

靳松, 荣桂林, 张兆祎, 等. 新疆西准噶尔玛依勒山地区阔依塔斯杂岩体地球化学特征及锆石 U-Pb 年龄[J]. 中国地质, 2016, 43(1): 99-110.
Jin Song, Rong Guilin, Zhang Zhaoyi, et al. Geochemical characteristics and zircon U-Pb ages of the Kuoyitasi complex body from Mayileshan area in western Junggar, Xinjiang[J]. Geology in China, 2016, 43(1): 99-110(in Chinese with English abstract).

新疆西准噶尔玛依勒山地区阔依塔斯杂岩体 地球化学特征及锆石 U-Pb 年龄

靳 松^{1,2} 荣桂林² 张兆祎² 李天刚² 彭朝晖² 吴立昂²

(1. 中国地质大学地球科学学院, 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北 武汉 430074;
2. 河北省地质调查院, 河北 石家庄 050081)

摘要:新疆西准噶尔北部广泛发育中酸性侵入岩, 其形成时代为晚石炭世—早二叠世, 岩石类型为辉石闪长岩、石英闪长岩和花岗闪长岩。阔依塔斯杂岩体的形成年龄为 (297 ± 2) Ma, SiO_2 为 52.40%~67.53%; 高 Al_2O_3 , 14.92%~17.85%; 里特曼指数 (δ) 小于 3.3, 介于 1.47~1.98; 富钠贫钾, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 为 0.15~0.49; 铁高而镁低, $\text{FeO}^\text{T}/\text{MgO}$ 为 1.01~1.69。其稀土配分模式右倾, 轻重稀土分馏明显, 具有微弱铈正异常。地球化学和年代学特征表明: 岩体形成于后碰撞演化的晚期阶段, 这一时间早于东准噶尔后碰撞的时间(二叠纪末)。该杂岩体主体可能为幔源岩浆底侵镁铁质下地壳, 导致发生部分熔融的产物。

关键词:西准噶尔; 晚石炭世—早二叠世; 后碰撞; 岩石成因; LA-ICP-MS 锆石定年

中图分类号: P597.3; P588.12¹⁻² 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2016)01-0099-12

Geochemical characteristics and zircon U-Pb ages of the Kuoyitasi complex body from Mayileshan area in western Junggar, Xinjiang

JIN Song^{1,2}, RONG Gui-lin², ZHANG Zhao-yi², LI Tian-gang², PENG Zhao-hui², WU Li-ang²

(1. Faculty of Earth Science, State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 2. Hebei Institute of Geological Survey, Shijiazhuang 050081, Hebei, China)

Abstract: There are large-scale intermediate-acid intrusive rocks distributed in the north of western Junggar, Xinjiang. The rocks formed during late Carboniferous to early Permian. The typical plutons include pyroxene diorite, quartz diorite and granodiorite. The Kuoyitasi intrusion is among one of them. It has SiO_2 values of 52.40%–67.53%, high Al_2O_3 content (14.92%–17.85%) and Na content, and low K and MgO content. Rittman values (δ) of the samples vary from 1.47 to 1.98, and the $\text{FeO}^\text{T}/\text{MgO}$ values are

收稿日期: 2015-01-13; 改回日期: 2015-08-25

基金项目: 本文由教育部科技项目博士点基金(20130145120016)、中央高校基本科研业务费专项资金优秀青年基金(CUGL120280)和新疆国土资源厅地质调查项目(XJQDZ2008-01和XJQDZ2008-03)联合资助。

作者简介: 靳松, 男, 1982年生, 博士, 工程师, 主要从事岩石地球化学和区域地质矿产调查的研究; E-mail: js521@163.com。

between 1.01 and 1.69. The REE patterns are characterized by LREE enrichment and slight Eu anomalies with obvious fractionation between LREE and HREE. The geochemical characteristics suggest that the Kuoyitasi intrusion formed in a post-collisional extensional tectonic environment, and should be formed earlier than the collision time of east Junggar terrain. The rocks were probably derived from partial melting of the lower crust which was intruded by mafic magmas.

Key words: western Junggar; Late-Early Pamir; Carboniferous; post-collision; petrogenesis; LA-ICPMS U-Pb dating

About the first author: JIN Song, male, born in 1982, doctor, engineer, engages in research on rock geochemistry and regional geology; E-mail: js521@163.com.

Fund Support: Supported by Science and Technology Project Doctoral Fund (No. 20130145120016), Central College Basic Scientific Research Business Expenses Special Funds for Outstanding Youth (No. CUGL120280), Survey Projects of Xinjiang Bureau of Land and Resources (No. XJQDZ2008-01, No. XJQDZ2008-03).

新疆北部包括天山—准噶尔—阿尔泰山地区,属于中亚造山带的一部分,本区以其完整的碰撞造山旋回(从主碰撞、后碰撞到板内环境)、强烈的后碰撞构造—岩浆活动以及良好的后期保存条件,成为研究构造—成矿的理想地区,受到学者们的广泛关注^[1-6]。玛依勒山地区位于准噶尔盆地西缘,广泛发育晚古生代酸性侵入岩,有关区内后碰撞岩浆活动时限,前人认为主体时限为石炭纪至二叠纪^[7]。但是,新疆北部地区后碰撞阶段的时限尤其是后碰撞阶段挤压、伸展旋回的时限仍需进一步的厘定^[8-12],有关侵入岩的岩浆演化和岩石成因尚待进一步研究。本文以准噶尔盆地西缘阔依塔斯杂岩体为研究对象,来探讨其地球化学特征、年代学以及地球动力学背景。

1 地质背景

研究区位于准噶尔盆地西缘玛依勒山地区,北距托里县城约90 km,东北距221省道及庙尔沟镇约50 km,大地构造划分属于不成熟的加里东期新生陆壳之上发展起来的晚古生代岛弧带^[13]。区内出露的地层主要为石炭系希贝库拉斯组二段。该段上部主要岩性为中厚层状硅质粉砂岩、中细粒长石岩屑砂岩夹火山尘凝灰岩,下部岩性主要为含砾细砂岩夹薄层晶屑凝灰岩,以及绿泥粉砂质板岩(图1)。玛依勒山地区侵入岩较发育,以中酸性岩为主。对于区内广泛发育的酸性侵入岩的时代、成因及其地球动力学意义研究较少。

阔依塔斯杂岩体是玛依勒山地区重要的中酸性侵入岩体,岩体呈似圆磨盘状,主体长轴呈近南北向,南北长约5.5 km,东西宽约3.8 km,出露面积约18.36 km²,呈岩株侵入于下石炭统希贝库拉斯组

地层,接触面一般向外陡倾,在侵入接触带上,围岩中广泛发育角岩化带,东西宽100~200 m,局部有混染交代现象,内接触带具弱蚀变,岩石中暗色矿物增多。构成阔依塔斯杂岩体的岩石主要有深灰色辉长闪长岩、灰色石英闪长岩、灰色花岗闪长岩。

2 岩相学特征

阔依塔斯杂岩体主要岩性为辉长闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩。

辉长闪长岩:岩石呈深灰色,中粒结构,块状构造。主要由斜长石、石英、角闪石、黑云母、透辉石组成。斜长石半自形板状,粒径2 mm左右,含量65%~70%;石英他形粒状,大小1 mm,含量2%~5%;角闪石柱、粒状,一般2 mm左右,含量20%~25%;黑云母鳞片状,含量5%;透辉石呈残留体状存在于角闪石粒内,并被角闪石交代,含量5%。

石英闪长岩:岩石呈灰色,粒状结构,块状构造。主要由斜长石、钾长石、石英、黑云母、角闪石组成。斜长石半自形板状,一般2~4 mm,含量65%~70%;钾长石呈他形粒状,0.2~1.5 mm,填隙状分布,含量5%~10%;石英呈他形粒状,大小0.1~2 mm,填隙状分布,含量15%~20%;黑云母呈鳞片状零星分布,含量5%;角闪石为柱、粒状,一般2 mm左右,零星分布,含量3%~5%。

花岗闪长岩:岩石呈灰色,粒状结构,块状构造。主要由斜长石、钾长石、石英、黑云母、角闪石组成。斜长石半自形板状,一般2~4.5 mm,含量65%~70%;钾长石他形,0.3~2.0 mm,填隙状分布,含量>10%;石英他形粒状,大小0.3~2 mm,含量15%~20%;黑云母鳞片状,含量5%;角闪石柱、粒状,一般2 mm左右,零星分布,含量约3%。

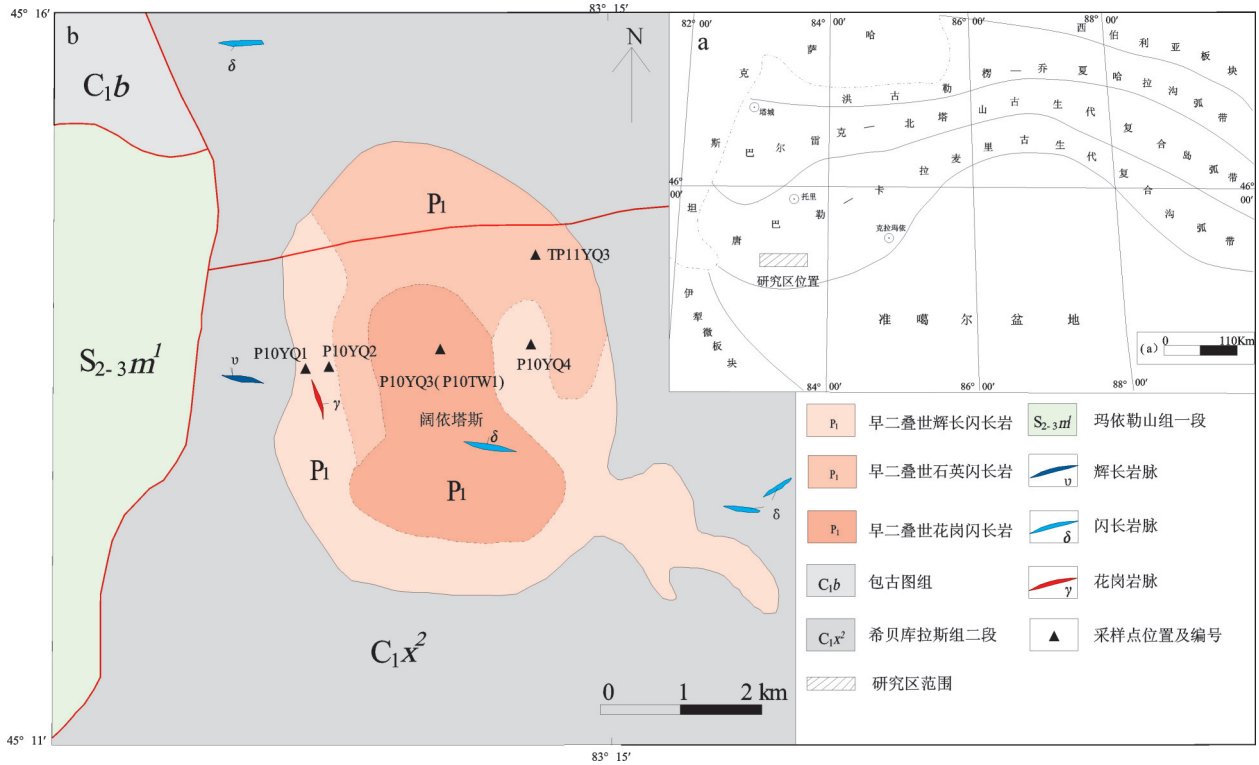


图1 新疆西准噶尔玛依勒山地区地质图
Fig.1 Geological sketch map of Mayileshan region in western Junggar, Xinjiang

3 分析方法

全岩主量元素分析在河北省区域地质矿产调查研究所完成,采用可见分光光度计和原子吸收分光光度计测定,分析精度优于5%。微量元素在河北省区域地质矿产调查研究所采用等离子质谱仪(ICP-MS)测定,分析精度优于5%。

锆石 U-Pb 定年在国土资源部天津地质矿产研究所利用 LA-ICP-MS 完成。所用等离子体质谱仪为 Thermo Fisher 公司制造的 Neptune, 采用 193 nm 激光器对锆石进行剥蚀,斑束直径为 35 μm, 采用 He 作为剥蚀物质的载气, 锆石标样 TEMORA 作为年龄外标, 元素含量用 NIST612 作为外标标定。Pb 同位素比值、U-Pb 表面年龄和 U、Th、Pb 含量采用 ICPMSDataCal 程序和 Isoplot 程序进行数据处理, 采用 ²⁰⁸Pb 校正法对普通铅进行校正^[14]。

4 分析结果

4.1 主量元素特征

主量元素分析结果、CIPW 标准矿物结果及岩

石化学参数见表1和表2。

辉长闪长岩: SiO₂ 含量为 52.40%~54.60%, 平均为 53.25%, 在 TAS 图解中样品落入辉长岩—闪长岩区域, 属中基性岩类(图 3-a)。里特曼指数(δ)为 1.55~1.87, 平均为 1.73, 碱度率(AR)为 1.40~1.55, 平均为 1.45, 为钙碱性岩系列。固结指数(SI=32.38~37.98, 平均为 34.45)中等, 分异指数(DI=38.55~44.2, 平均为 40.90)中等, 均反映岩浆分异程度中等。铝质指数(A/CNK)为 0.783~0.833, 平均为 0.808, 为准铝质系列。

石英闪长岩: SiO₂ 含量为 61.64%, 在 TAS 图解中样品落入闪长岩区域, 为中性岩类(图 3-a)。里特曼指数(δ)为 1.98, 碱度率(AR)为 1.90, 为钙碱性岩系列。固结指数(SI=22.47)较小, 分异指数(DI=64.70)较大, 均反映岩浆分异程度中等。铝质指数(A/CNK)为 1.017, 为过铝质系列。

花岗闪长岩: SiO₂ 含量为 67.53%, 在 TAS 图解中样品落入闪长岩—花岗岩区域, 为中酸性岩类(图 3-a)。石英含量较高, CIPW 标准分子的 Q>17, 为 25.37。里特曼指数(δ)为 1.47, 碱度率(AR)为 1.97,

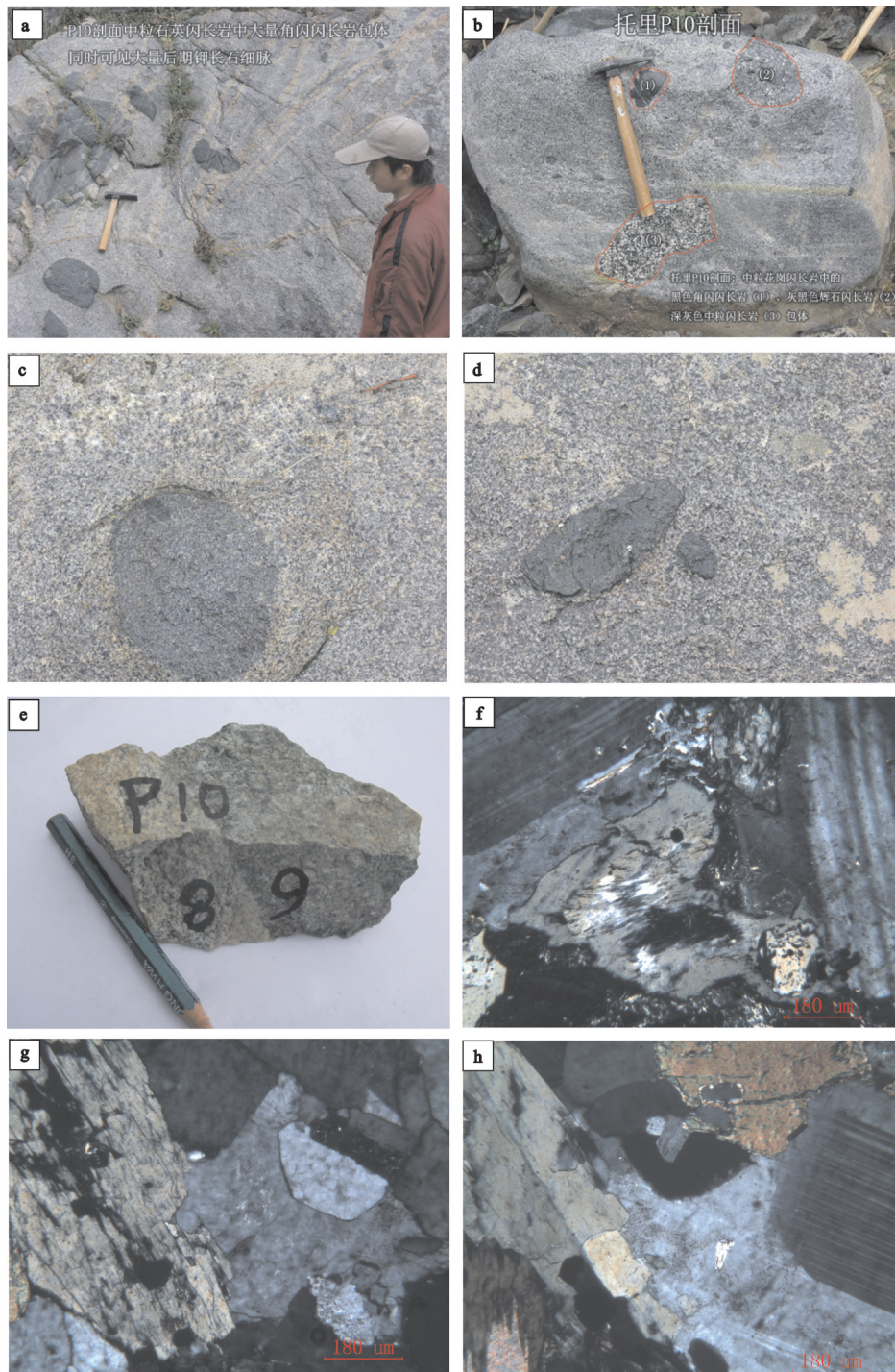
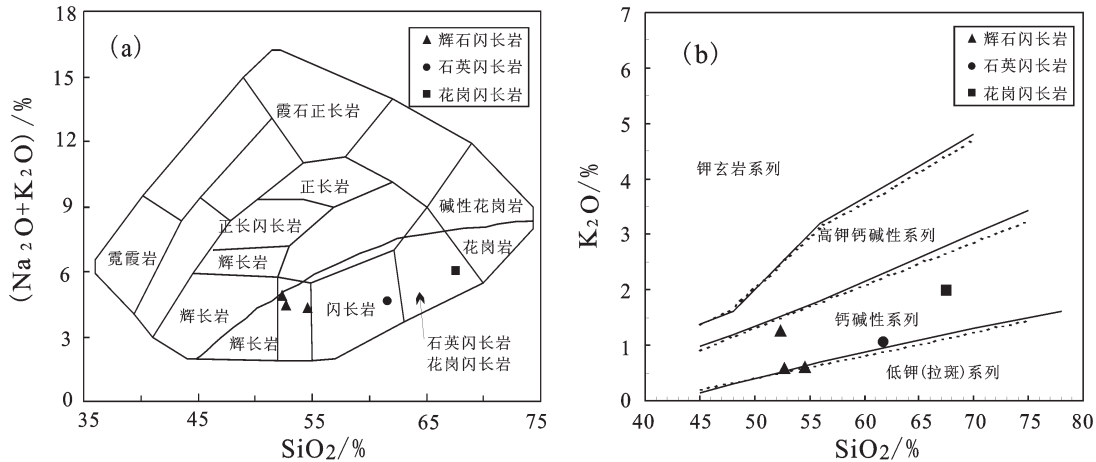


图2 阔依塔斯杂岩体岩石学特征

a—石英闪长岩中含大量角闪闪长岩包体,同时可见大量后期钾长石细脉;b—花岗闪长岩内各类包体;
c—花岗闪长岩中辉石闪长岩包体(内又有角闪闪长岩包体);d—角闪岩包体;e—花岗闪长岩与辉长闪长岩间脉动接触;
f—辉长闪长岩镜下照片;g—石英闪长岩镜下照片;h—花岗闪长岩镜下照片

Fig.2 Petrologic characteristics of Kuoyitasi complex body

a—Plenty of amphibole diorite inclusions in quartz diorite, with large quantities of late K-feldspar veinlits; b—Various inclusions in granodiorite; c—Gabbro diorite inclusions in granodiorite (with amphibole diorite inclusions); d—Diorite inclusion; e—Pulsation contact between granodiorite and gabbro diorite; f—Microphotograph of gabbro diorite; g— Microphotograph of quartz diorite; h— Microphotograph of granodiorite

图3 西准噶尔阔依塔斯杂岩体主量元素图解(a-TAS图解; b-SiO₂-K₂O图解)Fig. 3 Main elements diagram of Kuoyitasi complex body in west Junggar
(a-TAS diagram ;b-SiO₂-K₂O diagram)

为钙碱性岩系列。固结指数($SI=18.59$)较小,分异指数($DI=72.18$)较大,均反映岩浆分异程度中等。铝质指数(A/CNK)为0.976,为准铝质系列。

在SiO₂-K₂O图解(图3-b)和AR-SiO₂图解(图4-a)中,岩石样品均落入钙碱性岩系列区;在A/CNK-A/NK图解中(图4-b),样品均落入准铝质和过铝质系列区。其中AR=[Al₂O₃+CaO+(Na₂O+K₂O)]/[Al₂O₃+CaO-(Na₂O+K₂O)];A/NK: Al₂O₃/(Na₂O+K₂O); A/CNK: Al₂O₃/(Na₂O+CaO+K₂O)。

4.2 稀土元素特征

稀土元素及微量元素含量、相关参数见表1。

辉长闪长岩:稀土总量较低,为 58.67×10^{-6} ~ 61.14×10^{-6} ,稀土配分模式曲线(图5-a)向右倾斜,斜率较小, $\delta Eu=1.02$ ~ 1.15 ,具有微弱的铕正异常。 $(La/Yb)_N$ 为4.13~4.95, LREE为 47.87×10^{-6} ~ 51.00×10^{-6} , HREE为 9.83×10^{-6} ~ 10.80×10^{-6} , LREE/HREE为4.43~5.18,表明轻重稀土之间分异较弱。轻稀土分馏程度 $(La/Sm)_N$ 为1.63~2.18,重稀土分馏程度 $(Gd/Yb)_N$ 为1.57~1.81,轻稀土分馏程度略大于重稀土分馏程度。

石英闪长岩:稀土总量较低,为 127.60×10^{-6} 。稀土配分模式曲线(图5-a)向右倾斜,斜率较大, $\delta Eu=0.76$,具有中等的铕负异常。 $(La/Yb)_N$ 为5.22, LREE为 110.21×10^{-6} , HREE为 17.39×10^{-6} , LREE/HREE为6.34,表明轻重稀土之间分异较强。轻稀土分馏程度 $(La/Sm)_N$ 为2.86,重稀土分馏程度 $(Gd/Yb)_N$ 为1.24,轻稀土分馏程度大于重稀土分馏程度。

花岗闪长岩:稀土总量较低,为 132.52×10^{-6} 。稀土配分模式曲线(图5-a)向右倾斜, $\delta Eu=0.72$,具有中等的铕负异常。 $(La/Yb)_N$ 为6.49, LREE为 116.45×10^{-6} , HREE为 16.07×10^{-6} , LREE/HREE为7.25,表明轻重稀土之间分异较强。轻稀土分馏程度 $(La/Sm)_N$ 为3.04,重稀土分馏程度 $(Gd/Yb)_N$ 为1.24,轻稀土分馏程度大于重稀土分馏程度。

4.3 微量元素特征

辉长闪长岩:微量元素含量与维氏闪长岩相比,Nb、Ta、Zr、Hf均较低,Zr/Hf=21.88(均值),与参数值近似,而Nb/Ta=12.80(均值)、Ba/Rb=27.19(均值)均高于闪长岩参数值。其Rb/Sr=0.023,低于地壳平均值。

石英闪长岩:微量元素含量与维氏闪长岩相比,Nb、Ta、Zr、Hf均较高,其微量元素特征参数比值Nb/Ta=12.80、Zr/Hf=41.10、Ba/Rb=15.38均高于闪长岩参数值数倍。Rb/Sr=0.143,低于地壳平均值。

花岗闪长岩:微量元素含量与维氏闪长岩相比,Nb、Ta、Zr、Hf均较高,其微量元素特征参数比值Nb/Ta=12.80、Zr/Hf=40.93、Ba/Rb=9.44均高于闪长岩参数值数倍。其Rb/Sr=0.359,低于地壳平均值。

微量元素蛛网图上(图5-b),各岩类样品的Rb、Ba、Th含量均较高,其中,辉石闪长岩样品具有显著的Sr正异常,Nb、Ta、Ti的负异常;石英闪长岩和花岗闪长岩样品相似,具有Zr和Hf的正异常,Nb、Ta、Sr、P、Ti表现出负异常。Nb和Ta的相对亏

表1 西准噶尔阔依塔斯杂岩体主量元素(%)、微量和稀土元素(10^{-6})分析结果

Table 1 Analyses of major elements, trace elements and REE from Kuoyitasi complex body in west Junggar

样品号	P10YQ1	P10YQ2	P10YQ4	TP11YQ3	P10YQ3
岩性	辉长 闪长岩	辉长 闪长岩	辉长 闪长岩	石英 闪长岩	花岗 闪长岩
SiO ₂	52.4	52.76	54.6	61.64	67.53
TiO ₂	0.76	0.85	0.8	0.55	0.46
Al ₂ O ₃	15.88	17.85	17.45	16.4	14.92
Fe ₂ O ₃	4.82	2.4	6.1	1.11	1.74
FeO	2.18	4.72	2.11	3.95	1.76
MnO	0.11	0.12	0.14	0.1	0.05
MgO	7.14	5.68	5.82	3.26	2.17
CaO	6.74	8.71	7.82	3.59	3.56
Na ₂ O	3.66	3.85	3.69	5.15	4.05
K ₂ O	1.25	0.58	0.61	1.04	1.99
P ₂ O ₅	0.18	0.25	0.2	0.14	0.13
烧失量	1.36	1.53	0.7	2.15	1.37
H ₂ O ⁺	0.94	0.93	0.59	1.72	1.06
H ₂ O ⁻	0.18	0.21	0.17	0.15	0.2
Total	99.48	99.29	100.04	100.95	99.73
K ₂ O/Na ₂ O	0.34	0.15	0.17	0.2	0.49
Na ₂ O+K ₂ O	4.91	4.43	4.3	6.19	6.04
A/NK	2.15	2.56	2.59	1.71	1.69
A/CKN	0.81	0.78	0.83	1.02	0.98
δ	1.76	1.87	1.55	1.98	1.47
Rb	26.9	9	10.3	32.24	68.06
Ba	444	282	347	496	643
Th	2.4	1.3	1.1	9.49	9.42
Nb	2.9	3.1	2.5	12.54	11.66
Ta	0.24	0.22	0.2	0.98	0.91
Sr	635	840	703	226	189
Zr	92	86	94	357.7	336.14
Hf	4.9	3.6	4.1	8.7	8.21
Y	14.4	14.6	13.8	24.4	22.54
Sc	20.8	26.1	22.7	4.36	4.26
Cr	192	142	206	29.2	49.2
Co	29	30	32		
P	949	1263	1052	685	770
La	9.86	8.24	9.28	22.09	25.87
Ce	20.9	18.6	20.2	47.43	51.06
Pr	2.95	2.74	3.01	7.16	7.08
Nd	13.4	14	14.2	27.34	25.77
Sm	2.92	3.26	3.13	4.98	5.49
Eu	0.96	1.08	1.17	1.2	1.18
Gd	2.72	3.13	2.96	4.55	4.29
Tb	0.48	0.54	0.49	0.78	0.73
Dy	2.72	3.08	2.86	4.66	4.22
Ho	0.54	0.57	0.542	0.9	0.81
Er	1.5	1.6	1.44	2.57	2.33
Tm	0.23	0.23	0.23	0.46	0.42
Yb	1.43	1.43	1.4	3.04	2.86
Lu	0.21	0.23	0.23	0.43	0.4
∑REE	60.73	58.67	61.14	127.6	132.52
LREE/HREE	5.18	4.43	5.03	6.34	7.25
δEu	1.03	1.02	1.15	0.76	0.72
(La/Yb) _N	4.95	4.13	4.75	5.22	6.49
(La/Sm) _N	2.18	1.63	1.91	2.86	3.04
(Gd/Yb) _N	1.57	1.81	1.75	1.24	1.24

表2 阔依塔斯杂岩体CIPW标准矿物及岩石化学参数一览表
Table 2 Analyses of CIPW and chemical parameters of rock from Kuoyitasi complex body

样品号	P10YQ1	P10YQ2	P10YQ4	TP11YQ3	P10YQ3
岩性	辉长闪长岩	辉长闪长岩	辉长闪长岩	石英闪长岩	花岗闪长岩
Q	5.41	1.71	4.76	13.4	25.37
An	23.47	30.39	29.55	17.43	16.94
Ab	31.32	33.33	31.55	44.96	34.85
Or	7.47	3.51	3.64	6.34	11.96
Ne	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0.63	0
Di	7.32	9.77	6.72	0	0.13
Hy	19.73	15.63	18.06	14.17	7.56
Ol	0	0	0	0	0
Cs	0	0	0	0	0
Il	1.46	1.65	1.54	1.08	0.89
Mt	3.39	3.42	3.72	1.66	2
Ap	0.42	0.59	0.47	0.33	0.31
Zr	0	0	0	0	0
合计	100	100	100.01	100	100.01
D _I	44.2	38.55	39.95	64.7	72.18
A/CNK	0.809	0.783	0.833	1.017	0.976
S _I	37.98	32.98	32.38	22.47	18.59
A.R	1.55	1.4	1.41	1.9	1.97
σ	1.76	1.87	1.55	1.98	1.47
R1	1986	1839	1971	1941	2532
R2	1403	1600	1483	895	795
F1	0.54	0.5	0.53	0.62	0.66
F2	-1.49	-1.55	-1.53	-1.48	-1.34
F3	-2.54	-2.56	-2.53	-2.6	-2.56
A/MF	0.58	0.74	0.68	1.07	1.46
C/MF	0.45	0.66	0.56	0.43	0.63

损指示其岩浆可能来源于地壳重熔,也可能经历了富Nb、Ta矿物的结晶分异作用;P、Ti偏低可能与磷灰石、钛铁氧化物的结晶分异有关;Sr的正异常指示了岩浆未发生斜长石的分异作用,Sr的负异常暗示岩浆发生了斜长石的分异结晶作用。重稀土含量较低,暗示源区具有含重稀土矿物的结晶或残留。以上特征反映该侵入体岩浆分异程度中等。

4.4 U-Pb年龄

花岗闪长岩样品中的锆石在透射光和反射光下无色,半透明—透明,总体较粗大,大小在100~300 μm,长宽比为2:1~3:1。锆石颗粒表面干净,个别颗粒中见有不透明包裹体。大部分锆石颗粒自形程度较好,多成长柱状,柱面长,锥面较小,两头较钝。阴极发光图像(图6)显示,锆石颗粒的晶体内部结构清晰,振荡生长环带显著,为典型的岩浆锆石。

利用LA-ICP-MS对样品P10TW1进行了锆石U-Pb年龄分析,共测定18个点,分析结果如表3所示,锆石中Th含量变化范围为 $22 \times 10^{-6} \sim 113 \times 10^{-6}$,U含量为 $45 \times 10^{-6} \sim 155 \times 10^{-6}$,Th/U比值变化范围为0.38~0.86,研究表明,不同成因锆石具有不同的Th、

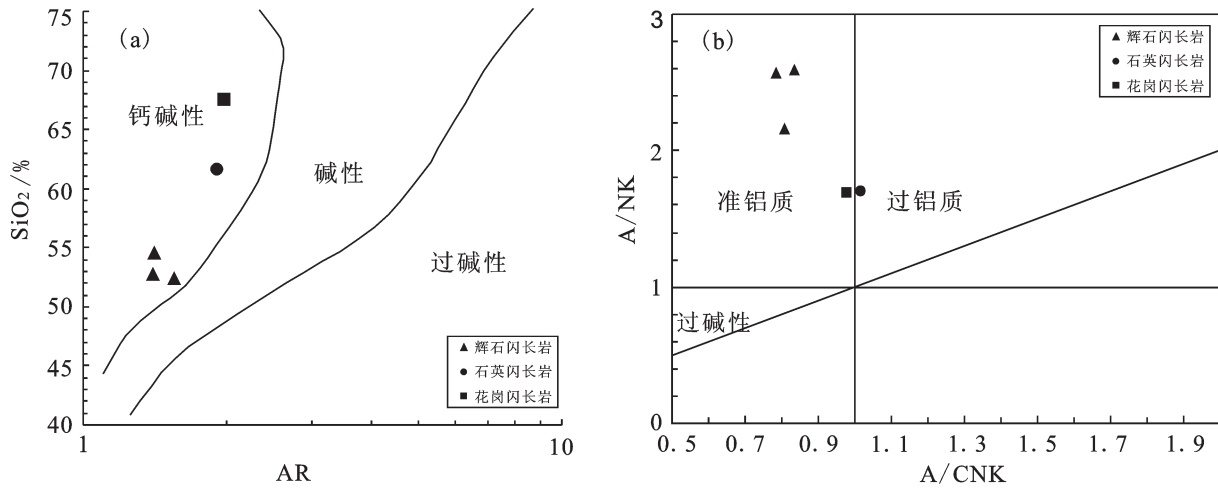


图4 西准噶尔阔依塔斯杂岩体岩石类型判别图(a-AR-SiO₂图解; b-A/CNK-A/NK图解)
Fig.4 Rock type discrimination diagram for Kuoyitasi complex body in west Junggar
(a- AR-SiO₂ diagram b-A/NK-A/CNK diagram)

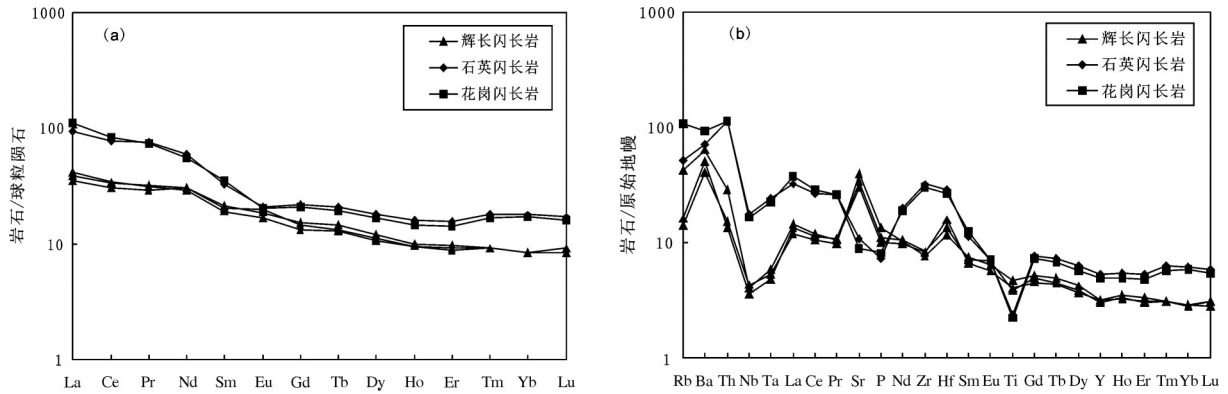


图5 西准噶尔阔依塔斯杂岩体稀土(a)和微量元素(b)元素配分型式图
Fig. 5 REE and trace element patterns of Kuoyitasi complex body in west Junggar

U含量和Th/U比值。岩浆锆石的Th、U含量较高, Th/U比值较大(一般>0.4);变质锆石的Th、U含量低, Th/U比值小(一般<0.1)^[15]。样品P10TW1锆石分析点具有较高的Th/U比值,进一步表明其为岩浆成因锆石。在U-Pb谐和图中,数据投影点落于谐和线且集中分布(图7),²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄加权平均值为(297±2)Ma(MSWD=1.2),代表了岩体的结晶年龄,为晚石炭世—早二叠世。

5 讨论

5.1 岩石成因

在(Al-Na-K)-Ca-(Fe²⁺+Mg)三角图解中^[16-17](图8-a),辉长闪长岩样品岩石化学成分点落入斜长

石-堇青石-黑云母区域内,石英闪长岩样品岩石化学成分点也落入斜长石-堇青石-黑云母区域内,石英二长闪长岩样品岩石化学成分点也落入斜长石-堇青石-白云母区域内,说明该侵入岩岩浆物质应来源于地壳。在A/MF-C/MF图解中^[18](图8-b),辉长闪长岩和石英闪长岩都落入基性岩的部分熔融区,石英二长闪长岩落入基性岩部分熔融区与变杂砂岩部分熔融区的交界位置。

闪长岩类样品可能来源于镁铁质下地壳熔融或富集俯冲带组分的上地幔熔融或受到陆壳混染的亏损地幔的部分熔融^[19]。根据熔融实验,Al₂O₃含量是压力的指示计:当压力≤16 kbar时,熔体的Al₂O₃含量低于15%,残留物为角闪石、斜长石和斜

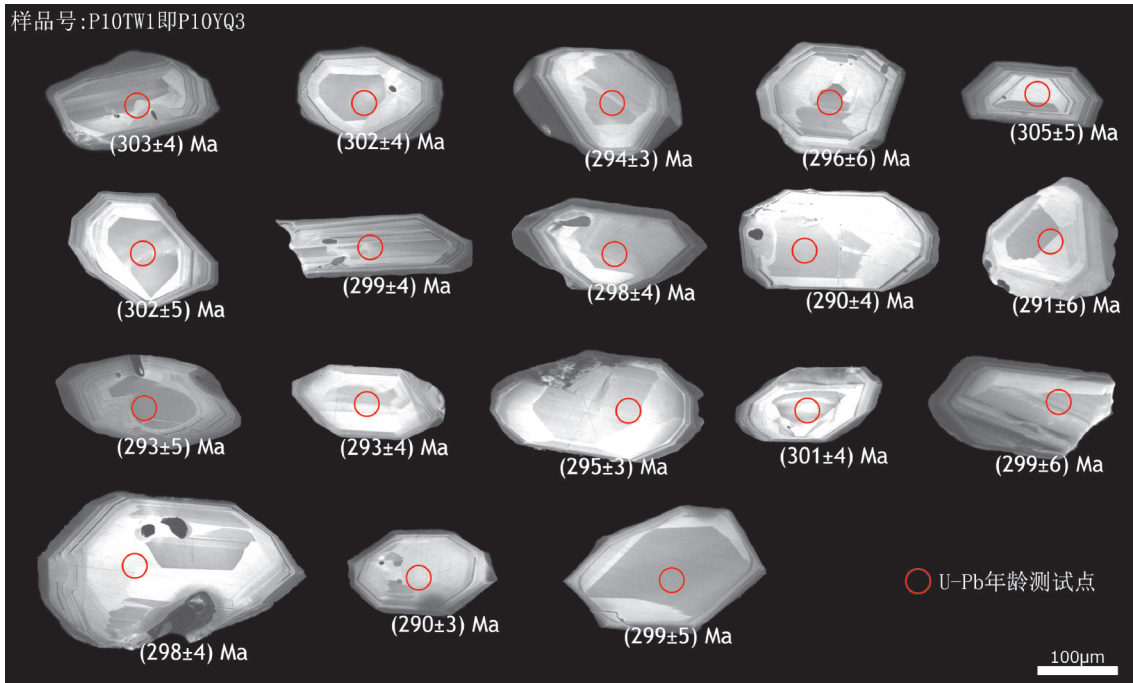


图6 西准噶尔阔依塔斯杂岩体锆石CL图像

Fig.6 CL images of zircons from Kuoyitasi complex body in west Junggar

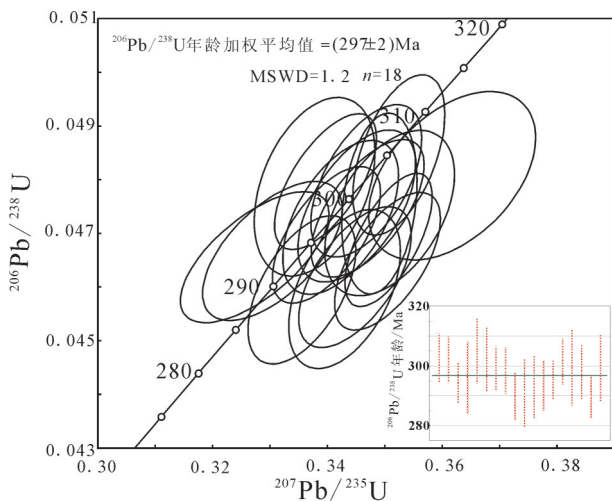


图7 西准噶尔阔依塔斯杂岩体中锆石U-Pb谐和图
Fig.7 U-Pb concordia diagram of zircons from Kuoyitasi complex body in west Junggar

方辉石;当压力 > 16 kbar时,熔体的 Al₂O₃ 含量大于 15%,残留体为单斜辉石、角闪岩、斜长石和石榴子石^[20];当压力为 20~30 kbar时,熔体与无斜长石、含石榴子石的角闪岩、麻粒岩或榴辉岩平衡^[21-22]。高压熔融可以导致低 Y、HREE 含量和高 Sr、Sr/Y 比

值。Sr/Y 比值不受分异作用的影响,可以反映源区的特征^[23-24]。

本区闪长岩类样品的 Al₂O₃ 含量为 14.92%~17.85%,平均为 16.50%,大于 15%,为弱过铝质,且 Sr/Y (50.89~59.56) 比值较高,故其熔融压力可能大于 16 kbar,残留相可能是角闪石、斜长石和斜方辉石,是镁质下地壳物质熔融的产物^[25]。由于 1 GPa 的压力相当于 33 km 深度,压力 16 kbar 相当于 1.6 GPa,据此推测该岩浆的来源深度为:1.6×33=52.8 km,即岩浆房的深度为 50~60 km。

5.2 岩浆演化

该杂岩体发育辉长闪长岩、石英闪长岩和花岗闪长岩,其 SiO₂ 含量由 53.25%→61.64%→67.53%,总体呈升高趋势;碱值(Na₂O+K₂O)含量由 4.55%→4.63%→6.04%,同样为升高趋势;FeO^T 含量由 7.74%→5.46%→3.68%,总体呈降低趋势;MgO 含量由 6.21%→3.26%→2.17%,也为降低趋势。总体上,岩浆具有向偏酸、偏碱、铁镁含量降低方向演化的特征。

固结指数(SI)是反映岩浆分异程度和岩石基性程度的重要岩石化学参数,岩浆分异程度高,则 SI

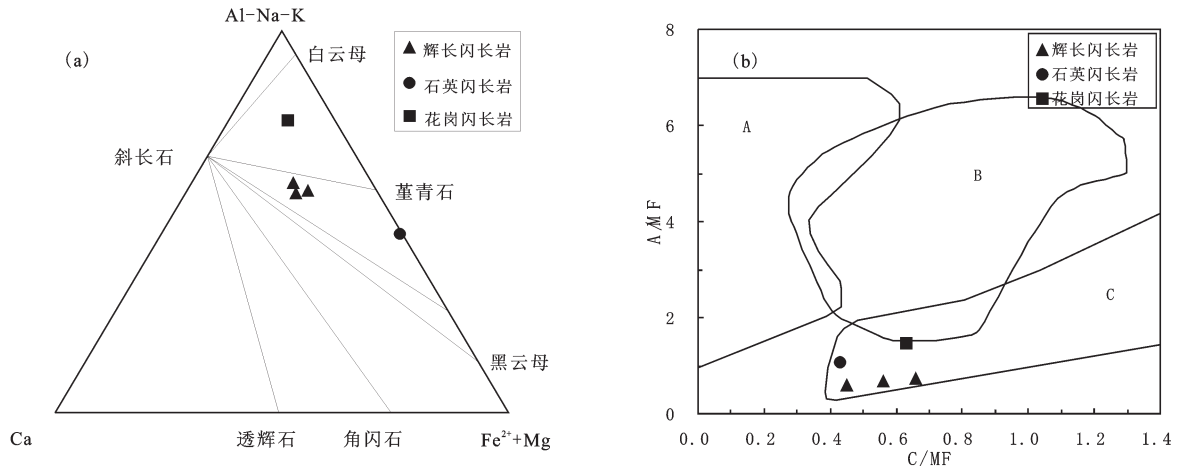


图8 西准噶尔阔依塔斯杂岩体岩石成因判别图(a—Al-Na-K-Ca-Fe+Mg图解;b—A/MF-C/MF图解:A—变泥质岩的部分熔融;B—变杂砂岩的部分熔融;C—基性岩的部分熔融)

Fig.8 Genesis discrimination diagram of Kuoyitasi complex body in west Junggar(a—Al-Na-K-Ca-Fe+Mg diagram; b—A/MF-C/MF diagram)

值就小,岩石酸性程度高;若分异程度差, SI 值就大,岩石的基性程度就高^[26]。分异指数 DI 由40.90(均值)→64.70→72.18,升高;固结指数 SI 由34.45(均值)→22.47→18.59,降低,这符合正常岩浆房酸度逐渐增高的岩浆分异趋势。由于 DI 值都不大(最大值为72.18),表明岩浆结晶分异作用不明显,杂岩体可能是在同一岩浆房内由于重力作用形成分层式岩浆房所致。

在岩浆分异过程中, Sr 主要在早期的分异岩浆中富集(Sr 易进入斜长石及其它富钙矿物晶体中),而 Rb 则相反,因此随岩浆分异作用加强, Rb/Sr 值是增加的^[27]。 Rb/Sr 和 Rb/Ba 分别由0.023(均值)→0.143→0.359,升高、0.041(均值)→0.065→0.106,升高。以上特征显示由辉长闪长岩至石英闪长岩至花岗闪长岩,岩浆结晶分异程度越来越高。 Rb/Sr 值与固结指数 SI 反映的事实一致。

K/Rb 值也是岩浆分异程度的重要参数,由于 Rb 的离子半径大于 K ,更趋向于在残余岩浆中富集,因此, K/Rb 值越大,反映岩浆分异程度越低。该杂岩体从辉长闪长岩至石英闪长岩再至花岗闪长岩, K/Rb 值呈连续的下降,即从470.79(均值)→267.81→242.73, K/Rb 值变化特征反映的事实与固结指数反映的事实也是一致的。另外,铕的变化也遵循一定的规律性,即从辉长闪长岩至石英闪长岩再至花岗闪长岩, δEu 值从1.07(均值)→0.76→0.72,正铕异常到铕负异常,轻、重稀土分馏程度中等。

综上所述,该杂岩体在岩石学、岩石化学及地球化学等方面具有连续演化的特征,符合同源岩浆演化的特点,岩浆结晶分异作用不明显,杂岩体可能是在同一岩浆房内由于重力作用形成分层式岩浆房所致。

5.3 U-Pb 年龄

准噶尔盆地周边地区是古生代的造山带,古板块碰撞最晚发生在早石炭世^[1]。韩宝福等(1999)^[28]认为新疆北部地区后碰撞岩浆活动的时限为330~250 Ma。如铁厂沟碱长花岗岩的锆石U-Pb年龄为243 Ma,阿克巴斯套碱长花岗岩为256 Ma、红山碱长花岗岩为244 Ma以及庙尔沟黑云母花岗岩为277 Ma等,其形成年龄基本一致^[29]。周涛发等(2006)^[11]认为西准噶尔萨吾尔地区晚古生代侵入岩年龄在328.2~290.7 Ma,时代上属于晚石炭世至早二叠世。靳松等(2010)^[12]对西准噶尔恰其海岩体研究发现,LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为(280.1±3.2)Ma,代表了岩体结晶年龄。以上表明在海西晚期西准噶尔地区有广泛的酸性岩浆活动,褶皱回返,后碰撞阶段通常伴随大规模的花岗质岩浆作用和剪切活动,以大规模的(钙碱性-偏碱性)花岗质岩浆活动和剪切活动结束^[28]。

阔依塔斯杂岩体的LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为(297±2)Ma,为晚石炭世一早二叠世,岩石具有偏碱性特点,形成于造山晚期伸展体制的构造环境中,应为后碰撞阶段,显然早于东准噶尔后碰撞的

表 3 西准噶尔阔依塔斯杂岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测试结果
 Table 3 Zircon U-Pb isotopic data obtained by LA-ICP-MS from Kuoyitasi complex body in west Junggar

测点号	含量/ 10^{-6}		Th/U	同位素比值				表面年龄/Ma								
	Pb	Th		U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ				
01	3	38	45	0.84	0.0546	0.0017	0.3617	0.0059	0.0481	0.0006	395	71	314	5	303	4
02	5	65	80	0.82	0.0514	0.0009	0.3397	0.0036	0.0480	0.0006	257	41	297	3	302	4
03	3	41	49	0.82	0.0513	0.0012	0.3304	0.0050	0.0467	0.0005	256	55	290	4	294	3
04	4	25	52	0.49	0.0525	0.0010	0.3398	0.0038	0.0470	0.0009	306	44	297	3	296	6
05	7	80	109	0.74	0.0527	0.0012	0.3524	0.0033	0.0485	0.0009	318	51	307	3	305	5
06	4	33	61	0.54	0.0524	0.0012	0.3468	0.0039	0.0480	0.0009	304	50	302	3	302	5
07	4	49	62	0.78	0.0530	0.0010	0.3470	0.0040	0.0475	0.0006	330	44	302	4	299	4
08	4	47	60	0.78	0.0537	0.0015	0.3508	0.0046	0.0474	0.0006	359	62	305	4	298	4
09	4	38	61	0.63	0.0541	0.0014	0.3430	0.0040	0.0460	0.0006	376	57	299	3	290	4
10	4	33	57	0.57	0.0541	0.0011	0.3448	0.0040	0.0462	0.0009	377	47	301	3	291	6
11	5	56	80	0.71	0.0547	0.0011	0.3505	0.0038	0.0465	0.0008	399	43	305	3	293	5
12	5	58	86	0.67	0.0510	0.0012	0.3273	0.0053	0.0466	0.0006	240	56	288	5	293	4
13	6	93	109	0.86	0.0543	0.0009	0.3507	0.0031	0.0469	0.0005	381	38	305	3	295	3
14	5	22	56	0.38	0.0512	0.0015	0.3378	0.0043	0.0479	0.0006	249	69	295	4	301	4
15	9	113	155	0.73	0.0532	0.0016	0.3491	0.0027	0.0476	0.0010	339	66	304	2	299	6
16	5	47	76	0.61	0.0525	0.0012	0.3423	0.0041	0.0473	0.0007	307	54	299	4	298	4
17	5	38	72	0.53	0.0530	0.0012	0.3356	0.0038	0.0459	0.0005	327	51	294	3	290	3
18	5	39	75	0.53	0.0527	0.0012	0.3451	0.0042	0.0475	0.0009	315	52	301	4	299	5

时间(二叠纪末),表明西准噶尔地区闭合成陆的时间可能略早于东准噶尔地区,反映出构造运动具有由西向东的迁移性。

6 结 论

(1)阔依塔斯杂岩体具有碱性和准铝质—过铝质的岩石化学特征,该杂岩体在岩石学、岩石化学及地球化学等方面具有连续演化的特征,符合同源岩浆演化的特点,岩浆结晶分异作用不明显,杂岩体可能是在同一岩浆房内由于重力作用形成分层式岩浆房所致。

(2)阔依塔斯杂岩体为镁铁质下地壳物质熔融的产物。

(3)阔依塔斯杂岩体的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为(297±2)Ma,为晚石炭世—早二叠世,形成于造山晚期伸展体制的构造环境中,应为后碰撞阶段,早于东准噶尔后碰撞的时间(二叠纪末),表明西准噶尔地区闭合成陆时间可能略早于东准噶尔地区,反映出构造运动具有由西向东的迁移性。

致谢: 本文的研究得到了新疆国土资源厅地质调查项目管理办公室、河北省地质调查院和河北省地球物理勘查院的支持,成文过程中得到了中国地质大学(武汉)钟增球教授、吴元保教授的指导,参加野外工作的还有河北省地质调查院杨进京、康贵军、李晓峰、陶光活、马燕冰等同志,在此一并致谢。特别感谢各位审稿专家的宝贵意见和建议。

参考文献

- [1]肖序常,汤耀庆,冯益民,等.新疆北部及邻区大地构造[M].北京:地质出版社,1992:1-169.
Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, Feng Yimin, et al. Tectonic Evolution of Northern Xinjiang and Its Adjacent Regions[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992: 1-169(in Chinese).
- [2]何国琦,李茂松,周辉.论大陆岩石圈形成过程中的克拉通阶段[J].地学前缘,2002,9(4):217-224.
He Guoqi, Li Maosong, Zhou Hui. The stage of cratonization in the formation of continental lithosphere[J]. Earth Science Frontiers, 2002, 9(4): 217-224(in Chinese with English abstract).
- [3]韩宝福,何国琦,王式洗,等.新疆北部碰撞后幔源岩浆活动与陆壳纵向生长[J].地质论评,1998,44(4):396-406.
Han Baofu, He Guoqi, Wang Shiguang, et al. Postcollisional mantle-derived magmatism and vertical growth of the continental crust in North Xinjiang[J]. Geological Review, 1998, 44(4):396-406 (in Chinese with English abstract).
- [4]韩宝福,季建清,宋彪,等.新疆准噶尔晚古生代陆壳垂向生长(I)—后碰撞深成岩浆活动的时限[J].岩石学报,2006,22(5):1077-1086.
Han Baofu, Ji Jianqing, Song Biao, et al. Late Paleozoic vertical growth of continental crust around the Junggar Basin, Xinjiang, China(Part I): Timing of post-collisional plutonism[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(5): 1077-1086 (in Chinese with English abstract).
- [5]Xia L Q, Xu X Y, Xia Z C, et al. Carboniferous post-collisional rift volcanism of the Tianshan mountains, Northwestern Xinjiang[J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 2003, 77(3): 338-360.
- [6]靳松,张兆祎,荣桂林,等.新疆西准噶尔玉什喀腊岩体的地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄及 Hf 同位素:对古亚洲洋闭合的制约[J].中国地质,2015,42(3):494-508.
Jin Song, Zhang Zhaoyi, Rong Guilin, et al. Geochemical characteristics, zircon U-Pb age, and Hf isotopes of Yushenkala pluton in western Junggar, Xinjiang: Constraint on the closure of Pale-Asian Ocean[J]. Geology in China, 2015, 42(3): 494-508 (in Chinese with English abstract).
- [7]王京彬,徐新.新疆北部后碰撞构造演化[J].地质学报,2006,80(1):23-31.
Wang Jingbin, Xu Xin. Post-collisional tectonic evolution and metallogenesis in Northern Xinjiang, China[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(1): 23-31(in Chinese with English abstract).
- [8]周涛发,袁峰,范裕,等.西准噶尔萨吾尔地区 A 型花岗岩的地球动力学意义:来自岩石地球化学和锆石 SHRIMP 定年的证据[J].中国科学(D辑),2006,36(1):39-48.
Zhou Taofa, Yuan Feng, TAN Yu, et al. Geodynamic significance of the A-type granites in the Sawuer region in west Junggar, Xinjiang: Rock geochemistry and SHRIMP zircon age evidence[J]. Science in China(Series D: Earth Sciences), 2006, 49(2): 113-123.
- [9]袁峰,周涛发,杨文平,等.新疆萨吾尔地区两类花岗岩 Nd、Sr、Pb、O 同位素特征[J].地质学报,2006,80(2):264-272.
Yuan Feng, Zhou Taofa, Yang Wenping, et al. Nd, Sr, Pb, O isotope characteristics of two types granites in the Sawuer region, Xinjiang[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(2): 264-272(in Chinese with English abstract).
- [10]谭绿贵.新疆西准噶尔恰其海后碰撞花岗岩[J].吉林大学学报(地球科学版),2008,38(6):980-987.
Tan Lvgui. The post-collisional granite in the Qiaqihai area, Western Junggar, Xinjiang[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2008, 38(6): 980-987(in Chinese with English abstract).
- [11]周涛发,袁峰,谭绿贵,等.新疆萨吾尔地区晚古生代岩浆作用的时限、地球化学特征及地球动力学背景[J].岩石学报,2006,22(5):1225-1235.
Zhou Taofa, Yuan Feng, Tan Lvgui, et al. Time limit,

- geochemical characteristics and tectonic setting of Late Paleozoic magmatism in Sawuer region, Xinjiang[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006,22(5): 1225–1235(in Chinese with English abstract).
- [12] 靳松, 张兆祚, 陈志彬, 等. 新疆吉木乃县恰其海A型花岗岩的地球化学特征、年代学及构造意义[J]. *地球学报*, 2010, 31(6): 803–812.
- Jin Song, Zhang Zhaoyi, Chen Zhibin, et al. Geochemistry characteristics, geochronology and structure implications of A-type granite from Qiaqihai rock body in Jimunai area, Xinjiang[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2010, 31(6): 803–812 (in Chinese with English abstract).
- [13] 何国琦, 刘德权, 李茂松, 等. 新疆主要造山带地壳发展的五阶段模式及成矿系列专辑[J]. *新疆地质*, 1995, 13(2): 99–194.
- He Guoqi, Liu Dequan, Li Maosong, et al. The five-stage model of crust evolution and metallogenic series of chief orogenic belts in Xinjiang[J]. *Xinjiang Geology*, 1995, 13(2): 99–194(in Chinese with English abstract).
- [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, S1: 600–601.
- Li Huaikun, Geng Jianzhen, Hao Shuang, et al. The study of determination of Zircon U-Pb isotopic age using Laser Ablation Multi-collector Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (LA-MC-ICPMS) [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2009, S1: 600–601(in Chinese).
- [15] Wu Yuanbao, Zheng Yongfei. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49: 1554–1569.
- [16] 罗万林, 胡正言. 滇西地区S型和I型花岗岩类的岩石化学特征[J]. *云南地质*, 1983,2(2): 136–146.
- Luo Wanlin, Hu Zhengyan. The petrochemistry characteristics of S type and I type granite rock in western Yunnan area[J]. *Yunnan Geology*, 1983,2(2): 136–146(in Chinese with English abstract).
- [17] 李文锁, 刘松华, 任铁花. 磐石县南部地区二叠纪二长花岗岩特征[J]. *吉林地质*, 1998, 17(4): 59–64.
- Li Wensuo, Liu Songhua, Ren Tiehua. The characteristics of the Permian adamellites in the southern part of Panshi county, Jilin Province[J]. *Jilin Geology*, 1998,17(4):59–64(in Chinese with English abstract).
- [18] Alther R, Holl A, Hegner E, Langer C, et al. High-potassium, calc-alkaline I-type plutonism in the European Variscides: Northern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany)[J]. *Lithos*, 2000, 50: 51–73.
- [19] van de Fliedert T, Hoerner S, Jung S, et al. Lower crustal melting and the role of open-system processes in the genesis of synorogenic diorite-granite-leucogranite associations: Constraints from Sr-Nd-O isotopes from the Bantombaaai complex, Namibia[J]. *Lithos*, 2003, 67:205–226.
- [20] Rapp R P, Watson E B, Miller C F. Partial melting of amphibolite/eclogite and the origin of Archaean trondhjemites and tonalities[J]. *Precambrian Res.*, 1991, 51:1–25.
- [21] Rapp R P, Watson E B. Dehydration melting of metabasalt at 8–32kbar: implications for continental growth and crust-mantle recycling[J]. *J. Petrol.*, 1995, 36: 891–931.
- [22] Petford N, Atherton M. Na-rich partial melts from newly underplated basaltic crust: the Cordillera Blanca batholith, Peru[J]. *J. Petrol.*, 1996, 37: 1491–1521.
- [23] Wareham C D, Millar I L, Vaughan A P M. The generation of sodic granite magmas, western Palmer land, Antarctic Peninsula[J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1997, 128: 81–96.
- [24] Hyndman D W, Foster D A. The role of tonalities and mafic dykes in the generation of Idaho batholith[J]. *J. Petrol.*, 1988, 25: 894–929.
- [25] 邱家骧, 林景任. 岩石化学[M]. 北京: 地质出版社, 1991.
- Qiu Jiaxiang, Lin Jingqian. *Petrochemistry*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991(in Chinese).
- [26] 赵振华. 微量元素地球化学原理[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- Zhao Zhenhua. *Trace Element Geochemical Principle*[M]. Beijing: Science Press, 1997(in Chinese).
- [27] 韩宝福, 何国琦, 王式洗, 等. 后碰撞幔源岩浆活动、底垫作用及准噶尔盆地基底的性质[J]. *中国科学(D辑)*, 1999, 42(2): 113–119.
- Han Baofu, He Guoqi, Wang Shiguang, et al. Postcollisional mantle-derived magmatism, underplating and implications for basement of the Junggar Basin[J]. *Science in China(Series D: Earth Sciences)*, 1999, 42(2): 113–119(in Chinese).
- [28] 金成伟, 张秀棋. 新疆西准噶尔花岗岩类的时代及其成因[J]. *地质科学*, 1993, 28(1): 28–36.
- Jin Chengwei, Zhang Xiuqi. A geochronology and geneses of the western Junggar granitoids, Xinjiang, China[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1993, 28(1): 28–36(in Chinese with English abstract).