阿尔金北缘尧勒萨依片麻岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义

Pre-pub. on line: www.geojournals.cn/georev

何鹏[1),杨睿娜[2),陈培伟[1),张焕[1),芦西战[1),贺晓天[1),翁红波[1),裴玉华[3),杨毅明[2)

1)河南省地质矿产勘查开发局第二地质勘查院,郑州,450001;
2)河南省地质矿产勘查开发局第二地质矿产调查院,郑州,450001; 3)河南省地质调查院,郑州,450001

内容提要:阿尔金北缘尧勒萨依片麻岩分布于尧勒萨依河中下游,主要岩性为黑云二长花岗片麻岩。为确定该地区侵入岩形成时代、成因和构造背景,本文对其进行了岩石学、锆石 U-Pb 年代学和地球化学研究。研究区花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年显示,其形成年龄为 927±3 Ma,时代为新元古代早期青白口纪。其具高硅(SiO_2=71%~73.96%)、富碱[(Na_2O+K_2O)=6.61%~8.00%]的特征,岩石里特曼指数 σ=1.41~2.09,属钙碱性系列;铝过饱和指数(A/CNK)=1.01~1.25,为过铝质系列岩石;富集 Rb、K、Th、U 等大离子亲石元素,相对亏损 Nb、Ti、P、Ta 等高场强元素,具有典型的大陆碰撞型花岗岩特征;稀土总量高,其中轻稀土元素富集,轻、重稀土元素分馏较明显($(La/Yb)_N$=7.53~8.13),Eu 负异常明显(δEu=0.40~0.68),总体呈"右倾海鸥型"稀土配分模式,具典型地壳重熔型花岗岩特征。根据原岩判别图,推测其为变质砂岩部分熔融的产物。结合区域资料,认为尧勒萨依片麻岩应该形成于同碰撞晚期的构造地质环境。

关键词:锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄;岩石地球化学;花岗片麻岩;阿尔金北缘;新元古代

阿尔金山位于柴达木地块与塔里木地块之间,是中国中央造山带的一部分,向西与西昆仑相接,向东与祁连山相连(刘良等,1999;曹玉亭等,2010;何鹏等,2020)。其早期经历了古板块、地块的相互俯冲—碰撞作用,又在中、新生代经历走滑运动,是由不同时期、不同构造层次及形成于不同构造环境地质体所组成的复合造山带(车自成等,1995;许志琴等,1999;董顺利等,2013;Dai Shuang et al.,2017;曾忠诚等,2019)。

近年来阿尔金及其周边前寒武纪构造格架的研究逐渐受到大量学者的关注(许志琴等,1999;刘永顺等,2009;张建新等,2011;辛后田等,2011)。在阿尔金山东延地区,刘永顺等(2009)识别出多期前寒武纪重要地质事件:3.6~2.5 Ga,敦煌地块中发现太古宙古老地壳及多期岩浆活动;2.5~1.8 Ga,敦煌地块遭受强烈改造及中基性岩侵入;1.0~0.8 Ga 存在新元古代碰撞造山及大规模岩浆活动。张建新等(2011)认为新元古代早期(940~920 Ma)的构造热事件与罗迪尼亚(Rodinia)超大陆汇聚相关,新元古代晚期(760 Ma 左右)与罗迪尼亚超大陆裂解有关,并且它们普遍遭受了早古生代变质作用的改造。在阿尔金山北缘塔里木盆地周边,古元古代中期(2.15~2.13 Ga)为造山作用早期俯冲阶段,古元古代晚期(2.05~1.93 Ga)为同碰撞造山阶段的响应;古元古代末期(1.87~1.85 Ga)进入后造山阶段(辛后田等,2011)。古元古代(~1.8 Ga)之后塔里木接受中元古代被动大陆边缘沉积建造,直到~1.0 Ga 开始转化为活动大陆边缘,并于 1.0~0.76 Ga 期间一直处于活动大陆边缘,经历了中—新元古代与罗迪尼亚(Rodinia)超大陆聚合相关的造山事件,并且这次构造事件(晋宁运动)造成了塔里木变质基底的最终固结(Lu Songnian et al.,2008)。

本文第一作者在主持新疆阿尔金北缘拜什托格拉克一带三幅 1:5 万区域地质调查过程中,从古元

注:本文为新疆维吾尔自治区地质勘查基金项目管理中心项目(编号:K16-1-LQ12)的成果。
收稿日期:2020-05-31;改回日期:2021-02-18;网络首发:2021-03-20;责任编辑:黄道袭、章雨旭。Doi:10.16509/j.georeview.2021.03.012
作者简介:何鹏,男,1989 年生,工程师。主要从事区域地质调查工作;Email:845632885@qq.com。

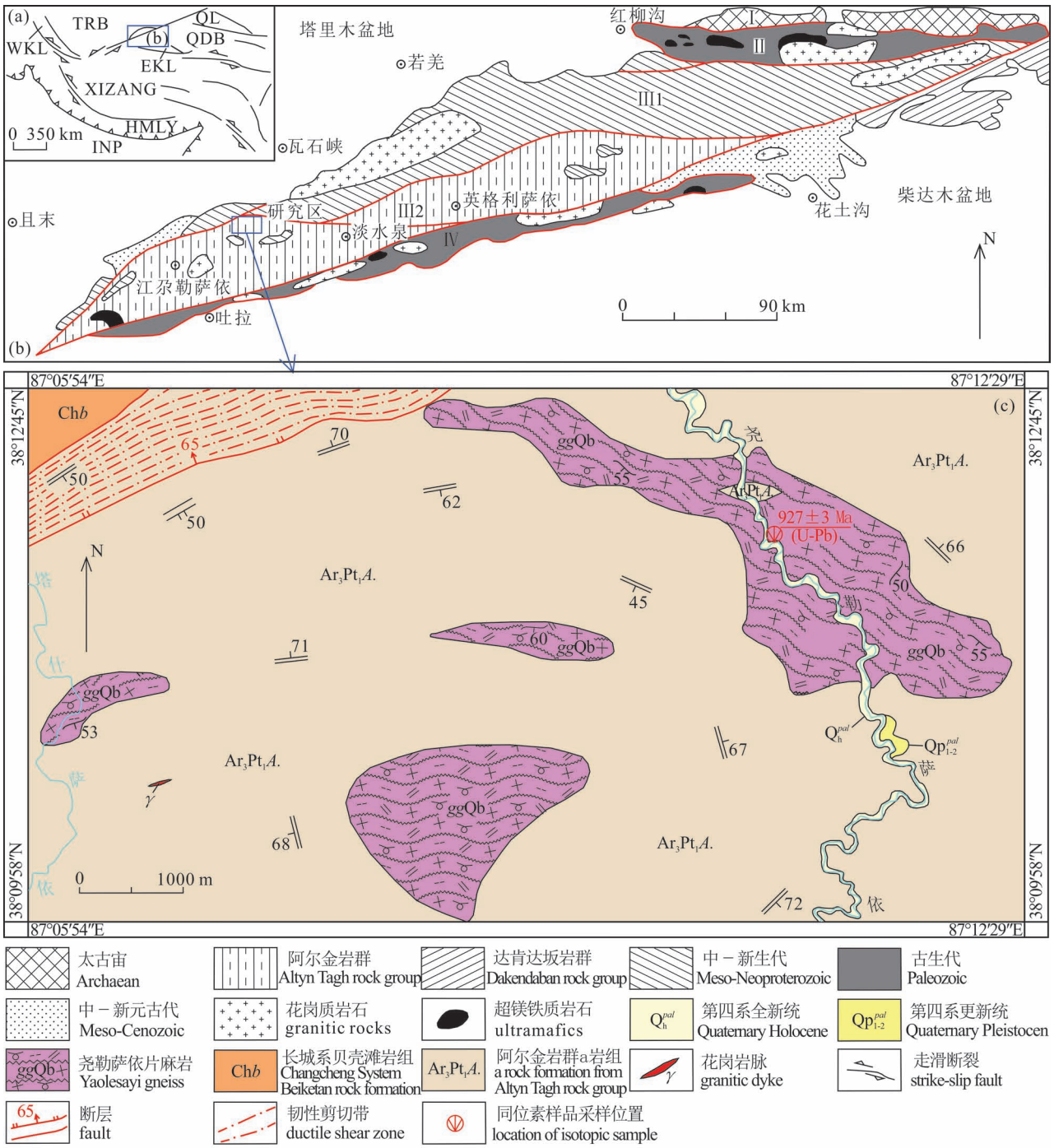


图 1 阿尔金造山带构造简图(a 和 b,据西安地质调查中心❶修改)和研究区地质简图(c,据河南省地质矿产勘查开发局第二地质勘查院❷修改)

Fig. 1 Tectonic sketch map of the Altyn Tagh (a & b, modified after the Note ❶) and simplified geological map of the study area (c, modified after the Note ❷)

TRB—塔里木盆地;QL—祁连山;QDB—柴达木盆地;WKL—西昆仑;EKL—东昆仑;HMLY—喜马拉雅山;INP—印度板块;XIZANG—西藏;Ⅰ—阿(尔金)北地块;Ⅱ—红柳沟—拉配泉(蛇绿)构造混杂岩带;Ⅲ—阿(尔金)中地块;Ⅲ1—中—新元古代浅变质岩隆起带;Ⅲ2—新太古代—古元古代深变质杂岩隆起带;Ⅳ—阿帕—茫崖(蛇绿)构造混杂岩带

TRB—Traim Basin; QL—Qilian Mountains; QDB—Qaidam Basin; WKL—Western Kunlun Mountains; EKL—Eastern Kunlun Mountains; HMLY—Himalaya Mountains; INP—Indian Plate; XIZANG—Xizang; Ⅰ—Northern Altyn block; Ⅱ—Hongliugou—Lapeiquan(ophiolite) tectonic melange belt; Ⅲ—Central Altyn block; Ⅲ 1—Mesoproterozoic—Neoproterozoic epimetamorphic rock uplifed zone; Ⅲ 2—Neoarchean—Paleoproterozoic deep metamorphic complex uplifed zone; Ⅳ—Apa—Mangya (ophiolite) tectonic melange belt

古代阿尔金岩群中新解体出青白口纪花岗片麻岩，并获得 927±3 Ma 的同位素测年数据。因此，本次研究以详实的野外地质调查为依据，主要从岩石学、锆石 U-Pb 年代学和岩石地球化学等方面对尧勒萨依片麻岩进行分析，探讨该地区新元古代早期片麻岩的成因和地质意义。本文认识对研究北阿尔金地区的大地构造演化和岩浆活动规律具有一定的意义，并对恢复北阿尔金地区地质演化的历史提供了新线索。

1　区域地质概况及岩石学特征

近年来对于阿尔金山的研究不断增多，许多学者依据其地质特征和不同岩石组成单元将阿尔金造山带进行了划分。刘良等(1999)将阿尔金造山带从南到北划分成四个部分：南阿尔金俯冲—碰撞杂岩带、米兰河—金雁山地块、红柳沟—拉配泉蛇绿构造混杂岩带和阿北变质地体，并将南阿尔金俯冲—碰撞杂岩带细分为阿帕—茫崖蛇绿混杂岩带和超高压—高压变质带。校培喜等[1]在《阿尔金—东昆仑西段成矿带基础地质综合研究报告》中，将阿尔金造山带从南到北划分成 4 个部分：阿帕—茫崖(蛇绿)构造混杂岩带、阿中地块(又分为新太古代—古元古代深变质杂岩隆起带和中新元古代浅变质岩隆起带)、红柳沟—拉配泉(蛇绿)构造混杂岩带和阿北地块。

本文研究区的大地构造位置在阿尔金造山带阿中地块北部(图 1a、图 1b)，位于阿尔金弧盆系与塔里木地块的接触部位，该处岩浆活动强烈、频繁且范围较广，岩浆作用呈现多期次、多类型和多构造环境复杂的特点。根据 1∶5 万阿尔金北缘拜什托格拉克一带三幅区域地质调查报告[2]成果，研究区侵入岩从早到晚划分有蓟县纪、青白口纪、早奥陶世、晚志留世和中三叠世 5 期。其中，青白口纪出露塔什萨依片麻岩和尧勒萨依片麻岩 2 个填图单元。

尧勒萨依片麻岩分布于调查区的尧勒萨依的中下游，岩体围岩主要为阿尔金岩群 a 岩组(图 1c)。尧勒萨依片麻岩与阿尔金岩群 a 岩组主要呈构造接触，局部见阿尔金岩群 a 岩组中有尧勒萨依片麻岩脉体，尧勒萨依片麻岩中捕掳阿尔金岩群 a 岩组残块。

本次研究选取的尧勒萨依片麻岩样品经野外观察和薄片鉴定，岩性为黑云母二长花岗片麻岩。该片麻岩具眼球状构造、片麻状构造，中细粒鳞片粒状变晶结构。岩石主要由斜长石、钾长石、石英、黑云母组成，副矿物有磷灰石，次生矿物有绢云母、高岭石、方解石(图 2)。此外，岩石中不均匀分布有石榴子石，粒径小于 1 mm，含量小于 1%。斜长石主要呈碎斑和基质分布，碎斑粒径多在 0.4～1.1 mm 之间，含量 30%～35%，其中基质中的斜长石呈细粒变晶结构，颗粒多在 0.06～0.1 mm 之间，受动力作用影响，斜长石呈定向条带状初糜棱结构，破碎而且消光非常不均匀；碎斑中的斜长石则呈黏土化、绢云母化，消光角法测得斜长石多为中长石；碱性长石呈半自形粒状，粒径 0.01～0.4 mm 之间，含量 30%～

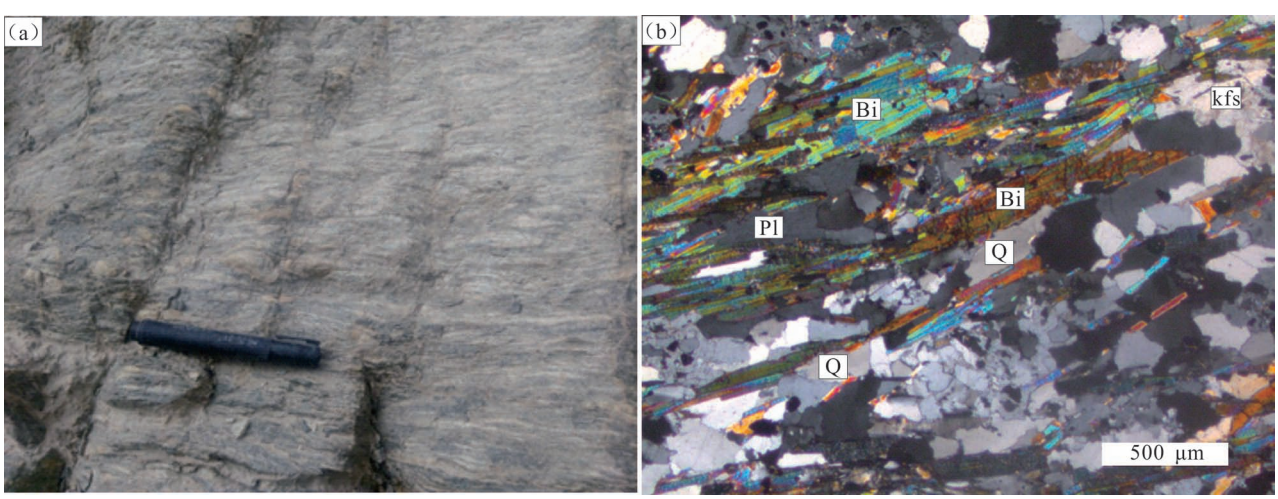


图 2 阿尔金北缘尧勒萨依片麻岩野外露头照片(a)及显微结构照片(b)

Fig. 2 The outcrop(a) and microstructure(b) photos of the Yaolesayi gneiss in north Altyn Tagh

Bi—黑云母；Pl—斜长石；Kfs—钾长石；Q—石英

Bi—biotite; Pl—plagioclase; Kfs—potassium feldspar; Q—quartz

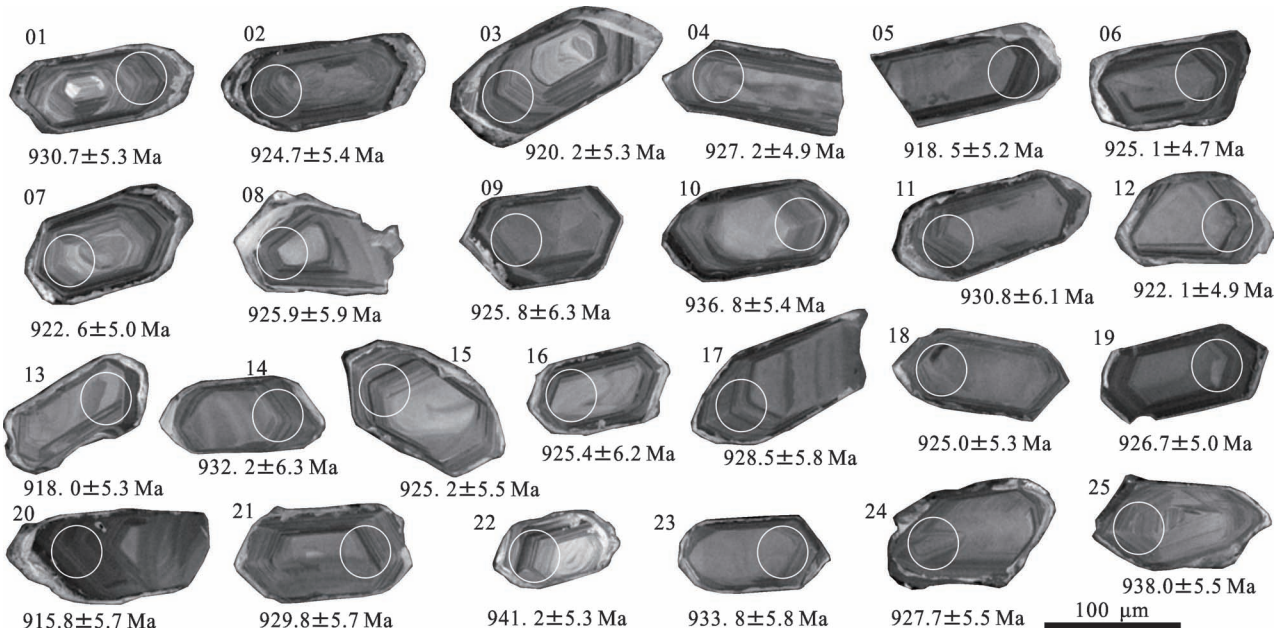


图 3 阿尔金北缘尧勒萨依片麻岩锆石阴极发光(CL)图像

Fig. 3 CL images of zircons from the Yaolesayi gneiss in north Altyn Tagh

35%,受动力作用影响,破碎且消光非常不均匀,部分晶体可见条纹结构及格子状双晶;石英呈他型粒状,粒径多在 0.01~0.2 mm 之间,少量颗粒在 0.4~3.0 mm 之间,含量 20%~25%,受动力作用影响,呈定向的糜棱结构,较破碎,总体与斜长石等混杂一体;黑云母呈片状,片径多在 0.01~0.05 mm 之间,含量 5%~8%,总体呈条纹条带状集中,定向分布;磷灰石呈粒状,粒径在 0.01~0.2 mm 之间。

2 测试分析方法

本文选取尧勒萨依片麻岩 1 件新鲜样品进行 U-Pb 测年,样品编号 U1,采样位置 87°10′51″E、38°12′00″N;同时选取尧勒萨依片麻岩新鲜的样品 4 件进行主量、稀土和微量元素分析。

锆石单矿物分选采用常规方式将 15 kg 样品破碎至 60 目,用水淘选,后采用磁铁将磁铁矿去除,选出锆石等重矿物,再在镜下挑选出晶型较好、透明度较高的锆石颗粒作为测试对象。用无色透明的环氧树脂固定选好的锆石,后研磨抛光进行显微照相。选取测试点应尽量避开锆石内部裂隙、包体或跨不同成因区域,以获取更准确的年龄信息。锆石 U-Pb 年龄检测在南京宏创地质勘查技术服务有限公司完成,检测仪器为 Agilent 7700x 等离子质谱仪并采用 Photon Machines Excite 激光剥蚀系统,检测方法为激光(LA)—电感耦合等离子质谱(ICP-MS)。详细的实验原理和流程见文献(袁洪林等,2003)。

主量元素、稀土元素和微量元素样品检测在河南省地矿局地勘二院化验室完成。主量元素测定使用仪器为 X-射线荧光光谱仪(PW1401/10),分析的相对标准偏差<5%。稀土元素和微量元素分析采用仪器为美国安捷伦科技有限公司 Agilent 7500A 型电感耦合等离子体质谱仪,样品测试经国标样 GBW07103、GBW07104 监控,分析的相对标准偏差<10%。

3 锆石 U-Pb 年代学

黑云母二长花岗片麻岩同位素年龄样品(U1),经人工重砂分选出同位素测年所选取的锆石为无色、浅褐色,透明—半透明,粒径为 80~220 μm,多呈双锥短柱状和长柱状,长宽比为 1∶1~3∶1。在阴极发光图像中可见大部分为透明的柱状自形晶体,并具有清晰的振荡环带结构或线状分带(图 3)。

对黑云母二长花岗片麻岩同位素年龄样品(U1),锆石测点共 25 个,测点整体较为集中,25 个测点均选在锆石的振荡环带微区,Th 含量为 37×10^{-6}~170×10^{-6};U 含量为 331×10^{-6}~956×10^{-6};Th/U=0.08~0.43,大部分比值>0.1,具有岩浆锆石特征。其 $n(^{206}Pb)/n(^{238}U)$ 年龄介于 916~941 Ma 之间(表 1),加权平均年龄为 927±3 Ma(n=25,MSWD=1.3)(图 4)。

表 1 阿尔金北缘尧勒萨依片麻岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析结果

Table 1 LA-ICP-MS Zircon U-Pb isotopic analyses of the Yaolesayi gneiss in north Altyn Tagh

测点号	元素含量($\times10^{-6}$)			Th/U	同位素比值						同位素年龄(Ma)						谐和度(%)
	Pb	Th	U		$n(^{207}Pb)/n(^{206}Pb)$		$n(^{207}Pb)/n(^{235}U)$		$n(^{206}Pb)/n(^{238}U)$		$n(^{207}Pb)/n(^{206}Pb)$		$n(^{207}Pb)/n(^{235}U)$		$n(^{206}Pb)/n(^{238}U)$		
					测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	
U1-20	161	96	956	0.10	0.07007	0.0007	1.4838	0.0175	0.1527	0.0010	931.5	22.2	923.8	7.2	915.8	5.7	99
U1-13	76	80	435	0.18	0.07084	0.0008	1.5031	0.0178	0.1530	0.0009	953.7	22.2	931.6	7.2	918.0	5.3	98
U1-5	126	66	759	0.09	0.06985	0.0007	1.4816	0.0155	0.1531	0.0009	924.1	19.0	922.9	6.4	918.5	5.2	99
U1-3	77	56	460	0.12	0.07040	0.0007	1.4956	0.0167	0.1534	0.0009	939.8	21.5	928.6	6.8	920.2	5.3	99
U1-12	74	75	425	0.18	0.07051	0.0008	1.5006	0.0179	0.1538	0.0009	942.6	24.1	930.6	7.3	922.1	4.9	99
U1-7	58	39	339	0.11	0.07014	0.0008	1.4944	0.0181	0.1539	0.0009	932.4	28.7	928.1	7.4	922.6	5.0	99
U1-2	105	58	620	0.09	0.06961	0.0007	1.4886	0.0165	0.1543	0.0010	916.7	21.4	925.7	6.7	924.7	5.4	99
U1-18	97	70	566	0.12	0.06990	0.0008	1.4946	0.0176	0.1543	0.0009	925.6	24.1	928.2	7.2	925.0	5.3	99
U1-6	123	79	716	0.11	0.06896	0.0007	1.4738	0.0150	0.1543	0.0008	898.2	21.1	919.7	6.2	925.1	4.7	99
U1-15	67	48	388	0.12	0.07020	0.0009	1.4991	0.0198	0.1543	0.0010	1000.0	27.0	930.0	8.1	925.2	5.5	99
U1-16	61	43	359	0.12	0.06987	0.0010	1.4939	0.0212	0.1544	0.0011	924.1	28.9	927.9	8.7	925.4	6.2	99
U1-9	76	59	456	0.13	0.06986	0.0008	1.4945	0.0198	0.1544	0.0011	924.1	25.2	928.1	8.1	925.8	6.3	99
U1-8	75	44	443	0.10	0.06939	0.0008	1.4848	0.0185	0.1545	0.0010	909.3	56.5	924.2	7.6	925.9	5.9	99
U1-19	82	42	482	0.09	0.06922	0.0008	1.4829	0.0173	0.1546	0.0009	905.6	22.7	923.4	7.1	926.7	5.0	99
U1-4	74	170	398	0.43	0.06938	0.0008	1.4859	0.0165	0.1547	0.0009	909.3	22.2	924.7	6.8	927.2	4.9	99
U1-24	78	37	462	0.08	0.06968	0.0008	1.4938	0.0171	0.1548	0.0010	920.4	23.3	927.9	7.0	927.7	5.5	99
U1-17	89	52	528	0.10	0.06916	0.0008	1.4839	0.0188	0.1549	0.0010	903.4	24.1	923.8	7.7	928.5	5.8	99
U1-21	57	66	331	0.20	0.06913	0.0009	1.4858	0.0201	0.1552	0.0010	901.9	26.4	924.6	8.3	929.8	5.7	99
U1-1	90	57	526	0.11	0.06915	0.0007	1.4875	0.0165	0.1553	0.0009	903.4	21.4	925.3	6.8	930.7	5.3	99
U1-11	82	48	482	0.10	0.06945	0.0008	1.4945	0.0188	0.1553	0.0011	922.2	55.7	928.1	7.7	930.8	6.1	99
U1-14	71	73	411	0.18	0.06944	0.0008	1.4954	0.0192	0.1556	0.0011	922.2	24.5	928.5	7.8	932.2	6.3	99
U1-23	80	53	465	0.11	0.06939	0.0008	1.4986	0.0174	0.1559	0.0010	910.2	22.7	929.8	7.1	933.8	5.8	99
U1-10	60	41	351	0.12	0.06925	0.0008	1.4989	0.0186	0.1564	0.0010	905.6	25.2	930.0	7.6	936.8	5.4	99
U1-25	94	109	529	0.21	0.06829	0.0008	1.4808	0.0172	0.1566	0.0010	877.5	24.1	922.6	7.0	938.0	5.5	98
U1-22	83	56	479	0.12	0.06846	0.0008	1.4915	0.0178	0.1572	0.0010	883.3	23.3	926.9	7.3	941.2	5.3	98

测试单位:南京宏创地质勘查技术服务有限公司,2018。

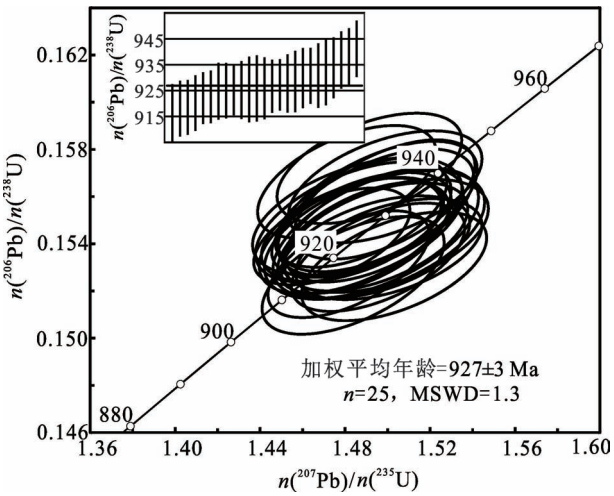


图 4 阿尔金北缘尧勒萨依片麻岩锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 4 Zircon U-Pb concordia diagram of the Yaolesayi gneiss in north Altyn Tagh

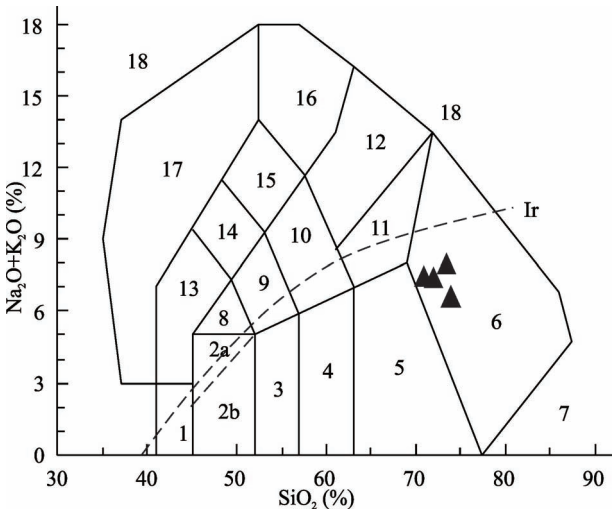


图 5 阿尔金北缘尧勒萨依片麻岩(Na_2O+K_2O)—SiO_2(TAS)分类图解(底图据 Middlemost, 1994)

Fig. (Na_2O+K_2O)—SiO_2(TAS) classification diagram of the Yaolesayi gneiss in north Altyn Tagh(after Middlemost, 1994)

Ir—分界线,上方为碱性,下方为亚碱性。1—橄榄辉长岩;2a—碱性辉长岩;2b—亚碱性辉长岩;3—辉长闪长岩;4—闪长岩;5—花岗闪长岩;6—花岗岩;7—硅英岩;8—二长辉长岩;9—二长闪长岩;10—二长岩;11—石英二长岩;12—正长岩;13—副长石辉长岩;14—副长石二长闪长岩;15—副长石二长正长岩;16—副长正长岩;17—副长深成岩;18—霓方钠岩/磷霞岩/粗白榴岩

Ir—boundary of alkali series(above) and sub-alkali series(below). 1—olivine gabbro; 2a—alkali gabbro; 2b—sub-alkali gabbro; 3—gabbro—diorite; 4—diorite; 5—granodiorite; 6—granite; 7—quartzolite; 8—monzogabbro; 9—monzodiorite; 10—monzonite; 11—quartz monzonite; 12—syenite; 13—foid gabbro; 14—foid monzodiorite; 15—foid monzosyenite; 16—foid syenite; 17—foidolite; 18—tawite/urtite/italite

4 岩石地球化学特征

4.1 主量元素特征

样品全岩的主量元素测试结果及特征数值见表 2。主量元素特征为:

(1)SiO_2=71%~73.96%,平均值 72.63%;分异指数 DI=81.93~87.78,说明岩石经历有不同程度的结晶分异作用。

(2)(Na_2O+K_2O)=6.61%~8.00%,岩石全碱含量较高;K_2O/Na_2O=1.65~2.50,岩石相对富钾;里特曼指数 σ=1.41~2.09,平均 1.85。在 TAS 图解(图 5)上,样品投点均落入亚碱性系列和花岗岩区域;岩石碱度率指数 AR=1.77~2.24,具富铝特点;在 SiO_2—K_2O 图解(图 6a)中,样品投点落入高钾钙碱性系列和钾玄岩系列区域。

(3)Al_2O_3=13%~13.44%,铝饱和指数 A/CNK=1.01~1.25,A/NK>1。在 A/CNK—A/NK 图解(图 6b)中,样品投点均落入过铝质区域。

(4)TFe_2O_3=2.96%~5.07%,MgO=0.3%~0.82%,样品呈现富硅而贫铁镁的特点。

(5)经 CIPW 标准矿物(表 2)计算,岩石中含刚玉、磷灰石、紫苏辉石、磁铁矿、钛铁矿,不含透辉石。

上述特征表明,尧勒萨依片麻岩是高硅、高钾钙碱性过铝质特征岩石,与 S 型花岗岩主量元素特征相同。

4.2 稀土元素和微量元素特征

稀土元素分析结果见表 2。尧勒萨依片麻岩的稀土总量较高,$\sum REE = 206.04\times10^{-6} \sim 294.67\times10^{-6}$,平均$\sum REE = 242.66\times10^{-6}$,明显高于下地壳稀土总量($74\times10^{-6}$)和上地壳稀土总量($210\times10^{-6}$)。LREE/HREE=5.73~7.65;$(La/Yb)_N$=7.53~8.13,$(La/Sm)_N$=2.79~3.77,$(Gd/Yb)_N$=1.48~2.02,属轻稀土富集型,轻重稀土分异程度较高,轻稀土内部有一定分馏,重稀土内部分馏不明显;Eu 有明显亏损(δEu=0.40~0.68),Eu 负异常可能与斜长石源区残留或分离结晶有关。稀土元素球粒陨石标准化配分模式图中(图 7a),样品的总体变化趋势基本一致,显示轻稀土富集、重稀土平缓的右倾型分布特征,并且呈现 Eu 元素下凹“V”型谷的“右倾海鸥型”。

表 2 阿尔金北缘尧勒萨依片麻岩主量元素(%)、微量元素($\times10^{-6}$)和稀土元素($\times10^{-6}$)分析结果及主要参数

Table 2 Major elements(%), trace elements($\times10^{-6}$) and rare earth elements ($\times10^{-6}$) composition and the main parameters of the Yaolesayi gneiss in north Altyn Tagh

样号	1-1	1-2	1-3	1-4	样号	1-1	1-2	1-3	1-4
SiO_2	73.96	71.00	73.58	71.99	Ce	85.24	103.71	65.41	72.36
Al_2O_3	13.17	13.02	13.12	13.43	Pr	10.36	12.33	8.02	8.91
Fe_2O_3	1.12	1.86	1.06	1.08	Nd	39.38	46.43	30.88	34.10
FeO	1.92	3.22	1.91	1.88	Sm	8.15	8.89	7.28	7.27
TiO_2	0.34	0.64	0.23	0.28	Eu	1.59	1.19	0.92	1.52
CaO	1.20	1.74	1.18	1.76	Gd	7.36	8.23	6.81	6.47
MgO	0.43	0.82	0.30	0.35	Tb	1.28	1.34	1.33	1.14
K_2O	4.50	4.65	5.55	5.30	Dy	7.56	7.54	8.16	6.85
Na_2O	2.11	2.82	2.45	2.12	Ho	1.52	1.53	1.47	1.33
P_2O_5	0.12	0.15	0.14	0.13	Er	4.23	4.70	3.67	3.74
MnO	0.03	0.06	0.04	0.05	Tm	0.63	0.72	0.50	0.55
烧失	1.18	0.18	0.67	1.58	Yb	3.77	4.59	2.79	3.41
总量	100.09	100.16	100.23	99.95	Lu	0.54	0.72	0.38	0.49
刚玉(C)	2.94	0.55	1.27	1.32	ΣREE	253.75	294.67	206.04	216.17
石英(Q)	40.61	30.67	34.38	34.47	LREE	187.15	224.51	143.91	160.01
钙长石(An)	5.15	7.62	4.91	7.89	HREE	26.90	29.36	25.11	23.97
钠长石(Ab)	17.84	23.82	20.68	17.95	LREE/HREE	6.96	7.65	5.73	6.67
正长石(Or)	26.57	27.43	32.72	31.34	δEu	0.63	0.42	0.40	0.68
透辉石(Di)	0	0	0	0	δCe	1.00	1.00	1.01	0.99
紫苏辉石(Hy)	3.16	5.46	3.06	3.06	$(La/Yb)_N$	8.07	8.13	8.06	7.53
钛铁矿(Il)	0.65	1.21	0.44	0.53	$(La/Sm)_N$	3.36	3.77	2.79	3.18
磁铁矿(Mt)	1.63	2.70	1.54	1.57	$(Gd/Yb)_N$	1.61	1.48	2.02	1.57
磷灰石(Ap)	0.28	0.35	0.33	0.30	Li	17.97	37.62	39.88	51.58
霞石(Ne)	0	0	0	0	Sr	75.71	103.64	70.06	94.04
白榴石(Lc)	0	0	0	0	Rb	220.90	243.58	291.66	245.25
钾霞石(Kp)	0	0	0	0	Ba	609.01	599.61	369.75	789.16
A/NK	1.58	1.35	1.31	1.46	Th	20.46	26.79	19.42	21.30
A/CNK	1.25	1.01	1.08	1.08	U	2.27	3.08	4.51	2.19
分异指数 *DI*	85.02	81.93	87.78	83.75	Zr	151.08	231.65	129.80	141.73
AR	1.83	2.24	2.04	1.77	Nb	11.85	13.53	11.07	9.29
σ	1.41	1.99	2.09	1.90	Hf	4.79	6.82	4.32	4.50
K_2O/Na_2O	2.13	1.65	2.27	2.50	Ta	0.97	1.22	1.14	0.87
Na_2O+K_2O	6.61	7.47	8.00	7.42	Y	39.71	40.81	37.03	32.18
$Mg^{\#}$	20.77	23.00	15.74	17.95	Rb/Sr	2.92	2.35	4.16	2.61
*R*1	3031.20	2483.36	2640.91	2717.15	Sr/Ba	0.12	0.17	0.19	0.12
*R*2	407.72	481.46	397.56	469.34	Ti/Zr	8.34	15.39	8.96	10.24
La	42.43	51.96	31.40	35.84	Nb/Ta	12.20	11.05	9.72	10.63

注:测试单位:河南省地矿局第二地质勘查院,2017。

$A/NK=\frac{n(Al_2O_3)}{n(Na_2O)+n(K_2O)}$;$A/CNK=\frac{n(Al_2O_3)}{n(CaO)+n(Na_2O)+n(K_2O)}$;$DI$ = Q + Or + Ab + Ne + Lc + Kp (CIPW 计算数据);

$AR=\frac{w(Al_2O_3)+w(CaO)+2w(Na_2O)}{w(Al_2O_3)+w(CaO)-2w(Na_2O)}$;$\sigma=\frac{[100w(Na_2O)+100w(K_2O)]^2}{100w(SiO_2)-43}$;$Mg^{\#}=100\times\frac{n(Mg)}{n(Mg)+n(Fe^{2+})}$;$R1=4n(Si)-11[n(Na)+n(K)]-2[n(Fe)+(Ti)]$ (10^{-3});$R2=6n(Ca)+2n(Mg)+n(Al)$ (10^{-3})(邓晋福等,2015)

尧勒萨依片麻岩样品微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 7b)显示,样品中高场强元素和大离子亲石元素含量均出现分化,大离子亲石元素富集 Rb、K、Th、U,亏损 Ba、Sr;Nb、Ta、P、Ti 等高场强元素相对亏损。Ba、Sr、Nb 负异常表明受长石分离结晶的影响,而 Nb、Ti 的亏损可能是钛铁矿或榍石的分离

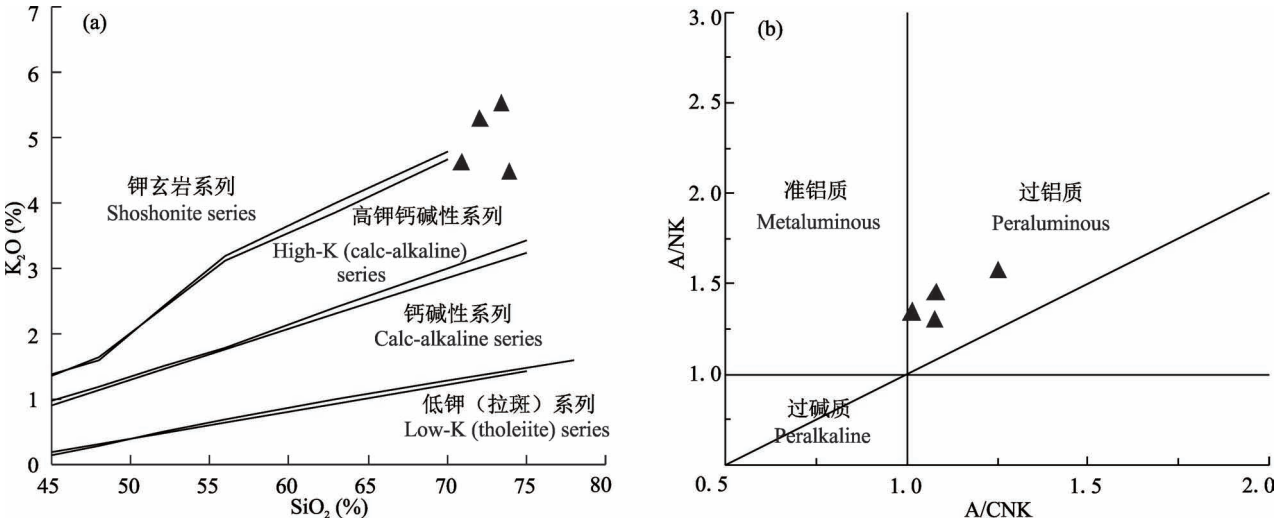


图 6 阿尔金北缘尧勒萨依片麻岩 SiO_2—K_2O 图解(a, 底图据 Maniar and Piccoli, 1989)和 A/CNK—A/NK 图解(b, 底图据 Irvinet and Baragar, 1971)

Fig. 6 SiO_2—K_2O diagram (a, after Maniar and Piccoli, 1989) and A/CNK—A/NK diagram (b, after Irvinet and Baragar, 1971) of the Yaolesayi gneiss in north Altyn Tagh

结晶造成的。从样品元素丰度特征来看,与典型的陆—陆碰撞 S 型花岗岩相似(Pearce et al., 1984),与阿尔金造山带中同期的同碰撞型亚干布阳片麻岩、环形山片麻岩、盖里克片麻岩蛛网图趋势基本一致(王立社等,2015;李琦等,2015,2018)。

5 讨论

5.1 时代和岩石成因

尧勒萨依片麻岩锆石 U-Pb 年龄为 927±3 Ma,表明其侵位时代为新元古代早期青白口纪。

近年来在阿尔金造山带相继发现了青白口纪岩浆事件。李琦等(2018)在阿尔金南缘中段(研究区东部)取得新元古代早期的片麻岩(岩石年龄为 886.5±5 Ma)为高硅、富铝、高钾钙碱性过铝质花岗

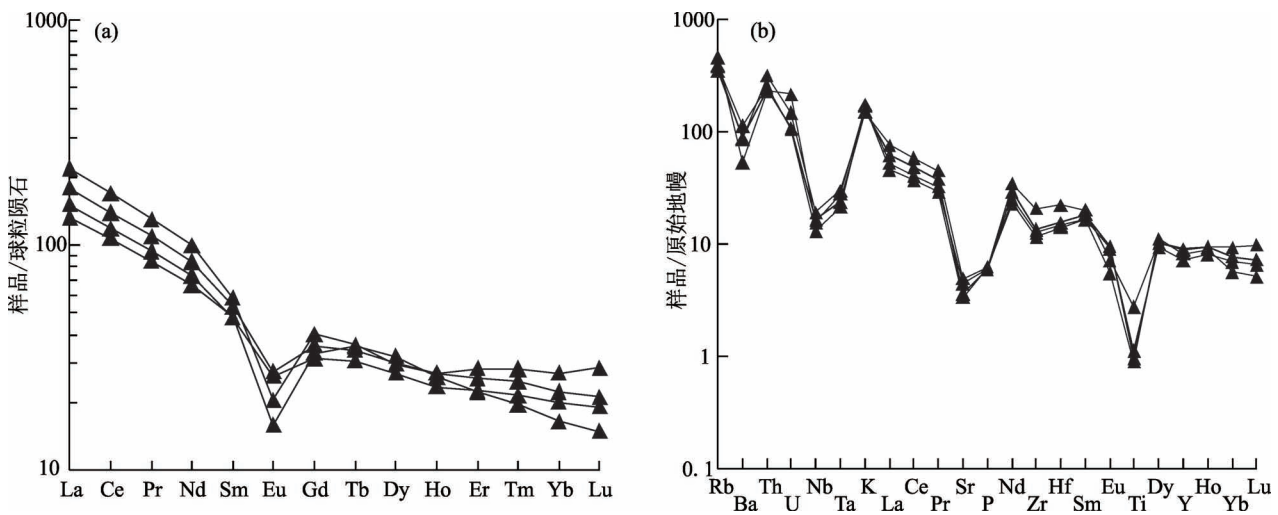


图 7 阿尔金北缘尧勒萨依片麻岩稀土元素球粒陨石标准化配分模式图(a, 标准化数值据 Boynton, 1984)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b, 标准化值据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 7 Chondrite-normalized REE distribution patterns (a, normalization values are from Boynton, 1984) and pimitive mantle-normalized trace element spider diagram (b, normalization values are from Sun and McDonough, 1989) of the Yaolesayi gneiss in north Altyn Tagh

岩,具 S 型花岗岩特征,源岩为地壳沉积岩类;曾忠诚等(2020)在阿尔金南缘亚干布阳一带发现高硅、富铝、高钾钙碱性过铝质花岗岩,具 S 型花岗岩特征,为地壳变质杂砂岩部分熔融。

尧勒萨依片麻岩具高硅、高钾钙碱性过铝质的岩石特征。主要元素 SiO_2 = 70.88% ~ 73.90%、K_2O/Na_2O = 1.65 ~ 2.50、Al_2O_3/TiO_2 = 20.34 ~ 57.04、CaO/Na_2O = 0.48 ~ 0.83,与由地壳沉积岩部分熔融所形成的 S 型花岗岩地球化学特征(SiO_2<74%、K_2O/Na_2O>1、Al_2O_3/TiO_2<100、CaO/Na_2O>0.3)相一致(路凤香和桑隆康,2002),指示其源岩为地壳沉积岩。此外,$Mg^{\#}$值也是判断岩浆熔体是壳源或幔源的有效参数,地壳熔融所形成的岩石 $Mg^{\#}$值较低(<40),而 $Mg^{\#}$>40 的岩石则可能存在地幔物质的加入(Rapp and Watson, 1995),尧勒萨依片麻岩具较低 $Mg^{\#}$值($Mg^{\#}$ = 15.74 ~ 23.00),指示其主要来源于地壳的部分熔融。

王中刚等(1989)研究中国花岗岩时发现,壳幔型花岗岩多为闪长岩、云英闪长岩、花岗闪长岩等,其∑REE 总量平均小于 170×10^{-6}、$(La/Yb)_N$ 平均大于 10,δEu 平均大于 0.6,稀土元素配分模式呈右倾平缓型;壳熔型花岗岩多为二长花岗岩、碱长花岗岩、钾质花岗岩等,其∑REE 总量平均大于 170×10^{-6}、$(La/Yb)_N$ 平均小于 10,δEu 平均小于 0.6,稀土元素配分模式呈右倾“V”型。尧勒萨依片麻岩∑REE 总量平均为 242.66×10^{-6}、$(La/Yb)_N$ 平均为 7.95、δEu 平均为 0.53,稀土元素配分模式呈右倾“V”型,显示其具地壳重熔型花岗岩特征。

尧勒萨依片麻岩中微量元素 Nb 含量为 9.29×10^{-6} ~ 13.53×10^{-6}(平均 11.43×10^{-6}),与地壳岩石的 Nb[8×10^{-6} ~ $(11.5\pm2.6)\times10^{-6}$](Barth et al., 2000)相近;样品 Rb/Sr = 2.35 ~ 4.16(平均 3.01),高于地壳的平均值(0.35);样品 Nb/Ta = 9.72 ~ 12.20(平均 10.90),相较上地幔平均值(17.5)低,和大陆地壳 Nb/Ta 的值(10 ~ 14)相当(赵振华等,2008);样品 Ti/Zr = 8.34 ~ 15.39(平均 10.73),与地壳平均值(<20)一致。样品富集大离子亲石元素 Rb、K、Th、U,亏损 Ba、Sr;Nb、Ta、P、Ti 等高场强元素相对亏损,与典型的陆壳重熔型花岗岩相似。

Sylvester(1998)研究表明,碎屑沉积岩类部分熔融形成偏酸性的过铝质花岗岩类。在 Rb/Sr—Rb/Ba 图解(图 8)中,样品投点落入砂页岩源及黏土岩源,说明源区主要为砂页岩和黏土岩。CaO/Na_2O 比值是判断源区成分的重要指标,当 CaO/Na_2O<0.5 时,指示源区为泥质岩,当 CaO/Na_2O = 0.3 ~ 1.5 时,源区为变砂岩或火成岩,而角闪岩部分熔融而成的偏中性熔体的 CaO/Na_2O 比值较高(Jung and Pfander, 2007)。尧勒萨依片麻岩 CaO/Na_2O = 0.48 ~ 0.84,指示其源区为变砂岩或泥质岩。Harris 等(1992)研究显示,由泥质类源岩水饱和熔融产生的铝长英质岩浆具有高 Sr/Ba 值(0.5 ~ 1.6)及正 Eu 异常,而本文样品的 Sr/Ba 值(0.12 ~ 0.19)很低,且具有负 Eu 异常,显示非泥质类源岩特征。综上所述,认为尧勒萨依片麻岩是地壳变质砂岩部分熔融的产物。

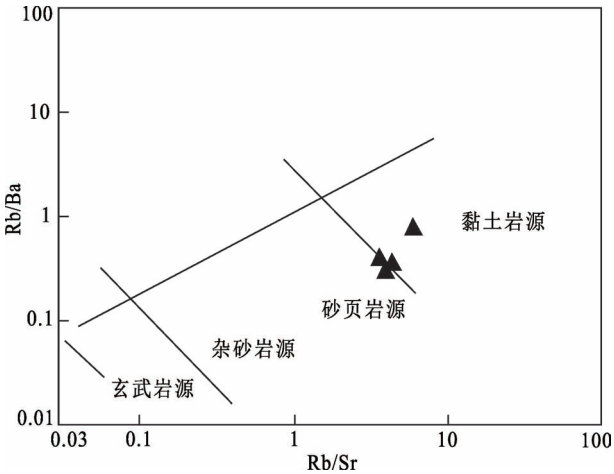


图 8 阿尔金北缘尧勒萨依片麻岩 Rb/Sr—Rb/Ba 图解(底图据 Sylvester, 1998)

Fig. 8 Rb/Sr—Rb/Ba diagram of the Yaolesayi gneiss in north Altyn Tagh (after Sylvester, 1998)

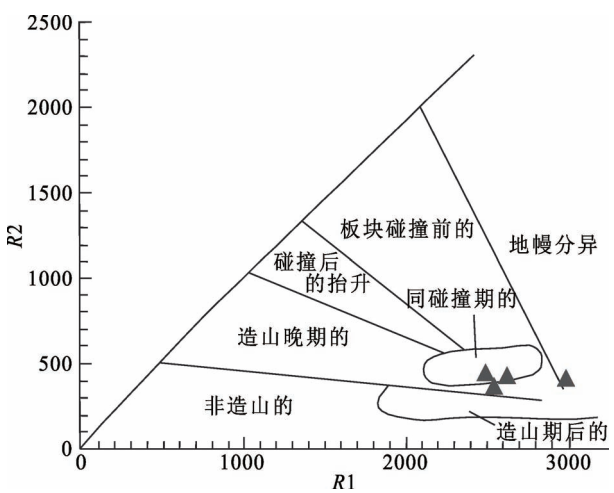


图 9 阿尔金北缘尧勒萨依片麻岩 *R*1—*R*2 图解(底图据 Bachelor and Bowden, 1985)

Fig. 9 *R*1—*R*2 diagram of the Yaolesayi gneiss in north Altyn Tagh (after Bachelor and Bowden, 1985)

5.2 构造环境探讨

尧勒萨依片麻岩地球化学特征为富集轻稀土和大离子亲石元素(Rb、K、Th、U),相对亏损 Nb、Ta、P、Ti 等高场强元素,具高钾钙碱性过铝质岩石系列的 S 型花岗岩特征。根据 BarBarin(1999)的花岗岩分类,尧勒萨依片麻岩与大陆碰撞环境花岗岩特征一致,其微量元素蛛网图与陆—陆碰撞 S 型花岗岩(Pearce et al., 1984)特征一致。

在 *R*1—*R*2 图解(图 9)中,样品投点基本落入同碰撞区域;在 Pearce(1984)定义的花岗岩类构造环境判别图(图 10)上,样品投点均落到同碰撞及碰撞后区域。

近年来,不断有学者研究发现,阿尔金地区构造杂岩带中存在新元古代早期与同碰撞花岗岩相似岩石化学、地球化学的花岗质片麻岩,说明在新元古代存在与罗迪尼亚(Rodinia)超大陆汇聚事件有关的大规模岩浆活动。王超等(2006)在阿尔金西端榴辉岩带(研究区西部)中取得花岗质片麻岩(岩石年龄为 923±13 Ma)为新元古代早期的碰撞型花岗岩,认为柴达木、塔里木等陆块作为罗迪尼亚(Rodinia)超大陆的一部分在新元古代早期存在汇聚碰撞事件;刘永顺等(2009)根据花岗质片麻岩特征,提出阿尔金造山带在新元古代早期存在大规模的碰撞造山运动,说明罗迪尼亚(Rodinia)超大陆的汇聚事件在阿尔金地区影响强烈;王立社等(2015)在阿尔金中部环形山(研究区东部)取得新元古代早期碰撞型花岗岩(岩石年龄为 928±9 Ma),认为原岩为汇聚碰撞事件中地壳杂砂岩部分熔融所形成;李琦等(2018)在阿尔金南缘中段(研究区东部)取得新元古代早期同碰撞构造背景的片麻岩(岩石年龄为

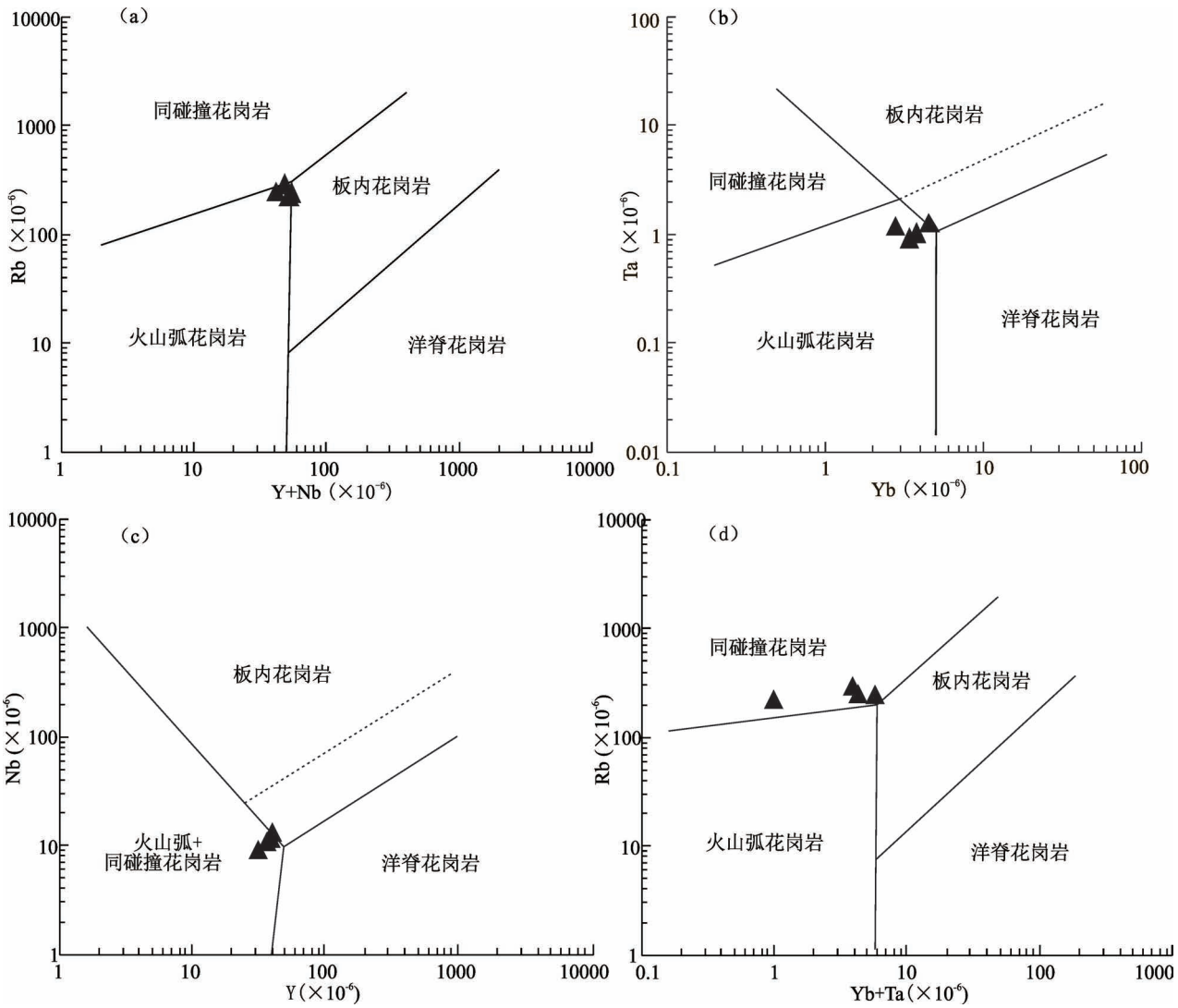


图 10 阿尔金北缘尧勒萨依片麻岩构造环境判别图解(底图据 Pearce et al., 1984)

Fig. 10 Tectonic discrimination diagram of the Yaolesayi gneiss in north Altyn Tagh (after Pearce et al., 1984)

886.5±5 Ma),认为新元古代早期该区存在板块的汇聚碰撞事件;曾忠诚等(2020)在阿尔金南缘亚干布阳一带(研究区东部)发现高硅、富铝、高钾钙碱性过铝质花岗岩(岩石年龄为 883±3.3 Ma),具 S 型花岗岩特征,为碰撞晚期地壳变质杂砂岩部分熔融产物。

上述众多研究说明新元古代早期在我国西北部存在板块汇聚碰撞事件,结合区域地质特征,尧勒萨依片麻岩应该形成于同碰撞晚期的构造地质环境。

6　结论

(1)尧勒萨依片麻岩岩性为黑云母二长花岗片麻岩。锆石 U-Pb 年龄为 927±3 Ma,代表尧勒萨依片麻岩原岩的侵位时代,表明阿尔金造山带的岩浆热事件在新元古代早期有明显表现。

(2)尧勒萨依片麻岩是高硅,贫铁、镁、磷、钛的高钾钙碱性过铝质岩石,富集 Rb、K、Th、U 等大离子亲石元素,相对亏损 Nb、Ti、P、Ta 等高场强元素,其稀土元素配分模式呈右倾“V”型,与地壳重熔型花岗岩特征一致,具 S 型花岗岩特征,为地壳变质砂岩部分熔融的产物。

(3)尧勒萨依片麻岩原岩形成于汇聚碰撞的构造环境,表明与罗迪尼亚(Rodinia)超大陆汇聚事件有关的岩浆响应在阿尔金地区表现明显,为阿尔金造山带的形成发展提供新依据。

致谢:本文是以新疆阿尔金北缘拜什托格拉克三幅区域地质调查项目为依托,文中所用原始数据是项目组成员在极为恶劣的工作生活条件下才取得的,在此对参与项目野外工作的人员表示感谢,并衷心的感谢审稿人对本文提出宝贵的意见和建议。

注　释　/　Notes

❶ 校培喜,高晓峰,胡云绪,谢从瑞,过磊,奚仁刚,董增产,康磊. 2012. 阿尔金—东昆仑西段成矿带基础地质综合研究报告. 西安:中国地质调查局西安地质调查中心.

❷ 河南省地质矿产勘查开发局第二地质勘查院. 2019. 阿尔金北缘拜什托格拉克一带 1∶5 万 J45E011012、J45E011013、J45E011014 三幅区域地质调查报告.

参　考　文　献　/　References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

曹玉亭,刘良,王超,杨文强,朱小辉. 2010. 阿尔金阿尔金南缘塔特勒克布拉克花岗岩的地球化学特征、锆石 U-Pb 定年及 Hf 同位素组成. 岩石学报,26(11):3259~3271.

车自成,刘良,刘洪福,罗金海. 1995. 阿尔金山地区高压变质泥质岩石的发现及其产出环境. 科学通报,40(14):1298~1300.

邓晋福,刘翠,冯艳芳,肖庆辉,狄永军,苏尚国,赵国春,段培新,戴蒙. 2015. 关于火成岩常用图解的正确使用:讨论与建议. 地质论评,61(4):717~734.

董顺利,李忠,高剑,朱炼. 2013. 阿尔金—祁连—昆仑造山带早古生代构造格架及结晶岩年代学研究进展. 地质论评,59(4):731~746.

何鹏,芦西战,杨睿娜,陈培伟,刘晓,张焕,贺晓天,李福斌. 2020. 阿尔金北缘尧勒萨依河口Ⅰ型花岗岩岩石地球化学、锆石 U-Pb 年代学研究. 矿产勘查,11(9):1822~1830.

李琦,曾忠诚,陈宁,赵江林,张若愚,易鹏飞,高海峰,毕政家. 2015. 阿尔金南缘新元古代盖里克片麻岩年代学、地球化学特征及其构造意义. 现代地质,29(6):1271~1283.

李琦,曾忠诚,陈宁,张若愚,赵江林,王天毅,易鹏飞. 2018. 阿尔金造山带青白口纪亚干布阳片麻岩年龄、地球化学特征及其地质意义. 地质通报,37(4):642~654.

刘良,车自成,王焰,罗金海,陈丹玲. 1999. 阿尔金高压变质岩带的特征及其构造意义. 岩石学报,15(1):57~64.

刘永顺,于海峰,辛后田,陆松年,修群业,李铨. 2009. 阿尔金山地区构造单位划分和前寒武纪重要地质事件. 地质通报,20(10):1430~1438.

路凤香,桑隆康. 2002. 岩石学. 北京:地质出版社,82~94.

邱家骧,林景仟. 1991. 岩石化学. 北京: 地质出版社.

王超,刘良,车自成,陈丹玲,张安达,罗金海. 2006. 阿尔金南缘榴辉岩带中花岗片麻岩的时代及构造环境探讨. 高校地质学报,2006(1):74~82.

王立社,张巍,段星星,龙晓平,马中平,宋忠宝,孙吉明. 2015. 阿尔金环形山花岗片麻岩同位素年龄及成因研究. 岩石学报,31(1):119~132.

王中刚,于学元,赵振华. 1989. 稀土元素地球化学. 北京科学出版社,223~224.

辛后田,赵凤清,罗照华,刘永顺,万渝生,王树庆. 2011. 塔里木盆地东南缘阿克塔什塔格地区古元古代精细年代格架的确定及其地质意义. 地质学报,85(12):1978~1993.

许志琴,杨经绥,张建新,姜枚,李海兵,崔军文. 1999. 阿尔金断裂两侧构造单元的对比及岩石圈剪切机制. 地质学报,73(3):193~205.

袁洪林,吴福元,高山,柳小明,徐平,孙德有. 2003. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析. 科学通报,48(14):1511~1520.

曾忠诚,边小卫,赵江林,刘向东,张若愚,李琦,何元方,菅坤坤. 2019. 阿尔金南缘冰沟南组火山岩锆石 U-Pb 年龄及其前寒武纪构造演化意义. 地质论评,65(1):103~118.

曾忠诚,洪增林,刘芳晓,边小卫,李琦,高峰,何元方,菅坤坤. 2020. 阿尔金造山带青白口纪片麻状花岗岩的厘定及对 Rodinia 超大陆汇聚时限的制约. 中国地质,47(3):569~589.

张建新,李怀坤,孟繁聪,相振群,于胜尧,李金平. 2011. 塔里木盆地东南缘(阿尔金山)“变质基底”记录的多期构造热事件:锆石 U-Pb 年代学的制约. 岩石学报. 27(1):23~46.

赵振华,熊小林,王强,乔玉楼. 2008. 铌与钽的某些地球化学问题. 地球化学. 37(4):304~320.

Bachelor R A, Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. Chemical Geology, 48(1~4): 43~55.

BarBarin B. 1999. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments. Lithos, 46: 605~626.

Barth M G, McDonough W F, Rndnick R I. 2000. Tracking the

budgetof Nb and Ta in the continental crust. Chemical Geology, 165 (3/4): 197~213.

Boynton W V. 1984. Geochemistry of the rare earth elements: Meteorite Studies In: Henderson P (ed.). Rare Earth Element Geochenistry. Amsterdam: Elsevier, 63~114.

Cao Yuting, Liu Liang, Wang Chao, Yang Wenqiang, Zhu Xiaohui. 2010&. Geochemical, zircon U-Pb dating and Hf isotope compositions studies for Tatelekebulake granite in South Altyn Tagh. Acta Petroligica Sinica, 26(11): 3259~3271.

Che Zicheng, Liu Liang, Liu Hongfu, Luo Jinhai. 1995&. Found and itstectonic setting of the high pressure metamorphic argillaceous rocks of Altyn mountain area. Chinese Science Bulletin, 40(14): 1298~1300.

Dai Shuang, Dai Wei, Zhao Zhenbin, Luo Junhua, Qiang Lei, Ma Xin, Zhang Xianwen, Xu Jianjun. 2017. Timing, Displacement and Growth Pattern of the Altyn Tagh Fault: A Review. Acta Geologica Sinica(English Edition), 91(2): 669~687.

Deng Jinfu, Liu Cui, Feng Yanfang, Xiao Qinghui, Di Yongjun, Su Shangguo, Zhao Guochun, Duan Peixin, Dai Meng. 2015&. On the Correct Application in the Common Igneous Petrological Diagrams: Discussion and Suggestion. Geological Review, 61(4): 717~734.

Dong Shunli, Li Zhong, Gao Jian, Zhu Lian. 2013&. Progress of Studies on Early Paleozoic Tectonic Framework and Crystalline Rock Geochronology in Altun—Qilian—Kunlun Orogen. Geological Review, 59(4): 731~746.

Harris N B W, Inger S. 1992. Trace element modelling of pelite-derived granites. Contributions to Mineralogy & Petrology, 110 (1): 46~56.

He Peng, Lu Xizhan, Yang Ruina, Chen Peiwei, Liu Xiao, Zhang Huan, He Xiaotian, Li Fubin. 2020&. Petrogeochemistry, zircon U-Pb chronology of I type granite from Yaolesayi estuary, Northern Altun. Mineral Exploration, 11(9): 1822~1830.

Irvine T N, Baragar W R A. 1971. A guide to the chemical classificatioa of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences, 8: 523~548.

Jung S, Pfander J A. 2007. Source composition and melting temperatures of orogenic granitoids: constraints from CaO/Na_2O, Al_2O_3/TiO_2 and accessory mineral saturation thermometry. European Journal of Mineralogy, 19(6): 859~870.

Li Qi, Zeng Zhongcheng, Chen Ning, Zhao Jianglin, Zhang Ruoyu, Yi Pengfei, Gao Haifeng, Bi Zhengjia. 2015&. Zircon U-Pb Ages, Geochemical Characteristics and Tectonic Implications of Neoproterozoic Gailike Gneiss in the South Altyn Tagh. Geoscience, 29(6): 1271~1283.

Li Qi, Zeng Zhongcheng, Chen Ning, Zhang Ruoyu, Zhao Jianglin, Wang Tianyi, Yi Pengfei. 2018&. Zircon U-Pb ages, geochemical characteristics and geological significance of Yaganbuyang gneiss in Qingbaikou period along the Altun orogenic belt. Geological Bulletin of China, 37(4): 642~654.

Liu Liang, Che Zicheng , Wang Yan, Luo Jinhai and Chen Danling. 1999&. The petrological characters and geotectonic setting of high-pressure metamorphic rock belts in Altyn Mountains. Acta Petrologica Sinica, 15(1): 57~64.

Liu Yongshun, Yu Haifeng, Xin Houtian, Lu Songnian, Xiu Qunye, Li Quan. 2009&. Tectonic units division and Precambrian significant geological events in Altyn Tagh Mountain China. Geological Bulletin of China, 28(10): 1430~1438.

Lu Fengxiang Sang Longkang. 2002#. Petrology. Beijing: Geological Publishing House, 82~94.

Lu Songnian, Li Huaikun, Zhang Chuanlin, Niu Guanghua. 2008. Geological and geochronological evidence for the Precambrian evolution of the Tarim Craton and surrounding continental fragments. Precambriam Research, 160: 94~107.

Maniar P D, Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. Geological Society of America Bulletin, 101: 635~643.

Middlemost E A K. 1994. Naming materials in the magma/ igneous rocksystem. Earth-Science Reviews, 37: 215~224.

Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Jour Petrol, 25(4): 956~983.

Qiu Jiaxiang, Lin Jingqian. 1991#. Petrochemistry. Beijing: Geological Publishing House.

Rapp R P, Watson E B. 1995. Dehydration Melting of Metabasalt at 8~32 kbar: Implications for Continental Growth and Crust—Mantle Recycling. Journal of Petrology, 36(4): 891~931.

Sun S S , McDonough, W. F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A. D., Norry, M. J. (Eds.), Magmatism in Ocean Basins. Geological Society of Special Publication, London: 313~345.

Sylvester P J. 1998. Post-collisional strongly peraluminous granites. Lithos, 45(1/4): 29~44.

Wang Chao, Liu Liang, Che Zicheng, Chen Danling, Zhang Anda, Luo Jinhai. 2006&. U-Pb Geochronology and Tectonic Setting of the Granitic Gneiss in Jianggaleisayi Eclogite Belt, the Southern Edge of Altyn Tagh. Geological Journal of China Universities, 12(1): 74~82.

Wang Lishe, Zhang Wei, Duan Xingxing, Long Xiaoping, Ma Zhongping, Song Zhongbao, Sun Jiming. 2015&. Isotopic age and genesis of the monzogranitic gneiss at the Huanxingshan in middle Altyn Tagh. Acta Petrologica Sinica, 31(1): 119~132.

Wang Zhonggang, Yu Xueyuan, Zhao Zhenhua. 1989#. Rare Earth Element Geochemistry. Beijing: Science Press. 223~224.

Xin Houtian, Zhao Fengqing, Luo Zhaohua, Liu Yongsun, Wan Yusheng, Wang Shuqing. 2011&. Deterimination of the Paleoproterozoic geochronological framework in aqtashtagh area in southeastern Tarim, China, and its geological significance. Acta Geologica Sinica, 85(12): 1978~1993.

Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Zhang Jianxin, Jiang Mei, Li Haibing, Cui Junwen. 1999&. A comparsion between the tectonic units on the two sides of the Altun sinistral strike-slip fault and the mechanism of lithospheric shearing. Acta Geologica Sinica, 73(3): 193~205.

Yuan Honglin, Wu Fuyuan, Gao Shan, Liu Xiaoming, Xu Ping, Sun Deyou. 2003&. Cenozoic intrusive laser probe zircon U-Pb and rare earth element composition analysis Determination in Northeast. Science Bulletin, 48(14): 1511~1520.

Zeng Zhongcheng, Bian Xiaowei, Zhao Jianglin, Liu Xiangdong, Zhang Ruoyu, Li Qi, He Yuanfang, Jian Kunkun. 2019&. U-Pb Geochronology of Zircons from the Volcanic Rocks in Bingounan Formation, Southern Altyn Tagh: Implication for the Precambrian Tectonic Evolution. Geological Review, 65(1): 103~118.

Zeng Zhongcheng, Hong Zenglin, Bian Xiaowei, Li Qi, Gao Feng, He Yuanfang, Jian Kunkun. 2020&. Confirmation of gneissic granite of Qingbaikou period and its constraint on the timing of the Rodinia supercontinent on the Altun orogenic belt. Geology in China, 47

(03): 569~589.

Zhang Jianxin, Li Huaikun, Meng Fancong, Xiang Zhenqun, Yu Shengyao, Li Jinping. 2011&. Polyphase tectonothermal events recorded in "metamorphic basement" from the Altyn Tagh, the southeastern margin of the Tarim basin, western China: Constraint from U-Pb zircon geochronology. Acta Petrologica Sinica, 27(1): 23~46.

Zhao Zhenhua, Xiong Xiaolin, Wang Qiang, Qiao Yulou. 2008&. Some aspects on geochemistry of Nb and Ta. Geochimica. 37(4): 304~320.

Zircon LA-ICP-MS U-Pb ages, geochemical features and their geological implications of Yaolesayi gneiss in north Altyn Tagh

HE Peng[1)], YANG Ruina[2)], CHEN Peiwei[1)], ZHANG Huan[1)], LU Xizhan[1)], HE Xiaotian[1)], WENG Hongbo[1)], PEI Yuhua[3)], YANG Yiming[2)]

1) *No. 2 Institute of Geological Exploration of Henan Province, Zhengzhou*, 450001

2) *No. 2 Institute of Geological and Mineral Resources Survey of Henan Province, Zhengzhou*, 450001

3) *Henan Institute of Geological Survey, Zhengzhou*, 450001

Objectives: The gneiss from Yaolesayi in north Altyn Tagh is mainly composed of biotite monzonitic granitic gneiss. In order to find out the origin, formation age and tectonic setting of intrusive rocks in this area, studies of petrology, zircon U-Pb chronology and geochemistry were carried out. LA-ICP-MS U-Pb dating obtains the age of 927±3 Ma, corresponding to Qingbaikou period of early Neoproterozoic. We have learnt that the granite in research area is rich in silicon (SiO_2=71%~73.96%) and alkali [(Na_2O+K_2O)=6.61%~8.00%]. The Rittman index of the granite is 1.41~2.09, which shows a characteristic of calc-alkaline series. The aluminum oversaturated index (A/CNK) is 1.01~1.25, which is a peraluminous series. The granite is rich in LILEs such as Rb, K, Th and U and depleted in HFSEs such as Nb, Ti, P and Ta, corresponding to the features of continental collision granite. The granite is also characterized by high ∑REE, LREE enrichment, notable light and heavy REE fractionation ($(La/Yb)_N$=7.53~8.13) and apparent negative Eu anomaly (δEu=0.40~0.68), which shows a right-leaning REE pattern in the shape of a seagull, corresponding to the features of crustal remelting granite. The granite in research area may be produced by partial melting of metamorphic sandstone. According to the regional geological data, the granite magma is proved to be a product in the late stage of syn-collision.

Keywords: zircon LA-ICP-MS U-Pb chronology; petrogeochemistry; granitic gneiss; North Altyn Tagh; Neoproterozoic

Acknowledgements: This research was financially supported by the project from Fund Project Administration Center of Geological Exploration of Xinjiang Uygur Autonomous Region (No. K16-1-LQ12)

First author: HE Peng, male, born in 1989, engineer, mainly engaged in the study of regional geological survey and structural geology; Email:845632885@qq.com

Manuscript received on: 2020-05-31; Accepted on: 2021-02-18; Network published on: 2021-03-20

Doi: 10.16509/j.georeview.2021.03.012　　**Edited by**: HUANG Daomao, ZHANG Yuxu