

# 北秦岭西段奥陶纪红花铺岩体岩石 地球化学特征及地质意义

董增产<sup>1</sup>, 王洪亮<sup>2</sup>, 郭彩莲<sup>1</sup>, 徐学义<sup>2</sup>, 陈隽璐<sup>2</sup>, 何世平<sup>2</sup>

(1. 西北大学 大陆动力学国家重点实验室, 西北大学 地质系, 陕西 西安 710069;

2. 西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 红花铺岩体位于北秦岭造山带西段, 侵入于奥陶纪草滩沟群之中, 岩石类型主要为中细粒奥长花岗岩。岩石地球化学分析结果表明该岩体属弱过铝质钙碱性岩石系列, 为I型花岗岩; 轻重稀土元素分馏不明显, 轻稀土元素略为富集, 稀土元素球粒陨石标准化配分型式为右倾型, Eu异常不明显; 主量、微量及稀土元素等相关的构造环境判别结果均显示其具典型的火山弧花岗岩特征, 结合区域上与一套岛弧型火山岩(草滩沟群)共生的特点, 分析红花铺岩体形成于俯冲带的岛弧环境。红花铺岩体已获得 $(450.5 \pm 1.8)$  Ma的单颗粒锆石 U-Pb 侵位年龄, 属晚奥陶世, 揭示北秦岭西段加里东期存在板块俯冲作用。

**关键词:** 北秦岭; 红花铺侵入体; 地球化学特征; 构造意义

中图分类号: P588.12<sup>+</sup>1; P595

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2009)02-0109-09

## Geochemical characteristics of Ordovician Honghuapu intrusions in the west segment of North Qinling Mountains and their geological significance

DONG Zeng-chan<sup>1</sup>, WANG Hong-liang<sup>2</sup>, GUO Cai-lian<sup>1</sup>, Xu Xue-yi<sup>2</sup>, Chen Jun-lu<sup>2</sup> and He Shi-ping<sup>2</sup>

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

2. Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** The Honghuapu intrusions, located in the western segment of northern Qinling orogenic belt and intruding into Ordovician Caotangou Formation, are medium-fine grained trondhjemites. Geochemical studies indicate that they are weakly peraluminous calc-alkaline rocks and can be classified as I type granite. Light REE elements are rich, and light and heavy REE are not significantly fractionated. In chondrite-normalized REE diagrams, all samples are LREE-enriched with insignificant Eu anomalies. Their major and trace element geochemical characteristics are all comparable with features of typical volcanic-arc granites. It is thus concluded that the Honghuapu intrusions were formed in island arc settings. The Honghuapu intrusions were dated at  $(450.5 \pm 1.8)$  Ma by the LA-ICPMS U-Pb zircon method. The new geochemical dating has important significance to the study of Early Paleozoic tectonic evolution and dynamic mechanism of Qinling orogenic belt.

**Key words:** North Qinling Mountains; Honghuapu intrusions; geochemical characteristics; tectonic significance

秦岭造山带作为分隔中国南北大陆的著名大陆造山带, 具有长期复杂的演化历史和多阶段多体制

的构造特征。近20年来, 随着板块构造理论与造山带新思想的发展, 不少学者对秦岭造山带的形成与

收稿日期: 2008-08-20; 修订日期: 2008-12-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40773044, 40472044); 国土资源大调查项目(1212010610319); 国家科技支撑计划项目(2006BAB01A11); 西北大学大陆动力学国家重点实验室开放课题基金(06LCD16)

作者简介: 董增产(1980-), 男, 汉族, 硕士研究生, 构造地质专业, E-mail: dzc1981@126.com。

演化进行了诸多的研究(张宗清等,1996;张国伟等,1996,2001,2004;张本仁等,1996,2002)。北秦岭造山带作为研究中国大陆不同时期构造格局、构造演化及华北板块与扬子板块拼贴、碰撞关系的关键地段,受到国内外地质学家们的关注,取得了大量的研究成果(严阵,1985;肖思云等,1988;宋志高,1993;张宗清等,1994;张宏飞等,1995,1996;杨经绥等,2002)。相对而言,北秦岭造山带东段的研究较为深入,西段则相对比较薄弱,尤其是构造-岩浆事件方面的研究更加薄弱。

草滩沟群火山岩是北秦岭西段的主要组成部分,最新的年代学研究表明其形成于 $(456.4 \pm 1.8)$  Ma 的晚奥陶世,同时草滩沟群火山沉积岩中近 41 亿年锆石的发现(王洪亮等,2007)引起人们的普遍关注和极大兴趣。但截至目前,有关草滩沟群形成的构造环境认识还存在较大分歧,有的学者认为是造山带及闭合边缘的岛弧或活动陆缘(王洪亮等,2007;闫全人等,2007),也有学者认为是弧后盆地(张国伟等,2001;张本仁等,2002;李亚林等,1998)或洋盆环境(孙勇等,1996)。红花铺岩体与草滩沟群火山岩系的时空关系密切,而花岗岩成因类型和时代研究可作为探讨地壳生长、演化,探索地球动力学、构造动力学演化的指示标志(Castr,1991;Batem *et al.*,1992;付建明等,2005;孙德有等,2005),因而红花铺岩体生成环境及形成时代的研究对分析草滩沟群火山岩形成的构造环境有一定的帮助,并且对进一步探讨揭示北秦岭造山带西段新元古代—早古生代的构造格局及构造演化具有重要意义。前人对红花铺岩体的研究只限于年代学,王洪亮等(2006)在红花铺岩体中获得了较好的单颗粒锆石 U-Pb 等时线年龄 $(450.5 \pm 1.8\text{Ma})$ ,属晚奥陶世,结合区域地质特征及与草滩沟群火山岩在空间上的侵入接触关系,该年龄可进一步限定草滩沟群火山岩的年龄下限。对于红花铺岩体的岩石学及地球化学特征研究至今未见报道,本文重点报道红花铺岩体的地球化学特征,并据此探讨该岩体的成因及形成的构造环境。

## 1 区域地质和岩体特征

### 1.1 区域地质特征

研究区处于秦岭造山带与祁连造山带的衔接部位,东北部与华北陆块毗邻。构造位置特殊,地质构

造复杂。秦岭造山带以商丹构造带为界,分为北秦岭造山带和中南秦岭造山带(图1)。古元古代秦岭岩群构成北秦岭造山带的变质结晶基底;奥陶纪草滩沟群主要岩石类型包括火山碎屑岩、中酸性火山岩夹中基性、基性火山岩;石炭纪草凉驿组为一套含煤碎屑岩组合。早古生代丹凤群以火山岩为主,是商丹构造带的主体。研究区发育不同期次的侵入体,如红花铺岩体、北侧二叠纪石英闪长岩体及三叠纪花岗岩体等。

### 1.2 岩体特征

红花铺侵入体分布于凤县红花铺以东,呈长条状东西向展布,长约 15.7 km,最宽处约 4.88 km,窄处 1.64 km,出露面积约 39 km<sup>2</sup>,延伸方向与区域构造线方向基本一致。岩体西部与草滩沟群为侵入接触,南部与石炭纪草凉驿组呈断层或沉积接触,北部被二叠纪石英闪长岩侵入。红花铺岩体岩石类型主要为奥长花岗岩、花岗岩及少量的英云闪长岩,岩石具中细粒花岗结构,粒径 0.2 ~ 3.0 mm,片麻状构造发育。主要矿物及含量:斜长石  $An = 17 \sim 24$  (邱家骧,1985)半自形板状,为更长石,含量 60% ~ 70%;钾长石呈细粒状,为微斜长石,含量小于 5%;石英呈他形粒状,含量 20% ~ 35%;暗色矿物主要为黑云母,呈鳞片状,多色性明显, $Ng'$  为暗黄绿色, $Np'$  为淡黄色,含量 5% 左右。副矿物为锆石、磷灰石、磁铁矿,且发育暗色闪长质包体。

## 2 分析方法

选择 8 件代表性样品(采自陕西省凤县红花铺镇北东 212 国道 167.46 km 处,地理坐标:东经 106° 45'13.4",北纬 34° 8'19",海拔 1 191 m。所有样品均在西北大学大陆动力学国家重点实验室进行了主量、微量和稀土元素分析,除 FeO 和烧失量(LOI)采用标准湿化学法分析外,其他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,元素分析误差 < 5%。微量元素在美国 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)。Co、Ni、Zn、Ga、Rb、Y、Zr、Nb、Ta 和 REE (除 Hf 和 Lu) 等元素分析精度优于 5%,其他低浓度元素的分析精度介于 5% ~ 10% 之间。

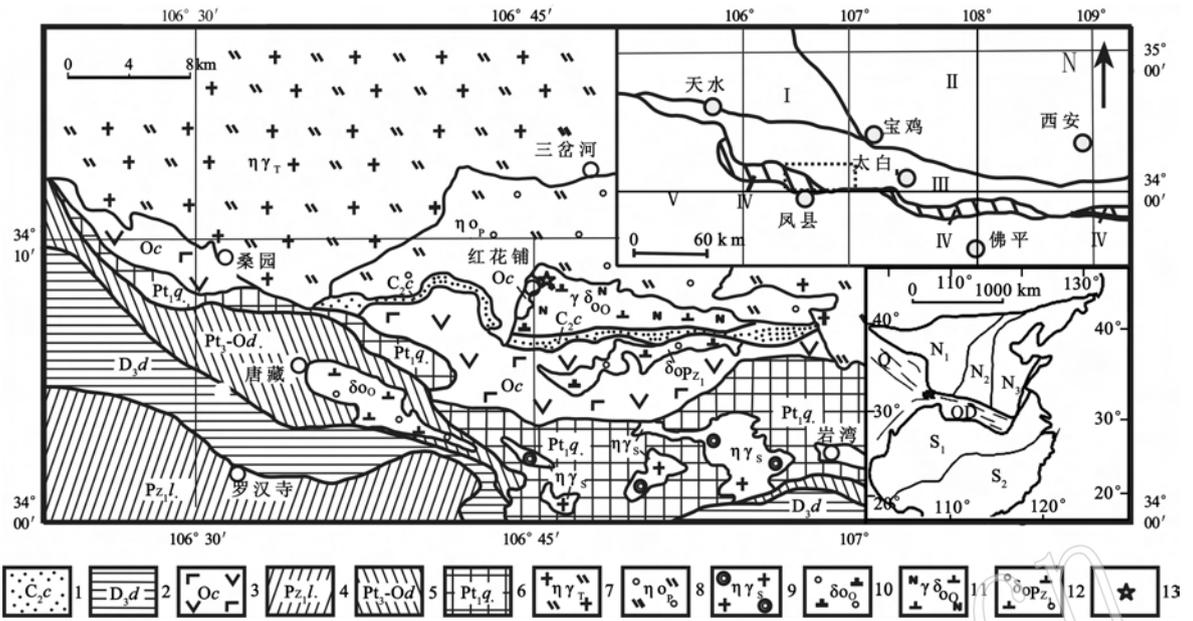


图1 北秦岭西段陕西省凤县唐藏地区地质简图

Fig. 1 Simplified map of geology of the west segment of north Qinling Mountains in Tangzang region Feng city, ShannXi Province.

I—祁连造山带; II—华北克拉通; III—北秦岭造山带; IV—商丹构造带(缝合带); V—中南秦岭造山带; N—华北克拉通, N1—西部陆块, N2—中部构造带, N3—东部陆块; S—华南克拉通, S1—扬子陆块, S2—华夏陆块; Q—祁连造山带; QD—秦岭-大别造山带; 1—晚石炭世草凉驿组; 2—晚泥盆世大草滩组; 3—奥陶纪草滩沟群; 4—早古生代罗汉寺岩群; 5—新元古代-奥陶纪丹凤岩群; 6—古元古代秦岭岩群; 7—三叠纪二长花岗岩; 8—二叠纪石英二长岩; 9—志留纪含石榴石二长花岗岩; 10—奥陶纪石英闪长岩; 11—奥陶纪红花铺岩体; 12—早古生代石英闪长岩; 13—采样位置

I—Qilian orogenic belt; II—Huabei craton; III—North Qinling orogenic belt; IV—Shangdan tectonic zone (suture zone); V—central south Qinling orogenic belt; N—Huabei craton; N1—western continental segment; N3—eastern continental segment; S—South China continental segment; S1—Yan-tze continental segment, S2—Cathysia; Q—Qilian orogenic belt; QD—Qinling-Dabie orogenic belt; 1—late Carboniferous Caoliangyi Formation; 2—Upper Devonian Dacaoan Formation; 3—Ordovician Caotangou Formation; 4—Early Paleozoic Luohansi Group; 5—Neoproterozoic-Ordovician Danfeng Rock Group; 6—Palaeoproterozoic Qinling Rock Group; 7—Triassic adamellite; 8—Permian adamellite; 9—Silurian garnet adamellite; 10—Ordovician quartz diorite; 11—Ordovician Honghuapu intrusion; 12—Early Paleozoic quartz diorite; 13—sampling location

### 3 分析结果

#### 3.1 主量元素特征

红花铺岩体主量元素分析结果列于表1。SiO<sub>2</sub> 含量较高(71.62%~77.33%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为(12.21%~14.91%), TiO<sub>2</sub> (0.16%~0.47%), Na<sub>2</sub>O 含量偏高(3.75%~4.59%), 低 K<sub>2</sub>O (0.51%~2.58%), K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 值为0.12~0.69, 具富 Na 贫 K 的特征。CaO 为1.41%~2.60%, 根据 CIPW 标准矿物分子计算, 在 An-Ab-Or 三角图上, 唯样品 HH1-5 落在花岗岩区, 其他均落入奥长花岗岩区(图2)。与中国花岗岩类(鄢明才, 1996; 史长义等, 2005) 和世界花岗岩类相比(Vinogradov, 1962), 红花铺岩体具有 SiO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>、Na<sub>2</sub>O 含量高, K<sub>2</sub>O 含量偏低的特点, 在 SiO<sub>2</sub>/K<sub>2</sub>O 图解中样品落入钙碱性岩石系列和低钾玄武岩石系列(图3);

里特曼指数( $\sigma$ )介于0.85~1.19, 均显示钙碱性岩石系列特征。岩体铝饱和指数 A/CNK 介于1.00~1.08 之间, 唯有1个样品 A/CNK 比值为1.16, 属于弱过铝质到过铝质岩石。A/CNK < 1.1, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 比值为0.12~0.69, 显示 I 型花岗岩的特征, 属 I 型花岗岩(Chappell and White, 1974; White *et al.*, 1986), 在 Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O 图解中样品均投入 I 型花岗岩区(图4)。

#### 3.2 微量元素特征

红花铺岩体的微量元素分析结果分列于表1。岩体富集大离子亲石元素(Ba、Rb、Th等), 亏损高场强元素(Nb、Ta等)。与中国花岗岩类和世界花岗岩类(Vinogradov, 1962) 相比, 红花铺岩体 Co(173.78 × 10<sup>-6</sup>~244 × 10<sup>-6</sup>)、Y/Nb (3.89 × 10<sup>-6</sup>~10.70 × 10<sup>-6</sup>) 及 Ba/Rb 值高(16.70 × 10<sup>-6</sup>~39.02 × 10<sup>-6</sup>), Ta、Th、U、Pb、Rb、Nb、Cs 及 Rb/Sr (0.07~0.23) 偏低, 高 Ba/Rb、Ni、Co、V、Ba 值, 符合 I 型花

表1 北秦岭西段红花铺岩体主量( $w_B/\%$ )、微量、稀土元素( $w_B/10^{-6}$ )分析结果Table 1 Analytical results of major elements( $w_B/\%$ ) and trace elements( $w_B/10^{-6}$ ) for Honghuapu intrusions in the western segment of North Qinling Mountains

样号	红花铺岩体								中国花岗岩类		世界花岗岩类
	HH1-1	HH1-2	HH1-3	HH1-4	HH1-5	HH1-6	HH1-7	HH1-8	(史长义等, (鄯明才等, (Vinogradov,		
	2005)		1996)		1962)						
岩性	奥长 花岗岩	奥长 花岗岩	奥长 花岗岩	花岗岩	奥长 花岗岩	奥长 花岗岩	奥长 花岗岩	奥长 花岗岩			
SiO <sub>2</sub>	73.78	71.62	72.54	73.50	77.69	75.41	77.79	77.33	72.20	72.40	69.10
TiO <sub>2</sub>	0.40	0.46	0.47	0.50	0.16	0.27	0.16	0.22	0.28	0.23	0.38
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.30	14.91	13.75	14.07	12.28	13.01	12.21	12.43	14.20	13.83	14.55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.33	1.43	1.65	1.36	0.15	0.83	0.52	0.64	0.88	1.02	3.86
FeO	1.20	1.30	1.30	1.28	0.91	1.15	0.54	0.84	1.05	1.27	
MnO	0.05	0.05	0.05	0.04	0.02	0.04	0.02	0.03	0.05	0.04	0.08
MgO	0.69	0.70	0.83	0.66	0.26	0.47	0.26	0.42	0.52	0.64	0.93
CaO	2.45	2.60	2.60	1.90	1.43	2.11	1.41	2.13	1.35	1.34	2.21
Na <sub>2</sub> O	4.39	4.49	4.59	4.44	3.75	4.31	3.92	4.41	3.54	3.55	3.73
K <sub>2</sub> O	1.25	1.27	1.34	1.08	2.58	0.94	2.30	0.51	4.32	4.34	4.02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07	0.08	0.07	0.07	0.02	0.05	0.02	0.04	0.09	0.08	0.16
CO <sub>2</sub>	0.10	0.38	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.26	
LOI	0.71	0.59	0.76	1.52	0.64	0.97	0.55	0.90			
总和	99.72	99.88	100.33	100.42	99.89	99.56	99.70	99.90			
$\sigma$	1.03	1.16	1.19	1.00	1.16	0.85	1.11	0.71			
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	0.28	0.28	0.29	0.24	0.69	0.22	0.59	0.12			
A/CNK	1.02	1.08	1.00	1.16	1.04	1.07	1.04	1.04			
Hf	5.13	5.57	5.27	5.64	4.36	4.29	4.09	4.78	5	5	1
Ta	0.49	0.49	0.61	0.45	0.17	0.31	0.16	0.43	1.27	1.4	3.5
Th	5.87	5.43	5.52	4.77	10.10	6.94	9.65	1.84	16.6	17	18
U	0.67	0.66	0.70	1.05	1.05	0.77	0.88	0.68	2.8	2.9	3.5
Pb	6.12	6.62	6.85	10.60	9.08	8.05	8.66	12.60	26	26	20
V	39.38	40.41	43.22	32.10	7.30	21.80	7.24	17.10	23	23	40
Cr	5.76	4.28	8.83	2.25	1.98	4.46	1.84	2.09	5.1	6.6	25
Co	173.78	181.93	185.75	191.00	195.00	244.00	226.00	225.00	3	3	5
Ni	4.55	3.79	5.82	1.57	1.14	2.98	1.17	1.70	4.5	5.2	8
Cu	10.02	22.98	8.52	7.41	4.99	21.90	4.43	4.92	5	5.5	20
Zn	40.23	38.99	43.06	27.20	10.60	21.70	10.00	11.80	43	40	60
Ga	14.75	15.42	14.52	13.60	10.90	12.60	11.00	11.30	18	18	20
Rb	34.05	34.16	36.10	28.10	32.10	18.80	29.60	14.00	158	160	200
Sr	242.49	243.34	248.16	208.00	138.00	191.00	142.00	191.00	174	220	300
Y	24.27	29.98	19.95	24.30	16.50	22.00	14.60	10.60	20	23	34
Zr	217.47	238.27	227.20	238.00	161.00	163.00	151.00	178.00	147	155	200
Nb	3.99	4.34	4.84	3.07	1.54	2.66	1.59	2.73	13.4	16	20
Cs	0.87	0.94	0.93	1.16	0.27	1.03	0.60	2.21	3.8	3.6	5
Ba	699.20	760.55	747.31	367.00	1112.00	612.00	1154.00	233.00	557	680	830
Y/Nb	6.08	6.91	4.12	7.90	10.70	8.29	9.23	3.89	1.49	1.44	1.7
Rb/Sr	0.14	0.14	0.15	0.14	0.23	0.10	0.21	0.07	0.91	0.73	0.67
Ba/Rb	20.53	22.26	20.70	13.06	34.58	32.62	39.02	16.70	3.53	4.25	4.15
La	11.50	13.64	13.26	12.40	20.10	15.80	19.70	5.92	33	41	60
Ce	22.95	26.89	24.33	25.00	36.20	31.00	35.10	10.60	62	77	100
Pr	2.69	3.15	3.05	3.02	3.70	3.54	3.62	1.17	7	8.4	12
Nd	10.61	12.11	12.49	12.70	13.70	14.20	13.40	4.27	25.4	30	46
Sm	2.72	3.16	2.95	3.03	2.60	2.98	2.49	0.97	4.6	5.3	9
Eu	0.81	0.88	1.22	0.83	0.56	0.75	0.56	0.56	0.82	0.82	1.5
Gd	3.10	3.46	2.99	3.24	2.47	2.96	2.40	1.06	4.5	5	9
Tb	0.53	0.58	0.55	0.62	0.42	0.55	0.39	0.22	0.64	0.74	2.5
Dy	3.51	3.87	3.57	3.91	2.49	3.35	2.31	1.46	4	4.4	
Ho	0.79	0.78	0.77	0.91	0.60	0.80	0.52	0.36	0.79	0.9	2
Er	2.32	2.38	2.09	2.67	1.75	2.40	1.54	1.16	2.24	2.7	4
Tm	0.38	0.42	0.41	0.41	0.27	0.37	0.22	0.18	0.38	0.41	0.3
Yb	2.18	3.35	2.56	2.85	1.86	2.58	1.60	1.40	2.1	2.6	4
Lu	0.39	0.45	0.41	0.46	0.33	0.42	0.27	0.25	0.33	0.4	1
$\Sigma$ REE	64.48	75.10	70.65	72.10	87.10	81.70	84.10	29.53	147.8	179.6	251.3
$\delta$ Eu	0.85	0.81	1.26	0.81	0.67	0.77	0.69	1.68			
(La/Yb) <sub>N</sub>	3.41	2.63	3.35	2.83	6.98	3.97	7.97	2.74			

岗岩的特征 (Chappell and White, 1974; White *et al.*, 1986)。Rb/Sr 和 Ba/Rb 比值展示了与 SiO<sub>2</sub> 含量的正相关性 (表 1), 显示了岩浆分异的地球化学特征 (朱金初等, 2005)。

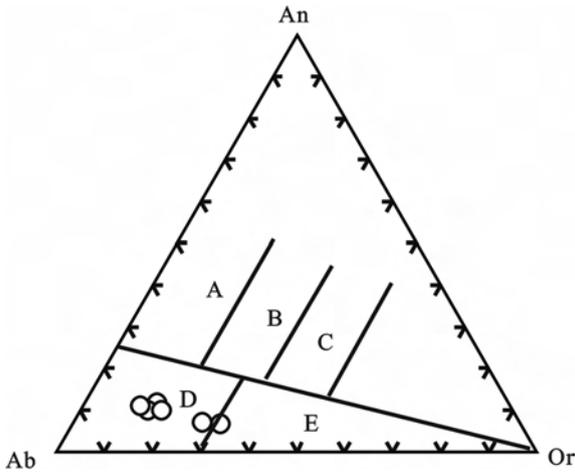


图2 红花铺岩体 An - Ab - Or 图解

Fig. 2 An - Ab - Or diagram of Honghuapu intrusion

A—英云闪长岩; B—花岗闪长岩; C—石英闪长岩; D—奥长花岗岩;  
E—花岗岩

A—tonalite; B—granodiorite; C—quartz diorite; D—trondhjemite; E—granite

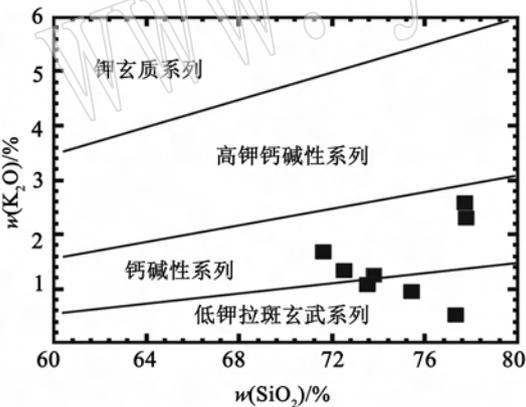


图3 红花铺岩体 K<sub>2</sub>O - SiO<sub>2</sub> 图解 (据 Morrison, 1980)

Fig. 3 K<sub>2</sub>O - SiO<sub>2</sub> plots for Honghuapu intrusions  
(after Morrison, 1980)

### 3.3 稀土元素特征

该岩体的稀土元素总量偏低, 变化范围大 ( $\Sigma\text{REE} = 29.53 \times 10^{-6} \sim 87.10 \times 10^{-6}$ ) (表 1), 轻重稀土元素分馏不明显, ( $\text{La}/\text{Yb}$ )<sub>N</sub> 值为 2.63 ~ 7.97, 轻稀土元素略为富集,  $\delta\text{Eu}$  为 0.67 ~ 1.67, 在球粒陨石标准化稀土元素配分图上, 为铕异常不明显的略向右倾斜型 (图 5), 大部分样品显示不明显的铕负异常, 可能与斜长石在源区的残留和/或岩浆在演化过

程中经历了斜长石的分离结晶作用有关。3 号样和 8 号样  $\delta\text{Eu}$  值大于 1 (分别为 1.26 和 1.68), 显示铕的正异常, 可能是由于上地幔物质部分熔融、产生的岩浆在上侵过程中因斜长石的局部堆积所致。稀土元素总量略有差异 (除 3、8 号样外), 但曲线近于平行, 可能具有一定的成因联系, 显示了斜长石不同程度的分离结晶作用, 岩浆结晶分异作用在岩体的形成过程中可能占据重要的地位 (耿全如等, 2001)。

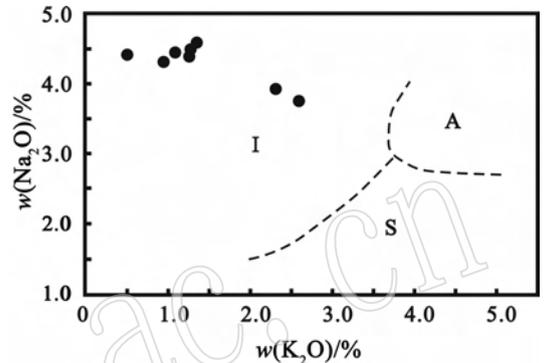


图4 红花铺岩体 Na<sub>2</sub>O - K<sub>2</sub>O 图解 (据 Collins, 1982)

Fig. 4 Na<sub>2</sub>O - K<sub>2</sub>O diagrams of Honghuapu intrusions  
(after Collins, 1982)

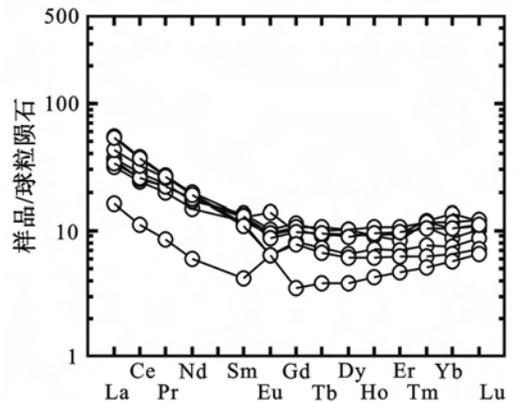


图5 红花铺岩体稀土元素球粒陨石

标准化型式图 (据 Sun 等, 1989)

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns for Honghuapu intrusions  
(after Sun *et al.*, 1989)

## 4 讨论

### 4.1 岩石成因的讨论

微量元素的地球化学特征对于探讨岩浆的成因、形成环境和结晶分异具有重要的意义。在不相容元素原始地幔标准化蛛网图中, 红花铺岩体的样品亏损 Nb、Ta、Y, 相对富集 Ba、Th、La 等元素 (图

6)。特别是 Nb、Ta 的强烈亏损,在原始地幔标准化蛛网图中形成一个显著的低谷,反映了大陆地壳的特征,被认为是火山弧岩浆的产物(张成立等,2005),且与岛弧花岗岩的蛛网图曲线相似。岩石明显富集大离子亲石元素(Ba、Th、Rb 等),亏损高场强元素(Nb、Ta 等),具备典型的俯冲消减带的组分特征(张本仁等,2001;张招崇等,2006)。俯冲带流体中通常富集大离子亲石元素(LILE)和轻稀土元素(LREE)而缺乏难溶于流体的高场强元素(HFSE)。在  $(K_2O + Na_2O)/CaO - Zr + Nb + Ce + Y$  判别图上(图7),红花铺岩体样品全落在 M、I 和 S 型花岗岩区(Whalen *et al.*, 1987),从主量元素、微量元素及主要的地球化学特征来看,结合 Whalen 等(1987)对 M、I、A 和 S 型花岗岩特征的描述及归纳,笔者认为红花铺岩体与 I 型花岗岩相似。形成这些特征的原因是在洋壳俯冲到地幔的过程中,温度的变化引起板片变质和脱水,脱水产生的流体交代上覆地幔楔,导致地幔橄榄岩发生部分熔融形成幔源型玄武质基性岩浆,使区域热流值升高,促使上覆地壳岩石部分熔融形成花岗质岩浆。幔源基性岩浆与花岗质岩浆在深部岩浆房中混和形成混染的母岩浆,后者再经过岩浆的分异作用形成红花铺岩体。岩体发育暗色椭圆状或长条状的闪长质包体,揭示了岩体在形成过程中存在另外一个源区岩浆,从而反证了岩体与上述幔源基性岩浆的成因联系。正是由于部分熔融产生的玄武质基性岩浆底侵,改变了上覆地壳的温度和压力状态,为其发生部分熔融提供了条件,进而诱发深熔作用产生花岗质岩浆,再经过一系列的混染、结晶、分异作用最终形成红花铺岩体。

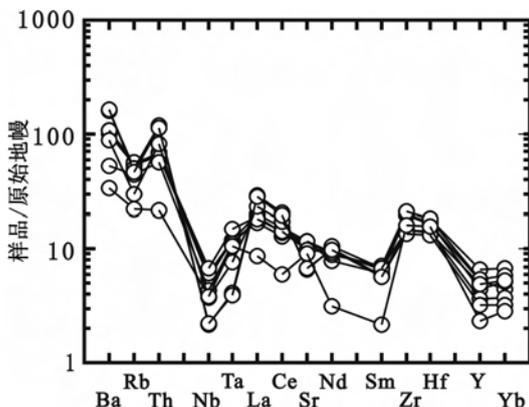


图6 红花铺岩体不相容元素原始地幔标准化蛛网图(标准化的基础数据据 Sun 等,1989)

Fig.6 Primitive mantle-normalized spidergrams for Honghuapu intrusions (data for normalization from Sun *et al.*, 1989)

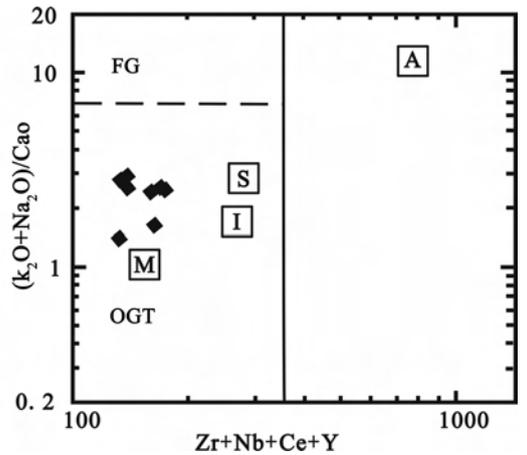


图7 红花铺岩体  $(K_2O + Na_2O)/CaO - Zr + Nb + Ce + Y$  图解(据 Whalen 等,1987)

Fig.7  $(K_2O + Na_2O)/CaO - Zr + Nb + Ce + Y$  diagram of Honghuapu intrusions(after Whalen *et al.*, 1987)

FG—分异的 M、I、S 型花岗岩; OGT—未分异的 M、I、S 型花岗岩;  $\square$ 、 $\square$ 、 $\square$ 、 $\square$  分别代表 M、I、S 和 A 型花岗岩的平均值投影点  
FG—fractionated M-, I- and S-type granites; OGT—unfractionated M-, I- and S-type granites;  $\square$ ,  $\square$ ,  $\square$  and  $\square$  denote average project spots of M-, I-, S-, A-type granites respectively

## 4.2 大地构造意义讨论

一些学者认为北秦岭造山带东段的二郎坪群是古弧后盆地的物质残存(李亚林等,1998;张国伟等,2001;张本仁等,2002),南北两侧各发育一套活动型陆缘沉积体系和一系列俯冲型花岗岩,弧后盆地洋壳在造山早期分别向南部秦岭古岛弧和北部宽坪古陆发生双向式俯冲,形成两个活动大陆边缘(李亚林等,1998)。北秦岭造山带东段桐柏地区的黄岗杂岩分布在二郎坪群以北,岩体北侧与宽坪群为侵入接触关系,形成于岛弧构造环境,侵位时代为  $(429 \pm 35)$  Ma(全岩 Rb-Sr 等时年龄)(张利等,2001),与二郎坪洋壳向北的俯冲消减作用有着直接的联系。

北秦岭造山带西段的花红铺岩体区域上与草滩沟群火山岩系关系密切,呈侵入接触关系。草滩沟群区域上向东与斜峪关群、云架山群及二郎坪群可以对比,依据古生物化石资料确定草滩沟群形成时代为奥陶纪。草滩沟群基性火山岩的地球化学特征具造山带及闭合边缘的岛弧或活动陆缘特征(王洪亮等,2007;闫全人等,2007)。红花铺侵入体位于草滩沟群以北,岩石总体显示为具俯冲带岛弧地球化学特征的 I 型花岗岩,在 Nb - Y 图解中样品分别投入到同碰撞、火山弧花岗岩区(图8),而在 Rb - (Y

+Nb)图解中样品进一步被限定在火山弧花岗岩区(图9)。总的来说,红花铺岩体可能形成于板块俯冲碰撞这一大的构造运动背景中。结合区域地质构造特征,与奥陶纪草滩沟群岛弧火山岩相伴而生,且

呈侵入接触关系,岩体的形成时代( $450.5 \pm 1.8$ ) Ma (王洪亮等,2007)略晚于草滩沟群火山岩( $456 \pm 1.8$ ) Ma (王洪亮等,2006; 闫全人,2007),笔者认为该岩体可能形成于岛弧环境。

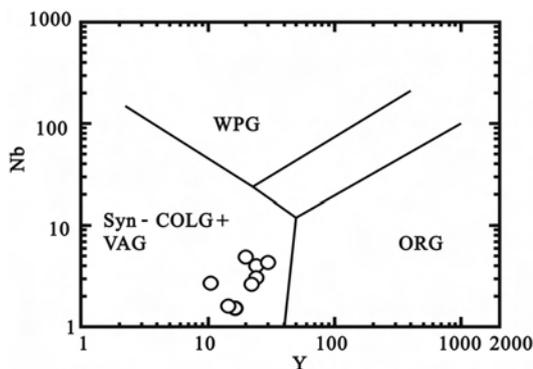


图8 红花铺岩体 Nb-Y 图解(据 Pearce 等,1984)

Fig. 8 Nb-Y diagram of Honghuapu intrusions (after Pearce *et al.*, 1984)

Syn-COLG + VAG—同碰撞和岛弧花岗岩;

WPG—板内花岗岩;ORG—洋脊花岗岩

Syn-COLG + VAG—syn-collision and volcanic arc granites;

WPG—intraplate granites; ORG—oceanic ridge granites

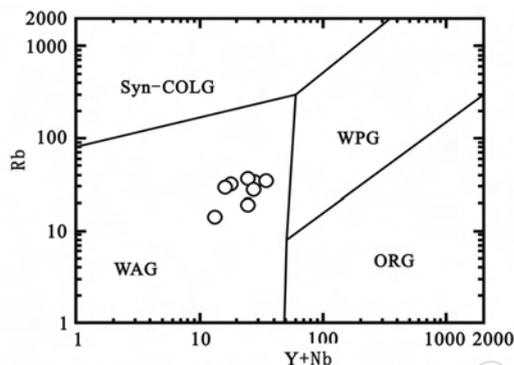


图9 红花铺岩体 Rb-Y+Nb 图解(据 Pearce 等,1984)

Fig. 9 Rb-Y+Nb diagrams of Honghuapu intrusion (after Pearce *et al.*, 1984)

syn-COLG—同碰撞花岗岩;VAG—火山岛弧型花岗岩;

WPG—板内花岗岩;ORG—洋脊花岗岩

Syn-COLG—syn-collision granites; VAG—volcanic arc granites;

WPG—intraplate granites; ORG—oceanic ridge granites

该岩体( $450.5 \pm 1.8$ ) Ma 的 LA-ICPMS 单颗粒锆石 U-Pb 同位素年龄(王洪亮等,2006),在误差范围内与北秦岭东段桐柏地区的黄岗杂岩时代( $429 \pm 35$ Ma)相当(张利等,2001),二者构造环境相似,表明北秦岭西段在加里东期曾发生了俯冲作用,在相当于二郎坪盆地北侧形成岛弧带,红花铺侵入体与草滩沟群火山岩可能共同构成该岛弧带的岩浆岩组合,也证明北秦岭西段在此之前存在有板块构造体制,具有与北秦岭东段相似的构造演化特点。红花铺侵入体生成构造环境及形成时代的确定为深入研究北秦岭加里东期的构造格局及造山过程细节提供了新的资料。

## 5 结论

(1)红花铺岩体主要岩性为中细粒奥长花岗岩和花岗岩,属富钠贫钾的弱过铝质钙碱性岩石系列,属 I 型花岗岩。

(2)岩体在形成过程中存在俯冲消减机制,与深熔作用和岩浆结晶分异作用关系密切;主量、微量、稀土元素分析结果显示岩体可能具有同碰撞或火山弧花岗岩性质;结合区域地质构造背景,综合分析红

花铺岩体应形成于俯冲带的岛弧环境,揭示北秦岭西段加里东期存在板块俯冲的构造体制。

**致谢** 成都理工大学任光明硕士研究生参加了野外调研,在野外调研及论文撰写过程中得到了校培喜教授级高工、冯益民研究员、张二朋研究员、陈丹玲副教授、陈亮博士的帮助,在此表示诚挚的谢意。

## References

- Batem A N R, Mart M P and Castro A. 1992. Mixing of cordierite granitoid and proxene gabbro, and fractionation, in the Santa Olallatonlite (Andalucía)[J]. *Lithos*, 8: 111 ~ 131.
- Castro A. 1991. I-type (Hybrid) granitoids: A proposed revision of the granite type classification and nomenclature[J]. *Earth Science Reviews*, 1: 237 ~ 253.
- Chappell B W and White A J R. 1974. Two contrasting granite types[J]. *Pacific Geology*, 8: 173 ~ 174.
- Collins W J. 1982. Nature and origin of A type granites with particular reference to Southeast Australia [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 80: 189 ~ 200.
- Fu Jianming, Ma Chang qian, Xie Caifu, *et al.* 2005. Scertainment of the Jinjiling aluminous A-type granite, Hunan province and its tectonic settings

- [J]. *Geochimica*, 34(3): 215 ~ 226 (in Chinese with English abstract).
- 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.
- Geng Quanru, Pan Guitang, Zheng Lailin, *et al.* The gangdise island-arc granite zone along the Yarlungzangbo grand canyon, Xizang [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 21(2): 16 ~ 21 (in Chinese).
- Li Yalin, Zhang Guowei and Song Chuazhong. 1998. Characteristics of bidirectional subduction of Erlangping back-arc basin in the east Qinling [J]. *Geological Journal of China Universities*, 4(3): 286 ~ 293 (in Chinese).
- Morrison G W. 1980. Characteristics and tectonic setting of the shoshonite rock association [J]. *Lithos*, 13: 97 ~ 108.
- Pearce J A, Lippard S J and Robert S S. 1984. Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites [J]. *Marginal Basin Geology*, 16(Geol. Soc. Spec. Publ. ): 77 ~ 93.
- Qiu Jiexiang, Deng Jinfu, Lu Fengxiang, *et al.* 1985. *Igneous Petrology* [M]. Geological Publishing House, 196 ~ 197 (in Chinese).
- Shi Changyi, Yan Mingcai, Liu Chongmin, *et al.* 2005. Abundances of chemical elements in granitoids of China and their characteristics [J]. *Geochimica*, 34(5): 470 ~ 482 (in Chinese with English abstract).
- Song Zhigao. 1993. The westward extension of the early Paleozoic Danfeng group into the Qilian orogen and its geological significance [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 1(1): 15 ~ 26 (in Chinese).
- Sun Deyou, Suzui K, Wu Fayuan, *et al.* 2005. Chime dating and its application for Mesozoic granites of Huanggoushan, Jilin Province [J]. *Geochimica*, 34(4): 305 ~ 314 (in Chinese with English abstract).
- 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. *Magmatism in the Ocean Basins* [C]. *Geol. Soc. Spec.* 42: 313 ~ 345.
- Sun Yong, Lu Xinxiang and Han Song. 1996. Composition and formation of Palaeozoic Erlangping ophiolitic slab, North Qinling: Evidence from geology and geochemistry [J]. *Science in China, Ser. D*, 26: 49 ~ 55 (in Chinese).
- Vinogradov A P. 1962. Average content of chemical elements in the chief types of igneous rocks of the crust of the Earth [J]. *Geochimica*, (7): 555 ~ 571 (in Russian with English abstract).
- Wang Hongliang, Chen Liang, Sun Yong, *et al.* 2007. Discovering of captured Zircon with nearly 4.1 Ga age in Ordovician volcanic rock of western Qinling [J]. *Chinese Science Bulletin*, 52(14): 1 685 ~ 1 693 (in Chinese).
- Wang Hongliang, He Shiping, Chen Juanlu, *et al.* 2006. LA-ICPMS dating of zircon U-Pb and tectonic significance of Honghuapu subduction-related intrusions in the west segment of northern Qinling Mountains [J]. *Geoscience*. 20(4): 536 ~ 544 (in Chinese).
- Whalen J B, Currie K L and Chappell B W. 1987. A type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis [J]. *Contr. Miner. Petro.*, 95: 407 ~ 419.
- White A J R, Clemens J D, Holloway J R, *et al.* 1986. S-type granites and their probable absence in southwestern north America [J]. *Geology*, 14: 115 ~ 118.
- Xiao Siyun, Zhang Weiji, Song Ziji, *et al.* 1988. *Metamorphic Formation of North Qinling* [M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Publishing House, 1 ~ 320 (in Chinese).
- Yan Mingcai, Chi Qinghua, Gu Tiexin, *et al.* 1996. Abundances and distribution of chemical elements of igneous rocks in China [J]. *Geochimica*, 25(5): 409 ~ 424 (in Chinese).
- Yan Quanren, Wang Zongqi, Chen Junlu, *et al.* 2007. Tectonic setting and shrimp age of volcanic rocks in the Xieyuguan and Caotangou groups: Implications for the north Qinling orogenic belt [J]. *Acta Geologica Sinica*, 81(4): 488 ~ 500 (in Chinese with English abstract).
- Yan Zhen. 1985. *Granite in Shanxi Province* [M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Publishing House, 1 ~ 321 (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 Paleozoic and Mesozoic dual deep subduction between North China and Yangtze plates [J]. *Acta Geologica Sinica*, 76(4): 484 ~ 495 (in Chinese).
- Zhang Benren. 2001. Geochemical study of continental orogenic belts: on improvement of geochemical discrimination of tectonic settings of rocks [J]. *Northwestern Geology*, 34(3): 1 ~ 15 (in Chinese).
- Zhang Benren, Gao Shan, Zhang Hongfei, *et al.* 2002. *Qinling Orogenic Belt Geochemistry* [M]. Beijing: Science Publishing House, 1 ~ 187 (in Chinese).
- Zhang Benren, Zhang Hongfei, Zhao Zhidan, *et al.* 1996. Geochemical partition, evolution and tectonic significances of the crust and mantle in eastern Qinling and neighborhood [J]. *Science in China, Ser. D*, 26(3): 201 ~ 208 (in Chinese).
- Zhang Guowei, Guo Anlin and Yao Anping. 2004. Western Qinling-Songpan continental tectonic node in china's continental tectonics [J]. *Earth Science Frontiers*, 3(4): 23 ~ 32 (in Chinese with English abstract).
- 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 Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, *et al.* 2001. *Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics* [M]. Beijing: Science Publishing House, 1 ~ 855 (in Chinese).
- Zhang Hongfei, Zhang Benren, Ling Wenli, *et al.* 1995. Recycling of Pristine Oceanic Crust in Qinling: Proofs about isotope tracing of granitic rocks sources region [J]. *Chinese Science Bulletin*, 40(21): 1 987 ~ 1 989 (in Chinese).
- Zhang Hongfei, Zhang Benren, Zhao Zhidan, *et al.* 1996. Continental subduction and collision of Shangdan tectonic belt in The eastern Qinling: Isotope tracing proof of granitic magma source region [J]. *Science in China, Ser. D*, 26(3): 231 ~ 236 (in Chinese).
- Zhang Li, Wang Linsen and Zhou Lian. 2001. Subduction of back-arc basin and recycle of crustal substance in northern Qinling: geochemical evidence of Taoyuan intrusion and Huanggang intrusion complex [J].

Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 26(1): 18~24(in Chinese).

Zhang Zhaochong, Yan Shenghao, Chen Bolin, *et al.* 2006. SHRIMP dating of zircon U-Pb for subduction type granites in the northern east Junggar Xinjiang[J]. Chinese Science Bulletin, 51(13): 1565~1574(in Chinese).

Zhang Zongqing, Liu Duni and Fu Guomin. 1994. Researching about Iso- tope Era of Metamorphic Formation of North Qinling[M]. Beijing: Geology Publishing House, 1~161(in Chinese).

Zhang Zongqing, Zhang Guowei, Fu Guomin, *et al.* 1996. The age and tectonic significances of metamorphic formation in Qinling[J]. Science in China, Ser. D, 26(3): 216~222(in Chinese).

Zhu Jinchu, Xie Caifu, Zhang Peihua, *et al.* 2005. Niumiao and Tong'an intrusive bodies of NE Guangxi: Petrology, zircon SHRIMP U-Pb geochronology and geochemistry[J]. Acta Petrologica Sinica, 21(3): 665~676(in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

付建明,马昌前,谢才富,等. 2005. 湖南金鸡岭铝质A型花岗岩的厘定及构造环境分析[J]. 地球化学, 34(3): 215~226.

耿全如,潘桂荣,郑来林,等. 2001. 论雅鲁藏布大峡谷地区冈底斯岛弧花岗岩带[J]. 沉积与特提斯地质, 21(2): 16~21.

李亚林,张国伟,宋传中. 1998. 东秦岭二郎坪弧后盆地双向式俯冲特征[J]. 高校地质学报, 4(3): 286~293.

邱家骧,邓晋福,路凤香,等. 1985. 岩浆岩石学[M]. 北京:地质出版社. 196~197.

史长义,鄢明才,刘崇民,等. 2005. 中国花岗岩类化学元素丰度及特征[J]. 地球化学, 34(5): 470~482.

宋志高. 1993. 北秦岭丹凤群向西延入祁连造山带的地质意义[J]. 中国地质科学院院报, 27~28: 15~26.

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), 26(增刊): 49~55.

孙德有,铃木和博,吴福元,等. 2005. 吉林省南部荒沟山地区中生代花岗岩 CHIME 定年[J]. 地球化学, 34(4): 305~314.

王洪亮,陈亮,孙勇,等. 2007. 北秦岭西段奥陶纪火山岩中发现近 4.1 Ga 的捕虏锆石[J]. 科学通报, 52(14): 1685~1693.

王洪亮,何世平,陈隽璐,等. 2006. 北秦岭西段红花铺俯冲型侵入体 LA-ICP-MS 定年及其地质意义[J]. 现代地质, 20(4): 536~544.

肖思云,张维吉,宋子季,等. 1988. 北秦岭变质地层[M]. 西安:西安交通大学出版社, 1~320.

鄢明才,迟清华,顾铁新,等. 1996. 中国火成岩化学元素的丰度与分布[J]. 地球化学, 25(5): 409~424.

严阵. 1985. 陕西省花岗岩[M]. 西安:西安交通大学出版社, 1~321.

闫全人,王宗起,陈隽璐,等. 2007. 北秦岭斜峪关群和草滩沟群火山岩成因的地球化学和同位素约束, SHRIMP 年代及其意义[J]. 地质学报, 81(4): 488~500.

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.

张本仁. 2001. 大陆造山带地球化学研究:岩石构造环境地球化学判别的改进[J]. 西北地质, 34(3): 1~15.

张本仁,高山,张宏飞,等. 2002. 秦岭造山带地球化学[M]. 北京:科学出版社, 1~187.

张本仁,张宏飞,赵志丹,等. 1996. 东秦岭及邻区壳、幔地球化学分区和演化及大地构造意义[J]. 中国科学(D辑), 26(3): 201~208.

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,郭安林,姚安平,等. 2004. 中国大陆构造中的西秦岭-松潘大陆构造结[J]. 地学前缘, 11(3): 23~32.

张国伟,张本仁,袁学诚,等. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京:科学出版社, 1~855.

张宏飞,张本仁,凌文黎,等. 1995. 北秦岭古洋壳物质再循环:岛弧花岗岩质岩源区同位素示踪证据[J]. 科学通报, 40(21): 1987~1989.

张宏飞,张本仁,赵志丹,等. 1996. 东秦岭商丹构造带陆壳俯冲碰撞:花岗岩质岩源区同位素示踪证据[J]. 中国科学(D辑), 26(3): 231~236.

张利,王林森,周炼. 2001. 岭弧后盆地俯冲消减与陆壳物质再循环——桃园岩体和黄岗杂岩体的地球化学证据[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 26(1): 18~24.

张招崇,闫升好,陈柏林,等. 2006. 新疆东准噶尔北部俯冲花岗岩的 SHRIMP U-Pb 锆石定年[J]. 科学通报, 51(13): 1565~1574.

张宗清,刘敦一,付国民. 1994. 北秦岭变质地层同位素年代研究[M]. 北京:地质出版社, 1~161.

张宗清,张国伟,付国民,等. 1996. 秦岭变质地层年龄及其构造意义[J]. 中国科学(D), 26(3): 216~222.

朱金初,谢才富,张佩华,等. 2005. 桂东北牛庙闪长岩和同安石英二长岩:岩石学、锆石 SHRIMP U-Pb 年代学和地球化学[J]. 岩石学报, 21(3): 665~676.