

# 西昆仑康西瓦断裂显微构造特征及其地质意义

刘 强<sup>1</sup>, 杨坤光<sup>1</sup>, 张传林<sup>2</sup>, 董永观<sup>2</sup>, 郭坤一<sup>2</sup>  
1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北 武汉 430074;  
2. 国土资源部南京地质矿产研究所, 江苏 南京 210016

**【摘要】** 康西瓦断裂是西昆仑地区一条极其重要的构造缝合带。利用显微构造方法发现:康西瓦断裂明显经历三期构造演化。第一期为晚三叠世—早侏罗世的 NE-SW 向挤压, 由古特提斯洋相继向北持续消减所造成, 断裂除挤压碰撞外, 还表现为韧性右行走滑; 第二期为喜马拉雅运动早期的 NE-SW 向挤压, 由印度板块向欧亚板块北东向俯冲所造成, 断裂表现为明显左行平移, 形成现代露头的宏观牵引; 第三期为喜马拉雅运动晚期的伸展与快速隆升, 最终形成现代地貌景观。

**【关键词】** 康西瓦断裂; 显微构造; 石英组构; 西昆仑

中图分类号: P542<sup>+</sup>.3 文献标识码: A

文章编号: 1001-6872(2003)03-0026-05

## 0 引言

位于塔里木盆地西南缘的康西瓦断裂是西昆仑地区一条极其重要的构造缝合带, 作为块体界线区分中昆仑地体和甜水海地体<sup>[1]</sup>, 在板块尺度上成为塔里木板块和羌塘板块的板块分界线<sup>[2,3]</sup>。康西瓦断裂西起哈萨克斯坦的乌孜别里山口, 经塔什库尔干以北的班迪, 向南东延伸至麻扎、三十里营房, 而后向东经康西瓦、慕士山至琼木孜塔格西南被阿尔金断裂斜向截断。断裂在我国境内延伸有 1 000 余公里, 宽约 3 km~5 km, 由平行的 3 条~4 条断层构成走向 NW-SE 的叠瓦状逆冲带组成, 断层主体向南倾斜, 倾角在 60°~75°; 整体呈反“S”形, 主弧向南西突出(图 1, 图 2)。由于断裂延伸区地势高(高于 3 500 m), 自然条件恶劣, 虽然一些专家学者对其做过研究<sup>[1~7]</sup>, 但研究程度仍相对较低。以康西瓦

断裂(康西瓦—麻扎段)及其分支断裂大红柳滩断裂为研究对象, 通过系统采集定向标本, 借助显微构造研究手段, 以期获得断裂的动力学信息, 进而取得康西瓦断裂性质和地质演化的新认识。

## 1 断裂带地质概况

康西瓦断裂两侧的地层时代差别很大<sup>[5]</sup>。断裂北侧主要为一套中元古界的高级变质岩系, 主要岩性为云母石英片岩、云母绿泥片岩。断裂南侧则以古生代、中生代地层为主, 主要出露有下志留统、中上石炭统及上三叠统等三个时代的地层。下志留统为灰-灰绿色片理化粉砂岩、钙质细砂岩、钙质板岩及千枚岩; 中上石炭统为一套浊流相的碎屑岩沉积; 上三叠统为灰黑色厚层状灰岩、泥灰岩、生物碎屑灰岩及薄层砂岩、粉砂岩, 为浅海相的陆源碎屑岩的浊流沉积。

收稿日期: 2003-03-10; 改回日期: 2003-05-20

基金项目: 国土资源部中国地质调查局“新疆西昆仑成矿带成矿规律和找矿方向综合研究”项目(199910200247)部分成果

作者简介: 刘 强, 男, 24 岁, 硕士研究生, 构造地质学专业, 研究方向: 显微构造与应变分析。

康西瓦断裂两侧的岩浆活动具有明显差异<sup>[5,8]</sup>。断裂带北侧集中了海西期的侵入岩,岩性主要为花岗闪长岩、二长花岗岩、钾长花岗岩和斜长花岗岩,同位素年龄在 202.3 Ma~277.7 Ma 和 297 Ma~346 Ma 区间。在断裂带南侧则主要发育印支期和燕山期的中酸性花岗岩,其源岩主要为前寒武纪变质岩系及俯冲洋壳。

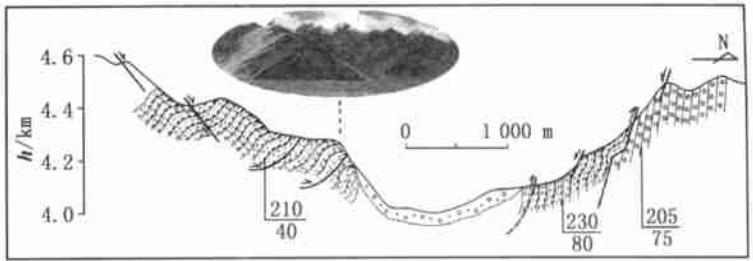


图 1 西昆仑康西瓦断裂地质剖面图

Fig. 1 Geological section of Kangxiwa fault zone, west Kunlun

在断裂的逆冲带内发育碎裂岩和糜棱岩。

糜棱岩原岩一般为砂质板岩、云母石英片岩及花岗岩。在糜棱岩中常见长石旋转斑,石英颗粒强烈拉长,宏观的糜棱面理与逆冲面基本一致,逆冲带内常见一系列轴面南倾的指向性小褶皱。逆冲断层多为后期正断层所破坏,发育脆性角砾岩,定向性不明显。在断裂带两侧高地处发育断面相对的高角度正断层,构成明显的断层三角面(图 1)。

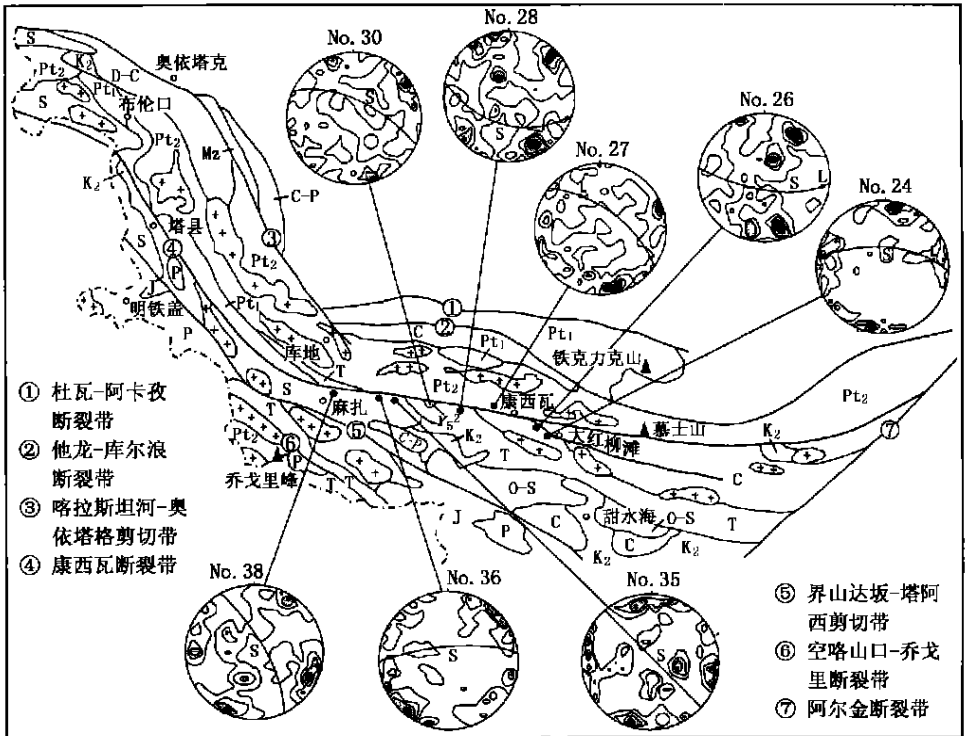


图 2 西昆仑康西瓦断裂地质简图(据文献[4],[5]改编)

Fig. 2 Geological sketch map of Kangxiwa fault zone, west Kunlun

断裂带两侧地层时代、岩浆岩和变质程度的差异,显示了断裂活动的长期性和差异性。此外,由于断裂带两侧地层差异较大,导致地貌特征迥异<sup>[6,7]</sup>。北侧元古界的地貌为低而浑圆山脊,南侧中生界的地层则为尖棱状山脊。

## 2 断裂带岩组分析

岩石组构分析是通过研究构造岩组构的微观定向规律,来揭示宏观构造的应变规律、变形序次确定、变形环境判别、变形动力学分析等重要的构造信息,因此岩组分析对于研究运动学和动力学信息具有重要意义<sup>[9]</sup>。为了能够准确反映康西瓦断裂和大红柳滩断裂的活动性质,沿新藏公路系统采集了定向标本。标本来自断裂沿线不同时代、不同岩性的岩石(图 2,表 1)。由于石英矿物对应力反应较为敏感,加之实验岩石学研究相对成熟<sup>[10]</sup>,因此选取石英作为测定对象,可以较好地提供构造学信息。为了便于对

比,所有标本在室内切制了水平薄片。使用普通费氏台测定石英矿物光轴方位,测定颗粒数在 120 粒~170 粒,岩组图均采用下半球等面积投影绘制。

No. 24, No. 26, No. 283 件样品采自大红柳滩断裂北西段上三叠统的岩系中。在 No. 24 石英组构图略具单斜对称,主极密近南北向分布,次级极密近东西向分布。根据岩组图对称形式和构造要素产状特点,指示岩石可能受到由近南北方位向东北方位旋转的简单剪切变形。

No. 26 石英组构图呈三斜对称,有 3 个高级密点,结合岩石片理面和线理产状分析,高角度极密在组构图上的分布特点显示出岩石可能受到断面南倾的仰冲挤压,形成倾向 190 的挤压片理。岩组图中出现较为明显的小圆环带(半开角在 30°左右),显示出温度 550°C 左右及低应变速率下环境下的变

表 1 石英组构样品表  
Table 1 Sample of quartz fabrics

样品号	采 样 地 点			岩 性	地层时代	岩组极密/%	
	经纬度	高程/m	公路位置/km				
No. 24	N36 07.640	E78 59.166	4 170	新藏公路 460	黑云母长石片麻岩	上三叠统	1.3-2.6-3.9-5.2
No. 26	N36 09.099	E78 56.231	4 100	新藏公路 454	石榴石黑云母片岩	上三叠统	0.6-2.3-3.5-4.7
No. 27	N36 13.535	E78 47.970	4 184	新藏公路 446	黑云母石英片岩	中元古界	1.1-2.3-3.4-4.6
No. 28	N36 14.246	E78 26.188	3 860	新藏公路 408	石榴石黑云母片岩	上三叠统	0.7-2.2-3.3-4.4
No. 30	N36 23.843	E77 59.728	3 620	新藏公路 356	二长花岗岩	燕山期	0.6-2.4-3.5-4.7
No. 35	N36 25.050	E77 32.720	4 540	新藏公路 300	钙质板岩	下志留统	1.0-1.9-2.9-3.8
No. 36	N36 24.476	E77 28.871	4 090	新藏公路 292	千枚岩	下志留统	1.1-2.3-3.4-4.5
No. 38	N36 26.873	E77 00.270	3 850	新藏公路 241	千枚岩	下志留统	0.7-2.8-4.1-5.5

形<sup>[10]</sup>。

No. 28 石英岩组图略具单斜对称特点,岩组图中保留了温度在  $550^{\circ}\text{C} \pm$  及低应变速率状态下形成的半开角为  $30^{\circ}$  左右的小圆环带及极密(即  $c + g$  型)<sup>[10]</sup>,同样反映了  $\text{NNE} - \text{SSW}$  向的挤压。

No. 30 组构图极密度较低,发育有不明显的大圆环带,暗示岩石变形有同构造特点。由于极密点代表在较低温度( $500^{\circ}\text{C}$  以下)及较低应变速率下单轴压缩所产生的结果<sup>[10]</sup>,说明该处花岗岩受到  $\text{NE} - \text{SW}$  向挤压,并受后期变形干扰而形成环带。由于花岗岩的面理为后期挤压面理,显示出  $\text{NE} - \text{SW}$  向挤压作用。

样品 No. 35, No. 36, No. 38 均采自麻扎附近的下志留统变质岩系中。3 件样品组构图对称形式不一, No. 35, No. 38 组构图具单斜对称特点, No. 36 组构图则具有三斜对称特点。结合岩石片理产状(No. 35:  $45^{\circ} \angle 90^{\circ}$ ; No. 38:  $57^{\circ} \angle 75^{\circ}$ )及对称运动方式,证明岩石主要受到  $\text{NE} - \text{SW}$  向的挤压,变形以底面滑移为主,变形温度低于  $500^{\circ}\text{C}$ 。在 No. 36 标本中尚保留有原始片理产状(No. 36:  $355^{\circ} \angle 79^{\circ}$ ),说明岩石受到右行剪切作用改造。

由于中元古界岩系变质程度较深,标本 No. 27 岩组极密具三斜对称特点,小圆环带不甚明显,指示了岩系受到后期  $\text{NE} - \text{SW}$  向的挤压(片理产状为:  $230^{\circ} \angle 80^{\circ}$ )和较深层次的剪切作用。综合各样品的石英组构图,多以对称形式不高的单斜和三斜对称为主,反映该区构造运动的多期性和复杂性。其中体现构造变形特点为各时代岩系均受到  $\text{NE} - \text{SW}$  向挤压,在挤压过程中有垂向隆升过程的剪切作用(形成半开角为  $30^{\circ}$  左右的小圆环带),变形环境为较高温度( $550^{\circ}\text{C} \pm$ )、低应变速率状态。各时代样品还受到右行剪切作用的改造,个别样品保留了原始片理产状(No. 36),其余样品片理(面理)均被剪切改造。可以认为,石英组构的变化在显微尺度上反映了康西瓦断裂形成后的构造演化特点,即  $\text{NE} - \text{SW}$  主应力方位并伴有垂向挤压和右行韧性走滑。

### 3 显微构造特征

通过对康西瓦断裂沿线布设样品的显微构造观察,各类显微构造现象较为发育。主要有石英颗粒的波状消光、亚颗粒、动态重结晶及微破裂等现象;同时发育有判断剪切指向的明显构造标志,诸如  $\sigma$  型旋转碎斑构造、云母鱼构造、不对称眼球构造、S-C 组构等<sup>[11,12]</sup>。石英颗粒存在较为丰富的显微构造现象,一方面说明石英矿物对应力变化较为敏感,另一方面则提供了与康西瓦断裂有关的构造信息。从石英颗粒广泛存在的波状消光、亚颗粒化、到由动态恢复形成边界参差不齐的动态重结晶颗粒、反映脆性变形的微破裂,说明康西瓦断裂经历了由早期深层次韧性变形到后期浅层脆性变形叠加的复杂过程。

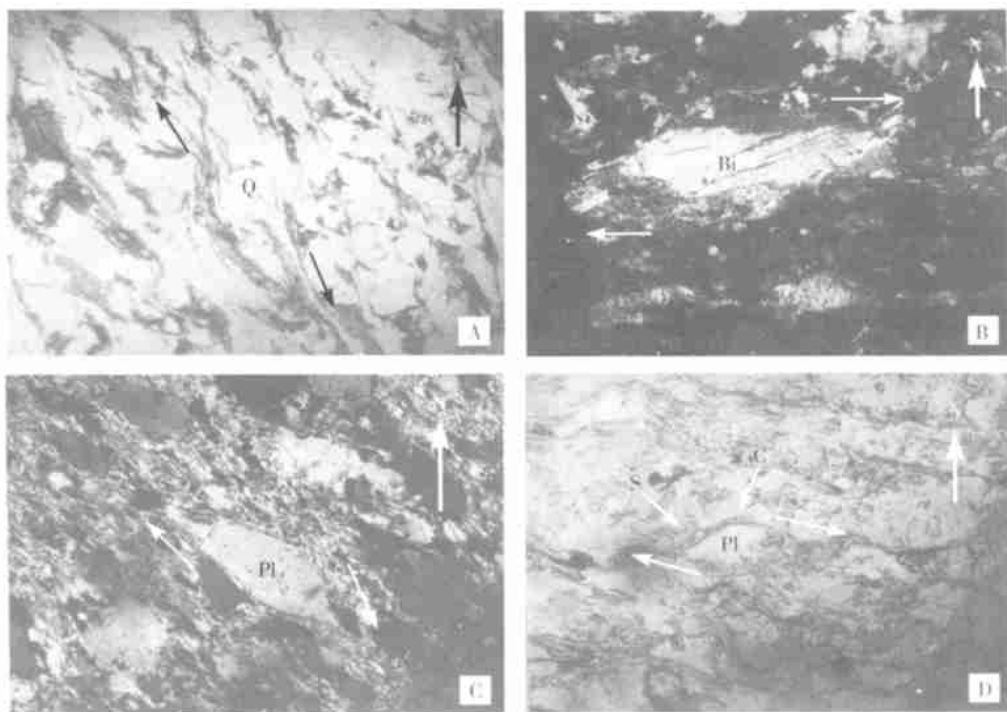
对采集标本切制定向水平薄片,将其恢复到地理位置,在显微镜下可观察到有剪切指向意义的构造(照片 1)。现选取典型构造分述之:

1)  $\sigma$  型旋转碎斑构造(照片 1A, 样品 No. 24): 碎斑呈圆形,由石英矿物构成,上下楔形结晶尾由细小石英重结晶颗粒组成,延伸较长,方向分别为  $\text{NW}, \text{SE}$ 。结晶尾方位基本平行于剪切面理,明确地指示右行剪切。

2) 云母鱼构造(照片 1B, 样品 No. 26): 云母鱼沿 S 面延伸,形体较宽,“鱼头”、“鱼尾”向 C 面靠拢。云母片中发育明显微裂隙,倾斜方向为  $\text{NW}$ ,近乎平行于 S 面。“鱼头”、“鱼尾”与近水平 C 面所夹锐角指示对盘运动方向,图示为右行剪切。

3) 不对称眼球构造(照片 1C, 样品 No. 35): 这是糜棱岩中常见的残斑构造,其核部由斜长石构成,剪应力形成的“眼角”位于残斑的右上-左下位置,由变形的细粒石英构成,略具对称性。由“眼角”的运动方向判断岩石受到右行剪切作用。

4) S-C 组构(照片 1D, 样品 No. 36): 是判断剪切指向的有力证据。细小白云母定向排列形成了略向  $\text{NE}$  倾斜的 C 面理,连续贯穿的 S 面理由斜长石、



照片 1 康西瓦断裂显微构造图象

A·单偏光,视域直径 2.6 mm; B·正交偏光,视域直径 2.6 mm; C·正交偏光,视域直径 0.625 mm; D·正交偏光,视域直径 0.625 mm  
Photo 1 The image of microstructure in Kangxiwa fracture zone, west Kunlun

石英组成,与矿物延伸方向一致并向 NW 倾斜,两者夹角在  $60^\circ \pm$ , 指示对盘的运动方向。图示为右行剪切。

由上述可见,显微构造证据主要显示了断裂的右行韧性剪切。

#### 4 动态重结晶法古应力估计

矿物在较高温度和较强应变条件发生位错蠕变,在动态恢复作用下产生动态重结晶颗粒。金属和实验矿物学研究表明,动态重结晶颗粒的大小与应变强弱有关,应变越强烈,重结晶粒度越小。Twiss<sup>[13]</sup>给出了动态重结晶颗粒大小与差异应力大小之间的关系式: $\sigma - \sigma' = AD^{-m}$  (A, m·参数; D·动态重结晶颗粒大小),对于石英矿物来说, A 值为 5.56, m 值为 0.68。形成后的动态重结晶颗粒往往受到后期构造热事件改造,同时采样位置距离断层远近也对此颇有影响,因此选取断层附近的新地层和晚期(诸如燕山期)侵入岩作为研究对象,可以得到康西瓦断裂较为准确的古应力差值,但也要认识到计算所得古应力差只是对地质事实的逼近,不能够完全准确反映断裂系统古应力大小<sup>[11]</sup>。由于 No. 26 样品来自上三叠统岩系,较好地反映后期构造变形, No. 30 为燕山期侵入花岗岩,其中记录有断裂后期活动的信息,因此确定 No. 26 和 No. 30 中的石英

矿物为测定对象,采用线截法测量<sup>[12]</sup>,平均粒径计算公式为: $D = 3/2 \cdot L/N$  (L 为截线总长度; N 为测量颗粒总数),测量及计算结果见表 2。

表 2 西昆仑康西瓦断裂石英动态重结晶古应力差值  
Table 2 Differential paleostress estimated by recrystallized grain size in Kangxiwa fault zone, west Kunlun

样品号	样品岩性	测定颗粒数	平均粒径 / $\mu\text{m}$	古应力差值 /MPa
No. 26	石榴石黑云母片岩	248	82.6	30.3
No. 30	二长花岗岩	205	69.4	34.1

这组差异应力值相对偏小,应当反映为后期剪切作用的差异应力。结合前人结论<sup>[4]</sup>,康西瓦断裂带活动的差异应力范围为 30 MPa~130 MPa。

#### 5 结论及讨论

5.1 康西瓦断裂石英组构结果表明,康西瓦断裂在演化过程中主构造应力方位为 NE-SW 向,该期的构造改造强度较大,几乎所有的样品都打上了该期构造改造的烙印,而较少地保留前期构造形迹。

5.2 显微运动学分析表明,康西瓦断裂及其分支断裂大红柳滩断裂在早期韧性剪切阶段均以右行滑移为主,断裂性质为右行走滑断裂,断裂走滑活动的古应力差值在 30 MPa~34 MPa。但是从目前所显示的区域地层展布(图 2)及野外宏观露头(如发育断层三角面、错断现代冲沟及洪积物等)来看,后期经历了大规模的左行滑移。

5.3 从板块构造与区域构造事件及古地磁证据来

分析, 康西瓦断裂演化起始时代可以确定在二叠纪末期至三叠纪初期并在晚三叠世最终形成<sup>[1,2,6,7,14,16]</sup>。从二叠纪开始, 古特提斯洋在北部向劳亚古陆消减, 在南部向冈瓦那古陆消减, 北部消减带就位于康西瓦断裂。沿断裂带出露有基性岩(蛇绿岩)和大量晚古生代至早中生代的火山岩、中酸性侵入岩<sup>[5]</sup>, 康西瓦断裂成为被动大陆南部边缘断裂。在晚三叠世—早侏罗世时期, 断裂的持续消减作用以近南北向(NE—SW向)挤压碰撞缩短为主导, 在持续碰撞过程中沿断裂带伴有右行韧性走滑剪切。中侏罗世后, 羌塘地块与欧亚板块连为一体并成为欧亚板块南部的大陆边缘。在中侏罗世—白垩纪时期, 羌塘地体南缘的新特提斯洋向北消减<sup>[1]</sup>。该构造事件的远程效应在康西瓦断裂所在区域未产生较大影响。

## 参考文献

- [1] 潘裕生, 王毅, Matte Ph, 等. 青藏高原叶城—狮泉河路线地质特征及区域构造演化[J]. 地质学报, 1994, 68(4): 295-307.
- [2] 刘训. 天山—西昆仑地区沉积—构造演化史——新疆地质断面走廊域及邻区不同地体的沉积—构造演化[J]. 古地理学报, 2001, 3(3): 21-31.
- [3] 鲁新便, 何发岐, 赵洪生. 塔里木盆地西南缘构造带的地球物理特征、构造及其演化[J]. 石油物探, 1997, 36(1): 43-52.
- [4] 丁道桂, 王道轩, 刘伟新, 等. 西昆仑造山带与盆地[M]. 北京: 地质出版社, 1996. 107-205.
- [5] 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 喀喇昆仑山—昆仑山地区地质演化[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 393-427.
- [6] 王元龙, 李向东, 黄智龙. 新疆西昆仑康西瓦构造带地质特征及演化[J]. 地质地球化学, 1996, (2): 48-54.
- [7] 王元龙, 李向东, 黄智龙. 康西瓦走滑构造带及其大地构造意义[J]. 新疆地质, 1996, 14(3): 204-212.
- [8] 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, 1999, 29(5): 398-406.
- [9] 郑伯让, 金淑燕. 构造岩组学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989. 52-85.
- [10] Tullis J A, Christie J M, Griggs D T. Microstructures and preferred orientations of experimentally deformed quartzites[J]. Geol Soc Amer Bull, 84: 297-314.
- [11] 刘瑞珣. 显微构造地质学[M]. 北京: 北京大学出版社, 1988. 131-157.
- [12] 钟增球, 郭宝罗. 构造岩与显微构造[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991. 95-100.
- [13] Twiss R J. Theory and applicability of a recrystallized grain size paleopiezometer[J]. Pure Appl Geophys, 1977, (115): 227-244.
- [14] 李永安, 孙东江, 郑洁. 新疆及周边古地磁研究与构造演化[J]. 新疆地质, 1999, 17(3): 193-235.
- [15] 李锦秩, 肖序常. 对新疆地壳结构与构造演化几个问题的简要评述[J]. 地质科学, 1999, 4: 406-419.
- [16] 成守德, 王元龙. 新疆大地构造演化基本特征[J]. 新疆地质, 1998, 16(2): 97-107.
- [17] 贾承造, 杨树锋, 陈汉林, 等. 特提斯北缘盆地群构造地质与天然气[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001. 61-65.

从地球物理资料和地层、地貌分析来看, 该时期内伸展构造体制和断陷作用控制了塔里木盆地及其周缘<sup>[17]</sup>。在中侏罗世—白垩纪时期内, 康西瓦断裂由挤压兼走滑体制转向伸展体制, 转入断裂松弛阶段, 发育碎裂岩。自始新世末以来, 印度板块由北东向欧亚大陆的碰撞对康西瓦断裂产生较大影响, 在剪切力的作用下产生巨大左行走滑和大规模脆性破裂, 现代冲沟及现代洪积物均被左行错断<sup>[5]</sup>, 同时伴生有地壳隆升。在该期构造运动晚期, 快速隆升引起了地表的强烈伸展, 剥蚀与切割形成了康西瓦断裂中段(麻扎—大红柳滩)地堑式的断层组合, 并且发育有明晰的断层三角面。

成文过程中, 得到曾广策、桑隆康、钟增球等教师的指导, 在此深表感谢。

## THE MICROSTRUCTURE FEATURE AND ITS GEOLOGICAL SIGNIFICANCE OF KANGXIWA FRACTURE ZONE, WEST KUNLUN

LIU Qiang<sup>1</sup>, YANG Kun-guang<sup>1</sup>, ZHANG Chuan-ling<sup>2</sup>,  
DONG Yong-guan<sup>2</sup>, GUO Kun-yi<sup>2</sup>

1. Faculty of Earth Sciences, China university of Geoscience, Wuhan 430074, China;  
2. Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, CAGS, Nanjing 210016, China

**Abstract:** Kangxiwa fracture zone is an important structural suture zone in west Kunlun. The structural evolution of Kangxiwa fracture zone can be subdivided to three stages, the first of which is that Kangxiwa fracture zone experienced NE—SW compression combined with dextral ductile shear during late Triassic—early Jurassic period due to the constantly northward subduction by paleo-Tethys. The second stage is that the Kangxiwa fracture zone was compressed along NE—SW direction because of the northeastward subduction of India plate to Eurasia plate during early Himalaya period and showed significant sinistral displacement. During late Himalaya period, Kangxiwa fracture zone experienced extension and rapid uplift and formed modern landscape finally.

**Key words:** Kangxiwa fracture zone; microstructure; quartz fabrics; West Kunlun Mts