

# 皖南及邻区燕山期两个类型花岗岩 地球化学对比与岩石成因

翁望飞, 支利庚, 徐生发, 王邦明

安徽省地质矿产勘查局 332 队地调院, 安徽 黄山 245000

**摘要:** 皖南周边分布着 40 余处大小不等的燕山期花岗岩体, 依据岩石年龄可划分出 2 个幕次: 一是 130~170 Ma, 平均 145 Ma, 为晚侏罗世一早白垩世早期( $J_3-K_1^1$ ), 以花岗闪长(斑)岩为主; 二是 109~132.2 Ma, 平均 123.5 Ma, 为早白垩世中、晚期( $K_1^2$ ), 岩性为花岗岩。研究表明,  $J_3-K_1^1$  花岗闪长岩为 C 型、高钾钙碱性埃达克岩, 发育于造山后构造, 应力由挤压转变为伸展的转折期, 源自印支期加厚地壳部分熔融。而  $K_1^2$  幕花岗岩为  $A_2$  型花岗岩, 产生于造山后的构造伸展环境, 源自正常安山质地壳在印支期加厚地壳熔融结束之后继续受地幔物质底侵部分熔融。埃达克岩与斑岩铜矿及金、银等矿床成因上密切相关, A 型花岗岩富集稀土元素及 W、Zr、Nb、Ta、U 等。因此加强皖南及邻区埃达克岩和 A 型花岗岩的研究, 可为该地区寻找斑岩铜矿床及稀土、稀有金属等矿床提供一个新思路 and 方向。

**关键词:** 地球化学特征; 埃达克岩; A 型花岗岩; 岩石成因; 构造环境; 燕山期; 皖南

**中图分类号:** P581; P588; P591 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2802(2011)04-0433-16

## Petrogenesis and Geochemical Comparison of Two Types of Yanshanian Granite in South Anhui and its Surrounding Area

WENG Wang-fei, ZHI Li-geng, XU Sheng-fa, WANG Bang-ming

332 Geological Team of Anhui Bureau of Geology and Mineral Exploration, Huangshan 245000, China

**Abstract:** More than 40 Yanshanian granites are distributed in south Anhui and surrounding area, and ages of these granites can be classified into two stages: the first stage belongs to  $J_3-K_1^1$ , 130~170 Ma with an average age of 145 Ma, and the second stage belongs to  $K_1^2$ , 109~132.2 Ma with an average age of 123.5 Ma. The analysis of petrological and geochemical characteristics shows that the granodiorites of  $J_3-K_1^1$  in south Anhui and vicinities are C type, high-K calc-alkaline adakite(HKCAA), formed from partial melting of the thickened lower crust by delamination in Mesozoic in eastern China. The analysis of geochemical characteristics of the granites in  $K_1^2$  shows that they are  $A_2$ -type granites, formed in extensional environment after orogeny, resulting from partial melting of andesitic crust after the formation of adakite. In addition, a close relationship exists among adakite, porphyry copper and multi-metal deposits, and A-type granite plays a important role in the enrichment of rare earth elements, such as, W, Zr, Nb, Ta, U and so on. Therefore, thorough researches on adakite and A-type granite in south Anhui and vicinities will provide new ideas and directions for the exploration of porphyry copper, rare earth element and rare metal deposits.

**Key words:** geochemical characteristic; adakite; A-type granite; petrogenesis; tectonic environment; Yanshanian; south Anhui

皖南及邻区位于扬子陆块江南古隆起东段, 横跨下扬子前陆坳陷带、江南造山带及皖浙褶断带三

个次级构造单元。区内地质构造演化较为复杂, 先后经历了晋宁、加里东、海西、印支、燕山及喜马拉雅

收稿日期: 2011-03-21 收到, 03-21 改回

基金项目: 安徽省国土资源厅公益性地质调查基金资助项目(2010-g-11)

第一作者简介: 翁望飞(1980—), 男, 硕士研究生, 专业方向: 构造地质及区域地质、矿产调查. E-mail: fiyan@163.com.

期构造运动,不同构造运动时期的沉积特征、岩浆活动、变质变形及成矿作用均各具特色,且后期构造对前期构造多有叠加改造。其中中生代构造运动表现尤为强烈,形成了现今的构造格局。印支期,江南古隆起自南东向北西挤压造山,皖南地区发育了一系列逆冲-推覆构造,致使前元古代浅变质基底岩系和古生代盖层岩系相互叠置、挤压并隆升造山;燕山期,中国东部地区逐渐进入大陆边缘滨太平洋构造域发展阶段-大陆边缘活动带阶段,地壳构造由板内挤压造山转变为伸展减薄阶段,伴随着区域内北东向断裂的活动,发生了大规模岩浆侵入与喷发活动,而晚侏罗世-早白垩世是区内最重要的岩浆活动时期。

从岩石年龄数据看<sup>[1-5]</sup>,皖南及邻区燕山期花岗岩类岩(或火山岩)可划分出两个侵入(喷发)幕次,其一为130~170 Ma,平均年龄145 Ma,时代为晚侏罗世-早白垩世早期( $J_3-K_1$ ),以花岗闪长(斑)岩

为主,典型岩体如太平、青阳、旌德、黟县及赣东北的德兴铜山、富家坞等;其二为109~132.2 Ma,平均年龄123.5 Ma,为早白垩世中、晚期( $K_2$ ),以花岗岩为主,诸如黄山、九华山、伏岭等(图1)。燕山期先后两个幕次形成的花岗岩类,在岩性、侵入层位、地球化学特征及构造环境等方面均不相同。已有学者注意到这两幕燕山期花岗岩的迥异,并进行了相关研究<sup>[6~12]</sup>,但多认为前者为I型花岗岩。通过对岩石年龄、地球化学测试数据分析,笔者认为 $J_3-K_1$ 幕花岗闪长岩为一套C型、高钾钙碱性埃达克岩,发育于碰撞造山后大地构造由应力挤压转变为伸展变形时期,源自印支期加厚地壳在燕山早期部分熔融。 $K_2$ 幕花岗岩为 $A_2$ 型花岗岩,形成于造山后的完全伸展环境,是正常安山质地壳在印支期加厚地壳熔融形成埃达克岩结束之后继续受地幔物质底侵部分熔融所形成的。以下即对皖南两个花岗岩类的地球化学特征及岩石成因进行详加探讨。

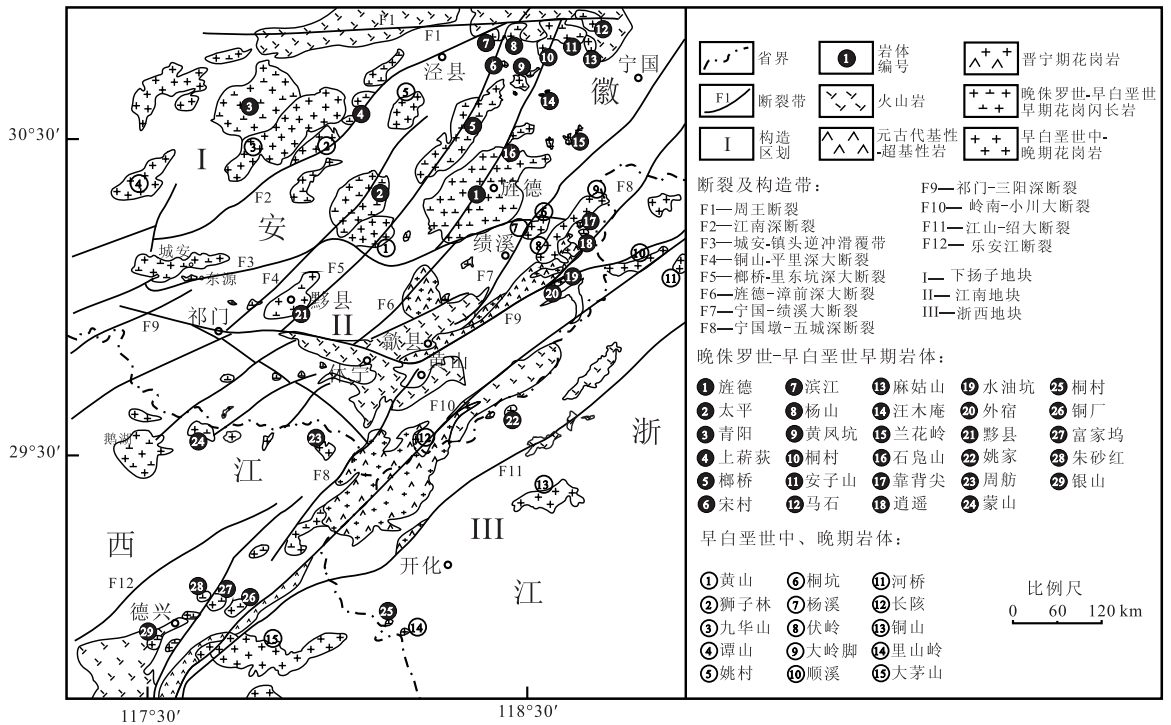


图1 皖南及邻区构造与岩浆岩分布图

Fig. 1 Structure and magmatic rock distribution map in south Anhui and vicinity

## 1 埃达克岩与A型花岗岩

在Defant和Drummond提出的原始定义中<sup>[13]</sup>,认为埃达克岩形成于岛弧地区,来源于年轻的( $\leq 25$  Ma)、热的俯冲洋壳部分熔融。标志性的地球化学特征是:高硅( $SiO_2 \geq 56\%$ ),高铝( $Al_2O_3$

$\geq 15\%$ ),低镁( $MgO < 3\%$ ,很少大于6%),富钠( $K_2O/Na_2O < 0.5$ );LREE富集,亏损HREE,无Eu异常(或有弱的负Eu异常),贫Y和Yb( $Y \leq 18 \times 10^{-6}$ ,  $Yb \leq 1.9 \times 10^{-6}$ );LILE富集,亏损HFSE,高Sr(一般 $> 400 \times 10^{-6}$ ), $^{87}Sr/^{86}Sr < 0.704$ , $\epsilon_{Nd} > 0$ 。埃达克岩的提出在地学界引起了广泛的关

注<sup>[14~20]</sup>,2000年王焰<sup>[21]</sup>、王强<sup>[22,23]</sup>等学者将其引入国内。张旗等<sup>[24~26]</sup>在研究中国东部中生代火成岩的基础上,将埃达克岩划分为“O”型(即 Defant 所定义)和“C”型(中国东部中生代火成岩)两类。并认为“O”型埃达克岩由年轻洋壳俯冲熔融形成,而“C”型埃达克岩的形成则与玄武岩底侵到加厚陆壳底部导致下地壳基性岩部分熔融有关。但“C”型埃达克岩的提法在我国的岩石学界引起了争议,矛盾主要集中在埃达克岩是否仅仅出于于板块消减带? Defant 和 Drummond 所定义的埃达克岩概念是否可以扩展? 中国东部中生代高钾、钙碱性火成岩是否属于埃达克岩? 不同学者对此提出了众多的看法和认识<sup>[27~34]</sup>。笔者认为埃达克岩的识别及研究应当以其地球化学特征作为主要的判断依据,不以构造环境作为限制条件,凡是地球化学特征与其相似的岩石,均可称为埃达克岩。埃达克岩只是一个一般意义上的术语,指的是具有埃达克岩地球化学特征的一类岩石,而没有特定的构造含义<sup>[19]</sup>。

A 型花岗岩也同样是一个充满争议性的岩石学命名,Loiselle<sup>[35~36]</sup>最早较系统地把 A 型花岗岩定义为碱性(Alkaline)、贫水(Anhydrous)和非造山(Anorogenic)的花岗岩。与其它类型花岗岩相比,A 型花岗岩以富硅、富碱,贫钙、镁、铝为特征,( $K_2O + Na_2O$ )/ $Al_2O_3$  和  $T FeO/MgO$  比值高,典型的矿物组合为石英+镁铁质暗色矿物+碱性长石,斜长石含量较少;含有萤石、钠铁闪石、霓辉石等矿物,富氟的稀土矿物及富锆的锆石常可见到,如独居石、褐帘石、磷钇石。Eby<sup>[37]</sup>给出 A 型花岗岩的主元素范围,在指定  $SiO_2$  含量为 70% 时, $Na_2O + K_2O = 7 \sim 11\%$ , $CaO < 1.8\%$ , $T FeO/MgO = 8 \sim 80$ 。微量元素上表现出 F 元素含量异常高,明显富集 REE (Eu 除外)和 Zr、Nb、Rb、Th、Ta、Hf、Ga、Y 等,而 Sc、Cr、Co、Ni、Ba、Sr、V 等元素相对亏损,Ga/Al 值比较高,并有显著的负 Eu 异常,致使稀土元素配分模式呈海鸥型展布。与埃达克岩的定义一样,A 型花岗岩的提出也引起了构造环境与命名之间的冲突,很多学者认为其并非仅仅产生于非造山的构造中,也可形成于造山晚期、造山后期等拉伸环境<sup>[38~44]</sup>。但不管怎样,A 型花岗岩产于伸展构造背景的观点得到了普遍的认同。Eby<sup>[38]</sup>按照不相容元

素比值将 A 型花岗岩划分为  $A_1$  亚型和  $A_2$  亚型,并提出: $A_1$  亚型最有希望代表热点、地幔柱或非造山环境中的大陆裂谷带; $A_2$  亚型则包括了花岗岩类侵位的各种构造环境中,多以造山后拉伸环境为主。相对于埃达克岩,A 型花岗岩提出时间相对较早,研究程度相对成熟,因而其概念的运用也逐渐偏重于地球化学特点而非纠缠于“非造山”这一限制条件。以下文中笔者亦着重对比皖南燕山期两幕花岗岩类的地球化学特征,进而探讨岩石成因及地质意义。

## 2 岩石地球化学特征

### 2.1 岩石学特征

$J_3-K_1$  幕岩体在  $R_1-R_2$  分类命名图解(图 2)中显示以花岗闪长岩为主,次为英云闪长岩。主矿物为斜长石(40%~60%)、石英(20%~30%)、钾长石(10%~20%),斜长石 An 号在 30%~50%之间,属中长石;暗色矿物有角闪石、黑云母;副矿物为磷灰石、锆石、榍石、磁铁矿、钛铁矿等。岩石具块状构

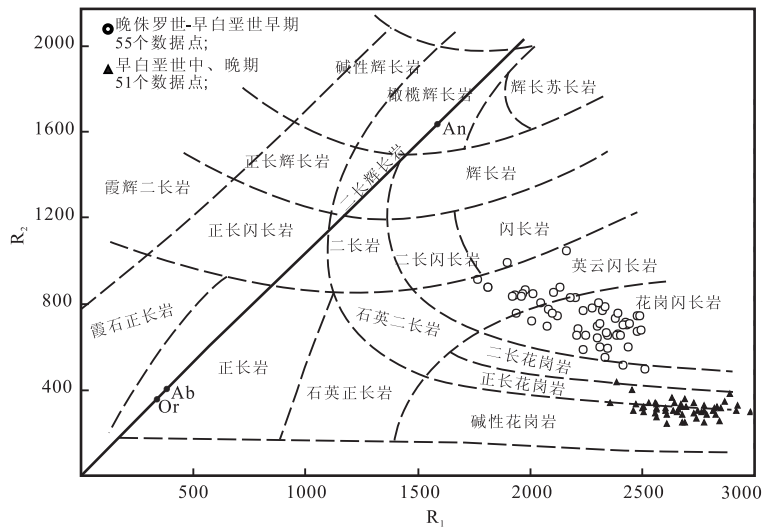


图 2 皖南燕山期岩浆岩  $R_1-R_2$  图解

Fig. 2  $R_1-R_2$  diagram of Yanshanian magmatic rocks in south Anhui

造、斑状结构,斑晶主要为融蚀后的颗粒石英、斜长石、黑云母;基质呈显微花岗结构,由斜长石、石英、黑云母以及金属硫化物、碳酸盐等组成。岩石普遍遭受蚀变,多为绢云母化、碳酸盐化、硅化。

$K_1$  幕岩体则主要为花岗岩, $R_1-R_2$  图解中为碱性花岗岩和正长花岗岩,主矿物为石英(30%~35%)、钾长石(35%~45%)、斜长石(15%~30%),An 排号较低,在 7%~30%之间,为钠奥长石;暗色矿物较少,以黑云母为主,类型为铁黑云母和铁叶云

母,其次为少量角闪石;副矿物主要为锆石、磁铁矿、钛铁矿,而磷灰石、榍石较少,含有明显的黄玉、萤石、独居石、褐帘石、磷钇矿等高稀土含量矿物。岩体不同程度的发育有晶洞和伟晶团块,晶洞内有水晶及富 Sr 的天河石等矿物出现。

## 2.2 主量元素

皖南燕山期花岗岩体的主量元素含量数据及相关参数见表 1,其与表 2、表 3 中有相同资料来源及相同岩体编号的为配套分析数据。

表 1 皖南及邻区燕山期花岗岩类主量元素含量(%)

Table 1 Major elements contents (%) of Yanshanian magmatic rocks in south Anhui and vicinities

时代	岩体	岩性	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>	Mg <sup>#</sup>	A/CNK	AR	资料来源
	太平-1	gd	66.38	0.63	15.34	1.55	2.64	0.10	1.64	3.77	3.20	3.52	0.22	32.52	1.02	2.01	[47]
	太平-2	gd	68.43	0.5	14.99	2.52	1.52	0.092	1.17	2.97	3.28	3.87	0.26	37.39	1.02	2.15	[47]
	太平	gd	66.61	0.47	15.55	1.62	2.62	0.07	0.55	4.61	3.46	3.75	0.04	14.01	0.92	2.05	[8]
	太平	gd	68.95	0.48	14.74	0.93	1.85	0.06	1.14	2.94	3.46	3.78	0.15	32.35	1.00	2.29	[48]
	青阳	gd	67.79	0.49	15.13	1.67	1.97	0.05	1.25	3.00	3.80	3.61	0.17	32.99	1.01	2.44	[49]
	旌德-1	gd	67.03	0.58	15.48	1.98	2.43	0.13	1.37	3.45	3.25	2.99	0.2	30.43	1.11	2.05	[50]
	旌德-2	gd	66.42	0.48	14.73	1.38	2.03	0.07	1.38	2.74	3.33	3.98	0.17	34.53	1.01	2.23	[50]
	旌德-1	gd	67.13	0.51	15.59	1.58	2.95	0.067	1.17	3.24	3.40	3.01	0.15	23.53	1.12	2.13	[47]
	旌德-2	gd	70.64	0.35	14.26	2.54	0.7	0.07	0.8	2.05	3.56	4.2	0.2	47.00	0.99	2.55	[47]
	上荪荻-1	bg	69.11	0.45	15.31	1.77	2.08	0.1	1.11	2.78	3.73	3.5	0.11	29.28	1.06	2.40	[51]
	上荪荻-2	bg	71.66	0.29	14.27	1.55	1.3	0.09	0.75	1.68	3.4	4.15	0.09	30.92	1.05	2.49	[51]
晚侏罗世	黟县	gd	67.74	0.49	15.12	0.81	3.12	0.08	1.40	3.14	3.03	3.85	0.18	25.83	1.04	1.99	[8]
	外宿	gd	68.03	0.47	15.48	1.81	1.92	0.10	1.47	2.06	3.88	3.13	0.24	37.27	1.18	2.59	[47]
	水油坑	gd	63.48	0.67	16.46	2.00	2.88	0.08	2.16	4.15	3.84	2.49	0.28	36.79	1.11	2.19	[47]
	逍遥	gd	65.15	0.55	15.69	1.77	2.43	0.05	1.82	3.20	3.47	3.67	0.16	36.76	1.05	2.16	[47]
	靠背尖	gd	64.89	0.59	15.61	1.20	2.94	0.08	1.95	4.17	3.63	3.43	0.13	33.98	0.97	2.16	[47]
	石龟山	gd	68.72	0.48	14.73	1.15	2.33	0.06	1.08	2.91	3.15	4.13	0.16	26.45	0.99	2.11	[50]
	宋村	gd	66.96	0.56	14.77	1.57	2.38	0.12	1.66	2.02	3.22	4.1	0.18	35.12	1.08	2.24	[50]
	兰花岭	gd	68.21	0.46	15.49	1.03	2.2	0.07	0.99	2.81	3.49	3.42	0.15	25.88	1.10	2.23	[50]
	汪木庵	gd	66.01	0.59	15.48	1.26	3.03	0.1	1.69	2.97	3.37	3.23	0.2	30.21	1.12	2.15	[50]
	黄凤坑	gd	67	0.56	15.41	1.1	3	0.11	1.37	3.51	3.23	3	0.21	26.16	1.10	2.04	[50]
	榔桥	gdp	65.51	0.51	15.16	2.43	2.55	0.11	1.44	3.85	3.06	3.66	0.16	30.47	1.00	1.95	[7]
	榔桥	gd	66.91	0.50	15.64	1.59	2.53	0.06	1.32	3.72	3.27	3.64	0.12	28.82	1.02	2.02	[47]
	铜厂-1	gdp	62.99	0.38	14.67	2.03	3.45	0.053	2.43	3.97	3.57	3.45	0.26	35.34	0.93	2.24	[52]
	铜厂-2	gdp	62.32	0.45	15.79	2.52	2.88	0.08	2.55	4.10	4.23	2.90	0.25	40.72	0.99	2.48	[52]
	铜厂	gdp	63.00	0.43	15.39	2.36	2.69	0.06	2.43	4.15	3.73	3.20	0.25	41.21	0.97	2.24	[8]
	富家坞-1	gdp	64.76	0.42	15.38	1.88	3.10	0.75	1.83	3.86	4.00	3.00	0.21	31.42	0.99	2.42	[10]
	富家坞-2	gdp	65.80	0.42	15.56	1.71	2.04	0.09	1.37	2.99	3.91	3.45	0.20	34.26	1.04	2.46	[10]
	富家坞	gdp	65.05	0.41	15.74	1.69	2.51	0.11	1.69	3.57	3.87	3.21	0.21	34.32	1.03	2.34	[8]
	姚家	gd	67.35	0.47	15.22	1.91	2.10	0.08	1.09	3.32	3.16	3.43	0.19	28.71	1.06	2.03	[8]
	桐村	gd	68.40	0.35	14.73	0.68	1.54	0.04	1.00	2.82	3.93	3.38		33.50	1.01	2.62	[8]
	朱砂红	gd	62.82	0.40	15.24	0.72	2.52	0.03	2.41	3.17	3.84	3.34	0.25	42.60	1.02	2.43	[8]

续表 1

时代	岩体	岩性	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>	Mg <sup>#</sup>	A/CNK	AR	资料来源
早白垩世	黄山-1	g	76.13	0.09	12.00		0.39	0.05	0.07	0.84	3.22	4.80	0.06	12.22	0.91	3.01	[47]
	黄山-2	g	76.61	0.11	12.32		0.37	0.05	0.16	0.49	3.34	4.59	0.06	25.12	0.98	3.18	[47]
	黄山-1	g	76.62	0.10	12.04	0.59	0.90	0.06	0.09	0.52	3.32	4.77	0.02	7.20	0.94	3.24	[11]
	黄山-2	g	75.18	0.13	12.77	0.99	0.58	0.06	0.11	0.34	3.28	5.29	0.03	12.83	0.96	3.00	[11]
	黄山-3	g	76.86	0.11	11.88	0.57	0.54	0.07	0.08	0.11	3.38	4.74	0.01	10.31	0.96	3.59	[11]
	黄山-1	g	75.25	0.19	12.81	0.48	1.07	0.04	0.17	0.75	3.36	5.30	0.03	10.98	0.91	2.96	[48]
	黄山-2	g	76.75	0.11	11.61	0.65	0.74	0.04	0.16	0.86	3.44	3.96	0.01	14.37	0.95	3.46	[48]
	黄山-3	g	75.41	0.07	13.32	0.64	0.47	0.04	0.06	0.51	3.97	4.59	0.01	9.01	0.99	3.70	[48]
	黄山	g	76.33	0.12	11.94	0.48	1.68	0.04	0.08	0.73	3.08	4.72	0.02	3.56	0.94	2.89	[45]
	黄山	g	75.10	0.06	12.36	0.94	1.59	0.02	0.16	0.76	3.14	4.88	0.02	7.24	0.94	2.84	[8]
	伏岭	g	76.70	0.12	11.81	0.54	1.23	0.03	0.16	0.44	3.36	4.59	0.01	9.17	0.94	3.43	[8]
	伏岭	g	76.15	0.11	12.00	0.22	2.51	0.06	0.15	0.70	3.27	4.27	0.04	4.43	0.98	3.12	[45]
	伏岭-1	g	75.17	0.12	12.89		0.43	0.03	0.15	0.68	3.55	4.93	0.11	21.30	0.95	3.19	[47]
	伏岭-2	g	76.22	0.06	12.23		0.40	0.06	0.10	0.59	3.71	4.58	0.07	16.25	0.93	3.75	[47]
	伏岭-3	g	76.08	0.09	12.17		0.18	0.02	0.08	0.52	4.03	4.75	0.01	25.64	0.88	4.48	[47]
	姚村-1	fg	76.31	0.04	12.63	0.64	0.45	0.06	0.10	0.48	3.43	4.65	0.02	14.71	0.99	3.20	[7]
	姚村-2	g	76.32	0.06	12.86	0.78	0.80	0.04	0.23	0.20	3.26	4.51	0.02	18.24	1.08	2.99	[7]
	铜山	g	75.76	0.13	12.05	0.69	1.51	0.05	0.09	0.92	3.83	4.55	0.00	4.42	0.88	3.89	[8]
	里山岭-1	g	74.68	0.10	12.48	0.45	2.03	0.05	0.45	0.81	2.71	5.34		14.68	0.94	2.38	[8]
	里山岭-2	g	75.14	0.10	12.44	0.21	1.64	0.05	0.28	0.76	2.96	5.00		11.70	0.96	2.63	[8]
大茅山-1	g	77.40	0.08	11.39	1.41	0.35	0.03		0.26	3.08	5.00	0.02		0.91	3.24	[8]	
大茅山-2	g	76.64	0.08	12.33	0.57	1.29	0.03	0.14	0.60	2.90	5.00	0.03	7.77	0.97	2.63	[8]	
大茅山-3	g	75.44	0.12	12.23	0.92	1.06	0.05	0.15	0.68	3.32	4.67	0.02	9.89	0.95	3.12	[8]	
顺溪	g	76.22	0.14	12.42	0.53	1.00	0.05	0.31	0.52	3.70	4.93	0.02	19.39	0.91	3.67	[8]	
顺溪	g	77.55	0.04	11.96	0.44	0.62	0.14	0.04	0.47	4.11	4.56	0.01	4.77	0.88	4.90	[8]	
河桥	g	76.41	0.12	11.73	0.32	1.87	0.04	0.05	0.84	3.30	5.06		2.03	0.86	3.21	[8]	
冯村	g	73.37	0.12	12.94	0.84	2.00	0.04	0.41	0.62	3.95	4.48	0.18	13.72	0.97	3.79	[10]	
桐坑	g	76.33	0.03	12.16	0.30	1.24	0.06	0.06	0.56	3.55	4.88	0.01	3.62	0.91	3.53	[45]	
楼下	g	75.03	0.14	12.10	0.81	2.47	0.04	0.27	0.42	3.02	5.03	0.07	7.82	0.95	2.86	[47]	

注: g-g;gd-花岗闪长岩;bg-二长花岗岩;gdp-花岗闪长斑岩;fg-钾长花岗岩。

表 2 皖南及邻区燕山期岩浆岩稀土元素含量(×10<sup>-6</sup>)

Table 2 Rare earth elements contents (×10<sup>-6</sup>) of Yanshanian magmatic rocks in south Anhui and vicinities

时代	岩体	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	资料来源
晚侏罗世-早白垩世早期	太平-1	35.96	72.88	8.4	28.8	5.4	1.22	4.79	0.76	3.71	0.76	2.05	0.33	1.97	0.31	18.98	[47]
	太平-2	27.07	55.52	6.54	22.32	4.19	0.95	3.78	0.59	2.81	0.58	1.54	0.26	1.44	0.27	14.72	[47]
	太平	30	62		21.4	5.17	1.04	4.34		3.5		1.39		1.22		13.38	[8]
	太平	29	55.5	6.47	24.3	4.45	0.99	3.85	0.51	2.61	0.48	1.51	0.2	1.43	0.23	14.6	[48]
	青阳	61.48	58.07	6.56	24	4.32	0.97	3.2	0.47	2.11	0.38	0.95	0.15	0.9	0.14	10.13	[49]
	旌德-1	34.88	57.94	8.26	33.59	6.56	1.38	5.33	0.81	4.02	0.87	2.06	0.35	1.94	0.32	19.42	[50]
	旌德-2	33.4	63.7	6.44	25.3	4.41	1.07	3.65	0.52	3.19	0.6	1.46	0.3	1.87	0.32	14.4	[50]
	旌德-1	19.56	42	5.8	21.5	4	0.87	2.65	0.61	2.3	0.35	1.15	0.15	0.73	0.3	8.1	[47]
	旌德-2	23.5	52.5	6.15	24.5	4.5	0.87	3.75	0.59	2.9	0.48	1.55	0.2	1.1	0.39	12.5	[47]
	上祈获-1	31.3	60.9	4.92	19.2	4.37	0.79	3.23	0.42	2.26	0.47	1.25	0.23	1.53	0.26	12.2	[51]
	上祈获-2	37.2	70.15	6.93	22.7	4.86	0.82	3.49	0.46	2.44	0.47	1.28	0.23	1.51	0.26	14.3	[51]
	外宿	36	69	6.8	30	5.5	1.53	4.9	0.68	4.2	0.75	2	0.3	1.8	0.28	16	[47]
	水油坑	40	79	8.6	33	6	1.63	5.2	0.98	4.4	0.88	2.3	0.35	2.1	0.3	17	[47]
	逍遥	37.1	72	7.37	30.3	5.29	1.12	3.55	0.41	2.71	0.4	1.2	0.15	0.99	0.13	10.4	[47]
靠背尖	30.2	62.9	6.46	30.4	5.16	1.12	3.8	0.59	3.4	0.77	1.72	0.24	1.42	0.22	14	[47]	
石鳧山	29.91	65.04	7.7	28.7	5.74	1.17	4.6	0.74	3.45	0.6	1.58	0.24	1.43	0.23	17.9	[50]	

续表 2

时代	岩体	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	资料来源
	宋村	32.26	50.27	6.98	27.03	5.08	1.16	4.36	0.65	3.84	0.9	2.47	0.39	2.16	0.33	20.01	[50]
	兰花岭	29.43	51.07	6.65	25.44	4.69	1.16	3.89	0.65	3.19	0.6	1.93	0.3	1.63	0.25	15.07	[50]
	汪木庵	27.77	45.68	6.94	27.42	5.62	1.37	4.65	0.73	3.85	0.87	2.11	0.35	1.95	0.32	19.09	[50]
	黄凤坑	29.17	50.37	6.94	27.97	5.43	1.29	4.54	0.71	3.91	0.89	2.31	0.37	2.11	0.36	19.49	[50]
	榔桥	26.6	50.3	6	22.6	4.5	0.91	3.4	0.6	2.93	0.52	1.7	0.39	1.61	0.3	15.12	[7]
	榔桥	43.17	74.24	8.64	26.58	5.04	0.95	3.75	0.57	2.88	0.55	1.55	0.25	1.58	0.25	14.04	[47]
	铜厂-1	40.97	73.45	7.76	26.15	5.19	1.28	3.93	0.485	2.88	0.81	1.82	0.29	1.445	0.085	14.09	[52]
	铜厂-2	33.19	61.9	7.19	25.35	5.47	1.57	4.5	0.55	3.19	0.87	2.07	0.24	1.41	0.14	15.09	[52]
	铜厂-1	13.246	23.845	2.92	10.964	1.868	0.618	1.763	0.184	1.173	0.249	0.692	0.093	0.624	0.091	9.435	[53]
	铜厂-2	13.298	24.821	2.827	10.69	2.022	0.542	1.677	0.183	1.25	0.28	0.708	0.093	0.587	0.073	14.29	[53]
	铜厂	13.64	21.98	3.48	10.29	1.81	0.54	1.21	0.24	1.05	0.22	0.68	0.12	0.61	0.08	5.04	[8]
	富家坞-1	35.724	59.15	6.569	22.933	4.029	1.026	3.3	0.359	2.275	0.487	1.296	0.178	1.084	0.18	8.363	[53]
	富家坞-2	31.322	49.536	5.259	18.231	2.863	0.949	2.681	0.266	1.688	0.329	0.917	0.136	0.8	0.113	11.786	[53]
	姚家	37.5	71.2	7.82	30.5	5.95	1.3	5.37	0.88	4.38	0.88	2.3	0.35	2.16	0.34	22.2	[8]
	桐村	32.1	35.6	4.23	21.8	5.04	0.64	1.96	0.26	1.08	0.31	0.66	0.17	0.86	0.14	10.1	[8]
	黄山-1	53.8	122.2	16.52	55.84	13.93	0.43	14.6	2.81	17.33	3.67	10.56	1.8	10.86	1.62	109.3	[47]
	黄山-2	27.17	72.46	8.21	26.99	7.73	0.26	8.51	1.71	12.2	2.36	7.12	1.35	9	1.37	71.84	[47]
	黄山-1	42.33	95.36	11.49	42.17	10.2	0.25	9.95	1.85	12.69	2.71	8.84	1.52	9.67	1.4	87.26	[11]
	黄山-2	57.83	128.42	15.79	59.13	13.79	0.32	11.83	1.97	12.09	2.34	7.21	1.18	7.04	0.98	58.14	[11]
	黄山-3	33.77	94.68	9.58	36.13	9.8	0.25	9.88	2	14.1	3.09	10.2	1.6	10.5	1.51	99.8	[11]
	黄山-4	23.38	63.19	8.87	37.72	14.58	0.06	18.11	3.72	25.38	5.3	16.99	2.91	18.06	2.64	180.46	[11]
	黄山-5	24.96	62.75	7.03	25.51	5.93	0.06	5.24	0.94	6.22	1.32	4.43	0.78	5.05	0.74	37.97	[11]
	黄山-6	10.28	27.67	2.93	10.43	2.72	0.11	2.7	0.62	5.17	1.28	5.22	1.13	8.05	1.22	36.8	[11]
	黄山-7	38.33	86.38	11.36	43.11	12.27	0.25	13.09	2.65	18.35	3.87	12.88	2.29	14.51	2.11	122.81	[11]
	黄山-8	41.25	94.47	11.12	41.37	10.68	0.28	11.16	2.23	15.7	3.35	11.08	1.92	12.12	1.77	103.22	[11]
	黄山-9	12.95	78.92	4.46	18.02	6.93	0.06	7.94	1.73	12.45	2.62	8.98	1.74	12.51	1.8	75.57	[11]
	黄山-1	77.5	157	18.5	64.6	12.8	0.54	11.2	1.83	10.8	2.18	7.04	1.08	7.62	1.12	71.3	[48]
	黄山-2	45.6	107	13.8	53.4	14.8	0.22	14.4	3.05	20.9	4.47	14.6	2.28	15.6	2.28	147	[48]
	黄山-3	25.3	55.9	8.35	33.4	11.2	0.14	10.3	2.41	16.7	3.6	12.6	2.2	16.3	2.44	126	[48]
	黄山-4	23.5	64.2	9.42	40.8	15.9	0.04	16.1	3.68	25.2	5.4	17.5	2.74	18.7	2.77	218	[48]
	黄山	46	105		45	11.2	0.38	12.8		16		8.96		9.25		100	[8]
	伏岭-1	35.34	78.42	9.92	28.05	6.35	0.39	5.04	1.01	5.45	1.1	3.29	0.55	3.7	0.55	30.74	[47]
	伏岭-2	22.29	53.82	7.78	26.61	7.9	0.19	7.6	1.65	10.17	2.18	6.57	1.14	7.58	1.16	61.34	[47]
	伏岭-3	9.81	25.59	4.59	18.06	7.79	0.09	8.46	2.08	15.34	2.89	10.39	1.58	12.45	1.75	113.44	[47]
	姚村-1	37.7	78.4	6.8	21.7	3.2	0.41	1.8	0.4	1.77	0.39	1.5	0.33	1.77	0.35	9.9	[7]
	姚村-2	3.7	9.6	1.2	5.9	2	0.11	2.5	1	3.49	0.79	2.8	0.55	3	0.59	17.96	[7]
	里山岭-1	17.3	19.4	6	27.6	13.1	0.19	9.76	1.51	8.55	1.69	5.41	0.75	6.39	0.61	41	[8]
	里山岭-2	22.6	34.2	8.23	36.3	15.7	0.23	11.6	1.9	9.37	1.93	5.84	0.82	6.54	0.65	48.1	[8]
	大茅山-1	46.05	90.42	12.83	32.12	6.84	0.25	6.47	1.43	10.35	2.08	6.95	1.29	7.03	1.11	70.46	[8]
	大茅山-2	87.49	172.6	31.41	57.56	15.61	0.51	13.71	9.17	14.82	3.92	9.1	2.01	10.7	1.85	82.43	[8]
	大茅山-3	42.86	83.77	13.42	35.57	9.08	0.24	10	2.41	15.44	3.14	10.29	1.82	10.44	1.6	121.42	[8]
	楼下	23.9	43.15	5.55	23.15	3.97	0.74	3.56	0.94	4.97	0.86	2.97	0.41	3.25	0.5	29.1	[47]

表 3 皖南及邻区燕山期岩浆岩微量元素含量

Table 3 Trace elements contents ( $\times 10^{-6}$ ) of Yanshanian magmatic rocks in south Anhui and vicinities  $\times 10^{-6}$ 

时代	岩体	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Nb	Ta	Ba	U	Th	Ga	资料来源
	太平-1	96.9		19.68	7.25	7.67	81.16	250	310.4		11.57	1	513				[47]
	太平-2	75.6		20.58	4.81	9.59	72.4	227	232.5		10.9	0.5	439				[47]
	太平		68	16	7	17	68	116	320				497				[8]
	太平							181	358	148	15.4	1.62	367	4.44	19	18.4	[48]

续表 3

时代	岩体	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Nb	Ta	Ba	U	Th	Ga	资料来源	
晚侏罗世 早白垩世 早期	青阳	52	449	7.7	9.6	9.6	61	129	437	177	15.2		507		11.3		[49]	
	旌德-1		10.8	9.3	4.8			80.9	367.6	154.5	13.23	1.43	545.6	5.84	12.3	20.6	[50]	
	旌德-2		27.15	7.45	2.51				128.8	388.4	158	13	0.87	772.5	3.17	11.1	14.5	[50]
	旌德-1	45.5	10.5	9.5	7	39.5	113.5	130	345		11.55	0.6	645				[47]	
	旌德-2	34	7	6.5	6.5	25.5	102.5	221	227.5		15.75	0.49	435				[47]	
	上荪荻-1	31.5	9.3	4.9	2.2	18.4	43.6	156.4	433.5	134.1	13.96			499.5	7.15	15.7		[51]
	上荪荻-2	32.4	9.3	3.9	7.2	19.1	44.5	155.7	374.56	138.3	12.6			987.6	2.78	19.62		[51]
	外宿			7.6	18	65	206	92	580	125	5.6	1	940					[47]
	水油坑			10.5	21	29	174	74	570	150	6.1	0.8	880					[47]
	石鳧山		8.7	6.4	2.7				171.4	234.4	127.1	11.4	1.2	503.2	6	17.2	19.7	[50]
	宋村		17.6	9.7	9.3				80.9	562.9	145.6	12.91	1.78	730.7	4.3	14.4	17.7	[50]
	兰花岭		8.6	7.2	4				80.9	360.2	145.8	10.43	1.02	663.4	3.51	11.6	22.1	[50]
	汪木庵		15.5	10.1	6.8				80.9	415.1	158.5	9.76	0.8	683.7	2.26	7.9	20.8	[50]
	黄凤坑		10.2	9.1	4.8				80.9	414.4	159.7	10.92	0.91	598	2.5	7.8	19.3	[50]
	榔桥	64.92	32.42	8.15	8.84	37.21					189.28	5.4		379.71				[7]
	铜厂-1	92.09		15.03		225.4	642.6	88	701.3									[52]
	铜厂-2	186.4		27.66		71.8	112.5	96	1085									[52]
	铜厂-1	90.948		9.152		6735.138			82.263	586.107	160.109	8.545	0.747	1504.573	3.255	16.333		[53]
	铜厂-2	129.327		10.499		3940.692			77.306	667.723	148.447	9.436	0.753	1166.425	1.499	13.635		[53]
	铜厂		120	14	32	230	44		679	200				1100				[8]
富家坞-1	97.193		7.762		1730.777			69.503	569.629	131.316	9.658	0.862	1297.749	2.851	17.37		[53]	
富家坞-2	104.844		7.647		2533.598			57.683	587.593	192.988	9.358	0.768	1312.298	2.695	15.168		[53]	
富家坞			15		132	36	91	861					1335				[8]	
桐村		167		5.5			93	516	248	6.3			836				[8]	
早白垩世 中、晚期	黄山-1	16.2		4.29	1.7	32.8		510	16.9			3.01	90.5				[47]	
	黄山-2	11.9		4.24	1	3.42		449	10.4			7.72	60.1				[47]	
	黄山-1	2.86	15.28	1.28	5.93	5.52	49.7	523.26	27.23	173.27	41.33	4.48	49.57	13.67	50.26	32.57	[11]	
	黄山-2	3.51	7.73	1.34	2.72	5.2	55.98	459.89	35.1	175.6	40.08	3.44	87.42	10.32	56.31	24.28	[11]	
	黄山-3	4.79	7.76	1.35	2.92	4.29	43.45	424.65	19.85	149.47	63.96	5.56	42.11	6.8	21.74	19.18	[11]	
	黄山-4	1.75	11.58	0.98	4.55	7.44	44.21	819.4	12.63	113.91	67.84	8.42	9.88	9.35	59.11	25.25	[11]	
	黄山-5	2.2	7.21	1.38	3.04	5.25	35.46	455.2	19.22	137.87	47.52	3.98	21.31	14.4	63.26	22.7	[11]	
	黄山-6	1.57	22.45	1.1	9.91	12.6	44.59	682.65	9.74	93.29	39.57	8.61	34.63	10.22	26.24	26.67	[11]	
	黄山-7	2.54	29.26	1.07	10.87	7.94	41.44	602.5	18.59	97.73	50.55	7.4	41.77	17.2	47.96	24.5	[11]	
	黄山-8	3.96	13.58	1.65	20.76	47.9	48.16	515.43	21.12	178.13	52	6.3	44.9	16.12	52.51	24.93	[11]	
	黄山-9	1.24	10.42	0.64	2.65	5.09	37.54	649.06	7.99	94.6	39.4	5.66	12.22	15.37	32.02	26.84	[11]	
	黄山-1							434	45.9	208	34.9	5.99	166	8.46	56.1	22.3	[48]	
	黄山-2							510	20.9	181	77	8.71	41.2	18.3	71.8	23.2	[48]	
	黄山-3							696	13.5	113	49.8	13.1	33	12.8	41.1	26.4	[48]	
	黄山-4							759	14.2	125	68	14.2	14.9	15.2	55.9	29.7	[48]	
	黄山			1	4	2	5	49	415	16		34		48				[8]
	伏岭-1	3.75	6.6	2.85	2.8	10.6			256	29				206				[47]
	伏岭-2	0.78	6	2.45	3.4	12.9			386	15.9			8	117				[47]
	伏岭-3	0.7	6.7	2	5.5	9.4			498	4.8			1	110				[47]
	铜山		12.2		3.3				321.5	33	124.3	32.2		132				[8]
里山岭-1		105		3.5				243	18.7	341	22.9		53.3				[8]	
里山岭-2		279		5.7				313	22.6	295	24.1		108				[8]	
大茅山-1		20	2.2	4.78	<10	<30	190	24	125	59.4			117.3				[8]	
大茅山-2		76.39	2.45	1.46	5.62	37.2	170	28.2	120	34.9			116.5				[8]	
大茅山-3		20	1.5	2.7	<10	<30	470	13.4	135	62.9			65.3				[8]	
楼下	3.6	9	0	3	12	230	157	124		17	3	26.03					[47]	



$J_3$ - $K_1$  幕花岗闪长岩具有以下地球化学特征：(1)岩石主化学成分具高硅、高铝、低镁特征。 $SiO_2$  含量为 62.32%~71.66%，平均 66.6%，大于 56%； $Al_2O_3$  为 14.26%~16.46%，平均 15.25%，大于 15%； $MgO$  含量为 0.55%~2.55%，平均 1.48，小于 3%。(2)岩体富 K 贫 Na，具较高  $K_2O/Na_2O$  比值。 $K_2O$  含量为 2.49%~4.2%，平均 3.48%； $Na_2O$  为 3.03%~4.23%，平均 3.52%； $K_2O/Na_2O$  值为 0.65%~1.31%，平均 1.0，表明岩体为钾质火成岩。岩体富 K 使得矿物中含有较高量的钾长石，因此含 Na 元素的角闪石含量相对较低。(3)岩石属弱过铝钙碱性系列。其 A/CNK 值为 0.92~1.18，平均 1.03；全碱 ALK 值为 6.24~7.76，平均 6.98；碱度率值 A.R 为 1.95~2.62，平均 2.25，A.R- $SiO_2$  图解(图 3)显示岩石为钙碱性系列。(4)具  $Mg^\#$  低值特征。 $J_3$ - $K_1$  岩体的  $Mg^\#$  值在 23.53~47 之间，平均 32.95，表明其岩浆源自下地壳镁铁质岩石直接的部分熔融，很少或几乎没有受到幔源物质的混染。(5) $K_2O$ - $Na_2O$  图解(图 4)显示  $J_3$ - $K_1$  幕岩体为 I 型花岗岩， $SiO_2$ - $MgO$  图解(图 5)表明  $J_3$ - $K_1$  幕花岗闪长岩为埃达克岩。

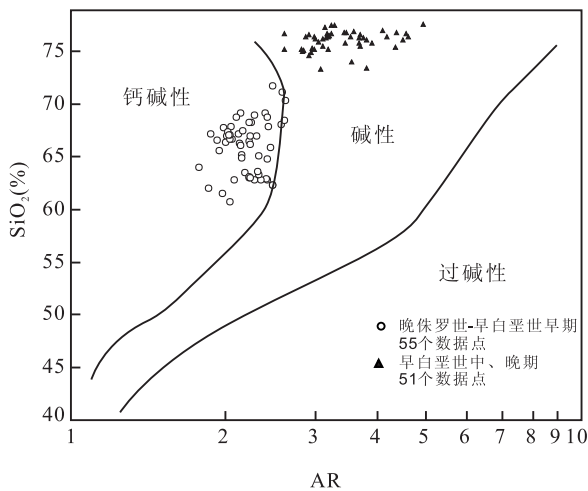


图 3 皖南燕山期岩浆岩碱度率图

Fig. 3 Alkaline diagram of Yanshanian magmatic rocks in south Anhui

与此对比， $K_2$  幕花岗岩特征为：(1)岩石明显具富硅、富钾、富碱，贫钙、镁、铝特征。其  $SiO_2$  含量为 73.37%~77.55%，平均高达 75.97%； $K_2O$  含量亦较  $J_3$ - $K_1$  岩体大，在 3.96%~5.34%，平均 4.77%，其  $K_2O/Na_2O$  达到了 1.42；全碱 ALK 值在 7.4~8.78，平均达 8.17。岩体含较少的  $Al_2O_3$ ，仅为 11.39%~13.32%，平均 12.27%；较少的 CaO，

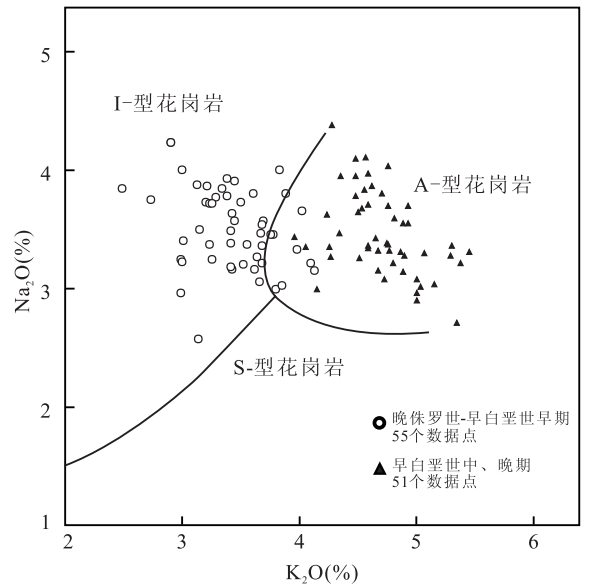


图 4 皖南燕山期岩浆岩  $K_2O$ - $Na_2O$  图解

Fig. 4  $K_2O$ - $Na_2O$  diagram of Yanshanian magmatic rocks in south Anhui

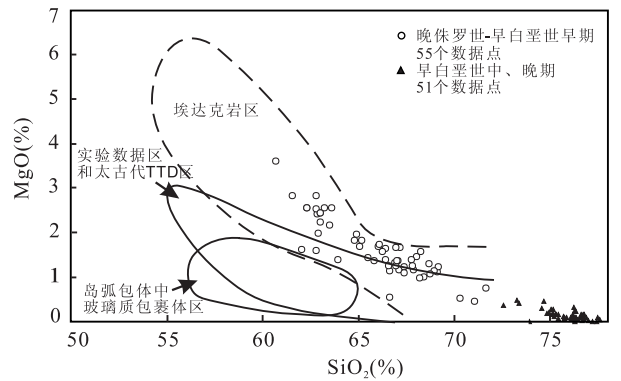


图 5 皖南燕山期岩浆岩  $SiO_2$ - $MgO$  图解

Fig. 5  $SiO_2$ - $MgO$  diagram of Yanshanian magmatic rocks in south Anhui

仅为 0.11%~0.92%，平均 0.59%；较少的  $MgO$ ，仅为 0.04%~0.45%，平均 0.16%，因而使得  $TFeO/MgO$  比值较高，可达 87.2，平均 17.73。(2)岩石属弱准铝碱性系列。其 A/CNK 值在 0.86~1.08 之间，平均 0.94；A.R 值为 2.38~4.9，平均 3.31，碱度率图解中显示岩石为碱性系列。(3) $K_2O$ - $Na_2O$  图解投影  $K_1$  幕岩体为 A 型花岗岩。

### 2.3 稀土及微量元素

皖南燕山期花岗岩体的稀土及微量元素地球化学数据见表 2-3。

$J_3$ - $K_1$  幕花岗闪长岩稀土及微量元素特征如下：(1)岩石稀土元素含量较高，明显呈轻稀土富集、重稀土亏损的特点。其 REE 在 55.95~184.74



$\times 10^{-6}$ 之间,平均  $135.12 \times 10^{-6}$ ;LREE 为  $51.74 \sim 168.23 \times 10^{-6}$ ,平均  $123.98 \times 10^{-6}$ ;HREE 为  $4.21 \sim 16.66 \times 10^{-6}$ ,平均仅  $11.14 \times 10^{-6}$ ;具较大的 LREE/HREE 比值,为  $7.74 \sim 18.72$ ,平均可达  $11.65$ 。稀土元素球粒陨石标准化蛛网图(图 6,左)显示为显著陡右倾型,说明轻、重稀土元素分异明显。(2)岩石微量元素表现为富集 LILE(Rb、La、Ba、Sr)和相对亏损 HFSE(Nb、Ta、Zr、Y),在微量元素球粒陨石标准化蛛网图上呈现显著的 Nb、Ta、Y 负异常谷(图 6,右),埃达克岩指标性元素 Y 和 Yb 明显呈低值,富集 Sr 元素。其 Y 值为  $5.04 \sim 22.2 \times 10^{-6}$ ,平均  $14.23 \times 10^{-6}$ ,小于埃达克岩的范围值  $18 \times 10^{-6}$ ;Yb 值为  $0.587 \sim 2.16 \times 10^{-6}$ ,平均  $1.42 \times 10^{-6}$ ,小于  $1.9 \times 10^{-6}$ ;元素 Sr 含量明显较高,在  $227.5 \sim 1085 \times 10^{-6}$ 之间,平均可达  $488.33 \times 10^{-6}$ ,远大于埃达克岩的  $400 \times 10^{-6}$  限定值。(3)皖

南岩体具较高的  $I(\text{Sr})$  值,较低的  $\epsilon_{\text{Nd}}$  值特征。现有资料数据显示,岩石  $I(\text{Sr})$  为  $0.7004 \sim 0.72267$ ,平均  $0.7092$ ,略大于  $0.704$ ;而  $\epsilon_{\text{Nd}}$  一般小于  $0$ ,平均为  $-8.18^{[5,45,46]}$ ,代表着其岩体形成过程中主要受到的是中、上地壳物质混染,而非地幔物质。(4)岩石具弱的负 Eu 异常,其  $\delta\text{Eu}$  值在  $0.61 \sim 1.12$  之间,平均  $0.8$ ,亏损不明显,在稀土元素球粒陨石标准化配分曲线上表现较为平直,没有明显的异常谷。(5)岩石具有较高  $\text{La}/\text{Yb}$ ,  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ ,  $\text{Sr}/\text{Y}$ ,  $\text{Y}/\text{Yb}$  比值,其  $\text{La}/\text{Yb}$  范围在  $13.82 \sim 68.31$ ,平均  $24.34$ ;  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$  比值为  $9.34 \sim 35.14$ ,平均  $16.07$ ;  $\text{Sr}/\text{Y}$  值为  $12.07 \sim 134.72$ ,平均  $39.05$ ;  $\text{Y}/\text{Yb}$  值为  $7.7 \sim 24.34$ ,平均  $10.59$ 。在  $\text{Sr}/\text{Y}-\text{Y}$  图解(图 7,左)及  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}-\text{Yb}_{\text{N}}$  图解(图 7,右)中,岩石投影落入埃达克岩区。

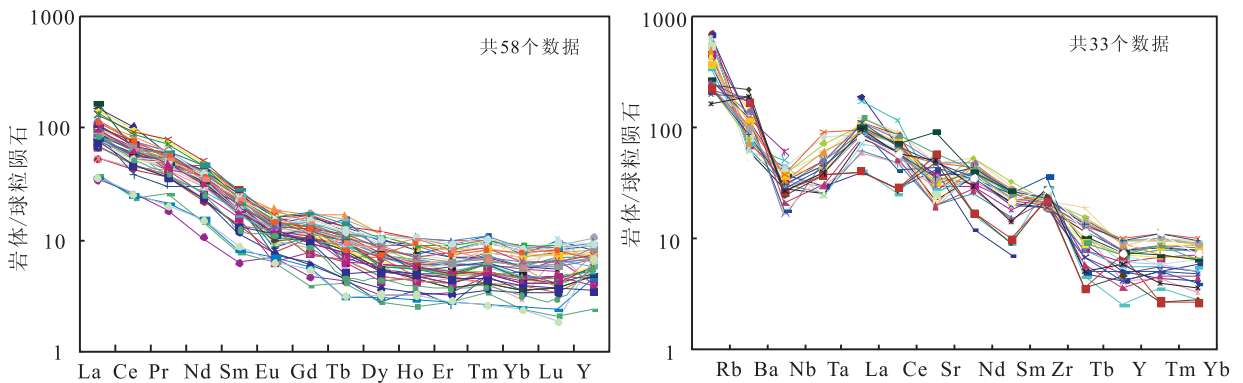


图 6 皖南晚侏罗世—早白垩世早期埃达克岩稀土与微量元素球粒陨石蛛网图

Fig. 6 Spider diagrams of trace and rare earth elements for late Jurassic-early Cretaceous adakite in south Anhui

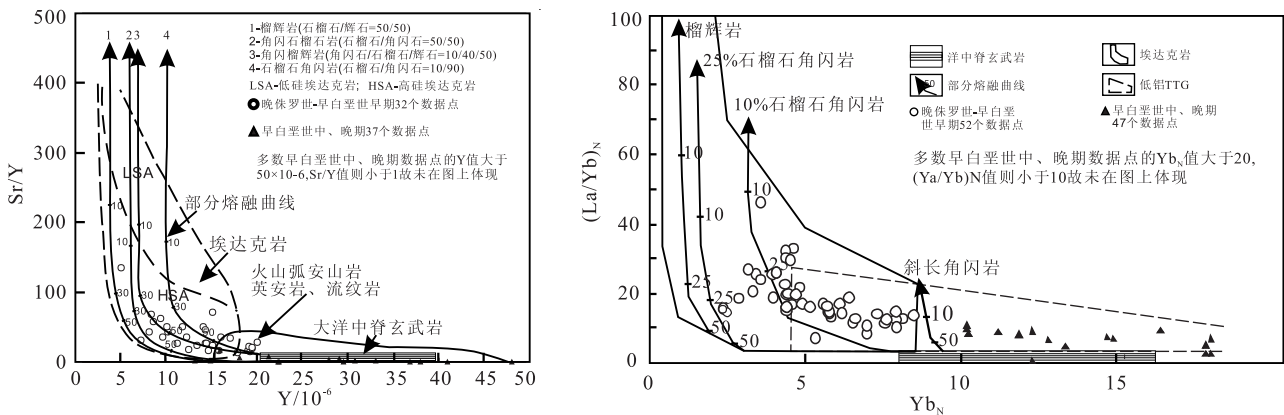


图 7 皖南燕山期埃达克岩稀土、微量元素判别图解

Fig. 7 Diagrams of rare earth and trace elements of Yanshanian adakite in south Anhui

相对而言,  $\text{K}_1^2$  幕花岗岩稀土与微量元素特征为: (1)更高的稀土含量,且 HREE 含量更高。其 REE 总量为  $79.53 \sim 430.46 \times 10^{-6}$ ,平均  $221.96 \times$

$10^{-6}$ ;LREE 平均为  $173.07 \times 10^{-6}$ ,HREE 为  $48.89 \times 10^{-6}$ ,LREE/HREE 比值较低,仅为  $4.33$ ,表明轻稀土富集不明显,重稀土亏损不严重。(2)Eu 亏损

严重,  $\delta E_u$  值仅约 0.22, 在稀土元素配分模式图上(图 8, 左)表现为经典的海鸥型展布。(3) 微量元素方面, 明显富集 Zr(平均  $156.9 \times 10^{-6}$ )、Nb( $45.68 \times 10^{-6}$ )、Rb( $458.06 \times 10^{-6}$ )、Ta( $6.59 \times 10^{-6}$ )、Y( $86.67 \times 10^{-6}$ )、Yb( $9.8 \times 10^{-6}$ ), 显著亏损 Cr( $18.02 \times 10^{-6}$ )、Co( $1.94 \times 10^{-6}$ )、Ni( $4.74 \times 10^{-6}$ )、V( $4.09 \times 10^{-6}$ )、Ba( $71.11 \times 10^{-6}$ )、Sr( $23.95 \times 10^{-6}$ ), 尤其是元素 Ba 和 Sr 的严重亏损,

使得在微量元素的球粒陨石标准化蛛网图上(图 8, 右)呈现出两个明显的负尖峰。(4) 富集元素 F 及高热放射性 U、Th、Ga 等元素, F 主要集中在萤石中, 最高含量可达  $2680 \times 10^{-6}$ ; U 含量  $12.94 \times 10^{-6}$ , Th 含量  $48.79 \times 10^{-6}$ , Ga 含量  $25.27 \times 10^{-6}$ 。(5) 利用  $(Zr+Ce+Y+Nb)-(Na_2O+K_2O)/CaO$  等(图 9)图解判断  $K_1^2$  幕花岗岩为 A 型花岗岩, 进一步用 Nb-Ce-Y 三角图解判断其为  $A_2$  亚型。

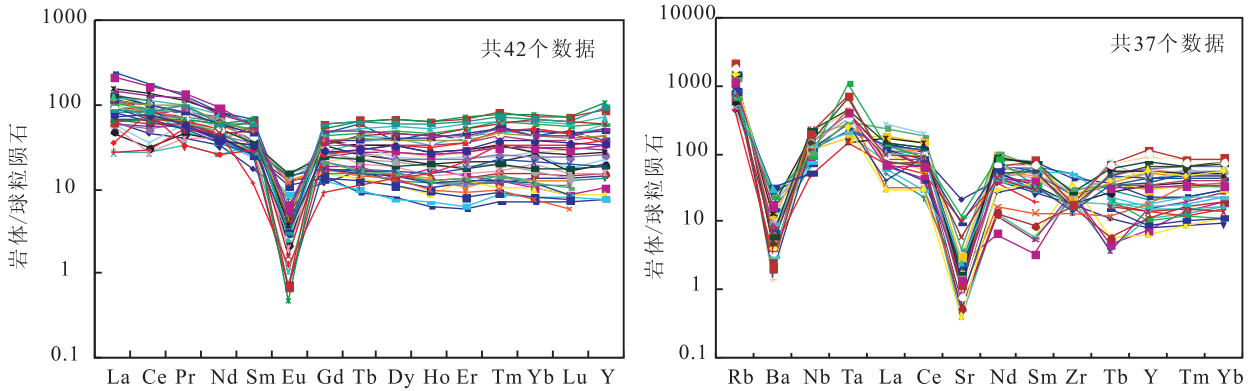


图 8 皖南燕山期 A 型花岗岩稀土与微量元素球粒陨石蛛网图

Fig. 8 Spider diagrams of trace and rare earth elements for A-type Yanshanian granite in south Anhui

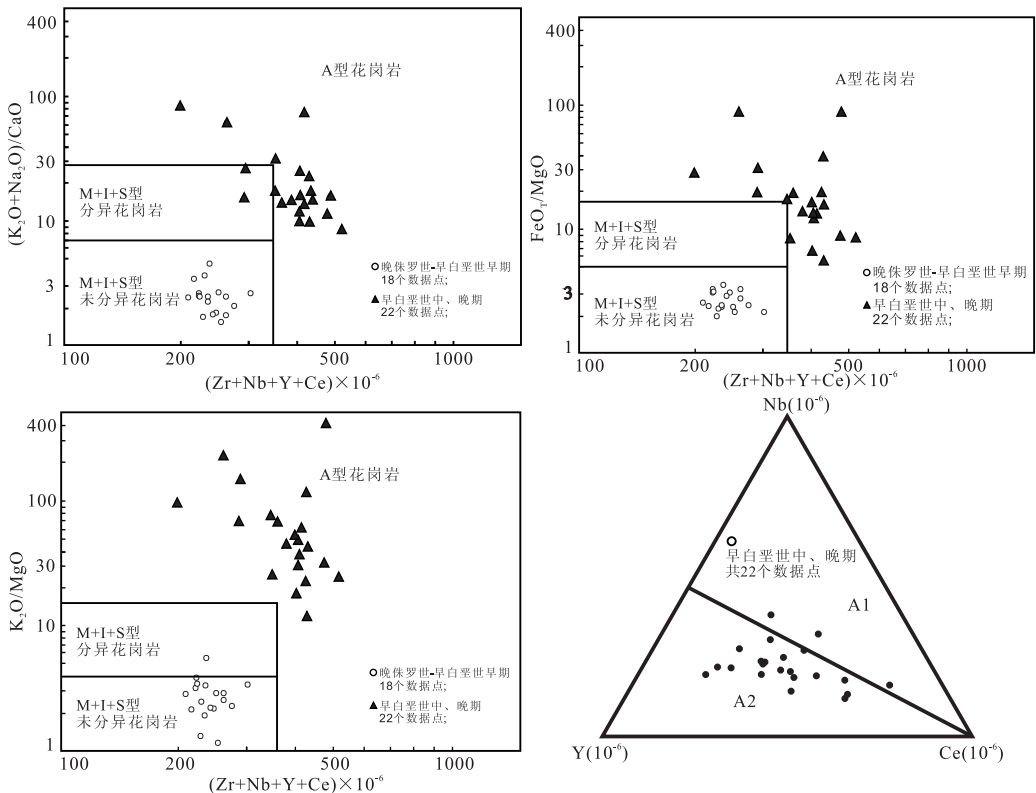


图 9 皖南燕山期 A 型花岗岩判别图解

Fig. 9 Diagrams for A-type Yanshanian granite in south Anhui

综上所述,岩石学及地球化学特征显示皖南  $J_3-K_1$  幕花岗闪长岩为 C 型、高钾钙碱性埃达克岩,而  $K_2$  幕花岗岩为 A 型花岗岩,属  $A_2$  亚型。

### 3 岩石成因及地质意义

#### 3.1 岩石成因

埃达克岩浆是由玄武质岩石在向榴辉岩相或角闪榴辉岩相过渡条件下发生部分熔融形成的,除洋壳俯冲熔融外,增厚陆壳受底侵玄武岩热影响而部分熔融也可以形成埃达克岩,这种由增厚地壳部分熔融形成的 C 型埃达克岩常发生在造山作用的后碰撞阶段<sup>[24~28]</sup>。该阶段构造体制从碰撞期挤压转变为碰撞期拉张,受软流圈热物质上涌影响,下地壳底部岩石处于高热状态,从而使增厚地壳发生部分熔融,形成 C 型埃达克岩岩浆。因此,地壳增厚产生的火山弧是形成该类埃达克岩的主要构造环境。

高钾钙碱性埃达克岩有 3 种可能的成因模型<sup>[28]</sup>: (1)底侵至下地壳底部的幔源玄武质岩石的部分熔融;(2)加厚的下地壳底部基性岩的部分熔融;(3)拆沉的下地壳沉入地幔,受到下部软流圈地幔的加热,导致部分熔融形成埃达克质。如前所述,皖南钙碱性埃达克岩具较低的  $Mg^{\#}$  值,普遍较高的  $I(Sr)$  值,负的  $\epsilon_{Nd}$  值,及亏损相容元素 Mg、Cr 及 Ni 等现象,均表明其成岩过程中较少甚至没有受到地幔物质的混染。同时,皖南埃达克岩亏损 HREE 和 HFSE,较高的 Y/Yb 比值和低  $(Ho/Yb)_N$  比值表明熔融残留相以石榴石为主,但存在有少量的角闪石,为角闪榴辉岩相,稀土元素蛛网图中 HREE 表现为较为平坦的配分模式,说明皖南埃达克岩的成岩模式是加厚的下地壳底部基性岩的部分熔融,其岩浆深度大于 30 km,但不及形成 O 型埃达克岩的地幔楔混染板片熔体(75~85 km)或其它受地幔物质混染程度严重的熔体。

而对于 A 型花岗岩的产出环境, Eby<sup>[38]</sup> 在总结和分析了各种构造背景下产出的 A 型花岗岩地球化学特征基础上,将其划分为  $A_1$  和  $A_2$  两个亚型,对应到构造背景上,  $A_1$  亚型代表大陆裂谷时期或板内的热点、地幔柱等引起的岩浆活动,为非造山环境;而  $A_2$  亚型以造山后环境为主,如陆-陆碰撞后期构造应力拉伸阶段。

印支期构造旋回是我国乃至全球挤压造山运动最为活跃、剧烈的时期,在此期间皖南江南古隆起发生自南东向北西的挤压逆冲,元古代浅变质基底岩系和古生代盖层岩系相互叠置、缩短并隆升。因此

有理由相信,在印支期构造挤压造山作用后出现了地壳加厚现象。到晚侏罗世,印支运动逐渐停止,皖南的大地构造环境开始由板内挤压造山转变为伸展变形阶段,而增厚的高密度地壳因构造伸展而减压发生部分熔融形成埃达克岩浆,并且伴随着区域内众多北-东向断裂的活动,发生了岩浆的侵入与喷发,从而形成了现今的埃达克岩。国内已有多位学者关注过中国东部中生代曾经存在过地壳加厚的课题<sup>[54~56]</sup>,研究认为中国三叠纪以来(160~171 Ma)曾经存在过 7 条大型古山脉和 3 个古高原<sup>[24, 27]</sup>,皖南地区即存在于古湘赣山脉和中国东部古高原范围内,从岩石年龄上看,皖南埃达克岩为 130~170 Ma,平均年龄 145 Ma,与古山脉、古高原存在的时间相当。可以推测古山脉、古高原大约在印支期开始整体抬升,晚侏罗世-早白垩世早期埃达克岩形成时因熔融而发生塌陷,直至早白垩世中、晚期古山脉、古高原完全湮灭消亡。

在加厚地壳部分熔融形成埃达克岩之后,构造环境完全进入到造山后应力拉伸阶段。同时,中国东部地区跨入了大陆边缘滨太平洋构造域发展阶段——大陆边缘活动带阶段。认为太平洋板块的俯冲作用带有一定的 NNE 向剪切走滑性质,这种剪切应力使得中国东部板块广大区域内形成了一系列的 NNE 向深大断裂系统,这种深大断裂的活动产生了大量的拉分盆地,使得岩石圈拉伸消减,引发地幔熔融物质上涌并发生底侵,使加厚地壳熔融之后的正常安山质地壳继续部分熔融,从而形成了燕山期  $K_1^2$  幕的  $A_2$  型花岗岩<sup>[44, 57]</sup>。

主元素构造环境图解显示  $J_3-K_1$  幕埃达克岩落入 IAG+CAG+CCG 区(碰撞造山花岗岩),与微量元素构造环境判别图解中 VAG(大陆火山弧花岗岩)相当,表明皖南埃达克岩是源自挤压碰撞造山而形成的加厚地壳熔融。而  $K_2$  幕花岗岩则均落入 POG 区(造山后花岗岩)及 WPG 区(板内花岗岩)(图 10),代表着碰撞造山后减薄地壳中的花岗岩。

#### 3.2 地质意义

鉴于高钾钙碱性埃达克岩及 A 型花岗岩独特的地球化学特征及岩石成因,它们在皖南地区的发现有着重要的地质意义和指示:(1)可用于追踪地质历史上地壳增厚事件,指示构造应力的转变。皖南燕山期埃达克岩的发现,证实了中国东部地区存在过印支期地壳加厚现象,于晚侏罗世-早白垩世早期(130~170 Ma)开始发生增厚地壳熔融形成埃达克岩,代表着构造应力由挤压开始转变为伸展。

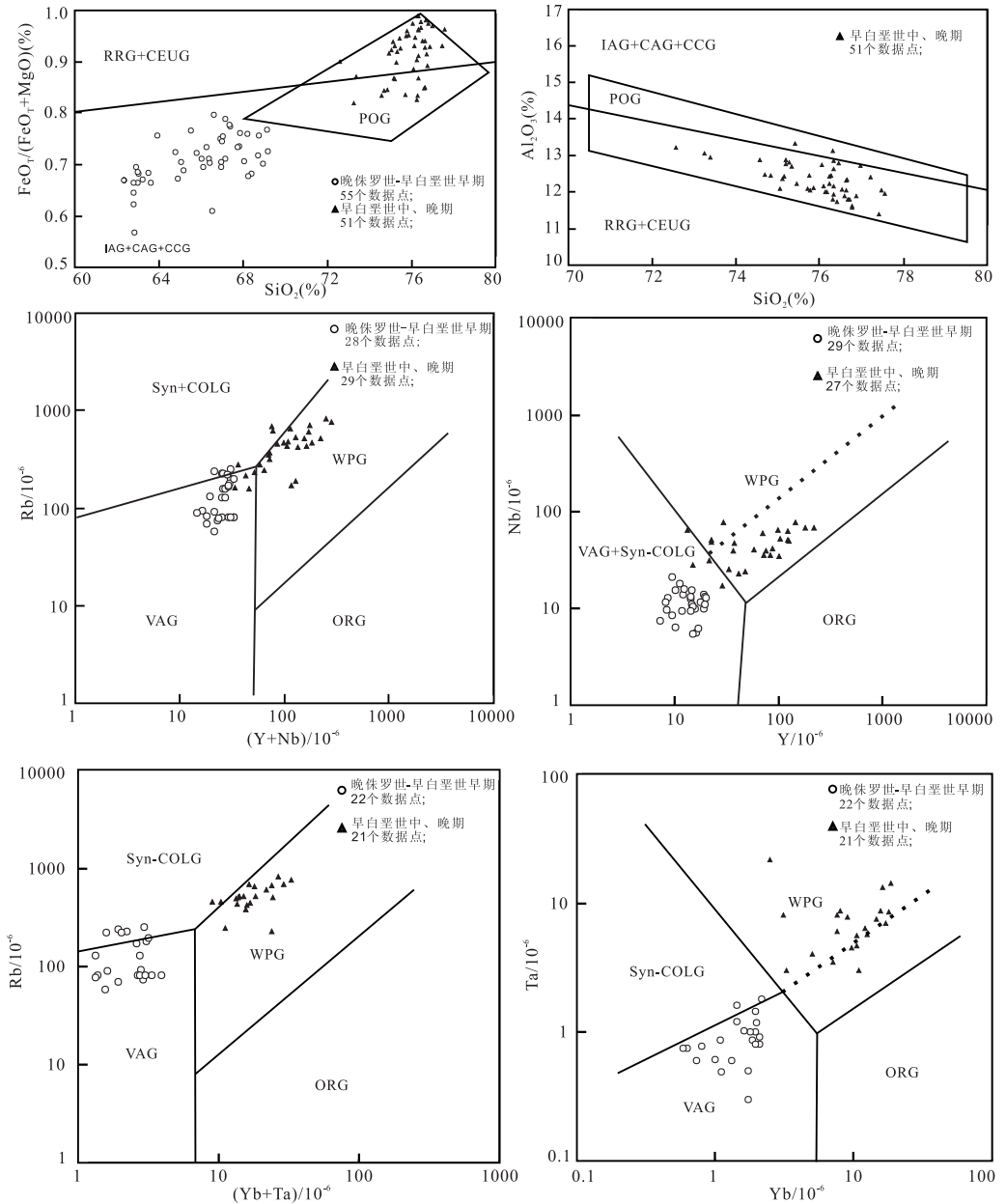


图 10 皖南燕山期花岗岩构造环境判别图解

Fig. 10 Tectonic environment diagrams for Yanshanian granite in south Anhui

而  $A_2$  型花岗岩的形成则意味着皖南及邻区在早白垩世中、晚期 (123.5 Ma) 时加厚地壳已经熔融完毕, 整个构造环境进入了伸展阶段。从印支期的挤压造山到晚侏罗世—早白垩世早期的埃达克岩形成, 再到早白垩世中、晚期  $A_2$  型花岗岩的发育, 这是一个连续发展的阶段。(2) 可用于地质矿产勘探, 发挥理论指导作用。埃达克岩的形成需要较高的温度 (850~1150℃)、较高的压力 (1~4 GPa) 及热体流体的参与, 因此与斑岩铜矿床及 Au、Ag、Mo 低温热液矿床有着密切的成因联系。统计分析认为<sup>[16,17]</sup>, 在全球范围内多数埃达克岩省也是重要的

成矿省; 在地区规模上, 多数矿床的主岩为埃达克岩; 在矿区规模上, 当埃达克岩与非埃达克岩共存时, 成矿的主要是埃达克岩。而鉴于 A 型花岗岩的富含高稀土矿物特征, 可着重用于稀土元素的成矿研究, 同时 A 型花岗岩也对 W、Zn、Ta、Zr、Ti、Cu 及放射性元素 U、Th 等有富集成矿作用。

## 4 结 论

(1) 皖南及邻区燕山期  $J_3-K_1^1$  花岗闪长岩地球化学特征与埃达克岩一致, 类型属 C 型、高钾钙碱性埃达克岩, 而燕山期  $K_2^2$  幕花岗岩地化特征表明

其为 A<sub>2</sub> 型花岗岩。

(2) 皖南印支期造山后有地壳加厚现象, 晚侏罗世-早白垩世早期区域构造应力发生转变, 由碰撞挤压开始转变为造山后伸展, 导致加厚地壳部分熔融形成埃达克岩浆。至早白垩世中、晚期, 加厚地壳熔融结束, 区域构造处于造山后的完全伸展环境, 正常安山质地壳在印支期加厚地壳熔融结束之后继续受地幔物质底侵而部分熔融形成 A<sub>2</sub> 型花岗岩。

(3) 埃达克岩是一种十分有利的成矿母岩, 与 Au、Cu、Ag、Mo 等矿产有着密切的成因联系, 而 A 型花岗岩则富含稀土和高放射性矿物。加强埃达克岩与 A 型花岗岩的研究, 可为皖南地区寻找斑岩铜矿床及稀土、稀有金属等矿床提供新的思路和方向。

参考文献 (References):

[1] 周泰禧, 陈江峰, 李学明, Foland K A. 安徽省印支期岩浆活动质疑[J]. 岩石学报, 1988, (3): 46-53.  
Zhou Taixi, Chen Jiangfeng, Li Xueming, Foland K A. Has the Indo-Sinian magatism occurred in Anhui Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 1988, (3): 46-53. (in Chinese with English abstract)

[2] 陈江峰, 周泰禧, 李学明, K. A. Foland, 黄承义, 卢伟. 安徽南部燕山期中酸性侵入岩的源区铷、钕同位素制约[J]. 地球化学, 1993, (3): 261-268.  
Chen Jiangfeng, Zhou Taixi, Li Xueming, Foland K A, Huang Chengyi, Lu Wei. Sr and Nd isotopic constraints on source regions of the intermediate and acid intrusions from southen Anhui province[J]. Geochimia, 1993, (3): 261-268. (in Chinese with English abstract)

[3] 张理刚, 邢凤鸣. 安徽中生代花岗岩铅同位素组成与铅同位素省划分[J]. 岩石学报, 1993, 9(2): 105-114.  
Zhang Ligang, Xing Fengming. Lead isotope compositions of Mesozoic granitoids and lead isotopic provinces from Anhui Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 1993, 9(2): 105-114. (in Chinese with English abstract)

[4] Chen J F, Zhou T X, Foland K A. <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar and Rb-Sr geochronology of the Qingyang batholith, Anhui Province, China [J]. Geochemistry, 1985, (4): 220-235.

[5] 沈渭洲, 凌洪飞, 李武显, 王德滋. 江西中生代花岗岩的 Nd-Sr 同位素研究[J]. 科学通报, 1998, 43(24): 2653-2657.  
Shen Weizhou, Ling Hongfei, Li Wuxian, Wang Dezi. Nd-Sr isotope studies on Mesozoic granites in Jiangxi Province[J]. Chinese Sci. Bull., 1998, 43(24): 2653-2657. (in Chinese with English abstract)

[6] 邢凤鸣, 徐祥. 安徽两条 A 型花岗岩带[J]. 岩石学报, 1994, 10(4): 358-368.  
Xing Fengming, Xu Xiang. Two A-type granite belts from Anhui[J]. Acta Petrologica Sinica, 1994, 10(4): 357-369. (in Chinese with English abstract)

[7] 赵玉琛. 皖南两花岗岩体的岩石学特征及成矿装属性判别

[J]. 安徽地质, 1994, 4(4): 31-43.  
Zhao Yuchen. Petrogic characteristics and discriminations of metallogenic specialization of 2 granite masses in south Anhui[J]. Geology of Anhui, 1994, 4(4): 31-43. (in Chinese with English abstract)

[8] 姜耀辉, 戚建中, 刘红樱, 王文岗. 浙皖相邻地区 A<sub>2</sub> 型花岗岩[J]. 火山地质与矿产, 1999, 20(1): 48-55.  
Jiang Yaohui, Qi Jianzhong, Liu Hongying, Wang Wengang. A<sub>2</sub>-Type granite in neighbouring area of Zhejiang-Jiangxi-Anhui Provinces[J]. Volcanology & Mineral Resources, 1990, 20(1): 48-55. (in Chinese with English abstract)

[9] 周涛发, 袁峰, 侯明金, 杜建国, 范裕, 朱光, 岳书仓. 江南隆起带东段皖赣相邻区燕山期花岗岩类的成因及形成的地球动力学背景[J]. 矿物岩石, 2004, 24(3): 65-71.  
Zhou Taofa, Yuan Feng, Hou Mingjin, Du Jianguo, Fan Yu, Zhu Guang, Yue Shucang. Genesis and geodynamic background of Yanshanian granitoids in the eastern Jiangnan uplift in the adjacent area of Anhui and Jiangxi Provinces, China[J]. J Mineral Petrol, 2004, 24(3): 65-71. (in Chinese with English abstract)

[10] 袁峰, 周涛发, 范裕, 岳书仓, 朱光, 侯明金. 皖赣相邻区燕山期花岗岩类构造背景及其意义[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2005, 28(9): 1130-1134.  
Yuan Feng, Zhou Taofa, Fan Yu, Yue Shucang, Zhu Guang, Hou Mingjin. Tectonic setting of granitoids of Yanshanian Stage in the adjoining region of Anhui and Jiangxi Province and Its Significance[J]. Journal of Hefei University of Technology, 2005, 28(9): 1130-1134. (in Chinese with English abstract)

[11] 张舒, 张招崇, 艾羽, 袁万明, 马乐天. 安徽黄山花岗岩岩石学、矿物学及地球化学研究[J]. 岩石学报, 2009, 25(1): 25-38.  
Zhang Shu, Zhang Zhaochong, Ai Yu, Yuan Wanming, Ma Letian. The Petrology, mineralogy and geochemistry study of the Huangshan granite intrusion in Anhui Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(1): 25-38. (in Chinese with English abstract)

[12] 薛怀民, 汪应庚, 马芳, 汪城, 王德恩, 左延龙. 高度演化的黄山 A 型花岗岩: 对扬子克拉通东南部中生代岩石圈减薄的约束? [J]. 地质学报, 2009, 83(2): 247-259.  
Xue Huaimin, Wang Yinggeng, Ma Fang, Wang Cheng, Wang De'en, Zhuo Yanlong. The Huangshan A-type granites with tetrad REE: Constraints on Mesozoic lithospheric thinning of the southeastern Yangtze craton[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(2): 247-259. (in Chinese with English abstract)

[13] Defant M J, Drummond M S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere[J]. Nature, 1990, 347: 662-665.

[14] Drummond M S, Defant M J. A model for trondhjemitic-tonalitic adakitic genesis and crustal growth via slab melting: Archaean to modern comparisons [J]. Geophys. Res., 1990, 95: 21503-21521.

- [15] Defant M J, Drummond M S. Mount St Helens: Potential example of the partial melting of the subducted lithosphere in a volcanic arc[J]. *Geology*, 1993, 21: 547-550.
- [16] Thiebtemont D, Stein G, Lescuyer J L. Gisements epithermaux et porphyriques: la connexion adakite[J]. *Earth Planet. Sci.*, 1997, 325: 103-109.
- [17] Oyarzun R, Márquez A, Lillo J, Lopez I, Rivera S. Giant versus small porphyry copper deposits of Cenozoic age in northern Chile: Adakitic versus normal calc-alkaline magmatism[J]. *Mineral Deposit*, 2001, 36: 794-798.
- [18] Stern C R, Killian R. Role of the subducted slab, mantle wedge and continental crust in the generation of adakites from the Andean Austral Volcanic Zone[J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1996, 123: 263-281.
- [19] Defant M J, Xu J F, Kepezhinskas P, Zhang Q, Sinica A P. Adakites: Some variations on a theme[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18: 129-142.
- [20] Rapp R P, Xiao L, Shimizu N. Experimental constraints on the origin of potassium rich adakites in eastern China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 19: 293-302.
- [21] 王焰, 张旗, 钱青. 埃达克岩(adakite)的地球化学特征及其构造意义[J]. *地质科学*, 2000, 35(2): 251-256.  
Wang Yan, Zhang Qi, Qian Qing. Adakite geochemical characteristics and tectonic significances[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 2000, 35(2): 251-256. (in Chinese with English abstract)
- [22] 王强, 许继锋, 王建新, 赵振华, 王人镜, 邱家骧, 熊小林, 桑隆康, 彭练红. 北大别山 adakite 型灰色片麻岩的确定及其与超高压变质作用的关系[J]. *科学通报*, 2000, 46(10): 1017-1024.  
Wang Qiang, Xu Jifeng, Wang Jianxin, Zhao Zhenhua, Wang Renjing, Qiu Jiexiang, Xiong Xiaolin, Sang Longkang, Peng Lianhong. The recognition of adakite-type gneisses in the north Dabie Mountains and its implication to ultrahigh-pressure metamorphic geology[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45: 1927-1933. (in Chinese with English abstract)
- [23] 王强, 赵振华, 熊小林, 许继锋. 底侵玄武质下地壳的熔融: 来自安徽沙溪 adakite 质富钠石英闪长玢岩的证据[J]. *地球化学*, 2001, 30(4): 353-362.  
Wang Qiang, Zhao Zhenhua, Xiong Xiaolin, Xu Jifeng. Melting of the underplated basaltic lower crust: Evidence from the Shaxi adakite sodic quartz diorite-porphyrites, Anhui Province, China[J]. *Geochimica*, 2001, 30(4): 353-362. (in Chinese with English abstract)
- [24] 张旗, 钱青, 王二七, 王焰, 赵太平, 郝杰, 郭光军. 燕山中晚期的中国东部高原: 埃达克岩的启示[J]. *地质科学*, 2001, 36(2): 248-255.  
Zhang Qi, Qian Qing, Wang Erqi, Wang yan, Zhao Taiping, Hao Jie, Guo Guangjun. An east China Plateau in mid-late Yanshanian Period: Implication from adakites[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2001, 36(2): 248-255. (in Chinese with English abstract)
- [25] 张旗, 王焰, 钱青, 杨进辉, 王元龙, 赵太平, 郭光军. 中国东部燕山期埃达克岩的特征及其构造-成矿意义[J]. *岩石学报*, 2001, 17(2): 236-244.  
Zhang Qi, Wang Yan, Qian Qing, Yang Jinhui, Wang Yuanlong, Zhao Taiping, Guo Guangjun. The characteristics and tectonic-metallogenic significances of the adakites in Yanshan Period from eastern China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2001, 17(2): 236-244. (in Chinese with English abstract)
- [26] 张旗, 王焰, 王元龙. 燕山期中国东部高原下地壳组成初探: 埃达克岩 Sr、Nd 同位素制约[J]. *岩石学报*, 2001, 17(4): 505-512.  
Zhang Qi, Wang Yan, Wang Yuanlong. Preliminary study on the components of the lower crust in east China Plateau during Yanshanian Period: Constraints on Sr and Nd isotopic compositions of adakite-like rocks[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2001, 17(4): 505-513. (in Chinese with English abstract)
- [27] 张旗, 王元龙, 金惟俊, 李承东. 晚中生代的中国东部高原: 证据、问题和启示[J]. *地质通报*, 2008, 27(90): 1404-1430.  
Zhang Qi, Wang Yuanlong, Jin Weijun, Li Chengdong. Eastern China Plateau during the Late Mesozoic: Evidence, problems and implication[J]. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(9): 1404-1430. (in Chinese with English abstract)
- [28] 张旗, 许继峰, 王焰, 肖龙, 刘红涛, 王元龙. 埃达克岩的多样性[J]. *地质通报*, 2004, 23(9-10): 959-965.  
Zhang Qi, Xu Jifeng, Wang Yan, Xiao Long, Liu Hongtao, Wang Yuanlong. Diversity of adakite[J]. *Geological Bulletin in China*, 2004, 23(9-10): 959-965. (in Chinese with English abstract)
- [29] 钱青, 钟孙霖, 李通艺, 温大任. 八达岭基性岩和高 Ba-Sr 花岗岩地球化学特征及成因探讨: 华北和大别-苏鲁造山带中生代岩浆岩的对比[J]. *岩石学报*, 2002, 18(3): 275-292.  
Qian Qing, Zhong Sunlin, Li Tongyi, Wen Daren. Geochemical characteristics and petrogenesis of the Badaling high Ba-Sr granitoids: A comparison of igneous rocks from North China and the Dabie-Sulu orogen[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18(3): 275-292. (in Chinese with English abstract)
- [30] 葛小月, 李献华, 陈志刚, 李伍平. 中国东部燕山期高 Sr 低 Y 型中酸性火成岩的地球化学特征及成因: 对中国东部地壳厚度的制约[J]. *科学通报*, 2002, 47(6): 474-480.  
Ge Xiaoyue, Li Xianhua, Chen Zhigang, Li Wuping. Geochemistry and petrogenesis of Jurassic high Sr/low Y granitoids in eastern China: Constraints on crustal thickness [J]. *China Science Bulletin*, 2002, 47(11): 962-968. (in Chinese with English abstract)
- [31] 余良范, 杨晓勇, 孙卫东, 池月余, 张千明. 埃达克岩与皖中沙溪斑岩铜矿的成矿作用[J]. *中国地质*, 2008, 35(6): 1150-1161.  
Yu Liangfan, Yang Xiaoyong, Sun Weidong, Chi Yueyu, Zhang Qianming. The adakite and mineralization of the Shaxi

- porphyry copper-gold deposit, Central Anhui[J]. *Geology in China*, 2008, 35(6): 1150—1161. (in Chinese with English abstract)
- [32] 汪洋, 程素华. “C型埃达克岩”: 一个基于误解的概念? [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2010, 29(3): 284—292.  
Wang Yang, Cheng Suhua. The “C-type adakite”: A concept based on misunderstanding? [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2010, 29(3): 284—292. (in Chinese with English abstract)
- [33] 董申保, 田伟. 埃达克岩的原义、特征及成因[J]. *地学前缘*, 2004, 11(4): 585—594.  
Dong Shenbao, Tian Wei. The nomenclature, characteristics and petrogenesis of adakite [J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(4): 585—594. (in Chinese with English abstract)
- [34] 王强, 许继峰, 赵振华, 资峰, 唐功建, 贾小辉, 姜子琦. 埃达克质岩的构造背景与岩石组合[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2008, 27(4): 344—350.  
Wang Qiang, Xu Jifeng, Zhao Zhenhua, Zi Feng, Tang Gongjian, Jia Xiaohui, Jiang Ziqi. Tectonic setting and associated rock suites of adakitic rocks [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2008, 27(4): 344—350. (in Chinese with English abstract)
- [35] Loiselle M C. Characteristics of anorogenic granites[J]. *Geol. Soc. Am. Abs. Prog.*, 1977, 10: 468.
- [36] Loiselle M C, Wones D S. Characteristics and origin of anorogenic granites[J]. *Geological Society of America*, 1979, 11: 468.
- [37] Eby G N. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis[J]. *Lithos*, 1990, 26: 115—134.
- [38] Eby G N. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications[J]. *Geology*, 1992, 20: 641—644.
- [39] King P L, White A J R, Chappell B W. Characterization and origin of aluminous A-type granites of the Lachlan Fold Belt, southeastern Australia[J]. *J Petrol*, 1997, 36: 371—391.
- [40] King P L, Chappell B W, Allen C M, White A J R. Are A-type granites the high-temperature felsic granites? Evidence from fractionated granites of the Wangrah Suite[J]. *Aust J Earth Sci*, 2001, 48: 501—514.
- [41] Frost C D, Frost B R. Reduced rapakivi-type granites: The tholeiite connection[J]. *Geology*, 1997, 25: 647—650.
- [42] Bonin B. From orogenic to anorogenic settings: Evolution of granitoid suites after a major orogenesis[J]. *Geol. J. (W. S. Pitcher Special Issue)*, 1990, 25: 261—270.
- [43] Bonin B. A-type granites and related rocks: Evolution of a concept, problems and prospects[J]. *Lithos*, 2007, 97: 1—29.
- [44] 王德滋, 周新民. 中国东南部晚中生代花岗质火山-侵入杂岩成因与地壳演化[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 160—188.  
Wang Dezi, Zhou Xinming. *Petrogenesis of granitic volcanic-intrusive mixtite rock at late Mesozoic and crustal evolution in Southeast China*[M]. Beijing: Science Press, 2002: 160—188. (in Chinese)
- [45] 邢凤鸣, 徐祥. 皖南中生代花岗岩类 Nd, Sr, Pb 同位素特点[J]. *安徽地质*, 1993, 3(1): 35—40.  
Xing Fengming, Xu Xiang. Characteristics of Nd, Sr, Pb isotopes of granites in southern Anhui Province[J]. *Geology of Anhui*, 1993, 3(1): 35—40. (in Chinese with English abstract)
- [46] 袁峰, 周涛发, 范裕, 岳书仓, 朱光, 侯明金. 江南隆起带皖赣相邻区燕山期岩浆岩 Nd-Sr 同位素特征[J]. *地质科学*, 2006, 41(1): 133—142.  
Yuan Feng, Zhou Taofa, Fan Yu, Yue Shucang, Zhu Guang, Hou Mingjin. Characteristics of Nd-Sr isotopes of the Yanshanian magmatic rocks in the Jiangnan rise bordering Anhui and Jiangxi provinces[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2006, 41(1): 133—142. (in Chinese with English abstract)
- [47] 唐永成, 曹静平, 支利庚, 汪应庚. 皖东南区域地质矿产评价[M]. 北京: 地质出版社, 2010: 1—64.  
Tang Yongcheng, Cao Jingping, Zhi Ligeng, Wang Yinggen. *Regional geological and mineral evaluation in South Anhui*[M]. Beijing: Geology Press, 2010: 1—64. (in Chinese)
- [48] 薛怀民, 汪应庚, 马芳, 汪城, 王德恩, 左延龙. 皖南太平-黄山复合岩体的 SHRIMP 年代学: 由钙碱性向碱性转变对扬子克拉通东南部中生代岩石圈减薄时间的约束[J]. *中国科学(D辑)*, 2009, 39(7): 979—993.  
Xue Huaiming, Wang Yinggen, Ma Fang, Wang Cheng, Wang De'en, Zuo Yanlong. SHRIMP chronology of Huangshan-Taiping complex rock mass in South Anhui: Constraints on Mesozoic lithospheric thinning of the southeastern Yangtze craton by reason of change from calc-alkaline to alkaline[J]. *Science in China (series D)*, 2009, 39(7): 979—993. (in Chinese)
- [49] 邱瑞龙. 青阳岩体微粒包体及岩浆动力学特征[J]. *岩石矿物学杂志*, 1996, 15(4): 323—332.  
Qiu Ruilong. Micrograined inclusions in Qingyang rock body and their magmatic dynamic characteristics[J]. *Acta Petrol. Mineral.*, 1996, 15(4): 323—332. (in Chinese with English abstract)
- [50] 钱辉, 夏军. 皖南宁国-旌德一带花岗岩地球化学特征及成因[J]. *安徽地质*, 2010, 20(3): 183—188.  
Qian Hui, Xia Jun. Geochemical features and origin of granites around Ningguo-Jingde in south Anhui[J]. *Geology of Anhui*, 2010, 20(3): 183—188. (in Chinese with English abstract)
- [51] 钟华明, 姚仲伯, 许卫. 九华山复式杂岩体的构成及主要特征[J]. *安徽地质*, 1996, 6(3): 37—47.  
Zhong Huaming, Yao Zhongbo, Xu Wei. The constitution of the Jiuhuashan multiple complex intrusion and the major features[J]. *Geology of Anhui*, 1995, 6(3): 37—47. (in Chinese with English abstract)
- [52] 孙海田. 德兴铜矿、银山铜铅锌矿床的岩浆岩石学化学特征及其成岩成矿机理探讨[J]. *中国地质科学院院报*, 1988, 18: 93—103.



- Sun Haitian. Petrochemistry and petrogenesis of the magmatic rocks of the Dexing copper and Yinshan Cu-Pb-Zn mines and ore-forming mechanism of the related ore deposits[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 1988, 18: 93—103. (in Chinese with English abstract)
- [53] 钱鹏, 陆建军. 德兴铜矿花岗闪长斑岩物质来源的微量元素研究[J]. 地质找矿论丛, 2005, 20(2): 75—79.
- Qian Peng, Lu Jianjun. The material resources of granodiorite porphyry in the Dexing copper ore district: A study on trace elements[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2005, 20(2): 75—79. (in Chinese with English abstract)
- [54] 邓晋福, 赵国春, 赵海玲, 罗照华, 戴圣潜, 李凯明. 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: 41—48.
- Deng Jinfu, Zhao Guochun, Zhao Hailing, Luo Zhaohua, Dai Shengqian, Li Kaiming. Yanshanian igneous petrotectonic assemblages and orogenic-deep processes in east China[J]. Geol. Rev., 2000, 46(1): 41—48. (in Chinese with English abstract)
- [55] 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学, 罗照华. 中国大陆根-柱构造-大陆动力学的钥匙[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 1—110.
- Deng Jinfu, Zhao Hailing, Mo Xuanxue, Luo Zhaohua. The key of continental root-pole tectonics and the dynamics in China[M]. Beijing: Geol. Pub. House, 1996: 1—110. (in Chinese)
- [56] 董树文, 吴锡浩, 吴珍汉, 邓晋福, 高锐, 王成善. 论东亚大陆的构造翘变-燕山运动的全球意义[J]. 地质论评, 2000, 46: 8—13.
- Dong Shuwen, Wu Xihao, Wu Zhenhan, Deng Jinfu, Gao Rui, Wang Chengshan. On tectonic seesawing of the east Asia continent-global implication of the Yanshanian movement [J]. Geol. Rev., 2000, 46(1): 8—13. (in Chinese with English abstract)
- [57] 王德滋, 赵广涛, 邱检生. 中国东部晚中生代 A 型花岗岩的构造制约[J]. 高校地质学报, 1995, 1(2): 13—21.
- Wang Dezi, Zhao Guangtao, Qiu Jiansheng. The tectonic constraint on the Late Mesozoic A-type granitoids in eastern China[J]. Geological Journal of China Universities, 1995, 1(2): 13—21. (in Chinese with English abstract)

· 学会之声 ·

## 全国第六次火山学术研讨会纪要

全国第六次火山学术研讨会于 2011 年 8 月 27 日至 30 日, 在内蒙古自治区锡林浩特市顺利召开。会议由中国灾害防御协会火山专业委员会、中国矿物岩石地球化学学会火山与地球内部化学专业委员会、内蒙古自治区国土资源厅、内蒙古自治区地质学会、IAVCEI 中国委员会、同位素地球化学国家重点实验室共同主办, 锡林郭勒盟行政公署办公厅, 锡林浩特市人民政府, 锡林郭勒盟国土资源局, 锡林浩特市国土资源局, 内蒙古第九地质矿产勘察开发院、阿巴嘎旗政府等单位承办。包括国内科研院所和高校从事火山和相关学科研究的专家学者, 共计 45 个相关单位的近 150 名代表参会, 使这次火山学术研讨会充满热烈气氛。

中国灾害防御协会火山专业委员会主任、中国矿物岩石地球化学学会火山与地球内部化学专业委员会樊祺诚研究员致开幕辞, 中国科学院院士刘嘉麒、锡林郭勒盟行署副盟长莘文印、内蒙古自治区国土资源厅副厅长、地质学会副理事长陈喜良到会致贺。樊祺诚主任在致辞中强调内蒙古地域辽阔, 是我国新生代火山活动的重要地区, 锡林郭勒盟就有近 300 座火山和上万平方米的火山岩, 这一得天独厚的自然资源为我们开展火山学研究, 也为内蒙古和锡林郭勒盟的资源开发利用和经济发展提供了大舞台。会议收到论文摘要 70 篇, 做了 36 个会议报告, 其中 5 个主题报告, 代表们

围绕我国活动火山监测和成因机理、第四纪火山地质、大火成岩省、大陆火山作用的资源保护与开发、火山作用与环境效应等进行了热烈的交流与讨论, 一些青年学生的精彩报告, 受到与会专家学者的赞许, 从中看到了我国火山学科发展的希望。

会后考察代表们目睹了无垠草原上一座座规模宏大的火山, 亲历了锡林郭勒草原上的天然火山“博物馆”之壮观, 鸽子山全新世火山完好的火山机构及喷气锥构造的数量和完整性均属国内外罕见, 给代表们留下了深刻印象。与会专家考察后一致呼吁, 要尽快建立火山地质遗迹保护区或火山地质公园, 使其成为永久性科学研究和科普的基地, 成为独具特色的旅游产品, 为当地经济建设服务。同时也希望广大的火山工作者认真做好活动火山的监测与研究, 为火山区的社会稳定与经济发展服务, 利用火山作为透视地球内部的窗口, 为地球层圈演化、环境气候变化和油气、矿产资源研究等提供科学依据。

最终, 会议在热烈气氛中闭幕, 并达到预期成果, 取得圆满成功。

(樊祺诚 供稿)