

天水坪道花岗岩体的地球化学特征及构造环境

李锁成¹, 李永军², 李金宝², 刘志武²

(1. 甘肃省地质矿产勘查开发局, 兰州 730000; 2. 长安大学地球科学与国土资源学院, 西安 710054)

[摘要] 坪道岩体由早期到晚期可分出斜长花岗岩→花岗闪长岩→黑云二长花岗岩→含斑黑云二长花岗岩→正长花岗岩共 5 期岩浆活动。岩体碱值为 0.49~0.62, ANKC 大于 1, 多见白云母, CIPW 计算中多见刚玉, 属钙碱性铝过饱和型。随 SiO₂ 增加, TiO₂, TeO, MgO, CaO, Na₂O 均逐渐缓慢减少, 而 Fe₂O₃, K₂O 剧增。岩石化学显示其源岩为上地壳杂砂岩类、碎屑岩类。岩体相对富集轻稀土, δEu 值为 0.35~0.7, 钕亏损强烈。岩体贫 Ba, Rb, Sr, Y, Cu, Zr, Ga, Ni; 富 Nb, Ta, Bi, Th, Cr, Sn, Mo, Hf, Sc, 异常富 Hf, Sn, Sc。构造地球化学信息显示岩体是大陆裂谷型花岗岩。

关键词 花岗岩; 地球化学特征; 构造环境; 坪道岩体; 天水; 甘肃

[中图分类号] P596 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2005)04-0033-05

〔作者简介〕 李锁成(1957-),男,甘肃兰州人,高级工程师,从事构造地质学与矿床学研究。

0 引言

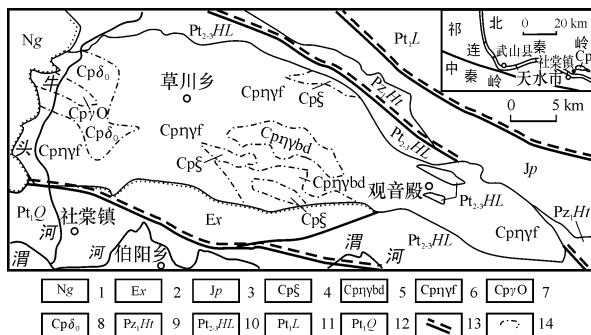
花岗岩类是岩石圈构造演化的特定产物, 岩体的就位机制记录了成岩作用过程中的区域构造应力场状态, 岩石地球化学信息记录了岩浆源岩的岩石化学特征和成岩构造环境, 因而具有重要的研究意义。天水坪道岩体所处构造位置独特, 对其研究有助于深刻认识这一地区石炭纪的地壳结构、应力场状态和构造环境。

1 区域地质概况及花岗岩岩石学特征

研究区位于祁连-北秦岭造山带结合部位^[1-5]。大致以渭河东西向大断裂为界,其北为祁连地块,其南为北秦岭地块。坪道岩体由数个侵入体组成,总体近东西向呈宽带状分布于牛头河-草川-观音殿一带,岩体侵入于早古生代红土堡火山岩及晚元古代葫芦河岩群中,西端被侏罗纪盘道石岩体吞侵,被新近系陆相地层覆盖(图1)。在坪道岩体中获得全岩 Rb-Sr 等时同位素年龄为 336 Ma,其时

代為早石炭世。

岩体主要由 5 类岩性组成(图 2)。根据野外观察各侵入体之间的相互关系,由早到晚期依次为灰白色细粒斜长花岗岩→浅肉红色细粒花岗闪长岩→灰白色细粒黑云二长花岗岩→灰白色中粒含斑黑云二长花岗岩→肉红色中细粒正长花岗岩,各



1 - 新近纪甘肃群红色砂砾岩; 2 - 古近纪小河水组流纹岩; 3 - 侏罗纪盘道石二长花岗岩; 4 - 坪道肉红色中细粒正长花岗岩; 5 - 坪道灰白色中粒含斑黑云二长花岗岩; 6 - 坪道灰白色细粒黑云二长花岗岩; 7 - 坪道浅肉红色细粒花岗岩闪长岩; 8 - 坪道灰白色中细粒斜长花岗岩; 9 - 下古生界红土堡基性火山岩; 10 - 中元古代葫芦河岩群黑云石英片岩、二云石英片岩、变质玄武岩岩群斜长角闪片岩、大理岩、片麻岩及钙硅酸岩; 11 - 早元古代陇山岩群斜长角闪片岩、大理岩、片麻岩及钙硅酸岩; 12 - 早元古代秦岭岩群富铝片麻岩及石墨大理岩; 13 - 区域性韧性剪切带; 14 - 坪道岩体内脉动关系

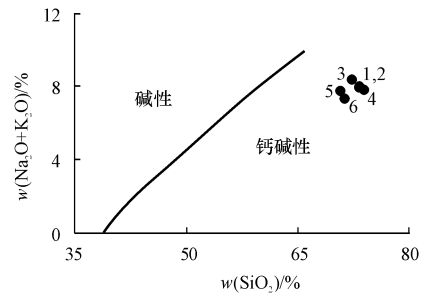
图 1 坪道岩体区域地质略图

Fig. 1 Sketch Regional Map of Pingdao Granite

因分类图解在 S 型区(图 5), 岩体由早到晚期, 随 SiO₂ 的增加, K₂O 相对增加而 Na₂O 相对减少, 由基性向碱性演化(图 6)。

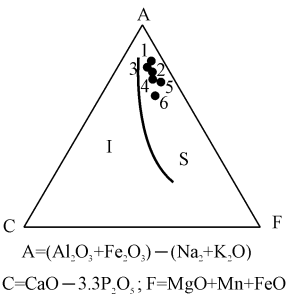
岩石化学显示岩体是较为典型的大陆花岗岩类(图 7)。各类岩石中均见白云母, 且 ANKC 大于

1, 为过铝质岩类, 在 CIPW 计算均有刚玉矿物出现, 因而其源岩是富铝质岩石, 在 A/MF - C/MF 源岩分类图解上位于杂砂岩类、碎屑岩类区(图 8), 因而推测是上地壳杂砂岩类、碎屑岩类局部熔融的产物。



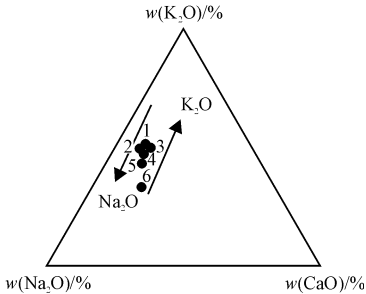
1 - 细粒正长花岗岩; 2 - 含斑二长花岗岩; 3 - 黑云二长花岗岩; 4, 5 - 细粒花岗闪长岩; 6 - 斜长花岗岩

图 4 (Na₂O + K₂O) - SiO₂ 图解^[8]
Fig. 4 (Na₂O + K₂O) - SiO₂ Diagram



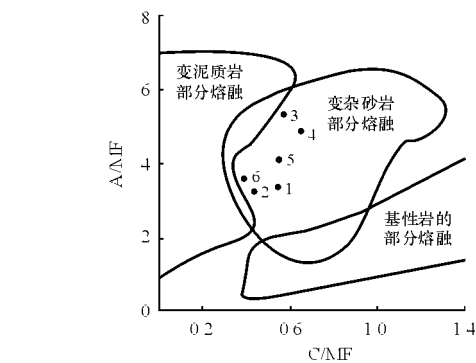
1 - 细粒正长花岗岩; 2 - 含斑二长花岗岩; 3 - 黑云二长花岗岩; 4, 5 - 细粒花岗闪长岩; 6 - 斜长花岗岩

图 5 ACF 图解^[6]
Fig. 5 ACF Diagram



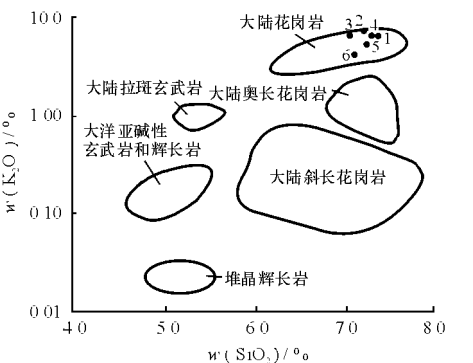
1 - 细粒正长花岗岩; 2 - 含斑二长花岗岩; 3 - 黑云二长花岗岩; 4, 5 - 细粒花岗闪长岩; 6 - 斜长花岗岩

图 6 Na₂O - K₂O - CaO 图解^[8]
Fig. 6 Na₂O - K₂O - CaO Diagram



1 - 细粒正长花岗岩; 2 - 含斑二长花岗岩; 3 - 黑云二长花岗岩; 4, 5 - 细粒花岗闪长岩; 6 - 斜长花岗岩

图 7 A/FM C/FM 图解^[10]
Fig. 7 A/FM C/FM Diagram



1 - 细粒正长花岗岩; 2 - 含斑二长花岗岩; 3 - 黑云二长花岗岩; 4, 5 - 细粒花岗闪长岩; 6 - 斜长花岗岩

图 8 K₂O SiO₂ 图解^[10]
Fig. 8 K₂O SiO₂ Diagram

3 微量元素特征

坪道岩体的微量元素特征如表 3。由表 3 看出, Ba, Rb, Sr, Y, Cu, Zr, Ga, Ni, Li 等元素低于维氏值; Co, Be, B, W 等元素接近维氏值; 而 Nb, Ta, Bi, Th, Cr, Sn, Mo, Hf, Sc 等元素则高于维氏值, 这些特征为一般大陆型花岗岩的基本特征。岩体中 Hf, Sc 等元素含量高(高出维氏值 2 个数量级), 与常见的大陆裂谷型花岗岩极为相似。

4 稀土元素特征

坪道岩体稀土元素参数见表 4。由表 4 看出, 岩

体轻稀土元素分馏度(La /Sm)_N 以大于 1 为主, 有相对富集轻稀土。重稀土元素分馏度(Gd /Yb)_N 为 1. 91 ~ 8. 34 平均大于 2, 明显高于一般壳型花岗岩^[12], 说明重稀土分馏程度明显偏低, 与华南壳幔型二长花岗岩相似^[12], 表明源岩有幔源物质信息。同样, 稀土配分曲线斜率(La /Yb)_N 比值多为 16 ~ 25, 最高达 68, 因而曲线为右陡倾式, 与长江中下游、太行山等地壳幔型花岗闪长岩、二长岩的(La /Yb)_N 比值接近^[12-14]。岩浆分异度 δEu 为 0. 35 ~ 0. 7, 钕亏损强烈, 显示出向右缓倾状“V”谷显著, 总体各岩性的稀土配分曲线相关性较好。6 号样品稀土配分曲线与其他各样有明显差异, 其原因是该样采自岩浆末次活动的正长岩脉, 因而重稀土异常富集(图 9)。

表 3 坪道岩体微量元素地球化学数据

Table 3 Trace Elements Content of Pingdao Granitoids											
序号	岩 性	Ba	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Th	Ga	Cu	Ni
1	细粒正长花岗岩	7.7	8.6	5.9	6.58	4.3	84.7	158	0.4	0.4	0.13
2	含斑二长花岗岩	6.7	5.7	6.1	9.81	2.6	15.4	209	1.0	2.0	0.05
3	黑云二长花岗岩	29.4	10.5	4.6	13.6	4.4	51.0	241	1.4	1.3	0.16
4	细粒花岗闪长岩	30.0	11.5	6.8	7.80	3.6	6.1	208	1.3	1.8	0.16
5	细粒花岗闪长岩	10.8	10.2	6.1	4.18	2.2	28.6	203	2.6	1.2	0.10
6	斜长花岗岩	4.1	10.8	6.7	17.6	3.7	48.6	127	0.3	0.6	0.07
维氏值 ^[11]		830	400	300	34	200	20	18	20	20	8
序号	岩 性	Cr	Hf	Sc	Ta	Co	W	Sn	Mo	Bi	
1	细粒正长花岗岩	320	775	3.1	28	7.9	1.7	130	3.4	21.6	
2	含斑二长花岗岩	89	280	2.5	25	12	2.3	75	2.5	20.0	
3	黑云二长花岗岩	200	870	2.5	20	3.8	2.6	160	4.1	30.8	
4	细粒花岗闪长岩	150	610	1.5	23	11	1.6	72	1.8	15.1	
5	细粒花岗闪长岩	150	480	2.6	28	10	2.8	130	3.8	17.8	
6	斜长花岗岩	310	970	3.5	28	11	1.3	190	5.3	20.5	
维氏值 ^[11]		25	1	0.05	3.5	5	1.5	3	1	0.01	

注: 样品由宜昌地质矿产研究所采用 ICP-MS 分析, 单位为 10⁻⁶

表 4 坪道岩体稀土元素地球化学数据

Table 4 REE Data of Pingdao Granitoids													
序号	岩 性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm
1	细粒正长花岗岩	38.4	56.3	4.67	19.3	2.71	0.62	2.59	0.40	1.75	0.26	0.63	0.1
2	含斑二长花岗岩	24.0	43.2	4.34	14.7	3.96	0.40	2.80	0.45	2.65	0.48	1.14	0.12
3	黑云二长花岗岩	33.4	71.1	5.32	24.9	4.51	0.72	3.24	0.49	3.42	0.57	1.75	0.24
4	细粒花岗闪长岩	21.1	36.4	4.02	11.9	2.93	0.44	1.78	0.3	1.95	0.41	1.24	0.11
5	细粒花岗闪长岩	27.6	44.9	3.82	17.4	3.62	0.64	2.79	0.33	1.38	0.19	0.34	0.05
6	斜长花岗岩	5.95	10.0	1.10	3.67	0.86	0.12	1.22	0.36	3.15	0.68	2.41	0.49
序号	岩 性	Yb	Lu	ΣCe	Σ _y	总量	ΣCe/Σ _y	δEu	δCe	(La/Yb) _N	(Gd/Yb) _N	(La/Sm) _N	
1	细粒正长花岗岩	0.56	0.08	122.0	12.95	134.9	9.42	0.706	0.859	46.230	3.73	8.91	
2	含斑二长花岗岩	0.65	0.08	90.6	18.2	108.8	4.98	0.350	0.95	24.89	3.48	3.81	
3	黑云二长花岗岩	1.37	0.16	139.9	24.8	164.8	5.63	0.550	1.17	16.44	1.91	4.66	
4	细粒花岗闪长岩	0.72	0.08	76.8	14.4	91.2	5.33	0.547	0.89	19.76	1.99	4.53	
5	细粒花岗闪长岩	0.27	0.04	97.9	9.6	107.5	10.24	0.594	0.92	68.92	8.34	4.80	
6	斜长花岗岩	3.80	0.50	21.7	30.2	51.9	0.72	0.358	0.88	1.06	0.26	4.35	

注: 样品由宜昌地质矿产研究所采用 ICP-MS 分析, 单位为 10⁻⁶

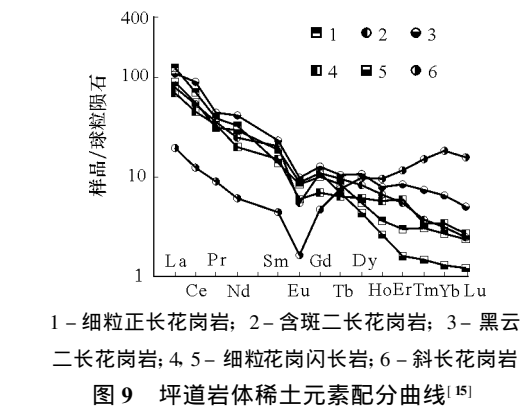
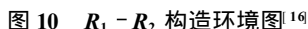


Fig. 9 REE Distribution Patterns for Pingdao Granite
©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

5 构造环境探讨

岩体形成的构造环境, 在 $R_1 - R_2$ 构造环境图解上位于造山同碰撞期(图 10), 在大离子亲石元素蛛网图上, 配分曲线总体与板内花岗岩相似(图 11)。在 Nb - Y 图解上位于同碰撞和板内花岗岩区(图 12)。

结合上述各类图解综合分析, 该岩体为与深大断裂密切相关的大陆裂谷型花岗岩。



1 - 细粒正长花岗岩; 2 - 含斑二长花岗岩; 3 - 黑云
二长花岗岩; 4, 5 - 细粒花岗闪长岩; 6 - 斜长花岗岩

Fig. 11 Distribution Model Map of Large Ion Liphophite Element

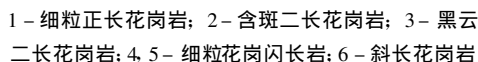


Fig. 12 Nb - Y Diagram

- [1] 张二朋, 牛道锡, 霍有光, 等. 1 : 100万秦岭一大巴山及邻区地质图及说明书[M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- [2] 张维吉, 孟宽恂, 胡建民, 等. 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.
- [3] 霍福臣, 李永军. 西秦岭造山带的建造与地质演化[M]. 西安: 西北大学出版社, 1996.
- [4] Huo Fuchen, Li Yongjun. Geological evolution of the West Qinling orogenic Belt[J]. Acta geological Gansu, 1996(5): 1 - 24.
- [5] Li Yongjun, Huo Fuchen. Tectonic genetic types of the intrusive rocks in the cistern part of West Qinling[J]. Acta geological Gansu, 1996(5): 1, 47 - 66.
- [6] 高秉章, 洪大为, 郑基俭, 等. 花岗岩类区 1 : 5 万区域地质填图方法指南[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991.
- [7] De La Roche, H Leteeier, J Grande Claude. A classification of volcanic and plutonic rocks using R_1 R_2 diagrams and major element analyses its relationships and current nomenclature[J]. Chem Geol, 1980, 29: 183 - 210.
- [8] Irvine, Baragar. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks[J]. Can. Journal Earth Sci, 1971, 8: 532 - 548.
- [9] Collins W J. Nature and origin of A type granites with particular reference to Southeastern Australia[J]. Contrib Petro, 1982, 80: 189 - 200.
- [10] 肖庆辉, 邓晋福, 马大全, 等. 花岗岩研究与思维方法[M]. 北京: 地质出版社, 2002.
- [11] 武汉地质学院. 地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1979.
- [12] 赵振华. 微量元素地球化学原理[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [13] 刘英俊, 曹励明. 元素地球化学导论[M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- [14] 王中刚, 于学元, 赵振华. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [15] P 亨德森. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [16] Barban B. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments[J]. Lithos, 1999, 46: 605 - 626.
- [17] Pearce A J. Trace element discrimination diagram for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. Journal of petrology, 1984, 25(4): 956 - 983.
- [18] Alther R, Hegner E, Langer C, et al. Highpotassium, calcalkaline I type plutonism in the European Variscides; northern Vosges France and northern Schwarzwald Germany[J]. Lithos, 2000, 50: 51 - 73.
- [19] 李永军, 赵红夫, 李注苍, 等. 岩浆混合花岗岩微量元素成因图解尝试——以西秦岭温泉岩体为例[J]. 长安大学学报: 地球科学版, 2003, 25(3): 7 - 11.
- [20] 李永军, 李注苍, 丁仁平, 等. 西秦岭温泉花岗岩体岩石学特征及岩浆混合标志[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(3): 7 - 12.

(下转第 57 页)

Crystal Field Potential Energy and Minute Interference Matrix Element Calculation on 6 Coordinated Cu^{2+} in Mineral with Symmetric Center

HAN Zhao xin, ZHANG Jin gang, LUAN Li jun

(School of Earth Sciences and Resources Management, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: For the ion model crystals or the crystals in which the ionic bond is dominant, the optic and magnetic features can be interpreted by the crystal field theory. Through the calculation of crystal field minute interference matrix element, the position of crystal field spectra can be defined mensurably. Although some calculation results have been given in literatures, but the lack of the matrix element calculation procedure is not beneficial for the calculation in any circumstances. This paper deduces the crystal field potential operator on the mineral which has center of symmetry, calculates the integrated value, and gets the matrix element formula expressed by modulus of $A_{\lambda\kappa}$, r^2 and r^4 . On the basis of the structure data of turquoise, this paper calculates the modulus $A_{\lambda\kappa}$ of crystal field minute interference matrix element of Cu^{2+} and calculate the other matrix elements. Through diagonal manipulation of symmetry matrix, as the result, the authors get the d orbit energy and the position of crystal field spectra of Cu^{2+} in turquoise. Compared with the experiment datas, they are consistent. Therefore, combined with the experiment datas, this method can illustrate the color forming mechanism of ion crystal.

Key words: crystal field; potential operator; matrix element calculation; d trajectory energy

[英文审定: 杨家喜]

(上接第 37 页)

Geochemical Features and Tectonic Setting of Pingdao Granite in Tianshui Region of Gansu Province

LI Suo cheng¹, LI Yong jun², LI Jin bao², LIU Zhi wu²

(1. Geological Survey of Gansu Province, Lanzhou 730000, China; 2. School of Earth Sciences and Resources Management, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: Five successive stages of magmatism in the Pingdao granite could be recognized, they are plagiogranite, granodiorite, biotite adamellite, porphyroic biotite adamellite and syeogranite. The granite, with $\text{NK/A} = 0.49 \sim 0.62$, $\text{ANK} > 1.1$, rich muscovite, and corundum when calculated by CIPW, belongs to the aluminium supersaturation and calc alkali series. The TiO_2 , FeO , MgO , CaO , and Na_2O decrease increasingly but the Fe_2O_3 and K_2O increase strongly with the SiO_2 increasing. Petrochemistry study indicates that the source rocks of the Pingdao granite are graywacke and fragmental rocks and they are rich the LREE, with $\delta\text{Eu} = 0.35 \sim 0.7$ and intense Eu depletion. Meanwhile, they are poor in Ba, Rb, Sr, Y, Cu, Zr, Ga and Nb, but rich in Nb, Ta, Bi, Th, Cr, Sn, Mo, Hf and Sc, and especially rich in Hf, Sn and Sc. The information of the tectonic geochemistry displays that the Pingdao granite is a intraplate rift type.

Key words: granite; geochemical features; tectonic setting; Pingdao granite; Tianshui; Gansu Province

[英文审定: 苏生瑞]