

文章编号: 1007 - 3701 (2008) 01 - 0001 - 06

# 湖南香花岭花岗岩岩石化学特征及其构造环境

赵龙辉<sup>1</sup>, 邹宾微<sup>1</sup>, 柏道远<sup>2</sup>

(1. 湖南省地质环境监测总站, 湖南 长沙, 410007; 2. 湖南省地质调查院, 湖南 湘潭, 411100)

**摘要:**湖南南部燕山早期香花岭岩体主要由铁锂云母二长花岗岩组成。岩石  $SiO_2$  和  $K_2O$  平均含量分别为 73.72% 和 4.78%,  $Na_2O + K_2O$  平均 8.47%,  $K_2O/Na_2O$  比值平均为 1.40,  $Al_2O_3$  平均为 13.81%。总体属强过饱和铝质钙碱性 - 碱性花岗岩类。氧化物构造环境判别图解及区域构造演化背景反映香花岭岩体形成于后造山构造环境。

**关键词:**花岗岩; 地球化学特征; 后造山; 香花岭; 湘南

中图分类号: P588.12<sup>+</sup>1

文献标识码: A

香花岭岩体地处湘南,大地构造位置上位于南岭 EW 向构造带的中段,区域上位于水口山 - 香花岭 SN 向构造的南端<sup>[1]</sup>。由于形成了大量的钨锡和铅锌等有色金属及稀有金属铌钽矿床,香花岭岩体受到了众多研究者的关注<sup>[2~8]</sup>。王幼明等认为岩浆底劈导致了香花岭岩体周边围岩的伸展<sup>[2]</sup>,邱瑞照等通过 Nd 同位素研究认为该岩体中有地幔流体的加入并形成于中生代岩石圈减薄的背景之下<sup>[7]</sup>。本文从造山演化的角度,根据香花岭岩体的岩石地球化学特征进行构造环境判别,结合区域中生代构造发展背景,认为岩体形成于燕山早期后造山伸展构造环境。这一认识对深入研究该岩体的成岩 - 成矿背景具有重要意义。

## 1 岩体地质概况

香花岭地区整体表现为一构造 - 岩浆穹隆,自核部往翼部出露地层依次为寒武系碎屑岩、泥盆系和石炭系碳酸盐岩(主)和砂页岩(次)。区内有大小侵入体 21 个(以下统称香花岭岩体),地表出

露面积约 7.5 km<sup>2</sup>,一般呈小岩株或岩滴状产出,规模较大者主要有癞子岭岩体、尖峰岭岩体(430)和香花岭岩体(431)。在小岩体群周围存在大范围的热变质晕圈,结合钻探资料证实,深部存在被称为“香花岭环”的隐伏岩基<sup>[4]</sup>。

香花岭岩体主体岩性为细粒、中细粒和细中粒铁锂云母二长花岗岩,主要由钾长石、斜长石、石英、铁锂云母、黄玉等组成,钾长石在部分岩体内已全部被钠长石交代。岩体内蚀变作用非常强烈,主要有钠长石化、云英岩化、黄玉化、萤石化、绢云母化、硅化、钾长石化、高岭土化等,其中钠长石化、云英岩化、黄玉化、萤石化等蚀变与稀有金属、钨、锡矿化关系密切。

岩体内岩脉较发育,岩性主要有花岗斑岩、石英斑岩、细粒花岗岩、花岗细晶岩、石英钠长斑岩、花岗伟晶岩、云英岩等。

## 2 岩石化学特征

香花岭岩体花岗岩的主元素含量分析结果如表 1 所示。 $SiO_2$  含量高,变化在 71.74% ~ 77.20% 之间,平均为 73.72%。 $Al_2O_3$  含量高,在 11.62% ~ 15.85% 之间,平均为 13.81%;  $K_2O$  含量较高,平均为 4.78%; 全碱 (ALK) 含量,即  $Na_2O + K_2O$  为

收稿日期: 2007 - 11 - 26

基金项目: 国土资源部地质大调查项目 (200213000035) 资助。

作者简介: 赵龙辉 (1964—) 男, 高级工程师, 从事地质调查工作。

6.97% ~ 9.79%, 平均为 8.47%;  $K_2O/N_2O$  比值平均为 1.40, 个别样品  $K_2O$  小于  $N_2O$  可能与钠长石化有关;  $FeO^T$ 、 $TiO_2$ 、 $MgO$ 、 $CaO$  和  $P_2O_5$  含量低, 平均分别为 1.70%、0.04%、0.07%、0.78%、0.01%。

Frost等<sup>[9]</sup>提出了花岗质岩石的新的分类方案, 其依据是三个地球化学变量, 即 Fe数 ( $(FeO)/(FeO + MgO)$ ), 这里“FeO”为 FeO 与  $Fe_2O_3$  之和 (全

铁)), 修改的碱钙指数 ( $(Na_2O + K_2O - CaO)$ ) 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)), 香花岭岩体的岩石总体属铁质 (少量镁质)、钙碱性 - 碱性及过铝质的花岗岩 (图 1(a) ~ (c)), 且大多为 ASI 大于 1.1 的强过铝花岗岩。在硅 - 钾图中 (图 1(d)), 主要属高钾钙碱性系列, 少量属钾玄岩系列。

表 1 香花岭岩体岩石化学成分

Table 1 Petrochemical components of granites in Xanghualing plutons

序号	样号	$SiO_2$	$TiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	FeO	MnO	MgO	CaO	$Na_2O$	$K_2O$	$P_2O_5$	灼失	总和	ASI	ANK	ALK	$K_2O/N_2O$
1	C26-1	74.60	0.05	11.88	0.01	1.55	0.03	0.10	2.20	2.53	6.07	0.01	0.60	99.63	0.81	1.11	8.6	2.40
2	761-H1	72.72	0.04	14.51	0.22	1.12	0.06	0.10	0.48	4.11	5.68	0.02	0.47	99.53	1.05	1.12	9.79	1.38
3	C25	74.79	0.05	13.23	0.01	2.38	0.09	0.11	0.43	3.40	4.46	0.01	0.40	99.36	1.18	1.27	7.86	1.31
4	C29	73.86	0.03	13.51	0.27	2.30	0.06	0.16	0.82	3.35	4.63	0.01	0.40	99.40	1.12	1.28	7.98	1.38
5	1	77.20	0.07	11.62	0.25	1.06	0.04	0.45	0.87	2.74	4.20	0.02	0.62	99.14	1.09	1.28	6.94	1.53
6	2	74.34	0.04	13.16	0.24	1.26	0.08	0.60	1.34	2.92	4.78	0.02	0.38	99.16	1.06	1.32	7.70	1.64
7	3-H8	72.80	0.03	15.29	0.14	1.58	0.05	0.22	0.28	4.62	4.98	0.02	0.35	100.4	1.13	1.18	9.60	1.08
8	尖 2	73.18	0.04	14.02	0.16	1.48	0.06	0.25	0.88	2.68	5.86	0.01	1.03	99.65	1.13	1.30	8.54	2.19
9	3-H4	71.74	0.03	15.85	0.06	1.11	0.08	0.61	0.28	5.00	4.58	0.01	0.56	99.91	1.16	1.20	9.58	0.92
10	2-H1	72.64	0.03	14.17	0.30	1.40	0.08	0.25	0.84	3.94	4.60	0.01	0.50	98.76	1.09	1.24	8.54	1.17
11	2-H5	73.94	0.02	13.74	0.15	1.32	0.06	0.23	0.45	3.80	5.14	0.01	0.62	99.48	1.09	1.16	8.94	1.35
12	1-14	72.80	0.03	14.69	0.19	1.98	0.12	0.23	0.56	5.22	2.40	0.01	1.25	99.48	1.20	1.31	7.62	0.46

注: 1号(序号)样品为细粒铁锂云母二长花岗岩, 2号~11号为细中粒铁锂云母二长花岗岩, 12号为中细粒铁锂云母二长花岗岩; 样品 C26-1、C25、C29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  $SiO_2$  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 万香花岭幅区域地质调查报告 (湖南区调所, 1988);  $ASI = Al/(Ca - 1.67P + Na + K)$  (分子比);  $ANK = Al/(Na + K)$  (分子比);  $ALK = Na_2O + K_2O$ 。

### 3 构造环境

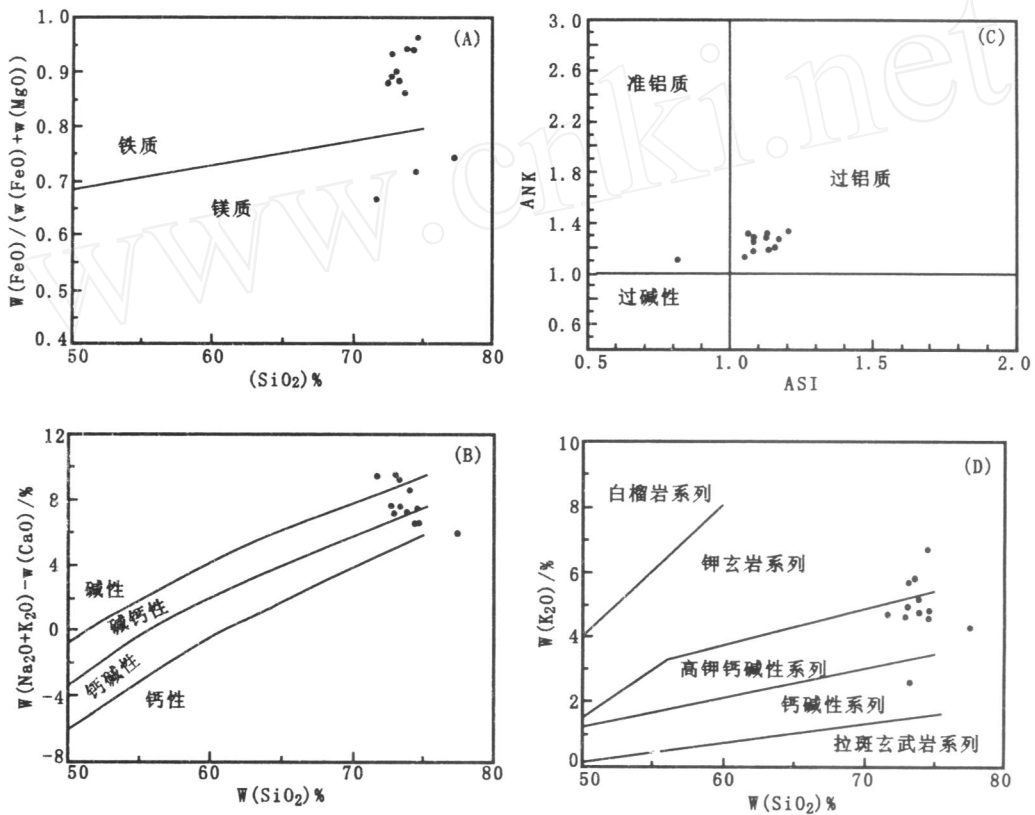
花岗岩构造环境研究在上世纪九十年代后期随着后碰撞构造环境和相关术语的提出而取得重要进展。1997年在法国召开的“后碰撞岩浆作用”国际花岗岩会议将“后碰撞作用”单独划分出来, 指时间比碰撞作用晚, 但仍与碰撞作用有关系的构造作用。根据会议对碰撞作用、后碰撞作用、后造山

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<sup>[10]</sup>。以下讨论花岗岩构造环境采用上述造山演化概念。

Maniar和 Piccoli (1989)<sup>[11]</sup>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, 并提出了花岗岩构造环境 (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) 而不会跨区分布。POG 则另有其分布区域, 并跨上述两组分区线分布 (图 2)。据上述判别准则, 香花岭岩

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 IAG、CAG 和 CCG 或 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确定香花岭花岗岩应属 POG, 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, 图 2 中个别或少数样点远离 POG 区当属正常。



(a) ~ (c) 据文献<sup>[9]</sup>, (d) 据文献<sup>[12-13]</sup>

图 1 花岗岩地球化学分类图解

Fig 1 Diagram of Geochemical classification of granitoids

值得指出的是, ASI 大于 1.1 的强过铝 (SP) 花岗岩通常形成于造山期的后碰撞阶段<sup>[10]</sup>, 但这并不排除后造山环境下形成强过铝花岗岩的可能。如本文香花岭强过铝花岗岩即形成于后造山环境, 已有研究表明湘东南地区的燕山早期川口强过铝花岗岩<sup>[11]</sup>和加里东期彭公庙岩体强过铝花岗岩<sup>[14]</sup>也形成后造山环境。

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, 故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。以下从湘东南中生代构造演化背景进一步探讨香花岭岩体形成构造环境。

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 - 汇聚走滑的复杂过程。中三叠世后期发生印支运动, 强烈的 NW - SE 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<sup>[15-18]</sup>, 并造成郴州

- 邵阳、常德 - 安仁 NW 向基底隐伏断裂强烈的左旋走滑<sup>[1,19]</sup>。其中倾向 SEE 的茶陵 - 郴州断裂为区域主断裂,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<sup>[15]</sup>。热年代学研究表明,五峰仙、大义山、骑田岭等地区在本次构造事件中地壳可能叠置增厚了 4 100 ~ 7 700m 以上<sup>[20]</sup>。中三叠世末 - 晚三叠世后期 (233 ~ 210Ma) 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<sup>[21-22]</sup>,形成王仙岭岩体、王峰仙岩体等一批以强过铝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<sup>[23]</sup>,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

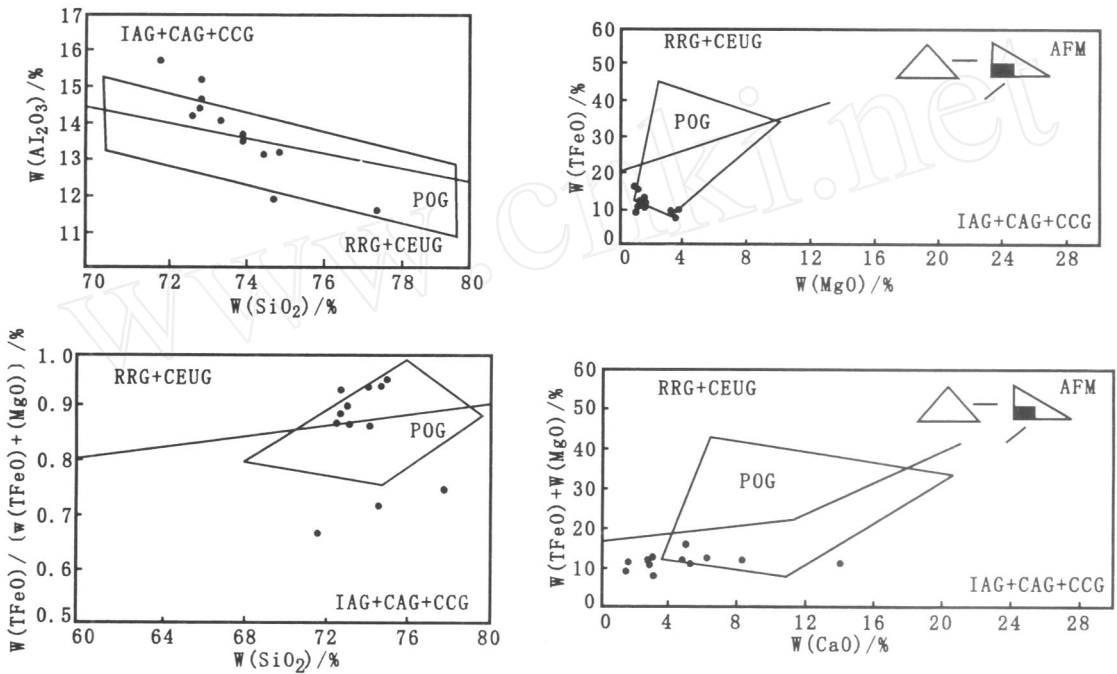


图 2 花岗岩形成的构造环境判别图 (据 Maniar 等, 1989<sup>[24]</sup>)

Fig 2 Diagram for discrimination of environment of granites

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。

冲断收缩盆地<sup>[23]</sup>。

中侏罗世早期 - 晚侏罗世 (154 ~ 163 Ma) 该区进入后造山阶段, 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、大东山等大量燕山早期花岗岩体侵位。本期岩体大多具被动就位机制<sup>[15]</sup>; 岩体中多发育大量暗色铁镁质微粒包体<sup>[25]</sup>; 花岗岩 Nd(t) 值为 - 6.14 ~ - 9.80, 比典型的华南壳源型花岗岩明显偏高<sup>[15]</sup>; T2DM 多在 1.22Ga ~ 1.76Ga 之间<sup>[15]</sup>, 比华南中生代花岗岩的背景 TDM 值 (1.7 ~ 1.8Ga) 明显偏低。上述均暗示燕山早期花岗岩在形成过程中有地幔物质的加入及区域伸展构造环境。主量元素与微量元素构

造环境判别图解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<sup>[21]</sup>、骑田岭岩体<sup>[26]</sup>、宝峰仙岩体<sup>[27]</sup>、大东山岩体<sup>[28]</sup>、诸广山南体<sup>[29]</sup>、川口岩体<sup>[13]</sup>等。在后造山伸展构造环境下, 伴随巨量花岗岩浆形成与大量花岗岩体的侵位, 由于壳幔相互作用、深部能量和物质及大量深源或幔源流体向浅部传输, 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、香花岭、骑田岭等一批大型 - 超大型矿床, 使湘东南成为有色金属矿集区<sup>[30-33]</sup>。

白垩纪开始, 湘东南构造环境及构造 - 岩浆

活动特征再次发生根本性的大转变,构造环境由先期后造山伸展转变为板内裂谷强拉张,形成大量红色断陷盆地,局部(永兴上堡)形成 AA 型花岗岩,另有较多由酸性斑岩脉和辉绿岩脉组成的双峰式次火山岩发育<sup>[15]</sup>。

综上所述,香花岭岩体所在的湘东南地区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,燕山早期香花岭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香花岭岩体形成于后造山构造环境。

## 4 结论

燕山早期香花岭花岗岩总体属强过铝质钙碱性 - 碱性花岗岩类。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, 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.
- [2] 汪幼明, 段嘉瑞, 周崇智. 香花岭岩浆底劈伸展构造及其控矿的研究 [J]. 矿产与地质, 1994, 8(2): 88—92.
- [3] 黄蕴慧, 杜绍华, 周秀仲. 香花岭岩石与矿物 [M]. 北京: 科技出版社, 1988.
- [4] 徐永奎. 香花岭及其邻区的岩浆岩研究取得新进展 [J]. 湖南地质, 1992, 11(2): 294—298.
- [5] Du Shaohua, Qiu Ruizhao. A preliminary study on the evolutionary characteristics of REE in granitoid rocks and their formation mechanisms in Xianghualing region, Hunan Province, China [J]. Chinese Journal of Geochemistry, 1991, 10(1): 68—79.
- [6] 邱瑞照, 周肃, 常海亮, 等. 超临界流体在花岗岩成岩成矿过程中的作用——以香花岭花岗岩型铌钽矿床(430)为例 [J]. 地质科技情报, 1998, 17(增刊): 40—44.
- [7] 邱瑞照, 邓晋福, 蔡志勇, 等. 湖南香花岭 430 花岗岩体 Nd 同位素特征及岩石成因 [J]. 岩石矿物学杂志, 2003, 22(1): 41—46.
- [8] 邱瑞照, 周肃, 常海亮, 等. 香花岭花岗岩稀土元素演化 [J]. 现代地质, 2002, 16(1): 53—58.
- [9] Frost B R, Barnes C G, Collins W J, et al. A geochemical classification for granitic rocks [J]. Journal of Petrology, 2001, 42(11): 2033—2048.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Wheller G E, Vame 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]. J Volcan Geotherm Res, 1987, 32: 137—160.
- [14] 柏道远, 黄建中, 马铁球, 等. 湘东南志留纪彭公庙花岗岩体的地质地球化学特征及其构造环境 [J]. 现代地质, 2006, 20(1): 130—140.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 柏道远, 黄建中, 孟德保, 等. 湘东南地区中、新生代山体隆升过程的热年代学研究 [J]. 地球学报, 2006, 27(6): 525—536.
- [21] 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.

- [22] 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
- [23] 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.
- [24] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids[J]. Geol Soc Am Bull, 1989, 101: 635—643.
- [25] 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——来自镁铁质微粒包体的证据[J]. 地质通报, 2005, 24(6): 506—512
- [26] 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
- [27] 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.
- [28] 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
- [29] 马铁球,邝军,柏道远,等. 南岭中段诸广山南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.
- [30] 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
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] 丁正兴,柏道远,马铁球,等. 骑田岭岩体成岩与成矿关系研究[J]. 华南地质与矿产, 2007, (3): 1—6

## Petrochemical features and tectonic setting of Xianghualing granites in southern Hunan

ZHAO Long - hu<sup>1</sup>, ZOU Bin - wei<sup>1</sup>, BAIDao - yuan<sup>2</sup>

(1. General Geological Environmental Monitoring Station of Hunan Province, Changsha Hunan 410007;

2. Hunan Institute of Geology Survey, Xiangtan Hunan 411100)

**Abstract:** The Early Yanshanian Xianghualing granites in southern Hunan consist dominantly of iron - lithium mica monzonitic granites. Their mean content of  $SiO_2$  is 73.72%,  $K_2O$  4.78%,  $Na_2O + K_2O$  8.47% with mean  $K_2O/Na_2O$  ratio 1.40 and  $Al_2O_3$  13.81%. Thus, the rocks belong to strong peraluminous calc - alkaline to alkaline series. Multiple oxide - diagrams for discrimination of structural environment and regional tectonic evolution background indicate that the rocks were formed in a post - orogenic extension environment.

**Key words:** granite; Geochemistry; post - orogenic; Xianghualing; southern Hunan