安玢岩;12.隐爆角砾岩;13.花岗岩脉;14.正长岩脉;15.石英正 长岩脉;16.正长斑岩脉;17.闪长玢岩脉;18.辉绿玢岩脉;19.断裂;20.铀矿床;21.铀矿点;22.采样位置

图 1 安徽黄梅尖地区地质略图[13]

Fig. 1 Geological sketch map of the Huangmeijian area, Anhui Province<sup>[13]</sup>

# 2 岩石学特征

本次研究的辉绿玢岩主要分布在黄梅尖岩体 西岭庵一带(图 1),脉岩走向呈 NE 向、NW 向或 NWW 向。脉岩最长达1 200 m,宽 50 m,走向呈北 东 25°方向,与 NW 向或 NWW 向脉岩在西南端不 相交,单独分布。岩石新鲜面呈灰黑色,斑状结构、 辉绿结构,块状构造。斑晶含量占 30%~40%,主 要由辉石和少量斜长石组成,偶见黑云母,晶形较 完好,辉石包括单斜辉石和斜方辉石;基质为全晶 质结构,含量占 60%~70%,以斜长石、辉石为主, 偶见黑云母,此外含有黄铁矿等不透明矿物。岩脉 蚀变较弱,偶见弱碳酸盐岩化、绿泥石化。

## 3 测试方法

对黄梅尖岩体西岭庵地表最长的辉绿玢岩露

头进行采样,具体位置如图1所示。共采集同位素 年代学样品 2 个、岩石地球化学样品 5 个、Sr-Nd 同 位素样品3个。K-Ar法年龄测试工作在中国石油 勘探开发研究院石油地质实验研究中心完成,采用 MM 5 400静态真空质谱计测定。样品在1 500 ℃ 左右熔化的同时,加入准确定量的38 Ar 稀释剂,测 定混合稀释剂后的同位素比值 ( $^{40}$  Ar/ $^{38}$  Ar)<sub>m</sub> 和(<sup>38</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar)<sub>m</sub>,求出样品的放射性成因<sup>40</sup>Ar,再根 据样品的 K 含量计算年龄,分析结果见表 1。主量 元素、微量元素和 Sr-Nd 同位素分析在核工业北京 地质研究院分析测试中心完成,其中主量元素采用 X射线荧光光谱法测定,仪器型号为飞利浦 PW2404 X 射线荧光光谱仪:微量元素分析采用电 感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法测定,电感耦合等 离子体质谱仪为 Finnigan-MAT 公司产 Element XR型:Sr-Nd 同位素测试仪器型号为 PHOENIX, 仪器编号为 9444, Sr、Nd 比值误差以 2σ 计。

## 4 测试结果

#### 4.1 K-Ar 年代学特征

黄梅尖地区辉绿玢岩 K-Ar 法年龄测试结果见 表 1。2个样品获得的成岩年龄值分别为 107.2±

1.6 Ma和106.1±1.6 Ma,二者在误差范围内完全 一致。黄梅尖岩体主体岩石(石英正长岩)的形成 年龄为125.4±1.7 Ma<sup>[16]</sup>,补体岩石的形成年龄 为~115 Ma<sup>[9]</sup>,火山岩形成年龄为135~127 Ma,均 形成于早白垩世<sup>[19]</sup>。据此推断,辉绿玢岩可能是黄 梅尖地区最晚一次岩浆作用的产物。

表 1 黄梅尖地区辉绿玢岩 K-Ar 法年龄测证	试结果
--------------------------	-----

Table 1 K-Ar dating results of the diabase	porphyrites in the Huangmeijian area
--------------------------------------------	--------------------------------------

样品编号	$K/\frac{0}{0}$	$^{40}\mathrm{Ar}/^{38}\mathrm{Ar}$	$^{38}{ m Ar}/^{36}{ m Ar}$	$^{40}\mathrm{Ar}_{\mathrm{rad}}/(\mathrm{mol} \cdot \mathrm{g}^{-1})$	$^{40}\mathrm{Ar_{rad}}/\%$	$^{40}{ m Ar}_{i\!\! t\! t}/^{40}{ m K}$	年龄/Ma
Yh-91	3.94	1.113 95	3 749.577 78	$7.55 \times 10^{-10}$	95.05	0.006 420 3	$107.2 \pm 1.6$
Yh-95	3.64	1.259 84	3 026.535 53	$6.90 \times 10^{-10}$	93.98	0.006 351 2	106.1 $\pm$ 1.6
测试单位	,中国石油	勘探开发研究院	石油地质研究中心				

4.2 地球化学特征

#### 4.2.1 主量元素

黄梅尖岩体辉绿玢岩主量元素含量及特征参数见表 2。辉绿玢岩 SiO<sub>2</sub> 含量为 55.20%~ 67.57%; Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O为 6.41%~11.24%, K<sub>2</sub>O/ Na<sub>2</sub>O为 1.01~2.75; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为 10.78%~ 18.26%,平均值为 15.13%; TiO<sub>2</sub> 含量为 0.43%~ 1.36%, MgO 含量为 0.16%~2.59%, 具有富 K、 低 Ti 的特征。固结指数(SI)为 1.11~11.03,铝饱 和指数(A/CNK)为 0.647~1.031,属于准铝质-弱 过铝质岩石。

在  $K_2$ O-SiO<sub>2</sub> 图解(图 2(a))上,所有样品投影 点均落在钾玄岩系列范围内;在 Harker 图解(图 2 (b))上,辉绿玢岩 SiO<sub>2</sub> 含量与 MgO、TiO<sub>2</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量呈负相关,与  $K_2$ O 含量呈正相关,反映了在岩 浆演化过程中可能发生一定程度的单斜辉石、钛铁 氧化物和磷灰石分离结晶作用。

表 2	黄梅尖地	包辉绿玢岩	主量元素含量及	<b>&amp;特征参数</b>	

	Table 2	Major element	contents and	characteristic	parameters	of the	diabase	porphyrites	in the	Huangmeijian	area
--	---------	---------------	--------------	----------------	------------	--------	---------	-------------	--------	--------------	------

样品	主量元素含量/%												特征参数	
编号	$SiO_2$	${\rm TiO}_2$	$Al_2O_3$	$\mathrm{Fe}_2\mathrm{O}_3$	MnO	MgO	CaO	$Na_2O$	$K_2O$	$P_2O_5$	烧失量	总量	SI	A/CNK
Yh-91	55.20	1.36	18.26	7.60	0.15	2.59	4.77	4.54	4.57	0.661	0.19	99.89	11.03	0.886
Yh-92	67.57	0.43	16.35	3.23	0.08	0.16	0.37	5.36	5.88	0.051	0.52	99.99	1.11	0.647
Yh-94	58.87	0.64	10.78	9.11	0.23	1.94	4.82	1.71	4.70	0.199	6.71	99.78	9.89	1.031

测试单位:核工业北京地质研究院分析测试中心





Fig. 2  $K_2$  O-SiO<sub>2</sub> (a) and Harker (b) diagrams of the diabase porphyrites<sup>[23]</sup>

4.2.2 微量元素

黄梅尖岩体辉绿玢岩微量元素含量及特征参数见表 3。在原始地幔标准化微量元素蛛网图(图 3)上,各样品具有相似的曲线特征。曲线"峰谷"明显,总体呈左侧"M型",经明显 Pb 峰值后,右侧具有右倾趋势,尾端渐趋平缓,总体表现为大离子亲石元素 K、Rb、U、Pb 富集,Ba、Th 弱亏损。Pb、U

强烈富集,可能与黄梅尖地区普遍存在铀矿化和铅 锌矿化有关<sup>[13]</sup>。高强场元素 Nb、P、Ta、Ti 亏损,其 中 P、Ti 亏损明显,Zr、Hf 弱亏损。P 亏损反映源区 可能缺少磷灰石或熔融程度较低,Ti 亏损可能与金 红石、钛铁矿分离结晶有关,Ta、Nb 呈明显"U"型 槽,暗示岩浆演化过程中可能存在地壳物质的参与 或地幔源区可能是受俯冲流体交代的富集型地幔。

表 3 黄梅尖地区辉绿玢岩微量元素、稀土元素含量及特征参数

Table 3 Trace element and REE contents and characteristic parameters of the diabase porphyrites in the Huangmeijian area

出日始日									微量	元素、	稀土元素	含量/10	-6						
件互拥互	La	С	е	Pr	Nd	Sm	H	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	Sr	Rb
Yh-91	67.0	) 12	28 1	15.8	64.6	11.	93.	51	9.44	1.40	7.17	1.25	3.51	0.543	3.39	0.441	31.8	1 191	123
Yh-92	65.7	7 12	26 1	5.4	61.8	12.	1 3.	19	9.31	1.38	6.82	1.27	3.45	0.544	3.40	0.445	31.7	1  146	122
Yh-93	70.3	3 13	35 1	6.6	65.9	12.	0 3.	34	9.97	1.47	7.59	1.36	3.72	0.580	3.58	0.491	34.7	1 229	130
Yh-94	70.8	3 13	87 1	6.9	68.7	11.	63.	55 1	0.20	1.61	7.47	1.35	3.82	0.579	3.64	0.499	35.0	1 280	142
Yh-96	70.0	) 13	35 1	16.5	66.3	12.	0 3.	34	9.93	1.49	7.32	1.32	3.69	0.565	3.59	0.483	33.7	1 232	130
样早纪早					従	数量元	素、稀	土元素	含量/	$10^{-6}$						特征	E参数		
件互拥互	Ba	Th	Ta	Nb	Zr	Hf	U	Cu	Pb	Zn	ΣREE	LREE	HRE	E LRI	EE/HRE	E La	<sub>N</sub> /Yb <sub>N</sub>	∂Eu	∂Ce
Yh-91	925	11.9	1.38	20.4	228	6.31	5.26	14.4	19.3	95.5	317.95	290.81	27.1	4	10.71	1	4.18	0.98	0.93
Yh-92	896	12.0	1.37	20.4	236	6.10	3.42	12.0	16.5	85.3	309.81	283.19	26.6	2	10.64	1	3.86	0.93	0.94
Yh-93	928	13.0	1.56	22.8	351	9.12	3.91	17.6	17.1	92.7	331.90	303.14	28.7	6	10.54	1	4.09	0.91	0.94
Yh-94	988	13.1	1.46	22.8	260	7.04	4.12	17.8	20.8	99.6	337.72	308.55	29.1	7	10.58	1	3.95	0.98	0.94
Yh-96	934	12.9	1.45	21.9	275	7.27	3.65	16.1	18.2	94.9	331.53	303.14	28.3	9	10.68	1	3.99	0.91	0.94

测试单位:核工业北京地质研究院分析测试中心



图 3 辉绿玢岩原始地幔标准化微量元素蛛网图[24]



#### 4.2.3 稀土元素

黄梅尖岩体辉绿玢岩稀土元素含量及特征参数见表 3。辉绿玢岩稀土元素含量及特征参309.81~337.72)×10<sup>-6</sup>,平均值为 325.78×10<sup>-6</sup>。轻稀土元素含量为(283.19~308.55)×10<sup>-6</sup>,平均值为 297.77×10<sup>-6</sup>;重稀土元素含量为

(26.62~29.17)×10<sup>-6</sup>,平均值为 28.02×10<sup>-6</sup>。 LREE/HREE为 10.54~10.71,平均值为 10.63, La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub> 平均值为 14.01,说明轻、重稀土元素分离 较明显,属轻稀土富集型。在球粒陨石标准化稀土 元素配分曲线图(图 4)上,各样品曲线一致并重叠, 为轻稀土富集型,反映岩浆形成过程中部分熔融程 度较低或岩浆分离结晶程度较高。 $\delta$ Eu 为 0.91~



图 4 辉绿玢岩球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图[24]

Fig. 4 Chondrite-normalized REE distribution patterns of the diabase porphyrites<sup>[24]</sup>

0.98,平均值为 0.94,未见明显 Eu 异常,反映岩浆 演化作用过程中斜长石的分离结晶作用不明显。

#### 4.3 Sr-Nd 同位素地球化学

黄梅尖地区辉绿玢岩 Rb-Sr、Sm-Nd 同位素测 试结果及基于辉绿玢岩成岩年龄(~107 Ma)的  $I_{sr}$ 、ΔSr、(<sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd)<sub>i</sub>和 $\epsilon_{Nd}$ (t)计算结果见表 4。 3个辉绿玢岩的  $I_{sr}$ 值为0.70575~0.70588,平均 值为0.70579,大于亏损地幔(DM)值( $I_{sr}$ 值一般为 0.7020~0.7024)和高  $\mu$ 值地幔端元(HIMU) ( $I_{sr}$ 值一般为0.7026~0.7030),小于富集地幔 (EMII)的 $I_{sr}$ 值(通常>0.710),与富集地幔(EMI) 的 $I_{sr}$ 值(一般为0.7045~0.7060)接近<sup>[25]</sup>,暗示与 辉绿玢岩对应的岩石圈地幔源区具有富集地幔 (EMII)特征。Dupal 同位素异常是判断地幔端元及 富集地幔的主要特征之一, $\Delta$ Sr>50 是判别 Dupal 同位素异常的重要边界条件之一<sup>[25-26]</sup>。辉绿玢岩  $\Delta$ Sr为 57.46~58.80(表 4),均>50,进一步证明 辉绿玢岩来自富集地幔源区。

辉绿玢岩( $^{143}Nd/^{144}Nd$ )<sub>i</sub>为 0.512 124 ~ 0.512 188,平均值为 0.512 157,小于亏损地幔 (DM)值(( $^{143}Nd/^{144}Nd$ )<sub>i</sub>为0.513 1~0.513 3)和高  $\mu$ 地幔(HIMU)值(( $^{143}Nd/^{144}Nd$ )<sub>i</sub>为0.512 8),具有 与富集地幔(EMI或EMII)(( $^{143}Nd/^{144}Nd$ )<sub>i</sub>为 0.512 4~0.511 0)相似的Nd同位素特征<sup>[25]</sup>,说明 辉绿玢岩源区及其成因可能与富集地幔相关。辉 绿玢岩  $\epsilon_{Nd}(t)$ 值为-6.1~-7.3,平均值为-6.7, 与洋中脊玄武岩的  $\epsilon_{Nd}(t)$ 值(10±1.5)存在显著差 别,说明辉绿玢岩源自富集地幔源区。

表 4 黄梅尖地区辉绿玢岩 Rb-Sr、Sm-Nd 同位素测试结果 Table 4 Rb-Sr and Sm-Nd isotopic data of the diabase porphyrites in the Huangmeijian area

样号编号	${\rm Rb}/10^{-6}$	${\rm Sr}/10^{-6}$	$^{87} m Rb/^{86} m Sr$	$^{87} m Sr/^{86} m Sr$	年龄/Ma	$I_{ m sr}$	$\Delta Sr$	$\varepsilon_{\rm sr}(t)$
Yh-91	123	1 191	0.298 8	0.706 334		0.705 88	58.80	21.4
Yh-94	142	1 280	0.320 9	0.706 248	$\sim \! 107$	0.705 76	57.60	19.7
Yh-96	130	1 232	0.305 2	0.706 210		0.705 75	57.46	19.5
样号编号	$\mathrm{Sm}/10^{-6}$	$Nd/10^{-6}$	$^{147}{ m Sm}/^{144}{ m Nd}$	$^{143}{ m Nd}/^{144}{ m Nd}$	年龄/Ma	$(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i$	$\varepsilon_{Nd}(t)$	Sm/Nd
Yh-91	11.9	64.6	0.111 4	0.512 202		0.512 124	-7.3	0.18
Yh-94	11.6	68.7	0.102 1	0.512 231	$\sim \! 107$	0.512 160	-6.6	0.17
Yh-96	12.0	66.3	0.109 4	0.512 265		0.512 188	-6.1	0.18

测试单位:核工业北京地质研究院分析测试中心。分析误差以  $2\sigma$  计, $\Delta$ Sr=[( $^{87}$ Sr/ $^{86}$ Sr)<sub>样品</sub> -0.7]×10<sup>4</sup>。

#### 4 讨 论

#### 4.1 岩石成因

黄梅尖地区辉绿玢岩富集大离子亲石元素 K、 Rb、U、Pb 和 LREE,亏损高场强元素 Nb、Ta、P、 Ti,与俯冲带相关的高 K/Ti、低 Ti 钾质岩石类似, 明显不同于板内低 K/Ti、高 Ti 钾质岩石<sup>[27]</sup>。辉绿 玢岩 Nb/La 值为 0.30~0.32,低于大陆地壳平均 值(0.5~0.8)<sup>[28]</sup>,且 Nb/Ta 与 La/Yb 线性相关性 不显著(图 5)或不具有负相关性,结晶分异作用不 会导致 Nb/La 值的降低(Nb 的不相容性大于 La 的 不相容性)。由 La-La/Sm 图解(图 6)可知,辉绿玢 岩主要由部分熔融形成。据此推测,黄梅尖地区辉 绿玢岩可能为与"岛弧型"有关的钾玄岩,来源于富 集地幔的部分熔融。

黄梅尖地区辉绿玢岩 Rb/Sr 值和 Rb/Ba 值分



图 5 辉绿玢岩 Nb/Ta-La/Yb 图解

Fig. 5 Nb/Ta-La/Yb diagram of the diabase porphyrites

别为 0.106~0.111 和 0.133~0.144,均高于原始 地幔相应比值(原始地幔的 Rb/Sr 值和 Rb/Ba 值分



Fig. 6 La-La/Sm diagram of the diabase porphyrites

别为 0. 029 和 0. 088)<sup>[24]</sup>, Sr 平均值为1 215×10<sup>-6</sup>, Ba 平均值为 934×10<sup>-6</sup>, 两者较相近, 表明在岩浆 分异过程中它们的总分配系数 K<sub>D</sub> 接近于 1,且 Sr-Nd 同位素组成变化范围较小, 说明岩浆分异演化 程度较高, 源区可能是一种均匀交代的地幔。在辉 绿玢岩原始地幔标准化微量元素蛛网图(图 3)上, 所有样品 Nb、Ta、P、Ti 呈负异常, Pb 呈正异常, 这 一特征通常是俯冲带火山岩的特征<sup>[29]</sup>, 可能与岩石 圈地幔的交代作用有关<sup>[30]</sup>。此外, 辉绿玢岩 Nb/U 平均值为 5. 44, Nb/La 平均值为 0. 31, Ce/Pb平均 值为 7. 23, 远低于典型未被地壳混染的洋中脊玄武 岩(MORB)和洋岛玄武岩(OIB)的相应值(Nb/U=



47±10,Nb/La=1.0,Ce/Pb=25±5)<sup>[24]</sup>,且 Zr/La 平均值(0.31)明显低于大陆地壳平均值(0.7); Ba/La为13.20~13.95,平均值为13.59,远高于原 始地幔平均值(9.26),远低于大陆地壳平均值 (25),接近于富集地幔(EMI)(11.3~19.1)和 (EMII)(7.3~13.5)的平均值,与 Sr-Nd 同位素分 析结果相吻合。综上,黄梅尖地区辉绿玢岩起源于 与俯冲交代作用有关的富集地幔。

#### 4.2 地质意义

黄梅尖复式岩体是庐枞盆地 A 型花岗岩带的 重要组成部分,受中国东部中生代燕山期地球动力 学背景制约[16]。三叠纪以来,扬子板块与华北板块 碰撞,形成了以超高压变质为特征的秦岭——大别造 山带[31];晚侏罗世—白垩纪,中国东部完成了由特 提斯构造体制向古太平洋构造体制的转换,古太平 洋板块俯冲,在庐枞盆地形成了挤压-伸展背景下的 火山-侵入岩带,包括庐枞盆地在内的长江中下游地 区在135~127 Ma期间进入快速伸展时期<sup>[32]</sup>,并于 130~120 Ma 岩石圈减薄阶段达到高潮<sup>[33]</sup>。黄梅 尖地区辉绿玢岩成岩年龄为~107 Ma,明显晚于庐 枞盆地火山岩和侵入岩的年龄,说明该区辉绿玢岩 可能形成于伸展构造环境。在辉绿玢岩 2Nb-Zr/4-Y图(图7(a))和 Ta/Hf-Th/Hf(图7(b))上,辉绿 玢岩落入板内碱性玄武岩和大陆拉张带玄武岩区, 进一步证明辉绿玢岩形成于伸展构造背景。因此, 辉绿玢岩是在古太平洋板块俯冲引起的地壳伸展



A<sub>1</sub>+A<sub>2</sub>.板内碱性玄武岩;A<sub>2</sub>+C.板内拉斑玄武岩;B.E型 MORB;D.N型 MORB;C+D.火山岩弧玄武岩;I.板块发散边缘;Ⅲ.板块汇聚边缘;Ⅲ.大洋板块内洋岛;VI1.陆内裂谷、陆缘裂谷拉斑玄武岩;VI2.陆内裂谷碱性玄武岩;VI3.大陆拉张带 玄武岩;V.地幔热柱玄武岩

图 7 辉绿玢岩 2Nb-Zr/4-Y 构造环境判别图(a)及 Ta/Hf-Th/Hf 构造环境判别图(b)<sup>[34-35]</sup>

Fig. 7 Tectonic discrimination diagrams of 2Nb-Zr/4-Y(a) and Ta/Hf-Th/Hf(b) for the diabase porphyrites [34-35]

和岩石圈减薄的构造背景下,由俯冲交代作用形成的富集地幔部分熔融形成的。

黄梅尖地区 8411 铀矿床的主成矿期年龄为 108.67 Ma<sup>[36]</sup>,晚于黄梅尖石英正长岩(115~ 125 Ma)<sup>[9,16]</sup>和火山岩成岩年龄(127~135 Ma)<sup>[19]</sup>, 说明侵入作用发生在火山岩形成后,铀成矿作用是 石英正长岩侵位后的地质事件。大量研究表 明[13,18,37-38], 庐枞盆地包括黄梅尖及邻区在内的火 山岩和正长岩类侵入岩主要来源于富集地幔,且二 者的  $I_{sr}$ 、(<sup>143</sup> Nd/<sup>144</sup> Nd)<sub>i</sub>、 $\varepsilon_{Nd}$ (t) 与辉绿玢岩接 近[39],说明辉绿玢岩与黄梅尖石英正长岩和火山岩 具有相似的物质来源,可能是一个岩浆体系下不同 阶段岩浆演化的产物。本次研究表明,辉绿玢岩成 岩年龄晚于上述岩石年龄,与铀成矿年龄基本一 致,铀成矿流体具有深源特征[17]。目前,黄梅尖地 区已探明的铀矿床均分布在岩体与砂岩接触带附 近,岩体内部有大量铀矿点和异常点,部分铀矿化 受岩脉控制。在西岭庵辉绿玢岩脉群内及接触带 有较多的铀异常点和异常场晕,异常场晕呈"孤岛 状"分布,异常点放射性强度为(240~650)×10<sup>-6</sup>, 发育1条NWW向异常带穿切NE向辉绿玢岩脉。 此外,有1条辉绿玢岩脉穿插到罗岭组砂岩中,其接 触带有铀异常点,且离辉绿玢岩脉群西侧约 200 m 处分布 4340 铀矿点。岩脉受早期构造控制,矿化规 模受岩脉控制,一般规模较小,强度偏低,有"红化" 时矿化较好。

综上所述,推测黄梅尖地区铀成矿作用可能与 辉绿玢岩具有成因联系。

#### 5 结 论

(1)安徽黄梅尖地区辉绿玢岩富集大离子亲石 元素和轻稀土元素,亏损高场强元素 Nb、Ta、P、Ti, 具有较高的 Isr 值和负的 ε<sub>Nd</sub>(t)值,来自富集地幔 源区。

(2)安徽黄梅尖地区辉绿玢岩的成岩年龄 为~107 Ma,晚于该区火山岩和侵入岩年龄,与铀 成矿年龄基本一致,铀成矿作用可能与辉绿玢岩具 有成因联系。

(3)安徽黄梅尖地区辉绿玢岩是在地壳伸展和 岩石圈减薄的构造背景下,由俯冲交代作用形成的 富集地幔楔部分熔融生成的岩浆上侵就位的。

# 参考文献

- [1] HOEK J D, SEITZ H M. Continental mafic dyke swarms as tectonic indicators: An example from the Vestfold Hills, East Antarctica [J]. Precambian Research, 1995, 75(3/4):121-139.
- [2] 曹豪杰,黄乐真,沈渭洲,等.粤北牛岱辉绿岩脉的地球 化学特征及其成因研究[J].东华理工大学学报:自然 科学版,2011,34(4):323-331.
- [3] 王学成.华南产铀花岗岩体内暗色岩脉的成因及其与 铀成矿关系研究[D].南京:南京大学,1989.
- [4] 杜乐天.中国热液铀矿基本成矿规律和一般热液成矿 学[M].北京:原子能出版社,2001:1-305.
- [5] 夏宗强,李建红.桃山一诸广山成矿带晚中生代以来的 中基性岩脉特征及其与铀成矿关系[A].中国核科学技 术进展报告——中国核学会 2009 年学术年会论文集 (第一卷•第1册)[C].2009:107-113.
- [6] 徐争启,程发贵,唐纯勇,等.广西大新地区辉绿岩地质 地球化学、年代学特征及其意义[J].地球科学进展, 2012,27(10):1080-1086.
- [7] 余中美.摩天岭岩体脉岩地质地球化学与年代学特征 及其与铀成矿关系[D].成都:成都理工大学,2012.
- [8] 王勇剑.相山花岗斑岩和中基性脉岩特征及其与铀成 矿关系[D].北京:核工业北京地质研究院,2015.
- [9] 朱杰辰.大龙山、昆山富铀形成地质条件及成因的同位 素地质研究[R].北京:北京第三研究所,1989:1-134.
- [10] 陈一峰.庐枞地区铀成矿规律探讨[J].铀矿地质,1994, 10(4):193-202.
- [11] 郑永飞,傅斌,龚冰.安徽黄梅尖岩体热历史及其与成 矿关系:同位素证据[J].地质学报,1995,69(4): 337-348.
- [12] 陈一峰,马昌明,樊焕新.庐枞地区铀成矿的区域地质 背景研究[J].铀矿地质,1996,12(2):75-82.
- [13] 史春旺,杨彪.安徽省黄梅尖碱性岩体铀成矿地球化学 特征[J].铀矿地质,2016,32(1):7-12.
- [14] 邬宗玲,盛勇,黄博,等.安徽庐枞火山岩矿集区东南部 成矿系列及成矿规律[J].华东地质,2017,38(3): 194-202.
- [15] 翟建平,徐光平,章邦桐,等.庐枞火山岩系与偏碱性石 英正长岩带的同源特征及成因探讨[J].地质论评, 1999,35(增刊):707-711.
- [16] 范裕,周涛发,袁峰,等.安徽庐江一枞阳地区 A 型花岗 岩的 LA-ICP-MS 定年及其地质意义[J].岩石学报, 2008,24(8):1715-1724.
- [17] 李玉松,蔡晓兵,汪晶,等.安徽庐枞盆地黄黄寅冲铅锌 矿床闪长玢岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J].华东

34

地质,2016,37(1):19-27.

- [18] 李洪英,张荣华,胡书敏.庐枞盆地正长岩类地球化学 特征及成因探讨[J].吉林大学学报(地球科学版), 2009,39(5):839-848.
- [19] 周涛发,范裕,袁峰,等.庐枞盆地侵入岩的时空格架及 其对成矿的制约[J]. 岩石学报,2010,26(9): 2694-2714.
- [20] 徐祥,邢凤鸣.安徽沿江地区中生代基性岩稀土元素地 球化学特征[J].安徽地质,1996,9(2):81-89.
- [21] 闫峻,陈江峰,喻钢,等.长江中下游晚中生代中基性岩 的铅同位素特征:富集地幔的证据[J].高校地质学报, 2003,9(2):195-206.
- [22] 李莉.安徽铜陵地区基性岩特征及成因[D].北京:中国 地质大学(北京),2010.
- [23] MIDDLEMOST E A K. Naming materials in the magma/igneous rock system [J]. Earth Science Reviews, 1994,37(3/4):215-224.
- [24] SUN S S, MCDONOUGH W F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. [J].Geological Society Special Publications, 1989,42(1):313-345.
- [25] ZINLDER A, HART S R. Chemical Geodynamics[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 1986, 14(1):493-571.
- [26] DUPRE B, ALLEGRE C J. Pb-Sr isotop variation in Indian Ocean basalts and mixing phenomen [J]. Nature, 1983, 303(5913):142-146.
- [27] ROGERS N W. Potassic magmatism as a key to traceelement enrichment processes in the upper mantle[J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 1992,50(1):85-99.
- [28] RUDNICK R L, FOUNTAIN D M. Nature and composition of the continental crust: A lower crustal perspective [J]. Reviews of Geophysics, 1995, 33 (3): 267-309.
- [29] BRIQUEU L, BOUGAULT H, JORON J L. Quantifi-

cation of Nb, Ta, Ti and V anomalies in magmas associated with subduction zones: Petrogenetic implications[J].Earth and Planetary Science Letters, 1984, 68 (2):297-308.

- [30] ARNDT N T, CHRISTENSEN U. The role of lithospheric mantle in continental flood volcanism: Therma and geochemical constraints[J].Journal of Geophysical Research Solid Earth, 1992, 97(B7): 10967-10981.
- [31] 李曙光,杨蔚.大别山带深部地缝合线与地表地缝合线 的解耦及大陆碰撞岩石圈楔入模型:中生代幔源岩浆 岩 Sr-Nd-Pb 同位素证据[J].科学通报,2002,47(24): 1898-1905.
- [32] 周涛发,范裕,袁峰,等.安徽庐枞(庐江—枞阳)盆地火 山岩的年代学及其意义[J].中国科学(D辑:地球科 学),2008,38(11):1342-1353.
- [33] 吴福元,葛文春,孙德有,等.中国东部岩石圈减薄研究 中的几个问题[J].地学前缘,2003,10(3):51-60.
- [34] MESCHEDE M. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram [J]. Chemical Geology, 1986, 56(3/4):207-218.
- [35] 汪云亮,张成江,修淑芝.玄武岩类形成的大地构造环 境的 Th/Hf-Ta/Hf 图解判别[J].岩石学报,2001,17 (3):413-421.
- [36] 邹茂卿,刘文民,陈贵华,等.庐枞盆地富铀矿地质特征[R].芜湖:华东地勘局二七〇研究所,1991:1-98.
- [37] 刘洪,邱检生,罗清华,等.安徽庐枞中生代富钾火山岩 成因的地球化学制约[J].地球化学,2002,31(2): 129-140.
- [38] 贾丽琼,徐文艺,吕庆田,等.庐枞盆地砖桥地区科学深 钻岩浆岩 LA-MC-ICP MS 锆石 U-Pb 年代学和岩石地 球化学特征[J].岩石学报,2014,30(4):995-1016.
- [39] 刘惠华,杨彪,王正其,等.安徽省枞阳县黄梅尖及邻区 铀成矿条件和找矿预测[R].芜湖:安徽省核工业勘查 技术总院,2015:1-128.

# K-Ar chronology and geochemistry of mafic dikes in the Huangmeijian area, Anhui and their geological significances

YANG Biao<sup>1</sup>, WANG Zheng-qi<sup>2</sup>, XIAO Jin-gen<sup>1</sup>, CAO Da-wang<sup>1</sup>

(1.Anhui Nucler Exploration Techonlogy Central Institute, Wuhu 241000, China; 2.East China University of Technology, Nanchang 330013, China)

Abstract: On the basis of field geological survey and indoor comprehensive analysis, this study discussed ore-forming age, genesis and tectonic setting of diabase porphyrite of Huangmeijian pluton in the Huangmeijian area using K-Ar chronology, geochemistry and Sr-Nd isotope geochemistry. K-Ar dating results show that the diabase porphyrite formed in ~107 Ma and should be the product of the early Cretaceous magmatic activity. The diabase porphyrite formed later than volcanic rocks and intrusive rocks in the area, but is consistent with that of U mineralization, indicating that the emplacement of diabase porphyrite was likely the last stage of magmatism and uranium mineralization may be genetically related to the diabase porphyrite. Geochemical characteristics indicate that the diabase porphyrite is rich in potassium, large ion lithophile elements (K, Rb, U and Pb) and light rare earth elements, and the loss of high field intensity elements (Nb, Ta, P and Ti), with high  $I_{sr}$  and negative  $\varepsilon_{Nd}(t)$  value, suggesting characteristic of mantle-enriched source. The diabase porphyrite was formed from partial melting of enriched mantle due to subduction metasomatism under the tectonic background of crustal extension and lithospheric thinning, indicating that the region was still in an extensional tectonic environment at ~107 Ma.

Key words: diabase porphyrite; geochemistry; K-Ar age; Sr-Nd isotopes; Huangmeijian area; Anhui