

胶南隆起北缘石门-薛家庄 韧性剪切带

宋明春 马文斌

(山东省地质调查研究院)

摘要 石门-薛家庄韧性剪切带曾经历过正-左行平移、正-右行平移及左行正滑三期剪切运动。其东段以正-右行平移运动为主,中段具左行正滑性质,而其西段(小卜落崮韧性剪切带)则主要为左行平移。该剪切带同时又是一条经受了低绿片岩相-角闪岩相变形的多相剪切变形带。在剪切带的横剖面上,石英与斜长石的粒度在弱变形带中具双峰式分布的特征,在强变形带中则细而均匀;钾长石的粒度在弱变形带中粗而均匀,在强变形带中则呈现双峰式分布。钾长石和斜长石在韧性变形过程中均可向钠长石转化,应力越大转化越彻底。剪切带的变形机制为简单剪切机制,石英滑移系既有底面滑移又有柱面、菱面滑移。

石门-薛家庄韧性剪切带西自诸城白汾子沟,往北东经石门、桃园,到胶南市后立柱、薛家庄,全长60余公里,宽0.5~3.5km,总体走向60°,为胶南隆起北缘的一条大型韧性剪切带和重要构造边界。该韧性剪切带位于郝官庄-山相家断裂南侧,二者展布方向大体一致,不过后者属脆性断裂范畴。尽管有人也将韧性剪切作用形成的糜棱岩当作脆性断裂的组成部分,但在薛家庄附近二者并不重合,在后立柱之西断裂则明显切割韧性剪切带,说明它们为二条性质完全不同的剪切构造带。

石门-薛家庄韧性剪切带为一条线型强应变带,具有明显的多期多相变形特征。现以该韧性剪切带的后立柱-薛家庄段为主详细分析之。

1 韧性剪切带运动性质

石门-薛家庄韧性剪切带中的宏观和微观剪切指向标志,指示该剪切带为一条多期活动的“长寿”剪切带。

1.1 宏观标志

韧性剪切带内糜棱面理和矿物拉伸线理赤平投影统计分析结果(图1)表明:带内糜棱面理主极密产状为 $348^{\circ}/62^{\circ}$;拉伸线理产状较为复杂,出现 $284^{\circ}/48^{\circ}$ 、 $50^{\circ}/40^{\circ}$ 、 $12^{\circ}/32^{\circ}$ 三组较为集中的产状极密,其中第一组最为发育。糜棱面理产状稳定和拉伸线理产状多变的特点,说明该韧性剪切带具有多期运动特征,且至少经历了三期剪切运动的影

本文1996-12-29收到,1977-04-15改回。

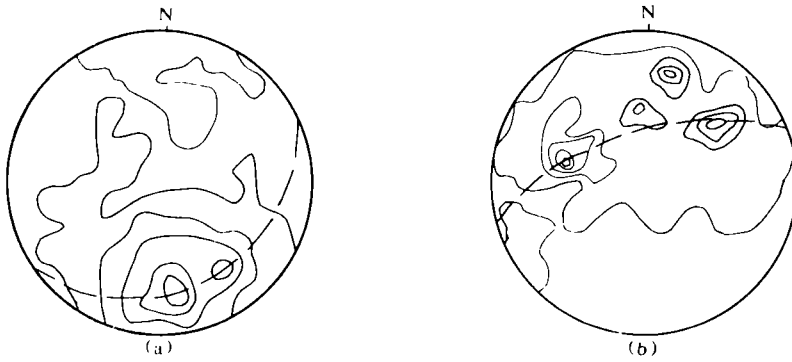


图1 韧性剪切带糜棱面理(a)及拉伸线理(b)等面积极点赤平投影图

Fig. 1 Equal square pole stereogram of the mylonite foliation(a)and extention lineation(b) in ductile shear zones

- (a)糜棱面理(n=317)(等密线:0.16%~1.6%~3.2%~5.76%~8.32%)
- (b)拉伸线理(n=100)(等密线:0.5%~2.5%~3.5%~4.5%~5.5%)

影响:其中向 NWW 倾伏及向 NE 倾伏的二组拉伸线理在糜棱面理上的侧伏角为 40°~50°,表明这二期韧性剪切带沿走向与沿倾向的位移量近于相等,即兼具正滑(或逆冲)和平移运动的特点;而向 NEE 倾伏的拉伸线理,其在糜棱面理上的侧伏角为 75°,表明该期韧性剪切作用主要顺面理倾伏方向滑动(正滑或逆冲)。

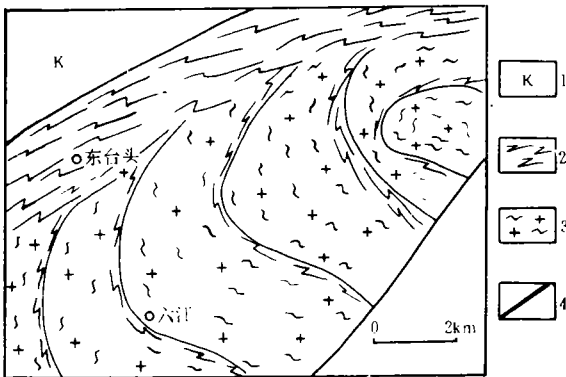


图2 东台头附近韧性剪切带地质略图

Fig. 2 Geological sketch of the ductile shear zone near Dongtaitou

- 1—白垩系;2—韧性剪切带;3—花岗片麻岩;4—断层

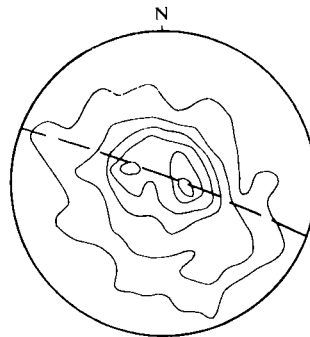


图3 六汪弧形构造面理等面积极点赤平投影图

Fig. 3 Equal square pole stereogram of foliation of the arcuate structure in Liuwang (n=381, 等密线: 0.14%~1.12%~2.8%~7%~9.1%)

剪切带南侧的六汪弧形构造是由剪切带的韧性牵引形成的(图2)。六汪一带变质杂岩的片麻理和不同岩性的接触面以及早期韧性剪切带的糜棱面理呈近东西—北西走

向,向南或南西平缓倾伏。趋近石门-薛家庄剪切带,糜棱面理走向逐渐向北东偏转,倾角变陡;片麻理(包括早期糜棱面理)逐渐被新生糜棱面理取代,构成凸顶指向 SWW 的弧形构造。在等面积极点赤平投影图上(图 3),组成六汪弧的面理极点等值线呈同心状分布,极密不太集中。弧形构造的形态指示石门-薛家庄韧性剪切带具有明显的右行平移性质。

野外露头上,在平行剪切带拉伸线理方向的 XZ 面上发现有较多的指示剪切运动方向的小构造,主要有不对称长石碎斑系的 σ 型和 δ 型结晶尾,以及不对称小褶皱和 S-C 组构等。这些小构造指示剪切带的上盘(北盘)沿线理方向向下滑动,即该剪切带具正滑(断)性质。

1.2 显微标志

石门-薛家庄韧性剪切带中具有丰富的显微剪切指向标志,主要有:

(1)石英“核幔”构造(图 4-a):其核部与幔部定向有一定交角,二者锐夹角指向剪切运动方向。

(2)石英动态重结晶显微构造(图 4-b):石英动态重结晶颗粒的斜列与石英条带的锐夹角指示运动方向。

(3)云母“鱼”构造(图 4-c):云母的头尾不对称特征具剪切指向意义。

(4)残斑结晶尾构造(图 4-d):长石残斑结晶尾的不对称构造指示剪切方向。

(5)斜长石书斜构造(图 4-e):一组平行的剪切破裂面切错了斜长石残斑,沿微破裂面发生的剪切方向与残斑外围的剪切方向相反。

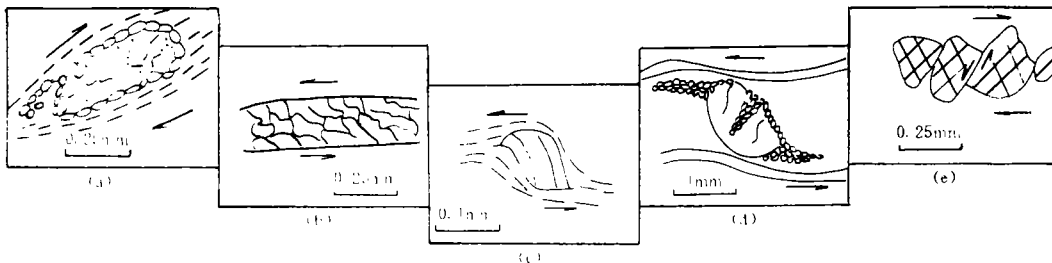


图 4 韧性剪切带中显微剪切指向标志

(据定向薄片素描)

Fig. 4 Senses of micro-shearing in ductile shear zones

(a)石英“核幔”构造;(b)动态重结晶的石英条带;(c)云母“鱼”构造;(d)具结晶尾的长石残斑;(e)斜长石书斜构造

显微剪切标志在定向薄片中既显示右行剪切特征,又显示具有左行剪切性质。但依据定向标志将其恢复为野外原始产状,则均指示了剪切带上盘沿拉伸线理向下滑移的运动性质。

综合上述,石门-薛家庄韧性剪切带的宏观剪切指向标志反映剪切带兼具正滑运动和平移滑动的特征,微观剪切指向标志则反映了剪切带上盘下滑的运动特征。若将这些特征与拉伸线理的三组倾伏方向结合起来分析,那么即显示出该韧性剪切带曾经历过

三期不同性质的剪切运动,即正-左行平移运动(拉伸线理倾伏方向 284°)、正-右行平移运动(拉伸线理倾伏方向 50°)及左行正滑运动(拉伸线理倾伏方向 12°)。六汪弧的特征进一步说明了该剪切带的主要运动性质为正-右行平移,后期曾遭受正-左行平移运动的强烈改造,因此发育了大量向NWW倾伏的拉伸线理,而左行正滑运动则为该剪切带中较弱的一次剪切变形。

值得注意的是石门-薛家庄韧性剪切带的石门-后立柱段主要显示了左行正滑运动性质^①。而位于胶南隆起西北边缘,石门之西,且与石门-薛家庄韧性剪切带遥相对应的小卜落崮韧性剪切带(应是石门-薛家庄剪切带的西延部分,二者被中生代地质体分隔)却具有明显的左行平移性质^②。也就是说,该韧性剪切带具有明显的区域分段性,即东段(后立柱-薛家庄以正-右行平移为主,中段(石门-后立柱)具左行正滑特征,西段(小卜落崮)为左行平移性质。剪切带的这种变形分段性反映了它可能是造山带边缘的一条大型隆-滑型韧性剪切带^②。

2 韧性剪切带的构造岩特征及变形环境

2.1 构造岩的类型及形成环境

组成石门-薛家庄韧性剪切带的构造岩主要有变余糜棱岩、糜棱岩、超糜棱岩及构造片岩等,它们的变形特征及由其反映的岩石形成环境比较复杂,显示了多相韧性变形作用的特点。

糜棱岩、超糜棱岩主要由花岗质岩石改造而成。岩石中的石英发生了强烈的动态重结晶作用,形成丝带构造或纹理构造;钾长石呈残斑出现,具波状消光、亚晶粒构造,显示脆韧性变形特点;斜长石则分解成钠长石+白云母+绿帘石集合体。上述矿物变形特征表明构造岩形成的温度条件高于石英的固流限,低于或接近于钾长石的固流限,即 $300^{\circ}\text{C} \leq T \leq 450^{\circ}\text{C}$,相当于低绿片岩相的温度条件。由二长石温度计估算糜棱岩的形成温度为 361.36°C ^②。

变余糜棱岩、构造片岩分别由变质花岗岩、变质沉积岩及变质基性岩改造而成。由变质花岗岩和变质沉积岩改造成的构造岩,具强烈的重结晶作用,基质粒径 $0.1 \sim 0.3\text{mm}$,是糜棱岩基质粒径的 $2 \sim 6$ 倍,岩石中石英、斜长石均呈动态重结晶的多晶条带分布,这种特征表明构造岩形成的温度高于斜长石的固流限,即 $T > 500^{\circ}\text{C}$ 。由基性岩改造成的构造岩中,角闪石有明显的韧性变形现象,说明构造岩形成的环境达角闪岩相。由构造岩中变形斜长石-角闪石矿物对估算的岩石形成温压条件为: $P = 0.3 \sim 0.35\text{PGa}$, $T = 450 \sim 520^{\circ}\text{C}$ ^②。总之,石门-薛家庄韧性剪切带曾遭受过低绿片岩相-角闪岩相的多相韧性变形作用。

2.2 韧性变形过程中构造岩的变化

石门-薛家庄韧性剪切带的剖面结构具对称式分布的特点,其中心部分由强变形的

① 山东省地矿局第八地质队,1995年,1:5万日照等六幅区域地质调查报告。

② 山东省地质调查研究院,1996,1:5万胶南、五台幅区域地质调查报告。

超糜棱岩、变余糜棱岩组成,向两侧变形程度逐渐减弱,其北侧渐变为斑纹状(初)糜棱岩,南侧则变为变余糜棱岩化石岩及片麻岩(图 5)。

在穿过剪切带的横剖面上,构造岩的结构变化具有明显的规律性,即随着变形程度增强,构造岩中主要矿物粒径渐趋减小。由图 5 可以看出,从片麻岩带→弱变形带→强变形带,构造岩中石英、钾长石、斜长石的粒度曲线具有逐渐降低的趋势,且在强弱变形带的分界附近均有一个小的变化“台阶”。石

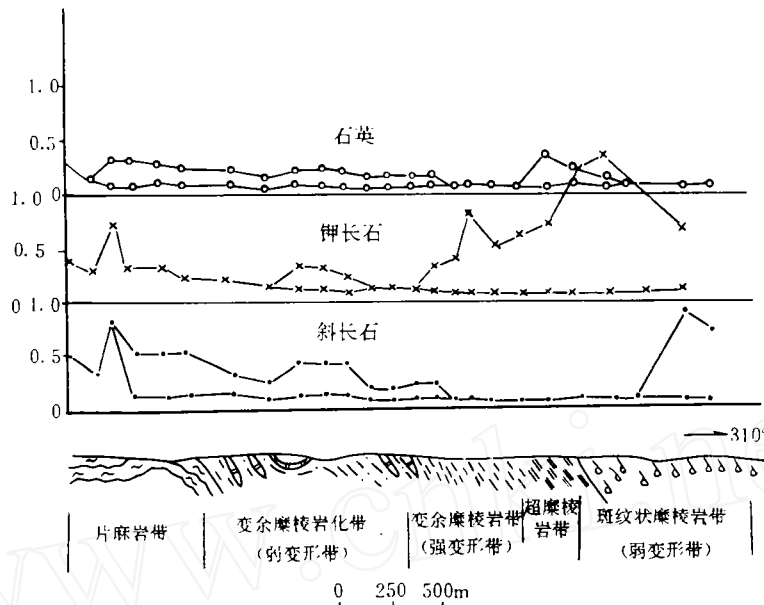


图 5 石门—薛家庄韧性剪切带结构变化剖面及矿物粒度变化曲线
Fig. 5 Structure variation profiles and mineral grain size curve in the Shimen-Xuejiazhuang ductile shear zones

英与斜长石在弱变形带中具双峰式粒度分布特征,而在强变形带中粒度分布则较均匀,这种特征与强变形带中发生了完全的石英动态重结晶作用(形成多晶条带)及斜长石变质分解作用(形成钠长石+白云母+绿帘石微粒多矿物条带)有关。钾长石在弱变形带中无明显的韧性变形现象,粒度比较均匀;但在强变形带中则因动态重结晶作用而具有双峰式粒度分布特点。在后一种情况下,随着变形作用增强,矿物的粗粒部分逐渐减少,但没有消失,这说明钾长石的动态重结晶作用是不彻底的。

韧性变形过程中构造岩的矿物化学成分也有变化,糜棱岩中长石(样号 P_{1b7})的电子探针分析结果见表 1,以下变化规律值得注意:(1)钾长石残斑所含的钠长石组分,具有边缘含量高(Ab=22.22)而中心含量低(Ab=5.30)的特点;(2)钾长石残斑边缘常被微粒新生钠长石环绕构成“核幔”构造,其高压应力端(短轴方向)的新生钠长石比低压应力端(长轴方向)更富钠长石分子,二者钠长石含量分别为 98.09 和 94.84;(3)钠长石+绿帘石+白云母复晶条带中的钠长石(Or=0.99,An=1.96)比钠长石单晶条带中的钠长石(Or=1.53,An=1.96)所含的钾长石组分较少,而钙长石组分则较多。这表明钾长石与斜长石在韧性变形过程中均向钠长石转化,应力越大转化越彻底。斜长石在转化过程中多形成钠长石+绿帘石+白云母复晶条带,而钾长石则形成较干净的钠长石多晶条带。

表1 糜棱岩中长石电子探针分析结果(ω_B%)

Table 1. Electroprobe analysis of feldspar in mylonite

矿物	钾长石		斜长石			
	边缘	中心	钾长石 高压应力 端边缘	斜长石 低压应力 端边缘	复晶 条带	单晶 条带
SiO ₂	64.28	63.90	67.96	67.08	67.89	67.57
TiO ₂	微量	微量	微量	0.13	0.16	微量
Al ₂ O ₃	18.23	18.35	19.96	20.24	19.86	19.37
<FeO>	微量	微量	微量	微量	微量	0.40
MnO	微量	微量	微量	微量	微量	微量
MgO	微量	微量	微量	微量	微量	微量
CaO	0.14	0.12	0.25	0.96	0.60	0.41
Na ₂ O	2.64	0.63	11.85	10.84	11.52	11.17
K ₂ O	13.93	17.01	0.14	0.09	0.18	0.27
Sum	99.21	100	100.16	99.34	100.21	99.19
以8个O为基础的阳离子数						
Si	2.983	2.975	2.970	2.953	2.967	2.984
Ti	0.000	0.000	0.000	0.004	0.005	0.000
Al	0.997	1.007	1.028	1.050	1.023	1.008
Fe ²⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.007	0.006	0.012	0.045	0.028	0.019
Na	0.238	0.057	1.004	0.925	0.976	0.956
K	0.825	1.010	0.008	0.005	0.010	0.015
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
端元组分						
Or	77.13	94.14	0.76	0.52	0.99	1.53
Ab	22.22	5.30	98.09	94.84	96.24	96.51
An	0.65	0.56	1.14	4.64	2.77	1.96

注:①<FeO>为电子探针分析的全铁含量;
②Sum为氧化物总量;③样号P₁b7。

4 结 语

石门-薛家庄韧性剪切带为一条多期多相韧性剪切带。其东段、中段及西段分别以正-右行平移、左行正滑及左行平移为主^①。剪切带的横向分带性也很明显,石英、斜长石、钾长石等主要造岩矿物的粒度变化与剪切带变形强弱密切相关。除以上特征外,在韧性变形过程中斜长石、钾长石均向钠长石转化,应力越大转化越彻底。

3 韧性剪切带的应变分析

剪切应变主要造成石英的拔丝拉长及长石、角闪石、石榴石的旋转定向。石门-薛家庄韧性剪切带中旋转碎斑系常具不对称结晶尾,可用来判断剪切运动方向,表明变形机制属简单剪切。

对剪切带中的应力敏感矿物——石英用主轴比法进行应变测量,估算其变形机制属简单剪切与压扁变形共存的复合机制^①。

构造岩中的条带状石英经组构测量表明:石英组构图为交叉环带、单斜对称组构(图6)。反映了该韧性剪切带的变形机制为非共轴应变。通过对比发现本区的石英组构图与I型交叉环带型相似^[3],位于付林图解的K=0.67~1.5平面应变区间。

石英组构的极密位置,可以反映其变形的滑移系。石门-薛家庄韧性剪切带之石英组构图中既有Z轴极密又有Y轴与X轴极密,图6-C中还见有三种极密形式共存的现象,说明变形的滑移系既有底面滑移又有柱面和菱面滑移,形成的环境从低温—高温均有。这从另一个侧面证实了该剪切带为一条多相叠加的韧性剪切带。

① 山东省地质调查研究院,1996,1:5万胶南、王台幅区域地质调查报告。

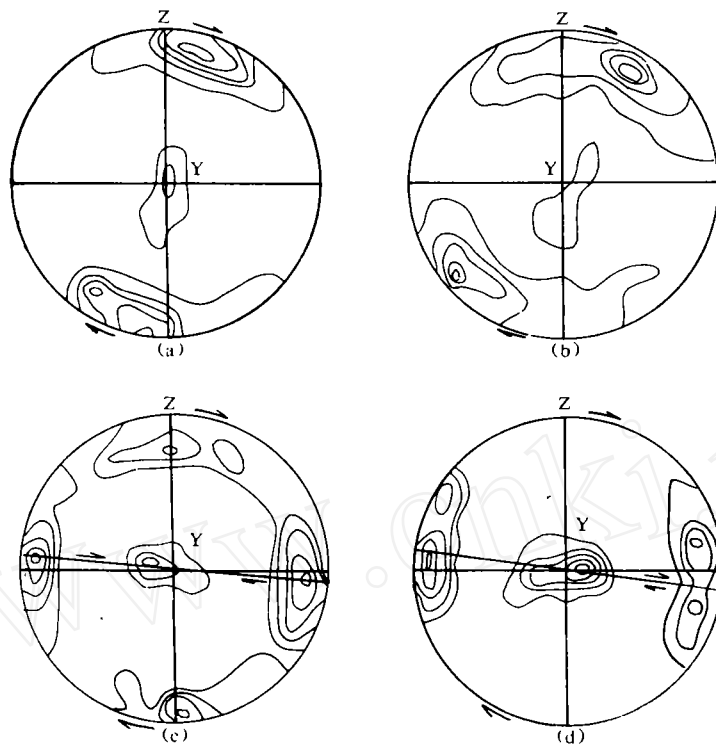


图 6 石英 C 轴组构图

Fig. 6 C-axis fabric diagram of quartz

参 考 文 献

- 1 顾德林,张长厚,陈建强等著.胶南隆起北部地质构造特征及其演化.武汉:中国地质大学出版社,1996.96—103.
- 2 杨振升,李三忠,刘永江.大陆造山带中的隆—滑构造.长春地质学院学报,1995,25(4):361—367.
- 3 李江风.变形石英结晶优选方位极密类型研究及其地质意义.地质科技情报(中国地质大学),1988,7(2).

SHIMEN – XUEJIAZHUANG DUCTILE SHEAR BELT IN THE NORTH MARGIN OF JIAONAN UPLIFT

Song Mingchun and Ma Wenbin

(*Shandong Geological Survey Institute*)

Abstract

Shimen – Xuejiazhuang ductile shear zone spreads in the south of the Shanxiangjia – Haoguanzhuang fault and has a strike of 60° in NE. It is about 60km long and 0.5~3.5km wide, and comparable with the Xiaopuluogu ductile shear zone. According to the macroscopic and microcosmic shear symbols, the shear zone has experienced three shear movements: normal right – handed strike – slip (the direction of plunge of extension lineation is 284°), normal right – handed strike – slip (the strike extension lineation is 50°) and left – handed normal slip (the strike of extension lineation is 12°). The shear zone shows a distinct longitudinal segmentation, and different segments have different movement and deformation features.

The tectonite types of the ductile shear zone are very complex. The characteristic of the tectonites show that the ductile deformations of low – greenschist – amphibolite, and the distinct transversal zoning of the shear zone is very clear, showing the characteristic of symmetric shear zone. In the transverse crossing the ductile shear zone, the textures of the tectonites are changed regularly, i. e. , the grain size of quartz and plagioclase has a bimodal distribution pattern in the weakly – deformed zones, quartz and plagioclase grains are fine and homogeneous in the strongly zones; the grain size of K – feldspar is coarse and homogeneous in the weakly – deformed zones, but has a bimodal distribution in the strongly – deformed zones. Both the K – feldspar and plagioclase have been transformed to albite during the ductile deformation, and the higher the strain is, the more complete the transformation.

The deformation mechanism of the ductile shear zones is the simple shearing of plain strain, and the quartz glide system is either of basal glide, or prismatic glide and rhombohedral glide.