

阿尔金断裂带构造活动的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄证据

刘永江^① 葛肖虹^① J. Genser^② F. Neubauer^② G. Friedl^② 常丽华^①
任收麦^③ R. Handler^②

(^①吉林大学地球科学学院, 长春 130061; ^②Institute of Geology and Paleontology, Salzburg University, Salzburg A-5020, Austria;

^③国土资源部油气资源战略研究中心, 北京 100034. E-mail: liuyj@email.jlu.edu.cn)

摘要 通过对阿尔金山阿克塞和当金山地区出露的元古代、早古生代变质岩样品中云母、角闪石和钾长石单矿物的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素测年研究, 获得了 4 组年龄数据, 其中远离阿尔金中部剪切带的样品给出 461~445.2 和 414.9~342.8 Ma 的坪年龄, 这两组年龄分别代表了被阿尔金断裂错移的岩块在晚奥陶世~早志留世和泥盆纪发生构造热事件的记录, 应同南北祁连洋槽的闭合相关. 在北部构造带中受变形作用改造的花岗片麻岩样品给出 178.4~137.5 Ma 的坪年龄, 可以解释为阿尔金断裂带在中晚侏罗世~早白垩世发生构造活动的年龄记录, 这一构造热事件与拉萨地块向北拼贴碰撞有关. 在阿尔金中部剪切带中的样品给出了 36.4 和 26.3 Ma 的两个坪年龄, 说明阿尔金中部剪切带在始新世末发生明显的走滑活动, 并且伴有强烈的绿片岩相变质作用, 这一事件在青藏高原北部的大部分地区都有所表现, 与印度-欧亚板块碰撞后的陆内俯冲有关. 该研究表明阿尔金断裂带在印度-欧亚板块汇聚的大陆构造背景下具有多次脉冲式活动的特征.

关键词 阿尔金断裂 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄 构造热事件

阿尔金断裂作为青藏高原的北部边界, 是一条亚洲大陆内部巨型的 NEE 向走滑断裂带, 其形成和演化与整个高原隆升及其物质向东逃逸有密切的成因关系, 近年来已经成为高原研究的热点. 目前关于阿尔金断裂的形成演化的时间说法不一, 有些学者强调自早古生代以来就开始活动^[1,2]; 另一些学者认为在华力西期^[3]、印支期^[4]、侏罗纪^[5]开始走滑活动; 还有些学者认为是新生代^[6,7]形成的大型走滑断裂. 本文通过对阿尔金山阿克塞和当金山口一带变形构造岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素测年研究, 试图探讨阿尔金断裂带活动和演化的同位素年代学制约.

1 区域地质概况

研究区位于阿尔金山小额博图、阿克塞和当金山口一带, 区内主要出露有元古代、早古生代、奥陶纪和志留纪变质岩系(图 1). 元古界达肯大坂群在本区分布很广, 小鄂博图-阿克塞-当金山口一带均有分布, 主要由黑云斜长片麻岩、白云石大理岩、石英片岩、花岗片麻岩、云母片岩、斜长角闪岩等变质岩系组成, 其中有大量的伟晶岩脉体和石英脉侵入; 下古生界奥陶系下统五力沟群由一套变质中基性火山岩、碳酸盐岩和碎屑岩组成, 主要分布在研究区的东西两侧. 志留系下统巴罗根郭勒群(原巴龙贡噶尔系)在该区主

要为一套火山岩和碎屑岩, 主要分布在研究区南部.

根据区内岩石遭受变质变形改造程度的差异, 由北到南整个剖面可以划分为 3 个构造带: 北部构造带、中部剪切带和南部构造带(图 2). 北部构造带主要由元古界达肯大坂群的变质岩系组成, 变质程度达角闪岩相, 受晚期绿片岩相退变质作用和变形作用改造不明显, 总体保留有早期的变形组构. 南部构造带主要由志留系下统组成, 总体没有受变质作用改造或很弱, 但是局部有少量元古界中高级变质岩系. 中部剪切带分布在南部和北部构造带之间, 带内岩石全部遭受绿片岩相变质作用的改造, 主要由志留系下统组成, 地貌上表现为暗绿色的岩带.

2 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄

测试样品来自阿克塞西部小额博图和阿克塞-当金山口剖面(图 1,2), 表 1 给出了测试样品的岩石学特征. 从样品的岩相学特征可以看出, 采自阿尔金中部剪切带内的样品(QA54)变形强, 而且强烈绿泥石化, 向外远离中部剪切带样品的变形则相对较弱, 绿泥石化也不明显. 所有样品的处理和最终测试都是在奥地利 Salzburg 大学地质古生物系激光 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ARGONAUT 同位素测年实验室完成的. 首先从样品中按照粒度分离筛选出纯净的测年单矿物, 然后对

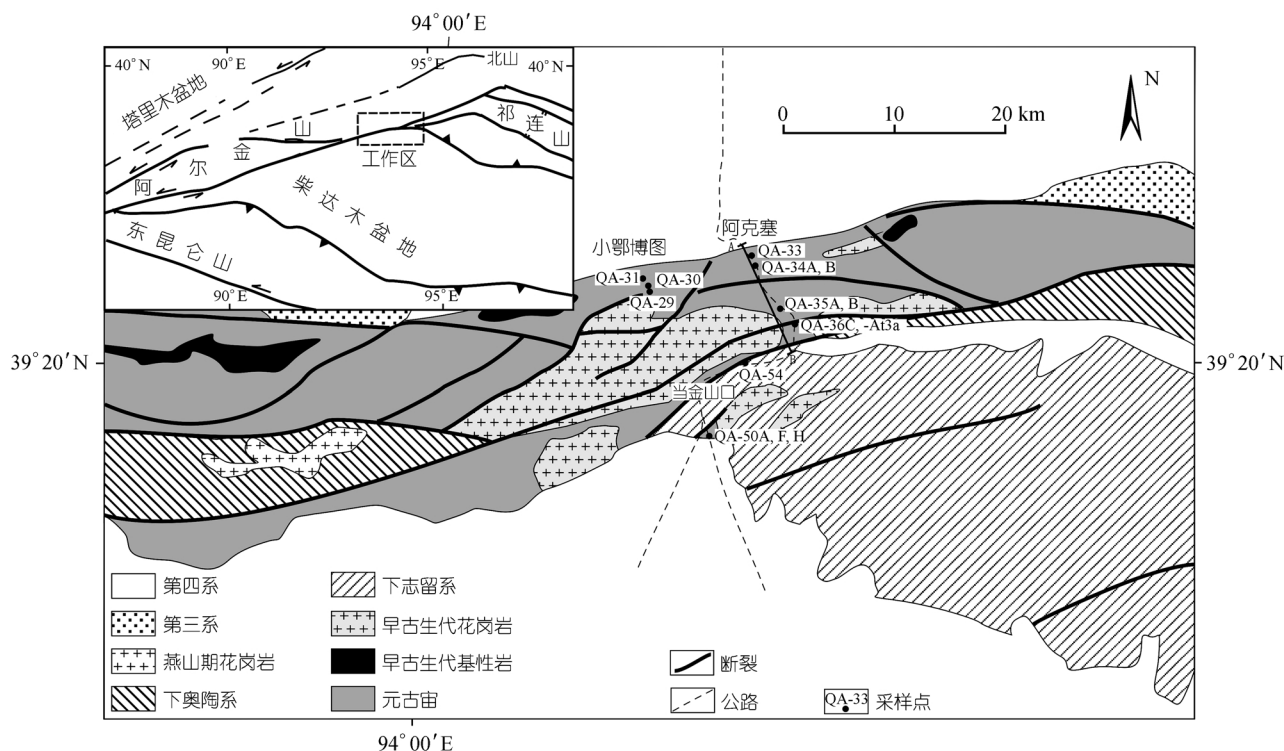


图1 简要地质图和采样点位置

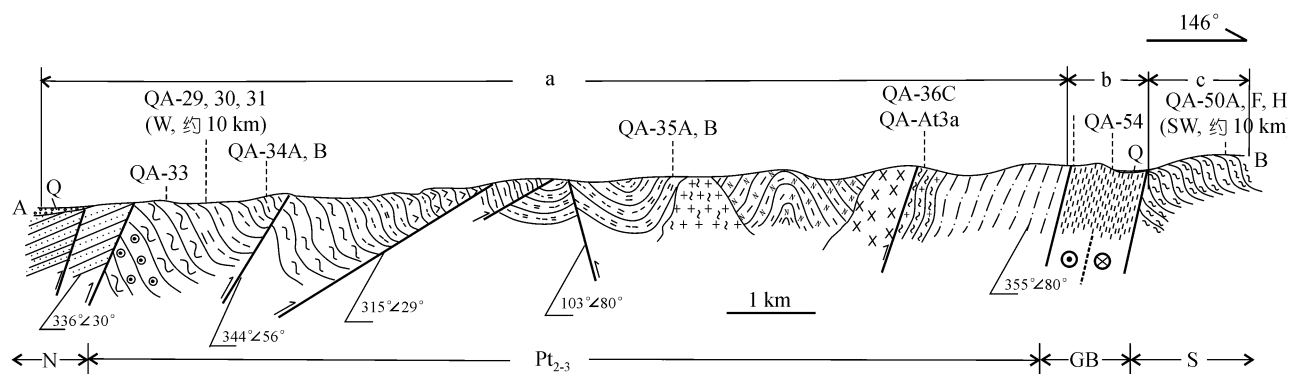


图2 构造横剖面图(剖面位置见图1)

a: 北部构造带; b: 中部剪切带; c: 南部构造带; GB: 绿片岩带(志留系); Pt_{2,3}: 中晚元古界; S: 志留系; N: 新近系; Q: 第四系;
QA-54: 采样点位置

其反复清洗烘干, 经过照射后制备成测年样品, 除了样品 QA-35B 是单颗粒白云母外, 其他所有样品由多颗粒(25-30)组成, 熔样过程由激光系统完成。

来自北部构造带的样品给出了两组年龄值, 一组为 461~445.2 Ma 的坪年龄(图 3), 其中白云母年龄为 445.2~454.3 Ma, 黑云母年龄为 447.8~461 Ma, 样品 QA-29, 30, 31, 33 在年龄图谱上显示出不太明显的低温阶梯型年龄谱(图 3(a)~(d)), 可能是受后期轻微

热扰动所致; 另一组为 178.4~137.5 Ma 的坪年龄(图 4), 其中白云母和黑云母年龄为 178.4~164.3 Ma, 钾长石(QA-36C)给出了 137.5 Ma 的坪年龄, 但是具有明显的低温阶梯型年龄谱, 其年龄值从 30.1~119.8 Ma(图 4(d)), 该组年龄的样品来自北部构造带中靠近中部剪切带的糜棱岩化花岗片麻岩(QA-At3a)和眼球状花岗片麻岩(QA-36C)(图 2), 样品明显遭受了韧性变形作用的改造(表 1), 说明在中晚侏罗世~早白垩世时

表 1 测试样品岩石学特征^{a)}

样品号	岩性	岩相学特征
北部构造带		
QA-At3a	糜棱岩化花岗岩片麻岩	Mu + Pl + Q ± Chl. 石英均具有波状消光, 并常见石英长石呈透镜状, 周围被白云母和少量绿泥石包围. 在挤压带中石英呈拉长平行排列, 似拔丝特点
QA-29	白云母片岩	Mu + Pl + Q ± Chl. 长石和石英呈扁豆状和条带状集合体分布, 石英单晶无拉长, 白云母平行片理分布
QA-30	钙质黑云母细粒片岩	Bt + Pl + Q. 黑云母变形特征不明显, 定向性差, 发生绿泥石化, 含有大量的方解石
QA-31	二云母片岩	Bt + Mu + Pl + Q. 黑云母为早期矿物, 定向差, 有蚀变; 白云母为晚期矿物, 呈很小的针状, 定向好
QA-33	石榴二云母细粒片岩	Gt + Mu + Bt + Pl + Q. 岩石总体片理发育, 石榴石平行片理呈板状生长和白云母一起构成片理; 黑云母总体定向与片理呈小角度斜交, 可能代表晚期片理
QA-34A	黑云母花岗岩	Bt + Pl + Q. 变形特征不明显
QA-34B	二云母绿泥石英岩	Bt + Mu + Q + Chl ± Pl. 岩石片理发育, 云母平行片理定向排列; 石英变形不明显; 云母发生绿泥石化
QA-35A	石榴二云母片岩	Bt + Mu + Pl + Q + Gt. 云母完全定向平行片理分布, 而且少量发育明显的显微变形组构; 长石石英略显定向; 石榴石呈细小粒状
QA-35B	花岗伟晶岩	Mu + Pl + Q. 岩石变形不明显
QA-36C	眼球状花岗岩片麻岩	Mu + Bt + Kf + Pl + Q. 岩石变形较强, 长石斑晶呈眼球状被压扁拉长, 云母环绕在长石周围, 而且平行片理分布. 石英全部被拉长定向, 亚颗粒化明显
中部剪切带		
QA-54	绿片岩	Chl + Pl + Q + Cc + Mu. 岩石变形非常强烈, 多数云母发生绿泥石化, 而且变形出现应变双晶, 云母鱼等变形组构; 方解石被压扁拉长
南部构造带		
QA-50A	黑云角闪斜长片麻岩	Bt + Hb + Pl + Q. 角闪石和黑云母集中定向平行片理分布, 长石石英无明显变形. 方解石呈带状分布
QA-50F	石榴十字二云母片岩	Gt + St + Bt + Mu + Q + Pl ± Chl. 石榴石和十字石内部的包裹体排列方向同外部片麻理方向一致, 云母完全平行片理定向分布, 个别黑云母见有膝折构造
QA-50H	石榴角闪片麻岩	Gt + Hb + Pl + Q ± Chl. 角闪石定向排列; 石英和长石粒度细, 变形不明显

a) Gt: 石榴石; St: 十字石; Bt: 黑云母; Mu: 白云母; Q: 石英; Pl: 斜长石; Chl: 绿泥石; Cc: 方解石; Kf: 钾长石; Hb: 角闪石

该处就发育有构造变形带, 现今在样品采集处发育的脆性断裂带(图 2)就是在先前的构造带基础上再次继承活动的结果.

南部构造带的样品给出一组 414.9~342.8 Ma 的坪年龄(图 5), 其中白云母(352.1 Ma)和黑云母(342.8~370.2 Ma)给出了比较一致的坪年龄, 样品 QA-50A 给出了 414.9 和 396.7 Ma 两个角闪石坪年龄(图 5(a), (b)), 但年龄坪谱并不太平坦.

在阿尔金中部剪切带中样品 QA-54 白云母记录了两个比较清楚的年龄坪, 低温年龄坪为 26.3 Ma (³⁹Ar 占 48.3%), 高温年龄坪为 36.4 Ma(³⁹Ar 占 43.6%) (图 6), 高温坪年龄同 ³⁹Ar 全部释放年龄(32.4 Ma)比较接近, 该样品取自晚期韧性变形带内, 岩石遭到强烈的韧性变形作用和绿片岩相变质作用的改造(表 1), 样品的岩相学特征表明其年龄应该代表阿尔金断裂带在渐新世沿着中部剪切带曾经发生过强烈构造活动的记录, 并伴有绿片岩相变质作用, 较年轻的低温

年龄坪可以解释为样品冷却过程中在 26.3 Ma 时再次遭受热扰动的结果, 但是并没有完全破坏 36.4 Ma 的氩同位素计时系统.

3 地质意义讨论

与北部构造带中较老的一组年龄(461~445.2 Ma)大致相同的年龄数据在研究区东部的祁连山造山带中有许多报道^[8~10]. 在阿尔金断裂带中类似的年龄也有报道, 张建新等人^[11]在阿尔金断裂西段吐拉一带的孔兹岩系样品中获得了 447~462 Ma 的变质锆石 U-Pb 和 Pb-Pb 年龄, 并解释为变质年龄. Jolivet 等人^[12]在新疆米兰南部的阿尔金山北缘断裂带花岗岩样品中获得了 441 Ma 的锆石 U-Pb 年龄和 383 Ma 的白云母 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄. Sobel 等人^[13]在阿尔金山茫崖-若羌剖面上采集的花岗岩、花岗闪长岩和花岗片麻岩的样品中获得了 453.4~382.5 Ma 的云母 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄. 这些年龄所代表的构造热事件与北祁连洋槽在

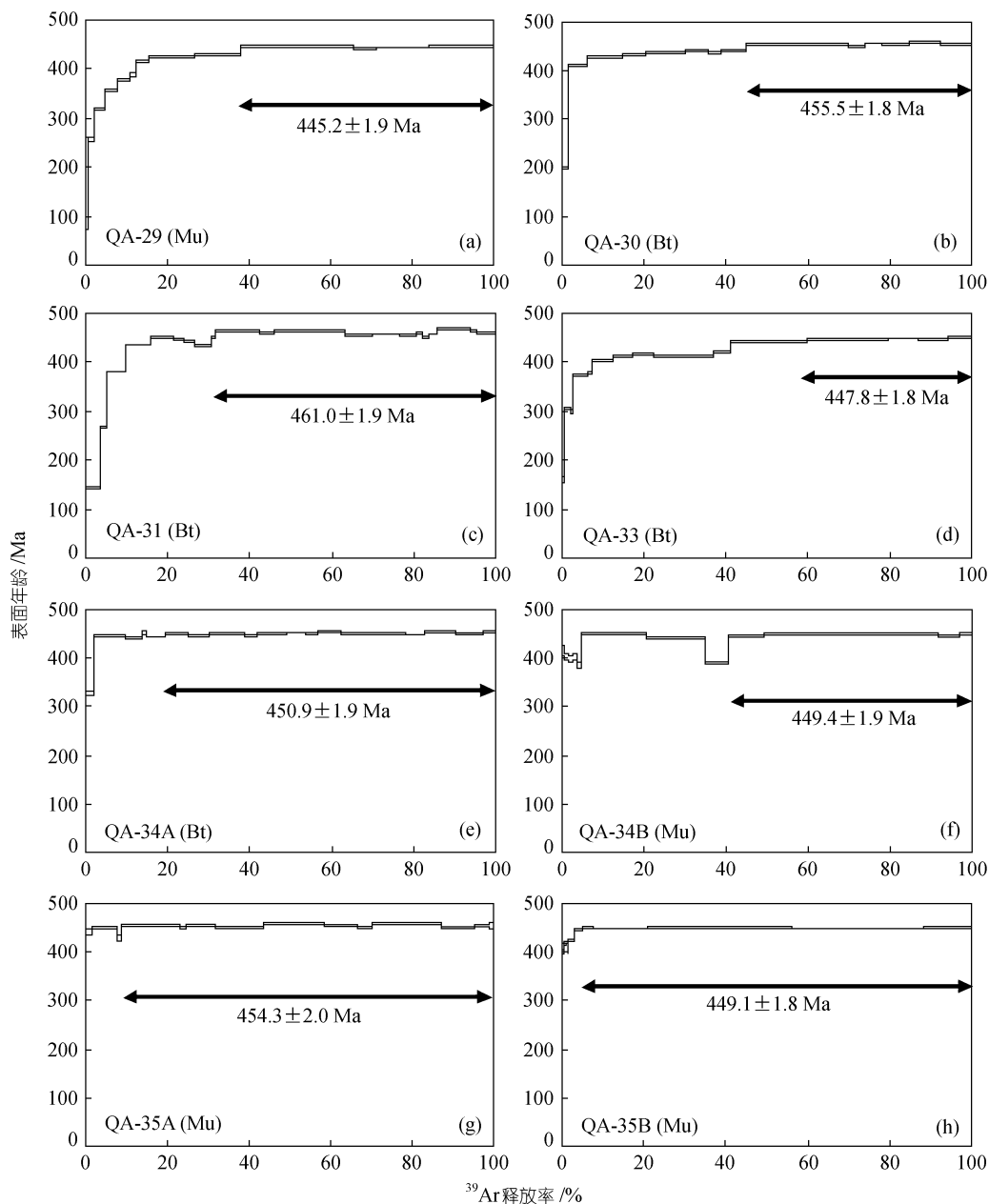


图3 北部构造带中北侧样品的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄图谱
矿物代号同表1

中晚奥陶世~早志留世闭合时间相当,可能与其有关^[8~10]。

南部构造带中样品记录的 414.9~342.8 Ma 的年龄明显晚于北祁连山的闭合时间,从南部构造带的构造部位看,它应该在构造演化上受南祁连带或柴北缘构造带的影响。目前的研究表明柴达木地块和南祁连地块之间的碰撞发生在早古生代^[14],这一事

件早于南部构造带中获得的年龄,因此,这组年龄可能代表南祁连带闭合后,陆陆碰撞晚期阶段发生的构造热事件。

北部构造带中较年轻的一组年龄(178.4~137.5 Ma)反映了阿尔金断裂在中侏罗世~早白垩世的构造热事件。Arnaud 等人^[5]对阿尔金断裂带内出露的糜棱岩化花岗岩和片岩进行 Rb/Sr 和黑云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$

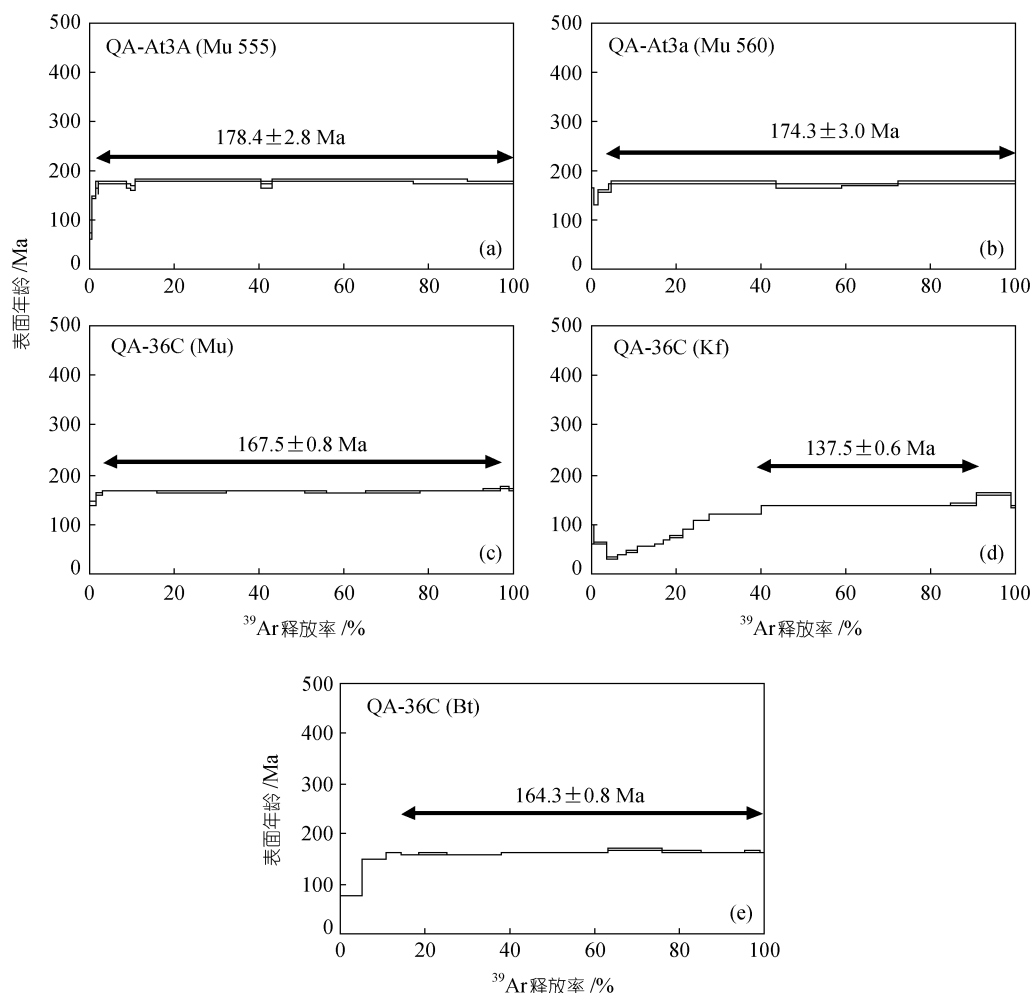


图 4 北部构造带中南侧样品的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄图谱
矿物代号同表 1

测年, 获得 140~162.9 Ma 的构造变形年龄数据. Jolivet 等人^[15]在祁连山、柴北缘和阿尔金断裂带等地区测试的大量锆石裂变径迹年龄主要介于 135~172 Ma 之间, 代表了一个持续的冷却过程. Sobel 等人^[13]在茫崖-若羌剖面的钾长石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年研究中同样得出了早侏罗世快速冷却事件的存在. 另外, Mock 等人^[16]在东昆仑山纳赤台-昆仑山口剖面采集的花岗岩样品中获得的云母和钾长石的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄主要集中在 120~146 Ma, 代表了西大滩走滑断裂在晚侏罗世~早白垩世发生韧性变形活动的记录, 并认为这一事件同拉萨地块向北部碰撞增生有关. 由此可见, 北部构造带中较年轻的这组年龄(178.4~137.5 Ma)不仅在阿尔金断裂带中存在, 而且其代表的相应构造

热事件在柴达木盆地的周边地区都存在, 说明整个青藏高原北部受拉萨地块沿班公湖-怒江缝合带向北碰撞的区域构造背景的影响, 在晚侏罗世~早白垩世期间发生过区域性的构造活动.

阿尔金中部剪切带中的样品 QA-54 记录的 36.4~26.3 Ma 的白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄反映阿尔金断裂带在渐新世重新活动. 与其年龄相近的冷却事件在青藏高原北部地区(40 Ma)^[15]、东昆仑山地区(30 Ma)^[16]以及天山和西昆仑地区(20~25 Ma)^[17]都有报道. 目前多数学者认为印度板块和欧亚板块的碰撞以及青藏高原的隆起发生在 40~50 Ma^[18~21], 而我们在阿尔金中部剪切带内获得的 36.4~26.3 Ma 的年龄和上述报道的年龄记录很可能是印度-欧亚板块碰撞事件在

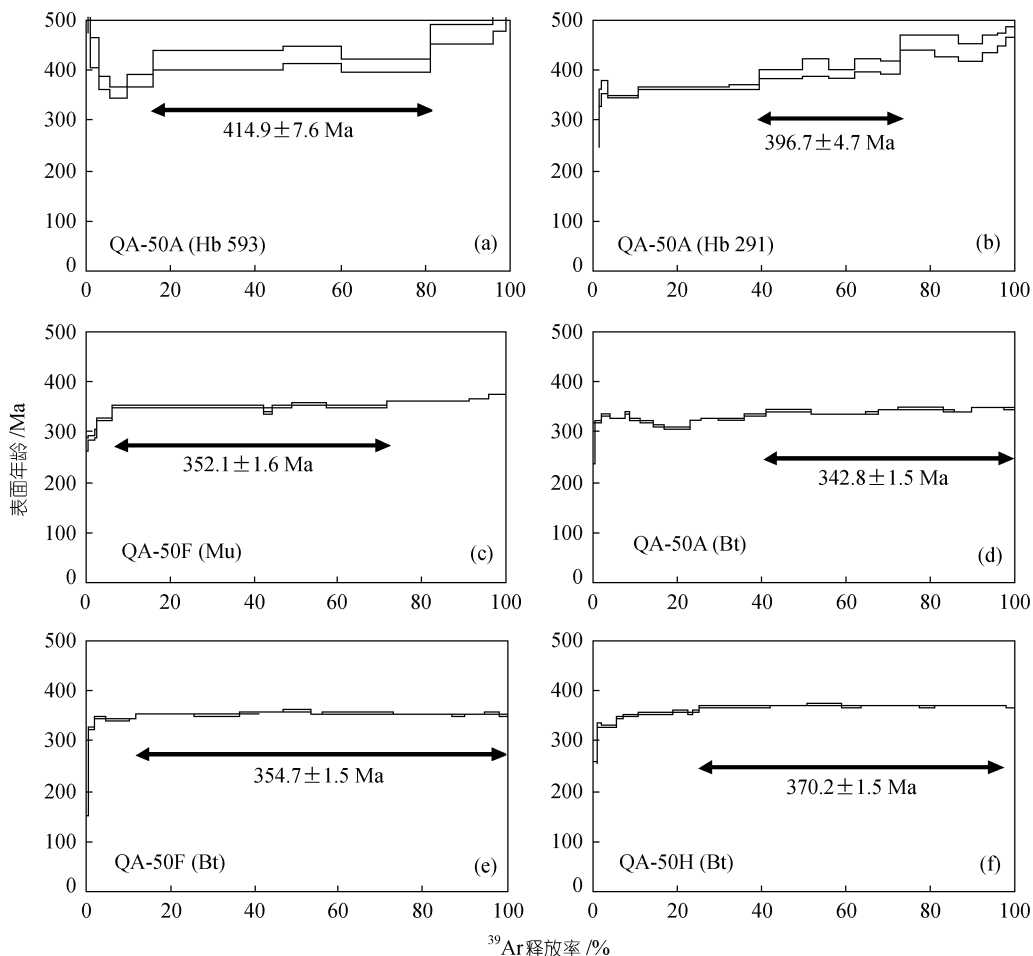


图5 南部构造带中样品的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄图谱
矿物代号同表1

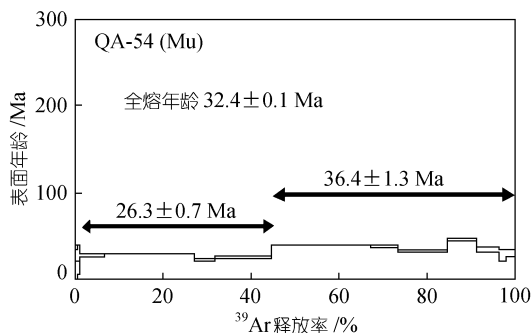


图6 中部剪切带中样品的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄图谱
矿物代号同表1

青藏高原北部地区的构造响应。

4 结论

461~445.2(北部构造带)和 414.9~342.8 Ma(南部构造带)的两组年龄分别代表了被阿尔金断裂错移的

岩块在晚奥陶世~早志留世和泥盆纪发生构造热事件的活动记录,前者应该同北祁连山地槽的闭合有关,后者与南祁连-柴北缘裂陷洋槽的最终闭合陆陆碰撞有关^[22]。伴随着拉萨地块沿班公湖-怒江缝合带向北的拼贴碰撞和印度-欧亚板块沿雅鲁藏布江缝合带的碰撞汇聚,阿尔金断裂带分别在中侏罗世~早白垩世(178.4~137.5 Ma)和渐新世(36.4~26.3 Ma)期间先后发生强烈的构造活动,最可能的表现形式就是左行走滑运动,并伴随有变质作用发生和山脉的隆升。结合阿尔金断裂带在 89~92^[23]和 223~226 Ma^[4]发生走滑活动的报道,充分说明阿尔金断裂带在印度-欧亚板块汇聚的大构造背景影响下具有多次脉冲式活动的特征。

致谢 本工作受国家自然科学基金(批准号:40272099)和吉林大学创新基金资助。

参 考 文 献

- 1 许志琴, 杨经绥, 张建新. 等. 阿尔金断裂两侧构造单元的对比及岩石圈剪切机制. 地质学报, 1999, 73(3): 193~205
- 2 Sobel E R, Arnaud N. A possible middle Paleozoic suture in the Altyn Tagh, NW China. *Tectonics*, 1999, 18(1): 64~74
- 3 崔军文, 唐哲民, 邓晋福, 等. 阿尔金断裂系. 北京: 地质出版社, 1999. 1~242
- 4 李海兵, 杨经绥, 许志琴, 等. 阿尔金断裂带印支期走滑活动的地质及年代学证据. 科学通报, 2001, 46(19): 1333~1338
- 5 Arnaud N, Delville N, Montel J M, et al. Paleozoic to Cenozoic deformation along the Altyn Tagh fault in the Altun Shan massif area, Eastern Qilian Shan, NE Tibet, China. In: American Geophysical Union Annual Meeting Abstracts, 1999. F1018
- 6 郑剑东. 阿尔金断裂的大地构造及其演化. 现代地质, 1991, 5(4): 347~354
- 7 Peter R, An Y, Rick B, et al. Oligocene initiation of deformation of northern Tibet, evidence from the Tarim basin, NE China. Abstract for GSA, 1997, 29: A~143
- 8 左国朝, 吴汉泉. 北祁连中段早古生代双向俯冲-碰撞造山模式剖析. 地球科学进展, 1997, 12(4): 315~323
- 9 Liou J G, Wang X M, Coleman R G, et al. Blueschists in major suture zones China. *Tectonics*, 1989, 8: 609~619
- 10 Liu Y J, Neubauer F, Ge X H. Blueschists from Qingshuigou in north Qilian Mountains, China. In: Abstracts Volume of 31st International Geological Congress (CD version), Brazil, 2000
- 11 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, 1999, 29(4): 298~305
- 12 Jolivet M, Roger F, Arnaud N. Exhumation history of the Altun Shan with evidence for the timing of the subduction of the Tarim block beneath the Altyn Tagh system, North Tibet. *Earth and Planetary Sci*, 1999, 329: 749~755
- 13 Sobel E R, Arnaud N, Jolivet M, et al. Jurassic to Cenozoic exhumation history of the Altyn Tagh range, northwest China constrained by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and apatite fission track thermochronology. In: Hendrix M S, Davis G A, eds. *Paleozoic and Mesozoic Tectonic Evolution of Central and Eastern Asia: From Continental Assembly to Intracontinental Deformation*. Geological Society of America Memoir, 2001, 194: 247~267
- 14 张建新, 杨经绥, 许志琴. 柴北缘榴辉岩的峰期和退变质年龄: 来自 U-Pb 及 Ar-Ar 同位素测定的证据. 地球化学, 2000, 29(3): 217~222
- 15 Jolivet M, Brunel M, Seward D, et al. Mesozoic and Cenozoic tectonics of the northern edge of the Tibetan plateau: Fission-track constraints. *Tectonophysics*, 2001, 343: 111~134
- 16 Mock C, Arnaud N O, Cantagrel J M. An early unroofing in northeastern Tibet? Constraints from Ar-40/Ar-39 thermochronology on granitoids from the eastern Kunlun range (Qianghai, NW China). *Earth and Planetary Science Letters*, 1999, 171: 107~122
- 17 Sobel E R, Dumitru T A. Thrusting and exhumation around the margins of the western Tarim basin during the India-Asia collision. *J Geophys Res*, 1997, 102(B3): 5043~5063
- 18 Chung S -L, Lo C -H, Lee T -Y, et al. Diachronous uplift of the Tibetan plateau starting 40 Myr ago. *Nature*, 1998, 394: 769~773
- 19 Searle M, Corfield R I, Stephenson B. Structure of the North Indian continental margin in the Ladakh-Zaskar Himalayas: Implications for the timing of obduction of the Spontang ophiolite, India-Asia collision and deformation events in the Himalaya. *Geol Mag*, 1997, 134(3): 297~316
- 20 Rowley D B. Minimum age of initiation of collision between India and Asia north of Everest based on the subsidence history of the Zhepure Mountain section. *J Geol*, 1998, 106: 229~235
- 21 Zhang L S, Scharer U. Age and origin of magmatism along the Cenozoic Red River shear belt, China. *Contrib Mineral Petrol*, 1999, 134: 67~85
- 22 葛肖虹, 刘俊来. 被肢解的西域克拉通. 岩石学报, 2000, 16: 59~66
- 23 刘永江, 叶慧文, 葛肖虹, 等. 阿尔金断裂变形岩激光微区 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其构造意义. 科学通报, 2000, 45: 2101~2104

(2003-03-12 收稿, 2003-04-15 收修改稿)