

阿尔金北缘枕状玄武岩的地质特征 及其锆石 U-Pb 年龄

修群业^{1,3)}, 于海峰²⁾, 刘永顺²⁾, 陆松年²⁾, 毛德宝²⁾, 李惠民²⁾, 李铨²⁾

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

3) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037

内容提要:阿尔金山北缘恰什坎萨依出露的玄武岩具枕状、气孔和杏仁状构造, 镜下多为间隐结构, 岩石化学成分特点及 REE 等微迹元素显示洋岛玄武岩特征; 其颗粒锆石 U-Pb 年龄为 448.6 ± 3.3 Ma。该区玄武岩与相伴产出的蛇纹石化橄榄岩、辉长岩及硅质岩、粉砂岩等呈断层接触关系, 它们共同组成了较标准的蛇绿岩。这为探讨阿尔金山的大地构造演化提供了新的证据。

关键词: 阿尔金; 枕状玄武岩; 蛇绿岩; 地质特征; 锆石 U-Pb 年龄

阿尔金山位于青藏高原北部边缘, 被夹持于柴达木盆地和塔里木盆地之间, 地质上以巨型的阿尔金走滑断裂带而著称。近年来, 随着红柳沟蛇绿混杂岩和阿帕-茫崖蛇绿岩带的提出和初步研究(何国琦等, 1994; 赖绍聪等, 2000; 张旗等, 2001), 陆续在阿尔金山发现了始太古宙岩石(陆松年, 2002)、榴辉岩(刘良等, 1996)、高压变泥质岩石(车自成等, 1995), 以及深海硅质岩和席状岩墙群(杨经绥等, 2002), 并把阿尔金山地区分为阿北变质地体、红柳沟—拉配泉构造混杂岩带、米兰河—金雁山地块和阿帕-茫崖构造混杂岩带(刘良等, 1999; 刘良等, 2002; 车自成等, 2002)。于海峰等据最新研究成果把阿尔金分为敦煌地块、阿尔金断裂北缘蛇绿混杂岩带、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(于海峰等, 2002, 2007)。对阿尔金断裂带本身近年已进行过许多研究工作(于海峰等, 1998; 任纪舜等, 2004; 许志琴等, 1999; Edward et al., 1999; 崔军文等, 1999; 任收麦等, 2003; 葛肖虹等, 1998; 郑剑东, 1991), 有的学者甚至认为它是我国又一条被巨型走滑断裂所切割的高压—超高压变质带(刘良等, 2002; 许志琴等, 1999)。但是对阿尔金北缘蛇绿岩组合、空间展布、地质背景等并不十分清晰, 尤其是缺乏该蛇绿岩典型地质剖

面及精确的同位素年龄(Edward et al., 1999), 因而多数地质学家接受蛇绿混杂岩带的观点。本文较系统地介绍阿尔金北缘蛇绿混杂岩带中恰什坎萨依枕状玄武岩的地质特征及其颗粒锆石 U-Pb 同位素年龄。

1 枕状玄武岩的产出特征及岩石组合

在阿尔金山北缘红柳沟席状岩墙群东部约 40km、近南北向延伸的恰什坎萨依沟、距南沟口约 3km 的西侧(图 1)出露有典型的枕状玄武岩, 相伴产有千枚状粉砂岩、灰岩、辉长岩、薄层状硅质岩、蛇纹石化超基性岩等岩石组合。

实地草测的地质剖面见图 2。剖面中的主要岩性由南向北依次为: 辉石闪长岩, 局部有绿泥、绿帘石, 具弱片理; 深灰色砂岩, 夹厚层状灰岩, 含蛇纹石化橄榄岩、辉长岩、辉绿岩组成的中基性—超基性岩构造透镜体, 具片理化, 其中蛇纹石化橄榄岩具强烈蛇纹石化、碳酸盐化; 中厚层—巨厚层状灰岩; 气孔状、杏仁状、枕状玄武岩, 夹薄层状硅质岩、灰绿色千枚状粉砂岩, 局部见碧玉岩; 板岩—千枚状粉砂岩与薄层状白云质岩互层, 含气孔、杏仁状玄武岩夹层; 变质砂岩、灰白色石英岩, 含石榴白云石英片岩; 紫红色含气孔、杏仁状玄武岩。另在剖面北部有辉长岩脉的

注: 本文为国家自然科学基金重点项目“我国古陆块对 Rodinia 全球超级大陆事件的响应”(编号 40032010)和国土资源大调查综合研究项目“中国西部前寒武纪重大地质事件群研究”(编号 200313000060)资助成果。

收稿日期: 2007-01-28; 改回日期: 2007-04-15; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 修群业, 男, 1961 年生, 副研究员、博士, 主要从事前寒武纪地质和同位素地球化学研究工作。通讯地址: 100029, 北京市朝阳区小关东里 10 号院; 电话: 010-64963044; Email: xiuqy@cags.net.cn。

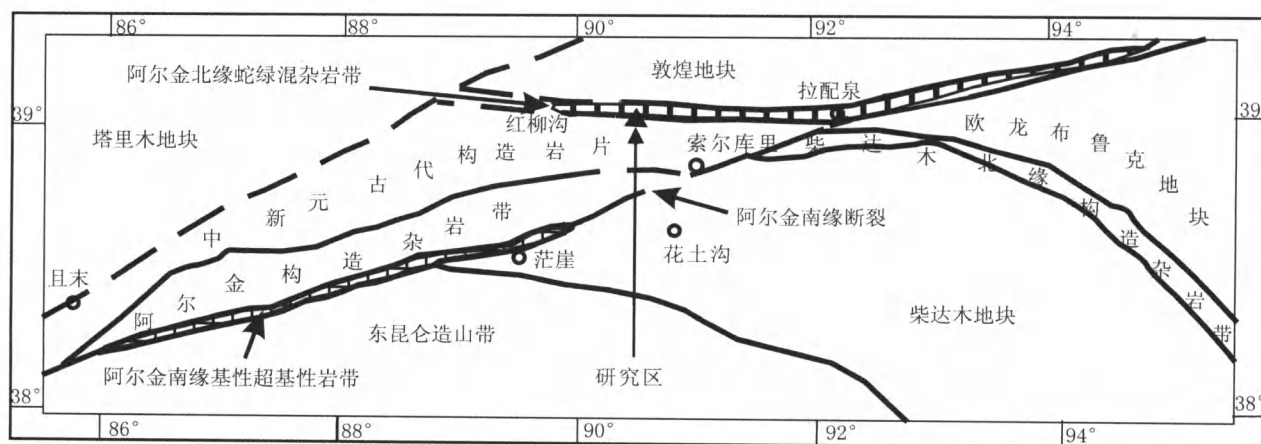


图 1 阿尔金山大地构造略图(据于海峰等,2007)

Fig. 1 Tectonic sketch map of Altyn Tagh(after Yu et al. , 2007)

穿入。该地点各类岩石普遍遭受较强烈变形,断层、褶皱发育,总体向南陡倾。局部见玄武岩与上覆硅质岩、千枚状粉砂岩为整合接触,但多数不同岩性之间呈构造接触关系,也有部分接触关系不清。按蛇绿岩的概念(张旗等,2001),蛇纹石化橄榄岩、辉长岩、辉

绿岩和枕状玄武岩为蛇绿岩岩石组合,而板岩—千枚状粉砂岩、硅质岩、砂岩和灰岩等为其上覆岩系,在本剖面中因强烈的构造作用使它们呈岩片状堆叠到一起,露头上由于构造作用破坏已无法识别岩层的顶、底面,不过据岩石组合判断剖面中、北部岩系在上,目

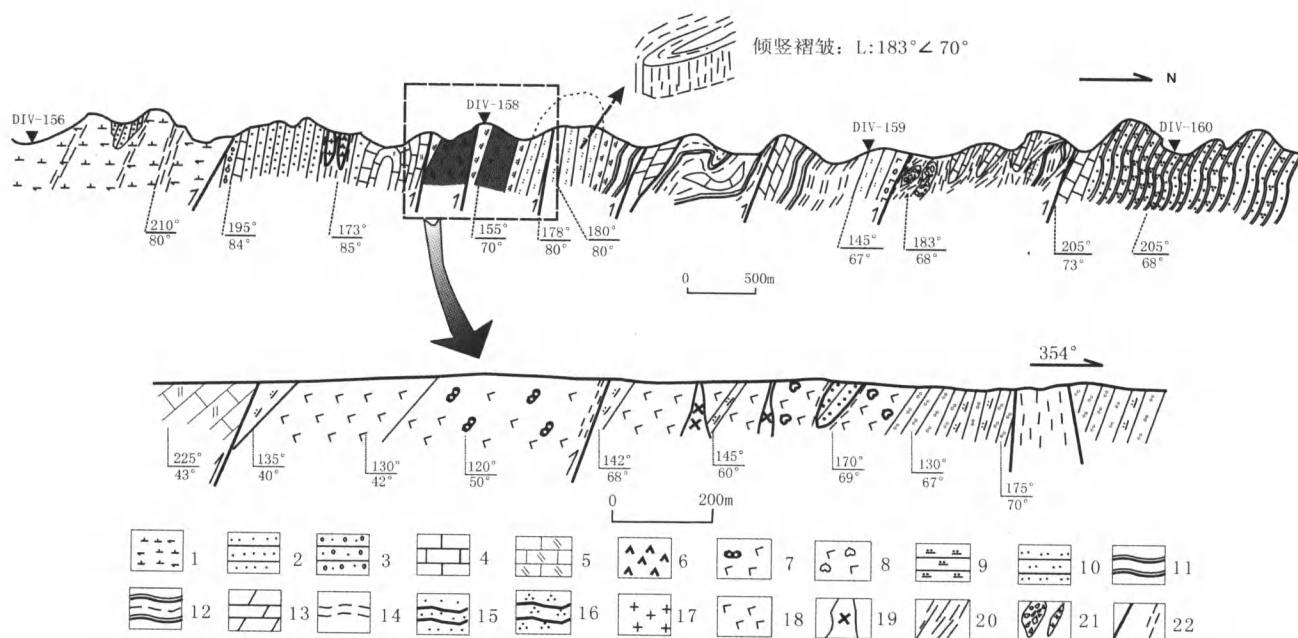


图 2 恰什坎萨依地质剖面图

Fig. 2 Qiashikansoy geological cross section

1—辉石闪长岩;2—砂岩;3—砂砾岩;4—灰岩;5—白云质灰岩;6—超基性岩;7—枕状玄武岩;8—杏仁状玄武岩;9—硅质岩;10—粉砂岩;11—板岩;12—千枚状粉砂岩—板岩;13—白云岩;14—千枚岩;15—变质砂岩;16—石英岩;17—花岗岩;18—玄武岩;19—辉长岩、辉绿岩脉;20—片理化带;21—构造透镜体;22—断层

1—Pyro-diorite; 2—sandstone; 3—pschophite; 4—limestone; 5—dolomitic limestone; 6—ultramafic rock; 7—pillow basalt; 8—basalt with almonds structure; 9—silicilites; 10—siltite; 11—slate; 12—phyllitic siltite and slate; 13—dolomite; 14—phyllite; 15—metamorphic sandstone; 16—quartzite; 17—granite; 18—basalt; 19—dikes of gabbro and diabase; 20—schistosity zone; 21—lensoid body; 22—faults

前岩石的总体产状似已倒转。

枕状玄武岩产于剖面的中南部,新鲜的枕状玄武岩为灰绿色,风化后呈深紫红色、灰黑色,具块状、杏仁状和枕状构造,多数具间隐结构(图 3),少数为粗玄结构、碎裂结构。主要成分为斜长石(55%~60%),大部分已次闪石化,其余主要为隐晶的绿泥石、绿泥石—黑云母的过渡物、绿帘石、铁质及方解石、楣石等;局部可见长石斑晶,未见明显变形变质。露头尺度,见玄武岩的枕大小一般高 20cm,长 40~60 cm 不等,它们呈群体产出(图 4),玄武岩枕的外表有厚约 2~5mm 的紫红色不对称冷凝边,局部有 3~8mm 不等的气孔和杏仁体,杏仁成分为燧石、碳酸盐。在剖面中它总体呈层状及透镜体产出,透镜体长轴走向 NEE,与区域构造线走向一致,出露的总宽度大于 600m,其与上下岩石主要为断层接触关系。

2 岩石化学成分特点

采自恰什坎萨依剖面的玄武岩、变质辉长岩和辉绿岩样品的化学成分分析结果列于表 1,需说明的是枕状玄武岩的分析数据经过了两次内检和一次外检(由核工业北京研究地质院分析中心完成),分析数据是可靠的;至于一个样品的烧失量达 10%,可能是因为次闪石化、帘石化和碳酸盐化强烈所致。由表 1 可知,它们的 SiO₂ 含量变化范围为 39.98%~50.36%;Na₂O+K₂O 的含量变化于 0.23%~5.49%,且 Na₂O 的含量明显大于 K₂O;氧化钾的含量一般<1%;MgO 的含量变化于 4.44%~7.8%;3 个玄武岩样品的 TiO₂ 含量平均 1.62%,接近洋脊玄武岩的平均值 1.5%(Bevins et al., 1984);大多数样品氧化亚铁含量高于氧化铁,说明玄武岩喷出时应为较还原的环境;而刘良(刘良, 1999)的三个数据,无论是氧化亚铁与氧化铁的相对含量,还是 TiO₂ 含量的百分含量都与作者的分析数值有差异,如

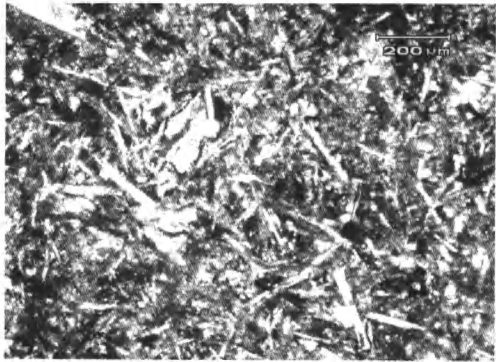


图 3 枕状玄武岩间隐结构
Fig.3 Tholeiitic texture of the pillow basalt at Qiashikansoy
白色晶体格架为斜长石(单偏光)
White crystals are plagioclase



图 4 恰什坎萨依枕状产出的玄武岩
Fig.4 Outcrop photo showing the pillow structures of the basalt

果 Fe₂O₃ 的含量明显大于 FeO,则极可能是强氧化环境,似不应是水下喷出的产物,估计为岩石蚀变或地幔物质本身的不均一性(Hoffman al., 1982)所致。总体而言,岩石属亚碱系列的正常玄武岩类,在有关图解上投点,落入玄武岩和玄武质粗面安山岩区。

岩石的稀土元素 ΣREE 变化于 56.8~140 μg/g,

表 1 基性岩化学成分分析结果(%)

Table 1 Chemical components (%) of the basic rocks

样号	岩性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O	CO ₂	总量
IV-335	枕状玄武岩	39.98	1.66	15.49	3.26	7.00	0.13	4.44	11.34	4.34	1.15	0.42	4.1	6.19	99.50
IV-340	枕状玄武岩	41.58	1.61	16.61	4.74	7.41	0.14	5.1	10.94	3.36	0.62	0.24	2.2	5.02	99.57
IV-345	枕状玄武岩	45.31	1.6	12.87	3.71	8.92	0.19	7.8	14.14	0.19	0.04	0.11	0.26	4.17	99.31
99A161*	粗面玄武岩	49.13	3.72	12.16	7.92	3.78	0.15	6.41	9.11	4.39	0.49	0.47	1.18	0.69 ^a	99.60
99A162*	苦橄玄武岩	44.05	3.57	12.84	3.53	9.07	0.20	6.77	11.18	2.20	1.01	0.45	3.51	1.22 ^a	99.60
99A172*	粗面玄武岩	50.36	4.17	11.71	6.20	4.93	0.11	5.57	8.68	5.18	0.32	0.57	1.39	0.54 ^a	99.73
B2032-3	变质辉长岩	48.77	1.31	13.85	4.26	9.09	0.29	7.11	9.66	1.21	0.37	0.09	—	0.85	96.86
B2033-1	辉绿岩	50.09	2.2	13.2	4.47	9.54	0.2	4.58	8.96	2.41	0.41	0.33	—	0.22	96.61

注:天津地质矿产研究所化验室人工化学分析; * 数据及岩石名称引自刘良(1999);a—烧失量

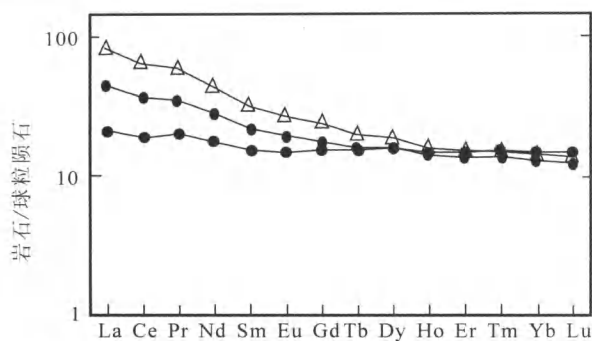


图 5 玄武岩的 REE 分配型式

Fig. 5 REE patterns of the basalt

图谱为近似平坦、略向右倾斜的曲线(图 5), LREE 呈弱富集状, 铕基本无异常($\delta\text{Eu}=0.94$), 显示出大洋中脊和岛弧的混合特征。这些岩类微迹元素的蛛网图及 Nb-Zr-Y、Hf-Th-Nb、Th/Yb-Ta/Yb 等图解也揭示出类似的特点。但在 $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})/\text{MgO} \cdot \text{TiO}_2$ 上则靠近洋岛玄武岩区。由此图上说明它们的成岩环境是过渡和变化的, 既非典型的大洋中脊玄武岩, 也不是特征的岛弧玄武岩, 可能更接近洋岛玄武岩, 刘良(1999)将其定为洋岛玄武岩。它暗示了远洋到近洋的成岩环境, 亦或两种环境类型的岩石因构造而混杂在一起, 尚需进一步研究。但总体来看, 剖面上出露了典型的枕状玄武岩及蛇纹石化橄榄岩、辉长岩、硅质岩、碧玉岩千枚状板岩、白云岩等岩石组合, 结合其西部红柳沟发育的基性岩墙群, 该区存在蛇绿岩及其上覆岩系应当问题不大。世界上真正完整的蛇绿岩层序是极稀少的, 而且往往受到构造作用的破坏。关于蛇绿岩概念的演变及成岩环境的讨论详见后述。

3 枕状玄武岩的成岩年龄

一般认为阿尔金北缘蛇绿岩的时代属早古生代,

但因研究者在该带中所采样品位置、岩性和测试方法的不同使获得的同位素年龄差别较大。车自成等(车自成等, 2002)曾根据贝克滩洋岛玄武岩的 Sm-Nd 全岩等时线年龄 524Ma 和沉积建造、化石年代推断阿尔金北缘蛇绿混杂岩带的形成时代为晚寒武—早奥陶世, 但一直没有精确的同位素年龄来印证。郭召杰等(1998)在阿尔金北缘半鄂博辉长岩取得的 Sm-Nd 等时线年龄为 $829 \pm 60\text{Ma}$, 而刘良等(1999)认为红柳沟火山岩 $508 \pm 41\text{Ma}$ 的 Sm-Nd 等时线年龄代表了蛇绿岩的年龄, 车自成等(1995)则认为该带高压变质岩石的形成至少是 $574.7 \pm 2.5\text{Ma}$, 刘永江等(1995), 据阿尔金北缘断裂带内云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄推断南北祁连洋槽的闭合时间是 $461 \sim 445.2\text{Ma}$, 到目前为止还未见到该蛇绿岩锆石年龄的文献。为此, 作者按照颗粒锆石同位素稀释(TIMS)的采样规范修群业等(2000), 选取新鲜的枕状玄武岩(图 4 上部阴影区), 在天津地质矿产研究所同位素室用 TIMS 法进行了 U-Pb 定年。据显微镜下观察, 所测锆石颗粒均为浅紫红色透明的长柱状较自形中偏小晶体(一般 $\leq 50\mu\text{m}$, 这类特征的锆石属岩浆结晶成因(Pupin et al., 1980; 汪湘, 1998; 吴元保等, 2004), 在阴极发光电子图上有典型的岩浆振荡环带(图 6), 环带较宽应属高温结晶条件的产物(Rubatto et al., 2000); 它们无明显的核部, 但个别颗粒有生长边(图 6 右边), 而非碎屑、捕虏或变生锆石, 由于颗粒偏小无法进行 SHRIMP 测定。测试流程、数据处理及铀铅空白值等已有详细的文献介绍(修群业等, 2000; 陆松年等, 1991), 在此不赘述。

分析数据详见表 2, 谐和曲线如图 7 所示, 有一粒锆石的 U-Pb 年龄完全谐和, 其表面年龄为 $448.6 \pm 3.3\text{Ma}$, 3 个锆石测试点均靠近下交点, 拟合成的

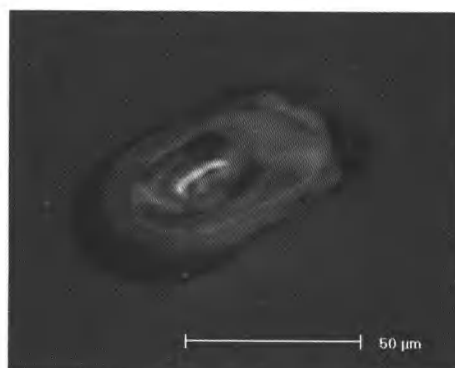
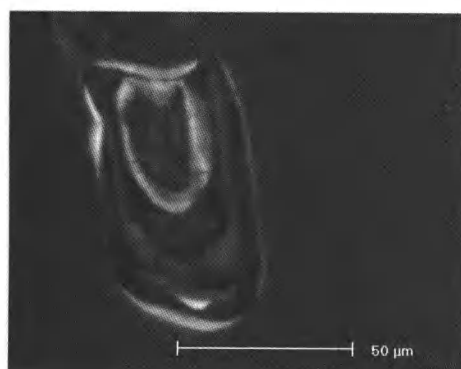


图 6 玄武岩中锆石的阴极发光电子图

Fig. 6 CL images showing the textures of zircons from the basalt

表 2 枕状玄武岩中锆石 TIMS 法 U-Pb 同位素年龄分析结果
Table 2 Analytical results of zircons from the pillow basalt

样品情况			质量分数 $w/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$		普通铅 含量 (ng)	同位素原子比率 [*]					表面年龄 (Ma)		
						$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$
点号	锆石特征	质量 (μg)	U	Pb									
1	浅紫透明长柱状晶体	40	86	8	0.041	258	0.1050	$0.07206 <53>$	$0.5496 <687>$	$0.05532 <653>$	448.6	444.8	425.2
2	浅紫透明长柱状晶体	40	74	7	0.026	348	0.04248	$0.07860 <72>$	$0.6476 <868>$	$0.05975 <753>$	487.8	507.0	594.5
3	浅紫透明长柱状晶体	40	73	10	0.074	147	0.1018	$0.09018 <63>$	$0.8146 <880>$	$0.06551 <668>$	556.6	605.1	790.9

备注 ^{*} $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 原子比率时已对实验空白(Pb 为 0.050ng,U 为 0.002ng)及稀释剂作了校正;其他比率中铅同位素均为放射成因铅同位素;括号内的数字为 2 σ 绝对误差,例如: $0.07206 <53>$ 表示 $0.07206 \pm 0.00053(2\sigma)$ 。

1 号点— $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄值: $448.6 \pm 3.3\text{Ma}$
 1~3 号点—上交点年龄值: $1461 \pm 743\text{Ma}$; 下交点年龄值: $454 \pm 73\text{Ma}$

注:本数据由天津地质矿产研究所同位素实验室李惠民研究员测试。

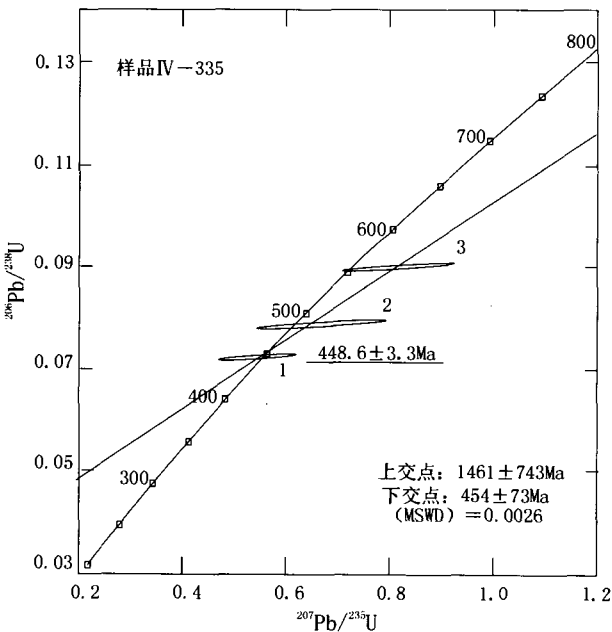


图 7 玄武岩单锆石 U-Pb 年龄谱和曲线图
Fig. 7 U-Pb Concordia diagram of zircons from the basalt

不一致线与谐和曲线的下交点年龄 $454 \pm 73\text{Ma}$,在误差范围内是一致的,可以认为 $448.6 \pm 3.3\text{Ma}$ 锆石 U-Pb 年龄应代表了枕状玄武岩的成岩年龄。如此认识正确,那么它的确属于一个早古生代奥陶纪的蛇绿岩。此数据为探讨阿尔金北缘蛇绿岩混杂带的成岩年代提供了新的证据。

4 讨论及大地构造意义简述

(1)该区的岩石组合是否为蛇绿岩。关于蛇绿岩的概念及演变,周国庆(1996)已有较为详细的讨论,至于蛇绿岩与非蛇绿岩的鉴别问题前人也进行过探讨(张旗等, 2001),有的学者还将蛇绿岩划分为五种类型(肖序常等,1992),Dilek 等(2003)最近则认为蛇绿岩的形成应包括了杂岩体及古洋 Wilson 旋回不同时期的多期岩浆、构造和变质作用,后来通过碰撞和/或增生造山作用而合并在一起,以镁铁质—超镁铁质组合及相关的沉积、变质单元为特征(Dilek et al., 2003),问题是对野外地质的研究未予以足够的重视(张旗等,1995)。

长期以来,普遍认为阿尔金北缘为一蛇绿混杂岩带,但一直未能找到标准的岩石组合,尤其红柳沟—拉配泉一带,只零星地发现有蛇纹石化橄榄岩和方辉橄榄岩等超镁铁质岩、洋脊型拉斑玄武岩、深海沉积的硅质岩与凝灰质砂岩复理石层。作者通过较系统的野外和室内研究工作,在恰什坎萨依地质剖面小于 3km 范围陆续出露有枕状玄武岩及辉长岩、超基性岩、硅质岩、碧玉岩、千枚状粉砂岩等蛇绿岩岩石组合,它应是包括上覆岩系在内、岩石类型较为齐全的蛇绿岩,表明该区古生代蛇绿岩的确存在,进一步证实了张旗等(张旗等,1995; Zhang et al., 2003)的推测。

(2)阿尔金地壳演化的启示。关于阿尔金山地的大地构造背景,由于它处在塔里木、柴达木和敦煌

三个地块的结合部位,又经历了长期、频繁的地壳活动使其地质构造演化历史非常复杂,因而不同学者对其大地构造属性尚存不同的认识。如:新疆维吾尔自治区区域地质志将阿尔金山区称阿尔金山断隆(新疆维吾尔自治区地质矿产局,1993);许志琴等(1999)则将阿尔金划分为敦煌地块、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,其西北与塔里木地块相接、东南通过柴北缘俯冲—碰撞杂岩带与柴达木地相连;车自成等(车自成等,2002)把阿尔金叫做板块结合带,由北向南划为五部分(见前述);据近期研究成果(于海峰等,1998,2002,2007),将它分作四部分(见图1)。故确切地判定阿尔金的大地构造背景是一件十分复杂的工作。

由于古生代的大地构造格局是在新元古代基础上发展而来,故中—新元古代的构造背景对本区起着决定性的作用。阿尔金南部构造杂岩带的划分和拉配泉—红柳沟以南中新远古代构造岩片的厘定,表明原划的阿尔金山群中保存有古元古代及中—新元古的物质记录,在新元古代末成为统一的超大陆。前寒武纪最终的汇聚时间大约为545Ma,以震旦纪冰碛岩类的发育和下寒武统磷块岩的分布为特征(车自成等,2002);之后便进入裂解阶段,蛇绿岩的存在标志它应为一古克拉通(西域地台)(王云山等,1987)边缘的小洋盆环境,因大部分蛇绿岩具弧岩浆地球化学特征(Bloomer et al., 1995)、海底高原(oceanic plateau)边部的蛇绿岩更易结合到大陆上(Niu, 2002),这时可能与祁连洋槽相连,裂解的时间可能持续到晚奥陶世早期。随后,进入区域性收缩阶段。本带东端阿克塞一带云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄461~445.2Ma、阔实布拉克附近中粒似斑状花岗岩体的侵入年龄443±5Ma(陈宣华等,2003)、南阿尔金变质片岩中白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 的坪年龄453.4±8.7Ma(Edward et al., 1999)、红柳沟变基性火山岩的年龄457Ma(角闪石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$)及本文的448.6±3.3Ma等一系列同位素年龄代表的应是这一地质事件,可能到早古生代末这个小洋盆才闭合,进入另一个新的地壳演化阶段。

(3) 区域构造意义。关于阿尔金山大地构造属性主要的观点有二:有些人认为它属塔里木地台的一部分(何国琦等,1994;新疆维吾尔自治区地质矿产局,1993;程裕淇主编,1994),而另一些学者则主张它属秦—祁—昆造山带(任纪舜等,1980,2004;任纪舜,2004)。由上述的岩石组合特征、早古生代蛇绿岩的存在及一系列近似同位素年龄的地质事件看,

作者更倾向后者。本文获得的448.6±3.3Ma的同位素年龄再次证明阿尔金断裂为一长期的、多旋回活动的走滑断裂(于海峰等,2007;任纪舜等,2004;许志琴等,1999;任收麦等,2003;左国朝等,1997)。

总之,恰什坎萨依枕状玄武岩成岩时代的确定与蛇绿岩套岩石组合的厘定为探讨本区的大地构造属性与阿尔金北缘断裂带的构造演化提供了新的证据。

野外地质工作中得到钟长汀博士和王杰高级工程师的帮助,青海省地质矿产局田得春师傅给予了大力协助,中国地质大学莫宣学教授和刘俊来教授提出了一些宝贵意见,在此一并致谢。

参 考 文 献

- 车自成,刘良,刘洪福,罗金海. 1995. 阿尔金山地区高压变泥质岩石的发现及其产出环境. 科学通报, 40(14):1298~1300.
- 车自成,刘良,罗金海编著. 2002. 中国及其邻区区域大地构造学. 北京:科学出版社, 207~369.
- 陈宣华, Gehrels G, 王小凤, 杨凤, 陈正乐. 2003. 阿尔金山北缘花岗岩的形成时代及其构造环境探讨. 矿物岩石地球化学通报, 22(4):294~298.
- 程裕淇. 1994. 中国区域地质概论. 北京:地质出版社, 517.
- 崔军文, 唐哲民, 邓晋福, 岳永君, 孟令顺, 余钦范, 李冀湘, 赖绍聪, 齐立, 郭耕成, 卢德源, 朱红. 1999. 阿尔金断裂系. 北京:地质出版社, 137~249.
- 葛肖虹, 张梅生, 刘永江, 等. 1998. 阿尔金断裂研究的科学问题与研究思路. 现代地质, 12(3):295~301.
- 郭召杰, 张志诚, 王建群. 1998. 阿尔金北缘蛇绿岩带的Sm-Nd等时线年龄及其地质意义. 科学通报, 43:1981~1984.
- 何国琦, 李茂松, 刘德权, 等. 1994. 中国新疆古生代地壳演化及成矿. 乌鲁木齐:新疆人民出版社, 437.
- 赖绍聪, 邓晋福, 赵海玲. 2000. 青藏高原北缘火山作用与构造演化. 西安:陕西科学技术出版社, 74~96.
- 刘永江, 葛肖虹, Genser J, Neubauer F, Friedl G, 常丽华, Handler R. 2003. 阿尔金断裂带构造活动的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄证据. 科学通报, 48(12):1335~1341.
- 陆松年, 李惠民. 1991. 蓟县长城系大红峪组火山岩的单颗粒锆石U-Pb法准确定年. 中国地质科学院院报, 第22号, 137~146.
- 陆松年主编. 2002. 青藏高原北部前寒武纪地质初探. 北京:地质出版社, 1~125.
- 张旗, 周国庆. 2001. 中国蛇绿岩. 北京:科学出版社, 182页.
- 杨经绥, 吴才来, 史仁灯. 2002. 阿尔金山米兰红柳沟的席状岩墙群:海底扩张的重要证据. 地质通报, 21(2):69~74.
- 刘良, 车自成, 王焰等. 1996. 阿尔金山西段榴辉岩的确定及其地质意义. 科学通报, 41(14):1485~1488.
- 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.
- 刘良. 1999. 阿尔金高压变质岩与蛇绿岩及其大地构造意义. 中国科学院地质与地球物理研究所博士论文, 1~70.
- 刘良, 孙勇, 肖培喜, 车自成, 罗金海, 陈丹玲, 王焰, 张安达, 陈亮, 王永和. 2002. 阿尔金发现超高压(>3.8GPa)石榴二辉橄榄岩. 科学通报, 47(9):657~662.
- 任纪舜, 姜春发, 张正坤, 秦德余. 1980. 中国大地构造及其演化. 北京:科学出版社, 24~124.

- 任纪舜. 2004. 昆仑—秦岭造山系的几个问题. 西北地质, 37(1): 1~5.
- 任纪舜, 肖黎薇. 2004. 1:25 万地质填图进一步揭开了青藏高原大地构造的神秘面纱. 地质通报, 23(1): 1~11.
- 任收麦, 葛肖虹, 刘永江. 2003. 阿尔金断裂带研究. 地球科学进展, 18(3): 386~391.
- 汪湘. 1998. 锆石形态的定量描述及其动力学分析. 中国科学(D 辑), 28(3): 232~238.
- 王云山, 陈基娘. 1987. 青海省及毗邻地区变质带与变质作用. 中华人民共和国地质矿产部地质专报第 6 号. 北京: 地质出版社, 4~227.
- 吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约. 科学通报, 49(16): 1589~1604.
- 肖序常, 汤耀庆, 冯益民, 朱宝清, 李锦轶, 赵民. 1992. 新疆北部及其邻区大地构造. 地质出版社, 12~124.
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 841.
- 修群业, 殷艳杰. 2000. 单颗粒锆石年龄样品的采集及矿物分选. 前寒武纪研究进展, 23(2): 168~175.
- 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机制. 地质学报, 73(3): 193~205.
- 于海峰, 陆松年, 赵凤清, 李怀坤, 郑健康. 1998. 古阿尔金断裂的岩石构造依据及意义. 前寒武纪研究进展, 21(4): 10~14.
- 于海峰, 陆松年, 刘永顺, 修群业, 李铨. 2002. 阿尔金岩群组成及其构造意义. 地质通报, 21(12): 834~840.
- 于海峰, 刘永顺, 修群业, 李铨. 2007. 阿尔金山地区前寒武纪重大地质事件框架. 地质通报(待刊).
- 郑剑东. 1991. 阿尔金大地构造及其演化. 现代地质, 5(4): 347~354.
- 周国庆. 1996. 蛇绿岩的概念及其演变. 见: 张旗主编. 蛇绿岩与地球动力学研究. 北京: 地质出版社, 15~20.
- 张建新. 1998. 阿尔金构造带西段加里东期山根的初步研究. 中国地质科学院博士论文.
- 张旗, 肖序常. 1995. 中国蛇绿岩研究概述. 岩石学报, 11(增刊): 1~9.
- 左国朝, 吴汉泉. 1997. 北祁连中段早古生代双向俯冲—碰撞造山模式剖析. 地球科学进展, 12: 366~393.
- Bevins R E, Kokelaar B P, Dunkley P N. 1984. Petrology and geochemistry of lower to middle Ordovician igneous rocks in Wales; a volcanic arc to marginal basin transition. Proc. Geol. Ass., 95: 337~347.
- Bloomer S H, B Taylor, C J MacLeod, R J Stern, P Fryer, J W Hawkins, L Johnson. 1995. Early arc volcanism and the ophiolite problem: A perspective from drilling in the western Pacific, in active margins and marginal basins of the western Pacific, edited by Taylor B, and J H Natland, Geophys. Monogr., 88, 1~30.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region. 1993. Regional geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Beijing: Geological Publishing House, 841(in Chinese with English abstract).
- Che Zicheng, Liu L, Liu H F. 1995. Discovery and occurrence of high-pressure metapelitic rock in Altun mountain area, Xinjiang Autonomous Region. Chinese Science Bulletin, 40(14): 1298~1300(in Chinese with English abstract).
- Cheng Yuqi. 1994. Conspectus of Chinese Regional Geology. Beijing: Geological Publishing House, 517(in Chinese).
- Cui Junwen, Tan Z M, Deng J F, et al. 1999. Altun Fault System. Beijing: Geological Publishing House, 137~249(in Chinese with English abstract).
- Dilek Y, Robinson P T. 2003. Ophiolites in earth history. London: published by the Geological Society special publication, No. 218, 1~18.
- Edward R Sobel, Nicolas Arnaud. 1999. A possible middle Paleozoic suture in the Altyn Tagh, NW China. Tectonics, 18(1): 64~74.
- Ge Xiaohong, Zhang M S, Liu Y J, et al. 1998. Scientific problems and thought for research of the Altun fault. Geoscience, 12(3): 295~301(in Chinese with English abstract).
- Guo Zhaojie, Zhang Z C, Wang J Q. 1998. Sm-Nd isochron age of the ophiolite belt at the margin of the Altyn Tagh mountains and its tectonic signification. Chinese Science Bulletin, 43(18): 1981~1984(in Chinese with English abstract).
- Hoffman A W, White W M. 1982. Mantle plumes from ancient oceanic crust. Earth Planet. Sci. Lett., 57, 421~436.
- Liu Liang, Che Z C, Luo J H, et al. 1996. Recognition and implication of eclogite in the western Altun mountain, Xinjiang. Chinese Science Bulletin, 41(14): 1485~1488(in Chinese with English abstract).
- Liu Liang, Che Z C, Wang Y, et al. 1999. The petrological characters and geotectonic setting of high-pressure metamorphic rock belts in Altun mountains. Acta Petrologica Sinica, 15(1): 57~64(in Chinese with English abstract).
- Liu Liang. 1999. High pressure metamorphic rocks and ophiolite in Altun, and its tectonic significance. The dissertation of PhD degree, Institute of Geology and Geophysics, CAS. 1~70(in Chinese with English abstract).
- Liu Liang, Sun Y, Xiao P X, et al. 2002. Discovery of Ultrahigh pressure garnet pyroxene peridotite in Altyn Tagh. Chinese Science Bulletin, 47(9): 657~662(in Chinese).
- Liu Yongjiang, Guo X H, Genser J, et al. 2003. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age of tectonic activation of Altun fault. Chinese Science Bulletin, 48(12): 1335~1341(in Chinese with English abstract).
- Lu Songnian, Li Huimin. 1991. A precise U-Pb single zircon age determination for the volcanics of Dahongyu Formation, Changcheng System in Jixian. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 22: 137~146(in Chinese with English abstract).
- Lu Songnian. 2002. Preliminary study of Precambrian geology in the North Tibet-Qinghai Plateau. Beijing: Geological Publishing House, 1~125(in Chinese with English abstract).
- Pupin J P, et al. 1980. Zircon and granite petrology. Contributions to Mineralogy and Petrology, 73(3): 207~220.
- Ren Jishun, Xiao Liwei. 2004. Lifting the mysterious veil of the tectonics of the Qinghai-Tibet Plateau by 1:250000 geological mapping. Geological Bulletin of China, 23(1): 1~11(in Chinese with English abstract).
- Ren Jishun. 2004. Some problems on the Kunlun-Qinling orogenic system. North Western Geology, 37(1): 1~5(in Chinese with English abstract).
- Ren Shoumai, Guo X H, Liu Y J. 2003. Progress in Altyn fault belts research. Advance in Earth Sciences, 18(3): 386~391(in Chinese with English abstract).
- Rubatto D, Gebauer D. 2000. Use of cathodoluminescence for U-Pb zircon dating by ION Microprobe: Some examples from the

- western Alps. Cathodoluminescence in Geoscience, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany. 373~400.
- Wang Xiang. 1998. Quantitative description of zircon shape and its dynamic analysis. *Science in China Series D*, 28(3):232~238 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yunshan, Chen J N. 1987. Metamorphic zone and metamorphism in Qinghai and adjacent area. *Geological Special Bulletin*(6), Ministry of Geology and Mineral resources, P R China. Beijing: Geological Publishing House, 4~227 (in Chinese with English abstract).
- Wu Yuanbao, Zheng Y F. 2004. Study on the genetic mineralogy of zircon and its constraint on the explanation on zircon U-Pb age. *Chinese Science Bulletin*, 49(16):1589~1604 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Xuchang, Tang Y Q, Feng Y M, et al. 1992. Tectonics in northern Xijing and adjacent area. Beijing: Geological Publishing House, 12~124 (in Chinese with English abstract).
- Xiu Qunye, Yin Yanjie, Li Huimin. 2000. Sampling and mineral sorting for single zircon U-Pb dating. *Progress in Precambrian Research*, 23(2):168~175 (in Chinese with English abstract).
- Xu Zhiqin, Yang J S, Zhang J X, et al. 1999. A comparison between the tectonic unites on the two sides of the Altun sinistral strike-slip fault and the mechanism of lithospheric shearing. *Acta Geologica Sinica*, 73(3): 193~205 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jingsui, Wu C L, Shi R D. 2002. Sheeted dike swarm in Hongliugou, northwest of the Altun region: Evidence for seafloor spreading. *Geological Bulletin of China*, 21(2):69~74 (in Chinese with English abstract).
- Yaoling Niu. 2002. The origin of subduction zones: A new perspective and implications for the global tectonics. In: symposium on igneous rocks tectonics and mineralization at Tianjin institute of geology and mineral resources.
- Yu Haifeng, Lu S N, Zhao F Q, et al. 1998. Litho-structural evidences of ancient Altyn Tagh and its significance. *Progress in Precambrian Research*, 21(4):10~14 (in Chinese with English abstract).
- Yu Haifeng, Lu S N, Liu Y S, et al. 2002. Composing of the Altyn Tagh formation-complex and its tectonic signification. *Geological Bulletin of China*, 21(12):834~840 (in Chinese with English abstract).
- Yu Haifeng, Liu Y S, Xiu Q Y et al. 2007. Frame of Precambrian key geological events in Altun mountains. *Geological Bulletin of China* (in press).
- Zhang Jianxin. 1998. Study on Caledonian orogenic root in western Altun orogeny. The dissertation of PhD degree, Chinese Academy of Geological Sciences (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi, Xiao X C. 1995. A comment on study of ophiolites in China. *Acta Petrologica Sinica*, 11(Supp.): 1~9 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Q, Wang Y, Zhou G Q, Qian Q, Paul T R. 2003. Ophiolite in China: their distribution, ages and tectonic settings. In: Dilek Y, Robinson P T eds *Ophiolite in earth history*. London: published by the Geological society. Special publication, No. 218, 541~566.
- Zheng Jiandong. 1991. Tectonics and evolution of Altyn Tagh orogeny. *Geoscience*, 5(4):347~354 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Guoqing. 1996. The concept of ophiolite and evolution. In: Zhang Q, Ed. *Ophiolite and Earth dynamics*. Beijing: Geological Publishing House, 15~20 (in Chinese).

Geology and Zircon U-Pb Age of Pillow Basalt at Qiashikansoy in Northern Altun Tagh, W China

XIU Qunye^{1, 3)}, YU Haifeng²⁾, LIU Yongshun²⁾,
LU Songnian²⁾, MAO Debao²⁾, LI Huimin²⁾, LI Quan²⁾

1) Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing, 100029

2) Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Geological Survey, Tianjin, 300170

3) Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037

Abstract

Basalt at Qiashikansoy on the northern margin of Altun Tagh, western China, occurred in pillow, gas holes and almonds structures, and usually had ophitic interstitial texture under microscope. It might be formed in an oceanic island environment, as shown by the features of petrochemical components, REE patterns and other trace elements of the basalt. Because the grains from the basalt are too small to be analyzed by SHRIMP, they can only be dated by the TIMS method. The zircon U-Pb age of 448.6 ± 3.3 Ma may represent a compression setting of the Altun fault. The basalt, serpentinized peridotite, gabbro, silica rocks and silt rocks were separated by faults. These rocks appeared as slabs in cross section, and they constitute a substandard ophiolite. Both the geology and geochemistry and the age of zircon U-Pb dating of the ophiolite provided new evidence for the research of the tectonic evolution of Altun Tagh.

Key words: Altun Tagh; pillow basalt; ophiolite; zircon U-Pb age