



# 青藏高原北缘西昆仑造山带构造演化: 来自锆石 SHRIMP 及 LA-ICP-MS 测年的证据

张传林\* 陆松年 于海锋 叶海敏

( 南京地质矿产研究所, 南京 210016; 天津地质矿产研究所, 天津 300170)

**摘要** 青藏高原北缘西昆仑造山带由北昆仑地体、南昆仑地体、喀喇昆仑-甜水海地体等 3 个主要的构造单元组成. 报道了北昆仑地体、南昆仑地体内副变质岩、部分岩浆岩锆石 SHRIMP 及 LA-ICP-MS U-Pb 测年结果, 并结合野外调查, 得出以下主要结论: (1) 在北昆仑地体出露的前寒武纪副变质岩, 沉积的时代为中元古代中晚期, 在 0.9~1.0 Ga 和约 0.8 Ga 发生变质; (2) 北昆仑地体是中元古代晚期—新元古代早期增生到塔里木南缘的造山带, 两期变质作用是塔里木地块在 Rodinia 汇聚及裂解过程中的构造响应; (3) 在南昆仑地体的西段, 原认为属于古元古代的布伦勒群, 实质是由北部中生代角闪岩相变质的火山-沉积岩系及南部的由南向北逆冲推覆到这套火山-沉积岩系之上的角闪岩相副变质岩(孔兹岩)组成. 获得南部的孔兹岩系继承性碎屑锆石的年龄为 600~2200 Ma 之间, 表明其沉积年龄大约在新元古代晚期—早古生代早期, 并在加里东期和海西-印支期发生变质; (4) 在康西瓦, 获得侵入于孔兹岩眼球状英云闪长岩岩浆结晶年龄为 505 Ma, 变质年龄为 240 Ma. 结合前人对该区孔兹岩锆石 U-Pb 定年资料, 表明南昆仑地体是加里东期增生到北昆仑地体南缘的造山带, 并在此基础上叠加了晚古生代—早中生代的岩浆弧.

**关键词** 北昆仑地体 南昆仑地体 前寒武纪基底 锆石 SHRIMP 及 LA-ICP-MS U-Pb 年龄 构造演化

西昆仑造山带位于青藏高原的北缘, 从西端的帕米尔到东端的阿尔金断裂, 呈北西-南东向延伸 1000 多公里(图 1). 中外地质学家多年的研究表明, 西昆仑造山带是塔里木地块和羌塘地块在晚中生代碰撞造山的产物<sup>[1~10]</sup>, 并且受到新生代印度板块和亚洲板块碰撞引起的远距离构造效应的影响<sup>[6,7,11]</sup>. 然而, 由于对库地蛇绿岩构造背景和形成时代的争议<sup>[3,5,9,12~18]</sup>以及缺乏对造山带内部“前寒武纪”基底的准确定年, 很大程度上制约了对于该区前寒武纪及早古生代—晚古生代早期构造演化的认识. 我们在这里报道了西昆仑造山带一些重要的地质体, 尤其

是分布在西昆仑北带(北昆仑地体)、中带(南昆仑地体)副变质岩锆石 SHRIMP 及 LA-ICP-MS 的测年结果, 并结合我们的野外观察, 试图对西昆仑前寒武纪变质岩的沉积时代、变质时代以及它们暗示的构造演化信息进行讨论.

## 1 区域地质及野外观察

### 1.1 区域地质背景

西昆仑造山带包含以下几个构造单元<sup>[9,10,17]</sup>: 北昆仑地体、南昆仑地体、甜水海-喀喇昆仑地体(图 1).

收稿日期: 2005-12-30; 接受日期: 2006-06-07

国家自然科学基金(批准号: 40303007, 40421303)和中国地质调查局(批准号: 200113900070)资助

\* E-mail: zchuanlin@sina.com

其中库地蛇绿岩代表了北昆仑地体和南昆仑地体在早古生代的缝合带<sup>[15~17]</sup>, 它是由北向南逆冲到目前位置的<sup>[9,10,18]</sup>. 南昆仑地体和甜水海-喀喇昆仑地体之间的界线为康西瓦断裂, 该断裂经麻扎后, 转向北北西, 经班迪向北, 然后逐渐转向近东西向延伸至帕米尔构造结.

## 1.2 北昆仑地体

北昆仑地体前寒武纪地层主要出露在许许沟—阿卡孜以及和田南部的铁克里克隆起带. 目前在这一地区获得最老的年龄是阿卡孜至许许沟一带的赫罗斯坦侵入杂岩, 形成时代为 2.34~2.42 Ga, 并在 1.9 Ga 发生重熔<sup>[19]</sup>. 在铁克里克隆起带, 分布了“古元古代”喀拉喀什群及艾连卡特群(图 2). 其中艾连卡特群以角度不整合或断层叠置于卡拉喀什群之上<sup>[20]</sup>. 我们在以前的工作中已证实艾连卡特群是中元古代晚期的火山-沉积岩系, 并在 1.0 Ga 左右发生变质<sup>[21]</sup>. 艾连卡特群从和田南部可以一直向西延伸, 在盖孜

检查站还有出露(图 3(b)). 卡拉喀什群主要分布在和田南部, 以黑云绿泥石英片岩、绢云绿泥石英片岩、(黑云)绿泥长石石英片岩为主, 局部见少量的石榴石. 其中发育至少两期长英质岩脉(图 3(a)). 早期长英质岩脉已强烈变形, 而第二期未变形的长英质岩脉穿切了早期的长英质岩脉. 另外, 在北昆仑地体内, 保留了比较完整的浅变质及微弱变形的新元古代沉积记录<sup>[22,23]</sup>, 并发育新元古代基性岩墙群. 研究表明, 新元古代沉积岩及基性岩墙群形成于大陆裂解背景<sup>[22~24]</sup>.

## 1.3 南昆仑地体

南昆仑地体内“前寒武纪”变质岩主要分布在康西瓦断裂以北(东段, 以桑株塌格群为代表)及塔什库尔干县以南(西段, 以布伦阔勒群为代表). 大量的晚古生代—早中生代花岗岩侵入其中, 代表了这一时期沿康西瓦缝合带向北俯冲所形成的岩浆弧<sup>[2,14,17,25]</sup>.

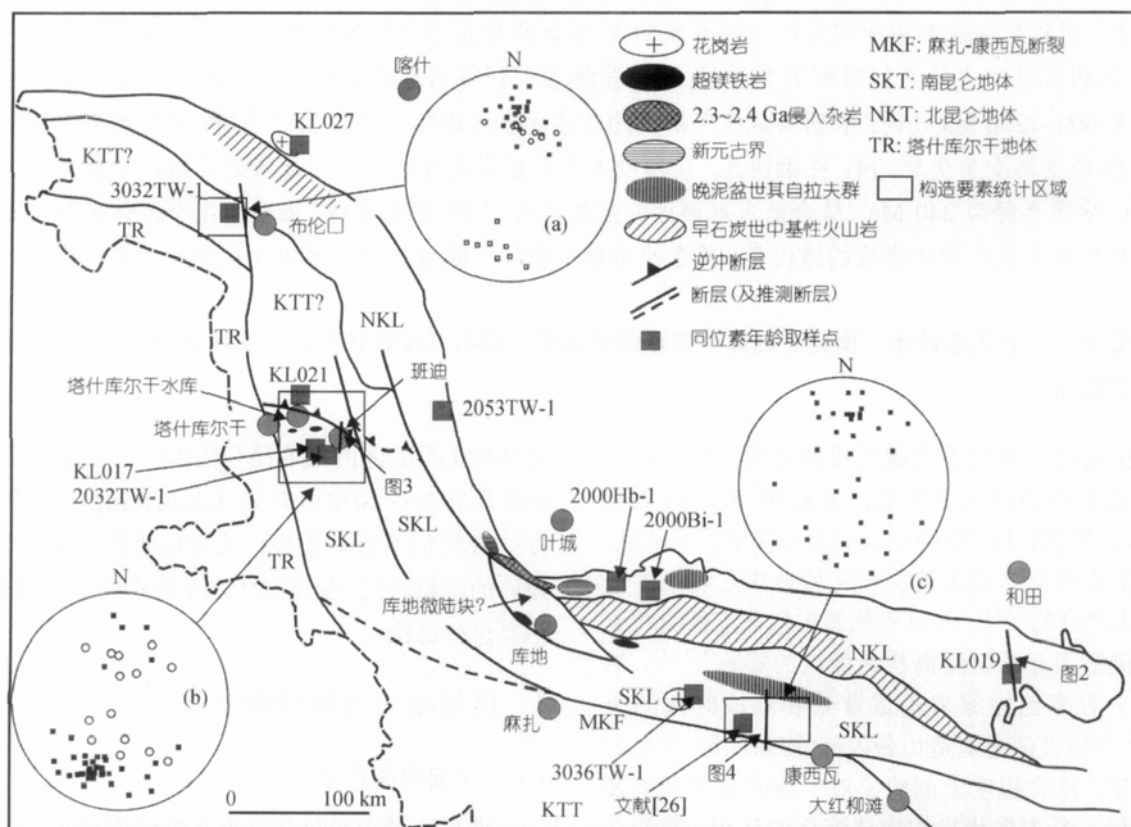


图 1 西昆仑造山带构造单元划分、构造要素特征及测年样品的分布

构造要素均下半球投影. (a)黑方块为含石榴石片麻状花岗岩围岩面理法线, 空心圆圈为含石榴石片麻状花岗岩的面理法线; 空心方块为围岩中的矿物拉伸线理; (b)空心圆圈为推覆面以北的变质火山-沉积岩系面理法线, 黑方块为推覆面南部(推覆体)面理法线; (c)康西瓦一带孔兹岩面理法线

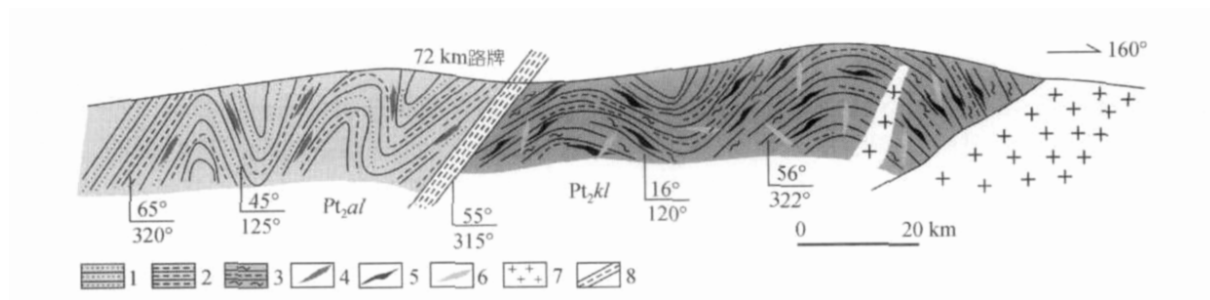


图2 和田-布雅公路示意剖面

1. 变砂岩、变粉砂岩类; 2. 绢云绿泥千枚岩、板岩类; 3. 绢云绿泥黑云石英片岩、绢云绿泥黑云长石石英片岩类; 4. 石英脉; 5. 强变形长英质岩脉; 6. 穿切岩石面理未变形的长英质岩脉; 7. 布雅花岗岩(A型); 8. 断层.  $Pt_2al$ : 中元古代艾连卡特群;  $Pt_2kl$ : 中元古代卡拉喀什群

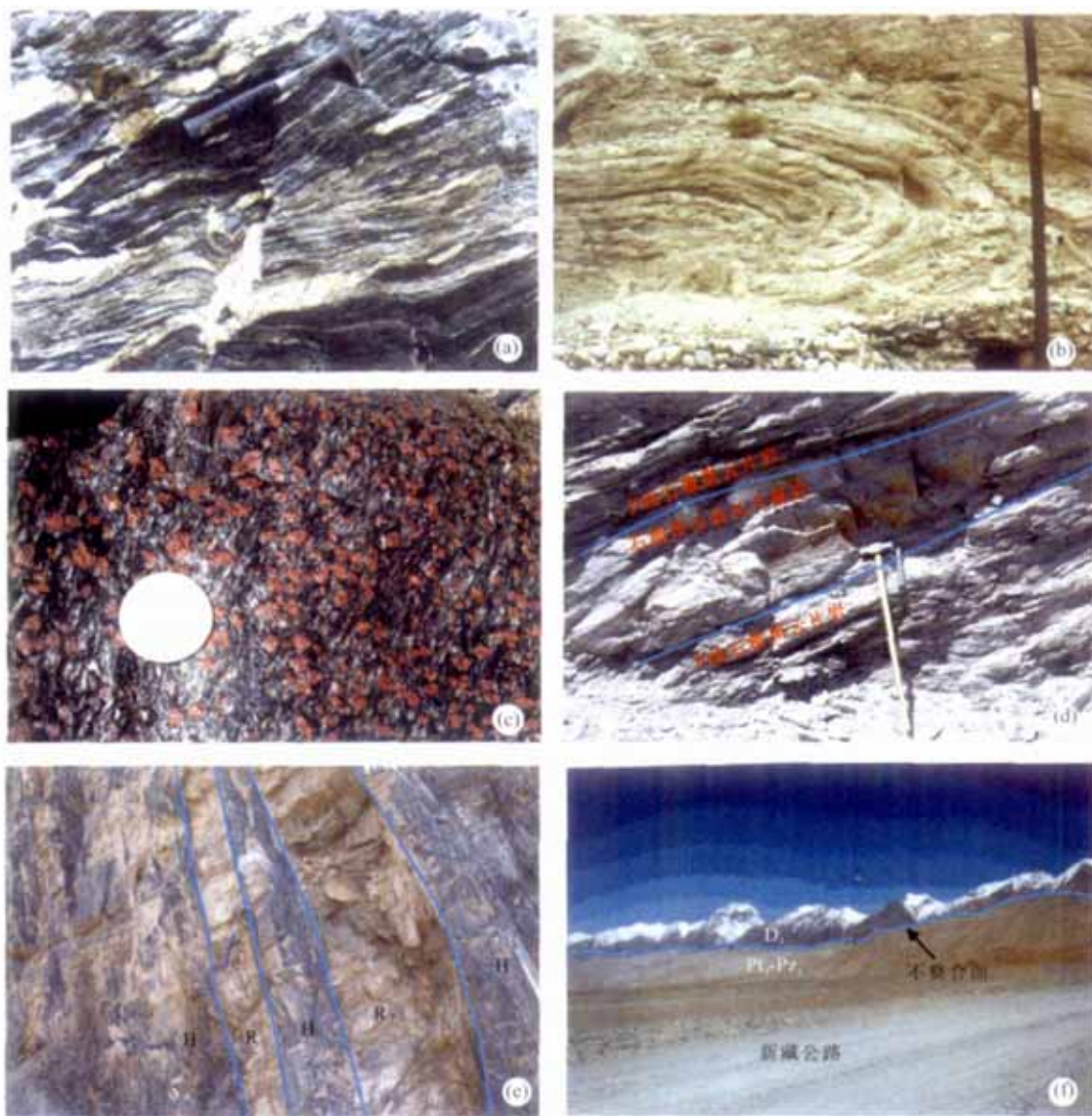


图3

- (a) 和田南部卡拉喀什群绿片岩相变质碎屑岩, 其中发育有两期长英质岩脉, 早期的长英质脉发生了强烈变形, 而晚期的长英质脉穿切了岩石的面理及早期长英质脉; (b) 盖孜南艾连卡特群中的平卧褶皱(标杆在西面), 获得其中的变质矿物角闪石和黑云母的 Ar-Ar 年龄分别为 1050 和 1020 Ma; (c), (d) 塔县水库—班迪南部夕线石榴黑云片岩及夕线石榴黑云片麻岩(推覆体), 岩石面理向南缓倾; (e) 塔县水库—班迪北部变质火山岩, 其中 H 为玄武岩, 已经变质成石榴角闪岩及(石榴)斜长角闪岩, R 为流纹岩, 已经变质成白云石英钠长片岩, 岩层向南陡倾; (f) 康西瓦一带晚泥盆世其自拉夫群磨拉石角度不整合在孔兹岩(桑株塔格群)之上

### 1.3.1 塔什库尔干县逆冲推覆构造(西段)

路线调查表明,沿塔什库尔干县水库至班迪一带,变质岩组合可分两个部分(图 4),一是南部的角闪岩相副变质岩系(图 3(c), (d)),主要由夕线石榴黑云片岩、夕线石榴黑云片麻岩、含石榴石斜长片麻岩、含石墨大理岩组成(孔兹岩),并有大量的强变形的长英质伟晶岩发育.岩石为中、粗粒针状—粒状变晶结构、斑状变晶结构,片麻状构造.主要矿物成分为夕线石(1%~10%)、透辉石(少~1%)、石榴子石(1%~20%)、石英(20%~40%)、斜长石(1%~5%)、钾长石(1%~5%)、黑云母(10%~25%)、白云母(1%~10%)等,石榴石常以变斑晶形式出现(图 5 中 3).在大理岩中(80%~90%方解石+10%~20%白云石+1%石英),出现粒状石墨(<1%).上述岩石组合与康西瓦一带的高级副变质岩岩性完全一致,因此它们是同一套高级变质岩.在南部的副变质岩中,岩层的层理完全被面理置换,且面理均以低角度南倾(图 3(d), 图 1(b)).在局部露头上,可见到北北西向分布的矿物拉伸线理(图 1(b)).发育在北部的是一套角闪岩相变质的火山-沉积岩系(图 4; 图 3(e)),主要岩石组合有石榴角闪岩(30%~40%石榴石+50%角闪石+10%~15%斜长石)、(石榴)斜长角闪岩(1%~20%石榴石+25%~45%斜长石+30%~40%角闪石+1%~10%石英和黑云母)、含白云母石英钠长片岩(10%~15%白云母+20%~35%钠长石+15%~25%斜长石+30%~35%石英)及石英岩(硅质岩).野外特征及地球化学(未发表数据)均表明它们的原岩属于双峰式火山岩.北部的变质火山-沉积岩系中,保留了完好的层理构造,层理面向南陡倾(图 4, 3(e), 1(b)),与南部的变质岩形成明显的差异.从野外岩石组合及二者产状上的差异,表明南部的高级副变质岩以逆冲推覆的形式叠加于变质火山-沉积岩系之上,尽管在塔县水库至班迪一带,逆冲推覆面发育在河谷深处而没有观察到,但新疆第二区域地质调查大队在班迪以东的 1:5 万填图证实了这一逆冲推覆构造<sup>1)</sup>.由于南部的推覆体与麻扎—康西瓦以北的孔兹岩在岩石组合、变质特征、年龄特征(详见后述)完全可以对应,表明推覆体应是南昆仑地体的一部分,是康西瓦一带孔兹岩系的西延<sup>[26]</sup>,它是由南向北逆冲到变质的火山-沉积岩系之上的.

### 1.3.2 康西瓦构造带的结构特征(东段)

康西瓦断裂在现今的西昆仑造山带内是最显著的大断裂,无论在地貌还是在遥感影像上均有明显的反映.这一断裂具有左行滑动特征,显然是阿尔金断裂在西段的构造效应<sup>[27]</sup>.在康西瓦断裂的北缘,晚泥盆世具有磨拉石特征的其自拉夫群不整合在一套孔兹岩系之上(图 5, 3(f)),这套孔兹岩变形极为复杂(图 1(c)),除了受多期造山作用的构造变形叠加,还受到康西瓦左行断裂的影响.由于沿班迪至塔县水库一线逆冲推覆构造的发现,与康西瓦至带在岩性上完全一致的孔兹岩分布逆冲带的南部,因此,作为南昆仑地体与喀喇昆仑—甜水海地体分界,康西瓦断裂西延部分应是这套孔兹岩系的南界(图 1).由于交通限制,我们在图 1 中大致标出了该断裂的延伸情况.

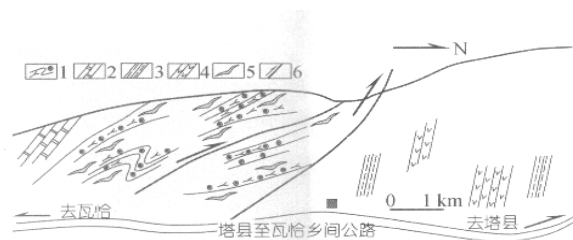


图 4 塔什库尔干县东班迪一带逆冲推覆构造

1. 石榴夕线片麻岩、石榴黑云片岩类; 2. 含石墨大理岩; 3. 变质碎屑岩; 4. 变质火山岩; 5. 强变形伟晶岩脉; 6. 逆冲推覆断层

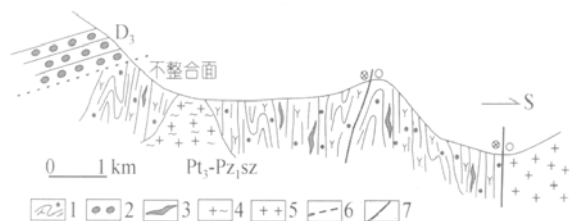


图 5 康西瓦一带地质剖面

1. 石榴夕线片麻岩、石榴黑云片岩类; 2. 砾岩; 3. 强变形伟晶岩; 4. 片麻状花岗岩; 5. 三叠纪块状花岗岩; 6. 不整合面; 7. 断层

## 2 分析方法

样品分布见图 1. 一件绿片岩相变质的碎屑岩、两件角闪岩相变质的碎屑岩样品分别取自和田南部的卡拉喀什群(KL019; 绢云绿泥长石石英片岩,  $N=36^{\circ}31'49.5''$ ,  $E=79^{\circ}55'1.6''$ )、西昆仑西段的布伦阔勒群(KL017, 石榴黑云斜长片麻岩,  $N=37^{\circ}49'12.8''$ ,

1) 新疆第二区域地质调查大队. 西昆仑山班迪尔幅、下拉夫叠幅 1:5 万区域地质调查报告. 1999



E=75°26'37.1"; 2032TW-1, 夕线石榴黑云片岩, N=37°49'11", E=75°26'36"); 一件角闪岩相变质的流纹岩取自西昆仑西段北缘(KL021, N=37°52'25.7", E=75°17'20.8")、一件眼球状英云闪长岩样品取自西昆仑东段三十里营房北(3036TW-1, 坐标: N=36°24'54", E=77°47'23"). 样品破碎后手工淘洗分离出重砂, 经磁选和电磁选后, 在双目镜下挑出锆石(均大于1000粒). 选取代表性锆石制靶后通过透射光和反射光照相, 并在中国科学院地质与地球物理研究所及北京大学采用阴极发光对锆石结构进行研究. 锆石 SHRIMP 测年分别在中国地质科学院北京离子探针中心(3032TW-1, KL021)及澳大利亚 Curtin 大学完成(3036TW-1), 采用 TEMORA 标样(~417 Ma,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}=0.06683$ )进行校正, 详细的测试流程见文献[28]; LA-ICP-MS 年龄测试是在西北大学大陆动力学教育部重点实验室完成. 采用的仪器、相关参数、测试流程及数据处理方法等见文献[29]. 在测试过程中, 采用哈佛大学国际标准锆石 91500 作为外部校正, TEMORA 标样做内部校正, TEMORA 标样内部校正的结果为(416.2 ± 4.6) Ma ( $n=6$ ), 表明测试结果可靠. 锆石 SHRIMP 及 LA-ICP-MS 测试的原始数据可以和本文通讯作者联系.

### 3 测试结果

#### 3.1 卡拉喀什群碎屑岩 LA-ICP-MS 测年结果 (KL019)

依据锆石的颗粒大小, 明显分两种: 一种是颗粒较大者(占锆石总量的 1/4), 粒状或短柱状晶体, 透明, 无色或浅粉色, 长轴在 120~150  $\mu\text{m}$  之间, 阴极发光显示它们具有显著的生长环带, 与花岗岩中的锆石类似(图 6- , , ). 此类锆石边部往往发育溶蚀结构, 即边部不平整; 另一类锆石颗粒大小不一(占锆石总量的 3/4), 一般在 100  $\mu\text{m}$ , 在显微镜下透明、无色、短柱状或等轴状, 边缘不平整. 阴极发光显示, 此类锆石有不清晰的生长环带或无生长环带(图 6- , , , ). LA-ICP-MS 测试结果表明, 具有显著生长环带的部分为继承性锆石, 这部分锆石的  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄分布在 1.3, 1.64, 1.8~2.0, 2.3~2.45 Ga(图 7(a), (b)). 2.3~2.45 Ga 的年龄与本区赫罗斯坦侵入杂岩形成年龄基本一致<sup>[19]</sup>, 表明卡拉喀什群的源区与塔里木古元古代早期的片麻状花岗岩有关. 没有明显生长环带的锆石测试结果表明, 它们的年

龄出现 2 个峰值, 一个是在 0.8 Ga 左右、一个是 1.0~0.9 Ga 左右(图 7(a), (b)). 但这部分锆石的 Th/U 比值均大于 0.1, 具有岩浆锆石的特点. 我们对不整合在卡拉喀什群之上的艾连卡特群中的变质矿物角闪石和黑云母的  $^{39}\text{Ar}-^{40}\text{Ar}$  定年表明(表 1), 艾连卡特群主变质期发生在 1.0 Ga<sup>[21]</sup>, 且本区的新元古界以显著的角度不整合覆盖于艾连卡特群、卡拉喀什群之上<sup>[22~24]</sup>, 这表明卡拉喀什群的沉积时代不可能晚于 1.0 Ga, 那么 1.0~0.9, 0.8 Ga 的峰值只可能是变质年龄, 而不代表剥蚀源区的年龄. 这里要补充说明两点: (1)变质锆石的 Th/U 比值受到多种因素的控制, 如生长速度、流体等, 因此并不是所有变质锆石都有低的 Th/U 比, 快速生长的锆石 Th/U 比值甚至可以大于 0.7<sup>[30,31]</sup>; (2)在卡拉喀什群中发育了两期长英质岩脉, 后期未变形的长英质岩脉穿切了早期强变形长英质岩脉, 这两期岩脉应与两次重要的构造事件相吻合, 并说明变质过程中岩石处于开放体系, 因此流体作用是导致新生锆石结晶的重要原因. 与之相反, 塔县北部的角闪岩相变质的双峰式火山岩, 保留了完整的原始层理, 表明在变质过程中, 岩石处于封闭体系,

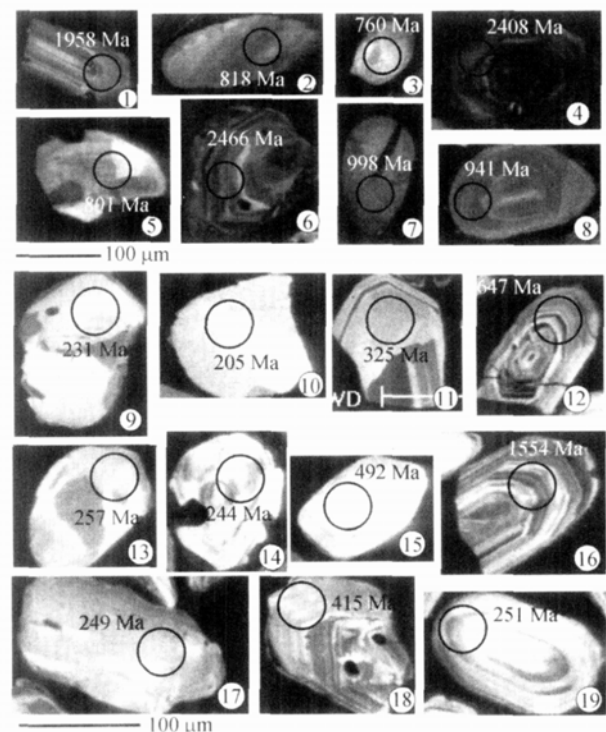


图 6 KL019 及 KL017 号样品部分锆石阴极发光照片及年龄值

其中 KL019 样品所标注的年龄为  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  表面年龄(1~8), KL017 标注的为  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄(9~19), 其他说明见文中

表 1 西昆仑部分地质体年龄

样品号	采样地质体	采样坐标	测试对象	测试方法	年龄结果/Ma	文献
KL027	奥依塔斜长花岗岩	E=75°13'20", N=39°03'40"	锆石	SHRIMP	330.1 ± 2.8	[32]
2000Hb-1	艾连卡特群变质岩	E=78°01'08", N=37°01'24"	角闪石	Ar-Ar	1050 ± 0.93	[21]
2000Bi-1	艾连卡特群变质岩	E=78°05'48", N=37°00'49"	黑云母	Ar-Ar	1020 ± 1.02	[21]
3032TW-1	布伦口含石榴石片麻状花岗岩	E=74°44'42", N=38°44'18"	锆石	SHRIMP	241 ± 2	[33]
2053TW-1	科岗块状含角闪石花岗岩	E=76°25'4", N=37°35'47"	锆石	TIMS	228.2 ± 1.5	[33]

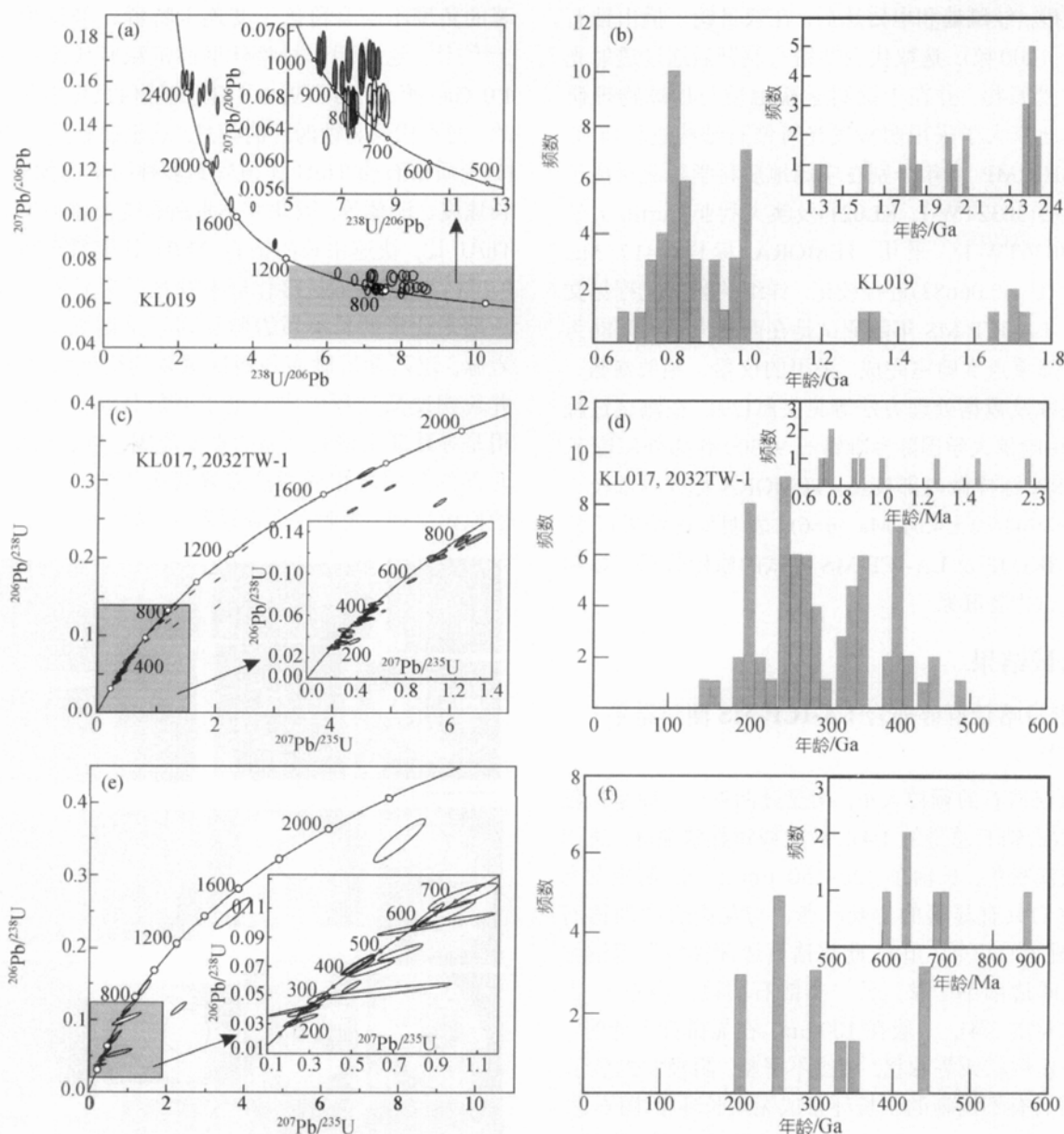


图 7

(a), (b): 北昆仑地体卡拉喀什群变质碎屑岩锆石 U-Pb 年龄谱和图及  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄统计图(KL019); (c), (d) 塔县水库南部布伦阔尔群角闪岩相副变质岩锆石 U-Pb 年龄谱和图及  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄统计(KL017, 2032TW-1); (e), (f): 康西瓦一带角闪岩相副变质岩锆石 U-Pb 年龄谱和图及年龄统计(原始数据据文献[26])

没有流体的参与而没有形成新生锆石。综合上述分析, 前人认为的古元古代卡拉喀什群, 其沉积的时间

在中元古代中晚期, 在 0.8, 0.9~1.0 Ga 发生了两期重要的变质作用。

### 3.2 布伦阔勒群锆石 U-Pb 年龄(KL017, 2032TW-1, KL021)

如前所述, 前人命名的布伦阔勒群被分为2个部分(图4), 一部分是南部的一套角闪岩相副变质岩, 与康西瓦一带的角闪岩相副变质岩岩性一致<sup>[26]</sup>. 而北部为一套角闪岩相变质的火山-沉积岩系. 通过路线地质调查及1/5万填图, 南部的副变质岩以逆冲推覆的方式置于北部的变质火山-沉积岩系之上. 在南部的副变质岩中采集了两个样品, 其中一个(KL017)取自含夕线石黑云斜长片麻岩、一个样品(2032TW-1)取自夕线石榴黑云片岩.

KL017的锆石为自形、半自形或不规则状(图6), 无色透明, 粒径在100~150  $\mu\text{m}$  之间, 大部分锆石呈短柱状, 长短轴之比约为2:1, 另有少量锆石为等轴状. 阴极发光照片显示, 少量锆石具有显著的生长环带(图6- , ), 而大多数的锆石有不明显的生长环带(图6- , , )或没有生长环带(图6- , , ). 2032TW样品的锆石在显微镜下为透明无色, 短柱状或不规则状, 在阴极发光照片中部分锆石有明显的继承性的核. 由于两个样品取自同一套变质岩且地理位置一致, 测试结果也一致, 因此将这二个样品的测试结果放在一起进行统计. 测年结果显示, 具有显著生长环带的锆石为继承的碎屑锆石, 年龄大于600 Ma, Th/U比值大于0.1. 而其他类型的锆石, 年龄分布在200~460 Ma之间, Th/U=0.04~0.71. 由于测年结果显示 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄与 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄基本谐和, 因此采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄进行统计(图7(c), (d)). 比较明显的峰值位于约200, 240~270, 340, 400~460 Ma.

从塔县水库北面的变质火山-沉积岩中取自变质流纹岩的锆石呈长柱状或等轴状(KL021), 透明无色. 在阴极发光照片中均有显著的生长环带, 没有见到继承性的核. 对14粒锆石的14次分析表明, 13个测点有谐和的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 表面年龄, 采用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄平均, 获得的年龄为 $(228.4 \pm 2.1)$  Ma ( $n=13$ , MSWD=0.96), 这一年龄应代表了火山岩的形成年龄(图8(a)).

### 3.3 康西瓦一带桑株塔格群及其中的眼球状英云闪长岩锆石 U-Pb 年龄(3036TW-1)

侵入于康西瓦副变质岩的英云闪长岩锆石分两

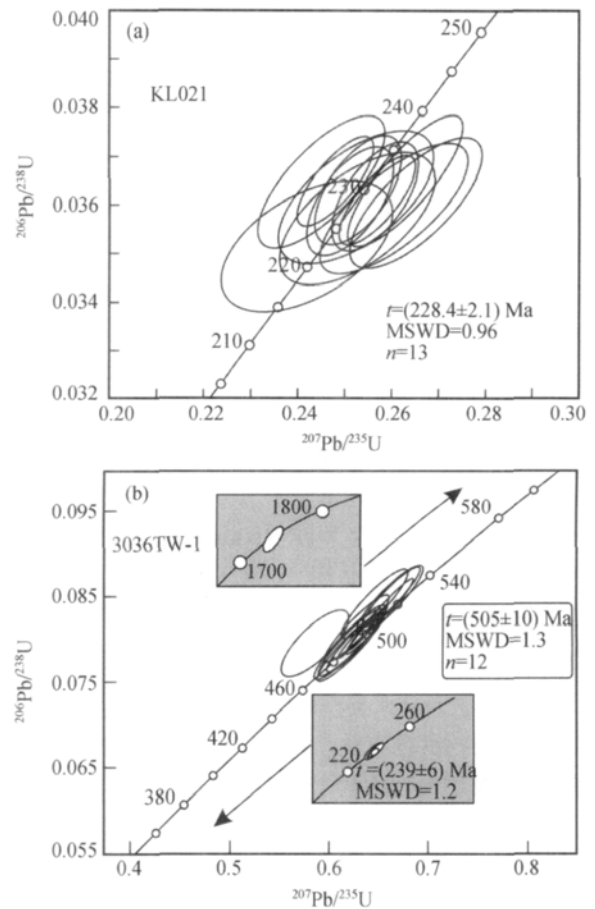


图8 塔县水库北变质双峰式火山岩中流纹岩锆石 U-Pb 年龄(a)及康西瓦侵入于桑株塔格群的片麻状英云闪长岩锆石 U-Pb 年龄(b)

个部分: 一部分(90%)为长柱状透明无色晶体, 150~200  $\mu\text{m}$ , 长短轴之比在3:1~4:1之间, 阴极发光显示显著的震荡生长环带, 在两粒锆石中见到有浑圆状继承性的核; 另一部分(10%)为粒度细小(50~100  $\mu\text{m}$ ), 采用 SHRIMP 测年(这个样品在澳大利亚的科庭大学 SHRIMP 实验室测试), 获得岩浆结晶的年龄为 $(505 \pm 10)$  Ma. 对4颗小粒径的锆石测试, 获得的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分布在233~250 Ma之间, 平均值为 $(239.7 \pm 5)$  Ma. 获得一粒浑圆状锆石的年龄为 $(1736 \pm 46)$  Ma, 显然为继承性锆石(图8(b)). 上述分析表明康西瓦一带桑株塔格群副变质岩发生沉积的时间不晚于505 Ma. 许志琴等<sup>[26]</sup>对这一带的副变质岩锆石做了 SHRIMP 测年<sup>[26]</sup>, 其结果见图7(e), (f), 从统计结果分析, 与我们获得的西昆仑西段的孔兹岩定年结果完全一致.

## 4 讨论

### 4.1 北昆仑地体: 中元古代晚期至新元古代早期的大陆边缘造山带

依据我们对卡拉喀什群变质碎屑岩锆石的测年结果以及对其上的艾连卡特群变质火山中黑云母和角闪石的 Ar-Ar 定年(表 1), 表明北昆仑地体是中元古代晚期至新元古代早期增生到塔里木南部的大陆边缘造山带, 造山的时间大约发生在 0.9~1.0 Ga, 这与塔中<sup>[34]</sup>、阿尔金<sup>[35,36]</sup>、柴北缘<sup>[35]</sup>、秦岭南部(扬子地块北缘)<sup>[35,37]</sup>中元古代晚期—新元古代早期造山事件完全一致, 充分说明塔里木地块南缘在格林威尔期发生过板块汇聚, 使塔里木成为 Rodinia 超大陆的一部分。对于塔里木地块在 Rodinia 超大陆裂解过程中的岩浆效应、沉积作用, 已有大量的资料积累, 从这些资料分析<sup>[22~24,38~41]</sup>, 裂解开始的时间大约在 820~830 Ma, 在 780~800 Ma 的岩浆活动达到高峰期, 这与华南、澳大利亚等地区新元古代岩浆活动完全可以对应, 进一步说明新元古代地幔柱是导致 Rodinia 超大陆裂解的内在因素<sup>[42]</sup>。上述分析表明, 在北昆仑地体内, 保留了完整的中元古代晚期—新元古代早期的大陆汇聚及新元古代大陆裂解的年代学证据, 是塔里木地块在 Rodinia 超大陆汇聚和裂解过程中的岩浆-构造效应。

### 4.2 南昆仑地体: 加里东期的增生造山带

由于康西瓦一带的孔兹岩被晚泥盆世其自拉夫群不整合覆盖, 且被 505 Ma 的英云闪长岩侵入, 因此在 SHRIMP 测年中出现的 200~430 Ma 的年龄值均是变质作用的记录。很显然, 塔县南部的孔兹岩无论在岩石组成还是锆石的测年结果, 均可以与康西瓦一带的孔兹岩对比, 这表明在南昆仑地体内, 可能不存在古老的前寒武纪基底。角闪岩相副变质岩实质上是新元古代晚期—早古生代的具有被动大陆边缘沉积特征的一套岩石组合, 这套岩石组合在加里东期和海西-印支期发生了两期变质。我们注意到, 无论是 SHRIMP 还是 LA-ICP-MS 的测年结果中, 大约从 340~200 Ma 之间, 均有年龄分布(图 7(c)~(f)), 在 240 和 200 Ma 左右出现统计峰值, 这表明南昆仑地体和喀喇昆仑-甜水海地体可能在 240 Ma 发生碰撞并在 200 Ma 左右最终拼合。从获得的碎屑岩锆石 U-Pb 年龄以及前人大量的花岗岩年龄及地球化学资料分

析<sup>[43~45]</sup>, 南昆仑地体和北昆仑地体在加里东期发生拼合后, 在晚古生代形成新的大陆边缘岩浆弧(叠加在加里东造山带之上的岩浆弧), 这一大陆边缘岩浆弧从石炭纪一直持续到三叠纪<sup>[33]</sup>, 并在印支期与喀喇昆仑-甜水海地体发生拼合(约 200 Ma)。由于岩浆弧的高地热梯度, 导致孔兹岩系在这一时间段内一直有新生锆石结晶。

张建新等<sup>[46,47]</sup>对阿尔金地区的孔兹岩系及榴辉岩研究表明, 这一地区的孔兹岩变质的时间约为 460 Ma, 榴辉岩变质的时间约 500 Ma, 这表明阿尔金地区的阿尔金地区的孔兹岩与西昆仑孔兹岩在变质时代上近于一致<sup>[26]</sup>, 证明沿秦岭—祁连—阿尔金—西昆仑发育了一条长达 2000 多公里的加里东期造山带<sup>[26,35,46]</sup>。

### 4.3 西昆仑西段北缘: 没有发现加里东期的构造热事件

我们的测年资料表明, 塔县水库以北的变质双峰式火山岩时代为 228 Ma, 布伦口一带的含石榴石片麻状花岗岩时代为 240 Ma<sup>[33]</sup>, 前人认为的属于加里东期的奥依塔克斜长花岗岩形成时代为 330 Ma<sup>[32]</sup>, 另外, 前人对中巴公路沿线的大量深成岩测年资料中<sup>[45,48]</sup>, 没有大于 300 Ma 的年龄数据。因此有理由推测, 西昆仑西段北缘属于印支期造山带, 应和喀喇昆仑地体相对应(图 1)。

## 5 结论

根据我们的测年资料及野外地质观察, 我们得出以下结论: (1)在北昆仑地体出露的前寒武纪副变质岩, 沉积的时代为中元古代中晚期, 在 0.9~1.0 Ga 和约 0.8 Ga 发生变质; (2)北昆仑地体是中元古代晚期—新元古代早期增生到塔里木南缘的造山带, 两期变质作用是塔里木地块在 Rodinia 汇聚及裂解过程中的构造响应; (3)在南昆仑地体的西段, 原认为属于古元古代的布伦阔勒群, 实质是由北部的角闪岩相变质的火山-沉积岩系及南部的由南向北逆冲推覆到这套火山-沉积岩系之上的角闪岩相副变质岩(孔兹岩)组成。获得南部的孔兹岩系继承性碎屑锆石的年龄为 540~2200 Ma 之间, 表明其沉积年龄大约在新元古代晚期—早古生代, 并在加里东期和海西-印支期发生变质; (4)在康西瓦, 获得侵入于孔兹岩眼球状英云闪长岩岩浆结晶年龄为 505 Ma, 变质年龄为 240 Ma。



结合前人对该区孔兹岩锆石 U-Pb 定年资料, 表明南昆仑地体是加里东期增生到北昆仑地体南缘的造山带, 并在此基础上叠加了晚古生代—早中生代的岩浆弧。

致谢 李正祥、李献华参加了部分路线的野外考察; 李正祥、陶华、万俞生、宋彪、柳小明分别协助了锆石 SHRIMP 和 LA-ICP-MS 测年工作; 肖文交博士及另一位匿名审稿人提出了非常重要的修改意见; 在此一并致谢。

### 参 考 文 献

- 1 Dewey J F, Shackleton R, Chang C F, et al. The tectonic evolution of the Tibetan Plateau. *Philos Trans R Soc A-Math Phys Eng Sci*, 1988, 327: 379—413
- 2 姜春发, 杨经绥, 冯炳贵, 等. 昆仑开合构造. 北京: 地质出版社, 1992. 47—68
- 3 Sengor A M C, Okurogullari A H. The role of accretionary wedges in the growth of continents: Asiatic examples from Argand to plate tectonics. *Eclogae Geol Helv*, 1991, 84(3): 535—597
- 4 Sun S, Li J L, Wang Q C, et al. Indosinides in China and the Consumption of Eastern Paleotethys. In: Muller D W, McKenzie J A, Weissert H, eds. *Controversies in Modern Geology*. London: Academic Press, 1991. 363—384
- 5 Matte P H, Tapponnier P, Arnaud N, et al. Tectonics of western Tibet, between the Tarim and Indus. *Earth Planet Sci Lett*, 1996, 142(3-4): 311—330
- 6 Kao H, Gao R, Ran R J, et al. Seismic image of the Tarim basin and its collisional with Tibet. *Geology*, 2001, 29(7): 575—578
- 7 Li Q S, Gao R, Lu D, et al. Tarim underthrust beneath western Kunlun: evidence from wide-angle seismic sounding. *J Asian Earth Sci*, 2002, 20(3): 247—253
- 8 Xiao W J, Windley B F, Chen H L, et al. Carboniferous-Triassic subduction and accretion in the western Kunlun, China: implications for the collisional and accretionary tectonics of the northern Tibet plateau. *Geology*, 2002, 30(4): 295—298
- 9 Xiao W J, Windley B F, Hao J, et al. Arc-ophiolite obduction in the western Kunlunrange (China): implications for the Palaeozoic evolution of central Asia. *J Geol Soc London*, 2002, 159(5): 517—528
- 10 肖文交, 侯泉林, 李继亮, 等. 西昆仑大地构造相解剖及其多岛增生过程. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2000, 30(S1): 21—28
- 11 Monlar P, Tapponnier P. Cenozoic tectonics of Asia: effects of a continental collision. *Science*, 1975, 189(4200): 419—426
- 12 Yao Y, Hsü K J. Origin of the Kunlun Mountains by arc-arc and arc-continent collisions. *Isl Arc*, 1994, 3(2): 75—89
- 13 Hsü K J, Pan G, Sengor A M C, et al. Tectonic evolution of the Tibet plateau, a working hypothesis based on the archipelago model of orogenesis. *Int Geol Rev*, 1995, 37(6): 473—508
- 14 Yin A, Harrison T M. Geological evolution of the Himalayan-Tibetan Orogen. *Ann Rev Earth Planet Sci*, 2000, 28: 211—280
- 15 Mattern F, Schneider W, Li Y, et al. A traverse through the western Kunlun (Xinjiang, China): tentative geodynamic implications for the Palaeozoic and Mesozoic. *Geol Rund*, 1996, 85(4): 705—722
- 16 Mattern F, Schneider W. Suturing of the Proto- and Paleo-Tethys oceans in the western Kunlun (Xinjiang, China). *J Asian Earth Sci*, 2000, 18(6): 637—650
- 17 潘裕生. 喀喇昆仑-昆仑山地质演化. 北京: 地震出版社, 1996. 21—58
- 18 Xiao W J, Windley B F, Liu D Y, et al. Accretionary tectonics of the western Kunlun orogen, China: A Paleozoic early Mesozoic, long-lived active continental margin with implications for the growth of southern Eurasia. *J Geol*, 2005, 113(6): 687—705
- 19 张传林, 王中刚, 沈加林, 等. 西昆仑山阿卡孜岩体锆石 SHRIMP 定年及地球化学特征. *岩石学报*, 2003, 19: 523—529
- 20 新疆地质矿产局. 新疆维吾尔自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 1993. 8—33
- 21 Zhang C L, Dong Y G, Zhao Y. Geochemistry of Mesoproterozoic volcanics in West Kunlun: evidence for the plate tectonic evolution. *Acta Geol Sin*, 2003, 78: 532—542
- 22 马世鹏, 汪玉珍, 方锡廉. 西昆仑山北坡陆台盖层型元古宇的基本特征. *新疆地质*, 1991, 9(1): 59—71
- 23 王爱国, 张传林, 郭坤一. 西昆仑北缘南华纪早期沉积作用及其构造意义. *地层学杂志*, 2004, 28(3): 248—256
- 24 张传林, 叶海敏, 王爱国, 等. 塔里木西南缘新元古代辉绿岩及玄武岩的地球化学特征: 新元古代超大陆(Rodinia)裂解的证据. *岩石学报*, 2004, 20(3): 473—482
- 25 Schwab M, Ratschbacher L, Siebel W, et al. Assembly of the Pamirs: Age and origin of magmatic belts from the southern Tien Shan to the southern Pamirs and their relation to Tibet. *Tectonics*, 2004, 23(4): 64—74
- 26 许志琴, 戚学祥, 刘福来, 等. 西昆仑康西瓦加里东期孔兹岩系及地质意义. *地质学报*, 2004, 78: 733—743
- 27 Brian J D, Bradley D R, Yue Y, et al. Did the Altyn Tagh fault extend beyond the Tibetan Plateau? *Earth Planet Sci Lett*, 2005, 240(2): 425—435
- 28 宋彪, 张玉海, 万俞生, 等. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论. *地质论评*, 2002, (增刊): 26—30
- 29 袁洪林, 吴福元, 高山, 等. 东北地区新生代侵入体锆石激光探针 U-Pb 年龄测定及稀土元素成分分析. *科学通报*, 2003, 48(14): 1151—1520
- 30 Vavra G, Schmid R, Gebauer D. Internal morphology, habit and U-Th-Pb microanalysis of amphibole to granulite facies zircon: Geochronology of the Ivren Zone (Southern Alps). *Contrib Mineral Petrol*, 1999, 134(4): 380—404
- 31 Whitehouse M J, Kamber B S. On the overabundance of light rare earth elements in terrestrial zircons and its implication for Earth's earliest magmatic differentiation. *Earth Planet Sci Lett*, 2002,

- 204(3-4): 333—346
- 32 张传林, 于海峰, 赵宇, 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. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2006, 36(10): 881—893
- 33 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、构造特征及其对西昆仑早中生代构造演化的时间制约. 地质学报, 2005, 79(5): 645—652
- 34 李曰俊, 宋文杰, 吴根耀, 等. 塔里木盆地中部隐伏的晋宁期花岗岩闪长岩和闪长岩. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2005, 35(2): 97—104
- 35 陆松年, 于海峰, 赵凤清, 等. 青藏高原北部前寒武纪地质初探. 北京: 地质出版社, 2002. 21—33
- 36 Gehrels G E, Yin A, Wang X F. Detrital-zircon geochronology of the northeastern Tibetan plateau. *Geol Soc Am Bull*, 2003, 115(7): 881—896
- 37 Ling W L, Gao S, Zhang B R, et al. From subduction zone to intracontinental rifting: Neoproterozoic tectonic setting conversion along the north- western margin of Yangtze craton, South China. *Precambrian Res*, 2003, 122(1-4): 111—140
- 38 Zhang C L, Li Z X, Li X H, et al. Neoproterozoic bimodal intrusive complex in southwestern Tarim block of NW China: age, geochemistry and Nd isotope and implications for the rifting of Rodinia. *Int Geol Rev*, 2006, 48(2): 112—128
- 39 Guo Z J, Yin A, Bobinson A, et al. Geochronology and geochemistry of deep-drill-core samples from the basement of the central Tarim basin. *J Asian Earth Sci*, 2005, 25(1): 45—56
- 40 Chen Y, Xu B, Zhan S, et al. First mid-Neoproterozoic paleomagnetic results from the Tarim Basin (NW China) and their geodynamic implications. *Precambrian Res*, 2004, 133(3-4): 271—281
- 41 李曰俊, 贾承造, 胡世玲, 等. 塔里木盆地瓦吉里塔格辉长岩  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  年龄及其意义. 岩石学报, 1999, 15(4): 594—599
- 42 Li Z X, Li X H, Kinny P D, et al. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents: evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia. *Precambrian Res*, 2003, 122(1-4): 85—109
- 43 丁道桂, 王道轩, 刘伟新, 等. 西昆仑造山带与盆地. 北京: 地质出版社, 1996. 36—72
- 44 张玉泉, 朱炳泉, 谢应雯, 等. 青藏高原西部的抬升速率: 叶城-狮泉河花岗岩  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  年龄的地质解释. 岩石学报, 1998, 14(1): 11—22
- 45 潘裕生. 喀喇昆仑山-昆仑山地区地质演化. 北京: 科学出版社, 2000. 324—392
- 46 张建新, 张泽明, 许志琴, 等. 阿尔金西段孔兹岩系的发现及岩石学、同位素年代学初步研究. 中国科学 D 辑: 地球科学, 1999, 29(4): 298—305
- 47 张建新, 张泽明, 许志琴, 等. 阿尔金构造带西段榴辉岩的 Sm-Nd 及 U-Pb 年龄——阿尔金构造带中加里东期山根存在的证据. 科学通报, 1999, 44(16): 1109—1112
- 48 毕华, 王中刚, 王元龙, 等. 西昆仑造山带构造岩浆演化史. 中国科学 D 辑: 地球科学, 1999, 29(5): 398—406