

西昆仑叶城南部麻扎地区弧火成岩的特征及其锆石SHRIMP U-Pb测年

李博秦^{1,2}, 姚建新¹, 计文化³, 张俊良², 尹宗义², 陈高潮²,

蔺新望², 张清胜², 孔文年², 王峰², 刘曦鹏²

LI Bo-qin^{1,2}, YAO Jian-xin¹, JI Wen-hua³, ZHANG Jun-liang²,

YIN Zong-yi², CHEN Gao-chao², LIN Xin-wang²,

ZHANG Qing-sheng², KONG Wen-nian², WANG Feng², LIU Xi-peng²

1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037;

2. 陕西省地质调查院, 陕西 咸阳 712000;

3. 中国地质调查局西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054

1. *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;*

2. *Shaanxi Institute of Geological Survey, Xianyang 712000, Shaanxi, China;*

3. *Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China*

摘要:麻扎地区弧火成岩是1:25万麻扎幅区域地质调查过程中发现并厘定的,位于麻扎构造混杂岩带之中,包含着古洋壳消减过程中的一些重要信息。弧火成岩主要由中酸性侵入岩和火山岩组成,具岛弧性质的岩石组合和岩石地球化学特征。对弧火成岩中的角闪石英闪长岩进行锆石SHRIMP U-Pb测年,结果为338 Ma±10 Ma,时代为早石炭世。麻扎地区弧火成岩的发现,不但证明了在晚古生代出现过麻扎-康西瓦洋(古特提斯),而且说明该洋在石炭纪已经开始俯冲-消减。

关键词:西昆仑麻扎地区;弧火成岩;地质特征;锆石SHRIMP U-Pb测年;早石炭世

中图分类号:P588.1:P597+.3

文献标识码:A

文章编号:1671-2552(2006)01~02-0124-09

LI B Q, Yao J X, Ji W H, Zhang J L, Yin Z Y, Chen G C, Lin X W, Zhang Q S, Kong W N, Wang F, Liu X P. Characteristics and zircon SHRIMP U-Pb ages of the arc magmatic rocks in Mazar, southern Yecheng, West Kunlun Mountains. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(1-2):124-132

Abstract: Arc magmatic rocks in the Mazar area was discovered and defined during the 1:250000 regional geological survey of the Mazar Sheet. The arc magmatic rocks in the Mazar tectonic mélange zone contain some important information of the consumption process of old oceanic crust. The arc magmatic rocks are dominantly composed of intermediate-acid intrusive rocks and volcanic rocks and have island arc rock associations and geochemical affinities. Zircon SHRIMP U-Pb dating of hornblende-quartz diorite in the arc magmatic rocks yielded an age of 338±10Ma, indicating an Early Carboniferous age. The discovery of the arc magmatic rocks in the Mazar area has not only supported the idea of the appearance of the Mazar-Kangxiwar ocean (Paleo-Tethys) in the Late Paleozoic, but also suggested that this ocean had begun subduction and consumption by the Carboniferous.

Key words: Mazar, West Kunlun; arc magmatic rocks; geological characteristics; zircon SHRIMP U-Pb dating; Early Carboniferous

收稿日期:2005-11-04;修订日期:2005-11-09

地调项目:中国地质调查局项目《1:25万麻扎幅区域地质调查》成果。

作者简介:李博秦(1966-),男,高级工程师,在读博士,从事区域地质调查工作。E-mail:lbq663@126.com

西昆仑麻扎—康西瓦一带在晚古生代时期是否存在过特提斯洋,目前还存在着争议。由于在麻扎、康西瓦带没有发现代表洋壳残片的蛇绿岩,丁道桂等^①、王元龙等^②认为麻扎—康西瓦构造带是一个大型韧性剪切带;而邓万明^③、潘裕生^④、刘训^⑤、姜春发^⑥等通过对构造带两侧沉积建造、生物群面貌、古地磁资料、岩浆岩分布特征等的分析认为,沿该带出现过古特提斯洋的演化,并且该带是一条缝合带。陕西省地质调查院在进行1:25万伯力克幅区域地质调查时,将麻扎—康西瓦构造带与苏巴什蛇绿岩相连,从而确信这一带古特提斯洋的存在^⑦。本文笔者在麻扎东新藏公路273 km处发现的弧火成岩,至少可以说明沿该带出现过古特提斯洋。

关于古特提斯洋的演化时限,潘裕生^④根据沉积环境与综合分析,认为康西瓦缝合带所代表的盆地可能开始于奥陶纪(或更早),当时它是原特提斯的弧后盆地^⑧,但是早古生代时期并没有出现真正的洋壳,属地形比较复杂的半深水盆地。晚古生代以来继续在弧后半深水盆地的基础上进一步破裂、扩张,于石炭纪、二叠纪时期出现真正的大洋地壳。二叠纪末洋脊已停止扩张,即三叠纪以来不再产生新生的海洋地壳。刘训^⑤认为古特提斯洋闭合的时间为晚二叠世至三叠纪,形成了以康西瓦断裂为代表的地壳结合带;姜春发^⑥认为晚二叠世—中三叠世开裂成康西瓦洋(古特提斯),三叠纪末闭合。笔者在麻扎东新藏公路273 km处与康西瓦缝合带有关的弧火山岩中采样进行锆石SHRIMP U—Pb测年,得到338 Ma±10 Ma的结果,将古特提斯洋俯冲消减的时间提前到早石炭世。

1 地质背景和弧火成岩的岩石类型、组合

研究区位于西昆仑和喀喇昆仑中段,西邻帕米尔山结,北侧为秦祁昆造山系,南侧为巴颜喀拉北羌塘三江造山系,麻扎—康西瓦—苏巴什—木孜塔格多重结合带为亲塔里木陆块群与亲扬子陆块群的分界线,也是秦祁昆中央造山系与巴颜喀拉—北羌塘—三江造山系的分界线,包含了从早古生代到三叠纪不同时期的洋、陆演化历史^⑨。

弧火成岩在构造带内由大小不等、形态各异、组成不同的5个岩块构成,其间均为断层接触,呈眼球形透镜体状,长50 km,宽1.5~12.5 km,面积约280 km²(图1)。总体走向近东西向。北侧与侏罗系地层、南侧与志留系地层均为断层接触。其上被三叠系赛力亚克达坂组砂岩、砂砾岩不整合覆盖。麻扎构造混杂岩向东与康西瓦构造带^⑩、苏巴什构造带^⑪相连^⑫。麻扎地区弧火成岩及与弧相关的沉积建造是麻扎构造混杂岩的重要组成部分。

弧火成岩主要由侵入岩和火山岩组成。侵入岩从基性到酸性岩包括辉绿玢岩、蚀变辉绿岩、石英辉长岩、蚀变中粒角闪闪长岩、蚀变细粒闪长岩、石英闪长岩、英云闪长玢岩、石英闪长玢岩、蚀变英云闪长岩、二长花岗岩、细粒花岗岩等;

火山岩包括蚀变安山岩、石英安山岩、蚀变凝灰质安山岩、英安岩及火山碎屑岩、安山质岩屑凝灰岩、粗面流纹质玻屑凝灰岩、流纹质含砾岩屑晶屑凝灰岩等。

图2为新藏公路273 km处北侧沟内混杂岩带剖面,剖面主体为弧火山岩。从剖面地质、岩石组合特征等分析,弧火山岩呈大有序而小无序。大有序即:就整个杂岩而言,下部为二长花岗岩、英云闪长岩夹强蚀变辉绿岩、辉绿玢岩,上部为粗面流纹质凝灰岩夹薄层硅质岩、粗面流纹质玻屑凝灰岩、流纹质含砾岩屑晶屑凝灰岩、火山角砾岩、砂砾岩,表现出有序组合,剖面从南到北为正常层序;小无序即:弧杂岩主体为酸性、中基性岩体,其间均为断层接触,混杂堆积,表现出无序性。据少有的侵入关系观察,英云闪长岩、花岗岩脉、二长花岗岩稍晚。杂岩弧底部韧性变形强烈,形成糜棱岩带,带内伴有明显的铜、铅、锌矿化。酸性杂岩体边部有构造热液型铜矿化。现将剖面层序叙述如下。

赛力亚克达坂群(Ts^s):厚层状砾岩、砂砾岩

————— 角度不整合 —————

- | | |
|-----------------------------|-------|
| 15. 蚀变凝灰质安山岩、火山角砾岩、粗面流纹质凝灰岩 | 140 m |
| 14. 火山角砾岩 | 110 m |
| 13. 蚀变辉绿玢岩 | 260 m |
| 12. 绿泥石化石英辉绿岩 | 100 m |
| 11. 中粒英云闪长岩 | 170 m |
| 10. 石英辉长岩 | 30 m |
| 9. 碎裂岩化辉绿岩 | 70 m |
| 8. 细粒花岗岩 | 2 m |
| 7. 强蚀变辉绿岩 | 220 m |
| 6. 灰绿色辉绿岩 | 160 m |
| 5. 细粒闪长岩 | 14 m |
| 4. 二长花岗岩 | 6 m |
| 3. 细粒闪长岩 | 24 m |
| 2. 中粒角闪闪长岩 | 400 m |
| 1. 中粒二长花岗岩 | 100 m |

————— 断层 —————

温泉沟群(S₁W^d):含钙粉砂质板岩

2 弧火成岩的地球化学特征

2.1 岩石地球化学特征

岩石化学特征见表1。弧火成岩的岩石组合从中性到酸性都有出露,岩石中SiO₂(46.57%~73.8%)、Al₂O₃(12.13%~19.95%)、CaO(0.94%~7.22%)、FeO(0.68%~6.41%)、Fe₂O₃(0.61%~6.52%)、K₂O(0.15%~4.04%)、Na₂O(1.75%~6.03%)等含量变化范围较大。总体而言,含较高的Al₂O₃,较低的MgO、Fe₂O₃、FeO、TiO₂及K₂O、Na₂O。

虽然有些样品发生了蚀变,然而镜下显示蚀变主要为长

① 陕西省地质调查院.1:25万伯力克幅区域地质调查报告.2003.

② 陕西省地质调查院.1:25万麻扎幅区域地质调查报告.2005.

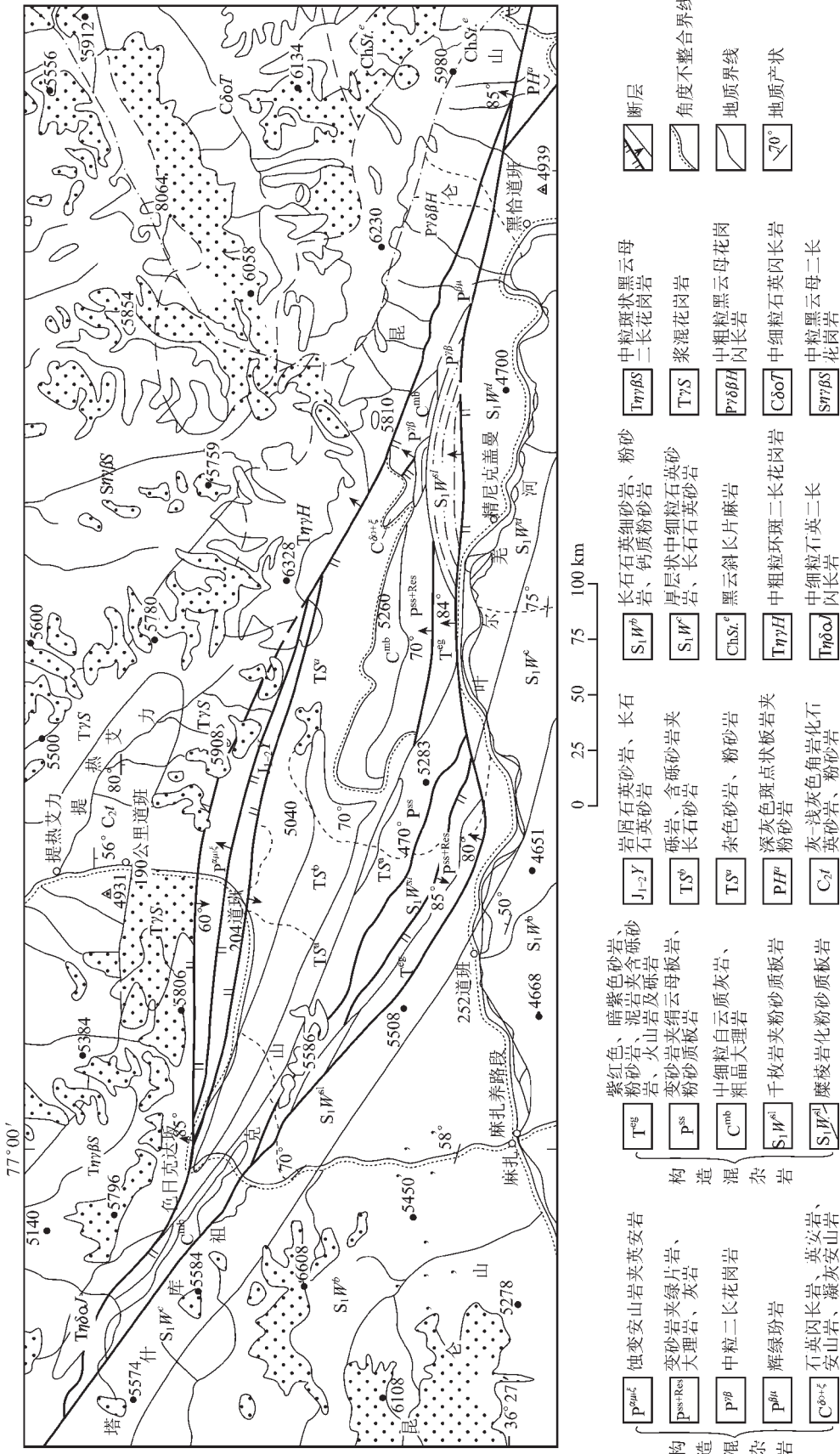


图1 西昆仑麻扎地区地质简图
Fig.1 Geological sketch map of the Mazar area, West Kunlun

- | | | | | | | | | | |
|---------------------------|---------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|--------------|----------------|--|
| P^{anc} | 蚀变安山岩夹英安岩 | T^{nc} | 紫红色、暗紫色砂岩、粉砂岩、泥岩夹砾砂岩、火山岩及砾岩 | S^Wo | 长石英砂岩、长石岩、钙质粉砂岩 | T^{mBS} | 中粒斑状黑云母二长花岗岩 | 断层 | |
| P^{ss+Res} | 变砂岩夹绿片岩、大理岩、灰岩 | P^{ss} | 变砂岩夹绢云母板岩、粉砂质板岩 | S^Wc | 砾岩、含砾砂岩、长石砂岩 | T^{mS} | 杂泥花岗岩 | 角度不整合界线 | |
| P^{fb} | 中粒二长花岗岩 | C^{mb} | 中细粒白云灰质、粗晶大理岩 | TS^s | 杂色砂岩、粉砂岩 | P^{76BH} | 中粗粒黑云母花岗岩 | 地质界线 | |
| P^{bl} | 辉绿玢岩 | S^Wpl | 千枚岩夹粉砂质板岩 | P^{fr} | 深灰色斑点状板岩夹粉砂岩 | C^{80T} | 中细粒石英英闪长岩 | 地质产状 | |
| C^{phi} | 石英闪长岩、英安岩、安山岩、凝灰安山岩 | S^Wsl | 糜棱岩化粉砂质板岩 | C^{sl} | 灰-浅灰色角闪石化石英砂岩、粉砂岩 | S^{mBS} | 中粒黑云母二长花岗岩 | | |

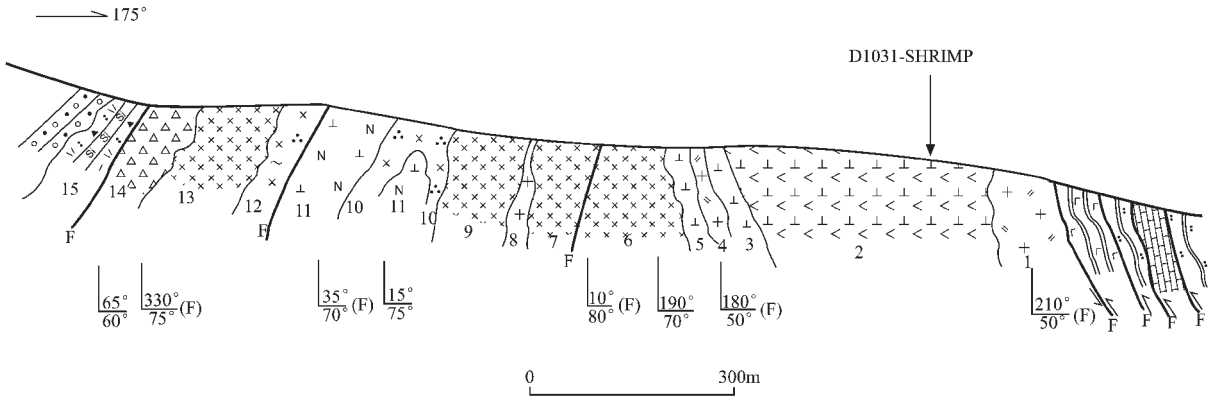


图2 新藏公路273 km处北侧沟内弧火成岩剖面

Fig.2 Section of arc magmatic rocks in a gully 273 km north of the Xinjiang-Tibet Highway

石的绢云母化和暗色矿物的绿泥石化,钾长石、斜长石、角闪石、黑云母等矿物仍保持自形一半自形晶,蚀变较强的辉绿岩中原黑云母全变为绿泥石而外形仍保留黑云母的形态,说明岩石中化学成分没有发生很大的变化。而且有一部分岩石样品没有发生蚀变,所以仍应用里特曼指数、硅-碱关系图分析岩石钙碱性,只是在分析过程中要考虑到蚀变因素。

岩石的里特曼指数(δ)大部分变化于3.3~1.8之间,为钙碱性;只有4个样品 δ 值小于1.8,为钙性;可能由于蚀变作用,强蚀变辉绿岩和蚀变角闪闪长岩的 δ 值大于3.3而小于9,为碱(碱钙)性。

据硅-碱关系图(图3)分析,除蚀变较强的角闪闪长岩外,岩石样品基本落在亚碱性系列一侧;进一步利用F-A-M图解(图4)分析,样品大部分投影在钙碱性系列范围内,个别安山岩样品投影在钙碱性系列与拉斑系列分界线上,说明岩石主体属钙碱性系列。

岩石稀土元素特征见表2,稀土元素总量变化较大,变化

范围为 $73.39 \times 10^{-6} \sim 269.2 \times 10^{-6}$ 。相对而言,中基性蚀变辉绿岩、蚀变辉绿玢岩、石英闪长岩、角闪闪长岩稀土总量较低,为 $75.2 \times 10^{-6} \sim 95.71 \times 10^{-6}$;中酸性蚀变安山岩、粗面流纹质玻屑凝灰岩、流纹质含砾岩屑晶屑凝灰岩及后期侵入的二长花岗岩稀土总量较高,为 $151.49 \times 10^{-6} \sim 269.2 \times 10^{-6}$ 。总体而言,岩石轻稀土元素明显富集,而重稀土元素相对亏损。轻重稀土元素分馏明显。

稀土元素配分曲线呈左高右低的斜线,轻稀土富集,重稀土亏损,轻稀土分馏明显,而重稀土分馏一般。除个别安山岩不显示Eu负异常外,大多数岩石具明显的Eu负异常(图5),尤其是流纹质含砾岩屑晶屑凝灰岩、晚期侵入的酸性岩体,说明岩浆在晚期分异较强。

在微量元素蛛网图(图6)中,各岩石样品表现出基本一致的曲线形态,表明它们具有相近的来源。图6反映出岩石富集大离子亲石元素Ba、Sr和Th,而亏损Rb、Nb,偏酸性的粗面流纹质玻屑凝灰岩、流纹质岩石及后期侵入的二长花

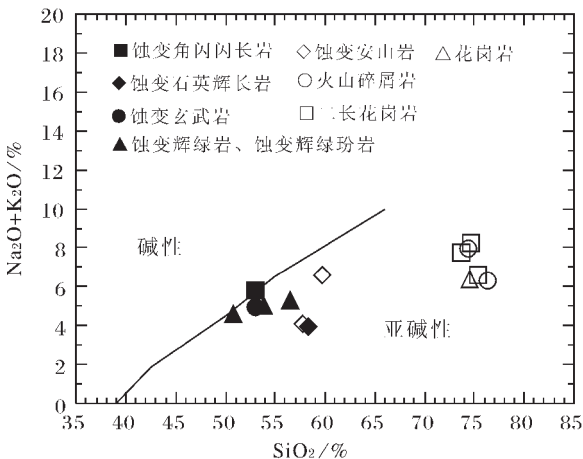


图3 弧火山岩样品硅-碱图(据欧文,1971)

Fig.3 Silica-alkali diagram for arc volcanic rocks

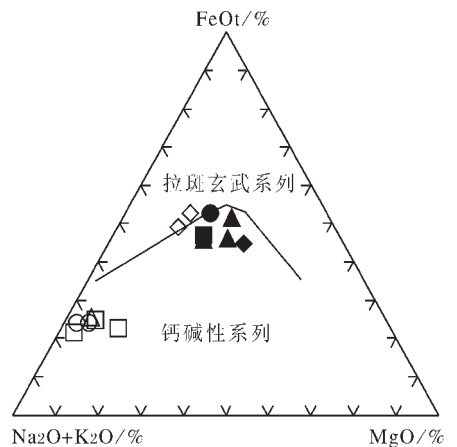


图4 弧火山岩样品F-A-M图解(图例同图3)

Fig.4 F-A-M discrimination diagram for arc volcanic rocks

岗岩亏损大离子亲石元素Sr。

2.2 环境分析

从岩石组合特征上观察,火成岩以安山岩、石英闪长玢岩、闪长岩等中性系列岩石为主,酸性火山碎屑岩、二长花岗岩为辅,有少量偏基性辉绿岩、辉绿玢岩。岩石化学特征表现为钙碱性系列,岩石具有相似的稀土元素配分曲线,轻稀土富集,轻稀土分馏明显,具Eu负异常。这表明该火成岩具岛弧岩石组合和岩石地球化学特征。

在Y+Nb-Rb图解(图7)中,蚀变岩石和未蚀变岩石的样品全部投影在火山弧花岗岩范围。

从以上分析可以看出,这套由侵入岩和火山岩组成的岩杂岩,从岩石组合到岩石地球化学特征,均具有岛弧岩石系列的特点,故可以认为其形成于大陆边缘的岛弧构造环境。

3 与弧相关的沉积建造

(1)变砂岩夹绢云母板岩和粉砂质板岩(P^s)岩块:出露在色日克达坂—新藏公路265 km之间,呈条带状,出露宽度500~2000 m,长度33 km,北西走向,产状35°∠60°。南与温泉沟岩群(S₁W^d)、北与赛力亚克达坂组断层接触,三叠系(T^{ns})不整合其上。岩块主要由灰色中厚层状变质砂岩组成,呈构造透镜体夹于板岩和砾岩之间。

(2)变砂岩夹绿片岩、大理岩和灰岩(P^{ss/bs})岩块:在混杂带内出露2个块体。分布在205道班北侧山坡上,273 km沟内也有出露。2个块体均呈条带状,长度×宽度分别为10000 m×800 m和11000 m×1000 m。

(3)紫红色、暗紫色砂岩、粉砂岩和泥岩夹含砾砂岩、安山岩和砾岩(夹硅质岩)(T^{ns})岩块:在混杂带内出露2个块体。一个呈条带状分布在205道班北侧混杂岩带

表1 麻扎地区火山弧岩石化学特征

Table 1 Petrochemical characteristics of the volcanic arc in the Mazar area, West Kunlun

岩类	岩性	样号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	CO ₃	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	Σ	δ
侵入岩	强蚀变辉绿岩	D1030/5	46.57	17.4	0.85	3.49	6.41	6.6	4.73	0.08	0.15	1.26	2.99	3.49	3.9	0.72	99.35	5.06
	蚀变辉绿岩	D1030/8	52.07	17.46	0.95	3.24	5.58	6.39	5.02	0.08	0.2	1.34	3.54	1.49	1.44	0.46	99.88	2.63
	蚀变辉绿玢岩	D1029/7	52.92	18.42	0.9	3.51	3.94	5.35	3.38	0.08	0.31	0.4	4.58	2.88	2.71	0.74	100.6	2.5
	蚀变角闪长岩	D1031/1	50.58	19.14	1	2.62	5.86	6.3	3.79	0.07	0.36	1.65	3.91	1.44	2.59	0.63	100.59	4.08
	蚀变石英辉长岩	D1030/1	54.4	16.64	0.45	2.77	4.62	5.32	5.02	0.07	0.09	0.89	2.82	2.75	3.48	0.53	100.36	1.21
火山岩	花岗岩	D534/10'	72.13	13.6	0.15	1.81	0.68	1.42	0.53	0.04	0.03	3.57	2.62	1.22	1.66	0.27	99.99	1.39
	细粒二长花岗岩	D1030/10	73.24	13.37	0.15	0.61	1.79	0.94	0.41	0.01	0.01	4.12	3.99	0.75	0.83	0.35	100.77	2.18
	中粒二长花岗岩	D534/7	72.59	13.6	0.15	0.61	2.23	1.01	0.79	0.02	0.05	3.8	3.85	0.51	0.9	0.22	100.58	1.98
	中粒二长花岗岩	D502/1	73.72	12.59	0.1	1.54	0.9	1.37	1.37	0.02	0.03	3.32	3.14	0.9	1.09	0.26	100.45	1.29
	蚀变玄武岩	D534/6'	50.99	17.89	1.4	5.46	4.19	6.88	3.46	0.16	0.36	1.82	2.93	1.61	1.9	0.22	99.74	2.82
火山岩	蚀变安山岩	D534/7'	56.01	19.95	0.45	3.14	3.72	7.22	1.93	0.11	0.3	1.3	2.69	0.97	1.69	0.33	100.22	1.22
	蚀变安山岩	D534/8'	55.88	15.37	0.6	6.52	2.43	2.98	2.39	0.08	0.12	0.15	6.03	3.85	2.2	0.27	99.14	2.97
	粗面流纹质 玻屑凝灰岩	D1029/1-3	73.76	12.13	1.3	1.91	0.87	0.34	0.33	0.08	0.01	4.78	3.12	0.25	0.49	0.18	99.65	2.03
	流纹质含砾岩 屑层凝灰岩	D1029/1-4	73.8	12.91	0.05	1.54	0.73	0.98	0.49	0.01	0.01	4.38	1.75	0.88	1.92	0.62	100.15	1.22

注:由西北大学大陆动力学重点实验室测试;测试方法为x射线荧光分析(XRF),其中FeO、CO₂、H₂O⁺、H₂O⁻为化学分析;氧化物含量%

南部。出露宽 1 km 左右,长 14 km。北东倾向,产状 20°∠70°。北与二叠系(P^{S+SP})变砂岩夹绿片岩、大理岩和灰岩,南与温泉沟岩群呈断层接触。另一个呈透镜状出露在 268 km 北侧山坡上,长 2500 m,宽 800 m 左右。近东西向分布,产状 10°∠56°。砾岩中有苔藓虫化石。

从岩石组合特征分析,构造混杂带内出露的变砂岩夹绢云母板岩、粉砂质板岩块体(P^S),变砂岩夹绿片岩、大理岩、灰岩块体(P^{S+SP})和紫红色、暗紫色砂岩、粉砂岩、泥岩夹含砾砂岩、安山岩及砾岩(夹硅质岩)块体(T^Q),主要为一套浅变质的细碎屑岩夹砾砂岩、硅质岩。这套沉积岩与麻扎岩弧在空间上有一定联系,且碎屑岩中夹有大量绿片岩(变质火山岩)和安山岩,由此可以认为这是一套与弧相关的沉积建造。由于后期强烈的构造活动,已很难恢复其原始的沉积环境,只能根据岩石组合粗略地认为:夹含绿片岩的变砂岩块体(P^{S+SP})和夹含安山岩、砾岩、砂砾岩的紫色砂岩、粉砂岩、泥岩块体(T^Q)可能为弧前或弧后盆地沉积,而变砂岩夹绢云母板岩、粉砂质板岩块体(P^S)可能为弧后盆地沉积。

4 弧火成岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年

在新藏公路 273 km 处(弧火成岩内)采集角闪石英闪长岩样品(图 2 剖面中第 2 层),挑选的大部分锆石大小比较均匀,多为自形晶,常具有自形的生长环带(图 9)和可见其光性随生长环带变化的特点,且能见到规则的生长纹和个体较大的暗色包裹体。以上锆石的这些特点与岩浆结晶锆石相吻合,应为岩浆结晶锆石。对这些岩浆锆石利用 SHRIMP 进行了测试,分析结果见表 4 和图 8。从表 4 和图 8 可见,U 含量变化不大,²⁰⁶Pb/²³⁸U、²⁰⁷Pb/²³⁵U 2 组年龄在误差范围内基本谐和,13 粒锆石测试结果基本一致,平均年龄 338 Ma±10 Ma,时代为早石炭世,代表着火山弧形成的年龄。

表 2 麻扎地区火山弧稀土元素特征
Table 2 REE characteristics of the volcanic arc in the Mazar area

岩类	岩性	样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	ΣLREE	ΣHREE	δEu	L _{AN} /S _{MN}	(Gd/Yb) _N	(La/Yb) _N
侵入岩	强蚀变辉绿岩	D1030/5	14.23	34.3	4.76	20	4.44	1.16	4.16	0.75	4.49	0.97	2.68	0.42	2.87	0.48	95.71	78.89	16.82	0.82	1.95	1.16	3.27
	蚀变辉绿岩	D1030/8	13.13	31.8	4.6	19.8	4.89	0.97	4.64	0.91	5.48	1.2	3.29	0.51	3.46	0.55	95.23	75.19	20.04	0.62	1.63	1.07	2.5
	蚀变辉绿玢岩	D1029/7	14.1	31.1	4.04	17.1	3.54	1.19	3.09	0.51	2.8	0.58	1.52	0.23	1.49	0.25	81.54	71.07	10.47	1.08	2.42	1.66	6.24
	蚀变角闪闪长岩	D1031/1	14.35	30.3	4.07	17.5	3.65	1.52	3.28	0.52	2.84	0.58	1.46	0.21	1.37	0.22	81.87	71.39	10.48	1.33	2.39	1.92	6.9
	蚀变石英辉长岩	D1030/1	12.45	27.2	3.69	15.2	3.33	0.85	3.08	0.57	3.33	0.72	1.97	0.31	2.15	0.35	75.2	62.72	12.48	0.81	2.29	1.15	3.84
	花岗岩	D534/10'	38.21	69.4	7.61	24.5	3.69	0.6	3.22	0.45	2.4	0.49	1.4	0.23	1.64	0.28	154.12	144.01	10.11	0.53	6.3	1.57	15.34
	细粒二长花岗岩	D1030/10	62.79	128	13	43.1	6.09	0.52	5.35	0.72	3.74	0.76	2.1	0.32	2.24	0.37	269.2	253.6	15.6	0.27	6.27	1.91	18.46
	中粒二长花岗岩	D534/7	28.54	52.4	5.71	19	2.92	0.64	2.58	0.38	2.06	0.43	1.26	0.2	1.46	0.25	117.83	109.21	8.62	0.81	7.58	1.42	12.88
	中粒二长花岗岩	D502/1	25.37	51.4	5.66	20.1	4.07	0.54	3.78	0.69	4.19	0.95	2.71	0.45	3.19	0.53	123.63	107.14	16.49	0.42	3.79	0.95	5.24
	蚀变玄武岩	D534/6'	27.86	62.3	8.43	35.2	7.18	1.75	6.15	0.98	5.32	1.05	2.76	0.4	2.67	0.42	162.47	142.72	19.75	0.79	2.36	1.84	6.88
火山岩	蚀变安山岩	D534/7'	23.04	51	6.6	27.6	5.51	1.57	4.77	0.78	4.27	0.87	2.32	0.36	2.4	0.39	131.48	115.32	16.16	0.92	2.54	1.59	6.32
	蚀变安山岩	D534/8'	13.79	29.2	3.7	15.1	3.03	0.87	2.54	0.39	2.07	0.4	1.03	0.15	0.97	0.15	73.39	65.69	7.7	0.94	2.77	2.09	9.35
	粗面流纹质 玻屑凝灰岩	D1029/1-3	32.89	63.9	7.46	26.5	4.77	0.83	4.31	0.69	3.91	0.82	2.25	0.35	2.41	0.4	151.49	136.35	15.14	0.55	4.2	1.43	8.99
	流纹质含砾岩 屑晶凝灰岩	D1029/1-4	40.27	81.3	10.5	37.9	7.13	0.19	6.17	1	5.4	1.11	3.06	0.49	3.32	0.54	198.41	177.32	21.09	0.09	3.44	1.49	7.99

注:由西北大学大陆动力学重点实验室测试;测试方法为TCP-MS分析法;稀土元素含量 10⁻⁶

表3 麻扎地区火山弧微量元素特征
Table 3 Trace element characteristics of the volcanic arc in the Mazar area

岩类	岩性	样号	Ba	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Th	Pb	Ga	Zn	Cu	Ni	V	Cr	Hf	Sc	Ta	Co	U
	蚀蚀变辉绿岩	D1030/5	362.1	49.7	390	36.1	120.7	6.77	2.03	12.74	19.9	106	30.3	12.4	296	14.4	3.37	38.4	0.45	34.7	0.57
	蚀变辉绿岩	D1030/8	461.6	47.46	389	35.3	168	7.78	2.73	21.04	19	112	18.5	6.8	185	6	4.44	28.9	0.51	34.2	1.03
	蚀普辉绿岩	D1029/7	225.2	9.26	540	17.5	112.7	7.38	2.34	9.9	17.6	84	32.1	11.3	122	22	2.86	13.6	0.45	26.9	0.71
	蚀变角闪长岩	D1031/1	974	83.6	745	17.4	100.9	4.18	3.22	5.87	21.6	69.7	14.4	3.6	92	5.8	2.6	20.5	0.29	21.8	0.61
	蚀变石英辉长岩	D1030/1	339.3	22.37	616	21.7	73.8	6.34	2.32	12.34	16.7	61.4	24.6	13.3	153	27	2.2	25.3	0.49	37.7	1.07
	花岗岩	D534/10'	457.3	161.1	183	20.6	137	20.7	16.1	19.07	15.8	26.4	1.59	1.26	7.9	0.84	4.24	1.01	3.56	62	6.55
	细粒二长花岗岩	D1030/10	437.5	97.6	46.4	24.2	199	9.3	17.9	12.77	12.2	16.2	4.51	1.23	7	1.52	5.4	3.54	0.91	64	3.12
	中粒二长花岗岩	D534/7	726	149.3	164	15.8	171	9.2	13.3	15.54	13.2	27	3.89	1.71	12.3	1.65	4.56	2.57	0.81	92	1.78
	中粒二长花岗岩	D502/1	480.2	158.9	172	31.1	101.4	8.03	20.1	26.44	15.2	22.5	1.63	1.22	6.7	1.32	3.39	1.81	1.32	138	5
	蚀变玄武岩	D534/6'	943	67.7	557	31.7	197	12.1	6.5	38.63	21.5	393	61	20.8	167	47	4.98	23	0.73	32.9	1.86
	蚀变安山岩	D534/7'	518	52.4	644	26.5	146	9.8	5.15	10.51	20.3	78	28.4	4.3	55.3	3.8	3.9	10.2	0.63	33.2	1.45
	蚀变安山岩	D534/8'	262.8	2.71	587	14.3	108.6	5.54	3.45	19.58	13.9	81	11.4	31	97	134	2.89	17.4	0.39	45.1	0.69
	粗面流纹质 玻屑凝灰岩	D1029/1-3	879	145.5	122.7	25.4	222	15.2	16.6	25.87	15.6	33.8	5.9	1.12	16.6	1.8	6.25	3.84	1.25	59	3.98
	流纹质含砾岩 屑晶屑凝灰岩	D1029/1-4	357.5	124.4	81	35.9	172	23.2	19.7	28.84	14.1	47.6	2.95	1.07	2.49	7.4	5.66	1.98	1.78	41.2	3.95
	地壳丰度值(黎彤,1976)		390	78	480	24	130	19	5.8	12	18	94	63	89	140	110	1.5	18	1.6	25	1.7
	地幔丰度值(Wood,1979)		7.56	0.86	23	4.87	11	0.62	0.096			53	26	2400	59	1020	0.35		0.043	105	0.027

注:由西北大学大陆动力学重点实验室测试;测试方法为ICP-MS分析法;微量元素含量 10^{-6}

表4 麻扎地区弧火成岩中角闪石英闪长岩的锆石SHRIMP U-Pb测试结果

Table 4 Zircon SHRIMP analysis of hornblende-quartz diorite in arc magmatic rocks of the Mazar area

Labels	U/10 ⁻⁶	Th/10 ⁻⁶	Th/U	Pb*/10 ⁻⁶	²⁰⁶ Pb _c /%	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U 年龄/Ma	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U 年龄/Ma	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb 年龄/Ma
2RZ-1.1	408	217	0.53	23	0.01	0.0539±0.0029	0.387±0.031	0.0522±0.0027	338±18	333±23	292±121
2RZ-2.1	194	75	0.39	11	0.01	0.0545±0.0036	0.384±0.047	0.0511±0.0048	342±22	330±35	245±231
2RZ-3.1	309	131	0.42	17	0.02	0.0535±0.0030	0.412±0.032	0.0559±0.0025	336±19	350±23	448±104
2RZ-5.1	294	222	0.75	17	—	0.0535±0.0030	0.417±0.029	0.0566±0.0020	336±18	354±21	475±82
2RZ-7.1	387	147	0.38	21	0.01	0.0538±0.0031	0.420±0.032	0.0566±0.0024	338±19	356±23	477±97
2RZ-8.1	289	102	0.35	15	0.01	0.0518±0.0030	0.324±0.049	0.0455±0.0060	325±18	285±38	0
2RZ-9.1	526	309	0.59	30	0.02	0.0544±0.0038	0.389±0.035	0.0520±0.0026	341±23	334±26	283±118
2RZ-11.1	487	197	0.40	27	0.01	0.0558±0.0032	0.426±0.036	0.0553±0.0031	350±19	360±26	425±131
2RZ-12.1	316	133	0.42	17	0.01	0.0543±0.0038	0.375±0.042	0.0501±0.0039	341±23	324±31	199±187
2RZ-13.1	350	142	0.41	19	0.02	0.0557±0.0054	0.248±0.056	0.0323±0.0062	350±33	225±46	0
2RZ-14.1	446	175	0.39	23	0.03	0.0516±0.0021	0.418±0.033	0.0588±0.0037	324±13	355±24	561±143
2RZ-15.1	632	470	0.74	37	0.01	0.0541±0.0018	0.410±0.020	0.0550±0.0018	339±11	349±15	413±76
2RZ-16.1	708	444	0.63	42	0.01	0.0562±0.0032	0.394±0.030	0.0509±0.0023	352±19	337±22	235±106

注:²⁰⁶Pb_c指普通铅中的²⁰⁶Pb占全铅²⁰⁶Pb的百分数;应用实测²⁰⁴Pb和Cumming等(1975)的模式铅成分校正普通铅;表中所有误差均为1σ;加权平均年龄的误差为2σ

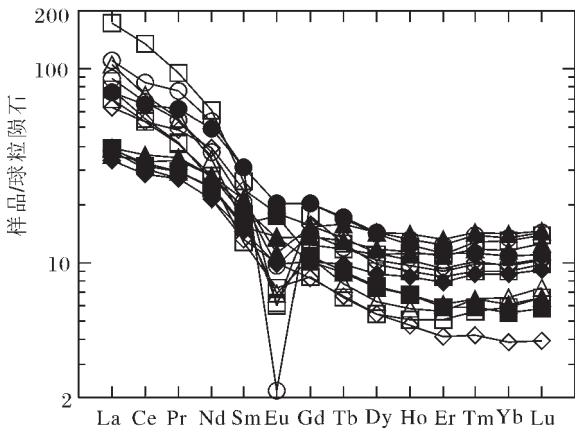


图5 弧火山岩样品稀土元素配分模式(图例同图3)

Fig.5 REE distribution patterns for arc volcanic rocks

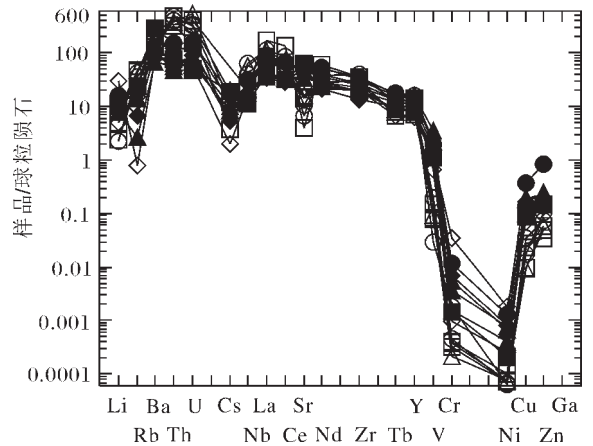


图6 弧火山岩样品微量元素蛛网图(图例同图3)

Fig.6 Trace element spidergram for arc volcanic rocks

5 意义

麻扎弧火成岩主要由中酸性侵入岩和火山岩组成,具有岛弧岩石组合和岩石地球化学特征。与其相关的沉积建造也相当发育,分布于麻扎构造带中。由于后来板块的碰撞、挤压,形成了构造混杂岩。弧火成岩以构造岩片的形式出现。麻扎弧火成岩对研究西昆仑的构造演化具有重要意义。弧火成岩的发现,再次证明了麻扎地区在晚古生代

期间出现过古特提斯洋,并且有俯冲-消减作用的存在。鉴于锆石SHRIMP-Ⅱ测年的精确度、可进行原位测试等先进性,可以较为准确地将古特提斯洋的俯冲-消减时间确定为早石炭世。这也为区域构造(的演化)分析提供了基础资料。

致谢:本文在编写过程中,陕西省区域地质矿产研究院陈家义、肖新元高级工程师提出了宝贵意见,部分插图由许革新完成,在此一并表示衷心的感谢。

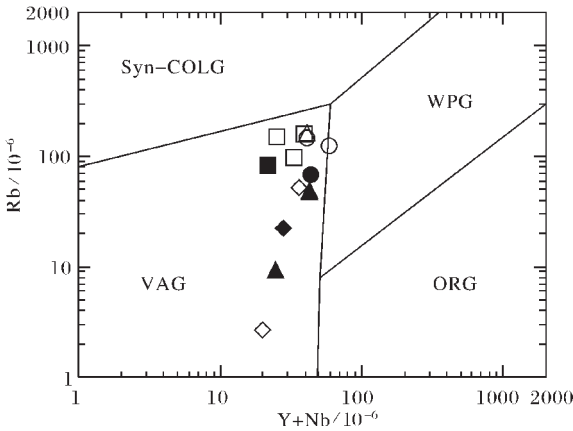


图7 弧火山岩样品Y+Nb-Rb图解(据Pearce,1984)

Fig.7 Diagram of Y+Nb-Rb for arc volcanic rocks

Syn-COLG—同碰撞花岗岩;ORG—洋脊花岗岩;

WPG—板内花岗岩;VAG—火山弧花岗岩;样品点图例同图3

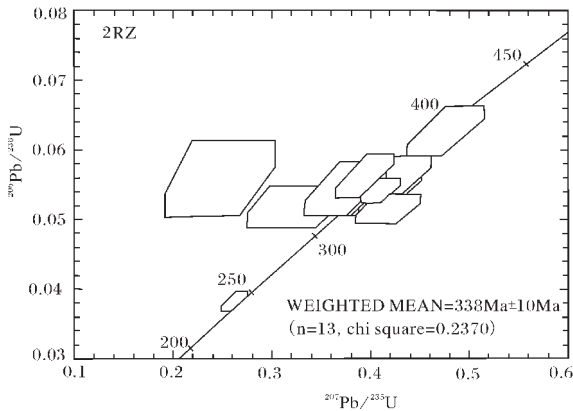


图8 石英闪长岩锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U—²⁰⁷Pb/²³⁵U谐和图

Fig.8 Zircon ²⁰⁶Pb/²³⁸U—²⁰⁷Pb/²³⁵U concordia plot for quartz diorite

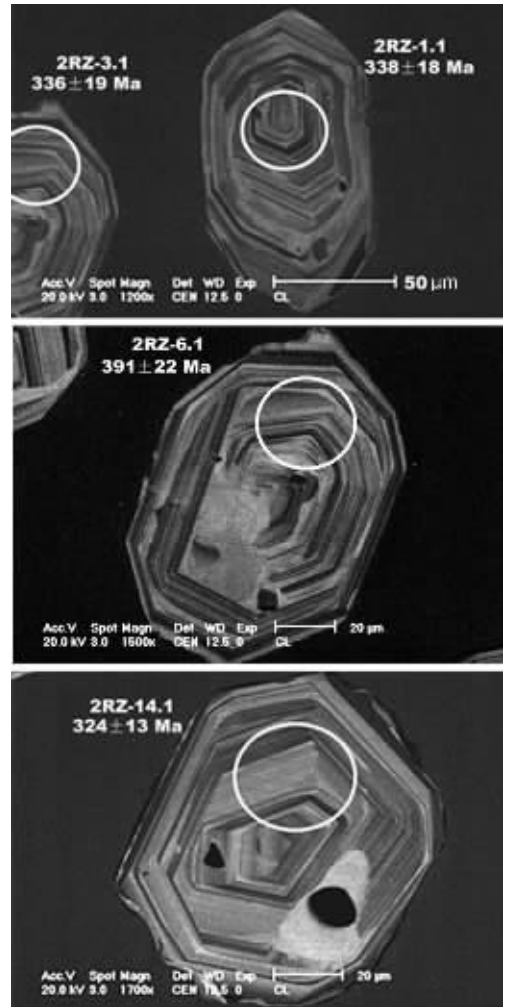


图9 石英闪长岩锆石特征

Fig.9 Cathodoluminescence images of zircon in quartz diorite

参考文献:

[1]丁道桂,王道轩,刘伟新,等.西昆仑造山带与盆地[M].北京:地质出版社,1996.

[2]王元龙,李向东,黄智龙.新疆西昆仑康西瓦构造带地质特征及演化[J].地质地球化学,1996,(2):48-54.

[3]邓万明.喀喇昆仑—西昆仑地区蛇绿岩的地质特征及其大地构造意义[J].岩石学报,1995,11(增刊):98-111.

[4]潘裕生,文世宣,孙东立,等.喀喇昆仑—昆仑山地区地质演化[M].北京:科学出版社,2000.

[5]刘训.天山—西昆仑地区沉积—构造演化史——新疆地质断面走廊域及邻区不同地体的沉积—构造演化[J].古地理学报,2001,3

(3):21-31.

[6]姜春发,王宗起,李锦轶,等.中央造山带开合构造[M].北京:地质出版社,2000.

[7]潘裕生.西昆仑构造特征与演化[J].地质科学,1990,25(3):224-231.

[8]李永安,李向东,孙东江,等.中国新疆西南部喀喇昆仑羌塘地块及康西瓦构造带构造演化[M].乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1995.

[9]计文化,韩芳林,王巨川,等.西昆仑于田南部苏巴什蛇绿混杂岩的组成、地球化学特征及地质意义[J].地质通报,2004,23(12):1196-1201.