

西秦岭熊山沟岩体地球化学及构造环境分析

温志亮¹ 赵仁夫¹ 王 文² 王 锋³ 郭周平¹

(1. 中国地质调查局西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054;
2. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037; 3. 长安大学, 陕西 西安 710054)

摘要:在区域地质调查及综合研究的基础上,对位于西秦岭天水东南部地区的原百花岩体进行了详细的岩石学、岩石地球化学、岩体接触关系、同位素年龄研究,从中解体出熊山沟岩体,并初步了解了该岩体的岩浆活动规律。熊山沟岩体早期岩石类型为斜长花岗岩,岩石化学成分 K_2O 含量较低, K_2O / Na_2O 比值为 0.33~0.42;晚期岩石类型为二长花岗岩,岩石相对富集 K_2O , K_2O / Na_2O 比值为 1.01~1.43,岩石属拉斑-钙碱性系列;微量元素富集 Th、Hf、Nb、Zr 等元素;稀土元素以富集轻稀土,无铈负异常或铈负异常不明显为主要特征;氧同位素值较低 ($\delta^{18}O$ 为 +3.32‰),岩石具 I 型花岗岩的特征,岩浆来源于下地壳物质,形成于大陆弧构造环境。

关键词:熊山沟岩体;地球化学;构造环境;西秦岭

中图分类号: P594.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2008)-0618-10

20 世纪 60 年代的 1:20 万区域地质调查工作,对西秦岭天水东南部地区的花岗岩类利用 K-Ar 同位素地质年龄等将该地区的花岗岩初步划分为百花、党川、火炎山、大堡等岩体,对各岩体进行了简单的研究,但对各岩体的岩石化学、地球化学、成因及构造环境等问题没有进行详细的研究,地质研究程度总体偏低。近二十余年来,随着板块构造理论与造山带新思想的发展,不同学者对秦岭、祁连造山带及二者接合部位的天水东南部地区进行了不同领域的研究,取得了大量的研究成果^[1-9]。特别是近年来在该地区相继开展了 1:5 万及 1:25 万区域地质调查工作,笔者通过对研究区详细的岩石学、岩体接触关系、地球化学及同位素年龄等,对研究区的百花岩体进行了较为详细的研究,从原百花岩体中解体出熊山沟岩体。熊山沟岩体的岩石学、岩石化学、地球化学、同位素年龄等与百花岩体有较大差异,因而予以从百花岩体中解体。笔者在该地区近年来取得的新资料及区域研究新成果的基础上,对熊山沟岩体的岩石学、岩石化学、地球化学、成因等进行了系统的

综合研究,探讨了熊山沟岩体形成的地质构造环境。该研究对认识西秦岭天水东南部地区岩浆活动规律、建立构造岩浆事件、探讨地壳构造演化等有重要意义。

1 区域地质概况

天水地区位于西秦岭东段,其大地构造位置处于中央造山系中段祁连造山带和北秦岭造山带的接合部位^[10],是古亚洲构造域、特提斯构造域和滨太平洋构造域复合叠加的构造部位。由于该地区处于祁连造山带和秦岭造山带的衔接、过渡、转换、交接部位,它与两造山带之间既有相似之处,也有许多不同之处。目前对祁连造山带与北秦岭造山带的衔接关系有两种认识:张维吉^[11]认为北祁连—北秦岭造山带早古生代地质体呈一个巨大的反“S”型构造相连;张国伟^[12]认为现今的祁连与北秦岭被长期活动的天水—宝鸡一线的渭河大断裂分界,其北为祁连造山带,其南为北秦岭造山带。研究区位于北秦岭造山带,区内出露地层有古元古界秦岭岩群、中元古界

宽坪岩群中深变质岩系、下古生界关子镇蛇绿岩、李子园群弧前盆地火山-沉积岩系、奥陶纪草滩沟群岛弧火山-沉积岩系,各地层间均为构造接触(图 1)。区内岩浆活动频繁,主要有加里东期的百花岩体、熊山沟岩体,华力西期的党川岩体、火炎山岩体、仙坪岩体,印支期的大堡岩体、石门岩体^[1]等。天水市幅 1:250 000 区域地质调查在百花一带原划分为中元古界宽坪岩群变质地层中,新发现并识别出一套发育强烈定向组构的变质辉石岩—辉长岩—辉长闪长岩组合,它与分布于百花—利桥一带原称为“百花岩体”的闪长岩—石英闪长岩等单元共同组成了“百花岩浆杂岩体”^[14]。

研究区早古生代发育一沟-弧-盆体系,加里东运动使区内俯冲碰撞造山,导致北秦岭地区震旦—

奥陶纪含蛇绿岩的有限洋盆封闭,碰撞造山,形成了祁连—北秦岭加里东造山带,熊山沟岩体及百花岩体即是这一地质构造背景下形成的。

2 岩体接触关系及时代

笔者在区域地质调查时在前人所划分的百花岩体灰色闪长岩、石英闪长岩分布区^①,发现有大量分布的浅肉红色花岗岩,二者间总体为断层接触,局部可见熊山沟岩体超动侵入百花岩体,表现为熊山沟岩体浅肉红色花岗岩常呈脉状穿插于百花岩体灰色闪长岩中(图 2),花岗岩体的边部可见细粒化的冷凝边,在熊山沟岩体浅肉红色花岗岩中分布有大量百花岩体灰色闪长岩及辉长闪长岩的捕虏体,接触关系十分清楚,二者间岩石学差异及接触关系大

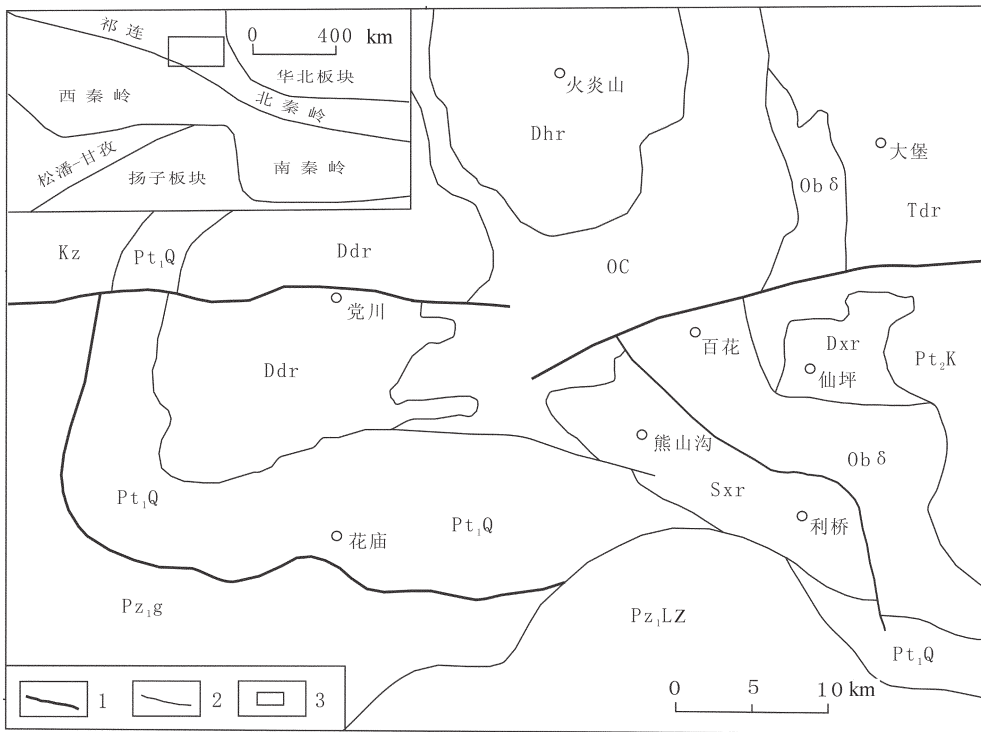


图 1 西秦岭天水熊山沟一带地质简图

Kz—新生代;OC—奥陶纪草滩沟群;Pz1LZ—下古生界李子园群;Pz1G—下古生界关子镇蛇绿岩;Pt2K—中元古界宽坪岩群;Pt1Q—古元古界秦岭岩群;Tdr—大堡岩体;Dhr—火炎山岩体;Ddr—党川岩体;Sxr—熊山沟岩体;Ob δ—百花岩体;1—区域大断裂;2—地质界线;3—研究区位置

Fig.1 Geological sketch map of the Xiongshangou area, Tianshui, West Qinling

Kz—Cenozoic;OC—Ordovician Caotangou Group;Pz1LZ—Lower Paleozoic Liziyuan Group;Pz1G—Lower Paleozoic Guanzhen ophiolite;Pt2K—Mesoproterozoic Kuanping Group-complex;Pt1Q—Paleoproterozoic Qinling Group-complex; Tdr—Dabu intrusion;Dhr—Huoyanshan intrusion;Ddr—Dangchuan intrusion;Sxr—Xiongshangou intrusion; Ob δ—Baihua intrusion;1—Regional fault;2—Geological boundary;3—Location of the study area

①甘肃省区域地质调查队. 1:20 万天水幅修测地质报告, 1986.

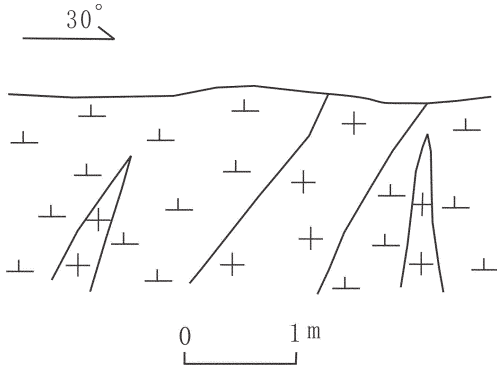


图2 熊山沟花岗岩体与百花闪长岩侵入关系
Fig.2 Sketch showing the intrusive relationship between the Xiongshangou granite and Baihua granite

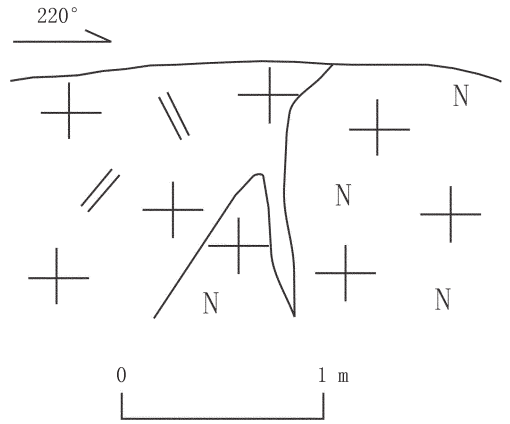


图3 熊山沟岩体二长花岗岩与斜长花岗岩脉动接触关系
Fig.3 Sketch showing the pulsatory contact relationship between monzogranite and Plagiogranite of the Xiongshangou pluton

致可确立它们分属不同的岩浆事件。在熊山沟岩体内部发育有两种不同类型的花岗岩，即灰白色中细粒含斑-似斑状斜长花岗岩和浅肉红色中粗粒似斑状二长花岗岩。这两种不同颜色的花岗岩间为脉动接触，在二者接触部位可见到浅肉红色中粗粒似斑状二长花岗岩穿插灰白色中细粒含斑-似斑状斜长花岗岩(图3),说明浅肉红色中粗粒似斑状二长花岗岩晚于灰白色中细粒含斑-似斑状斜长花岗岩。

1968年陕西区调队在百花岩体闪长岩中获得的K-Ar法同位素年龄为408 Ma,1:50 000区调在熊山沟岩体浅肉红色中粗粒似斑状二长花岗岩中获得了一组Rb-Sr法同位素年龄为430±15 Ma(表1,图4),因而熊山沟岩体时代大致为早志留世。

近年来裴先治等对西秦岭天水百花-利桥一带百花岩浆杂岩的地质时代进行了较为详细的研究,在百花岩浆杂岩的辉长岩中采集了同位素年龄样品,利用LA-ICP-MS对锆石U-Pb进行了同位素年龄测试,获得的百花岩浆杂岩的LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素年龄为434.6±1.5 Ma(MSWD=1.3)^[14]、449.7±3.1 Ma(MSWD=1.9)^[15],因而将百花岩浆杂岩的地质时代确定为晚奥陶世。

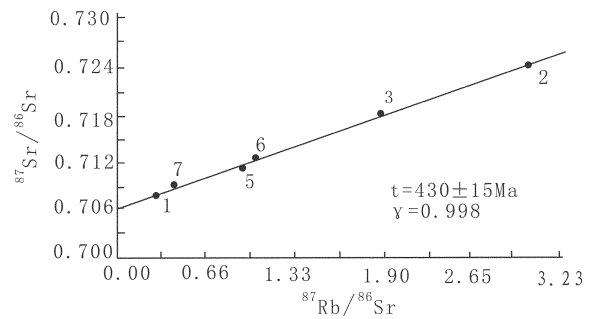


图4 熊山沟花岗岩体 Rb-Sr 等时线年龄图
Fig.4 Rb-Sr isochron ages of granites in the Xiongshangou pluton

3 岩石学特征

熊山沟岩体形态呈不规则的多边形，分布在百花岩体西侧，岩石中含较多的百花岩体闪长质捕掳体。早期侵入体为灰白色少斑-似斑状斜长花岗，中细粒结构。岩石组成：斑晶主要为柱状斜长石，含量为15%~50%；基质成分主要为斜长石(40%~65%)、

表1 熊山沟岩体 Rb-Sr 年龄同位素分析
Table 1 Rb-Sr dating of the Xiongshangou pluton

样号	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	Rb/μg·g ⁻¹	Sr/μg·g ⁻¹	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	样号	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	Rb/μg·g ⁻¹	Sr/μg·g ⁻¹	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr
2532-1	0.70688	86.765	956.1	0.2616	2532-2	0.7244	219.65	208.75	3.0385
2532-3	0.71955	188.93	293.75	1.8564	2532-5	0.71201	155.91	457.01	0.98359
2532-6	0.71252	220.65	608.35	1.0461	2531-7	0.70909	126.69	815.82	0.44776

注：样品由宜昌地质矿产研究所测定；λ⁸⁷Rb=1.42×10⁻¹¹ a⁻¹。

石英(25%~35%)、次为黑云母等,无原生的钾长石,矿物粒度为 2~4 mm。

晚期侵入体岩石为肉红色中粗粒似斑状二长花岗岩。岩石矿物组成:斑晶含量 10%~25%,斑晶成分以微斜长石为主,次为斜长石;基质成分为斜长石、钾长石、石英等。岩石总体矿物组成:斜长石含量为 25%~40%,钾长石为 25%~30%,石英为 20%~35%,黑云母为 5%。矿物粒度 2~5 mm。岩体副矿物为磁铁矿-榍石-锆石-磷灰石组合。岩体后期发育碎裂化及绿泥石化、绢云母化等蚀变。从上述可看出,熊山沟岩体随岩浆演化岩石类型由灰白色斜长花岗岩到浅肉红色二长花岗岩,岩石结构由中细粒含斑-似斑状结构到中粗粒似斑状结构,矿物粒度由细变粗。

百花岩体岩石学与熊山沟岩体不同,岩石组合以灰白色细-中粗粒闪长岩、粗粒石英闪长岩为主,少量的辉长闪长岩及辉长岩。闪长岩主要由角闪石(20%~35%)、斜长石(55%~60%)、黑云母(2%~12%)及少量石英组成,内部常见有透镜状辉长岩包体。石英闪长岩主要由角闪石(15%~25%)、斜长石(40%~67%)、石英(5%~15%)及少量黑云母组成。早期辉长闪长岩、闪长岩为细粒结构,矿物粒度约 2 mm,后期石英闪长岩为中粗粒结构,矿物粒度 2~5 mm。

4 岩石地球化学特征

早期侵入体化学成分以富 Na₂O、贫 K₂O 为特征, K₂O / Na₂O 比值较小(0.33~0.42),铝饱和度(A / CNK)为 1.01~1.05,里特曼指数为 1.05~1.08。晚期侵入体岩石以富 K₂O、贫 Na₂O 为特征, K₂O / Na₂O 比值较大(1.01~1.43),里特曼指数为 2.44~3.69,铝饱和度(A / CNK)为 0.86~1.07,平均为 1.0,岩石为次铝-过铝质类型。随岩浆演化岩石向富钾方向演化,且里特曼指数增大。在 K₂O-SiO₂ 图解(图 5)上,岩石分布在拉斑系列-高钾钙碱性系列范围内,在 A-C-F 图解熊山岩体落入 I 型花岗岩区(图 6)。

而百花岩体 K₂O / Na₂O 比值较小为 0.13~0.91,铝饱和度(A / CNK)小于 1(0.74~0.78),与熊山沟岩体的岩石化学成分有一定的差别(表 2)。

熊山沟岩体不相容元素 Th、Hf 丰度高于酸性岩维氏值,高场强元素 Nb、Zr 丰度高于或接近酸性岩维氏值。微量元素 Rb / Sr 比值为 0.21~1.14, F / Cl 比值为 0.34~0.60, Li×10³ / Mg 比值为 0.62~1.17,微量元素具 I 型花岗岩的地球化学特征。

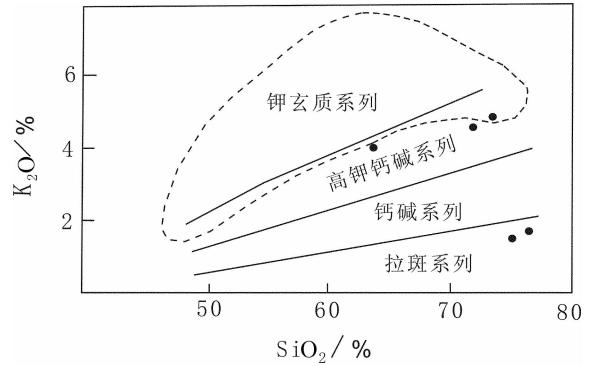


图 5 熊山沟岩体的 K₂O-SiO₂ 图解
Fig.5 K₂O-SiO₂ diagram of the Xiongshangou intrusion

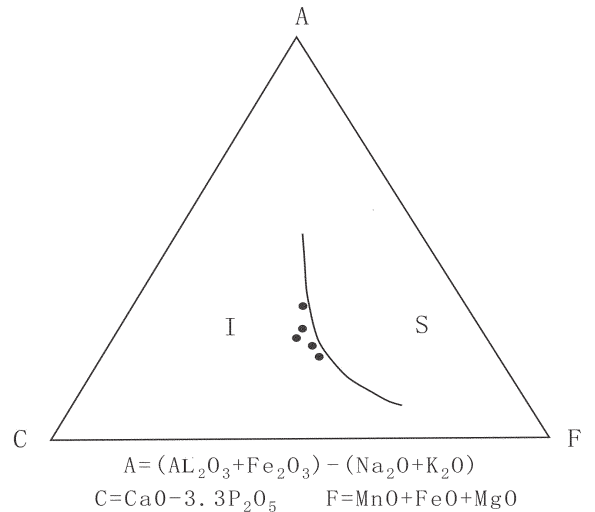


图 6 熊山沟岩体的 A-C-F 图解
Fig.6 A-C-F diagram of the Xiongshangou intrusion

在原始地幔标准化的微量元素蛛网图(图 7)上,分布特点是大离子亲石元素明显富集,特别是 Rb、Th 富集明显, Rb-Ba-Th-Ta 段配分曲线呈缓凸形,无 Ba 元素低谷;微量元素分布的另一特点是 Ta-Nb-Ce-Hf-Zr 段高场强元素 Nb、Zr 明显亏损,出现负异常, Hf 相对原始地幔亏损,因而岩石配分曲线整体分布型式与火山弧花岗岩的分布型式^[6]有一定的相似性,暗示形成于一种成熟度较高的与俯冲有关的构造环境。

稀土元素丰度 REE 为 107.71×10⁻⁶~482.30×10⁻⁶,平均为 311.87×10⁻⁶, REE 总量高于酸性岩维氏值总和。轻、重稀土比值为 1.80~20.70,平均为 7.60。δ Eu 值变化较大,为 0.58~0.87,平均值为 0.65。稀土元素

表 2 熊山沟岩体、百花岩体主量与微量元素化学成分
 Table 2 Major and trace chemical compositions of the Xiongshangou and Baihua intrusions

成分	百 花 岩 体			熊 山 沟 岩 体				
	细粒闪长岩	粗粒闪长岩	石英闪长岩	斜长花岗岩	斜长花岗岩	细粒花岗岩	二长花岗岩	二长花岗岩
SiO ₂ /10 ⁻²	52.37	57.62	56.65	75.22	75.17	71.56	61.69	71.74
TiO ₂	0.69	0.88	0.70	0.32	0.26	0.81	1.35	0.40
Al ₂ O ₃	16.22	15.90	16.76	12.67	12.57	13.87	15.50	13.36
Fe ₂ O ₃	5.37	2.68	2.74	1.21	1.16	1.38	3.52	1.46
FeO	5.08	4.10	3.96	1.00	1.21	0.92	2.40	1.55
MnO	0.23	0.19	0.15	0.05	0.06	0.04	0.10	0.06
MgO	5.17	3.75	3.98	0.75	0.70	0.50	1.94	0.61
CaO	8.88	6.30	6.40	1.75	2.17	0.10	3.60	1.35
Na ₂ O	3.08	3.68	3.82	4.42	4.09	4.55	4.13	3.44
K ₂ O	0.40	3.35	3.28	1.45	1.73	4.80	4.17	4.93
P ₂ O ₅	0.10	0.39	0.13	0.03	0.04	0.14	0.42	0.11
CO ₂	0.46	0.12	0.47	0.12	0.16	0.40	0.31	0.15
LOI	0.61	0.74	0.85	0.69	0.66	0.56	0.56	0.93
Total	99.66	99.70	99.69	99.70	99.98	99.83	99.61	100.58
ALK	3.48	7.03	7.10	5.87	5.82	9.35	8.30	8.37
K ₂ O /	0.13	0.91	0.86	0.33	0.42	1.05	1.01	1.43
A / CNK	0.74	0.75	0.78	1.05	1.01	1.07	0.86	0.99
δ	1.45	3.38	3.78	1.08	1.05	3.06	3.69	2.44
Ba / 10 ⁻⁶		1171	470	656	781	1811	1663	904
Nb		11	9.9	3	3	10	45	22
Zr	200	221	167	136	121	214	480	242
Sr		729	1080	135	168	744	674	140
Rb	126	117	121	29	37	97	140	163
Th	5	7	10	9	10	30	14	38
Hf	4	5	4.3	6	7	6	5	6
Ni	40	22	28	9	3	2	7	6
Co	30	20	20	5	5	3	10	5
V	150	140	83	43	51	54	61	51
Cr	150	88	70	18	17	9	56	14
Ta	0.54	1.72	1.6	0.74	0.71	1.05	2.05	2.65
Sc		17	19	6.4	6.6	0.5	11.8	1.2
La / 10 ⁻⁶	18.00	38.80	28.00	20.50	19.20	105.00	90.00	80.00
Ce	35.00	66.60	72.00	33.00	22.50	190.00	230.00	210.00
Pr	6.00	8.42	8.30	5.80	5.60	18.50	22.50	17.00
Nd	15.50	33.50	20.00	19.00	17.00	63.00	69.00	63.00
Sm	4.00	6.92	6.30	4.30	4.20	6.90	11.00	9.10
Eu	0.55	1.37	1.40	0.76	0.74	1.63	2.00	1.20
Gd	2.60	4.19	6.40	3.40	3.45	3.80	8.20	7.20
Tb	0.83	0.73	1.46	0.66	0.70	0.76	1.30	1.10
Dy	2.25	3.90	3.10	4.10	3.80	1.75	7.00	7.30
Ho	0.53	0.83	1.00	0.73	0.69	0.37	1.10	1.12
Er	1.40	2.20	1.80	2.42	2.20	0.89	2.90	3.50
Tm	0.40	0.34	0.46	0.50	0.54	0.27	0.58	0.66
Yb	2.35	2.11	1.60	2.80	2.80	0.94	3.20	3.70
Lu	0.59	0.32	1.20	0.26	0.29	0.20	0.52	0.64
Y	17.00	20.90	14.50	26.00	24.00	9.60	33.00	36.00
∑REE	107.31	191.13	167.52	124.23	107.71	403.61	482.30	441.50
LREE / HREE	2.80	4.40	4.32	2.00	1.80	20.70	7.30	6.20
δ Eu	0.49	0.72	0.68	0.58	0.59	0.87	0.62	0.65

注:岩石样品由西安综合岩矿测试中心分析,主量元素 Fe₂O₃ 用比值法, FeO 用容量法, CO₂ 用电导法,其他的元素用 X 荧光光谱法 (XRF) 分析。稀土元素用等离子体质谱法 (ICP-MS) 分析,微量元素用 ICP-MS 和 XRF 分析,分析过程中用 GBW07103 和 GBW07104 监控,质量符合标准要求。

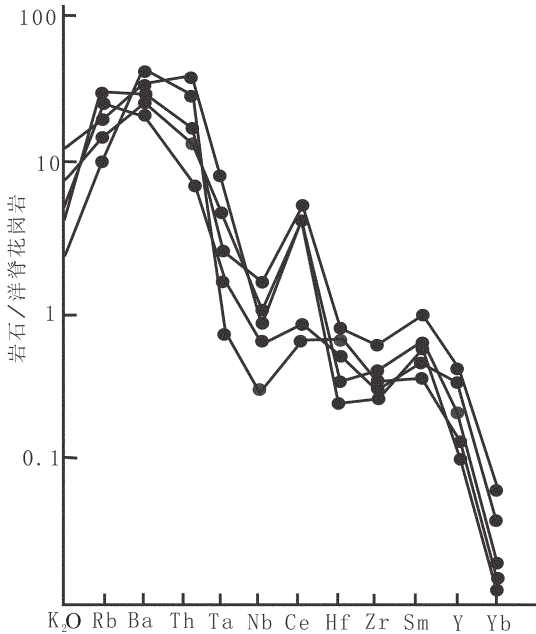


图 7 熊山沟岩体微量元素原始地幔标准化蛛网图
ce element spidergram of the Xiongshangou intrusion

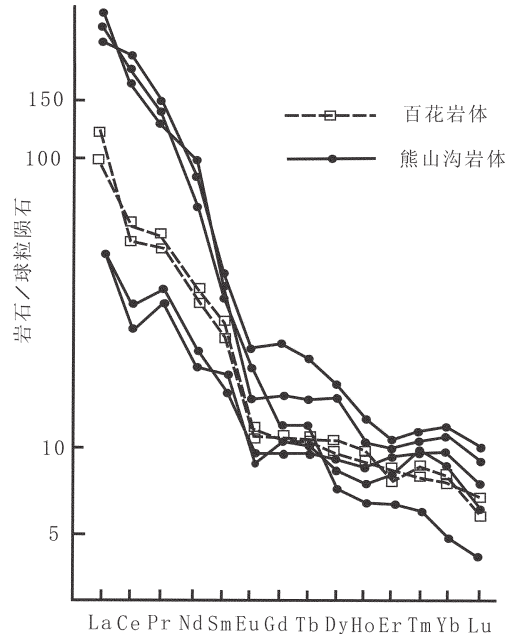


图 8 熊山沟岩体百花岩体稀土元素配分模式
Fig.8 REE distribution patterns for the Xiongshangou and Baihua intrusions

演化规律是:随岩浆演化稀土总量增加,轻、重稀土比值增大,说明轻稀土元素富集, δEu 值变大,岩浆的分异程度增强。稀土配分模式为轻稀土富集型,无铕负异常或有微弱的铕负异常。

上述特征与百花岩体比较,百花岩体的 REE 为 $107.31 \times 10^{-6} \sim 191.13 \times 10^{-6}$, 平均为 155.32×10^{-6} , 以稀土元素丰度较低为特征, 轻、重稀土比值为 2.80~4.40(表 2), 平均为 3.84, 稀土配分模式为轻稀土富集型, 无铕负异常(图 8), 这与熊山沟岩体有明显的不同。可见百花岩体稀土元素地球化学特征与熊山沟岩体有显著差异, 说明百花岩体与熊山沟岩体应属于不同的岩浆源, 两岩体间接触关系也印证了这一特征。

熊山沟岩体岩石锶初始比值 ($^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$)₀ 为 0.7059 (<0.7070), 氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 +3.32‰, 岩石锶、氧同位素数据偏低说明岩浆来源为地壳深部物质, 岩浆物质来源可能来自下地壳。

综上所述, 熊山沟岩体的岩石学、矿物学、岩石化学、地球化学与百花岩体存在较大的差异, 熊山沟岩体应从百花岩体中解体, 这从岩体野外宏观岩石学特征、接触关系等方面均可得到反映。熊山沟岩体多表现为 I 型花岗岩的特征, 成因类型应属 I 型花

岗岩类。

5 构造环境分析

5.1 岩石学和岩石化学判别

利用搜集野外的岩石矿物资料及室内薄片鉴定资料, 把岩石主要造岩矿物石英(Q)、钾长石(A)、斜长石(P)等矿物含量统计后进行 Q-A-P 三角投影(图 9), 可作为判别岩体构造环境的依据^[17]之一。从图 9 可看出, 百花岩体投影点位于岛弧区, 熊山沟岩体位于大陆弧花岗岩区。

在岩体 $\text{TFeO} / \text{TFeO} + \text{MgO} - \text{SiO}_2$ 图解(图 10)上熊山沟岩体的投影点位于 IAG(岛弧)+CAG(大陆弧)+CCG(大陆碰撞)区域^[18]。在 $R_1 - R_2$ 构造环境分类图解(图 11)中投点投在地幔分离-板块碰撞前环境。

以上判别总体显示熊山沟岩体的成因与板块挤压俯冲的岩浆弧作用有关。

5.2 微量元素判别

微量元素含量及组合特征不仅可提供岩浆分异、演化、含矿性的重要信息, 而且在研究岩浆成岩作用、岩浆演化中被誉为指示剂、示踪剂^[19]。微量元素组合的 $\text{Rb} - (\text{Y} + \text{Nb})$ 和 $\text{Rb} - (\text{Yb} + \text{Ta})$ 图解(图 12), 熊山

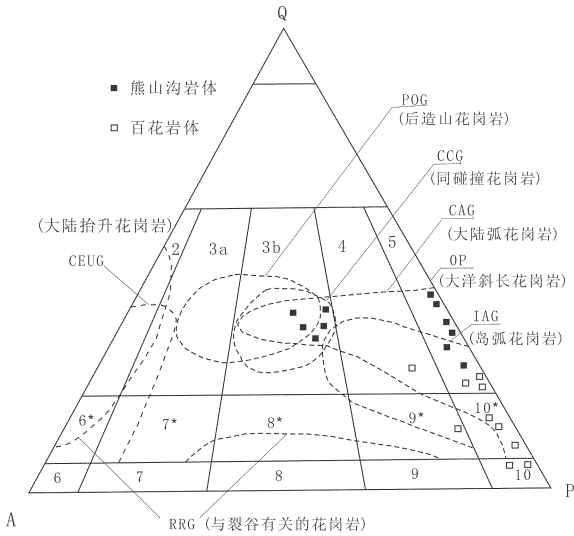


图9 熊山沟岩体的 Q-A-P 图解 (据肖庆辉等,2002)

- 2—碱长花岗岩;3a—正长花岗岩;3b—二长花岗岩;
- 4—花岗闪长岩;5—石英闪长岩;6—碱长正长岩;6*—石英碱长正长岩;7—正长岩;7*—石英正长岩;8—二长岩;
- 8*—石英二长岩;9—二长闪长岩和二长辉长岩;
- 9*—石英二长闪长岩;石英二长辉长岩;
- 10—闪长岩和辉长岩、斜长岩;10*—石英闪长岩和石英辉长岩

Fig.9 Diagram for quartz (Q)-alkali feldspar (A)-plagioclase (P) of the Xiongshangou pluton (after Xiao Qinghui et al.;2002)

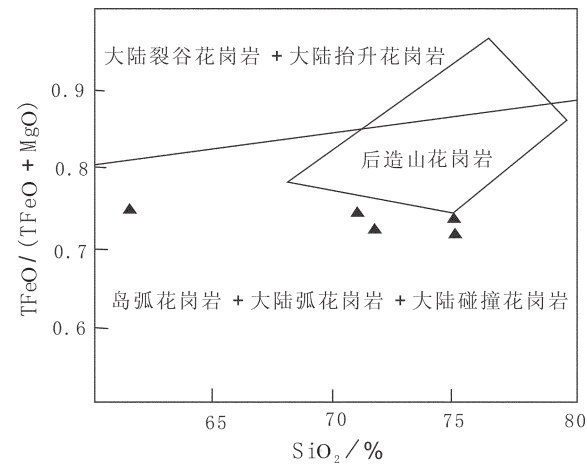


图10 熊山沟岩体的 TFeO/(TFeO + MgO)-SiO₂ 图解 (据 Maniar 等,1987)

Fig.10 Diagram of TFeO/(TFeO + MgO)-SiO₂

for the Xiongshangou intrusion(after Maniar et al., 1987)

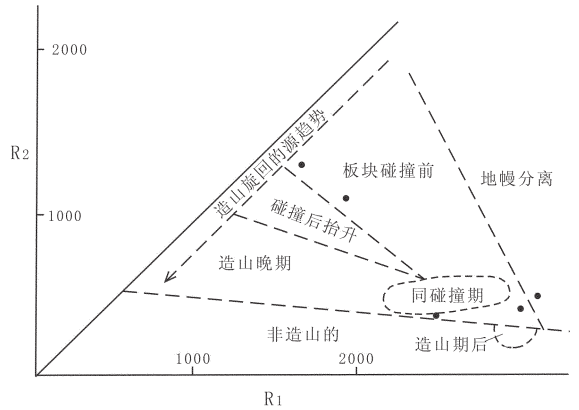


图11 熊山沟岩体的构造环境分类图解

Fig.11 Diagram of tectonic environments of the Xiongshangou intrusion

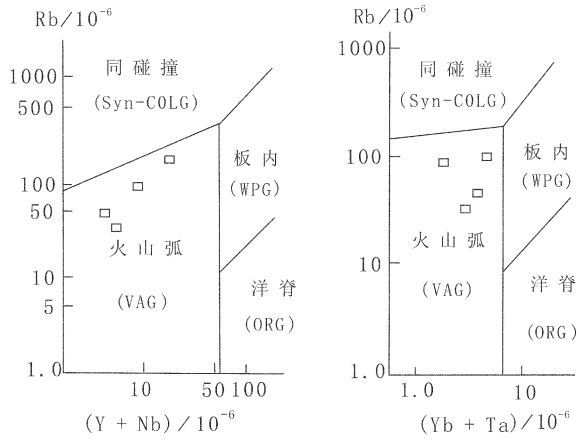


图12 熊山沟岩体的 Rb-(Y+Nb)和 Rb-(Yb+Ta)图解 (据 Pearce 等,1984)

Fig.12 Diagrams of Rb-(Y+Nb) and Rb-(Yb+Ta) of the Xiongshangou body (after Pearce et al,1984)

沟岩体的投影点均分布于火山弧区,说明岩体的形成与板块俯冲挤压环境下的岩浆弧关系密切。

5.3 形成的地质构造背景分析

研究表明:研究区位于北秦岭南缘,早古生代在北秦岭地区发育一沟-弧-盆体系,由于秦岭商丹洋盆在新元古代-早古生代早期扩张过程中,首先形成了以关子镇蛇绿岩为代表的有限洋盆。早古生代晚期奥陶纪末,扬子板块向北俯冲与华北板块对接,导致北秦岭地区震旦-奥陶纪含蛇绿岩的有限洋盆俯冲消减闭合,到加里东末褶皱造山^[514-15]。随洋壳从南向北向秦岭岩群微陆块之下的俯冲作用,在北秦岭南缘形成了草滩沟群钙碱性系列岛弧型^[20]中酸性火山-沉

积岩系和位于岛弧与俯冲带之间的弧前盆地,沉积了李子园群(狭义)和流水沟变质的中基性杂岩,在百花一带形成了中基性杂岩及酸性岩体^[2]。百花一带的拉斑系列-钙碱性系列岛弧型中基性闪长岩类与这一板块的俯冲相配套,它记录了秦岭小洋盆系统关闭并俯冲碰撞造山的信息^[2],是板块俯冲造山的产物,百花岩体即形成于这一板块俯冲条件下岛弧构造环境,而熊山沟岩体的形成可能与这一时期的大陆弧有关。

6 结 论

通过对西秦岭天水东南部百花一带晚加里东期岩体详细的岩石学、岩体接触关系、同位素地质年龄的研究,认为该地区晚加里东期侵入岩由两个独立岩体组成,可划分为百花、熊山沟两个岩体,百花岩体地质时代为晚奥陶世,熊山沟岩体地质时代为早志留世。熊山沟岩体岩石学、岩石化学、地球化学等特征与百花岩体有一定差异,其时代也略有不同,它代表了该地区一独立岩浆热事件,因而熊山沟岩体应从原百花岩体解体。熊山沟岩体为拉斑-高钾钙碱性岩石系列,其岩石学、岩石化学、地球化学均表现为 I 型花岗岩的特征,物质来源属深源的下地壳。两岩体的形成与研究区晚加里东期板块俯冲作用有关,百花岩体形成于板块俯冲条件下的岛弧构造环境,熊山沟岩体形成于这一时期板块俯冲的大陆弧环境。

参考文献(References):

- [1] 王洪亮,何世平,陈隽璐,等.北秦岭西段胡店片麻状二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年及其地质意义[J].中国地质,2007,34(1):17-25.
Wang Hongliang, He Shiping, Chen Juanlu, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Hudian gneissic monzogranite in the western segment of the North Qinling and its geological significance [J]. *Geology in China*, 2007, 34(1): 17-25 (in Chinese with English abstract).
- [2] 吴才来,姚尚志,杨经绥,等.北祁连山早古生代双向俯冲的花岗岩证据[J].中国地质,2006,33(6):1197-1208.
Wu Cailai, Yao Shangzhi, Yang Jingsui, et al. Double subduction of the Early Paleozoic North Qilian oceanic plate: Evidence from granites in the central segment of North Qilian, NW China [J]. *Geology in China*, 2006, 33(6): 1197-1208 (in Chinese with English abstract).
- [3] 杨志华,郭俊锋,苏生瑞,等.秦岭造山带基础地质研究新进展[J].中国地质,2002,9(3):246-256.
Yang Zhihua, Guo Junfeng, Su Shengrui, et al. New advances in the geological study of the Qinling orogen [J]. *Geology in China*, 2002, 29(3): 246-256 (in Chinese with English abstract).
- [4] 丁仁平,裴先治,刘会彬,等.西秦岭天水地区新阳新元古代花岗岩质片麻岩的锆石 LA-ICP-MS 定年及其地质意义 [J]. 中国地质, 2006, 33(6): 1217-1225.
Ding Saping, Pei Xianzhi, Liu Huibin, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Xinyang Neoproterozoic granitoid gneisses in the Tianshui area, western Qinling, and its geological significance [J]. *Geology in China*, 2006, 33(6): 1217-1225 (in Chinese with English abstract).
- [5] 裴先治,李佐臣,丁仁平,等.西秦岭天水地区岛弧型基性岩杂岩的地球化学特征及形成时代 [J]. 中国地质, 2005, 32 (4): 529-540.
Pei Xianzhi, Li Zuochen, Ding Saping, et al. Geochemical characteristics and zircon U-Pb ages of island-arc basic igneous complexes in the Tianshui area, West Qinling [J]. *Geology in China*, 2005, 32(4): 529-540 (in Chinese with English abstract).
- [6] 付国民,苏建平,胡能高,等.祁连山西段古元古代北大河岩群中斜长角闪岩的地球化学特征及构造背景 [J]. 中国地质, 2005, 32 (4): 541-547.
Fu Guomin, Su Jianping, Hu Nenggao, et al. Geochemistry and tectonic setting of amphibolites in the Paleoproterozoic Beidahe Group-complex in the western segment of the Qilian Mountains [J]. *Geology in China*, 2005, 32 (4): 541-547 (in Chinese with English abstract).
- [7] 苏建平,张新虎,胡能高,等.中祁连山西段野马南山埃达克质花岗岩的地球化学特征及成因 [J]. 中国地质, 2004, 31(4): 365-371.
Su Jianping, Zhang Xinhui, Hu Nenggao, et al. Geochemical characteristics and genesis of adakite-like granites at Yema Nanshan in the western segment of the Central Qilian Mountains [J]. *Geology in China*, 2004, 31(4): 365-371 (in Chinese with English abstract).
- [8] 裴先治,王涛,丁仁平,等.东秦岭商丹带北侧新元古代埃达克质花岗岩及其地质意义 [J]. 中国地质, 2003, 30(4): 372-381.
Pei Xianzhi, Wang Tao, Ding Saping, et al. Geochemical characteristics and geological significance of Neoproterozoic adakitic granitoids on the north side of the Shangdan zone in the East Qinling [J]. *Geology in China*, 2003, 30 (4): 372-381 (in Chinese with English abstract).
- [9] 郭力宇,甘枝茂,李惠民.北祁连山西段柳沟峡花岗岩质片麻岩锆石 U-Pb 法测年研究 [J]. 中国地质, 2002, 29(2): 126-128.
Guo Liyu, Gan Zhimao, Li Huimin. Single-zircon U-Pb dating of the Liugouxia granitic gneiss in the western segment of the North Qilian Mountains [J]. *Geology in China*, 2002, 29(2): 126-128 (in Chinese with English abstract).
- [10] 霍福臣,李永军.西秦岭造山带的建设与地质演化 [M]. 西安:西北大学出版社, 1995: 56-120.
Huo Fuchen, Li Yongjun. The Formation and Geological Evolution of the Qinling Orogenic Belt [M]. Xi'an: Northwest University Press, 1995, 56-120 (in Chinese with English abstract).
- [11] 张维吉,孟宪恂,胡健民.祁连-北秦岭造山带结合部位构造特

- 征与造山过程[M]. 西安:西北大学出版社, 1994:186-195.
- Zhang Weiji, Meng Xuanxun, Hu Jianmin. Tectonics Features and Orogenic Process in the Joint of Qilian North Qinling Orogenic belt [M]. Xi'an:Northwest University Press, 1994, 186-195(in Chinese).
- [12] 张国伟, 张本仁, 袁学诚. 秦岭造山带与大陆动力学 [M]. 北京: 科学出版社, 2001:1-855.
- Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics [M]. Beijing: Science Press, 2001:1-855(in Chinese).
- [13] 温志亮. 甘肃东南部地区地壳构造演化探讨 [J]. 甘肃地质学报, 1996, 5(2):57-64.
- Wen Zhiliang. Discussion on crust tectonic evolution in the east area of Tianshui, North Qinling[J]. Acta Geologica Gansu. 1996, 5(2):57-64(in Chinese with English abstract).
- [14] 裴先治, 丁仁平, 张国伟, 等. 西秦岭天水地区百花岩浆杂岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地球化学特征 [J]. 中国科学(D 辑), 2007, 37(增刊), 224-234.
- Pei Xianzhi, Ding Saping, Zhang Guowei, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and geochemical characteristics of Baihua body, in Tianshui, West Qinling [J]. Science in China (D), 2007, 37 (Supp.):224-234(in Chinese).
- [15] 裴先治, 刘战庆, 丁仁平, 等. 甘肃天水地区百花岩浆杂岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义 [J]. 地球科学进展, 2007, 22(8):818-827.
- Pei Xianzhi, Liu Zhanqing, Ding Saping, et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of the gabbro from the Baihua igneous complex in Tianshui Area, Eastern Gansu, and its geological significance[J]. Advances in Earth Science, 2007, 22(8):818-827(in Chinese with English abstract).
- [16] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. Journal of Petrology, 1984, 25:956-983.
- [17] 肖庆辉, 邓晋福, 马大铨. 花岗岩研究思维与方法 [M]. 北京:地质出版社, 2002:21-52.
- Xiao Qinghui, Deng Jinfu, Ma Daquan. Study Thinking and Method of Granite [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002:21-52(in Chinese with English abstract).
- [18] Maniar and Piccoli. Tectonic discrimination of granitoids. Geological Society of American Bulletin[J]. 1987,101:635-645.
- [19] 王中刚, 于学元, 赵振华, 等. 稀土元素地球化学[M]. 北京:科学出版社, 1989, 26(4):295-310.
- Wang Zhonggang, Yu Xueyuan, Zhao Zhenhua, et al. Geochemistry of Rare Earth Elements [M]. Beijing: Science Press, 1989, 26(4):295-310(in Chinese with English abstract).
- [20] 何世平, 王洪亮, 徐学义, 等. 北祁连东段红土堡基性火山岩和陈家河群中酸性火山岩地球化学特征及构造环境 [J]. 矿物岩石学杂志, 2007, 26(4):295-310.
- He Shiping, Wang Hongliang, Xu Xueyi, et al. Geochemical characteristics and tectonic environment of Hongtubu basalts and Chenjiahe intermediata-acid volcanic rocks in the eastern segment of North Qilian orogenic belt[J]. Acta Petrologica et Mineralogical, 2007, 26(4):295-309(in Chinese with English abstract).
- [21] 丁三平, 裴先治, 李勇, 等. 西秦岭天水地区李子园群的解体及其构造环境浅析[J]. 地质通报, 2004, 23(12):1213-1214.
- Ding Saping, Pei Xianzhi, Li Yong, et al. Analysis of the disintegration and tectonic setting of the Liziyuan Group in the Tianshui area, Western Qinling [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(12):1213-1214(in Chinese with English abstract).
- [22] 李永军, 张翔, 胡晓隆, 等. 天水地区花岗岩类及其构造演化[J]. 西北地质, 2008, 41(1):29-36.
- Li Yongjun, Zhang Xiang, Hu Xiaolong, et al. The granitoid and its tectonic evolution in Tianshui Area [J]. Northwestern Geology, 2008, 41(1):29-36(in Chinese with English abstract).

Geochemistry and tectonic environment of the Xiongshangou intrusion in the West Qinling

WEN Zhi-liang¹, ZHAO Ren-fu¹, WANG Wen², WANG Feng³, GUO Zhou-ping¹

(1. *Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shanxi, China;*

2. *Development and Research Center, China Geological Survey, Beijing 100083, China;*

3. *Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)*

Abstract: On the basis of regional geological survey and integrated research, the authors conducted detailed studies of the petrology, contact relationships, isotope ages and geochemistry of the original Baihua intrusion in the southeastern part of Tianshui, West Qinling, and through the studies they separated the Xiongshangou intrusion from the Baihua intrusion and gained a preliminary knowledge of the characteristics of magmatic activity of this separated intrusion. The rock type of the early-stage Xiongshangou intrusion is plagiogranite, which is petrochemically characterized by a low K_2O content with $K_2O / Na_2O=0.33-0.42$ and $A / CNK=1.01-1.05$; the rock type formed in the late stage is monzogranite, which is enriched in K_2O with $K_2O / Na_2O=1.01-1.43$ and $A / CNK=0.86-1.07$, and the rock belongs to the tholeiite-calc-alkaline series. Furthermore, the intrusion shows characteristics of enrichment in the trace elements Th, Hf, Nb and Zr and in LREE and no or unpronounced Eu negative anomalies, with $\delta Eu=0.58-0.87$ and low $\delta^{18}O$ ($\delta^{18}O=+3.32\%$). The rock has the features of "I"-type granite and the magma was derived from materials of the lower crust and the intrusion formed in a continental arc tectonic environment.

Key words: Xiongshangou intrusion; geochemistry; tectonic environment; Western Qinling

About the first author: WEN Zhi-liang, male, born in 1964, senior engineer, engages in rock geochemistry and resource survey; E-mail: wzh12000@sina.com.