

天水地区北秦岭造山带花岗岩地球化学 及构造环境探讨

温志亮¹, 吴金刚², 郭周平¹, 杨鹏飞¹

(1. 中国地质调查局 西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054; 2. 甘肃地矿局 第一地质矿产勘查院, 甘肃 天水 741020)

摘要:在区域地质调查及综合研究的基础上,通过详细的岩石学、接触关系、同位素年龄及地球化学特征研究,对位于天水南部地区的晚加里东期百花岩体、熊山沟岩体、早华力西期党川岩体、火炎山岩体的地球化学特征及形成的构造环境进行了讨论。百花岩体岩石化学低钾($K_2O/Na_2O=0.13\sim 0.91$)、低铝($A/CNK=0.74\sim 0.78$),微量元素相对富集 Cr、Ni、Y、Rb、Sr, 贫 Nb、Zr, 稀土元素丰度较低($\sum REE=107.71\times 10^{-6}\sim 191.13\times 10^{-6}$)。熊山沟岩体早期岩石化学成分低钾($K_2O/Na_2O=0.33\sim 0.42$),晚期岩石相对富集钾($K_2O/Na_2O=1.01\sim 1.43$),微量元素富集 Th、Hf、Nb、Zr 等元素。晚加里东期岩体的共同特点是岩石属拉斑-钙碱性系列,稀土元素以富集轻稀土元素、无铕异常或铕异常不明显为主要特征,氧同位素值较低($\delta^{18}O=+3.32\%$),岩石具 I 型花岗岩的特征。熊山沟岩体物质来源于下地壳,百花岩体形成于岛弧构造环境。党川岩体富集 SiO_2 ($SiO_2=72.29\%\sim 73.40\%$), K_2O ($K_2O/Na_2O=0.86\sim 2.01$), Al_2O_3 ($A/CNK=1.05\sim 1.20$); 火炎山岩体岩石总体 SiO_2 含量较低(平均 69.70%),但 K_2O ($K_2O/Na_2O=1.14\sim 1.88$)、 Fe_2O_3 及 FeO 、 MgO 较高。早华力西期岩体的共同特征是岩石具钾玄质系列岩石地球化学特征,为过铝质岩石($A/CNK>1.0$),相对富集大离子亲石元素 Ba、Zr、Rb、Sm、Ta 及 Rb、Ba、Th、Nb 等,稀土元素丰度较高,轻稀土元素富集,铕亏损强烈,铕异常明显, δEu 值较低($\delta Eu=0.36\sim 0.61$) ($^{87}Sr/^{86}Sr$) 大于 0.707 0,氧同位素 $\delta^{18}O$ 较高($\delta^{18}O=+8.89\%\sim +11.08\%$),物源为上地壳物质,属壳源花岗岩类,岩石具 S 型花岗岩的特征,形成于后碰撞构造环境或后造山构造环境。

关键词:花岗岩 地球化学 构造环境 天水地区

中图分类号: P588.12⁺1; P542

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2008)06-0505-14

Granite geochemistry and tectonic environments of Tianshui area in North Qinling orogenic belt

WEN Zhi-liang¹, WU Jin-gang², GUO Zhou-ping¹ and YANG Peng-fei¹

(1. Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Xi'an 710054, China; 2. No.1 Geological Party for Mineral Exploration, Gansu Bureau of Geology and Mineral Exploration, Tianshui 741020, China)

Abstract: Based on regional geological investigation and detailed petrological, contact relationship, isotope age and geochemical studies, this paper has dealt with geochemical characteristics and tectonic environments of granites in such rock bodies as Late Caledonian Baihua intrusive, Xiongshangou intrusive, Early Variscan Dangchuan intrusive and Huoyanshan intrusive in southern Tianshui area. The Baihua intrusive has low potassium content ($K_2O/Na_2O=0.13\sim 0.91$), low aluminum ($A/CNK=0.74\sim 0.78$), low Nb, Zr and rare earth elements

收稿日期: 2007-12-20; 修订日期: 2008-07-28

基金项目: 中国地质调查局国土资源大调查资助项目(1212010630505)

作者简介: 温志亮(1964-)男,高级工程师,主要从事岩石地球化学及资源调查评价研究工作, E-mail: wzhl2000@sina.com

($\Sigma\text{REE} = 107.71 \times 10^{-6} \sim 191.13 \times 10^{-6}$) and rich trace elements Cr, Ni, Y, Rb, Sr; the early rock of the Xiongshangou intrusive has low K_2O ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 0.33 \sim 0.42$), whereas the late rock has rich K_2O ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 1.01 \sim 1.43$) and trace elements Th, Hf, Nb, Zr; the Late Caledonian intrusives have some common characteristics: their rocks belong to tholeiitic-calc-alkaline series with enriched rare earth elements; they have no or indistinctive Eu negative anomalies and low $\delta^{18}\text{O}$ ($\delta^{18}\text{O} = +3.32\text{‰}$), showing characteristics of "I-type" granite. The Xiongshangou intrusive derived its materials from the lower crust; the Baihua intrusive was formed in an island-arc tectonic environment; the Dangchuan intrusive is enriched in SiO_2 ($\text{SiO}_2 = 72.29\% \sim 73.40\%$), K_2O ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 0.86 \sim 2.01$), and Al_2O_3 ($A/\text{CNK} = 1.05 \sim 1.20$); the Huoyanshan intrusive contains low SiO_2 (69.70% on average) and high K_2O ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 1.14 \sim 1.88$), $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ and MgO . The Early Variscan intrusives show the following common characteristics: their rocks belong to shoshonitic series, with high Al_2O_3 ($A/\text{CNK} > 1.0$) and abundant such large ion lithophile elements as Ba, Zr, Rb, Sm, Ta, Rb, Ba, Th and Nb; with high rare earth elements, they have distinct negative Eu anomalies and low δEu ($\delta\text{Eu} = 0.36 \sim 0.61$); $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 > 0.7070$, with high $\delta^{18}\text{O}$ ($\delta^{18}\text{O} = +8.89\text{‰} \sim +11.08\text{‰}$); they thus belong to medium strontium granite, with source materials derived from the earth's crust, belonging to "S-type" granite; they were formed in a post-collision tectonic environment or a post-orogenic tectonic environment.

Key words: granite; geochemistry; tectonic environment; Tianshui area

天水地区位于西秦岭东段,区内构造活动强烈,岩浆作用发育,由于构造岩浆活动的多期性,本区形成了晚加里东—印支期近东西向展布的构造岩浆岩带,沿该带分布有大量花岗岩类(温志亮,1996),出露面积上千平方公里。前人对该地区花岗岩的研究主要是 20 世纪 60~70 年代的 1:20 万区域地质调查,利用 K-Ar 同位素年龄将研究区的花岗岩划分为百花、党川、火炎山、大堡等岩体,但只对各岩体进行了描述性的概括总结,对岩体的岩石学、岩石化学、地球化学、成因及形成的构造环境等问题没有进行研究,对各岩体的地质年龄只进行了大致的了解,研究十分薄弱,研究程度总体偏低。近年来该地区相继开展了 1:5 万区域地质调查和 1:25 万区域地质调查,笔者通过详细的岩石学、接触关系、地球化学、同位素年龄等综合研究,对研究区的花岗岩体进行了较为详细的研究,将该地区的侵入岩体进一步解体为百花、熊山沟、火炎山、党川等岩体,并从原党川岩体中解体出印支期石门岩体,从原印支期大堡岩体中解体出部分百花岩体,而熊山沟岩体从原百花岩体解体而来。

本文利用笔者近年来取得的最新成果和资料,进一步对天水东南部地区的百花、熊山沟、火炎山、党川岩体的岩石学、岩石化学、地球化学、成因等进行了系统的综合研究,探讨了岩体形成的构造环境,这对探讨该区构造岩浆事件、岩浆活动规律及研究地壳构造演化等具有十分重要的意义。

1 区域地质背景及概况

研究区属祁连—北秦岭加里东造山带结合部(霍福臣等,1995),张维吉等(1994)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,研究区属反“S”型构造的南部地区。近年来最新研究表明,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(张国伟等,2001),研究区位于北秦岭造山带,早古生代该地区是一典型的沟—弧—盆构造体系(丁仁平等,2004;裴先治等,2004)。区内出露地层主要有古元古界秦岭岩群、中元古界宽坪岩群、下古生界李子园群(广义)、奥陶纪草滩沟群及上泥盆统大草滩群磨拉石建造等(图 1)。近年来 1:25 万区域地质调查对广义的李子园群进行了再认识,并进一步将其解体为流水沟变质中基性杂岩体、关子镇蛇绿岩、李子园群(狭义)、太阳寺岩组、舒家坝群灰岩组等 5 个地层单元。上述地层间均为构造接触,其中古元古界秦岭岩群与下古生界李子园群(广义)间的断裂是祁连—北秦岭结合部反“S”型构造断裂的重要组成部分。区内岩浆活动形成的岩体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,印支期的大堡岩体、石门岩体等。加里东运动使区内俯冲碰撞造山,导致北秦岭震旦—奥陶纪含蛇绿岩的有限洋盆封闭碰撞

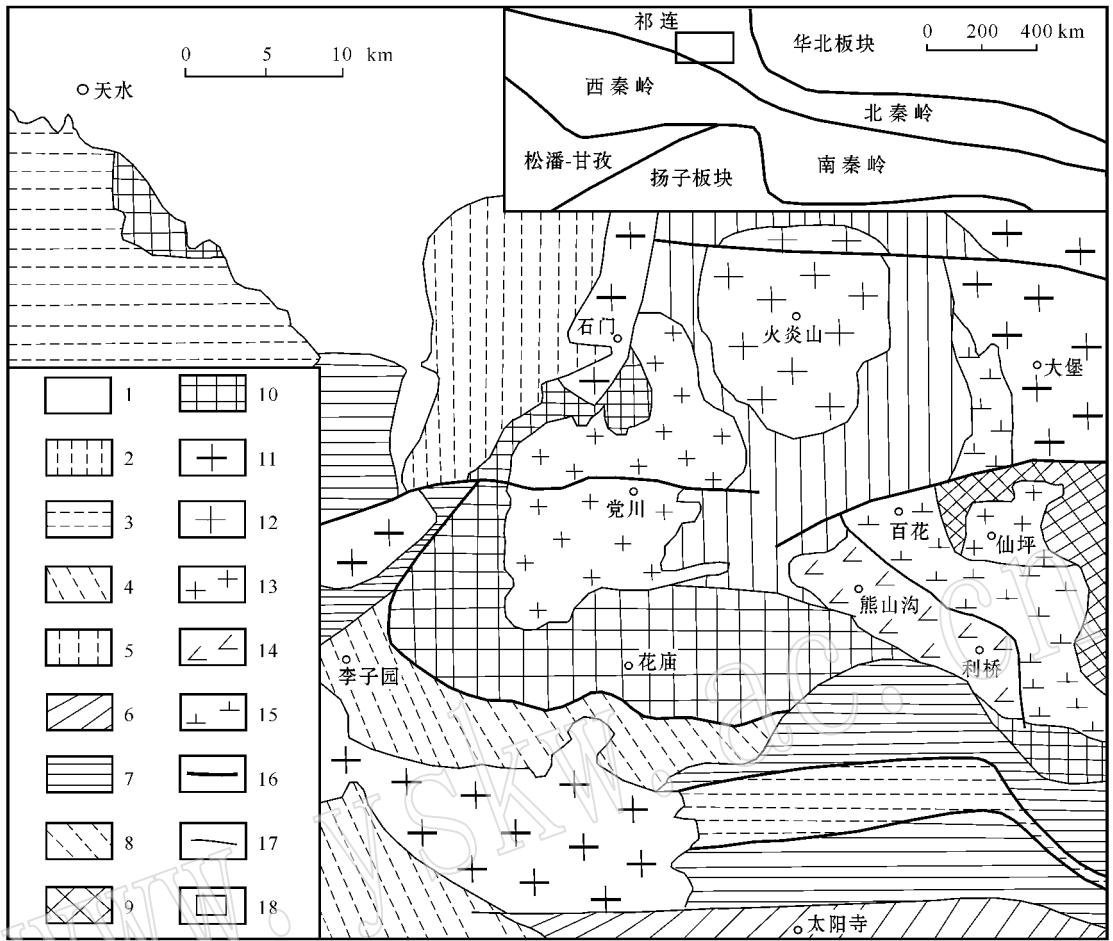


图 1 天水地区党川一带地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of Dangchuan in Tianshui area

1—新生界 2—中生界 3—上泥盆统大草滩群 4—中泥盆统舒家坝群 5—奥陶纪草滩沟群 6—下古生界太阳寺组 7—下古生界李子园群；
8—下古生界关子镇蛇绿岩 9—中元古界宽坪岩群；10—古元古界秦岭岩群；11—印支期花岗岩体；12—火炎山岩体；13—党川岩体；14—熊
山沟岩体；15—百花岩体；16—区域大断裂；17—地质界线；18—研究区位置

1—Cenozoic；2—Mesozoic；3—Upper Devonian Dacaotan Group；4—Middle Devonian Shujiaba Group；5—Ordovician Caotangou Group；6—
Lower Paleozoic Taiyangsi Formation；7—Lower Paleozoic Liziyuan Group；8—Lower Paleozoic Guanzizhen ophiolite；9—Mesoproterozoic Kuan-
ping Rock Group；10—Paleoproterozoic Qinling Rock Group；11—Indosinian granitoids；12—Huoyanshan intrusive；13—Dangchuan intrusive；
14—Xionshanguou intrusive；15—Baihua intrusive；16—regional fault；17—geological boundary；18—location of the study area

造山，形成了祁连-北秦岭加里东造山带，之后西秦
岭地区主体进入板内演化阶段^①。

2 岩体时代及接触关系

近年来笔者进行的 1:5 万区调在各岩体中采集
了同位素年龄样品，经测试，在熊山沟岩体中获得
Rb-Sr 法年龄为 430 ± 15 Ma，时代为中志留世，在火
炎山岩体中获得 3 组 Rb-Sr 法同位素年龄分别为
 399 ± 15 Ma、 375 ± 23 Ma、 375 ± 6 Ma；在党川岩体

中获得 Rb-Sr 法同位素年龄 391 ± 21 Ma(图 2、表
1)。可见火炎山岩体、党川岩体时代为泥盆纪。中
志留世熊山沟岩体超动侵入于百花岩体中，近年来
裴先治等(2007)在天水百花-利桥一带百花岩浆杂
岩的辉长(闪长)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 449.7 ± 3.1 Ma(MSWD=1.9)，因而将百
花岩浆杂岩的地质时代确定为晚奥陶世。石门岩体
Rb-Sr 法同位素年龄为 225 ± 17 Ma，时代为印支期。

① 裴先治, 丁仁平, 李勇等. 2004. 天水市幅 1:25 万区域地质调查成果报告. 长安大学地质调查院.

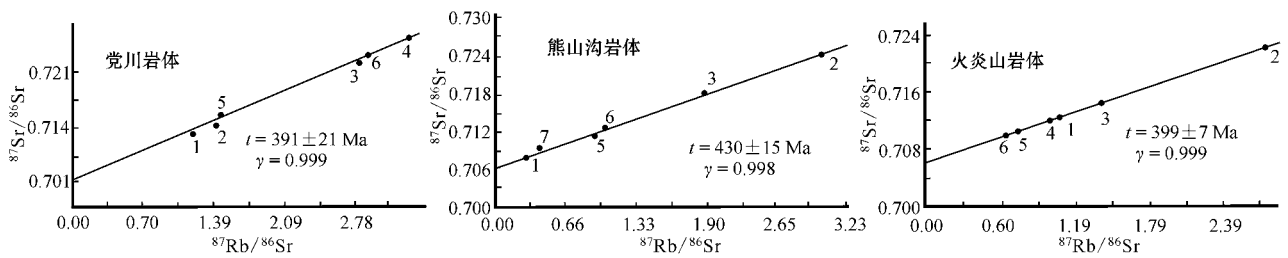


图 2 天水东南部地区花岗岩体 Rb-Sr 等时线年龄图

Fig. 2 Rb-Sr isochron ages of granites in southeastern Tianshui area

表 1 天水东南部地区花岗岩体 Rb-Sr 同位素年龄分析结果

Table 1 Rb-Sr dating age of granites in southeastern Tianshui area

岩体	样号	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\text{Rb}/\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	$\text{Sr}/\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$
党川	VI34-1	0.713 24	181.41	454.65	1.1510
	VI34-2	0.714 87	141.26	287.28	1.415 9
	VI34-3	0.722 59	211.52	216.32	2.823 1
	VI34-4	0.725 71	219.32	193.90	3.266 6
	VI34-6	0.716 24	167.48	339.78	1.422 2
	VI34-7	0.723 45	213.95	214.99	2.872 4
	火炎山	VI48-1	0.712 34	167.73	478.21
VI48-2		0.722 23	209.25	217.85	2.773 1
VI48-3		0.714 35	158.12	327.48	1.392 9
VI48-4		0.712 45	158.64	424.41	1.098 1
VI48-6		0.710 38	161.91	642.76	0.762 4
VI48-7		0.710 35	150.83	670.41	0.648 8
熊山沟		2532-1	0.706 88	86.77	956.10
	2532-2	0.724 40	219.65	208.75	3.038 5
	2532-3	0.719 55	188.93	293.75	1.856 4
	2532-5	0.712 01	155.91	457.01	0.983 6
	2532-6	0.712 52	220.65	608.35	1.046 1
	2532-7	0.709 09	126.69	815.82	0.447 8

样品由宜昌地质矿产研究所测试, $\lambda^{87}\text{Rb} = 1.42 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ 。

上述各岩体与相邻地层间均为侵入接触。大堡岩体南、北界均与相邻地质体间为断层接触,西界该岩体呈脉状侵入于百花岩体中,表现为该岩体浅肉红色-灰白色中粗粒二长花岗岩侵入于百花岩体灰色闪长岩中。百花岩体边部发育烘烤边,在大堡岩体二长花岗岩中发育大量百花岩体闪长岩捕虏体,二者侵入接触关系很清晰。

石门岩体在石门一带与相邻的党川岩体接触关系十分清楚,在其东缘可见石门岩体肉红色中粗粒似斑状花岗岩呈脉状侵入于党川岩体灰白色细粒二长花岗岩中,在其边部可见细粒化的冷凝边(李永军等 2005),所获得的石门岩体的同位素地质年龄也佐证了上述接触关系。

熊山沟岩体与百花岩体总体为断层接触,局部

可见熊山沟岩体超动侵入百花岩体,表现为熊山沟岩体早期灰白色-浅肉红色花岗岩呈脉状穿插于百花岩体深灰色闪长岩中,在熊山沟花岗岩体中分布有大量百花岩体闪长岩的捕虏体。二者岩石学差异及接触关系大致可确立它们分属不同的岩浆事件,这从下述讨论的两岩体岩石化学、地球化学特征的显著差异可得到进一步的印证。

党川岩体与火炎山岩体间被草滩沟群分割而未直接接触,二者岩石学特征差异较大,应属不同岩浆热事件的产物。

3 百花岩体地质地球化学特征

3.1 岩石学特征

由于加里东期后岩体的侵入吞蚀,百花岩体形态很不规则,局部呈残片状分布。岩石组合为灰白色细粒闪长岩-粗粒石英闪长岩,较早期侵入体岩石为灰色细粒闪长岩,晚期为粗粒石英闪长岩。岩石空间分布由边部向内部矿物粒度由细粒渐变为粗粒,且石英含量增加,斜长石含量 55%~70%,钾长石含量小于 5%,局部较高,暗色矿物含量较高,主要为角闪石(含量 35%),次为黑云母。矿物粒度大致为 4~6 mm。岩石后期动力变形作用强烈,岩石矿物常发生错断、扭曲等,矿物镜下较破碎。岩石具绢云母化、绿泥石化。副矿物为磁铁矿-榍石-锆石-磷灰石组合,以富含磁铁矿为主。

3.2 岩石地球化学特征

闪长岩、石英闪长岩岩石化学成分以富钾、低铝为主要特征。岩石组分 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} < 1.0$, 铝饱和度 (A/CNK) 为 0.74~0.78, 里特曼指数为 1.45~3.78 (表 2), 在岩石 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图中分布于拉斑-高钾钙碱性系列范围内, 在 $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$ 图中分布于钙碱-钾玄质系列范围内(图 3), 在岩石 ACF 图解中落入

表 2 百花岩体、熊山沟岩体主量($w_B/\%$) 微量元素($w_B/10^{-6}$) 化学成分测试分析结果Table 2 Major($w_B/\%$) and trace($w_B/10^{-6}$) element analyses of Baihua intrusive and Xiongshangou intrusive

样品	百花岩体			熊山沟岩体				
	细粒闪长岩	粗粒闪长岩	石英闪长岩	黑云斜长花岗岩	斜长花岗岩	细粒花岗岩	钾长花岗岩	二长花岗岩
SiO 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/Na 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
σ	1.45	3.38	3.78	1.08	1.05	3.06	3.69	0.44
Ba		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	1.60	0.74	0.71	1.05	2.05	2.65
Se		17.0	19.0	6.4	6.6	0.5	11.8	1.2
La	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
Σ 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

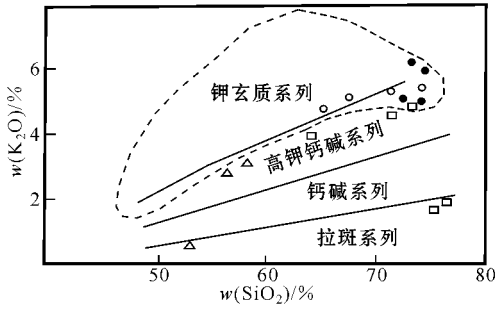


图 3 天水东南部地区花岗岩类 K_2O-SiO_2 和 K_2O-Na_2O 图解

Fig. 3 K_2O-SiO_2 and K_2O-Na_2O diagrams for granites in southeastern Tianshui area

I 型花岗岩区(图 4)

岩石的微量元素 Cr、Ni、Y、Rb、Sr 丰度高于中性岩维氏值,而 Nb、Zr 元素丰度低于中性岩维氏值, Rb/Sr 为 0.11~0.16, $Li \times 10^3/Mg$ 比值较低(0.62~6.7) 类似于 I 型花岗岩特征。微量元素组合的 Rb-(Y+Nb) 及 Rb-(Yb+Ta) 图解落入火山弧区(图 5)。

原始地幔标准化的微量元素蛛网图与火山弧花岗岩的分布型式(Pearce *et al.*, 1984) 相似(图 6)。

稀土元素(REE) 丰度总体较低(107.31×10^{-6} ~ 191.13×10^{-6}), 随岩浆演化 REE 丰度有增高的趋势, 轻、重稀土元素比值总体较低(2.80~4.40)。岩浆分异度较大(δ_{Eu} 为 0.68~0.72), 平均值为 0.70 稀土元素配分模式为轻稀土元素富集型右倾平稳曲线, 无铕负异常(图 7)。

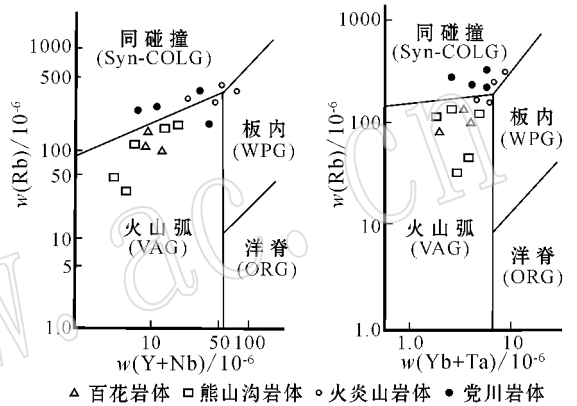


图 5 天水花岗岩的 Rb-(Yb+Nb) 和 Rb-(Yb+Ta) 图解 据 Pearce 等, 1984)

Fig. 5 Rb-(Yb+Nb) and Rb-(Yb+Ta) diagrams of granites in Tianshui (after Pearce *et al.*, 1984)

4 熊山沟岩体地质地球化学特征

4.1 岩石学特征

岩石为灰白色-肉红色, 早期侵入体为灰白色似

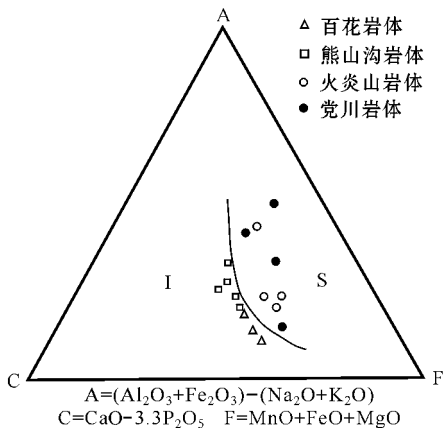


图 4 天水花岗岩类的 ACF 图解

Fig. 4 ACF diagram of granites in Tianshui area

斑状斜长花岗岩、灰白色少斑-似斑状斜长花岗岩, 岩石中含较多的闪长质包体。岩石为细粒结构、中细粒结构, 斑晶主要为板柱状斜长石, 含量 10%~45%, 基质成分为斜长石、石英等, 无原生的钾长石。晚期侵入体为肉红色中粗粒似斑状结构, 岩石类型为二长花岗岩, 斑晶含量 10%~25%, 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。岩石矿物组成: 斜长石含量 25%~40%, 钾长石 25%~30%, 石英 20%~30%, 黑云母 5%, 副矿物为磁铁矿-榍石-锆石-磷灰石组合。

4.2 岩石地球化学特征

岩石化学成分早期岩石以富 Na_2O 、贫 K_2O 为特征, K_2O/Na_2O 比值较小(0.33~0.42), 铝饱和度(A/CNK)为 1.01~1.07, 里特曼指数为 1.05~1.08。晚期侵入体岩石以富 K_2O 、贫 Na_2O 为特征, K_2O/Na_2O 比值较大(1.01~1.43), 铝饱和度(A/CNK)为 0.86~1.07, 这与百花岩体有显著的差异,

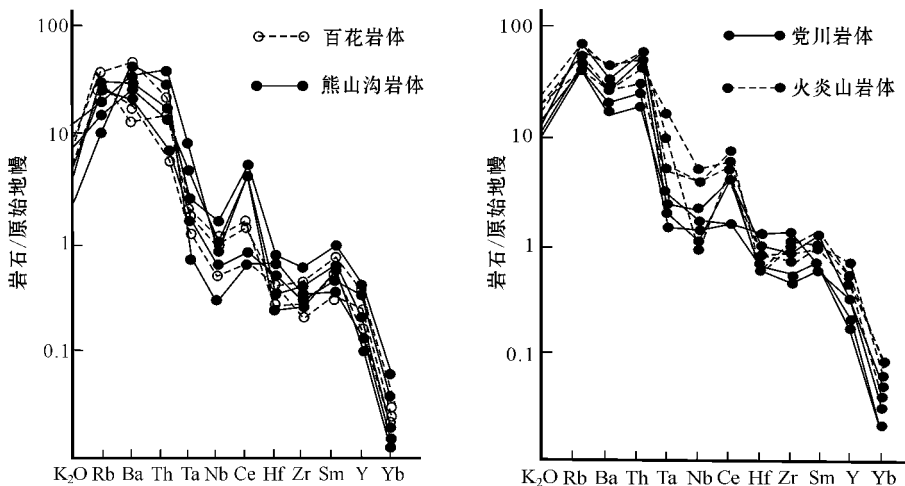


图 6 天水花岗岩类微量元素原始地幔标准化蛛网图(据 Pearce 等,1984)

Fig. 6 Primitive mantle-normalized trace element spidergrams of granites in Tianshui area (after Pearce *et al.*, 1984)

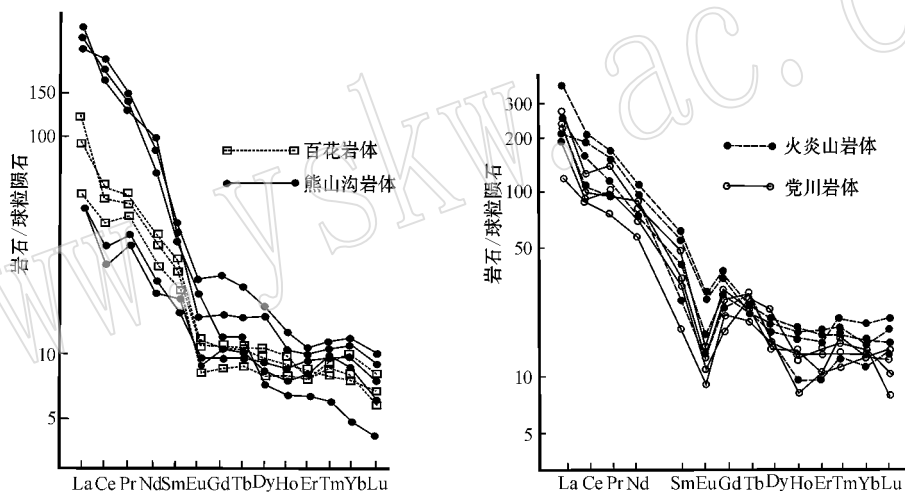


图 7 天水花岗岩稀土元素球粒陨石标准化配分模式

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns of granites in Tianshui area

里特曼指数为 2.44~3.69,在图 3 中,岩石主要分布在拉斑-高钾钙碱性系列范围,少数在钙碱-钾玄质系列范围内,ACF 图解落入 I 型花岗岩区(图 4)。

微量元素丰度不相容元素 Th、Hf 等高于酸性岩维氏值,高场强元素 Nb、Zr 高于或接近酸性岩维氏值。元素比值 Rb/Sr 为 0.21~1.14, F/Cl 为 0.34~0.60, $Li \times 10^3/Mg$ 为 0.62~1.17,具 I 型花岗岩的岩石化学特征。元素组合的 Rb-(Y+Nb)及 Rb-(Yb+Ta)图解落入火山弧区(图 5)。

原始地幔标准化的微量元素蛛网图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;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(Pearce *et al.*, 1984)的分布型式有一定的相似性(图 6),这种分布型式与北秦岭奥陶纪陈家河群中酸性火山岩的分布型式(何世平等,2007)极其相似,具岛弧花岗岩的特征,暗示它们形成于一种成熟度较高的与俯冲有关的构造环境,故研究区晚加里东期的花岗岩类在成因上可能与板块俯冲的岩浆弧有关。

熊山沟岩体稀土元素丰度为 $107.71 \times 10^{-6} \sim 482.30 \times 10^{-6}$,平均为 311.87×10^{-6} ,REE 总量高于酸性岩维氏值总和,随岩浆演化有增高的趋势。轻、重稀土元素比值总体较低(1.8~20.7),平均为

7.60 δEu 值变化较大(0.58~0.87),平均为0.65,稀土元素配分模式为轻稀土元素富集型右倾平稳曲线,有微弱的铕异常(图7),这些特征与百花岩体有显著差异(表2),说明熊山沟岩体与百花岩体来源于不同的岩浆。

熊山沟岩体岩石锶初始比($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)₀为0.7059(<0.707),氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 值为+3.32‰^①。总体上百花岩体、熊山沟岩体的岩石学、岩石化学、地球化学均具I型花岗岩的特征。

5 党川岩体地质地球化学特征

5.1 岩石学特征

岩体呈近圆状及不规则的多边形,与相邻的古元古界秦岭岩群、奥陶纪草滩沟群间为侵入接触(温志亮等,2005)。岩石类型为灰白色细粒黑云二长花岗岩、灰白色含斑中细粒二云二长花岗岩,岩石以细粒-中细粒结构为主,局部含斑。岩石矿物组成:斜长石35%、钾长石35%、石英20%~25%、黑云母5%~10%、白云母含量约2%~5%。岩石副矿物组合为独居石、电气石、石榴石组合,岩石学表现为过铝特征,岩石重要特征是矿物中出现过铝的白云母及石榴石。

5.2 岩石地球化学特征

化学成分以富 SiO_2 、 K_2O 、 Al_2O_3 低 Fe_2O_3 、 FeO 为特征。Harker型岩石化学成分变异图上 SiO_2 与 TiO_2 、 P_2O_5 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ 、 MgO 、 CaO 呈正相关,与 Al_2O_3 、 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 呈负相关(温志亮等,2005),岩石化学成分属高酸度-低铁镁型。里特曼指数为2.08~3.34, K_2O 含量较高,在 $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ 及 $\text{K}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{O}$ 图(图3)上位于富钾的钾玄质系列,铝饱和度(A/CNK)平均大于1.10(表3),为过铝质系列。岩石以高酸、富钾、过铝为主要特征,ACF图解落入S型花岗岩区(图4)。

微量元素富集亲石元素Ba、Rb及高场强元素Th等,亲铁元素Ni、Co、Cr、V及元素Sr、Li、Ta元素丰度较低,低于酸性岩维氏值。 Rb/Sr 为1.04~26.3, F/Cl 为0.99~1.44, $\text{Li} \times 10^3/\text{Mg}$ 为74.7~182,显示壳源花岗岩的特征。

稀土元素总量($\sum \text{REE}$)为 308.30×10^{-6} ~ 314.55×10^{-6} ,高于或接近于酸性岩维氏值总和;

轻、重稀土元素比为6.0~7.27(表3), δEu 为0.36~0.47,平均0.42,小于我国华南地区壳源型花岗岩的平均值(0.46),说明岩体岩浆的分异程度较高。稀土元素配分模式为轻稀土元素富集型,有较强的铕亏损及明显的V字形低谷(图7)。

岩石锶初始比($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)₀为0.7073,氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 值为+8.89‰^①。

6 火炎山岩体地质地球化学特征

6.1 岩石学特征

岩体出露面积较大,在空间上构成党川岩基的主体,岩石类型以钾长花岗岩为主,次为二长花岗岩。岩石以中粗粒含斑、中粗粒似斑状结构为主,岩石结构主岩浆期为中粗粒含斑、似斑状结构,补充期为不等粒结构,表现为较完整的岩浆结构演化序列,具结构演化的完整性和有序性。副矿物属磁铁矿、磷灰石、榍石、锆石、独居石、电气石、石榴石组合,岩石具绢云母化、粘土化。岩石中出现石榴石矿物是该岩体的重要特征。

6.2 岩石地球化学特征

化学成分以低酸度,高铁、镁为特征,且 Al_2O_3 、 CaO 、 K_2O 、 Na_2O 较高。在Harker型岩石化学成分变异图上, SiO_2 与 Al_2O_3 、 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 呈正相关,与 TiO_2 、 P_2O_5 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ 、 MgO 、 CaO 呈负相关。里特曼指数为2.42~2.99,岩石为富钾的钾玄质系列(图3),铝饱和度为0.93~1.10,平均为1.0;CIPW标准矿物计算刚玉含量为1.37%~1.52%,说明岩石属过铝质类型。 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比为1.14~1.88,因而岩石化学以富钾、过铝为特征。岩石ACF图解落入S型花岗岩区(图4)。

微量元素以富集大离子亲石元素Ba、Zr、Rb、Sm、Ta为特征,强不相容元素及高场强元素Rb、Ba、Th、Nb等相对富集,亲铁元素Ni、Co、Cr、Sc丰度低于或接近于酸性岩维氏值。 Rb/Li 为4.7~9.1, Rb/Cs 为6.5~27.9, Rb/Sr 为0.76~2.5, $\text{Li} \times 10^3/\text{Mg}$ 为34.7~99.1,与我国华南地区地壳改造型(S型)花岗岩特征十分相似。

稀土元素总量($\sum \text{REE}$)为 320.50×10^{-6} ~ 471.68×10^{-6} ,平均为 382.25×10^{-6} ,高于酸性岩维氏值,轻、重稀土元素比值中等, δEu 为0.39~

① 温志亮,杨天喜,等,2000. 1:50 000 党川幅、余家门幅区域地质调查报告. 甘肃省地勘局第一地质矿产勘查院.

表 3 党川岩体、火炎山岩体主量($w_B/\%$) 微量元素($w_B/10^{-6}$)化学成分测试分析结果
 Table 3 Major($w_B/\%$) and trace($w_B/10^{-6}$) element analyses of Dangchuan intrusive and Huoyanshan intrusive

样品	党川岩体				火炎山岩体			
	二长花岗岩	二长花岗岩	黑云花岗岩	二云花岗岩	二长花岗岩	二长花岗岩	钾长花岗岩	钾长花岗岩
SiO ₂	73.40	73.21	72.70	72.29	65.77	67.77	71.61	73.66
TiO ₂	0.17	0.07	0.26	0.08	0.82	0.77	0.47	0.21
Al ₂ O ₃	14.03	14.38	13.96	14.20	15.12	14.09	13.43	13.59
Fe ₂ O ₃	0.52	0.23	0.60	0.04	2.07	2.17	0.94	1.04
FeO	1.17	0.57	1.51	1.48	2.46	2.00	1.90	0.64
MnO	0.07	0.05	0.08	0.04	0.13	0.10	0.13	0.05
MgO	0.42	0.21	0.50	0.40	1.42	1.33	0.61	0.56
CaO	0.72	0.41	1.06	0.98	2.85	2.13	1.60	0.68
Na ₂ O	3.35	2.99	3.25	3.83	3.85	3.11	3.55	3.01
K ₂ O	4.55	6.00	4.62	6.06	4.40	4.64	4.87	5.67
P ₂ O ₅	0.12	0.11	0.13	0.03	0.33	0.22	0.27	0.05
CO ₂	0.47	0.68	0.33		0.16		0.01	
LOI	0.74	0.70	0.75	0.57	0.48	2.80	0.36	0.47
Total	99.73	99.70	99.75	100.00	99.86	100.13	99.84	99.73
ALK	7.90	8.99	7.87	9.89	8.25	7.75	5.14	8.68
K ₂ O/Na ₂ O	1.36	2.01	0.86	0.33	1.14	1.43	1.37	1.88
A/CNK	1.2	1.18	0.78	1.05	0.93	1.00	0.96	1.10
σ	2.06	2.67	3.78	1.08	2.99	2.42	2.47	2.46
Ba	800	1 800	1 181	684	1 595	1 333	885	565
Nb	11.7	2.5	10	15	30	30	26	54
Zr	129.5	34	231	173	315	298	211	149
Sr	150	230	183	10	431	426	223	123
Rb	209	212	190	263	158	137	169	302
Th	28	8.1	33	70	18	22	34	47
Hf	5.7	1.6	7	17	6	5	7	9
Ni	0	3	4	9	7	5	5	6
Co	2.9	2.6	4	5	6	6	4	2.5
V	21	16	48	26	60	63	55	17
Cr	5	3	13	18	16	12	14	14
Ta	1.4	4.1	1.2	2.9	5.5	2.7	3.45	2.3
Sc	4.1	2.0	7.2	6.4	9.15	8.0	1.9	1.2
La	44.00	27.00	87.00	84.00	83.00	130.00	80.00	75.00
Ce	78.00	38.00	105.00	100.00	122.50	170.00	137.50	92.00
Pr	8.60	3.82	16.60	13.00	18.50	20.00	15.70	14.00
Nd	31.00	16.80	52.00	65.00	60.50	74.00	46.50	56.00
Sm	6.00	2.90	9.40	6.60	12.10	11.50	8.60	7.60
Eu	0.64	1.15	1.02	1.06	2.20	2.05	1.18	1.00
Gd	4.79	1.92	7.70	7.20	10.15	9.60	7.65	8.10
Tb	0.80	0.29	1.05	1.60	1.43	1.35	1.20	1.50
Dy	5.40	1.74	4.40	5.80	7.35	7.20	5.90	9.30
Ho	0.93	0.31	0.98	0.74	1.50	1.40	1.27	1.15
Er	2.58	0.70	2.10	2.45	3.65	3.50	3.13	3.95
Tm	0.41	0.09	0.37	1.60	0.63	0.60	0.58	1.90
Yb	2.45	0.56	2.30	2.70	0.63	2.90	2.80	5.00
Lu	0.28	0.10	0.38	0.80	3.00	0.58	0.55	2.00
Y	20.60	6.70	18.00	22.00	0.56	37.00	28.25	42.00
ΣREE	224.01	102.06	308.30	314.55	396.08	471.68	340.82	320.50
LREE/HREE	4.87	7.20	7.27	6.00	5.57	6.63	5.64	3.28
δEu	0.43	0.42	0.36	0.47	0.61	0.59	0.44	0.39

注 表 2、表 3 样品分析由西安综合岩矿测试中心完成, 主量元素分析 Fe₂O₃ 用比值法, FeO 用容量法, CO₂ 用电导法, 其他为 X 荧光光谱分析, 微量及稀土元素用等离子体质谱法(ICP-MS)分析, 质量符合 DZ-0130-94 标准。

0.61 稀土元素配分曲线为右倾型,有显著的铕负异常(图7)。

岩石的锶初始比($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)₀ 分别为 0.707 3、0.707 5、0.707 8,全岩氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 测定数据分别是 +9.06‰、+9.79‰、+9.69‰、+10.54‰、+10.69‰、+11.08‰^①。氧同位素局部偏低可能与地壳深部锶混染及地壳成熟度较低有关。

党川岩体、火炎山岩体的 ACF 图解落入 S 型花岗岩区(图4),岩石的岩石学、岩石化学、地球化学均显示壳源的 S 型花岗岩的特征,在微量元素组合的 Rb-(Y+Nb)和 Rb-(Yb+Ta)图解(图5)中位于同碰撞或近同碰撞区域,原始地幔标准化的微量元素蛛网图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 段出现 Rb、Th 峰,Ba 相对亏损出现低谷的负异常,具 M 形分布的特点,微量元素分布的另一特点是 Ta-Nb-Ce-Hf 段 Hf 相对亏损(图6)。上述特征与同碰撞花岗岩的分布型式相似。

利用岩石锶初始比、同位素年龄、岩浆源区关系判别图进行岩浆源区判别,党川岩体、火炎山岩体的投影点均落入幔源区之上、大陆地壳锶增长线以下的区域(图8),说明岩体为来自地壳的浅源型(硅铝层型)花岗岩,其物源主要为上地壳或地壳浅部的物质。熊山沟岩体位于幔源区之上但离幔源区很近,说明其源岩与深源物质有关。

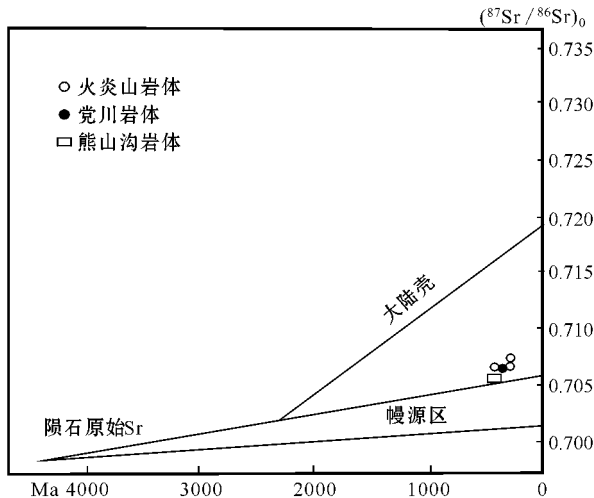


图8 天水花岗岩锶初始比、年龄、岩浆源区判别图

Fig. 8 Diagram of initial ratio of strontium, age and magma source for granites in Tianshui area

7 构造环境讨论

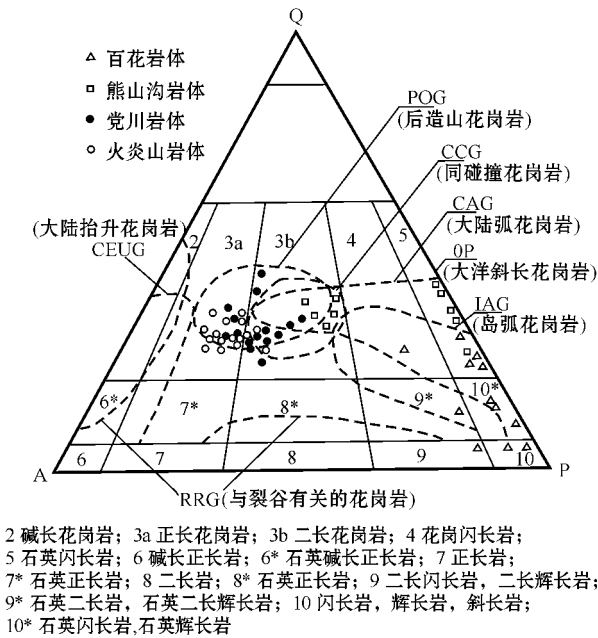
通过上述对研究区晚加里东期、早华力西期岩体岩石学、岩石化学、地球化学等特征的阐述,对两期不同时代形成的花岗岩类的构造环境已有了初步的认识,但由于岩石地球化学的多解性及岩浆来源的复杂性,仅根据地球化学进行形成环境的判别是不够的,往往会形成似是而非的结论,甚至误判,在结合时空分布特征及地质背景的基础上得出的结论才是最为重要的依据。目前对大陆造山带的研究一般认为其演化可分为俯冲、同碰撞和后碰撞等3个阶段,各阶段有不同的构造演化特征及岩浆活动规律。Pitcher(1987)将花岗岩类也纳入板块构造格架的造山带演化,并将造山期后的隆起也划归后造山阶段。Maniar等据花岗岩类岩石学、矿物学及岩石主量元素的地化特征,将花岗岩形成的构造环境划分为造山花岗岩类和非造山花岗岩类两大类,造山花岗岩类又分为岛弧花岗岩类(IAG)、大陆弧花岗岩类(CAG)、大陆碰撞花岗岩类(CCG)、后造山花岗岩类(POG);非造山的花岗岩类又分为:与裂谷有关的花岗岩类(RRG)、大陆造陆抬升的花岗岩类(CEUG)、大洋斜长花岗岩类(OG)(Maniar and Piccoli, 1987)。本文在此基础上对研究区内各岩体形成的构造环境进行以下综合判别。

7.1 岩石矿物学特征判别

利用笔者野外搜集资料及室内薄片鉴定资料,对岩石主要造岩矿物石英(Q)、钾长石(A)、斜长石(P)等矿物含量^①进行统计后进行QAP三角投影(Maniar et al., 1989),作为判别岩体构造环境的依据之一。从图9可看出百花岩体位于岛弧区,熊山沟岩体位于大陆弧花岗岩类区,党川岩体位于同碰撞花岗岩区-后造山花岗岩类区,火炎山岩体位于后造山花岗岩类区。

火炎山岩体含石榴石,党川岩体含白云母、石榴石等矿物。国内外学者一般认为白云母、石榴石是后造山花岗岩类的岩石学特征,如尼日利压泛非造山带花岗岩可见白云母、石榴石矿物,纽约兰阿帕拉契亚造山带花岗岩含白云母、石榴石矿物等,是后碰撞阶段的产物(韩宝福, 2007)。

① 温志亮,杨天喜,等. 2000. 1:50 000 党川幅、余家门幅区域地质调查报告. 甘肃省地勘局第一地质矿产勘查院.



7.2 岩石化学成分判别

不同构造环境下形成的花岗岩岩石化学成分有较大的差异,因而化学成分也是判别花岗岩形成构造环境的主要依据。

在花岗岩 $TFeO/(TFeO + MgO) - SiO_2$ 图解中,百花岩体、熊山沟岩体多位于 IAG(岛弧)+CAG(大陆弧)+CCG(大陆碰撞)区域,在 $Al_2O_3 - SiO_2$ 图解和 $(TFeO/TFeO + MgO) - SiO_2$ 图解中,火炎山岩体、党川岩体除少数点外多位于 POG(后造山花岗岩类)区域(图 10)。

百花岩体、熊山沟岩体在构造环境分类图解(Batchelor and Bowden, 1985)中均位于地幔分离-板块碰撞前环境,而火炎山岩体、党川岩体多位于晚造山环境(图 11),说明百花岩体、熊山沟岩体形成环境与岛弧有关。区内火炎山岩体、党川岩体岩石化学属钾玄质岩浆,研究表明钾玄质岩石可形成于岛弧环境(李献华等,2000),也可以形成于拉张环境(Rottura et al., 1998)及后造山环境(Pognante, 1991)结合前述火炎山岩体、党川岩体形成环境应是

图 9 天水花岗岩的 QAP 图解(据 Maniar 等,1989)
Fig. 9 Quartz (Q)-alkali feldspar (A)-plagioclase (P) diagram for granites in Tianshui area (after Maniar et al., 1989)

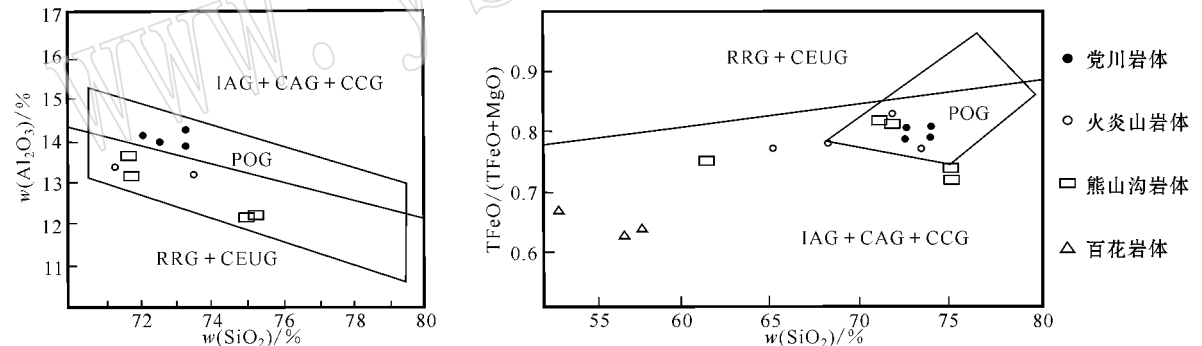


图 10 天水花岗岩的 $Al_2O_3 - SiO_2$ 和 $TFeO/(TFeO + MgO) - SiO_2$ 图解(据 Maniar 和 Piccoli, 1987)

Fig. 10 $Al_2O_3 - SiO_2$ and $TFeO/(TFeO + MgO) - SiO_2$ diagram for granites in Tianshui area (after Maniar and Piccoli, 1987)

后造山环境(或晚造山环境)。

7.3 微量元素组合特征判别

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,而且不同构造背景下岩浆活动形成的花岗岩类微量元素丰度差异较大,特别是高场强元素 Th、Nb、Zr、Ti 等在相对开放的环境下含量变化不大,相对稳定,因而在研究岩浆成岩作用、岩浆演化中被誉为指示剂、示踪剂(王中刚等,1989)在恢复花岗岩类形成的大地构造环境中发挥了重要作用。

据 Pearce 等(1984)分类,在研究区花岗岩类微量元素组合的 $Rb - (Y + Nb)$ 和 $Rb - (Yb + Ta)$ 图解中,加里东期岩体分布于岛弧区,华力西期党川岩体、火炎山岩体多位于同碰撞区或近同碰撞区域(图 6);微量元素组合的 $Rb/30 - Hf - Ta$ 图解(图 12),百花岩体、熊山沟岩体均位于火山弧环境,而党川岩体位于碰撞花岗岩区及碰撞后花岗岩区,火炎山岩体位于碰撞后花岗岩区及附近。可见两期花岗岩类形成的构造环境存在较大的差异,加里东末期岩体的形成与俯冲环境下的岛弧作用有关,而华力西岩

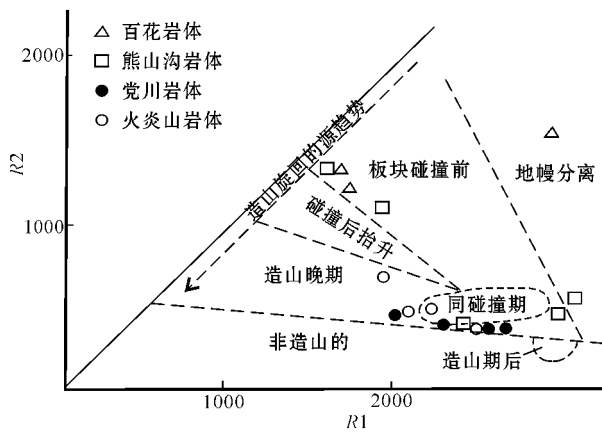


图 11 天水花岗岩形成的构造环境图解(据 Batchelor 和 Bowden, 1985)

Fig. 11 Diagram of tectonic setting for granites in Tianshui area (after Batchelor *et al.*, 1985)

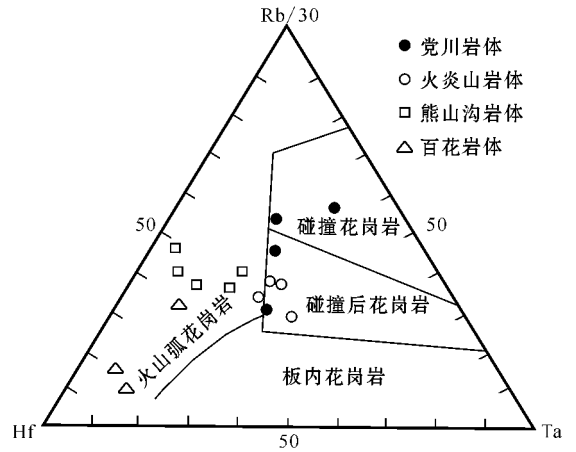


图 12 天水花岗岩的 Rb/30 - Hf - Ta 图解(据 Harris 等, 1986)

Fig. 12 Rb/30 - Hf - Ta diagram for granites in Tianshui area (after Harris *et al.*, 1986)

体的形成与大陆碰撞作用有关。

7.4 岩体时空分布判别

百花岩体、熊山沟岩体在平面分布上由于断裂破坏及后来岩体的吞蚀形态呈不规则状,岩体与其他地质体间多为断层接触,因而岩浆侵位的动力学特征不易识别。但党川岩体、火炎山岩体在平面分布上呈近圆状,岩体与围岩间呈侵入接触,经作者野外观察发现在岩体内外接触带发育大量的构造现象,围岩褶皱发育且接触变质作用强烈,岩体边部发育斜长石等短柱状矿物及暗色矿物条带的定向排列,排列方向大致平行接触带;同时在岩体边部发育大量强力就位的片麻岩或同构造片麻岩,矿物被拉长、压扁呈透镜状、眼球状、条带状,并具定向分布,围岩局部具剪切变形的特征。以上构造现象是与构造作用有关的强烈就位特征,显示岩浆的形成与构造强烈活动关系密切。

7.5 地质构造背景

研究表明,天水地区西秦岭北带早古生代存在一个由以关子镇蛇绿岩为代表的有限洋盆和以关子镇岛弧型中基性岩浆杂岩、百花岛弧型基性-中酸性岩浆杂岩以及奥陶纪草滩沟群岛弧型中酸性火山-沉积岩系为代表的古火山-岩浆岛弧带构成的活动陆缘构造格局(张国伟等, 2001; 裴先治等, 2004),早古生代发育沟-弧-盆体系。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和小洋盆。早古生代晚期奥陶纪末随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、弧陆碰撞汇聚等地质作用过程(裴先治等, 2004) 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岛弧型中酸性火山-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),形成了岛弧环境的流水沟变质中基性杂岩,在研究区百花一带形成了岛弧型中基性杂岩及酸性岩体(丁仁平等, 2004),到加里东末碰撞造山。百花一带的拉斑系列-钙碱性系列的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(李永军等, 2008),是板块俯冲造山的产物。百花岩体即是这一板块俯冲条件下岛弧构造环境的产物,而熊山沟岩体的形成可能与这一时期的大陆弧有关。

该地区早古生代沟-弧-盆体系加里东期之后主体进入板内演化(李永军等, 2007)。党川岩体、火炎山岩体目前已获得的同位素年龄显示,岩体的侵入时代大致是泥盆纪,这一时期党川地区的俯冲碰撞造山作用已基本结束,主体进入板内演化阶段,构造活动主要是后造山阶段板内的大陆抬升作用,党川岩体、火炎山岩体即是这一构造活动的结果。

8 结论

(1) 天水东南部地区的晚加里东期的百花岩体、熊山沟岩体岩石为拉斑-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。熊山沟岩体源岩主要来源于下地壳物质，物源属深源型。晚加里东期岩体的形成与同期板块的俯冲作用有关，百花岩体形成于岛弧环境，熊山沟岩体可能形成于大陆弧环境。

(2) 早华力西期的党川岩体、火炎山岩体岩石表现为富钾、过铝特征，其岩石学、岩石化学、地球化学均表现为 S 型花岗岩特征，属壳源花岗岩，物源为上地壳或地壳浅部物质，物源属浅源型。其形成与大陆碰撞带的形成关系密切，形成环境为后碰撞构造环境或后造山构造环境，总体与后造山阶段板内的大陆抬升作用有关。

References

- Batchelor R A and Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multication [J]. *Chemical Geology*, 48(1): 43 ~ 55.
- Ding Saping, Pei Xianzhi, Li Yong, *et al.* 2004. Analysis of the disintegration and tectonic setting of the Liziyuan Group in the Tianshui area, Western Qinling [J]. *Geological Bulletin of China*, 23(12): 1 213 ~ 1 214 (in Chinese with English abstract).
- Han Baofu. 2007. Diverse post-collisional granitoids and their tectonic setting discrimination [J]. *Earth Science Frontiers*, 14(3): 65 ~ 66 (in Chinese with English abstract).
- Harris N B W, Pearce J A and Tindle A G. 1986. *Geochemical Characterization of Collision-zone Magmatism* [A]. *Collision Tectonics* [C]. Geological Society Special Publication, 19 : 67 281.
- He Shiping, Wang Hongliang, Xu Xueyi, *et al.* 2007. Geochemical characteristics and tectonic environment of Hongtubu basalts and Chenjiahe intermediate-acid volcanic rocks in the eastern segment of North Qilian orogenic belt [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 26(4): 295 ~ 309 (in Chinese with English abstract).
- Huo Fuchen and Li Yongjun. 1995. The Formation and Geological Evolution of the Qinling Orogenic Belt [M]. Xi'an : North West University Press, 56 ~ 120 (in Chinese with English abstract).
- Li Xianhua, Zhou Hanwen, Liu Ying, *et al.* 2000. Mesozoic shoshonitic intrusives in the Yangchun Basin, Western Guangdong and their tectonic significance : I Petrology and isotope geochronology [J]. *Geochimica*, 29(6): 513 ~ 520 (in Chinese with English abstract).
- Li Yongjun, Gu Pingyang, Liu Jing, *et al.* 2007. Geochemistry of the Dangchuan granitic batholith in West Qinling [J]. *Northwestern Geology*, 40(1): 35 ~ 41 (in Chinese with English abstract).
- Li Yongjun, Yang Junquan, Wen Zhiliang, *et al.* 2005. The disintegration of granite bodies area of western Qinling : evidence from the isotopic dating ages [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 24(2): 114 ~ 120 (in Chinese with English abstract).
- Li Yongjun, Zhang Xiang, Hu Xiaolong, *et al.* 2008. The granitoid and its tectonic evolution in Tianshui Area [J]. *Northwestern Geology*, 41(1): 29 ~ 36 (in Chinese with English abstract).
- Maniar and Piccoli. 1987. Tectonic discrimination of Granitoid [J]. *Geological Society of American Bulletin*, 101 : 635 ~ 645.
- Pearce J A, Harris N B W and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *Journal of Petrology*, 25 : 956 ~ 983.
- Pei Xianzhi, Ding Saping, Hu Bo, *et al.* 2004. Analysis of the disintegration and tectonic setting of the " Liziyuan Group " in the Tianshui area, Western Qinling [J]. *Regional Geology of China*, 23(12): 1 202 ~ 1 208 (in Chinese with English abstract).
- Pei Xianzhi, Liu Zhanqing, Ding Saping, *et al.* 2007. 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*, 22(8): 818 ~ 827 (in Chinese with English abstract).
- Pitcher W S. 1987. Granites and yet more granites forty years on [J]. *Geologische Rundschau*, 76 : 51 ~ 79.
- Pognante U. 1991. Shoshonitic and ultrapotassic post-collisional dykes from northern Karakorum (Sinkiang, China) [J]. *Lithos*, 26(3/4): 305 ~ 316.
- Rottura A, Bargossi G M, Caggianelli A, *et al.* 1998. Origin and significance of the Permian high-*K*-alkaline magmatism in the central-eastern Southern Alps, Italy [J]. *Lithos*, 45(1 ~ 4): 329 ~ 348.
- Wang Zhonggang, Yu Xueyuan, Zhao Zhenhua, *et al.* 1989. *Geochemistry of Rare Earth Elements* [M]. Beijing : Science Press, 292 ~ 301 (in Chinese with English abstract).
- Wen Zhiliang. 1996. Discussion on crust tectonic evolution in the east area of Tianshui, North Qinling [J]. *Acta Geologica Gansu*, 5(2): 57 ~ 64 (in Chinese with English abstract).
- Wen Zhiliang, Bian Weiqiang, Xu Kehong, *et al.* 2005. Metallogenic belts and further prospecting in the southeast of Gansu province [J]. 41(4): 1 ~ 5 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Qinghui, Deng jinfu and Ma Daquan. 2002. Study Thinking and Method of Granitoid [M]. Beijing : Geological Publishing House, 21 ~ 52 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Guowei, Zhang Benren and Yuan Xuecheng. 2001. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamism [M]. Beijing : Science Press, 1 ~ 85 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Weiji, Meng Xianxun and Hu Jianmin. 1994. Tectonics Features and Orogenic Process in the Juncture Area of Qilian and North Qinling Orogenic Belt [M]. Xi'an : Northwest University Press (in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhenhua. 1997. Petrogeochemistry Theory of Rare Earth Elements [M]. Beijing : Science Press, 71 ~ 73 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

丁仁平, 裴先治, 李勇, 等. 2004. 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,23(12):1213~1214.
- 韩宝福.2007.后碰撞花岗岩类的多样性及其构造环境判别的复杂性[J].地学前缘,14(3):64~65.
- 何世平,王洪亮,徐学义,等.2007.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].岩石矿物学杂志,26(4):295~310.
- 霍福臣,李永军.1995.西秦岭造山带的建设与地质演化[M].西安:西北大学出版社,14(3):65~66.
- 李献华,周汉文,刘颖,等.2000.粤西阳春中生代钾玄质侵入岩及其构造意义:Ⅰ.岩石学和同位素年代学[J].地球化学,29(6):513~520.
- 李永军,辜平阳,刘静,等.2007.西秦岭党川花岗岩基的地球化学特征[J].西北地质,40(1):35~41.
- 李永军,杨俊泉,温志亮,等.2005.西秦岭党川地区花岗岩的解体及同位素年龄证据[J].矿物岩石地球化学通报,24(2):114~120.
- 李永军,张翔,胡晓隆,等.2008.天水地区花岗岩类及其构造演化[J].西北地质,41(1):29~36.
- 裴先治,丁仁平,胡波,等.2004.西秦岭天水关子镇蛇绿岩的厘定及其地质意义[J].23(12):1202~1208.
- 裴先治,刘战庆,丁仁平,等.2007.甘肃天水地区百花岩杂岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义[J].地球科学进展,22(8):818~827.
- 王中刚,于学元,赵振华,等.1989.稀土元素地球化学[M].北京:科学出版社,26(4):295~310.
- 温志亮.1996.甘肃东南部地区地壳构造演化[J].甘肃地质学报,5(2):57~64.
- 温志亮,卞伟强,徐克红,等.2005.甘肃东南部地区成矿区带划分及找矿方向[J].地质与勘探,41(4):1~5.
- 肖庆辉,邓晋福,马大铨.2002.花岗岩研究思维与方法[M].北京:地质出版社,21~52.
- 张国伟,张本仁,袁学诚.2001.秦岭造山带与大陆动力学[M].北京:科学出版社,1~855.
- 张维吉,孟宪恂,胡健民.1994.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,186~195.
- 赵振华.1997.微量元素地球化学原理[M].北京:科学出版社,71~73.

中国宝玉石专著《中国岫岩玉》问世

改革开放三十年来中国宝玉石事业得到了很大发展,出版有一大批宝石和宝石学专业书刊杂志和书著。然而围绕中国特色宝石——玉石专题,结合矿物学、岩石学和考古学的综合研究,还是今后中国宝玉石学有待进一步开拓的新课题、新领域。

岫岩玉温润细腻,开发历史久远,在中国玉器与玉文化发展史上占有重要地位,2001年10月被中国宝玉石协会国石推荐评选委员会评定为中国十大“候选国石”之一。由北京大学王时麒教授等合著的《中国岫岩玉》一书,已于2007年4月由科学出版社出版。本书系统阐述了中国岫岩玉的区域地质背景、产出特征、物质组成、玉种命名、开发历史、玉雕工艺和产业发展等,全方位、多角度地展现了岫岩玉宏观微观世界的多姿多彩。全书共分七章,内容包括岫岩玉的物质组成与特性、颜色、透明度吸附性、质量评价、地质特征和成因,古代开发利用历史的考察与研究,产业状况与发展,玉雕精品欣赏等。

著者对岫岩玉古代开发利用的实地考察和研究表明,岫岩玉不仅开发利用早,而且延续时间长,传播地区和应用的范围也比较广,在中国玉文化历史长河中谱写了辉煌的篇章。本书第五章岫岩玉古代开发利用历史考察与研究有详尽的论述。

《中国岫岩玉》内容丰富,论据新颖,资料翔实,代表当今宝玉石学研究中的许多新成果、新观点和新趋势。计附插图(表)130幅,彩照269张,全书372000字,定价218.00元。