

# 豫西二郎坪满子营花岗岩体地球化学及年代学研究

郭彩莲 陈丹玲 樊伟 王爱国

(西北大学大陆动力学国家重点实验室, 西北大学地质学系, 陕西西安 710069)

**摘要:** 对出露于豫西西峡县北部二郎坪地区的满子营花岗岩体进行了详细的岩石学、地球化学及锆石 U-Pb 年代学研究, 重点讨论了该岩体的成因。满子营花岗岩主要由石英(40%~50%)、钾长石(25%~30%)和斜长石(15%~20%)组成, 副矿物有锆石、磷灰石、磁铁矿等。地球化学分析显示, 岩石总体呈高硅、富碱、高钾、高铝和低镁、低钙的特征,  $K_2O/Na_2O > 1$ , 里特曼指数  $\sigma$  为 1.81~2.39, 属高钾钙碱性系列。岩石的铝饱和指数(A/CNK)大于 1.1, 具有过铝质 S 型花岗岩的特征。稀土配分模式为右倾“V”字形, 轻重稀土分馏明显( $(La/Yb)_N = 4.63 \sim 32.27$ ), 具有较强的负铕异常( $\delta Eu = 0.38 \sim 0.63$ ); 在洋脊花岗岩标准化蛛网图上, 岩石明显富集 Rb、Th、K 等大离子亲石元素(LILE), 亏损 Nb、Ta 等高场强元素(HFSE), 兼具同碰撞和岛弧花岗岩的特征。锆石的 LA-ICP-MS 原位定年获得花岗岩的结晶年龄为  $459.5 \pm 0.9$  Ma。根据满子营花岗岩与二郎坪火山岩时、空分布的一致性和岩体性质上的相似性, 认为满子营花岗岩的形成与二郎坪岛弧火山岩的形成有关, 是由板块俯冲所导致的活动陆缘上陆壳物质部分熔融的产物。

**关键词:** 地球化学; 锆石 U-Pb 定年; S 型花岗岩; 满子营; 河南省西部

中图分类号: P588.12<sup>+</sup>1; P595; P597<sup>+</sup>.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2010)01-0015-08

## Geochemical and zircon U-Pb chronological studies of the Manziying granite in Erlangping area, western Henan Province

GUO Cai-lian, CHEN Dan-ling, FAN Wei and WANG Ai-guo

(State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China)

**Abstract:** The Manziying granite is located in Erlangping area, northern Xixia County, western Henan Province. This paper has studied petrographical, geochemical and zircon U-Pb chronological characteristics of this granite as well as its petrogenesis and geological significance. The Manziying granite mainly consists of quartz (40%~50%), orthoclase (25%~30%), plagioclase (15%~20%) with minor accessory minerals of zircon, apatite and magnetite. Geochemical analyses show that the Manziying granite has high content of  $SiO_2$  (75.01%~77.44%),  $Al_2O_3$  (12.15%~13.35%),  $K_2O$  (3.81%~5.06%) and total alkali ( $K_2O + Na_2O = 6.81\% \sim 9.34\%$ ), but relatively low  $MgO$  (0.10%~0.35%) and  $CaO$  (0.18%~0.85%). The ratios of  $K_2O/Na_2O$  are generally higher than 1. The Rittmann indexes are between 1.81 and 2.39, belonging to the high-K calc-alkaline series. The values of A/CNK vary from 0.99 to 1.16 with an average of 1.10, showing characteristics of peraluminous S-type granites. Trace element analyses show that the Manziying granite has relatively high REE content of  $121.9 \times 10^{-6} \sim 289.5 \times 10^{-6}$ , and displays right-inclined V-shape REE patterns with relatively high fractionations of LREE and HREE [ $(La/Yb)_N = 4.63 \sim 32.27$ ] and pronounced negative Eu anomalies ( $\delta Eu =$

收稿日期: 2009-03-19; 修订日期: 2009-11-20

基金项目: 国家基础研究规划项目“973”资助项目(2009CB825003); 西北大学大陆动力学国家重点实验室基金项目; 国家自然科学基金资助项目(40472043)

作者简介: 郭彩莲(1985-), 女, 硕士研究生, 岩石矿物及矿床学专业, E-mail: guoclian@163.com; 通讯作者: 陈丹玲(1967-), 女, 副教授, 从事矿物岩石学研究, E-mail: dlchen@nwu.edu.cn

0.38~0.63) in the chondrite-normalized REE diagrams, suggesting a typical crust-derived granite. The concentration of Nb ( $6.6 \times 10^{-6} \sim 11.5 \times 10^{-6}$ ) and Ta ( $0.5 \times 10^{-6} \sim 1.2 \times 10^{-6}$ ) and the ratios of Nb/Ta (7.2~10.0) in the Manziying granite are very similar to those of crustal rocks and the typical continent-continent syn-collisional granite, also suggesting that the Manziying granite was derived from the melt of crustal rocks. The Manziying granite is rich in LILEs of K, Rb, Th and Ba, poor in HFSEs of Nb and Ta. The distinct depletion of Nb and Ta together with the depletion of Ba and enrichment of Ce relative to their neighbor elements in the ocean ridge granite-normalized trace element diagram indicate that the Manziying granite has features of both island arc and syn-collisional granite. In addition, almost all samples fall into the syn-collisional granite and island arc granite field in the trace elements diagrams of Nb-Y and Rb-Y+ Nb. The cathodoluminescence (CL) investigations have revealed that zircons from the Manziying granite are generally colorless, transparent, short prismatic euhedral crystals (from 50  $\mu\text{m}$  to 200  $\mu\text{m}$  in length and from 50  $\mu\text{m}$  to 150  $\mu\text{m}$  in width) with oscillatory internal zoning. LA-ICP-MS U-Th-Pb analyses show that these zircons have comparatively high content of Th ( $110 \times 10^{-6} \sim 1\ 859 \times 10^{-6}$ ) and U ( $247 \times 10^{-6} \sim 1\ 851 \times 10^{-6}$ ), with Th/U ratios ranging from 0.51 to 1.24 (except for one sample, whose value is 0.14), indicating their magmatic origin. 22 spots of 18 zircon grains yield  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  ages varying from 429 Ma to 464 Ma. All data are spread along the concordant line or in adjacent areas, in which 16 spots are concentrated in a small area, and yield a  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  weighted average age of ( $459.5 \pm 0.9$ ) Ma, implying the magmatic crystallization age. The Manziying granite has a close relationship in space with Erlangping basic volcanic rocks, which are considered to have been formed in the island arc and back arc-basin and related to the subduction of oceanic-slab. Recently, SHRIMP zircon dating gave the formation age of 466 Ma for the basic volcanic rocks, which is almost the same as the formation age of the Manziying granite reported in this paper. Considering the coherence in space and time and the similarity of geochemical features between these two kinds of rocks, conclude that the formation of the Manziying granite had close relationship with the Erlangping island arc volcanic rocks, and probably resulted from the partial melting of crustal rocks in the active continental margin caused by the plate subduction.

**Key words:** geochemistry; zircon U-Pb dating; S-type granite; Manziying; western Henan Province

秦岭造山带是一个经历了长期演化的复合型造山带(张国伟等,1996,2001),侵位于北秦岭变质杂岩中的不同时期、不同成因类型的花岗岩体是秦岭造山带不同演化阶段的产物,对它们的研究可以有效反演和限定秦岭造山带不同时期的构造演化和动力学过程。

北秦岭已有花岗岩的研究主要集中于秦岭岩群中,且主要是与 Rodinia 超大陆的聚合和裂解有关的新元古代花岗岩(张宏飞等,1993,1996;王涛等,2002,2009)。相对而言,豫西二郎坪群地区花岗岩的研究较为薄弱,尤其是分布于二郎坪火山岩北部的满子营花岗岩体至今未见系统研究。本文在野外地质研究的基础上,选择代表性岩石,对满子营花岗岩进行了详细的岩石学、地球化学和年代学研究,以期为秦岭造山带显生宙的构造演化,尤其是对古生代秦岭地区的板块俯冲和碰撞作用的研究提供重要的年代学约束。

## 1 地质背景与岩石学特征

北秦岭造山带是指呈透镜状夹在秦岭商丹断裂带与洛南-栾川-方城断裂带之间的秦岭北部区域,由北向南,主要由宽坪岩群、二郎坪岩群、秦岭岩群和丹凤岩群组成(图 1a)。其中秦岭岩群被认为是北秦岭的基底(张国伟等,2001),为一套中深变质杂岩系,主体由片麻岩、角闪岩和大理岩组成,变质程度普遍表现为角闪岩相,局部达麻粒岩相,形成时代为古元古代(2 000~2 200 Ma),并经历新元古代和早古生代的变质变形。二郎坪群分布在秦岭岩群以北,以朱阳关-夏官断裂与秦岭岩群接壤(图 1a),主要为一套火山-沉积岩系,其下部由弧后盆地型火山岩和蛇绿岩类岩石组成,上部由碎屑岩和少量碳酸盐岩组成,化石时代为奥陶纪-志留纪,在豫西西峡-内乡县一带出露最好。本文研究的满子营花岗岩体

分布于西峡二郎坪湾潭以北的满子营地区(图 1b)。岩体呈北西向长条形展布,长约 34 km,宽数百米至 3.5 km,出露面积约 75 km<sup>2</sup>。岩石呈灰白色,中粗粒花岗结构,矿物粒径变化于 1~5 mm,块状构造,无明显的变形现象。主要组成矿物为石英(40%~

50%)、钾长石(25%~30%)、斜长石(15%~20%)。斜长石发育钠长石双晶,具绢云母化;钾长石呈半自形-他形,主要为微斜长石;石英呈他形粒状,充填于长石等矿物粒间;少量黑云母(<3%),已绢云母化;副矿物为锆石、磷灰石及少量不透明矿物等。

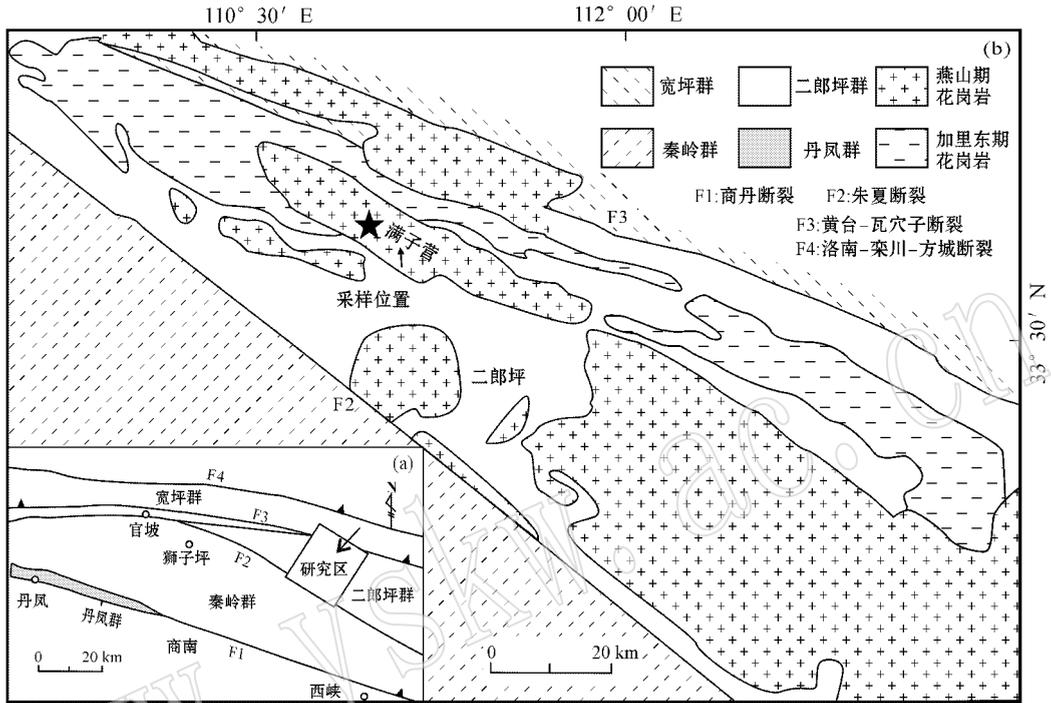


图 1 北秦岭二郎坪区域地质分布简图(据卢欣祥, 2000)

Fig. 1 Geological sketch map of Erlangping area in the North Qinling Mountains (after Lu Xinxiang, 2000)

## 2 分析方法

本文涉及的所有分析测试全部在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。主量元素用制成的碱熔玻璃片在日本理学 RIX2100XRF 仪上测定,并经 BCR-2 和 GBW07105 标样监控。微量和稀土元素在美国 Perk Elmer 公司 Elan 6100DRC ICP-MS 上分析测定,测试过程经 AVG-1、BCR-1 和 BHVO-1 国际标样监控,同时做空白样进行质量监控,详细的分析方法见 Gao 等(1999)。锆石的原位 U-Pb 年龄测定在该实验室 Agilent7500 型 ICP-MS、德国 Lambda Physik 公司的 ComPex102 ArF 准分子激光器(工作物质 ArF, 波长 193 nm)和 Microlas 公司的 Geolas 200M 光学系统的联机上进行。采用 Glitter (ver4.0, Macquarie University)程序对锆石的同位素比值及元素含量进行计算,并按照 Andersen Tom (2002)的方法,用 LA-ICP-MS Common Lead Cor-

rection(ver3.15)对其进行了普通铅校正,年龄计算及谐和图采用 Isoplot(ver3.0)完成。

## 3 岩石地球化学特征

### 3.1 主量元素特征

对采自满子营的 9 个较新鲜的花岗岩进行了全岩主量和微量元素分析,结果见表 1。该岩体具有高硅( $SiO_2 = 75.01\% \sim 77.44\%$ )、高碱( $K_2O = 3.81\% \sim 5.06\%$ ,  $Na_2O = 3.00\% \sim 4.28\%$ )和高铝( $Al_2O_3 = 12.15\% \sim 13.35\%$ )以及低磷( $P_2O_5 = 0.01\% \sim 0.04\%$ )、低铁( $TFe_2O_3 = 0.16\% \sim 1.36\%$ )、低镁( $MgO = 0.10\% \sim 0.35\%$ )、低钛( $TiO_2 = 0.15\% \sim 0.25\%$ )和低钙( $CaO = 0.18\% \sim 0.85\%$ )的特点。岩石的里特曼指数  $\sigma$  为 1.81~2.39 (<3.3),属高钾钙碱性系列(图 2a)。铝饱和指数  $A/CNK = 0.99 \sim 1.16$  除一个样品外,主体落于过铝质范围(图 2b),显示过铝质 S 型花岗岩的特征(Sylvester, 1998)。

表 1 满子营花岗岩的主量元素(  $w_B/\%$  )与微量、稀土元素(  $w_B/10^{-6}$  )分析结果及部分参数  
Table 1 Major elements(  $w_B/\%$  ) and trace elements(  $w_B/10^{-6}$  ) composition of Manziying granite

样号	05QL-02	05QL-03	05QL-04	05QL-05	05QL-06	05QL-07	05QL-08	05QL-09	05QL-10
SiO <sub>2</sub>	75.01	75.74	76.29	77.44	75.92	76.29	75.94	76.25	76.68
TiO <sub>2</sub>	0.21	0.19	0.25	0.15	0.19	0.18	0.17	0.19	0.22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.35	13.01	12.48	12.15	12.53	12.36	12.57	12.56	12.55
TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.22	1.02	1.36	0.96	1.33	1.21	1.33	1.14	0.16
MnO	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.03	0.03	0.01
MgO	0.28	0.24	0.33	0.19	0.28	0.35	0.26	0.28	0.10
CaO	0.26	0.18	0.24	0.22	0.24	0.22	0.61	0.25	0.85
Na <sub>2</sub> O	3.70	3.91	3.29	3.00	3.54	3.49	3.51	3.44	4.28
K <sub>2</sub> O	5.05	4.69	4.54	4.90	5.06	4.67	4.45	4.65	3.81
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01
LOI	0.64	0.60	0.75	0.63	0.56	0.71	0.63	0.72	0.93
TOTAL	99.76	99.64	99.58	99.68	99.69	99.52	99.53	99.54	99.60
$\sigma$	2.39	2.26	1.84	1.81	2.25	2.00	1.92	1.97	1.94
A/CNK	1.11	1.10	1.16	1.14	1.07	1.10	1.07	1.13	0.99
Ba	869.01	558.42	902.81	1 143.79	827.94	907.82	755.43	921.44	571.61
Rb	230.75	211.35	219.69	125.03	194.97	159.66	170.55	163.45	136.70
Sr	88.48	50.77	79.83	84.53	76.21	81.34	102.93	89.15	90.83
Y	18.56	19.05	31.03	10.89	25.72	25.98	23.86	21.68	35.86
Nb	8.93	8.67	10.75	3.78	9.24	8.49	9.37	6.62	11.47
Th	31.57	50.06	52.35	24.91	34.33	32.91	32.97	36.12	46.42
Ni	5.55	1.85	2.24	2.46	1.10	1.42	1.03	1.89	1.55
Hf	4.32	4.63	4.19	2.79	4.44	4.18	3.10	3.88	4.12
Cs	1.68	1.14	1.57	1.44	1.74	1.46	1.08	1.21	0.49
Sc	2.86	2.45	2.77	2.52	2.94	2.77	3.30	3.06	1.56
Ta	1.10	1.10	1.27	0.52	1.06	0.99	1.00	0.89	1.15
U	3.41	7.91	8.86	2.47	5.76	5.09	4.77	5.17	4.67
La	24.52	31.79	27.96	66.54	38.82	21.95	87.81	67.95	27.67
Ce	58.16	68.93	70.98	116.73	74.14	51.24	136.09	109.90	67.66
Pr	5.32	7.01	7.94	10.09	8.15	6.57	11.88	10.74	9.32
Nd	17.39	22.45	27.50	28.81	26.53	23.44	32.36	31.45	32.51
Sm	3.09	4.15	5.44	3.75	4.77	4.77	4.55	4.91	6.12
Eu	0.46	0.53	0.67	0.76	0.63	0.65	0.63	0.73	0.72
Gd	2.87	3.78	5.08	3.64	4.67	4.47	4.88	4.89	5.54
Tb	0.40	0.53	0.79	0.37	0.67	0.66	0.61	0.63	0.81
Dy	2.71	3.33	5.07	2.05	4.11	4.18	3.68	3.78	5.12
Ho	0.65	0.71	1.13	0.39	0.87	0.90	0.80	0.78	1.13
Er	2.22	2.19	3.34	1.20	2.55	2.61	2.40	2.26	3.45
Tm	0.42	0.38	0.57	0.19	0.42	0.43	0.40	0.37	0.59
Yb	3.19	2.77	4.10	1.48	3.02	3.10	2.95	2.60	4.28
Lu	0.50	0.46	0.63	0.25	0.49	0.48	0.47	0.40	0.69
$\delta$ Eu	0.47	0.41	0.39	0.63	0.41	0.43	0.41	0.46	0.38
$\Sigma$ REE	121.88	149.01	161.20	236.27	169.83	125.45	289.51	241.38	165.62

注 里特曼指数  $\sigma = (K_2O + Na_2O) / (SiO_2 - 43)$ ,  $A/CNK = n(Al_2O_3) / [n(CaO) + n(Na_2O) + n(K_2O)]$  (分子数),  $A/NK = n(Al_2O_3) / [n(Na_2O) + n(K_2O)]$  (分子数)。

### 3.2 稀土及微量元素特征

岩石的稀土元素含量中等,  $\Sigma$ REE =  $121.9 \times 10^{-6} \sim 289.5 \times 10^{-6}$ , 轻、重稀土分馏明显 (La/

Yb)<sub>N</sub> 值为 4.63~32.27, 具明显的铈负异常 ( $\delta$ Eu = 0.38~0.63), 总体呈右倾的“V”型稀土配分模式 (图 3a), 与地壳重熔型花岗岩的稀土组成特征相似。

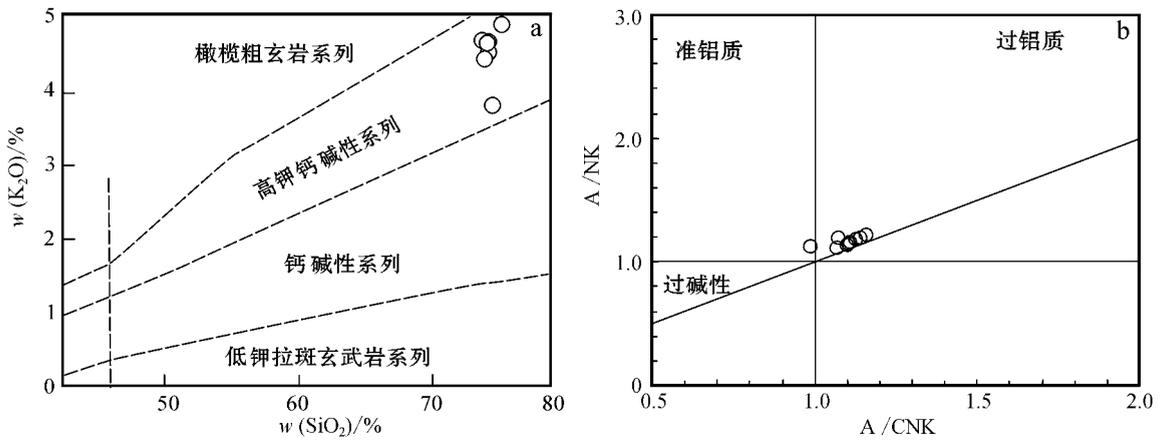


图 2 花岗岩的  $K_2O-SiO_2$  图解 (a 据 Rickwood, 1989) 和  $A/NK-A/CNK$  图解 (b)  
 Fig. 2 Plots of  $K_2O-SiO_2$  (a, after Rickwood, 1989) and  $A/NK-A/CNK$  (b) for granite

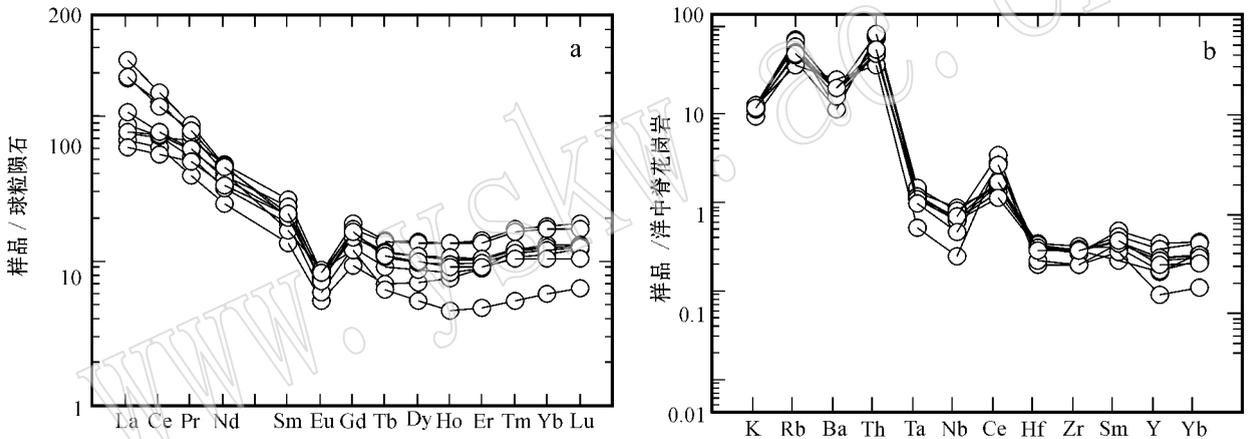


图 3 满子营花岗岩的稀土元素球粒陨石标准化配分图 (a) 和大离子亲石元素洋脊花岗岩标准化型式 (b) (标准化数值据 Sun 和 McDonough, 1989)  
 Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns (a) and ocean ridge granite-normalized spider diagram (b) of Manziying granites (after Sun and McDonough, 1989)

微量元素方面,岩石的 Rb 含量为  $125 \times 10^{-6} \sim 230 \times 10^{-6}$ , Sr 为  $50 \times 10^{-6} \sim 102 \times 10^{-6}$ , Rb/Sr 多介于 1.48~2.75 之间 (样品 05QL-03 为 4.16); Nb 含量变化于  $6.6 \times 10^{-6} \sim 11.5 \times 10^{-6}$ , Ta 介于  $0.5 \times 10^{-6} \sim 1.2 \times 10^{-6}$  之间, Nb/Ta 比介于 7.2~10.0, 与地壳岩石的 Nb, Ta 含量和 Nb/Ta 比值  $8 \times 10^{-6} \sim (11.5 \pm 2.6) \times 10^{-6}$ ,  $0.7 \times 10^{-6} \sim (0.9 \pm 0.1) \times 10^{-6}$  和 12~13 [Barth *et al.*, 2000] 以及大陆碰撞型花岗岩  $6 \times 10^{-6} \sim 16 \times 10^{-6}$ ,  $0.6 \times 10^{-6} \sim 2.6 \times 10^{-6}$  和 6.5~10 [Pearce *et al.*, 1984] 相近。在洋脊花岗岩标准化蛛网图上 (图 3b), 明显富集大离子亲石元素 Rb, Th, K 和 Ba, 并出现 Ba 的相对亏损, 同时具有高场强元素, 尤其是 Nb, Ta 的明显亏

损和 Ce 的相对富集, 兼具火山弧花岗岩和同碰撞花岗岩的特征。在 Nb/Ta-Nb 图解 (图 4a) 中, 满子营花岗岩样品点位于上地壳平均值的左下方, 靠近地壳平均值, 显示为地壳物质部分熔融的产物。在 Nb-Y 及 Rb-Nb+Y 微量元素构造环境判别图解中, 满子营花岗岩落入火山弧-同碰撞花岗岩区 (图 4b, c)。

### 4 锆石年代学

满子营花岗岩中的锆石多为自形短柱状形态 (图 5a), 透明度较好, 粒径介于 50~200  $\mu m$  之间, 具有特征的岩浆振荡环带结构。

从锆石的 U-Th-Pb 同位素分析结果 (表 2) 可

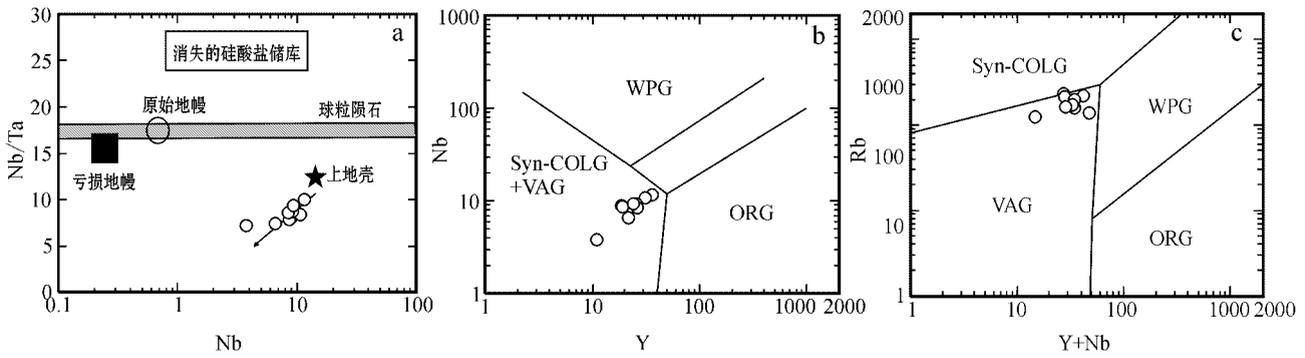


图 4 花岗岩的 Nb/Ta-Ni(a)、Nb-Y(b)及 Rb-Y+Ni(c)图解(据 Pearce 等, 1984)

Fig. 4 Trace elements diagrams of Nb/Ta - Ni(a), Nb - Y(b) and Rb - Y + Ni(c) for granites (after Pearce *et al.*, 1984)

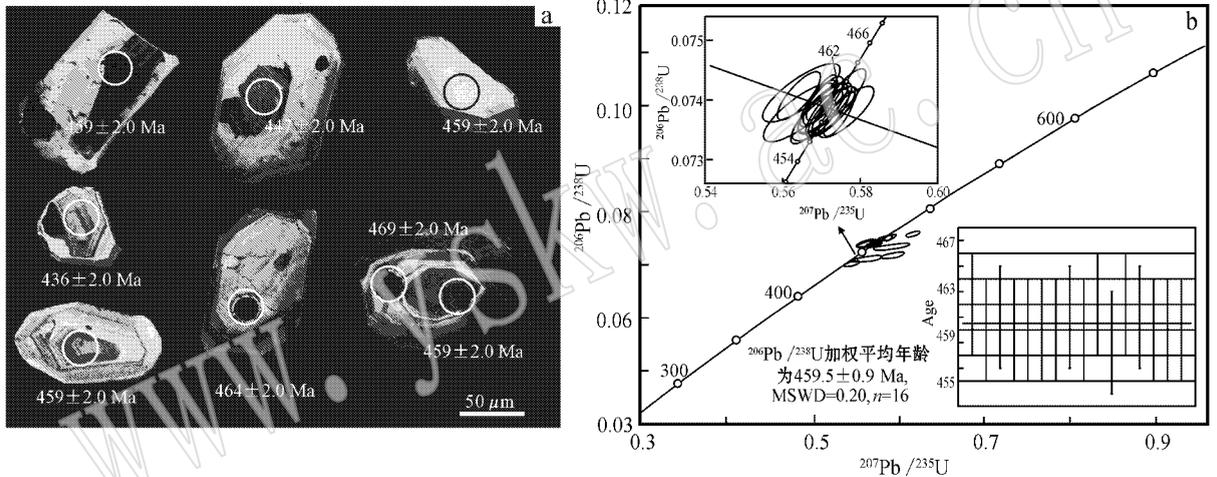


图 5 满子营花岗岩锆石的阴极发光图像(a)和锆石 U-Pb 年龄谐和图(b)

Fig. 5 CL images of zircons (a) and concordia diagrams of zircon U-Pb ages (b) of Manziying granite

知 锆石的 U 和 Th 含量较高,分别为  $U = 247 \times 10^{-6} \sim 1851 \times 10^{-6}$ ,  $Th = 110 \times 10^{-6} \sim 1859 \times 10^{-6}$ , Th/U 比值变化于 0.51~1.24 之间(点 05QL-09 为 0.14 除外),为典型岩浆锆石(Rubatto 2002)。对 18 粒锆石的 22 次分析结果(表 2),所有测点的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄变化于 429~464 Ma 之间,其中,有 16 个测点在 U-Pb 谐和图上形成一个年龄聚集区(图 5b),其加权平均年龄为  $459.5 \pm 0.9$  Ma (MSWD=0.20),代表满子营花岗岩的结晶年龄。

## 5 讨论与结论

满子营花岗岩以高硅、高铝、富钾、低钙、低磷、低钛和贫铁、镁为特征,显示过铝质 S 型花岗岩的特

点(Chappell and White, 1974)。微量元素方面明显富集轻稀土和 Rb、Th、Ba、K 等大离子亲石元素,并具 Ba 的相对负异常,具有“V”型稀土配分模式和明显的 Eu 负异常,与地壳物质部分熔融所形成的同碰撞花岗岩的特征相似。但高场强元素 Nb、Ta 以及 Ti 和 P 的明显亏损,又显示出俯冲带岩浆的特点。在多种微量元素判别图解上,样品点落入同碰撞和岛弧花岗岩区域。锆石的原位 U-Pb 定年获得该花岗岩的结晶年龄为  $459.5 \pm 0.9$  Ma。

新近,王涛等(2009)研究表明北秦岭古生代花岗岩浆的演化分为 3 个阶段,即 505~470 Ma,以 I 型弧岩浆为特点,伴生有漂池等 S 型花岗岩,认为与榴辉岩等(超)高压变质岩石的时空关系密切;450~422 Ma,以 I 型花岗岩为主,为有地幔物质混入的下

表 2 北秦岭满子营花岗岩锆石的 LA-ICP-MS U-Th-Pb 分析结果  
Table 2 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb analyses of Manziying granites

样号	$w_B/10^{-6}$		Th/U	同位素比值						年龄/Ma			
	$^{232}\text{Th}$	$^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$
05Q.01	520	471	1.10	0.056 3	0.000 6	0.576 2	0.004 2	0.074 1	0.000 3	462	3	461	2
05Q.02	297	503	0.59	0.056 1	0.000 6	0.570 7	0.003 9	0.073 7	0.000 3	459	3	459	2
05Q.03	590	804	0.73	0.058 2	0.000 6	0.599 9	0.004 3	0.074 7	0.000 3	477	3	465	2
05Q.04	825	1 243	0.66	0.055 9	0.000 6	0.570 4	0.004 2	0.073 9	0.000 3	458	3	460	2
05Q.05	1 859	1 851	1.00	0.056 5	0.000 6	0.574 6	0.003 2	0.073 7	0.000 3	461	2	459	2
05Q.06	256	502	0.51	0.056 0	0.000 7	0.570 8	0.005 6	0.073 8	0.000 3	459	3	459	2
05Q.07	110	767	0.14	0.056 0	0.000 7	0.570 3	0.005 1	0.073 8	0.000 3	459	4	459	2
05Q.08	455	549	0.83	0.061 5	0.001 4	0.607 4	0.014 1	0.071 6	0.000 4	482	3	447	2
05Q.09	219	361	0.61	0.056 6	0.000 7	0.576 3	0.005 8	0.073 8	0.000 4	462	6	459	2
05Q.10	1 335	1 354	0.99	0.055 8	0.000 6	0.570 0	0.003 2	0.074 0	0.000 3	459	4	460	2
05Q.11	149	249	0.60	0.056 1	0.000 8	0.570 8	0.006 8	0.073 7	0.000 4	459	2	459	2
05Q.12	615	722	0.85	0.055 2	0.000 6	0.564 2	0.004 5	0.074 0	0.000 3	455	4	461	2
05Q.13	278	416	0.67	0.063 0	0.001 1	0.608 1	0.009 0	0.069 9	0.000 4	482	3	436	2
05Q.14	345	609	0.57	0.055 8	0.000 6	0.567 4	0.004 3	0.073 6	0.000 3	456	6	458	2
05Q.15	347	603	0.58	0.058 0	0.000 8	0.551 0	0.006 3	0.068 8	0.000 4	446	3	429	2
05Q.16	169	247	0.69	0.057 8	0.000 8	0.594 4	0.006 3	0.074 5	0.000 4	474	4	464	2
05Q.17	310	284	1.09	0.055 2	0.000 9	0.564 8	0.008 1	0.074 1	0.000 4	455	4	461	2
05Q.18	610	790	0.77	0.055 8	0.000 6	0.569 1	0.003 8	0.073 9	0.000 3	458	5	461	5
05Q.19	519	701	0.74	0.056 2	0.000 7	0.572 6	0.004 9	0.073 8	0.000 3	460	6	460	2
05Q.20	187	280	0.67	0.055 4	0.000 9	0.564 4	0.007 6	0.073 7	0.000 4	454	2	459	2
05Q.21	347	339	1.02	0.059 2	0.001 2	0.568 6	0.011 7	0.069 6	0.000 4	457	3	434	2
05Q.22	500	666	0.75	0.056 3	0.000 6	0.572 3	0.003 9	0.073 7	0.000 3	460	4	459	2

地壳部分熔融的产物,形成于块体碰撞过程及略后的抬升环境 415~400 Ma,以 I 型花岗岩为主,形成于碰撞晚期阶段。本文研究的满子营花岗岩具 S 型花岗岩的特征,似乎表明其形成与板块的碰撞作用有关,但应当注意到, S 型花岗岩并非必然对应于同碰撞构造环境,在板块俯冲和碰撞作用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(张宏飞等,1996),而且,该花岗岩的微量元素还显示有俯冲物质的影响,也与典型同碰撞花岗岩不同。

已有研究表明,北秦岭的高压-超高压变质岩石主要分布于秦岭岩群的南、北两侧,而且,超高压变质事件的年龄集中在 500 Ma(杨经绥等,2002;刘良等,2009),与满子营花岗岩的结晶年龄(459.5±0.9 Ma)有 40 Ma 的时间间隔。而且,在空间上,满子营花岗岩位于朱夏断裂以北,与超高压变质岩带之间还隔着二郎坪群火山岩,如果秦岭群北侧超高压榴辉岩的形成是板块由北向南(陈丹玲等,2004)俯冲的结果,那么也很难将其解释为与这次大陆深俯冲相关的碰撞型花岗岩或由板块俯冲的远距离效应所导致的板内花岗岩。与之相关的另一事实是,满子营花岗岩在空间上与二郎坪群关系密切(图 1),在时代上也与最新获得的 466 Ma 的(陆松年等,2003)该

火山岩的形成年龄在误差范围内完全一致。已有研究指出,二郎坪群火山岩具有岛弧火山岩、弧后盆地蛇绿岩的特点(孙卫东等,1996;孙勇等,1996),形成在与板块俯冲作用有关的环境中。因此,满子营花岗岩与二郎坪岛弧型火山岩在空间上和时间上的一致性,笔者倾向于认为,满子营花岗岩的形成可能与二郎坪群岛弧火山岩的形成有关,是由于板块俯冲所导致的活动陆缘上陆壳物质部分熔融(张宏飞等,1996)的结果。

## References

- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report  $^{204}\text{Pb}$  [J]. *Chemical Geology*, 192: 59~79.
- Barth M G, McDonough W F and Rndnick R L. 2000. Tracking the budget of Nd and Ta in the continental crust [J]. *Chemical Geology*, 165: 197~213.
- Chappell B W and White A J R. 1974. Two contrasting granite type [J]. *Pacific Geology*, 8: 173~174.
- Chen Danling, Liu Liang, Sun Yong, et al. 2004. The geological significance and zircon U-Pb LA-ICP-MS dating of high-pressure basic granulite in Songshugou of North Qinling belts [J]. *Chinese Science Bulletin*, 49(18): 1901~1908 (in Chinese).
- Gao S, Ling W, Qiu Y, et al. 1999. Contrasting geochemical and Sm-

- Nd isotopic compositions of Archean metasediments from the Kongling high-grade terrain of the Yangtze craton: Evidence for cratonic evolution and redistribution of REE during crustal anatexis [ J ]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 63 : 2 071 ~ 2 088.
- Liu Liang , Chen Danling , Wang Chao , *et al.* 2009. New progress on geochronology of high-pressure/ultrahigh-Pressure metamorphic rocks from the South Altyn Tagh , the North Qaidam and the North Qinling orogenic , NW China and their geological significance[ J ]. *Journal of Northwest University( Natural Science Edition )*, 39( 3 ): 472 ~ 479( in Chinese with English abstract ).
- Lu Xinxiang. 2000. The Geotectonic Map of Granites in Qinling Belts ( 1 : 1 000 000 [ M ]. Xi 'an : Xi 'an Map Publishing House( in Chinese ).
- Lu Songnian , Li Huaikun , Chen Zhihong , *et al.* 2003. Mesoproterozoic-Neoproterozoic geological evolution and Rodinia super continent and respond to the Rodinia super continent[ J ]. Beijing : Geology Publishing House , 118 ~ 124( in Chinese ).
- Pearce J A , Harris N B W and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rock [ J ]. *J. Petrol.* , 25 : 956 ~ 983.
- Rickwood P C. 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements[ J ]. *Lithos* , 22 : 247 ~ 263.
- Rubatto D. 2002. Zircon trace element geochemistry : Partitioning with garnet and the link between U-Pb age and metamorphism[ J ]. *Chemical Geology* , 184 : 123 ~ 138.
- Sun Weidong , Li Shuguang , Sun Yong , *et al.* 1996. Chronology and geochemistry of a lava pillow in the Erlangping group at Xixia in the North Qinling mountains[ J ]. *Geological Review* , 42( 2 ): 144 ~ 152( in Chinese with English abstract ).
- Sun Yong , Lu Xinxiang , Han Song , *et al.* 1996. Composition and formation of Early Palaeozoic Erlangping ophiolitic slab , North Qinling : Evidence from geology and geochemistry[ J ]. *Science in China , Ser. D* , 26 : 49 ~ 55( in Chinese ).
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts : Implications for mantle composition and processes [ A ]. Saunders A D and Norry M J. *Magmaism in the Ocean Basin* [ C ]. *Geol. Soc. Spec.* , 42 : 313 ~ 345.
- Sylvester P J. 1998. Post-collisional strongly peraluminous granites[ J ]. *Lithos* , 45 : 29 ~ 44.
- Wang Tao , Zhang Guowei , Pei Xianzhi , *et al.* 2002. Possibility of the existence of a Neoproterozoic NW trending orogenic belt in the North Qinling and convergence and breakup of blocks on its two sides[ J ]. *Geological Bulletin of China* , 21( 8 ~ 9 ): 516 ~ 522( in Chinese with English abstract ).
- Wang Tao , Wang Xiaoxia , Tian Wei , *et al.* 2009. The magmatic evolution of time and space and revelation for the orogeny of the Paleozoic granitic assemblages in North Qinling belts[ J ]. *Science in China , Ser. D* , 39( 7 ): 949 ~ 971( in Chinese ).
- Yang Jingsui , Xu Zhiqin , Pei Xianzhi , *et al.* 2002. Discovery of Diamond in North Qinling : Evidence for a giant UHPM belt across central China and recognition of Palaeozoic and Mesozoic dual deep subduction between North China and Yangtze plates[ J ]. *Acta Geologica Sinica* , 76( 4 ): 484 ~ 495( in Chinese with English abstract ).
- Zhang Guowei , Zhang Benren , Yuan Xuncheng , *et al.* 2001. Qinling Orogenic belt and Continental Dynamics[ M ]. Beijing : Science Publishing House , 421 ~ 581( in Chinese ).
- Zhang Guowei , Meng Qingren , Yu Zaiping , *et al.* 1996. Orogenetic processes and dynamic characteristics of Qinling orogenic belt[ J ]. *Science in China , Ser. D* , 26( 3 ): 193 ~ 200( in Chinese ).
- Zhang Hongfei , Luo Tingchuan and Zhang Benren. 1996. The source and tectonic settings of the piaochi batholith in the North Qinling [ J ]. *Geological Review* , 42( 3 ): 209 ~ 214( in Chinese with English abstract ).
- Zhang Hongfei , Zhang Benren and Luo Tingchuan. 1993. Geochemical study of genesis and tectonic setting for late Proterozoic granitoids , North Qinling[ J ]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences* , 18( 2 ): 194 ~ 202( in Chinese with English abstract ).

## 附中文参考文献

- 陈丹玲,刘良,孙勇,等. 2004. 北秦岭松树沟高压基性麻粒岩锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义[ J ]. *科学通报* , 49( 18 ): 1 901 ~ 1 908.
- 刘良,陈丹玲,王超,等. 2009. 阿尔金、柴北缘与北秦岭高压-超高压岩石年代学研究进展及其构造地质意义[ J ]. *西北大学学报(自然科学版)* , 39( 3 ): 472 ~ 479.
- 卢欣祥. 2000. 秦岭花岗岩大地构造图( 1 : 1 000 000 [ M ]. 西安 : 西安地图出版社.
- 陆松年,李怀坤,陈志宏,等. 2003. 秦岭中-新古代地质演化及对 RODINIA 超级大陆事件的响应[ M ]. 北京 : 地质出版社 , 118 ~ 124.
- 孙勇,卢欣祥,韩松,等. 1996. 北秦岭早古生代二郎坪蛇绿岩片的组成和地球化学[ J ]. *中国科学(D 辑)* , 26 : 49 ~ 55.
- 孙卫东,李曙光,孙勇,等. 1996. 北秦岭西峡二郎坪群枕状熔岩中一个岩枕的年代学和地球化学研究[ J ]. *地质论评* , 42( 2 ): 144 ~ 153.
- 王涛,王晓露,田伟,等. 2009. 北秦岭古生代花岗岩组合岩浆时空演变及其对造山作用的启示[ J ]. *中国科学(D 辑)* , 39( 7 ): 949 ~ 971.
- 王涛,张国伟,裴先治,等. 2002. 北秦岭新元古代北北西向碰撞造山带存在的可能性及两侧陆块的汇聚与裂解[ J ]. *地质通报* , 21( 8 ~ 9 ): 516 ~ 522.
- 杨经绥,许志琴,裴先治,等. 2002. 秦岭发现金刚石:横贯中国中部巨型超高压变质带新证据及古生代和中生代两期深俯冲作用的识别[ J ]. *地质学报* , 76( 4 ): 484 ~ 495.
- 张国伟,孟庆任,于在平等. 1996. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征[ J ]. *中国科学(D 辑)* , 26( 3 ): 193 ~ 200.
- 张国伟,张本仁,袁学城,等. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学[ M ]. 北京 : 科学出版社 , 421 ~ 581.
- 张宏飞,骆庭川,张本仁. 1996. 北秦岭漂池岩体的源区特征及其形成的构造环境[ J ]. *地质论评* , 42( 3 ): 209 ~ 214.
- 张宏飞,张本仁,骆庭川. 1993. 北秦岭新元古代花岗岩类成因与构造环境的地球化学研究[ J ]. *地球科学——中国地质大学学报* , 18( 2 ): 194 ~ 202.