

文章编号: 1006-6616 (2017) 04-0567-10

青海省亚马托侵入岩地球化学特征及其 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年的构造意义

孙 健, 孙东亮

(陕西地矿第一地质队, 陕西 安康 725000)

摘 要: 亚马托侵入岩位于柴达木盆地东北缘, 为塔塔楞河大岩基的东段部分。岩性为似斑状正长花岗岩+斑状二长花岗岩组合, 岩石中斑晶含量 6%~25%, 颗粒达 1~5 cm, 构成环斑结构。该侵入岩地球化学特征显示, Eu 具明显的亏损特征, 反映岩石经历了强烈的分离结晶作用, 与壳源花岗岩(S型)很相似, 表明这些花岗岩为地壳部分熔融的产物, 属后碰撞环境的壳源岩浆岩组合。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果表明岩体形成于 429.9 ± 1.4 Ma, 时代为早志留世, 佐证了其是早古生代造山过程结束或近于结束的标志, 这一成果为进一步研究柴北缘造山带的构造演化提供了重要的年代学约束。

关键词: 柴北缘; 亚马托侵入岩; 地球化学; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年

中图分类号: P584 P588.12

文献标识码: A

0 引言

塔塔楞河大岩基产于柴北缘柴旦至塔塔楞河地区, 岩体规模很大, 面积近 2000 km²[1]。本次研究的亚马托侵入岩即为塔塔楞河大岩基的东段部分, 前人对其形成时代的认识长期模糊不清, 前期研究认为塔塔楞岩基是印支—燕山期岩浆活动的产物, 其 K-Ar 年龄为 163~200 Ma 和 151.3 Ma^[2]。吴才来等对柴北缘西段的花岗岩体进行了 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年, 其中赛什腾山岩体年龄为 465.4 ± 3.5 Ma, 团鱼山岩体两期侵入岩的年龄分别为 469.7 ± 4.6 Ma 和 443.5 ± 3.6 Ma, 牛心山花岗岩和民乐窑沟花岗闪长岩的年龄分别为 476.7 ± 6.6 Ma 和 463.2 ± 4.7 Ma^[3-5], 廖华等在扫迪南部花岗岩中采用 LA-ICP-MS 法获得锆石 U-Pb 测年值为 461.5 ± 1.6 Ma^[6], 成岩年龄均属奥陶纪。卢欣祥等采用高精度锆石 SHRIMP U-Pb 法获得了亚马托侵入岩的年龄值为 440 Ma^[7-8], 证明了柴达木盆地北缘早古生代时期存在强烈的构造岩浆活动。

本文主要通过分析研究塔塔楞岩体的地球化学及时代依据等方面的资料, 探讨塔塔楞岩体的岩石成因及形成的构造环境。这一研究能够为正确认识柴北缘构造带加里东运动及其物质表现、岩浆作用提供确凿的证据, 对研究古生代柴北缘造山带的形成演化具有重要意义。

1 地质背景

塔塔楞河大岩基大地构造位置主要位于早古生代祁连山带南祁连地块^[9](见图1)。根据不同构造单元中侵入岩浆构造带的分布特点, 柴北缘的东段可划分为三个构造岩浆岩带(三级构造单元), 自北向南依次为南祁连、全吉山和滩间山三个构造岩浆带。

(1) 南祁连构造岩浆岩带

在乌兰哈德一带由辉长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩和二长花岗岩组成, 构成乌兰哈德郭勒早泥盆世后碰撞构造岩浆岩段, 岩石属钙碱性系列, 属后碰撞环境。

在伊克达坂一带, 构成塔塔楞岩基, 为二长

收稿日期: 2016-12-23

基金项目: 中国地质调查局青藏地质调查工作项目(12120114018101)

作者简介: 孙健(1983-), 男, 工程师, 从事区域地质调查及矿产勘查工作。E-mail: 290564897@qq.com

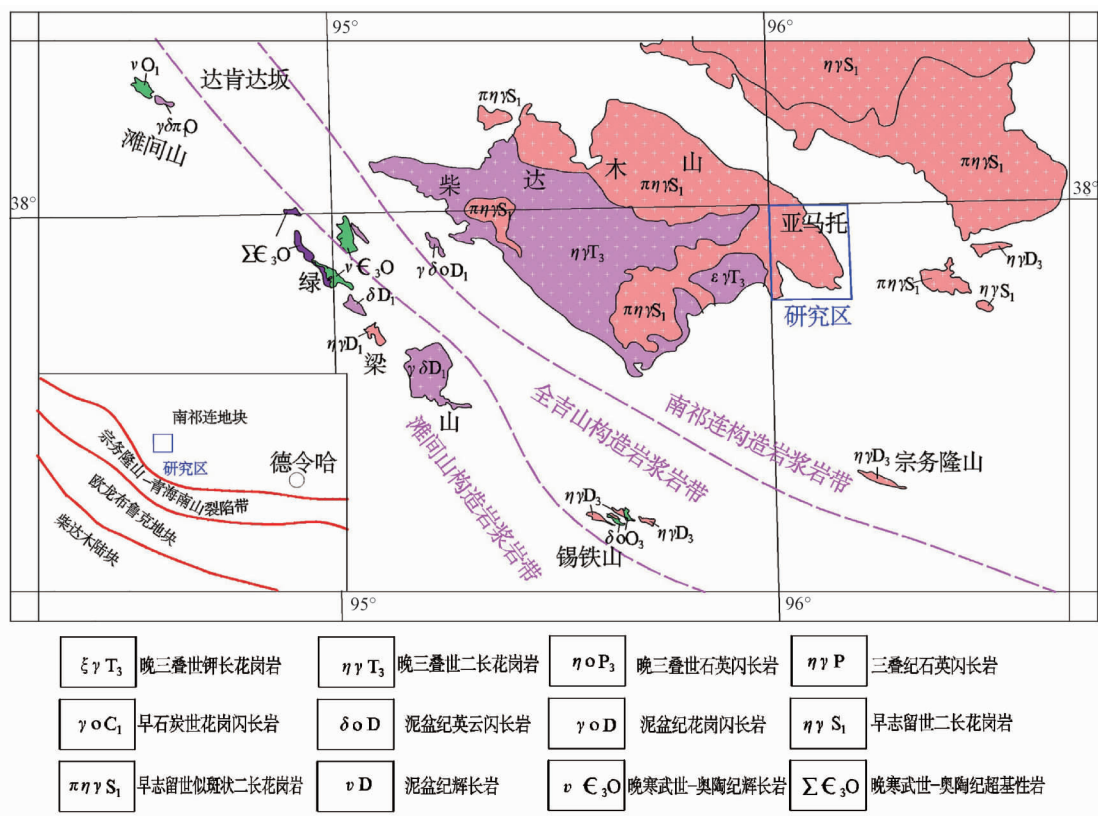


图1 亚马托侵入岩位置

Fig. 1 Tectonic location of Yamatuo intrusive rocks

花岗岩 + 斑状二长花岗岩组合，过铝质高钾钙碱性系列，富钾及钾长石斑状钙碱性花岗岩类，属后碰撞环境的岩浆岩组合。

(2) 全金山构造岩浆岩带

在石底泉一带零星分布，构成石泉底晚泥盆世后造山构造岩浆岩段。岩性为紫红色流纹斑岩，过铝质钙碱性系列，流纹斑岩，属后造山环境。

在草绿河一带呈小岩株分布，构成草绿河早白垩世后造山构造岩浆岩段。岩性为灰红色中细粒含白云母正长花岗岩，属典型的后造山环境形成的花岗岩。

(3) 滩间山构造岩浆岩带

带内小岩株零星分布，岩石为辉长岩 + 闪长岩 + 二长花岗岩 + 流纹斑岩组合，属过铝质钙碱性系列，富钾及钾长石斑状钙碱性花岗岩类。

2 地质特征

本次研究区的侵入岩由 10 个规模不等的侵入体组成，呈岩基、岩株或岩瘤状产出，平面形态

多不规则，长轴方向以北西向为主。总体上具有出露面积广、成带性明显的特征。岩性主要有中粗粒正长花岗岩、似斑状正长花岗岩、似斑状二长花岗岩、中粗粒二长花岗岩及英云闪长岩，各侵入体之间为脉动接触关系。

研究区内岩体外围被第四系覆盖，未见有围岩与之直接接触。区域上在亚马托郭勒一带，该侵入岩侵入于巴龙贡噶尔组地层中。

3 岩相学特征

本次研究的亚马托侵入岩，岩石类型主要为灰白色—肉红色似斑状黑云母钾长花岗岩、灰白色—肉红色中粗粒黑云母二长花岗岩，为过铝质高钾钙碱性系列，富钾及钾长石斑状钙碱性花岗岩类。岩体中见较多的捕虏体，捕虏体岩性为二云母透闪石斜长变粒岩。

灰白色似斑状黑云母正长花岗岩，岩石呈浅灰色，似斑状结构，块状构造。矿物成分由钾长石 (60%)、石英 (20% ~ 25%)、斜长石 (15% ~ 20%)、黑云母 (<1%) 等组成，在 QAPF 图上

投影在钾长花岗岩区。钾长石含量在 60% 以上,成分主要为微纹长石,其次有微斜长石,均呈它形粒状,粒径大小不等,最大为 10~50 mm,呈“斑晶”状,一般为 5~10 mm,未次变,斑晶含量 6%~25%。钾长石晶体中包裹有板状斜长石,说明其生成晚,杂乱分布。条纹构造清楚,条纹成分应是钠长石。石英含量为 20%~25%,呈它形粒状,粒径大小为 0.3~5 mm 不等,大小混杂分布于钾长石之间。斜长石含量 15%~20%,成分为更长石,呈半自形板状,粒径大小在 2~5 mm 之间,发生了强绢云母化,大多呈嵌晶状包于粗大的钾长石晶体之中,杂乱分布。黑云母很少,呈细粒片状,发生了绿泥石化,大多包于粗大钾长石晶体中。

灰白色中粗粒黑云母二长花岗岩,岩石呈浅灰色,其中粗粒结构,块状构造。岩石矿物成分主要由钾长石(40%)、斜长石(30%~35%)、石英(20%~25%)、黑云母(3%)及微量的磁

铁矿组成。钾长石含量在 40% 以上,成分是微斜长石,呈它形粒状,粒径大小为 3~8 mm 的中粗粒级,未次变。格子状双晶较清楚,少数晶体中有斜长石嵌晶,杂乱分布。斜长石含量为 30%~35%,成分为更长石。呈半自形板状,粒径大小为 2~7 mm 的中粗粒级,发生了绢云母化,但仍可见到聚片双晶,杂乱分布。石英约占 20%~25%,呈它形粒状,粒径大小为 0.3~3 mm 的中细粒级,充填于长石颗粒之间。黑云母含量在 3% 以下,呈板状,片径在 (0.2~0.5) mm × (1~2) mm,褐色,呈集合体状散布。

4 岩石地球化学特征

本次研究在亚马托侵入岩中系统采集了稀土元素、微量元素分析样 18 件套,其中黑云母正长花岗岩中共采 11 件套,在黑云母二长花岗岩中共采集 7 件套,样品采集分布位置见图 2。

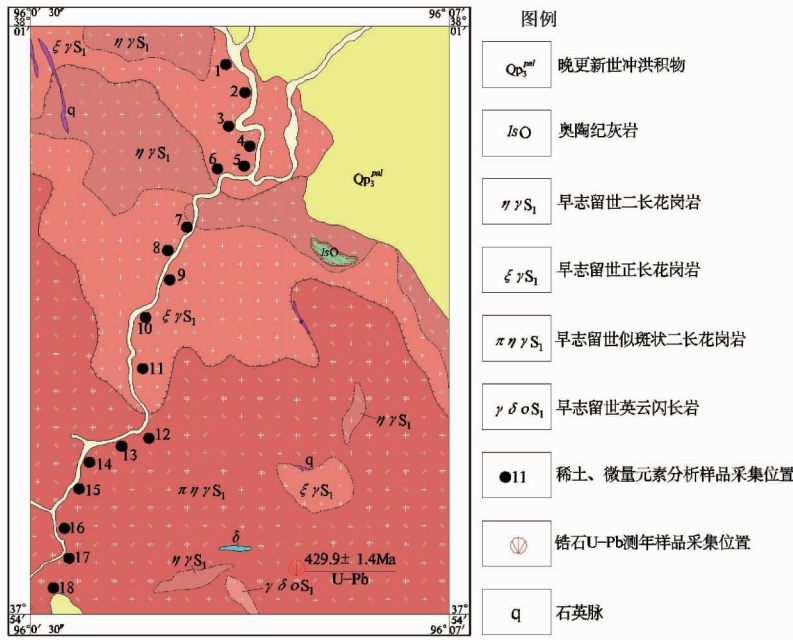


图 2 样品采集位置分布图

Fig. 2 Distribution map of the sample collection position

4.1 稀土元素特征

亚马托侵入岩稀土特征见表 1,由早期二长花岗岩到晚期正长花岗岩,稀土总量 ΣREE 在 $98.11 \times 10^{-6} \sim 303.79 \times 10^{-6}$ 之间,岩石的稀土总量平均值为 175.58×10^{-6} ,低于上地壳平均值 210×10^{-6} 。

样品中岩石轻重稀土比值 (LREE/HREE) 在

3.32~10.19 之间,说明本区侵入岩普遍轻稀土富集,重稀土亏损。 δEu 介于 0.12~0.43,均小于 1,具明显的 Eu 负异常特征; $(La/Yb)_N$ 的值为 2.24~13.19,各样品岩石的 $(La/Yb)_N$ 值普遍小于或接近 10,与涂光炽总结的我国花岗岩稀土元素分布特征比较,本区花岗岩基本与壳型花岗岩晚期相似^[10]。

表1 亚马托侵入岩岩石稀土元素及参数特征表 ($w \times 10^{-6}$)

Table 1 Rare-earth elements and parameter characteristics table of Yamatuo intrusive rocks

序号	岩性	样品编号	轻稀土元素								重稀土元素					
			La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
1	黑云母正长花岗岩	PM12-XT1	20.0	47.9	5.49	19.8	5.28	0.23	5.98	1.11	7.56	1.52	4.74	0.70	4.61	0.63
2		PM12-XT2	19.9	45.8	5.28	19.0	5.07	0.31	5.65	1.06	6.83	1.33	4.17	0.60	4.18	0.55
3		PM12-XT3	15.8	38.6	4.44	15.6	4.10	0.17	4.67	0.88	5.68	1.10	3.45	0.53	3.57	0.50
4		PM12-XT4	17.5	36.0	4.36	15.3	4.21	0.26	4.56	0.90	5.64	1.10	3.39	0.53	3.84	0.52
5		PM12-XT5	25.0	56.8	6.96	24.7	6.36	0.33	7.01	1.24	7.97	1.55	4.78	0.68	4.59	0.61
6		PM12-XT6	27.2	59.4	7.14	25.4	6.12	0.47	6.83	1.22	7.97	1.57	4.86	0.69	4.52	0.60
7		PM12-XT7	27.8	60.5	6.82	24.5	5.58	0.51	6.06	0.94	5.42	1.05	3.11	0.43	2.83	0.38
8		PM12-XT8	30.1	63.0	7.54	27.3	6.21	0.68	6.63	1.03	5.94	1.16	3.53	0.48	2.99	0.39
9		PM12-XT9	18.1	44.1	5.34	19.5	5.67	0.15	6.26	1.22	8.08	1.52	4.86	0.71	4.70	0.65
10		PM12-XT10	30.0	62.9	7.25	25.8	5.75	0.71	6.18	0.98	5.86	1.13	3.30	0.45	2.90	0.38
11	PM12-XT11	34.4	70.4	7.97	28.6	6.10	0.86	6.95	1.02	5.85	1.09	3.31	0.45	2.81	0.36	
12	PM12-XT12	38.7	80.4	9.16	32.9	7.14	0.74	7.97	1.18	6.97	1.33	3.90	0.53	3.33	0.44	
13	PM12-XT13	39.4	85.1	9.54	33.6	7.20	0.73	7.87	1.15	6.63	1.24	3.81	0.51	3.30	0.44	
14	黑云母二长花岗岩	PM12-XT14	39.3	80.3	9.38	33.4	7.34	0.89	8.03	1.22	7.26	1.39	4.14	0.54	3.26	0.47
15		PM12-XT15	39.3	77.3	9.25	33.4	7.20	0.97	8.28	1.27	7.40	1.43	4.18	0.54	3.23	0.44
16		PM12-XT16	64.3	133	14.4	52.3	9.56	1.35	10.4	1.31	6.82	1.23	3.57	0.48	3.00	0.42
17		PM12-XT17	58.0	120	13.3	48.1	8.70	1.30	9.81	1.24	6.52	1.27	3.54	0.47	3.01	0.43
18		PM12-XT18	64.2	134	15.1	52.6	9.60	1.14	10.7	1.32	6.75	1.21	3.51	0.45	2.83	0.38

特征参数

序号	Y	Σ REE	LREE	HREE	LREE/HREE	$(La/Yb)_N$	Sm/Nd	La/Sm	δCe	δEu
1	43.9	125.55	98.7	26.85	3.68	2.52	0.27	3.79	1.09	0.12
2	39.2	119.73	95.36	24.37	3.91	2.77	0.27	3.93	1.06	0.18
3	31.7	99.09	78.71	20.38	3.86	2.57	0.26	3.85	1.10	0.12
4	30.8	98.11	77.63	20.48	3.79	2.65	0.28	4.16	0.98	0.18
5	44.7	148.58	120.15	28.43	4.23	3.17	0.26	3.93	1.03	0.15
6	45.4	153.99	125.73	28.26	4.45	3.50	0.24	4.44	1.01	0.22
7	29.3	145.93	125.71	20.22	6.22	5.71	0.23	4.98	1.04	0.27
8	33.2	156.98	134.83	22.15	6.09	5.85	0.23	4.85	0.99	0.32
9	43.7	120.86	92.86	28	3.32	2.24	0.29	3.19	1.08	0.08
10	31.5	153.59	132.41	21.18	6.25	6.01	0.22	5.22	1.01	0.36
11	31.0	170.17	148.33	21.84	6.79	7.12	0.21	5.64	1.00	0.40
12	36.3	194.69	169.04	25.65	6.59	6.76	0.22	5.42	1.01	0.30
13	35.0	200.52	175.57	24.95	7.04	6.94	0.21	5.47	1.04	0.30
14	39.2	196.92	170.61	26.31	6.48	7.01	0.22	5.35	0.99	0.35
15	39.4	194.19	167.42	26.77	6.25	7.07	0.22	5.46	0.96	0.38
16	33.7	302.14	274.91	27.23	10.10	12.46	0.18	6.73	1.03	0.41
17	33.4	275.69	249.4	26.29	9.49	11.20	0.18	6.67	1.02	0.43
18	32.8	303.79	276.64	27.15	10.19	13.19	0.18	6.69	1.02	0.34

注：测试单位为国土资源部西安矿产资源监督检测中心

在以球粒陨石为标准化的稀土元素配分模式图中（见图3），曲线呈右倾斜的轻稀土富集型式，Eu具明显的亏损特征，反映岩石经历了强烈的分离结晶作用。由图3可见，本区侵入岩曲线近于平行，显示同源岩浆特征。

总之，上述各项稀土元素特征与壳源花岗岩（S型）很相似，表明这些花岗岩为地壳部分熔融同源岩浆演化而成的产物。

4.2 微量元素特征

亚马托侵入岩岩石微量元素分析结果见表2。与维氏花岗岩微量元素^[11]平均值相比，本区花岗

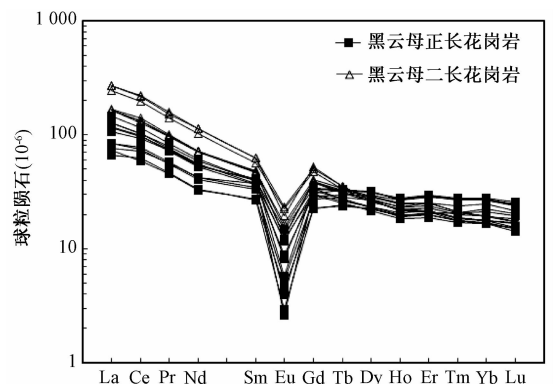


图3 亚马托侵入岩稀土元素配分模式图

Fig. 3 NASC normalized REE pattern of Yamatuo intrusive rocks

岩的 Hf、Sc、Rb、Th 元素丰度均高于维氏值,其元素丰度值相对富集,仅有两个样品中 Zr 元素含量大于维氏值, Ta 元素均小于维氏值,其余元素丰度值基本普遍低于维氏值,具不同程度的亏

损^[12]。在以原始地幔为标准的微量元素比值蛛网图中(见图4), Rb、Th 等元素具明显的富集,其它元素具不同程度的亏损,反映出壳源花岗岩的特征。

表2 亚马托侵入岩岩石微量元素特征表
Table 2 Trace element characteristics table of Yamatuo intrusive rocks

序号	样号	微量元素丰度 ($\omega_B/10^{-6}$)											
		Zr	Nb	Ba	Hf	Ta	Ni	P	Sr	Ti	Sc	Cr	Co
1	PM12-Dy1	85.7	16.6	288	8.53	1.4	1.33	289	31.6	469	4.42	15.1	1.10
2	PM12-Dy2	99.2	32.8	500	7.71	0.74	2.11	290	52.2	572	4.76	16.3	1.27
3	PM12-Dy3	107	32.2	222	6.43	1.56	2.04	341	45.8	594	4.59	16.2	1.42
4	PM12-Dy4	67	34.4	98.2	7.18	1.91	1.13	318	50.2	352	5.69	23.9	0.81
5	PM12-Dy5	86.4	18.5	135	7.45	1.38	1.28	269	33.5	474	5.35	15.7	1.11
6	PM12-Dy6	101	16.5	226	5.1	1.07	1.92	274	61.1	679	3.58	13.9	1.37
7	PM12-Dy7	91.6	21.9	184	3.7	0.89	1.26	1025	45.7	606	3.58	14.3	1.29
8	PM12-Dy8	81.1	24.7	183	4.12	0.48	1.77	259	54.4	574	4.40	63.5	1.41
9	PM12-Dy9	79.4	27.3	60.9	7.21	1.05	0.96	315	23.6	438	4.01	11.5	0.83
10	PM12-Dy10	107	46	324	3.43	1.05	1.9	289	46.6	644	2.66	17.9	1.58
11	PM12-Dy11	108	53.6	398	3	1.2	1.99	288	64.1	627	2.80	10.7	1.30
12	PM12-Dy12	141	45.8	317	3.37	0.76	2.16	356	77.7	839	3.85	18.6	1.55
13	PM12-Dy13	144	46.6	303	3.73	0.99	2.1	320	63.6	808	3.86	27.2	2.08
14	PM12-Dy14	114	15.2	356	3.46	1.27	2.51	332	79.0	768	5.38	46.8	1.68
15	PM12-Dy15	127	47.1	312	4.95	0.88	2.3	291	49.9	821	5.05	23.1	1.78
16	PM12-Dy16	203	29.6	746	2.49	1.86	5.96	462	133	1473	7.49	31.6	4.10
17	PM12-Dy17	225	23.5	744	2.25	1.26	6.86	784	105	1631	7.87	64.4	4.84
18	PM12-Dy18	130	36.3	1046	2.25	0.86	4.39	393	105	1150	6.04	12.5	3.37
维氏值 (1962)		200	20	830	1	3.5	8	700	300	2300	3	25	5

序号	样号	微量元素丰度 ($\omega_B/10^{-6}$)						参数
		Rb	Mo	W	V	Th	U	
1	PM12-Dy1	449	4.30	2.05	8.13	27.1	4.71	14.21
2	PM12-Dy2	421	2.39	5.37	14.1	28.7	6.99	8.07
3	PM12-Dy3	401	1.39	3.38	8.76	25.6	4.19	8.76
4	PM12-Dy4	556	3.99	3.80	6.19	24.8	3.06	11.08
5	PM12-Dy5	441	2.63	3.35	6.59	27.1	5.89	13.16
6	PM12-Dy6	314	0.68	3.83	10.1	25.8	2.57	5.14
7	PM12-Dy7	355	0.90	3.54	9.78	20.4	2.05	7.77
8	PM12-Dy8	392	0.50	2.21	10.1	16.3	2.44	7.21
9	PM12-Dy9	449	0.51	4.08	4.37	21.7	5.19	19.03
10	PM12-Dy10	303	1.37	1.83	11.2	22.2	2.93	6.50
11	PM12-Dy11	275	0.87	1.13	11.5	23.2	2.09	4.29
12	PM12-Dy12	268	1.14	1.70	13.6	30.2	3.98	3.45
13	PM12-Dy13	289	1.51	2.27	13.2	30.8	1.71	4.54
14	PM12-Dy14	296	0.51	9.29	16.6	31.6	2.23	3.75
15	PM12-Dy15	292	0.72	1.82	13.4	34.3	3.80	5.85
16	PM12-Dy16	230	1.33	1.43	28.8	35.7	2.64	1.73
17	PM12-Dy17	228	0.56	1.23	30.0	37.9	2.63	2.17
18	PM12-Dy18	220	1.44	1.82	23.3	27.6	1.39	2.10
维氏值 (1962)		200	1	1.5	40	18	3.5	

注:测试单位为国土资源部西安矿产资源监督检测中心

5 构造环境分析

5.1 岩石成因

亚马托侵入岩岩石均表现为高钾钙碱性、轻

稀土富集重稀土亏损特征,大部分岩石具负 Eu 异常等特征。各侵入体中普遍发育钾长石巨斑(见图5),发育卡式双晶。基质为中粗粒结构,显示斑晶钾长石早期经历了充分的结晶,其原始岩浆钾质成分含量高。在岩体中发育闪长质的包体与

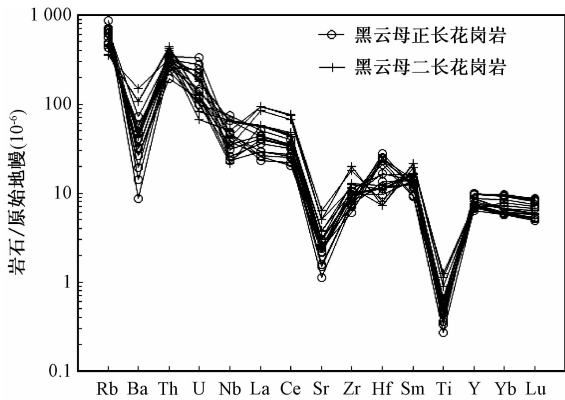


图4 亚马托侵入岩微量元素比值蛛网图
Fig. 4 Spider diagram of trace element ratio of Yamatuo intrusive rocks

寄主似斑状正长花岗岩突变界线截然，包体可见细粒边（冷凝边），反映原始岩浆可能经历了混合作用（见图6）。

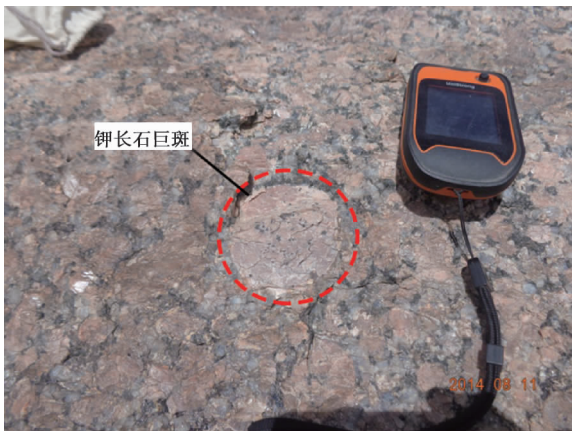


图5 岩石中的钾长石巨斑
Fig. 5 Giant potash feldspar phenocryst in the rock



图6 岩体中的包体及细粒边
Fig. 6 Fine-grained rims and chilled borders in the rock

因此，综上认为亚马托侵入岩经历了早期钾质花岗岩浆的结晶作用，形成钾长石巨粒斑晶，晚期发生了岩浆混合作用，形成中粗粒花岗结构的基质。

5.2 构造环境分析

利用所采集的岩石地球化学数据投图，在 Nb-Y 图解（见图7）中，所有样品落入板块花岗岩区，个别中粗粒正长花岗岩样品落入碰撞花岗岩界线附近；在 Rb-Nb + Y 图解（见图8）中，部分正长花岗岩样品落入同碰撞区及板内花岗岩区；大部分样品黑云母二长花岗岩落入板内花岗岩区，部分样品落入同碰撞区、板内花岗岩界线附近。

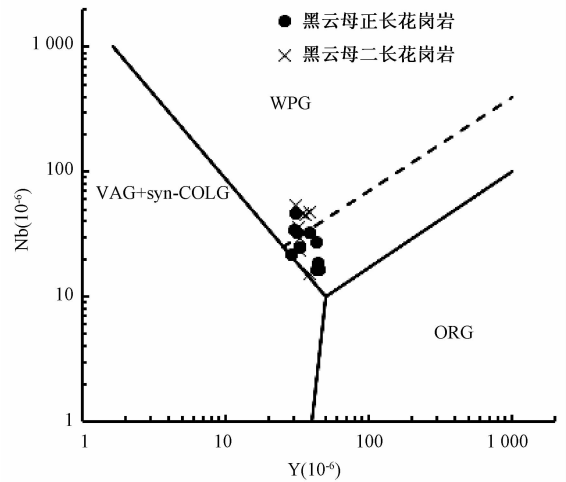


图7 亚马托侵入岩 Nb-Y 图解
Fig. 7 Nb versus Y diagrams of Yamatuo intrusive rocks

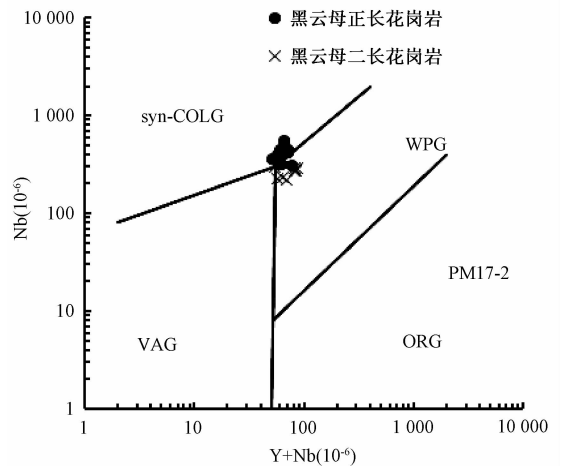


图8 亚马托侵入岩 Rb-Nb + Y 图解
Fig. 8 Rb versus Nb + Y diagrams of Yamatuo intrusive rocks

因此，亚马托侵入岩兼顾了同碰撞及板内花岗岩两类花岗岩的特征，反映其可能处于碰撞型

花岗岩向板内花岗岩的过渡期^[13],进一步佐证了该侵入体是早古生代造山过程结束或近于结束的标志,代表了造山运动顶峰之后由挤压向拉张转化的松弛阶段形成,属于后碰撞环境,柴北缘由此开始由汇聚进入区域伸展构造体系。

6 时代讨论

6.1 分析与测试方法

本次研究测试的锆石样品采自艾力崩格南部一带的似斑状黑云母二长花岗岩中(见图2),岩样经过机械破碎,后经淘洗、磁选和重液分选后,在双目镜下挑出无色透明的、无裂痕无包体的颗粒,进行治靶,最后进行锆石的阴极(CL)内部结构以及 LA-ICP-MS 原位微量元素和同位素分析测试。本次实验中共挑选 36 颗锆石进行了测试分析,锆石的 CL 图像是在河北廊坊尚艺岩矿检测技术有限公司完成,U-Pb 定年以及微量元素分析则是在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。测试点的选取首先根据锆石反射光和透射光照片

进行筛选,再与 CL 图像反复对比,力求避开内部裂隙和包裹体,以获得更加准确与客观的年龄信息。

本次测量采用锆石 U-Pb 激光探针等离子体质谱仪(LA-MC-ICP-MS)进行微区原位 U-Pb 同位素测定的方法,仪器配置和实验流程参见文献[14~15]。实验过程中采用 91500 U/Pb standard zircon 作为锆石年龄标准进行 U-Pb 同位素分流校正。实验数据采用 ICPMSDataCal 程序和 Isoplot 程序进行处理,同时应用²⁰⁸Pb 矫正法对普通 Pb 进行校正,利用 NIST612 玻璃标样计算锆石样品的 Pb、U、Th 含量。

6.2 实验结果分析

锆石阴极发光照片见图9,其中选择测年的锆石大部分呈自形一半自形长柱状或短柱状,淡棕色,透明。绝大部分锆石发育明显的振荡环带,环带窄而细密,个别锆石中出现扇形分带的结构,具有岩浆成因岩浆型锆石的重要特征^[16]。个别锆石(21号)中有继承锆石的残留核,反映岩石中有继承锆石存在。

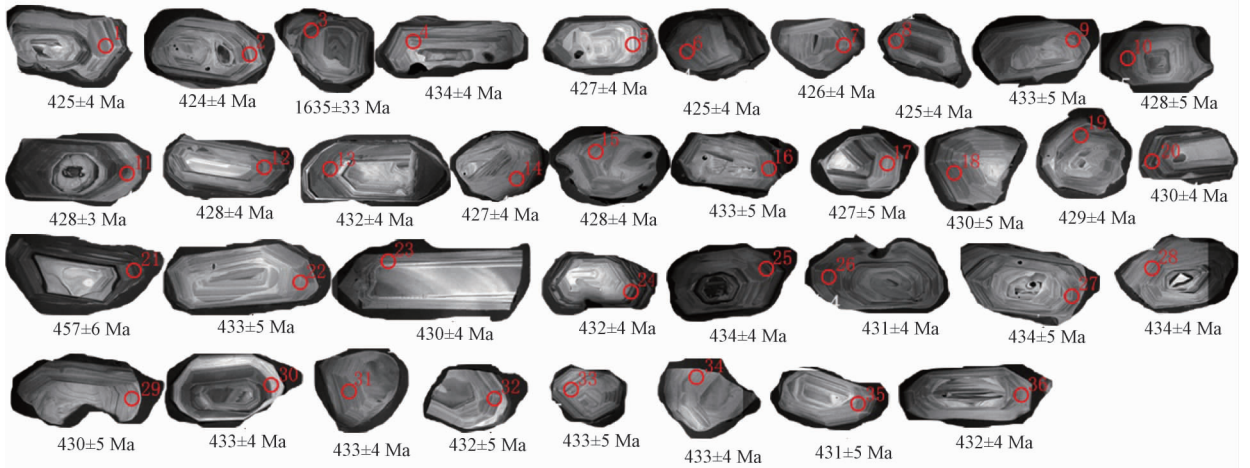


图9 似斑状黑云母二长花岗锆石 CL 图像

Fig. 9 CL Images of porphyritic biotite monzogranite zircons

锆石 U-Pb 测试数据结果见表3。除3、21点外,其余34个样点²⁰⁶Pb/²³⁸U 同位素谐和年龄为 430.6 ± 1.8 Ma(见图10),²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄加权平均值为 429.9 ± 1.4 Ma(见图11),锆石 U-Pb 同位素谐和图上,大部分分析点均在谐和线上,个别在谐和线一下,可能为测试过程中剥蚀到锆石的核部所致,代表了混合年龄;同位素直方图上,大部分分析点误差相差不大,代表了该期花岗岩的最终结晶年龄。

本次研究在似斑状黑云母二长花岗岩中获得了 429.9 ± 1.4 Ma 的锆石 U-Pb 表面加权平均年龄值,与前人获得的年龄值基本相当^[7],因此认为其侵位时代为早志留世。而这个年龄是柴达木盆地北缘早古生代最年轻的岩浆岩年龄,表明早古生代造山过程趋于结束,柴北缘开始由汇聚进入区域伸展构造体系,因此该时期为柴北缘构造演化的重要转换期。

表 3 黑云母二长花岗岩体锆石 U-Pb 测试结果表

Table 3 Test results table of biotite monzogranite zircon U-Pb

样品编号 点号	PM12-U-Pb2					岩石名称 黑云母二长花岗岩	表面年龄及误差 (Ma)					
	同位素比值						表面年龄及误差 (Ma)					
	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	²³⁸ U/ ²³² Th		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ
1	0.0682	0.5240	0.0559	0.0198	2.3968	425.09	3.83	427.81	10.81	450.05	72.22	
2	0.0680	0.5424	0.0578	0.0198	2.2952	424.03	3.75	439.99	9.91	524.11	61.10	
3	0.2888	5.9647	0.1476	0.0651	2.6858	1635.39	32.66	1970.71	26.29	2320.38	31.33	
4	0.0696	0.5386	0.0562	0.0189	1.8104	433.63	3.77	437.53	10.27	461.16	64.81	
5	0.0686	0.5399	0.0573	0.0200	2.4201	427.54	4.12	438.38	12.58	505.60	81.47	
6	0.0682	0.5247	0.0557	0.0198	2.8448	425.20	4.20	428.30	10.03	442.64	62.96	
7	0.0683	0.5481	0.0582	0.0195	2.2280	425.71	4.04	443.77	11.68	538.93	72.21	
8	0.0682	0.5256	0.0559	0.0188	1.3397	425.06	3.64	428.92	9.29	450.05	61.11	
9	0.0695	0.5361	0.0559	0.0203	1.6023	433.10	4.99	435.87	12.21	455.60	75.92	
10	0.0686	0.5171	0.0547	0.0197	2.0621	427.65	4.88	423.22	13.06	398.20	78.70	
11	0.0686	0.5277	0.0556	0.0208	5.2381	427.88	3.46	430.31	8.00	435.23	50.00	
12	0.0686	0.5151	0.0543	0.0209	2.1943	427.54	4.05	421.85	10.25	388.94	66.66	
13	0.0693	0.5322	0.0556	0.0203	2.5727	431.73	3.84	433.24	9.64	435.23	61.11	
14	0.0684	0.5298	0.0561	0.0206	2.4221	426.53	4.09	431.65	11.52	453.75	69.44	
15	0.0686	0.5252	0.0555	0.0208	2.1768	427.83	4.16	428.61	10.26	435.23	66.66	
16	0.0694	0.5630	0.0585	0.0217	2.2445	432.76	4.79	453.50	13.26	546.33	74.06	
17	0.0684	0.5459	0.0578	0.0208	3.1352	426.73	5.12	442.33	12.46	520.41	75.92	
18	0.0690	0.5401	0.0566	0.0204	2.3236	429.98	4.80	438.52	11.31	475.97	66.66	
19	0.0689	0.5441	0.0575	0.0213	2.2112	429.28	4.10	441.16	10.99	509.30	74.99	
20	0.0690	0.5370	0.0563	0.0212	2.8453	429.89	3.66	436.45	8.51	461.16	56.48	
21	0.0734	0.9300	0.0911	0.0450	4.3044	456.65	5.70	667.64	13.43	1450.01	42.44	
22	0.0695	0.5310	0.0554	0.0213	1.5380	433.06	5.30	432.46	13.36	427.83	83.33	
23	0.0689	0.5240	0.0550	0.0212	1.5057	429.52	4.33	427.85	10.69	409.31	66.66	
24	0.0693	0.5243	0.0545	0.0207	4.0551	432.08	3.92	428.00	9.96	394.50	64.81	
25	0.0691	0.5175	0.0540	0.0217	2.3313	431.00	4.31	423.49	11.32	372.28	74.07	
26	0.0696	0.5165	0.0535	0.0214	2.4004	433.91	4.34	422.81	10.81	350.06	70.37	
27	0.0697	0.5492	0.0569	0.0202	2.3456	434.24	4.92	444.45	11.37	487.08	68.51	
28	0.0697	0.5324	0.0553	0.0218	2.2845	434.06	4.27	433.37	11.17	433.38	72.22	
29	0.0690	0.5317	0.0556	0.0204	2.5604	430.31	5.25	432.95	12.80	435.23	84.25	
30	0.0695	0.5345	0.0554	0.0206	2.9254	433.13	4.05	434.77	10.30	427.83	69.44	
31	0.0695	0.5418	0.0565	0.0209	2.1656	433.00	4.28	439.62	10.75	472.27	36.11	
32	0.0693	0.5011	0.0524	0.0209	1.9385	432.03	5.12	412.44	11.56	301.91	77.77	
33	0.0695	0.5102	0.0530	0.0207	2.3624	433.40	4.61	418.59	10.29	331.54	66.66	
34	0.0695	0.5350	0.0560	0.0203	2.3000	433.28	4.33	435.12	10.80	450.05	65.74	
35	0.0692	0.5320	0.0556	0.0208	3.2766	431.04	4.71	433.15	11.88	438.94	80.55	
36	0.0694	0.5122	0.0535	0.0202	2.4103	432.43	4.04	419.96	10.91	350.06	78.70	

备注: 1. 表中所列误差均为 1σ 误差; 2. 样品测试单位为西北大学

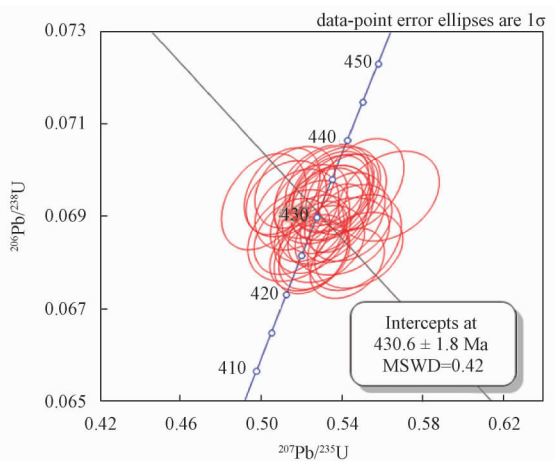


图 10 亚马托侵入岩锆石 U-Pb 年龄谱和图
Fig. 10 Zircon U-Pb concordia diagram of Yamatuo intrusive rocks

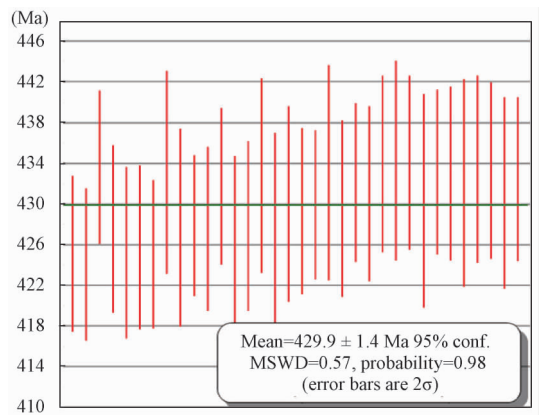


图 11 亚马托侵入岩锆石 U-Pb 年龄加权图
Fig. 11 Zircon U-Pb ages weighted graph of Yamatuo intrusive rocks

7 结论

(1) 研究区侵入岩在稀土元素特征上, 普遍为轻稀土富集, 重稀土亏损, 具明显的 Eu 负异常特征; $(La/Yb)_N$ 值普遍小于或接近 10, 与壳型花岗岩晚期相似, 其特征显示了同源岩浆特征。微量元素 Rb、Th、Ti、Sc 元素明显富集, 其它元素不同程度相对亏损, 具壳源花岗岩特征; 同时研究区侵入岩中普遍发育钾长石巨斑, 表明钾长石早期经历了充分的结晶, 而在岩体中发育闪长质的包体与寄主正长花岗岩突变界线截然, 且可见细粒边, 则反映了原始岩浆可能经历了混合作用。因此, 综上所述, 亚马托侵入岩具明显的壳源(地壳混染)花岗岩的特征。

(2) 塔塔楞岩基是由正长花岗岩、二长花岗岩等岩石构成的一套花岗质岩石组合, 均为高钾钙碱性岩浆岩。本次研究在该岩体中获得 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果为 429.9 ± 1.4 Ma, 认为其侵位时代为早志留世晚期, 是柴达木盆地北缘早古生代最年轻的岩浆岩年龄, 基本代表了柴北缘早古生代造山过程结束或近于结束, 即柴北缘早古生代俯冲阶段花岗岩浆活动达到顶峰之后由挤压向拉张转化的松弛阶段开始形成, 其属于同碰撞向后碰撞转换期。进而表明早志留世晚期开始, 柴北缘由汇聚进入区域伸展构造体系。因此, 该年龄的获得为阐明柴北缘加里东运动的构造演化和结束提供了重要的年代学约束。

参考文献/References

[1] 胡能高, 王锐, 王晓霞, 等. 柴北缘塔塔楞环斑花岗岩的矿物学特征及岩石学意义 [J]. 地球科学与环境学报, 2008, 30 (4): 337~345.
HU Nenggao, WANG Rui, WANG Xiaoxia, et al. Mineralogical characteristics and petrological significance of the pataleng rapakivi granite in the Northern Margin of Qaidam Basin [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2008, 30 (4): 337~345.

[2] 青海省地质矿产局. 青海省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1991.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Qinghai Province. Regional geology of Qinghai Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991.

[3] 吴才来, 姚尚志, 杨经绥, 等. 北祁连洋早古生代双向俯冲的花岗岩证据 [J]. 中国地质, 2006, 33 (6): 1197~1208.

WU Cailai, YAO Shangzhi, YANG Jingsui, et al. Double subduction of the Early Paleozoic North Qilian Oceanic plate: Evidence from granites in the central segment of North Qilian, NW China [J]. Geology in China, 2006, 33 (6): 1197~1208.

[4] 吴才来, 郜源红, 吴锁平, 等. 柴北缘西段花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其岩石地球化学特征 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2008, 38 (8): 930~949.
WU Cailai, GAO Yuanhong, WU Suoping, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of granite and its lithogeochemical characteristics in western segment of north margin of Qaidam Basin [J]. Science in China Series D: Earth Science, 2008, 38 (8): 930~949.

[5] 吴才来, 徐学义, 高前明, 等. 北祁连早古生代花岗岩浆作用及构造演化 [J]. 岩石学报, 2010, 26 (4): 1027~1044.
WU Cailai, XU Xueyi, GAO Qianming, et al. Early Palaeozoic grranitoid magmatism and tectonic evolution in North Qilian, NW China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26 (4): 1027~1044.

[6] 廖华, 胡道功, 张绪教, 等. 南祁连奥陶纪花岗岩锆石 U-Pb 年龄及地质意义 [J]. 地质力学学报, 2014, 20 (3): 292~298.
LIAO Hua, HU Daogong, ZHANG Xujiao, et al. Zircon U-Pb age for granite of the Ordovician formation and its tectonic significance in the southern Qilian [J]. Journal of Geomechanics, 2014, 20 (3): 292~298.

[7] 卢欣祥, 孙延贵, 张雪亭, 等. 柴达木盆地北缘塔塔楞环斑花岗岩的 SHRIMP 年龄 [J]. 地质学报, 2007, 81 (5): 626~634.
LU Xinxiang, SUN Yangui, ZHANG Xueting, et al. The SHRIMP age of Tatalin Rapakivi granite at the North margin of Qaidam Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81 (5): 626~634.

[8] 肖庆辉, 卢欣祥, 王菲, 等. 柴达木北缘鹰峰环斑花岗岩的时代及地质意义 [J]. 中国科学 (D 辑), 2003, 33 (12): 1193~1200.
XIAO Qinghui, LU Xinxiang, WANG Fei, et al. The age and geological implications of the Yingfeng rapakivi granite in the northern margin of Qaidam Basin [J]. Science in China (Series D), 2003, 33 (12): 1193~1200.

[9] 李荣社, 计文化, 杨永成, 等. 昆仑山及邻区地质图 [M]. 北京: 地质出版社, 2008.
LI Rongshe, JI Wenhua, YANG Yongcheng, et al. Geology map of Kunlun Mountains and its adjacent area [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008.

[10] 涂光炽. 地球化学 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1984.
TU Guangchi. Geochemistry [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1984.

[11] Vinogradov A P. Average concent of chemical elements in the chief types of igneous rocks of the crust of the Earth [J].

- Geokhimiya, 1962, 7 (7): 641 ~ 664.
- [12] 李昌年. 火成岩微量元素岩石学 [M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1992.
- LI Changnian. Trace elements in igneous petrology [M]. Beijing: China University of Geosciences Press, 1992.
- [13] 徐夕生, 邱检生. 火成岩石学 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- XU Xisheng, QIU Jiansheng. Igneous Petrology [M]. Beijing: Science Press, 2010.
- [14] 李怀坤, 耿建珍, 郝爽, 等. 用激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪 (LA-MC-ICPMS) 测定锆石 U-Pb 同位素年龄的研究 [J]. 矿物学报, 2009, 28 (S1): 600 ~ 601.
- LI Huaikun, GENG Jianzhen, HAO Shuang, et al. Research on zircon u-pbisotopic determined by LA-MC-ICPMS [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2009, 28 (S1): 600 ~ 601.
- [15] Jackson S E, Pearson N J, Griffin W L, et al. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology [J]. Chemical Geology, 2004, 211 (1/2): 47 ~ 69.
- [16] 徐芹芹, 赵摇磊, 牛宝贵. 新疆东准噶尔纸房地区早古生代花岗岩的确定及其地质意义 [J]. 地质力学学报, 2015, 21 (4): 502 ~ 516.
- XU Qinqin, ZHAO Yaolei, NIU Baogui. Determination of the Early Paleozoic granite in Zhifang area, East Junggar, Xinjiang and its geological implications [J]. Journal of Geomechanics, 2015, 21 (4): 502 ~ 516.

THE GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND TECTONIC SIGNIFICANCE OF LA-ICP-MS ZIRCON U-PB DATING OF YAMATUO INTRUSIVE ROCKS, QINHAI PROVINCE

SUN Jian, SUN Dongliang

(The Geological Team NO.1, Shaanxi Geology and Mineral Resources, Ankang 725000, Shaanxi, China)

Abstract: Yamatuo intrusive rocks, distributing in the northern margin of Qaidam basin, compose the east part of Tataleng River batholith. The lithology of these rocks is the combination of porphyritic-like syenogranite and porphyritic monzogranite. The phenocryst content in the rocks is 6 ~ 25% and its grain size is 1 ~ 5 cm, revealing rapakivi texture. The geochemical characteristics show that Eu is with obvious depleted characteristics reflecting the strong fractional crystallization of rocks which is very similar to crustal-derived granite (S). All the facts indicate the intrusive rocks are the partial melting of the crust, belonging to the mixture of crust-derived magmatite in post-collisional tectonic setting. The result analysis of LA-ICP-MS zircon U-Pb dating indicates that the rock mass was formed in early Silurian 429.9 ± 1.4 Ma, being the signature of the end or near the end of the orogenic process in early Paleozoic. This finding provides important chronological constraints for further study of the tectonic evolution of the northern margin of Qaidam orogenic belt.

Key words: northern margin of Qaidam basin; Yamatuo intrusive rock; geochemistry; LA-ICP-MS zircon U-Pb dating