

西天山特克斯晚古生代辉长岩岩石地球化学

朱志敏^{1,2} 赵振华¹ 熊小林¹ 韩江伟³

(1. 中国科学院 广州地球化学研究所, 成矿动力学重点实验室, 广东 广州 510640; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3. 河南省地质调查院, 河南 郑州 450001)

摘要: 西天山特克斯县东北部的哈拉达拉岩体是西天山出露规模最大的层状基性-超基性侵入岩体, 主要由橄长岩、橄榄辉长岩、角闪辉长岩和辉长岩组成。本文获得该辉长质岩体锆石 SIMS U-Pb 年龄为 306.2 ± 2.7 Ma, 属于晚石炭世。该岩体 SiO_2 含量范围为 44.49% ~ 48.46%, K_2O 、 Na_2O 含量低, Mg、Fe 含量较高, $\text{Mg}^\#$ 平均值达 71.4。岩体具有拉斑玄武岩系列特征, 且有从低钾拉斑系列向钙碱性系列和高钾钙碱性系列演化的趋势。部分样品的 MgO 、 Al_2O_3 和 CaO 含量偏高, 可能为橄榄石和斜长石的堆晶所致。岩体明显富集 Rb、Ba、K、Pb、Sr 等大离子亲石元素, 亏损 Nb、Ta、Ti 等高场强元素, La/Nb 比值大于 1.4, 与流体交代地幔楔熔融的弧火成岩浆特征类似。岩体具有 Th 负异常, 暗示岩浆活动过程中可能混染了下地壳成分。岩体稀土元素总量较低, 轻、重稀土元素分异较弱, 由于斜长石堆晶作用, 部分样品具有明显的正 Eu 异常。区域构造演化和岩石学资料等显示西天山在晚石炭世—早二叠世大地构造格架演化发生了转变, 特克斯地区处于俯冲碰撞阶段向碰撞后伸展阶段变化的过渡环境中, 特克斯晚古生代辉长岩体很可能是在这种构造体制的转变过程中形成的, 指示了西天山大地构造演化从弧环境下的挤压碰撞到陆内伸展环境的转变。

关键词: 西天山, 辉长岩, 锆石 U-Pb 定年, 岩石地球化学

中图分类号: P588.12⁺4; P59

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2010)06-0675-16

Petrogeochemistry of late Paleozoic gabbroic rocks from Tekes County in West Tianshan Mountains

ZHU Zhi-min^{1,2}, ZHAO Zhen-hua¹, XIONG Xiao-lin¹ and HAN Jiang-wei³

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Henan Institute of Geological Survey, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The Haladala pluton in northeast Tekes County is the largest basic-ultrabasic layered pluton in West Tianshan area; nevertheless, little work has been done on its petrogenesis. In this paper, the authors conducted a detailed study of its geochemistry and geochronology. With the data obtained in combination of regional tectonic evolution, this paper discusses its petrogenesis, tectonic setting and geological significance. This pluton consists of a series of gabbroic rocks such as troctolite, olivine gabbro, hornblende gabbro and gabbro. Secondary ion microprobe (SIMS) zircon U-Pb dating indicates that the gabbroic rocks crystallized at the age of 306.2 ± 2.7 Ma, belonging to the Late Carboniferous. These gabbroic rocks have SiO_2 values ranging from 44.49% to 48.46% with low content of K_2O and Na_2O and high average $\text{Mg}^\#$ value of 71.4. Chemical compositions of these rocks are tholeiitic, but show a variation trend with the magmatic evolution from low-K tholeiite series to calc-alkaline series and even high-K calc-alkaline series. Some samples show abnormally high MgO , Al_2O_3 and

收稿日期: 2010-03-30; 修订日期: 2010-05-30

基金项目: 国家重点基础研究发展计划“973”课题资助项目(2007CB411303)

作者简介: 朱志敏(1984-), 男, 在读博士, 矿物、岩石、矿床学专业, E-mail: zhu-zhimin@126.com; 通讯作者: 熊小林, 男, 研究员, 博导, E-mail: xiongx@ig.gig.ac.cn

CaO content, which may be due to the accumulation of olivine and plagioclase. They are also significantly enriched in LILE such as Rb, Ba, K, Pb and Sr, but depleted in HFSE such as Nb, Ta and Ti, with $La/Nb > 1.4$. All these data indicate characteristics of arc magmas derived from fluid metasomatized mantle wedge. Their Th negative anomaly suggests that the magmas may have been contaminated by the lower crust. These rocks have low content of total REE with weak differentiation of LREE from HREE. Due to the role of plagioclase accumulation, some samples have significant positive Eu anomalies. Compared with the mafic plutons of different ages exposed in adjacent areas in North Xinjiang, the Haladala pluton has unique petrological and geochemical characteristics, which may imply that they contain both arc-like magma components and components from extensional environment magmatism. The compositional characteristics suggest that the rocks might have been formed during the change of the tectonic framework from compression to extension. Regional tectonic history indicates that there was a shift (from compression to extension) in the tectonic framework of West Tianshan region during Late Carboniferous to Early Permian. The authors made an overall analysis of various rocks concerning their petrologic and geochronologic features at the northern and southern edge of the Yili-Central Tianshan plate, and found out that the Yili plate underwent a transition from the subduction and collision to post-collision circumstances in 293~313 Ma. Based on geochronological and geochemical characteristics of the Haladala pluton, the authors believe that the Tekesi area was at the stage of this transition of tectonic settings. It is suggested that the late Paleozoic gabbroic rocks (the Haladala pluton) in Tekes County might also have been formed in this transition stage. Hence, these rocks may indicate a change of tectonic framework in the West Tianshan area and provide evidence for the presence of magmatism in this region during the tectonic frame change.

Key words: West Tianshan; gabbro; zircon U-Pb dating; petrogeochemistry

造山带中广泛分布的火成岩记录着造山带的形成与演化历史,对弧环境下的火成岩和碰撞后板内火成岩的研究能够揭示造山过程中的壳幔作用及大陆形成、演化等信息(Chen *et al.*, 1999; Hong *et al.*, 2004; Xiao *et al.*, 2004a, 2004b)。中国新疆境内的天山位于中亚造山带腹地,作为中亚造山带的重要组成部分,一直受到学术界的广泛关注(陈哲夫等, 1993; 何国琦等, 1994, 1995; 高俊等, 1997; Gao *et al.*, 1998, 2009; 陈哲夫, 2004; 李锦轶等, 1999; 熊小林等, 2001, 2005; Wang *et al.*, 2003; Xiao *et al.*, 2004a, 2004b; 赵振华等, 2006; 肖文交等, 2006; Zhao *et al.*, 2008; Zhu *et al.*, 2009)。一般认为,中晚古生代时,西南天山古洋壳(南天山洋壳)开始俯冲到伊犁-中天山板块之下,塔里木板块与伊犁-中天山板块碰撞造山形成西南天山晚古生代造山带(高俊等, 1997; Gao *et al.*, 1998; 肖文交等, 2006)。碰撞造山和造山后伸展作用引起了广泛的岩浆活动,沿着伊犁板块南北缘分布着大量石炭纪和二叠纪的玄武质-玄武安山质熔岩,同时含有一些中酸性侵入体及火山碎屑岩(赵振华等, 2003; 朱永峰等, 2005, 2006a; 龙灵利等, 2008)。

基性岩一般是造山带形成过程中幔源岩浆活动

的直接产物,并在岩浆上升演化中可能与地壳发生相互作用。因此,对基性岩的研究不仅可以反映很多造山带的信息,对中酸性岩浆分异演化特别是对花岗岩类的形成和陆壳增长等研究也具有重要意义。特克斯晚古生代辉长岩(哈拉达拉岩体)出露于特克斯东北,薛云兴等(2009)曾对其岩浆源区开展相关研究工作,本文对哈拉达拉基性岩体中的辉长质岩石开展了年代学、岩石地球化学等研究,并结合前人研究成果讨论该岩体的形成环境和地质意义。

1 区域地质背景

特克斯地区位于西天山伊犁板块腹地,一般认为,伊犁板块在早古生代脱离塔里木古陆而独立,晚泥盆—早石炭世时开始的古亚洲洋俯冲-碰撞造山作用造成了早石炭世伊犁地区陆缘和岛弧大规模的火山、岩浆侵入活动(成守德等, 1998)。研究区主要分布早石炭世大哈拉山组(李注苍等, 2006)或称“晚泥盆特克斯达坂组”(朱永峰等, 2006a)火山岩、早石炭世阿克沙克组火山碎屑沉积岩-碳酸盐岩、晚石炭世伊什基里克组火山岩和一些二叠纪陆相碎屑岩-双峰式火山岩。这些火成岩主要是中、酸性火山

熔岩及火山碎屑岩, 基性-超基性岩体较少。火山熔岩包括流纹岩、英安质流纹岩、英安岩和少量安山岩; 火山碎屑岩有英安质凝灰岩、流纹质凝灰岩及流纹质火山角砾岩等(刘静等, 2006; 李永军等, 2007; 杨俊泉等, 2009)。(超)基性岩主要是橄榄辉长岩、辉长岩、辉绿岩等, 一般出露规模较小(高纪璞等, 1991; 林锦富等, 1996; 张云孝等, 2000)。

哈拉达拉基性岩体位于特克斯县城东北部约 15 km 处的哈拉达拉乡附近, 特克斯河北岸, 伊什基里

克山南麓, 是西天山地区出露面积较大的层状基性-超基性岩体。根据前人的调查研究表明, 该岩体的平面形态为不规则舌状, 东西长约 13 km, 南北宽约 2~3 km, 出露面积近 30 km²(林锦富等, 1996)。岩体顺层侵入于早石炭世阿克沙克组和晚石炭世伊什基里克组之间。伊什基里克组主要分布于岩体东、西两侧, 阿克沙克组位于岩体北部大片和东南部及南部范围(图 1), 岩体的直接围岩包括火山角砾岩、沉凝灰岩和硅化灰岩等。岩体在南部和北部可见与

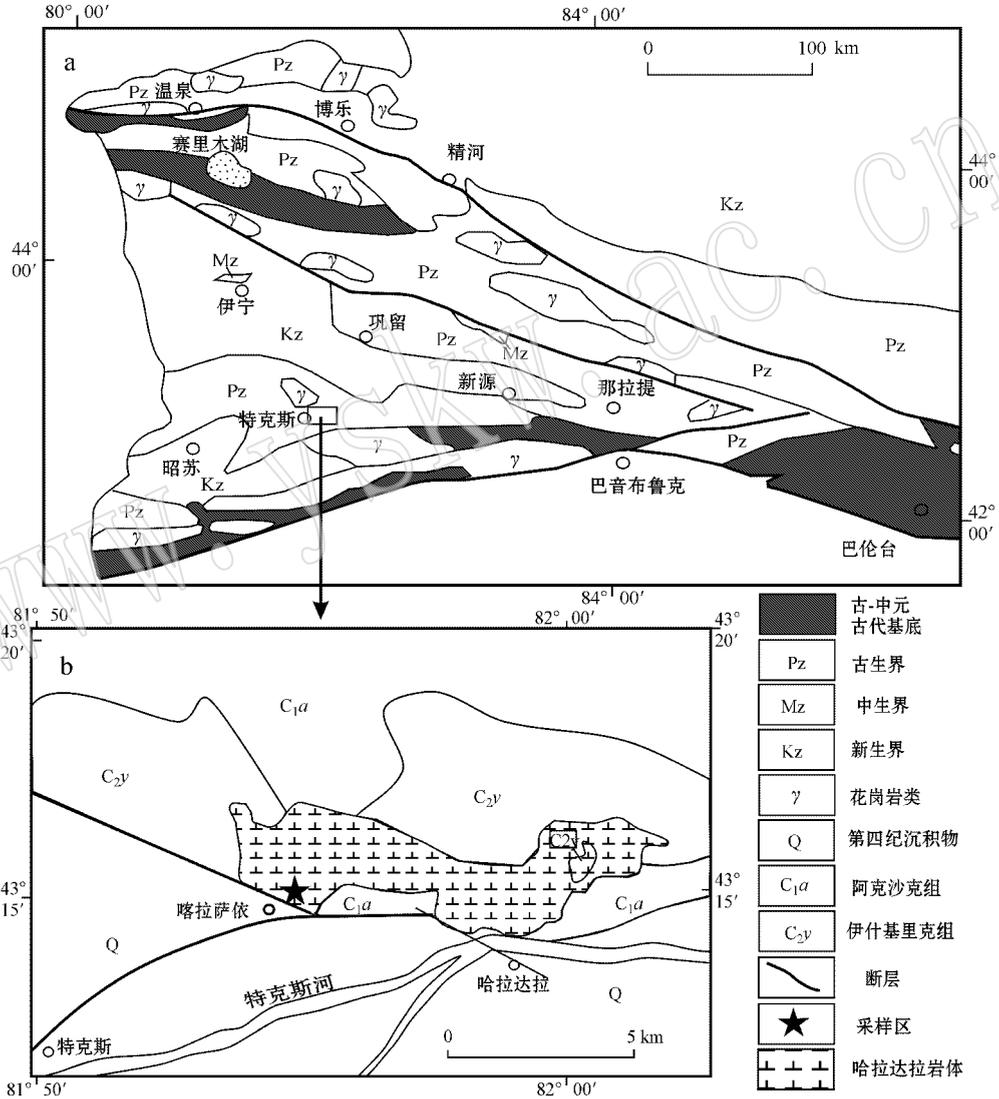


图 1 西天山地质简图 (a 修改自赵振华等, 2003) 及特克斯晚古生代辉长岩采样位置 (b 修改自资料^①)

Fig. 1 Simplified geological map of West Tianshan Mountains (a after Zhao Zhenhua *et al.*, 2003) and sketch geological map of Paleozoic gabbroic rocks from Tekesi area showing sampling sites (b, after the material^①)

①新疆地质局区域地质调查队, 1975~1979. 1:20 万昭苏幅和莫合尔幅地质图.

围岩的顺层侵入接触关系,局部见斜切地层的接触(张云孝等,2000)。本次研究取样区位于特克斯县城东北喀拉萨依,地理范围为北纬 $43^{\circ}14.5' \sim 43^{\circ}15'$,东经 $81^{\circ}54.5' \sim 81^{\circ}55.5'$ (如图 1 所示)。

2 岩体岩相学

本区所见的辉长质岩体呈明显的堆晶结构,整体呈灰绿-灰黑色,采集的部分样品中长石含量较高,手标本呈浅绿色。岩石类型总体上介于浅色辉长岩与暗色辉长岩之间,根据其镜下矿物组合特征,识别出该岩体主要包括橄长岩、橄榄辉长岩、角闪辉长岩和辉长岩。岩体为块状构造,主体为中粗粒结构,岩体西段部分达到粗粒结构。主要造岩矿物为斜长石、橄榄石、辉石和角闪石,其他矿物有黑云母、钛铁氧化物和次生的蛇纹石、绿泥石等。

斜长石在各岩石类型中的体积分数均超过 50%,在橄长岩中可达到 70% 左右,一般为较自形长柱状或板状,发育聚片双晶和卡-钠复合双晶,未见环带构造。大多呈不规则堆积状,显示出斜长石堆晶的架构。橄榄石几乎在所有岩石类型中体积分数都大于 5%,在橄长岩中可达到 20% 以上。一般为不规则粒状,偶见六边形切面,裂纹发育,沿着裂纹和其周围多发生蛇纹石化,可见辉石和(或)角闪石的反应边结构(图 2)。辉石基本为他形,充填在斜长

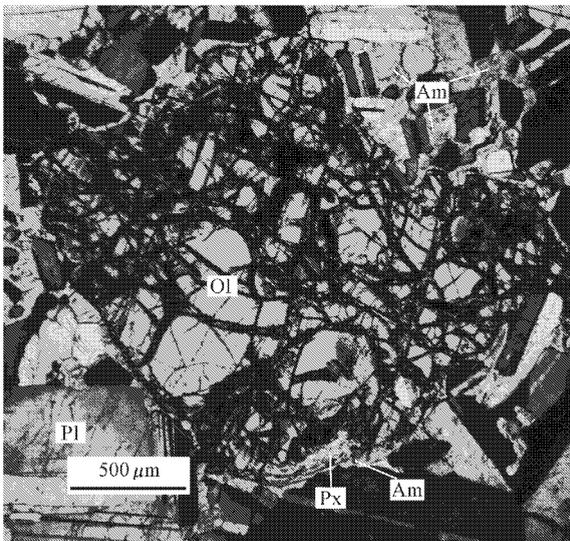


图 2 沿橄榄石四周形成的辉石和角闪石反应边结构
Fig. 2 Corona texture of pyroxene and amphibole around olivine
Pl—斜长石;Ol—橄榄石;Px—辉石;Am—角闪石
Pl—plagioclase;Ol—olivine;Px—pyroxene;Am—amphibole

石和橄榄石颗粒之间,部分辉石有明显的绿泥石化,可见角闪石反应边。在辉长岩中,辉石的体积分数为 20%~25%,在其他岩石类型中为 5% 左右。角闪石在各岩石类型中的体积分数较小,总体上小于 5%,在角闪辉长岩中可达 10% 左右,一般作为橄榄石和辉石反应边出现,也可见少量充填于斜长石与橄榄石堆晶间隙中。黑云母和钛铁氧化物总含量约在 2%~5% 之间,主要形成于堆晶间隙。次生的蛇纹石、绿泥石等约占 5%~10%,主要形成于橄榄石和辉石的裂隙或其周围。

从上述矿物组合和结构特征可以看出,该辉长质岩体是一个较典型的堆晶辉长岩体,橄榄石和斜长石最早结晶并发生重力分异作用,形成斜长石和橄榄石的堆晶,辉石在堆晶过程中形成,残余含水岩浆继续晶出角闪石和少量黑云母,充填于堆晶间隙中。

3 锆石 U-Pb 年龄

用于锆石 U-Pb 定年的样品(样品编号为 XTT830)新鲜无蚀变,经粉碎后用标准技术进行锆石分选,锆石样品靶的制备和 U-Pb 定年均由中国科学院地质与地球物理研究所离子探针实验室完成,锆石样品靶的制备方法及其 U-Pb 同位素详细的分析流程见 Li 等(2009)。锆石阴极发光图像在中国科学院广州地球化学研究所 JEOL JXA-8100 型电子探针上完成,定年在中国科学院地质与地球物理研究所离子探针实验室的 Cameca IMS-1280 型二次离子质谱仪(SIMS)上进行。锆石样品的 U-Th-Pb 同位素比值用标准锆石 Temora 校正获得(Whitehouse *et al.*, 1997),U、Th 含量用标准锆石 91500 校正获得(Wiedenbeck *et al.*, 1995),普通 Pb 用测量的 ^{204}Pb 进行校正。由于测得的普通 Pb 含量非常低,可以认为普通 Pb 主要来源于制样过程中带入的表面 Pb 污染,用现代地壳的平均 Pb 同位素组成作为普通 Pb 组成进行校正(Li *et al.*, 2009)。单点分析的同位素比值及年龄误差为 1σ ,U-Pb 平均年龄误差为 95% 置信度,数据结果用 IsoPlot 软件处理完成(李献华等,2009)。

从测试样品的锆石阴极发光图像(CL 图像)中可以看出,锆石清晰透明,无裂纹,自形程度较高,颗粒虽然比较破碎但仍可见发育典型的岩浆成因韵律环带结构(图 3)。共测定了 20 颗锆石,U、Pb 同位素分析及年龄测定结果见表 1。

表 1 特克斯晚古生代辉长岩 (XTT830) 的锆石 U-Pb 分析结果
Table 1 U-Pb isotope analyses of zircons of sample XTT830 from Tekesi Paleozoic gabbroic rocks

分析点号	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$f_{206} \# / \%$	Th/U		同位素比值										年龄/Ma	
	U	Th		$\pm 1\sigma$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$		
XTT830@1	325	525	1.613	0.06	0.052 85	1.94	0.362 7	2.5	0.049 8	1.51	322.3	43.6	314.2	6.7	313.1	4.6	
XTT830@2	118	141	1.191	0.41	0.049 06	4.35	0.339 9	4.6	0.050 2	1.52	150.6	98.9	297.1	11.9	316.0	4.7	
XTT830@3	144	103	0.716	0.23	0.051 59	3.26	0.338 6	3.6	0.047 6	1.52	267.3	73.2	296.1	9.3	299.8	4.5	
XTT830@4	110	99	0.895	0.46	0.051 08	4.20	0.339 8	4.5	0.048 2	1.59	244.3	93.9	297.0	11.6	303.8	4.7	
XTT830@5	233	327	1.406	0.08	0.053 05	2.01	0.356 1	2.5	0.048 7	1.50	331.0	44.9	309.3	6.7	306.4	4.5	
XTT830@6	235	147	0.625	0.17	0.051 87	2.33	0.352 8	2.8	0.049 3	1.53	279.7	52.5	306.8	7.4	310.4	4.6	
XTT830@7	67	69	1.039	0.49	0.050 47	5.54	0.336 6	5.8	0.048 4	1.58	216.8	123.3	294.6	14.8	304.5	4.7	
XTT830@8	184	161	0.873	0.23	0.053 12	2.90	0.350 1	3.3	0.047 8	1.50	333.8	64.5	304.8	8.6	301.0	4.4	
XTT830@9	715	1393	1.949	0.05	0.052 64	1.21	0.356 5	1.9	0.049 1	1.51	313.4	27.2	309.6	5.2	309.1	4.6	
XTT830@10	94	99	1.061	0.45	0.049 84	4.65	0.337 1	4.9	0.049 0	1.70	187.6	104.7	295.0	12.7	308.7	5.1	
XTT830@11	393	504	1.283	0.04	0.051 06	1.55	0.342 7	2.2	0.048 7	1.54	243.5	35.4	299.2	5.7	306.4	4.6	
XTT830@12	71	63	0.895	0.87	0.050 28	6.31	0.325 6	6.5	0.047 0	1.53	207.9	140.1	286.2	16.3	295.9	4.4	
XTT830@13	351	471	1.343	0.13	0.053 34	1.89	0.355 8	2.4	0.048 4	1.50	343.1	42.3	309.0	6.5	304.6	4.5	
XTT830@14	175	235	1.340	0.09	0.053 10	2.30	0.366 2	2.7	0.050 0	1.51	333.2	51.3	316.9	7.5	314.6	4.6	
XTT830@15	413	454	1.100	0.15	0.051 89	1.91	0.349 0	2.4	0.048 8	1.52	280.4	43.1	304.0	6.4	307.0	4.6	
XTT830@16	460	2185	4.756	0.13	0.053 28	1.45	0.354 0	2.1	0.048 2	1.52	340.6	32.5	307.7	5.6	303.4	4.5	
XTT830@17	305	262	0.860	0.13	0.051 85	2.55	0.351 1	3.0	0.049 1	1.50	278.8	57.3	305.5	7.8	309.0	4.5	
XTT830@18	113	110	0.969	0.05	0.055 87	4.13	0.370 6	4.4	0.048 1	1.52	447.1	89.3	320.1	12.2	302.9	4.5	
XTT830@19	333	470	1.409	0.00	0.052 33	1.70	0.356 1	2.3	0.049 4	1.51	299.7	38.2	309.3	6.1	310.6	4.6	
XTT830@20	241	386	1.602	0.07	0.054 47	2.24	0.361 4	2.7	0.048 1	1.51	390.4	49.4	313.3	7.3	303.0	4.5	

注: f_{206} 为普通 ^{206}Pb 占总 ^{206}Pb 的比例。

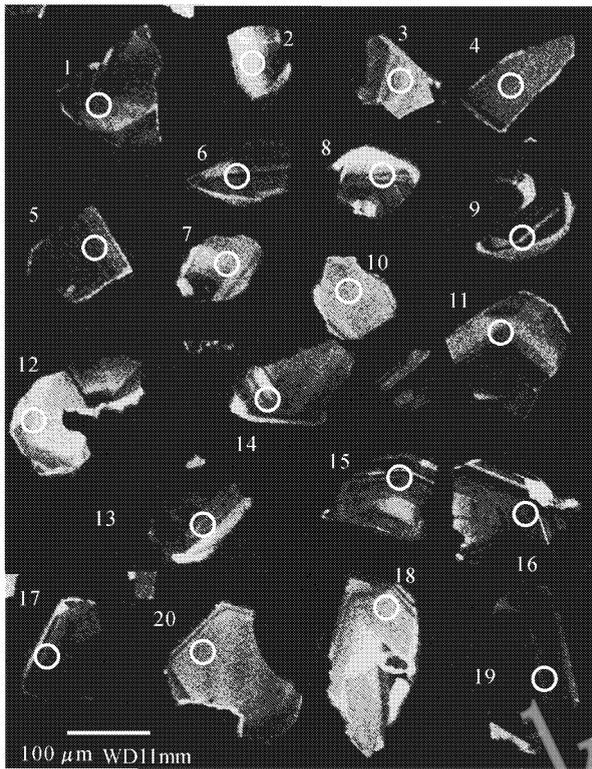


图 3 样品 XTT830 的锆石阴极发光 (CL) 图像

Fig. 3 Cathodoluminescence (CL) images of zircons from sample XTT830

如表 1 所示,所有测点的 Th/U 比值都小于 10, 显示出岩浆锆石的特征。样品中参与计算的 20 个锆石分析点的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 和 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 3 组加权平均年龄分别为 308 ± 21 Ma、 306.9 ± 3.3 Ma 和 306.2 ± 2.7 Ma, 在误差范围内完全一致, 说明该样品中锆石没有经历过后期热事件造成的放射成因 Pb 丢失。所有 U-Pb 年龄数据成群集中分布在谐和曲线上(图 4), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均值 306.2 ± 2.7 Ma 代表了特克斯辉长岩体的形成年龄。该年龄值与薛云兴等(2009)用锆石 SHRIMP 测定的结果(308.3 ± 1.8 Ma)在误差范围内是一致的。

4 地球化学特征

主量元素和微量元素分析均在中国科学院广州地球化学研究所同位素重点实验室完成,主量元素由 XRF(Rigaku100e 型 X-荧光光谱仪)测定,微量元素由 ICP-MS(PE Elan 6000 型)测定,前者分析精度优于 5%,后者优于 7%(绝大多数优于 3%),仪器的

工作条件和分析方法等见刘颖等(1996)。用于主量和微量元素分析的样品经粗碎再用碳化钨钵体磨成可过 200 目筛的粉末,每次换磨样品时,均先用自来水冲洗钵体并用酒精棉擦拭,以防止样品间相互污染。辉长岩样品主量元素和微量元素测得的结果见表 2。

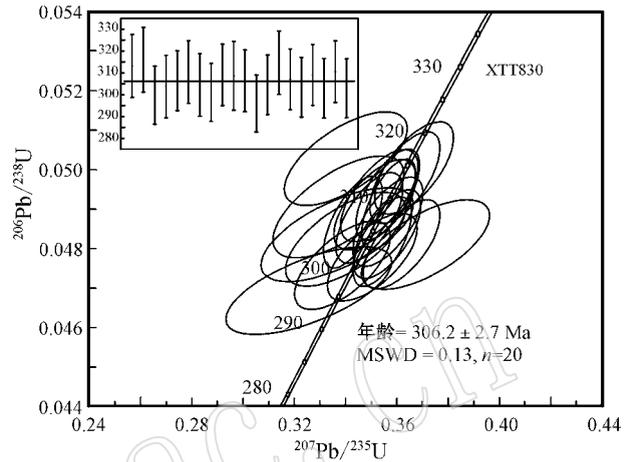


图 4 特克斯晚古生代辉长岩锆石 U-Pb 一致曲线

Fig. 4 U-Pb concordia diagram of zircon from Tekes Paleozoic gabbroic rocks

从表 2 中可以看出,样品中 SiO_2 含量变化范围为 44.49% ~ 48.46%,为基性-超基性岩。岩体 $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 总含量小于 4%(1.95% ~ 2.6%), Al_2O_3 和 CaO 的含量较高,并且呈较明显的正相关性。 P_2O_5 含量低, Mg 、 Fe 含量高,符合典型的钙碱性辉长质岩的化学组成特征。样品的 Mg 、 Fe 含量变化较大,岩体的 $\text{Mg}^\#$ 值($\text{MgO}/\text{MgO} + \text{FeO}^\text{T}$ 分子比, FeO^T 表示全铁)较高,平均值为 71.4 (68.4~74.1)。编号为 XTT827 和 XTT830 的两个橄长岩样品 SiO_2 含量小于 45%, MgO 大于 13%,这与镜下观察到的橄榄石堆晶的特征相符;其他样品的 Al 和 Ca 含量都较高,辉长岩和角闪辉长岩(编号为 XTT829、XTT835 和 XTT836)的 Al_2O_3 和 CaO 含量分别达到 20% 和 10% 以上,结合显微镜下观察到的矿物组合,这些地球化学特征显然与斜长石堆晶有关。

在 AFM 图解(图 5a)中,样品落于拉斑系列与钙碱性系列分界线附近的区域,可以看出岩体具有较明显 Fe 、 Mg 富集的趋势。用 $\text{FeO}^\text{I}/\text{MgO} - \text{SiO}_2$ 图解进一步区分,在图 5b 中可以清楚地看出该辉长质岩体岩浆具有拉斑玄武岩系列的特征。由 MgO 对其他主要氧化物协变图解(图 6)可以看出:橄长岩、橄榄辉长岩和角闪辉长岩三者的成分较为接近,而

表 2 西天山特克斯晚古生代辉长岩主量元素($w_B/\%$)
和微量元素($w_B/10^{-6}$)组成

Table 2 Major($w_B/\%$) and trace elements($w_B/10^{-6}$)
composition of Tekesi Paleozoic gabbroic rocks

	XTT827 橄长岩	XTT829 辉长岩	XTT830 橄长岩	XTT833 橄榄辉长岩	XTT835 辉长岩	XTT836 角闪辉长岩
SiO ₂	44.49	46.69	44.77	45.14	48.46	46.06
TiO ₂	0.63	0.30	0.63	0.80	0.38	0.64
Al ₂ O ₃	17.42	25.67	17.20	18.18	24.49	20.07
Fe ₂ O ₃ ^T	9.07	3.48	10.02	9.20	3.79	8.91
MnO	0.14	0.07	0.15	0.14	0.06	0.12
MgO	13.09	4.52	13.65	11.27	4.53	9.75
CaO	9.79	13.36	9.05	9.92	14.52	10.00
Na ₂ O	1.54	2.18	1.90	2.09	2.04	2.32
K ₂ O	0.41	0.26	0.27	0.46	0.24	0.28
P ₂ O ₅	0.12	0.06	0.09	0.15	0.04	0.12
LOI	3.21	3.33	2.13	2.53	1.28	1.58
Total	99.91	99.94	99.85	99.87	99.83	99.83
Mg [#]	74.1	72.1	73.0	70.8	70.3	68.4
Ba	55.35	85.11	97.25	97.25	73.03	73.03
Rb	7.48	13.54	20.72	20.72	6.69	6.69
Sr	785.00	400.60	426.10	426.10	483.80	483.80
Nb	0.67	1.17	1.76	1.76	1.61	1.61
Ta	0.06	0.09	0.13	0.13	0.14	0.14
Y	4.71	9.81	16.64	16.64	11.67	11.67
Zr	19.01	38.45	46.83	46.83	54.30	54.30
Hf	0.51	0.98	1.28	1.28	1.47	1.47
Pb	0.47	6.72	8.66	8.66	1.47	1.47
Th	0.16	0.17	0.25	0.25	0.32	0.32
U	0.07	0.06	0.07	0.07	0.11	0.11
Sc	7.19	15.07	16.89	16.89	10.80	10.80
Ti	1 536.90	3 204.10	3 817.50	3 817.50	3 179.60	3 179.60
V	44.12	102.70	143.40	143.40	124.70	124.70
Cr	103.70	204.20	173.40	173.40	51.39	51.39
Mn	493.30	1 186.50	1 065.20	1 065.20	1 012.80	1 012.80
Co	18.87	62.75	57.97	57.97	55.07	55.07
Ni	38.59	353.30	306.10	306.10	123.30	123.30
Cu	8.182	18.02	50.69	50.69	21.70	21.70
Zn	21.83	73.17	76.88	76.88	65.39	65.39
Ga	14.36	12.54	13.33	13.33	15.10	15.10
Ge	0.88	1.24	1.16	1.16	1.16	1.16
La	2.018	3.749	5.348	5.348	4.775	4.775
Ce	5.056	9.295	14.070	14.070	11.930	11.930
Pr	0.737	1.403	2.200	2.200	1.806	1.806
Nd	3.538	6.784	11.040	11.040	8.441	8.441
Sm	0.836	1.690	2.744	2.744	2.032	2.032
Eu	0.468	0.755	0.960	0.960	0.837	0.837
Gd	0.901	1.867	3.205	3.205	2.083	2.083
Tb	0.152	0.305	0.528	0.528	0.354	0.354
Dy	0.894	1.905	3.299	3.299	2.160	2.160
Ho	0.187	0.373	0.664	0.664	0.468	0.468
Er	0.525	1.012	1.814	1.814	1.282	1.282
Tm	0.073	0.142	0.259	0.259	0.187	0.187
Yb	0.460	0.937	1.575	1.575	1.192	1.192
Lu	0.067	0.148	0.225	0.225	0.187	0.187
∑REE	15.91	30.37	47.93	47.93	37.73	37.73
δEu	1.65	1.30	0.99	0.99	1.24	1.24
La/Nb	3.03	3.21	3.04	3.04	2.97	2.97
(La/Yb) _N	2.96	2.70	2.29	2.29	2.70	2.70
(La/Sm) _N	1.52	1.40	1.23	1.23	1.48	1.48
(Gd/Lu) _N	1.72	1.62	1.83	1.83	1.43	1.43

δEu = Eu_N / (Sm_N × Gd_N)^{1/2}, 其中 Eu_N, Sm_N, Gd_N 为球粒陨石标准化值, 标准化数据引自 Boynton (1984)。

辉长岩与它们的成分差异较大。其中 TiO₂、Fe₂O₃ 与 MgO 具有正相关性, SiO₂、Al₂O₃、CaO、Na₂O 与 MgO 具负相关性, P₂O₅ 和 K₂O 对 MgO 的相关性较弱, 反映出镁铁矿物(橄榄石、辉石、角闪石等)和斜长石等在岩浆分异演化中起着重要作用, 岩浆早期经历了分离结晶作用, 橄榄石和斜长石最早晶出并形成堆晶。

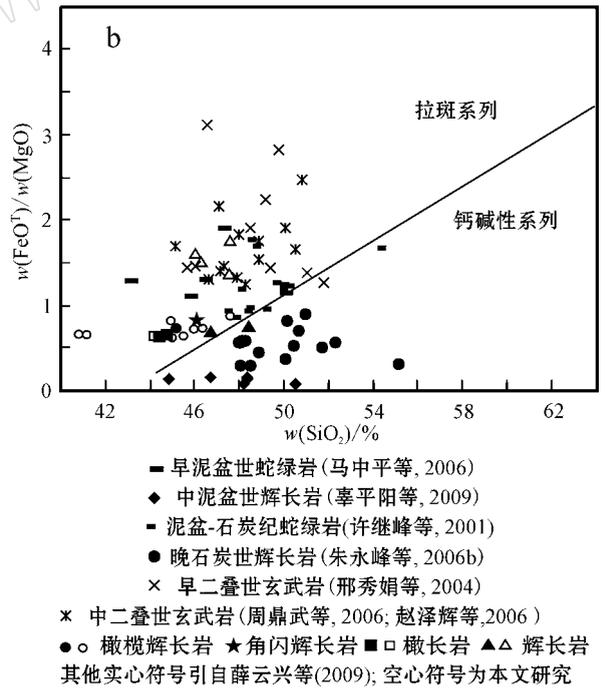
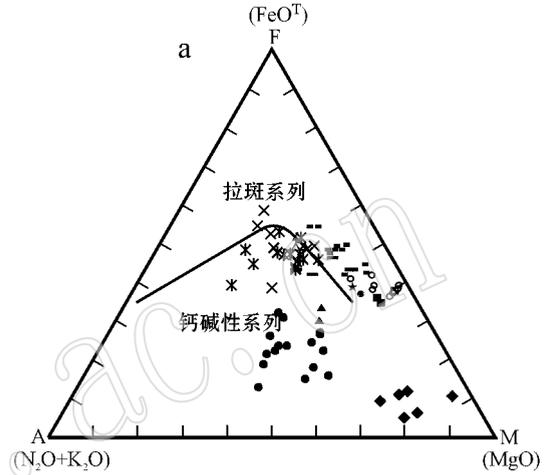


图 5 特克斯辉长岩 AFM(a)与 FeO^T/MgO - SiO₂(b)图解
Fig. 5 AFM(a) and FeO^T/MgO - SiO₂(b) diagram of Tekes Paleozoic gabbroic rocks

全岩微量元素表现出 Rb、Ba、K、Sr 等大离子亲石元素富集, Nb、Ta、Ti 等高场强元素较为亏损的分布模式(图 7a), 和那拉提断裂带附近的普布拉克基

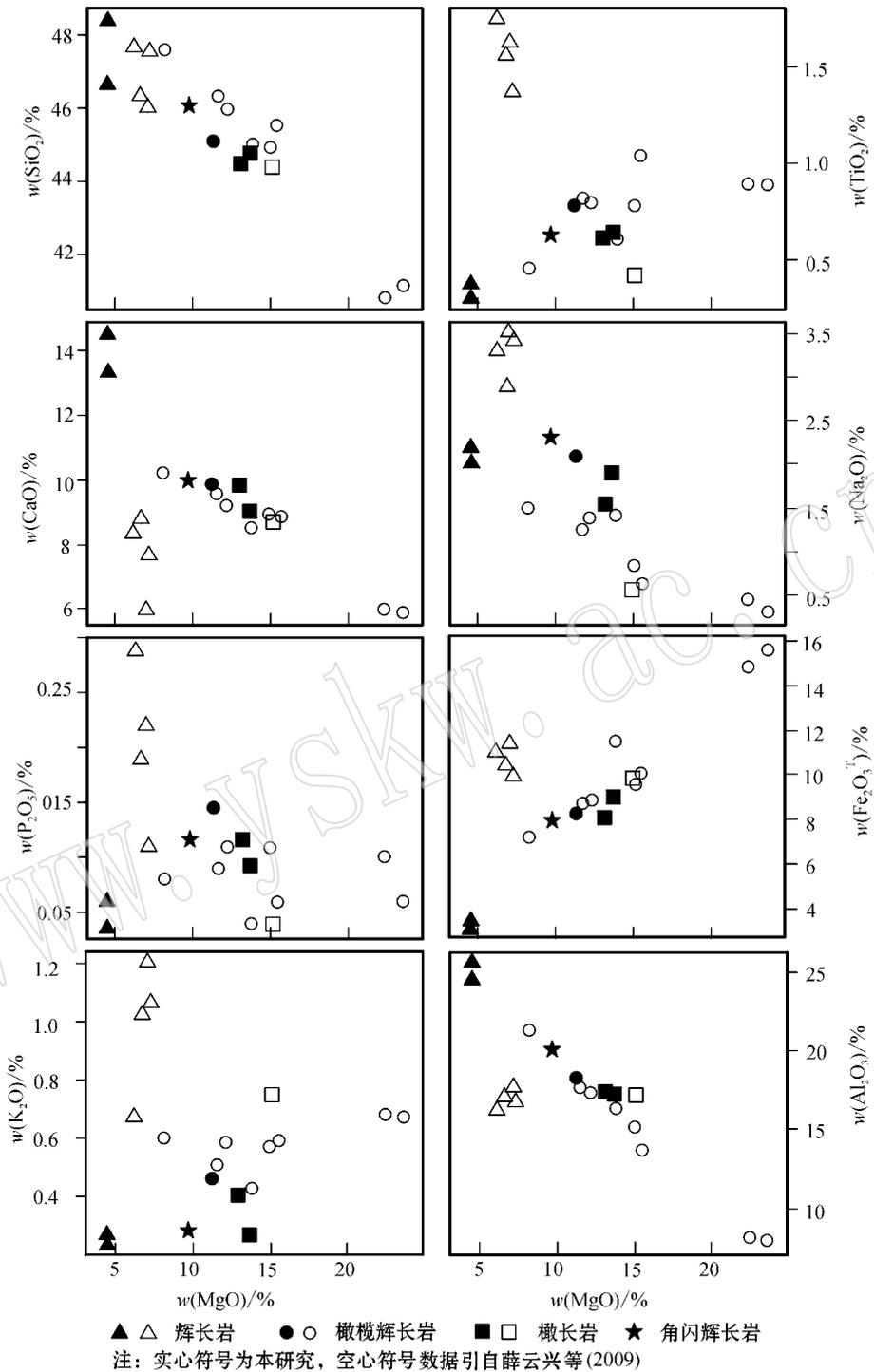


图 6 特克斯辉长质岩主要氧化物含量与 MgO 含量的协变图解

Fig. 6 Covariant diagram of main oxides versus MgO for Tekes Paleozoic gabbroic rocks

性杂岩体相似(张作衡等, 2006; Yang and Zhou, 2009), 反映出一定的弧火成岩组分特征。岩体的 Cr、Mn、Ni、V 含量较高, Pb 富集明显, 反映出流体交代幔源成分的特征。另外岩体具有强烈的 Th 负

异常, 而大陆环境和弧体系形成的基性岩体都是富集 Th 的, 只有下地壳岩石亏损 Th 元素(薛云兴等, 2009), 因此岩浆活动过程中可能同化混染了下地壳物质。

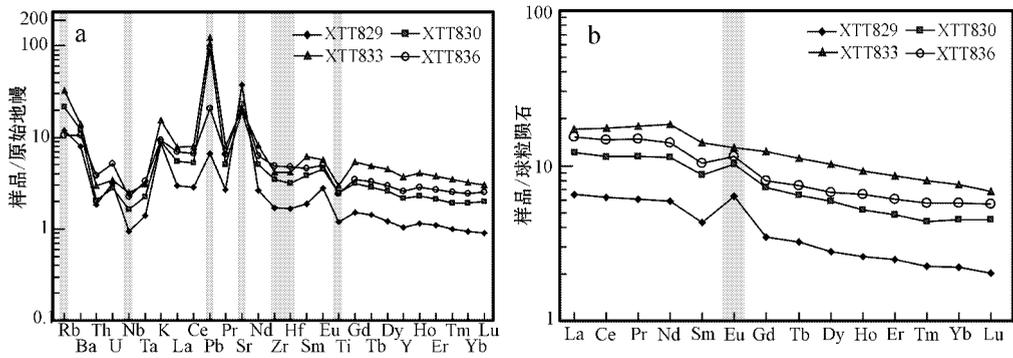


图 7 特克斯晚古生代辉长岩的微量元素原始地幔标准化蛛网图(a, 原始地幔数据引自 Sun and McDonough, 1989)和球粒陨石标准化稀土元素配分模式图(b, 球粒陨石数据引自 Boynton, 1984)

Fig. 7 Primitive mantle normalized trace elements patterns(a, primitive mantle values from Sun and McDonough, 1989) and chondrite-normalized REE patterns(b, chondrite values from Boynton, 1984) of Tekes Paleozoic gabbroic rocks

从表 2 中可以看出, 样品稀土元素总量较低, $\sum \text{REE}$ 范围为 $15.91 \times 10^{-6} \sim 47.93 \times 10^{-6}$ 。 $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 范围为 $1.23 \sim 1.52$ ($\text{Gd}/\text{Lu})_N$ 范围是 $1.43 \sim 1.83$, 显示其轻、重稀土元素分异较弱 ($\text{La}/\text{Yb})_N$ 比值为 $2.29 \sim 2.96$, 轻稀土元素相对稍有富集。稀土元素配分模式见图 7b, 表现出较为平坦的分布特征。Eu 具有较明显的正异常(除了一个橄榄辉长岩样品的 $\delta \text{Eu} = 0.99$, 其他 $\delta \text{Eu} = 1.24 \sim 1.65$), 这可能是由于岩体中发生的斜长石堆晶所致。

5 岩石形成构造环境讨论

前人对哈拉达拉岩体的成因和含矿特征等有所论述(如林锦富等, 1996; 张云孝等, 2000; 薛云兴等, 2009), 其中薛云兴等(2009)对哈拉达拉岩体进行了较为详细的岩石学、地球化学和年代学研究, 认为其岩浆源区为含角闪石的尖晶石二辉橄榄岩, 岩浆作用过程中受到了俯冲带流体的交代富集。本文综合岩石地球化学特征和区域构造演化、岩石组合特征以及一些年代学资料, 侧重讨论岩石形成的构造背景。

张云孝等(2000)曾认为哈拉达拉岩体形成于裂谷环境, 然而研究区内的岩体为亚碱性(岩浆系列为拉斑玄武岩系列), 其 K、Na 含量较低, Al、Ca 含量较高, 与裂谷带发育碱性岩石系列和双峰式火山岩不符。前文在微量元素特征分析中表明, 该岩体反应出一定的俯冲带岛弧岩浆特征。比如岩体明显富集 Rb、Ba、Sr 等大离子亲石元素, Y 和 Ti 都显示出负异常, Nb、Ta、Zr、Hf 等也表现出不同程度的亏损, 这与研究区东南部俯冲成因的菁布拉克基性杂岩体

特征比较相似(张作衡等, 2006; Yang and Zhou, 2009)。另外其 La/Nb 比值均大于 1.4 ($\text{La}/\text{Nb} = 2.97 \sim 3.21$) 也反映了岩体具弧环境成因特征(Condie, 1999; 赵振华, 2007)表明岩体具有消减板片流体交代的地幔楔源区部分熔融成因的组分。然而, 岩石地球化学特征对于限定其形成构造环境具有很大局限性, 另外考虑到堆晶岩微量元素构造判别图的限制(赵振华, 2007), 需要结合岩石地球化学特征和区域构造演化、岩石组合特征以及一些年代学资料综合讨论。

一般来说, 在洋壳俯冲时俯冲带靠近大洋的一侧通常形成拉斑系列的岩浆, 大陆方向一侧形成高铝和碱性岩浆。后碰撞是指洋壳俯冲完毕主碰撞之后的碰撞作用, 通常开始于陆内环境, 伴随大陆块体的水平走滑剪切等伸展作用。后碰撞岩浆作用一个重要特点是富钾, 通常最为发育高钾钙碱性岩浆系列和少量橄榄玄粗岩系列(赵振华, 2007)。对比新疆北部不同时代和构造背景下的辉长质岩和玄武岩(图 5), 研究区样品的岩浆特征与俯冲带和碰撞后的岩浆特征都不相同。

在用 K_2O 对 SiO_2 图解对岩体做进一步分析时, 发现样品分布显示出岩浆在演化时由低钾拉斑系列向钙碱性系列和高钾钙碱性系列演化(图 8)。从图 8 中可以看出, 新疆北部二叠纪板内拉张环境的玄武岩(邢秀娟等, 2004; 周鼎武等, 2006; 赵泽辉等, 2006)和中天山晚石炭世后碰撞辉长岩(朱永峰等, 2006b)主要分布于钙碱性-高钾钙碱性系列区内; 中泥盆世达尔布特蛇绿岩中辉长岩(辜平阳等, 2009)主要位于低钾拉斑系列区内; 泥盆纪弧后盆地蛇绿

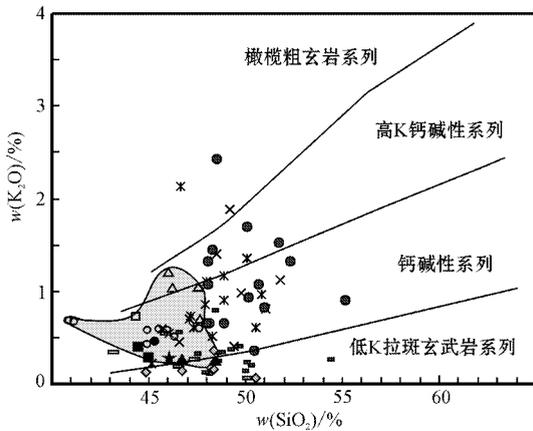


图 8 特克斯晚古生代辉长岩 K_2O-SiO_2 图解
(图例和数据来源同图 5)

Fig. 8 K_2O-SiO_2 diagram of Tekes Paleozoic gabbroic rocks (symbols and data source as for Fig. 5)

岩中的基性-超基性岩分布于低钾拉斑-钙碱性系列范围,这种弧后盆地兼具俯冲带弧环境和板内拉张环境的双重特征(许继峰等,2001;马中等,2006),因此岩浆作用过程中卷入两种组分。哈拉达拉岩体具有从低钾拉斑玄武岩系列向钙碱性-高钾钙碱性系列演化的趋势,较类似于弧后盆地蛇绿岩的特征,暗示可能也卷入了两种组分,即俯冲带弧环境和后碰撞拉伸环境的岩浆成因特征。因此上述特征可能暗示了岩体岩浆作用形成于挤压碰撞向陆内走滑伸展环境演变的过渡阶段。

另外在区域构造背景方面,大量的岩石学和年代学研究表明,古生代以来,伊犁板块南、北的洋盆分别开始向伊犁板块俯冲消减,在晚石炭世末和早二叠世初,西天山构造格架演化发生了重大转折,即由俯冲、碰撞造山的挤压作用转向后碰撞的走滑、伸展作用(杨树德,1994;何国琦等,1994,1995;高俊等,1997;Gao *et al.*,2009)。位于伊犁板块南、北的古南天山洋和准噶尔洋可能最早于早奥陶世就开始向南俯冲,与俯冲、碰撞陆(岛)弧有关的火成岩和蛇绿岩组合记录了洋盆活动的时代(比如温泉与岛弧环境有关的斜长角闪岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 451~455 Ma(胡霭琴等,2008),昭苏南部的弧环境花岗岩类锆石 LAICPMS 年龄为 401~479 Ma(Gao *et al.*,2009)等。西天山出露多条蛇绿混杂岩带,巴音沟蛇绿岩形成年龄为 325~344 Ma(徐学义等,2005,2006),库勒湖蛇绿岩辉长岩锆石 SHRIMP 年龄为 425 ± 8 Ma(龙灵利等,2006),西南天山长阿吾

子蛇绿岩年龄为 439 Ma 左右(郝杰等,1993),榆树沟蛇绿岩体锆石 SHRIMP 年龄为 390~392 Ma(周鼎武等,2004)。进入石炭纪以后,洋壳俯冲和板块碰撞作用造成西天山大规模的岩浆活动,这些将在下面列表讨论。从奥陶纪到石炭纪,伊犁-中天山板块南、北的古洋盆可能分别持续向伊犁-中天山板块俯冲。北面的准噶尔洋可能关闭于早石炭世末(高俊等,1997),而位于伊犁-中天山板块与塔里木板块之间的古南天山洋可能于石炭纪末期闭合,缝合带标志为沿图拉苏-那拉提山南缘断裂带分布的蛇绿岩和双变质带(成守德等,1998;李锦轶等,2006;Gao *et al.*,1998,2009)。二叠纪以来,西天山大地构造演化进入后碰撞阶段,发育了大量陆内拉张作用和底侵岩浆活动形成的火成岩(李华芹等,1998;赵振华等,2003;高俊等,2009)。

伴随着构造格架演化的转变,伊犁板块南北缘发生了大规模的火山作用与岩浆活动,在博罗科努山南坡、阿吾拉勒-伊什基里克山一带、特克斯南部大哈拉军山和那拉提以北,均广泛分布着石炭纪—二叠纪的火成岩。众多学者对伊犁-中天山一带出露的晚古生代火成岩开展了较为详细的岩石学、地球化学、同位素年代学和成岩构造背景等综合性研究(如肖文交等,2006;高俊等,2009;Gao *et al.*,2009;Xiao *et al.*,2009;Zhu *et al.*,2009)。本文收集了该区部分岩石学和年代学资料(见表 3),按由西向东和由北向南的方位排列:伊宁-特克斯一带以北为伊犁板块北部分,以南为伊犁板块南部分,中天山一带主要反映从玉希莫勒盖到巴伦台一带出露的岩体。岩石年龄资料主要集中在晚古生代(石炭—二叠纪),以重点突出构造转折前后岩石组合及地球化学特征的差别。

从表 3 中可以看出,位于伊犁板块的火成岩按成岩背景、成岩年龄和岩石组合,可划分为两个范围:一个是 $>400 \sim 313$ Ma,从早中古生代—晚石炭世,岩石组合主要为钙碱性系列的玄武岩、玄武安山岩、花岗岩类等,许多研究表明这些岩石主要形成于与洋壳俯冲有关的岛弧和(或)大陆边缘弧环境;另一个是 248~293 Ma,集中在二叠纪—早三叠世初期,这些岩石主要是碱性、偏碱性和高钾钙碱性的花岗岩类组成,形成于陆内岩浆活动(详见表 3 中列出的参考文献)。中天山一带岩石组合和年代学资料表明,塔里木板块北缘和伊犁-中天山板块南缘可能在 340~350 Ma 左右就已经开始碰撞,到 316 Ma 时,

表 3 伊型_中天山板块晚古生代火成岩年龄资料

Table 3 Isotope ages of late Paleozoic igneous rocks in Yili area

位置	岩石	年龄 (Ma)	测试方法	特征	资料来源
阿拉套	埃达克岩	320 ± 1.2	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 坪年龄	中高钾钙碱性, 俯冲型	赵振华等(2006)
阿拉套	富 Nb 玄武岩	318.9 ± 2.2	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 坪年龄	与俯冲型埃达克岩伴生	赵振华等(2006)
达巴特	流纹斑岩	315.9 ± 5.9	锆石 SHRIMP U-Pb	岛弧型陆相火山岩	张作衡等(2008)
达巴特	花岗斑岩	278.7 ± 5.7	锆石 SHRIMP U-Pb	板内裂谷拉伸的产物	张作衡等(2008)
吐拉苏盆地	流纹岩	386.4 ± 9.3	锆石 SHRIMP U-Pb	岛(陆缘)弧火山岩	安芳等(2008)
阿希	辉石安山岩	325.1 ± 0.6	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	岛弧环境	李华芹等(1998)
阿希	辉石安山岩	345.9 ± 9	Rb-Sr 全岩	同上	李华芹等(1998)
阿希	石英安山岩	363.2 ± 5.7	锆石 SHRIMP U-Pb	大哈拉军山组陆相火山岩	翟伟等(2006)
科克苏河北	花岗质岩	313~341	锆石 LAICPMS U-Pb	与俯冲有关的高弧岩浆系列	王博等(2007)
新源南	玄武岩	353.7 ± 4.5	锆石 SHRIMP U-Pb	高弧钙碱性	朱永峰等(2005)
新源	玄武安山岩-玄武岩	352~355	锆石 SHRIMP U-Pb	弧岩浆系列	Zhu 等(2009)
特克斯林场	辉长斑岩	326.85 ± 15	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 等时线	大哈拉军山组岛弧钙碱性系列	刘友梅等(1994)
特克斯达坂	花岗闪长斑岩	347 ± 3	Rb-Sr 等时线	为埃达克岩, 岛弧钙碱性	李永军等(2007)
特克斯达坂	玄武安山岩	361.3 ± 5.9	锆石 SHRIMP U-Pb	弧岩浆系列	Zhu 等(2009)
特克斯达坂	其那尔萨依序列火成岩	293 ± 3	Rb-Sr 等时线	板内碱性系列	李永军等(2007)
科克苏河	石英正长岩	275 ± 3	锆石 LA-ICPMS U-Pb	高钾钙碱性	Gao 等(2009)
科克苏河	花岗岩类	349~433	锆石 SHRIMP 和 LAICPMS	大陆弧岩浆	Gao 等(2009)
阿吾拉勒	大哈拉军山组火山岩	337	Rb-Sr 全岩	近陆缘岛弧亚碱性	李柱苍等(2006)
阿吾拉勒	玄武岩-玄武安山岩、流纹岩、橄榄玄粗岩等	260~290	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 坪年龄	后碰撞阶段产物	赵振华等(2003)
阿吾拉勒	石英钠长斑岩	259.5 ± 0.5	锆石 LA-ICPMS U-Pb	底侵型埃达克岩	Zhao 等(2008)
莫斯早特	石英钠长斑岩	268 ± 5	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 坪年龄	埃达克岩, 后碰撞阶段产物	赵振华等(2004)
莫斯早特	石英钠长斑岩	248 ± 12	Rb-Sr 全岩	高碱, 高 K 钙碱性	李华芹等(1998)
莫斯早特	埃达克岩	254.5	K-Ar	底侵型埃达克岩	赵振华等(2006)
昭苏南部	花岗岩类	401~479	锆石 LAICPMS U-Pb	大陆弧岩浆	Gao 等(2009)
塔里木北缘	花岗岩类	266.5~273	单颗粒锆石 U-Pb	碱性-偏碱性岩, 拉张环境	刘楚雄等(2004)
玉希莫勒盖	流纹岩	316 ± 2.5	锆石 SHRIMP U-Pb	弧岩浆系列	Zhu 等(2009)
四棵树一	花岗闪长岩	315.9 ± 2.5	锆石 SHRIMP U-Pb	切穿“北天山缝合线”可能代表碰撞结束	Han 等(2010)
巴音沟	高 Mg 安山岩	332.7 ± 6.65	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 等时线	Mg# 高, Al 变化大, K 偶尔大于 Na	王强等(2006)
巴音沟	辉长岩	344.0 ± 3.4	锆石 LA-ICPMS U-Pb	蛇绿岩带中	徐学义等(2006)
巴音沟	斜长花岗岩	342.8 ± 7.1	锆石 SHRIMP U-Pb	侵入于蛇绿岩堆晶辉长岩中	徐学义等(2005)
拉尔敦	相面安山岩	324 ± 4.9	锆石 SHRIMP U-Pb	弧岩浆系列	Zhu 等(2009)
拉尔敦	相面安山岩	312.8 ± 4.2	锆石 SHRIMP U-Pb	岛弧钙碱性	朱永峰等(2005)
骆驼沟	富 Nb 玄武岩	311.89 ± 0.65	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 坪年龄	准-过铝质, 碱性系列	王强等(2006)
骆驼沟	辉长岩	321 ± 10	Rb-Sr 等时线	钙碱性系列, 可能处于后碰撞阶段	朱永峰等(2006b)
巴伦台北	二云母花岗岩	348.9 ± 0.3	白云母 ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 坪年龄	碰撞花岗岩	蔡东升等(1996)

中天山

碰撞可能已经结束,中天山进入后碰撞演化环境(蔡东升等,1996;Han *et al.*,2010)。事实上,研究发现塔里木北缘与伊犁-中天山的碰撞并不是同时进行的,板块碰撞运动学的横向不均一性,使塔里木与伊犁-中天山板块的碰撞从东向西扩展,具有东早西晚的特征(朱永峰等,2006c)。石炭纪中天山南部先碰撞,此后,塔里木板块向北漂移的同时伴随近 90° 的顺时针旋转,将南天山残存的西向开口的海盆关闭(蔡东升等,1996),而古南天山洋完全俯冲完毕可能持续到晚石炭世末期,西天山广泛分布的大哈拉军山组火成岩代表了俯冲作用所形成的火山岛弧(朱永峰等,2005)。因此,当晚石炭中天山一带进入碰撞-后碰撞环境时(朱永峰等,2006b,2006c;Han *et al.*,2010),伊犁板块和塔里木北缘之间的古南天山洋可能还没有完全闭合。

在区域构造上,整个中晚古生代古南天山洋可能断断续续地向北面的伊犁板块持续俯冲到晚石炭世末期。由于板块运动的横向不均一性,中天山南缘与塔里木板块北缘先拼合,古南天山洋此时可能还没有完全闭合,至少在 313 Ma 时西天山特克斯到温泉一带还没有进入碰撞作用阶段(王博等,2007)。而在 248~293 Ma(中天山一带可能提早到~320 Ma)之间,伊犁-中天板块广泛发育碱性-偏碱性和高钾钙碱性的火成岩类(赵振华等,2003;Zhao *et al.*,2008),形成于后碰撞走滑、伸展的构造环境(表 3)。笔者认为,西天山在晚石炭世到早二叠世,特别是在 293~313 Ma 之间,伊犁板块正处于由俯冲、碰撞向后碰撞转折的构造演化过渡阶段。

本文对哈拉达拉岩体的 SIMS 锆石 U-Pb 定年得到成岩时代为 306 Ma,这与薛云兴等(2009)用锆石 SHRIMP 测定的结果 308 Ma 在误差范围内是一致的,这暗示了晚石炭世末期特克斯地区正处于西天山大地构造演化的转折期,哈拉达拉岩体可能形成于碰撞挤压环境向陆内拉张环境转变的过渡阶段,而岩体特殊的地球化学组成正是这个时期岩浆活动的特征。

6 结论

(1) 特克斯晚古生代辉长质岩主要由橄长岩、橄辉长岩、角闪辉长岩和辉长岩组成,岩石具有较高的 $Mg^{\#}$ 和 Cr、Ni 含量,富集 Rb、Ba、Sr 等大离子亲石元素,亏损 Nb、Ta、Ti 等高场强元素,Th 明显负

异常,岩浆演化从低钾拉斑系列到高钾钙碱性系列连续变化,反应出岩浆形成和演化经历了复杂的地质作用。岩浆在结晶过程中发生了橄榄石与斜长石的堆晶作用,斜长石堆晶造成明显的正 Eu 异常。

(2) 西天山大地构造演化、岩石组合及岩石年代学资料显示,西天山伊犁板块在 293~313Ma 之间,正处于由俯冲、碰撞向后碰撞转折的构造演化转折期。本研究通过 SIMS 锆石 U-Pb 定年获得哈拉达拉岩体的形成年龄为 $306.2 \text{ Ma} \pm 2.7 \text{ Ma}$,认为该辉长质岩体形成于西天山构造体制转折的过渡阶段,其地球化学特征反应了构造体制转折期复杂的岩浆活动。

(3) 西天山地区在石炭纪到二叠纪大地构造背景上经历了由俯冲、碰撞造山向后碰撞陆内伸展、拉张作用的转变,地质作用方式极其复杂,特克斯晚古生代辉长岩的研究提供了西天山大地构造格架演化转折期岩浆活动的证据。

致谢 感谢两名评审人朱永峰教授和高俊研究员对本文提出了详细的修改意见,帮助作者提高了本文的论证。

References

- An Fang and Zhu Yongfeng. 2008. Study on trace elements geochemistry and SHRIMP chronology of volcanic rocks in Tulasu Basin, Northwest Tianshan[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(12): 2741~2748 (in Chinese with English abstract).
- Boynton W V. 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies[A]. Henderson P. *Rare Earth Element Geochemistry* [C]. Elsevier: 63~114.
- Cai Dongsheng, Lu Huaifu, Jia Dong, *et al.* 1996. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the ophiolite melange in southern Tianshan and the mylonite in the southern rim of Center Tianshan and their tectonic significance[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 31(4): 384~390 (in Chinese with English abstract).
- Chen C, Lu H F, Jiang D, *et al.* 1999. Closing history of the Tianshan oceanic basin, western China: an oblique collisional orogeny[J]. *Tectonophysics*, 302: 23~40.
- Chen Zhefu. 2004. Problems relating to opening-closing tectonics and metallogenesis in Xinjiang[J]. *Geological Bulletin of China*, 23(3): 214~221 (in Chinese with English abstract).
- Chen Zhefu, Xu Xin and Liang Yunhai. 1993. The basic features of the accordion-style opening-closing evolution of structures in Xingjiang[J]. *Regional Geology of China*, (1): 45~48 (in Chinese with English abstract).

- Cheng Shoude and Wang Yuanlong. 1998. Basic characteristics of geotectonic evolution of Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 16(2): 97~107(in Chinese with English abstract).
- Condie K C. 1999. Mafic crustal xenoliths and the origin of the lower continental crust[J]. Lithos, 46 : 95~101.
- Gao Jipu, Li Xianzi, Yang Hequn, *et al.* 1991. A study on the geological characteristics and ore-finding prospects of Tekesi basic body in Xinjiang[J]. Northwest Geoscience, (3): 131~143(in Chinese with English abstract).
- Gao Jun, He Guoqi and Li Maosong. 1997. Paleozoic orogenic processes of western Tianshan orogen[J]. Earth Science, 22(1): 27~33(in Chinese with English abstract).
- Gao J, Li M S, He G Q, *et al.* 1998. Paleozoic tectonic evolution of the Tianshan Orogen, northwestern China[J]. Tectonophysics, 287 : 213~231.
- Gao J, Long LL, Klemm R, *et al.* 2009. Tectonic evolution of the South Tianshan Orogen, NW China: geochemical and age constraints of granitoid rocks[J]. International Journal of Earth Sciences, 98 : 1 221~1 238.
- Gao Jun, Qian Qing, Long Lingli, *et al.* 2009. Accretionary orogenic process of Western Tianshan, China[J]. Geological Bulletin of China, 28(12): 1 804~1 816(in Chinese with English abstract).
- Gu Pingyang, Li Yongjun, Zhang Bing, *et al.* 2009. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of gabbro in the Darbut ophiolite, western Junggar, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 25(6): 1 364~1 372(in Chinese with English abstract).
- Hao Jie and Liu Xiaohan. 1993. Ophiolite mélangé time and tectonic evolutionary model in south Tianshan area[J]. Scientia Geologica Sinica, 28(1): 93~95(in Chinese with English abstract).
- Han B F, Guo Z J, Zhang Z C, *et al.* 2010. Age, geochemistry, and tectonic implications of a late Paleozoic stitching pluton in the North Tian Shan suture zone, western China[J]. Geological Society of American Bulletin, 122 : 627~640.
- He Guoqi, Li Maosong, Liu Dequan, *et al.* 1994. Paleozoic Crustal Evolution and Mineralization in Xinjiang of China[M]. Xinjiang People's Publishing House, 1~430(in Chinese with English abstract).
- He Guoqi, Lu Shuning and Li Maosong. 1995. Tectonic significance of large fault systems to the study of Paleo-plates[J]. Geological Journal of Universities, 1 : 1~10(in Chinese with English abstract).
- Hu Aiqin, Wei Gangjian, Zhang Jibin, *et al.* 2008. SHRIMP U-Pb ages for zircons of the amphibolites and tectonic evolution significance from the Wenquan domain in the West Tianshan Mountains, Xinjiang, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 24(12): 2 731~2 740(in Chinese with English abstract).
- Hong D W, Zhang J S, Wang T, *et al.* 2004. Continental crust growth and the supercontinental cycle: evidence from the Central Asian Orogenic Belt[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 23(5): 799~813.
- Li Huaqin, Xie Caifu, Chang Hailiang, *et al.* 1998. Study on Metallogenic Chronology of Nonferrous and Precious Metallic Ore Deposits in Northern Xinjiang, China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~206(in Chinese with English abstract).
- Li Jinyi, Wang Kezhao, Li Yaping, *et al.* 2006. Geomorphological features, crustal composition and geological evolution of the Tianshan Mountains[J]. Geological Bulletin of China, 25(8): 895~909(in Chinese with English abstract).
- Li Jinyi and Xiao Xuchang. 1999. Brief reviews on some issues of framework and tectonic evolution of Xinjiang crust, NW China[J]. Scientia Geologica Sinica, 34(4): 405~419(in Chinese with English abstract).
- Li Xianhua, Li Wuxian, Wang Xuance, *et al.* 2009. Role of mantle-derived magma in genesis of early Yanshanian granites in the Nanling Range, South China: in situ zircon Hf-O isotopic constraints[J]. Sci. China Ser. D-Earth Sci., 39(7): 872~887(in Chinese with English abstract).
- Li X H, Liu Y, Li Q L, *et al.* 2009. Precise determination of Phanerozoic zircon Pb/Pb age by multicollector SIMS without external standardization[J]. Geochem. Geophys. Geosyst., 10, Q04010, doi: 10.1029/2009GC002400.
- Li Yongjun, Pang Zhenjia, Luan Xindong, *et al.* 2007. Disintegration of Tekesidaban granitic batholith and its significance for Mo prospecting, western Tianshan mountain[J]. Geotectonica et Metallogenia, 31(4): 435~440(in Chinese with English abstract).
- Li Zhucang, Li Yongjun, Li Jinghong, *et al.* 2006. Geochemical characteristics of the Dahalajunshan formation volcanic rocks and their implications on the tectonic setting in Awulale area[J]. Xinjiang Geology, 24(2): 120~124(in Chinese with English abstract).
- Lin Jinfu and Deng Yanhua. 1996. Characteristics of the magnetite veins in Haladala gabbro massif in Xinjiang and their geological significance[J]. Mineral Resources and Geology, 10(53): 165~171(in Chinese with English abstract).
- Liu Chuxiong, Xu Baoliang, Zou Tianren, *et al.* 2004. Petrochemistry and tectonic significance of Hercynian alkaline rocks along the northern margin of the Tarim platform and its adjacent area[J]. Xinjiang Geology, 22(1): 43~49(in Chinese with English abstract).
- Liu Jing, Li Yongjun, Wang Xiaogang, *et al.* 2006. Geochemical characteristics and tectonic environment of the Yishijilike formation volcanic rocks in the Awulale area of western Tianshan[J]. Xinjiang Geology, 24(2): 105~108(in Chinese with English abstract).
- Liu Ying, Liu Haichen, Li Xianhua, *et al.* 1996. Simultaneous and precise determination of 40 trace element in rock samples using ICP-MS[J]. Geochimica, 25(6): 552~558(in Chinese with English abstract).
- Liu Youmei, Yang Weihua and Gao Jiayuan. 1994. Study on isotopic age of Dahalajunshan formation in Tekesi forestry of Xinjiang[J]. Geochimica, 23 : 99~104(in Chinese with English abstract).
- Long Lingli, Gao Jun, Qian Qing, *et al.* 2008. Geochemical characteristics and tectonic settings of Carboniferous volcanic rocks from Yili region, western Tianshan[J]. Acta Petrologica Sinica, 24(4): 699~710(in Chinese with English abstract).

- Long Lingli, Gao Jun, Xiong Xianming, *et al.* 2006. The geochemical characteristics and the age of the Kule Lake ophiolite in the southern Tianshan [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 65 ~ 73(in Chinese with English abstract).
- Ma Zhongping, Xia Linqi, Xu Xueyi, *et al.* 2006. Geochemical characteristics of basalts: evidence for the tectonic setting and geological significance of Kulehu ophiolite, South Tianshan Mountains [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 25(5): 387 ~ 400(in Chinese with English abstract).
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and process [A]. Sauder A D and Norry M J. *Magmatism in the Ocean Basins* [C]. *Geol. Soc. Spe. Pub.*, 42: 313 ~ 345.
- Wang Bo, Shu Liangshu, Faure M, *et al.* 2007. Paleozoic tectonism and magmatism of Kekesu-Qiongkushitai section in southwestern Chinese Tianshan and their constraints on the age of the orogeny [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(6): 1 354 ~ 1 368(in Chinese with English abstract).
- Wang Q, Zhao Z H, Bai ZH, *et al.* 2003. Carboniferous adakites and Nb-enriched arc basaltic rocks association in the Alataw Mountains, north Xinjiang: interactions between slab melt and mantle peridotite and implications for crustal growth [J]. *China Science Bulletin*, 48: 2 108 ~ 2 115.
- Wang Qiang, Zhao Zhenhua, Xu Jifeng, *et al.* 2006. Carboniferous adakite-high-Mg andesite-Nb-enriched basaltic rock suites in the Northern Tianshan area: Implications for Phanerozoic crustal growth in the Central Asia Orogenic Belt and Cu-Au mineralization [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 11 ~ 30(in Chinese with English abstract).
- Whitehouse M J, Claesson S, Sunde T, *et al.* 1997. Ion-microprobe U-Pb zircon geochronology and correlation of Archaean gneisses from the Lewisian Complex of Gruinard Bay, north-west Scotland [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 61: 4 429 ~ 4 438.
- Wiedenbeck M, Alle P, Corfu F, *et al.* 1995. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace-element and REE analyses [J]. *Geostandards Newsletter*, 19: 1 ~ 23.
- Xiao Wenjiao, Han Chunming, Yuan Chao, *et al.* 2006. Unique Carboniferous-Permian tectonic-metallogenic framework of Northern Xinjiang (NW China): Constraints for the tectonics of the southern Paleasian Domain [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1 062 ~ 1 076(in Chinese with English abstract).
- Xiao W J, Windley B F, Badarch G, *et al.* 2004a. Palaeozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altai: implications for the lateral growth of Central Asia [J]. *Journal of the Geological Society, London*, 161: 339 ~ 342.
- Xiao W J, Windley B F, Huang B C, *et al.* 2009. End-Permian to mid-Triassic termination of the accretionary processes of the southern Altai: implications for the geodynamic evolution, Phanerozoic continental growth, and metallogeny of Central Asia [J]. *International Journal of Earth Sciences*, 98: 1 189 ~ 1 217.
- Xiao W J, Zhang L C, Qin Z, *et al.* 2004b. Paleozoic accretionary and collisional tectonics of the Eastern Tianshan (China): Implications for the continental growth of central Asia [J]. *American Journal of Science*, 304: 370 ~ 395.
- Xing Xiujian, Zhou Dingwu, Liu Yiqun, *et al.* 2004. Geochemistry of Early Permian volcanic rocks and their tectonics from the Turpan-Hami basin, Xinjiang [J]. *Xinjiang Geology*, 22(1): 50 ~ 55(in Chinese with English abstract).
- Xiong Xiaolin, Zhao Zhenhua, Bai Zhenghua, *et al.* 2001. Origin of Awulale adakitic sodium-rich rocks in western Tianshan: Constraints for Nd and Sr isotopic compositions [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 17(4): 514 ~ 522(in Chinese with English abstract).
- Xiong Xiaolin, Cai Zhiyong, Niu Hecai, *et al.* 2005. The late Paleozoic adakites in eastern Tianshan area and their metallogenetic significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(3): 967 ~ 976(in Chinese with English abstract).
- Xu Jifeng, Chen Fanrong, Yu Xueyuan, *et al.* 2001. Kuerti ophiolite in Altay area of North Xinjiang: magmatism of an ancient back-arc basin [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 20(3): 344 ~ 352(in Chinese with English abstract).
- Xu Xueyi, Li Xiangmin, Ma Zhongping, *et al.* 2006. La-ICPMS zircon U-Pb dating of gabbro from the Bayingou ophiolite in the northern Tianshan mountains [J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(8): 1 168 ~ 1 176(in Chinese with English abstract).
- Xu Xueyi, Ma Zhongping, Xia Linqi, *et al.* 2005. SHRIMP dating of plagiogranite from Bayingou ophiolite in the Northern Tianshan Mountain [J]. *Geological Review*, 51(5): 523 ~ 527(in Chinese with English abstract).
- Xue Yunxing and Zhu Yongfeng. 2009. Zircon SHRIMP chronology and geochemistry of the Haladala gabbro in south-western Tianshan Mountain [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(6): 1 353 ~ 1 363(in Chinese with English abstract).
- Yang Junquan, Li Yongjun, Zhang Surong, *et al.* 2009. Geochemical characters and tectonic significance of Late Paleozoic granitoids from Tekesi Daban, Western Tianshan [J]. *Geological Bulletin of China*, 28(6): 746 ~ 752(in Chinese with English abstract).
- Yang Shude. 1994. Tectonics of Palco-plates in northern Xinjiang area [J]. *Xinjiang Geology*, 12(1): 1 ~ 8(in Chinese).
- Yang S H and Zhou M F. 2009. Geochemistry of the ~ 430 Ma Jingbulake mafic-ultramafic intrusion in Western Xinjiang, NW China: Implications for subduction related magmatism in the South Tianshan orogenic belt [J]. *Lithos*, 113: 259 ~ 273.
- Zhai Wei, Sun Xiaoming, Gao Jun, *et al.* 2006. SHRIMP dating of zircons from volcanic host rocks of Dahalajunshan Formation in Axi gold deposit, Xinjiang, China, and its geological implications [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1 399 ~ 1 404 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yunxiao, Li Xiandong and Zhang Ji. 2000. Basic pluton and its tectonic setting in Kaladala of west Tianshan mountains, China [J]. *Xinjiang Geology*, 18(3): 258 ~ 263(in Chinese with English abstract).
- Zhang Zuoheng, Wang Zhiliang, Mao Jingwen, *et al.* 2006. Geochem-

- istry of the Qingbulake basic complex in Western Tianshan[J]. Acta Geologica Sinica, 80(7):1 005~1 016(in Chinese with English abstract).
- Zhang Zuoheng, Wang Zhiliang, Zuo Guochao, et al. 2008. Ages and tectonic settings of the volcanic rocks in Dabate ore district in West Tianshan Mountains and their constraints on the porphyry-type mineralization[J]. Acta Geologica Sinica, 82(11):1 494~1 503 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhenhua. 2007. How to use the trace element diagrams to discriminate tectonic settings[J]. Geotectonica et Metallogenia, 31(1):92~103(in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhenhua, Bai Zhenghua, Xiong Xiaolin, et al. 2003. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chronological study of Late Paleozoic volcanic-hypabyssal igneous rocks in western Tianshan, Xinjiang[J]. Geochimica, 32(4):317~327(in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhenhua, Guo Zhaojie, Han Baofu, et al. 2006. The geochemical characteristics and tectonic-magmatic implications of the latest-Paleozoic volcanic rocks from Santanghu basin, eastern Xinjiang, north-west China[J]. Acta Petrologica Sinica 22(1):199~214(in Chinese with English Abstract).
- Zhao Zhenhua, Wang Qiang, Xiong Xiaolin, et al. 2006. Two types of adakites in north Xinjiang, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 22(5):1 249~1 265(in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhenhua, Xiong Xiaolin, Wang Qiang, et al. 2004. A case study on porphyry Cu deposit related with adakitic quartz albite porphyry in Mosizaote, Western Tianshan, Xinjiang, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 20(2):249~258(in Chinese with English abstract).
- Zhao Z H, Xiong X L, Wang Q, et al. 2008. Underplating-related adakites in Xinjiang Tianshan, China[J]. Lithos, 102:374~391.
- Zhou D W, Liu Y Q, Xing X J, et al. 2006. Formation of the Permian basalts and implications of geochemical tracing for paleo-tectonic setting and regional tectonic background in the Turpan-Hami and Santanghu basins, Xinjiang[J]. Science in China: Series D Earth Sciences, 49(6):584~596.
- Zhou D W, Su L, Jian P, et al. 2004. Zircon U-Pb SHRIMP ages of high-pressure granulite in Yushugou ophiolitic terrane in southern Tianshan and their tectonic implications[J]. Chinese Science Bulletin, 49:1 415~1 419.
- Zhu Y F, Guo X, Song B, et al. 2009. Petrology, Sr-Nd-Hf isotopic geochemistry and zircon chronology of the Late Palaeozoic volcanic rocks in the southwestern Tianshan Mountains, Xinjiang, NW China[J]. Journal of the Geological Society, London, 166:1 085~1 099.
- Zhu Yongfeng, Guo Xuan and Zhou Jing. 2006b. Petrology and geochemistry of $\pm\text{eNd}$ gabbro body in Baluntai region, central Tianshan mountains, Xinjiang[J]. Acta Petrologica Sinica, 22(5):1 178~1 192(in Chinese with English abstract).
- Zhu Y F, Zhang L F, Gu L B, et al. 2005. The zircon SHRIMP chronology and trace element geochemistry of the Carboniferous volcanic rocks in western Tianshan Mountains[J]. Chinese Science Bulletin, 50:2 201~2 212.
- Zhu Yongfeng, Zhou Jing and Guo Xuan. 2006c. Petrology and Sr-Nd isotopic geochemistry of the carboniferous volcanic rocks in the western Tianshan Mountains, NW China[J]. Acta Petrologica Sinica, 22(5):1 341~1 350(in Chinese with English abstract).
- Zhu Yongfeng, Zhou Jing, Song Biao, et al. 2006a. Age of the "Dahajunshan" Formation in Xinjiang and its disintegration[J]. Geology in China, 33(3):487~497(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 安芳,朱永峰. 2008. 西北天山吐拉苏盆地火山岩 SHRIMP 年代学和微量元素地球化学研究[J]. 岩石学报, 24(12):2 741~2 748.
- 蔡东升,卢华复,贾东,等. 1996. 南天山蛇绿混杂岩和中天山南缘糜棱岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其大地构造意义[J]. 地质科学, 31(4):384~390.
- 陈哲夫. 2004. 新疆开合构造与成矿特征的有关问题[J]. 地质通报, 23(2):214~221.
- 陈哲夫,徐新,梁云海. 1993. 新疆构造手风琴式开合演化的基本特点[J]. 中国区域地质, (1):45~58.
- 成守德,王元龙. 1998. 新疆大地构造演化基本特征[J]. 新疆地质, 16(2):97~107.
- 高纪璞,李先彬,杨合群,等. 1991. 新疆特克斯基性岩体地质特征及找矿方向研究[J]. 西北地质科学, (3):131~143.
- 高俊,何国琦,李茂松. 1997. 西天山造山带的古生代造山过程[J]. 地球科学, 22(1):27~32.
- 高俊,钱青,龙灵利,等. 2009. 西天山的增生造山过程[J]. 地质通报, 28(12):1 804~1 816.
- 辜平阳,李永军,张兵,等. 2009. 西准达尔布特蛇绿岩中辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年[J]. 岩石学报, 25(6):1 364~1 372.
- 郝杰,刘小汉. 1993. 南天山蛇绿混杂岩形成时代及大地构造意义[J]. 地质科学, 28(1):93~95.
- 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[M]. 新疆人民出版社, 1~430.
- 何国琦,陆书宁,李茂松. 1995. 大型断裂系统在古板块研究中的意义——以中亚地区为例[J]. 高校地质学报, 1:1~10.
- 胡霏琴,韦刚健,张积斌,等. 2008. 西天山温泉地区早古生代斜长角闪岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 24(12):2 731~2 740.
- 李华芹,谢才富,常海亮,等. 1998. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学[M]. 北京:地质出版社, 1~206.
- 李锦轶,王克卓,李亚萍,等. 2006. 天山山脉地貌特征、地壳组成与地质演化[J]. 地质通报, 25(8):895~909.
- 李锦轶,肖序常. 1999. 对新疆地壳结构与构造演化几个问题的简要评述[J]. 地质科学, 34(4):405~419.
- 李献华,李武显,王选策,等. 2009. 幔源岩浆在南岭燕山早期花岗岩形成中的作用:锆石原位 Hf-O 同位素制约[J]. 地球科学(D 辑), 39(7):872~887.
- 李永军,庞振甲,栾新东,等. 2007. 西天山特克斯达坂花岗岩基的解体及钼找矿意义[J]. 大地构造与成矿学, 31(4):435~440.

- 李注苍,李永军,李景宏,等. 2006. 西天山阿吾拉勒一带大哈拉军山组火山岩地球化学特征及构造环境分析[J]. 新疆地质, 24(2): 120~124.
- 林锦富,邓燕华. 1996. 新疆哈拉达拉辉长岩体中磁铁矿脉特征及其地质意义[J]. 矿产与地质, 10(53): 165~171.
- 刘楚雄,许保良,邹天人,等. 2004. 塔里木北缘及邻区海西期碱性岩岩石化学特征及其大地构造意义[J]. 新疆地质, 22(1): 43~49.
- 刘静,李永军,王小刚,等. 2006. 西天山阿吾拉勒一带伊什基里克组火山岩地球化学特征及构造环境[J]. 新疆地质, 24(2): 105~108.
- 刘颖,刘海臣,李献华,等. 1996. 用 ICP-MS 准确测定岩石样品中的 40 余种微量元素[J]. 地球化学, 25(6): 552~558.
- 刘友梅,杨蔚华,高计元. 1994. 新疆特克斯县林场大哈拉军山组火山岩年代学研究[J]. 地球化学, 23: 99~104.
- 龙灵利,高俊,钱青,等. 2008. 西天山伊犁地区石炭纪火山岩地球化学特征及构造环境[J]. 岩石学报, 24(4): 699~710.
- 龙灵利,高俊,熊贤明,等. 2006. 南天山库勒湖蛇绿岩地球化学特征及其年代[J]. 岩石学报, 22(1): 65~73.
- 马中平,夏林圻,徐学义,等. 2006. 南天山库勒湖蛇绿岩形成环境及构造意义——基性熔岩的地球化学证据[J]. 岩石矿物学杂志, 25(5): 387~400.
- 王博,舒良树, Faure M, 等. 2007. 科克苏-穹库什太古生代构造-岩浆作用及其对西南天山造山时代的约束[J]. 岩石学报, 23(6): 1354~1368.
- 王强,赵振华,许继峰,等. 2006. 天山北部石炭纪埃达克岩-高镁安山岩-富 Nb 岛弧玄武岩: 对中亚造山带显生宙地壳增生与铜金成矿的意义[J]. 岩石学报, 22(1): 11~30.
- 肖文交,韩春明,袁超,等. 2006. 新疆北部石炭纪-二叠纪独特的构造-成矿作用: 对古亚洲洋构造域南部大地构造演化的制约[J]. 岩石学报, 22(5): 1062~1076.
- 邢秀娟,周鼎武,柳益群,等. 2004. 吐-哈盆地及周缘早二叠世火山岩地球化学特征及大地构造环境探讨[J]. 新疆地质, 22(1): 50~55.
- 熊小林,赵振华,白正华,等. 2001. 西天山阿吾拉勒埃达克质岩石成因: Nd 和 Sr 同位素组成的限制[J]. 岩石学报, 17(4): 514~522.
- 熊小林,蔡志勇,牛贺才,等. 2005. 东天山晚古生代埃达克岩成因及铜金成矿意义[J]. 岩石学报, 21(3): 967~976.
- 许继峰,陈繁荣,于学员,等. 2001. 新疆北部阿尔泰地区库尔提蛇绿岩: 古弧后盆地系统的产物[J]. 岩石矿物学杂志, 20(3): 344~352.
- 徐学义,李向民,马中平,等. 2006. 北天山巴音沟蛇绿岩形成于早石炭世: 来自辉长岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄的证据[J]. 地质学报, 80(8): 1168~1176.
- 徐学义,马中平,夏林圻,等. 2005. 北天山巴音沟蛇绿岩斜长花岗岩锆石 SHRIMP 测年及其意义[J]. 地质评论, 51(5): 523~527.
- 薛云兴,朱永峰. 2009. 西南天山哈拉达拉岩体的锆石 SHRIMP 年代学及地球化学研究[J]. 岩石学报, 25(6): 1353~1363.
- 杨俊泉,李永军,张素荣,等. 2009. 西天山特克斯达坂一带晚古生代花岗岩类的地球化学特征及其构造意义[J]. 地质通报, 28(6): 746~752.
- 杨树德. 1994. 新疆北部的古板块构造[J]. 新疆地质, 12(1): 1~8.
- 翟伟,孙晓明,高俊,等. 2006. 新疆阿希金矿床赋矿围岩——大哈拉军山组火山岩 SHRIMP 锆石年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 22(5): 1399~1404.
- 张云孝,李向东,张翼. 2000. 西天山喀拉达拉基性岩体及其构造背景[J]. 新疆地质, 18(3): 258~263.
- 张作衡,王志良,毛景文,等. 2006. 西天山菁布拉克基性杂岩体的地球化学特征[J]. 地质学报, 80(7): 1005~1016.
- 张作衡,王志良,左国朝,等. 2008. 西天山达巴特矿区火山岩的形成时代、构造背景及对斑岩型矿化的制约[J]. 地质学报, 82(11): 1494~1503.
- 赵泽辉,郭召杰,韩宝福,等. 2006. 新疆三塘湖盆地古生代晚期火山岩地球化学特征及其构造-岩浆演化意义[J]. 岩石学报, 22(1): 199~214.
- 赵振华. 2007. 关于岩石微量元素构造环境判别图解使用的有关问题[J]. 大地构造与成矿学, 31(1): 92~103.
- 赵振华,白正华,熊小林,等. 2003. 西天山北部晚古生代火山-浅侵位岩浆岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素定年[J]. 地球化学, 32(4): 317~327.
- 赵振华,王强,熊小林,等. 2006. 新疆北部的两类埃达克岩[J]. 岩石学报, 22(5): 1249~1265.
- 赵振华,熊小林,王强,等. 2004. 新疆西天山莫斯早特石英钠长斑岩铜矿床——一个与埃达克质岩有关的铜矿实例[J]. 岩石学报, 20(2): 249~258.
- 周鼎武,柳益群,邢秀娟,等. 2006. 新疆吐-哈、三塘湖盆地二叠纪玄武岩形成古构造环境恢复及区域构造背景失踪[J]. 中国科学 D 辑, 36(2): 143~153.
- 周鼎武,苏犁,简平,等. 2004. 南天山榆树沟蛇绿岩地体中高压麻粒岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及构造意义[J]. 科学通报, 49(14): 1411~1415.
- 朱永峰,郭璇,周晶. 2006b. 新疆中天山巴伦台地区晚石炭世 ϵ_{Nd} 辉长岩体的岩石学和同位素地球化学研究[J]. 岩石学报, 22(5): 1178~1192.
- 朱永峰,张立飞,古丽冰,等. 2005. 西天山石炭纪火山岩 SHRIMP 年代学及其微量元素地球化学研究[J]. 科学通报, 50: 2004~2014.
- 朱永峰,周晶,郭璇. 2006c. 西天山石炭纪火山岩岩石学及 Sr-Nd 同位素地球化学研究[J]. 岩石学报, 22(5): 1341~1350.
- 朱永峰,周晶,宋彪,等. 2006a. 新疆“大哈拉军山组”火山岩的形成时代问题及其解体方案[J]. 中国地质, 33(3): 487~497.