

北秦岭漂池岩体的源区特征 及其形成的构造环境

张宏飞 骆庭川 张本仁

(中国地质大学地球化学研究所, 武汉)

内容提要 北秦岭漂池花岗质岩基为早古生代岩浆活动的产物, 岩石类型主要为二云母花岗岩。通过主要元素、微量元素及 Nd, Sr, O 同位素特征的分析, 其成因类型为 S 型花岗岩, 成岩物质来自壳源碎屑物。研究表明, 秦岭群片麻岩类是形成漂池岩体的主要源岩。结合区域地质背景分析, 岩体并不形成于板块碰撞环境, 而形成于北秦岭早古生代活动大陆边缘, 受板块俯冲作用的动力学影响所诱发的陆缘地壳物质熔融的产物。因此, 漂池岩体形成的构造类型是活动陆缘的 S 型花岗岩, 它作为一个新的构造类型应在今后关于花岗岩板块构造环境分类中单独划出。

关键词 花岗岩 源区 构造环境 漂池岩体 北秦岭

随着板块构造学说向地球科学各个学科的渗透, 越来越多的地质学家开始从板块构造角度出发研究花岗岩类的成因和分类。然而从现有文献看, 在对花岗岩按板块构造环境的成因分类中^[1-4], 往往忽视对活动大陆边缘环境中的花岗岩的全面研究。其实, 在活动大陆边缘环境中, 不但有岛弧型或安第斯型花岗岩(I型)的产出, 而且还有活动陆缘壳源 S 型花岗岩的产出, 北秦岭中漂池岩体就是其中一例。作为一个新的花岗岩构造类型, 它的形成机制及其构造学意义应引起人们的重视。

1 岩体地质特征

漂池岩体在构造位置上位于商丹断裂带北侧的北秦岭造山带中(图1), 围岩主要为秦岭群片麻岩类, 岩体与围岩呈明显的侵入接触, 局部见有冷凝边。岩体出露面积为 145km², 以岩基产出, 主要岩石类型为二云母花岗岩。岩石为灰白色, 中粒—中粗粒, 弱片麻状构造, 主要矿物组成: 石英 32%、微斜长石 26%、斜长石($An=30$) 34%、黑云母 5%、白云母 3%, 副矿物组合为钛铁矿-磷灰石-独居石-电气石-萤石。岩体内晚阶段的白云母、电气石伟晶岩脉及花岗伟晶岩脉较为发育, 常伴随稀有金属 Nb, Ta, Li, Be 的矿化。

根据对漂池岩体二云母花岗岩全岩 Rb-Sr 等时年龄的测定, 获得其年龄值为 $486 \pm 15\text{Ma}$ ($\text{MSWD}^{\text{①}}=7$), 反映岩体属早古生代岩浆活动的产物。另外, 漂池岩体东南部的一个分枝(前人称安吉坪岩体)也获得了二云母花岗岩的全岩 Rb-Sr 等时年龄为 $452 \pm 2\text{Ma}$ ($\text{MSWD}=8$)^[5],

注: 本文为国家自然科学基金(编号 48970171)和地质行业科学发展基金联合资助项目中部分成果。

① MSWD 指 York 等时方程的平均标准权重偏差。

本文 1993 年 4 月收到, 10 月改回, 刘淑春编辑。

可作为漂池岩体形成时代的一个可靠佐证。

2 地球化学特征及其源区分析

根据漂池岩体二云母花岗岩的岩石化学、微量元素、稀土元素和同位素组成的分析,岩石具有如下地球化学特征:

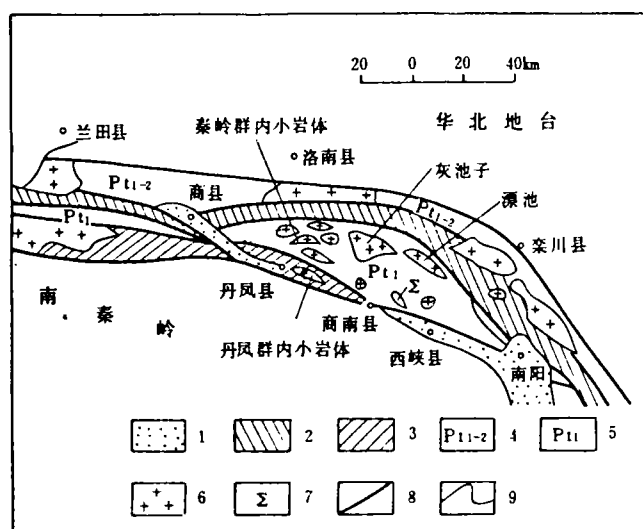


图1 北秦岭丹凤-西峡一带地质略图

Fig. 1 Geological sketch map of the Danfeng-Xixia area in North Qinling

1. 白垩系-新生界; 2. 二郎坪群; 3. 丹凤群; 4. 宽坪群; 5. 秦岭群;
6. 花岗岩类; 7. 超镁铁质岩; 8. 断裂; 9. 地质界线
1. Cretaceous—Cenozoic; 2. Erlangping Group; 3. Danfeng Group;
4. Kuanping Group; 5. Qinling Group; 6. granitoids;
7. ultramafic rock; 8. fault; 9. geological line

(1) 4个二云母花岗岩岩石化学平均成分: SiO_2 71.47%, TiO_2 0.19%, Al_2O_3 14.69%, Fe_2O_3 0.47%, FeO 1.46%, MnO 0.04%, MgO 0.62%, CaO 1.46%, Na_2O 4.27%, K_2O 4.36%, P_2O_5 0.07%, H_2O 0.50%, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 8.63\%$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 1.02$; 同中国花岗岩的平均成分比较^[6], SiO_2 , Na_2O , K_2O , Al_2O_3 等含量偏高或相近, 而 MgO , $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$, CaO 和 TiO_2 含量偏低; 岩石 $\text{A}/\text{KNC} = 1.10$, 里特曼指数为 2.61, 属钙碱性铝饱和系列岩石; 在 ACF 图解中, 样品均落入 S 型花岗岩区。

(2) 二云母花岗岩微量元素组成: Li 74×10^{-6} , Be 5.9×10^{-6} , Rb 247×10^{-6} , Hf 3.21×10^{-6} , 这些元素的含量明显高于世界花岗岩的平均含量^[6], 显示富集特征; 而 Sr , Ba , Nb , Ta , Th , Zr , Co , Ni , Cr 的含量明显偏低; 岩石中 K/Rb 值为

146, Ba/Sr 值为 2.58; 在 Pearce 等^[2]提出的关于花岗岩类微量元素与其形成的构造环境判别图解上(图 2), 漂池岩体二云母花岗岩样品点均位于同碰撞型花岗岩区。

(3) 二云母花岗岩的稀土元素总量不高, 4个样品的 ΣREE 平均值为 144×10^{-6} , $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y} = 9.51$, $\text{La}_\text{N}/\text{Yb}_\text{N} = 29.36$, $\delta\text{Eu} = 0.70$, 其组成模式为右倾存在弱负 Eu 异常的平滑曲线(图 3)。

(4) 3个二云母花岗岩全岩氧同位素测定结果表明, 其 $\delta^{18}\text{O}_\text{o}$ 为 10.9—11.7, 平均值为 11.2, 与 S 型花岗岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值相当。另外, 二云母花岗岩的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 初始比值为 0.7204, 同时测得漂池岩体的一个分枝(安吉坪岩体)的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ 为 0.7293^[5], 很显然, 岩体的成岩物质为陆壳碎屑。更重要的是二云母花岗岩 Sm-Nd 和 Rb-Sr 同位素配套分析表明(表 1), $\epsilon_\text{Nd}(T)$ 变化于 -10.07—-9.04 之间, 平均为 -9.66; $\epsilon_\text{Sr}(T)$ 变化于 +275—+298 之间, 这充分表明其岩浆物质的来源以壳源为主。

上述漂池岩体岩石的地球化学特征清楚地表明具有 S 型花岗岩的地球化学特征, 其成岩

物质主要来自于陆壳碎屑。进一步从同位素示踪的分析,二云母花岗岩与秦岭群片麻岩有着极为相似的氧同位素组成(5个片麻岩样品的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{‰}}$ 平均值 11.0)。另外在 $\epsilon_{\text{Nd}}-\epsilon_{\text{Sr}}$ 图解上(图 4),漂池岩体岩石的样品点位于第 IV 象限右下方,与秦岭群片麻岩在漂池岩体形成时的 $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ 值十分相近,显示了漂池岩体的成岩物质与秦岭群片麻岩的内在联系。二云母花岗岩的 Nd 同位素亏损地幔模式年龄 (T_{DM}) 为 1830Ma—1920Ma,与秦岭群的形成时代相当(2210Ma, Th-Th 等时年龄^[7]; 2226Ma, U-Pb^①; 1982Ma, Sm-Nd^①)。由此可见,漂池岩体主要为秦岭群片麻岩类部分熔融形成,若按 Depaolo^[8] 提出的利用 Nd 同位素计算岩石中壳幔比例的方法,计算得到形成漂池岩体的岩石中,秦岭群片麻岩类物质所占比例为 95% 左右,几乎为纯的片麻岩类物质。由于秦岭群片麻岩类主要为一套负变质岩^[7],故漂池岩体岩石具有 S 型花岗岩的地球化学特征。

3 漂池岩体形成的构造环境

张国伟等^[9]主要根据地质分析认为,在早古生代,北秦岭已转入现代构造体制的板块构造演化阶段,是该区重要的俯冲造山期。并以商丹断裂为界,南侧的南秦岭为扬子板块北缘的被动大陆边缘,北侧的北秦岭为华北板块南缘的活动大陆边缘,这时秦岭群变质杂岩已转化为岛弧的基底。张本仁等^[10]采用综合配套的地球化学研究方法,也确认北秦岭在早古生代具有活动大陆边缘性质以及发生秦岭古洋壳板块向北的俯冲消减运动。笔者等^[11,12]也曾研究指出,北秦岭丹凤地区秦岭群内早古生代花岗岩类岩体为岛弧或活

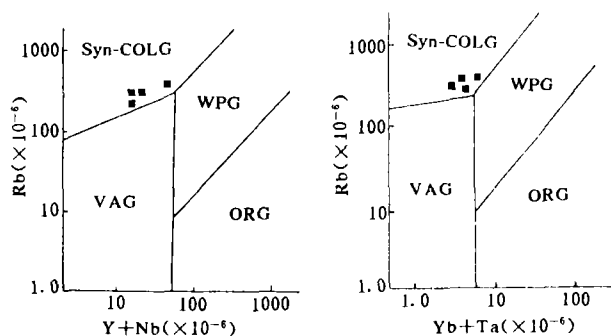


图 2 Rb-(Y+Nb)和 Rb-(Yb+Ta)构造判别图解^[2]

Fig. 2 Tectonic discrimination diagrams of Rb-(Y+Nb) and Rb-(Yb+Ta) for granites^[2]

Syn-COLG 同碰撞花岗岩; VAG 岛弧花岗岩; WPG 板内花岗岩; ORG 洋脊花岗岩; 黑方块为漂池岩体二云母花岗岩
Syn-COLG Syncollisional granites; VAG volcanic arc granites; WPG within plate granites; ORG ocean ridge granites; black square is two-mica granites of the Piaoichi pluton

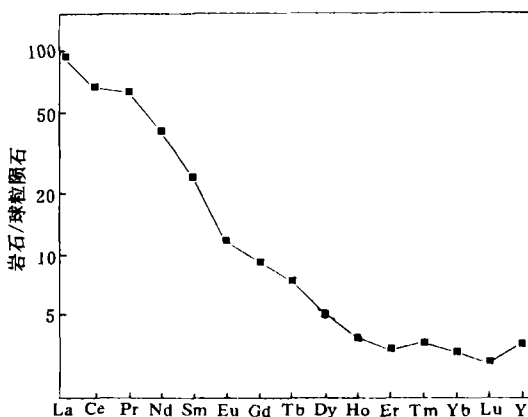


图 3 二云母花岗岩稀土元素组成模式 (4个样品平均值)

Fig. 3 Chondrite-normalized REE pattern of the two-mica granites (average for four samples)

① 张宗清. 北秦岭变质地层秦岭-宽坪-陶湾群同位素年代学研究报告. 1992.

动陆缘环境下的产物,成岩物质为壳幔混源(以幔源为主),与板块的俯冲消减作用有关。

表 1 漂池岩体二云母花岗岩 Nd 和 Sr 同位素组成

Table 1 Nd and Sr isotopic compositions of the two-mica granites from the Piaochi batholith

样号	岩石类型	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\epsilon_{\text{Nd}}(T)$	$\epsilon_{\text{Sr}}(T)$	$T_{\text{DM}}(\text{Ma})$
Pc-5	二云母花岗岩	0.1106	0.511849 ± 7	3.6499	0.74921 ± 2	-10.07	+285	1920
Pc-6	二云母花岗岩	0.1106	0.511859 ± 6	2.9297	0.74513 ± 1	-9.87	+298	1910
XQ9101 ^①	二云母花岗岩	0.1085	0.511895 ± 17	2.1750	0.73830 ± 4	-9.04	+275	1830

①据陈岳龙,1992;其余样品由笔者在中国科技大学制备,在中国地质大学测试中心 MAT-261 上完成测试,标准样品 BCR-1 的 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 值测定结果为 0.512638。 $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ 的计算采用 $T = 486\text{Ma}$, $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}} = 0.512638$, $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}} = 0.1967$ (Jacobsen 和 Wasserbury, 1980); T_{DM} 的计算采用 $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{DM}} = 0.51315$, $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{DM}} = 0.21357$ (江博明, 1989); $\epsilon_{\text{Sr}}(T)$ 的计算采用 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{UR}} = 0.7045$, $(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})_{\text{UR}} = 0.0827$ (Depaolo, 1990)。

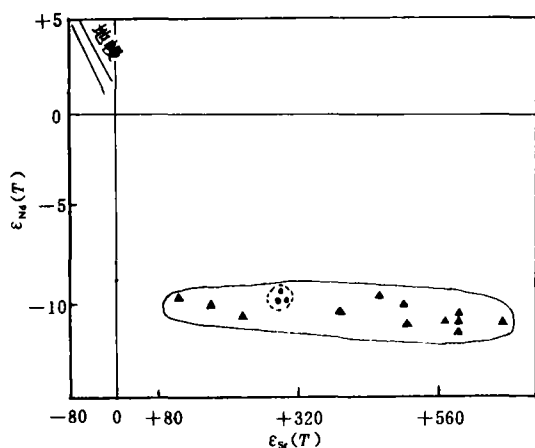


图 4 漂池岩体二云母花岗岩 $\epsilon_{\text{Nd}}-\epsilon_{\text{Sr}}$ 图解

Fig. 4 $\epsilon_{\text{Nd}}-\epsilon_{\text{Sr}}$ diagram for the two-mica granites of the Piaochi pluton

- 二云母花岗岩; ▲ 秦岭群片麻岩类
(据张宗清, 1992 年资料计算, 取 $T = 486\text{Ma}$)
- Two-mica granites; ▲ Qinling Group gneiss
(after Zhang Zongqing, 1992)

然而北秦岭早古生代的漂池岩体在空间上与北秦岭早古生代的岛弧型或活动陆缘型花岗岩相邻, 根据其岩石学和地球化学特征的分析, 岩石具弱片麻状构造, 成因类型属 S 型花岗岩, 岩浆形成源区来自于秦岭群片麻岩类的熔融改造, 微量元素特征上类似于同碰撞型花岗岩。这些特征似乎表明漂池岩体的形成与板块的碰撞作用有关。但我们应当注意到, 虽然 S 型花岗岩具有碰撞型花岗岩的地球化学特征, 但并不能就此认为其形成于板块碰撞带环境, 这正象不能简单地将 I 型花岗岩归结为岛弧环境下的产物一样。因此在分析花岗岩形成的构造环境时, 一定要把花岗岩类的产出放到其所处的时空结构中加以综合分析。

S 型花岗岩可形成于多种构造环境, 在板块俯冲作用过程中和板块碰撞过程中都可以诱发地壳物质的部分熔融而形成 S 型花岗岩。根据区域构造发展的分析, 秦岭地区的板块陆-陆碰撞造山的主期发生于晚古生代大

约 300Ma 左右^[9,10], 此时才有大量的碰撞型花岗岩形成。漂池岩体形成于秦岭板块的俯冲期, 显然不能将之作为碰撞型花岗岩处理, 也并不为由板块俯冲的远距离效应而形成的板内改造型^[4], 因为漂池岩体在空间上与其时代相近的早古生代岛弧或活动陆缘花岗岩(如秦岭群内早古生代的小岩体和灰池子岩体等)同处北秦岭构造带中(图 1)。因此漂池岩体的形成应归属于当时活动大陆边缘上陆壳物质的改造熔融, 形成于活动陆缘的构造环境, 其形成的构造机制

是:在板块俯冲消减运动过程中,仰冲盘必然会受到俯冲盘的挤压应力作用的影响,这种强大的挤压作用波及到活动陆缘的中、下地壳,在形成俯冲型(岛弧或活动陆缘 I 型)花岗岩的同时,仰冲盘的中、下地壳物质发生剪切,形成地温异常区,促使壳内物质调整而发生部分熔融,最后形成花岗质岩浆。很显然,这种活动陆缘 S 型花岗岩的形成并不与板块俯冲的消减带物质有着直接的联系,而是与板块俯冲作用的动力学相联系。

4 结论

(1)北秦岭漂池岩体二云母花岗岩的形成时代为 $486 \pm 15\text{Ma}$,属早古生代岩浆活动的产物。

(2)根据对漂池岩体的地质地球化学特征的研究,其主体的二云母花岗岩属 S 型花岗岩,同位素示踪反应源岩主要来自于秦岭群片麻岩类的改造。

(3)根据秦岭构造发展历史的分析,漂池岩体形成于北秦岭早古生代活动陆缘的构造环境,是在板块俯冲作用过程中所诱发的陆缘陆壳物质改造熔融的产物,应为活动陆缘的 S 型(或改造型)花岗岩。

(4)在活动陆缘中,不仅仅有活动陆缘 I 型花岗岩的产出,而且还有活动陆缘 S 型花岗岩的产出。活动陆缘 S 型花岗岩是按花岗岩板块构造环境分类中的一个新类型,在今后的工作中必须加强对这类花岗岩的深入研究。

参 考 文 献

- 1 Pitcher W S. Granite type and tectonic environment. In: Mountain Building Process. K. Hsu, editor, Academic Press, 1982. 19—40.
- 2 Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Petrology*, 1984, 25(4): 956—983.
- 3 Maniar P D, Picoli P M. Tectonic discrimination of granitoids. *Geo. Soc. Am. Bull.*, 1989, 101: 635—643.
- 4 杨树锋. 成对花岗岩与板块构造. 北京: 科学出版社, 1987.
- 5 陈能松, 游振东. 豫西东秦岭造山带核部杂岩全岩 Sm-Nd, Rb-Sr 和单晶锆石 ^{207}Pb - ^{206}Pb 计时及其地壳演化. *地球化学*, 1991, (3): 219—228.
- 6 中国科学院贵阳地球化学研究所. 简明地球化学手册. 北京: 科学出版社, 1977.
- 7 游振东等. 秦岭造山带核部杂岩的基本特征与东秦岭大陆地壳的构成. 见: 秦岭造山带学术讨论会论文选集. 西安: 西北大学出版社, 1991. 1—12 页.
- 8 Depaolo D J, Linn A M, Schuber G. The continental crustal age distribution: Methods of determining mantle separation age from Sm-Nd isotopic data and application to the Southwestern United States. *J. Geophys. Res.*, 1991, 96: 2071—2088.
- 9 张国伟等. 秦岭造山带的形成与演化. 西安: 西北大学出版社, 1988.
- 10 张本仁等. 秦巴地区岩石圈地球化学特征和演化及其地质意义. 见: 张本仁等著. 秦巴区域地球化学文集. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990. 1—32 页.
- 11 骆庭川, 张宏飞, 刘建雄. 华北地台南缘与北秦岭花岗岩类的成因及其构造环境. 见: 张本仁等著. 秦巴区域地球化学文集. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990. 67—90 页.
- 12 骆庭川, 张宏飞, 张本仁. 北秦岭丹凤—西峡地区古岛弧花岗岩类成分极性及其成因探讨. *地球科学*, 1993, (1): 67—72.

THE SOURCE AND TECTONIC SETTING OF THE PIAOCHI BATHOLITH IN THE NORTH QINLING

Zhang Hongfei, Luo Tingchuan and Zhang Benren

(*China University of Geosciences, Wuhan, Hubei*)

Abstract

The Piaoichi granitic batholith in the North Qinling, which formed in the Early Paleozoic, is composed mainly of two-mica granites. Systematic geochemical studies show that the two-mica granites are typical S-type granites, derived from crustal clastic sediments. Their formation had a genetic link with Qinling Group gneisses. According to the regional tectonic setting, the Piaoichi batholith was not formed in continent-continent collision environment, but formed on the Early Paleozoic North Qinling active continental margin. It resulted from fusion of continental-margin crustal material induced by the dynamics of plate subduction. Thus, the rocks of the Piaoichi pluton should belong to the S-type granites of active continental margin. It is a new tectonic type of granitoids, and should be defined independently in the classification of plate-tectonic setting for granitoid formation.

Key words: granite, source, tectonic setting, Piaoichi batholith, North Qinling

作者简介

张宏飞,男,生于1962年11月。1983年毕业于武汉地质学院地球化学专业,1992年获中国地质大学博士学位。现为中国地质大学(武汉)地球化学研究所副教授,从事区域地球化学和岩浆作用地球化学方面的研究。通讯处:武汉中国地质大学地球化学研究所,邮政编码:430074。