

甘肃北山红石山地区马鞍山北花岗岩体的 单颗粒锆石 U-Pb 年龄及地质意义

刘明强¹, 王建军¹, 代文军²

(1. 甘肃省地质调查院, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃省地矿局 第三地质矿产勘查院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 在 1:5 万红岭等 3 幅区域地质调查中, 岩体的 AR、NK/A、A/CNK、 δEu 值等岩石化学和地球化学特征值表明, 马鞍山北岩体属钙碱性系列与高钾钙碱性系列过渡的偏铝质到弱过铝质花岗岩类, 具有高锆花岗岩的特点。通过高精度的单颗粒锆石 U-Pb 同位素测年, 获得 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄统计权重平均值为 237.8 ± 4.3 Ma。这一同位素年龄的获得, 说明本区三叠纪应为后造山环境。

关键词: 甘肃北山; 红石山地区; 花岗岩; 单颗粒锆石 U-Pb 年龄; 印支期

中图分类号: P588.12⁺1; P597⁺.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2006)06-0473-07

The U-Pb age of single-grained zircon from Maanshanbei granite in Hongshishan area of the Beishan orogenic belt, Gansu Province

LIU Ming-qiang¹, WANG Jian-jun¹ and DAI Wen-jun²

(1. Gansu Institute of Geological Survey, Lanzhou 730000, China; 2. No. 3 Institute of Geology and Mineral Exploration, Gansu Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Lanzhou 730050, China)

Abstract: In the process of 1:50 000 geological survey for Hongling and two other sheets in Hongshishan area of the Beishan orogenic belt, the authors studied AR, NK/A, A/CNK and δEu values of Maanshanbei granite in the Beishan orogenic belt. Petrochemical and geochemical features all indicate that Maanshanbei granite is of the peraluminium to weakly peraluminium type in the transitional zone of calc-alkaline and K-high calc-alkaline series, with characteristics of the Sr-high granite. U-Pb dating of zircon from Maanshanbei granite-diorite yielded an average weighted $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age of (237.8 ± 4.3) Ma. This isotope age of Maanshanbei granite-diorite is of great significance in studying the tectonic evolution of Hongshishan area in the Beishan orogenic belt, Gansu Province.

Key words: Beishan of Gansu; Hongshishan area; granite; U-Pb dating of single-grained zircon; Indo-Chinese epoch

北山西邻东天山,东接阿拉善,以阿尔金和星星峡两大走滑断裂为界,位于一个巨大的构造楔形区,构造形迹极其复杂,其大地构造的归属一直有争议(邓自华,1965;刘雪亚,1984;左国朝等,1990;张新虎等,1993;江思宏等,2003)。近年来,一种观点以

柳园-大奇山和红石山-黑鹰山-六驼山南北两条深大断裂为界,将北山从南到北依次划分为塔里木板块、哈萨克斯坦板块和西伯利亚板块(张新虎等,1993;刘雪亚等,1995);另一种观点则以红石山-黑鹰山-六驼山蛇绿混杂岩带为界,将北山造山带从南

收稿日期:2005-07-05;修订日期:2006-07-06

基金项目:中国地质调查局区调项目(200113000057)

作者简介:刘明强(1967-),男,高级工程师,从事区域地质调查工作,E-mail:lmq1967@126.com。

向北划分为塔里木板块和哈萨克斯坦板块(何世平等 2002; 龚全胜等 2002)(图 1)。由于北山造山带所处的特殊大地构造位置,地质构造十分复杂,在漫长的地质演化历史进程中,发育大规模的构造-岩浆活动,并形成壮观的构造-岩浆岩带。早期研究认为,本区大规模的构造-岩浆活动集中在中-晚元古代至晚古生代,主要是海西期,而中生代印支期的构造-岩浆活动对本区影响甚微(邓自华,1965;左国朝等,1990;张新虎等,1993;刘雪亚等,1995)。研究区

内发育大规模的中酸性侵入岩体,呈岩基、岩株产出,这些岩浆岩多为岛弧钙碱性系列。原 1:20 万明水幅区域地质调查研究认为,该区花岗岩均为华力西期岩体,对其成因并未讨论,并且没有同位素年龄资料的佐证。笔者在 1:5 万红岭等 3 幅区域地质调查中研究发现,研究区内大面积分布的花岗岩体并非只形成于华力西期,还有印支期花岗岩体存在,这一发现,不仅对于区域成矿作用的认识,而且对于重塑本区的区域构造演化格架均具有十分重要的意义。

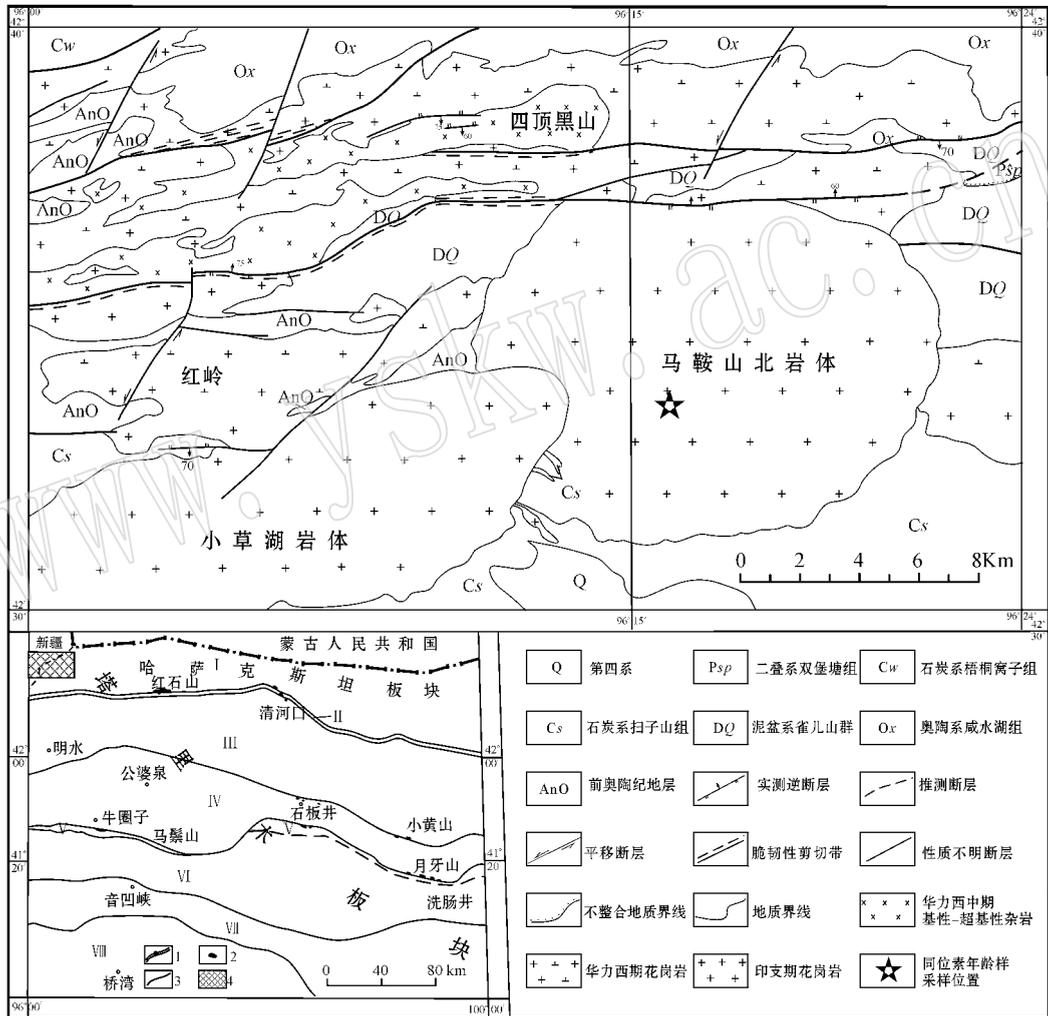


图 1 红石山地区地质构造简图(大地构造位置图据龚全胜等(2002)简化)

Fig. 1 Geological and structural sketch map of Hongshishan area (simplified from Gong Quansheng *et al.*, 2002)

- 1—红石山缝合带 2—蛇绿混杂岩 3—深大断裂 4—研究区位置; I—野马泉-雀儿山古生代岩浆弧; II—红石山晚古生代蛇绿构造混杂岩带; III—白山-狼娃山晚古生代岩浆弧; IV—马鬃山早古生代岩浆弧; V—牛圈子-洗肠井早古生代弧后盆地; VI—双鹰山早古生代被动陆缘; VII—红柳园古生代裂谷; VIII—敦煌地块
- 1—Hongshishan suture zone; 2—ophiolitic mélange; 3—fault; 4—study area; I—Palaeozoic Yemaquan-Que'ershan magma arc; II—Late Palaeozoic Hongshishan ophiolitic mélange; III—Late Palaeozoic Baishan-Langwashan magma arc; IV—Early Palaeozoic Mazongshan magma arc; V—Early Palaeozoic Niuquanzi-Xichangjing back-arc basin; VI—Early Palaeozoic Shuangyingshan passive continental margin; VII—Palaeozoic Hongliuyuan rift; VIII—Dunhuang massif

1 区域地质特征

研究区大地构造位置处于哈萨克斯坦板块东端南缘,位于红石山缝合带北侧(图 1),属野马泉-雀儿山岛弧带,主要由零星出露的前奥陶纪地层(刘明强等, 2004)、奥陶纪咸水湖组、泥盆纪雀儿山群、石炭纪扫子山组、二叠纪双堡塘组、第四纪及华力西期、印支期中酸性侵入岩组成。前奥陶纪地层为变质程度达低角闪岩相-高绿片岩相的碎屑岩-火山岩建造,雀儿山群、扫子山组为岛弧型火山岩^①。早二叠世双堡塘组为断陷盆地碎屑岩沉积。

区内侵入岩按时代可分为华力西中期基性-超基性岩体、华力西中晚期花岗岩、印支期花岗岩。

基性-超基性岩呈近东西向沿四顶黑山断裂侵入,岩石类型有辉长岩、单辉橄岩、单辉辉石岩等,属拉张环境下底辟式上侵的岩体,在辉长岩中获得 Sm-Nd 全岩等时线年龄为 $327 \pm 9 \text{ Ma}$ ^①。华力西中晚期花岗岩呈带状、不规则状分布于研究区北部,主要岩性为闪长岩、石英闪长岩、英云闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、钾长花岗岩,侵入于基性-超基性岩体中,又被印支期岩体侵入。

印支期花岗岩可分为马鞍山北岩体、小草湖岩体。马鞍山北岩体位于研究区中部,呈圆形岩基产出,岩石类型有石英闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩等。平面上呈近同心圆状套叠式展布,从边部到中心具有从偏基性到偏酸性的演化趋势,表现为同

源岩浆演化的特征;花岗闪长岩呈不连续的环状分布于岩基边部,中心为中细粒二长花岗岩。岩体内部含有一些捕虏体及暗色微粒包体,面积较大的地层捕虏体中保存有原生层理。小草湖岩体位于研究区西南部,岩性为花岗岩闪长岩、二长花岗岩,侵入于华力西中晚期花岗岩体和马鞍山北岩体中。

2 锆石 U-Pb 同位素分析

样品采自远离脉体和裂隙的新鲜的斑状角闪黑云花岗闪长岩。岩石为似斑状结构,基质为中粒半自形粒状结构,斑晶为中奥长石和钾长石。岩石由中奥长石(43%)、钾长石(15%)、石英(25%)、黑云母(>10%)、普通角闪石(>5%)及少量磁铁矿、磷灰石、榍石组成。斜长石半自形, $An = 33$, 钾长石和石英均为它形,填充于斜长石间隙,局部见包嵌角闪石、黑云母现象,角闪石为自形、半自形粒柱状,与具环带构造的中长石共生。样品中分选出的锆石多为长柱状,也有短柱状,大小不一。测年锆石为浅黄色或淡黄色透明状。锆石在 0.25 mL 容积的氟塑料容器内溶解,使用 ^{205}Pb - ^{235}U 混合稀释剂,将铀和铅用硅胶-磷酸溶剂加在同一单抹带灯丝上,在 VG354 型质谱仪上用高灵敏度 Daly 检测器进行铀铅同位素测定。锆石 U-Pb 法同位素测年工作由国土资源部天津地质矿产研究所完成,测试精度李惠民等(1998)已做了报道,分析结果和锆石 U-Pb 谐和图分别见表 1 和图 2。分析结果表明,1~4 号数据点均

表 1 马鞍山北岩体锆石 U-Pb 同位素分析结果

Table 1 U-Pb data of zircons from Maanshan northern pluton

点号	样品情况		U	Pb	样品中普通铅含量 /ng	同位素原子比率				表面年龄/Ma			
	锆石特征	质量 /μg				$w_B/10^{-6}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$
1	浅黄色透明中长柱状	10	1 561	87	0.140	202	0.273 9	0.037 78 <13>	0.265 0 <138>	0.050 86 <250>	239.1	238.7	234.6
2	浅黄色透明中长柱状	10	1 025	62	0.120	149	0.258 8	0.037 69 <19>	0.264 6 <226>	0.050 92 <410>	238.5	238.4	237.3
3	浅黄色透明短柱状	10	1 049	62	0.120	160	0.279 3	0.037 23 <20>	0.258 0 <212>	0.050 25 <390>	235.7	233.0	206.5
4	淡黄色透明细长柱状	10	1 154	56	0.075	247	0.283 1	0.034 41 <24>	0.228 9 <266>	0.048 25 <531>	218.1	209.3	111.3

注: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 已对实验空白 ($\text{Pb}=0.050 \text{ ng}$, $\text{U}=0.002 \text{ ng}$) 及稀释剂做了校正,其他比率中的铅同位素均为放射成因铅同位素,括号内的数字为 2σ 绝对误差,例如 $0.037 78 < 13 >$ 表示 $0.037 78 \pm 0.000 13 (2\sigma)$ 。

① 甘肃省地质调查院. 2004. 红岭幅、阿勒腾闹尔梗兑乌勒幅、双沟山幅 1/5 万区域地质调查报告.

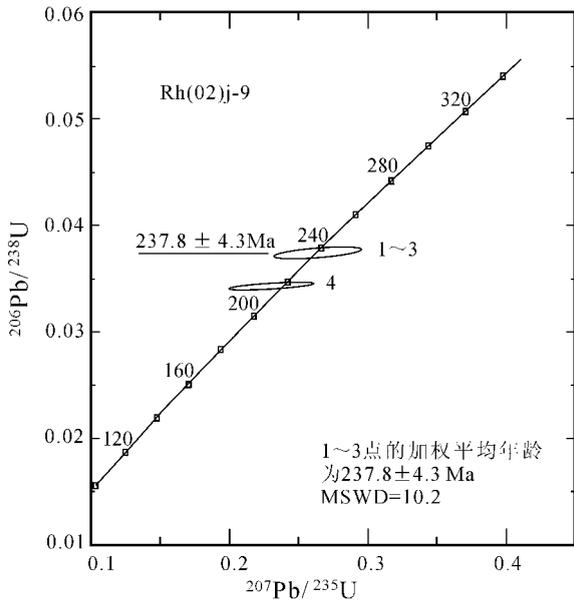


图 2 单颗粒锆石 U-Pb 年龄的谐和图

Fig. 2 Single-grained zircon U-Pb concordia diagrams

位于谐和线上,分别获得 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄值为 239.1、238.5、235.7 和 218.1 Ma。1~3 号点表面年龄统计权重平均值为 237.8 ± 4.3 Ma,这一结果可作为锆石的结晶近似年龄,可代表该岩体的形成年龄。

3 岩体的岩石化学和地球化学特征

岩石化学和地球化学分析结果见表 2。

岩石化学特征反映里特曼组合指数为 1.77~2.49,在硅碱图(图 3)上,该岩体的成分点均在 Irvine

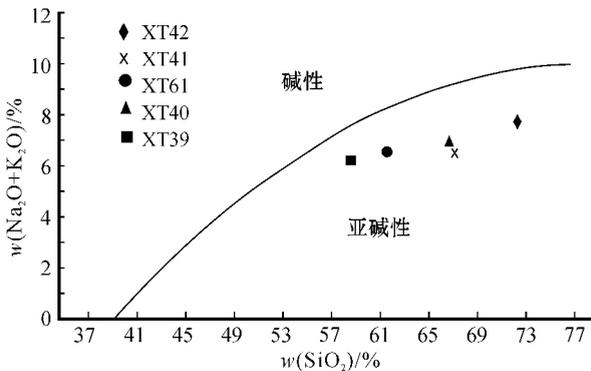


图 3 马鞍山北花岗岩 $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$ 图解

Fig. 3 $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ versus SiO_2 diagram of Maanshan northern granites

和 Baragat(1971)划定的亚碱性系列中,在硅钾图解(图 4)中,岩体成分点落入 Rickwood(1989)划分的高钾钙碱性系列与钙碱性系列之间的过渡区域。铝饱和指数值为 0.81~1.03,岩石为偏铝质到弱过铝质类型。总体来看马鞍山北花岗岩的主元素以高铝($\text{Al}_2\text{O}_3 = 13.9 \sim 16.61\%$,平均 15.62%)相对富钠($\text{Na}_2\text{O} = 3.86\% \sim 4.39\%$)和高 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值(平均为 1.75)为特征(表 2)。稀土元素配分曲线(图 5)为一簇右倾平滑的曲线,除样品 XT42 外,钕负异常不明显,属轻稀土元素富集型,重稀土元素强烈亏损($\text{Yb} = 0.67 \times 10^{-6} \sim 1.61 \times 10^{-6}$,平均 1.17×10^{-6})。轻重稀土元素强烈分馏($(\text{La}/\text{Yb})_N = 9.77 \sim 23.24$)。高铈($320 \times 10^{-6} \sim 679 \times 10^{-6}$,平均 575×10^{-6})。微量元素蛛网图(图 6)上显示大离子亲石元素富集,高场强元素亏损。马鞍山北岩体具有高锆花岗岩的特点(刘红涛等 2002)。

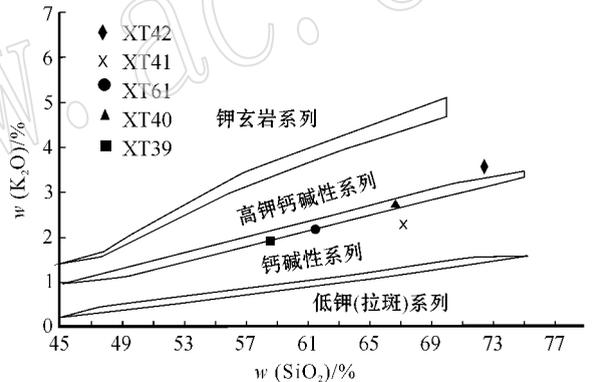


图 4 马鞍山北花岗岩 $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ 图解

Fig. 4 K_2O versus SiO_2 diagram of Maanshan northern granites

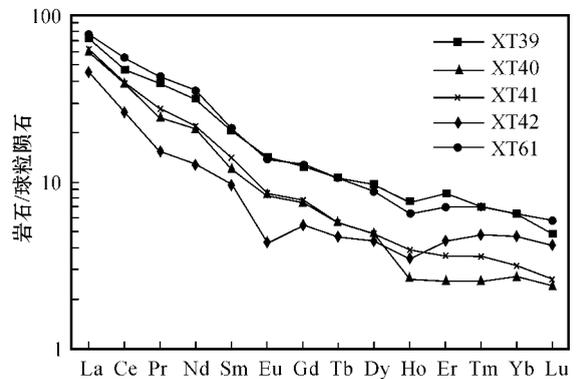


图 5 马鞍山北岩体稀土元素配分曲线图(球粒陨石值据 Masuda 等,1973)

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of Maanshan northern pluton (chondrite value after Masuda *et al.*, 1973)

表 2 红石山地区马鞍山北岩体的主要元素($w_B/\%$)、微量元素和稀土元素($w_B/10^{-6}$)分析数据
Table 2 Whole-rock analyses of major($w_B/\%$), trace and REE($w_B/10^{-6}$) in granites of Maanshanbei pluton of Hongshishan area

岩性	样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O	CO ₂	Σ	σ	SI	AR	NK/A	A/CNK
二长花岗岩	XT-42	72.32	0.23	13.9	0.05	1.85	0.46	0.46	1.66	3.86	3.86	0.06	1.02	0.09	99.82	2.03	4.56	2.97	0.56	1.03
斑状角闪黑云 花岗闪长岩	XT-41	67.1	0.56	15.51	0.71	2.53	0.57	1.29	3.5	4.28	2.25	0.14	0.47	0.14	99.05	1.77	11.66	2.05	0.42	0.98
	XT-61	61.5	0.76	16.61	1.45	3.59	0.09	2.61	5.24	4.39	2.15	0.28	0.88	0.11	99.66	2.31	18.39	1.85	0.39	0.87
	XT-40	66.72	0.46	15.49	0.93	2.47	0.06	1.34	4.01	4.22	2.68	0.17	0.99	0.36	99.9	2.01	11.51	2.1	0.45	0.9
石英闪长岩	XT-39	58.52	0.89	16.59	1.54	4.42	0.11	3.4	6.29	4.3	1.92	0.28	1.02	0.28	99.56	2.49	21.82	1.75	0.37	0.81
岩性	样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	LREE/HREE	δEu	$(La/Sm)_N$	$(La/Yb)_N$
二长花岗岩	XT-42	17.1	26	2.13	9.17	2.23	0.37	1.74	0.28	1.75	0.31	1.15	0.19	1.18	0.16	9.92	6.14	0.555	9.77	4.82
斑状角闪黑云 花岗闪长岩	XT-41	23.7	38.1	3.84	15.8	3.28	0.73	2.42	0.34	1.9	0.35	0.92	0.14	0.78	0.1	8.68	3.65	0.759	20.49	4.55
	XT-61	29.5	53.8	5.96	25.7	4.81	1.19	3.97	0.62	3.44	0.57	1.83	0.28	1.6	0.23	14.7	1.66	0.810	12.43	3.86
	XT-40	23.1	38.9	3.36	15.1	2.74	0.72	2.32	0.34	1.91	0.23	0.65	0.1	0.67	0.093	7.36	3.18	0.851	23.24	5.30
石英闪长岩	XT-39	27.3	45.9	5.36	22.4	4.7	1.23	3.88	0.62	3.83	0.67	2.18	0.28	1.61	0.19	16	1.96	0.856	11.43	3.65
岩性	样号	Cr	Ni	Co	V	Sn	W	K	Rb	Cs	Ba	Sr	Li	Ta	Nb	Hf	Zr	Ti	Th	U
二长花岗岩	XT-42	2.8	13.4	4.1	16.2	0.7	0.51	17848	144	8.1	578	320	43.8	0.87	7.2	2.35	60.1	3 117	10.5	2
斑状角闪黑云 花岗闪长岩	XT-41	38.1	39.8	14.4	61.2	0.42	0.51	9297	59.2	6.7	536	622	32.3	0.61	5.04	3.29	104	7 194	7.66	2
	XT-61	25.6	33.4	11	91.6	0.45	0.69	15025	63	6.2	506	679	23.1	1	9.5	5.7	212	2 638	6.95	2.33
	XT-40	15.2	4.7	9.9	65.9	0.56	0.51	1079	64.5	5.9	658	583	24.2	0.5	5.1	3.31	112	2 098	4.78	2
石英闪长岩	XT-39	17.1	32.3	16.6	118	0.7	0.51	18927	57.7	5.9	401	669	21.8	0.5	6.91	4.16	142	3 777	5.74	1.33

样品均由宜昌地质矿产研究所岩矿测试中心分析,常量元素采用原子吸收光谱法,其中全铁用原子吸收光谱法,FeO用容量法;微量元素和稀土元素用原子吸收光谱法和电感耦合等离子体发射光谱法分析。

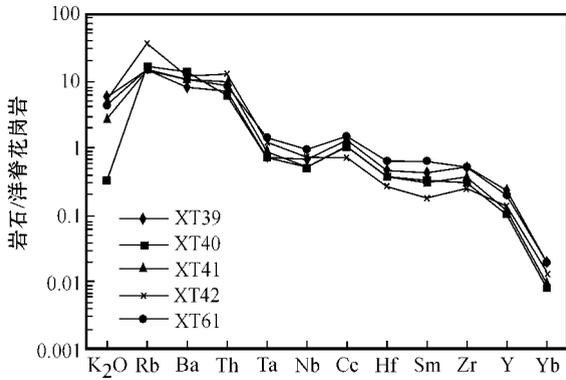


图 6 马鞍山北岩体微量元素蛛网图(洋脊花岗岩值据 Pearce, 1982)

Fig. 6 Trace element spider diagram of Maanshan northern pluton (MORB value after Pearce, 1982)

马鞍山北花岗岩体中含有大量的暗色微粒包体,包体岩性为细粒角闪黑云闪长岩、黑云石英闪长玢岩,多呈圆形、椭圆形,边界与寄主岩呈截然关系,包体中暗色矿物含量高且粒度细小,属深源包体。微粒包体的发育暗示曾发生过壳幔作用或幔源岩浆的混合作用。二长花岗岩的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = 4.09$, 表现出高的正 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值(刘明强等, 2005)。

4 讨论与结论

前人曾根据岩体与地层之间的相互穿插关系将马鞍山北岩体的时代定为海西期,然而缺少准确的测年数据,显然证据不足。本文获得的斑状角闪黑云花岗闪长岩的单颗粒锆石 U-Pb 同位素年龄值为 $237.8 \pm 4.3 \text{ Ma}$, 说明了该区印支期花岗岩的存在。

马鞍山北花岗岩具高铝、相对富钠和高 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值、不发育明显的负钕异常和轻重稀土元素强烈分馏、高铽的特征,具有高铽花岗岩的特征,属壳幔混合型花岗岩。在区域地球动力学演化过程中,碰撞后阶段通常伴随着地壳加厚、区域隆升、伸展垮塌、下部岩石圈拆沉及软流圈地幔强烈上涌等一系列浅部及深部事件的发生(Bird, 1978, 1979; Sacks and Sacor, 1990; Key and Kay, 1993; 邓晋福等, 1994, 1996), 是造山旋回中壳幔相互作用最强烈的一段时期。这一时期加厚陆壳下部(山根)(邓晋福等, 1994, 1996)的岩石在高温高压下发生深变质作用和脱水不一致熔融, 转变为高压麻粒岩和/或榴辉岩, 这些残留固相因密度倒转而拆沉进入地幔, 生成的亏损重稀土元素、无明显负钕异常的花岗质岩

浆上侵形成高铽花岗岩(刘红涛等, 2002)。另外, 古亚洲洋大约在 1 000 Ma 前开始张开, 在 700~600 Ma 大规模扩张, 在经历过若干微陆块之间、微陆块与南北大陆之间的碰撞之后, 直至晚泥盆世—早石炭世最终封闭(Dobretsov *et al.*, 1995; Khain *et al.*, 2002)。而晚泥盆世—早石炭世的碰撞事件及其后引发的大规模拉伸体制, 则可能为地幔来源物质的底侵作用、碰撞后的拆沉作用提供了有利的条件, 导致由先存洋壳转化成的年轻下地壳发生部分熔融, 形成大面积的晚古生代—中生代正 ϵ_{Nd} 值花岗岩(洪大卫等, 2000, 2003)。

高精度的单颗粒锆石 U-Pb 同位素测试结果说明马鞍山北岩体形成于碰撞后阶段, 在该花岗岩形成时, 古亚洲洋已经在本区消失, 与俯冲成因并无关系, 它的形成体制上与伸展体制有关, 物质来源与近期 (<1 000 Ma) 的地幔演化相关(吴福元等, 1997)。从古亚洲构造域构造演化角度来看, 马鞍山北花岗岩形成的背景可能是古亚洲构造域的造山后伸展作用。

References

- Bird P. 1978. Initiation of intracontinental subduction in the Hi-malayas [J]. *Journal of Geophysical Research*, 83(B 10): 4 975~4 987.
- Bird P. 1979. Continental delamination and the Colorado Plateau [J]. *Journal of Geophysical Research*, 84(B 13): 7 561~7 571.
- Deng Jinfu, Mo Xuanxue, Zhao Hailing, *et al.* 1994. Lithospheric root/de-rooting and activation [J]. *Journal of Graduate School, China University of Geosciences*, 8(3): 350~356 (in Chinese with English abstract).
- Deng Jinfu, Zhao Hailing, Mo Xuanxue, *et al.* 1996. Continental Roots-Plume Tectonics of China—Key to the Continental Dynamics [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~110 (in Chinese).
- Deng Zihua. 1965. Preliminary discussion on the tectonics of the Beishan region and which tectonic unit it belongs to [J]. *Geological Review*, 23(3): 172~180 (in Chinese).
- Dobretsov N L, Berzin N A and Buslov M M. 1995. Opening and tectonic evolution of the Paleo-Asian ocean [J]. *International Geol. Rev.* 37: 335~360.
- Gong Quansheng, Liu Mingqiang, Li Hailin, *et al.* 2002. The type and basic characteristics of Beishan orogenic belt, Gansu [J]. *Northwestern Geology*, 35(3): 28~34 (in Chinese with English abstract).
- He Shiping, Ren Binchen, Yao Wenguang, *et al.* 2002. The division of tectonic units of Beishan area, Gansu-Inner Mongolia [J]. *Northwestern Geology*, 35(4): 30~40 (in Chinese with English abstract).
- Hong Dawei, Wang Shiguang, Xie Xilin *et al.* 2000. Genesis of positive ϵ_{Nd} granitoids in the Da Hinggan Mts-Mongolia orogenic belt and

- continental crustal growth[J]. *Earth Science Frontiers* , 7 : 441~456 (in Chinese with English abstracts).
- Hong Dawei , Wang Shiguang , Xie Xilin , *et al.* 2003. Correlation between continental crustal growth and the supercontinental cycle : Evidence from the granites with positive $\epsilon Nd(t)$ in the Central Asian orogenic Belt[J]. *Acta Geologica Sinica* , 77(2) : 203~209(in Chinese with English abstracts).
- Irvine T N and Baragar W R A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks[J]. *Can. J. Earth Sci.* , 8 : 523~548.
- Jiang Sihong , Nie Fengjun , Chen Wen , *et al.* 2003. The determination of the emplacement age of granite in Mingshui , Beishan area , and its implication[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica* , 22(2) : 107~111 (in Chinese with English abstract).
- Key R W and Kay S M. 1993. Delamination and delamination magmatism[J]. *Tectonophysics* , 219(1-3) : 177~189.
- Khain E V , Bibikova E V , Kroner A , *et al.* 2002. The most ancient ophiolite of the Central Asian fold belt : U-Pb and Pb-Pb zircon ages for the Dunzhugur Complex , Eastern Sayan , Siberia , and geodynamic implications[J]. *Earth Planet. Sci. Lett.* , 199 : 311~325.
- Liu Hongtao , Zhai Mingguo , Liu Jianming , *et al.* 2002. The Mesozoic granitoids in the northern marginal region of North China Craton : evolution from post-collisional to anorogenic settings[J]. *Acta Petrologica Sinica* , 18(4) : 433~448(in Chinese with English abstract).
- Liu Mingqiang , Gong Quansheng , Dai Wenjun , *et al.* 2004. Discovery and geological significance of pre-ordovician layer on the hongshishan northern in the Beishan orogenic belt , gansu[J]. *Geological Bulletin of China* , 23(11) : 160~161(in Chinese).
- Liu Mingqiang , Wang Jianjun , Dai Wenjun , *et al.* 2005. Genesis and geological significance of positive $\epsilon Nd(t)$ granitoids in the Hongshishan area in the Beishan orogenic belt , Gansu , China[J]. *Geological Bulletin of China* , 24(9) : 831~836(in Chinese with English abstract).
- Liu Xueya. 1984. Magmatism of calc-alkaline series in the Beishan region of Gansu Province and its relation to plate tectonics[J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences* , 10 : 151~165 (in Chinese with English abstract).
- Liu Xueya and Wang Quan. 1995. Tectonics of orogenic belts in Beishan Mts , western China and their evolution[J]. *Geoscience Research* , 28 : 37~48 (in Chinese with English abstract).
- Masuda A , Nakamura N and Tanaka T. 1973. Fine structures of mutually normalized rare-earth patterns of chondrites[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta* , 37 : 239~244.
- Pearce J A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries[A]. Thorpe R S. *Andesites : Orogenic Andesites and Related Rocks* [C]. Chichester : Wiley , 525~548.
- Rickwood P C. 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides for major and minor elements[J]. *Lithos* 22 : 247~263.
- Sacks P E and Secor K J. 1990. Kelamination in collisional orogens[J]. *Geology* , 18 : 999~1002.
- Wu Fuyuan , Jahn Bor-ming and Lin Qiang. 1997. The later granites isotope characteristic and continental crustal growth at Northern Belt in China[J]. *Chinese Science Bulletin* (42) : 2188~2192(in Chinese).
- Zhang Xinhui , Gou Guochao , Tian Peizhao , *et al.* 1993. Subdivision of the ancient plates and terranes in Beishan area[J]. *Northwestern Geology in China* , 14(2) : 1~6 (in Chinese).
- Zuo Guochao and He Guoqi. 1990. Plate Tectonics and Metallogenic Regularities in Beishan Region[M]. Beijing : Peking University Publishing House , 1~209 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 邓晋福 , 莫宣学 , 赵海玲 , 等. 1994. 中国东部岩石圈去根作用与大陆“活化”[J]. *现代地质* , 8(3) : 350~356.
- 邓晋福 , 赵海玲 , 莫宣学 , 等. 1996. 大陆根-柱构造——大陆动力学的钥匙[M]. 北京 : 地质出版社 , 1~110.
- 邓自华. 1965. 北山地区地质构造特征及其大地构造单元归属问题的初步讨论[J]. *地质论评* , 22(3) : 172~180.
- 龚全胜 , 刘明强 , 李海林 , 等. 2002. 甘肃北山造山带类型及基本特征[J]. *西北地质* , 35(3) : 28~34.
- 何世平 , 任秉琛 , 姚文光 , 等. 2002. 甘肃内蒙古北山地区构造单元划分[J]. *西北地质* , 35(4) : 30~40.
- 洪大卫 , 王式洸 , 谢锡林 , 等. 2000. 兴蒙造山带正 $\epsilon Nd(t)$ 值花岗岩的成因和大陆地壳生长[J]. *地质前缘* , 7 : 441~456.
- 洪大卫 , 王式洸 , 谢锡林 , 等. 2003. 从中亚正 ϵNd 值花岗岩看超大陆演化和大陆地壳生长的关系[J]. *地质学报* , 77(2) : 203~209.
- 江思宏 , 聂凤军 , 陈文 , 等. 2003. 北山明水地区花岗岩时代的确定及其地质意义[J]. *岩石矿物学杂志* , 22(2) : 107~111.
- 李惠民 , 李怀坤 , 陆松年 , 等. 1998. 用矿脉中热液锆石 U-Pb 定年确定东坪金矿的成矿时代[J]. *地球学报* , 19(增刊) : 57~60.
- 刘红涛 , 翟明国 , 刘建明 , 等. 2002. 华北克拉通北缘中生代花岗岩 : 从碰撞后到非造山[J]. *岩石学报* , 18(4) : 433~448.
- 刘明强 , 龚全胜 , 代文军 , 等. 2004. 甘肃北山红石山以北地区前奥陶纪地层的发现[J]. *地质通报* , 23(11) : 160~161.
- 刘明强 , 王建军 , 代文军 , 等. 2005. 甘肃北山造山带红石山地区正 $\epsilon Nd(t)$ 值花岗岩质岩石的成因及其地质意义[J]. *地质通报* , 24(9) : 831~836.
- 刘雪亚. 1984. 甘肃北山区的钙碱系列岩浆活动及其与板块构造的关系[J]. *中国地质科学院院报* , 第 10 号 : 151~165.
- 刘雪亚 , 王荃. 1995. 中国西部北山造山带的大地构造及其演化[J]. *地质研究* , 第 28 号 : 37~48.
- 吴福元 , 江博明 , 林强. 1997. 中国北方造山带后花岗岩的同位素特点与地壳生长[J]. *科学通报* (42) : 2188~2192.
- 张新虎 , 苟国朝 , 田培昭 , 等. 1993. 祁连山、北山地区古板块及地体构造的划分[J]. *西北地质* , 14(2) : 1~6.
- 左国朝 , 何国琦. 1990. 北山板块构造及成矿规律[M]. 北京 : 北京大学出版社 , 1~209.