

东昆南马尔争地区加里东期花岗岩 岩石地球化学特征及构造意义

任二峰^{1,2}, 张桂林³, 邱 炜^{2,4}, 李焕学², 孙照华¹

(1. 中国科学院 青海盐湖研究所, 青海 西宁 810001; 2. 青海省地质调查院, 青海 西宁 810012;
3. 桂林理工大学 地球科学学院, 广西 桂林 541004; 4. 青海省地质矿产研究所, 青海 西宁 810012)

摘要: 东昆南马尔争地区加里东侵入体为新发现岩体, 根据锆石 U-Pb 测年, 其时代为早奥陶世。该岩体岩性主要为英云闪长岩及少量斜长岩、闪长斑岩, 通过对该岩体地球化学特征研究发现, 在基性岩和酸性岩中 Na_2O 的含量均远大于 K_2O 的含量, 显示富 Na 特征。 Al_2O_3 含量为 13.21% ~ 16.03%, 从基性岩到酸性岩含量逐渐增高, 显示基性岩中富 Mg 特征。 $w(\text{Al}_2\text{O}_3) > w(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO})$, 属铝过饱和的岩石类型。轻稀土富集、轻重稀土分异现象明显, 显示出中等程度的负铕异常($\delta\text{Eu} = 0.61 \sim 0.94$); 微量元素以富集 Ba、Th、Zr 等元素、亏损 Nb 等元素为特征。岩石组合类型为较典型的 TTG 特征。结合花岗岩构造环境判别图解可知, 该岩体是古特提斯洋在早奥陶世裂解而由南向北俯冲下形成的岛弧环境下的产物。结合侵入体的时代及野外路线观察, 对早—中二叠世马尔争组局部重新进行了厘定, 其时代为早奥陶世。

关键词: 花岗岩; 地球化学; 构造环境; 马尔争地区; 东昆南

中图分类号: P588.13

文献标志码: A

文章编号: 1000-8527(2012)01-0036-09

Characteristics of Geochemistry and Tectonic Significance of Caledonian Granite in the Maerzheng Region in the South Area of East Kunlun

REN Er-feng^{1,2}, ZHANG Gui-lin³, QIU Wei^{2,4}, LI Huan-xue², SUN Zhao-hua¹

(1. Qinghai Institute of Salt Lakes, China Academy of Sciences, Xining, Qinghai 810001, China; 2. Qinghai Geological Survey Institute, Xining, Qinghai 810012, China; 3. College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi 541004, China; 4. Qinghai Institute of Geology and Mineral Resources, Xining, Qinghai 810012, China)

Abstract: Caledonian intrusive rock body is newly discovered in the Maerzheng region in the south area of East Kunlun. Based on zircon U-Pb dating, the age is determined to be Early Ordovician. The lithology is composed of some tonalite, a few of anorthosite and diorite-porphyry. According to research on petrologic and geochemical characteristics of intrusive rocks, the content of Na_2O is much richer than that of K_2O in basic and acid rocks, which shows characteristics of rich Na. The content of Al_2O_3 is from 13.21% to 16.03%, and increases gradually from basic rocks to acid rocks. The content of Al_2O_3 is higher than the total content of K_2O , Na_2O , and CaO , showing that the rock belongs to an aluminium saturation type. The rock body is characterized by obvious fractionation of REE, enrichment of LREE, weak negative Eu anomaly (δEu values are 0.61 – 0.94); the rock body is characterized by richment of Ba, Th, Zr and depletion of Nb. The lithologic combinations show the characteristics of representative TTG. Combining with the geotectonic environment map of granite in the Maerzheng region, the intrusive rock body formed as a result of Tethys ocean subduction from south to north in Early Ordovician. The age of Maerzheng Formation in Early-middle Permian is redefined to be Early Ordovician ac-

收稿日期: 2011-04-25; 改回日期: 2011-11-01; 责任编辑: 戚开静。

基金项目: 青海省国土资源厅地质勘查基金项目(青国土资矿[2010]96号)。

作者简介: 任二峰, 男, 工程师, 博士研究生, 1972 年出生, 地球化学专业, 主要从事区域地质调查研究工作。

Email: renerfeng998@163.com。

cording to the age of the intrusive rock body and field investigation.

Key words: granite; geochemistry; tectonic environment; Maerzheng region; south area of East Kunlun

0 引言

东昆南(东昆仑南部)马尔争地区加里东侵入体位于东昆南缝合带南侧和布青山断裂北缘,晚古生代—早古生代东昆仑地区进入古特提斯演化阶段^[1]。关于加里东期侵入体的研究一直相对薄弱,以往的区域地质资料,如1:25万阿拉克湖区域地质调查未发现该岩体,或发现后把它作为印支期岩脉或岩株处理,影响了对区域成矿地质条件的分析。该侵入体属于阿尼玛卿岩带^[2],岩体沿构造带分布,规模不大。侵入体岩性主要为英云闪长岩,局部可见斜长岩。在2010年野外踏勘过程中,本文作者发现与该期侵入体有关的铜矿化点,局部可见辉钼矿,认为该矿化与该侵入体有密切的关系。为了进一步查明找矿前景,本文选择马尔争地区为研究区域,对该侵入体进行时代及地球化学特征研究,以期揭示其形成的构造背景,并进一步指导找矿方向。

1 地质概况

马尔争地区地层出露相对简单(图1),主要

为早—中二叠世树维门科组($P_{1-2}sh$),呈近东西向分布,多呈推覆体。中二叠世马尔争组(P_2m^B)主要分布于研究区东部,受构造控制明显,呈北西—南东向条带状展布,岩性主要为玄武岩和流纹岩及少量安山岩、英安岩等。马尔争组与周围地层多为断层接触和不整合接触,破碎带中多形成热液破碎蚀变岩及局部糜棱岩化及糜棱岩,局部岩石表面可见褐铁矿化蚀变(图2(a))。晚二叠世格曲组(P_3g)呈近东西向条带状展布,与下伏马尔争组呈角度不整合接触,其上被树维门科组的推覆体所压盖,南侧被第四系所覆盖。第四纪地层分布在诸多大小不等、形状各异的河谷两侧。研究区在第四纪发育程度不等的堆积物,并且成因类型复杂多样,主要有冲积、洪积等。

区内断裂构造发育,整体上研究区的断裂构造近北西—南东向展布,另外可见韧性剪切带发育,岩体受断层控制。

2 花岗岩岩体地质及岩石学特征

2.1 岩体地质特征

酸性侵入体主要出露于研究区的中部及东部,

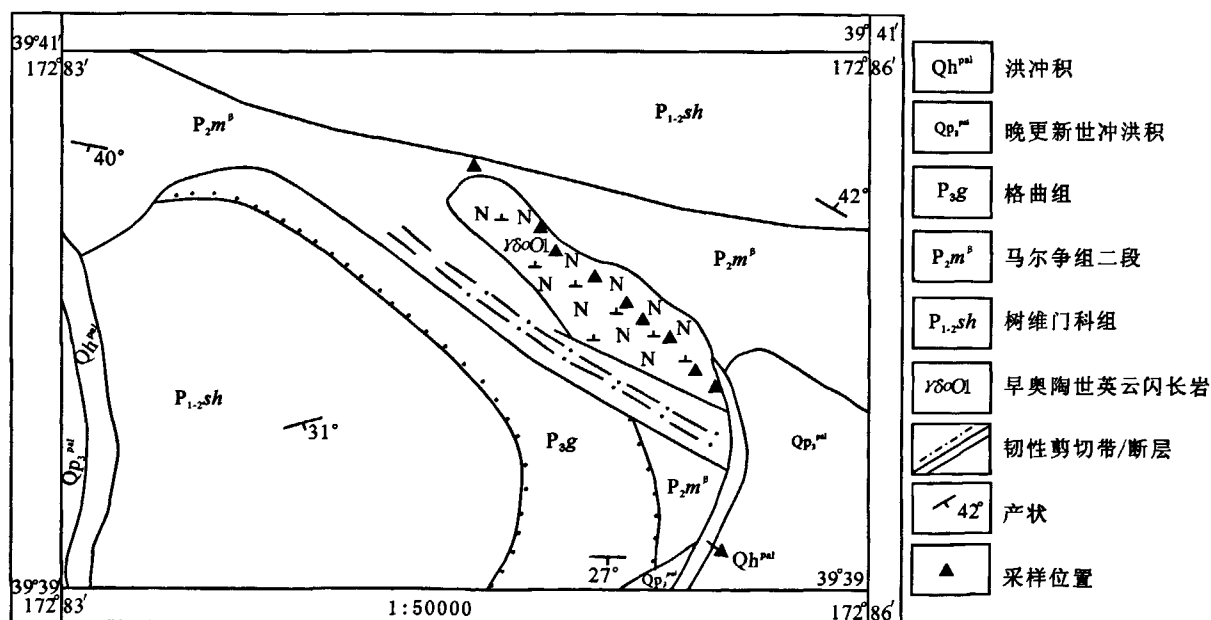


图1 马尔争地区地质简图(据青海省地质调查院^①修改,2003)

Fig. 1 Geological sketch map of the Maerzheng region(modified after Qinghai Geological Survey Institute^①,2003)

① 青海省地质调查院. 阿拉克湖幅1:25万区域地质报告. 2003.



图2 研究区花岗岩岩石学特征

Fig. 2 Petrological characteristics of granite in the study area
(a)玄武岩表面褐铁矿化蚀变; (b)英云闪长岩表面孔雀石化;
(c)岩枝与围岩侵入接触

花岗岩岩体面积不大,呈岩株出露。局部岩石表面可见孔雀石化蚀变(图2(b)),部分为全岩矿化。局部地段岩体与中二叠世马尔争组呈断层接触;另外根据野外观察,岩体北侧与火山岩呈侵入接触(图2(c)),其围岩为火山岩,岩性主要为玄武岩,可见枕状构造(图3)。该侵入体时代为早奥陶世(与西安地质矿产研究院计文化通信,其年代数据未发表),围岩时代应为早古生代,可能为纳赤台群(NOST)。根据形成时代,本文暂且把侵入体与马尔争组火山岩的关系定为断层接触,二叠纪马尔争组火山岩可能为更老的地层,前人在阿拉克湖幅1:25万区域地质调查图中把马尔争组火山岩时代定为早一中二叠世,可能有误。

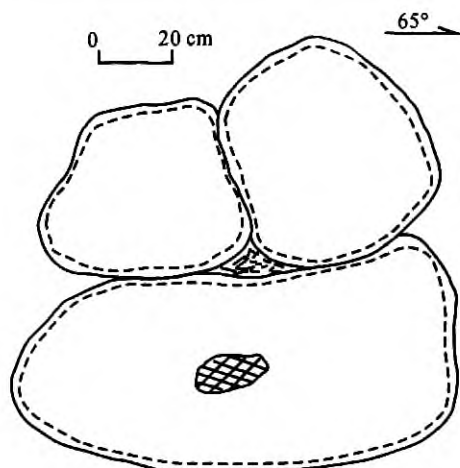


图3 玄武岩枕状构造素描图

Fig. 3 Drawing map of pillow structure of basalt

2.2 岩石学特征

加里东侵入体岩性主要为黑云英云闪长岩,花岗结构,主要由自形一半自形板状奥长石、片状黑云母和它形石英组成。奥长石有中等绢云母化和绿帘石化,双晶明显;黑云母一般由绿泥石、铁质所取代,绿帘石脉和方解石脉较发育。奥长石、绢云母含量约为55%,石英含量约为25%,黑云母、绿泥石、铁质含量约为15%,绿帘石含量约为5%。其次为斜长岩(镜下鉴定为蚀变碎裂闪长岩),碎裂结构,岩石受动力作用而碎裂,且有大量绿泥石蚀变。奥长石双晶明显,具弱绢云母化,并叠加绿泥石化,另有石英-方解石和绿帘石沿裂隙充填成网脉状,奥长石单晶最大粒度约为2.40 mm。奥长石、绢云母含量约为55%,绿泥石含量约为35%,绿帘石含量约为7%,石英含量约为3%,磁铁矿含量小于1%。另外局部出露绿帘绿泥石化闪长斑岩,碎裂结构,斑状结构。板状奥长石双晶较发育,具弱绢云母化并叠加有绿泥石化,基质板条状钠-奥长石隐约具交织结构,因岩石受挤压破碎较强烈,板条状斜长石破碎较严重,普遍遭绿泥石化蚀变,绿帘石则呈似脉状产出。斑晶主要为奥长石、绢云母,含量为10%,基质主要为钠-奥长石、绿泥石、绿帘石,含量约为90%。

2.3 地球化学特征

本次研究共采集8件样品,均为新鲜的侵入体岩石,其主量、微量元素地球化学分析在国土资源部武汉综合岩矿测试中心完成。主量元素含量测试采用常规化学分析方法,分析精度一般优于2%,稀土元素含量采用等离子光谱法,微量元

素测试采用质谱法。

2.3.1 岩石地球化学特征

据马尔争地区侵入体岩石化学分析结果(表1)判断,除样品6-1,其他样品 SiO_2 含量为59.51%~72.93%, Na_2O 含量为1.33%~5.63%, K_2O 含量为0.05%~0.98%, $w(\text{K}_2\text{O})/w(\text{Na}_2\text{O})$ 为0.03~0.25,显示富Na的特征,为基性岩。 Fe_2O_3 含量为0.95%~2.86%, Al_2O_3 含量为13.21%~16.03%,显示从基性岩到酸性岩其含量逐渐增高, MgO 含量在基性岩中显示富集的特征。 $w(\text{Al}_2\text{O}_3) > w(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO})$,属铝过饱和的岩石类型。根据里特曼^[3]以及Le Maitre^[4]提出的计算公式,该侵入体花岗岩的实际氧化率(OX)为0.61~0.78,根据王忠、喻学惠等^[5-6]对氧化率的研究,显示该侵入体经受了较强的剥蚀作用。

2.3.2 稀土元素和微量元素地球化学特征

从马尔争地区侵入体稀土元素及微量元素的分析结果(表2,表3)可以看出,REE丰度较低($w(\text{REE}) = 36.67 \times 10^{-6} \sim 131.21 \times 10^{-6}$),岩石轻稀土元素富集($w(\text{LREE})/w(\text{HREE}) = 4.19 \sim 19.88$),高出一般花岗岩(1.0~1.2)^[7-8]数十倍,具有明显的轻稀土元素富集特征; $(\text{La}/\text{Yb})_N = 1.09 \times 10^{-6} \sim 5.74 \times 10^{-6}$,表现为较弱的铕负异常($\delta\text{Eu} = 0.61 \sim 0.94$)。这种地球化学特征说明该侵入体与陆壳改造型花岗岩相差较大($\delta\text{Eu} < 0.6$),反映成岩过程中斜长石分离结晶作用不太明显^[9-10]。 $w(\text{Sm})/w(\text{Nd})$ 比值较小,表现为幔源的特点,局部受地壳混染,英云闪长岩可能为幔源玄武岩部分熔融形成的。 $w(\text{La})/w(\text{Sm}) = 2.00 \sim 5.23$,大于1,指示轻稀土元素

分馏较好,接近一般花岗岩的比值^[10]。稀土元素配分曲线(图4(a))为向右倾的轻稀土富集型,反映区内岩浆演化程度较高。Ba、Th、Zr、Hf、Sr等强不相容元素丰度值较高,且强烈富集(图4(b)),可能是混染了大陆壳物质或花岗质岩石所致^[7]。

3 年代学研究

对于锆石U-Pb年龄的测试,英云闪长岩的锆石挑选在河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成,在双目镜下挑出晶形较好的锆石,将其粘在双面胶上,用无色透明环氧树脂固定,固化之后抛光,在显微镜下观察。锆石阴极发光照相和LA-ICP-MS分析均在中国地质调查局天津地质矿产研究所完成,阴极发光在JEOL-JXA-8100电子探针仪器上进行,样品的同位素比值及元素含量计算采用GLITTER程序^[11]。数据处理及年龄计算采用Luding博士编写的SQUID1.0及ISOPLOT程序,测试数据采用²⁰⁴Pb进行普通铅校正,单个测试点的误差均为1 σ 。

本次工作对该侵入体进行了锆石U-Pb年龄测定。锆石均为长柱状,呈透明一半透明,属岩浆成因锆石。该岩体锆石颗粒较小,一般为200 μm ,长短轴之比变化不一,从3:1到2:1均可见到,晶型多为自形一半自形。阴极发光(CL)图像(图5)显示大部分所测锆石内部结构较为复杂,大多数锆石具有明显的核-幔一边构造,反映了这些锆石具有多期生长的特性。从图5可以看出,锆石多呈柱状,晶形完整,振荡环带发育。核部CL图像较亮,分带不是太明显;幔部具有明显的振荡型环带,最外围CL图像可见较暗的增生边。

表1 马尔争地区侵入体主量元素分析结果($w_B/\%$)

Table 1 Results of major elements analysis of intrusive rock body in the Maerzheng region (%)

样号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	H_2O^+	CO_2
17-1	72.93	0.26	14.20	0.95	2.08	0.05	1.32	0.64	4.69	0.98	0.05	1.63	0.06
3-1	69.29	0.27	14.06	2.44	1.47	0.08	1.76	3.65	4.76	0.36	0.04	1.61	0.06
6-1	42.28	0.51	13.21	1.18	8.92	0.25	10.77	8.53	1.33	0.05	0.06	6.09	6.65
9-1	66.03	0.36	14.63	1.20	3.45	0.10	2.00	3.60	4.59	0.59	0.10	2.13	1.06
241	72.00	0.32	12.70	2.86	0.85	0.04	0.32	3.59	5.34	0.31	0.08	0.75	0.70
242	63.30	0.48	15.77	2.29	3.8	0.09	1.98	3.17	5.63	0.37	0.14	1.98	0.50
245	60.39	0.59	16.03	2.80	2.38	0.07	2.55	6.86	4.37	0.26	0.20	2.11	1.02
246	59.51	0.56	14.25	2.23	4.62	0.12	5.07	5.20	3.47	0.83	0.14	2.75	1.05

注:样品测试由国土资源部武汉综合岩矿测试中心完成;表2、表3测试单位同。

表 2 马尔争地区侵入体稀土元素分析结果($w_B/10^{-6}$)

Table 2 Results of REE analysis of intrusive rock body in the Maerzheng region(10^{-6})

样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
17-1	6.46	13.0	1.74	7.10	1.77	0.424	1.53	0.240	1.40	0.304	0.907	0.185	1.210
3-1	12.00	23.5	2.90	11.00	2.50	0.474	2.16	0.376	2.25	0.487	1.530	0.266	1.880
6-1	4.35	10.0	1.29	5.28	1.49	0.411	1.46	0.241	1.45	0.293	0.868	0.147	0.857
9-1	11.10	22.4	2.83	10.60	2.24	0.677	2.12	0.335	2.03	0.420	1.200	0.196	1.370
241	8.74	19.0	2.74	13.50	4.36	1.090	5.92	1.080	7.69	1.650	5.030	0.815	5.40
242	11.30	22.4	2.91	12.50	2.94	0.917	3.04	0.505	3.16	0.650	1.950	0.293	1.960
245	15.60	30.1	3.73	14.30	2.98	0.922	2.94	0.434	2.56	0.502	1.470	0.208	1.380
246	14.10	28.4	3.56	14.10	3.05	0.849	3.04	0.478	2.85	0.566	1.720	0.253	1.660

样号	Lu	Y	ΣREE	LREE	HREE	LREE/HREE	δEu	δCe	La/Sm	La/Yb	Sm/Nd	(La/Yb) _N
17-1	0.203	9.06	45.53	30.49	5.98	5.10	0.77	0.92	3.65	5.34	0.25	3.60
3-1	0.302	13.90	75.52	52.37	9.25	5.66	0.61	0.93	4.80	6.38	0.23	4.31
6-1	0.127	8.41	36.67	22.82	5.44	4.19	0.84	1.01	2.92	5.08	0.28	3.43
9-1	0.212	12.00	49.85	7.88	6.32	19.88	0.94	0.94	4.96	8.10	0.21	5.47
241	0.795	53.40	131.21	49.43	28.38	1.74	0.66	0.93	2.00	1.62	0.32	1.09
242	0.300	22.50	87.33	52.97	11.86	4.47	0.93	0.92	3.84	5.77	0.24	3.89
245	0.199	16.40	93.73	67.63	9.69	6.98	0.94	0.92	5.23	11.43	0.21	5.64
246	0.246	19.80	94.67	64.06	10.81	5.92	0.84	0.94	4.62	11.30	0.22	5.74

表 3 马尔争地区侵入体微量元素分析结果($w_B/10^{-6}$)

Table 3 Results of trace element analysis of intrusive rock body in the Maerzheng region(10^{-6})

样号	Zr	Hf	Ba	Sr	Sc	Rb	Nb	Ta	Th
17-1	90.8	2.80	330.0	129.0	6.92	5.23	1.89	0.14	0.94
3-1	89.7	2.67	125.0	187.0	16.10	5.55	4.63	0.28	1.90
6-1	29.5	1.01	17.9	82.2	36.60	0.77	1.18	0.07	1.38
9-1	81.6	2.40	260.0	146.0	16.20	13.50	5.60	0.34	3.51
241	153.0	5.32	204.0	152.0	14.60	8.48	3.53	0.36	1.90
242	113.0	3.56	254.0	242.0	18.00	8.48	5.71	0.56	2.44
245	152.0	4.63	221.0	520.0	19.50	4.35	9.06	0.99	5.17
246	118.0	3.93	587.0	303.0	31.80	14.50	7.73	0.76	4.68

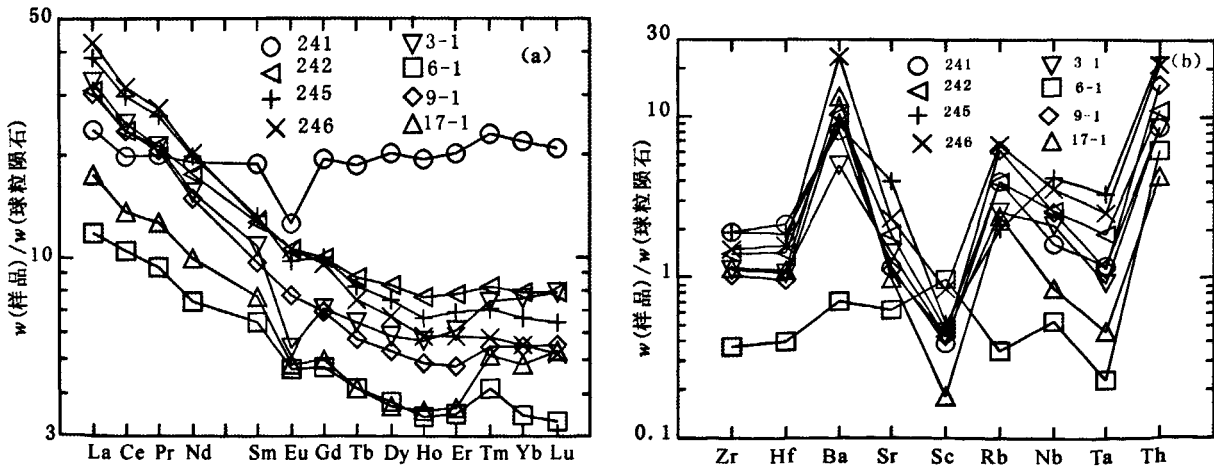


图 4 马尔争地区侵入体稀土元素配分曲线图和微量元素标准化图

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns and normalized trace element patterns in the Maerzheng region

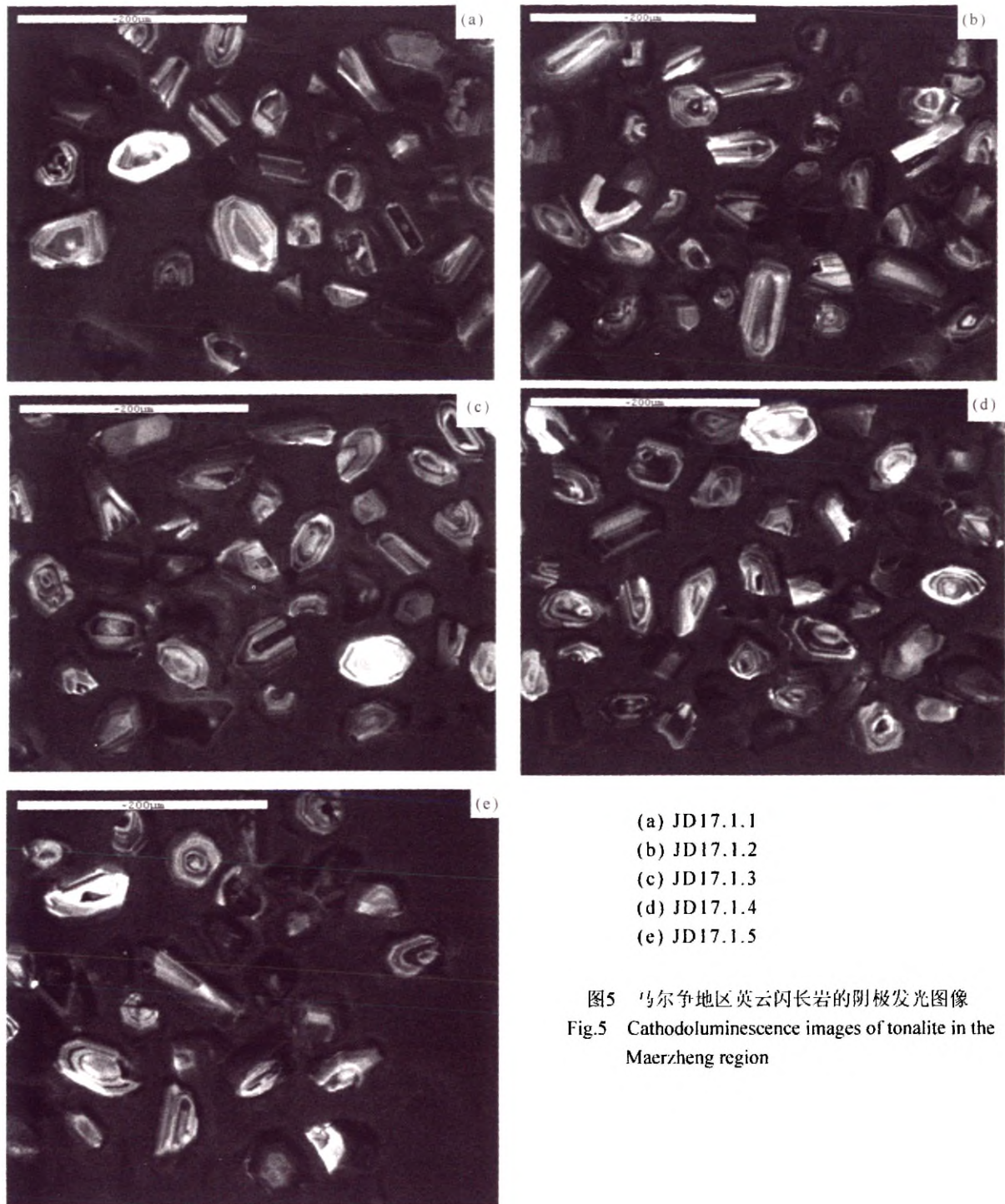


图5 马尔争地区英云闪长岩的阴极发光图像
Fig.5 Cathodoluminescence images of tonalite in the Maerzheng region

从表4中可以看出本次测试的14个锆石点中, $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 比值为0.18~0.51,年龄值均集中在462~535 Ma之间,变化幅度较小,其中大部分点均较密集地分布在谐和线上(图6),数据所得出的 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 加权平均年龄为 (498 ± 2) Ma,精度较高,可以准确地反映岩体的形成时代,因此, (498 ± 2) Ma可代表该侵入体的成岩年龄,该侵入体侵位时代确定为早奥陶世。

4 构造背景

岩石地球化学特征表明:马尔争地区加里东期侵入体岩性具有富Na特征,为洋壳特征;高场强元素亏损,轻、重稀土分异明显,轻稀土元素明显富集,呈现中等程度的负铕异常,这些地球化学特征均常见于火山岩中^[12-13]。对于该侵入体所形成的构造背景的分析,本文结合区域地质资

表 4 马尔争地区英云闪长岩锆石 U-Pb 年龄分析结果
Table 4 Zircon U-Pb dating of the tonalite in the Maerzheng region

样号	含量/ 10^{-6}		同位素比值								
	Pb	U	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	误差/%	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	误差/%	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	误差/%
JD17.1.1	43	522	0.080 5	0.000 6	0.73	0.634 2	0.010 0	1.58	0.057 2	0.000 9	1.52
JD17.1.2	48	570	0.080 4	0.000 5	0.67	0.630 9	0.009 8	1.55	0.056 9	0.000 9	1.56
JD17.1.3	7	87	0.080 4	0.000 9	1.16	0.631 7	0.046 9	7.42	0.057 0	0.004 2	7.35
JD17.1.4	26	350	0.072 7	0.000 9	1.30	0.576 6	0.011 3	1.95	0.057 5	0.001 0	1.72
JD17.1.5	56	651	0.080 6	0.000 5	0.65	0.630 6	0.008 5	1.36	0.056 8	0.000 8	1.33
JD17.1.6	42	506	0.080 6	0.000 5	0.62	0.638 2	0.009 6	1.50	0.057 4	0.000 9	1.49
JD17.1.7	32	354	0.086 6	0.000 9	0.99	0.695 6	0.013 0	1.88	0.058 3	0.001 0	1.72
JD17.1.8	67	796	0.080 7	0.000 5	0.64	0.635 1	0.008 0	1.26	0.057 1	0.000 7	1.19
JD17.1.9	35	431	0.080 0	0.000 5	0.62	0.624 3	0.010 6	1.69	0.056 6	0.000 9	1.64
JD17.1.10	55	650	0.080 5	0.000 6	0.70	0.624 3	0.007 9	1.27	0.056 3	0.000 7	1.23
JD17.1.11	14	182	0.080 1	0.000 6	0.71	0.632 1	0.025 8	4.07	0.057 3	0.002 3	4.02
JD17.1.12	19	235	0.079 8	0.000 6	0.77	0.631 3	0.016 3	2.58	0.057 4	0.001 4	2.46
JD17.1.13	18	223	0.079 6	0.000 5	0.64	0.615 0	0.016 5	2.69	0.056 0	0.001 5	2.63
JD17.1.14	37	452	0.080 1	0.000 4	0.53	0.622 1	0.010 6	1.70	0.056 3	0.000 9	1.67

样号	同位素比值						年龄/Ma					
	$^{206}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ	误差/%	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	1σ	误差/%	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ
JD17.1.1	0.023 8	0.000 2	0.92	0.452 9	0.007 4	1.63	499	4	499	8	498	33
JD17.1.2	0.025 8	0.000 3	0.98	0.437 3	0.004 1	0.93	499	3	497	8	487	34
JD17.1.3	0.027 2	0.002 3	8.43	0.230 8	0.003 1	1.35	499	6	497	37	490	162
JD17.1.4	0.027 8	0.000 6	2.10	0.261 2	0.003 0	1.16	453	6	462	9	511	38
JD17.1.5	0.026 7	0.000 2	0.57	0.510 7	0.004 2	0.82	500	3	496	7	482	29
JD17.1.6	0.025 4	0.000 2	0.83	0.386 8	0.005 6	1.45	500	3	501	8	509	33
JD17.1.7	0.040 3	0.000 6	1.38	0.327 8	0.003 6	1.09	535	5	536	10	540	38
JD17.1.8	0.026 4	0.000 1	0.53	0.429 5	0.004 3	1.01	500	3	499	6	495	26
JD17.1.9	0.027 4	0.000 2	0.87	0.362 1	0.003 5	0.97	496	3	493	8	475	36
JD17.1.10	0.027 2	0.000 2	0.57	0.430 1	0.004 0	0.92	499	4	493	6	464	27
JD17.1.11	0.027 7	0.001 5	5.50	0.182 6	0.001 5	0.81	496	4	497	20	502	89
JD17.1.12	0.029 6	0.000 7	2.35	0.259 4	0.002 7	1.02	495	4	497	13	505	54
JD17.1.13	0.028 1	0.000 4	1.57	0.391 8	0.004 4	1.12	494	3	487	13	452	58
JD17.1.14	0.029 2	0.000 3	0.90	0.333 3	0.002 7	0.82	497	3	491	8	465	37

注：表中所列误差均为 1σ 误差；样品测试由中国地质调查局天津地质矿产研究所完成。

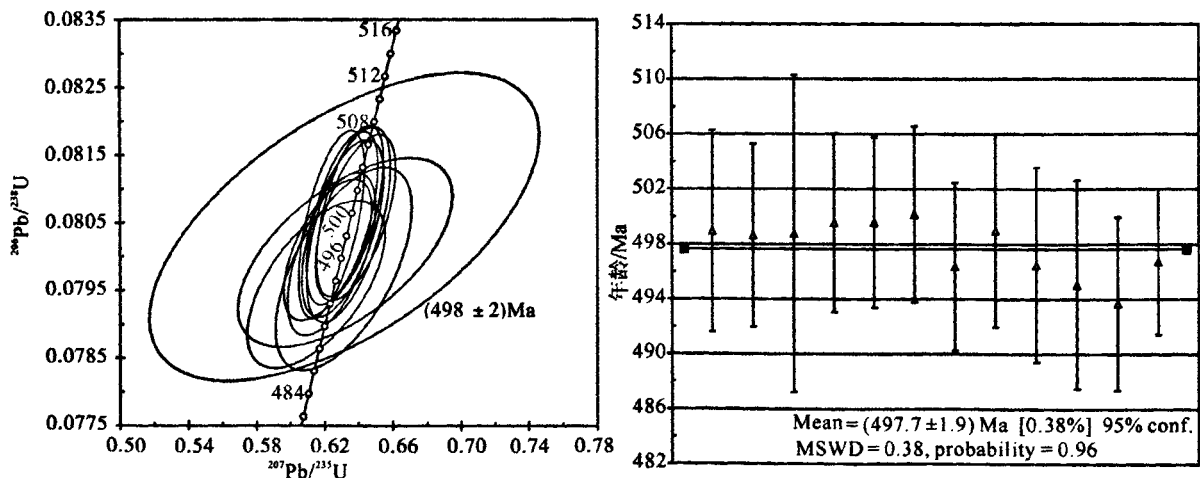


图 6 英云闪长岩 (JD17-1) U-Pb 同位素年龄谱和图及加权平均年龄值

Fig. 6 U-Pb age concordia diagram for zircon from JD17-1 and weighted mean age for tonalite in the Maerzheng region

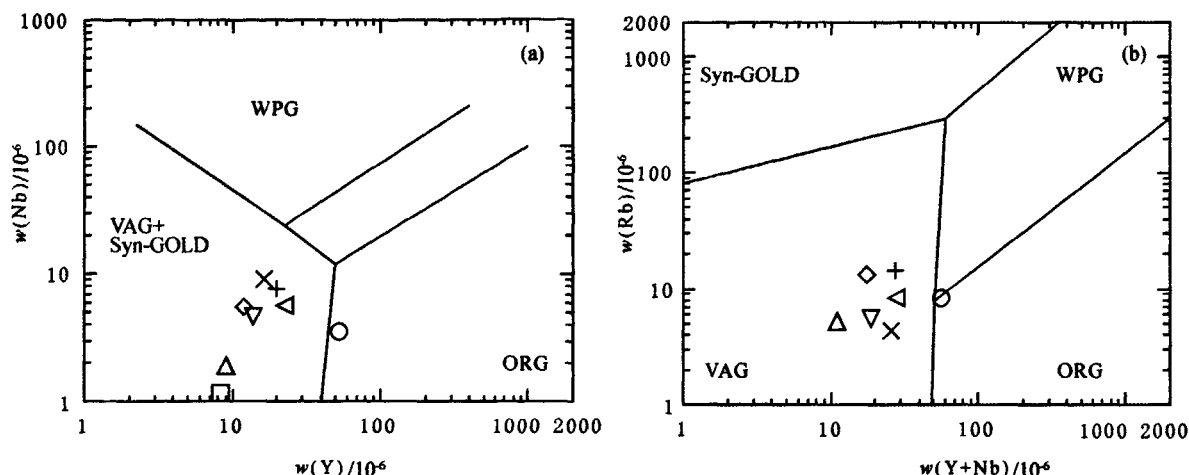


图7 马尔争地区侵入体 $w(\text{Nb}) - w(\text{Y})$ 和 $w(\text{Rb}) - w(\text{Y} + \text{Nb})$ 图解(底图据 Pearce 等^[14], 1984)

Fig. 7 Diagrams of Nb-Y and Rb-(Y + Nb) of intrusive rock body in the Maerzheng region (after Pearce et al^[14], 1984)

VAG. 火山弧花岗岩; Syn-GOLD. 同碰撞花岗岩; ORG. 洋中脊花岗岩; WPG. 板内花岗岩; 图例同图4

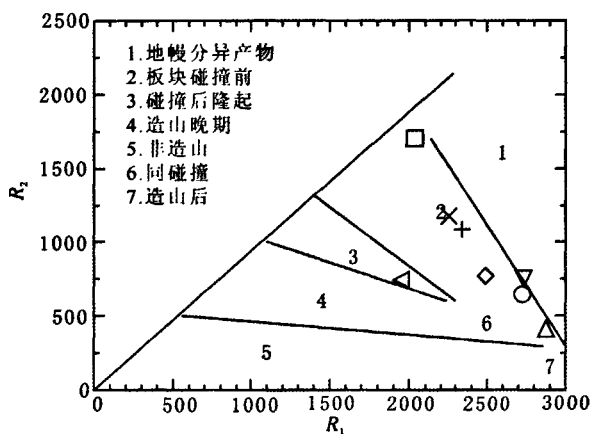


图8 马尔争地区侵入体 $R_1 - R_2$ 判别图解

(底图据 Batchelor 等^[15], 1985; 图例同图4)

Fig. 8 Diagram of $R_1 - R_2$ of intrusive rock body in the Maerzheng region (after Batchelor et al^[15], 1985)

料及详细的野外观察, 利用 $w(\text{Nb}) - w(\text{Y})$ 双变量投影对侵入体岩石进行初步分区(图7(a)), 可见7个样品均落在火山弧花岗岩(VAG)以及同碰撞花岗岩(Syn-GOLD)范围内。为了具体划分其侵入体的构造背景, 我们采用 $w(\text{Rb}) - w(\text{Y} + \text{Nb})$ 图解(图7(b)), 较好地把同碰撞花岗岩及火山弧花岗岩区分开来。由图7可以得到早奥陶世侵入体所处的构造背景应是火山岛弧; 同时在花岗岩与构造环境 $R_1 - R_2$ 图(图8)中, 该侵入岩体样品投点均落在2区及其附近, 指示活动的板块碰撞前环境。

花岗岩类岩石类型的多样性可以反映岩浆源区性质和岩浆演化的综合结果, 但现有的判别花

岗岩类构造环境的微量元素图解不一定能有效地将俯冲、同碰撞和后碰撞花岗岩类区分开^[16], 简单地运用微量元素构造图解判别环境可能不是太准确; 另外根据岩石主量元素分析, 该岩体具有富Na的演化特征; 从稀土和微量元素地球化学特征来看, REE 丰度较低, 局部具高Ba特征。岩石组合类型为英云闪长岩-奥长花岗岩, 具有典型的TTG特征, 岩体时代为早奥陶世。东昆南古特提斯海在早奥陶世正处于裂解阶段, 所形成的阿尼玛卿洋由于裂解, 局部由南向北俯冲, 为俯冲环境下的产物, 形成环境应为岛弧环境。因此该岩体的形成时代及地球化学特征同时提供了阿尼玛卿洋向北俯冲的可靠证据。

5 结论

(1) 岩石地球化学特征表明, 东昆南马尔争地区加里东期侵入体具有富Na特征, 显示可能与洋壳具有一定的成因联系。轻稀土元素富集, 轻、重稀土元素分异明显, 而且具有弱的负铕异常。

(2) 通过锆石 U-Pb 同位素年龄测试, 该岩体为本次新发现岩体, 形成于早奥陶世。根据与围岩的接触关系, 我们需要对马尔争混杂岩带重新认识, 对研究区该侵入体的围岩时代需重新厘定。

(3) 研究区内发现的铜矿化与加里东期岩体具有一定的成因联系, 甚至该期岩体本身就发生全岩矿化。这一发现对于东昆南缝合带附近寻找斑岩型多金属矿床具有一定的指导意义。

致谢: 野外工作得到了安守文高级工程师及西安地质矿产研究所的计文化博士等大力支持和

帮助,成文过程中得到了拜永山高级工程师的帮助,笔者谨致谢忱。

参考文献:

- [1] 罗照华,邓晋福,曹永清,等.青海省东昆仑地区晚古生代—早中生代火山活动与区域构造演化[J].现代地质,1999,13(1):52-53.
- [2] 陈文,Ararud N. 巴颜喀拉地体 POG 型花岗岩同位素年代学研究[J].地球学报,1997,18(3):261-262.
- [3] 里特曼·A. 火成岩的稳定矿物组合计算方法[M].金秉慧,译.北京:地质出版社,1979:1-90.
- [4] Le Maitre R M. Some problems of the projections of chemical data into mineralogical classifications[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1976, 56(2): 181-189.
- [5] 王忠,李大鹏,刘金宝,等.内蒙古中—东部地区基底岩石、花岗岩和玄武岩的 Nd 同位素组成及其对该区地壳演化的指示[J].现代地质,2008,22(5):715-724.
- [6] 喻学惠,任建业,张俊霞.太行山中段铜—金成矿条件及找矿方向[M].北京:地质出版社,1996:1-139.
- [7] 赵振华.微量元素地球化学原理[M].北京:科学出版社,1997:1-91.
- [8] 李昌年.火成岩微量元素岩石学[M].武汉:中国地质大学出版社,1992:1-200.
- [9] 胡瑞忠,赵军红.胶东北部碱性超基性脉岩地球化学特征及环境和成因探讨[J].地质科学,2005,40(1):69-83.
- [10] 李双建,肖开华,沃玉进.湘西、黔北地区志留系稀土元素地球化学特征及其地质意义[J].现代地质,2008,22(2):273-281.
- [11] 宋彪,张玉海,万渝生,等.锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J].地质论评,2002,48(增刊):26-30.
- [12] Hess P C. Origin of Igneous Rocks[M]. Cambridge: Harvard University Press, 1989: 1-336.
- [13] Johnson K E, Harmon R S, Richardson J M, et al. Isotope and trace element geochemistry of Augustine Volcano, Alaska: Implications for magmatic evolution[J]. Journal of Petrology, 1996, 37: 95-115.
- [14] 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.
- [15] Batchelor R A, Bowden P. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multi-cationic parameters[J]. Chemical Geology, 1985, 48(1/4): 43-55.
- [16] 韩宝福.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,2007,14(3):64-72.