

新疆库鲁克塔格西段辉长岩脉年代学、 岩石地球化学特征及构造意义

郭瑞清¹, 秦切², 邹明煜¹, 梁文博¹

(1. 新疆大学地质与矿业工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830047; 2. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

摘要:库鲁克塔格位于塔里木克拉通与南天山构造带结合部位。笔者报道了其西段辉长岩脉, 岩脉主体岩性为辉长岩, 使用 LA-ICP-MS 法测得锆石 U-Pb 定年龄为 (411 ± 5) Ma, 为岩体的成岩年龄, 属早泥盆世幔源岩浆活动产物。岩石化学特征显示, 辉长岩 SiO_2 含量为 48.60%~50.61%, MgO 含量为 5.51%~7.96%, $\text{Mg}^\#$ 值为 51~59, 属钙碱性玄武岩系列; 稀土元素特征显示, 轻稀土元素相对富集, 具 Eu 弱负异常; 在微量元素原始地幔标准化蛛网图上, 该辉长岩富集 K、Rb 等大离子亲石元素, 亏损 Nb、Ta、P、Ti 等高场强元素。结合区域地质资料及地球化学特征, 笔者认为辉长岩源自被俯冲流体改造过的亏损地幔楔的部分熔融, 这为南天山南缘古生代中期主动大陆边缘性质提供了有益信息。

关键词:辉长岩; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年; 库鲁克塔格; 南天山

中图分类号: P597

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2018)04-0070-12

Geochronology, Petrogeochemical Characteristics and Tectonic Significance of Gabbro Dike from Western Quruqtagh in Xinjiang

GUO Ruiqing¹, QIN Qie², ZOU Mingyu¹, LIANG Wenbo¹

(1. College of Geological and Mining Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830047, Xinjiang, China;

2. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: The Quruqtagh is located at the junction part between Tarim Craton and Southern Tianshan tectonic zone. The gabbro dike has been found in the western section of Quruqtagh area, which is composed mainly of gabbro. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating yields an age of (411 ± 5) Ma, implying that the magmatic crystallization epoch of the gabbro is lower Devonian. Geochemical characteristics show that SiO_2 contents range from 48.60% to 50.61%, while MgO contents range from 5.51% to 7.96% with $\text{Mg}^\#$ values of 51~59. This gabbro is characterized by calc-alkaline basaltic series, with relative LREE enrichment and weakly Eu anomaly in the chondrite-normalized REE patterns. In the primitive mantle-normalized trace elements patterns, this gabbro is enriched in LILEs such as K and Rb, while it's depleted in HFSEs, such as Nb, Ta, P and Ti. According to the comprehensive synthesis on regional geology and geochemical characteristics, the gabbro magma is considered to have been derived from partial melting of depleted man-

收稿日期: 2018-03-22; 修回日期: 2018-07-10

基金项目: 中国地质调查局“新疆兴地塔格阿訇口一带 1:5 万区域地质调查”(1212011120477)

作者简介: 郭瑞清(1964-), 男, 吉林德惠人, 博士, 副教授, 矿物、岩石矿床专业。E-mail: guoruiqing@163.com

the wedge that previously metasomatized by slab-derived aqueous fluids. This contribution provides helpful information for understanding the middle Paleozoic tectonic features of southern margin of south Tianshan served as an active continental margin.

Keywords: gabbro dike; LA-ICP-MS zircons U-Pb dating; Quruqtagh; southern Tianshan

南天山造山带位于中亚造山带西南缘,介于塔里木陆块中天山微陆块之间,是中亚造山带重要的构造单元之一。库鲁克塔格地块位于塔里木克拉通与南天山构造带的结合部位,其对研究南天山洋的及塔里木大陆边缘的地质演化具有重大意义。

多年来,已有众多学者从不同角度对南天山造山带进行了研究,但在南天山洋壳的俯冲方式等关键问题上依然存在较大争议。HAN B F等(2011)、周鼎武等(2004)基于南天山造山带北缘的高压-超高压榴辉岩的研究,提出南天山洋向北俯冲到中天山地块之下的观点,并认为志留纪一晚石炭世塔里木克拉通北缘是一个长期的被动大陆边缘。WANG B等(2011)根据南天山增生杂岩体中存在的北向韧性变形构造,提出南天山洋向塔里木克拉通发生南向俯冲的模式,认为塔里木北缘是一个活动陆缘,后来也有多位学者基于对塔里木北缘中酸性侵入岩的研究印证了这一俯冲模式(郭瑞清等, 2013a, 2013b; 贾晓亮等, 2013; 尼加提·阿布都逊等, 2013; 张斌等, 2014; GE R F, et al., 2014a; QIN Q, et al., 2016)。这样,问题的焦点就在于南天山洋壳是否向塔里木陆块下俯冲。

针对上述问题,笔者报道位于库鲁克塔格地块西段的辉长岩脉,对辉长岩脉的成因和构造环境研究有助于识别南天山洋的俯冲极性。同时,探讨了南天山的地质演化状况。

1 区域地质概况

研究区位于中亚造山带西南缘(图 1a),南天山造山带和塔里木北缘库鲁克塔格地块结合处(图 1b、图 1c)。

南天山造山带南北分别为南天山山前断裂和南天山南缘断裂所限,南天山造山带以哈尔克山主峰-库勒湖-铁力买提达坂-开都河断裂为界分南北 2 个分区(图 1b)。

南部分区主体上位于由哈尔克山南坡和霍拉

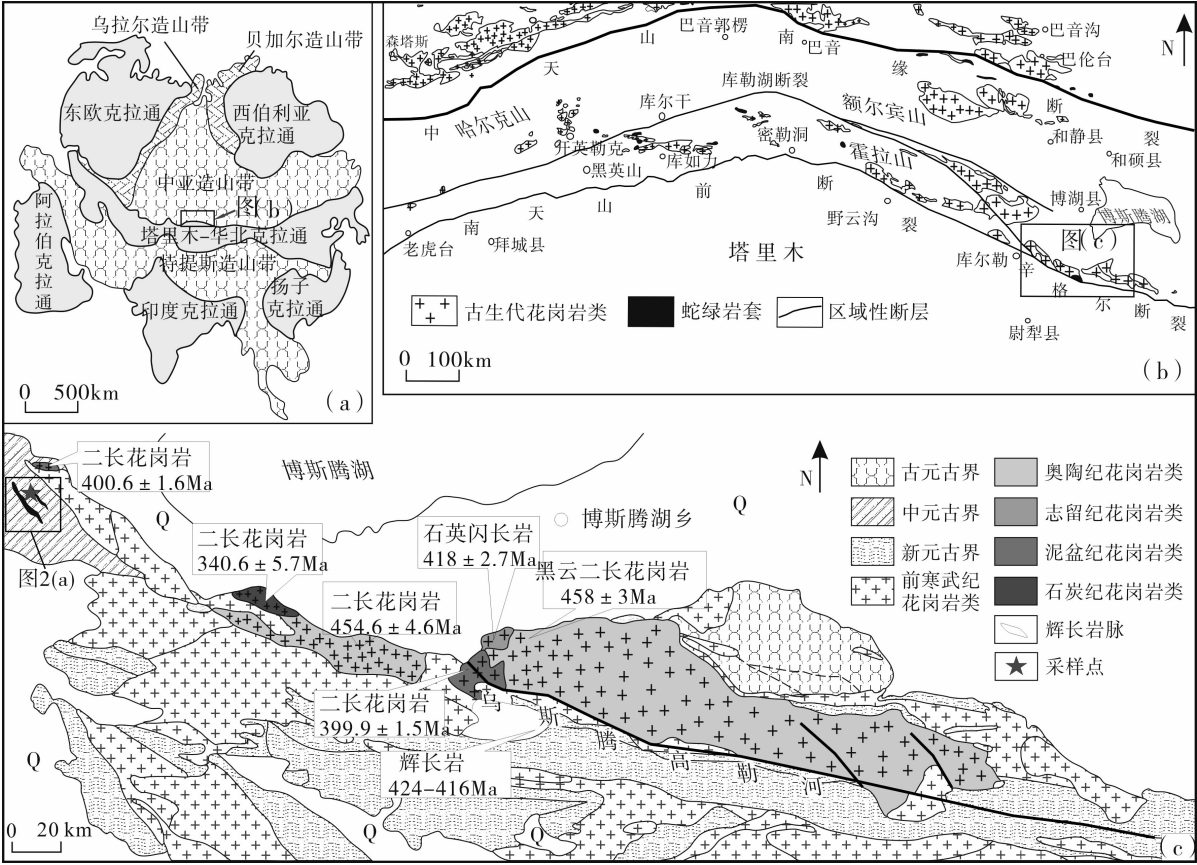
山,出露地层有上奥陶统、志留系、泥盆系及下石炭统,岩性从以碳酸盐岩为主夹碎屑岩过渡到碎屑岩为主。该区出露 2 条蛇绿岩带,时代为志留纪晚期至泥盆纪早期(龙灵利等, 2006; 马中平等, 2007)。该区南部发育花岗岩质侵入岩,呈东西向带状分布,向东延伸到库鲁克塔格地块内北缘,时代为奥陶纪至石炭纪,以晚志留世至早一中泥盆世最为发育(郭瑞清等, 2013b; 贾晓亮等, 2013)。

北部分区主体位于哈尔克山北坡和额尔宾山,出露地层主要为上志留统至石炭系,岩性主要为陆源碎屑岩和碳酸盐岩,局部地区有火山岩分布。中酸性侵入岩主要出露在额尔宾山东部,时代为晚古生代(朱志新等, 2008a)。北部沿中天山南缘断裂分布长阿吾子-古洛沟-吾瓦门-库米什蛇绿混杂岩带,其年龄主要集中于 600~358 Ma(高俊等, 2000; 黄岗等, 2011),被认为是古生代南天山洋盆消减-闭合后的残迹;哈尔克山北缘等地发育高压-超高压变质岩事件,其变质年龄集中在 415~390 Ma 和 370~345 Ma 两个年龄段之间,与南天山洋壳北向俯冲于中天山下有关(周鼎武等, 2004)。

库鲁克塔格是塔里木陆块古老基地的 4 个出露区之一,前寒武纪地质体广泛出露,最古老的岩石为新太古代 TTG 岩套(LONG X P, et al., 2011; SHU L S, et al., 2011),主要出露在辛格尔以南(托格拉克布拉克杂岩)和且干布拉克一带,库尔勒以北也有零星出露;不整合 TTG 岩套之上为变质表壳岩,区域上被命名为兴地塔格岩群,岩性组合为泥质岩、长英质砂岩及碳酸盐岩的高角闪岩-麻粒岩相变质岩,具有孔兹岩系组合特征;弱变质和浅变形的新元古代海相沉积岩出露在研究区的南部(LU S N, et al., 2008)。库鲁克塔格地区新太古宙之后的岩浆事件有多期:古元古代晚期花岗岩类(大约为 1.94~1.93 Ga),新元古代早期花岗岩类(大约为 1.05 Ga 和 0.93 Ga),大量出露的新元古代中期花岗岩类(大约为 830~735 Ma 和 660~630 Ma),且干布拉克基

性-超基性-碳酸岩杂岩体(大约为 800 Ma),和基性岩墙群(大约为 820 Ma、780~770 Ma 和 660~630 Ma)(GE R F,et al.,2014a;ZHANG C L,et al.,2012;GE R F,et al.,2014b),以及近些年来发现塔

里木北缘晚奥陶世到中泥盆世中酸性侵入岩和火山岩(郭瑞清等,2013a,2013b;贾晓亮等,2013;尼加提·阿布都逊等,2013;GE R F,et al.,2014a;LIN W,et al.,2013;QIN Q,et al.,2016)。



a. 亚洲大陆构造图;b. 南天山地质简图;c. 库鲁克塔格地区地质图(据 1:20 万库尔勒幅编绘)

图 1 库鲁克塔格地区地质略图

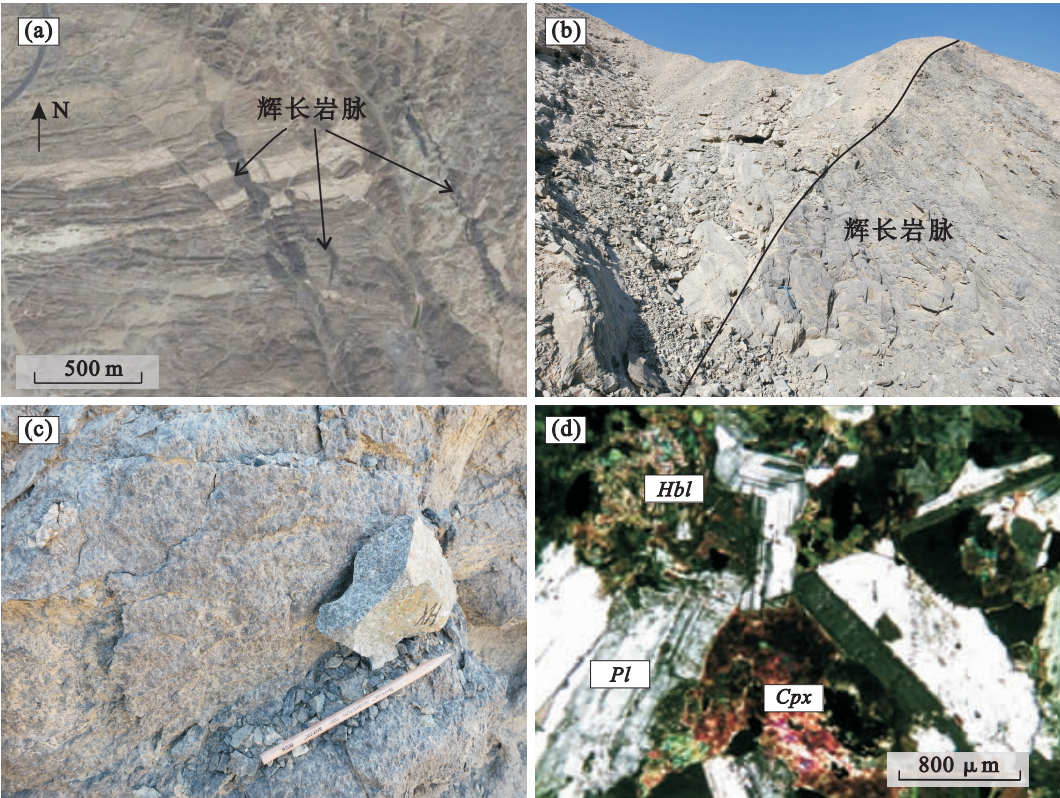
Fig. 1 Geological sketch map of Quruqtagh domain

2 岩体地质及岩相学特征

岩脉位于库鲁克塔格西段,侵入到古元古代兴地塔格群,兴地塔格群主要由黑云(角闪)斜长片麻岩组成,夹有透镜状及薄-厚层状大理岩及极薄层状透辉斜长角闪岩(图 2a);岩脉走向为 148°,产状近直立,主要脉体有 3 条,长数百米至数千米,宽数米至十余米不等,最宽可达数十米。

岩脉岩性为中细粒辉长岩,风化面呈灰黑色,局部为绿灰色,新鲜面为灰黑色。中细粒辉长结构,块状构造(图 2b、图 2c),主要矿物组成为斜长石、单斜

辉石、角闪石、黑云母;斜长石含量为 45%~50%,近半自形板状,大小一般为 1~2 mm,分布均匀,无定向,内可见聚片双晶、卡钠复合双晶、肖钠双晶,被绢云母和黝帘石交代,斜长石牌号为 55;单斜辉石含量为 40%~45%,近半自形柱状,大小一般为 0.5~1 mm,稍具定向性,局部被角闪石、黑云母交代,呈孤岛状残留;角闪石含量为 10%,半自形柱状,大小一般为 1~2 mm,略定向分布,常交代单斜辉石;黑云母为 1%~2%,片状,片直径为 1~2 mm,星散状分布,常交代单斜辉石,部分被绿泥石交代,呈其假象产出;副矿物有磁铁矿、锆石、磷灰石(图 2d)。



a. 研究区遥感影像图;b. 辉长岩脉侵入兴地塔格群野外照片;c. 辉长岩脉手标本照片;d. 辉长岩脉显微照片
(正交偏光); *Pl.* 斜长石;*Cpx.* 单斜辉石;*Hbl.* 普通角闪石

图 2 辉长岩脉野外与镜下显微照片(正交偏光)

Fig. 2 Field photographs and photomicrographs of gabbro from Wusitenggaole River

3 样品采集及测试分析

本次研究采集辉长岩脉锆石 U-Pb 定年样品 1 件(编号 TKD34-1),岩石地球化学样品 4 件(编号 TKD34-1/1—TKD34-1/4)。

岩石地球化学样品分析由广州澳实矿物实验室完成。采用如下实验过程完成,将粉末状试样煅烧后加入 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{--LiBO}_2$ 助熔物,充分混和后置于自动熔炼仪中,加热至 1 000 ℃ 以上使之熔融,将熔融物倒出形成扁平玻璃片,用 X 荧光光谱仪分析主量元素;另将粉末状试样加入到 LiBO_2 熔剂中,混合均匀,在 1 000 ℃ 以上的熔炉中使之熔融,熔液冷却后,用硝酸定容,再用等离子体质谱仪分析微量和稀土元素,分析精度优于 10%。

定年样品锆石分选和制靶照相工作分别在廊坊地源矿物测试分选公司和北京锆年领航科技有限公司完成。将所采新鲜样品粉碎至 80 目,再利用淘洗

的方法进行重力分选以获得重矿物,经磁选去除磁性矿物后,在双目镜下挑选晶形完整、透明度较好、无裂隙和无包裹体的锆石颗粒;将锆石颗粒于环氧树脂内,固化后研磨至锆石核心露出,抛光和清洗制成样品靶,然后进行阴极发光(CL)照相。

LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年分析在南京大学内生金属矿床机制研究国家重点实验室完成。分析仪器由 New Wave 213 nm 的激光剥蚀系统和 Agilent 7500s 等离子质谱仪(ICP-MS)组成。分析中使用的激光斑束直径约为 35 μm,剥蚀频率为 5 Hz,能量为 10~20 J/cm²,详细的仪器设置的分析流程见 JACKSON et al. (2004);质量歧视校正和同位素分谐校正采用标样 GJ-1,²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄为 601 Ma;仪器的稳定性和结果的可重复性监控采用 Mud Tank 标准锆石,穿插在样品分析之前。本次分析研究过程中给出的 Mud Tank 锆石的加权平均²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄为(728.1 ± 2.3) Ma(2σ,MSWD=1.4,n=168),与前人在其他实验室获得的分析

结果一致(JACKSON S E,et al.,2004);原始数据处理和 U - Pb 年龄计算使用 GLITTER 4.4 软件。Th - U 含量计算是根据扣除背景后的²³²Th 和²³⁸U 的计数值与同一个分析序列中标样 GJ - 1 的比值,GJ - 1 的平均 Th、U 含量分别为 8×10^{-6} 和 330×10^{-6} (JACKSON S E,et al.,2004)。普通铅校正用的是 EXCEL 宏程序 ComPbCorr # 3 15G(ANDERSEN T,2002)。

3.1 锆石 LA - ICP - MS U - Pb 定年

TKD34.1 辉长岩脉中锆石为不规则中短柱状,颗粒长径在 80~180 μm ;阴极发光(CL)图像上显示(图 3a)锆石色调明亮,晶型完整,发育连续环带

且呈板状环带清晰;Th、U 含量分别为 $970\times 10^{-6}\sim 3\,744\times 10^{-6}$ 和 $608\times 10^{-6}\sim 1\,732\times 10^{-6}$,Th/U 值为 1.60~2.16。综合上述几个方面的特征判断,所测锆石为岩浆成因(KOSCHEK G,1993)。

对辉长岩脉样品中锆石进行 10 个点的 U - Pb 同位素比值测定,测得的同位素比值及计算所得的年龄数据见表 1,单点年龄绝对误差为 1σ,²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄为 400~424 Ma;²⁰⁶Pb/²³⁸U - ²⁰⁷Pb/²³⁵U 年龄谐和图上(图 3)显示,大部分点都落在谐和线上或附近;测定的加权平均年龄为 (411±5) Ma (MSWD =1.2,n=10,置信度 95%)。结合锆石成因,认为该年龄为辉长岩脉成岩年龄,属早泥盆世。

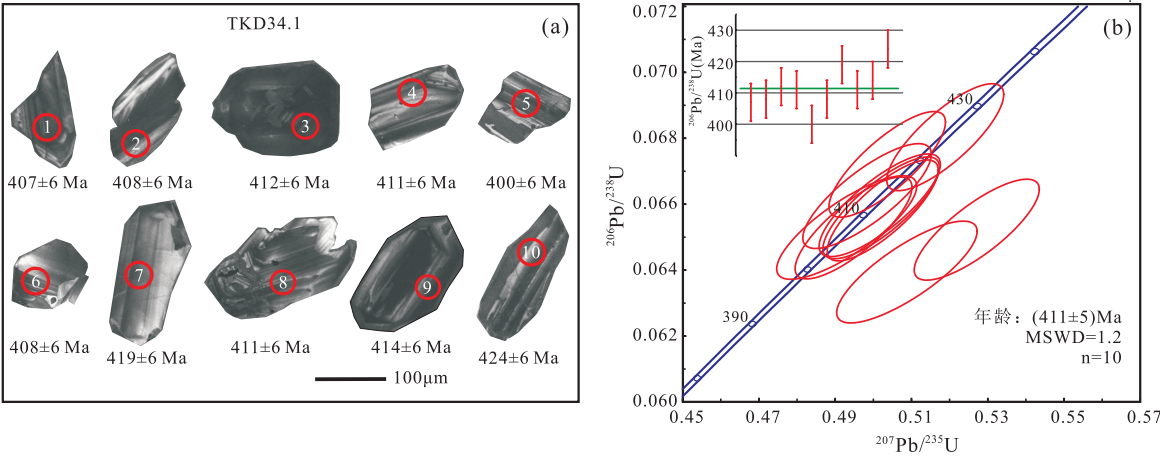


图 3 (a)辉长岩脉锆石的阴极发光(CL)图像及(b)锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U -²⁰⁷Pb/²³⁵U 年龄谐和图

Fig.3 (a)CL image of zircons from the gabbro dike; (b)The ²⁰⁶Pb/²³⁸U -²⁰⁷Pb/²³⁵U Concordia diagrams of gabbro dike

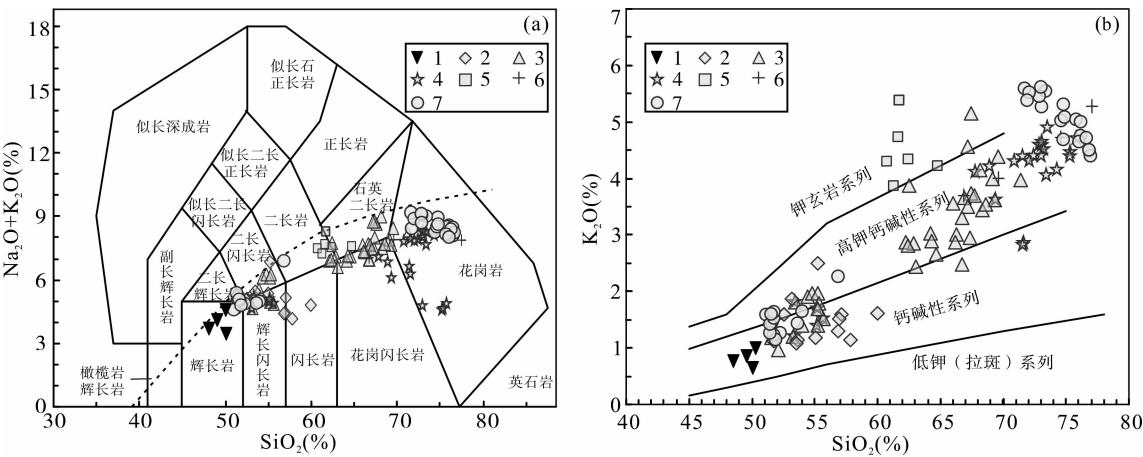
表 1 辉长岩脉中锆石 U - Pb 同位素分析结果表
Tab.1 Zircon U - Pb isotopic analysis of the gabbro dike

测 点 号	含量(10 ⁻⁶)		Th/U	同 位 素 比 值						年 龄 (Ma)					
	Th	U		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
1	1 034	608	1.7	0.058 63	0.001 07	0.527 20	0.010 83	0.065 23	0.001 01	553	41	430	7	407	6
2	1 331	638	2.09	0.054 98	0.000 98	0.494 87	0.010 09	0.065 28	0.001 02	411	41	408	7	408	6
3	2 108	1 124	1.87	0.055 16	0.001 03	0.501 74	0.010 49	0.065 97	0.001 03	419	43	413	7	412	6
4	3 744	1 732	2.16	0.055 38	0.000 91	0.502 50	0.009 61	0.065 81	0.001 01	428	37	413	6	411	6
5	1 174	612	1.92	0.057 70	0.001 29	0.508 85	0.012 18	0.063 94	0.001 02	518	50	418	8	400	6
6	970	608	1.6	0.054 76	0.001 27	0.493 08	0.012 13	0.065 29	0.001 04	402	53	407	8	408	6
7	2 783	1 682	1.65	0.054 35	0.000 94	0.503 68	0.010 10	0.067 21	0.001 06	386	40	414	7	419	6
8	2 926	1 428	2.05	0.055 27	0.000 97	0.502 12	0.010 05	0.065 89	0.001 02	423	40	413	7	411	6
9	1 877	1 145	1.64	0.054 56	0.001 11	0.498 38	0.011 12	0.066 25	0.001 05	394	47	411	8	414	6
10	2 118	1 340	1.58	0.055 32	0.000 92	0.518 92	0.010 12	0.068 03	0.001 07	425	38	424	7	424	6

3.2 主量元素特征

辉长岩脉的主量元素分析数据见表 2, SiO₂ 含量为 48.60%~50.61%,全碱(Na₂ O+K₂ O)含量为 3.42%~4.94%,在全碱-硅(TAS)分类图解中(图 4a),所有样品均落入辉长岩区,MgO 含量为 5.51%

~7.96%,Fe₂ O₃ 含量为 10.61%~11.99%,Mg[#] 值均大于 40,介于 51~59,MnO 含量为 0.18%~0.20%,P₂ O₅ 含量为 0.18%~0.32%,TiO₂ 含量为 1.42%~1.76%,K₂ O 含量为 0.62%~1.04%,在 SiO₂ - K₂ O 图解中,样品主要分布在钙碱性系列区域(图 4b)。



1. 本次实验数据;2. 数据引自 ZHAO,et al. ,2015;3. 数据引自 GE,et al. ,2012,2014;4. 数据引自郭瑞清等,2013a,2013b; 5. 数据引自 HUANG,et al. ,2013;6. 数据引自 LIN,et al. ,2013;7. 数据引自 QIN,et al. ,2016)

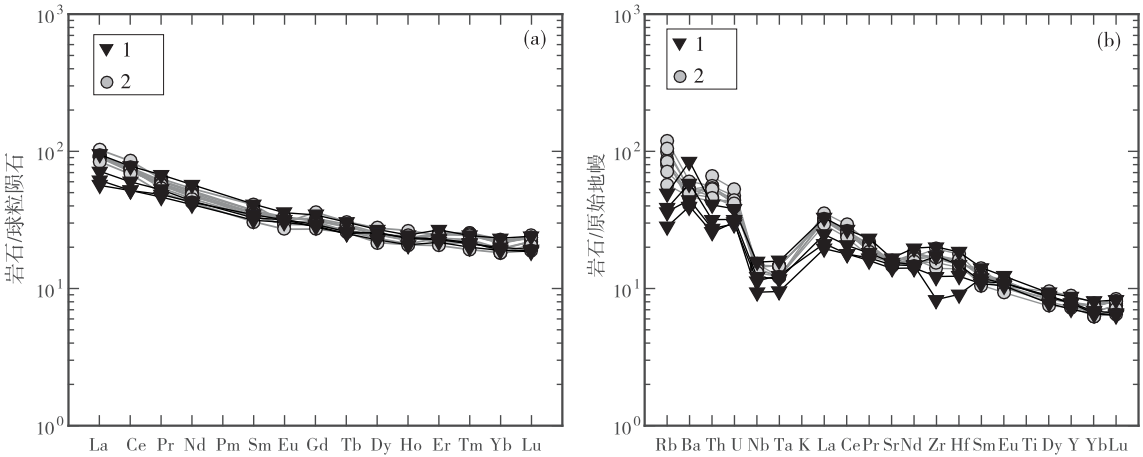
图 4 辉长岩脉 TAS 图解和 SiO₂ - K₂ O 图解

Fig. 4 TAS diagrams for gabbro dike and SiO₂ - K₂ O diagrams

3.3 稀土和微量元素特征

辉长岩脉稀土和微量元素分析数据见表 2。样品稀土总量较高(∑ REE = 98.03 × 10⁻⁶ ~ 137.75 × 10⁻⁶),稀土元素球粒陨石标准化配分模式图显示呈右倾型(图 5a),轻稀土元素(LREE)相

对富集、重稀土元素(HREE)比较平坦,弱 Eu 负异常(δEu=0.94~1.04);微量元素原始地幔标准化图解上(图 5b),大离子亲石元素(LILE)K、Rb 相对富集,高场强元素(HFSE)Nb、Ta、P、Ti 相对亏损。



1. 本次实验数据;2. 对比数据(QIN,et al. ,2016)

图 5 (a)辉长岩脉稀土元素球粒陨石标准化配分模式图及(b)微量元素原始地幔标准化蛛网图 (标准化数据引自 SUN et al. ,1989)

Fig. 5 (a)Chondrite - normalized rare earth element pattern and (b)primitive mantle(PM)- normalized trace - element diagram

表 2 辉长岩脉主量元素含量(%)和稀土微量元素含量(10⁻⁶)分析结果表

Tab. 2 Major element compositions (%) and REE element and trace element compositions (10⁻⁶) of the gabbros

SAMPLE	TKD34 - 1/1	TKD34 - 1/2	TKD34 - 1/3	TKD34 - 1/4
SiO ₂	48.60	50.61	49.59	49.98
TiO ₂	1.76	1.63	1.52	1.42
Al ₂ O ₃	15.72	15.75	15.34	13.97
Fe ₂ O _{3T}	11.99	10.61	11.10	11.16
MnO	0.20	0.18	0.19	0.20
MgO	6.82	5.51	6.56	7.96
CaO	9.35	8.38	9.37	10.17
Na ₂ O	3.25	3.90	3.45	2.80
K ₂ O	0.73	1.04	0.81	0.62
P ₂ O ₅	0.23	0.32	0.25	0.18
LOI	1.26	1.94	1.41	1.21
Total	99.96	99.98	99.66	99.72
Mg#	53	51	54	59
Sc	34.10	31.20	36.50	47.10
V	243.0	203.0	244.0	280.0
Cr	60.0	40.0	60.0	60.0
Co	40.20	28.90	37.10	39.40
Ni	43.80	17.50	30.40	54.50
Rb	23.00	31.30	24.40	17.90
Ba	310.00	591.00	409.00	278.00
Th	2.33	3.46	2.70	2.18
U	0.62	0.80	0.67	0.64
Nb	8.10	11.10	8.70	6.70
Ta	0.51	0.65	0.48	0.39
La	14.60	22.50	17.00	13.40
Ce	31.80	47.70	36.70	31.70
Pb	7.10	9.70	10.10	14.80
Pr	4.41	6.41	4.99	4.61
Sr	296.0	351.0	328.0	314.0
Nd	19.1	26.7	20.3	19.9
Zr	137.0	225.0	193.0	93.0
Hf	3.80	5.70	4.60	2.80
Sm	4.81	6.30	5.00	5.27
Eu	1.76	2.07	1.84	1.84
K	77 619	69 566	77 785	84 426
Ti	4 376	6 234	4 855	3 716
P	5 498	8 466	6 153	5 280
Gd	5.88	7.07	5.77	6.03
Tb	0.94	1.14	0.94	0.97

SAMPLE	TKD34 - 1/1	TKD34 - 1/2	TKD34 - 1/3	TKD34 - 1/4
Dy	5.75	6.85	6.52	6.42
Y	32.10	39.50	35.60	35.50
Ho	1.18	1.39	1.31	1.33
Er	3.59	4.43	3.76	3.81
Tm	0.51	0.62	0.54	0.55
Yb	3.22	3.96	3.38	3.25
Lu	0.48	0.61	0.49	0.47
ΣREE	98.03	137.75	108.54	99.55
LREE	76.48	111.68	85.83	76.72
HREE	21.55	26.07	22.71	22.83
La/Yb _N	3.25	4.08	3.61	2.96
δEu	1.01	0.94	1.04	0.99
δCe	0.96	0.96	0.97	0.99

4 讨论

4.1 辉长岩成因及岩浆演化

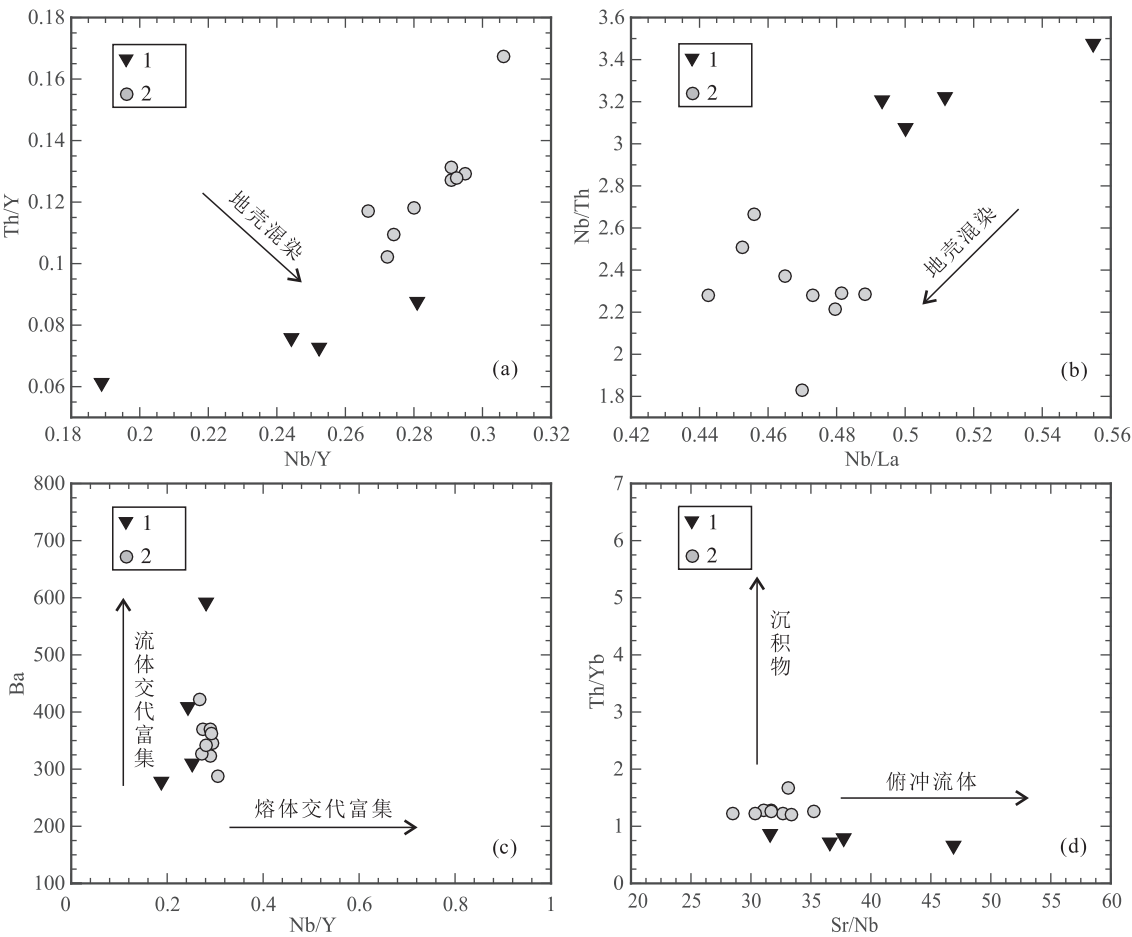
辉长岩脉相对富集大离子亲石元素(LILE)和轻稀土元素(LREE),亏损 Nb、Ta 和 Ti 等高场强元素(HFSE)及 P,显示有壳源组分加入的特征。已有研究表明,岛弧火山岩(SUN S et al.,1989)、地壳物质的混染(MA C et al.,1998)和地幔源区熔体或流体交代富集(HAWKESWORTH C J et al.,1993)都可能导致这一特征的出现。

玄武质岩是否受地壳混染以及混染程度的判别常使用微量元素比值加以判断。本次研究工作中辉长岩 Nb/Ta 值为 15.88~18.13,Zr/Hf 值为 33.21~41.96,分别与原始地幔 Nb/Ta 值(17.5±2.0)和 Zr/Hf 值(36.27)一致,并且显著高于大陆地壳的比值(RUDNICK R L et al.,2003);La/Sm<4.5(LASSITER J et al.,1997)、(Th/Nb_N)>1(SAUNDERS A et al.,1992)和 Nb/La<1(KIEFFER B et al.,2004)也常做为判断地壳混染作用发生的依据。辉长岩 La/Sm 为 2.54~3.57,(Th/Nb)_N为 2.41~2.61,Nb/La 为 0.49~0.55,指示地壳的混染作用不显著;大陆地壳具有高 Th 和低 Nb 的特征,地壳混染的影响会导致后期岩浆 Nb 和 Th 的负相关。在 Nb/Y-Th/Y 图解中(图 6a),辉长岩样品呈现出 Nb/Th 的正相关性,在 Nb/La-Nb/Th 图解(图

6b)中,地壳混染会同时减少 Nb/La 和 Nb/Th 值 (ZHANG C L et al. ,2012),辉长岩样品呈现出相应正相关性。上述微量元素比值特征表明,辉长岩的母岩浆遭受到的地壳混染作用不显著。

在熔体或流体的交代富集判别中,沉积熔体具有高 Th 和相对低的 Ce/Th(约为 8),Ce/Pb 约为 3,Ba/Rb 约为 4(PLANK T et al. ,1998),熔体的加入也会降低 $Mg^\#$,并导致显著的 Eu 负异常;而本次

研究的辉长岩脉具有高的 Ce/Th(13.59~14.54)、Ce/Pb(2.14~4.48)、Ba/Rb(13.48~18.88)值,并具有高的 $Mg^\#$ (51~59)和轻微的 Eu 负异常,表明发生熔体交代的可能性不大。在 Sr/Nb - Th/Yb 和 Nb/Y - Ba 图解上(WOODHEAD J D,et al. ,1998)(图 6c、图 6d),样品呈现出流体交代富集的趋势。因此,辉长岩的源区并没有受到沉积熔体的影响,主要是流体交代富集。



1. 本次实验数据;2. 对比数据(QIN et al. ,2016)

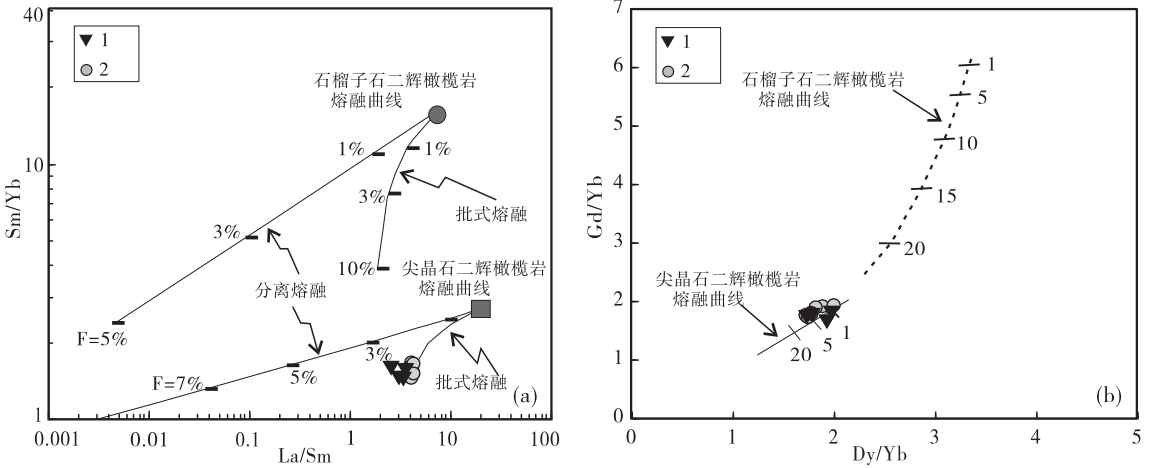
图 6 (a)辉长岩脉 Nb/Y - Th/Y、(b) Nb/La - Nb/Th、(c) Ba - Nb/Y、(d) Th/Yb - Sr/Nb 图解

Fig. 6 (a)Nb/Y vs. Th/Y,(b) Nb/La vs. Nb/Th,(c) Ba vs. Nb/Y diagram,(d) Th/Yb vs. Sr/Nb diagram

岩浆演化趋势判断也常用微量元素比值法,利用 La/Yb - Sm/Yb 图 和 Dy/Yb - Gd/Yb 图 (JOHNSON K T M,et al. ,1990)(图 7a、图 7b)可以进一步判断岩石源区部分熔融程度,辉长岩脉样品投影于尖晶石相二辉橄榄岩的熔融曲线中,考虑地壳物质混染和 K_2O 、NaO 含量(低程度部分熔融显碱性),估算辉长岩部分熔融比例为 5%以上。轻

重稀土元素分异也较弱,无明显 Eu 异常,也证实了岩浆演化只经历了低程度分离结晶。

综上所述,辉长岩脉可能源于亏损地幔低程度部分熔融,岩浆无显著分离结晶演化趋势,侵入过程中受较弱的地壳物质混染,富集 LILE 和 LERR 元素,亏损 HFSE 元素,主要是地幔源区与洋壳俯冲有关的流体交代富集作用的结果。



1. 本次实验数据;2. 对比数据(QIN et al,2016)
图 7 (a)辉长岩脉 La/Sm - Sm/Yb 图和(b)Dy/Yb - Gd/Yb 图
Fig. 7 (a)La/Sm vs. Sm/Yb diagram and (b)Dy/Yb vs. Gd/Yb diagram

4.2 构造意义

南天山造山带位于中亚造山带南缘,对其地质演化过程的研究对于中亚造山带具有重要意义,而地质演化过程研究的关键问题是对南天山洋开启时限、俯冲方式和时限、闭合时限的研究;南天山洋开启于新元古代罗迪尼亚超大陆裂解,这一认识已被大多数学者接受(李锦轶等,2006;夏林圻等,2003);对于南天山造山带北缘,前人研究认为,晚奥陶世开始南天山洋壳向伊犁-中天山陆下俯冲消减(左国朝等,2011),晚志留世一晚泥盆世俯冲消减达到高峰,导致伊犁-中天山陆弧上发育有典型的岛弧型火山-沉积建造及其南缘的哈尔克山增生楔(朱志新等,2006),随后在早石炭世闭合;该区虽在大洋演化阶段时限上尚有不同认识,但在主动大陆边缘性质上的认识已趋一致。

早期研究成果认为,南天山南缘是南天山洋的被动大陆边缘(李日俊等,2010;蔡志慧等,2011);近年来,随着南天山南缘古生代花中酸性侵入岩的陆续报道,该区存在东西向走向的中酸性侵入岩带的事实日渐明晰,如色日牙克依拉克岩体闪长岩-花岗岩闪长岩-二长花岗岩体的锆石 U - Pb 年龄为(387 ± 8)Ma,具有岛弧花岗岩地球化学性质(朱志新等,2008b)。在库勒勒一带发现大量具有大陆岛弧性质的 450~400 Ma(峰期年龄 410 Ma)高钾钙碱性花岗岩质岩,和在库鲁克塔格西段发现一处(340.6 ± 5.7)Ma 石炭纪过铝质花岗岩,暗示南天山洋从奥陶纪开始向南俯冲一直持续到早石炭世(尼加

提·阿布都逊等,2013)。

笔者研究的辉长岩经历了与洋壳俯冲有关的流体交代富集,说明其主动大陆边缘的构造背景,俯冲过程中流体的加入导致地幔楔的部分熔融的发生,产生的玄武质岩浆侵入于下地壳,为峰期年龄 410 Ma 的中酸性侵入岩的形成提供了热源。

辉长岩的发现确认了库鲁克塔格地区古生代侵入岩存在从中酸性到基性岩的岩性组合。该组合可以和太平洋东岸科迪勒拉造山带(包括安第斯)活动大陆边缘的火成岩组合类比,为南天山南缘古生代中期主动大陆边缘性质俯冲增生造山过程中壳幔作用及地壳生长方式提供了有益地质信息。

5 结论

(1)库鲁克塔格辉长岩脉成岩年龄为(411 ± 5) Ma,属早泥盆世岩浆作用产物。

(2)岩石地球化学特征显示,辉长岩脉源于亏损地幔约为 10% 的部分熔融,岩浆无显著分离结晶演化趋势,侵位过程中受较弱的地壳物质混染,富集 LILE 和 LERR 元素及亏损 HFSE 元素,是地幔源区与洋壳俯冲有关的流体交代富集和地壳物质混染共同作用的结果。

(3)辉长岩脉的成因进一步为南天山南缘主动大陆边缘性质提供了佐证,并为其南向俯冲提供了深部动力学信息。

参考文献(References):

- 蔡志慧,许志琴,唐哲民,等. 塔里木盆地东北缘库鲁克塔格地区的早古生代地壳变形以及造山时限[J]. 中国地质, 2011, 38(4): 855-867.
- CAI Zhihui, XU Zhiqin, TANG Zhemin, et al. The crustal deformation during the Early Paleozoic period and the timing of orogeny in Kuruktag area on the northeast margin of Tarim Basin[J]. *Geology in China*, 2011, 38(4): 855-867.
- 郭瑞清,尼加提·阿布都逊,秦切,等. 新疆塔里木北缘志留纪花岗岩类侵入岩的地质特征及构造意义[J]. 地质通报, 2013a, 32(Z1): 220-238.
- GUO Ringqing, NIJAT Abdursul, QIN Qie, et al. Geological characteristics and tectonic significance of Silurian granitic intrusions in the northern Tarim craton, Xinjiang[J]. *Geological Bulletin of China*, 2013a, 32(Z1): 220-238.
- 郭瑞清,秦切,木合塔尔·扎日,等. 新疆库鲁克塔格西段奥陶纪花岗岩体地质特征及构造意义[J]. 地学前缘, 2013b, 20(4): 251-263.
- GUO Ruiqing, QIN Qie, MUHETAER Zari, et al. Geological characteristics and tectonic significance of Ordovician granite intrusions in the western segment of Quruqtagh, Xinjiang[J]. *Earth Science Frontiers*, 2013b, 20(4): 251-263.
- 高俊,张立飞,刘圣伟,等. 西天山蓝片岩榴辉岩形成和抬升的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄记录[J]. 科学通报, 2000, 45(1): 89-94.
- GAO Jun, ZHANG Lifei, LIU Shengwei, et al. West tianshan blueschist and eclogite formation and uplift of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ record[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(1): 89-94.
- 黄岗,张占武,董志辉,等. 南天山铜花山蛇绿混杂岩中斜长花岗岩锆石 LA-ICP-MS 微区 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 中国地质, 2011, 38(1): 94-102.
- HUANG Gang, ZHANG Zhanwu, DONG Zhihui, et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb age of plagiogranite from Tonghuashan ophiolite in Southern Tianshan Mountains and its geological implications[J]. *Geology in China*, 2011, 38(1): 94-102.
- 贾晓亮,郭瑞清,柴凤梅,等. 新疆库鲁克塔格西段泥盆纪二长花岗岩年龄、地球化学特征及其构造意义[J]. 地质通报, 2013, 32(Z1): 239-250.
- JIA Xiaoliang, GUO Ruiqing, CHAI Fengmei, et al. Geochemistry and geochronology of monzogranites in Kuruktag of Xinjiang and their tectonic implications[J]. *Geological Bulletin of China*, 2013, 32(Z1): 239-250.
- 龙灵利,高俊,熊贤明,等. 南天山库勒湖蛇绿岩地球化学特征及其年龄[J]. 岩石学报, 2006, 22(1): 65-73.
- LONG Lingli, GAO Jun, XIONG Xianming, et al. The geochemical characteristics and the age of the Kule Lake ophiolite in the southern Tianshan[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(1): 65-73.
- 李锦轶,王克卓,李亚萍,等. 天山山脉地貌特征、地壳组成与地质演化[J]. 地质通报, 2006, 25(8): 895-909.
- LI Jinyi, WANG Kezhao, LI Yaping, et al. Geomorphological features, crustal composition and geological evolution of the Tianshan Mountains[J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(8): 895-909.
- 李日俊,张洪安,钱一雄,等. 关于南天山碰撞造山时代的讨论[J]. 地质科学, 2010, 45(1): 57-65.
- LI Yuejun, ZHANG Hongan, QIAN Yixiong, et al. The collision time of south Tianshan orogeny, NW China[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2010, 45(1): 57-65.
- 马中平,夏林圻,徐学义,等. 南天山库勒湖蛇绿岩锆石年龄及其地质意义[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2007, 37(1): 107-110.
- MA Zhongping, XIA Linqi, XU Xueyi, et al. Dating for zircons of gabbro from Kulehu ophiolite, southern Tianshan, and its geological implication[J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2007, 37(1): 107-110.
- 马昌前,杨坤光,唐仲华,等. 花岗岩类岩浆动力学-理论方法及鄂东花岗岩类例析[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994, 38-48.
- MA Changqian, YANG Kunguang, TANG Zhonghua, et al. Granite magma dynamics[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1994, 38-48.
- 尼加提·阿布都逊,郭瑞清,帕拉提·阿布都卡迪尔,等. 新疆库鲁克塔格阿訇开里得南石炭纪花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 地质通报, 2013, 32(Z1): 251-259.
- NIJAT Abdursul, GUO Ruiqing, PALATI A, et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of South Ahongkailide

- Carboniferous granite in Kuruktag of Xinjiang and its geological implications[J]. Geological Bulletin of China, 2013, 32(Z1): 251-259.
- 夏林圻,徐学义,夏祖春,等. 天山石炭纪碰撞后裂谷火山作用[J]. 地质学报, 2003, 77(3): 358.
- XIA Linqi, XU Xueyi, XIA Zuchun, et al. Tianshan carboniferous post-collision volcanism[J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(3): 358.
- 张斌,陈文,喻顺,等. 南天山洋古生代期间俯冲作用过程探讨[J]. 岩石学报, 2014, 30(08): 2351-2362.
- ZHANG Bin, CHEN Wen, YU Shun, et al. Subduction process of South Tianshan Ocean during Paleozoic[J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(8): 2351-2362.
- 朱志新,王克卓,郑玉洁,等. 新疆伊犁地块南缘志留纪和泥盆纪花岗岩侵入体锆石 SHRIMP 定年及其形成时构造背景的初步探讨[J]. 岩石学报, 2006, 22(5): 1193-1200.
- ZHU Zhixin, WANG Kezhao, ZHENG Yujie, et al. Zircon SHRIMP dating of Silurian and Devonian granitic intrusions in the southern Yili block, Xinjiang and preliminary discussion on their tectonic setting[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(5): 1193-1200.
- 朱志新,李锦轶,董连慧,等. 新疆南天山盲起苏晚石炭世侵入岩的确定及对南天山洋盆闭合时限的限定[J]. 岩石学报, 2008a, 24(12): 2761-2766.
- ZHU Zhixin, LI Jinyi, DONG Lianhui, et al. The age determination of Late Carboniferous intrusions in Mangqisu region and its constraints to the closure of oceanic basin in South Tianshan, Xinjiang[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008a, 24(12): 2761-2766.
- 朱志新,李锦轶,董连慧,等. 新疆塔里木北缘色日牙克依拉克一带泥盆纪花岗岩侵入体的确定及其地质意义[J]. 岩石学报, 2008b, 24(5): 971-976.
- ZHU Zhixin, LI Jinyi, DONG Lianhui, et al. Age determination and geological significance of Devonian granitic intrusions in Seriyakeylake region, northern margin of Tarim basin, Xinjiang[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008b, 24(5): 971-976.
- 左国朝,刘义科,张招崇,等. 中亚地区中、南天山造山带构造演化及成矿背景分析[J]. 现代地质, 2011, 25(1): 1-14.
- ZOU Guochao, LIU Yike, ZHANG Zhaochong, et al. Tectonic evolution of central and South Tianshan orogenic belts in the central Asia and mineralization background[J]. Geoscience, 2011, 25(1): 1-14.
- 周鼎武,苏犁,简平,等. 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, 2004, 49(14): 1411-1415.
- ZHOU Dingwu, SU Li, JIAN Ping, et al. Ophiolite of the high pressure granulite SHRIMP zircon U - Pb age and tectonic significance from Yushugou area, South Tianshan[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(14): 1411-1415.
- 赵振华. 微量元素地球化学原理[M]. 北京: 科学出版社, 1997, 1-238.
- ZHAO Zhenhua. Trace element geochemical principle[M]. Beijing: Science Press, 1997, 1-238.
- ANDERSEN T. Correction of common lead in U - Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. Chemical Geology, 2002, 192(1-2): 59-79.
- GE R F, ZHU W B, WILDE S A, et al. Neoproterozoic to Paleozoic long-lived accretionary orogeny in the northern Tarim Craton[J]. Tectonics, 2014a, 33(3): 302-329.
- GE R F, ZHU W B, WILDE S A, et al. Archean magmatism and crustal evolution in the northern Tarim Craton: Insights from zircon U - Pb - Hf - O isotopes and geochemistry of $\sim 2.7\text{Ga}$ orthogneiss and amphibolite in the Korla Complex[J]. Precambrian Research, 2014b, 252: 145-165.
- HAWKESWORTH C J, GALLAGHER K, HERGT J M, et al. Mantle and Slab Contribution in Arc Magmas[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 1993, 21: 175-204.
- HAN B F, HE G Q, WANG X C, et al. Late Carboniferous collision between the Tarim and Kazakhstan-Yili terranes in the western segment of the South Tian Shan Orogen, Central Asia, and implications for the Northern Xinjiang, western China[J]. Earth-Science Reviews, 2011, 109(3-4): 74-93.
- JOHNSON K T M, DICK H J B, SHIMIZU N, et al. Melting in the oceanic upper mantle: An ion microprobe study of diopsides in abyssal peridotite[J]. Journal of Geophysical Research, 1990, 95(B3): 2661-2678.
- JACKSON S E, PEARSON N J, GRIFFIN W L, et al. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U - Pb zircon geochronol-

- ogy[J]. *Chemical Geology*, 2004, 211(1-2): 47-69.
- KIEFFER B, ARNDT N, LAPIERRE H, et al. Flood and shield basalts from Ethiopia: magmas from the Africa Superswel[J]. *Journal of Petrology*, 2004, 45(4): 793-834.
- KOSCHEK G. Origin and significance of the SEM cathodoluminescence from zircon[J]. *Journal of Microscopy*, 1993, 171(3): 223-232.
- LIN W, CHU Y, JI W, et al. Geochronological and geochemical constraints for a middle Paleozoic continental arc on the northern margin of the Tarim block: Implications for the Paleozoic tectonic evolution of the South Chinese Tianshan [J]. *Lithosphere*, 2013, 5(4): 355-381.
- LASSITER J, DEPAOLO D. Plume/lithosphere interaction in the generation of continental and oceanic flood basalts: Chemical and isotope constraints[M]. USA: American Geophysical Union; *Geophysical Monography*, 1997, 335-355.
- LONG X P, YUAN C, SUN M, et al. Reworking of the Tarim Craton by underplating of mantle plume-derived magmas: Evidence from Neoproterozoic granitoids in the Kuluketage area, NW China[J]. *Precambrian Research*, 2011, 187(1-2): 1-14.
- LU S N, LI H K, ZHANG C L, et al. Geological and geochronological evidence for the Precambrian evolution of the Tarim Craton and surrounding continental fragments [J]. *Precambrian Research*, 2008, 160(1-2): 94-107.
- MA C, LI Z, CARL E, et al. A post-collisional magmatic plumbing system; Mesozoic granitoid plutons from the Dabieshan high-pressure and ultrahigh-pressure metamorphic zone, east-central China[J]. *Lithos*, 1998, 45(1-4): 431-456.
- PLANK T, LANGMUIR C H. The chemical composition of subducting sediment and its consequences for the crust and mantle[J]. *Chemical Geology*, 1998, 145(3-4): 325-394.
- QIN Q, HUANG H, WANG T, et al. Relationship of the Tarim Craton to the Central Asian Orogenic Belt: insights from Devonian intrusions in the northern margin of Tarim Craton, China[J]. *International Geology Review*, 2016, 58(16): 2007-2028.
- RUDNICK R L, GAO S. 3.01 - Composition of the Continental Crust[J]. *Treatise on Geochemistry*, 2003, 3: 1-64.
- SHU L S, DENG X L, ZHU W B, et al. Precambrian tectonic evolution of the Tarim Block, NW China: New geochronological insights from the Quruqtagh domain [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, 42(5): 774-790.
- SUN S, MCDONOUGH W. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts implications for mantle composition and processes[M]. *Magmatism in the Ocean Basins*, Geological Society. ed; Saunders A D, Norry M J, London; Special Publication, 1989; 42(1), 313-345.
- SAUNDERS A, STOREY M, KENT R, et al. Consequences of plume-lithosphere interaction(in *Magmatism and the causes of continental break-up*) [J]. *Geological Society Special Publications*, 1992, 68(1): 41-60.
- WOODHEAD J D, EGGINS S M, JOHNSON R W, et al. Magma Genesis in the New Britain Island Arc: Further Insights into Melting and Mass Transfer Processes[J]. *Journal of Petrology*, 1998, 39(9): 1641-1668.
- WANG B, SHU L, FAURE M, et al. Paleozoic tectonics of the southern Chinese Tianshan: Insights from structural, chronological and geochemical studies of the Heiyingshan ophiolitic mélange (NW China) [J]. *Tectonophysics*, 2011, 497(1-4): 85-104.
- ZHANG C L, ZOU H B, WANG H Y, et al. Multiple phases of the Neoproterozoic igneous activity in Quruqtagh of the northeastern Tarim Block, NW China: Interaction between plate subduction and mantle plume? [J]. *Precambrian Research*, 2012, 222-223: 488-502.