

文章编号:1671-4814(2015)04-235-09

湘西南苗儿山地区早燕山期花岗岩地球化学特征及形成环境^{*}

柏道远,钟响,贾朋远,熊雄

(湖南省地质调查院,长沙 410016)

摘要:湘西南苗儿山地区早燕山期花岗岩形成于晚侏罗世早期,侵入于加里东期花岗岩(构成苗儿山岩体主体)和印支期花岗岩中。主要岩石类型为细粒—中粗粒斑状黑云母二长花岗岩,局部发育细粒二云母二长花岗岩。岩石 SiO_2 为 76.02%~80.26%、 Al_2O_3 为 10.94%~12.88%、 K_2O 为 3.42%~5.34%、 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 为 5.37%~8.22%、ASI 为 1.04~1.31(平均 1.14),总体属铁质、钙碱性系列过铝质花岗岩类。微量元素中 Ba、Sr、P、Ti 表现为强烈亏损,Rb、(Th+U+K)、(La+Ce)、Nd、(Zr+Hf+Sm)、(Y+Yb+Lu)等相对富集。稀土总量较低(122.9~175.4 $\mu\text{g/g}$),轻稀土略富集($(\text{La}/\text{Yb})_N=2.55\sim 3.79$),具明显的负 Eu 异常($\delta\text{Eu}=0.07\sim 0.22$)。岩体 I_s 值为 0.99007 和 1.15860, $\epsilon\text{Nd}(t)$ 值为 -9.20 和 -8.80,两阶段 Nd 模式年龄(t_{DM})为 ~1.7Ga。C/MF-A/MF 图解显示源岩主要为变质泥质岩和变质杂砂岩。强过铝花岗岩样品的 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ 比值部分 < 100。上述地球化学特征表明花岗岩为 S 型花岗岩,源岩主要为中、上地壳酸性岩石,并有少量地幔物质加入。花岗岩主量和微量元素构造环境判别图解以及区域构造演化过程表明花岗岩形成于后造山构造环境,岩浆形成与先期(中侏罗世)陆壳增厚升温及软流圈地幔的热传递有关。

关键词:苗儿山地区;早燕山期;地球化学特征;S 型花岗岩;后造山构造环境;湘西南

中图分类号: P588.12⁺¹

文献标识码: A

湘西南与桂东北交界地区发育新元古代、加里东期、印支期和早燕山期等多阶段花岗岩(图 1)。其中加里东期和印支期花岗岩分布最广,并已得到较多研究^[1-7]。早燕山期花岗岩分布较少,且主要分布于苗儿山前侏罗纪岩体中(图 1)。尽管前人对该地区中生代花岗岩的成岩成矿时代和成矿作用等进行了较多研究^[6-11],但对于早燕山期花岗岩地质地球化学特征及形成环境方面的研究尚非常薄弱。

本文对苗儿山地区早燕山期花岗岩的地球化学特征进行研究,探讨岩体成因及其形成的构造环境,为区域早燕山期花岗岩及成矿背景研究提供新资料。

1 地质和岩石概况

苗儿山岩体地处南岭西段,跨湘西南和桂东北,

为一长轴呈 SN 向至 NNE 向的大型复式岩体(图 1a)。岩体主体为加里东期花岗岩,少量印支期和早燕山期花岗岩;岩体西侧尚出露少量新元古代花岗岩^[12](图 1b)。早燕山期花岗岩大多侵入于加里东期、印支期岩体中,呈侵入接触关系,局部与白垩系呈角度不整合接触。U-Pb 锆石年龄为 153~70Ma⁹⁰,考虑到可能有继承锆石的影响,初步判断岩体形成于晚侏罗世早期。侵入体大小不一,大者有 20 km²,小者约 0.1 km²,多呈不规则条带状、椭圆状岩脉和岩株产出。

早燕山期花岗岩的主要岩石类型为细粒—中粗粒斑状黑云母二长花岗岩,局部发育细粒二云母二长花岗岩。黑云母二长花岗岩主要矿物成分为石英(28%~40%)、斜长石(20%~45%)、钾长石(20%

* 收稿日期:2014-12-09 改回日期:2015-01-07 责任编辑:谭桂丽

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“湖南 1:25 万武冈市和永州市城区调修测”(项目编号:1212011120793)、“中国地质构造区划综合研究与区域地质志修编”(项目编号:1212010811032)联合资助。

第一作者简介:柏道远,1967 年生,男,研究员级高级工程师,博士,地质学专业,长期从事区域地质调查与基础地质研究。

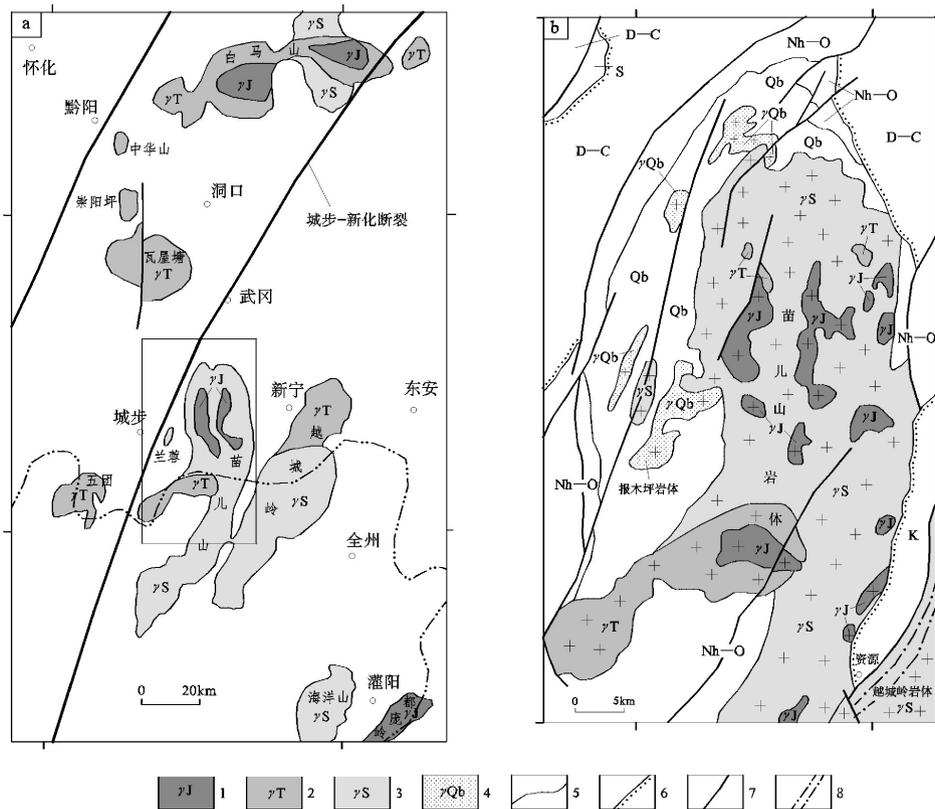


图1 苗儿山岩体地理位置(a)及地质略图(b)(据文献[1-2]修改)

Fig.1 Location (a) and geological sketch map (b) of Miao'er Mountain pluton

1-早燕山期(侏罗纪)花岗岩;2-印支期(三叠纪)花岗岩;3-加里东期(志留纪)花岗岩;4-青白口纪花岗岩;5-地质界线;6-角度不整合界线;7-断裂;8-韧性剪切带;K-白垩系;D-C-泥盆系-石炭系;S-志留系;Nh-O-南华系-奥陶系;Qb-青白口系

~47%),少量黑云母(2%~10%)。岩石中副矿物有锡石、绿帘石、锆石、磷灰石和金属矿物等,少量蚀变矿物为绢云母和粘土矿物。

2 岩石地球化学特征

2.1 主量元素地球化学特征

苗儿山地区早燕山期花岗岩的主量元素分析结果如表1所示。岩石 SiO_2 为76.02%~80.26%(SiO_2 及以下主元素含量值均系无水化处理结果,故与表1略有差别),平均为77.09%; Al_2O_3 为10.94%~12.88%,平均为12.40%; K_2O 为3.42%~5.34%,平均为4.75%;全碱(ALK) $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 为5.37%~8.22%,平均为7.68%; $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值为1.41~1.92,平均为1.64; FeO^T 为1.33%~2.65%,平均1.85%。 TiO_2 、 MgO 、 CaO 和 P_2O_5 分别平均为0.11%、0.18%、0.56%和0.02%。

根据Frost等^[13]提出的Fe数($\text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO})$),这里“FeO”为全铁($\text{FeO} + 0.9 \times \text{Fe}_2\text{O}_3$),修改的碱钙指数($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}$),铝饱和指数

(ASI)($\text{Al}/(\text{Ca} - 1.67\text{P} + \text{Na} + \text{K})$ (分子比))等三个地球化学变量以及ANK值($\text{Al}/(\text{Na} + \text{K})$ (分子比)),苗儿山地区早燕山期花岗岩总体属铁质、钙碱性及过铝质花岗岩(图2(a)~图2(c))。ASI>1.0(1.04~1.31),平均1.14,属弱过铝-强过铝花岗岩,并以强过铝花岗岩为主。在硅-钾图中总体属高钾钙碱性系列(图2(d))。

值得指出的是,苗儿山地区早燕山期花岗岩的 SiO_2 含量(76.02%~80.26%,平均77.09%)明显高于该岩体加里东期花岗岩的 SiO_2 含量(70.09%~76.59%,平均72.70%)^[2],表明前者具有更高的结晶分异演化程度。

2.2 微量和稀土元素地球化学特征

苗儿山地区早燕山期花岗岩微量元素和稀土元素分析结果分别见表2和表3,微量元素原始地幔标准化蛛网图和稀土元素球粒陨石标准化配分曲线分别见图3和图4。

在微量元素原始地幔标准化蛛网图(图3)上可以看出,苗儿山地区早燕山期花岗岩明显富集大离子亲石元素。与相邻元素相比,Ba、Sr、P、Ti表现为

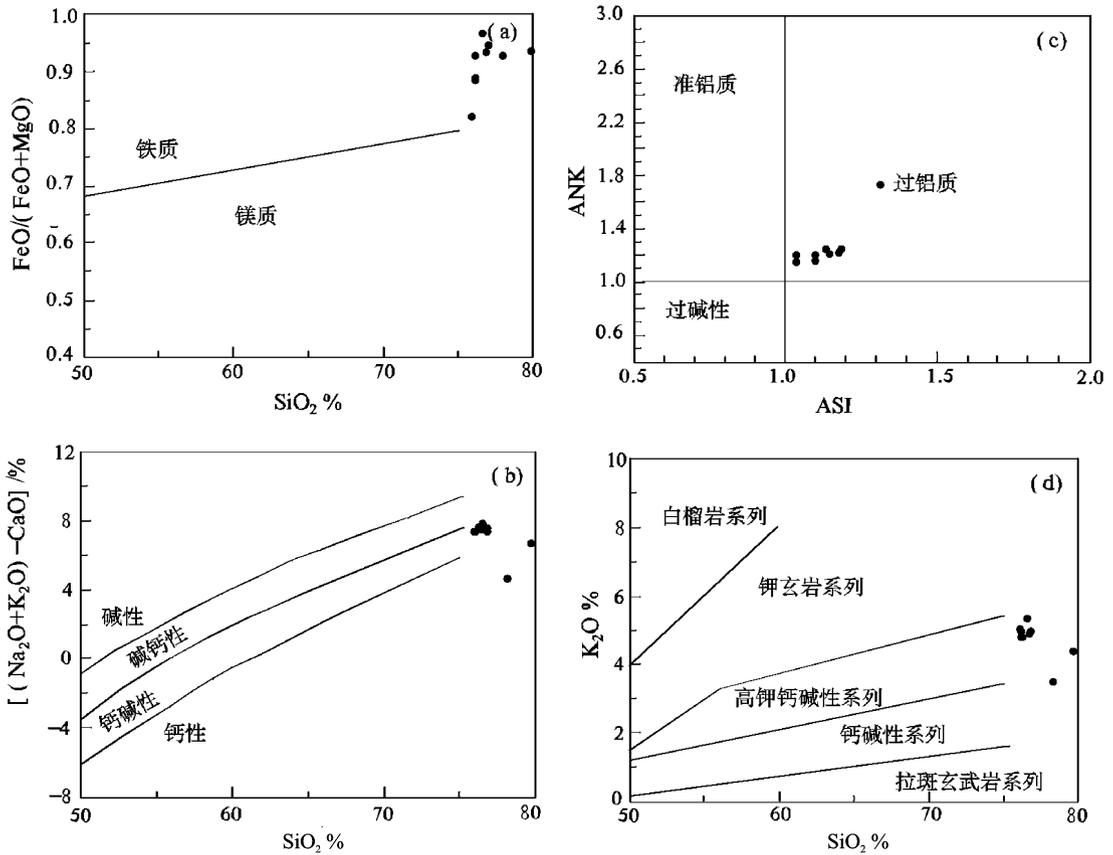


图 2 苗儿山地区早燕山期花岗岩地球化学分类图解((a)一(c)据文献[13]; (d)据文献[14])
Fig.2 Geochemical classification map of the early Yanshanian granites in Miao'ershan area

表 1 苗儿山地区早燕山期花岗岩主量元素组成(w%)

Table 1 Major element compositions of the early Yanshanian granites in Miao'ershan area(w%)

样号	代号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	H ₂ O ⁺	总和	ASI	ANK	ALK	K ₂ O/ Na ₂ O	A/MF
ML11	η ₂ [±]	75.50	0.08	12.73	0.45	1.32	0.04	0.13	0.55	3.20	4.93	0.02		0.38	99.33	1.10	1.20	8.22	1.54	4.68
HX309-1	η ₂ [±]	76.36	0.08	12.36	0.40	1.27	0.04	0.11	0.40	3.18	4.92	0.02	0.02	0.64	99.8	1.10	1.17	8.17	1.55	4.87
HX320-1	η ₂ [±]	76.47	0.08	12.77	0.60	0.92	0.05	0.07	0.23	3.05	4.89	0.01	0.02	0.75	99.91	1.19	1.24	8.01	1.60	5.88
ML10	η ₂ [±]	76.00	0.09	12.45	0.34	1.51	0.06	0.06	0.73	3.37	4.76	0.02		0.35	99.74	1.04	1.16	8.18	1.41	4.64
ML9	η ₂ [±]	77.12	0.15	11.78	1.42	1.33	0.05	0.21	1.22	1.92	3.37	0.03		0.74	99.34	1.31	1.73	5.37	1.76	2.91
HX318-1	η ₂ [±]	79.72	0.07	10.87	0.27	1.08	0.03	0.08	0.25	2.65	4.28	0.01	0.02	0.59	99.92	1.15	1.21	6.98	1.62	5.32
ML8	η ₂ [±]	75.45	0.17	12.66	0.56	1.41	0.03	0.24	0.56	2.91	4.95	0.01		0.60	99.55	1.13	1.25	7.94	1.70	3.89
ML7	η ₂ [±]	74.52	0.14	12.35	0.43	1.44	0.03	0.25	0.87	3.02	4.93	0.05		0.40	98.43	1.04	1.20	8.11	1.63	3.89
HX315-1	η ₂ [±]	75.47	0.15	12.43	0.56	1.67	0.04	0.47	0.16	2.76	5.29	0.04	0.02	0.83	99.89	1.18	1.21	8.13	1.92	2.95

资料来源:ML7~11 源于 1:5 万麻林和安心观幅区调报告,湖南省地质矿产勘查开发局 418 队;其它来源于本文。本文样品由湖北武汉综合岩矿测试中心测定,除 CO₂ 采用非水滴定法、H₂O⁺ 采用高温加热—浓硫酸吸收—重量法外,其它氧化物均采用 X 射线荧光光谱法(XRF)分析;样品采用无水四硼酸锂作为熔剂。ASI=Al/(Ca-1.67P+Na+K)(分子比);ANK=Al/(Na+K)(分子比);A/MF=Al₂O₃/(MgO+FeO)(分子比)。

强烈亏损,而 Rb、(Th+U+K)、(La+Ce)、Nd、(Zr+Hf+Sm)、(Y+Yb+Lu)等则相对富集,显示出壳源花岗岩特征。Nb 相对 Ta 显著亏损,也暗示花岗岩具有壳源花岗岩特征^[17]。Rb、Ba、Sr、Ti 含量

的变化主要受造岩矿物控制,Rb 升高和 Sr、Ba 降低一般由钾长石、斜长石和黑云母分离结晶所造成,Ti 负异常反映出钛铁矿的分离结晶作用,P 亏损暗示存在磷灰石的分离结晶。

表2 苗儿山地区早燕山期花岗岩微量元素分析数据($\times 10^{-6}$, Au $\times 10^{-9}$)及参数Table 2 Trace elements analyses ($\times 10^{-6}$, Au $\times 10^{-9}$) and parameters of the early Yanshanian granites in Miao'ershan area

样号	代号	Sr	Ba	Th	U	Ta	Nb	Zr	Hf	Rb	Cs	Ga	Li	B	F	Cl	Sc	Be	Cr
HX309-1	$\eta A^{\#}$	23.2	32.2	35.62	11.13	3.46	19.98	63.5	2.1	502.4	34.97	15.75	19.61	4.95	119	88.7	3.04	7.83	10.0
HX320-1	$\eta A^{\#}$	15.8	42.7	43.03	12.58	6.17	29.95	91.9	3.1	769.5	46.58	17.61	30.27	9.07	146	27.6	4.81	7.82	16.3
HX318-1	$\eta A^{\#}$	17.5	10.1	28.75	8.82	3.10	18.76	61.4	2.0	478.6	40.71	14.84	68.71	21.66	142	42.7	3.63	6.47	10.0
HX315-1	$\eta A^{\#}$	29.0	118.7	51.36	12.12	4.52	27.46	101.0	3.4	509.0	15.60	16.04	20.28	8.89	288	56.1	4.03	6.75	13.1
样号	代号	Co	Ni	V	W	Sn	Mo	Bi	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Hg	Ag	Cd	Au	Rb/Sr	La/Sm
HX309-1	$\eta A^{\#}$	2.12	4.60	5.11	3.41	18.82	3.17	1.74	29.20	96.88	19.26	3.61	1.53	0.033	0.098	0.201	2.6	21.66	4.46
HX320-1	$\eta A^{\#}$	1.16	3.78	2.98	3.16	23.67	2.44	7.14	16.67	70.27	29.89	4.35	0.68	0.040	0.072	0.260	0.6	48.70	3.10
HX318-1	$\eta A^{\#}$	2.89	6.02	3.36	4.15	13.09	3.62	1.47	8.33	73.98	19.71	5.20	1.16	0.037	0.051	0.074	1.1	27.35	3.36
HX315-1	$\eta A^{\#}$	2.87	7.26	11.40	5.3	15.35	4.91	0.52	8.19	67.81	21.50	3.76	0.62	0.036	0.039	0.128	0.8	17.55	4.31

注:样品由湖北武汉综合岩矿测试中心测试,分别采用X射线荧光光谱法(XRF)、电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)、原子荧光光谱法(AFS)、发射光谱法(ES)等方法测定。除W、Mo采用碱溶法测定外,其它微量元素均采用酸溶法测定。

表3 苗儿山地区早燕山期花岗岩稀土元素分析数据($\times 10^{-6}$)及参数Table 3 Rare earth elements analyses ($\times 10^{-6}$) and parameters of the early Yanshanian granites in Miao'ershan area

样号	代号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	Σ REE	$\Sigma Ce/\Sigma Y(La/Yb)_N$	δEu	
HX309-1	$\eta A^{\#}$	17.90	30.83	4.82	18.21	4.01	0.19	3.67	0.74	4.53	0.95	2.72	0.47	3.12	0.44	30.33	122.9	1.62	3.79	0.15
HX320-1	$\eta A^{\#}$	20.29	37.70	6.18	23.72	6.54	0.14	5.19	1.29	8.69	1.74	5.06	0.78	5.25	0.78	52.08	175.4	1.17	2.55	0.07
HX318-1	$\eta A^{\#}$	17.00	29.33	4.95	18.94	5.06	0.15	4.14	1.01	6.72	1.39	3.80	0.60	3.80	0.53	42.39	139.8	1.17	2.96	0.10
HX315-1	$\eta A^{\#}$	16.68	57.02	4.44	16.04	3.88	0.26	3.29	0.79	5.13	1.04	3.11	0.52	3.39	0.49	29.97	146.1	2.06	3.25	0.22

注:样品由湖北武汉综合岩矿测试中心测试,采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)分析,样品处理采用酸溶法。

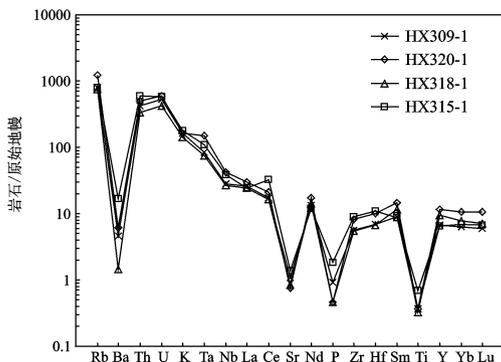


图3 苗儿山地区早燕山期花岗岩微量元素原始地幔标准化蛛网图(原始地幔值据文献[15])

Fig. 3 Primitive mantle-normalized trace element spiderdiagram of the early Yanshanian granites in Miao'ershan area

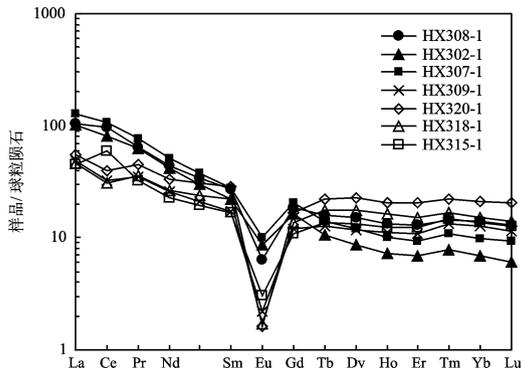


图4 苗儿山地区早燕山期花岗岩稀土元素球粒陨石标准化配分曲线图(球粒陨石值据文献[16])

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns of the early Yanshanian granites in Miao'ershan area
HX308-1、HX302-1和HX307-1为苗儿山岩体加里东期花岗岩典型样品,据文献[2]。

花岗岩稀土元素含量较低(表3), Σ REE为 $(122.9 \sim 175.4) \times 10^{-6}$,平均为 146.1×10^{-6} 。 $\Sigma Ce/\Sigma Y$ 为 $1.17 \sim 2.06$,平均为 1.50 ; $(La/Yb)_N$ 为 $2.55 \sim 3.79$,平均为 3.14 ,显示轻稀土相对重稀土略有富集。Eu强烈亏损, δEu 为 $0.07 \sim 0.22$,平均为 0.13 ,暗示经历了强烈的斜长石分离结晶作用。轻稀土配分曲线总体明显右倾(图4),并具Ce负异常或Ce正异常,反映轻稀土具有明显分馏的特征;重稀土配分曲线总体水平并具M型四分组效应之弯曲特征,暗示存在高程度演化的花岗质岩浆结晶

晚期流体/熔体的相互作用^[18]。

值得指出的是,苗儿山地区早燕山期花岗岩的稀土元素组成特征明显区别于该地区加里东期花岗岩(图4);前者轻稀土含量及 $(La/Yb)_N$ 值($2.55 \sim 3.79$,平均 3.14)明显低于后者($(La/Yb)_N = 5.07 \sim 14.33$)^[2],Eu亏损明显强于后者(前者 δEu 值 $0.07 \sim 0.22$,平均 0.13 ;后者 $\delta Eu = 0.15 \sim 0.46$)^[2]。上述稀土特征差异反映早燕山期花岗岩

相对加里东期花岗岩经历了更高的结晶分异演化过程,此与前述 SiO₂ 含量差异反映的信息一致。

2.3 Sr、Nd 同位素地球化学特征

对苗儿山地区早燕山期花岗岩的 2 个样品进行了 Rb-Sr 和 Sm-Nd 同位素测定,分析方法详见文献

[1-2],同位素测试数据及相关参数见表 4。根据岩体的锆石 U-Pb 年龄,计算有关参数时样品年龄取值 160Ma。花岗岩 I_{Sr} 值分别为 0.99007 和 1.15860,εSr(t) 值分别为 4053 和 6445,εNd(t) 值分别为 -9.20 和 -8.80, t_{DM} 分别为 1.69Ga 和 1.66Ga。

表 4 苗儿山地区早燕山期花岗岩 Sr、Nd 同位素组成及相关参数

Table 4 Sr and Nd isotopic compositions and parameters of the early Yanshanian granites in Miao'ershan area

样品号	Rb (μg/g)	Sr (μg/g)	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	εSr(t)	I _{Sr}
HX318-1	452.5	15.12	90.41	1.19572	4053	0.99007
HX320-1	676.6	13.81	152.3	1.50502	6445	1.15860
样品号	Sm (μg/g)	Nd (μg/g)	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	εNd(t)	t _{DM} (Ga)
HX318-1	5.901	22.85	0.1562	0.512124	-9.20	1.69
HX320-1	7.333	25.52	0.1738	0.512163	-8.80	1.66

注:样品由武汉地质矿产研究所同位素室测试。εNd(t)、εSr(t)、I_{Sr} 和 t_{DM} 的计算据文献[19];计算参数为:t=160Ma; (¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd)_{CHUR}=0.512638, (¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd)_{CHUR}=0.1967, (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_{UR}=0.7045, (¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd)_{CC}=0.118, (¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd)_{DM}=0.2137, (¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd)_{DM}=0.513151, λ_{Sm}=6.54×10⁻¹² a⁻¹, λ_{Rb}=1.42×10⁻¹¹ a⁻¹。参数中下角字母代表的含义:UR. 铀同位素均一储库;CHUR. 球粒陨石均一储库;DM. 亏损地幔;CC. 大陆地壳

3 讨论

3.1 岩浆成因

苗儿山地区早燕山期花岗岩大部分样品属 ASI 值>1.1 的强过铝(SP)花岗岩,据此可大体判断其源于地壳物质熔融的 S 型花岗岩类^[20-21]。如前述,微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 3)上岩石也显示壳源花岗岩的特征。此外,花岗岩 I_{Sr} 值高(0.99007 和 1.15860),Nd 同位素组成(εNd(t)= -9.20 和 -8.80)与澳大利亚东南部 Lachlan 褶皱带 S 型花岗岩(εNd(t)= -6.1 和 -9.8)^[22]类似,可能暗示岩体主要源于地壳重熔。Allégre(1980)^[23]指出花岗岩 εSr(t) 值>0,反映同位素与中、上地壳的亲缘性而不是麻粒岩相下地壳,苗儿山地区早燕山期花岗岩两个样品的 εSr(t) 值分别为 5053 和 6445,暗示其源岩主要为中、上地壳酸性岩石,而不是下地壳基性岩,此与花岗岩 C/MF-A/MF 图解反映的变质杂砂岩和变质泥质岩信息(图 5)相吻合。

根据 Silvester(1998)有关强过铝花岗岩物源和形成温度的理论^[20],苗儿山地区早燕山期花岗岩具强过铝质特征的样品 CaO/Na₂O 比值一般<0.3,个别>0.3(图 6),暗示其源岩以泥质岩石为主,少量为长英质岩石。这一推断与图 5 所反映的信息基本吻合。此外,部分样品 Al₂O₃/TiO₂ 比值<100(图 6),暗示岩浆部分形成于温度高于 875℃的“高温”条件或岩浆形成温度较高,故推测岩浆形成与之前的中侏罗世造山带地壳增厚导致升温和软流圈地幔热能向上传递两方面因素有关。

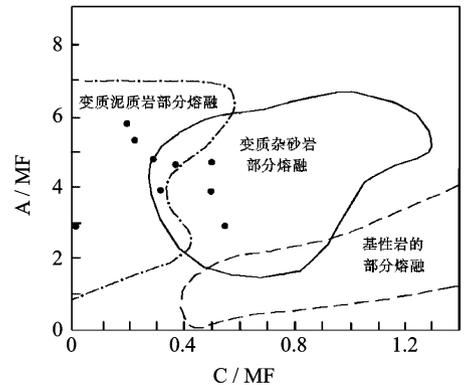


图 5 苗儿山地区早燕山期花岗岩 C/MF-A/MF 图解(底图据文献[24])

Fig. 5 C/MF VS. A/MF diagram of the early Yanshanian granites in Miao'ershan area

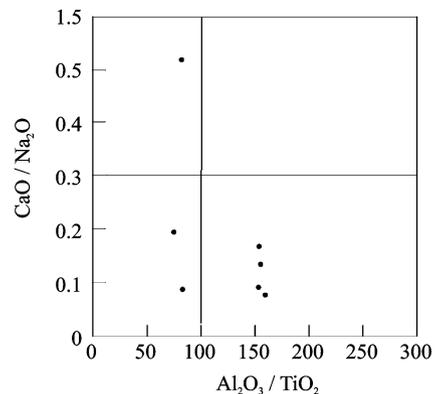


图 6 苗儿山地区早燕山期花岗岩 CaO/Na₂O-Al₂O₃/TiO₂ 图解(底图据文献[20])

Fig. 6 CaO/Na₂O VS. Al₂O₃/TiO₂ diagram of the early Yanshanian granites in Miao'ershan area

软流圈地幔热能向上传递的推论可进一步得到Nd同位素组成的支持。湘桂内陆带花岗岩的Nd模式年龄(t_{DM})背景值为 $1.8\sim 2.4\text{ Ga}$ ^[25-26],基底的时代主要在 $1.7\sim 2.7\text{ Ga}$ 间^[27]。湘东南地区具地幔物质加入的早燕山期花岗岩 t_{DM} 多在 $1.22\text{ Ga}\sim 1.76\text{ Ga}$ 之间^[27]。由上可见,苗儿山地区早燕山期花岗岩 1.69 Ga 和 1.66 Ga 的两阶段Nd模式年龄值介于地壳与具地幔物质加入的湘东南早燕山期壳源花岗岩之间。鉴此,推断苗儿山地区早燕山期花岗岩除主要源于地壳重熔外,尚有少量地幔物质加入。此外,苗儿山地区早燕山期花岗岩 1.69 Ga 和 1.66 Ga 的两阶段Nd模式年龄,明显小于苗儿山地区加里东期花岗岩的 $1.81\sim 1.84\text{ Ga}$ ^[2],而已有研究表明后者为源于中、上地壳岩石重熔的S型花岗岩^[2],由此也可推测更年轻地幔物质的加入导致了早燕山期花岗岩Nd模式年龄较加里东期花岗岩低。

综上所述,苗儿山地区早燕山期花岗岩的岩石地球化学及Sr、Nd同位素地球化学特征表明其源于中、上地壳酸性岩石重熔的S型花岗岩,并可能有少量地幔物质加入;岩浆形成与陆壳增厚升温及软流圈地幔的热传递有关。

3.2 构造环境

在Maniar和Piccoli(1989)^[28]提出的多组主元

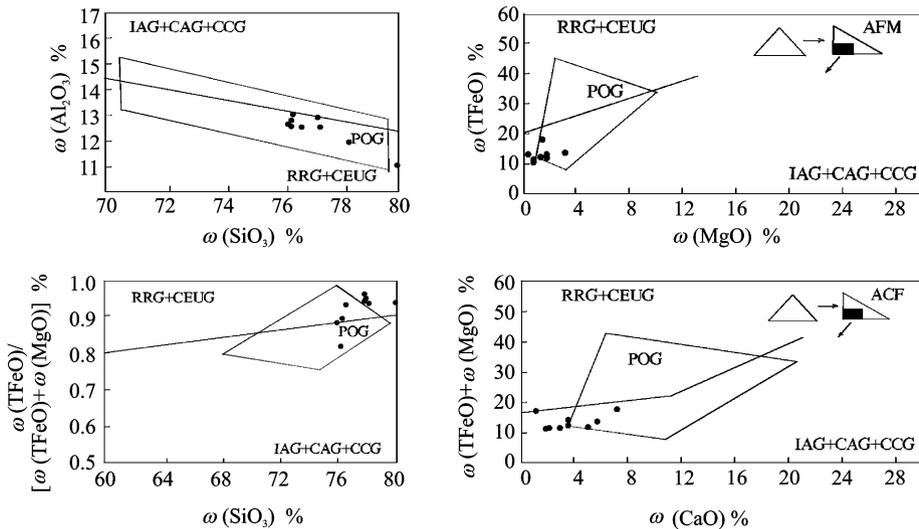


图7 苗儿山地区早燕山期花岗岩构造环境判别图(底图据文献^[28])

Fig.7 Tectonic setting discriminations of the early Yanshanian granites in Miao'ershan area

IAG-岛弧花岗岩;RRG-与裂谷有关的花岗岩;CAG-大陆弧花岗岩类;CEUG-大陆的造陆抬升花岗岩类;CCG-大陆碰撞花岗岩类;POG-后造山花岗岩类

综上,主量和微量元素构造环境判别及区域构造演化过程表明,苗儿山地区早燕山期花岗岩应形成于后造山伸展构造环境,这与湘东南地区早燕山

素构造环境判别图解中(图7),苗儿山地区早燕山期花岗岩样品或位于IAG+CAG+CCG区一侧(AFM和ACF图解),或位于RRG+CEUG一侧($\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 图解和 $\text{SiO}_2\text{-(TFeO)/(TFeO+MO)}$)图解,暗示花岗岩形成于后造山构造环境(POG)。

在Pearce et al.(1984)^[29]多组微量元素构造环境判别图解中,样品或落入“同碰撞花岗岩(S-COLG)”区(图8(a)、图8(b)),或落入“板内花岗岩(WPC)”区(图8(c)),进一步暗示花岗岩形成于碰撞造山向板内过渡的后造山构造环境。

区域上中三叠世晚期发生的印支运动为陆内挤压造山运动^[30-31],其使地壳增厚并普遍造成上三叠统(或侏罗系)与泥盆统-中三叠统之间的角度不整合^[32-33];晚三叠世在挤压减弱、应力松弛的背景下,因地壳增厚升温形成的壳源岩浆上侵而形成大量后碰撞S型花岗岩^[4-5,34-35];中侏罗世又因陆内挤压作用(早燕山运动)而发育类前陆盆地^[36-38]。因此,印支晚期-中侏罗世总体处于陆内造山阶段。晚燕山期(白垩纪)区域上处于以断陷盆地广泛发育为特征的大规模伸展阶段。从构造演化的理论过程考虑,处于中侏罗世陆内造山与白垩纪大规模伸展之间的晚侏罗世应为后造山阶段,与前述地球化学图解显示的早燕山期花岗岩后造山环境相吻合。

期花岗岩形成构造环境研究认识^[27]相一致。后造山构造环境通常伴有岩石圈地幔的拆沉导致软流圈地幔上涌,与前文地球化学特征指示的少量地幔物

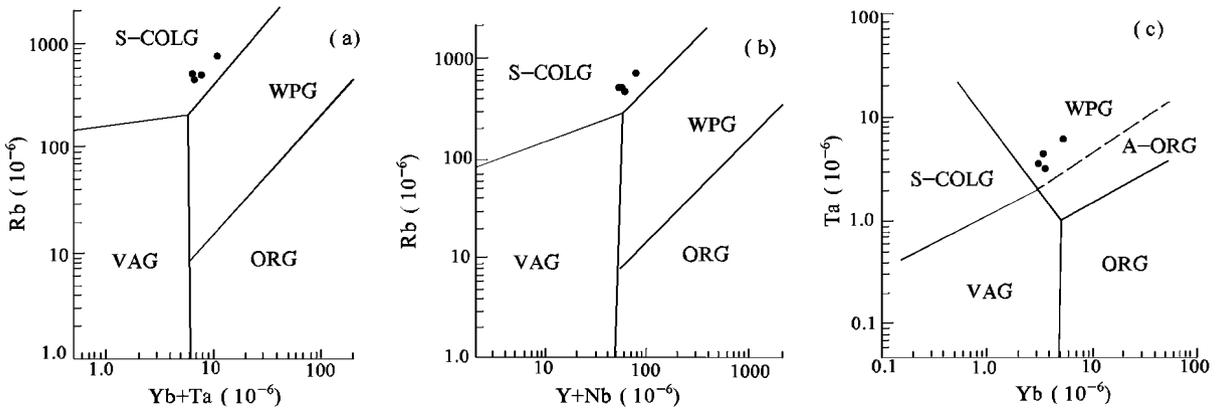


图8 苗儿山地区早燕山期花岗岩微量元素构造环境判别图解(底图据文献[29])

Fig.8 Trace element tectonic setting discriminations of the early Yanshanian granites in Miao'ershan area
VAG-火山弧花岗岩;WPG-板内花岗岩;S-COLG-同碰撞花岗岩;ORG-洋中脊花岗岩;A-ORG-异常洋中脊花岗岩

质加入及软流圈地幔热传递相吻合。

4 结论

(1)苗儿山地区早燕山期花岗岩总体属铁质、钙碱性系列过铝质花岗岩类。

(2)花岗岩为S型花岗岩,源岩主要为中、上地壳酸性岩石,并有少量地幔物质加入。

(3)岩石形成于后造山伸展构造环境,与先期的中侏罗世陆壳增厚升温及软流圈地幔的热传递有关。

注释

①湖南省地质矿产勘查开发局.1:5万白沙幅、新宁县幅、大庙口幅区域地质调查报告(内部资料).1992.

②湖南省地质矿产勘查开发局.1:5万麻林幅和安心观幅区调报告(内部资料).1995.

参考文献

- 柏道远,陈必河,钟响,等.湘西南兰蓉岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄、地球化学特征及构造背景[J].资源调查与环境,2014,35(2):95-105.
- 柏道远,钟响,贾朋远,等.南岭西段加里东期苗儿山岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄、地球化学特征及其构造意义[J].岩石矿物学杂志,2014,33(3):407-423.
- 柏道远,钟响,贾朋远,等.南岭西段加里东期越城岭岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄、地质地球化学特征及其形成构造背景[J].地球化学,2015,44(1):27-42.
- 柏道远,陈必河,钟响,等.湘西南印支期五团岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄、地球化学特征及形成背景[J].中国地质,2014,41(6):2002-2018.
- 柏道远,钟响,贾朋远,等.湘西南印支期瓦屋塘岩体年代学、成因与构造环境研究[J].大地构造与成矿

学,2016,待刊.

- 伍静,梁华英,黄文婷,等.桂东北苗儿山-越城岭西南部岩体和矿床同位素年龄及华南印支期成矿分析[J].科学通报,2012,57(13):1126-1136.
- 程顺波,付建明,马丽艳,等.桂东北越城岭—苗儿山地区印支期成矿作用:油麻岭和界牌矿区成矿花岗岩锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素制约[J].中国地质,2013,49(4):1189-1201.
- 康如华.湖南苗儿山韧性剪切带与金矿化[J].黄金地质,2000,6(4):23-27.
- 倪艳军,陈必河,陈文斌,等.湖南苗儿山白钨矿床的发现及其找矿意义[J].华南地质与矿产,2009,(3):37-42.
- 李妩巍,陈卫锋,朱康任.苗儿山地区中生代酸性脉岩地球化学特征及其成因[J].铀矿地质,2011,27(6):337-344.
- 方适宜.矿液致裂作用对苗儿山矿田花岗岩型脉状铀矿床多期成矿的制约[J].世界核地质科学,2012,29(1):9-15.
- 柏道远,贾宝华,刘伟,等.湖南城步火成岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其对江南造山带新元古代构造演化的约束[J].地质学报,2010,84(12):1715-1726.
- Frost B R, Barnes C G, Collins W J. A geochemical classification for granitic rocks[J]. Journal of Petrology, 2001, 42(11): 2033-2048.
- Peccerillo A, Taylor S R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey[J]. Contrib Mineral Petrol, 1976, 58(1):63-81.
- Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and process. Saunders A D, Norry M J (eds.). Magmatism in the ocean basins[J]. Geol Soc Spec Pub, London, 1989, 42: 313-345.

- [16] Taylor S R, McLennan S M. The continental crust: Its composition and evolution [M]. Oxford: Blackwell, 1985, 1-312.
- [17] 陈小明, 王汝成, 刘昌实, 等. 广东从化佛冈(主体)黑云母花岗岩定年和成因[J]. 高校地质学报, 2002, 8(3):293-307.
- [18] 赵振华, 熊小林, 韩小东. 花岗岩稀土元素四分组效应形成机理探讨—以千里山和巴尔哲花岗岩为例[J]. 中国科学(D辑), 1999, 29(4): 331-338.
- [19] 陈江峰, 江博明. Nd, Sr, Pb 同位素示踪和中国东南大陆地壳演化[A]. 见郑永飞主编: 化学地球动力学[C]. 北京: 科学出版社, 1999, 262-287.
- [20] Sylvester P J. Post-collisional strongly peraluminous granites[J]. Lithos, 1998, 45: 29-44.
- [21] Zen E. Aluminum enrichment in silicate melts by fractional crystallization: some mineralogic and petrologic constraints[J]. Journal of Petrology, 1986, 27: 1095-1117.
- [22] McCulloch M T, Chappell B W. Nd isotopic characteristics of S-type and I-type granites[J]. Earth Planet Sci Lett, 1982, 58(1):51-64.
- [23] Allégre C J, Othman D B. Nd-Sr isotope relationship in granitoid rocks and continental crust development: A chemical approach to orogenesis[J]. Nature, 1980, 286: 335-342.
- [24] Alther R, Holl A, Hegner E, et al. High-potassium, calc-alkaline I-type plutonism in the European Variscides: northern vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany)[J]. Lithos, 2000, 50: 51-73.
- [25] Hong Dawei, Xie Xilin, Zhang Jisheng. Isotope geochemistry of granitoids in South China and their metallogeny[J]. Res. Geol., 1998, 48: 251-263.
- [26] Pei Rongfu and Hong Dawei. The granites of south China and their metallogeny[J]. Episodes, 1995, 18: 77-82.
- [27] 柏道远, 黄建中, 刘耀荣, 等. 湘东南及湘粤赣边区中生代地质构造发展框架的厘定[J]. 中国地质, 2005, 32(4):557-570.
- [28] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids[J]. Geol Soc Am Bull, 1989, 101: 635-643.
- [29] Pearce JA, Harris NBW, Tindle AG. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. Petrol, 1984, 25(4):956-983.
- [30] 柏道远, 邹宾微, 赵龙辉, 等. 湘东太湖逆冲推覆构造基本特征研究[J]. 中国地质, 2009, 36(1):53-64.
- [31] 柏道远, 贾宝华, 钟响, 等. 湘东南印支运动变形特征研究[J]. 地质论评, 2012, 58(1):19-29.
- [32] 金宠, 李三忠, 王岳军, 等. 雪峰山陆内复合构造系统印支-燕山期构造穿时递进特征[J]. 石油与天然气, 2009, 30(5): 598-607.
- [33] 李三忠, 王涛, 金宠, 等. 雪峰山基底隆升带及其邻区印支期陆内构造特征与成因[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(1): 93-105.
- [34] 柏道远, 周亮, 马铁球, 等. 湘东南印支期花岗岩成因及构造背景[J]. 岩石矿物学杂志, 2007, 26(3):197-212.
- [35] 柏道远, 陈建成, 马铁球, 等. 王仙岭岩体地质地球化学特征及其对湘东南印支晚期构造环境的制约[J]. 地球化学, 2006, 35(2): 113-125.
- [36] 柏道远, 汪永清, 王先辉, 等. 湘东南汝城盆地性质及其对华南燕山早期构造环境的启示[J]. 沉积与特提斯地质, 2006, 26(1): 47-54.
- [37] 柏道远, 钟响, 贾朋远, 等. 雪峰造山带南段靖州盆地成因性质及形成背景[J]. 中国地质, 2013, 40(4): 1079-1091.
- [38] 柏道远, 钟响, 贾朋远, 等. 雪峰造山带靖州盆地断裂构造及其形成背景探讨[J]. 大地构造与成矿学, 2013, 37(2):173-183.

Geochemistry and tectonic setting of the early Yanshanian granites in the Miao'ershan area, southwest Hunan Province

BAI Dao-yuan, ZHONG Xiang, JIA Peng-yuan, XIONG Xiong

(Hunan Institute of Geology Survey, Changsha 410016, China)

Abstract: The early Yanshanian granites emplaced in early Late Jurassic in the Miao'ershan area, southwest Hunan Province, were mainly intruded in the Caledonian and Indosinian granites and were mainly composed of fine grain and medium to coarse grain porphyritic biotite monzogranites with minor fine grain dimicaceous monzogranites. The rocks are characterized by their content of SiO_2 (76.02% ~ 80.26%), Al_2O_3 (10.94% ~ 12.88%), K_2O (3.42% ~ 5.34%), $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (5.37% ~ 8.22%) and ASI values (1.04 ~ 1.31, 1.14 on average), showing features of the ferric, calc-alkaline peraluminous granitoids. On the PM-normalized incompatible elements spiderdiagram, significant Ba, Sr, P and Ti trough and Rb, (Th+U+K), (La+Ce), Nd, (Zr+Hf+Sm) and (Y+Yb+Lu) humps are observed. The rocks have lower total REE content ($\Sigma\text{REE} = 122.9 \sim 175.4 \mu\text{g/g}$), slightly enrichment of LREE ($(\text{La}/\text{Yb})_N = 2.55 \sim 3.79$) and pronounced negative Eu anomaly ($\delta\text{Eu} = 0.07 \sim 0.22$). As for isotope, they have I_{Sr} values of 0.99007 and 1.15860, $\epsilon\text{Nd}(t)$ values of -9.20 and -8.80 and t_{DM} ages of ~ 1.7 Ga. The C/MF-A/MF diagram indicates that the granites were derived from metamorphic mudstones and clastic rocks, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ values of some strong peraluminous granite samples are less than 100. All above geochemical characteristics reveal their S-type signatures and suggest that the granites were derived from partial melting of acid rocks of middle-upper crust with participation of mantle materials. Multiple oxide- and trace element-diagrams for discrimination of structural environment and regional tectonic geology show that the granites were formed in a post-orogenic tectonic setting. The forming of magma was related with the former thickening of crust in Middle Jurassic and the up-welling and heat transference of asthenosphere mantle.

Key words: Miao'ershan area; early Yanshanian; geochemical characteristics; S-type granite; post-orogenic tectonic setting; southwestern Hunan Province