

祁连山东南段加里东造山期构造变形年代的精确限定及其意义

樊光明, 雷东宁

中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

摘要: 祁连山东南段呈北西—南东向展布着加里东期中祁连造山带和拉脊山造山带, 其基底为前加里东变质岩系, 在该变质结晶基底岩系中发育着菱形网格状韧性剪切带, 共轭韧性剪切带面对缩短方向的夹角为 $104^{\circ}\sim 114^{\circ}$, 其最大主应力方位为 $SW210^{\circ}$ 左右。在中祁连地块金沙峡和化隆地块却两处韧性剪切带中的糜棱岩化岩石, 获取变质矿物白云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄分别为 $(405.1\pm 2.4)\text{Ma}$ 和 $(418.3\pm 2.8)\text{Ma}$ 。这一年代学结果不仅确定了加里东基底变质岩系中韧性剪切带是加里东造山作用过程中形成, 更重要的是通过对基底韧性剪切带中变质变形岩石的年代学研究, 精确地限定了祁连山东南段的早古生代火山盆地(或岛弧盆地)、拉脊山小洋盆关闭的构造年代。这为造山带构造演化过程中盆地关闭时间的确定开辟了新的途径。

关键词: 祁连山东南段; 加里东造山带; 韧性剪切带; 变质变形事件; 构造—热年代学。

中图分类号: P597; P542

文章编号: 1000-2383(2007)01-0039-06

收稿日期: 2006-06-02

Precise Timing and Significance of Caledonian Structural Deformation Chronology in Southeast Qilian

FAN Guang-ming, LEI Dong-ning

Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: The middle Qilian orogenic belt and Lajishan orogenic belt of the Caledonian strike NW-SE direction in the south-east Qilian and its basement consists of Pre-Caledonian metamorphic rock series. The lozenge-cancellate-shaped ductile shear zone occurs in the crystalline basement, and the included angle of shortening direction of conjugated ductile shear zones ranges from 104° to 114° and the max principal stress direction indicates approximate $SW210^{\circ}$. The $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ plateau ages of muscovite obtained from the mylonitization rock in ductile shear zone of Jinshaxia within middle Qilian massif and Keque in Hualong massif are $(405.1\pm 2.4)\text{Ma}$ and $(418.3\pm 2.8)\text{Ma}$, respectively. The chronology data determine the ductile shear zones in Caledonian basement metamorphic rock formed through the Caledonian orogeny. Furthermore, the chronological study of basement rock determines precise forming period for the close of the Late Paleozoic volcanic basin (or island-arc basin) and Lajishan ocean basin. This offers a new approach to the determination of ocean basin closing time in the process of structural evolution of orogenic belt.

Key words: southeast Qilian; Caledonian orogenic belt; ductile shear zone; metamorphism and deformation events; structure-heat chronology.

研究区位于甘肃省和青海省的交界处, 从地理位置看, 是祁连山的南东段, 在区域构造格局上是祁连山造山带向南东的延伸部分。冯益民等(2002)将其统归为西秦岭造山带。祁连山造山带是秦祁昆巨

型造山带的组成部分(殷鸿福和张克信, 1998), 属中国中央造山带。新元古—早古生代秦祁昆大洋具有复杂的结构形式, 洋中有块、块中有裂隙是其中主要特征之一(冯益民等, 2002)。大陆裂解形成一系列大

小不等的海洋盆地,而会聚可使其盆地关闭,经造山作用使堆积物发生变质变形. 板块的裂解与关闭实际上是构造旋回中的一个开合过程的具体体现(杨巍然等, 2000), 由于这种开合可以是原地开合, 也可以是异地开合, 最终使这些原来相关或不相关的一系列陆块聚合在一起, 形成新的大陆块.

祁连山山体是经加里东末期板块碰撞而形成的典型加里东造山带(许志琴等, 1999), 祁连山南东段是祁连山造山带的尾端, 该造山带有着复杂的物质组合和漫长的构造演化历史. 中祁连地块是秦祁昆洋中陆块群中的一个, 是由新元古代以前的古老变质岩系组成, 其上发育有裂陷槽, 南祁连、拉脊山就是地块进一步裂解形成的两个盆地(或小洋盆), 它们是在加里东期闭合形成的造山带(邱家骥等, 1998; 杨巍然等, 2000; 冯益民, 2002; 樊光明等 2004). 近年来完成的 1:25 万民和县和临夏市区域地质调查发现, 分布于东祁连、化隆县等地的基底变质岩系发育有菱网状韧性剪切带, 但与加里东期构造变形及盆地关闭有关的精确的变质变形构造—热年代学数据尚未见报道. 能否通过基底构造变形时限的研究来获取基底变形和盆地关闭的构造—热年代学数据呢? 作者采用 Ar-Ar 定年法进行了尝试, 不仅确定了中祁连造山带变质基底岩系中韧性剪切带的变形构造的年代, 更重要的是为其上发育的盆地的关闭提供了精确的世代限定.

1 地质背景(特征)及样品特征

研究区的中祁连地块是加里东期造山带的变质基底, 拉脊山以北主要由古元古界和中元古界变质岩系组成. 在拉脊山南侧则由太古界—古元古界的化隆岩群变质岩系组成. 这些基底变质岩系经历了多次的构造热事件和漫长的构造演化历史, 发生了较深的变质作用和复杂的构造变形. 在这漫长的构造演化过程中, 加里东期的构造作用是其中最为重要的一次构造热事件, 它对基底结晶岩系的构造变形影响较大, 留下了可寻的地质演化的历史记录, 在基底岩系中的一些韧性剪切带就是其中的一个例证.

在中祁连地块的桥头和金沙峡一带发育的韧性剪切带, 其中两组韧性剪切带的产状分别为: $60^{\circ}/50^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 和 $350^{\circ}/75^{\circ}$. 它们发育在古元古界湟源岩群变质岩中, 在花岗质和长英质岩石中表现明显. 卷入韧性剪切带中的岩石出现强的剪切变形, 形

成糜棱岩化岩石或糜棱岩. 露头尺度上, 可见平直的糜棱面理及眼球状碎斑, 碎斑由长石组成, 出现不同程度地旋转, 以“ σ ”型为主, 石英具明显的塑性流动, 镜下观察石英塑性变形明显, 出现细粒化, 透射电镜下位错壁、亚颗粒发育 S-C 组构、“ σ ”型旋转碎斑系、云母鱼等指向性构造都显示了向北东倾斜的剪切带以右行剪切为主, 向北北西倾斜的以左行剪切为主.

在拉脊山南侧的化隆地块的化隆岩群变质岩系中韧性剪切带也比较发育, 在化隆西李家沟一带发育的韧性剪切带产状为 $315^{\circ}/48^{\circ}$, 卷入剪切带的岩石为花岗片麻岩、片麻岩、黑云母石英片岩等, 露头尺度的小型剪切褶皱及旋转碎斑系指示该剪切带为左旋逆冲走滑性质. 在尖扎一带韧性剪切带倾向北东 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$, 倾角 47° , 在公伯峡水库西黄河大桥韧性剪切带倾向南, 倾角 67° . 在韧性剪切带的露头上, 糜棱面理发育, 可见明显的 S-C 组构, 以脆性变形为主的长石构成碎斑, 并发生旋转, 石英发生明显塑性变形, 糜棱结构明显, 镜下石英出现核幔构造. 两组剪切带的钝夹角为 $104^{\circ}\sim 114^{\circ}$. 上述发育在中祁连地块中的韧性剪切带为一共轭剪切带, 面对缩短方向的夹角为 112° . 化隆地块中两组共轭韧性剪切带面对缩短方向的夹角为 $104^{\circ}\sim 114^{\circ}$. 利用赤平投影的下半球求出中祁连地块中共轭韧性剪切带最大主应力(σ_1)产状为 $217^{\circ}/26^{\circ}$. 化隆地块的最大主应力(σ_1)产状为 $198^{\circ}\sim 210^{\circ}/4^{\circ}\sim 5^{\circ}$. 对这种变质结晶基底菱网状韧性剪切带的基本型式, 郑亚东等用最大有效力矩准则从理论和实践上给予了解释(Zheng *et al.*, 2004).

在新元古代—早古生代时期, 中祁连地块出现裂隙, 在研究区形成了拉脊山小洋盆、大板山裂隙槽和走廊南山岛弧盆地. 来自拉脊山构造带内晚奥陶世地层的玄武岩全岩样品和来自平安县东沟的早奥陶世地层中的蚀变变质的安山岩测试结果分别为 410.3 Ma 和 312.4 Ma (据青海省地质局, 1976 年区调报告, 由宜昌地质矿产研究所同位素研究室测试), 比地层法相对年龄小. 造成这种结果的原因一是岩石的蚀变变质作用, 二是可能的测试误差(邱家骥等, 1998). 拉脊山中基性火山岩 Sm-Nd 等时线和 Rb-Sr 等时线测定其形成时间分别为 $(495 \pm 13.7)\text{ Ma}$ 和 $(521.48 \pm 23.79)\text{ Ma}$ (邱家骥等, 1998). 经加里东运动盆地关闭, 形成总体呈北西—南东向展布的造山带. 盆地关闭的时间主要根据地质资料分析来判定, 缺乏精确的测试年龄数据.

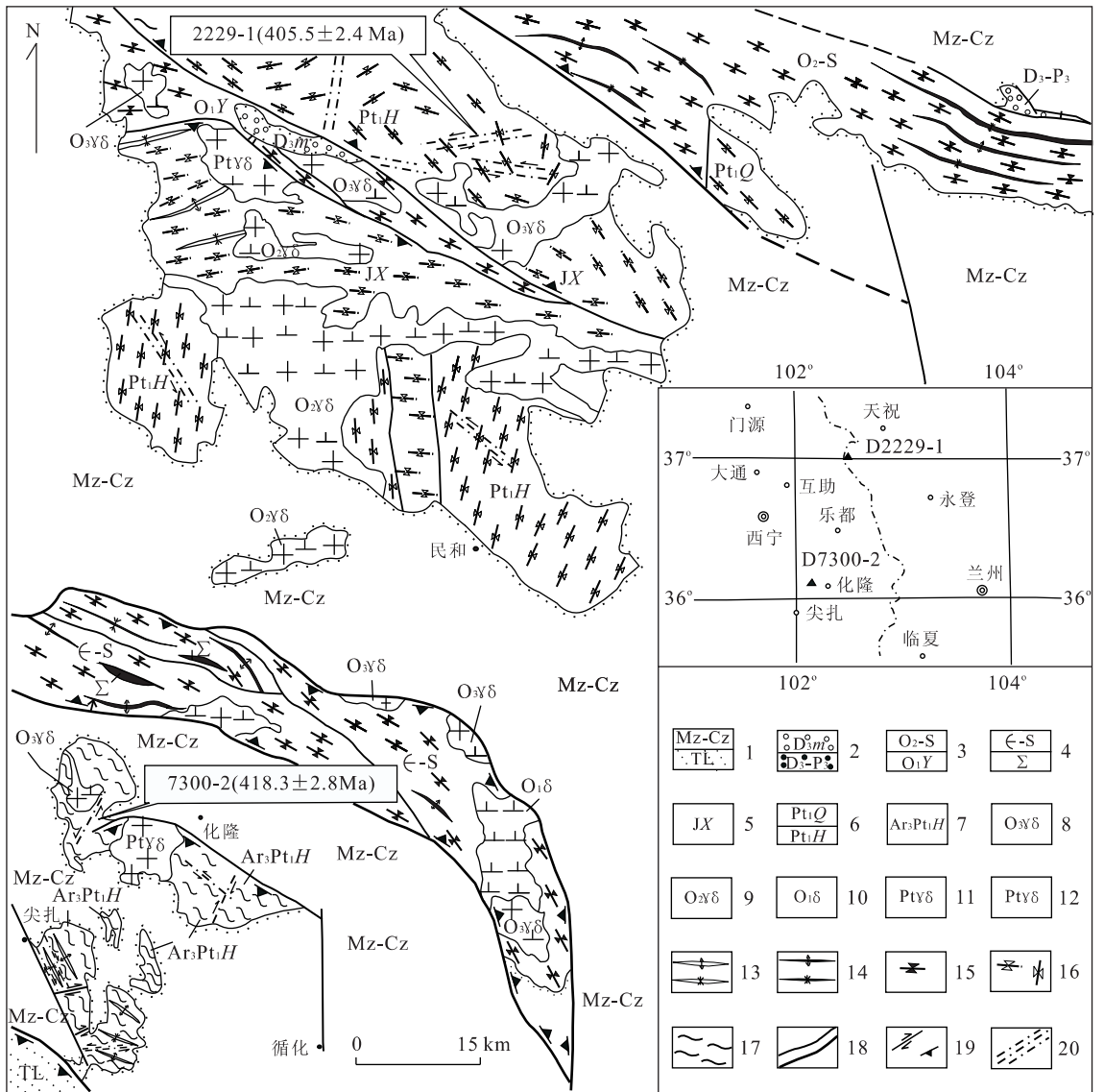


图 1 研究区地质简图、样品编号和年龄结果及对应的采样位置

Fig. 1 Schematic geologic map of studying area, sample numbers and age data and corresponding sampling sites

1. 中新世/三叠系隆务河群; 2. 上泥盆统牦牛山组、上泥盆统一上三叠统; 3. 中奥陶统一志留统、下奥陶统阴沟群; 4. 寒武系一志留系/未分超基性岩; 5. 蓟县系; 6. 古元古界秦岭岩群、湟源岩群; 7. 新太古界—古元古界化隆岩群; 8. 上奥陶统花岗闪长岩; 9. 中奥陶统花岗闪长岩; 10. 下奥陶统闪长岩; 11. 前加里东花岗岩; 12. 前加里东花岗闪长岩; 13. 加里东期背斜、向斜构造; 14. 前加里东期背斜、向斜构造; 15. 加里东期挤压构造面理; 16. 前加里东期挤压构造面理; 17. 新太古界—古元古界化隆岩群挤压构造面理; 18. 大断裂和一般断裂; 19. 走滑构造/逆冲构造; 20. 韧性剪切带

虽然中祁连地块和化隆地块因拉脊山裂谷(或小洋盆)相隔较远,但两者的韧性剪切带的特征和形成时的最大主应力方位如此接近,说明两者是在同一时期、同一区域构造应力场作用下的产物。其最大主应力方位和中祁连、拉脊山造山带的展布似乎有着密切的内在关系,是否为加里东时期的构造热事件的产物呢?能否从基底变质岩系的构造岩获取有关弧盆闭合的一些信息和数据呢?从构造变形序列

分析,化隆岩群和湟源岩群变质岩系的原始层理(S₀)已被新生构造面理置换,仅在局部地段的大理岩出露处可见到原始层理。该期构造变形以层内无根褶皱、片理、平行片理的石英脉及韧性剪切带为主要构造样式;层间剪切褶皱、层状石香肠化的基性岩脉体是拉张体制下的伸展构造,其变形序列为第二期;第三期变形是以片理、片麻理为褶皱面,层间剪切褶皱、与片理平行的石英脉、石香肠化的基性脉

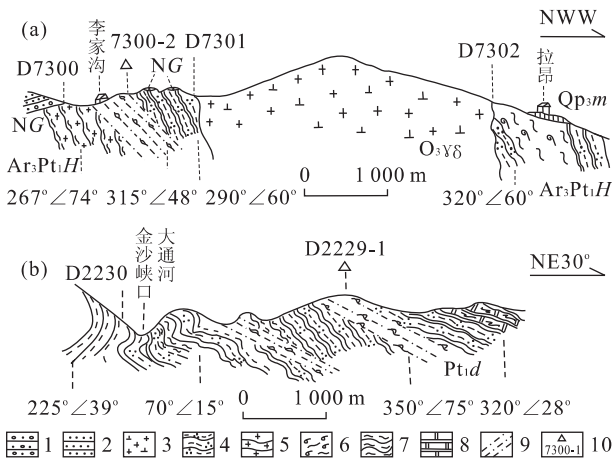


图 2 李家沟及金沙峡地质构造剖面图

Fig. 2 Geologic structural sections in Lijiagou and Jinshaxia

a. 化隆地块李家沟—拉昂地质构造剖面; b. 中祁连山金沙峡观察点 2229—2230 地质构造剖面; 1. 砂砾岩; 2. 砂岩; 3. 花岗闪长岩; 4. 黑云母石英片岩; 5. 花岗片麻岩; 6. 条带状混合岩; 7. 片麻岩; 8. 大理岩; 9. 韧性剪切带; 10. 白云母测试年龄样及样品编号

体与其一同弯曲,形成叠加褶皱;上述的韧性剪切带穿过这三期构造形迹,其变形序列应为第四期,从区域变形序列分析,它可能是在加里东期形成的。为此,对在路线区域地质调查过程中采集的上述部分韧性剪切带中的样品进行了室内分析年龄测试。研究样品分别采自中祁连地块和化隆地块两处(图 1),样品是区域路线地质调查过程中采集的,分别标在地质剖面上(图 2)。中祁连地块的 D2229—1 和化隆地块的 D7300—2 均为长英质糜棱岩。白云母为糜棱岩化重结晶矿物。变质矿物有黑云母、白云母、角闪石、帘石、钠质长石等,测试的白云母在手标本和薄片上定向排列构成拉伸线理。在强变形域中,石英因强变形发生塑性粒度,出现细粒化,波状消光,形成石英条带,甚至出现核幔构造,弱变形域中仍残留有斜长石斑晶和半自形石英斑晶。透射电镜下自由位错、环形位错发育,可见位错壁及亚颗粒。

2 分析方法和结果

经人工重砂分离、严格挑选,精选出纯度达 99% 的白云母精样,送中国地质科学院地质研究所作 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 分析,详细试验流程见参考文献(Chen *et al.*, 2002),分析结果列于表 1,相关年龄图解见图 3、4。

3 结论与讨论

样品 2229—1 白云母的坪年龄为 $(405.1 \pm 2.4)\text{Ma}$, 7300—2 白云母的坪年龄为 $(418.3 \pm 2.8)\text{Ma}$, 白云母对 Ar 同位素的封闭温度范围为 $350 \sim 400\text{ }^\circ\text{C}$ (Hames and Bowring, 1994; Wagner *et al.*, 1977), 它们代表了与韧性剪切带有关的冷却年龄。陈能松等(2002)在青海省都兰县香日德镇南清水泉东昆断裂带中所获取的 3 个年龄资料分别为: 锆石 U-Pb 同位素为 $(447.9 \pm 4.2)\text{Ma}$ 、白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 $(408.2 \pm 0.3)\text{Ma}$ 、角闪石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 为 $(426.2 \pm 3.8)\text{Ma}$, 角闪石对 Ar 同位素的封闭温度为 $500 \sim 600\text{ }^\circ\text{C}$ (Berger and York, 1981; Harrison, 1981), 角闪石的 $(426.2 \pm 3.8)\text{Ma}$ 近似于变质顶峰年龄(陈能松等, 2002)。由此可以看出,这些年龄是如此接近,尤其是白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄几乎相同,这决不是一种巧合现象。虽然这两批数据相距千里之遥,但两者的变形时间基本相同,即都是加里东期造山作用的产物。

研究表明,造山带的形成、演化记录不仅限于造山带内部物质的变质变形上,在加里东期的造山过程中,其基底结晶岩系同样受到了造山作用的影响,由于它们所处的构造层次不同,显示出构造变形的差异。基底岩系的构造变形以韧性剪切、次生面状构造发育、甚至形成叠加褶皱等为特征。加里东造山带内部则以脆韧变形为主,主要表现为褶皱、断层及劈理,韧性剪切带不发育。通过基底岩系的构造研究同样可以获取造山带形成演化的一些重要信息。

上述数据说明,研究区的拉脊山小洋盆和中祁连之上的裂隙槽、弧盆地的闭合时间在 $(405.1 \pm 2.4)\text{Ma} \sim (418.13 \pm 2.8)\text{Ma}$ 。这进一步证实了祁连山南东段地区的早古生代与岛弧环境有关的火山盆地是中志留世关闭的。

根据 Sobel and Arnaud(1999)在阿尔金断裂带的变质岩和变形的同造山花岗岩中获取的一组白云母和黑云母 Ar-Ar 坪年龄 $(435 \pm 20)\text{Ma}$ 、陈能松等(2002)及作者本次获得的 Ar-Ar 坪年龄分析,西昆仑、阿尔金、东昆仑和东祁连地区早古生代的洋盆或火山盆地和裂隙的关闭时间大体一致,同时从年龄数据的微小差异,显示有自西向东、自南向北的先后关闭的趋势。

从研究区加里东变质基底发育的共轭韧性剪切带的钝夹角所面对的缩短方向,即为最大主应力方

表 1 样品 2229-1 和 7300-2 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 逐段加热分析数据

Table 1 ⁴⁰Ar/³⁹Ar analysis data of processed heating to samples 2229-1 and 7300-2

T(°C)	(⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁶ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁷ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁸ Ar/ ³⁹ Ar) _m	F	³⁹ Ar (10 ⁻¹⁴ mol)	³⁹ Ar(Cum) (%)	t(Ma)	±1σ(Ma)
样品 2229-1									
600	34.625 5	0.059 5	0.479 2	0.086 5	17.092 2	53.78	0.25	330.7	7.1
700	24.270 4	0.022 6	0.064 5	0.032 9	17.583 8	87.63	0.66	339.4	7.0
800	22.191 5	0.005 7	0.049 1	0.015 9	20.514 9	192.48	1.57	390.2	4.3
880	24.566 0	0.002 3	0.011 6	0.046 1	21.131 1	412.93	3.51	400.8	3.9
960	23.676 1	0.007 7	0.015 0	0.013 5	21.392 7	1 527.84	10.69	405.2	3.7
1 010	23.361 4	0.006 6	0.013 3	0.013 6	21.393 7	1 410.79	17.33	405.2	3.7
1 060	23.364 1	0.006 7	0.014 5	0.013 6	21.389 0	1 378.17	23.81	405.1	3.8
1 110	23.113 4	0.006 1	0.009 6	0.013 2	21.301 9	2 608.96	36.07	403.7	3.8
1 150	22.750 5	0.004 8	0.007 9	0.015 1	21.332 7	2 690.18	48.72	404.2	4.0
1 200	22.994 6	0.005 4	0.008 9	0.013 5	21.384 0	2 748.20	61.64	405.1	3.9
1 260	23.334 6	0.006 1	0.044 0	0.013 5	21.530 9	2 330.08	72.60	407.5	3.8
1 320	23.245 7	0.006 0	0.025 5	0.015 1	21.481 1	3 674.13	89.87	406.7	4.1
1 400	23.088 5	0.005 0	0.074 2	0.015 1	21.604 2	2 154.08	100.00	408.8	4.8
样品 7300-2									
600	25.830 2	0.021 0	0.172 1	0.095 2	19.625 0	12.46	0.23	382.0	7.6
700	22.279 4	0.014 8	0.091 6	0.030 2	17.916 0	22.38	0.65	351.3	5.3
800	21.785 4	0.003 0	0.070 6	0.015 7	20.907 2	68.51	1.93	403.9	4.3
880	24.833 9	0.010 8	0.015 7	0.014 4	21.650 1	159.90	4.91	416.7	4.1
980	23.709 8	0.006 4	0.008 2	0.013 4	21.803 5	522.90	14.66	419.3	3.9
1 030	23.059 0	0.004 2	0.005 0	0.013 5	21.800 0	712.44	27.95	419.2	3.8
1 080	22.732 4	0.003 5	0.005 1	0.013 2	21.692 4	633.17	39.76	417.4	3.8
1 140	22.639 0	0.003 1	0.003 9	0.013 3	21.709 8	697.56	52.77	417.7	3.8
1 220	22.823 6	0.003 7	0.005 6	0.013 4	21.738 5	695.52	65.74	418.2	3.8
1 300	22.939 7	0.003 9	0.010 1	0.013 4	21.786 9	772.36	80.15	419.0	3.8
1 400	22.332 9	0.001 9	0.024 8	0.013 3	21.762 1	1 018.33	99.14	418.6	3.9
1 450	24.565 4	0.004 6	1.282 9	0.017 9	23.301 0	46.09	100.00	444.8	6.1

注: 样品 2229-1 质量 40.00 mg, J=0.011 772, 全熔年龄=405.1 Ma, F=⁴⁰Ar/³⁹Ar; 样品 7300-2 质量 40.00 mg, J=0.012 001, 全熔年龄=413.3 Ma, F=⁴⁰Ar/³⁹Ar; 下标 m 代表样品中测定的同位素比值。

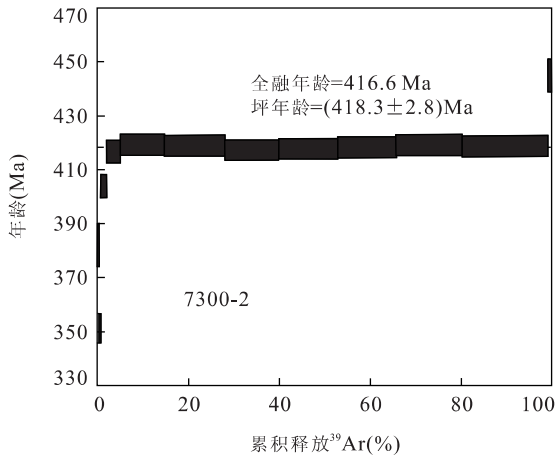


图 3 样品 7300-2 白云母年龄图解

Fig. 3 Muscovite age diagram of sample 7300-2

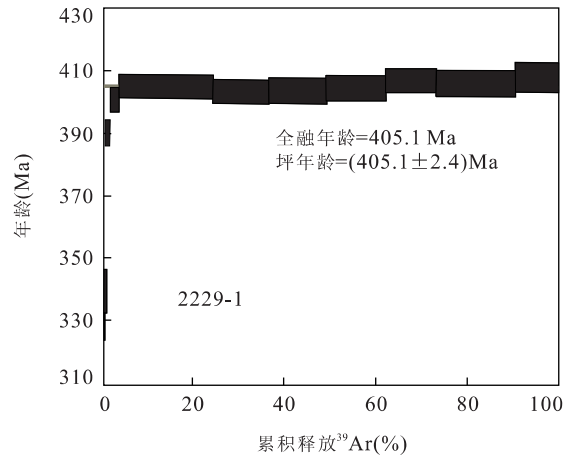


图 4 样品 2229-1 白云母年龄图解

Fig. 4 Muscovite age diagram of sample 2229-1

位, 根据上述求出的最大主应力方位, 中祁连地块中共轭韧性剪切带最大主应力(σ_1)产状为 $217^\circ \angle 26^\circ$ 。

化隆地块的最大主应力(σ_1)产状为 $198^\circ \sim 210^\circ \angle 4^\circ \sim 5^\circ$ 。尽管这两个点还不能完全代表当时的

弧盆地关闭的整体主应力状态,但根据研究区加里东造山带的构造形迹展布分析,这一应力状态基本上反映了当时这一地区的构造应力作用趋势。

References

- Berger, G. W., York, D., 1981. Geothermometry from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating experiments. *Geochim Cosmochim Acta*, 45: 795—811.
- Chen, N. S., He, L., Sun, M., et al., 2002. Precise timing of the Early Paleozoic metamorphism and thrust deformation in the eastern Kunlun orogen. *Chinese Science Bulletin*, 47(8): 628—631 (in Chinese).
- Chen, N. S., Sun, M., Zhang, K. X., et al., 2000. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and U-Pb age of metamorphic diorite body in the eastern Kunlun; Hornblende excess Ar and Paleozoic evidence of magma belt in eastern Kunlun. *Chinese Science Bulletin*, 45(21): 2337—2342 (in Chinese).
- Chen, W., Zhang, Y., Ji, Q., et al., 2002. The magmatism and deformation times of the Xidatan rock series, East Kunlun Mountain. *Science in China (Series D)*, 45 (Suppl.): 20—27.
- Fan, G. M., Zhang, K. X., Lin, Q. X., et al., 2004. Evolution and characteristics of the Lajishan orogenic belt. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(Suppl.): 1—6 (in Chinese with English abstract).
- Feng, Y. M., Cao, X. D., Zhang, E. P., et al., 2002. Structural, process and dynamics of West Qinling orogenic belt; A booklet of 1: 1 000 000 tectonic map of West Qinling orogenic belt and neighbouring region. Xi'an Map Press, Xi'an, 26—31 (in Chinese).
- Hames, W. E., Bowring, S. A., 1994. An empirical evaluation of argon diffusion geometry in muscovite. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 124: 161—167.
- Harrison, T. M., 1981. Diffusion of ^{40}Ar in hornblende. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 78: 324—331.
- Qiu, J. X., Zeng, G. C., Zhu, Y. H., et al., 1998. Characteristics and latitudinal comparative research on the Early Paleozoic volcanic rocks of rifted orogenic belt and small ocean basin ophiolite suite from northern Qinling mountains and southern Qilian mountains. *J. China Univ. Geol.*, 4(4): 393—405 (in Chinese with English abstract).
- Sobel, E. R., Arnaud, N. A., 1999. Possible Middle Paleozoic suture in the Altyn Tagh, NW China. *Tectonics*, 18: 64—74.
- Wagner, G. A., Reimer, G. M., Jager, E., 1977. Cooling ages derived from apatite fission, mica Rb-Sr and K-Ar dating: The uplift and cooling history of the central Alps. *Padovia. Uvi. Inst. Geol. Mineral. Mem.*, 30: 1—27.
- Xu, Z. Q., Yang, J. S., Jiang, M., et al., 1999. Continent subduction and uplifting of the orogenic belts at the margin of the Qinghai-Tibet plateau. *Earth Science Frontiers*, 6 (3): 139—151 (in Chinese with English abstract).
- Yang, W. R., Deng, Q. L., Wu X. L., 2000. Faulting of Laji orogenic belt and its relationship to volcanic rocks and ophiolites. *Geological Science and Technology Information*, 19 (2): 5—11 (in Chinese with English abstract).
- Yin, H. F., Zhang, K. X., 1998. Evolution and characteristic of the central orogenic belt. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 23(5): 438—442 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, Y. D., Wang, T., Ma, M. B., et al., 2004. Maximum effective movement criterion and the origin of low-angle normal fault. *Journal of Structural Geology*, 26: 271—285.

附中中文参考文献

- 陈能松,孙敏,张克信,等,2000. 东昆仑变闪长岩体的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 和 U-Pb 年龄;角闪石过剩 Ar 和东昆仑古生代岩浆岩带证据. *科学通报*, 45(21): 2337—2342.
- 陈能松,何蕾,孙敏,等,2002. 东昆仑造山带早古生代变质峰期和逆冲构造变形年代的精确限定. *科学通报*, 47(8): 628—631.
- 樊光明,张克信,林启祥,等,2004. 拉脊山造山带的大地构造演化特征. *地球科学——中国地质大学学报*, 29 (增刊): 1—6.
- 冯益民,曹宣铎,张二朋,等,2002. 西秦岭造山带构造山过程及动力学: 1: 1 000 000 西秦岭造山带及邻区大地构造图说明书. 西安:西安地图出版社, 26—31.
- 邱家骧,曾广策,朱云海,等,1998. 北秦岭—南祁连早古生代裂谷造山带与小洋盆蛇绿岩套特征及纬向对比. *高校地质学报*, 4(4): 393—405.
- 许志琴,杨经绥,姜枚,等,1999. 大陆俯冲作用及青藏高原周缘造山带的崛起. *地学前缘*, 6(3): 139—151.
- 杨巍然,邓清禄,吴秀玲,2000. 南拉脊山造山带断裂作用特征及与火山岩、蛇绿岩套的关系. *地质科技情报*, 19 (2): 5—11.
- 殷鸿福,张克信,1998. 中央造山带的演化及其特征. *地球科学——中国地质大学学报*, 23(5): 438—442.