

康磊, 校培喜, 高晓峰, 等. 西昆仑西段晚古生代—中生代花岗质岩浆作用及构造演化过程[J]. 中国地质, 2015, 42(3): 533–552.  
Kang Lei, Xiao Peixi, Gao Xiaofeng, et al. Neopaleozoic and Mesozoic granitoid magmatism and tectonic evolution of the western West Kunlun Mountains[J]. *Geology in China*, 2015, 42(3): 533–552(in Chinese with English abstract).

## 西昆仑西段晚古生代—中生代花岗质岩浆作用 及构造演化过程

康磊 校培喜 高晓峰 奚仁刚 杨再朝

(国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 本文通过对西昆仑西段地区晚古生代—中生代花岗岩的岩石类型、形成时代和岩石地球化学资料的综合分析, 探讨花岗质岩浆活动期次、岩石成因, 结合区域资料, 探讨构造—岩浆演化特征和碰撞造山过程。将该地区晚古生代—中生代构造—岩浆演化分为 7 个阶段: (1) 388~324 Ma(特提斯 I、II 支洋向北俯冲消减阶段), 具富钠贫钾特征的低温 TTG 岩石组合, 形成于陆缘弧环境; (2) 339~291 Ma(奥依塔格弧后盆地演化阶段), 由于南部特提斯 I 支洋持续往北俯冲, 导致西昆仑北缘发生弧后扩展而形成弧后盆地, 形成拉斑质具强烈富钠贫钾特征的低温大洋花岗岩; (3) 258~241 Ma(特提斯 I 支洋闭合、碰撞造山阶段), 岩石中发育石榴子石和白云母, 普遍具片麻状构造, 属于 S 型花岗岩, 陆壳部分熔融的产物; (4) 234~210 Ma(特提斯 I 后碰撞伸展阶段): 岩体规模较大, 为 I 型→A 型花岗岩, 伴随着地幔岩浆底侵和强烈的壳幔岩浆混合作用; (5) 198~150 Ma(特提斯 II 支洋向南俯冲消减阶段): 类似 TTG 的岩石组合, 形成于与洋壳俯冲有关的岩浆弧环境; (6) 148~118 Ma(特提斯 II 支洋闭合、碰撞造山阶段): 弱片麻状二云二长花岗岩, 属 C 型埃达克岩, 为陆—陆碰撞过程中陆壳加厚发生部分熔融的产物; (7) 111~75 Ma(特提斯 II 后碰撞伸展阶段): 发育规模较大, 钾玄质系列, 是古老地壳部分熔融的产物。根据各阶段花岗质岩浆活动特征和构造演化过程, 初步提出了西昆仑西段晚古生代—中生代大地构造演化模式图。

**关键词:** 西昆仑西段; 晚古生代—中生代; 花岗岩; 构造演化

中图分类号: P588.12+1 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2015)03-0533-20

## Neopaleozoic and Mesozoic granitoid magmatism and tectonic evolution of the western West Kunlun Mountains

KANG Lei, XIAO Pei-xi, GAO Xiao-feng, XI Ren-gang, YANG Zai-chao

(Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, MLR, Xi'an Center of Geological Survey, CGS, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

**Abstract:** On the basis of rock types, ages and geochemical data of Neopaleozoic and Mesozoic granites, the authors studied the

收稿日期: 2015-02-05; 改回日期: 2015-03-10

基金项目: 中国地质调查局国土资源大调查研究项目(1212011085034, 12120113044500)、国家自然科学基金项目(41202044, 41002063)和陕西省自然科学基金项目(2012JM5004)联合资助。

作者简介: 康磊, 男, 1984 年生, 助理研究员, 主要从事岩浆岩和大地构造研究; E-mail: kang844@163.com。

magmatic stages and petrogenesis of these granites, and discussed tectonic magmatic evolution and collision orogenic process of the western West Kunlun Mountains in combination with the regional geological information. The authors have reached the conclusion that the tectonic magmatic evolution of Neopaleozoic and Mesozoic period should be divided into seven stages: (1) 388–324 Ma (northward subduction of Branch I of Tethys Ocean): granites at this stage had TTG rock association with rich sodium and poor potassium, probably formed in an epicontinental arc; (2) 339–291 Ma (Oytag back-arc basin): this back-arc basin was formed by northward subduction of Branch I of Tethys Ocean in the south, and subsequent tholeiitic ocean granites might be characterized by rich sodium and poor potassium; (3) 258–241 Ma (the stage of the closure of Branch I of Tethys Ocean and collision orogeny): the granites of this stage were gneissic S-type granites with muscovite and garnet which should have originated from continental crust; (4) 234–210 Ma (the post collision extensional stage during Tethys I): huge granitic batholiths were I-A style granites which were closely associated with mantle magma underplating and magma mixing; (5) 198–150 Ma (southward subduction of Branch II of Tethys Ocean): granites of this stage had TTG rock association and were formed in continental marginal arc or island arc setting; (6) 148–118 Ma (the stage of closure of Branch II of Tethys Ocean and collision orogeny): monzonitic granites with weak gneissic structure belonged to C style adakites as a result of melting of thickening crust during continental collision; (7) 111–75 Ma (the post collision extensional stage during Tethys II): the massive granites belonged to shoshonitic series formed by partial melting of ancient crust. The authors put forward a tectonic evolution model for the western West Kunlun Mountains during Neopaleozoic and Mesozoic based on tectonic magmatic evolution of different stages.

**Key words:** western West Kunlun Mountains; Neopaleozoic and Mesozoic; granitoid magmatism; tectonic evolution

**About the first author:** KANG Lei, male, born in 1984, master, assistant researcher, engages in the study of magmatite and geotectonic geology; E-mail: kang844@163.com.

西昆仑造山带位于青藏高原西北缘,是古亚洲构造域和特提斯构造域结合部位<sup>[1-4]</sup>(图1-a),从元古宙到新生代经历了多期复杂的构造演化过程,一直是研究青藏高原周缘造山带及青藏高原早期演化的热点地区。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<sup>[5-7]</sup>,特别是西昆仑西段,由于位于帕米尔高原(西构造结)的东部(图1-b),是印度洋向北扩张挤压应力最为集聚的地带之一,显生宙以来经历了强烈挤压,地层缺失严重、构造复杂,致使构造单元划分、归属及其构造演化存在较大分歧<sup>[8-11]</sup>。在泥盆纪—早二叠世(388~292 Ma)阶段,姜耀辉等<sup>[12]</sup>和Jiang et al.<sup>[13]</sup>认为石炭纪西昆仑西段处于大洋演化的洋壳俯冲阶段;而张传林等<sup>[14]</sup>和李广伟等<sup>[15]</sup>认为该地区此时处于天山造山带大陆裂谷作用远程效应的地幔柱构造环境。在中二叠世—晚三叠世(258~210 Ma)阶段,计文化等<sup>[16]</sup>根据西昆仑造山带沉积岩认为古特提斯碰撞造山作用发生在中二叠世晚期;张传林等<sup>[17]</sup>通过对西昆仑北部两类花岗岩的研究,推测(240.5±1.8) Ma为同碰撞造山环境,(228.2±1.5) Ma处于后碰撞伸展拉张造山环境,李荣社等<sup>[9]</sup>根据西昆仑地层研究也认为碰撞事件发生在晚二叠世—中三叠世,晚三叠世已进入后碰撞阶段;而毕华

等<sup>[18]</sup>对西昆仑造山带前期发表的同位素年龄数据进行统计与分析,推测224.70~211.39 Ma西昆仑还存在岛弧构造环境;Yang et al.<sup>[19]</sup>通过对麻扎—康西瓦断裂西段变质事件的研究,认为碰撞造山作用发生在中—晚三叠世。关于西昆仑造山带侏罗纪(198~150 Ma)和白垩纪(148~75 Ma)阶段中酸性侵入岩,由于地处帕米尔高原腹地,自然地理条件制约,目前对其研究程度相对较低,仅有王春英等<sup>[20]</sup>和康磊等<sup>[21]</sup>对该地区白垩纪花岗岩带进行了研究,认为其与班公湖—怒江新特提斯洋闭合关系密切。上述分歧和较低的研究程度严重制约了对西昆仑西段碰撞造山过程和构造演化过程的研究。

西昆仑西段尤其发育与构造活动关系密切的大规模晚古生代—中生代花岗质侵入体(图1-c、d),为揭示该地区该时段复杂的地质演化和造山过程提供了重要信息。学者较早以前就认识到西昆仑造山带存在多期大规模花岗质岩浆活动事件,出露有元古宙、早古生代、晚古生代、中生代和新生代花岗岩带,区域上从北往南有时代逐渐变新的趋势<sup>[22]</sup>。毕华等<sup>[18]</sup>认为西昆仑造山带的构造—岩浆演化可划分为5个阶段(新太古代—早元古代中期构造—岩浆活动阶段、中元古代晚期构造—岩浆演化稳定阶段、新元古代晚期—晚二叠世构造—岩浆活动

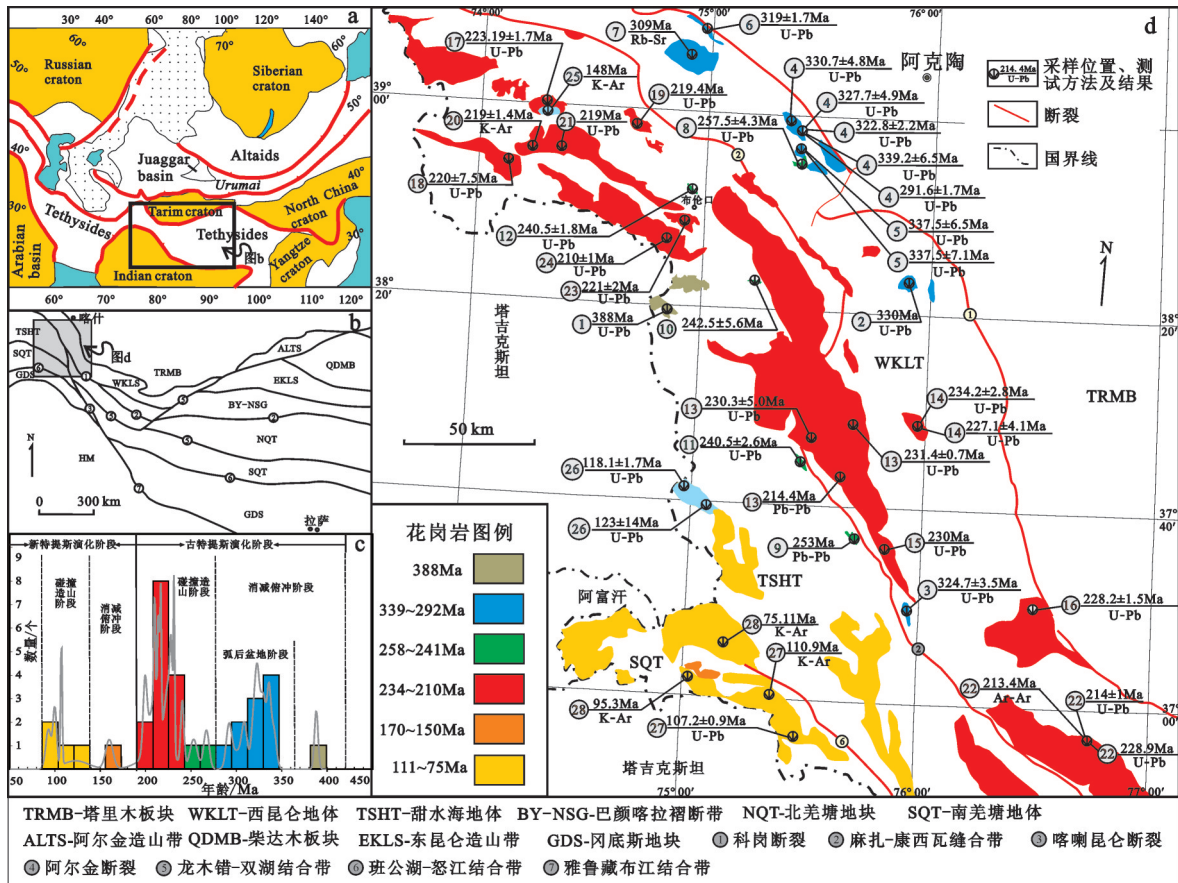


图1 西昆仑西段晚古生代—中生代花岗岩分布及年龄数据图<sup>[6]</sup>  
Fig.1 Distribution of Neopaleozoic–Mesozoic granites in western West Kunlun Mountains<sup>[6]</sup>

阶段、早三叠世—中三叠世构造-岩浆演化稳定阶段和晚三叠世—中更新世构造-岩浆活动阶),而姜耀辉等<sup>[23]</sup>则认为该造山带应分为6个大侵入旋回(新元古、加里东、海西、印支、燕山和喜马拉雅旋回)和9个侵入期(新元古期、加里东早期、中期、晚期、海西晚期、印支晚期、燕山早期、晚期和喜马拉雅期)。近10年,随着国土资源大调查计划的开展,在西昆仑西段地区实施了大量1:25万、1:5万区域地质调查项目、综合研究项目和科研项目,成为西昆仑造山带调查程度最高的地区,同时积累了大量与中酸性侵入岩有关的同位素测年和岩石地球化学数据,为系统研究与西昆仑造山作用有关的构造-岩浆事件提供了关键资料。通过对最新同位素测年资料的分析,项目组将西昆仑西段中酸性侵入岩浆作用分为加里东期、海西期、印支期、燕山期—喜马拉雅期4个阶段<sup>①</sup>。本文在对区域地质调查、综合研究项

目和公开发表文献数据全面收集基础之上,对西昆仑西段晚古生代—中生代花岗岩的岩石类型、岩石地球化学特征以及同位素年代学进行系统分析,试图研究该地区各阶段中酸性侵入岩时空演化、岩石组合、岩石成因以及大地构造环境,进而探讨晚古生代—中生代构造-岩浆演化过程,结合区域地质资料,综合分析西昆仑西段(西构造结东部)晚古生代—中生代的大地构造演化过程。

### 1 区域地质概况

西昆仑地区从北到南主要可以划分为北昆仑地体、中昆仑地体、南昆仑地体、甜水海地块和南羌塘地块,其中北昆仑地体和西昆仑地体以库地—其曼于特蛇绿构造混杂带为界,南昆仑地体和甜水海地块以麻扎—康西瓦蛇绿构造混杂带为界<sup>[7,9,24]</sup>。其中,西昆仑西段由于显生宙以来受到强烈的聚集挤

①西安地质调查中心.《西昆仑-阿尔金山成矿带基础地质综合研究》项目报告. 2013.

压作用,中昆仑地体、南昆仑地体和蛇绿构造混杂岩均不发育,仅出露于该造山带中东部<sup>9,25]</sup>。

西昆仑西段受到后期挤压剥蚀强烈,地质体缺失严重,但发育规模巨大的晚古生代—中生代中酸

表1 西昆仑西段晚古生代—中生代花岗质岩体信息

Table 1 Information of Neopaleozoic–Mesozoic granitic intrusions in the western West Kunlun Mountains

序号	岩体名称	构造单元	岩石类型	时代/Ma	测试方法	资料来源
1	卓勒托克铁热克沟岩体	甜水海地块	片麻状斜长花岗岩, 片麻状石英闪长岩	388	锆石 U-Pb(LA-ICPMS)	①
2	阿提加依罗达坂岩体	北昆仑地体	花岗闪长岩	330	锆石 U-Pb(LA-ICPMS)	
3	叶尔羌河岩体	北昆仑地体	糜棱岩化英云闪长岩	324.7±3.5	锆石 U-Pb(LA-ICPMS)	②
4	奥依塔克岩体	北昆仑地体	斜长花岗岩, 少量英云闪长岩	339.2±6.5	锆石 U-Pb(LA-ICPMS)	[15]
				330.7±4.8	锆石 U-Pb(LA-ICPMS)	[17]
				327.7±4.9	锆石 U-Pb(SHRIMP)	[13]
				322.8±2.2	锆石 U-Pb(LA-ICPMS)	[26]
				291.6±1.7	锆石 U-Pb(LA-ICPMS)	[24]
5	奥依塔克小岩体	北昆仑地体	斜长花岗岩	337.5±6.5	锆石 U-Pb(LA-ICPMS)	[15]
				337.5±7.1	锆石 U-Pb(SHRIMP)	[13]
6	萨罗依岩体	北昆仑地体	英云闪长岩	319±1.7	锆石 U-Pb(LA-ICPMS)	[26]
7	波斯坦铁列克岩体	北昆仑地体	石英闪长岩、斜长花岗岩	309	全岩 Rb-Sr 等时线	③
8	维齐得歪岩体	北昆仑地体	闪长岩、石英闪长岩、斜长花岗岩	257.5±4.3	锆石 U-Pb 等时线	④
9	孔孜罗夫岩体	甜水海地块	片麻状石英闪长岩	253	锆石 Pb-Pb(LA-ICPMS)	⑤
10	玉其卡帕岩体	甜水海地块—北昆仑地体	片麻状二云花岗岩, 正长花岗岩, 碱长花岗岩	242.9±2.6	锆石 U-Pb(SHRIMP)	[27]
11	喀英列克	甜水海地块	含石榴子石(黑云母)二长花岗岩	240.5±2.6	锆石 Pb-Pb(LA-ICPMS)	②
12	布伦口岩体	甜水海地块	片麻状含石榴子石花岗岩, 二云母花岗岩	240.5±1.8	锆石 U-Pb(SHRIMP)	[17]
13	慕斯塔格岩体	甜水海地块—北昆仑地体	黑云二长花岗岩, 花岗闪长岩	231.4±0.7	锆石 U-Pb(LA-ICPMS)	[28]
				230.3±5.0	锆石 U-Pb(SHRIMP)	[27]
				214.4	锆石 U-Pb 等时线	④
14	塔尔岩体	北昆仑地体	二长花岗岩, 花岗闪长岩	234.2±2.8	锆石 U-Pb(SHRIMP)	[27]
				227.1±4.1	锆石 U-Pb(SHRIMP)	
15	卡拉塔什岩体	甜水海地块	细粒闪长岩和中粒英云闪长岩	230	锆石 U-Pb 等时线	⑤
16	科岗一带岩体	北昆仑地体	含角闪石花岗岩	228.2±1.5	锆石 U-Pb(SHRIMP)	[27]
17	沙热塔什岩体	甜水海地块	花岗闪长岩, 闪长岩	223.19±1.7	锆石 U-Pb(LA-ICPMS)	⑥
18	却普吉勒嘎能岩体	甜水海地块	中细粒花岗闪长岩	220±7.5	锆石 U-Pb(LA-ICPMS)	⑦
19	奥尔特萨依岩体	甜水海地块	石英闪长岩, 花岗闪长岩	219.4	锆石 U-Pb(LA-ICPMS)	⑥
20	倭鱼巴勒牲岩体	甜水海地块	黑云英云闪长岩	219±1.4	<sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar(黑云母)	⑦
21	琼阿坡力别克岩体	甜水海地块	英云闪长岩, 石英闪长岩, 石英闪长岩	219	锆石 U-Pb 等时线	⑧
22	阿卡阿孜山岩体	北昆仑地体	二长花岗岩, 黑云母花岗闪长岩	213.4	<sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar(黑云母)	[29]
				228.9	锆石 U-Pb(LA-ICPMS)	⑨
				214±1	锆石 U-Pb 等时线	[30]
23	克拜拉乔库尔岩体	甜水海地块	英云闪长岩, 花岗闪长岩, 石英闪长岩	221±1	锆石 U-Pb 等时线	⑩
24	求库台岩体	甜水海地块	石英闪长岩, 英云闪长岩, 花岗闪长岩	210±1	锆石 U-Pb(LA-ICPMS)	⑩
25	卜科肉克岩体	甜水海地块	二云二长花岗岩	148	<sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar(黑云母)	⑦
26	阿然保泰岩体	甜水海地块	二云二长花岗岩	123±14	锆石 U-Pb 等时线	⑤
				118.1±1.7	锆石 U-Pb(LA-ICPMS)	⑤
27	红其拉甫岩体	南羌塘	花岗闪长岩, 少量闪长岩	110.9	<sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar(黑云母)	⑤
				107.2±0.9	锆石 U-Pb(LA-ICPMS)	[21]
28	穷陶木太克岩体	南羌塘	花岗闪长岩, 二长花岗岩	75.11	<sup>40</sup> Ar- <sup>39</sup> Ar(黑云母)	⑤

① 河南地质调查院. 新疆 1:5 万昆盖山等 5 幅区域地质调查报告. 2012.

② 陕西地质调查院. 新疆 1:5 万如森迭尔阿勒等 7 幅区域地质调查报告. 2012.

③ 河南省地质调查院. 库尔干幅 1:25 万区域地质调查报告. 2005.

④ 河南省地质调查院. 英吉沙县幅 1:25 万区域地质调查报告. 2005.

⑤ 河南省地质调查院. 塔什库尔干塔吉克自治县和克克吐鲁克幅 1:25 万区域地质调查报告. 2004.

⑥ 河南地质调查院. 新疆 1:5 万昆盖山等 5 幅区域地质调查报告. 2012.

⑦ 陕西地质调查院. 新疆 1:5 万空贝利等 7 幅区域地质调查报告. 2011.

⑧ 河南省地质调查院. 艾提开尔丁萨依幅 1:25 万区域地质调查报告. 2005.

⑨ 陕西省地质调查院. 麻扎幅 1:25 万区域地质调查报告. 2004.

⑩ 河南地质调查院. 新疆 1:5 万布伦口等 4 幅区域地质调查报告. 2012.

性侵入岩, 出露面积约占整体35%, 岩体形态及延伸方向严格受区域断裂控制, 整体呈北北西向展布(图1-d)。本次工作通过目前所有相关同位素测年数据的全面分析(表1), 将西昆仑西段晚古生代—中生代中酸性侵入岩浆活动具体分为388~292 Ma、258~210 Ma、198~150 Ma和148~75 Ma 4个阶段(图1-c)。

## 2 泥盆纪—早二叠世(388~292Ma)花岗岩及构造环境

### 2.1 岩体特征及其同位素定年

该时段花岗岩体出露面积较少, 岩体形态也较小, 共发育有11个花岗质岩体, 分布较为分散, 位于不同构造位置, 主要集中在西昆仑西段的东北缘的奥依塔格地区, 根据同位素测年和构造位置分为388~324 Ma和339~291 Ma两个构造—岩浆岩带。

388~324 Ma花岗岩体主要分布于甜水海地块中西缘和北昆仑地体西南缘。前者发育两个岩体(卓勒托克铁热克沟岩体No.1和阔什乌托克岩体), 主要岩石类型为斜长花岗岩和石英闪长岩, 普遍发育片麻状构造, 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为388 Ma<sup>①</sup>; 后者以叶尔羌河岩体(No.3)为代表, 岩石类型为片麻状英云闪长岩和片麻状花岗闪长岩, 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为(324.7±3.5) Ma<sup>②</sup>。

339~291 Ma花岗岩体沿西昆仑北地体的东北缘分布, 出露8个岩体(阿提加依罗达坂岩体No.2、奥依塔格岩体No.4、奥依塔格小岩体No.5、萨罗依岩体No.6和波斯坦铁列克岩体No.7等), 岩石类型为奥长花岗岩、英云闪长岩和少量花岗闪长岩, 岩石普遍发育弱片理化, 且贯穿于岩体, 与围岩早石炭世乌鲁阿特组玄武岩片理产状一致, 表明岩体与其遭受了相同的构造作用<sup>[12]</sup>。目前, 较多学者对奥依塔格岩体进行锆石 U-Pb 定年, 形成时代为291.6~339.2 Ma(表1), 此外阿提加依罗达坂岩体和萨罗依岩体获得锆石 U-Pb 年龄分别为330 Ma<sup>③</sup>和(319±1.7) Ma<sup>[26]</sup>, 波斯坦铁列克岩体全岩 Rb-Sr 等时线年龄为309 Ma<sup>④</sup>。

### 2.2 地球化学特征及其岩石成因

综合目前区域地质调查、综合研究报告和公开发表文献, 西昆仑西段地区花岗岩岩石地球化学数据见表2。

388~324 Ma花岗岩体的 SiO<sub>2</sub>(57.3%~75.8%)、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(12.58%~15.78%)、CaO(0.98%~6.52%)、MgO(0.67%~2.88%)和 FeO(1.47~8.41)含量变化较大, 但均具富钠贫钾特征(Na<sub>2</sub>O=3.17%~5.19%, K<sub>2</sub>O=1.45%~3.33%, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O=0.28~0.83)。在标准矿物 An-Ab-Or 分类图解中(图2), 岩石位于奥长花岗岩、英云闪长岩和花岗闪长岩区域, 岩石类型以钙碱性系列为主, 少量为高钾钙碱性(图3-a), 此外在 SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-A/CNK 图中陆壳和大洋英云闪长岩均有分布(图3-b)。该阶段花岗岩的稀土元素总量中等(∑REE为140.6×10<sup>-6</sup>~244.3×10<sup>-6</sup>), 轻重稀土分馏较弱((La/Yb)<sub>N</sub>分别为4.2~20.1), 稀土元素标准化模式曲线呈右倾型(图4-a), 具中等负铕异常(Eu/Eu\*分别为0.51~0.84)。在微量元素原始地幔标准化图上(图4-b), 岩石均相对富集 Rb、Th、K、Zr、Hf 和 LREE 等大离子亲石元素, 亏损 Nb、Ta、Sr、P、Ti 和 HREE 等高场强元素。锆石饱和温度计采用 Watson and Harrison<sup>[31, 32]</sup>从高温实验(700~1300 °C)得出的锆石溶解度的模拟公式:  $t_z(\text{°C}) = \{12900[\ln D_z + (496000/\text{熔体}) + 0.85M + 2195] - 273.15\}$ , 式中  $D_z$  为 Zr 分配系数,  $M$  为锆石寄主岩石主量元素 Si、Al、Fe、Mg、Ca、Na、K、P 原子数归一化计算后的原子分数值。计算表明, 该阶段花岗岩锆石饱和温度为 778°C~783°C, 属于低温花岗岩<sup>[34]</sup>。

339~291 Ma花岗岩整体偏酸性(SiO<sub>2</sub>=57.73%~80.86%, 平均值为73.29%), 均具低的 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(11.47%~17.44%, 平均值为13.03%), 高的 CaO(1.26%~7.36%, 平均值为2.96%)和 MgO(0.02%~2.94%, 平均值为1.00%), 强烈的富钠贫钾(Na<sub>2</sub>O=3.16%~6.02%, K<sub>2</sub>O=0.06%~2.11%, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O=0.01~0.50, 平均值为0.12)。在 An-Ab-Or 分类图解中(图2), 大多位于奥长花岗岩区域, 少量为英云闪长岩, 特别是在 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O 图解中基本落入拉斑质系列(图3-a), 并

① 河南地质调查院. 新疆1:5万昆盖山等5幅区域地质调查报告. 2012.

② 陕西地质调查院. 新疆塔什库尔干塔吉克自治县1:5万拉甫尤尔提等4幅区域地质调查报告. 2008.

③ 河南省地质调查院. 艾提开尔丁萨依幅和英吉沙县幅1:25万区域地质调查报告. 2005.

**表2 西昆仑西段晚古生代—中生代花岗岩主量元素(10<sup>-2</sup>)、稀土元素和微量元素(10<sup>-6</sup>)含量数据**  
**Table 2 Major element (10<sup>-2</sup>) and trace element (10<sup>-6</sup>) composition of Neopaleozoic-Mesozoic granities in the western West Kunlun Mountains**

分析项目	甜水海地块				北昆仑地体																		
	卓勒托克铁热克沟岩体		阔什乌托克岩体	石英闪长岩	波斯斯坦铁列克岩体								奥依塔克岩体										
	闪长岩	斜长花岗岩	石英闪长岩		石英闪长岩	斜长花岗岩	英云闪长岩	奥依塔克岩体															
SiO <sub>2</sub>	57.3	73.5	75.8	65.2	55.8	58.0	69.0	77.1	68.7	70.6	70.4	72.7	68.2	74.4	74.5	75.3	75.2	75.9	75.1	76.9	80.2	76.6	
TiO <sub>2</sub>	1.27	0.37	0.23	0.98	1.56	0.64	0.19	0.28	0.51	0.40	0.45	0.36	0.54	0.19	0.20	0.17	0.16	0.21	0.27	0.12	0.10	0.23	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.78	13.54	12.58	13.8	14.9	16.6	14.1	11.4	13.7	13.5	13.8	13.1	14.6	13.0	12.9	12.6	12.80	11.9	12.20	11.60	10.60	11.80	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.22	0.87	0.51	3.04	3.13	3.14	1.41	0.86	2.21	1.72	1.87	0.70	2.83	1.08	0.88	0.98	0.79	1.01	0.54	2.05	0.01	0.82	
FeO	5.37	1.67	1.00	3.25	7.53	3.38	2.60	1.61	3.36	2.94	3.21	3.61	3.41	1.41	1.53	1.05	1.32	2.11	2.72	0.43	1.05	1.20	
MnO	0.17	0.02	0.02	0.10	0.23	0.09	0.06	0.06	0.16	0.13	0.15	0.14	0.17	0.06	0.05	0.04	0.05	0.06	0.08	0.07	0.02	0.04	
MgO	2.88	1.30	0.67	1.16	2.84	2.19	2.19	0.5	1.79	1.54	1.11	0.9	1.45	1.34	1.27	1.12	1.01	1.67	1.62	0.11	0.13	0.28	
CaO	6.52	0.98	1.5	3.7	7.27	6.13	1.65	1.65	4.20	3.85	3.86	3.14	3.55	2.35	2.72	2.92	2.17	2.20	2.10	2.91	1.51	2.14	
Na <sub>2</sub> O	3.67	5.19	3.89	4.03	3.05	3.93	4.14	4.49	4.51	4.38	4.38	4.53	4.63	6.02	5.78	5.57	6.33	4.60	4.89	4.83	5.36	5.28	
K <sub>2</sub> O	1.77	1.45	3.00	3.33	0.20	0.65	2.05	1.16	0.79	0.83	0.61	0.70	0.46	0.21	0.17	0.17	0.19	0.31	0.4	0.08	0.18	0.24	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.27	0.12	0.04	0.28	0.16	0.19	0.04	0.04	0.11	0.1	0.12	0.10	0.13	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.05	0.01	0.01	0.04	
K/N	0.48	0.28	0.77	0.83	0.07	0.17	0.50	0.26	0.18	0.19	0.14	0.15	0.10	0.03	0.03	0.03	0.03	0.07	0.08	0.02	0.03	0.05	
La	25.51	31.04	30.67	41.7	4.47	7.92	21.20	16.70	12.4	10.8	7.53	14.60	9.38	6.58	7.69	7.50	8.13	5.93	5.45	6.92	7.00	7.14	
Ce	51.80	61.25	57.23	87.01	11.89	12.7	37.30	30.70	31.60	27.10	19.60	35.30	23.30	18.70	22.10	21.30	22.50	18.10	16.60	19.66	20.59	19.95	
Pr	6.95	7.30	7.27	12.43	1.86	1.62	3.72	3.93	4.86	3.99	3.13	5.08	3.47	3.32	3.72	3.56	3.77	2.79	2.63	3.49	3.53	3.77	
Nd	28.10	25.98	25.42	48.72	9.06	6.90	14.40	18.10	23.50	18.30	15.40	23.20	16.30	18.00	20.00	20.20	19.50	14.20	13.6	19.63	19.83	18.45	
Sm	6.31	4.38	4.82	10.69	3.05	2.23	3.00	4.71	7.50	5.44	4.91	6.42	4.96	6.67	7.49	7.52	7.15	5.02	5.01	7.20	6.33	5.97	
Eu	1.80	1.08	0.77	2.19	1.26	0.92	0.70	0.9	1.14	1.06	1.10	1.02	1.10	0.72	0.66	0.70	0.72	0.62	0.62	0.77	1.36	0.86	
Gd	6.79	3.44	4.28	10.94	4.10	2.92	2.50	5.94	9.27	6.66	6.19	7.76	6.01	9.05	10.3	10.10	10.50	6.78	7.03	10.52	8.82	8.05	
Tb	1.12	0.51	0.68	1.89	0.74	0.61	0.47	1.07	1.6	1.13	1.07	1.3	1.00	1.56	1.85	1.76	1.91	1.19	1.26	2.00	1.65	1.48	
Dy	6.92	2.60	4.13	11.38	4.81	3.94	3.24	7.49	11.00	7.79	7.42	8.98	6.95	11.10	13.20	12.80	13.40	8.47	9.37	13.79	11.35	9.96	
Ho	1.43	0.48	0.88	2.38	1.06	0.92	0.70	1.65	2.46	1.78	1.68	2.08	1.61	2.49	3.09	2.97	2.95	1.96	2.20	3.04	2.44	2.17	
Er	4.07	1.17	2.42	6.5	2.86	2.76	1.98	4.97	7	5.12	4.82	5.86	4.55	7.04	8.91	9.1	8.34	5.69	6.36	8.87	7.32	6.15	
Tm	0.66	0.17	0.39	0.99	0.48	0.43	0.32	0.72	1.08	0.82	0.76	0.94	0.74	1.11	1.42	1.40	1.36	0.92	1.01	1.41	1.21	1.00	
Yb	4.10	1.01	2.46	6.42	3.12	2.66	1.97	4.33	6.98	5.44	5.07	6.17	4.88	7.1	9.46	9.38	9.01	6.09	6.53	9.13	7.59	6.56	
Lu	0.63	0.16	0.37	1.01	0.52	0.40	0.29	0.66	1.04	0.84	0.79	0.95	0.77	1.09	1.43	1.42	1.37	0.95	1.00	1.50	1.16	1.08	
Y	33.81	11.38	22.35	56.08	24.08				66.00	49.20	46.00	56.30	44.10	64.70	83.60	82.80	82.30	54.20	62.10	75.66	65.31	51.37	
δ Eu	0.84	0.82	0.51	0.61	1.09	1.10	0.76	0.37												0.27	0.56	0.38	
LR/HR	4.68	13.73	8.08	4.88	1.79	2.21	7.00	1.10												1.15	1.41	1.54	
ΣREE	180.0	152.0	164.10	300.30	73.40	46.90	91.80	102.0												184.0	166.0	144.0	
Rb	57.60	31.70	79.60	93.30	5.20	4.00	24.00		15.90	19.40	11.30	12.40	9.35	3.59	2.42	3.26	3.89	5.14	6.75	4.70	2.80	5.40	
Sr	290.0	78.30	109.0	146	152.0	145.3	94.50		89.30	89.70	102.0	77.60	88.80	34.00	45.20	89.60	41.00	64.30	62.20	50.70	112.0	80.10	
Ba	418.0	270	478.0	530	14.50	76.70	255.0		130.0	150.0	109.0	117.	91.80	63.60	56.0	79.60	70.50	87.60	87.80	104.0	48.40	71.90	
Ni	10.30	3.10	4.72	5.83	5.68	35.08	12.66													1.56	2.50	1.79	
Co	23.90	11.70	9.83	12.80	25.2	25.79	14.76													21.30	171.0	8.790	
V	197.0	39.0	22.50	48.90	79.0	206.9	71.53													7.70	8.60	11.60	
Ga	23.10	14.30	21.20	27.00	9.06			17.7	17.3	17.5	17.2	17.3		13.40	16.10	16.20	16.30	11.50	12.70	8.77	8.61	6.92	
Nb	9.38	5.32	5.73	17.4	2.48	3.50	5.50		3.45	2.75	2.44	2.92	2.04	1.53	3.05	2.24	2.62	1.68	1.76	1.48	0.91	1.41	
Ta	0.75	0.47	0.46	1.32	0.26	0.42	0.41		0.37	0.35	0.3	0.3	0.27	0.24	0.27	0.26	0.31	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	
Cr	33	7.60	9.40	12.10	13.20	139	40.36													9.90	9.10	7.60	
Zr	212.6	136.2	141.2	576	105.0	181.7	145.0		124.0	135.0	128.0	135.0	118.0	118.0	147.0	147.0	180.0	121.0	105.0	147.0	172.0	139.0	
Hf	5.80	4.50	4.50	14.00	3.40	2.50	4.00		3.76	3.97	3.67	4.08	3.41	3.79	5.33	5.44	7.02	4.04	3.68	4.90	5.60	4.60	
Th	10.80	11.20	13.70	14.60	0.74	4.20	4.65		2.3	2.12	1.69	2.51	1.88	1.03	1.35	1.38	1.64	1.95	1.23	0.77	0.55	0.77	
Sc	27.70	6.26	3.63	14.80	33.2	35.0	11.25													7.75	10.9	10.4	
Tzr		783	778				786			752	751	761	749		747	763	762	781	762	749	766	788	768
文献			①				②															③	

注: K/N为K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O含量比值, LR/HR为ΣLREE/ΣHREE比值, T<sub>zr</sub>为据文献[27, 28]方法计算的锆石饱和温度。

①河南省地质调查院. 艾提开尔丁萨依幅1:25万区域地质调查报告. 2005.

②河南省地质调查院. 库尔干幅1:25万区域地质调查报告. 2005.

③河南省地质调查院. 英吉沙县幅1:25万区域地质调查报告. 2005.

续表2

分析项目	北昆仑地体						甜水海地块																	
	奥依塔克岩体			玉其卡帕岩体			慕士塔格岩体																	
	斜长花岗岩	碱长花岗岩	二长花岗岩	二长花岗岩	黑云二长花岗岩	斑状二长花岗岩	二长花岗岩	花岗闪长岩	英云闪长岩	石英二长闪长岩	二长花岗岩	二长花岗岩	二长花岗岩	二长花岗岩	二长花岗岩									
SiO <sub>2</sub>	76.3	74.2	73.4	77.6	76.5	71.2	74.5	75.4	77.4	66.1	72.5	71.0	66.1	72.5	67.5	70.8	67.5	66.1	72.0	67.7	59.0	66.7	69.4	75.3
TiO <sub>2</sub>	0.18	0.22	0.25	0.06	0.14	0.2	0.21	0.17	0.06	0.57	0.26	0.17	0.57	0.26	0.52	0.39	0.52	0.47	0.38	0.51	0.43	0.44	0.31	0.12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.6	12.0	13.2	11.5	12.1	14.6	12.6	12.5	12.1	14.3	13.5	15.1	14.4	13.5	15	13.87	15	15.6	13.6	15.1	18.2	15.6	14.68	11.44
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.81	1.16	1.03	0.7	1.47	1.85	2.08	0.48	0.32	1.3	0.49	1.25	1.3	0.49	1.34	0.89	1.34	1.84	0.59	0.92	1.23	1.72	0.23	0.55
FeO	1.42	1.58	1.43	1.2				1.17	0.35	3.85	2.15	0.28	3.85	2.15	3.45	2.6	3.45	3.52	2.42	3.65	2.87	1.94	2.55	1.03
MnO	0.06	0.06	0.06	0.04	0.03	0.06	0.06	0.04	0.01	0.12	0.06	0.02	0.12	0.06	0.11	0.08	0.11	0.16	0.05	0.11	0.11	0.05	0.08	0.04
MgO	0.16	0.28	0.26	0.02	0.22	0.28	0.31	0.25	0.11	1.45	0.6	0.19	1.45	0.6	0.8	0.63	0.8	0.69	0.77	0.82	3.2	1	0.4	0.18
CaO	1.72	2.34	2.58	1.24	0.32	1.17	1.22	1.07	0.79	4.16	2.33	0.82	4.16	2.33	3.79	2.47	3.79	3.45	2.45	3.01	4.7	2.43	1.65	0.87
Na <sub>2</sub> O	5.38	4.7	4.92	5.76	2.98	3.42	3.02	2.7	3.1	3.44	3.5	4.47	3.44	3.5	3.91	3.24	3.91	4.55	3.17	4.05	3.8	3.36	3.94	3.12
K <sub>2</sub> O	0.28	0.88	0.8	0.06	5.46	6.31	5.01	5.53	5.28	3.14	3.79	5.86	3.14	3.79	2.16	4.02	2.16	2.57	3.72	3.19	2.93	4.88	5.4	4.51
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07	0.06	0.06	0.04	0.05	0.07	0.08	0.04	0.02	0.15	0.07	0.02	0.15	0.07	0.16	0.09	0.16	0.1	0.07	0.14		0.17	0.1	
K/N	0.05	0.19	0.16	0.01	1.83	1.85	1.66	2.05	1.70	0.91	1.08	1.31	0.91	1.08	0.55	1.24	0.55	0.56	1.17	0.79	0.77	1.45	1.37	1.45
La	5.07	6.07	6.05	8.03	22	35	42	47.5	9.13	54.12	44.9	55.71	54.1	44.94	28.5	48.99	28.52	24.07	46.5	42.4	116	65.4		48.6
Ce	12.3	14.4	13.9	20.5	39	59	85	80.3	15.63	92.03	74.2	92.1	92	74.19	62.7	81.98	62.72	53.73	79.3	79.04	213.4	121.9		77.2
Pr	3.05	3.54	3.22	5.31	5.7	8.1	9.9	9.04	1.9	10.28	7.69	10.39	10.3	7.69	8.46	8.95	8.46	7.82	9.17	9.88	22.94	14.6		6.7
Nd	11.3	13	12	20	18	29.9	37.3	27.2	6.71	33.3	23.4	34.4	33.3	23.4	32.2	31.6	32.2	31.0	29.2	35.0	76.6	42.1		37.2
Sm	3.4	3.94	3.42	6.3	3.5	5.9	7.4	4.76	1.65	5.59	3.76	6.76	5.59	3.76	7.15	5.53	7.15	6.6	5.19	6.28	11.24	8.61		12.85
Eu	1.04	0.91	1.05	1.24	0.2	0.74	0.69	0.36	0.15	1.01	0.67	0.53	1.01	0.67	1.83	0.93	1.83	2.06	0.83	1.57	2.39	1.63		0.55
Gd	4.76	5.7	4.66	9.15	3.3	4.89	6.72	3.73	1.89	4.78	2.94	6.26	4.78	2.94	6.67	0.55	6.67	6.08	4.46	5.43	6.54	5.07		5.12
Tb	0.86	1.04	0.85	1.62	0.58	0.79	1.04	0.66	0.39	0.74	0.49	0.98	0.74	0.49	1.05	2.89	1.05	0.99	0.72	0.87	0.72	0.69		0.85
Dy	5.73	6.96	5.48	11.2	3.59	4.44	5.84	4.13	2.65	4.14	2.88	4.73	4.14	2.88	5.96	0.57	5.96	5.7	4.34	4.78	3.02	4.16		4.71
Ho	1.29	1.55	1.25	2.49	0.72	0.89	1.12	0.93	0.62	0.92	0.62	0.78	0.92	0.62	1.21	1.49	1.21	1.24	0.88	0.98	0.51	0.94		1.22
Er	3.82	4.67	3.74	7.35	2.35	2.58	3.31	2.85	1.92	2.66	1.94	1.6	2.66	1.94	3.24	0.22	3.24	3.57	2.53	2.74	1.32	2.29		2.88
Tm	0.58	0.71	0.57	1.08	0.42	0.42	0.53	0.51	0.32	0.45	0.33	0.2	0.45	0.33	0.5	1.3	0.5	0.56	0.4	0.44	0.18	0.37		0.41
Yb	3.95	4.9	3.88	7.34	2.94	2.88	3.58	3.34	2.13	2.93	2.31	1.01	2.93	2.31	3.02	0.2	3.02	3.54	2.51	2.68	0.88	2.59		2.82
Lu	0.63	0.79	0.62	1.13	0.46	0.47	0.57	0.5	0.32	0.46	0.37	0.15	0.46	0.37	0.48	13.68	0.48	0.53	0.37	0.41	0.18	0.32		0.72
Y	33.8	41.6	33.4	64.8	21	25.5	33.5	24.8	17.7	23.8	16.4	16.9	23.8	16.4	29.3	24.7	29.3	31.15	23.0	24.5	15.3	22.1		31.7
δ Eu	0.88	0.65	0.9	0.56				0.25	0.26	0.58	0.6	0.25	0.58	0.6	0.8	1.01	0.8	0.98	0.52	0.8	0.78			
LR/HR	0.65	0.62	0.73	0.58				10.2	3.43	11.5	13	12.7	11.5	13.0	6.37	6.8	6.37	5.64	10.1	9.5	33.1			
ΣREE	91.6	110	94.1	168				211	63.1	237	184	233	237	184	192	97.1	192	178.6	210	217	471			
Rb	3.4	14.4	13	1.2	425	333	284	215	194.3	151.7	179	162	152	179	74	156	74	76	154	145	88.9			201
Sr	65.4	69.5	74.3	40.1	33	102	106	67	30	220	168	57	220	168	336	190	336	249	189	223	1409			109
Ba	134	235	230	108	83	376	275	214	77	514	474	392	514	474	1033	624	1033	984	581	630	2303			447
Ni	2.76	2.14	2.32	1.99				2.6	3.8	5.1	4.5	3.3	5.1	4.5	8	3.9	8	5.1	3.8	3.8	24.5			5
Co	14.3	16.1	12.1	15.3				28	24	14.4	16.6	20	14.4	16.6	16	30	16	16.9	19	13.1	15.3			1.6
V	25.9	40.9	38.9	20.5				9.3	5.2	54.8	22.6	8.7	54.8	22.6	36	29	36	29.7	30.7	22.2	93			10
Ga					14	16	16	13	14.6	19.7	16	21	19.7	16	17	16	17	19.7	20.3	19	19.2			
Nb	3.72	4.62	4.3	3.65	21.1	16	17	13	8	19.5	14.4	17	19.5	14.4	13	13	13	13	12.6	13.1	11.2			11
Ta					4.02	1.96	2.08	1.4	0.7	1.6	1.3	1.1	1.6	1.3	1	1.3	1	0.5	0.5	1.1	0.55			
Cr	31.5	32.6	30.8	32.6				8.8	4.1	12.3	7.7	11	12.3	7.7	14	5.3	14	11.1	4.8	3.8	50.2			7.5
Zr	119	114	104	107	82	160	143	158	76	206	135	191	206	135	292	192	292	369	164	250	167			121
Hf	2.78	2.95	2.53	2.94	3.72	5.56	4.79	4.7	3.2	5	4.5	5.6	5	4.5	7.3	5.1	7.3	8	5.3	6.1	4.59			
Th					38.8	41.5	39.4	34	22.6	19.2	34.4	22	19.2	34.4	5.9	26	5.9	6.4	21.5	13.1	37.7			31
Sc	8.75	9.56	8.04	8.51				2.1	1.6	8.6	3.9	2.2	8.6	3.9	15	6	15	12.8	6.4	12.2	10.4			3.72
Tzr	758	750	745	754	738	780	775	786	726		763	795		763	823	793	823	840	783	810				763
文献		①				[27]									②									[23]

①河南省地质调查院. 英吉沙县幅1:25万区域地质调查报告. 2005.

②河南省地质调查院. 塔什库尔干塔吉克自治县和克克吐鲁克幅1:25万区域地质调查报告. 2004.

续表2

分析项目	甜水海地块											北昆仑地体		甜水海地块						
	慕士塔格岩体											卡拉塔什岩体		沙热塔什岩体		米计干岩体	琼阿坡力别克岩体			
	黑云母 二长花岗岩	斑状黑云母 二长花岗岩	二长花岗岩	花岗岩	闪长岩	英云闪长岩	细粒 闪长岩	细粒 闪长岩	花岗 闪长岩	英云 闪长岩	闪长岩	石英闪长岩	英云 闪长岩							
SiO <sub>2</sub>	71.0	76.3	66.1	72.5	67.5	71.9	71.4	71.4	68.6	69.1	67.7	67.8	53.5	49.2	61.7	64.6	52.2	63.0	63.8	66.7
TiO <sub>2</sub>	0.17	0.14	0.57	0.26	0.52	0.35	0.35	0.36	0.47	0.39	0.49	0.38	0.47	1.16	0.8	0.55	1.11	0.62	0.52	0.47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.1	12.0	14.4	13.5	15.0	14.3	14.2	14.4	15.2	15.1	15.4	14.2	16.5	16.5	16.4	15.8	17.5	15.9	15.7	15.6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.25	0.30	1.30	0.49	1.34	0.52	1.13	1.35	1.17	1.20	1.25	1.80	1.5	2.15	1.36	0.83	1.01	1.45	1.17	0.67
FeO	0.28	1.23	3.85	2.15	3.45	2.16	2.08	2.05	2.47	2.37	2.71	3.37	4.43	8.30	4.78	3.70	7.57	3.65	3.57	3.40
MnO	0.02	0.04	0.12	0.06	0.11	0.05	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.12	0.12	0.24	0.10	0.12	0.24	0.10	0.10	0.10
MgO	0.19	0.24	1.45	0.60	0.80	0.85	0.89	0.98	1.16	0.97	1.26	1.50	6.67	6.08	2.55	2.12	5.90	2.82	2.51	1.88
CaO	0.82	0.82	4.16	2.33	3.79	2.68	2.73	2.97	3.31	2.81	3.94	4.89	11.18	10.35	5.46	4.99	8.99	5.77	5.53	4.74
Na <sub>2</sub> O	4.47	3.21	3.44	3.5	3.91	3.51	3.87	4.12	3.63	3.45	3.72	3.17	3.37	1.37	2.49	2.78	1.41	2.75	2.75	2.82
K <sub>2</sub> O	5.86	4.63	3.14	3.79	2.16	3.57	3.14	2.14	3.77	4.43	3.27	0.84	0.35	1.78	2.10	2.61	1.10	1.96	2.48	2.13
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02	0.02	0.15	0.07	0.16	0.11	0.11	0.11	0.16	0.13	0.15	0.07	0.07	0.23	0.17	0.12	0.20	0.13	0.11	0.11
K/N	1.31	1.44	0.91	1.08	0.55	1.02	0.81	0.52	1.04	1.28	0.88	0.26	0.10	1.30	0.84	0.94	0.78	0.71	0.90	0.76
La	55.71	48.05	54.12	44.9	28.52	37.0	27.0	30.4	49.20	42.9	38.50	6.99	10.37	21.81	16.54	28.01	15.34	19.71	27.36	25.52
Ce	92.1	97.47	92.03	74.2	62.72	66.6	78.2	66.7	85.8	74.20	70.20	15.86	19.6	52.17	31.66	55.7	33.24	40.02	54.52	50.72
Pr	10.39	12.08	10.28	7.69	8.46	6.94	11.3	8.41	8.86	7.70	7.59	2.34	2.47	7.39	3.99	6.51	4.20	4.93	6.41	6.26
Nd	34.44	44.49	33.34	23.4	32.18	23.3	45.0	32.70	28.0	24.8	25.7	10.48	9.89	32.29	15.64	24.59	16.08	18.39	23.2	22.47
Sm	6.76	9.07	5.59	3.76	7.15	4.05	9.91	6.55	5.12	4.42	4.79	2.97	2.33	7.16	3.54	4.67	3.69	4.20	4.45	5.08
Eu	0.53	1.09	1.01	0.67	1.83	1.10	1.51	1.6	1.08	0.87	0.99	0.80	0.69	1.64	1.43	1.15	1.15	1.07	1.00	1.03
Gd	6.26	8.44	4.78	2.94	6.67	3.41	8.18	5.26	4.00	3.56	3.88	3.60	2.55	7.14	3.00	3.89	3.47	3.82	3.75	4.94
Tb	0.98	1.41	0.74	0.49	1.05	0.5	1.22	0.73	0.60	0.54	0.58	0.66	0.45	1.16	0.39	0.59	0.57	0.64	0.6	0.83
Dy	4.73	8.28	4.14	2.88	5.96	3.17	7.41	4.07	3.32	3.23	3.52	4.48	2.67	6.49	1.79	3.32	3.29	3.81	3.27	4.72
Ho	0.78	1.67	0.92	0.62	1.21	0.70	1.62	0.8	0.74	0.71	0.76	0.96	0.53	1.29	0.30	0.68	0.68	0.76	0.66	0.93
Er	1.60	4.35	2.66	1.94	3.24	2.03	4.59	2.1	2.14	2.02	2.13	2.92	1.43	3.65	0.77	1.77	1.91	2.06	1.86	2.56
Tm	0.20	0.66	0.45	0.33	0.5	0.35	0.76	0.3	0.34	0.33	0.36	0.49	0.21	0.59	0.12	0.28	0.30	0.33	0.30	0.39
Yb	1.01	3.96	2.93	2.31	3.02	2.32	5.13	1.92	2.58	2.25	2.53	3.27	1.24	3.61	0.76	1.78	1.82	2.05	1.80	2.40
Lu	0.15	0.56	0.46	0.37	0.48	0.37	0.81	0.28	0.41	0.36	0.41	0.50	0.18	0.53	0.13	0.27	0.28	0.30	0.28	0.36
Y	16.88	41.66	23.75	16.4	29.26	19.8	46.2	21.2	21.4	20.2	21.5	26.21	13.16	31.76	7.32	16.37	16.27	18.58	16.49	22.33
δEu	0.25	0.37	0.58	0.60	0.80							0.75	0.86	0.69	1.31	0.8	0.97	0.80	0.73	0.62
LR/HR	12.73	7.24	11.5	13.0	6.37							2.34	4.90	5.01	10.4	9.59	5.98	6.41	9.34	6.48
ΣREE	232.5	283.2	237.2	184	192.2							82.5	67.8	178.7	87.1	149.6	102.3	120.7	145.9	150.5
Rb	162.0	188	151.7	179	74.0	82.1	179	70.6	194	170	166	14.0	6.5	60.6	83.0	97.9	53.1	77.6	93.8	105
Sr	57.0	66.7	220	168	336	245	314	542	318	234	313	107.0	169.0	293	235	254	241	236	252	203
Ba	392	565	514	474	1033	358	250	613	754	837	645	135.0	89.0	414	409	534	276	430	433	467
Ni	3.30	2.37	5.10	4.50	80							6.70	80.0	23.6	27.0	10.5	52.7	26.4	16.9	18.0
Co	20.0	8.14	14.4	16.6	16.0							21.0	30.0	33.5	20.2	15.1	36.3	21.8	16.6	17.0
V	8.70	12.5	54.8	22.6	36.0							75.0	117.0	283.0	92.5	62.4	171	82.1	76.7	65.0
Ga	21.0	30	19.7	16.0	17.0	16.4	23.9	18.9	18.0	16.9	17.6	17.0	16.0	22.4	21.7	27.7	17.5	22.9	22.3	22.0
Nb	17.0	15	19.5	14.4	13.0	9.84	22.6	12.2	11.4	13.7	11.2	3.70	5.0	10.5	11.2	9.47	9.54	9.16	8.35	12.0
Ta	1.10	1.43	1.60	1.30	1.00	1.09	1.51	0.83	1.30	1.15	1.39	0.50	0.50	0.87	0.87	0.84	1.11	0.68	0.89	0.90
Cr	11.0	9.30	12.3	7.70	14.0							19.0	323	140	52.7	37.0	191	81.7	36.4	49.0
Zr	191	165.5	206	135	292	163	84.2	94.2	168	157	128	107	77.0	123	214	145	120	158	115	133
Hf	5.60	5.40	5.00	4.50	7.30	4.30	2.44	2.59	4.42	4.03	3.3	3.50	1.80	3.40	5.80	4.60	3.30	4.30	3.50	3.80
Th	22.0	34.0	19.2	34.4	5.90	18.6	3.48	9.21	18	20.2	13.4	1.20	3.70	1.55	2.36	9.71	2.68	3.94	12.1	9.50
Sc	2.20	3.26	8.60	3.90	15.0							17.0	31.0	46.2	17.8	16.3	32.1	18.7	14.9	19.0
Tzr	795	793		763	823	780	723	735	773	770		737			791	757				758

①河南省地质调查院. 英吉沙县幅1:25万区域地质调查报告. 2005.  
 ②河南省地质调查院. 塔什库尔干塔吉克自治县和克克吐鲁克幅1:25万区域地质调查报告. 2004.  
 ③河南省地质调查院. 艾提开尔丁萨依幅1:25万区域地质调查报告. 2005.



续表2

分析项目	北昆仑地体			甜水海地块		南羌塘地块							
	阿卡阿孜山花岗岩体			阿然保泰岩体		红其拉甫岩体			穷陶木太克岩体				
	石英 二长岩	二长 花岗岩	A型花岗岩	正长 花岗岩	二云 花岗岩	花岗闪长岩	石英闪长岩	花岗闪长岩	二长 花岗岩	花岗 闪长岩	二长 花岗岩		
SiO <sub>2</sub>	65.48	74.9	65.9 71.1 72.0 73.4	71.2	73.4 73.6	61.3	68.3 71.7 68.8	67.7 68.5	68.2 64.2 68.0 66.0	62.0	68.0	62.2	65.7
TiO <sub>2</sub>	0.64	4.24	0.51 0.30 0.19 0.12	0.15	0.23 0.3	0.70	0.50 0.30 0.50	0.46 0.47	0.48 0.59 0.42 0.45	1.10	0.51	0.75	0.46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.13	14.14	16.4 14.0 14.1 14.1	15.8	14.2 13.9	16.2	15.7 14.8 15.2	14.3 15.7	16.1 15.8 15.1 15.6	16.2	14.2	16.0	15.7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.00	0.81		0.64	0.27 0.46	4.80	2.78 2.17 3.28	0.58 0.52	0.93 1.27 0.84 0.75	1.05	0.86	0.68	1.02
FeO	3.39	1.82		0.74	0.98 1.12	4.23	2.86 1.77 2.62	3.0 2.58	2.21 3.07 2.28 2.6	5.60	2.68	4.28	2.46
MnO	0.07	0.07	0.08 0.06 0.05 0.03	0.06	0.22 0.05	0.10	0.05 0.03 0.06	0.08 0.06	0.07 0.09 0.06 0.07	0.11	0.06	0.06	0.04
MgO	1.24	0.52	1.08 0.76 0.34 0.17	0.40	0.36 0.29	2.60	1.12 0.66 1.15	1.95 1.31	1.33 2.2 1.70 1.76	1.97	1.51	2.96	1.65
CaO	2.87	1.66	3.71 2.71 1.59 1.14	1.20	1.01 1.17	5.27	3.85 1.72 3.05	3.56 3.48	3.75 4.39 4.06 3.75	3.01	3.55	4.81	3.25
Na <sub>2</sub> O	3.82	3.95	3.8 3.05 3.69 3.78	3.43	3.06 2.92	2.05	2.88 2.60 2.49	2.52 2.96	3.01 2.73 2.78 2.79	3.08	2.39	2.9	3.43
K <sub>2</sub> O	4.26	4.28	2.75 3.47 4.44 4.92	4.65	5.26 5.43	4.05	4.08 3.62 3.3	4.56 3.53	3.01 3.92 3.63 4.45	3.15	4.82	3.27	3.93
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.19	0.09	0.15 0.1 0.06 0.03	0.11	0.22	0.27	0.15 0.28 0.23	0.19 0.15	0.14 0.2 0.16 0.17	0.49	0.18	0.28	0.17
K/N	1.12	1.08	0.72 1.14 1.20 1.30	1.36	1.72 1.86	1.98	1.42 1.78 1.73	1.81 1.19	1.00 1.44 1.31 1.59	1.02	2.02	1.13	1.15
La	88.3	45.7	47.8 39.3 52.7 42.9	36.6	31.11	33.9	57.3 60.5 21.2 20.8 20.9 42.2 38.6 65.7 38.1 32.7 40.5 40 60.6	86.9	42.62	57.7	47.1		
Ce	172	77.8	84.7 68 96.8 79.1	76.63	60.31	67.5	108 109 40.5 40.7 43.0 80 73.3 124 74.8 64.3 79.7 74.6 112	164.5	80.09	98.2	86.6		
Pr	17.1	7.37	7.94 6.44 9.49 7.78	8.28	7.10	7.87	12.1 12.6 4.96 4.71 4.83 8.8 7.98 13.3 8.54 7.42 9.18 8.11 8	19.28	9.3	11.2	10.3		
Nd	53.5	27.93	28 21.5 32.6 26.6	28.54	25.24	28	42.4 43.3 17.9 16.2 17.2 32.4 27.7 44.9 31.1 27.1 33.0 28.1 39.5	66.77	31.9	42.6	36.3		
Sm	9.6	4.97	4.38 3.26 5.79 4.36	5.85	5.18	5.62	7.6 3.7 9.5 4.1 4.2 6.3 6.1 6.6 1.5 3.4 8.0 9.6 6.0 9.5 6.6 6.6 5.8 5.1 4.6 9.9	11.88	5.93	8.1	6.45		
Eu	1.71	0.69	1.22 0.96 0.73 0.48	0.51	0.58	1.46	1.3 1.2 1.4 1.3 0.7 0.8 0.9 1.0 0.8 1.1 0.9 1.1 1.1 1.1 1.3 1.2 6.1 2.8	1.51	1.13	1.42	1.26		
Gd	6.1	3.79	3.63 2.79 5.01 3.63	3.94	4.14	5.5	6.9 5.7 4.9 4.0 9.3 5.6 3.7 2.5 7.3 5.0 9.6 1.8 4.8 8 4.6 5.3 1.4 0.8 5.3 6	8.22	4.46	5.97	5.24		
Tb	0.72	0.59	0.5 0.38 0.77 0.53	0.5	0.54	0.72	0.9 3.1 0.6 0.3 0.4 0.8 0.5 0.7 0.8 0.8 0.6 0.9 0.6 0.7 0.8 0.5 0.8 0.7 6	1.27	0.64	0.89	0.79		
Dy	3.68	3.21	2.97 2.20 4.57 3.08	2.14	2.42	3.82	4.6 1.5 0.1 3.5 2.2 4.2 3.5 3.4 8.3 3.8 4.9 6 3.8 3.9 2.4 4.6 3.2 6 4.2 7	6.21	3.69	4.57	4.11		
Ho	0.74	0.73	0.61 0.45 0.96 0.63	0.3	0.40	0.70	0.7 0.9 0.6 0.6 0.3 0.4 0.5 0.5 0.2 0.5 8.1 0.2 0.7 5 0.7 0.8 0.9 2.0 6.6 0.8 7	1.09	0.71	0.87	0.77		
Er	2.05	1.81	1.66 1.26 2.72 1.78	0.81	0.86	2.16	2.5 2.7 1.8 5 0.9 1.0 3.1 0.3 1.4 9.1 7.4 2.7 5 1.9 2.0 1.2 4.8 1.7 2.2 3.7	2.58	1.86	2.38	2.59		
Tm	0.33	0.31	0.25 0.19 0.43 0.28	0.12	0.12	0.26	0.3 0.2 0.3 4 0.2 4 0.1 1.1 0.1 2.0 1.6 0.2 2.2 0.4 2 0.2 8 0.3 1.0 3.9 0.2 8 0.3 6	0.35	0.29	0.36	0.36		
Yb	1.81	1.86	1.68 1.30 2.88 1.85	0.37	0.74	1.81	2.0 2.2 6 1.6 7 0.8 0.8 3.1 0.5 1.4 4.2 6 4 1.8 1.8 6 2.4 7.1 7.6 2.2 3.2	2.05	1.85	2.37	2.33		
Lu	0.31	0.29	0.25 0.2 0.43 0.28	0.11	0.11	0.26	0.2 0.3 0.2 0.2 0.5 0.1 1.0 1.2 0.1 4.0 2.1 0.4 1 0.2 8 0.2 8 0.3 0.7 0.2 6 0.3 5	0.35	0.29	0.36	0.36		
Y	19.5	17.3	18.0 13.0 27.0 18.0	9.01	9.44	18.5	21.7 28.8 18 9.6 19.8 6 14.4 16.1 27.1 20.0 21 24.5 17.8 23.5	24.62	17.88				
δ Eu				0.31	0.37	0.53	0.6 0.7 6 0.6 9 0.5 0.9 5.0 7.1 0.6 3	0.44	0.65	0.6	0.64		
LR/ HR				18.87	13.88			15.86	12.4	12.3	11.4		
ΣREE				156.4	148.3	163.4	224 176 201.2 225 1 306 157 140	398	203	260	226		
Sr		142	85 90 147 160	99.6	299.5	127	124 51.2 142 190 191 179 167 176 130 114 161 139 179	217	185				
Ba		201	336 269 148 85	390	387	524	323 560 285 163 166 170 393 336 282 292 398 419 442	219	308				
Ni		976	1043 1190 729 619	344	348	784	602 401 664 381 394 379 956 704 652 591 675 628 786	530	723				
Co		6.38	3.09 0.99 0.65 0.8	3.81	3.6	4.47	4.87 0.80 11.5	23.0	7.40				
V		10.2	135 178 181 143	1.57	17.4	9.88	5.88 5.89 5.61 2.45 2.69 4.65 5.08	24.0	20.0				
Cr		33.6	39.2 26 7.49 3.14	5.32	11.6	124	67.9 67.5 71.4 19.7 25.9 25.2 61.2	88.0	71.0				
Ga			18.1 16.2 20.3 19	19.09	18.3	16.7	15 15.9 18.3 15.1 16.1 16.5 16.8 16.5 19.4 20.1 18.5 16.8 17.9	21.0	16.0				
Nb		13.1	15.8 11.1 16.6 12.8	14.09	19.2	18.4	17 18.1 17.4 20.7 24.7 25 24.1 12.0 12.0 11.2 3 13.8 10.4 12.4	33.0	16.0				
Ta			1.1 0.91 1.54 1.06	1.23	1.00	0.91	1.03 0.96 1.37 1.86 2.22 2.34 1.59 1.00 1.28 1.26 1.09 0.86 1.12	2.30	0.60				
Cr		25.3	5.1 2.6 5 2.8 7.4 3.7	14.43	5.6	81.5	32.1 25.7 39.5 29.1 9.2 22 13.7 86.4	37.0	31.0				
Zr		146	239 183 188 134	9.01	103	41.8	51.9 43.3 48.4 70.7 59.8 46.5 62 212 159 159 184 146 177	372	189				
Hf			5.34 4.31 5.08 3.9	4.27	2.50	1.06	1.29 1.14 1.1 1.3 1.1 1.1 0.8 7.1 1.1 5.6 0.4 3.3 4.2 4.4 8.0 3.9 4 4.8 4	9.60	5.10				
Th		45.4	11.1 11.7 19.4 14.1	24.01	19.4	12.1	23.2 20.1 11 7.8 28.6 5 8.7 11.5 31.3 14.2 12.6 16.5 18.7 22.7	30.0	22.0				
Sc		2.99	7.2 5.2 8.4 2.3 2.6 3		2.40	15.6	9.9 5 11.2 9.1 7 4.6 4.4 6.1 4.4 9.8 7	16.0	10.0				
Tzr		770	813 796 800 772		758		718 703 789 780 782 761 777	853	779				
文献		[23]	[19]	①	②	②	[21]	①					

①河南省地质调查院. 塔什库尔干塔吉克自治县和克克吐鲁克幅1:25万区域地质调查报告. 2004.

②陕西省地质调查院. 塔吐鲁沟幅和斯卡杜幅1:25万区域地质调查报告. 2004.

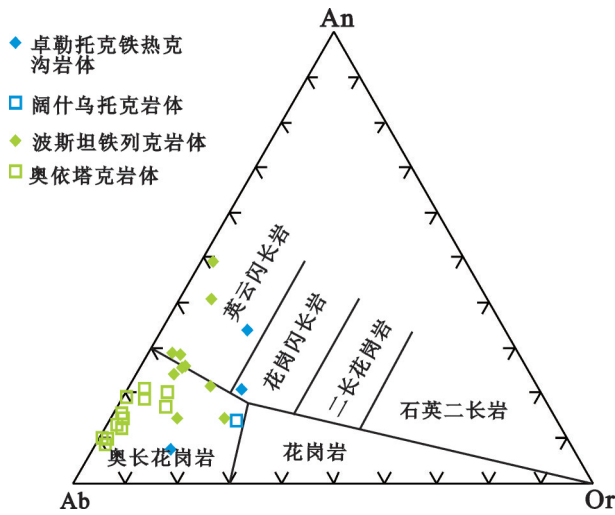


图2 388~292 Ma花岗岩 An-Ab-Or分类图  
Fig.2 An-Ab-Or diagram for 388~292 Ma granites

具大洋性质的斜长花岗岩和英云闪长岩(图3-b)。该阶段岩石的稀土元素总量较低( $46.93 \times 10^{-6} \sim 121.43 \times 10^{-6}$ , 平均值为  $89.33 \times 10^{-6}$ ), 在稀土球类陨石标准化图解中(图4-a), 奥依塔格岩体轻稀土亏损明显( $(La/Yb)_N=0.51 \sim 1.05$ , 平均值为 0.69), 显示左倾特征, 具N-MORB的特征, 而波斯坦铁列克岩体的轻重稀土近于水平分布( $(La/Yb)_N=0.97 \sim 7.27$ , 平均值为 2.14), 两岩体具中等的负Eu异常( $Eu/Eu^*=0.23 \sim 1.10$ , 平均值为 0.53), 在微量元素蛛网图中(图4-b), 略微富集Ba、Th, 明显亏损Nb、Ta、Sr、Pb、Ti。通过计算, 该阶段花岗岩锆石饱和温度为  $747^\circ\text{C} \sim 788^\circ\text{C}$ , 属于低温花岗岩<sup>[34]</sup>。此外, 奥依塔格岩体具高的  $\epsilon_{Nd}(t)$  ( $6.2 \sim 7.6^{[13]}$ ) 和高的  $\epsilon_{Hf}(t)$  ( $+13.60 \sim +15.91^{[26]}$ ;

$+12.5 \sim +19.5^{[13]}$ ;  $+12 \sim +17^{[15]}$ ), 而且萨罗依岩体也具有类似的锆石  $\epsilon_{Hf}(t)$  值( $11.06 \sim 15.25^{[26]}$ ), 均具典型亏损地幔特征。

### 2.3 构造环境

388~324 Ma 花岗岩体分布于北昆仑地体与甜水海地块、甜水海地块与羌塘地块之间的板块缝合带北缘(图1-d), 主要由片麻状斜长花岗岩和石英闪长岩组成, 为钙碱性系列, 具有TTG岩系的特征, 该阶段花岗岩与陆壳和大洋英云闪长岩均具密切关系, 并具富钠贫钾和明显Nb-Ta亏损特征, 此外锆石饱和温度( $778 \sim 783^\circ\text{C}$ )显示低温花岗岩特征, 这些特征与俯冲流体参与的板片部分熔融形成的花岗岩特征一致, 结合这些花岗岩分布于北昆仑地体和甜水海地块的西南缘, 其东侧分别为以库浪拉古岩群(Pt.k)和布伦阔勒岩群(Pt.B)为代表的微陆块, 因此推测该阶段花岗岩应产出于陆缘弧环境, 并说明昆仑地体和甜水海地块南侧的特提斯洋壳存在向北俯冲的极性。这与崔建堂等<sup>[6]</sup>通过对西昆仑中东部中酸性侵入体研究认为的该时段西昆仑中东部也具有洋壳向北俯冲消减的特征一致。

339~291 Ma 花岗岩体位于塔里木陆块与北昆仑地体的缝合带(图1-d), 主要岩石类型为弱片理化奥长花岗岩和英云闪长岩, 属于拉斑系列, 岩石具低的  $K_2O$  和 Rb 含量, 低的  $K_2O/Na_2O$ 、Rb/Sr、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ( $0.7048 \sim 0.7068$ )<sup>[10]</sup> 比值和高的 K/Rb 比值, 与洋中脊斜长花岗岩的岩石地球化学指标基本一致<sup>[38]</sup>, 但相对洋中脊花岗岩具 Nb-Ta 负异常和低的 Zr 含量 ( $105 \times 10^{-6} \sim 180 \times 10^{-6}$ , 洋中脊斜长花岗岩一般大于

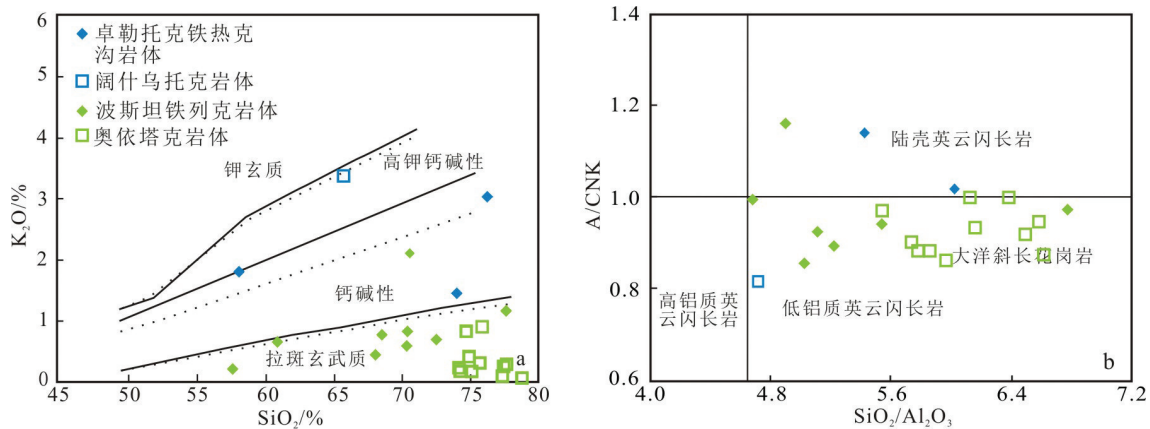


图3 388~292 Ma花岗岩  $K_2O-SiO_2$  岩石类型判别<sup>[35]</sup>和  $A/CNK-SiO_2/Al_2O_3$  大洋花岗岩判别图<sup>[36]</sup>  
Fig.3  $SiO_2-K_2O$  diagram<sup>[35]</sup> and  $A/CNK-SiO_2/Al_2O_3$  大洋花岗岩判别图<sup>[36]</sup> for 388~292 Ma granites

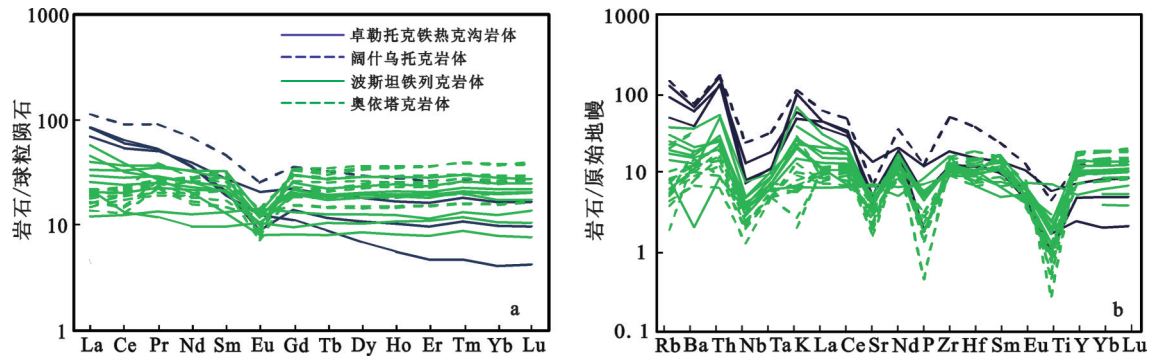


图4 388~292 Ma花岗岩稀土元素球粒陨石标准化模式图(a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b)(标准化值据[37])  
Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle normalized spider diagram (b) for 388–292 Ma granites (normalization values after reference [37])

$500 \times 10^{-6}$ [39]), 从而显示弧后盆地岩浆岩的地球化学特征[39–41]。但是, 西昆仑造山带北缘受到昆仑地体与塔里木板块加里东期碰撞造山作用早在晚志留世进入陆内演化[12, 23, 42–44], 该时期弧后盆地推测应是由388~324 Ma阶段南部古特提斯洋持续往北俯冲, 导致西昆仑北缘发生弧后扩展而形成[11, 24]。

### 3 中二叠世—晚三叠世(258~210Ma)花岗岩及构造环境

#### 3.1 岩体特征及其同位素定年

该时段花岗岩体发育规模巨大, 是西昆仑西段岩浆活动最为强烈的时期, 共发育26个花岗质岩体, 分布于北昆仑地体和甜水海地体, 个别岩体甚至跨越与两者之间, 该阶段可分为258~241 Ma和234~210 Ma 2个阶段。

258~241 Ma该时段中酸性侵入岩发育规模较小, 岩体呈岩枝或长条状小岩体产出, 沿康西瓦断裂西侧呈串珠状分布(图1-d), 根据同位素测年识别出5个岩体(维齐得歪岩体No.8、孔孜罗夫岩体No.9、玉其卡帕岩体No.10、喀英列克岩体No.11和布伦口岩体No.12), 形成时代分别为 $(257.5 \pm 4.3) \text{ Ma}$ <sup>①</sup>、 $253 \text{ Ma}$ <sup>②</sup>、 $(242.9 \pm 2.6) \text{ Ma}$ <sup>[13]</sup>、 $(240.5 \pm 2.6) \text{ Ma}$ <sup>③</sup>和 $(240.5 \pm 1.8) \text{ Ma}$ <sup>[14]</sup>, 主要岩石类型有(含石榴子石)花岗岩、二云花岗岩和少量石英闪长岩、碱性花岗岩, 普遍具片麻状构造。

234~210 Ma 花岗质岩体组成了西昆仑西段规

模巨大的岩浆岩带, 单个岩体形态较大, 呈长条状、椭圆状和浑圆状大型—巨型岩基(图1-d), 发育21个岩体, 各个岩体同位素年龄见表1, 可见该时期花岗岩体形成时代较为集中, 在短短24 Ma时间内爆发式形成西昆仑造山带规模最大的构造—岩浆岩带, 主要由二长花岗岩、花岗闪长岩、石英闪长岩和少量正长花岗岩组成。此外, 该阶段慕士塔格岩体和塔尔岩体、卡拉塔什岩体、科岗一带岩体、沙热塔什岩体、奥尔特萨依岩体、琼阿坡力别克岩体、倭鱼巴勒牲岩体中普遍发育大量暗色微细粒辉长质或闪长质包体, 在慕士塔格岩体中还发育大规模基性岩浆条带[28, 33]。

#### 3.2 地球化学特征及其岩石成因

由于258~241 Ma阶段花岗岩发育规模较小, 目前仅有玉其卡帕岩体岩石地球化学数据[27], 而234~210 Ma阶段花岗岩发育规模较大, 岩石地球化学数据较多, 具体数据见表2。

258~241 Ma花岗岩具高的 $\text{SiO}_2$ 含量(71.78%~77.06%, 平均值为74.67%), 高的 $\text{Na}_2\text{O}$ (3.00%~3.45%) and  $\text{K}_2\text{O}$ 含量(5.05%~6.37%), 具富钾贫钠特征( $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}=1.66\sim 1.85$ )。在 $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$ 图解中(图5-a), 基本位于钾玄质系列,  $\text{A}/\text{CNK}=1\sim 1.06$ , 在 $\text{A}/\text{CNK}$ - $\text{A}/\text{NK}$ 图解里岩石均落入弱过铝质区域(图5-b), 结合 $\text{K}_2\text{O}$ - $\text{Na}_2\text{O}$ 岩石类型判别图(图6-a)指示其具S型花岗岩特征, 并且岩石中普遍发育白云母

①河南省地质调查院. 英吉沙县幅1:25万区域地质调查报告. 2005.

②河南省地质调查院. 塔什库尔干塔吉克自治县和克克吐鲁克幅1:25万区域地质调查报告. 2004.

③陕西地质调查院. 新疆1:5万如森迭尔阿勒等7幅区域地质调查报告. 2012.

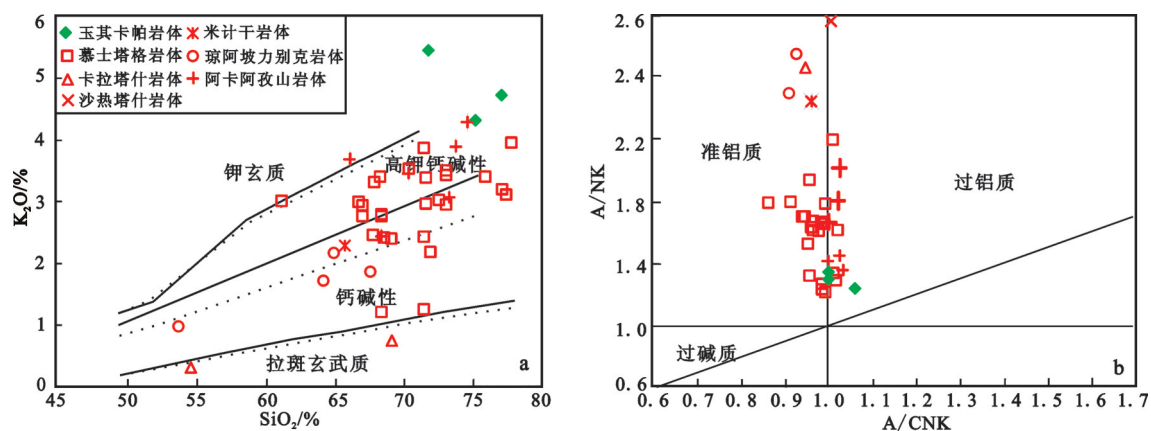


图5 258~210 Ma 花岗岩  $SiO_2-K_2O$ (a)<sup>[35]</sup>和  $A/CNK-A/NK$ (b)<sup>[46]</sup>图解  
 Fig.5  $SiO_2-K_2O$  diagram<sup>[35]</sup> and  $A/CNK-A/NK$  diagram<sup>[46]</sup> for 258~210 Ma granites

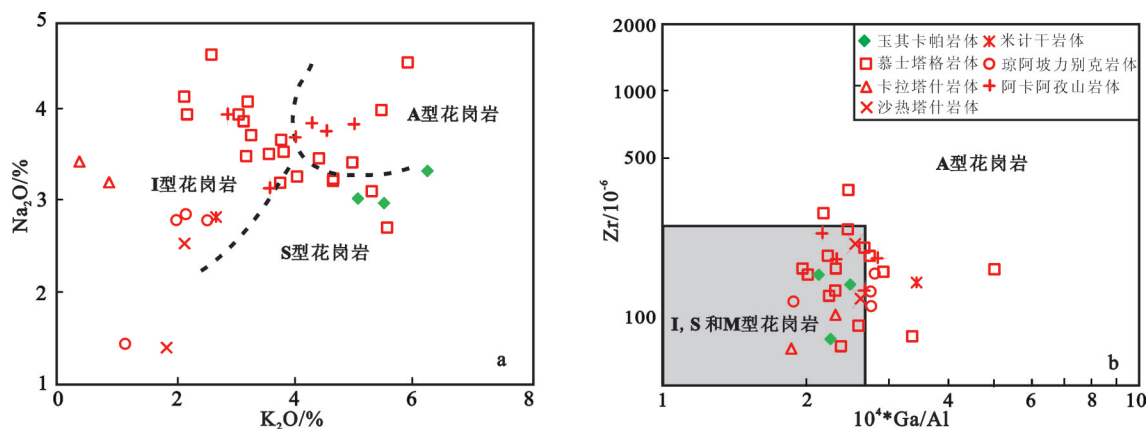


图6 258~210 Ma 花岗岩  $K_2O-Na_2O$ 和  $Ga/Al-Zr$  岩石成因类型判别图  
 Fig.6  $K_2O-Na_2O$  diagram and  $Ga/Al-Zr$  diagram for 258~210 Ma granites

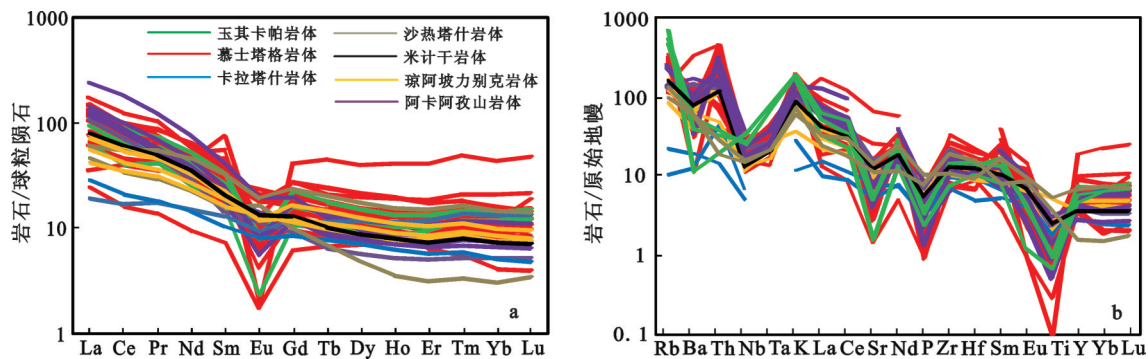


图7 258~210 Ma 花岗岩的稀土元素球粒陨石标准化模式图(a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b)(标准化值据[37])  
 Fig.7 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle normalized spider diagram (b) for 258~210 Ma granites (normalization values after reference [37])

或石榴石等过铝质特征矿物,也印证了这一点。同时,该阶段花岗岩的稀土元素总量中等( $\Sigma \text{REE}$ 为 $102.8 \times 10^{-6} \sim 205.0 \times 10^{-6}$ ),轻重稀土分馏较弱( $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 分别为5.06~8.21),稀土元素标准化模式曲线呈右倾型(图7-a),具有较强的负铕异常( $\text{Eu}/\text{Eu}^*$ 分别为0.18~0.41)。在微量元素原始地幔标准化图上(图7-b),岩石均相对富集Rb、K、Nd、Zr、Hf和LREE等大离子亲石元素,亏损Ba、Th、Nb、Ta、Sr、P、Ti和HREE等高场强元素。此外,岩石的 $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 为-4.4~-6.3和锆石的 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为-3.3<sup>[27]</sup>,说明岩浆源区主要为地壳。

234~210 Ma 花岗岩  $\text{SiO}_2$ (49.2%~77.4%)、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ (11.77%~18.86%)、 $\text{CaO}$ (0.79%~11.39%)、 $\text{MgO}$ (0.11%~6.80%)、 $\text{Na}_2\text{O}$ (1.41%~4.60%)和 $\text{K}_2\text{O}$ (0.36%~5.91%)含量变化较大,钾钠含量整体相当( $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}=0.10 \sim 2.05$ )。  $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$ 图解指示岩石属于钙碱性—高钾钙碱性系列(图5-a),  $\text{A}/\text{CNK}$ - $\text{A}/\text{NK}$ 图解指示岩石属于准铝质—弱过铝质(图5-b)。在 $\text{K}_2\text{O}$ - $\text{Na}_2\text{O}$ 和 $10^4 \times \text{Ga}/\text{Al}$ -Zr岩石成因类型判别图中(图6-b),该阶段中酸性侵入岩分布于I型和A型花岗岩范围内,其中慕士塔格岩体、阿卡阿孜山岩体具有从I型→A型花岗岩演化的特征。该阶段花岗岩的稀土元素总量整体中等( $\Sigma \text{REE}$ 为 $45.41 \times 10^{-6} \sim 455.6 \times 10^{-6}$ ,平均值为 $173.1 \times 10^{-6}$ ),轻重稀土分馏程度不同( $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 为0.80~88.85),稀土元素标准化模式曲线大多呈右倾型,少数具A型花岗岩特征的呈“海鸥型”曲线特征(图7-a),弱或强的负铕异常( $\text{Eu}/\text{Eu}^*$ 分别为0.04~1.31)。在微量元素原始地幔标准化图上(图7-b),岩石均相对富集Rb、Th、K、Zr、Hf和LREE等大离子亲石元素,亏损Ba、Nb、Ta、Sr、P、Ti和HREE等高场强元素。通过计算,该阶段花岗岩锆石饱和温度为723~840℃,平均温度为781℃,属于低温—高温花岗岩<sup>[34]</sup>。此外,慕士塔格岩体初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值为0.7052~0.7104, $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ 为-3.6~-7.3以及锆石 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ 为-3.1~-1.0<sup>[27]</sup>和-3.82~+1.73(项目组未发表数据),其中发育的微细粒闪长质或辉长质包体具低的初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值(0.7034~0.7084)以及高的锆石 $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ (-1.1~+1.2)<sup>[27]</sup>,表明该阶段岩浆活动过程中有幔源物质的加入<sup>[27,28,33]</sup>,阿卡阿孜山杂岩体中发育大量暗色微细粒包体,岩石的Sr、Nd、Pb同位素

体系具地幔和下地壳特征<sup>[45]</sup>,这些特征说明该阶段岩浆活动存在强烈的壳幔岩浆混合作用。

### 3.3 构造环境

258~241 Ma 花岗岩呈小规模串珠状分布于北昆仑地体与甜水海地块结合部位西侧,并具有典型S型花岗岩特征,与同碰撞型花岗岩体产出特征和岩石类型一致。张传林等<sup>[17]</sup>通过对240.5 Ma片麻状含石榴子石花岗岩的研究, Jiang et al.<sup>[27]</sup>通过对242.9 Ma玉其卡帕岩体的深入分析,均认为形成于陆—陆碰撞造山阶段。此外,在区域变质方面,塔什库尔干河附近含石榴石二云斜长片麻岩的变质年龄为 $(242.7 \pm 2.3)$  Ma<sup>[46]</sup>,塔什库尔干地区高压麻粒岩的峰期变质时代介于 $(220 \pm 2)$  Ma与 $(253 \pm 2)$  Ma之间<sup>[49]</sup>,在区域沉积方面,西昆仑造山带在晚二叠世—中三叠世明显缺失沉积记录<sup>[28,33]</sup>。结合区域资料,该阶段属于北昆仑地体和甜水海地块之间特提斯洋消减闭合后发生碰撞造山作用过程。

234~210 Ma 花岗质岩体主要分布于北昆仑地体和甜水海地块结合部位,岩体多具大规模椭圆状—浑圆状,岩石变质变形较弱,整体岩石具有I型—A型花岗岩演化的特征,锆石饱和温度指示低温—高温花岗岩特征,明显具有后碰撞伸展花岗岩特征。同时,该阶段存在强烈的壳幔岩浆混合作用,指示地壳深部存在强烈的地幔岩浆底侵作用。此外,西昆仑地区在晚二叠世—中三叠世沉积缺失之后,中三叠世晚期开始陆相沉积<sup>[11]</sup>,说明该阶段在主碰撞作用之后已进入区域伸展环境。笔者等曾对慕士塔格岩体进行了研究认为其形成于后碰撞伸展初始阶段<sup>[27,28,33]</sup>,张传林等<sup>[17]</sup>认为科岗一带含角闪石花岗岩体形成于碰撞—造山后的伸展背景,姜耀辉等<sup>[23]</sup>认为该地区A型花岗岩形成于造山晚期相对稳定的拉张环境。此外,在西昆仑造山带中部,袁超等<sup>[29]</sup>和杨文强<sup>[47]</sup>研究认为阿卡阿孜山岩体也碰撞后抬升的环境。综上所述,该阶段属于古特提斯碰撞造山作用之后的后碰撞伸展构造环境。

## 4 侏罗纪(198~150Ma)花岗岩及构造环境

该阶段花岗岩在西昆仑西段甚至整个西昆仑造山带均不发育,最新1:5万区域地质调查工作<sup>①</sup>仅

①陕西地质调查院. 新疆1:5万空贝利等7幅区域地质调查报告. 2011.

在南羌塘地块北缘的明铁盖地区发现少量碎裂岩化斜长花岗岩和英云闪长岩(图 1-d), 主要组成矿物为斜长石(60%~70%)、石英(25%~30%)和黑云母(约5%), 具有类似 TTG 的岩石组合。目前该岩体无相关的岩石地球化学和同位素定年数据, 根据该岩体侵位于侏罗纪龙山组(J<sub>1-2</sub>L), 以及被后期白垩纪岩体侵入的接触关系, 判断该岩体应形成于晚侏罗世。西昆仑地区晚侏罗世该区域仍广泛发育着代表滨浅海相的碳酸盐岩<sup>[11, 48]</sup>, 说明甜水海地块和南羌塘地块之间存在特提斯洋分支, 结合侏罗纪花岗岩具有类似 TTG 的岩石组合特征, 推测该阶段花岗岩应形成于与洋壳俯冲有关的岩浆弧环境。此外, 岩体产出于以前寒武纪未分地层(AnC)为代表<sup>[9]</sup>的南羌塘地块的北缘, 处于与甜水海地块缝合带附近, 说明南羌塘地块北缘可能存在特提斯支洋的洋壳向南俯冲作用。

## 5 白垩纪(148~75Ma)花岗岩及构造环境

### 5.1 岩体特征及其同位素定年

该阶段西昆仑西段岩浆活动较为强烈, 共发育 12 个花岗质岩体, 主要分布于西昆仑西段东南部, 位于甜水海地块和南羌塘地体结合部位, 少量分布于甜水海地块西北部(图 1-d), 该阶段可分为 148~118 Ma 和 111~75 Ma 2 个阶段。

148~118 Ma 该阶段中酸性侵入岩较不发育, 依据同位素测年仅识别出两个岩体(卜科肉克岩体 No.25 和阿然保泰岩体 No.26)(表 1, 图 1-d), 分布于甜水海地块, 岩体发育规模较小, 岩石类型主要为二云二长花岗岩, 具弱片麻结构, 卜科肉克岩体的黑云母 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 年龄为 148 Ma<sup>①</sup>, 阿然保泰岩体锆石 U-Pb 等时线(123±14) Ma<sup>②</sup>和锆石 LA-ICPMS U-Pb 定年为(118.1±1.7) Ma<sup>②</sup>。

111~75 Ma 该时段中酸性侵入岩较为发育, 单个岩体规模较大, 呈长条状、椭圆状或不规则状, 延伸方向与区域构造一致(图 1-d), 目前共识别出 10 个花岗质岩体(红其拉甫岩体 No.27、穷陶木太克岩体 No.28、托克满素岩体、阿提牙依勒岩体和穷陶木太克岩体等), 主要岩石类型为花岗闪长岩、(斑状)二长花岗岩和少量闪长岩, 岩石较为新鲜, 不发育片麻构造。目前测得红其拉甫岩体的黑云母 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 年龄为 110.9 Ma<sup>②</sup>和锆石 LA-ICPMS U-Pb 定年为(118.1±1.7) Ma<sup>[21]</sup>, 穷陶木太克岩体的黑云母 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 年龄为 95.3 Ma、75.11 Ma<sup>②</sup>。

### 5.2 地球化学特征及其岩石成因

148~118 Ma 花岗岩具高的 SiO<sub>2</sub>(71.2%~73.6%)、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(13.9%~15.8%)、Na<sub>2</sub>O(2.92%~3.43%) 和 K<sub>2</sub>O(4.65%~5.43%) 含量, 低的 CaO(1.01%~1.20%)、MgO(0.29%~0.40%) 含量, 具富钾贫钠特征(K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O=1.36~1.86)。在 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O 图解中(图 8-

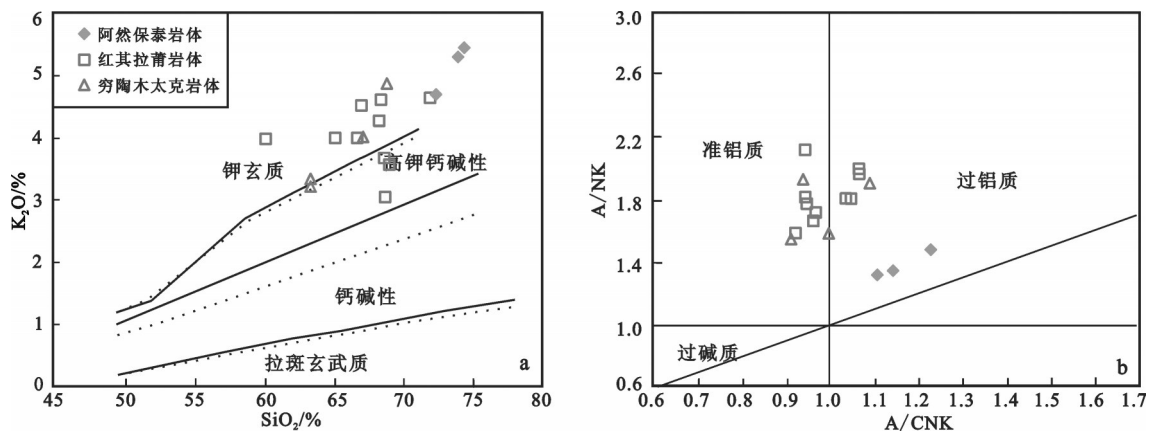


图 8 148~75 Ma 花岗岩 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O(a)<sup>[35]</sup>和 A/CNK-A/NK(b)<sup>[45]</sup>图解  
Fig.8 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O diagram<sup>[35]</sup> and A/CNK-A/NK diagram<sup>[45]</sup> for 148-75 Ma granites

①河南省地质调查院. 艾提开尔丁萨依幅 1:25 万区域地质调查报告. 2005.

②河南省地质调查院. 塔什库尔干塔吉克自治县和克克吐鲁克幅 1:25 万区域地质调查报告. 2004.

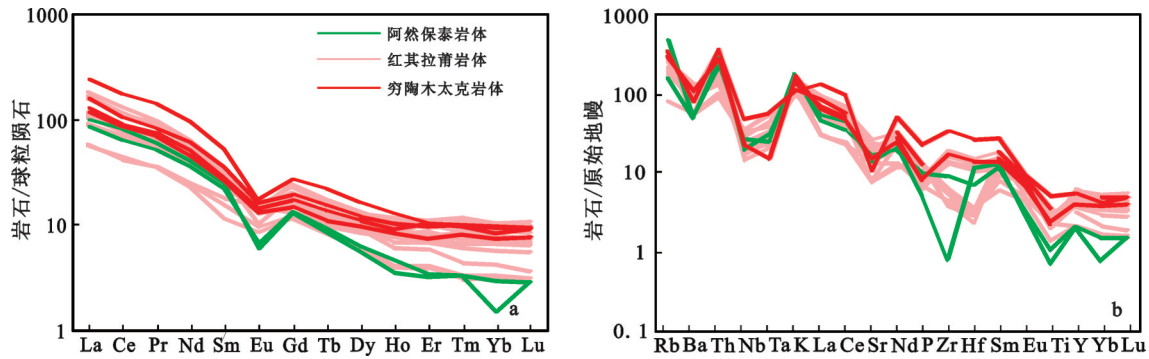


图9 148~75 Ma花岗岩稀土元素球粒陨石标准化模式图(a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b)(标准化值据[37])  
Fig.9 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle normalized spider diagram (b) for 148–75 Ma granites (normalization values after reference [37])

a), 基本位于钾玄质系列,  $A/CNK=1.08\sim 1.23$ , 在  $A/NK-A/CNK$  图解(图 8-b)里岩石均落入过铝质区域, 这与岩石中发育白云母特征一致。该阶段花岗岩的稀土元素总量中等( $\sum REE$  为  $138.9\times 10^{-6}\sim 164.7\times 10^{-6}$ ), 轻重稀土分馏强烈( $(La/Yb)_N$  分别为  $28.4\sim 66.8$ ), 稀土元素标准化模式曲线呈右陡倾(图 9-a), 具有较强的负铕异常( $Eu/Eu^*$  分别为  $0.31\sim 0.37$ )。在微量元素原始地幔标准化图上(图 9-b), 岩石均相对富集 Rb、Th、K、Nd 和 LREE 等大离子亲石元素, 亏损 Ba、Nb、Ta、Ti 和 HREE 等高场强元素。特别是, 岩石具有高 Sr( $387.0\times 10^{-6}\sim 390.1\times 10^{-6}$ )、低 Y( $9.01\times 10^{-6}\sim 9.44\times 10^{-6}$ )、Yb( $0.37\times 10^{-6}\sim 0.74\times 10^{-6}$ ) 以及 HREE 含量( $8.80\times 10^{-6}\sim 9.91\times 10^{-6}$ ) 含量特征, 在 Sr/Y-Y 埃达克岩判别图中位于埃达克质岩范围(图 10), 岩石具富钾贫钠特征, 因此应为 C 型埃达克岩<sup>[49]</sup>。

111~75 Ma 花岗岩具中等的  $SiO_2$ ( $61.3\%\sim 71.1\%$ , 平均值为  $67.0\%$ ) 含量, 高的  $Al_2O_3$ ( $14.2\%\sim 16.2\%$ , 平均值为  $15.52\%$ )、CaO( $1.72\%\sim 5.27\%$ , 平均值为  $3.73\%$ ) 含量, 相对富钾( $K_2O/Na_2O=1.00\sim 1.98$ )。在  $SiO_2-K_2O$  图解中(图 8-a), 大多投在钾玄质区域, 少数落入高钾钙碱性系列, 在  $A/NK-A/CNK$  图解里样品落入准铝质—弱过铝质范围(图 8-b)。该阶段花岗岩的稀土元素总量中等( $\sum REE$  为  $94.38\times 10^{-6}\sim 372.96\times 10^{-6}$ , 平均值为  $195.48\times 10^{-6}$ ), 轻重稀土分馏中等( $(La/Yb)_N$  分别为  $8.58\sim 28.65$ , 平均值为  $16.66$ ), 稀土元素标准化模式曲线呈右倾(图 9-a), 具中等负铕异常( $Eu/Eu^*$  分别为  $0.43\sim 0.98$ , 平均值为  $0.64$ )。

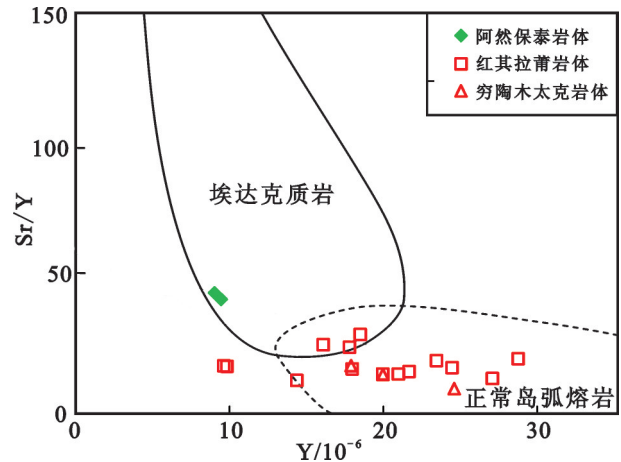


图10 148~75 Ma花岗岩Y-Sr/Y埃达克岩判别图  
Fig.10 Y-Sr/Y diagram for 148–75 Ma granites

在微量元素原始地幔标准化图上(图 9-b), 岩石富集 Rb、Th、K、Nd 和 LREE 等大离子亲石元素, 亏损 Ba、Nb、Ta、Ti 和 HREE 等高场强元素。通过计算, 该阶段花岗岩锆石饱和温度为  $703\sim 853^\circ C$ , 属于低温—高温花岗岩<sup>[34]</sup>。此外, 红其拉甫岩体具低的锆石  $\epsilon_{Hf}(t)$ ( $-7.1\sim -13.6$ ) 和老的  $T_{DM}$ ( $956\sim 1207$  Ma)(未发表数据), 说明该阶段花岗岩源区应以古老地壳物质为主。

### 5.3 构造环境

148~118 Ma 该阶段花岗岩呈零星分布的小岩体, 岩石具弱片麻构造, 发育白云母,  $A/CNK$  值较高显示富铝质特征, 特别是具有高 Sr 低 Y 的 C 型埃达克岩特征, 这些与同碰撞型花岗岩体产出特征和岩石类型一致, 应是陆—陆碰撞阶段地壳加厚的产物。

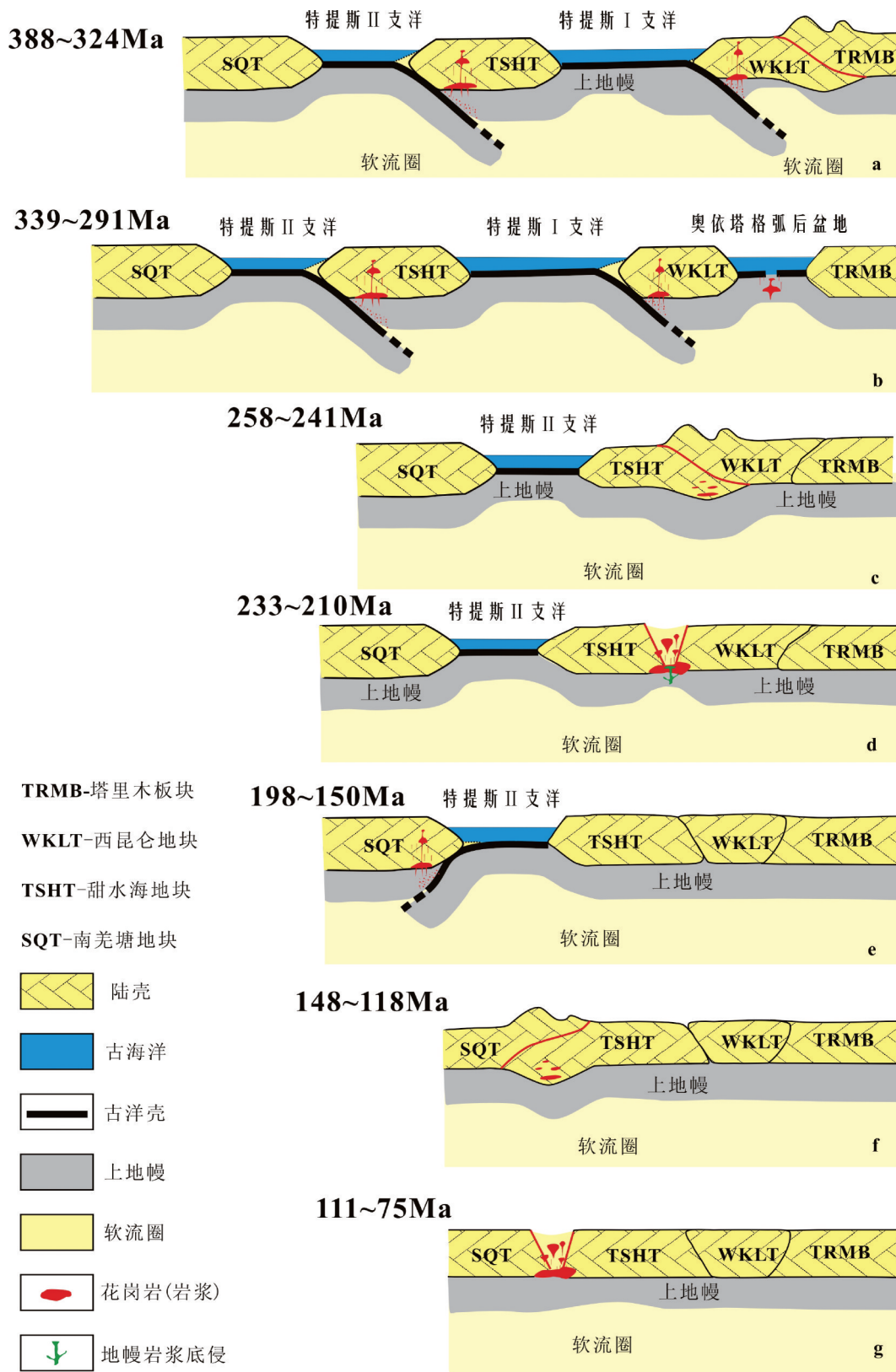


图 11 西昆仑西段晚古生代—中生代构造—岩浆演化模式图

Fig.11 Neopaleozoic-Mesozoic tectonic magmatic evolution pattern of the western West Kunlun Mountains



同时,南羌塘地块普遍存在晚白垩世具陆相碎屑岩特征的铁龙滩群( $K_2T$ )不整合于中侏罗纪海相龙山组( $J_2L$ )<sup>[9]</sup>,期间缺失早白垩世地层,这可能与碰撞造山有关。结合区域地质,南羌塘地块与甜水海地块之间的特提斯支洋发生俯冲消减并于该阶段闭合,与之伴随着碰撞造山作用。

111~75 Ma该时段花岗岩体分布于甜水海地块和南羌塘地体结合部位,发育规模较大,岩体呈长条状、椭圆状或不规则状,岩石新鲜,片麻理不发育,岩石属于钾玄质—高钾钙碱性系列,相对富钾贫钠,同时锆石饱和温度指示低温—高温花岗岩特征,明显具有后碰撞伸展花岗岩特征。此外,西昆仑南羌塘地区在缺失早白垩世地层后,中侏罗世开始陆相碎屑沉积(铁龙滩群( $K_2T$ )),这也标志着主碰撞造山作用的结束,从而进入后碰撞伸展阶段。因此,该阶段应属于甜水海地体和南羌塘地体主碰撞后,进入后碰撞伸展阶段。

## 6 西昆仑西段晚古生代—中生代构造演化过程

众所周知,北昆仑地体与甜水海地块之间洋盆前人称之为“古特提斯洋”<sup>[42, 47, 50, 51]</sup>,甜水海地块与南羌塘地块之间洋盆称之为“新特提斯支洋”<sup>[22, 52-54]</sup>。通过本次研究,北昆仑地体南缘和甜水海地块南缘在泥盆纪—石炭纪均发现类似TTG岩系,证明当时在构造单元南缘均发育陆缘弧(即:存在洋盆),说明甜水海地块与南羌塘地块之间的“新特提斯支洋”早在泥盆纪已存在,只是甜水海地块与北昆仑地体之间的“古特提斯洋”于晚二叠世—早三叠世闭合,甜水海地块与南羌塘地块之间的“新特提斯支洋”于早白垩世闭合,因此笔者认为塔里木板块以南的西昆仑地区应存在统一的大洋——“特提斯洋”,而由北昆仑地体、甜水海地块和南羌塘地体组成的西昆仑西段均属于塔里木板块南侧“特提斯大洋”的“多岛弧盆体系”,具有“古陆缘多岛弧盆构造系统”特征<sup>[9]</sup>,这些多岛弧盆依次向北发生俯冲碰撞与塔里木板块拼接成统一陆块。因为,北昆仑地体与甜水海地块、甜水海地块与南羌塘地块之间的洋盆经历了不同地质构造演化过程,因此本次工作为区分两个洋盆,分别将其称为“特提斯 I 支洋”和“特提

斯 II 支洋”。

依据本文以上对西昆仑西段晚古生代—中生代各阶段花岗岩演化特征和构造环境的分析,具体可分为7个构造—岩浆演化阶段:

(1)388~324 Ma(特提斯 I 支洋和 II 支洋向北俯冲消减阶段)(图 11-a):由片麻状奥长花岗岩、英云闪长岩和花岗闪长岩组成的 TTG 岩石组合,具富钠贫钾特征的低温花岗岩,形成于陆缘弧环境,具陆壳和洋壳源区特征。

(2)339~291 Ma(奥依塔格弧后盆地演化阶段)(图 11-b):由弱片理化奥长花岗岩、英云闪长岩和少量花岗闪长岩组成,具拉斑质强烈富钠贫钾特征的低温大洋花岗岩,源区具有亏损地幔特征,南部特提斯 I 支洋持续往北俯冲,导致西昆仑北缘发生弧后扩展而形成弧后盆地。

(3)258~241 Ma(特提斯 I 支洋闭合、碰撞造山阶段)(图 11-c):呈岩枝或长条状小岩体,岩石中发育石榴子石和白云母等富铝矿物,普遍具片麻状构造,属于 S 型花岗岩,陆壳部分熔融的产物。

(4)234~210 Ma(特提斯 I 支后碰撞伸展阶段)(图 11-d):呈长条状、椭圆状和浑圆状大型—巨型岩基,由二长花岗岩、花岗闪长岩、石英闪长岩和少量正长花岗岩组成,变质变形较弱,为低温—高温的 I 型→A 型花岗岩,存在地幔岩浆底侵和强烈的壳幔岩浆混合作用。

(5)198~150 Ma(特提斯 II 支洋向南俯冲消减阶段)(图 11-e):碎裂岩化斜长花岗岩和英云闪长岩,具有类似 TTG 的岩石组合,形成于与洋壳俯冲有关的岩浆弧环境。

(6)148~118 Ma(特提斯 II 支洋闭合、碰撞造山阶段)(图 11-f):岩体规模较小,主要为弱片麻状二云二长花岗岩,属 C 型埃达克岩,为陆—陆碰撞过程中陆壳加厚发生部分熔融的产物。

(7)111~75 Ma(特提斯 II 支洋后碰撞伸展阶段)(图 11-g):单个岩体规模较大,呈长条状、椭圆状或不规则状,不发育片麻构造,为钾玄质准铝质—弱过铝质系列,低温—高温花岗岩,是古老地壳部分熔融的产物。

**致谢:**王永和教授级高工、匿名审稿专家及编辑部杨艳老师对论文提出了宝贵修改意见,在此一

并致以诚挚的谢意!

### 参考文献(References):

- [1] 任纪舜. 从全球看中国大地构造(中国及邻区大地构造图)[M]. 北京: 地质出版社, 1999: 1-15.  
Ren Jishun. Geotectonic Map of China and Adjacent Regions[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999: 1-15 (in Chinese).
- [2] 姜春发, 王宗起, 李锦铁. 中央造山带开合构造[M]. 北京: 地质出版社, 2000: 7-13.  
Jiang Chunfa, Wang Zongqi, Li Jinyi. Opening-Closing Tectonics of Central Orogen[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000: 7-13 (in Chinese).
- [3] 赵佳楠, 刘正军. 新疆西昆仑造山带北缘中元古代帕什托克闪长岩侵入序列及其地质意义[J]. 中国地质, 2014, 41(1): 92-107.  
Zhao Jianan, Liu Zhengjun. Mesoproterozoic Pashtok diorite intrusive sequence on the northern margin of West Kunlun orogenic belt in Xinjiang and its geological implications[J]. Geology in China, 2014, 41(1): 92-107 (in Chinese with English abstract).
- [4] 董永观, 郭坤一, 肖惠良, 等. 西昆仑地区成矿远景[J]. 中国地质, 2003, 30(2): 173-178.  
Dong Yongguan, Guo Kunyi, Xiao Huiliang, et al. Mineralization prospective of West Kunlun[J]. Geology in China, 2003, 30(2): 173-178 (in Chinese with English abstract).
- [5] 崔建堂, 刘振涛, 王炬川, 等. 西昆仑北羌塘陆块早—中二叠世地层化石的发现及意义[J]. 中国地质, 2008, 35(1): 111-116.  
Cui Jiantang, Liu Zhen tao, Wang Juchuan, et al. Discovery of Early-Mid Permian fossils in the northern Qiangtang block, West Kunlun, and its significance[J]. Geology in China, 2008, 35(1): 111-116 (in Chinese with English abstract).
- [6] 崔建堂, 王炬川, 边小卫, 等. 西昆仑康西瓦北侧早古生代角闪岩、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 Jiantang, 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 (in Chinese with English abstract).
- [7] 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]. Science in China (Earth Sciences), 2011, 54(1): 61-72.
- [8] Pan Y S, Zhou W M, Xu R H, et al. The geological characteristics and evolution of Early Paleozoic in Kunlun, China[J]. Science in China (Series D), 1996, 26(4): 302-307.
- [9] 李荣社, 计文化, 杨永成, 等. 昆仑山及邻区地质[M]. 北京: 地质出版社, 2008: 384-388.  
Li Rongshe, Ji Wenhua, Yang Yongcheng, et al. Geology of Kunlun Mountain and Adjacent Regions[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008: 384-388(in Chinese).
- [10] Zhang C L, Lu S N, Yu H F. Geological evolution of orogenic belt in Northern Qinghai Tibet Plateau, west Kunlun, China, and evidence from zircon SHRIMP and LA-ICP-MS dating[J]. Science in China (Series D, earth sciences), 2007, 37(2): 145-154.
- [11] 刘敏, 朱弟成, 赵志丹, 等. 西藏冈底斯东部然乌地区早白垩世岩浆混合作用: 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄和 Hf 同位素证据[J]. 岩石学报, 2009, 16(2): 152-160.  
Liu Min, Zhu Dicheng, Zhao Zhidan, et al. Early Cretaceous magma mixing in Ranwu area of eastern Gangdise, Tibet: Evidence from zircon SHRIMP U-Pb age and Hf isotopic composition[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 16(2): 152-160(in Chinese with English abstract).
- [12] 姜耀辉, 周珣若. 西昆仑造山带花岗岩岩石学及构造岩浆动力学[J]. 现代地质, 1999, 13(4): 378.  
Jiang Yaohui, Zhou Xunruo. The petrology and tectonic magmatic dynamics of the Western Kunlun[J]. Geoscience, 1999, 13(4): 378.
- [13] Jiang Y H, Liao S Y, Yang W Z, et al. An island arc origin of plagiogranites at Oyttag, western Kunlun orogen, northwest China: SHRIMP zircon U-Pb chronology, elemental and Sr-Nd-Hf isotopic geochemistry and Paleozoic tectonic implications[J]. Lithos, 2008, 106: 323-335.
- [14] 张传林, 于海峰, 叶海敏, 等. 塔里木西部奥依塔克斜长花岗岩: 年龄、地球化学特征、成岩作用及其构造意义[J]. 中国科学(D 辑), 2006, 36(10): 881-893.  
Zhang Chuanlin, Yu Haifeng, Ye Haimin, et al. Aoyitake plagiogranite in western Tarim Block, NW China: Age, geochemistry, petrogenesis and its tectonic implications[J]. Science in China (Series D), 2006, 36(10): 881-893(in Chinese).
- [15] 李广伟, 方爱民, 吴福元, 等. 塔里木西部奥依塔克斜长花岗岩锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素研究[J]. 岩石学报, 2009, 25(1): 166-172.  
Li Guangwei, Fang Aimin, Wu Fuyuan, et al. Studies on the U-Pb ages and Hf isotopes of zircons in the Aoyitake plagioclase granite, west Tarim[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(1): 166-172 (in Chinese with English abstract).
- [16] 计文化. 西昆仑—喀喇昆仑晚古生代—早中生代构造格局(博士学位论文)[D]. 北京: 中国地质大学, 2005, 16-106.  
Ji Wenhua. The Late Paleozoic-early Mesozoic Tectonic Frame in the Western Kunlun-Karakorum Area (Dissertation for Doctoral) [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2005, 16-106(in Chinese with English abstract).
- [17] 张传林, 于海峰, 王爱国, 等. 西昆仑西段三叠纪两类花岗岩年龄测定及其构造意义[J]. 地质学报, 2005, 79(5): 645-652.  
Zhang Chuanlin, Yu Haifeng, Wang Aiguo, et al. Dating of Triassic granites in the Western Kunlun mountains and its tectonic significance[J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(5): 645-652(in Chinese with English abstract).

- Chinese with English abstract).
- [18] 毕华, 王中刚, 王元龙, 等. 西昆仑造山带构造—岩浆演化史[J]. 中国科学(D辑), 1999, 29(5): 398–406.  
Bi Hua, Wang Zhonggang, Wang Yuanlong, et al. The evolutionary history of tectonic and magma in the Western Kunlun[J]. Science in China (Series D), 1999, 29(5): 398–406(in Chinese).
- [19] Yang Wenqiang, Liu Liang, Cao Yuting, et al. Geochronological evidence of Indosinian (high–pressure) metamorphic event and its tectonic significance in Taxkorgan area of the Western Kunlun Mountains, NW China[J]. Science in China (Earth Sciences), 2011, 41(8): 1047–1060.
- [20] 王春英, 蔺新望, 张俊良, 等. 青藏高原西部甜水海地区白垩纪花岗岩类的岩石学地球化学特征及其地质意义[J]. 地质通报, 2009, 28(5): 285–293.  
Wang Chunying, Lin Xinwang, Zhang Junliang, et al. Petrographical and geochemical characteristics of the Cretaceous granitoids in the Tianshuihai area, western Qinghai–Tibet Plateau, China and its geological significance[J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(5): 585–593(in Chinese with English abstract).
- [21] 康磊, 校培喜, 高晓峰, 等. 青藏高原西北缘红其拉甫岩体的岩石成因、时代及其构造意义[J]. 地质学报, 2012, 86(7): 1063–1075.  
Kang Lei, Xiao Peixi, Gao Xiaofeng, et al. The age and origin of the Konjirap pluton in northwestern Tibetan plateau and its tectonic significances[J]. Acta Geologica Sinica, 2012, 86(7): 1063–1075 (in Chinese with English abstract).
- [22] 汪玉珍, 方锡廉. 西昆仑山、喀喇昆仑山花岗岩类时空分布规律的初步探讨[J]. 新疆地质, 1987, 5(1): 9–24.  
Wang Yuzhen, Fang Xilian. A primary study on temporal and spatial distribution of granitoids in western Kunlun–Karakorum[J]. Xinjiang Geology, 1987, 5(1): 9–24 (in Chinese with English abstract).
- [23] 姜耀辉, 丙行健, 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 granites in the west Kunlun orogenic belt[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2000, 21(1): 23–25 (in Chinese with English abstract).
- [24] 计文化, 陈守建, 李荣社, 等. 西昆仑奥依塔格石炭—二叠纪岩浆岩: 弧后盆地的产物?[J]. 岩石学报, 2015, 待刊.  
Ji Wenhua, Chen Shoujian, Li Rongshe, et al. The geochemical characteristics and Zircon LA–ICP–MS U–Pb dating of Carboniferous–Permian arc–back magmatic rock of Aoyitag area, West kunlun[J]. Acta Petrologica Sinica, 2015(in press) (in Chinese with English abstract).
- [25] 高晓峰, 校培喜, 康磊, 等. 西昆仑大同西岩体成因: 矿物学、地球化学和锆石 U–Pb 年代学制约[J]. 岩石学报, 2013, 29(9): 3065–3079.  
Gao Xiaofeng, Xiao Peixi, Kang Lei, et al. Origin of Datongxi pluton in the West Kunlun orogen: Constraints from mineralogy, elemental geochemistry and zircon U–Pb age[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(9): 3065–3079 (in Chinese with English abstract).
- [26] 康磊, 校培喜, 高晓峰, 等. 西昆仑西北缘大洋斜长花岗岩带的岩石地球化学特征、成因及其构造环境[J]. 岩石学报, 2015, 待刊.  
Kang Lei, Xiao Peixi, Gao Xiaofeng, et al. Geochemical characteristics, petrogenesis and its structural environment of oceanic plagiogranites belt in the northwestern margin of Western Kunlun [J]. Acta Petrologica Sinica, 2015 (in press) (in Chinese with English abstract).
- [27] Jiang Yaohui, Jia Ruya, Liu Zheng, et al. Origin of Middle Triassic high–K calc–alkaline granitoids and their potassic microgranular enclaves from the western Kunlun orogen, northwest China: A record of the closure of Paleo–Tethys [J]. Lithos, 2013, 156–159: 13–30.
- [28] 康磊, 校培喜, 高晓峰, 等. 西昆仑慕士塔格岩体的 LA–ICP–MS 锆石 U–Pb 定年: 对古特提斯碰撞时限的制约[J]. 地质论评, 2012, 58(4): 763–774.  
Kang Lei, Xiao Peixi, Gao Xiaofeng, et al. LA–ICP–MS U–Pb dating of the zircon from Muztagata Pluton in Western Kunlun orogenic belt: Constraints on the time of paleotethys' collision[J]. Geological Review, 2012, 58(4): 763–774(in Chinese with English abstract).
- [29] 袁超, 孙敏, 周辉. 西昆仑阿卡阿孜山岩体的年代、源区和构造意义[J]. 新疆地质, 2003, 21(1): 37–45.  
Yuan Chao, Sun Min, Zhou Hui. Arkarz shan intrusive complex, Western Kunlun: age, source and tectonic implications[J]. Xinjiang Geology, 2003, 21(1): 37–45(in Chinese with English abstract).
- [30] 许荣华, Harris N, Lewis C. 拉萨至塔里木的同位素地球化学[C]//中英青藏高原综合地质考察队: 青藏高原地质演化. 北京: 科学出版社, 1990: 282–302.  
Xu Ronghua, Harris N, Lewis C. Isotope geochemistry of Lhasa to Tarim[C]//Chinese and British Synthesis Geological Team of Tibetan Plateau: Geological Evolution of Tibetan Plateau. Beijing: Science Press, 1990: 282–302(in Chinese).
- [31] Watson E B, Harrison T M. Zircon saturation revisited: Temperature and composition effect in a variety of crustal magmas types[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1983, 64: 295–304.
- [32] Watson E B, Harrison T M. Zircon thermometer reveals minimum melting conditions on earliest[J]. Earth Sci., 1983, 308: 841–844.
- [33] 康磊, 校培喜, 高晓峰, 等. 西昆仑慕士塔格岩体的岩石地球化学特征、岩石成因及其构造意义[J]. 地质通报, 2012, 31(12): 2001–2014.  
Kang Lei, Xiao Peixi, Gao Xiaofeng, et al. Geochemical characteristics and petrogenesis of Muztaeata intrusion in Western Kunlun orogenic belt and their tectonic significance[J]. Geological Bulletin of China, 2012, 31(12): 2001–2014(in Chinese with English abstract).
- [34] Miller C F, McDowell S M, Mapes R W. Hot and cold granites?

- Implications of zircon saturation temperatures and preservation of inheritance[J]. *Geology*, 2003, 31(6): 529–532.
- [35] Middlemost Eak. *Magmas and Magmatic Rocks*[M]. London: Longman: 1985, 1–266.
- [36] Sarvothaman H. The molar  $Al_2O_3/(CaO + Na_2O + K_2O)$  ratios as discriminant constraint for oceanic plagiogranites and continental transitions[J]. *Journal of the Geological Society of India*, 1993, 42: 513–522.
- [37] Sun S S, McDonogh W F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: Implication for mantle composition and processes[J]//Sannders A D, Norry M J(eds. ). *Magmatism in Oceanic Basins. Spec. Publ. Geol. Soc. Lond*, 1989, 42: 313–345.
- [38] Ishizaka K, Yanagi T. Occurrence of oceanic plagiogranites in the older tectonic zone, Southwest Japan[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1975, 27: 371–377.
- [39] Jean Bébien, Nora Dautaj, Minella Shallo, et al. Diversity of ophiolitic plagiogranites: the Albanian example [J]. *Geomaterials Petrology*, 1997, 324: 875–882.
- [40] Hergt J M, Faney K N. Major element, trace element, and isotopic (Pb, Sr and Nd) variations in site 834 basalts: Implications for the initiation of back-arc opening[J]. *Proe. ODP, Sci. Results*, 1994, 135, 471–485.
- [41] Hawkins J W. Evolution of the Lau Basin—Insights from ODP Leg 135, In: *Active Margins and Marginal Basins of the Western Parific*, Taylor B. et Natland J. (eds.). *Geophysical Monograph 88*, Am. Geophys. Union, 1995: 125–173.
- [42] 潘裕生. 西昆仑山构造特征与演化[J]. *地质科学*, 1990, 25(3): 224–232.  
Pan Yusheng, Tectonic features and evolution of the western Kunlun mountain region[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1990, 25 (3): 224–232(in Chinese with English abstract).
- [43] Mattern F, Schneider W. Suturing of the Proto–and Paleo–Tethys oceans in the western Kunlun (Xinjiang, China) [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2000, 18: 637–650.
- [44] Yuan C, Sun M, Zhou M F. Tectonic evolution of the West Kunlun geochronologic and geochemical constraints from Kudi granitoids[J]. *International Geology Review*, 2002, 44: 653–669.
- [45] 湛宏伟, 罗照华, 莫宣学, 等. 西昆仑阿卡阿孜山杂岩体的特征和成因[J]. *现代地质*, 2005, 19(2): 189–197.  
Chen Hongwei, Luo Zhaohua, Mo Xuanxue, et al. Characteristics and origin of the Akaraz Shan Complex in the Western Kunlun Mountoins [J]. *Geoscience*, 2005, 19(2): 189–197(in Chinese with English abstract).
- [46] 康磊, 校培喜, 高晓峰, 等. 西昆仑康西瓦断裂西段斜长片麻岩 LA–ICP–MS 锆石 U–Pb 定年及其构造意义[J]. *地质通报*, 2012, 31(8): 12–34.  
Kang Lei, Xiao Peixi, Gao Xiaofeng, et al. LA–ICP–MS zircon U–Pb datine of Barnet–bearine muscovite–biotite polaeioclaste geneiss in western Kanexiwar fault of Western Kunlun and its tectonic significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31 (8): 12–34(in Chinese with English abstract).
- [47] 杨文强. 西昆仑康西瓦构造带印支期变质事件的确定及其构造意义(硕士学位论文)[D]. 西安: 西北大学, 2010: 9–49.  
Yang Wenqiang. *Geochronological Evidence of Indosinian Metamorphic Event and its Tectonic Significance in Kangxiwar Tectonic Zone of Western Kunlun, NW China (Master Thesis)*[D]. Xi' an: Northwest University, 2010: 9–49 (in Chinese with English abstract).
- [48] 刘训. 新疆地壳结构和演化中的若干问题[J]. *地学前缘*, 2006, 13(6): 111–117.  
Liu Xun. *Problems of crustal tectonics and evolution in Xinjiang. Northwest China*[J]. *Earth Science Frontiers*, 2006, 13(6): 111–117(in Chinese with English abstract).
- [49] 张旗, 王焰, 李承东, 等. 花岗岩的 Sr–Yb 分类及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2006, 22(9): 2249–2269.  
Zhang Qi, Wang Yan, Li Chengdong, et al. Granite classification on the basis of Sr and Yb contents and its implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(9): 2249–2269(in Chinese with English abstract).
- [50] 许志琴, 李思田, 张建新, 等. 塔里木地块与古亚洲/特提斯构造体系的对接[J]. *岩石学报*, 2011, 27(1): 1–22.  
Xu Zhiqin, Li Sitian, Zhang Jianxin, et al. Paleo–Asian and Tethyan tectonic systems with docking the Tarim block[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(1): 1–22(in Chinese with English abstract).
- [51] 邓万明. 喀喇昆仑—西昆仑地区蛇绿岩的地质特征及其大地构造意义[J]. *岩石学报*, 1995, 11(增刊): 98–111.  
Deng Wanming. Geological features of ophiolite and tectonic significance in the Karakorum West Kunlun Mts[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1995, 11(supp): 98–111(in Chinese with English abstract).
- [52] 莫宣学, 路凤香, 沈上越, 等. 三江特提斯火山作用与成矿[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 1–267.  
Mo Xuanxue, Lu Fengxiang, Shen Shangyue, et al. *Sanjiang Tethyan Volcanism and Related Mineralization*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 1–267(in Chinese).
- [53] 莫宣学, 潘桂棠. 从特提斯到青藏高原形成: 构造–岩浆事件的约束[J]. *地学前缘*, 2006, 13(6): 43–51.  
Mo Xuanxue, Pan Guitang. From the Tethys to the formation of the Qinghai–Tibet Plateau: constrained by tectono–magmatic events[J]. *Earth Science Frontiers*, 2006, 13(6): 43–51(in Chinese with English abstract).
- [54] 肖庆辉, 邓晋福, 马大栓, 等. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京: 地质出版社, 2002: 172–191.  
Xiao Qinghui, Deng Jinfu, Ma Dashuan, et al. *The Ways of Investigation on Granitoids*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 55–70(in Chinese).