

# 北秦岭商丹地区构造岩浆演化特征

裴先治 王 涛 李伍平 张维吉 王全庆 李国光

(西安地质学院区调所,西安,710054)

**摘 要** 北秦岭造山带发育有多期多类型多成因构造岩浆活动,反映着北秦岭自元古宙以来所经历的复杂多期多类型造山作用与构造演化过程。晋宁期(1000~700 Ma)发育有松树沟蛇绿岩、富水基性杂岩体、岛弧型花岗岩类和碰撞型花岗岩类,与新元古代北秦岭活动大陆边缘的俯冲—碰撞造山作用密切相关;晚加里东—早华力西期(460~360 Ma)主要发育岛弧型花岗岩和碰撞型花岗岩类,体现了该阶段陆内斜向俯冲—碰撞造山作用;晚华力西—印支期(270~195 Ma)主要为碰撞型花岗岩类,代表着陆内碰撞造山作用的完成;燕山期为后造山浅成侵入花岗岩类。晋宁期和晚加里东—早华力西期是北秦岭最为强烈的两期构造岩浆活动时期。

**关键词** 构造岩浆活动 岛弧型花岗岩 碰撞型花岗岩 构造演化 北秦岭

北秦岭造山带自元古宙以来的构造发展演化中,经历了多期多类型的造山作用,发育有多期多类型多成因构造岩浆活动,代表了北秦岭造山带在其地壳形成与构造演化过程中的真实地质记录,不同时期、不同成因、不同类型的构造岩浆活动都是北秦岭不同时期的构造运动、构造体制、造山类型与造山过程的体现。因此,深入探讨北秦岭地区的构造岩浆活动,并结合不同时期的地质事件,对阐明北秦岭造山带的构造发展与形成演化及动力学过程将具有重要地质意义。本文在前人研究基础上,结合1:5万地质填图所获新资料,着重对北秦岭商丹地区多期多成因多类型深成构造岩浆活动特征进行了阐述,并探讨其构造岩浆演化。

北秦岭商丹地区及邻区的构造岩浆(侵入)活动,据目前资料可以划分为四期:晋宁期(1000~700 Ma)、晚加里东—早华力西期(460~360 Ma)、晚华力西期—印支期(270~195 Ma)、燕山期(170~80 Ma),而以晋宁期和晚加里东—早华力西期岩浆活动最为强烈,与北秦岭地区的多期多类型俯冲—碰撞造山作用密切相关。

## 1 晋宁期构造岩浆活动

北秦岭地区晋宁期(1000~700 Ma)构造岩浆活动很发育,包括了晋宁早期的松树沟超镁铁岩体或蛇绿岩(就位年龄  $983 \pm 140$  Ma, Sm-Nd)<sup>[1]</sup>、富水基性杂岩体(变质年龄  $761 \pm 87$  Ma, Rb-Sr)、商南花岗岩体( $889 \pm 22$  Ma, Pb-Pb, 裴先治, 1995)、牛角山花岗岩体( $959 \pm$

收稿日期:1995-07-13

4 Ma, U-Pb, 王涛, 1995)、寨根花岗岩体 (821 Ma, U-Pb) 和晋宁晚期的德河花岗岩体 ( $794 \pm 32$  Ma, Rb-Sr)<sup>[2]</sup>、蔡凹花岗岩体 ( $659 \pm 50$  Ma, Rb-Sr)<sup>[3,4]</sup>、黄柏峪花岗岩体 ( $670 \pm 40$  Ma, Rb-Sr)<sup>[4]</sup>等。上述岩体主要侵位于古元古界秦岭岩群中, 部分侵位于中元古界峡河岩群中。

### 1.1 松树沟蛇绿岩

主要由松树沟超镁铁岩及围绕其周边分布的镁铁质变质岩(变质基性火山岩)组成, 共同构成一个不完整的外来蛇绿岩构造岩片, 其周边与秦岭岩群变质岩呈构造接触关系。岩体类型属造山带构造环境的阿尔卑斯型橄榄岩组合, 已在岩体北侧榴闪岩中获全岩—矿物 Sm-Nd 等时年龄  $983 \pm 140$  Ma<sup>[1]</sup>, 表明蛇绿岩是在新元古代早期构造就位的。超镁铁岩主要岩石类型为纯橄榄岩, 其次为方辉橄榄岩, 另有少量透辉岩—透辉橄榄岩, 以纯橄榄岩为主体。纯橄榄岩的  $MgO/(FeO) > 6$ , M/F 值  $> 6.5$ , 属镁质超镁铁岩, 岩石化学成分具地幔残余特征。稀土总量很低 ( $\Sigma REE = 2.23 \times 10^{-6}$ ), 低于地幔岩, 显示了高度贫化特点, REE 分配型式为轻稀土富集型, 无 Eu 异常, LREE/HREE = 8.93, 其 REE 组成及分配型式与阿尔卑斯型及蛇绿岩套中纯橄榄岩的下凹型分配型式相似。

镁铁质变质岩主要由斜长角闪岩、眼球状斜长角闪岩及少量榴闪岩、石榴辉石岩、角闪石岩组成。前三类岩石具有大致相同的岩石地球化学特征, 原岩以基性火山岩为主, 属拉斑玄武岩系列, 其  $TiO_2$  含量较高 (1.37~2.99%, 平均 1.85%),  $MgO$  含量 6.40~8.84% (平均 7.37%),  $CaO$  含量 10.75~12.80 (平均 11.62%), 岩石化学成分接近大洋拉斑玄武岩而高于岛弧及大陆拉斑玄武岩。微量元素及稀土元素特征表明类似于 MORB-WPB 过渡类型特点, 源于相对亏损的地幔源区, 形成于初始裂谷或裂陷小洋盆构造环境(裴先治, 1995)。

从同位素年龄看, 这一蛇绿岩片形成于中元古代晚期 (1200~1000 Ma) 的北秦岭扩张裂陷构造环境, 于新元古代早期的俯冲作用过程中发生构造侵位及高压变质作用。

### 1.2 富水基性杂岩体

富水基性杂岩体是北秦岭最大的基性岩体之一, 分布于商丹断裂北侧的商南—西坪一带。岩体岩石类型主要有 5 种: ①变辉石岩; ②细粒暗色变辉长岩; ③中粒变辉长岩; ④变辉长闪长岩; ⑤变角闪石黑云母二长岩, 构成一个较完整的岩浆演化序列。前三种岩石属拉斑玄武岩系列 (TH), 后二种岩石属钙碱性系列 (CA), 其岩石地球化学特征见表 1, 形成于新元古代的岛弧构造环境, 是晋宁期北秦岭活动大陆边缘板块俯冲作用的产物。

### 1.3 岛弧型花岗岩类

包括了商南岩体、丹凤地区的蔡凹岩体和黄柏峪岩体等。岩石类型上, 商南岩体主体以中粒黑云母花岗闪长岩为主体, 有少量黑云母英云闪长岩、黑云母二长花岗岩, 具明显的岩石成分演化关系。花岗闪长岩主要组成矿物为: 斜长石 (41%)、钾长石 (20%)、石英 (31%)、黑云母 (7%)。蔡凹和黄柏峪岩体主要为中细粒花岗闪长岩, 矿物组成为: 斜长石 (61%)、钾长石 (13%)、石英 (18%)、黑云母 (8%) 和少量角闪石<sup>[4]</sup>。上述岩体均经历了强烈变形, 发育有片麻状构造。

商南岩体和蔡凹、黄柏峪岩体花岗闪长岩的岩石地球化学特征列于表 2 中。由表可见, 其主要元素组成较为相近, 唯商南岩体  $SiO_2$  含量偏高, 而蔡凹和黄柏峪岩体  $SiO_2$  含量偏低,  $K_2O/Na_2O$  比值均  $< 1$ , 里特曼指数 ( $\delta$ ) 分别为 1.52、2.24 和 2.63, 碱度率 (AR) 分别为 2.24、2.26、2.54, 为钙碱性系列 (CA) 岩石; A/CNK 比值分别为 1.08、0.90、0.99, 分属于过铝质和

准铝质类型;表明商南岩体具I型和S型花岗岩过渡特征,而蔡凹和黄柏峪岩体主要为I型花岗岩<sup>[4]</sup>。

表1 北秦岭富水基性杂岩体岩石地球化学特征表

序号	样品数	SiO <sub>2</sub>	ALK	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	(FeO)	(FeO)/MgO	Mg 值	δ	AR	Rb	Ba	Sr
1	2	46.98	1.55	1.08	9.21	0.61	74.81	1.31	1.14	40.5	798	441
2	3	47.07	2.66	0.98	9.84	1.22	61.87	1.83	1.22	53.0	1620	925
3	4	47.09	3.11	0.74	8.88	1.33	61.79	2.63	1.24	74.5	930	1166
4	4	53.93	6.92	1.31	7.30	1.79	52.12	4.41	1.64	142	2177	863
5	1	61.49	11.96	1.74	3.42	5.26	25.31	7.74	2.48	139	1254	292

  

序号	样品数	Zr	Hf	Sc	Cr	Co	Ni	V	ΣREE	$\frac{LREE}{HREE}$	δEu	(La/Yb) <sub>N</sub>
1	2	84	2.5	55.0	417	40.0	168	172	200.57	13.28	1.02	18.03
2	3	77	4.0	53.5	140	24.5	61	180	139.11	9.23	1.26	10.80
3	4	104	4.0	23.5	127	31.0	41	257	271.98	18.33	1.08	28.48
4	4	170	5.5	21.9	39	19.5	16	155	387.50	21.85	1.07	34.68
5	1	506	6.0	4.6	30	5.0	3	15	227.18	30.77	2.92	54.95

注:序号,1.变辉石岩;2.暗色细粒变辉长岩;3.中粒变辉长岩;4.变辉长闪长岩;5.变角闪黑云母二长岩;

Rb、Ba、Sr、Zr、Hf、Sc、Cr、Co、Ni、V、ΣREE 为  $\times 10^{-6}$ ; SiO<sub>2</sub> 为  $w_B\%$ ; Mg 值 =  $100Mg/(Mg + Fe^{2+})$ 。

表2 北秦岭新元古代岛弧型花岗岩类岩石地球化学特征表

序号	岩石类型	样品数	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	ALK	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	δ	AR	A/CNK	ΣREE( $\times 10^{-6}$ )
商南	花岗闪长岩	3	71.72	4.56	2.01	6.57	0.44	1.52	2.24	1.08	120.37
蔡凹	花岗闪长岩	5	65.87	4.02	3.14	7.16	0.78	2.24	2.26	0.90	171.57
黄柏峪	花岗闪长岩	5	66.85	4.33	3.70	8.03	0.85	2.63	2.54	0.99	391.59

  

岩体	岩石类型	样品数	LREE( $\times 10^{-6}$ )	HREE( $\times 10^{-6}$ )	$\frac{LREE}{HREE}$	δEu	(La/Yb) <sub>N</sub>	( <sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr) <sub>i</sub>	ε <sub>Nd</sub> (t)
商南	花岗闪长岩	3	115.25	5.12	22.51	0.92	19.45		
蔡凹	花岗闪长岩	5	165.34	6.23	26.54	0.82	39.78	0.7042	+1.12
黄柏峪	花岗闪长岩	5	376.36	15.23	24.71	0.79	66.32	0.7058	+2.97

注: \* 蔡凹和黄柏峪岩体资料据文献[4]综合。SiO<sub>2</sub>、Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O 为  $w_B\%$ 。

在稀土元素组成特征上(表2),三个岩体稀土元素总量差异较大,其ΣREE 分别为  $120.37 \times 10^{-6}$ 、 $171.57 \times 10^{-6}$  和  $391.59 \times 10^{-6}$ ,但三个岩体花岗闪长岩的轻重稀土比值则较为接近, LREE/HREE 分别为 22.51、26.54 和 24.71;它们的稀土元素分配型式也较为相似,均为轻稀土富集的右倾平滑曲线,不存在明显的负 Eu 异常,与壳幔型花岗岩或 I 型花岗岩的稀土组成模式相一致,表明岩浆物质主要来自地壳深部。蔡凹和黄柏峪岩体的 (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>i</sub> 初始比值分别为 0.7042 和 0.7058, ε<sub>Nd</sub>(t) 分别为 +1.12 和 +2.97<sup>[4]</sup>,表明成岩物质主要来自亏损地幔源区。

三个岩体的岩石化学成分、微量元素组成均表现为岛弧型花岗岩性质,但商南岩体也具有同碰撞型花岗岩的某些特征,这种 I 型与 S 型的过渡特点与岩浆源区性质密切相关,其源区更接近于壳幔混合源,属 H 型花岗岩<sup>[5]</sup>。北秦岭地区新元古代岛弧型花岗岩类的产生与晋宁期北秦岭活动大陆边缘的俯冲消减作用息息相关,且在空间分布上主要在秦岭古岛弧基底的南侧。

#### 1.4 碰撞型花岗岩类

主要有牛角山岩体、德河岩体和寨根岩体等,主体侵位于中元古界峡河岩群中,自西向东

呈 NW 向的岩带展布。其中牛角山岩体是从原秦岭群中新解体中的变形侵入体(王涛, 1994)<sup>[6]</sup>。在岩石类型上, 主要为似斑状黑云母二长花岗岩, 普遍发育强的片麻状构造、眼球状构造。眼球体主要为钾长石斑晶(含量 5%~15%), 基质主要由斜长石、钾长石、石英和少量黑云母组成。

它们的主要岩石地球化学特征见表 3。德河岩体黑云母二长花岗岩  $\text{SiO}_2$  含量为 70.93%,  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  比值为 1.68, 里特曼指数( $\delta$ )为 1.41, 属钙碱性系列岩石<sup>[2]</sup>,  $A/\text{CNK}$  为 1.15, 属过铝质岩石; 牛角山岩体  $\text{SiO}_2$  含量为 72.85%,  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  比值为 1.25,  $\delta=1.34$ , 为钙碱性系列,  $A/\text{CNK}$  为 1.20, 属过铝质岩石(王涛, 1995), 表明上述岩体属 S 型花岗岩或同碰撞型花岗岩<sup>[7]</sup>。

表 3 北秦岭新元古代碰撞型花岗岩类岩石地球化学特征表( $w_B\%$ )

岩体	岩石类型	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	ALK	δ	A/CNK
德河 <sup>①</sup>	黑云母二长花岗岩	70.93	2.33	3.94	1.68	6.27	1.41	1.15
牛角山 <sup>②</sup>	黑云母二长花岗岩	72.85	3.25	3.62	1.25	6.87	1.34	1.20

  

岩体	岩石类型	ΣREE(×10 <sup>-6</sup> )	LREE HREE	δEu	(La/Yb) <sub>N</sub>	( <sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr) <sub>i</sub>
德河 <sup>①</sup>	黑云母二长花岗岩	174.44	6.57	0.43	5.50	0.7220
牛角山 <sup>②</sup>	黑云母二长花岗岩	198.02	10.22	0.48	14.26	

注: ①据游振东等(1991)<sup>[2]</sup>; ②据王涛等(1995)。

稀土元素组成上(表 3), 德河和牛角山岩体稀土元素总量大致相近,  $\Sigma\text{REE}$  分别为  $174.44 \times 10^{-6}$  和  $198.02 \times 10^{-6}$ , 轻重稀土比值  $\text{LREE}/\text{HREE}$  分别为 6.57 和 10.22, REE 分配型式均呈轻稀土富集的右倾“V”字型曲线<sup>[2]</sup>, 具明显负 Eu 异常,  $\delta\text{Eu}$  分别为 0.43 和 0.48, 表明属地壳重熔型花岗岩。德河岩体  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$  初始比值为 0.7220<sup>[2]</sup>, 与 S 型花岗岩相当。

上述岩石地球化学特征表明, 德河、牛角山及寨根岩体成因类型属 S 型或地壳重熔型花岗岩, 成岩物质来源于地壳, 幔源物质参与很少。常量、微量及稀土元素地球化学特征与大陆碰撞型花岗岩相似<sup>[7]</sup>, 与晋宁期北秦岭活动陆缘的俯冲—碰撞作用密切相关, 空间分布上主要位于前述岛弧型花岗岩带北侧, 构成了明显的成分极性。

北秦岭新元古代深成岩浆活动构成从基性到中酸性的完整岩浆演化序列, 显示出了明显的古活动大陆边缘的岩浆演化特征, 它们与新元古代丹凤岩群岛弧型火山岩系(1000~900 Ma, Sm-Nd)<sup>[8]</sup>的相互配套, 揭示了晋宁期板块俯冲—碰撞作用的存在。

## 2 晚加里东—早华力西期构造岩浆活动

晚加里东—早华力西期深成构造岩浆活动在北秦岭商丹地区也很强烈, 现有研究资料表明, 这时期的岩浆活动主要以花岗岩类为主体, 既有大型岩基, 也有小型岩株乃至呈线状展布于强变形带中的变形花岗岩体。岩石类型包括岛弧型(I 型)和碰撞型(S 型)两类。

### 2.1 岛弧型花岗岩类

以灰池子岩体为代表, 同位素年龄为 382 Ma(Rb-Sr)<sup>[9]</sup>、399 Ma(K-Ar)<sup>[10]</sup>、457 Ma(U-Pb)<sup>[9]</sup>、437 Ma(Pb-Pb)<sup>[11]</sup>。出露面积约 340 km<sup>2</sup>, 是北秦岭规模最大的花岗岩体。北部与峡河岩群呈侵入接触, 南部与秦岭岩群呈侵入接触。岩体的主要岩石类型为黑云母英闪长岩、黑

云母花岗闪长岩及黑云母二长花岗岩，具明显的成分和结构演化特征，由 3 个序列 9 个单元组成<sup>[11]</sup>。片麻状构造发育，且由岩体边部到中部由强变弱，岩体变形机制为压扁型<sup>[11]</sup>。

灰池子岩体的岩石地球化学特征见表 4。据张宏飞等(1994)<sup>[12]</sup>研究，其主体岩石黑云母花岗闪长岩的 SiO<sub>2</sub> 含量 ( $w_B\%$ ) 变化于 67.60~72.80 之间，平均为 70.83，富 Na 贫 K，K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 比值为 0.56，里特曼指数( $\delta$ )为 1.85，为钙碱性系列岩石；A/CNK 为 1.11，具准铝质性质，属 I 型花岗岩。微量元素 Rb 为  $90\times 10^{-6}$ ，K/Rb=238；稀土元素总量偏低， $\Sigma REE$  为  $108\times 10^{-6}$ ，轻重稀土比值 LREE/HREE 为 32.3，(La/Yb)<sub>N</sub> 为 5.03，REE 分配型式为轻稀土富集、重稀土相对亏损的右倾平滑曲线，无明显负 Eu 异常， $\delta Eu=0.95$ ，表明岩体属壳幔型花岗岩。

上述岩石地球化学特征表明灰池子岩体属 I 型花岗岩，成岩物质来源于壳幔混合源，成因类型属 H 型花岗岩<sup>[5]</sup>；氧同位素  $\delta^{18}O(\%)$  介于 7.60~9.08 之间，平均为 8.32<sup>[12]</sup>；(<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>i</sub> 初始比值为 0.7062<sup>[12]</sup>，均低于 S 型花岗岩，而与 I 型花岗岩相当，也表明了其岩浆壳幔混成因。Nd 同位素特征也反映了其物源为壳幔混合性质(见表 4)。张宏飞等(1994)通过对 Nd、Sr 同位素壳幔两端元混合比例的定量模拟计算，得出形成灰池子岩体的岩浆物质中，幔源物质为 69%，陆壳物质为 31%，以幔源为主<sup>[12]</sup>。结合区域地质背景分析，灰池子岩体岩浆源区并不直接来自地幔，而更可能是残留于地壳中的幔源物质与少量地壳物质混合形成的壳幔混合物，其形成的动力学背景与北秦岭晚加里东—早华力西期的陆内俯冲—碰撞作用相关。

2.2 碰撞型花岗岩类

包括侵入于秦岭岩群中的分布于西峡地区的安吉坪岩体(452±2Ma，Rb-Sr)<sup>[2]</sup>、漂池岩体(411Ma，K-Ar)<sup>[3]</sup>和丹凤地区的枣园岩体(361Ma、382Ma，U-Pb)<sup>[3]</sup>、王家庄岩体(403±4Ma，U-Pb)<sup>[13]</sup>、许庄岩体以及分布于商丹断裂北侧侵入丹凤岩群的呈线状展布的宽坪岩体(315~363Ma，K-Ar)<sup>[9]</sup>；358±12Ma，Rb-Sr，裴先治，1994)、铁峪铺岩体(294~329Ma，K-Ar)<sup>[9]</sup>等。岩石类型以黑云母二长花岗岩为主，主要组成矿物为斜长石、钾长石、石英，另有少量黑云母、白云母及角闪石，多数岩体具似斑状结构，斑晶主要为钾长石，普遍发育片麻状构造，位于强变形带中的线状岩体糜棱岩化强烈，与区域斜向碰撞导致的走滑剪切作用密切相关。

表 4 北秦岭晚加里东—早华力西期花岗岩类岩石地球化学特征表

序号	岩体	岩石类型	SiO <sub>2</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O(%)	K <sub>2</sub> O(%)	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	ALK	$\delta$	A/CNK
1	灰池子	花岗闪长岩	71.48	4.60	2.58	0.56	7.18	1.85	1.11
2	安吉坪	二云二长花岗岩	75.14	3.67	3.95	1.08	7.62	1.81	1.12
3	漂池	二云二长花岗岩	71.47	4.36	4.27	1.02	8.63	2.20	1.10
4	枣园	似斑状黑云母花岗岩	70.13	3.67	3.94	1.07	7.61	—	—
5	许庄	似斑状黑云母花岗岩	71.28	4.05	4.76	1.18	8.81	—	—
6	宽坪	黑云母二长花岗岩	73.17	3.47	4.30	1.24	7.71	2.01	1.17
7	铁峪铺	黑云母花岗岩	69.86	4.23	2.86	0.68	7.09	1.94	1.08

  

序号	岩体	岩石类型	$\Sigma REE(\times 10^{-6})$	LREE/HREE	$\delta Eu$	(La/Yb) <sub>N</sub>	$\delta^{18}O\%$	( <sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr) <sub>i</sub>	$\epsilon_{Nd}(t)$
1	灰池子	花岗闪长岩	108	32.3	0.95	5.03	8.32	0.7062	-0.84
2	安吉坪	二云二长花岗岩	84	9.25	0.52	9.86	—	0.7294	—
3	漂池	二云二长花岗岩	121	11.10	—	12.1	11.27	0.7213	-9.97
4	枣园	似斑状黑云母花岗岩	125	14.63	—	24.3	10.34	0.7076	-3.24
5	许庄	似斑状黑云母花岗岩	126	24.20	—	54.1	11.02	—	-3.42
6	宽坪	黑云母二长花岗岩	138	13.70	0.69	18.61	9.96	0.7076	—
7	铁峪铺	黑云母花岗岩	87	9.87	0.97	10.81	—	—	—

注：资料来源，表中序号 1 据参考文献 12，14，序号 2 据参考文献 2，序号 3、4、5 据参考文献 3，14，序号 6、7 据本文作者和参考文献 3。



代表性岩体的岩石地球化学特征也列于表 4 中。由表可见,碰撞型花岗岩岩石类型相对简单, $\text{SiO}_2$  含量较高( $>70\%$ ),变化范围窄( $69.86\%\sim 75.14\%$ ),ALK 较高( $7.61\sim 8.81$ ), $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  比值一般 $>1.0$ ,在  $1.02\sim 1.24$  之间,里特曼指数( $\delta$ )为  $1.81\sim 2.20$ ,为钙碱性系列岩石; $\text{A}/\text{CNK}$  比值一般 $>1.1$ ,为  $1.08\sim 1.17$ ,属过铝质岩石。稀土元素总量普遍较低, $\Sigma\text{REE}=87\times 10^{-6}\sim 138\times 10^{-6}$ ,轻重稀土比值  $\text{LREE}/\text{HREE}$  多数在  $9.25\sim 14.63$  之间,稀土元素分配型式均呈轻稀土富集的右倾“V”字型曲线,具明显负 Eu 异常,表明为地壳重熔型或 S 型花岗岩,显示成岩物质以壳源为主。多数岩体的  $\delta^{18}\text{O}_{\text{‰}}>10$ ,( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub> 初始比值为  $0.7076\sim 0.7294$ ,  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  为  $-3.24\sim -9.97$ ,为 S 型花岗岩。上述岩石地球化学特征表明该类花岗岩体的成因类型属 S 型花岗岩或壳型花岗岩,成岩物质主要为中下地壳,属于同碰撞型花岗岩类。

晚加里东—早华力西期( $460\sim 360\text{ Ma}$ )花岗岩类从区域地质背景分析,缺乏与之相伴生的岛弧型火山岩和蛇绿岩套,结合近来在秦岭地体北侧发现加里东期高压—超高压变质榴辉岩、含柯石英榴辉岩(胡能高等,1994),表明晚加里东—早华力西期北秦岭主体属于陆内(壳)斜向俯冲—碰撞造山阶段。从岛弧型和碰撞型花岗岩的空间展布看,前者居中,后者位居南北两侧,暗示了秦岭杂岩地体南北两侧斜向双向陆内俯冲—碰撞作用的存在,岛弧型花岗岩虽然具壳幔混合成因,但更可能是由于陆壳俯冲—碰撞作用造成更深层次下地壳物质部分熔融,并使早已进入地壳中的幔源物质参与其中,从而形成具 I 型与 S 型过渡的 H 型花岗岩<sup>[5]</sup>。

### 3 晚华力西—印支期和燕山期构造岩浆活动

晚华力西—印支期花岗岩在商丹地区相对不甚发育,但在商县以西地区则出露较多,以二长花岗岩、花岗闪长岩为主,如曹坪岩体( $264\text{ Ma}$ ,  $\text{Rb}-\text{Sr}^{[10]}$ )、沙河湾岩体( $195.5\text{ Ma}$ ,  $\text{K}-\text{Ar}^{[9]}$ ;  $213\pm 2.9\text{ Ma}$ ,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , 卢欣祥,1995<sup>①</sup>)、柞水岩体和东江口岩体等。岩石一般呈块状,变形很弱,多具斑状、似斑状结构,与围岩有清楚的侵入关系,岩体中普遍有暗色色体<sup>[9]</sup>。岩石的  $\text{SiO}_2$  含量为  $67.63\%\sim 70.72\%$ , $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  比值为  $0.95\sim 1.02$ , $\text{A}/\text{CNK}$  为  $0.89\sim 1.01$ ,属钙碱性系列岩石,铝不饱和类型。稀土总量偏低, $\Sigma\text{REE}$  为  $97.61\times 10^{-6}\sim 163.24\times 10^{-6}$ , $\text{LREE}/\text{HREE}$  为  $11.72\sim 13.05$ ,具弱的负 Eu 异常<sup>[3]</sup>。上述地球化学特征表明,晚华力西—印支期花岗岩主要为同碰撞型花岗岩<sup>[3]</sup>,与该时期地壳的进一步叠置增厚、陆—陆碰撞作用引起的地壳深部物质部分熔融密切相关。

印支期末的沙河湾岩体( $195\sim 273\text{ Ma}$ )位于商县西南,面积约  $100\text{ km}^2$ ,分布于商丹带上。据卢欣祥(1995)研究<sup>①</sup>,为典型的造山后奥长环斑花岗岩。主要由斜长石( $39\%\sim 43\%$ )、钾长石( $24\%\sim 31\%$ )、石英( $19\%\sim 27\%$ )、少量黑云母( $4\%\sim 5\%$ )和角闪石( $2\%\sim 6\%$ )组成<sup>[9]</sup>。斑晶主要为钾长石和斜长石( $10\%\sim 20\%$ ),其中斑状钾长石发育有特征的环斑结构<sup>[9]①</sup>。据卢欣祥(1994)研究,其  $\text{SiO}_2$  含量为  $67.38\%$ ,ALK 为  $7.59\%$ , $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  比值为  $1.10$ , $\text{A}/\text{CNK}$  为  $0.86$ ,稀土总量  $\Sigma\text{REE}$  为  $195.94\times 10^{-6}$ , $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$  为  $6.45$ , $\delta\text{Eu}=0.85$ , $\delta^{18}\text{O}_{\text{‰}}=10.47$ 。环斑花岗岩的出现标志着秦岭造山带挤压碰撞造山作用已经终结,在印支期末已进入一个崭新的稳定构造环境。

① 卢欣祥等. 秦岭造山带花岗岩基本特征. 中国东部岩石圈结构与构造岩浆演化讨论会论文摘要. 1995(北京)

燕山期花岗岩在商丹地区也不甚发育(但在北秦岭东段及小秦岭地区则很发育并与成矿作用密切相关),主要有秦岭地体北侧的西峡地区的二郎坪花岗岩(152~150 Ma<sup>[2]</sup>)等,属后造山阶段深源浅成的I型花岗岩侵入体<sup>[15]</sup>,是陆内地壳伸展、隆升作用的产物。

## 4 讨论

北秦岭造山带的多期多类型多成因构造岩浆活动从一个侧面反映着秦岭造山带的构造演化,结合区域构造背景及其它地质事件综合分析,作者认为晋宁期发育的松树沟蛇绿岩残片、岛弧型富水基性杂岩体、岛弧型花岗岩、碰撞型花岗岩及其空间展布与宽坪岩群具弧后扩张海盆性质的拉斑玄武岩—陆源碎屑岩—碳酸盐岩沉积建造(1700~1000 Ma),秦岭岩群古岛弧基底、丹凤岩群岛弧型火山岩系(900~1000 Ma)<sup>[8]</sup>以及松树沟高压变质榴闪岩的相互配套,反映了中元古代由伸展裂陷构造环境至中元古代末期转化为活动大陆边缘、新元古代向北俯冲—碰撞造山的地质历史。因此,晋宁期是北秦岭陆缘俯冲—碰撞造山时期,而后进入同一岩石圈板块上的陆内伸展裂陷阶段,以二郎坪岩群为代表的火山—沉积建造反映了秦岭地体北侧从新元古代晚期开始裂陷,秦岭地体南侧则形成以刘岭群为代表的裂陷海槽(不包括西部山阳地区的泥盆系),从而形成裂陷海槽与古陆块相间隔的构造格局。晚加里东—早华力西期发生陆内双向斜向俯冲—碰撞造山作用,产生该时期的岛弧型及碰撞型花岗岩类,并有高压—超高压变质作用发生。至晚华力西—印支期最终完成碰撞造山过程,以印支期末环斑花岗岩的出现为标志(卢欣祥,1994),表明秦岭造山带完全进入统一的大陆地壳稳定发展演化时期。燕山期的岩浆活动则是后造山阶段陆壳内伸展、地壳隆升作用下的产物。

## 参 考 文 献

- 1 李曙光等. 一个距今10亿年侵位的阿尔卑斯型橄榄岩体,北秦岭晚元古代板块构造体制的证据. 地质论评,1991,37(3),235~242
- 2 游振东等. 造山带核部杂岩变质过程与构造解析——以东秦岭为例. 武汉:中国地质大学出版社,1991:205~216
- 3 张本仁等. 秦巴区域地球化学文集. 武汉:中国地质大学出版社,1990:67~104
- 4 张宏飞,张本仁等. 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. 地球科学,1993,18(2),194~201
- 5 Castro A, et al. H-type (hybrid) granitoids: a proposed revision of the granite-type classification and nomenclature. Earth-Science Reviews. 1991,31:237~253
- 6 王 涛等. 秦岭群中花岗正片麻岩的确认及其地质意义. 中国区域地质,1994,14(1):67~73
- 7 Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids. Geol Soc Amer Bull. 1989,101:635~643
- 8 张 旗等. 陕西商县—丹凤地区丹凤群变质玄武岩的微量元素和同位素地球化学. 岩石学报,1995,11(1),43~54
- 9 严 阵等. 陕西省花岗岩. 西安:西安交通大学出版社,1985
- 10 尚瑞钧,严 阵等. 秦巴花岗岩. 武汉:中国地质大学出版社,1989
- 11 李伍平等. 东秦岭灰池子复式岩体岩石谱系单位划分及其地质意义. 中国区域地质,1995,(2),136~141
- 12 张宏飞等. 北秦岭灰池子花岗岩基成岩物质来源探讨. 矿物岩石,1994,14(1):67~73
- 13 张宗清等. 北秦岭变质地层同位素年代研究. 北京:地质出版社,1994:56~66
- 14 骆庭川等. 北秦岭丹凤—西峡地区古岛弧花岗岩类成分极性及其原因探讨. 地球科学,1993,18(1),67~72
- 15 卢欣祥. 东秦岭花岗岩. 见:秦岭造山带学术讨论会论文选集. 西安:西北大学出版社,1991,250~260