

新疆铁克里克西段都维吐卫岩体年代学、 岩石地球化学特征及地质意义

刘鑫¹, 朱志新^{1,2}, 朱彦菲¹, 李平¹, 靳刘圆¹, 陈邦学¹

(1. 新疆大学地质与勘查工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆维吾尔自治区地质调查院, 新疆 乌鲁木齐 830011;)

摘要: 出露于新疆塔里木南缘铁克里克地区西段的都维吐卫花岗岩体, 侵入赫罗斯坦岩群($Pt_1 H$)黑云二长片麻岩中, 与库浪那古岩群($Pt_2 K$)和大同西岩体呈断层接触, 东部多被博查特塔格组($Jxbc$)不整合覆盖。通过地球化学分析, 显示岩体具高 Si、高 Al、高 K, 贫 Na、低 Ga、低 P、低 Ti 和贫 Mg 的特征, 铝饱和指数(A/CNK)为 1.38~1.43, CIPW 标准刚玉分子大于 1%, 属高钾钙碱性过铝质花岗岩。在稀土元素方面显示, 轻稀土元素(LREE)富集、重稀土元素(HREE)亏损, 轻重稀土元素分馏明显, Eu 出现中等负异常($\delta Eu=0.59\sim0.82$); 在微量元素方面, 明显富集大离子亲石元素 Rb、Ba、Th 和 K, 亏损高场强元素 Nb、Ta、Ti。岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素定年获得年龄为 $(1\,909\pm47)\text{Ma}$, 属于古元古代花岗岩。综合分析认为该岩体是造山晚期-同碰撞环境下形成的, 与加厚地壳引起的地壳重熔有关, 推断西昆仑造山带强烈的陆内造山活动应在古元古代已经开始了; 结合赫罗斯坦岩群($Pt_1 H$)中角闪斜长片麻岩中锆石年龄记录, 推断 $2\,000\sim1\,800\text{Ma}$ 塔里木陆块存在 Columbia 超大陆聚合事件。

关键词: 塔里木南缘; 铁克里克; 都维吐卫; 哥伦比亚大陆聚合

中图分类号: P597.3

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2015)02-0128-13

Chronology, Geochemical Characteristics and Geological Significance of the Duweituwei Granite in Western Tiekeli of Xinjiang

LIU Xin¹, ZHU Zhixin^{1,2}, ZHU Yanfei¹, LI Ping¹, JIN Liuyuan¹, CHEN Bangxue¹

(1. College of Geology and Exploration Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830046, Xinjiang, China;

2. Geological Research Academe of Xinjiang, Urumqi 830011, Xinjiang, China)

Abstract: The Duweituwei granite exposed in western Tiekeli area of the southern Tarim Basin of Xinjiang intrudes into biotite monzo-gneiss of Heluositan terrain ($Pt_1 H$), and contacts by fault with the Kulangnagu ($Pt_2 K$) terrain and west Datong granite. Besides, the east of the granite is unconformably covered by Bochatetage group ($Jxbc$). Geochemical analysis shows that the granite has high SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O content but relatively low CaO , P_2O_5 , TiO_2 and MgO content. The ratios of A/CNK vary from 1.37 to 1.43, and CIPW corundum molecule is larger than 1%, suggesting its type of high-K calc-alkaline peraluminous syn-collision granite. The chondrite-nor-

收稿日期: 2015-03-15; 修回日期: 2015-04-13

基金项目: 中国地质调查局“重要造山带关键地区区域地质专项调查”和“环塔里木前寒武纪成矿作用及大型找矿靶区优选研究”(1212011140056)

作者简介: 刘鑫(1989-), 男, 在读硕士研究生, 从事造山带、火成岩与成矿方面的研究工作。E-mail: lx455257086@sina.cn

malized REE patterns show that the granite is rich in LREE but depleted in HREE, with high fractionations between LREE and HREE and moderate negative Eu anomalies (δEu is 0.59 to 0.82). In addition, the granite is relatively rich in such LILEs as Rb, Ba, Th and K, but poor in such HFSES as Nb, Ta and Ti in the primitive mantle-normalized trace elements patterns. Zircon LA-ICP-MS dating yielded the age of $(1\,909 \pm 47)$ Ma, implying that the magmatic crystallization epoch of the granite is late Paleoproterozoic. Comprehensive analysis suggests that the rock mass is formed in the late orogenic collision environment relevant to the formation of thickened crust induced crustal remelting. It is therefore speculated that the strong intracontinental orogenic activity in western Kunlun orogenic belt should have begun in the Paleoproterozoic. Combined with the zircon record of hornblende plagioclase gneiss in Heluositan rock group (Pt_1H), it is inferred that the Columbia supercontinent events occurred in the Tarim block during 2 000 to 1 800 Ma.

Keywords: southern Tarim basin; Tiekelike margin; Duweituwe granite; Columbia supercontinent events

铁克里克位于塔里木地块西南缘,为西昆仑造山带和塔里木地块结合部位,其主体由一套片麻岩和混合岩为主的前寒武系变质岩石组成,前人称之为铁克里克断隆(丁道桂等,1996)。由于自然环境恶劣及交通条件极差,是目前中国造山带中研究程度最低的地区之一(崔建堂等,2006;Jietal.,2011)。近年研究发现大量地质记录,反映塔里木克拉通与Rodinia超大陆聚合及裂解密切的联系(Xu et al., 2005, 2009; Lu et al., 2008; Zhang et al., 2007, 2009; Zhu et al., 2008, 2010; Shu et al., 2010)。此外,对于塔里木克拉通南缘铁克里克地区更早的构造岩浆活动的研究也有所报道,张传林(2003a)通过锆石 SHRIMP 发现了 $(2\,426 \pm 46)$ Ma 的阿卡孜碱性花岗岩,反映新太古宙末—古元古代初的拉张环境,属古裂谷或基底杂岩相的基底杂岩残块亚相。通过对西昆仑地区不同时代的中酸性侵入岩体分析,结果表明阿卡孜岩体不仅是西昆仑造山带构造演化的产物,也是大规模陆内造山作用开始的标志。该时期陆内造山作用下的岩浆作用不仅使地壳增生加厚,同时也是古老的结晶基底隆起成山(吴海林等,2012;王超等,2009;王向利等,2010;张传林,2003b)。

该岩体命名(都维吐卫)及工作依据 1:25 万叶城幅地域地质调查报告(河南省地质调查院,2004),原报告中将该岩体与南部的探勒克岩体、阿卡孜岩体划归为古元古代,但无确切测年数据。康磊(2014)在《西北地质》发表的论文中,将其命名为许许沟岩体,也未报道年龄数据,此外该岩体再未见文献报道。笔者在野外地质工作的基础上,拟对西昆

仑铁克里克地区叶城县棋盘乡一带出露的元古宙花岗岩进行详细的岩石学、岩石地球化学及年代学研究,以期为塔里木南缘地区的岩浆活动及构造演化提供一些地质依据及年代学约束。

1 区域地质背景

铁克里克陆缘地块位于塔里木盆地的西南缘,属塔里木盆地边缘的断块隆起区,北以铁克里克北缘断裂为界与塔里木盆地相接,南以柯岗断裂为界,与昆仑造山带相邻(图 1)(姜春发等,2000;李博秦等,2006)。铁克里克地块前寒武纪地层与浅变质岩广泛发育,目前主要见于铁克里克地区的下元古界赫罗斯坦岩群,主要为一套条带状、眼球状、条纹状、脉状混合岩化片麻岩,与周围地层断层接触或被上覆地层不整合覆盖,被阿卡孜岩体、探勒克岩体、布维吐卫岩体等侵入。该群常呈规模不一的包体出现于古老变形侵入体中,为一套经历了深层次塑性流动变形、变质程度达角闪岩相的变质岩系,并伴有不同程度的混合岩化。主要岩性有黑云二长片麻岩、黑云斜长片麻岩、角闪二长(斜长)片麻岩、黑云二长浅粒岩等,并常见辉绿岩墙(脉)、闪长岩脉穿插其间(许荣华等,1994)。

都维吐卫花岗岩体位于铁克里克地块西段,柯岗断裂以东以北,分布面积约 96 km^2 ,呈北北西向椭圆形岩株产出,侵入赫罗斯坦岩群(Pt_1H)黑云二长片麻岩中,与库浪那古岩群(Pt_2K)和大同西岩体呈断层接触,东部多被博查特塔格组(J_{xhc})不整合覆盖(图 2)。岩体与围岩涌动接触,围岩多发育混

合岩化作用,可见角岩化、黑云母化、绿泥石化等蚀变现象。该岩体实测剖面见图 3(朱志新等,2013)。

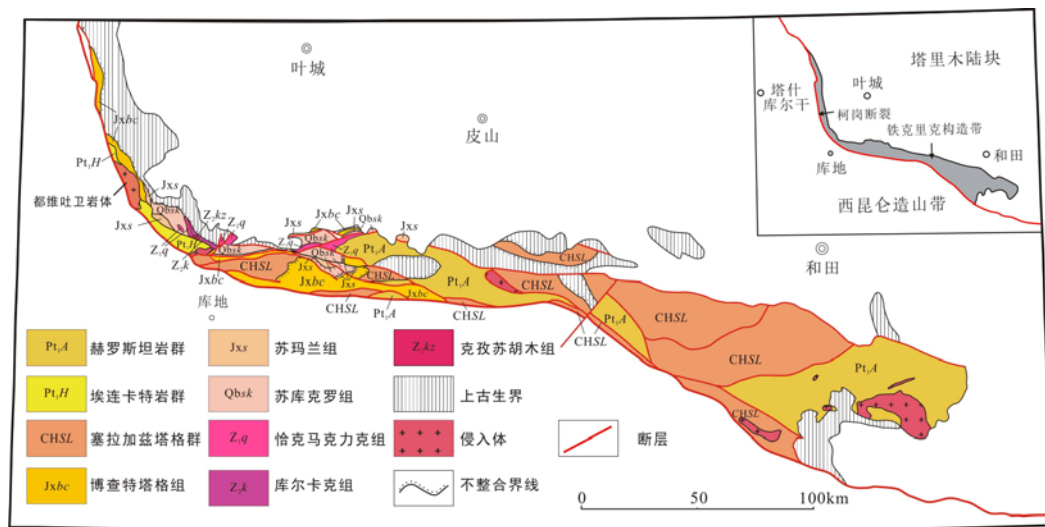
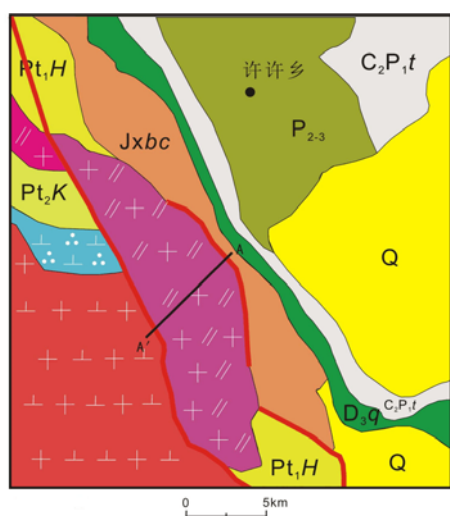


图 1 研究区大地构造位置简图

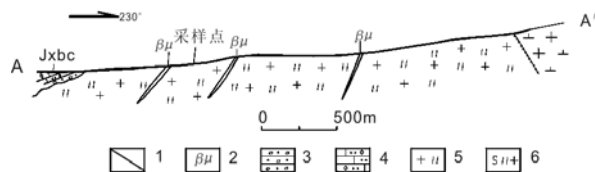
Fig. 1 Tectonic location of the study area



1. 下元古界赫罗斯坦岩群;
2. 中元古界库浪那古岩群;
3. 蓟县系博查特塔格组;
4. 上泥盆统奇自拉夫组;
5. 石炭系上统至二叠系下统塔哈奇组;
6. 二叠系棋盘组;
7. 第四系洪积物;
8. 都维吐卫二长花岗岩体;
9. 大同西花岗闪长岩体;
10. 大同西石英闪长岩体;
11. 米亚断裂西侧二长花岗岩体(姜耀辉,);
12. 柯岗断裂及其次级断裂;
13. 岩体实测剖面 A-A'

图 2 叶城县都维吐卫岩体地质简图

Fig. 2 Simplified geological map of Duweituwei granite in Tiekeli



1. 断层;
2. 辉绿岩脉;
3. 砾岩;
4. 含粉砂质微晶灰岩;
5. 都维吐卫二长花岗岩;
6. 大同西花岗闪长岩体

图 3 叶城县都维吐卫岩体实测剖面图

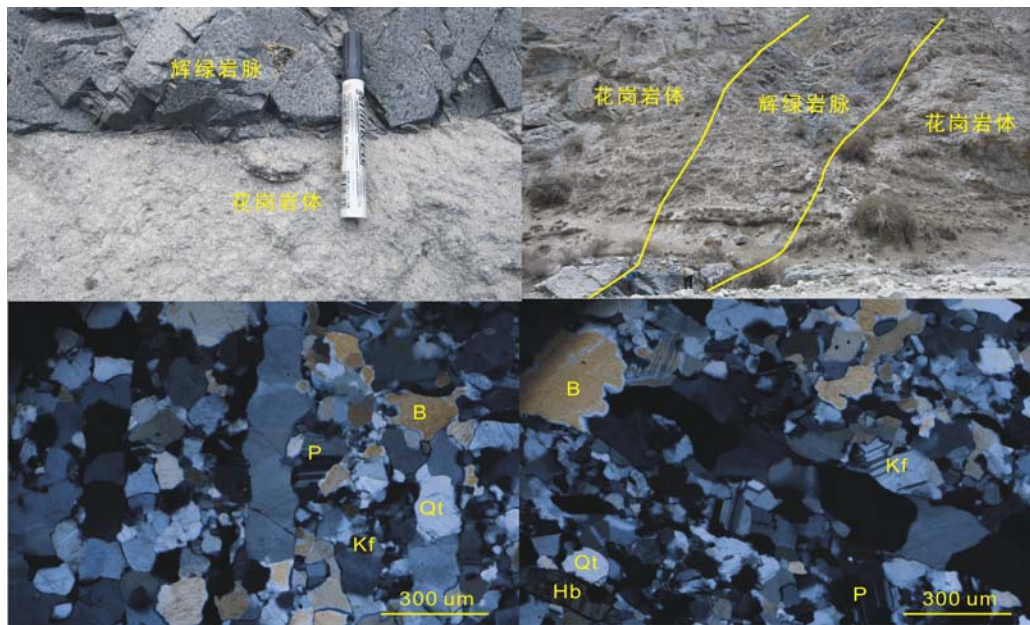
Fig. 3 The measured profile of Duweituwei granite in Tiekeli

2 岩石岩相学特征

样品采样位置地理坐标为 $N37^{\circ}23'57.54''$ 、 $E76^{\circ}35'45.72''$, 岩性为二长花岗岩、中细粒花岗结构, 块状-片麻状纹理条带。其野外地质特征见图 4。主要矿物为斜长石(40%~45%)、钾长石(25%~30%)、石英(20%~25%)及少量黑云母和角闪石(图 4)。斜长石近半自形板状, 大小一般为 1~2 mm, 少量为 0.3~1 mm(细), 部分为 2~4 mm(中), 杂乱分布内常见卡斯巴-钠长石复合双晶, 局部见肖钠长石-钠长石复合双晶。被绢云母、黝帘石交代, 表面很脏。钾长石半自形-他形

粒状,大小一般为1~2 mm,部分为2~5 mm,少量为0.3~1 mm,杂乱分布。略显活化,交代斜长石,使其具有蠕英交代结构。土化明显。石英为他形粒状,大小一般为2~5 mm,部分为1~2 mm,少量为0.5~1 mm,填隙状分布。表面新

鲜干净。常见波状消光。黑云母为片状,直径0.2~0.5 mm,星散状分布。被绿泥石交代,呈假象产出。角闪石半自形柱状,大小一般0.5~1 mm,部分1~2 mm,少量为0.2~0.5 mm,星散状分布,被绿泥石、绿帘石交代,为假象,零星分布。



Qt. 石英;P. 斜长石;Kf. 钾长石;B. 黑云母;Hb. 角闪石

图4 花岗岩野外照片及镜下显微照片(正交偏光)

Fig. 4 The wild photo and photomicrographs of the studied granite

3 样品测试及分析方法

本次研究共采集了6件新鲜的花岗岩样品,送至广州澳实分析检测集团——澳实矿物实验室进行测试分析。样品的主量元素分析采用荷兰PanalyticalAxios型X荧光光谱仪(XRF)进行测定,相对偏差小于5%;微量与稀土元素分析采用美国Elan 9000型等离子体质谱仪(ICP-MS)测定,相对偏差小于10%。

岩体中锆石的挑选在河北省廊坊市峰泽源岩矿检测技术实验室完成,随后在双目镜下挑出晶形较好的锆石,再用无色透明的环氧树脂将其固定,对锆石表面进行抛光,直至锆石内部暴露。锆石阴极发光(CL)显微照相由北京锆年领航科技有限公司的扫描电镜实验室完成,采用日本电子公司的JSM-6510型扫描电镜,用电子束进行锆石内部结构显微

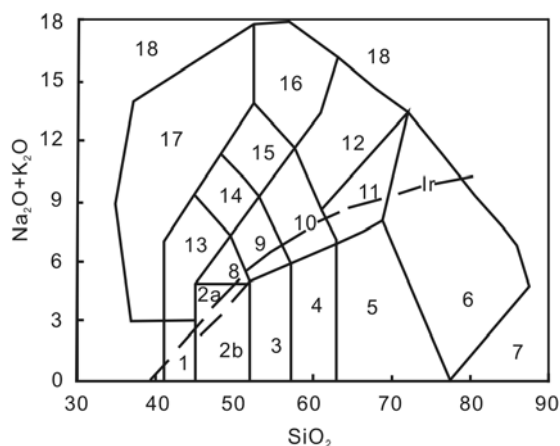
照相分析;激光剥蚀熔融等离子质谱(LA-ICP-MS)锆石U-Pb同位素定年由广州地化所同位素地球化学国家重点实验室完成,测试所用的激光剥蚀系统为193nm ArF-excimer激光器的RESOLUTION M-50,激光束直径31μm,采用He作为剥蚀物质的载体,以锆石Temora作为外标分别对锆石样品的年龄进行校正。实验获得数据采用ICPMS-DataCal软件进行处理,最后采用Ludwig的Isoplot 3.0完成加权平均年龄计算及谐和图的绘制。所给定的同位素比值和年龄误差(标准偏差)在1σ水平,具体实验原理和流程详见文献(Ludwig K R, 2003)。

4 岩体地球化学特征

4.1 主量元素特征

对岩体6件样品的主量元素分析结果见表1。

岩石 SiO_2 含量介于 $69.8\% \sim 71.2\%$, K_2O 含量为 $4.46\% \sim 5.69\%$, Na_2O 含量为 $3.44\% \sim 4.06\%$, 全碱($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$)含量在 $8.52\% \sim 9.13\%$, 在花岗岩 TAS 图解分类中样品均处于花岗岩区域内, 显示了高硅富碱性钙碱性系列侵入岩的特征(图 5); 同时, Al_2O_3 含量介于 $14.1\% \sim 14.75\%$, 铝饱和度(A/CNK)为 $1.38 \sim 1.43$, 显示出了过铝质花岗岩的特点(图 6), 注意样品投点有重合; 应用 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 分类图解(图 7), 显示岩体属于高钾钙碱性系列。



Ir. Irvine 分界线, 上为碱性, 下为亚碱性。1. 橄榄辉长岩; 2a. 碱性辉长岩; 2b. 亚碱性辉长岩; 3. 辉长闪长岩; 4. 闪长岩; 5. 花岗闪长岩; 6. 花岗岩; 7. 石英岩; 8. 二长辉长岩; 9. 二长闪长岩; 10. 二长岩; 11. 石英二长岩; 12. 正长岩; 13. 副长石辉长岩; 14. 副长石二长闪长岩; 15. 副长石二长正长岩; 16. 副长正长岩; 17. 副长深成岩; 18. 霓方钠岩/磷霞岩/粗白榴岩

图 5 花岗岩 TAS 图解 (Middlemost E A K, 1994)

Fig. 5 TAS diagram for granite

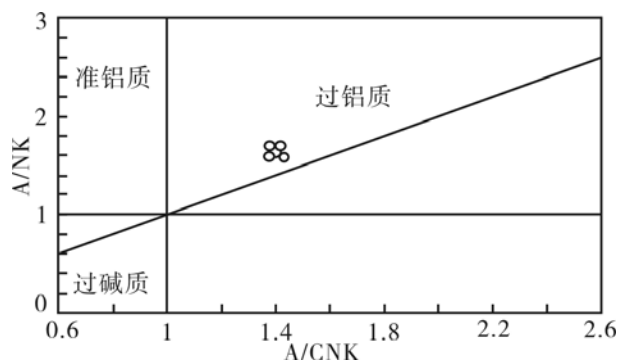


图 6 花岗岩 A/CNK-A/NK 图解 (Peccerillo A, Taylor S R, 1976 and Wheller G E, 1987)

Fig. 6 A/CNK-A/NK diagram for granite

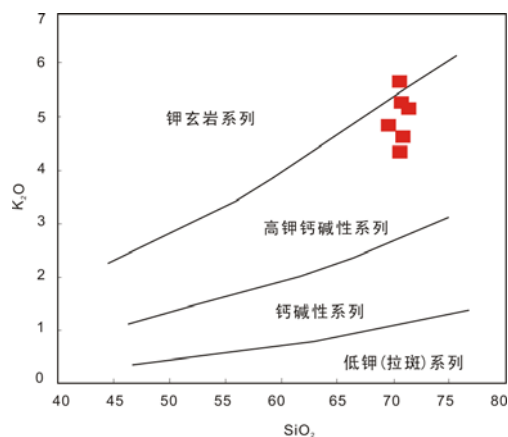


图 7 花岗岩 $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}$ 分类图解

(Peccerillo A, Taylor S R, 1976)

Fig. 7 $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}$ diagram for granite

表 1 都维吐卫花岗岩体的主量元素分析结果及相关参数表

Tab. 1 Major elements analysis of Duweituiwei granite in Tiekelike(%)

样品编号	Y5-1	Y5-2	Y5-3	Y5-4	Y5-5	Y5-6
SiO_2	71.2	70.6	70.5	70.8	70.5	69.8
Al_2O_3	14.1	14.5	14.65	14.5	14.45	14.75
Fe_2O_3	2.08	2.34	2.36	2.18	2.18	2.49
CaO	1.42	1.44	1.86	1.76	1.01	1.86
MgO	0.6	0.4	0.35	0.38	0.62	0.36
Na_2O	3.53	3.67	4	4.06	3.44	3.92
K_2O	5.26	5.36	4.73	4.46	5.69	4.93
Cr_2O_3	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
TiO_2	0.28	0.29	0.33	0.32	0.3	0.34

续表 1						
样品编号	Y5-1	Y5-2	Y5-3	Y5-4	Y5-5	Y5-6
MnO	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03
P ₂ O ₅	0.06	0.07	0.07	0.07	0.06	0.07
SrO	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.03
BaO	0.15	0.21	0.16	0.16	0.17	0.17
LOI	0.86	0.76	0.74	0.81	0.85	0.73
Total	99.65	99.76	99.88	99.6	99.38	99.53
A/CNK	1.38	1.38	1.38	1.41	1.43	1.38

4.2 稀土、微量元素特征

对岩体 6 件样品的稀土、微量元素分析结果见表 2。岩体稀土元素总量较高,一般为 $258\times 10^{-6}\sim 373\times 10^{-6}$,但 Y5-1 号样品总量更高,为 538×10^{-6} 。在球粒陨石标准化分配模式图上(图 8),分布曲线呈右倾陡峭型。轻稀土元素(LREE)强烈富集,重稀土元素(HREE)严重亏损;且 LREE/HREE 值为 $36.7\sim 69.1$, $(La/Yb)_N$ 值为 $89.9\sim 138.8$,表明轻、重稀土元素之间分馏明显。除样品 Y5-4 具轻微 Eu 正异常外($\delta Eu=1.04$),其余样品 δEu 值为 $0.59\sim 0.82$,具明显 Eu 负异常。

微量元素原始地幔标准化蛛网图上(图 9),明显富集 Rb、Ba、Th 和 K 等大离子亲石元素(LILE),同时明显亏损 Nb、Ta、Ti、P、Sr、Zr、Hf 等高场强元素(HFSE),兼具火山弧花岗岩和同碰撞花岗岩的微量元素特征。

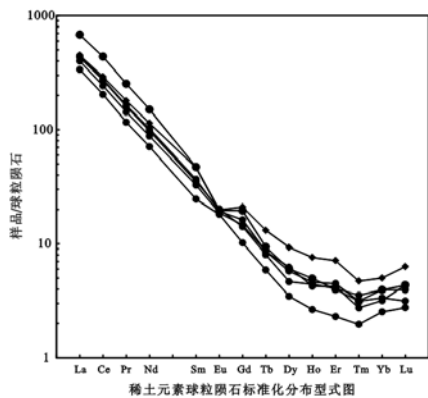


图 8 岩体稀土元素球粒陨石标准化分配图 (Boynton W V. 1987 and Sun S S, McDonough W F, 1989)

Fig. 8 Chondrite-normalized REE patterns of the intrusion

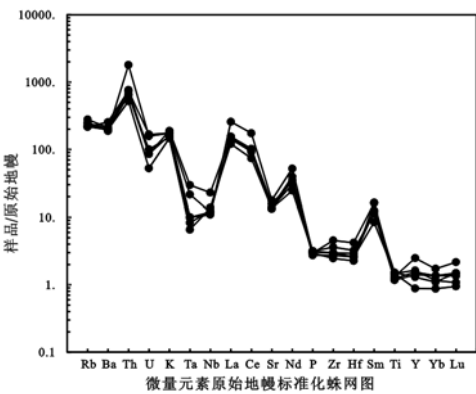


图 9 岩体微量元素原始地幔标准化蛛网图 (Sun S S, McDonough W F, 1989)

Fig. 9 Primitive mantle-patterns of the spider diagram

4.3 岩体 U-Pb 同位素年代学特征

本次实验共选取 17 个锆石,共有 20 个测点,其相关数据见表 3。所测的锆石多为透明尖形柱状或不规则粒状,晶型较为完整。锆石阴极发光图像呈暗灰色,可见大多数锆石具有清晰的岩浆振荡韵律环带结构(图 10)。锆石的 U-Pb 同位素分析结果见表 3。这些测点年龄数据均位于 U-Pb 谐和图中的谐和线上或其附近, Th/U 比值介于 $0.13\sim 0.66$,均大于 0.1,属岩浆成因锆石。其 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 谐和年龄值(谐和度大于 98%)主要集中在 $1\,821\sim 2\,000\text{ Ma}$ 年龄值(图 11)。其中 T5-7、T5-12、T5-15 3 个点所测得的年龄分别为 $2\,273\text{ Ma}$ 、 $2\,257\text{ Ma}$ 、 $2\,283\text{ Ma}$,推测为继承锆石;T5-5、T5-6 两个点所测得的年龄分别为 $1\,689\text{ Ma}$ 、 $1\,770\text{ Ma}$,可能代表后期热事件的时代,不参与计算成岩年龄的加权平均值。15 个点的分析结果年龄变化范围较小,在误差范围内有一致的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 、 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 值,其加权平均年龄为 $(1\,909\pm 47)\text{ Ma}$ (MSWD=16),代表了该岩体的形成年龄,表明岩体形成于古元古代。

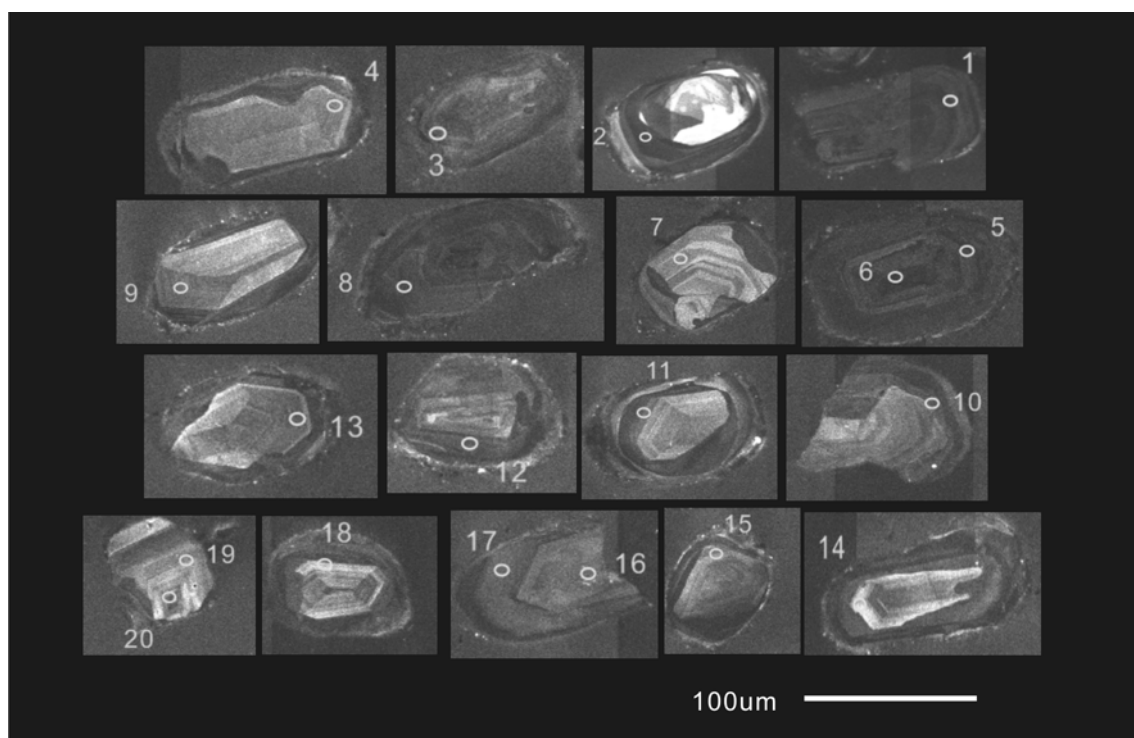


图 10 部分锆石的阴极发光图像

Fig. 10 CL images of zircons

表 2 都维吐卫花岗岩体的微量、稀土元素分析结果(10^{-6})及相关参数表
 Tab. 2 Trace elements and REE analysis of Duweituwei granite in Tiekelike(10^{-6})

样品编号	Y5-1	Y5-2	Y5-3	Y5-4	Y5-5	Y5-6
Rb	159	137	141.5	138.5	176.5	154.5
Ba	1 310	1 780	1 370	1 370	1 480	1 450
Th	152	62.5	54.1	44.2	64.8	56.4
U	3.3	3.5	2.1	1.1	1.8	1.8
K	4.36	4.37	3.81	3.66	4.72	4.02
Ta	0.41	0.88	0.41	0.27	1.21	0.34
Nb	7.8	8.4	8.5	9.8	16.3	8.9
La	176.5	106	99.6	82.8	106	96.9
Ce	308	181	164	131	175.5	168
Sr	372	290	286	282	329	282
Nd	70.2	53.2	41	33.1	45.6	47.6
P	280	280	300	290	260	300
Zr	27.5	51	40.5	33.4	30.6	33.3
Hf	0.7	1.3	1	0.8	0.8	0.9
Sm	7.2	7.14	5	3.76	5.35	5.61

续表 2						
样品编号	Y5-1	Y5-2	Y5-3	Y5-4	Y5-5	Y5-6
Ti	0.16	0.17	0.19	0.19	0.15	0.2
Y	7	11.3	7.4	4	6.4	5.9
Yb	0.7	0.9	0.6	0.4	0.7	0.5
Lu	0.11	0.16	0.08	0.07	0.1	0.11
La	161.5	106.5	94.7	79.8	102	104.5
Ce	267	178.5	148.5	124.5	167	170
Pr	24	17.05	13.55	11.05	15.15	15.5
Nd	70.2	53.2	41	33.1	45.6	47.6
Sm	7.2	7.1	5	3.8	5.4	5.6
Eu	1.14	1.15	1.08	1.05	1.17	1.12
Gd	4.01	4.32	3	2.09	2.9	3.33
Tb	0.4	0.5	0.3	0.2	0.3	0.3
Dy	1.53	2.36	1.46	0.88	1.18	1.58
Ho	0.28	0.43	0.26	0.15	0.25	0.24
Er	0.7	1.2	0.7	0.4	0.7	0.7
Tm	0.08	0.12	0.08	0.05	0.09	0.07
Yb	0.67	0.85	0.57	0.43	0.67	0.54
Lu	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
Y	7.5	12.4	7.4	4.3	6.7	7.3
ΣREE	538.73	373.45	310.34	257.53	342.43	351.22
LREE/HREE	69.06	36.68	46.67	59.31	54.59	49.98
δEu	0.59	0.59	0.79	1.04	0.82	0.73

表 3 都维吐卫花岗岩体锆石测年数据表										
Tab. 3 Dating data of zircons from Duweituwei granite										
锆石点号	²³² Th/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb Age(Ma)	1σ	和谐度
T5-1	0.13	4.232 8	0.042 3	0.273 6	0.001 8	0.112 3	0.001 3	1 836	20.2	92%
T5-2	0.21	7.235 3	0.141 1	0.408 8	0.006 2	0.126 4	0.001 4	2 050	19.7	96%
T5-3	0.48	5.116 6	0.056 3	0.322 4	0.002 8	0.114 9	0.001 1	1 877	16.5	97%
T5-4	0.53	6.040 3	0.070 5	0.353 9	0.002 7	0.122 9	0.001 1	2000	16.7	98%
T5-5	0.17	3.023 6	0.043 2	0.211 9	0.002 1	0.103 6	0.001 3	1 689	28.6	86%
T5-6	0.29	3.326 0	0.0270	0.221 9	0.001 1	0.108 2	0.000 9	1 770	14.8	85%
T5-7	0.45	8.064 6	0.084 4	0.405 7	0.002 9	0.143 8	0.001 4	2 273	21.3	98%
T5-8	0.19	3.981 7	0.057 0	0.260 2	0.003 0	0.110 4	0.001 1	1 806	18.8	91%

续表 3

锆石点号	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ Age(Ma)	1 σ	和谐度
T5-9	0.46	5.186 6	0.057 1	0.325 3	0.002 4	0.114 8	0.001 1	1 877	16.7	98%
T5-10	0.43	5.274 0	0.056 6	0.326 2	0.002 0	0.116 3	0.001 1	1 902	17.3	97%
T5-11	0.66	5.266 3	0.057 1	0.330 9	0.002 1	0.114 7	0.001 2	1 876	18.5	98%
T5-12	0.50	7.692 1	0.090 9	0.388 8	0.002 6	0.142 3	0.001 5	2 257	17.4	96%
T5-13	0.45	4.485 1	0.059 4	0.293 7	0.004 6	0.111 2	0.001 4	1 820	23.9	95%
T5-14	0.37	4.958 5	0.065 4	0.312 6	0.001 8	0.114 2	0.001 5	1 933	23.5	96%
T5-15	0.38	7.889 3	0.117 0	0.392 8	0.002 5	0.144 5	0.002 1	2 283	24.4	96%
T5-16	0.34	6.321 0	0.149 8	0.369 6	0.006 1	0.122 1	0.002 0	1 987	29.5	99%
T5-17	0.21	5.017 9	0.092 2	0.323 7	0.002 6	0.111 3	0.001 9	1 821	31.5	99%
T5-18	0.53	5.027 6	0.082 2	0.324 3	0.002 3	0.111 4	0.001 7	1 833	28.7	99%
T5-19	0.34	6.474 6	0.092 4	0.362 6	0.002 0	0.128 3	0.001 8	2 076	24.7	97%
T5-20	0.22	5.251 1	0.073 5	0.331 7	0.002 1	0.113 7	0.001 5	1861	23.9	99%

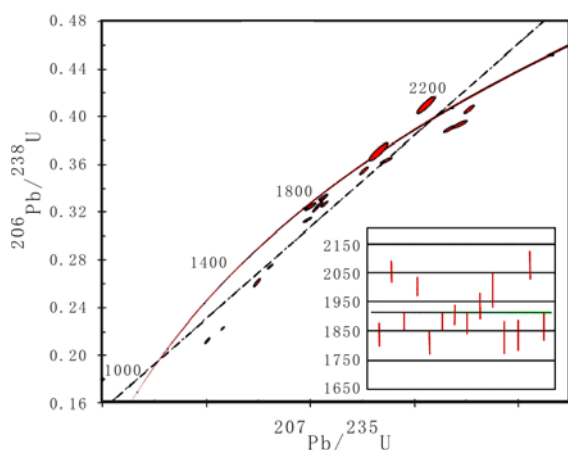


图 11 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 谐和图
及年龄分布图

Fig. 11 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia
diagram and age distribution

5 讨论

5.1 岩石成因

地球化学分析显示岩体具高 Si、高 Al、高 K, 贫 Na、低 Ga、低 P、低 Ti 和贫 Mg 的特征, 铝饱和指数 (A/CNK) 为 1.37~1.43, CIPW 标准刚玉分子小于

1%, 属高钾钙碱性过铝质花岗岩。说明岩体的形成可能与加厚地壳引起的地壳重熔有关。

稀土元素配分模式图总体呈右倾型, 轻稀土元素 (LREE) 富集、重稀土元素 (HREE) 亏损, 轻重稀土元素分馏明显, Eu 出现中等负异常 ($\delta\text{Eu}=0.59\sim0.82$); 推测其源区除了斜长石大量残留外, 还应含有较多的角闪石、石榴子石残留, 导致 HREE 偏低, 角闪石和斜长石的互补效应可解释个别样品出现的 Eu 正异常。重稀土元素的亏损及 Eu 总体负异常可能是由于源区岩浆熔体在部分熔融过程中石榴子石和富钙斜长石作为残留相矿物。

微量元素方面, 岩体明显富集大离子亲石元素 Rb、Ba、Th 和 K, 亏损高场强元素 Nb、Ta、Ti, 其微量元素比值 $\text{K/Rb}=260.2\sim319.0$, $\text{Rb/Sr}=0.43\sim0.55$, $\text{Rb/Li}=26.95\sim42.92$, 均属同熔型花岗岩。高含量的 Th、U 和 K 等生热元素可能为岩石圈拆沉作用提供新的依据 (姜耀辉, 2000)。

5.2 岩石构造背景

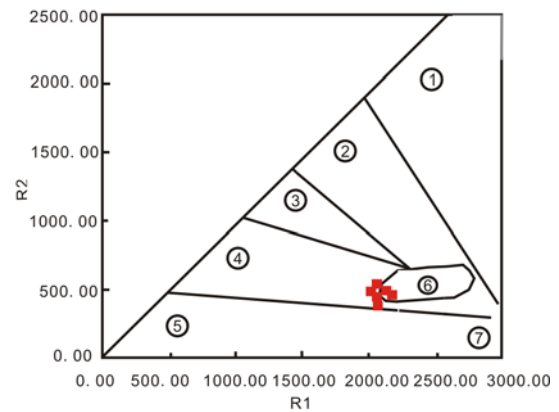
在 R1-R2 构造环境判别图 (图 12) 中, 大部分样品落在造山晚期区, 个别样品在同碰撞区。在 Y-Nb、Rb-Y+Nb 花岗岩构造环境判别图 (图 13a、b) 上, 所有样品集中分布在火山弧花岗

岩-同碰撞花岗岩的交界区域。综合分析认为该高钾钙碱性二长花岗岩体是造山晚期-同碰撞环境下形成的。

5.3 地质意义

西昆仑地区不同时代不同规模的中酸性侵入岩体众多,通过对都维吐卫岩体($1\,909 \pm 47$) Ma 的岩石地球化学特征及构造环境分析研究,表明西昆仑造山带陆内岩浆活动从古元古代就一直非常活跃。从卷入都维吐卫岩体地层特征来看,古元古界赫罗斯坦岩群($Pt_1 H$)已强烈变质变形,而蓟县系博查特塔格群(Jxb)不整合在都维吐卫岩体之上,推断西昆仑造山带强烈的陆内造山活动应在古元古代已经开始了(谢朝永等,2013)。西昆仑地区中酸性侵入岩横向对比也表明,该岩体的形成年龄是较老一期岩浆活动的产物,从另一个角度揭示出,塔里木板块在太古宙晚期就已经存在板块构造活动迹象,推断 $2\,000 \sim 1\,800$ Ma 应是形成 Columbia 超大陆过程中最重要的时段。另外,赫罗斯坦岩群角闪斜长片麻岩中锆石的形成至少记录了 3 次事件信息:2.33 Ga 的残留核,2.27~2.21 Ga 时发生岩浆结晶、2 009 Ma 岩浆生长和 1.83 Ga 的区域变质。后期它们均经受了 2.0~1.8 Ga 的变质作用,说明塔里木陆块

存在 Columbia 超大陆汇聚事件(王超等,2009)。区域上,在我国华北地区太古宙末期-古元古代初期的钾质花岗岩侵入具有普遍性,代表太古宙末期-古元古代初期曾有一次重要的构造-热事件发生,也表明本区前寒武纪构造演化及陆壳增生事件与华北地区具有相似性(吴海林等,2012)。

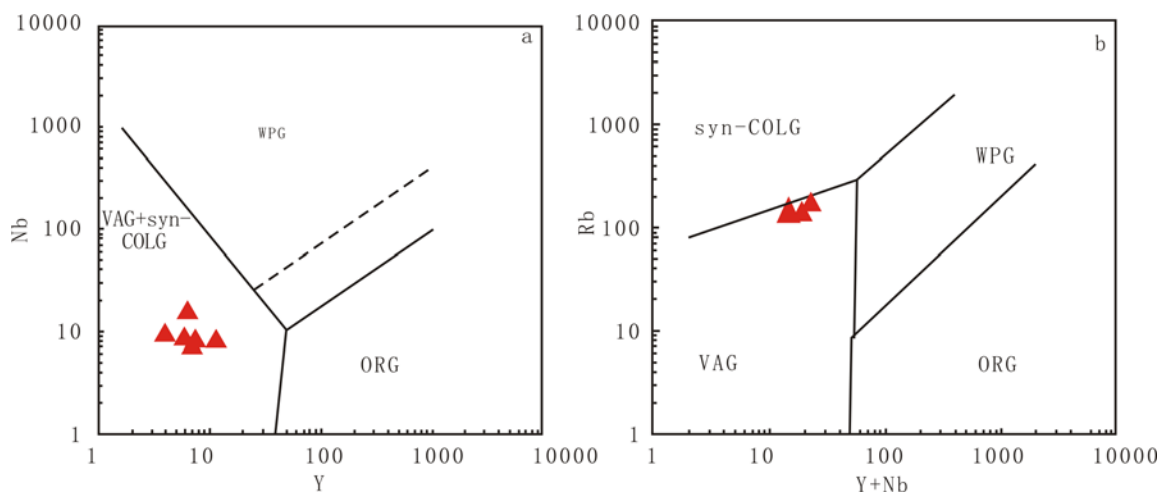


1. 地幔分离型;2. 板块碰撞型;3. 碰撞后抬升型;4. 造山晚期型;5. 非造山型;6. 同碰撞型;7. 后造山其型

图 12 R1 - R2 构造环境判别图解

Fig. 12 R1 - R2 Diagram of the admellite pluton

(After Batchelor & Bowden, 1985)



ORG. 洋脊花岗岩;WPG 板内花岗岩;VAG. 火山弧花岗岩;Syn-COLG. 同碰撞花岗岩

图 13 花岗岩构造环境 Y - Nb(a)、Rb - Y+Nb 判别图(10^{-6})(b) (Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G, 1984)

Fig. 13 Y - Nb(a), Rb - Y+Nb(b) diagrams for granitoids(10^{-6})

6 结论

(1)样品的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 年龄为 $(1\ 909 \pm 47)\text{Ma}$, 说明岩体形成于古元古代晚期。

(2)岩体形成于造山晚期-同碰撞环境下,其成因可能与加厚地壳引起的地壳重熔有关;结合区域上地质特征,推断 $2\ 000 \sim 1\ 800\text{Ma}$ 塔里木陆块存在 Columbia 超大陆汇聚事件。

致谢:新疆大学副教授郭瑞清老师认真阅读本文初稿并提出宝贵的修改意见,李平、靳刘圆等同志,在野外调查、锆石阴极发光图像拍摄、锆石 U-Pb 定年、数据处理和图件绘制等方面给予帮助,在此表示衷心的感谢。

参考文献(References):

- 崔建堂,王炬川,边小卫,等. 西昆仑康西瓦北侧早古生代角闪闪长岩、英云闪长岩的地质特征及其锆石 SHRIMP U-Pb 测年[J]. 地质通报,2006,25(12):1441-1449.
- CUI Jintang, WANG Juchuan, BIAN Xiaowei, et. al. Geological characteristics of Early Paleozoic amphibolite and tonalite in northern Kangxiwar, West Kunlun, China and their zircon SHRIMP U-Pb dating[J]. Geological Bulletin of China, 2006,25(12):1441-1449.
- 丁道桂,王道轩,刘伟新. 西昆仑造山带与盆地[M]. 北京:地质出版社,1996:1-249.
- DING Daogui, WANG Daoxuan, LIU Weixin. West Kunlun orogenic belt and basin[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996:1-249.
- 姜春发,王宗起,李锦轶. 中央造山带开合构造[M]. 北京:地质出版社,2000.
- JIANG Chunfa, WANG Zongqi, LI Jinyi. Opening-closing Tectonics of Central[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000.
- 姜耀辉,芮行健,郭坤一,等. 西昆仑造山带花岗岩形成的构造环境[J]. 地球学报,2000,21(1):23-25.
- JIANG Yaohui, RUI Xingjian, GUO Kunyi, et. al. Tectonic Environments of Granitoids in the West Kunlun Orogenic Belt[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 2000,21(1):23-25.
- 李博秦,姚建新,计文化,等. 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[J]. 地质通报,2006,25(1-2):125-132.
- LI Boqin, YAO Jianxin, JI Wenhua, et. al. Characteristics and zircon SHRIMP U-Pb ages of the arc magmatic rocks in Mazar, southern Yecheng, West Kunlun Mountains [J]. Geological Bulletin of China, 2006,25(1-2):125-132.
- 康磊,校培喜,高晓峰,等. 西昆仑地区远古宙研究侵入作用及构造-岩浆演化过程[J]. 西北地质,2014,47(4):1-12.
- KANG Lei, XIAO Peixi, GAO Xiaofeng, et al. Proterozoic Intrusive Magmatism in West Kunlun Area and Its Inspiration to Tectonic-Magmatic Evolution[J]. North western Geology, 2014,47(4):1-12.
- 王超,刘良,车自成,等. 塔里木南缘铁克里克构造带东段前寒武纪地层时代的新限定和新元古代地壳再造:锆石定年和 Hf 同位素的约束[J]. 地质学报,2009,83(11):1647-1656.
- WANG Chao, LIU Liang, CHE Zicheng, et al. Zircon U-Pb and Hf Isotopic from the East Segment of Tiekelike Tectonic Belt: Constrains on the timing of Precambrian Basement at the Southwestern Margin of Tarim, China [J]. Acta Geologica Sinica, 2009,83(11):1647-1656.
- 王超,何世平,时超,等. 塔里木盆地西南缘铁克里克地区博查特塔格组的组成和时代:来自碎屑锆石 U-Pb 年龄的指示[J]. 地质通报,2012,31(8):1233-1243.
- WANG Chao, HE Shiping, SHI Chao, et al. Detrital zircon U-Pb dating from Tiekelike of southwestern Tarim Basin: Implications for the age and composition of Bochatet Formation[J]. Geological Bulletin of China, 2012, 31(8):1233-1243.
- 王世炎,彭松. 新疆 1:25 万叶城县幅区域地质调查报告[R]. 河南省地质调查院,2004.

- WANG Shiyan, PENG Song. Report of 1 : 250,000 geologic surveys in Yecheng area[R]. Henan Institute of Geological, 2004.
- 王向利, 高小平, 刘幼骥, 等. 塔里木盆地南缘铁克里克断隆结晶基底部特征[J]. 西北地质, 2010, 43 (4): 95-112.
- WANG Xiangli, GAO Xiaoping, LIU Youqi, et al. Crystal Basement Feature of Tiekeliike Fault-Uplift at Southern Margin of Tarim Basin[J]. Northwestern Geology, 2010, 43(4): 95-112.
- 吴海林, 朱文斌, 舒良树, 等. Columbia 超大陆聚合事件在塔里木克拉通北缘的记录[J]. 高校地质学报, 2012, 18 (4): 686-700.
- WU Hailin, ZHU Wenbin, SHU Liangshu, et al. Records of the Assemblage Event of Columbia Super continent in the Northern Tarim Craton[J]. Geological Journal of China Universities, 2012, 18(4): 686-700.
- 谢朝永, 张红强, 韩江伟, 等. 西昆仑陆内造山花岗岩特征及构造环境分析——以阿卡孜岩体为例[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(2): 434-438.
- XIE Chaoyong, ZHANG Hongqiang, HAN Jiangwei, et al. Geochemical Characteristics of Akezi Pluton from Western Kunlun and Their Tectonic Implications [J]. Science Technology and Engineering, 2013, 13 (2): 434-438.
- 许荣华, 张玉泉, 谢应雯, 等. 西昆仑山北部早古生代构造—岩浆带的发现[J]. 地质科学, 1994, 29(4): 313-328.
- XU Ronghua, ZHANG Yuquan, XIE Yingwen, et al. A Discovery of an Early Paleozoic Tectono-Magmatic Belt in the Northern Part of West Kunlun Mountains [J]. Scientia Geological Sinica, 1994, 29(4): 313-328.
- 张传林, 杨淳, 沈加林, 等. 西昆仑北缘新元古代片麻状花岗岩锆石 SHRIMP 年龄及其意义[J]. 地质论评, 2003, 19 (3): 239-244.
- ZHANG Chuanlin, YANG Chun, SHEN Jialin, et al. Zircon SHRIMP Age of Neoproterozoic Gneissoid Granites in the West Kunlun and Its Significance[J]. Geological Review, 2003, 19(3): 239-244.
- 张传林, 赵宇, 郭坤一, 等. 塔里木南缘元古代变质基性火山岩地球化学特征-古塔里木板块中元古代裂解的证据[J]. 地球科学, 2003, 28(1): 47-53.
- ZHANG Chuanlin, ZHAO Yu, GUO Kunyi, et al. Geochemistry Characteristics of the Proterozoic Meta-Basalt in Southern Tarim Plate: Evidence for the Meso-Proterozoic Breakup of Paleo-Tarim Plate [J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2003, 28(1): 47-53.
- 朱志新, 郭瑞清. 新疆塔里木南缘中元古界以来地质构造演化[R]. 2013.
- ZHU Zhixin, GUO Ruiqing. Geological tectonic evolution of the southern Tarim area since Proterozoic[R]. Xinjiang Institute of Geological, 2013.
- BOYNTON W V. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies[C]//Henderson P. Rare earth element geochemistry. Elsevier, Amsterdam, 1984: 63-114.
- JI Wenhua, LI Rongshe, CHEN Shoujian, et al. The discovery of Palaeoproterozoic volcanic rocks in the Bulunkuoler Group from the Tianshuihai Massif in Xinjiang of Northwest China and its geological significance[J]. Sci China Earth Sci, 2011, 54: 61-72.
- LUDWIG K R. Isoplot 3.0-A geochronological toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley Geochronology Center (Spec. Pub.), 2003: 1-70.
- 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: 94-107.
- MIDDLEMOST E A K. Naming materials in the magma/igneous rock system[J]. Earth-Science Reviews, 1994, 37 (3/4): 215-224.
- PEARCE J A, HARRIS N B W, TINDLE A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rock [J]. J. Petrol., 1984, 25 (4): 956-983.
- PECCERILLO A, TAYLOR S R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey[J]. Contrib. Mineral Petrol., 1976, 58

- (1):63-81.
- 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*, 2010, doi: 10.1016/j.jseaes.2010.08.018.
- SUN S S, MCDONOUGH W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and Processes [J]. Saunders A D, Norry M J. *Magma-tism in the Ocean Basin*. Geological Society Special Publication, Blackwell Scientific Publications, 1989, 42:313-346.
- WHELLER G E, VARNE R, FODEN J D, et al. Geochemistry of Quaternary volcanism in the Sunda-Banda arc, Indonesia, and three-component genesis of island-arc basaltic magmas [J]. *Volcan. Geochim. Res.*, 1987, 32:137-160.
- XU B, JIANG P, ZHENG H F, et al. U-Pb zircon geochronology of Neoproterozoic volcanic rocks in the Tarim Block of northwest China: implications for the breakup of Rodinia supercontinent and Neoproterozoic glaciations [J]. *Precambrian Research*, 2005, 136:107-123.
- XU B, XIAO S H, ZOU H B, et al. SHRIMP zircon U-Pb age constraints on Neoproterozoic Quruqtagh diamictites in NW China [J]. *Precambrian Research*, 2009, 168:247-258.
- ZHANG C L, LI Z X, LI X H, et al. Early Palaeoproterozoic high-K intrusive complex in Southwestern Tarim Block, NW China: age, geochemistry and implications for the Paleoproterozoic tectonic evolution of Tarim [J]. *Gondwana Research*, 2007, 12:101-112.
- ZHANG C L, LI Z X, LI X H, et al. Neoproterozoic mafic dyke swarms at the northern margin of the Tarim Block, NW China: Age, geochemistry, petrogenesis and tectonic implications [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2009, 35:167-179.
- ZHU W B, ZHANG Z Y, SHU L S, et al. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of Neoproterozoic Korla mafic dykes in the northern Tarim Block, NW China: implications for the long-lasting breakup process of Rodinia [J]. *Journal of the Geological Society London*, 2008, 165:887-890.
- ZHU W B, ZHENG B H, SHU L S, et al. Geochemistry and SHRIMP U-Pb zircon geochronology of the Korla mafic dykes: Constraints on the Neoproterozoic continental breakup in the Tarim Block, northwest China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2010, doi: 10.1016/j.jseaes.2010.11.018.