

文章编号:1007 - 3701(2009)03 - 0012 - 07

湘东南瑶岗仙岩体岩石化学特征、成因与构造环境

孙 健¹,倪艳军²,柏道远²,马铁球²

(1. 安徽省地勘局 332 地质队, 安徽 黄山, 245000; 2. 湖南省地质调查院, 长沙, 411000)

摘要:湘东南燕山早期瑶岗仙岩体主要由黑云母二长花岗岩组成。岩石 SiO_2 和 K_2O 平均含量分别为 75.83% 和 4.78%, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 平均 8.02%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值平均为 1.53, Al_2O_3 平均为 12.98%。总体属弱过铝质钙碱性花岗岩类。 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值为 $-11.13 \sim -9.13$; t_{DM} 为 1.70 ~ 1.86 Ga, 与湘桂内陆带花岗岩的背景值 (1.8 ~ 2.4 Ga) 和区域基底的时代 (1.7 ~ 2.7 Ga) 相吻合。上述特征表明, 瑶岗仙岩体岩浆来源为地壳结晶基底, 属典型 S 型花岗岩。氧化物构造环境判别图解及区域构造演化背景反映瑶岗仙岩体形成于后造山构造环境。

关键词:花岗岩; 岩石化学特征; 后造山; 瑶岗仙; 湘东南

中图分类号: P594.1

文献标识码: A

瑶岗仙岩体地处湘东南, 位于炎陵 - 汝城印支期隆起带的西南部^[1-2], 由于发育瑶岗仙大型钨矿而备受研究者关注^[3-6]。陈依壤研究认为瑶岗仙花岗岩为地壳硅铝层重熔产生的花岗岩浆经结晶分异作用形成^[3]; 刘汉元从构造地球化学的角度, 提出其为地穹块断型地洼花岗岩, 属壳源重熔成因^[4]。本文将基于当前花岗岩地球化学及形成构造环境的有关概念, 重点对瑶岗仙花岗岩的主元素和 Nd 同位素地球化学特征进行研究, 探讨岩石成因与物质来源, 并结合区域构造背景讨论岩体形成的构造环境。

1 岩体地质概况

瑶岗仙岩体呈小岩株状产出, 出露面积约 1.2 km²。自早至晚由细中粒斑状黑云母二长花岗岩、细中粒黑(二)云母二长花岗岩、细粒斑状黑云母二长花岗岩和细粒二云母二长花岗岩等岩石单元组成。成岩时代集中, 为 169 ~ 178 Ma, 属燕山早

期^[3]。野外观察表明各单元之间大多呈脉动侵入接触, 局部呈涌动侵入接触, 与年龄数据反映的短期岩浆活动相一致。

岩石内蚀变作用较强, 普遍发育有钾长石化、钠长石化、云英岩化、白云母化等。此外还见有绿泥石化、绢云母化及高岭土化、伊利石化等蚀变。围岩热接触变质明显, 南东面主要为大理岩化带(宽 150 ~ 700 m)和矽卡岩化带(宽 28 ~ 100 m), 其它部位为角岩带(宽 450 ~ 1 000 m, 以北部为最窄)。

2 地球化学特征

2.1 岩石化学特征

瑶岗仙岩体花岗岩样品的主元素分析结果如表 1 所示(经无水化处理)。从表 1 中可以看出, SiO_2 含量高, 变化在 74.29 ~ 77.98% 之间, 平均为 75.83%; Al_2O_3 含量变化在 11.49 ~ 14.12% 之间, 平均为 12.98%; K_2O 含量较高, 平均为 4.78%; 全碱(ALK)含量, 即 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 为 6.75 ~ 9.10%, 平均为 8.02%; K_2O 普遍 $> \text{Na}_2\text{O}$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值为 1.02 ~ 2.28, 平均为 1.53; FeO^T , TiO_2 , MgO ,

收稿日期: 2009 - 04 - 06

基金项目: 国土资源部地质大调查项目(200213000035)资助。

作者简介: 孙 健(1963—), 男, 长期从事地质调查工作。

CaO 和 P₂O₅ 含量低,平均分别为 1.86%、0.06%、0.19%、0.80%、0.06%。

Frost 等^[7] 提出了花岗质岩石新的分类方案,其依据是三个地球化学变量,即 Fe 数((FeO/(FeO + MgO)),这里“FeO”为 FeO 与 Fe₂O₃ 之和(全铁)),修改的碱钙指数((Na₂O + K₂O - CaO)以及铝饱和指数(ASI)(Al/(Ca - 1.67P + Na + K)(分子比))。根据这些参数以及 ANK(Al/(Na + K)(分子比)),瑶岗仙岩体的岩石总体属铁质(少量镁质)、钙碱性及弱过铝质(少量准铝质)的花岗岩(图 1(a)~(c))。在硅 - 钾图中(图 1(d)),主要属高钾钙碱性系列,个别属钾玄岩系列。

2.2 Nd 同位素特征

表 1 瑶岗仙岩体岩石化学成分

Table 1 Petrochemical components of granitic rocks in Yaogangxian plutons

序号	样号	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	ASI	ANK	ALK	K ₂ O/Na ₂ O
1	U-20	77.00	0.02	12.33	0.29	1.37	0.35	0.13	0.60	3.15	4.64	0.11	1.06	1.21	7.79	1.47
2	Y3750	75.9	0.03	12.84	0.79	1.55	0.19	0.09	0.66	3.12	4.68	0.15	1.10	1.26	7.80	1.50
3	Y3751	77.98	0.03	11.49	1.09	1.49	0.16	0.14	0.60	2.37	4.38	0.26	1.16	1.33	6.75	1.85
4	C52	76.61	0.05	12.42	0.30	1.95	0.11	0.10	0.68	3.51	4.27	0.01	1.02	1.19	7.78	1.22
5	C53	75.12	0.10	13.34	0.08	1.80	0.12	0.24	1.06	2.47	5.64	0.03	1.04	1.31	8.11	2.28
6	U1	75.44	0.10	13.61	0.51	0.36	0.10	0.49	0.94	4.15	4.28	0.01	0.98	1.19	8.43	1.03
7	U2	75.12	0.15	14.12	0.71	0.40	0.14	0.48	0.97	3.38	4.51	0.01	1.09	1.35	7.89	1.33
8	瑶-7	75.23	0.01	12.81	0.30	2.49	0.13	0.08	0.79	3.89	4.25	0.01	0.98	1.16	8.14	1.09
9	U-9	75.05	0.02	13.57	0.14	1.76	0.15	0.11	0.84	3.76	4.53	0.07	1.03	1.22	8.29	1.20
10	Y126	77.28	0.04	12.66	0.35	0.79	0.10	0.05	0.57	3.88	4.27	0.02	1.02	1.15	8.15	1.10
11	U-8	75.9	0.02	12.56	0.45	1.47	0.27	0.23	0.99	2.68	5.31	0.11	1.00	1.23	7.99	1.98
12	U-82	74.29	0.17	13.76	0.73	0.73	0.15	0.25	0.81	3.04	6.06	0.02	1.01	1.19	9.10	1.99
13	瑶-12	74.86	0.05	13.21	0.58	2.30	0.01	0.05	0.86	2.81	5.26	0.01	1.06	1.28	8.07	1.87

注:测试结果经无水化处理。样品 C52、C53 为本文样品,由湖北武汉综合岩矿测试中心完成,采用 ICP-AES 分析,除 SiO₂ 采用碱溶法测定外,其它氧化物采用酸溶法测定,分析精度优于 2%。其他样品来源于 1:5 万瑶岗仙幅区域地质调查报告(湖南区调所,1990)。ASI = Al/(Ca - 1.67P + Na + K)(分子比);ANK = Al/(Na + K)(分子比);ALK = Na₂O + K₂O。

表 2 为瑶岗仙花岗岩的 Nd 同位素组成。其中样品 98HN14 的原始测试数据引自郭新生博士论文(1999);样品 C52 来自本文,分析方法与流程参见文献[10]。计算结果表明,岩体 εNd(t) 值低,为 -11.13 ~ -9.13;t_{2DM} 为 1.70 ~ 1.86 Ga。

3 岩石成因与物质来源

已有研究表明,湘桂内陆带花岗岩的 t_{DM} 背景值为 1.8 ~ 2.4 Ga^[12,13]。华夏地块的大部分地区基底岩石的 t_{DM} 在 1.8 ~ 2.4 Ga 之间^[14];目前在湘桂内陆带内获得了广西大容山花岗岩中沉积变质岩捕虏体的锆石 U - P 年龄 1.74 Ga^[15]、湖南道县中生代玄武岩所含片麻岩包体中磨圆锆石 Pb - Pb 年龄在 1 829 ~ 1 397 Ma 之间^[16]、湖南新化震旦系江口群玄武质火山角砾岩中捕获锆石 2.43 Ga、湘西白马山花岗岩捕获锆石 2.71 Ga^[17]、湘南九嶷山岩体中继承性锆石 2.11 和 2.70 Ma 等年龄数据^[18],说明区域基底时代主要在 1.7 ~ 2.7 Ga 间。瑶岗仙岩体 t_{2DM} 值为 1.70 ~ 1.86 Ga,与湘桂内陆带花岗岩背景值、区域基底的时代和 t_{DM} 值相吻合,指示源岩应为区域结晶基底。结合王方正等(1997)^[16]建立的湘南地区岩石圈的岩石学模型,进一步推断源岩为中地壳结晶片岩、片麻岩。据此,岩体岩石应属 S 型花岗岩。

值得指出的是,W 作为强不相容元素在酸性程度高的中上地壳含量很高。可以认为,瑶岗仙岩体

源岩为中地壳结晶片岩、片麻岩,从而为矿质来源提供了根本保证。

4 构造环境

花岗岩构造环境研究在上世纪九十年代后期随着后碰撞构造环境和相关术语的提出而取得重要进展。根据 1997 年在法国召开的“后碰撞岩浆

作用”国际花岗岩会议对碰撞作用、后碰撞作用、后造山作用、板内环境的涵义所作的新规定,理想的造山演化过程为同造山→后造山→非造山(板内裂谷),其中同造山阶段经历了活动边缘(大洋板块的俯冲)→同碰撞(陆块初始主碰撞)→后碰撞(常为陆内环境,但有地块的大规模相对运动)演化过程^[19]。以下讨论瑶岗仙岩体形成构造环境借鉴上述造山演化概念。

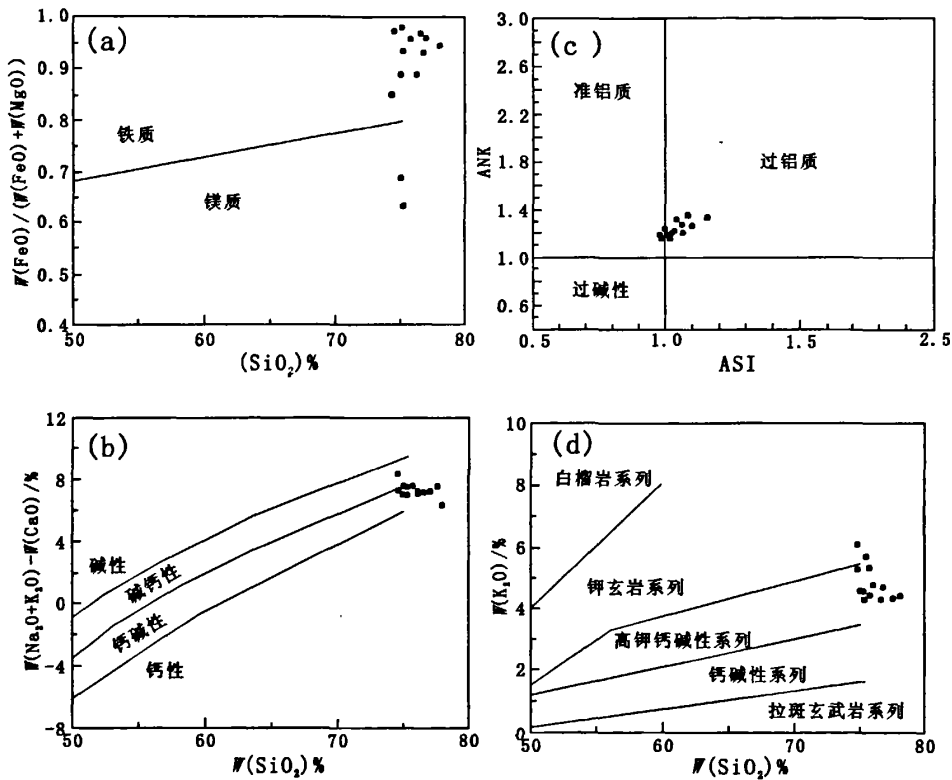


图1 花岗岩地球化学分类图解
(a)~(c)据文献[7], (d)据文献[8,9]
Fig.1 Geochemical classification diagram of granitic rocks

表 2 瑶岗仙岩体花岗岩 Nd 同位素组成

Table 2 Nd isotope compositions of granitic rocks in Yaogangxian pluton

样品号	Sm (μg/g)	Nd (μg/g)	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	εNd(t)	t _{2DM} (Ga)
C52	7.406	13.38	0.3348	0.512225	-11.13	1.86
98HN14	4.687	8.794	0.3222	0.512312	-9.13	1.70

注: εNd(t)和 t_{2DM}的计算据陈江峰和江博明(1999)^[11]; 计算参数为: t = 174Ma, (¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd)_{CHUR} = 0.512638, (¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd)_{CHUR} = 0.1967, (¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd)_{CC} = 0.118, (¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd)_{DM} = 0.2137, (¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd)_{DM} = 0.513151, λ_{Sm} = 6.54 × 10⁻¹² a⁻¹。参数中下角字母代表的含义: CHUR. 球粒陨石均一储库; DM. 亏损地幔; CC. 大陆地壳。样品 98HN14 测试数据转引自郭新生博士论文(1999);

样品 CS2 为本次工作样品,由宜昌地质矿产研究所同位素室测试。

Maniar 和 Piccoli(1989)^[20] 根据形成构造环境将花岗岩分为岛弧花岗岩(IAG)、与裂谷有关的花岗岩类(RRG)、大陆弧花岗岩类(CAG)、大陆的造陆抬升花岗岩类(CEUG)、大陆碰撞花岗岩类(CCG)和后造山花岗岩类(POG)等6种类型,并提出了构造环境(类型)判别的多组主元素图解(图2)。根据 Maniar 和 Piccoli 提出的判别方法,总体上 IAG、CAG 和 CCG 组成一组,RRG 和 CEUG 组成另一组,此两组在各氧化物判别图解中分别位于不同的区域或分区线的两侧(图2),很少跨区分布。POG 则可跨上述两组分区线分布,并有一定的分布区域(图2)。据上述判别准则,瑶岗仙岩体各样品在图2左侧两投影图中散布于分区线两侧,可初步排除其属于第一组(IAG、CAG 和 CCG)和第二组(RRG 和 CEUG)的可能。另一方面,绝大部分样点位于 POG 区内,或位于区外但紧邻 POG

区。因此,根据氧化物判别图解瑶岗仙花岗岩应属 POG,即形成于后造山构造环境。鉴于构造环境判别图解本身的局限性及地质样品受复杂条件控制常具有的奇异性,图2中个别或少样点远离 POG 区应不影响构造环境的整体判别。

花岗岩岩石地球化学特征与源岩成分、岩浆形成深度及相关的物理化学环境、岩浆运移及分异结晶过程等多种因素相关,而这些因素又一定程度上受控于区域构造环境。这就是利用岩石地球化学图解判别构造环境的根本依据。另一方面,影响花岗岩地球化学特征的诸多因素与构造环境之间显然并不存在严格的对应关系。所以一般认为利用岩石地球化学图解判别构造环境存在一定的局限性,使用判别图解分析岩体形成环境时应与地质背景研究相结合。以下进一步从湘东南中生代构造演化背景^[1,2,21]探讨瑶岗仙岩体形成构造环境。

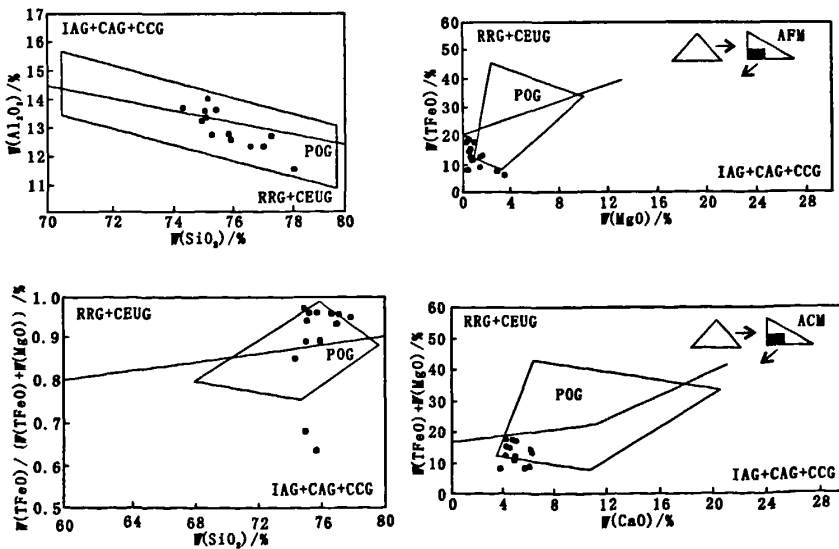


图2 花岗岩形成的构造环境判别图(据 Maniar 等,1989^[20])

Fig. 2 Diagram for discrimination of tectonic setting of granitic rocks(After Maniar and Piccoli, 1989)
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。

研究表明,湘东南地区在中三叠世后期 - 中侏罗世初为陆内造山阶段,并经历了强挤压→挤压松弛→同造山伸展→汇聚走滑的演化过程^[1,2,21]。

中三叠世后期发生印支运动,强烈的 NWW - SEE 向挤压造成泥盆纪 - 中三叠世早期地层褶皱回返,形成大量 NNE 向为主的逆冲断裂与褶皱^[22,23],

并使郴州 - 邵阳、常德 - 安仁 NW 向基底隐伏断裂产生强烈的左旋走滑^[24,25]。此次构造活动中茶陵 - 郴州断裂为区域主干断裂,断裂倾向 SEE,其逆冲活动造成断裂东侧强烈增厚并隆起,西侧则相对拗陷,从而形成“东隆西拗”的构造格局^[1]。中三叠世末 - 晚三叠世后期(233 ~ 210 Ma)为后碰撞构造环境,在挤压应力减弱、地壳相对松弛条件下由加厚的地壳在降压条件下部分熔融形成花岗质岩浆并侵位^[10,26],形成王仙岭岩体、王峰仙岩体等一批以强过铝质为主的印支期花岗岩体。晚三叠世末 - 早侏罗世产生同造山上隆伸展,形成 NNE 向伸展断裂和以汝城盆地为代表的多个断陷盆地^[27],局部薄弱带尚造成拉斑玄武质岩浆喷发。中侏罗世初构造体制反转为 NNE 向左旋汇聚走滑造山,形成山前冲断收缩盆地^[27]。

中侏罗世早期 - 晚侏罗世(154 ~ 163 Ma)湘东南地区再次进入花岗质岩浆活动阶段,形成了诸广山、万洋山、川口、大义山、宝峰仙、千里山、瑶岗仙、骑田岭、香花岭、大东山、锡田等大量燕山早期花岗岩体。诸多地质地球化学特征暗示本期花岗岩在形成过程中有地幔物质的加入并处于区域伸展构造环境中,具体如:岩体大多具被动就位机制^[1];多数岩体中发育由于基性岩浆上侵混合形成的暗色铁镁质微粒包体^[28];花岗岩 $\varepsilon\text{Nd}(t)$ 值为 $-6.14 \sim -9.80$,比典型的华南壳源型花岗岩明显偏高^[1]; T_{DM} 多在 $1.22 \sim 1.76 \text{ Ga}$ 之间^[1],比华南中生代花岗岩的背景 TDM 值($1.7 \sim 1.8 \text{ Ga}$)明显偏低等。通过主量元素与微量元素判别图解对众多花岗岩体进行的构造环境判别,进一步表明花岗岩形成于“后造山”拉张环境而不是“大陆裂谷”拉张环境,如千里山岩体^[10]、骑田岭岩体^[29]、宝峰仙岩体^[30]、大东山岩体^[31]、诸广山岩体之南体^[32]、川口岩体^[33]、香花岭岩体^[34]、锡田岩体^[35]等。在巨量花岗岩浆活动与岩体侵位的同时,深部能量和物质及大量深源或幔源流体向上传输,与地壳表层大量的张性构造(断裂与裂隙)和流体配套,组成巨大的岩浆 - 流体 - 成矿系统,形成了水口山、黄沙坪、柿竹园、瑶岗仙、骑田岭、锡田^[36]等一批大型 - 超大型矿床,使湘东南成为有色金属矿集区^[37-39]。

白垩纪开始,湘东南构造环境转变为板内裂谷

强拉张,形成了大量红色断陷盆地,局部形成 A 型花岗岩(永兴上堡),另有较多由酸性斑岩脉和辉绿岩脉组成的双峰式火山岩发育^[1]。

综上述,瑶岗仙岩体所在的湘东南地区从中三叠世开始相继经历了中三叠世后期 - 中侏罗世初陆内造山阶段、中侏罗世早期 - 晚侏罗世后造山阶段、白垩纪板内裂谷阶段等地质演化过程,这一过程符合造山带构造演化的一般规律。因此,从区域构造演化背景来看,燕山早期瑶岗仙岩体应形成于后造山构造环境。

总之,岩石化学图解判别和区域构造演化背景均表明瑶岗仙岩体形成于后造山构造环境。可能正是后造山伸展构造体制^[38]以及相关的深部热扰动为瑶岗仙岩体提供了良好的成矿环境,使得瑶岗仙大型钨矿得以形成。

5 结论

(1)燕山早期瑶岗仙花岗岩总体属弱过铝质钙碱性花岗岩类。岩浆源区为中地壳结晶基底,属 S 型花岗岩。

(2)氧化物构造环境判别图解及区域构造演化背景反映岩体形成于后造山构造环境。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 柏道远,马铁球,王先辉,等.南岭中段中生代构造 - 岩浆活动与成矿作用研究进展[J].中国地质,2008,35(3):436—455.
- [3] 陈依壤.瑶岗仙花岗岩地质地球化学特征与成岩成矿作用[J].矿产与地质,1988,2(1):62—72.
- [4] 刘汉元.瑶岗仙矿田的构造地球化学特征[J].大地构造与成矿学,1988,12(3):233—240.
- [5] 倪纪文.瑶岗仙钨矿床包体研究及成矿溶液特征的探讨[J].浙江大学学报(自然科学版),1994,28(1):73—81.
- [6] 黄存基.湖南瑶岗仙黑钨矿床阶状交替成矿论[J].湖南有色金属,2004,20(5):1—4.
- [7] Frost B R, Barnes C G, Collins W J, et al. A geochemical classification for granitic rocks[J]. Journal of Petrology

- gy, 2001, 42(11): 2033—2048.
- [8] 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.
- [9] Wheller G E, Varne R, Foden J D, et al. Geochemistry of Quaternary volcanism in the Sunda - Banda arc, Indonesia, and three - component genesis of island - arc basaltic magmas. J Volcan Geotherm Res, 1987, 32: 137—160.
- [10] 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.
- [11] 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]. 郑永飞, 化学地球动力学[C]. 北京: 科学出版社, 1999, 262—287.
- [12] Hong Dawei, Xie Xilin, Zhang Jisheng. Isotope geochemistry of granitoids in South China and their metallogeny[J]. Res. Geol., 1998, 48: 251—263.
- [13] Pei Rongfu, Hong Dawei. The granites of south China and their metallogeny[J]. Episodes, 1995, 18: 77—82.
- [14] 陈江峰, 郭新生, 汤加富, 等. 中国东南地壳增长与 Nd 同位素模式年龄[J]. 南京大学学报(自然科学), 1999, 35(6): 649—658.
- [15] 广西地质局. 广西壮族自治区地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1985.
- [16] 王方正, 李红丽, 朱勤文, 等. 湘南火山岩深源包体组合及岩石圈岩石学模型[J]. 地质科技情报, 1997, 16(3): 1—7.
- [17] 甘晓春, 赵风清, 金文山, 等. 华南火成岩中捕获锆石的早元古代 - 太古宙 U - Pb 年龄信息[J]. 地球化学, 1996, 25(2): 112—120.
- [18] 付建明, 马昌前, 谢才富, 等. 湖南九嶷山复式花岗岩体 SHRIMP 锆石定年及其地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 2004, 28(4): 370—378.
- [19] 肖庆辉, 邓晋福, 马大铨, 等. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京: 地质出版社, 2002, 21—36.
- [20] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids[J]. Geol Soc Am Bull, 1989, 101: 635—643.
- [21] 柏道远, 黄建中, 李金冬, 等. 华南中生代构造演化过程的多地质要素约束—湘东南及湘粤赣边区中生代地质研究的启示[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(1): 1—14.
- [22] 柏道远, 陈建成, 孟德保, 等. 湖南炎陵印支期隔槽式褶皱形成机制[J]. 地球科学与环境学报, 2006, (4): 10—14.
- [23] 柏道远, 王先辉, 马铁球, 等. 湘东南印支期褶皱特征及形成机制[J]. 华南地质与矿产, 2006, (4): 50—57.
- [24] 柏道远, 黄建中, 王先辉, 等. 湖南邵阳 - 郴州北西向左旋走滑暨水口山 - 香花岭南北向构造成因[J]. 中国地质, 2006, 33(1): 56—63.
- [25] 柏道远, 熊延望, 王先辉, 等. 湖南常德 - 安仁 NW 向断裂左旋走滑与安仁“y”字型构造[J]. 大地构造与成矿学, 2005, 29(4): 435—442.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 马铁球, 伍光英, 贾宝华, 等. 南岭中段郴州一带中、晚侏罗世花岗岩浆的混合作用——来自锆铁质微粒包体的证据[J]. 地质通报, 2005, 24(6): 506—512.
- [29] 柏道远, 陈建超, 马铁球, 等. 湘东南骑田岭岩体 A 型花岗岩的地球化学特征及其构造环境[J]. 岩石矿物学杂志, 2005, 24(4): 255—272.
- [30] 江西根, 柏道远, 陈建超, 等. 湘东南宝峰仙地区燕山早期花岗岩地球化学特征及其构造环境[J]. 大地构造与成矿学, 2006, 30(2): 206—219.
- [31] 马铁球, 柏道远, 邝军, 等. 南岭大东山岩体北部⁴⁰Ar - ³⁹Ar 定年及地球化学特征[J]. 地质化学, 2006, 35(4): 346—358.
- [32] 马铁球, 邝军, 柏道远, 等. 南岭中段诸广山体燕山早期花岗岩地球化学特征及其形成的构造环境分析[J]. 中国地质, 2006, 33(1): 119—131.
- [33] 柏道远, 汪永清, 王先辉, 等. 湖南衡阳燕山早期川口过铝花岗岩地球化学特征、成因与构造环境[J]. 沉积与特提斯地质, 2007, 27(2): 49—59.
- [34] 赵龙辉, 邹宾微, 柏道远. 湖南香花岭花岗岩岩石化学特征及其构造环境[J]. 华南地质与矿产, 2008, (1): 1—6.
- [35] 马铁球, 王先辉, 柏道远. 锡田含 W、Sn 花岗岩体的地球化学特征及其形成构造背景[J]. 华南地质与矿产, 2004, (1): 11—16.
- [36] 伍式崇, 罗洪文, 黄韬. 锡田中部地区锡多金属矿成矿地质特征及找矿潜力[J]. 华南地质与矿产, 2004, (2): 21—26.
- [37] 柏道远, 贾宝华, 马铁球, 等. 湘东南印支期与燕山早期

- 花岗岩成矿能力差异与岩石地球化学特征关系探讨 [J]. 岩石矿物学杂志, 2007, 26(5), 387—398.
- [38] 柏道远, 贾宝华, 李金冬, 等. 区域构造体制对湘东南印支期与燕山早期花岗岩成矿能力的重要意义——以千里山岩体和王仙岭岩体为例[J]. 矿床地质, 2007, 36(5): 487—500.
- [39] 柏道远, 周亮, 王先辉, 等. 湘东南燕山早期钨锡与铅锌多金属矿床组合形成的构造—岩浆动力学机制[J]. 地质学报, 2007, 81(9): 1238—1247.

Geochemistry, Petrogenesis and Tectonic Setting of Early Yanshanian Yaogangxian Granite Pluton, Southeastern Hunan province

SUN jian¹, NI Yan-jun², BAI Dao-yuan², MA Tie-qiu²

(1. 332 Brigade of Bureau of Geology and Mineral Exploration of Anhui province, Huangshan 245000, Anhui, China;

2. Hunan Institute of Geology Survey, Changsha 411000, Hunan, China)

Abstract: The Early Yanshanian Yaogangxian granite pluton in southern Hunan province is composing dominantly of biotite monzogranites. Their mean content of SiO_2 is 75.83 wt%, K_2O 4.78 wt%, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 8.02 wt% with mean $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ratio 1.53 and Al_2O_3 12.98 wt%. Thus, the rocks belong to weakly peraluminous granite of calc-alkaline series. $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ value of $-11.13 \sim -9.13$, $t_{2\text{DM}}$ of 1.70 ~ 1.86 Ga, coinciding with the ages for the granites from Hunan and Guangxi interior continental belt (1.8 ~ 2.4 Ga) and the basement formation ages of the study area (1.7 ~ 2.7 Ga). The magmas of the Yaogangxian granites are derived from the middle crustal crystalline basement, typical origin of the S-type granites. Multiple oxide-diagrams for discrimination of tectonic setting and regional tectonic evolution analysis indicate that the rocks are formed in the post-orogenic extension environment.

Key words: Granite; geochemical characteristics; post-orogenic; Yaogangxian; Southwestern Hunan province