

# 甘肃北山大石山 A 型花岗岩体的地球化学特征及构造意义

齐瑞荣<sup>1,2</sup>, 黄增保<sup>2</sup>, 金霞<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074; 2. 甘肃省地质调查院, 甘肃 兰州 731000)

**摘要:** 甘肃北山大石山岩体主要由角闪花岗岩和二长花岗岩组成, 岩石的化学成分特点为过铝质( $Al_2O_3$  含量为 12.18%~13.37%)、富硅( $SiO_2$  含量为 74.22%~78.38%)、偏碱( $Na_2O+K_2O$  为 7.60%~8.50%),  $FeO^T/MgO$  值高,  $CaO$  和  $MgO$  含量低(分别为 0.01%~0.99% 和 0.05%~1.15%), 富含 Y、Nb 等高场强元素(HFSE)以及 F、Sr、Ba 和 REE( $\Sigma REE=102.3 \times 10^{-6} \sim 120.02 \times 10^{-6}$ ) 低。这些特点与本区的 I 型和 S 型花岗岩有明显差别, 是一种典型的  $A_2$  型花岗岩。大石山岩体 Rb-Sr 等时线年龄为 273 Ma, 表明北山地区在海西晚期即进入造山后拉张裂解环境。

**关键词:** A 型花岗岩 地球化学特征 北山地区 大石山

中图分类号: P588.12<sup>+</sup>1, P541

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2006)02-0090-07

## Geochemical characteristics and tectonic implications of the Dashishan A-type granitic intrusive in Beishan area, Gansu Province

QI Rui-rong<sup>1,2</sup>, HUANG Zeng-bao<sup>2</sup> and JIN Xia<sup>2</sup>

(1. China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Geological Survey of Gansu Province, Lanzhou 731000, China)

**Abstract:** The Dashishan intrusive in Beishan area of Gansu Province mainly consists of biotite potassium-feldspar granites. The granites of Dashishan are metaluminous ( $Al_2O_3 = 12.18\% \sim 13.37\%$ ) and are characterized by high  $SiO_2$  (74.22%~78.38%),  $Na_2O+K_2O$  (7.60%~8.50%),  $FeO^T/MgO$  ratio, REE ( $102.3 \times 10^{-6} \sim 120.02 \times 10^{-6}$ ), Y, Nb and F, and low  $CaO$  (0.01%~0.99%),  $MgO$  (0.05%~1.15%), Sr and Ba. These characteristics are very different from characteristics of I-type and S-type granites in Beishan area, but quite similar to  $A_2$  type granites. The Dashishan intrusive has a Rb-Sr isochron age of 273 Ma. It is therefore suggested that crustal rifting might have started in late Hercynian in that area.

**Key words:** A-type granite; geochemical characteristics; Beishan area; Dashishan

自从被 Loiselle 和 Wones (1979) 引入地质文献以来, A 型花岗岩一直备受地质学家高度重视, 过去对其研究主要强调碱性、贫水和非造山的特征, 但近年来研究认为 A 型花岗岩不仅可以形成于非造山的板内环境, 而且可能形成于造山期后的造山环境, 岩石成分不仅包括碱性花岗岩, 也包括相对含水的准

铝质甚至过铝质花岗岩 (Eby, 1992; 陈培荣等, 1994; 王德滋等, 1995; 洪大卫, 1995; 许保良等, 1998), 岩石类型可包括正长岩、亚碱性-碱性花岗岩、流纹岩和钠闪碱流岩 (Eby, 1990, 1992; 许保良等, 1998; 袁忠信, 2001)。笔者在红石山地区进行 1:25 万红宝石幅区域地质调查时, 对分布于该区的花

收稿日期: 2005-03-31; 修订日期: 2005-10-19

基金项目: 中国地质调查局区域地质调查项目(200213000020)

作者简介: 齐瑞荣(1964-), 男, 高级工程师, 地质矿产勘查专业, 从事地质矿产勘查及区域地质调查工作。

岗岩类进行了详细的野外调查和室内综合研究,首次在本区大石山一带厘定出一套二叠纪造山后过铝质 A 型花岗岩。本文介绍该岩体地质特征及岩石学、地球化学特征,旨在探讨其成因及构造背景,为进一步研究北山北带海西期构造演化提供依据。

### 1 地质背景及岩体特征

研究区位于甘肃省肃北县马鬃镇境内,构造上属塔里木板块与哈萨克斯坦板块的缝合带。康古尔-红石山蛇绿混杂岩带是两个板块的分界。大石山岩体分布于混杂岩带与塔里木板块北缘白山岩弧过渡部位,呈不规则状、椭圆状、串珠状岩株或岩枝产出,在大石山一带为一小岩基(图 1)。一般近东西

向展布,受东西向、北东向断裂控制,出露面积 145 km<sup>2</sup>。岩体侵入于早石炭世白山组、扫子山组等地层中,受其影响,接触带附近钾化、绿泥石化等低温热液蚀变较强,局部地段形成蚀变岩型金矿化,与之前形成的海西期早中期花岗岩呈侵入接触,常见这些地质体的残留顶盖或捕虏体。岩体内脉岩发育,常见基性、酸性和碱性岩脉,尤其在大石山一带岩体中成群产出辉绿岩和辉绿玢岩岩墙,脉体整体走向北东,局部为北西向。岩石类型主要为中细粒二长花岗岩和中细粒角闪花岗岩,局部见斑状二长花岗岩、文象花岗岩、细粒钾长花岗岩,其生成顺序为中细粒二长花岗岩→中细粒角闪花岗岩→文象花岗岩、细粒钾长花岗岩。一般中细粒二长花岗岩分布广泛,中细粒角闪花岗岩出露于大石山一带。

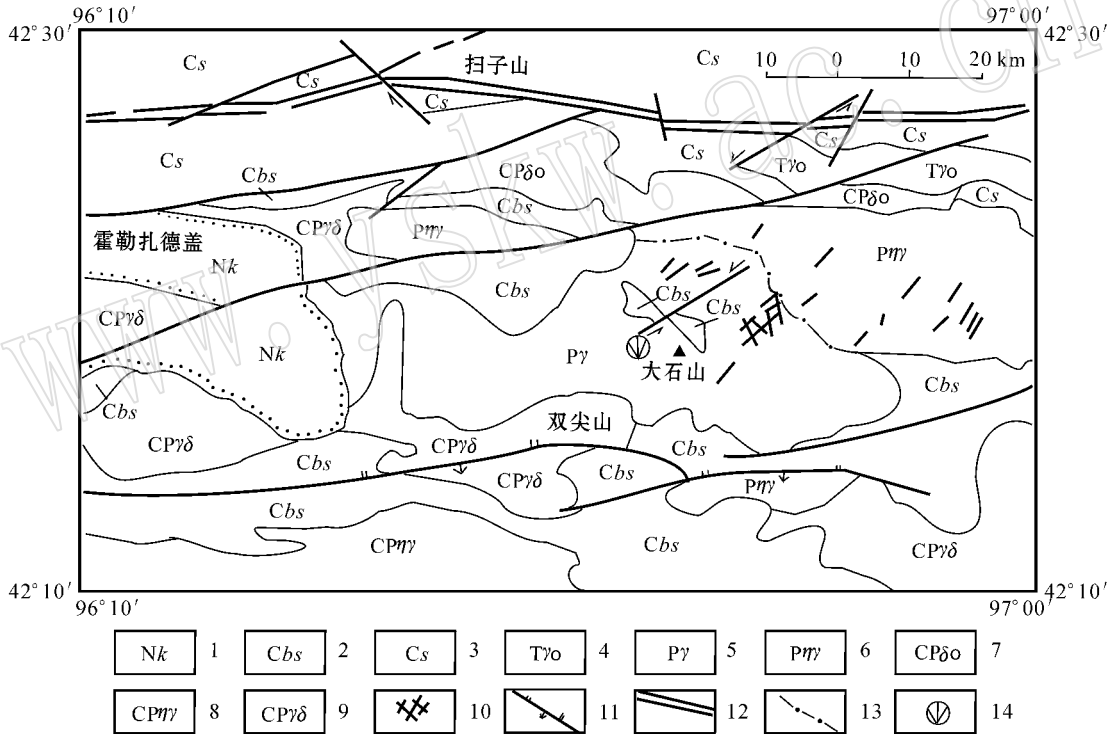


图 1 大石山岩体地质概图

Fig. 1 Geological sketch map of the Dashishan intrusive

1—第三纪苦泉组 2—石炭纪白山组 3—石炭纪扫子山组 4—三叠纪英云闪长岩 5—二叠纪大石山岩体角闪花岗岩 6—大石山岩体二长花岗岩 7—石炭-二叠纪石英闪长岩 8—石炭-二叠纪二长花岗岩 9—石炭-二叠纪花岗岩闪长岩 10—辉绿岩脉 11—逆断层 12—红石山深断裂 13—脉动侵入界限 14—同位素采样点

1—Tertiary Kuquan Formation; 2—Carboniferous Baishan Formation; 3—Carboniferous Saozishan Formation; 4—Triassic tonalite; 5—Permian pladorite in Dashishan intrusive; 6—admellite in Dashishan intrusive; 7—Carboniferous - Permian quartz diorite; 8—Carboniferous - Permian admellite; 9—Carboniferous - Permian granodiorite; 10—diabase vein; 11—thrust fault; 12—Hongshishan fault; 13—vein boundary; 14—sampling site for isotopic determination

大石山岩体主体为中细粒角闪花岗岩、中细粒二长花岗岩,斑状二长花岗岩、文象花岗岩、钾长花岗岩等仅在局部地段零星出露。岩石具中细粒花岗

结构,块状构造。中细粒花岗岩:矿物粒径 1~3 mm,由斜长石(21%~16%)、钾长石(60%~65%)、石英(20%~25%)、角闪石(2%~4%)、黑云母(1%

~3%)等矿物组成,副矿物为针状磷灰石、锆石、磁铁矿。中细粒二长花岗岩:矿物粒径 $<1\text{ mm}$ ,由斜长石(36%~39%)、钾长石(36%~67%)、石英(20%~23%)、黑云母(1%~4%)等矿物组成,副矿物为针状磷灰石、锆石、磁铁矿。斜长石:粒径 $1\sim 2\text{ mm}$ ,半自形宽板状,其表面已绢云母化、粘土化、碳酸盐化,隐约可见聚片双晶, $An = 25\sim 27\pm$ 。钾长石:呈他形粒状,为正长石、微斜长石和条纹长石等碱性长石,表面常见高岭土化现象,常与石英形成共结平衡,形成各种不规则交生结构,局部见钾长石交代斜长石、石英形成蠕英结构。石英:呈他形粒状,呈填隙物充填或呈蠕虫状分布于钾长石中,特别见较大的石英包裹有各种形态的钾长石。角闪石:自形-半自形长柱状,大小 $0.5\text{ mm}\times 1\text{ mm}$ ,已绿泥石化,多呈聚集态不均匀分布于浅色矿物间。黑云母:鳞片状,粒径 $0.3\text{ mm}$ ,呈集合体聚集态分布,多已绿泥石化,充填于长石、石英间。

## 2 岩石地球化学特征

大石山岩体岩石化学分析结果及特征参数见表 1。

### 2.1 主要元素

①硅过饱和, $\text{SiO}_2$ 含量 $74.22\%\sim 78.38\%$ ,各样品均出现标准矿物石英,其含量从 $1\%\sim 10\%$ 不等。②过铝质, $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量较低,介于 $12.18\%\sim 13.37\%$ 之间, $A/NCK$ 值较高( $1.44\sim 1.71$ ),并在标准矿物中出现刚玉分子,显示岩体属过铝质酸性岩类。③强碱质, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 为 $7.60\%\sim 8.50\%$ ,较高的赖特碱度率( $A.R. = 3.5\sim 3.6$ ),在 $\text{SiO}_2 - A.R.$ 图解(图略)中落入碱质区,但标准矿物中未见 $\text{Ne}$ 、 $\text{Lc}$ 、 $\text{Ac}$ 、 $\text{Ns}$ 等碱性标准矿物,反映出该岩体岩石的碱质并不过剩, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 值小于 $1$ ,属碱性钾质岩。④低 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ ,高 $\text{FeO}^T$ 及 $\text{SiO}_2$ ,与本区其他岩类相比,具低 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 和高硅、富碱的特点,与澳大利亚加博岩套(Collins, 1982)花岗岩化学成分相似。在花岗岩 $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O}$ 图解(图 2)和 $\text{FeO}^T/\text{MgO} - \text{SiO}_2$ 图解(Eby, 1992)均落入 A 型花岗岩区。

### 2.2 稀土元素特征

大石山岩体稀土元素含量及特征参数见表 1。从表中可以看出:大石山岩体稀土元素含量较低, $\Sigma\text{REE}$ 为 $102.3\times 10^{-6}\sim 120.02\times 10^{-6}$ ,且随酸度的增加而呈增大趋势;相对富集轻稀土元素, $\text{LREE}/$

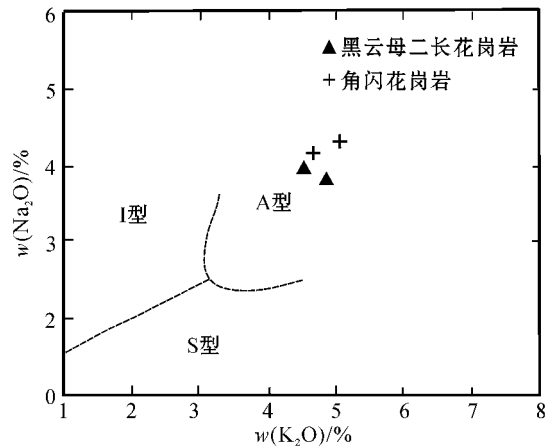


图 2 大石山岩体  $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O}$  图解(据 Collins, 1982)

Fig. 2  $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O}$  diagrams for the Dashishan intrusive (from Collins, 1982)

$\text{HREE} = 1.45\sim 6.61$  ( $\text{La}/\text{Yb}$ ) $_N = 2.84\sim 17.89$ , 强负钕异常( $\delta\text{Eu} = 0.11\sim 0.63$ ),说明源区有斜长石强烈分离结晶。轻稀土元素分馏明显( $\text{La}/\text{Sm}$ ) $_N = 2.8\sim 7.69$ ,而重稀土元素分馏不明显( $\text{Er}/\text{Yb}$ ) $_N = 0.85\sim 1.11$ , $\text{Y}$ 、 $\text{Yb}$ 含量较低, $\text{Yb}$ 含量为 $0.98\times 10^{-6}\sim 3.97\times 10^{-6}$ , $\text{Y}$ 含量为 $7.74\times 10^{-6}\sim 28.7\times 10^{-6}$ 。

稀土元素配分曲线(图 3)为右倾海鸥式,与澳大利亚加博岩套(Collins, 1982)十分接近,也与国内其他地区的 A 型花岗岩特征相似,而与本区 I 型花岗岩弱负钕异常的稀土元素配分型式明显不同。

### 2.3 微量元素特征

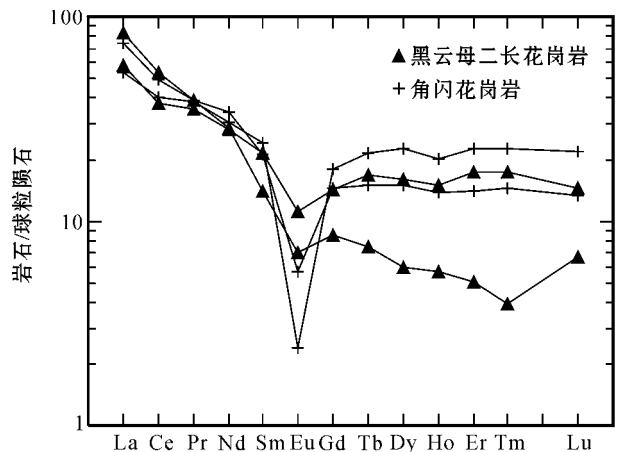


图 3 大石山岩体稀土元素配分图解

(标准化值据 Boynton, 1984)

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns for the Dashishan intrusive (chondrite data from Boynton, 1984)

表 1 大石山岩体主量元素、稀土和微量元素分析结果

Table 1 Major elements, REE and trace elements of the Dashishan intrusive

序号	1		2		3		4		5		6		7	
	3PgYQ-1		3PgYQ-2		3PiYQ-1		3YQ2106-1		3PjYQ-1		3PjYQ-2		3P17YQ-3	
产地	大石山				黑山井北				狼娃山南				七口井	
岩石名称	角闪花岗岩				二长花岗岩				花岗闪长岩				二长花岗岩	
SiO <sub>2</sub>	76.38	78.38	74.22	75.16	65.55	65.84	77.75							
TiO <sub>2</sub>	0.08	0.10	0.16	0.15	0.40	0.38	0							
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.27	12.18	13.37	12.66	14.1	15.12	12.5							
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.43	0.26	0.94	0.54	2.53	2.22	0.33							
FeO	1.74	1.70	1.02	0.45	2.20	2.24	0.20							
MnO	0.02	0.02	0.04	0.02	0.09	0.06	0.02							
MgO	0.10	0.06	0.05	1.15	2.08	1.71	0.22							
CaO	0.01	0.13	0.23	0.90	3.82	4.48	0.30							
Na <sub>2</sub> O	3.91	3.74	3.58	3.40	3.06	4.17	3.80							
K <sub>2</sub> O	4.59	4.18	4.02	4.40	2.38	1.28	4.10							
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.10	0.10	0.08	0.16	0.14	0.17	0.08							
CO <sub>2</sub>	-	-	-	0.28	-	-	0.72							
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.2	0.33	0.71	0.48	2.02	0.92	0.36							
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.07	0.06	0.02	0.12	0.09	0.08	0.09							
total	99.90	101.24	98.44	99.96	98.46	98.67	100.47							
δ	2.16	1.77	1.85	1.89	1.31	1.30	1.80							
K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	8.50	7.92	7.60	7.80	5.44	5.45	7.90							
A/NCK	1.44	1.51	1.71	1.44	1.52	1.52	1.52							
La	16.6	23.1	17.9	26	22.4	20.2	9.06							
Ce	32.6	39.4	30.3	43.1	36.6	39.2	17.2							
Pr	3.66	3.72	3.37	3.69	3.7	5.55	2.07							
Nd	14.3	16	13.1	13.3	15	23.3	8.72							
Sm	3.73	3.23	3.27	2.13	3.38	5.07	3.26							
Eu	0.14	0.33	0.65	0.41	0.81	1.27	0.12							
Gd	3.7	3	2.93	1.75	2.93	4.64	3.95							
Tb	0.8	0.56	0.63	0.28	0.5	0.68	1.02							
Dy	5.79	3.8	4.06	1.52	3.4	4.71	7.28							
Ho	1.15	0.78	0.85	0.32	0.69	0.86	1.64							
Er	3.77	2.34	2.9	0.84	2.06	2.51	5.35							
Tm	0.58	0.37	0.44	0.1	0.32	0.36	0.84							
Yb	3.94	2.34	2.59	0.98	2.07	2.04	5.36							
Lu	0.56	0.34	0.37	0.17	0.3	0.27	0.79							
Y	28.7	17.6	18.8	7.44	15.5	18.6	42.3							
ΣREE	120.02	116.91	102.16	102.03	109.66	129.26	108.96							
δEu	0.11	0.32	0.63	0.63	0.77	0.79	0.10							
(La/Yb) <sub>n</sub>	2.84	6.66	4.66	17.89	7.30	6.68	1.14							
F	224	292	396	203	449	650	110							
Cr	1.85	<1	<1	9.2	16.8	39.6	41.6							
Li	7.12	12.9	14.2	21.8	17.3	19.1	18.7							
Rb	171	143	133	201	124	87.3	252							
Cs	3.8	2.6	2.45	4.1	2.2	3.4	9.4							
Sr	13.5	46.5	94.8	108	254	390	13.4							
Ba	209	537	461	372	706	404	72.8							
Sc	1.98	1.77	2.98	3.53	107	9.92	4.83							
Nb	7.39	5.71	7.67	7.73	9.6	4.95	14.4							
Ta	0.79	0.89	1.4	1.02	1.27	1.24	2.24							
Zr	122	63.6	113	7.14	107	179	39.7							
Hf	4.49	2.074	3.86	2.42	3.44	5.59	1.78							
Th	10.8	11	10.8	23.1	11.1	6.21	13.3							
Ti	518	808	1210	899	3080	4160	0							
P	73.4	99	254	349	457	810	175							
K	34900	32400	32600	18262	28100	12500	17017							
Y	28.7	17.6	18.8	7.44	15.5	18.6	42.3							
K/Rb	204.1	226.6	245.1	90.9	226.6	143.2	67.5							
Rb/Sr	12.67	3.08	1.40	1.86	0.49	0.22	18.81							

主量元素 ( $w_B/\%$ ) 由甘肃地勘局第四实验室采用常规湿法化学分析, 微量元素和稀土元素 ( $w_B/10^{-6}$ ) 由国土资源部宜昌地质矿产研究所采用 ICP-MS 仪器分析, 检测限优于  $0.5 \times 10^{-9}$ , 相对标准偏差优于 5%, 样品中 1~4 号为大石山岩体样品, 其余为测区其他类型花岗岩样。

大石山岩体以低 Ba、Sr 和高 Rb/Sr 值为特征。其中 Rb 的丰度  $133 \times 10^{-6} \sim 201 \times 10^{-6}$ , Ba、Sr 含量低,且变化范围较大,分别为  $209 \times 10^{-6} \sim 537 \times 10^{-6}$  和  $13.5 \times 10^{-6} \sim 108 \times 10^{-6}$ ;高场强元素 Zr、Nb、Y、Yb、P、Ti 含量较低及 Zr + Nb + Ce + Y 总量较低,这些特征显示该岩体岩石具有后造山 A 型花岗岩岩石的地球化学特征(Eby,1990;洪大卫等,1995)。

在原始地幔标准化的微量元素蛛网图(图 4a,原始地幔据 McDonough and Sun,1985)上,Ba、Nb、Sr、

P、Ti 等元素形成 5 个尖锐的低谷,其余元素呈富集状态,其中不相容元素 K、Rb、Th 等正异常最为明显,为原始地幔含量的 200 倍左右,其次为 La、Ce、Ta 等元素约为原始地幔的 20 倍左右,而 Hf、Zr、Eu、Y、Yb 等相容元素正异常偏低,小于 10 倍。Nb、Ta 的负异常为 A<sub>2</sub> 型花岗岩所特有,而 A<sub>1</sub> 型花岗岩表现为 Nb、Ta 的富集。在洋脊花岗岩标准化微量元素图解(图 4b,洋脊花岗岩据 Pearce 等,1984)中显示具岛弧花岗岩的特征。

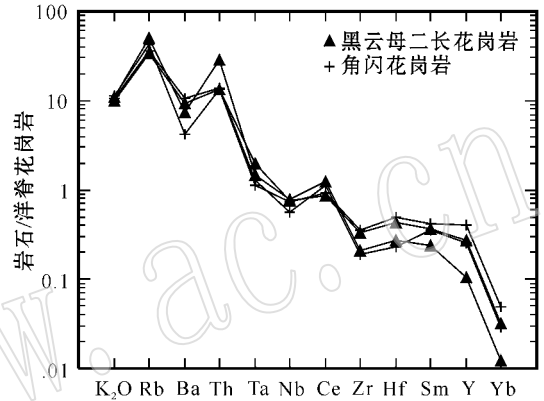
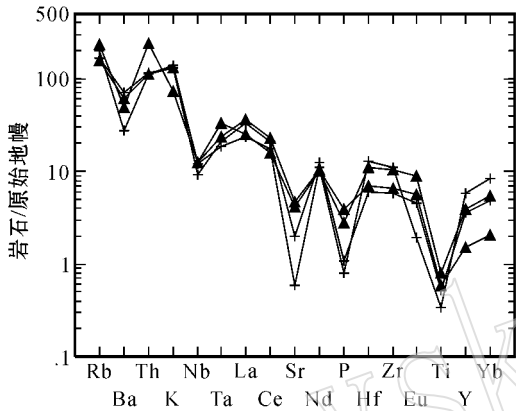


图 4 大石山岩体微量元素蛛网图

Fig. 4 Spider diagrams of trace elements for the Dashishan intrusive

### 3 同位素地球化学特征

本次对大石山岩体出露面积最大的中细粒角闪花岗岩进行了 Rb-Sr 同位素年代学研究,选取 8 个新鲜的全岩样品,由宜昌地质矿产研究所采用 VG345 质谱仪测试,测试数据列于表 2。

根据表 2 的 1~8 号样品进行的等时线拟合,具有较高的相关性,表明这些岩石在形成后未发生明显的改变,是来自于相同的同位素体系,由此获得岩体  $t = 273 \pm 3\text{Ma}$  ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) =  $0.70311 \pm 0.00154$  (图 5)。大石山岩体的主体形成年龄为 273Ma,说明岩体形成时代为海西晚期的中二叠世。角闪花岗岩 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) 的变化范围与 MORB 玄武岩 ( $0.7024 \sim$

表 2 大石山岩体 Rb-Sr 同位素分析结果

Table 2 Rb-Sr isotopic compositions of the Dashishan intrusive

序号	实验编号	原送样号	样品名称	$\alpha(\text{Rb}) \times 10^{-6}$	$\alpha(\text{Sr}) \times 10^{-6}$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(2\sigma)$
1	303139-2	3PgTW-2	全岩	160.1	13.38	34.93	$0.83864 \pm .00004$
2	303139-3	3PgTW-3	全岩	158.5	18.86	24.45	$0.79852 \pm .00004$
3	303139-4	3PgTW-4	全岩	162.6	13.27	35.77	$0.84167 \pm .00002$
4	303139-5	3PgTW-5	全岩	161.9	18.19	25.91	$0.80290 \pm .00007$
5	303139-6	3PgTW-6	全岩	154.8	11.61	39.02	$0.85812 \pm .00007$
6	303139-7	3PgTW-7	全岩	159.8	15.31	30.42	$0.81984 \pm .00004$
7	303139-1	3PgTW-1	全岩	159	8.626	54.2	$0.91423 \pm .00009$
8	303139-8	3PgTW-8	全岩	170.8	6.738	75.13	$0.99438 \pm .00002$

处理结果  $\lambda^{87}\text{Rb} = 1.42 \times 10^{-11} \text{a}^{-1}$   
 $t = 273\text{Ma} \pm 3\text{Ma}(2\sigma)$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.70311 \pm 0.00154(1\sigma)$

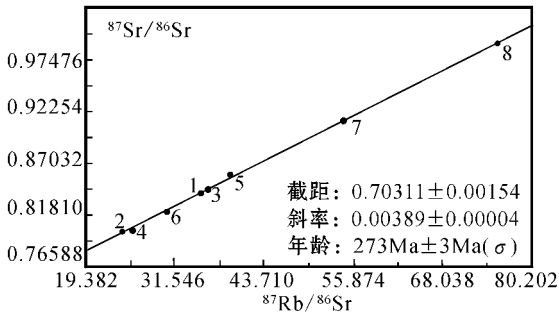


图 5 大石山岩体 Rb-Sr 等时线图

Fig 5 Rb-Sr isochron in the Dashishan intrusive

0.7030 (Wilson, 1989) 接近, 代表岩浆来自于上地幔源区, 没有受到地壳锶的混染。

### 4 岩石成因及构造环境

Loiselle 和 Wones(1979) 最早较系统地把 A 型

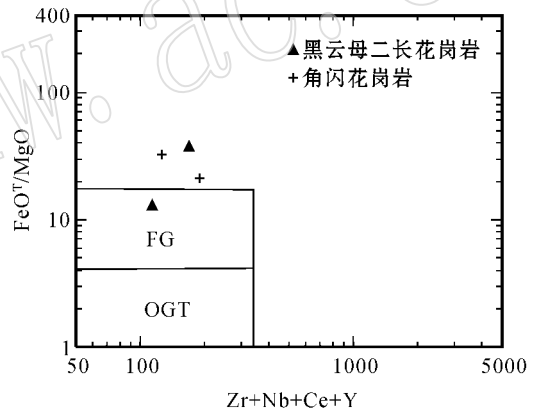
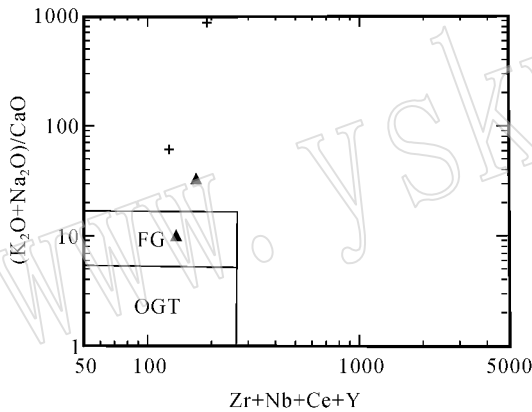


图 6 大石山岩体  $FeO^T/MgO-(Zr+Nb+Ce+Y)$  和  $(Na_2O+K_2O)/CaO-(Zr+Nb+Ce+Y)$  图解

Fig. 6  $FeO^T/MgO-(Zr+Nb+Ce+Y)$  and  $(Na_2O+K_2O)/CaO-(Zr+Nb+Ce+Y)$  diagrams for the Dashishan intrusive

FG—分异的长英质花岗岩; OGT—未分异的 M-、I-、S-型花岗岩

FG—fractionated felsic granites; OCT—undifferentiated M-, I-, S-type granites

Nb+Ce+Y 总量均较低, 具有造山带岛弧岩浆的印记。

Eby(1992) 依据与大洋裂谷环境和地幔热柱成因有关的 A 型环状杂岩体的微量元素图解中区分出两类 A 型岩套: A<sub>1</sub> 亚型, 具洋岛玄武岩(OIB)的亲缘性(低 Y/Nb、Yb/Ta 值); A<sub>2</sub> 亚型, 具岛弧玄武岩(IAB)亲缘性(高 Y/Nb、Yb/Ta 值)。前者是一种特殊类型地幔来源, 后者少有壳源物质的混染(但不是变沉积岩)。大石山岩体 Y/Nb=0.96~3.9, Yb/Ta=0.82~4.98, Ce/Nb=4.4~6.9, 在 Y/Nb-Yb/Ta 和 Yb/Nb-Ce/Nb 二元图解(图 7)中均落入 IAB 区, 表明其源区非 OIB 和 MORB 的地幔源(亏损地幔), 而是亲 IAB 的地幔源区, 在物质起源上与岛弧

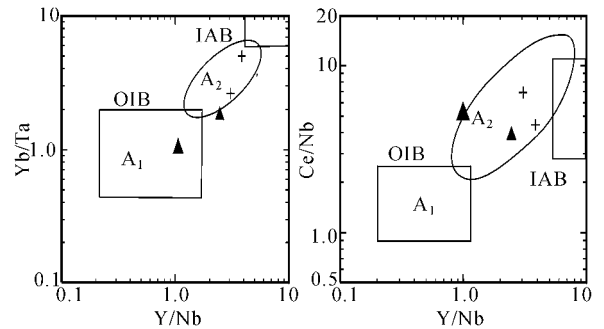


图 7 大石山岩体 Yb/Ta-Y/Nb 和 Ce/Nb-Y/Nb 图解(据 Eby, 1992)

Fig. 7 Yb/Ta-Y/Nb and Ce/Nb-Y/Nb diagrams for the Dashishan intrusive

花岗岩定义为碱性(alkaline)、贫水(anhydrous)和非造山(anorogenic)的花岗岩, 以 3 个英文词的头一个字母“A”命名。化学成分上, A 型花岗岩具有富碱、低钙和镁铁比值大的特点, 在指定 SiO<sub>2</sub> 含量为 70% 时, Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O=7%~11%, CaO<1.8%, FeO<sup>T</sup>/MgO=8~80(Eby, 1990), 明显富集 HREE、Zr、Nb 和 Ta 等高场强元素, 而 Sc、Cr、Co、Ni、Ba、Sr 和 Eu 等元素含量较低, 岩石中富含碱性长石和钠铁闪石等碱性矿物。大石山岩体具有上述 A 型花岗岩岩石地球化学一般特征, 同时在 (Zr+Nb+Ce+Y)-FeO<sup>T</sup>/MgO 和 (Zr+Nb+Ce+Y)-(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)/CaO (图 6 据 Whalen 等, 1987) 上和 I、S 和 M 型花岗岩及分异作用完全的 I、S 型长英质花岗岩(SiO<sub>2</sub>>74%) 很好地区别开来。但它与典型的 A 型花岗岩相比, 稀土元素总量较低为 102.16×10<sup>-6</sup>~120×10<sup>-6</sup>, 过碱指数(ALK) < 0.1, Ti、P 含量及 Zr+

玄武岩(IAB)具亲缘性。同位素( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )值较低(0.703),与岛弧拉斑玄武岩接近,也支持这种观点。此外在Nb-Y-Ce图解中(Eby 1992)落入 $A_2$ 型花岗岩区也说明这一点。

近来研究表明, $A_2$ 型花岗岩是造山作用结束的标志(洪大卫等,1995)。大石山岩体分布于康古塔格-红石山蛇绿混杂岩带南缘的白山岩浆弧带上,侵入作用受构造的控制。岩浆活动时代为中二叠世( $273 \pm 1\text{Ma}$ )明显晚于以早石炭世白山组为代表的陆缘岛弧火山-沉积岩系及以石炭纪跃进山岩基为代表的I型和明水岩基S型花岗质钙碱性花岗岩体( $314\text{Ma} \sim 277.77 \pm 13.5\text{Ma}$ )<sup>①</sup>,说明塔里木板块北缘与哈萨克斯坦板块至少在早石炭末—晚石炭已俯冲碰撞成山。此外在甘蒙北山—阿拉善地区也存在大量的同期碱性花岗岩体分布(许保良等,2001;阎国翰等,2001),在研究区北侧中蒙边界南侧的双沟山一带,见同时代沉积的中二叠世双堡堂组不整合覆于海西期花岗岩及泥盆纪雀儿山群之上<sup>①</sup>。这些大量的地质事实均可以说明大石山岩体形成于塔里木板块与哈萨克斯坦板块海西末碰撞造山作用结束后的拉张环境,当时大陆地壳已开始减薄,处于拉张裂解状态。

众所周知,关于塔里木板块与哈萨克斯坦板块闭合时代一直存在争论,目前主要有两种看法:一是晚泥盆—早石炭世,二是早二叠世。通过对本区大石山碱性岩体的时空分布特征分析,笔者倾向后者,并认为塔里木板块与西伯利亚板块在晚石炭世—早二叠世已碰撞闭合,中二叠世进入陆内演化阶段。

## References

- Boynton W V. 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies [A]. Henderson P. Rare Earth Element Geochemistry [C]. Elsevier 63~114.
- Chen Peirong and Zhang Bangtong. 1994. Summarize of studying on A-type granites [J]. Overseas Granitoid Geology and Minerals (4): 9~11 (in Chinese).
- Collins W T. 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to Southeastern Australia [J]. Contrib. Min. Petrol., 80: 189~200.
- Eby G N. 1990. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis [J]. Lithos 26: 115~134.
- Eby G N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenesis and tectonic implications [J]. Geology 20: 641~644.

- Hong Dawei, Wang Shiguang, Han Baofu, et al. 1995. Discrimination marks for Tectonic setting of alkaline granite [J]. Science In China (D), 25(4): 418~426 (in Chinese).
- Loiselle M C and Wones D R. 1979. Characteristics and origin of anorogenic granites [J]. Geol. Soc. Am. Abstr. Programs, 11: 468.
- McDonough W F and Sun S S. 1985. Isotopic and geochemical systematics in Tertiary-Recent basalts from southeastern Australia and implication for the sub-continental lithosphere [J]. Geochim. Cosmochim. Acta 49: 2051~2067.
- Pearce J A, Lippard S J and Roberts S. 1984. Characteristics and tectonic significance of suprasubduction zone ophiolites [A]. KoKelaar B P, Howells M F. Marginal Basin Geology [C]. Oxford: Blackwell. Geol. Soc. Spec. Pub., 16: 77~94.
- Whalen J B, Currie K L and Chappell B W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis [J]. Contrib Mineral Petrol. 95: 407~419.
- Wilson M. 1989. Igneous Petrogenesis [M]. London: The Academic Division of Unwin Hyman Ltd.
- Wang Dezi, Zhao Guangtao and Qiu Jiansheng. 1995. The tectonic constraint on the later Mesozoic A-type granitoids in eastern China [J]. Geology Journal of China Universities, 1(2): 13~21 (in Chinese with English abstract).
- Xu Baoliang, Yan Guohan, Lu Fengxiang, et al. 2001. Petrology of rich-alkaline and alkaline intrusive complexes in Beishan-Alxa region [J]. Acta Petrologica et Mineralogica 20(3): 263~272 (in Chinese with English abstract).
- Xu Baoliang, Yan Guohan, Zhang Chen, et al. 1998. Petrologic subdivision and source material of A-type granites [J]. Earth Science Frontiers 3(3): 113~125 (in Chinese).
- Yan Guohan, Tan Linkun and Xu Baoliang. 2001. Petrogeochemical characteristics of indosinian alkaline in Yinshan area [J]. Acta Petrologica et Mineralogica. 20(3): 281~292 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Zhongxin. 2001. A discussion on the naming of A-granite [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 20(3): 293~296 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 王德滋, 赵广涛, 邱检生. 1995. 中国东部晚中生代A型花岗岩的构造制约 [J]. 高校地质学报, (2): 13~21.
- 陈培荣, 章邦桐. 1994. A型花岗岩类研究综述 [J]. 国外花岗岩类地质与矿产 (4): 9~11.
- 洪大卫, 王式洸, 韩宝福, 等. 1995. 碱性花岗岩的构造环境分类及其鉴别标志 [J]. 中国科学(D辑) 25(4): 418~426.
- 许保良, 阎国翰, 路凤香, 等. 2001. 北山—阿拉善地区二叠—三叠纪富碱侵入岩的岩石学特征 [J]. 岩石矿物学杂志 20(3): 263~272.
- 许保良, 阎国翰, 张臣, 等. 1998. A型花岗岩的岩石亚类及其物质来源 [J]. 地学前缘 3(3): 113~125.
- 阎国翰, 谭林坤, 许保良, 等. 2001. 阴山地区印支期碱性侵入岩岩石地球化学特征 [J]. 岩石矿物学杂志 20(3): 281~292.
- 袁忠信. 2001. 关于A型花岗岩命名问题的讨论 [J]. 岩石矿物学杂志 20(3): 293~296.

① 甘肃省地质调查院 1:25万红宝石幅区调报告(供审稿)。