

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2018.01.001

引用格式:彭智,邱军强,杨义忠,等.北淮阳东段山七岩体地球化学特征、LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J].华东地质,2018,39(1):1-10.

# 北淮阳东段山七岩体地球化学特征、LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义

彭智<sup>1</sup>,邱军强<sup>1,2</sup>,杨义忠<sup>1,2</sup>,蔡杨<sup>1,2</sup>,董婷婷<sup>1,2</sup>,柳丙全<sup>1</sup>

(1.安徽省地质调查院,合肥 230001;2.安徽省大陆成矿研究中心,合肥 230001)

**摘要:**北淮阳东段山七岩体岩性为石英闪长岩, SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量中等,富碱质, Mg<sup>#</sup> 低,具偏铝质碱性系列岩石特征。稀土元素含量中等, La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub> 值和 LREE/HREE 值均较大, HREE 相对于 LREE 明显亏损, 具较弱的 Ce 负异常, 轻稀土相对富集, 分馏较明显, 重稀土分馏不明显。岩石富集大离子亲石元素 (LILE) Rb、Ba、K 和高场强元素 (HFSE) Zr、Hf、Y, 明显亏损 Nb、Ta、Ti、P、U。通过 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年, 获得山七岩体<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄为 128.2±3.3Ma, 属早白垩世早期。主量元素及微量元素地球化学特征均表明山七岩体岩浆来源于地壳, 受地幔物质混染。

**关键词:**岩石地球化学; 锆石 U-Pb 定年; 岩石成因; 山七岩体; 北淮阳

**中图分类号:** P597.3; P618.31; P588.122

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2096-1871(2018)01-001-10

北淮阳地区位于大别造山带北部<sup>[1]</sup>, 亦称北淮阳褶皱带<sup>[2]</sup>, 地跨皖豫两省, 东起郟庐断裂带, 西至南阳盆地, 宽 20~50 km, 绵延 500 km, 桐柏—桐城断裂和明港—六安断裂构成南北边界(图 1)。北淮阳地区在中生代岩浆活动强烈<sup>[3-4]</sup>, 形成了大量中、酸性岩体和火山岩, 前人已开展过较多研究<sup>[5-12]</sup>, 但仍不够全面。北淮阳地区重要矿产(光山县千鹅冲钼矿、商城县汤家坪钼矿、新县大银尖钼矿、罗山县母山钼矿、肖畈钼矿、金寨县沙坪沟钼矿等)主要与中生代岩体有关。为探索岩浆活动、深部地质过程与成矿的关系, 详细划分火山—侵入岩的岩石组合, 建立区域构造—岩浆—成矿事件序列, 应对侵入岩进行详细的地球化学研究, 并与区域火成岩进行对比, 明确含矿岩体的地球化学标志, 以探索在该区寻找多金属矿床的前景。基于“安徽北淮阳地区成矿规律与资源潜力调查”项目并收集前人资料, 笔者等对该区部分岩体(包括山七岩体)进行野

外调查及采样分析, 重点报道山七岩体岩相学、岩石地球化学、年代学特征及形成的构造环境等, 为进一步研究该区岩浆活动及地质找矿提供基础资料。

## 1 地质背景

北淮阳地区属于武当—桐柏—大别成矿带, 由于构造位置特殊, 该带一直被地学界重视。习惯上, 以商城—麻城断裂为界将北淮阳构造带分为东段(安徽境内)和西段(河南境内)。区内地层主要为新元古代庐镇关岩群(相当地层为苏家河群、红安群)、新元古代—早古生代佛子岭岩群(相当地层为信阳岩群)、晚古生代杨山群、中生代陆相山间盆地和火山盆地堆积<sup>[13]</sup>。区内构造复杂多样、断层褶皱发育, 形成了多期次、多层次、多型式、多级次的构造样式<sup>[14-15]</sup>。燕山期以来, 区内岩浆活动较频繁, 形成以中、酸性为主的火山—侵入岩, 早期为钙

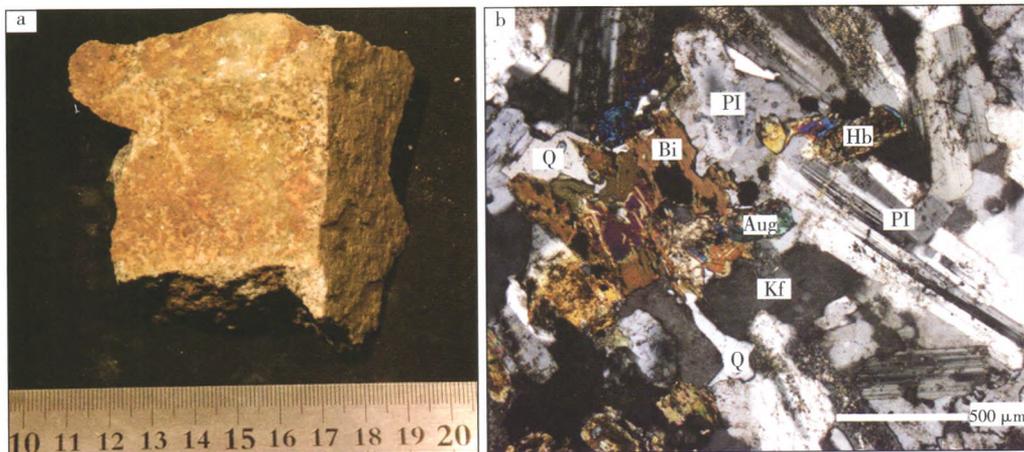
\* 收稿日期: 2017-03-08 修订日期: 2017-06-28 责任编辑: 谭桂丽

基金项目: 中国地质调查局“安徽北淮阳地区成矿规律与资源潜力调查(编号: 1212011220547)”项目资助。

第一作者简介: 彭智, 1956 年生, 男, 正高级工程师, 主要从事矿产地质和岩浆岩研究。

通讯作者简介: 邱军强, 1957 年生, 男, 正高级工程师, 主要从事区域地质和岩浆岩研究。





Pl. 斜长石;kf. 钾长石;Q. 石英;Hb. 普通角闪石;Aug. 普通辉石;Bi. 黑云母。

图 2 山七石英闪长岩手标本照片(a)及薄片显微照片(b)

Fig. 2 Hand specimen(a) and thin section micrograph(b) of the Shanqi quartz diorite

规则状,正常消光。普通角闪石为绿色,半自形柱状,部分蚀变为绿帘石、绿泥石。普通辉石为半自形短柱状,较新鲜,部分边部出现普通角闪石。黑云母为浅黄—暗褐色片状,部分较新鲜,部分蚀变为绿泥石,岩体具有明显的碱质流体交代现象,出现钾长石交代斜长石(图 2),辉石边部出现流体交代成因的角闪石,斜长石中出现少量更长石,亦表明存在碱质交代。碱质流体交代还可能形成了部分黑云母,可见黑云母包裹长石和石英(析硅作用),以及普遍的钾化现象(图 3)。

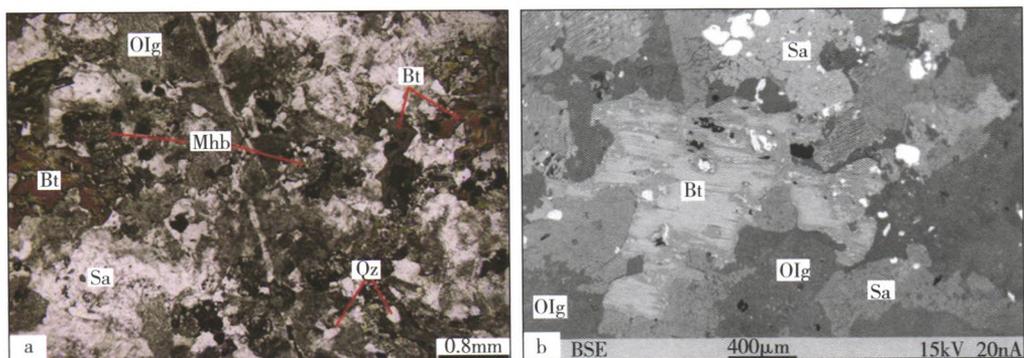
电子探针(EPMA)分析显示,山七岩体主要矿物为正长石、更长石、镁普通角闪石、黑云母和石英(图 3)。正长石:Or = 73.2 ~ 76.0, Ab = 23.3 ~ 26.2, An = 0.5 ~ 0.7; 中长石(仅少量属于更长石):An = 27.1 ~ 35.7, Ab = 62.4 ~ 70.6, Or = 1.8 ~

2.8; 镁普通角闪石:Al<sup>3+</sup> 为 0.79 ~ 0.90, Mg/(Mg + Fe<sup>2+</sup>) 约为 0.80; 黑云母:Al<sup>3+</sup> 为 1.10 ~ 1.12, Mg/(Mg + Fe<sup>2+</sup>) 约为 0.58。分别运用黑云母压力计<sup>[21]</sup>和二长石温度计<sup>[22]</sup>,计算获得山七岩体岩石形成时的结晶压力约为 0.01 ~ 0.03 GPa, 结晶温度约为 647 °C ~ 671 °C。

### 3 岩石地球化学特征

#### 3.1 分析方法

在山七岩体采集 1 组细粒石英闪长岩样品,包含 1 件锆石 U-Pb 定年样品和 5 件主量、微量元素测试样品,具体采样位置见图 1。主量、稀土和微量元素分析在安徽省地质实验研究所(国土资源部合肥矿产资源督检测中心)完成。主量元素分析采用



Sa. 正长石;Olg. 中长石;Bt. 黑云母;Mhb. 镁普通角闪石;Qz. 石英。

图 3 山七石英闪长岩薄片显微照片(a)及 BSE 图(b)

Fig. 3 Thin section micrograph(a) and BSE image (b) of the Shanqi quartz diorite

原子吸收法、容量法分析,除 SiO<sub>2</sub> 采用碱熔法测定外,其他氧化物采用酸熔法测定,分析精度优于 2%。稀土元素、微量元素采用美国 Thermo X

Series 2 电感耦合等离子体质谱联用仪(ICP-MS)测定,分析精度优于 1%~3%。主量元素分析结果见表 1,稀土元素和微量元素分析结果见表 2。

表 1 山七石英闪长岩主量元素分析结果(wt.%)及特征参数

Table 1 Major element contents (wt.%) and characteristic parameters of the Shanqi quartz diorite

样号	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	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	LOI
h51	58.02	1.02	16.44	2.34	3.46	0.11	3.74	4.79	4.93	3.32	0.43	0.74	1.33
h52	58.93	1.04	16.40	2.99	3.17	0.11	3.29	4.37	4.65	3.76	0.40	0.52	1.22
h53	58.67	1.00	16.20	2.97	3.18	0.11	3.36	4.39	4.24	3.73	0.40	0.70	1.12
h54	58.17	1.04	16.32	2.85	3.45	0.11	3.64	4.73	4.17	3.31	0.43	0.98	1.25
h55	58.66	1.04	16.42	3.06	3.10	0.10	3.31	4.22	4.10	3.50	0.38	0.98	1.51
平均	58.49	1.03	16.36	2.94	3.27	0.11	3.47	4.5	4.42	3.52	0.41	0.78	1.29
样号	Σ	ALK	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	Di	σ	Mg <sup>#</sup>	R1	R2	AR	SI	A/MF	C/MF	A/CNK
h51	101.17	8.25	0.67	64.4	4.46	37	1155	1030	2.27	20.46	0.91	0.48	0.81
h52	100.85	8.41	0.81	66.74	4.37	35	1217	961	2.36	18.45	0.99	0.48	0.83
h53	100.06	7.97	0.88	65.34	3.93	35	1366	972	2.26	19.26	0.96	0.47	0.85
h54	100.44	7.48	0.79	62.46	3.57	37	1452	1025	2.1	20.93	0.92	0.48	0.86
h55	100.38	7.6	0.85	64.49	3.56	35	1476	959	2.17	19.45	0.98	0.46	0.90
平均	100.58	7.94	0.80	64.67	3.98	36	1333	989	2.23	19.71	0.95	0.47	0.85

表 2 山七石英闪长岩稀土元素、微量元素分析结果(10<sup>-6</sup>)及特征参数

Table 2 REE and trace element abundances (10<sup>-6</sup>) and characteristic parameters of the Shanqi quartz diorite

样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho
h51	77.57	148.15	16.64	64.47	9.99	2.35	8.72	1.12	5.65	1.03
h52	72.83	137.46	15.81	61.07	9.34	2.14	8.11	1.03	5.22	0.96
h53	71.39	135.34	15.31	59.94	9.28	2.12	8.12	1.03	5.18	0.96
h54	72.53	135.55	15.62	60.90	9.58	2.22	8.31	1.05	5.34	0.95
h55	74.16	134.92	15.51	59.27	9.17	2.13	8.08	1.02	5.12	0.94
样号	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	LREE	LREE/HREE	La <sub>N</sub> /Yb <sub>N</sub>	δEu
h51	2.89	0.41	2.59	0.38	27.75	341.96	319.17	14.00	20.24	0.75
h52	2.66	0.38	2.42	0.35	25.56	319.78	298.65	14.13	20.34	0.73
h53	2.67	0.39	2.44	0.36	25.72	314.53	293.38	13.87	19.77	0.73
h54	2.68	0.38	2.38	0.35	25.80	317.84	296.40	13.82	20.59	0.74
h55	2.59	0.37	2.37	0.34	24.86	315.99	295.16	14.17	21.14	0.74
样号	δCe	Rb	Ba	Th	U	Ta	Nb	Sr	Zr	Hf
h51	0.93	80.2	1 761.1	13.7	2.19	0.92	14.78	971.9	309.7	7.28
h52	0.92	90.1	1 704.9	13.3	2.28	1.06	16.94	916.4	385.6	9.01
h53	0.92	86.3	1 791.8	13.8	2.34	1.11	18.65	919.0	296.2	8.43
h54	0.91	79.8	1 860.3	13.4	2.23	1.05	17.87	979.7	264.6	7.61
h55	0.89	84.0	1 756.8	14.3	2.39	1.08	18.07	968.8	291.7	8.32

### 3.2 主量元素特征

由表 1 可知,山七岩体 SiO<sub>2</sub> 含量为 58.02%~58.93%,属中性岩; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 平均含量为 16.36%, A/CNK 平均为 0.85,属偏铝质型;与石英闪长岩平

均化学成分<sup>[23]</sup>相比,山七岩体 TiO<sub>2</sub>、MgO、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O 偏高, SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 偏低, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO、MnO 相近。ALK 为 7.48~8.41,平均值为 7.94,全碱含量较高,反映其受碱质流体交代;

$K_2O/Na_2O$ 平均为 0.80,属 Na 质系列;分异指数(DI)平均为 64.67,反映岩浆分异程度较好;里特曼指数  $\sigma$  为 3.56~4.46,平均为 3.98,属碱性岩;碱度率(AR)平均为 2.23,Mg 指数为 35~37。在  $SiO_2$ -AR 变异图中(图 4,应用路远发软件<sup>[24]</sup>作图,后同),3 件样品落在碱性岩区,2 件样品位于钙碱性岩区(但靠近碱性)。可知,岩石具有偏铝质碱性系列岩石特征。

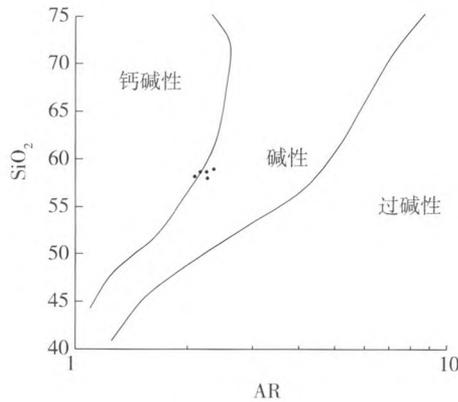


图 4 山七石英闪长岩  $SiO_2$ -AR 图解

Fig. 4  $SiO_2$  vs. AR diagram of the Shanqi quartz diorite

### 3.3 稀土元素和微量元素特征

由表 2 可知,山七岩体的稀土元素含量中等, $\Sigma REE$ 平均为  $322 \times 10^{-6}$ ,LREE/HREE 均值为 14,异常高的稀土元素总量和轻、重稀土元素比值,同样反映岩体受碱质流体交代。HREE 相对于 LREE 明显亏损,轻重稀土分异明显( $La_N/Yb_N$ 均值为 20.42),Eu 弱负异常( $\delta Eu$ 均值为 0.74),具弱的

Ce 负异常( $\delta Ce$ 均值为 0.91)。球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图(图 5a)显示,曲线右倾,Eu 谷不明显,轻稀土分馏较明显,重稀土分馏不明显,属轻稀土富集型,且各稀土元素配分曲线具有较好的一致性,显示岩浆分异过程具有一致性。原始地幔标准化微量元素蛛网图(图 5b)显示,岩体富集大离子亲石元素(LILE)Rb、Ba、K 等,该岩体 Ba、Sr 丰度异常高,属于广义的高 Sr-Ba 花岗岩类,说明其成因与俯冲作用有关。高场强元素(HFSE)Zr、Hf 明显富集,Y 轻微富集,Nb、Ta、Ti、P、U 明显亏损,与造山带花岗岩微量元素特征一致<sup>[27]</sup>,而 P、Ti 亏损暗示存在磷灰石和钛铁矿的结晶分离作用。微量元素原始地幔标准化曲线整体右倾,岩体整体亏损 HFSE,富集 LILE,高场强元素亏损可能是地壳物质混染造成的<sup>[28-29]</sup>。

## 4 锆石 U-Pb 年代学

### 4.1 锆石样品处理

用于测年的样品(TW12)锆石分选工作在河北省廊坊市地科勘探技术服务有限公司完成,原块状岩石样品破碎至自然粒度,经摇床、淘洗、电磁分选及重液分选后分离出锆石单矿物,在双目镜下挑纯。将锆石单矿物样品寄送到北京锆年领航科技有限公司制靶、照相,在双目镜下选择透明、无裂隙且具有代表性的锆石颗粒制成环氧树脂样品座,磨至锆石颗粒中心部位后抛光,抛光后的样品进行 CL 照相,挑选合适的测试点位。

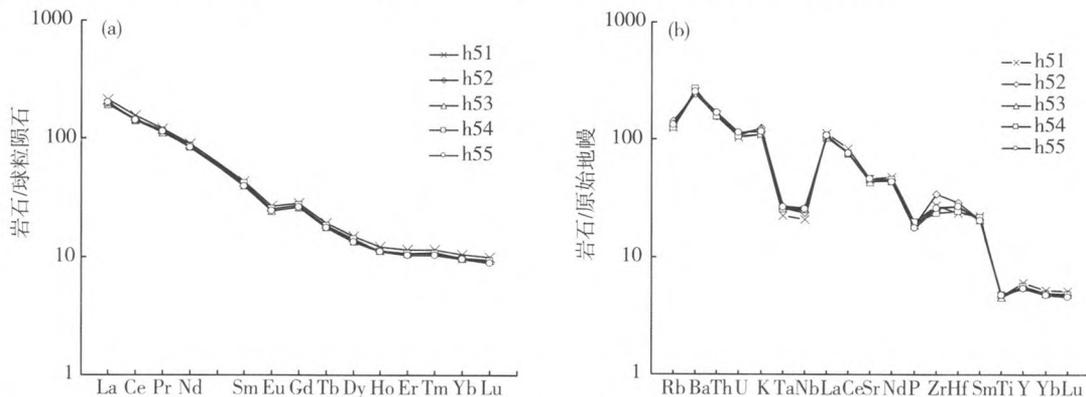


图 5 山七石英闪长岩球粒陨石标准化稀土元素配分曲线图(a)(标准化值据文献<sup>[25]</sup>)和原始地幔标准化微量元素蛛网图(b)(标准化值据参考文献<sup>[26]</sup>)

Fig. 5 Chondrite-normalized REE distribution pattern (a) and primitive mantle-normalized spider diagram (b) of the Shanqi quartz diorite

#### 4.2 锆石 U-Pb 年龄测定

锆石 U-Pb 定年在中国地质科学院矿产资源研究所国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室完成。激光剥蚀斑束直径为 25  $\mu\text{m}$ , 频率为 10 Hz, 能量密度约 2.5 J/cm<sup>2</sup>, 以 He 为载气。信号较小的 <sup>207</sup>Pb、<sup>206</sup>Pb、<sup>204</sup>Pb、<sup>204</sup>Hg、<sup>202</sup>Hg 用离子计数器接收, <sup>208</sup>Pb、<sup>232</sup>Th、<sup>238</sup>U 信号用法拉第杯接收。均匀锆石颗粒 <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb、<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U、<sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U 的测试精度(2 $\sigma$ )均约为 2%, 锆石标准的定年精度和准确度约 1%(2 $\sigma$ )。LA-MC-ICP-MS 激光剥蚀采样采用单点剥蚀的方式, 分析前用锆石 GJ-1 调试仪器, 锆石 U-Pb 定年外标进行校正。测试过程中每测定 5~7 个样品前后重复测定 2 个锆石标准 GJ1 对样

品校正, 并测量 1 个 Pleovice 锆石标准, 观察仪器的状态以保证测试的精确度。数据处理采用 ICPMS DataCal 程序<sup>[30]</sup>, 测试过程中绝大多数分析点 <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb > 1 000, 未进行普通铅校正, <sup>204</sup>Pb 由离子计数器检测, <sup>204</sup>Pb 含量异常高的分析点可能受包体等普通 Pb 影响, 计算时将 <sup>204</sup>Pb 含量异常高的分析点剔除, 锆石年龄谱和图用 Isoplot 3.0 程序获得, 详细实验测试过程参见文献<sup>[31]</sup>。

样品分析过程中, Plesovice 锆石标准作为未知样品的分析结果为 (336.5  $\pm$  1.5) Ma ( $n=3, 2\sigma$ ), 与 Plesovice 锆石年龄推荐值 (337.13  $\pm$  0.37) Ma (2 $\sigma$ )<sup>[32]</sup> 在误差范围内一致。样品 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析结果见表 3。

表 3 山七石英闪长岩样品(TW12)LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析结果

Table 3 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating data of the Shanqi quartz diorite(TW12)

测点	$w/10^{-6}$		同位素比值						U-Pb 同位素年龄/Ma						
	<sup>232</sup> Th	<sup>238</sup> U	<sup>232</sup> Th/ <sup>238</sup> U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1 $\sigma$	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1 $\sigma$	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1 $\sigma$	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	1 $\sigma$	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	1 $\sigma$	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	1 $\sigma$
2	135.98	114.93	1.18	0.048 5	0.009 2	0.140 1	0.037 7	0.020 1	0.001 1	120.5	396.2	133.1	33.6	128.0	7.3
4	281.93	165.02	1.71	0.053 6	0.010 3	0.154 5	0.025 8	0.021 4	0.001 2	353.8	385.1	145.9	22.7	136.6	7.6
5	121.39	92.79	1.31	0.048 2	0.007 2	0.149 1	0.028 3	0.021 4	0.001 2	105.6	322.2	141.1	25.0	136.2	7.5
7	260.01	130.65	1.99	0.0547	0.015 6	0.138 9	0.029 9	0.020 1	0.001 4	398.2	601.8	132.1	26.7	128.3	9.1
8	94.78	73.09	1.30	0.052 7	0.001 1	0.136 7	0.006 7	0.0203	0.001 1	316.7	13.9	130.1	6.0	129.2	6.9
11	383.51	207.53	1.85	0.055 1	0.012 1	0.148 9	0.030 7	0.020 2	0.001 2	416.7	438.8	140.9	27.1	129.1	7.5
12	747.05	296.00	2.52	0.050 9	0.003 3	0.135 1	0.008 7	0.019 5	0.000 5	235.3	154.6	128.7	7.8	124.4	3.0
14	77.32	77.98	0.99	0.056 1	0.008 3	0.148 0	0.022 5	0.019 9	0.001 0	453.8	333.3	140.1	19.9	127.3	6.1
18	260.05	160.17	1.62	0.050 7	0.005 0	0.140 3	0.013 3	0.020 2	0.000 6	233.4	209.2	133.3	11.9	129.1	4.0
19	229.15	135.03	1.70	0.051 5	0.003 7	0.138 7	0.009 6	0.020 4	0.000 7	261.2	158.3	131.9	8.5	130.0	4.4

#### 4.3 U-Pb 年龄测定结果

所测锆石无色透明, 以自形短柱状为主, 少量长柱状, 长宽比变化不大, 从近等轴状到 4:1 不等; 粒径 40~160  $\mu\text{m}$ 。锆石阴极发光图像(图 6)显示, 绝大多数锆石结晶良好, 具有明显的韵律环带, 表明其为岩浆锆石<sup>[33]</sup>。锆石的 Th/U 值可指示锆石的成因, 岩浆锆石的 Th/U 值一般 > 0.1, 变质锆石的 Th/U 值一般 < 0.1<sup>[34]</sup>, 山七岩体锆石 Th/U 值均远 > 0.1, 为典型的岩浆成因的锆石, 说明锆石的结晶年龄可代表石英闪长岩的成岩年龄。

对样品 TW12 中 20 颗锆石上 20 个点进行 U-Pb 定年分选, 其中 10 个测点数据有效和 10 个测点数据

异常。表 3 为 10 个有效点的测年数据, 锆石 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄为 124.4  $\pm$  3.0 Ma~136.6  $\pm$  7.6 Ma, 获得 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 加权平均年龄为 128.2  $\pm$  3.3 Ma (MSWD = 0.48)(图 7), 代表山七石英闪长岩侵位年龄。

#### 4.4 Hf 同位素特征

山七岩体共分析 20 个样品点的锆石 Hf 同位素组成。锆石 <sup>176</sup>Hf/<sup>177</sup>Hf 为 0.281 955~0.282 111, 对应初始值 (<sup>176</sup>Hf/<sup>177</sup>Hf)<sub>i</sub> 为 0.281 953~0.282 111。锆石  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  为 -26.16~-20.28, 峰值为 -24~-23 (图 8a), 平均值为 -23.07; 计算获得的两阶段模式年龄  $T_{\text{DM}}^{\text{C}}$  为 2.47~2.81 Ga, 峰值为 2.60~2.65 Ga (图 8b), 平均值为 2.63 Ga。

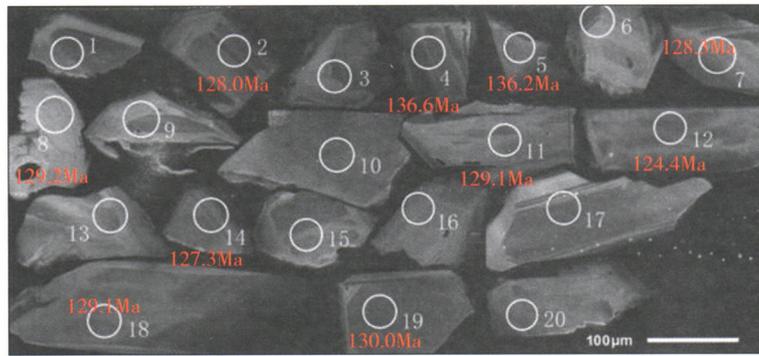


图 6 样品(TW12)中锆石阴极发光及测试点

Fig. 6 Cathodoluminescence images and test points of zircons for sample TW12

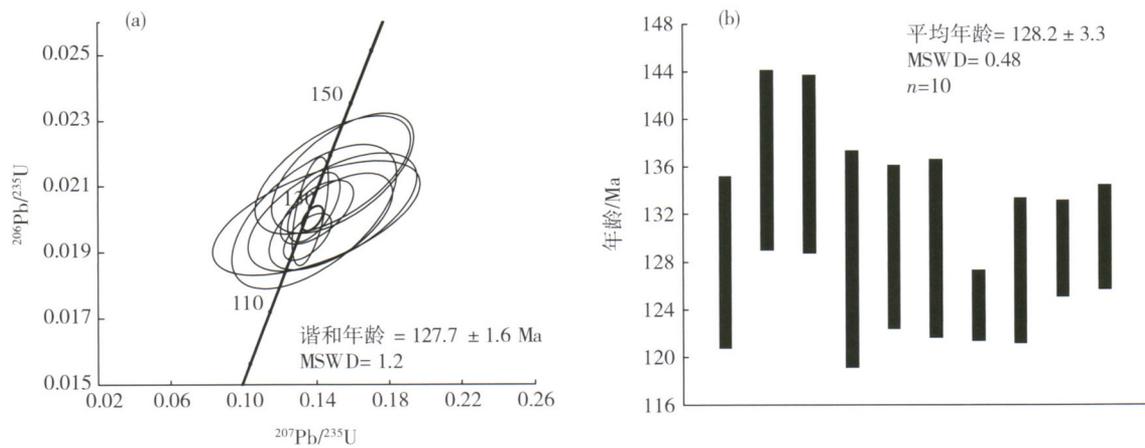


图 7 山七石英闪长岩锆石 U-Pb 年龄谐和图(a)和 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄图(b)

Fig. 7 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagram (a) and weighted ages (b) of the Shanqi quartz diorite

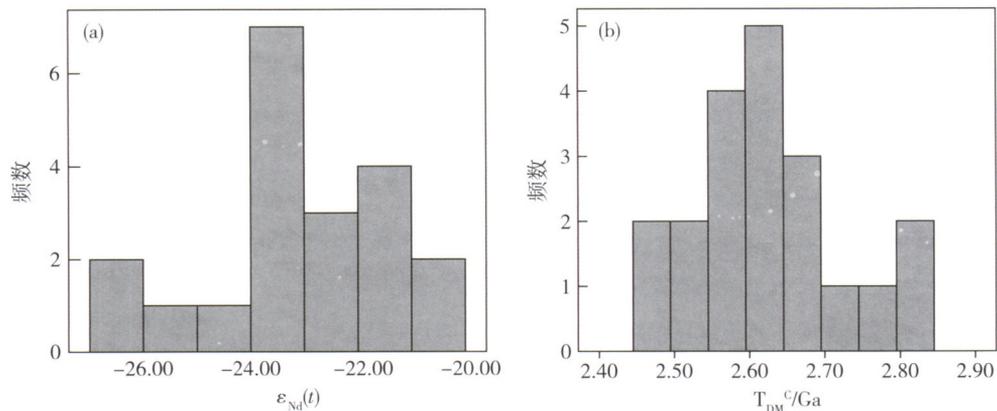


图 8 山七石英闪长岩锆石  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  值、 $T_{\text{DM}}^{\text{C}}$  频数分布直方图

Fig. 8  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  and  $T_{\text{DM}}^{\text{C}}$  frequency distribution histogram of zircons from the Shanqi quartz diorite

## 5 讨论

### 5.1 形成时代

本次获得山七岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年

龄为  $128.2 \pm 3.3 \text{ Ma}$ , 表明该岩体形成于燕山晚期, 北淮阳地区的中生代侵入岩部分形成于早白垩世早期, 为深入研究该地区区域岩浆活动提供了新的依据。

## 5.2 岩石成因

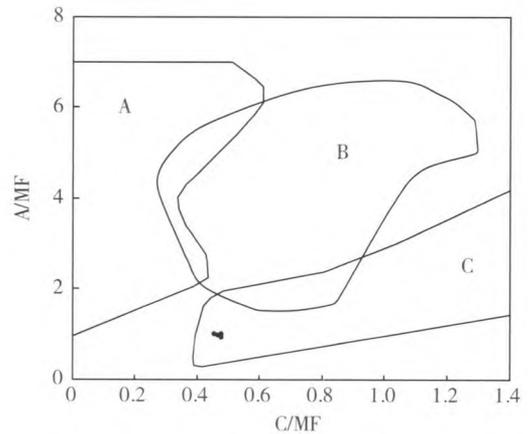
山七石英闪长岩的成因较复杂,存在2种可能性。一是起源于新太古代—古元古代斜长角闪岩,并在成岩过程中受碱质流体交代,这对Au成矿有利,应关注该岩体的矿化蚀变现象,建议进一步分析其Au、Ag、Cu等金属元素含量,查明是否存在Au矿化现象;二是起源于富集型上地幔楔,地幔源区明显受俯冲板片释放的流体交代。

根据锆石Hf同位素模式年龄及区域前寒武纪变质基底展布特征,推断山七石英闪长岩的源区为新太古代斜长角闪岩,进一步反映北淮阳地区深部可能存在相当于霍邱岩群( $Ar_3Pt_1H$ )的变质基底。根据1:25万六安幅区调资料<sup>①</sup>,大别山岩群( $Ar_3Pt_1DB$ ,相当于霍邱岩群,为一套古老的中深变质火山—沉积岩系,含有斜长角闪岩等)构成北淮阳东段下构造层,主要分布于桐柏—桐城断裂以南,在北淮阳较少出露,仅在金寨斑竹园一带零星露头。

在A/MF-C/MF岩石成因判别图(图9)上,山七岩体样品均落在基性岩部分熔融区,表明其源区以玄武岩为主,说明源区可能为斜长角闪岩,而Nb、Ta亏损指示其成岩岩浆具有壳源特征,也可解释为俯冲流体交代的结果。Rapp等<sup>[36]</sup>认为由下地壳岩石部分熔融形成的熔体 $Mg^{\#} < 50$ ,而地幔橄榄岩部分熔融的熔体具有较高的 $Mg^{\#}$ 。山七岩体 $Mg^{\#}$ 为35~37,指示岩浆以壳源为主。稀土元素球粒陨石标准化配分曲线为轻稀土富集的右倾型,LREE/HREE值、 $La_N/Yb_N$ 均较大,Eu异常不明显,Ce异常也较弱,均与典型的壳源岩浆明显不同,显示了原始岩浆中有幔源岩浆混入。从微量元素特征看,山七岩体富集Ba、Th,表明石英闪长岩的形成与地壳具有密切联系,不相容元素地球化学特征表明有地幔物质加入,说明岩浆侵位过程中发生了壳幔混熔作用。主量、微量元素地球化学特征均表明山七岩体源于下地壳物质部分熔融,同时受地幔物质混染。

## 6 结论

(1)山七岩体为石英闪长岩,碱质含量高,具偏铝质碱性系列岩石特征。稀土元素含量中等,轻稀土分馏较明显,重稀土较平坦,属轻稀土富集型。岩体整体亏损高场强元素(HFSE),富集大离子亲



A. 变质泥岩部分熔融;B. 变质砂岩部分熔融;C. 基性岩的部分熔融。

图9 山七岩体C/MF-A/MF岩石成因判别图(底图据文献[35])

Fig. 9 C/MF vs. A/MF discrimination diagram of the Shanqi quartz diorite

石元素(LILE)。

(2)通过LA-ICP-MS锆石U-Pb定年,获得山七岩体 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄为 $128.2 \pm 3.3$  Ma,相当于燕山晚期,是早白垩世早期岩浆活动的产物。

(3)主量及微量元素地球化学特征均表明岩浆来源于地壳,并受地幔物质的混染。

## 注释

① 安徽省地质调查院.1:25万六安市幅区域地质调查报告.2011.

## 参考文献

- [1] 安徽省地质矿产局.安徽省区域地质志[M].北京:地质出版社,1987:311-333.
- [2] 徐树桐,江来利,刘贻灿,等.大别山区(安徽部分)的构造格局和演化过程[J].地质学报,1992,66(1):1-14.
- [3] 陈廷愚,牛宝贵,刘志刚,等.大别山腹地燕山期岩浆作用和变质作用同位素年代学研究及其地质意义[J].地质学报,1991,65(4):329-336.
- [4] 杜建国.大别造山带中生代岩浆作用与成矿地球化学研究[D].合肥:合肥工业大学,2000:142-145.
- [5] 周泰禧,陈江峰,李学明,等.安徽霍舒正长岩带侵入体的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 法同位素地质年龄[J].安徽地质,1992,2(1):4-11.
- [6] 周泰禧,陈江峰,张巽,等.北淮阳花岗岩—正长岩带地球化学特征及其大地构造意义[J].地质论评,1995,41

- (2):144-151.
- [7] 魏春景,张立飞,王式洗.安徽省大别山东段中生代高钾花岗质岩石及其地质意义[J].中国科学(D辑),2000,30(4):355-363.
- [8] 马昌前,杨坤光,许长海,等.大别山中生代钾质岩浆作用与超高压变质地体的剥露机理[J].岩石学报,1999,15(3):379-395.
- [9] 牛宝贵,富云莲,刘志刚,等.桐柏一大别山主要构造热事件及<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar地质定年研究[J].地球学报,1994,15(1/2):20-34.
- [10] 潘国强,陆现彩,于航波.北淮阳中生代 adakite 岩石地球化学特征及成因讨论[J].岩石学报,2001,17(4):541-550.
- [11] JIN Chengwei, ZHENG Xiangsheng. Granitoids in Yuexi of eastern Dabie Mountain, China[J]. Scientia Geologica Sinica,1998,7(4):551-557.
- [12] 管运财,高天山,吴海权.大别山地区(安徽)中生代花岗岩类岩体特征与形成机制[J].安徽地质,1995,5(3):19-28.
- [13] 彭智,陆三明,徐晓春.北淮阳构造带东段金-多金属矿床区域成矿规律[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2005,28(4):364-368.
- [14] 汤加富,侯明金,石乾华,等.北淮阳地区变质地层序列与构造变形特征[J].安徽地质,1995,5(3):50-59.
- [15] 石永红,曹晟,王娟,等.北淮阳变质单元岩石学、年代学分析及对大别造山带构造缝合线位置的探究[J].地质科学,2014,49(2):378-393.
- [16] 陆三明.北淮阳构造带东段银山铅锌矿床形成的构造背景[D].合肥:合肥工业大学,2003.
- [17] 陆三明,徐晓春,彭智.北淮阳构造带东段隐爆角砾岩型多金属矿床的地质特征及成因[J].地质与勘探,2005,41(3):7-11.
- [18] 邱军强,彭智,陈芳,等.北淮阳东段九王寨岩体地球化学特征、锆石 U-Pb 定年及地质意义[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2015,38(11):1536-1546.
- [19] 邱军强,彭智,陈芳,等.北淮阳东段杨家湾岩体地球化学特征、锆石 U-Pb 定年及地质意义[J].华东地质,2016,37(2):89-96.
- [20] 鹿献章,周博文,彭智,等.北淮阳东段河棚岩体地球化学特征、LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J].华东地质,2017,38(2):81-90.
- [21] Uchida E, Endo S, Makino M. Relationship between solidification depth of granitic rocks and formation of hydrothermal ore deposits [J]. Resource Geology, 2007,57(1):47-56.
- [22] Benisek A, Dachs E, Kroll H. A ternary feldspar-mixing model based on calorimetric data: development and application[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 2010,160(3):327-337.
- [23] 黎彤.化学元素的地球丰度[J].地球化学,1976(3):167-174.
- [24] 路远发. GeoKit: 一个用 VBA 构建的地球化学工具软件包[J].地球化学,2004,33(5):459-464.
- [25] Taylor S R, McLennan S M. The continental crust: its composition and evolution[M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1985:1-312.
- [26] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes [M]. Geological Society, London, Special Publications,1989,42:313-345.
- [27] 钟华明,童劲松,鲁如魁,等.西藏日土北部松西一胜利山一带燕山期高钾钙碱性花岗岩的地球化学特征及构造环境[J].地质通报,2007,26(6):730-738.
- [28] 任康绪,阎国翰,牟保磊,等.阿拉善断块富碱侵入岩岩石地球化学和 Nd、Sr、Pb 同位素特征及其富碱意义[J].地学前缘,2005,12(2):292-302.
- [29] 王世伟,周涛发,袁峰,等.铜陵舒家店岩体的年代学和地球化学特征研究[J].地质学报,2011,85(5):849-861.
- [30] LIU Yongsheng, GAO Shan, HU Zhaochu, 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 xenolith[J]. Journal of Petrology, 2010,51(1/2):537-571.
- [31] 侯可军,李延河,田有荣.LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术[J].矿床地质,2009,28(4):481-492.
- [32] Slama J, Kosler J, Condon D J, et al. Plesovice zircon-A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis[J]. Chemical Geology, 2008,249(1/2):1-35.
- [33] 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.
- [34] Belousova E A, Griffin W L, O'Reilly S Y, et al. Igneous zircon: Trace element composition as an indicator of source rock type [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 2002,14(5):602-622.
- [35] Altherr R, Holl A, Hegner E, et al. High-potassium, calc-alkaline I-type plutonism in the European Variscides: Northern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany) [J]. Lithos, 2000,50(1/3):51-73.
- [36] Rapp R P, Shimizu N, Norman M D, et al. Reaction be-

tween slab-derived melts and peridotite in the mantle wedge; experimental constraints at 3.8 GPa [J]. *Chemical*

*Geology*, 1999, 16(4): 335-356.

## Geochemical characteristics and LA-ICP-MS zircon U-Pb geochronology of the Shanqi intrusion in eastern North Huaiyang and their geological significance

PENG Zhi<sup>1</sup>, QIU Jun-qiang<sup>1,2</sup>, YANG Yi-zhong<sup>1,2</sup>, CAI Yang<sup>1,2</sup>, DONG Ting-ting<sup>1,2</sup>, LIU Bing-quan<sup>1</sup>

(1. *Geological Survey of Anhui Province, Hefei 230001, China*;

2. *Continental Mineralization Research Center of Anhui Province, Hefei 230001, China*)

**Abstract:** The Shanqi quartz diorite in eastern North Huaiyang is characterized by medium contents of  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , and enrichment in alkali and low  $\text{Mg}^\#$ , suggesting that it belongs to metaluminous alkali series. It has high  $\text{La}_N/\text{Yb}_N$  and LREE/HREE ratios, and is depleted in HREE relative to LREE, with a weak Ce negative anomaly. Relative enrichment in LREE shows high fractionation but HREE has no distinct fractionation. It is also enriched in LILE such as Rb, Ba, K and HFSE such as Zr, Hf, Y, but depleted significantly in Nb, Ta, Ti, P and U. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating yields a  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  age of  $128.2 \pm 3.3$  Ma for the Shanqi intrusion, implying that it is early Early Cretaceous in age. The geochemical characteristics of the major and trace elements indicate that the Shanqi intrusion derived from the crust but contaminated with the mantle.

**Key words:** geochemistry; zircon U-Pb dating; petrogenesis; Shanqi intrusion; North Huaiyang