# 安徽金寨岩体地质和地球化学特征及 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄

陈芳<sup>1,2)</sup>,彭智<sup>1,2)</sup>,邱军强<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) 安徽省大陆成矿作用研究中心,合肥,230001

**内容提要:**安徽金寨岩体为一钾长花岗岩体,位于大别造山带北淮阳构造带,LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年获得 岩体侵位年龄为 129.7±1.5 Ma,属早白垩世岩浆活动产物。岩体周边发现有数个铅锌多金属矿点,与区域岩浆作 用及其矿化一致。岩体富硅(SiO<sub>2</sub> = 72.47%~77.80%)、富碱(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O=7.48%~8.16%)、贫钙(CaO= 0.15%~1.47%);稀土配分曲线呈现"海鸥式"分布特征,显示强烈的 Eu 负异常( $\delta$ Eu=0.18~0.40);微量元素特 征显示具有较高的 Ga(21.68×10<sup>-6</sup>~24.12×10<sup>-6</sup>)、Zr(127.68×10<sup>-6</sup>~196.75×10<sup>-6</sup>)、Nb(33.31×10<sup>-6</sup>~ 60.53×10<sup>-6</sup>)和 Y(14.57×10<sup>-6</sup>~27.51×10<sup>-6</sup>)含量,较低的 Sr(8.15×10<sup>-6</sup>~138.52×10<sup>-6</sup>)、Ba(23.04×10<sup>-6</sup> ~332.63×10<sup>-6</sup>)含量,在微量元素原始地幔标准化蛛网图上显示明显的 Ba、Sr、P、和 Ti 的负异常。以上特征表明 金寨钾长花岗岩为 A 型花岗岩,可能是下地壳源岩部分熔融的产物。金寨钾长花岗岩是形成于造山后伸展环境下 的板内 A1 型花岗岩,不是形成于非造山大地构造背景下的碱性花岗岩。

关键词:A型花岗岩;地球化学;LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年;构造环境;金寨

华北与扬子两大陆块之间的碰撞造山作用形成 了秦岭-桐柏-大别-苏鲁造山带,被称为中央造山带 东段。大别造山带广泛发育钼、铅锌、银、金等多金 属矿化,近年在大别山地区相继发现了千鹅冲、汤家 坪、大银尖、母山、肖畈、沙坪沟等矿床(Yang Zeqiang, 2007, 2015; Wang Yun et al., 2009; Wei Qingguo et al., 2010; Xu et al., 2011; Chen and Wang, 2011; Yang et al., 2013; Li Yi et al., 2013; Chen Hongjin et al., 2013)。区内中生代岩浆活动 强烈,成岩与成矿密切相关,但是大别山区一些重要 岩体的相关科学研究还比较薄弱,在很大程度上制 约了该区成岩成矿规律的认识及找矿工作的进展。 金寨岩体位于金寨县城南,岩体周边发现有青松岭 铅锌多金属矿点、洪冲铅锌矿点、小步冲铅锌矿点。 本文对金寨岩体主量元素、微量元素和稀土元素进 行了测定,并采用锆石激光等离子体质谱(LA-ICP-MS) U-Pb 定年技术(Cocherie and Robert, 2008; Xie Liewen et al., 2008; Zeng et al., 2012), 对金寨 花岗岩体中单颗粒锆石进行<sup>206</sup> Pb /<sup>238</sup> U 年龄测试, 然后进一步探讨该区岩浆演化、成因及构造背景。 文章为今后进一步研究岩体与多金属矿床的成因联 系,乃至区域成矿规律的研究,提供了必要的资料和 依据。

# 1 地质概况

北淮阳地区跨皖豫两省,东起郯庐断裂、西至南 阳盆地,绵延约500 km,桐柏-桐城断裂和明港-六安 断裂构成其南北边界,宽约50 km,区域构造格架大 致表现为近 EW 向与 NE 向 2 组断裂构造所形成的 格子状构造体系。北淮阳地区夹持于华北地块(I) 与桐柏-大别造山带(II)之间(图1),其总体为一断 裂围限的褶皱带(Du Jianguo et al.,1996),由于构 造位 置 特殊,素有"北淮阳构造带"之称(Du Jianguo,2000;Lu Sanming et al.,2002,2005;Peng Zhi et al.,2004,2005;Wang Genjie et al.,2010; Zhang Huaidong et al.,2012)。习惯上,以商城-麻 城断裂为界把北淮阳成矿带分为东段(安徽境内)和 西段(河南境内)(图1)。

收稿日期:2014-10-24;改回日期:2015-10-20;责任编辑:周健。

注:本文为中国地质调查局地质调查工作项目(编号1212011220547)资助成果。

作者简介:陈芳,女,1979年生。博士,高级工程师,主要从事岩石地球化学方面研究。通讯地址:230001,合肥市宁国路 19号;Email: chenfang0929@163.com。



图 1 大别造山带地质略图(据 Xu Xiaochun et al., 2009; Yang Zeqiang, 2007 修改)

Fig. 1 Geological sketch map of Dabie orogenic belt (modified from Xu et al., 2009; Yang, 2007) 1一中新生代地层(K-E); 2一二郎坪群(Pt<sub>3</sub>-Pz); 3一龟山岩组(Pt<sub>2</sub>g),南湾组(Dn); 4一肖家庙岩组(Z-Ox); 5一秦岭岩群(Pt<sub>2</sub>qn),卢镇关岩群 (Pt<sub>3</sub>lz); 6一桐柏-大别变质杂岩(Ar<sub>3</sub>-Pt<sub>1</sub>); 7一红安岩群(Pt<sub>3</sub>); 8一榴辉岩; 9一白垩纪火山岩(K); 10一石炭系; 11一燕山期花岗岩类; 12一 晋宁期花岗岩; 13一地质界线; 14一实测/推测断裂及编号: F1一明港-六安断裂, F2一信阳-防虎山断裂, F3一龟(山)-梅(山)断裂, F4一桐 (柏)-桐(城)断裂, F5一随县-浠水断裂, F6一罗山-大悟断裂, F7一红安断裂, F8—商(城)—麻(城)断裂, F9—青山断裂; 15—钼矿床; I—华北 地块: II—北淮阳构造带: III—大别造山带; IV—扬子地块

1—Mesozoic-Cenozoic strata (K-E); 2—Erlangping Group (Pt<sub>3</sub>-Pz); 3—Guishanyan Formation (Pt<sub>2</sub> g), Nanwan Formation (Dn); 4— Xiaojiamiao Rock Formation (Z-Ox); 5—Qinling Rock Group (Pt<sub>2</sub> qn), Luzhenguan Rock Group (Pt<sub>2</sub> lz); 6—Tongbei-Dabie metamorphic complex (Ar<sub>3</sub>-Pt<sub>1</sub>); 7—Hong'an Rock Group (Pt<sub>3</sub>); 8—eclogite; 9—Cretaceous volcanic rock (K); 10—Carboniferous; 11—Yanshanian granites; 12—granite of Jinning Stage; 13—geological boundary; 14—faulted zone and its serial number; F1—Minggang-Luan fault; F2— Xinyang-Fanghushan fault; F3—Guishan-Meishan fault; F4—Tongbo-Tongcheng fault; F5—Suixian-Xishui fault; F6—Luoshan-Dawu fault; F7—Hongan fault; F8—Shangcheng-Macheng fault; F9—Qingshan fault; 15—molybdenum deposit; I—North China block; II—North Huaiyang tectonic belt; II—Dabie orogenic belt; IV—Yangtze block

区内地层主要为新元古界佛子岭岩群(相当地 层信阳岩群)、下古生界梅山群(相当地层歪庙群、二 郎坪群)、中生界陆相山间盆地和火山盆地堆积 (Peng Zhi et al.,2005)。佛子岭群主要为一套中深 变质岩系,岩石组合为长石石英岩、板岩、石英片岩、 千枚岩、含石英白云质大理岩(Chen Yuezhi et al., 1995)。梅山群主要为一套含煤浅变质岩系,岩石组 合为砂质页岩和粉砂岩,是浅海相或滨海相向陆相 过渡的含煤建造。侏罗纪一早白垩世的火山-沉积 建造以凝灰岩、火山碎屑岩为主。

区内构造复杂多样、断层褶皱发育,尤其形成了 多期次、多层次、多型式、多级次的构造岩片(Tang Jiafu et al.,1995),区内主要构造为北部的明港-六 安断裂(F1)龟梅断裂(F3,也即金寨-舒城断裂),南 部的桐柏-桐城断裂(F4,也即晓天-磨子潭断裂),以 及东部的郑庐断裂带。燕山期以来,区内岩浆活动 比较频繁,形成以中酸性为主的火山-侵入岩,早期 为钙碱性系列,晚期以碱性系列、钾玄岩系列为主 (Lu Sanming et al.,2005)。

金寨岩体是北淮阳构造带内主要岩体之一,位 于金寨-舒城断裂和晓天-磨子潭断裂之间(图 1),主 要分布于金寨县城以南、玉石山及分龙尖一带,呈南 北向带状分布,南北长 20 km,东西宽 3~4 km,面 积约 69 km<sup>2</sup>,岩株状产出,与佛子岭岩群(潘家岭岩 组 ZDp、八道尖岩组 ZDb、诸佛安岩组 ZDzf、黄龙 岗岩组 ZDh、祥云寨岩组 ZDxy)<sup>®</sup>和毛坦厂组火山 岩(K<sub>1</sub>m)为侵入接触,变质岩捕虏体常见,呈岩枝状 脉动侵入于九王寨岩体(花岗闪长岩(γδ))和三合 岩体(二长花岗岩(ηγ))中,关系清楚(图 2),其实这 些岩性的岩石共同构成了一个多期次侵位形成的杂



图 2 金寨岩体及周边地质简图

#### Fig. 2 Geological map of the Jinzhai pluton and its surrounding area

1一地质界线;2一性质不明断层;3一正断层;4一逆断层;5一平移断层;6一推覆构造;7一水库及水系;8一矿产地及编号;9一采样点位置及编 号;K<sub>1</sub>m一下白垩统毛坦厂组;J<sub>1-2</sub>s一中一下侏罗统三尖铺组;C<sub>2</sub>h一上石炭统胡油坊组;ZDp一泥盆一震旦统潘家岭岩组;ZDb一泥盆一震旦 统八道尖岩组;ZDzf一泥盆一震旦统诸佛庵岩组;ZDh一泥盆一震旦统黄龙岗岩组;ZDxy一泥盆一震旦统祥云寨岩组;Pt<sub>3</sub>xn一新元古界仙 人冲岩组;Pt<sub>3</sub>x一新元古界小溪河岩组;Pt<sub>3</sub>zj一新元古界郑家冲片麻岩;Pt<sub>3</sub>tj一新元古界陶家湾片麻岩;Pt<sub>3</sub>jj一新元古界江家湾片麻岩; δ0一石英闪长岩;δμ一闪长玢岩;ηγ一二长花岗岩;γδ一花岗闪长岩;γ一花岗岩;γπ一花岗斑岩;ξγ一钾长花岗岩;ξοπ一石英正长斑岩;①一 青松岭铅锌多金属矿点;②一洪冲铅锌矿点;③一小步冲铅锌矿点

1—stratigraphic boundary; 2—unknown fault; 3—normal fault; 4—thrust fault; 5—strike-slip fault; 6—nappe structure; 7—water; 8 deposits(mineralization occurence) and numbers; 9—sampling spot and number;  $K_1m$ —Lower Cretaceous Maotanchang Formation;  $J_{1-2}s$ — Middle-lower Jurassic Sanjianpu Formation;  $C_2h$ —Upper Carboniferous Huyoufang Formation; ZDp—Devonian-Sinian Panjialing Formation; ZDb—Devonian-Sinian Badaojian Formation; ZDzf—Devonian-Sinian Zhufoan Formation; ZDh—Devonian-Sinian Huanglonggang Formation; ZDxy—Devonian-Sinian Xiangyunzhai Formation; Pt<sub>3</sub> xn—Neoproterozoic Xianrenchong Formation; Pt<sub>3</sub> x—Neoproterozoic Xiaoxihe Formation; Pt<sub>3</sub>zj—Neoproterozoic Zhengjiachong gneiss; Pt<sub>3</sub>tj—Neoproterozoic Taojiawan gneiss; Pt<sub>3</sub>jj—Neoproterozoic Jiangjiawan gneiss;  $\delta_0$ —quartz diorite;  $\delta_\mu$ —dioritic porphyrite;  $\eta\gamma$ —monzogranite;  $\gamma\delta$ —granodiorite;  $\gamma$ —granite;  $\gamma\pi$ —granite porphyry;  $\xi\gamma$ —moyite;  $\xi_0\pi$  quartz syenite porphyry; ①—Qingsongling lead-zinc polymetallic mineralization occurence; ②—Hongchong lead-zinc mineralization occurence; ③—Xiaobuchong lead-zinc mineralization occurence 岩体(Liu Jiayuan,2003)。

# 2 采样位置及岩相学特征

样品 TW6(采样坐标 31°38′24″N,115°53′35″E) 为地表样,岩性为肉红色中细粒钾长花岗岩,块状构 造。采于洪冲北西约 3 km 处,具体采样位置见图 2 所示,标本见图 3a,薄片见图 3b。样品主要由钾长 石(60%)和石英(28%)组成,含斜长石(8%)、黑云 母(3%)和副矿物锆石、磷灰石、磁铁矿(1%)。斜长 石为半自形板状,具聚片双晶,为更长石,较新鲜,表 面有少量次生的绢云母和灰色泥状物。钾长石呈半 自形板状一他形粒状,均为条纹长石,表面有次生的 褐色泥状物,晶形比斜长石差。石英为他形粒状、不 规则状和嵌晶状,正常消光。黑云母为片状,均已蚀 变,退变为绢云母和磁铁矿。副矿物为微粒状锆石、 磷灰石和磁铁矿。矿物粒度多为细粒,少数中粒(图 3)。

3 岩石地球化学特征

## 3.1 分析方法

主量元素、稀土元素和微量元素分析由安徽省 地质实验研究所(国土资源部合肥矿产资源督检测 中心)测试完成。主量元素分析采用原子吸收法、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,分析精度优于 1%~3%。

# 3.2 主量元素特征

从金寨花岗岩的主量元素分析结果(表 1)可以 看到, SiO<sub>2</sub>含量在 72.47%~77.80%之间,平均 75.94%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量在12.28%~12.83%之间,平 均12.50%;CaO含量在0.15%~1.47%之间,平均 0.61%; Na<sub>2</sub>O含量在 3.30%~3.91%之间,平均 3.58%;K2O含量在 3.82%~4.51%之间,平均 4.18%;K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O含量在7.48%~8.16%之间; K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O在 0.98~1.37 之间,均值 1.18;里特曼 指数 σ 在 1.62~2.03 之间,均值 1.84; Mg<sup>#</sup> 在 17~ 46之间,均值 32。在 QAP 分类图解中(图 4a),所 有投点均落于钾长花岗岩内;在 K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub>图解(图 4b)中样品全部落在高钾钙碱性系列中。铝饱和指 数 A/NCK 值在 0.97 ~ 1.21 之间,平均 1.09; A/NK值在 1.12~1.24 之间,平均 1.20,指示为过 铝质岩石(图 4c)。在 SiO<sub>2</sub>-碱度率图解(图 4d)中投 点在碱性区域。

### 3.3 稀土和微量元素特征

金寨钾长花岗岩稀土和微量元素测试结果见表 1 所示。从表 1 中可以看到,金寨钾长花岗岩 $\Sigma$ REE 范围在 111.76×10<sup>-6</sup>~185.26×10<sup>-6</sup>,均值 157.99×10<sup>-6</sup>;轻重稀土元素分馏比较明显,La<sub>N</sub>/ Yb<sub>N</sub>均值为 11.54。 $\delta$ Eu 范围为 0.18~0.40,均值 0.28,具明显的 Eu 谷;LREE/HREE 比值范围为



图 3 金寨钾长花岗岩手标本照片及镜下特征 Fig. 3 Hand specimen photos and microscopic characteristics of Jinzhai moyite (a)-金寨钾长花岗岩样品;(b)-金寨钾长花岗岩镜下特征;Qz-石英;Kf-钾长石;Pl-斜长石;Bi-黑云母 (a)-Sample of Jinzhai moyite; (b)-microscopic characteristics of Jinzhai moyite; Qz-hornblende; Kf-K-feldspar;Pl-plagioclase; Bi-biotite





图 4 金寨岩体 CIPW 标准矿物的 QAP 分类图(a)(据 Streckeisen,1976)、花岗岩 K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub>图解(b)(据 Ewart,1982)、 A/NCK-A/NK 图解(c)、K<sub>2</sub>O-Na<sub>2</sub>O 图解(d)

Fig. 4 QAP diagram of CIPW standard mineral (a)(after Streckeisen, 1976), K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> granite diagram (b) (after Ewart, 1982), A/NCK-A/NK diagram (c), K<sub>2</sub>O-Na<sub>2</sub>O diagram (d)

1一富石英花岗岩;2一碱性长石花岗岩;3a一钾长花岗岩;3b一二长花岗岩;4一花岗闪长岩;5一英云闪长岩;6一碱性长石石英正长岩; 7一石英正长岩;8一石英二长岩;9一石英二长闪长岩/石英二长辉长岩;10一石英闪长岩/石英辉长岩

1—Quartzolite; 2—alkali-feldspar granite; 3a—syenogranite; 3b—moyite; 4—granodiorite; 5—tonalite; 6—alkalifeldspar quartz syenite; 7—quartz syenite; 8—quartz monzodiorite; 9—quartz monzodiorite/quartz monzodiorite/quartz gabbro; 10—quartz diorite/quartz gabbro

8. 59~12. 85,均值 10.70,较富轻稀土(表 1、图 5a)。稀土元素的球粒陨石标准化曲线为向右倾斜 明显、铕谷明显,样品具有较弱的 ôCe 负异常, ôCe 范围在 0.91~1.03。稀土元素配分曲线见图 5 所 示,稀土元素的球粒陨石标准化曲线为略向右倾斜、 铕谷较深的"海鸥型"(图 5a)。

金寨钾长花岗岩微量元素球粒陨石标准化蛛网 图(图 5b)显示,曲线总体右倾,但振幅较大。大离 子亲石元素(LILE)Rb、K、U 富集,Ba、Sr 亏损;高 场强元素(HFSE)Nb、Ta、Th、Y、Zr、Hf 富集,而 Ti、P 主要呈现低谷负异常,明显亏损。

# 4 锆石 U-Pb 年代学特征

### 4.1 锆石样品处理

测年样品在河北省廊坊市地科勘探技术服务有 限公司分选,原块状岩石样品破碎到自然粒度,经摇 床、淘洗、电磁分选及重液分选等步骤后分离出锆石 单矿物,在双目镜下挑纯。然后把锆石单矿物样品 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 显微结构观察和照相(图 6)。

表 1 金寨钾长花岗岩全岩主量(%)和微量(×10<sup>-6</sup>)元素含量分析结果 1 Chemical compositions of major (%), REE and trace element (×10<sup>-6</sup>) of the Jinzhai movite

Tal	Table 1 Chemical compositions of major (%), REE and trace element ( $ imes 10^{-6}$ ) of the Jinzhai moyite										
	h25	h26	h27	h28	h29	样品号	h25	h26	h27	h28	h29
SiO <sub>2</sub>	72.47	74.43	77.48	77.52	77.80	Gd	4.72	3.62	3.88	1.66	2.75
$TiO_2$	0.31	0.21	0.12	0.12	0.11	Tb	0.77	0.59	0.69	0.31	0.46
$\mathrm{Al}_2\mathrm{O}_3$	12.83	12.62	12.40	12.35	12.28	Dy	4.43	3.34	4.18	1.83	2.78
$\mathrm{Fe}_2\mathrm{O}_3$	1.22	1.04	0.68	0.65	0.47	Ho	0.88	0.67	0.86	0.45	0.65
FeO	1.07	0.70	0.14	0.26	0.18	Er	2.66	1.99	2.70	1.48	2.35
MnO	0.06	0.04	0.01	0.01	0.01	Tm	0.44	0.35	0.47	0.30	0.45
MgO	0.77	0.52	0.08	0.06	0.08	Yb	3.05	2.35	3.28	2.15	3.39
CaO	1.47	1.00	0.17	0.15	0.25	Lu	0.46	0.36	0.49	0.34	0.55
$Na_2O$	3.91	3.69	3.30	3.30	3.72	Y	27.26	20.78	27.51	14.57	22.50
$K_2O$	3.82	3.96	4.18	4.51	4.45	∑REE	180.60	153.72	158.58	111.76	185.26
$P_2O_5$	0.12	0.08	0.01	0.01	0.01	LREE	163.19	140.45	142.04	103.25	171.88
$\mathrm{H}_2\mathrm{O}^+$	1.78	0.72	0.62	0.60	0.10	HREE	17.41	13.28	16.54	8.51	13.38
LOI	1.98	1.12	0.76	0.67	0.12	LREE/HREE	9.37	10.58	8.59	12.13	12.85
Total	101.82	100.13	99.95	100.20	99.57	$\mathrm{La}_{\mathrm{N}}/\mathrm{Yb}_{\mathrm{N}}$	11.11	12.83	9.41	11.17	13.21
Mg♯	0.46	0.45	0.24	0.17	0.26	ðEu	0.40	0.35	0.18	0.29	0.18
A/NCK	0.97	1.04	1.21	1.17	1.08	δCe	0.86	0.84	0.86	0.88	0.80
A/NK	1.21	1.22	1.24	1.20	1.12	Rb	267.43	288.48	327.44	298.43	305.07
DI	88.36	91.12	95.80	96.21	96.91	Ba	332.63	174.92	45.39	56.10	23.04
SI	7.16	5.29	0.96	0.73	0.86	Th	47.65	42.92	45.68	44.46	67.00
R1	2525	2718	3031	2943	2821	U	6.42	5.80	6.38	5.57	13.44
R2	456	387	269	265	273	Ta	3.11	2.99	3.14	3.57	2.66
La	47.22	42.07	43.04	33.53	62.39	Nb	35.87	43.27	39.82	60.53	33.31
Ce	74.13	64.22	66.25	50.64	81.95	Sr	138.52	101.37	21.76	24.36	8.15
Pr	7.98	6.82	6.80	4.45	6.94	Zr	196.75	142.50	128.63	127.68	190.86
Nd	28.16	22.95	21.85	12.76	17.87	Hf	8.04	6.38	6.52	6.54	9.98
Sm	5.06	3.94	3.88	1.72	2.57	Ga	22.62	22.29	23.53	21.68	24.12
Eu	0.64	0.44	0.22	0.16	0.16						

 $\begin{array}{l} \textcircled{E}: A/CNK = Al_2O_3/(CaO + Na_2O + K_2O); A/NK = Al_2O_3/(Na_2O + K_2O); Mg^{\#} = MgO/(MgO + FeO + Fe_2O_3); R1 = 4Si - 11(Na + K) - 2(Fe + Ti); R2 = 6Ca + 2Mg + Al_{\circ} \end{array} \right) \\ \end{array}$ 



(球粒陨石和原始地幔标准化数据据 Sun et al., 1989)

Fig. 5 Rare earth elements chondrite-normalized distribution pattern and primitive mantle-normalized trace elements concentrations of Jinzhai moyite (primitive mantle and chondrite data from Sun et al., 1989)



图 6 金寨钾长花岗岩样品锆石阴极发光(CL)图像及测试位置 Fig. 6 Cathodoluminescence images and sampling position of part of zircons from Jinzhai moyite

### 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 MC-ICP-MS 实验室完成,依次在靶上选择合 适的锆石颗粒进行 U-Pb 年龄测定。锆石定年分析 所用仪器为 Fin 狮子山 nigan Neptune 型 MC-ICP-MS及与之配套的 Newwave UP 213 激光剥蚀系 统。激光剥蚀所用斑束直径为 25 μm,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 (multi-ion-counters) 接收,<sup>208</sup> Pb、<sup>232</sup> Th、<sup>238</sup> U 信号用 法拉第杯接收,实现了所有目标同位素信号的同时 接收并且不同质量数的峰基本上都比较平坦,进而 可以获得高精度的数据,均匀锆石颗粒207 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<sub>0</sub>)均为 2%左右,对锆石标准的定年精度和准确度在1% (2o)左右。LA-MC-ICPMS 激光剥蚀采样采用单点 剥蚀的方式,数据分析前用锆石 GJ-1 调试仪器,使 之达到最优状态,锆石 U-Pb 定年以锆石 GJ-1 为外 标,U、Th含量以锆石 M127(U:923 µg/g;Th:439 μg/g;Th/U:0.475)为外标进行校正。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 GJ-1 对样品进行校正,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(Liu et al., 2010),测 量过程中绝大多数分析点<sup>206</sup> Pb /<sup>204</sup> Pb> 1000,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 的影响, 对<sup>204</sup>Pb含量异常高的分析点在计算时剔除,锆石年 龄谐和图用 Isoplot 3.0 程序获得。详细实验测试 过程可参见文献(Hou Kejun et al.,2009)。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±1.5 Ma ( $n=3,2\sigma$ ),对应的年龄推 荐值为 337.13±0.37 Ma ( $2\sigma$ ) (Sláma et al., 2008),两者在误差范围内完全一致。

所测锆石样品为无色透明,自形短柱状或长柱 状,长宽比变化不大,从近等轴状到 3:1 不等。颗 粒大小 50~200μm。阴极发光图像(图 6)显示,锆 石具有明显的韵律环带,表明其为岩浆锆石(Wu et al.,2004)。锆石中的 Th/U 比值可以指示锆石的 成因。岩浆锆石的 Th/U 比值一般大于 0.1,而变 质老锆石的 Th/U 比值一般小于 0.1(Belousova et al.,2002)。样品锆石中 Th/U 比值在 2.23~7.27 之间,属典型的岩浆成因锆石,且锆石群形态单一, 多数为喷发期岩浆活动一次结晶而形成的,能代表 侵入岩的形成年龄。

金寨钾长花岗岩(TW6)样品测试 20 颗锆石, 测年的测点位置主要选择在锆石边部环带(图 6), 并尽量选择在没有包裹体的部位,测试中除去异常 锆石年龄(8 个,分别为测点 2、5、11、14、15、16、17、 20),有效的测试数据为 12 个,达不到参与等时线年 龄计算要求的测点(8 个)不列在表 2 中。谐和图见 图 7,金寨钾长花岗岩的<sup>206</sup> Pb/<sup>238</sup> U 表面年龄分布在 126.24±1.27~133.90±6.62 Ma,12 个点的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄比较集中,且谐和度也较 高,加权平均年龄为 129.7±1.5 Ma(n = 12), MSWD=1.4(图 7)。



图 7 金寨钾长花岗岩锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 7 U-Pb concordia diagrams of representative zircons from Jinzhai moyite

### 表 2 金寨钾长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析结果

Table 2	LA-ICP-MS	zircon	U-Pb	dating	results	of	Jinzhai	moyite
---------	-----------	--------	------	--------	---------	----	---------	--------

	Th	U		U-Pb 同位素年龄(Ma)					同位素比值						
分析点	()/1	0-6)	Th/U	<sup>207</sup> Pb	1	$^{207}\mathrm{Pb}$	1	<sup>206</sup> Pb	1	$^{207}\mathrm{Pb}$	1	<sup>207</sup> Pb	1	$^{206}\mathrm{Pb}$	1
		(×10°)		$/^{206}\mathrm{Pb}$	1σ	$/^{235}{ m U}$	10	$/^{238}$ U	1σ	$/^{206}\mathrm{Pb}$	1σ	/ 235  U	1σ	$/^{238}{ m U}$	1σ
TW6-1	1143.17	276.63	4.13	0.05408	0.00430	0.14694	0.01125	0.02005	0.00037	375.98	179.61	139.21	9.96	127.94	2.32
TW6-3	2609.10	584.94	4.46	0.04922	0.00622	0.13594	0.01719	0.02012	0.00054	166.75	264.78	129.42	15.36	128.43	3.41
TW6-4	4502.38	850.04	5.30	0.05174	0.00465	0.14114	0.01256	0.01978	0.00025	272.29	212.01	134.06	11.18	126.24	1.57
TW6-6	812.06	192.86	4.21	0.05313	0.00593	0.14181	0.01518	0.02045	0.00039	344.50	253.67	134.65	13.50	130.52	2.47
TW6-7	931.95	242.93	3.84	0.05229	0.00540	0.14089	0.01307	0.02014	0.00032	298.21	237.01	133.84	11.63	128.53	2.04
TW6-8	1050.30	255.17	4.12	0.04911	0.00881	0.14738	0.02898	0.02099	0.00105	153.79	374.03	139.59	25.65	133.90	6.62
TW6-9	5505.39	1080.15	5.10	0.04975	0.00158	0.14227	0.00438	0.02083	0.00018	183.42	72.21	135.07	3.89	132.92	1.13
TW6-10	4198.35	1200.64	3.50	0.04961	0.00171	0.13904	0.00480	0.02038	0.00019	176.01	79.62	132.19	4.28	130.03	1.18
TW6-12	3348.12	460.82	7.27	0.05514	0.01141	0.14847	0.02864	0.02049	0.00080	416.72	416.62	140.56	25.33	130.75	5.08
TW6-13	993.08	237.21	4.19	0.05296	0.00522	0.14229	0.01539	0.01991	0.00177	327.84	256.45	135.08	13.68	127.06	11.17
TW6-18	7989.60	1181.90	6.76	0.05348	0.01539	0.13603	0.03372	0.01994	0.00181	350.06	544.39	129.51	30.15	127.29	11.44
TW6-19	7597.86	3403.92	2.23	0.05204	0.00195	0.14418	0.00542	0.02010	0.00022	287.10	87.02	136.76	4.81	128.30	1.36

# 5 讨论

### 5.1 岩石属性及成因

A 型花岗岩的主要元素地球化学特征是:较高 含量的 SiO<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O、Zr、Nb、REE、Y、Ga、F (或 Cl)等,较低含量的 CaO、Sr、Ba 等,较高比值的 FeO/MgO、(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)/CaO、Ga/Al 等。下面 从主、微量、稀土元素特征三个方面来讨论金寨钾长 花岗岩的成因类型。

在主量元素特征方面,金寨钾长花岗岩富硅、富碱、贫钙、高铁镁比值,与A型花岗岩相似,在Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O图解中所有投点均落在A型花岗岩区(图8)。

在微量元素特征方面,金寨钾长花岗岩具较高的 Ga、Zr、Nb 和 Y 含量,较低的 Sr 和 Ba 含量

(Whalen et al., 1987)。10000Ga/Al 比值介于 3.31~3.71(均值3.45),明显高于I型(2.1)和S型 (2.28)花岗岩平均值,稍低于A型(3.75)花岗岩值 (Whalen et al., 1987)。考虑到微量元素易受到结 晶分异的影响,金寨钾长花岗岩具有高 DI(均值 93.68),低的 SI(均值3.00)和高的 SiO<sub>2</sub>(均值 75.94)、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(均值12.50)含量(表1),也说明了其 铝质高分异的特点。采用 Whalen(1987)设计的 Y-10000Ga/Al、Zr--10000Ga/Al、Nb-10000Ga/Al、 AKI-10000Ga/Al 判别图(图9)能有效的将高分异 型A型花岗岩从I、S型汇总区分出来,从图9可以 发现,所有样品均落在A型花岗岩区域。

在稀土元素特征方面,金寨钾长花岗岩球粒陨 石标准化稀土配分模式呈现典型的"海鸥式"分布特



of Jinzhai moyite

征,具有显著的负销异常,Ce异常不明显,而这些特征正是判别 A 型花岗岩的重要标准之一(Whalen et al.,1987)。因而可以推断金寨钾长花岗岩应为 A 型花岗岩。

A型花岗岩成因观点众多,主要包括:地幔碱

性玄武岩的分离结晶作用(Turner et al., 1992; Mushkin et al., 2003)、幔源岩浆与深熔形成的壳源 岩浆的混合与交代作用(Harris et al., 1999; Mingram et al., 2000)和下地壳源岩的部分熔融 (Collins et al., 1982;Clemens et al., 1986),也即壳 源、幔源、混合源三类成因模式。

Rapp et al. (1999)认为由下地壳岩石部分熔融 形成的熔体,其 Mg<sup>#</sup>小于 50,而地幔橄榄岩部分熔 融的熔体具有较高的 Mg<sup>#</sup>,金寨岩体 Mg<sup>#</sup>均小于 50,指示形成金寨岩体岩浆含壳源成分。

由于源于岩石圈地幔(CLM)或受其混染后的 岩浆 La/Ta 比值则迅速增加,一般在 25 以上,金寨 钾花岗岩的 La/Ta 比值范围 9.70~23.42,平均值 为 15.16,小于 25,也指示了其壳源成因。因此,金 寨岩体可能是下地壳源岩部分熔融的产物,但是幔 源物质参与 A 型花岗岩的成岩过程已经得到了广 泛的认识(Turner et al., 1992; Smith et al.,1999; Litvinovsky et al., 2002; Kebede and Koeberl, 2003),笔者认为要想进一步论证其成因,还需要我 们在以后的研究过程中增加 Sr、Nd、Hf 等同位素的



图 9 金寨钾长花岗岩 Y、Nb、Zr、AKI-(Ga/Al)×10000 岩石系列判别图解(据 Whalen,1987) Fig. 9 Discriminant diagrams of Y, Nb, Zr, AKI-(Ga/Al)×10000 of Jinzhai moyite (after whalen,1987)

证据来判断。

### 5.2 岩体形成年龄

金寨钾长花岗岩参与有效年龄计算的 12 颗锆 石的<sup>206</sup> Pb /<sup>238</sup> U 年龄值比较集中,位于 126.24~ 133.90 Ma之间,跨度为 7 Ma,由此得到金寨钾长 花岗岩的成岩年龄为 129.7±1.5 Ma,表明该岩体 形成于燕山晚期,是早白垩世岩浆活动的产物。

笔者搜集了近年来金寨地区部分岩体/矿体的 高精度同位素年龄(表 3),发现金寨地区岩体侵位 于早白垩世中期(135~120 Ma)和早白垩世晚期 (116~105Ma)两个阶段,且第一阶段岩浆活动以大 规模的喷发伴随深成作用为特征,属高钾钙碱和钾 玄岩系列,是本区 Au、Ag、Pb、Zn 多金属矿化的主 要时期;第二阶段岩浆活动以深成岩为主,属碱性系 列,是本区 Mo 矿化的主成矿期。

金寨岩体侵位于 129.7±1.5 Ma,属于第一阶段 岩浆活动,且岩体周边发现有青松岭、洪冲、小步冲等 铅锌多金属矿点,与区域岩浆作用及其矿化一致。

表 3	全塞地区部分岩体最近数年的高精度同位素年龄
12 5	亚米地区即方有仲联起数十的间角及内区系十级

Table 3 The high precision isotopic age of part of rock bodies in the Jinzhai area from recent years

岩体	岩性	年龄(Ma)	测试对象	测试方法	资料来源
金刚台	巨斑晶正长斑岩	$129.2 \pm 0.7$	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	Huang Hao and Xue Huaimin,2012
金刚台	熔结凝灰岩	$128.8 \pm 0.7$	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	Huang Hao and Xue Huaimin,2012
金刚台	粗面安山岩	$127.6 \pm 0.5$	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	Huang Hao and Xue Huaimin,2012
毛坦厂	粗安岩	$128.6 \pm 0.6$	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	Huang Hao,2012
响洪甸	正长斑岩	$135.1 \pm 0.7$	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	Huang Hao,2012
陈棚	流纹质熔岩	$125.1 \pm 0.7$	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	Huang Hao,2012
银山	中粒二长花岗岩	$136.8 \pm 1.6$	黑云母	<sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar	Xu Xiaochun et al. ,2009
银山	细粒二长花岗岩	$130.4 \pm 1.2$	黑云母	<sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar	Xu Xiaochun et al. ,2009
银山	细晶闪长岩	$125.4 \pm 1$	角闪石	<sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar	Xu Xiaochun et al. ,2009
银山	辉钼矿	$112.6 \pm 1.3$	辉钼矿	Re-Os	Xu Xiaochun et al. ,2009
银山	辉钼矿	$113.5 \pm 1.3$	辉钼矿	Re-Os	Xu Xiaochun et al. ,2009
沙坪沟	石英正长斑岩	$116.1 \pm 2.2$	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	Chen Hongjin et al. ,2013
沙坪沟	爆破角砾岩之岩浆	$112.9 \pm 1.2$	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	Chen Hongjin et al. ,2013
沙坪沟	爆破角砾岩之角砾	$131.6 \pm 2.6$	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	Chen Hongjin et al. ,2013
沙坪沟	细粒石英正长岩	$112.51 \pm 0.81$	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	Meng Xiangjin et al. ,2012
沙坪沟	中粒石英正长岩	$121.5 \pm 1.3$	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	Meng Xiangjin et al. ,2012
沙坪沟	正长斑岩	120.7 $\pm$ 1.1	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	Meng Xiangjin et al. ,2012
沙坪沟	含矿斑岩	$111.5 \pm 1.5$	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	Zhang Hong et al. ,2011
沙坪沟	石英正长岩	$111.7 \pm 1.9$	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	Zhang Hong et al. ,2011
沙坪沟	高钼花岗斑岩	$111.1 \pm 1.2$	辉钼矿	Re-Os	Zhang Hong et al. ,2011
沙坪沟	辉钼矿	$113.21 \pm 0.53$	辉钼矿	Re-Os	Huang Fan et al. ,2011
响洪甸	霞石正长岩	$135.1 \pm 0.7$	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	Zhou Weiwei et al. ,2014
响洪甸	正长岩	$125.0 \pm 1$	锆石	SHRIMP U-Pb	Zhou Weiwei et al. ,2014
响洪甸	正长岩	$112.3 \pm 0.6$	锆石	SHRIMP U-Pb	Zhou Weiwei et al. ,2014
张冲	闪长玢岩	$128.6 \pm 2.5$	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	待发表数据
同兴寺	二长闪长岩	$126.1 \pm 1.1$	锆石	LA-ICP-MS U-Pb	Peng Zhi et al. ,2015
同兴寺	角闪正长岩	$124.4 \pm 1.3$	错石	LA-ICP-MS U-Pb	Peng Zhi et al. ,2015
金寨	钾长花岗岩	129.7 $\pm$ 1.5	错石	LA-ICP-MS U-Pb	本文

#### 5.3 构造环境

燕山运动中期,大别造山带的北缘一北淮阳褶 皱带发生了较大规模的岩浆活动,形成北淮阳花岗 岩带,属于板内花岗岩(Zhou Taixi et al.,1995),也 称为大陆花岗岩。在 Pearce et al. (1984)构造判别 图解构造环境判别图中,所有投点全部落在板内花 岗岩区(图 10)。据金寨岩体稀土元素配分图和微 量元素蛛网图(图 5b),Rb 和 Th 相对富集,而 Nb 和 Ta 亏损,并且 Ce 和 Sm 与相邻元素比含量较高, 也说明金寨岩体具有板内花岗岩特征。

Eby(1990,1992)在总结前人工作和分析大量典型构造背景下产出的A型花岗岩的基础上,将A型花岗岩划分为Al和A2两种类型。就其所反映的构造背景上来看,Al型总体上代表一种非造山环境(anorogenic),在大陆裂谷时期或板内岩浆作用(如热点、地幔柱的活动)侵入;A2型形成的构造范围较为广泛,但以造山后环境为主(post-orogenic),如陆-陆碰撞后期构造应力松弛阶段或是岛弧岩浆作



889





用时期。对于判别 Al 与 A2 型花岗岩, Eby(1992) 利用其各自的元素地球化学特征,提出了 Y/Nb-Ce/Nb、Y/Nb-Yb/Ta 图解和 Y-Nb-Ce、Y-Nb-3Ga 的三角判别图。但是它们应用的前提都是样品在 Pearce et al. (1984)构造判别图解(图 10)中投点于 板内花岗岩区域且在 Whalen(1987)Ga/Al 直方图 (图 9)中落在 A 型花岗岩的区域中。由图 9、10 可 见,金寨钾长花岗岩在 Whalen(1987)Ga/Al 直方图 均落在 A 型花岗岩的范围,且在 Pearce et al. (1984)构造判别图解中也全部落在 WPG 区域中, 符合 Eby 提出的 Al-A2 判别前提。因而可以利用 Eby(1992)提出的 Al-A2 判别图解区别金寨岩体的 岩石成因类型。由图 11、图 12 可见,金寨花岗岩的 数据全部都投点在 A1 型的区域中,指示金寨花岗 岩形成于一种非造山的拉张构造环境中。

然而,秦岭-大别造山带普遍认为它是华北和扬 子两大板块碰撞作用的产物,约在230.9~243.9 Ma 发生华北板块与扬子板块碰撞拼合,形成大别 造山带,是一个典型的大陆造山带(Li Shuguang et al., 1989; Ames et al., 1993)。自印支末期以来, 华 北板块在继续遭受西伯利亚板块碰撞挤压的同时, 古太平洋板块从中侏罗世(约 180 Ma)开始向亚洲 大陆俯冲(Zhang Lianchang et al., 2010), 中国东部 的构造体制经历了重要的转变(Zhao Yue, 1990), 从早中生代的 EW 向构造系统转变为晚中生代的 NE-NNE 向构造系统。之后,中国东部发生岩石



金寨钾长花岗岩 Y/Nb-Ce/Nb 和 Y/Nb-Yb/Ta 图解(据 Eby, 1992) 图 11 Fig. 11 Y/Nb-Ce/Nb and Y/Nb-Yb/Ta of Jinzhai movite(after Eby, 1992)





圈减薄和地壳伸展(Deng Jinfu et al., 1994, 2003, 2006; Wu Fuyuan et al., 2005, 2006)。同时,在晚 保罗世一早白垩世期间,北淮阳地区 A 型花岗岩的 广泛分布(Wu et al., 2002)、变质核杂岩的产出 (Zheng et al., 1991; Davis et al., 2002)及同期火山 沉积盆地的形成(Graham et al., 2001; Meng, 2003),都指示了一种伸展背景。一般认为中国东部 构造体制由碰撞挤压到伸展减薄的转变发生在 135 Ma 左右(Mao Jinwen et al., 2003; Song Chuanzhong et al., 2010),金寨岩体侵位于 129.7 ±1.5 Ma,应该为造山后伸展环境。

从金寨钾长花岗岩的 R1-R2 构造环境图解(图

13a)来看,除了一个点落在同碰撞(S)型花岗岩内, 其余点主要落在造山期后(A)型花岗岩内,在 Hf-Rb/30-3Ta 三角图解中(图 13b),所有点均落在碰 撞后区域内。也表明金寨岩体形成于造山后伸展 环境。

Xiao E et al. (2007)通过对浙江瑶坑花岗岩的 研究认为其具有 Al 型花岗岩元素地球化学和 Nd 同位素特征,但是形成于后造山(后碰撞)(postorognic/post-collisional)背景,而不是非造山背景。 Wang Yang(2009)研究发现北京昌平区白查花岗 岩同样也是具有 A1 型花岗岩特征但并非形成于非 造山(anorogenic)大地构造背景。导致 A1、A2 两



图 13 金寨钾长花岗岩 R1-R2 构造环境图解(a)(据 Bathelor et al., 1985) 和 Hf-Rb/30-3Ta 构造环境图解(b)(据 Harris et al., 1986)

Fig. 13 R1-R2 (a) (after Bathelor et al., 1985) and Hf-Rb/30-3Ta (b) tectonic environments discrimination diagrams

个亚类花岗岩均形成于后碰撞背景,Azer(2006)认 为造成这一结果的主要原因在于源区组成的差异, 即幔壳物质混入比例不同所致。金寨钾长花岗岩为 具有 Al 型花岗岩元素地球化学特征但并非形成于 非造山大地构造背景的花岗岩的又一个实例。

### 6 结论

(1)金寨地区白垩世存在两阶段岩浆活动,分别 为早白垩世中期(135~120 Ma)和早白垩世晚期 (116~105 Ma),金寨钾长花岗岩的 LA-ICP-MS 锆 石年龄为 129.7±1.5 Ma,属于第一阶段岩浆活动 的产物

(2)金寨钾长花岗岩具富硅、富碱、贫钙、高铁镁 比值,具有显著的 Eu 负异常、亏损 Ba、Sr,富集 Ga、 Zr、Nb、和 Y 等元素含量,显示 A 型花岗岩特征,可 能是下地壳源岩部分熔融的产物。

(3)金寨钾长花岗岩具有 A1 型花岗岩特征,结 合区域地质背景及岩体的成岩年代学、成因机制的 研究,金寨碱长花岗岩形成于造山后伸展环境。

#### 注 释

 ● 安徽省地质调查院. 2011. 1:25 万区域地质调查报告,六安 市幅.

#### References

- Altherr R, Holl A, Hegner E. 2000. High-potassium, calc-alkaline I-type plutonism in the European Variscides: Northern Vosges (France) and northern Schwarzwald(Germany). Lithos, 50(1 ~3):51~73.
- Ames L, Tilton G R, Zhou G. 1993. Timing of collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons: U-Pb zircon dating of coesitebearing eclogites. Geology, 21(4): 339~342.
- Azer M K. 2006. The Petrogenesis of Late Preeambrian felsic alkaline magmatism in sourh Sinai, Egypt. Acta Geologica Polonica, 56(4):463~484.
- Batchelor R A, Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. Chem. Geol., 48:43~55.
- Belousova E A, Griffin W L, O'Reilly S Y, Pearson N J. 2002. Igneous zircon: Trace element composition as an indicator of source rock type. Contrib. Mineral. Petrol., 143: 602~622.
- Chen Hongjin, Chen Yanjing, Zhang Jing, Chen Xiuzhong, Zhang Huaidong. 2013. Ziron U-Pb Ages and Hf isotope characteristics of the ore-bearing intrusion from the Shapinggou molybdenum deposit, Jinzhai County, Anhui Province. Acta Petrologica Sinica, 29(1):131~145(in Chinese with English abstract).
- Chen Y J, Wang Y. 2011. Fluid inclusion study of the Tangjiaping

Mo deposit, Dabie Shan, Henan Province: Implications for the nature of the porphyry systems of post-collisional tectonic settings. International Geology Review,  $53(5\sim 6)$ ;  $635\sim 655$ .

- Chen Yuezhi, Sang Baoliang. 1995. Metamorphic petrology and metamorphism of the foziling group in northern Huaiyang and its age. Regional Geology of China,(3):280~288(in Chinese with English abstract).
- Clemens J D, Holloway J R, White A J R. 1986. Origin of an Atype granite: Experimental constraints. American Mineralogist, 71: 317~324.
- Cocherie A, Robert M. 2008. Laser ablation coupled with ICP-MS applied to U-Pb zircon geochronology: A review of recent advances. Gondwana Research, 14:597~608.
- Collins W J,Beams S D,White A J R, Chappell B W. 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to Southeastern Australia. Contributions to Mineralogy and Petrology, 80: 189~200.
- Davis G A, Darby B J, Zheng Y D, Spell T L. 2002. Geometric and temporal evolution of an extensional detachment fault, Hohhot metamorphic core complex, Inner Mongolia, China. Geology, 30 (11):1003~1006.
- Deng Jinfu, Mo Xuanxue, Zhao Hailing, Luo Zhaohua, Du Yangsong. 1994. Lithosphere root/ de-rooting and activation of the east China continent. Journal of Graduate School, China University of Geosciences, 8(3): 349 ~ 356 (in Chinese with English abstract).
- Deng Jinfu, Su Shangguo, Zhao Hailing, Mo Xuanxue, Xiao Qinghui, Zhou Su, Liu Cui, Zhao Guochun. 2003. Deep processes of Mesozoic Yanshannian lithosphere thinning in north China. Earth Science Frontiers, 10 (3): 41 ~ 50 (in Chinese with English abstract).
- Deng Jinfu, Su Shangguo, Liu Cui, Zhao Guochun, Zhao Xingguo, Zhou Su, Wu Zongxu. 2006 Discussion on the lithospheric thinning of the Norh China craton: delamination? or thermal erosion and chemical metasomatism? Earth Science Forntiers. 13(2):105~119(in Chinese with English abstract).
- Du Jianguo, Zhang Peng, Jiang Junfeng. 1996. The division and comparison of the Beihuaiyang tectonic facies belts, Anhui. Geology of Anhui, 6(1): 19 ~ 27 (in Chinese with English abstract).
- Du Jianguo. 2000. The Mesozoic magmatism and ore-forming geochemical research of Dabie orogenic belt. Ph. D. Dissertation. Hefei, Hefei University of Technology(in Chinese with English abstract).
- Ewart A. 1982. The mineralogy and petrology of Tertiary-Recent orogenic volcanic rocks with special reference to the andesiticbasaltic compositional range. In: R S Thorpe, ed. Andesites. Wiley, Chichester, 25~87.
- Eby G N. 1990. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. Lithos, 26: 115~134.
- Eby G N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids:

Petrogenetic and tectonic implications. Geology, 20: 641~644

- Graham S A, Hendrix M S, Johnson C L, Badamgarav D, Badarch G, Amory J, Porter M, Barsbold R, Webb L E, Hacker B R. 2001. Sedimentary record and tectonic implications of Mesozoic rifting in southeast Mongolia. Geological Society of America Bulletin, 113,1560~1579.
- Harris N B W, Pearce J A, Tindle A G. 1986. Geochemical characteristics of collision-zone magmatim. In: Coward M P, Reis A G, eds. Collision Tectonics. Geological Society of London Special Publication, 19: 67~81.
- Harris C, Marsh J S, Milner S C. 1999. Petrology of the alkaline core of the Messum igneous complex, Namibia: Evidence for the progressively decreasing effect of crustal contamination. Journal of Petrology, 40: 1377~1397.
- Hou Kejun, Li Yanhe, Tian Yourong. 2009. In situ U-Pb zircon dating using laser ablation-multi ion counting ICP-MS. Mineral Deposits, 28(4):481~492(in Chinese with English abstract).
- Huang Fan, Wang Denghong, Lu Sanming, Chen Yuchuan, Wang Bohua, Li Chao. 2011. Molybdenite Re-Os isotopic age of Shangpinggou Mo deposit in Anhui province and Mesozoic Mo ore-forming stages in east Qingling-Dabie mountain region. Mineral Deposits, 30(6):1039~1057(in Chinese with English abstract).
- Huang Hao, Xue Huaimin. 2012. LA-ICP-MS zircon U-Pb ages of early Cretaceous volcanic rocks from Jingangtai formation in Beihuaiyang belt on the northern margin of the Dabie orogeny and their geological implications. Acta Petrologica et Mineralogica, 31 (3): 371 ~ 381 (in Chinese with English abstract).
- Huang Hao. 2012 Geochronological and geochemical study on the Mesozoic volcanic rocks in Beihuaiyang belt. Master Dissertation. Beijing: China University of Geosciences ( in Chinese with English abstract).
- Kebede T, Koeberl C. 2003. Petrogenesis of A-type granitoids from the Wallagga area, western Ethiopia: constraints from mineralogy, bulk-rock chemistry, Nd and Sr isotopic compositions. Precambrian Research, 121: 1~24.
- Li Shuguang, Hart S R, Zheng Shuanggen, Guo Anlin, Liu Deliang, Zhang Guowei. 1989. Sm-Nd isotopic age evidences of collsion between North China and South China plates. Science in China (Series D), 3:312~319(in Chinese without English abstract).
- Li Yi, Li Nuo, Yang Yongfei, Wang Pin, Mei Mei, Zhang Jing, Chen Hongjin, Chen Yanjing. 2013. Geological features and geodynamic settings of the Mo deposits in the northern segment of the Dabie Mountains. Acta Petrologica Sinica, 29(1):95~ 106(in Chinese with English abstract).
- Liu Jiayuan. 2003. Compound massif and complex massif—the two basic forms of the massif association of granitoid and their significance. Geological Prospecting Review, 18(3):143~148 (in Chinese with English abstract).

Litvinovsky B A, Jahn B M, Zanvilevich A N. 2002. Petrogenesis of

syenite-granite suites from the Bryansky complex (Transbaikalia, Russia): implications for the origin of A-type granitoid magmas. Chemical Geology, 189: 105~133.

- Liu Y,Gao S,Hu Z,Gao C,Zong K,Wang D. 2010. Continental and oceanic crust recycling-induced meltperidotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zirconsfrom mantle xenolith. Journal of Petrology, 51: 537~571.
- Lu Sanming, Peng Haihui, Sheng Zhonglie. 2002. Potential value of lead-zinc mineral ore resources in the east of north Huaiyang tectonic zone. Geology of Anhui, 12(2): 114~119(in Chinese with English abstract).
- Lu Sanming, Xu Xiaochun, Peng Zhi. 2005. Geologic feature and genesis of crypto-explosion breccia in the east part of north Huaiyang tectonic zone. Geology and Prospecting,41(3):7~11 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jinwen, Zhang Zuoheng, Yu Jinjie, Wang Yitian, Niu Baogui. 2003. The Mesozoic geodynamics setting of large scale mineralization in north China and adjacent regions: the revelations from the accurate dating of metallic mineral deposits. Science in China (Series D) 33 (4): 289 ~ 299 (in Chinese without English abstract).
- Meng Q R. 2003. What drove Late Mesozoic extension of the northern China-Mongolia tract? Tectonophysics, 369: 155  $\sim$ 174.
- Meng Xiangjin, Xu Wenyi, Lv Qingtian, Qu Wenjun, Li Xianchu, Shi Dongfang, Wen Chunhua. 2012. Zircon U-Pb dating of orebearing rocks and molybdenite Re-Os age in Shapinggou porphyry molybdenum deposit, Anhui province. Acta Geologica Sinica, 86(3):486~494(in Chinese with English abstract).
- Mingram B, Trumbull R B, Littman S, Gertenberger H. 2000. A petrogenetic study of anorogenic felsic magmatism in the Cretaceous Paresis ring complex, Namibia: Evidence for mixing of crust and mantle-derived components. Lithos, 54: 1~22.
- Mushkin A, Navon O, Halicz L, Hartmann C, Stein M. 2003. The petrogenesis of A-type magmas from the Amram Massif, southern Israel. Journal of Petrology, 44: 815~832.
- Peng Zhi. 2004. A review on fundamental geology in the eastern segment of northern Huaiyang belt. Geology of Anhui, 14(3): 172~176(in Chinese with English abstract).
- Peng Zhi, Lu Sanming, Xu Xiaochun. 2005. Regional metallogenetic regularity of gold-polymetallic deposits in the east of north Huaiyang tectonic belt. Journal of Hefei University of Technology, 28(4): 364 ~ 368 (in Chinese with English abstract).
- Peng Zhi, Du Jianguo, Chen Fang, Qiu Junqiang, Wan Qiu, Dong Tingting, Tang Jinlai. 2015. Geochemical characteristics and LA-ICP-MS zircon U-Pb geochronology of the Tongxingsi alkaline intrusion in the eastern north Huaiyang and their geological significance. Acta Geologica Sinica,89(4):701~714.
- Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic

rocks. J. Petrol., 25:956~983.

- Pearce J A. 1996. Sources and settings of granitic rocks. Episodes, 19(4): 120~125.
- Sláma J, Kosler J, Condon D J, Crowley J L, Gerdes A, Hanchar J M, Horstwood M A S, Morris G A, Nasdala L, Norberg N, Schaltegger U, Schoene B, Tubrett M N, Whitehouse M J. 2008. Pleovice zircon a new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic micro analysis. Chemical Geology,249: 1~35.
- Smith D R, Noblett J, Wobus R A. 1999. Petrology and geochemistry of late-stage intrusions of the A-type, mid-Proterozoic Pikes Peak batholith (CentralColorado, USA): implications for petrogeneticmodels. Precambrian Research, 98: 271~305.
- Song Chuanzhong, Lin Shoufa, Zhou Taofa, Yan Jun, Ren Shenglian, Li Jiahao, Tu Wenchuan, Zhang Yan. 2010. Mesozoic tectonic regine transition of the middle and lower research of the Yangtze River and its adjacent area. Acta Petrologica Sinica, 26(9):2835~2849(in Chinese with English abstract).
- Streckeisen A L. 1976. Classification of the common igneous rocks by means of their chemical composition: A provisional attempt. Neues Jahrbuch for Mineralogie, Monatshefte, 1: 1~15.
- Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemmical and isotopic systematics of oceanic basalts. Implications for mantle composition and process. In: Sauders A D, Norry M J, eds. Magmatism in the Ocean Basins. Spec. Publ. Geol. Soc. Lond., 42:313~345.
- Tang Jiafu, Hou Minjin, Shi Qianhua, Zhou Cunting, Xu Jiacong. 1995. The metamorphic strata sequence and structural deformation feaures, Baihuaiyang. Geology of Anhui, 5(3):50 ~59(in Chinese with English abstract).
- Turner S P, Foden J D, Morrison R S. 1992. Derivation of some Atype magmas by fractionation of basaltic magma: an example from the Padthaway Ridge, South Australia. Lithos, 28: 151~ 179.
- Wang Genjie, Zhang Huaidong, Xiang Bin, Wang Bohua, Hao Yuejin. 2010. Mesozoic magmatism and polymetallic mineralization in the eastern part of the north Huaiyang tectonic zone. Geology of Anhui, 20(4): 267 ~ 272 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yang. 2009. Geochemistry of the Baicha A-type granite in Beijing municipality: Petrogenetic and tectonic implications. Acta Petrologica Sinica, 25(1):13~24(in Chinese with English abstract).
- Wang Yun, Chen Yanjing, Ma Hongwei, Xu Youling. 2009. Study on ore geology and fluid inclusions of the Tangjiaping Mo deposit, Shangcheng County, Henan Province. Acta Petrologica Sinica, 25 (2): 468 ~ 480 (in Chinese with English abstract).
- Wei Qingguo Gao Xiyu, Zhao Taiping, Chen Wei, Yang Yueheng. 2010. Petrogenesis of Tangjiaping granite porphyry in northern Dabie: Evidence from zircon LA-ICP-MS U-Pb dating and

geochemical characteristics. Acta Petrologica Sinica, 26(5):  $1550 \sim 1562$  (in Chinese with English abstract).

- Whalen J B, Currie K L, Chappell B W. 1987. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. Contributions to Mineralogy and Petrology, 95: 407~419.
- Wu Fuyuan, Sun Deyou. 1999. The Mesozoic magmatism and lithospheric thinning in eastern China. Journal of Changchun University of Science and Technology, 29(4):  $313 \sim 318$  (in Chinese with English abstract).
- Wu F Y, Sun D Y, Li H M, Jahn B M, Wilde S. 2002. A-type granites in northeastern China: Age and geochemical constraints on their petrogenesis. Chemical Geology, 187: 143~173.
- Wu F Y, Lin J Q, Wilde S A, Zhang X O, Yang J H. 2005. Nature and significance of the Early Cretaceous giant igneous event in eastern China. Earth and Planetary Science Letters, 233: 103  $\sim$ 119.
- Wu F Y.Walker R J, Yang Y H, Yuan H L, Yang J H. 2006. The chemical-temporal evolution of lithospheric mantle underlying the orth China Craton. Geochimica et Cosmochimica Acta, 70: 5013~5034.
- Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. 2004. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb Age. Chinese Science Bulletin, 49(16): 1589~1604(in Chinese without English abstract).
- Xiao E, Qiu Jiansheng, Xu Xisheng, Jiang Shaoyong, Hu Jian, Li Zhen. 2007. Geochronology and geochemistry of the Yaokeng alkaline granitic pluton in Zhejiang province: Petrogenetic and tectonic implications. Acta Petrologica Sinica, 23(6):1431~ 1440(in Chinese with English abstract).
- Xu Xiaochun, Lou Jinwei, Lu Sanming, Xie Qiaoqin, Chu Pingli, Yin Tao. 2009. Re-Os ages of molybdenum-lead-zinc polymetallic deposits and <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup> Ar ages of related magmatic rocks in Yinshan area, Jinzhai, Anhui Province. Mineral Deposits, 28(5):621~632(in Chinese with English abstract).
- Xu X C, Lou J W, Xie Q Q, Xiao Q X, Liang J C, Lu S M. 2011. Gochronology and tectonic setting of Pb-Zn-Mo deposits and related igneous rocks in the Yinshan region, Jinzhai, Anhui province, China. Ore Geology Reviews, 43: 132~141.
- Yang Y F, Chen Y J, Li N, Mi M, Xu Y L, Li F L, Wan S Q. 2013. Fluid inclusion and isotope geochemistry of the Qian<sup>2</sup> echong giant porphyry Mo deposit, Dabie Shan, China: A case of NaCl-poor, CO<sub>2</sub>-rich fluid systems. Journal of Geochemical Exploration, 124:1~13.
- Yang Zeqiang. 2007. Re-Os isotopic ages of Tangjiaping molybdenum deposit in Shangcheng County, Hennan and their geological significance. Mineral Deposits, 26(3):289~295(in Chinese with English abstract).
- Yang Zeqiang, Tang Xiangwei. 2015. Geochemical characteristics and zircon LA-ICP-MS U-Pb isotopic dating of Xiaofan rock bodies in the North Dabieshan. Acta Geologica Sinica, 89(4): 692~700 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Hong, Sun Weidong, Yang Xiaoyong, Liang Huaying, Wang

Bohua, Wang Ruilong, Wang Yuxian. 2011. Geochronology and metallogenesis of the Shapinggou giant porphyry molybdenum deposit in the Dabie orogenic belt. Acta Geologica Sinica,85(12):2039~2059(in Chinese with English abstract).

- Zhang Huaidong, Wang Bohua, Hao Yuejing, Cheng Song, Xiang Bin. 2012. Geological characteristics and comprehensive oreprospecting information of Shapinggou porphyry-type molybdenum deposit in Anhui province. 31 (1): 41 ~ 51 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Lianchang, Wu Huaying, Xiang Peng, Zhang Xiaojing, Chen Zhiguang, Wan Bo. 2010. Ore-forming processes and mineralization of complex tectonic system during the Mesozoic: A case from Xilamulun Cu-Mo metallogenic belt. Acta Petrologica Sinica, 26(5):1351~1362(in Chinese with English abstract).
- Zhao Yue. 1990. The Mesozoic orogenies and tectonic evolution of the Yanshan area. Geological Review, 36(1):1~13(in Chinese with English abstract).
- Zheng Y D, Wang S Z, Wang Y. 1991. An enormous thrust nappe and extensional metamorphic complex newly discovered in Sino-Mongolian boundary area. Science in China (Series D), 34: 1145~1152.
- Zhou Taixi, Chen Jiangfeng, Zhang Xun, Li Xueming. 1995. Geochemistry of the north Huaiyang granite-syenite zone and its tectonic implication. Geological Review, 41(2):144~151(in Chinese with English abstract).
- Zhou Weiwei, Cai Jianhui, Yan Guohan, Wang Yaying, Yan Xingguan, Yan Zhijiao. 2014. Geochronology and petrogeochemistry of Xianghongdian alkaline intrusion in Jinzhai county of Anhui province and its significance. Mineral Deposits, 33(1):104~122(in Chinese with English abstract).
- Zeng L S, Gao L E, Dong C Y, Tang S H. 2012. High-pressure melting of metapelite and the formation of Ca-rich granitic melts in the Namche Barwa Massif, southern Tibet. Gondwana Research, 21: 138~151.

### 参考文献

- 陈红瑾,陈衍景,张静,陈秀忠,张怀东. 2013. 安徽省金寨县沙坪沟 钼矿含矿岩体锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素特征及其地质意义. 岩石学报,29(1):131~145.
- 陈跃志,桑宝梁. 1995.佛子岭群变质岩石学变质作用及时代的初步 研究.中国区域地质,(3):280~288.
- 邓晋福,莫宣学,赵海玲,罗照华,杜杨松. 1994.中国东部岩石圈根/ 去根作用与大陆"活化".现代地质,8(3):349~356.
- 邓晋福,苏尚国,赵海玲,莫宣学,肖庆辉,周肃,刘翠,赵国春. 2003. 华北地区燕山期岩石圈减薄的深部过程.地学前缘,10(3):41 ~50.
- 邓晋福,苏尚国,刘翠,赵国春,赵兴国,周肃,吴宗絮. 2006.关于华 北克拉通燕山期岩石圈减薄的机制与过程的讨论:是拆沉,还 是热侵蚀和化学交代?地学前缘,13(2):105~119
- 杜建国,张鹏,姜俊峰. 1996. 安徽北淮阳地区构造岩相带的划分与 对比.安徽省地质,6(1):19~27.

- 杜建国.2000.大别造山带中生代岩浆作用与成矿地球化学研究.安徽:合肥工业大学博士学位论文.
- 侯可军,李延河,田有荣. 2009. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术.矿床地质,28(4):481~492.
- 黄凡,王登红,陆三明,陈毓川,王波华,李超.2011.安徽省金寨县沙 坪沟钼矿辉钼矿 Re-Os 年龄——兼论东秦岭-大别山中生代钼 成矿作用期次划分.矿床地质,30(6):1039~1057.
- 黄皓,薛怀民. 2012. 北淮阳早白垩世金刚台组火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 岩石矿物学杂志, 31(3): 371 ~381
- 黄皓.2012.北淮阳白垩纪火山岩的年代学和地球化学研究.北京: 中国地质大学(北京)硕士学位论文.
- 李曙光, Hart SR, 郑双根, 郭安林, 刘德良, 张国伟. 1989. 中国华北、 华南陆块碰撞时代的钐-钕同位素年龄证据. 中国科学(B辑), 19(3): 312~319.
- 李毅,李诺,杨永飞,王玭,糜梅,张静,陈红瑾,陈衍景. 2013. 大别山 北麓钼矿床地质特征和地球动力学背景. 岩石学报,29(1):95 ~106.
- 刘家远. 2003.复式岩体和杂岩体——花岗岩类岩体组成的两种基本形式及其意义.地质找矿论丛,18(3):143~148.
- 陆三明,彭海辉,盛中烈. 2002.北淮阳构造带东段铅锌矿找矿远景. 安徽地质,12(2):114~119.
- 陆三明,徐晓春,彭智. 2005. 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. 地质与勘探,41(3);7~11.
- 毛景文,张作衡,余金杰,王义天,牛宝贵.2003.华北及邻区中生代 大规模成矿的地球动力学背景:从金属矿床年龄精测得到启 示.中国科学(D辑),33(4):289~299.
- 孟祥金,徐文艺,吕庆田,屈文俊,李先初,史东方,文春华. 2012. 安 徽沙坪沟斑岩钼矿锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄. 地质学报, 86(3):486~494.
- 彭智. 2004. 北淮阳东段基础地质评述. 安徽地质, 14(3): 172~176
- 彭智,陆三明,徐晓春.2005.北淮阳构造带东段金多金属矿床区域 成矿规律.合肥工业大学学报(自然科学版),28(4):364~368
- 彭智,杜建国,陈芳,邱军强,万秋,董婷婷,汤金来. 2015. 北淮阳东 段同兴寺碱性岩体地球化学特征、LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 及其地质意义. 地质学报,89(4):701~714.
- 宋传中,Lin Shoufa,周涛发,闫峻,任升莲,李加好,涂文传,张妍. 2010.长江中下游及其邻区中生代构造体质转换.岩石学报,26 (9):2835~2849.
- 汤加富,侯明金,石乾华,周存亭,徐家聪. 1995. 北淮阳地区变质地 层序列与构造变形特征. 安徽地质,5(3):50~59.
- 王根节,张怀东,项斌,王波华,郝越进. 2010. 北淮阳构造带东段中 生代岩浆活动与多金属成矿作用. 安徽地质,20(4):267~272.
- 王波华,邬宗玲,张怀东,彭海辉.2007.安徽省金寨银沙地区中生代 岩浆岩地质地球化学特征及其找矿意义.安徽地质,17(4):244 ~248.
- 汪洋.2009.北京白查 A 型花岗岩的地球化学特征及其成因与构造 指示意义.岩石学报,25(1):13~24.
- 王运,陈衍景,马宏卫,徐友灵. 2009.河南省商城县汤家坪钼矿床地 质和流体包裹体研究.岩石学报,25(2):468~480.
- 魏庆国,高昕宇,赵太平,陈伟,杨岳衡. 2010. 大别北麓汤家坪花岗 斑岩锆石 LA-ICPMS U-Pb 定年和岩石地球化学特征及其对岩

石成因的制约.岩石学报,26(5):1550~1562.

- 吴福元,孙德有. 1999.中国东部中生代岩浆作用与岩石圈减薄.长春科技大学学报,29(4):313~318.
- 吴元保,郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释 的制约. 科学通报,49(16): 1589~1604.
- 肖娥,邱检生,徐夕生,蒋少涌,胡建,李真.2007.浙江瑶坑碱性花岗 岩体的年代学、地球化学及其成因与构造指示意义.岩石学报, 23(6):1431~1440.
- 谢烈文,张艳斌,张辉煌,孙金凤,吴福元. 2008. 锆石/斜锆石 U-Pb 和 Lu-Hf 同位素以及微量元素成分的同时原位测定. 科学通 报,53(2):220~228.
- 徐晓春,楼金伟,陆三明,谢巧勤,褚平利,尹滔. 2009.安徽金寨银山 钼-铅-锌多金属矿床 Re-Os 和有关岩浆,<sup>40</sup> Ar-<sup>39</sup> Ar 年龄测定. 矿床地质, 28(5):621~632
- 杨泽强.2007.河南商场县汤家坪钼矿辉钼矿铼-锇同位素年龄及地 质意义.矿床地质,26(3):289~295.

杨泽强,唐相伟.2015.北大别山肖畈岩体地球化学特征和锆石 LA-

ICP-MS U-Pb 同位素定年. 地质学报,89(4):692~700.

- 张红,孙卫东,杨晓勇,梁华英,王波华,王瑞龙,王玉贤. 2011.大别 造山带沙坪沟特大型斑岩钼矿床年代学及成矿机理研究.地质 学报,85(12):2039~2059.
- 张怀东,王波华,郝越进,程松,项斌. 2012. 安徽沙坪沟斑岩型钼矿 床地质特征及综合找矿信息. 矿床地质,31(1):41~51.
- 张连昌,吴华英,相鹏,张晓静,陈志广,万博.2010.中生代复杂构造体系的成矿过程与成矿作用——以华北大陆北缘西拉木伦钼铜多金属成矿带为例.岩石学报,26(5):1351~1362.
- 赵越. 1990. 燕山地区中生代造山运动及构造演化. 地质论评, 36 (1): 1~13.
- 周泰禧,陈江峰,张巽,李学明.1995.北淮阳花岗岩一正长岩带地球 化学特征及其大地构造意义.地质论评,41(6):144~151.
- 周伟伟,蔡剑辉,阎国翰,王亚莹,闫星光,闫志娇. 2014. 安徽金寨响 洪甸碱性侵入岩年代学、岩石地球化学及其意义. 矿床地质,33 (1):104~122.

# Geological and Geochemical Characteristics and LA-ICP-MS Zircon U-Pb Ages of the Jinzhai Intrusion in Anhui Province

CHEN Fang<sup>1, 2)</sup>, PENG Zhi<sup>1, 2)</sup>, QIU Junqiang<sup>1, 2)</sup>, DONG Tingting<sup>1, 2)</sup>, LIU Binquan<sup>1)</sup>

1) Geological Survey of Anhui Province, Hefei, 230001;

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

#### Abstract

The Jinzhai moyite intrusion is located in the north Huaiyang tectonic zone of Dabie orogenic belt. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating yields an age of 129.  $7\pm1.5$  Ma by, suggesting it may be the product of the early Cretaceous magmatism. Several lead-zinc mineralization occurrences are found to distribute around the Jinzhai intrusion, and to be consistent with the regional magmatism and mineralization. The intrusion is characterized by high SiO<sub>2</sub> content (SiO<sub>2</sub> = 72. 47% ~77. 80%), high alkali contents (K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O=7.48% ~8.16%), but low CaO content (0.15%~1.47%). REE district patterns of the moyite show a shape of "sea-gull" and relatively significant negative Eu anomalies with  $\delta$ Eu ranging from 0.18 to 0.40. Trace element analysis indicates that the rocks have high contents of Ga ( $21.68 \times 10^{-6} \sim 24.12 \times 10^{-6}$ ), Zr ( $127.68 \times 10^{-6} \sim 196.75 \times 10^{-6}$ ), Nb ( $33.31 \times 10^{-6} \sim 60.53 \times 10^{-6}$ ) and Y ( $14.57 \times 10^{-6} \sim 27.51 \times 10^{-6}$ ), but low content of Sr ( $8.15 \times 10^{-6} \sim 138.52 \times 10^{-6}$ ) and Ba ( $23.04 \times 10^{-6} \sim 332.63 \times 10^{-6}$ ), with Ba, Sr, P, Eu and Ti exhibiting distinct negative anomalies on the primitive mantlenormalized trace element diagram. All this characteristics indicate that the Jinzhai moyite is A-type granite and might be the product of partial melting of lower crust source rock. The Jinzhai moyite is the intraplate A1-type originating in the post orogenic extension environment, but not the alkaline granite generating in anorogenic tectonic background.

Key words: A-type granite; geochemistry; LA-ICP-MS zircon U-Pb; tectonic setting; Jinzhai