

阿尔金山地区构造单元划分和前寒武纪重要地质事件

刘永顺¹, 于海峰¹, 辛后田¹, 陆松年¹, 修群业^{1,2}, 李 铨¹

LIU Yong-shun¹, YU Hai-feng¹, XIN Hou-tian¹, LU Song-nian¹, XIU Qun-ye^{1,2}, LI Quan¹

1. 中国地质调查局天津地质矿产研究所, 天津 300170; 2. 核工业北京地质研究院, 北京 100029

1. *Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Tianjin 300170, China;*

2. *Beijing Academy of Geology, CNNC, Beijing 100029, China*

摘要:阿尔金山地区构造单元从北至南划分为敦煌地块、阿尔金北缘蛇绿混杂岩带、中阿尔金中—新元古代构造岩片、阿尔金构造杂岩带和阿尔金南缘基性超基性岩带 5 个构造单元, 它们具有不同的岩石组合和变质变形特征。在正确识别地质事件的性质和特征的基础上, 根据现有同位素年龄资料甄别出 5 期重要地质事件。3600~2500Ma 的数据表明敦煌地块内存在始太古代、古太古代、中太古代、新太古代古老地壳和多期的岩浆活动; 2500~1800Ma 的古元古代是敦煌地块遭受强烈改造和中基性侵入岩形成的时代; 1000~800Ma 存在新元古代碰撞造山和大规模的岩浆活动; 530~500Ma 是阿尔金北缘蛇绿混杂岩带、高压变质泥质岩和榴辉岩的变质时代, 形成的构造杂岩带是古生代早期秦岭—柴达木盆地北缘巨型碰撞带的西延部分; 400Ma 的柴水沟辉长岩的斜锆石年龄代表了碰撞后的裂解事件。

关键词:阿尔金山; 构造单元; 前寒武纪; 地质事件

中图分类号: P542^{+.4} **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2009)10-1430-09

Liu Y S, Yu H F, Xin H T, Lu S N, Xiu Q Y, Li Q. Tectonic units division and Precambrian significant geological events in Altyn Tagh Mountain, China. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(10):1430-1438

Abstract: Five tectonic units are divided in Altyn Tagh Mountain area respectively Dunhuang block, ophiolitic mélange of north Altyn Tagh, Meso-Neoproterozoic tectonic slice of middle Altyn Tagh, tectonic complex belt of Altyn Tagh and basic-ultrabasic igneous rocks zone of south Altyn Tagh with different rocks assemblages and deformation-metamorphism characteristics. Based on the correct recognition of tectonic significance of geological events, five important geological events are identified in this area according to the isotopic data. Data from 3600Ma to 2500Ma shows that within Dunhuang block there are Eoarchean, Palaeoarchean and mesoarchean crust relicts and multi-phase magmatic activities. In Palaeoproterozoic from 2500Ma to 1800Ma, strong deformation and metamorphic reworking took place in Dunhuang block with some medium-basic and granite intrusion. In the period from 1000Ma to 800Ma, a lot of syn-collisional granite bodies reflect Neoproterozoic collisional orogeny in the tectonic complex belt of Altyn Tagh. The events in the age from 530Ma to 500Ma include mélange accumulation and high pressure metamorphism of muddy rocks in the ophiolitic mélange of north Altyn Tagh, high pressure metamorphism of eclogites in the tectonic complex belt of Altyn Tagh, the tectonic complex belt of Altyn Tagh is the western part of the huge scale of collisional zone of Qinling-North margin of Qadam basin.

Key words: Altyn Tagh Mountain; tectonic unit; Precambrian; geological event

阿尔金山地区因规模巨大的走滑断裂带而闻名于世。长期以来, 前人对阿尔金断裂带进行了大量研

究, 但对该地区前寒武纪的地质研究, 特别是重要地质事件序列的研究非常薄弱。笔者通过近年来的

收稿日期: 2009-03-13; 修订日期: 2009-08-17

基金项目: 中国地质调查局基础地质综合研究项目 (编号: 200113900070)、国家自然科学基金重点项目 (编号: 40032010-C) 资助

作者简介: 刘永顺 (1962-), 男, 教授级高级工程师, 从事区域地质调查研究。E-mail: tjlys10@sohu.com

综合研究和区调工作,重点对阿尔金地区前寒武纪的重要地质事件进行了研究,初步厘定了前寒武纪重大地质事件的序列和性质。

1 阿尔金山地区前寒武纪构造单元划分及其基本特征

阿尔金山地处青藏高原北缘,剧烈的走滑作用和从太古宙到新生代的构造岩片都有发育,许多学者进行了不同的大地构造单元的划分。《新疆维吾尔自治区区域地质志》^[1]将阿尔金山区称阿尔金山断隆,许志琴等^[2]则将阿尔金走滑断裂两侧分别划分为塔里木地块、敦煌地块、北阿尔金俯冲杂岩带、中阿尔金地块和南阿尔金俯冲-碰撞杂岩带、柴达木北缘俯冲-碰撞杂岩带和柴达木地块。本文的阿尔金山地区构造单元的范围是指且末-星星峡断裂和阿尔金断裂之间的部分,其北部为敦煌地块,南部依次为欧龙布鲁克地块、柴达木北缘构造杂岩带、柴达木地块和东昆仑造山带。其中阿尔金山地区主要包括 5 个构造单元(图 1)。

1.1 敦煌地块

出露于阿尔金山北缘至敦煌西南,主要包括米兰岩群和 TTG 岩系,程裕淇等^[3]称之为米兰岩群和敦煌岩群,南界以阿尔金北缘蛇绿混杂岩带与中阿尔金中新元古代岩块相邻。

米兰岩群主要由规模大小不等的透镜状、条带状赋存于 TTG 岩系内的变质表壳岩组成,主要岩石类型包括基性麻粒岩、紫苏斜长片麻岩、斜长角闪片麻岩、石榴斜长角闪岩、黑云角闪斜长片麻岩、变

粒岩、大理岩、含石墨石英片岩等,原岩以中酸性火山岩和基性火山岩组成的双峰式火山岩系为主,夹少量正常沉积岩。该岩群变形主要以发育强直片麻理和塑性流褶皱为主,混合岩化较强,至少经过了 2 期明显的变形变质作用改造,早期变质程度最高可达麻粒岩相,晚期为低角闪岩相变质改造^①。米兰岩群内几种重要的岩石类型的特征如下。

(1)TTG 岩系中的透镜体,有角闪斜长片麻岩,其原岩可能是基性火山岩或基性岩脉,目前的产状多为与区域片麻理一致的长轴状透镜体;另有石榴斜长角闪岩,产状多与角闪斜长片麻岩相同,但其外围往往为斜长角闪岩,其内部常含石榴子石丰富(40%~50%)的石榴二辉麻粒岩团块;第三种为可能的长英质麻粒岩或含石榴子石的基性麻粒岩。

(2)TTG 岩系中的条带,在区域上分布规模比透镜体要大,透镜体往往长度在几米至几十米甚至几百米,而条带则在几百米至数千米以上。岩石类型有 2 种,其一为大理岩类,一般呈透镜状、条带状、层状赋存于长英质片麻岩内;其二为角闪斜长片麻岩、变粒岩、斜长角闪岩条带。

(3)混合岩,相当于条带状混合岩,主要由钾长花岗质条带与斜长角闪岩、辉石角闪岩、角闪斜长片麻岩条带互层组成,产状以北东-近东西向为主。

TTG 片麻岩包括浅灰色中粗粒黑云角闪斜长片麻岩、浅灰色绿帘石化条带状黑云角闪斜长片麻岩和灰白色细粒含角闪斜长片麻岩等岩石类型,原岩属于英云闪长岩-奥长花岗岩-花岗闪长岩系列,目前测得的侵位年龄可能在 2.8~2.6Ga 之间,代表

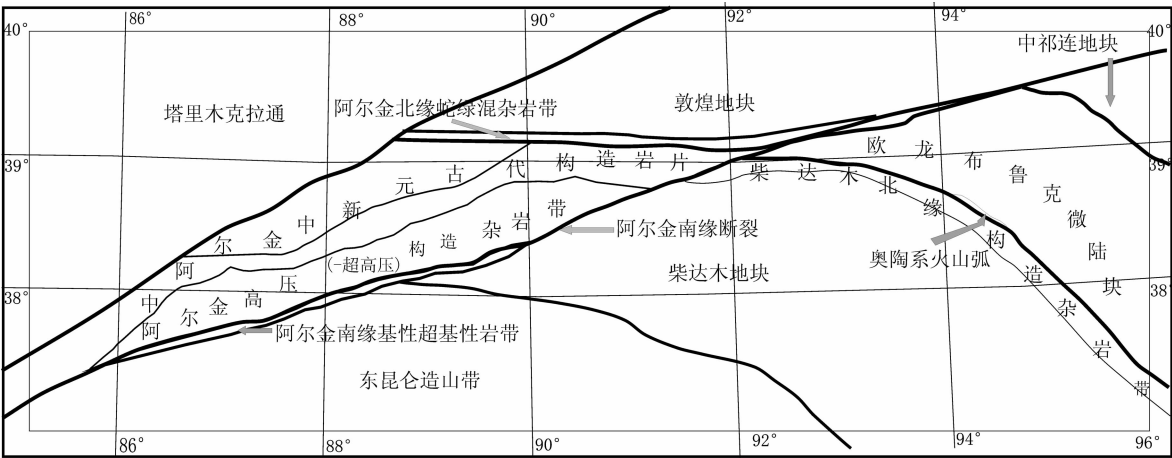


图 1 阿尔金山及其邻区构造单元划分图

Fig. 1 Map of tectonic units division in Altyn Tagh Mountain and its adjacent area

了新太古代重要的造陆事件。这套正片麻岩和表壳岩一样遭受了多期变形变质作用和强烈的混合岩化,形成多期面理叠加的灰色片麻杂岩^①。

上述米兰岩群的变质表壳岩和 TTG 花岗片麻岩等基底深变质岩系共同构成了测区的新太古代构造层。

据陆松年等^{[4-5]①}关于敦煌地块中花岗质片麻岩的 U-Pb 同位素测年数据,该地区存在 4 期主要事件(表 1)。(3605±43)~(3096±37)Ma 代表了敦煌地块中残存的始太古代—中太古代古老片麻岩的时代。笔者^①在米兰岩群火山岩中测得锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 2592Ma±15Ma,而英云闪长岩的侵位年龄为 2567Ma±32Ma,两者形成时间一致。它们形成的机制可能类似于日本岛弧增生模式,即表壳岩形成于造山带浅部,而 TTG 代表造山带根部带的特点。2500Ma 左右的构造岩浆事件还造成了米兰岩群中层理褶皱、透入性片理、片麻理、固态流变褶皱、平卧褶皱等深层次近水平韧性剪切构造形迹的发育,同时伴有高角闪岩相—麻粒岩相变质。

TTG 片麻岩和米兰岩群中均见斜长角闪岩构造透镜体,这种包体具有较弱的变形,边部与花岗片麻岩的接触处隐约可见冷凝边,其侵位时代晚于 TTG 片麻岩。野外追索这些透镜体断续相连,指示其成因为变质脉体,区域上该期脉体近直立产出,分布较多,可能为基性岩墙群。陆松年等^[4-5]利用 TIMS 法获得基性岩墙群的锆石 U-Pb 不一致线上交点 (2374±10)Ma、(2351±21)Ma 成岩年龄,表明敦煌地块经历五台期的固化后于古元古代早期发生了克拉通裂解,开始了新的构造旋回。(2140.5±9.5)~(2051.9±9.9)Ma、(1855±24)Ma 代表了敦煌地块中吕梁期闪长质片麻岩、正长花岗片麻岩、石榴斜长角闪岩和石英二长岩脉等岩浆活动事件,表明吕梁旋回在本区汇聚演化为伸展的大地构造背景,反映了古元古代哥伦比亚(Columbia)超大陆汇聚作用的结束^①(表 2)。(1121±62)Ma 是敦煌地块中新元古代大规模构造剪切和同构造侵入伟晶岩脉的发育时期^④。

另外,车自成等^⑥在拉配泉米兰岩群麻粒岩中获得的 Sm-Nd 等时线年龄 2787Ma±151Ma,胡霁琴等^⑦报道的米兰岩群斜长角闪岩的 Sm-Nd 等时线年龄 2677Ma±240Ma,也与上述主要地质事件有对应关系。

1.2 阿尔金构造杂岩带

阿尔金构造杂岩带是指阿尔金山中部由新元古

代花岗质片麻岩(或片麻状花岗岩)、古元古代变质表壳岩及其内部的榴辉岩、石榴斜长角闪岩、石榴二辉橄榄岩等高压变质岩和蛇纹石化辉橄岩、蛇纹岩等基性超基性岩组成的复杂构造杂岩带。分布于原阿尔金山岩群的出露部位。通过调查,原阿尔金山岩群至少包括 3 部分岩石:不同类型的变质表壳岩、至少 3 期花岗质岩石、2 种不同类型的榴辉岩^⑧。

1.2.1 表壳岩

不同类型的变质表壳岩,在原阿尔金山岩群中出露的比例约 25%^⑨。包括 2 种类型的岩石:第一种类型为高温低压变质岩,包括(石榴)斜长角闪岩、(石榴)黑云变粒岩、含矽线石黑云斜长片麻岩、黑云片岩、(石墨)大理岩等,变形变质较强,变质程度可达角闪岩相。第二种类型为高压副变质岩系,包括含蓝晶石黑云斜长片麻岩和石榴斜长角闪岩。这 2 种类型的岩石组合在空间上没有接触,而是在花岗质片麻岩内呈规模不等的包体、透镜体状产出。宏观、微观上成层性好,无论成分还是变形变质程度均与围岩有明显的区别。与围岩之间除侵入接触外,还有构造接触(韧性、脆性构造带)。由于遭受了多期变形变质作用的改造,原岩性质不易判别,仅局部发育变余成分层理或变余沉积层理,显示沉积原岩的特征。基性火山岩化学成分显示其具有板内—大陆边缘沉积的特征。

胡霁琴等^⑦报道,阿尔金山岩群片麻岩锆石 U-Pb 上交点年龄为(1820±277)Ma, T_{DM} 为 1.82~1.94Ga;毛德宝等^②在科克萨依黑云长石片麻岩中获得 TIMS 法锆石 U-Pb 的表面年龄为 2459Ma±48Ma;张建新等^⑩在测定吐拉一带的孔兹岩系锆石 U-Pb 年龄时获得(2571±340)Ma(残留锆石)和(1027±10)Ma 的上交点年龄,下交点年龄为(481±19)Ma;陆松年等^⑧又在淡水泉一带的蓝晶石石榴子石片麻岩中采用锆石 TIMS 法测年,获得 8 个颗粒锆石的不一致线上交点年龄为(1062±72)Ma,说明这个时期存在一次较明显的地质事件;广西地调院^③在清水泉一带的表壳岩中获得颗粒锆石的 U-Pb 上交点年龄(1368±49)Ma,下交点年龄为(566±14)Ma。这些资料表明,阿尔金山岩群的表壳岩内存在古元古代、新元古代和早古生代 3 期地质事件的年龄信息。

1.2.2 花岗质岩石

原阿尔金山岩群中至少包括 3 期花岗质岩石,占阿尔金构造杂岩带出露岩石的 70%以上,主要有以下几种岩石:①英云闪长质—花岗闪长质片麻岩:

表 1 阿尔金山地区前寒武纪岩石同位素测年数据

Table 1 Isotopic geochronological data of Precambrian rocks in Altyn Tagh Mountain area

(岩石)地质单位	取样地点	测试方法	上交点 年龄/Ma	下交点 年龄/Ma	等时线 年龄/Ma	资料 来源
花岗片麻岩		TIMS 法 U-Pb (4 点)	3605±43	1958±180	经 SHRIMP 法检测 37 个 点中接近或大于 3.6Ga 的 占 27%，其他集中于 1.8~2.4Ga 之间	[4]
		TIMS 法 U-Pb (6 点)	2470±38	1121±62		
		TIMS 法 U-Pb (4 点)	权重平均值 1938±9			
		Sm—Nd	Nd 模式年龄 T_{DM} =3528			
二长花岗片麻岩		TIMS 法 U-Pb (6 点)	3096±37		1670±36	
		TIMS 法 U-Pb (1 点)	表面年龄 2423±4			
		Sm—Nd	Nd 模式年龄 T_{DM} =2978			
英云闪长片麻岩	阿克塔什塔格	TIMS 法 U-Pb (5 点)	2604±102	1580±35		
		TIMS 法 U-Pb (3 点)	2072±8	58±45		
		TIMS 法 U-Pb (1 点)	表面年龄 1981±10			
		Sm—Nd	Nd 模式年龄 T_{DM} =3063			
奥长花岗片麻岩		TIMS 法 U-Pb (4 点)	2374±10	315±92		[4-5]
		TIMS 法 U-Pb (1 点)	2102±49			
		TIMS 法 U-Pb (1 点)	1979±13			
石榴斜长角闪岩		TIMS 法 U-Pb (1 点)	2424±12			
		TIMS 法 U-Pb (4 点)	2351±21	202±144		
石英二长岩		TIMS 法 U-Pb (5 点)	1855±23	354±64		
		TIMS 法 U-Pb (4 点)	1855±24	353±64		
		TIMS 法 U-Pb (4 点)	表面年龄 1608±66			
		TIMS 法 U-Pb (4 点)	表面年龄 1649±44			
辉长岩	柴水沟	TIMS 法 U-Pb (4 点)	表面年龄 402±21			
含石墨石榴黑云斜长片麻岩	克孜勒塔格		2705±23、2592±15、2020±53			
英云闪长质片麻岩	克孜勒塔格		2767±49 (核部)、2567±32 (边部)			
二辉麻粒岩	阿克塔什塔格		1983±19 (变质锆石)			
片麻状闪长岩	库木莫纳依克	SHRIMP 法 U-Pb	2135±110			①
片麻状石英二长闪长岩	喀腊大湾		2051.9±9.9			
片麻状石英正长岩			1873.4±9.6			
片麻状二长花岗岩	野马滩北		831±82			
闪长岩	拉配泉	TIMS 法 U-Pb	472.3±0.8			
变流纹英安岩	喀腊大湾	SHRIMP 法 U-Pb	503±14			
粗安岩	拉配泉	SHRIMP 法 U-Pb	494 ± 23			
麻粒岩	阿克塔什塔格	Sm-Nd 全岩等时线	2787±151、2792±208			[6]
黑云长石片麻岩	科克萨依	锆石 U-Pb	表面年龄：2459±48			②
富铝片麻岩	吐拉牧场西 20km	锆石 U-Pb	1027±10、残留 锆石 2571±340	481±19		[9]
含蓝晶砂线黑云斜长片麻岩	淡水泉	TIMS 法 U-Pb (8 点)	1062±72	280±81		[8]
石榴砂线黑云片岩	清水泉	锆石 U-Pb	1368±49	566±14		③
眼球状花岗岩片麻岩	尧勒萨依	锆石 U-Pb (8 点)	1381±392	840±97		
花岗岩	大平沟	锆石 U-Pb (4 点)	1134±508	425±29 (4 点 424.9±0.9)		②
斑状花岗岩	克孜勒乌增	锆石 U-Pb (5 点)	1~3 点权重平均值 437.9±0.8、4 号点 430.2±0.7、5 号点 408.2±0.8			

续表 1

(岩石)地质单位	取样地点	测试方法	上交点 年龄/Ma	下交点 年龄/Ma	等时线 年龄/Ma	资料 来源
斑状花岗岩	帕夏拉依档	TIMS 法 U-Pb (4 点)	3396±418	856±12		④
硝鲁克布拉克 片麻岩	硝鲁克布拉克	锆石 U-Pb (3 点)	1209±41	400±15		
		全岩 Rb-Sr (5 点)			1034.6 (I _{Sr} 0.70759)	
库如克萨依片麻岩	库如克萨依	锆石 U-Pb (5 点)	871±13	156±24		
		全岩 Rb-Sr (3 点)			941.8 (I _{Sr} 0.70568)	③
黄土泉片麻状 斑状二长花岗岩	黄土泉	全岩 Rb-Sr (2 点)			555 (I _{Sr} 0.70487)	
其昂里克浆混 花岗岩	其昂里克	全岩 Rb-Sr (6 点 δ、v 各 1 点)			529.8 (I _{Sr} 0.72148)	
花岗岩片麻岩	江尕勒萨依	SHRIMP 法 U-Pb	809±19 Ma ~ 885±21 Ma(残核),	484±11~491±12 Ma(幔)		[11]
		LA-ICP-MS		923±13		[13]
石榴子石黑云母 片麻岩	江尕勒萨依	LA-ICP-MS		(499±27) Ma(变质年龄)		[12]
含石榴花岗 片麻岩	淡水泉	TIMS 法 U-Pb (7 点)	930±42	452±98		
		SHRIMP 法 U-Pb		核部 909±14Ma、边部		
花岗岩质片麻岩	江尕勒萨依	TIMS 法 U-Pb (6 点)	686±8	23±88		
		TIMS 法 U-Pb (1 点)		表面年龄 809±7		
		SHRIMP 法 U-Pb		核部 (911±17)、边部 (539.7±9.5)		作者 (2001 — 2002)
花岗岩质片麻岩	尧勒萨依	TIMS 法 U-Pb (4 点)	836±20	59±433		
含石榴花岗 片麻岩	巴什瓦克 石棉矿	TIMS 法 U-Pb (4 点)	905±11	525±11		
		TIMS 法 U-Pb (1 点)		表面年龄 836±20		
		SHRIMP 法 U-Pb		核部 (983±18)、边部 (487-552)		
花岗岩质片麻岩		TIMS 法 U-Pb (5 点)	869.8±7.6	124±35		
		TIMS 法 U-Pb (4 点)	1247±74	434±29		
榴辉岩	江尕勒萨依	全岩-石榴子石-绿辉 石的 Sm-Nd 等时线			500±10	[15]
		锆石 U-Pb	表面年龄权重平均值 503.9±5.3			
榴辉岩	江尕勒萨依	LA-ICP-MS		754 ±9 (原岩形成年龄) 493 ±413 (变质年龄)		[12]
堆晶辉长岩	阿尔金北缘 半果巴	Sm-Nd 全岩等时线			829±60	[25]
枕状玄武岩	贝克滩	Sm-Nd 全岩等时线			524.4±43.9	
拉斑玄武岩	红柳沟	Sm-Nd 全岩等时线			508.3±41.4~512.9±30	[23]
绿泥片岩	红柳沟	Sm-Nd 等时线			1454±65	
绿泥片岩	红柳沟南	锆石 U-Pb (5 点)	1 号点表面年龄 486.3±1.5、2~4 号点 权重平均值 506±11			②
斜长角闪岩	嘎斯煤田	Sm-Nd 全岩等时线			1720±52、495±15	
变质基性火山岩	玉苏普阿 勒克塔格	Sm-Nd 等时线			1307±110	④
玄武岩	茫崖	Sm-Nd 全岩等时线			481.3±53	[26]

表 2 阿尔金山北地块前寒武纪主要地质事件演化序列

Table 2 Major geological events evolution sequence during the Precambrian in northern Altyn Tagh

事件序列		构造期	地 质 事 件 记 录				地质意义	同位素 年龄/Ma	
			沉积建造	岩浆活动	构造变形	变质作用			
蓟县纪—青白口纪盖层沉积——索尔库里群滨浅海相碎屑岩和潮坪碳酸盐岩沉积建造									
D2	D2-4	吕 梁 期		石英正长岩 石英二长岩脉		钾质混合岩化		后造山	1873±9.6
	D2-3		碳酸盐岩	片理褶皱, 新生面理; 层内紧闭褶皱, 叠加褶皱, 韧性剪切带——条带状、眼球状构造	钠质混合岩化	角闪岩相变质	同造山	1931±18	
	D2-2		石英二长闪长岩、闪长岩(埃达克岩)			前造山	2051.9±9.9 2135±110 2140.5±9.5		
	D2-1		基性岩墙			大陆裂解	2351±21		
D1	D1-2	五 台 期	米兰岩群: 双峰式火山喷发及孔兹岩建造	TTG 片麻岩	层理褶皱, 透入性片(麻)理、固态流变褶皱、平卧褶皱、韧性剪切带	高角闪岩相—麻粒岩相变质		俯冲造山 陆壳增生	2567±32 2592±15
	D1-1		基性岩 (?)				早期的地壳增生	2705±23 2767±49	

这种类型的花岗质岩石分布面积最大。②弱片麻状含石榴子石花岗岩: 这种类型的花岗岩在清水泉剖面 and 巴什瓦克石棉矿地区都有发现, 虽然在阿尔金山岩群中出露很少, 但由于现今发现的榴辉岩与其关系较密切, 其构造意义显得十分重要。③显生宙块状等粒花岗岩: 这种类型的花岗岩在所谓的“古元古代阿尔金山岩群”中发育不多, 规模也不大。

近年来毛德宝等^②、西安地质矿产研究所^④、广西地调院^③、刘良等^[11-13,15]和笔者还在花岗质片麻岩中获得多组 800~1000Ma 和 400~500Ma 的年龄数据(表 1)。绝大部分锆石晶体显示岩浆锆石的特征, 2 个阶段的年龄数据分别代表了岩浆结晶年龄和变质事件的年龄。

1.2.3 榴辉岩

自 1996 年刘良等^[14]在阿尔金西段发现榴辉岩以来, 许多学者对于该地区榴辉岩的分布、产状、空间展布、形成时代和地质意义进行了广泛研究, 提出了许多新认识^[11-20]。笔者通过详细的路线观察和具体露头点的构造解剖, 在近 300km 范围内发现 8 处榴辉岩, 呈北东向断续分布于阿尔金构造杂岩带内。榴辉岩可以分为 2 种类型: 第一类具有透入性片麻理、明显有退化变质象, 围岩多与大理岩、黑云变粒岩等关系密切; 第二类不具有片麻理、退化变质较

弱, 围岩多与(含石榴子石)花岗片麻岩关系密切。

榴辉岩的峰期变质条件为 $T=820\sim850^{\circ}\text{C}$, $p=2.8\sim3.0\text{GPa}$, 因此认为阿尔金山地区的榴辉岩为高压变质岩石, 后期又经过了以角闪岩相(部分麻粒岩相)为主的退变质改造^[15-16]。岩石地球化学分析资料表明榴辉岩的原岩以火山弧拉斑玄武岩为主。

张建新等^[15-16]在阿尔金山西段获得了榴辉岩中颗粒锆石的 U-Pb 年龄为 $503.9\text{Ma}\pm5.3\text{Ma}$, 全岩—石榴子石—绿辉石 Sm-Nd 等时线年龄为 $500\text{Ma}\pm10\text{Ma}$, 认为是榴辉岩的变质年龄。刘良等^[11-13]进行了江孜勒萨依榴辉岩和围岩锆石 LA-ICP-MS 微区原位测年, 获得了榴辉岩原岩的形成年龄为 $(754\pm9)\text{Ma}$, 变质年龄为 $(493\pm4.3)\text{Ma}$, 石榴子石黑云母片麻岩中锆石的变质年龄为 $(499\pm27)\text{Ma}$ 。

1.3 中—新元古代构造岩片

中阿尔金中新元古代构造岩片位于阿尔金北缘蛇绿混杂岩带以南, 阿尔金构造杂岩带以北的地区, 主要为中元古代长城系和蓟县系浅变质沉积岩系, 在岩块南部分布少量新元古代青白口系, 东部见少量震旦系。按 1:50 万全国数字化地质图的方案划分为中元古代长城系巴什库尔干群、蓟县系塔昔达坂群、新元古代青白口系索尔库里群。

阿尔金地区的巴什库尔干群、塔昔达坂群和索尔库里群尽管在空间分布上并不连续,以断裂构造接触,出露也不完整,但是这 3 个时期的沉积建造相似,均以碎屑岩、碳酸盐岩建造为主,只是在中元古代蓟县系塔昔达坂群中夹有少量基性火山岩,变质程度最高仅达到绿片岩相。在具体沉积环境上,巴什库尔干群含有较多的粗碎屑岩,大理岩的成分也不纯,含有较多不同成分的变质矿物,说明当时主要为滨海靠近古陆的沉积环境。中元古代蓟县系塔昔达坂群的沉积建造主要为中厚层块状灰岩、白云岩,下部为细碎屑岩建造,反映从中元古代早期到中元古代晚期,沉积环境从滨海靠近古陆向浅海环境发展。新元古代青白口纪索尔库里群的沉积建造与中元古代蓟县系塔昔达坂群基本相同,但岩层更薄,主要为薄层状灰岩、页岩和板岩,说明其沉积环境为比较稳定的浅海台地。从中元古代早期长城纪、中元古代蓟县纪到新元古代青白口纪,阿尔金地区基本处于塔里木古老陆块边缘形成的滨海—浅海环境。

1.4 阿尔金北缘蛇绿混杂岩带

阿尔金北缘蛇绿混杂岩带是分布于阿尔金北缘红柳沟—肃北县一带的基性—超基性岩带,是一套经过强烈构造混杂的岩石组合,它不仅包括了一些中浅变质的碎屑岩、碳酸盐岩和少量基性火山岩,而且也包括了一些未变质—弱变质的基性火山岩、硅质岩、灰岩、基性超基性侵入岩,以及高压变质泥质岩^[17,21]。岩石组合和岩石地球化学特征分析表明,红柳沟一带的蛇绿岩具有洋脊或洋岛玄武岩的特征^[21-23]。但是,在这个蛇绿混杂岩带内还有一些不属于蛇绿岩性质的基性和超基性岩石,它们的时代属于新元古代,为板内裂谷火山岩组合^[23-24]。

红柳沟一带蛇绿混杂岩带的时代目前缺乏准确的定年依据。岩石组合及相互接触关系表明,这个构造带内可能包括了不同时代、不同性质的火山岩组合。如《新疆维吾尔自治区区域地质志》^[1]根据红柳沟的超镁铁质岩与蓟县系马特克布拉克组的枕状玄武岩、硅质岩、凝灰岩伴生,将其归属于中元古代蓟县纪;毛德宝等^[2]在红柳沟南绿泥石英片岩中获得 Sm-Nd 等时线年龄为 $1454\text{Ma} \pm 65\text{Ma}$,同时获得的颗粒锆石年龄为 $486 \sim 506\text{Ma}$;新疆地质志根据在地层中发现的微古植物 *Trachysphaeridium* sp. 和叠层石 *Kussiella* sp.,认为该套岩石组合中部分中浅变质的岩石地层属长城系^[1];郭召杰等^[25]通过对阿克塞地

区辉长岩和玄武岩的 Sm-Nd 分析,给出全岩等时线年龄为 $949\text{Ma} \pm 62\text{Ma}$ 和辉长岩年龄 $829\text{Ma} \pm 60\text{Ma}$,认为其形成时代为新元古代;刘良^[23]在米兰红柳沟火山岩中取得 Sm-Nd 等时线年龄为 $(508 \pm 41)\text{Ma}$,认为蛇绿岩的时代为早古生代。

笔者在 1:25 万石棉矿幅区调^①工作中对混杂岩带进行了详细解剖,从北向南划分了洋壳残余→弧后盆地沉积→陆缘岩浆弧→被动大陆边缘等 5 种大地构造岩相类型,反映早期的俯冲发生在北阿尔金洋的南部边缘。混杂岩带中洋脊超镁铁质岩石(蛇纹岩、橄辉岩、辉石岩等)、枕状玄武岩等岩片断续分布在石棉矿—拉配泉—克鲁克尼一带,构成了北阿尔金洋古洋壳的残余;初步明确了蛇绿岩形成年代的下限为 510Ma ,构造就位的年代为 $470 \sim 450\text{Ma}$ 。厘定出早期汇聚阶段($510 \sim 470\text{Ma}$)的沟弧盆背景下的岛弧火山岩(流纹岩, $503\text{Ma} \pm 14\text{Ma}$;粗面岩等, $494\text{Ma} \pm 23\text{Ma}$)、中期碰撞阶段($470 \sim 450\text{Ma}$)的钙碱性花岗岩(花岗闪长岩, $472\text{Ma} \pm 0.8\text{Ma}$)和晚期后造山阶段($450 \sim 435\text{Ma}$)的碱性花岗岩(二长花岗岩, $437.9\text{Ma} \pm 0.8\text{Ma}$)。其中岛弧火山岩分布在蛇绿混杂岩带的南侧,表明俯冲由北向南进行;后造山花岗岩分布在蛇绿混杂岩带的两侧,表明 435Ma 汇聚作用基本完成。红柳沟—拉配泉早古生代混杂岩带是不同时期、不同成因和不同大地构造背景的岩片构造叠置在一起组成的构造混杂岩带。

1.5 阿尔金南缘基性超基性岩带

阿尔金南缘基性超基性岩带是指分布在茫崖镇东部柴水沟—吐拉牧场一带的基性超基性岩,是阿帕—茫崖混杂岩带的东延部分,在构造上主要分布于阿尔金南缘断裂之南。主要由超镁铁质岩体、基性岩墙(脉)和基性火山岩组成,可见少量辉长岩、安山岩和硅质岩,但缺少席状岩墙群和枕状熔岩。其中超镁铁质岩体主要由强烈蛇纹石化的纯橄岩和方辉橄榄岩、橄榄辉长岩组成,铬铁矿化弱,以盛产石棉著称。还有变辉绿岩、变质辉长辉绿岩、斜长角闪岩、绿帘透闪石岩、黝帘石岩等,宽几米至几十米不等,多呈北东向展布。不同岩石组合之间多为构造接触。不同地段的火山岩岩石组合及岩石地球化学特征也不同,既有洋脊玄武岩的特征,也显示洋岛玄武岩的特征,还见以安山岩为主的碰撞后拉张环境的火山岩。

毛德宝等^[2]在嘎斯煤田西采集的斜长角闪岩中获得了 $1720\text{Ma} \pm 52\text{Ma}$ 的 Sm-Nd 同位素年代学信

息,也表明带内存在中元古代基性岩;《1:25 万苏吾什杰幅区调报告》^④中提到在绿帘透闪石岩、黝帘石岩和蚀变辉长辉绿岩中获得了 $1307\text{Ma}\pm 120\text{Ma}$ 的 Sm-Nd 等时线年龄,与郭召杰等^[25]在清水泉蚀变辉长岩和木纳达坂斜长角闪岩、角闪岩中获得的 $1449\text{Ma}\pm 270\text{Ma}$ 的 Sm-Nd 等时线年龄相近,表明也存在蓟县纪基性火山岩。刘良等^[26]在茫崖附近获得的玄武岩 Sm-Nd 等时线年龄值为 $481.3\text{Ma}\pm 53\text{Ma}$,认为玄武岩是蛇绿岩的组成部分。

笔者在柴水沟呈脉状侵入于安山岩的辉长岩中获得了 $402\text{Ma}\pm 21\text{Ma}$ 的斜锆石 TIMS 法 U-Pb 同位素年龄值,代表了志留纪末期本地区存在与裂解作用相关的基性和超基性侵入岩。资料表明,茫崖东部的柴水沟一带存在一套以玄武安山岩-安山岩为主夹少量硅质岩、砂岩的火山沉积岩系,岩石组合特征反映其可能形成于深水环境。辉长岩具有与火山岩相似的地球化学特征,具有造山后拉张环境的火山岩地球化学组成^[8]。

2 阿尔金山地区前寒武纪重要地质事件

阿尔金山地区前寒武纪地质体中的同位素测年数据显示,该区从始太古代至古生代早期表现出 5 个峰期年龄段(表 1)。

(1) $3600\sim 2500\text{Ma}$,仅见于敦煌地块中的花岗质片麻岩内,野外产状显示该类花岗片麻岩侵入于变质表壳岩系。原岩恢复研究表明太古宙表壳岩是形成在活动大陆边缘的火山-沉积岩系。 $3600\sim 2500\text{Ma}$ 是太古宙不同时期不同性质地质事件的反映,该区存在始太古代、中太古代、新太古代古老地壳和多期的岩浆活动。

(2) $2500\sim 1800\text{Ma}$,见于敦煌地块和阿尔金构造杂岩带中的基性火山岩内。可进一步分为 2 个阶段: $2500\sim 1800\text{Ma}$ 敦煌地块的太古宙基底遭受了强烈改造,并有大规模的岩浆活动; $1800\sim 1600\text{Ma}$ 为中元古代的中基性火山活动。

(3) $1000\sim 800\text{Ma}$,数据主要来自于阿尔金构造杂岩带中的花岗质片麻岩和富铝片麻岩。花岗质片麻岩的岩石化学和地球化学特征与同碰撞花岗岩相似,是新元古代大规模碰撞造山运动的反映,也是全球 Rodinia 超大陆汇聚事件在本区的具体表现。

(4) $530\sim 500\text{Ma}$,是阿尔金北缘蛇绿混杂岩带和高压变质泥质岩的形成年龄,也是阿尔金构造杂岩

带内以榴辉岩为代表的主期变质年龄。在 30Ma 左右的时间内,阿尔金地区可能经历了洋壳形成、俯冲、碰撞造山、高压变质作用的快速过程。高压变质泥质岩的白云母 $^{39}\text{Ar}-^{40}\text{Ar}$ 坪年龄为 $(453.4\pm 8.7)\text{Ma}$,碰撞作用可能持续到这个时期。

(5) 阿尔金南缘基性超基性岩带中的柴水沟辉长岩的斜锆石 TIMS 法 U-Pb 年龄为 $(402\pm 21)\text{Ma}$,代表了碰撞后的裂解事件。

3 阿尔金山地区新元古代地质事件问题

从阿尔金地区目前的资料分析,虽然没有发现有关新元古代地质事件和大地构造环境演化的完整、连续的地质记录,但是该地区已经存在的一些地质体和同位素年代学资料,使我们认为阿尔金地区新元古代地质事件极为重要,还应该在下述几方面做深入的研究工作。

(1) 榴辉岩:通过详细的路线观察和具体露头点的构造解剖,阿尔金地区的榴辉岩有近 8 处。总体岩石学特征、产状关系、围岩特征、构造线方向、退化变质等现象表明,阿尔金地区的榴辉岩可以分为 2 种类型。第一类:具有透入性片麻理,明显有退化变质现象,围岩多与大理岩、黑云变粒岩等关系密切;第二类:不具有片麻理,无退化变质现象,围岩多与片麻状花岗闪长岩关系密切。已经明确这 2 种榴辉岩具有 $(503.9\pm 5.3)\text{Ma}$ 的变质年龄,但是精确的详细的榴辉岩测年资料还应该更丰富。

(2) 高压变质泥质岩:在贝壳滩地区含硬绿泥石白云母糜棱岩中,刘良等^[23]已经获得白云母 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 年龄 $(572.58\pm 5.52)\text{Ma}$ 和 $(574.68\pm 2.5)\text{Ma}$,显然比榴辉岩的变质年龄大 70Ma ,而且高压变质泥质岩的白云母 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 年龄应该是高压变质作用的上限年龄,并非峰期高压变质作用的年龄。因此,按照一个造山旋回为 50Ma 左右的时间计算,阿尔金地区应该存在 2 期高压变质作用,高压变质泥质岩的变质年龄至少大于 572Ma 。

(3) 花岗岩:弱片麻状含石榴子石花岗岩在平面形态上为圆形的岩基,其侵入边界截断了含有榴辉岩、孔兹岩系和基性、超基性岩块的英云闪长质-花岗闪长质片麻岩。因此弱片麻状含石榴子石花岗岩的侵位时间晚于榴辉岩高压变质作用和英云闪长质-花岗闪长质岩石侵位变形的时间。这种弱片麻状含石榴子石花岗岩也发育北东方向的透入性片麻

理(淡水泉地区),其中也夹有榴辉岩透镜体(巴什瓦克石棉矿地区),因此这种类型的花岗岩是前一期以榴辉岩高压变质作用为代表的造山作用晚期侵位的,但是又受到后一期造山作用的改造,使其内不仅发育透入性片麻理,而且榴辉岩岩块以构造透镜体的形式卷入其中。从这种类型花岗岩的产状、成分、变形特征,以及所含榴辉岩、孔兹岩系、基性超基性岩块的特征综合分析,阿尔金地区存在新元古代时期的榴辉岩是非常可能的。

(4)基性岩墙群:在敦煌地块南部的敦煌—安南坝—拉配泉地区,作为太古宙敦煌地块的组成部分,在阿克塔什塔格杂岩中发育了2期辉绿岩墙群。早期辉绿岩墙群规模大、范围广,总体呈北东走向。在局部地区,100m 长的剖面范围内出露辉绿岩脉 8~10 条,每条宽为 2~3m。晚期辉绿岩墙群规模小、范围有限,总体呈东西走向,明显斜切早期辉绿岩墙群。对这 2 期辉绿岩墙群的时代未作过研究,但在产状上它们切断该地区前寒武纪变质岩系的构造线,其侵位时代有待进一步研究。

(5)塔里木运动在阿尔金地区的表现:经典的塔里木运动时代为 800Ma 左右,是塔里木地区的一次非常重要的地质事件。阿尔金地区处于塔里木地块的东南部,应该存在受塔里木运动强烈影响的记录。从另外的角度分析,塔里木运动发生的大地构造背景也应该与其南部边界地区是否存在新元古代早期的蛇绿岩带,是否存在新元古代榴辉岩、花岗岩等关系极为密切。

致谢:参加野外调查和室内研究的还有周世军、滕学建、陈博、吕惠庆、杨俊泉、李惠民、李怀坤、相振群等,在此谨致谢意。

参考文献

- [1]新疆维吾尔自治区地质矿产局.新疆维吾尔自治区区域地质志[J].北京:地质出版社,1993.
- [2]许志琴,杨经绥,张建新,等.阿尔金断裂两侧构造单元的对比及岩石圈剪切机制[J].地质学报,1999,73(3):193-205.
- [3]程裕淇,等.中国区域地质概论[M].北京:地质出版社,1984:104-105.
- [4]陆松年.青藏高原北部前寒武纪地质初探[M].北京:地质出版社,2002.
- [5]陆松年,袁桂邦.阿尔金山阿克塔什塔格早前寒武纪岩浆活动的年代学证据[J].地质学报,2003,77(1):61-68.
- [6]车自成,刘良,孙勇.阿尔金麻粒岩相杂岩的时代及塔里木盆地的基底[J].中国区域地质,1996,(1):51-57.

- [7]胡鸾琴,张国新,陈义兵,等.新疆大陆基底分区模式和主要地质事件的划分[J].新疆地质,2001,19(1):12-19.
- [8]陆松年,等.中国西部前寒武纪重大地质事件及构造演化[M].北京:地质出版社,2006.
- [9]于海峰,陆松年,刘永顺,等.阿尔金山岩群的组成及其构造意义[J].地质通报,2002,21(12):834-839.
- [10]张建新,张择明,许志琴,等.阿尔金西段孔兹岩系的发现及岩石学、同位素年代初步研究[J].中国科学(D 辑),1999,24(4):298-305.
- [11]张安达,刘良,孙勇,等.阿尔金超高压花岗质片麻岩中锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J].科学通报,2004,49(22):2335-2341.
- [12]刘良,张安达,陈丹玲,等.阿尔金江孜勒萨依榴辉岩和围岩锆石 LA-ICP-MS 微区原位定年及其地质意义[J].地学前缘,2007,14(1):98-107.
- [13]王超,刘良,车自成,等.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[J].高校地质学报,2006,12(1):74-82.
- [14]刘良,车自成,罗金海,等.阿尔金山西段榴辉岩的确定及其地质意义[J].科学通报,1996,41(16):1485-1488.
- [15]张建新,许志琴,杨经绥,等.阿尔金西段榴辉岩岩石学、地球化学和同位素年代学研究及其构造意义[J].地质学报,2001,75(2):186-197.
- [16]张建新,杨经绥,许志琴,等.阿尔金榴辉岩中超高压变质作用证据[J].科学通报,2002,47(3):231-234.
- [17]车自成,刘良,刘洪福,等.阿尔金地区高压变质岩石的发现及其产出环境[J].科学通报,1995,40(14):1298-1300.
- [18]刘良,车自成,王焰,等.阿尔金高压变质岩带的特征及其构造意义[J].岩石学报,1999,15(1):57-64.
- [19]校培喜,王永和,张汉文,等.阿尔金山中段高压-超高压带(含菱镁矿)石榴子石二辉橄榄岩的发现及其地质意义[J].西北地质,2001,(4):67-74.
- [20]王永和,校培喜,张汉文,等.苏吾什杰幅地质调查新成果及主要进展[J].地质通报,2004,23(5/6):560-563.
- [21]吴峻,李继亮,兰朝利,等.阿尔金红柳沟蛇绿岩研究进展[J].地质科学,2001,36(3):342-349.
- [22]崔军文,唐哲民,邓晋福,等.阿尔金断裂系[M].北京:地质出版社,1999:1-249.
- [23]刘良.阿尔金高压变质岩与蛇绿岩及其大地构造意义[D].北京:中国科学院地质研究所研究生论文,1999.
- [24]孙勇,刘池阳,车自成.阿尔金山拉配泉地区元古界裂谷火山岩系及其构造意义[J].地质评论,1997,43(1):17-24.
- [25]郭召杰,张志成,王建君.阿尔金山北缘蛇绿岩带的 Sm-Nd 等时线年龄及其大地构造意义[J].科学通报,1998,43(18):1981-1984.
- [26]刘良,车自成,王焰,等.阿尔金茫崖地区早古生代蛇绿岩的 Sm-Nd 等时线年龄证据[J].科学通报,1998,43(8):880-883.
- ① 天津地质矿产研究所.区域地质调查报告(1:25 万石棉矿幅).2008.
- ② 毛德宝,等.新疆阿尔金成矿带成矿规律和找矿方向综合研究报告.2003.
- ③ 广西地质调查院.区域地质调查报告(1:25 万瓦石峡幅).2003.
- ④ 西安地质矿产研究所.区域地质调查报告(1:25 万苏吾什杰幅).2003.