

浙西南前寒武纪变质岩中 韧性剪切带的研究

李福佩 董传万 王宏伟

(浙江大学地科系)

提 要 浙西南前寒武纪变质岩中有七条较大规模的韧性剪切带,它们主要呈 NE 或 NNE 向展布,发育在八都群和龙泉群中。笔者主要对其中的两条——法严寺剖面和高亭剖面进行了研究,得出以下结论:a、根据宏观地质考察和利用镜下各种不对称显微构造确定本区韧性剪切带的运动指向为左旋,与江绍断裂的指向一致,后期有脆性变形;b、利用石英动态重结晶颗粒估算古应力值:法严寺为 94.3MPa,高亭为 86.4MPa;c、糜棱岩带不仅是变形带,而且是变质带。根据糜棱岩中的矿物共生组合和显微构造的组合分析,推断其形成环境相当于绿片岩相。

关键词 韧性剪切带 前寒武纪变质岩 古应力值 矿物组合

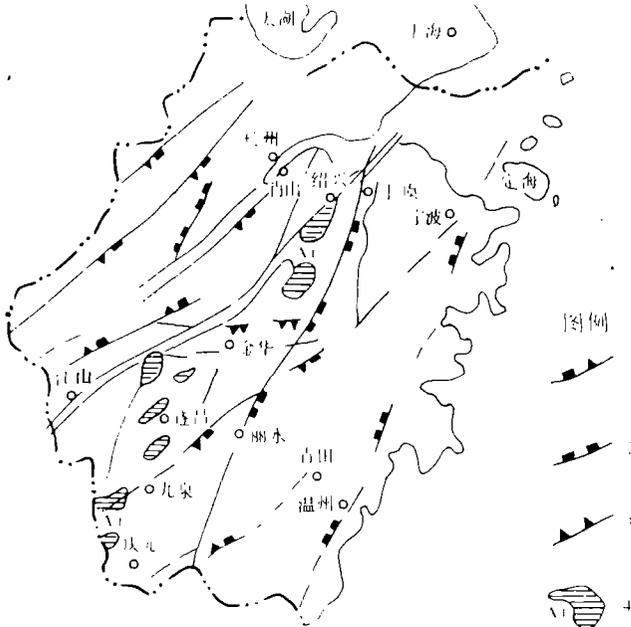
1 前 言

浙西南遂昌、龙泉、庆元一带分布了大片变质岩系(图 1),该变质岩系时代较老,受到过多次变质作用、构造运动和岩浆活动的改造。该变质岩系由八都群和龙泉群两套不同的区域变质岩石组成。根据同位素资料,八都群属早元古宙,主要为片麻岩系;龙泉群属中元古宙,主要为片岩系^[1]。

在这套变质岩系中,发育有大型的韧性剪切带。据浙江省第七地质大队资料,浙西南较大规模的韧性剪切带有七条。韧性剪切带是变质岩区重要的控矿和导矿构造,许多重要的 Au、Ag、Cu、Pb、Zn 等金属矿床都与韧性剪切带的长期活动有关。同时,韧性剪切带还常常是不同构造单元的边界。因此,韧性剪切带的发现和研究,对探讨浙西南变质变形地体的地质演化与成矿作用都有十分重要的理论意义和现实意义。

前人对该变质岩系的岩性组合、区域构造、岩浆活动等方面进行了较为详细的研究,取得了大量可靠的资料,并提出了一些新观点。但对本区韧性剪切带的岩石学、显微构造、变质变形及其与金属矿床的关系等方面的报导则较少。本文主要对龙泉查田—法严寺一带的韧性剪切带和松阳高亭一带的韧性剪切带进行研究。

法严寺韧性剪切带出露于龙泉地区查田—溪口—法严寺一带,总体走向 NNE,出露宽度约 1~1.5km,卷入该带的岩系主要为龙泉群万山组地层,西缘往往隔花岗岩类与八都群接壤,东缘与龙泉群呈渐变过渡接触,或为第四系掩盖,有的地段则直接与晚侏罗世(J₃)火山岩系为



图例说明:1.华夏系构造 2.新华夏系构造 3.东西向构造 4.变质岩区

图1 浙江构造体系图(据浙江省构造体系图说明书)

Fig. 1 Structural map of Zhejiang

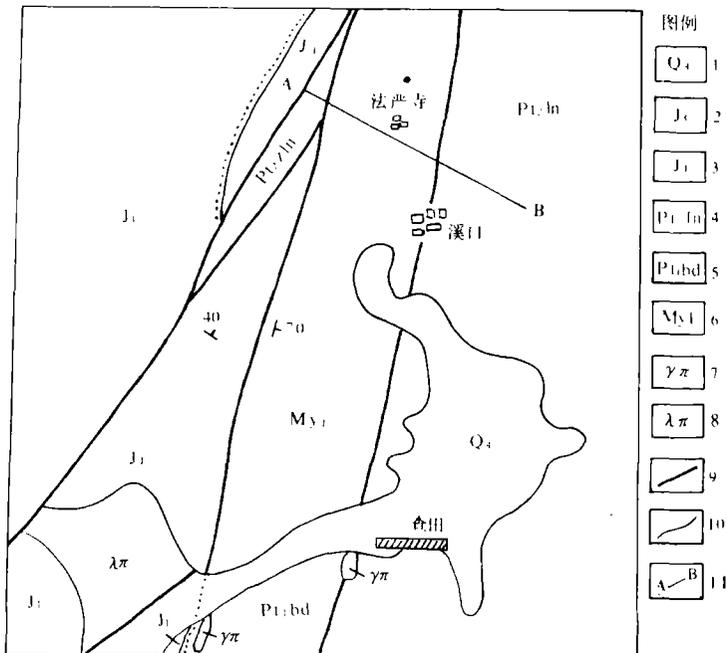
邻(图2)。

高亭韧性剪切带出露于遂昌地区高亭一带,走向 NE,宽度 > 500m,发育在八都群变质岩中(图3)。该剪切带的西侧于侏罗纪以后推复在早侏罗世(J₁)变质砂岩之上(图4)。

2 韧性剪切带中岩石学及主要矿物显微特征

2.1 岩石学特征

两条剪切带中的构造岩发育,岩石类型相似,可分为碎裂岩系列和糜棱岩系列两大类,以后者为主。糜棱岩带边部为糜棱岩化片麻岩,中心部位为糜棱岩和超糜棱岩(变晶糜棱岩,千糜岩)。常见类型为:



图例说明:1.第四系 2.上侏罗统磨石山组 3.下侏罗统枫坪组 4.上元古界龙泉群 5.下元古界八都群 6.韧性剪切带 7.燕山期花岗岩 8.石英斑岩,流纹斑岩 9.断层 10.地质界线 11.剖面线位置

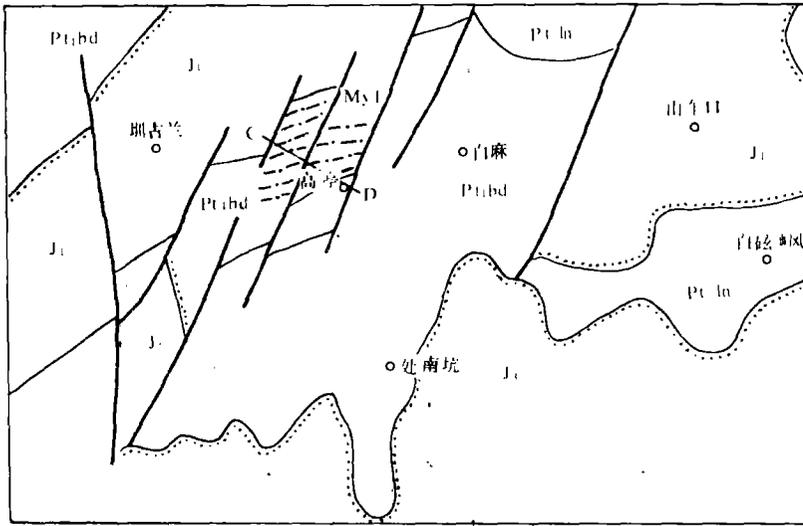
图2 浙西南龙泉溪口—查田区域地质简图

Fig. 2 Sketch of geology of Xikou—Chatian region in the Southwest Zhejiang

糜棱岩化片麻岩:鳞片粒状变晶结构,片麻状构造。主要成分为斜长石、石英、白云母,均呈定向拉长。斜长石绢云母化强烈,云母呈鱼状。局部视域岩石破碎为碎斑和碎基,碎斑具波状消光,颗粒间呈锯齿状接触,成分有斜长石和石英,碎基由细粒石英组成,围绕着碎斑,但尚未形成流状构造。

糜棱岩:具糜棱结构,碎斑含量为10~40%,粒度:0.1~0.5mm,以斜长石为主,斜长石已绢云母化。有少量条纹长石和极少量石英。碎基为石英,拉长成拔丝状,流动构造明显。黑云母已绿泥石化。

超糜棱岩:长石残斑数目减少到<10%,粒度减小到0.1mm左右。石英为碎基,拉长成拔丝状,有明显的流动构造;难变形的长石也呈定向排列,形成明显的显微分层现象。岩石退变质产生大量绢云母,有的已形成大片白云母,在糜棱结构中出现S-C面理。



图例 J₁ 1 J₁ 2 Pt₁bd 3 Pt₁a 4 My₁ 5 6 7 8

图例说明:1.上侏罗统火山岩 2.下侏罗统变质砂岩 3.上元古界龙泉群 4.下元古界八都群 5.韧性剪切带 6.断层 7.不整合 8.剖面线位置

图3 遂昌高亭韧性剪切带平面图

Fig. 3 Plan of Gaoting ductile shear zone, Suichang

干糜岩:具干糜结构。重结晶作用明显,基质中富含绢云母,使岩石呈现丝绢光泽。碎斑<10%,有少量大片白云母。

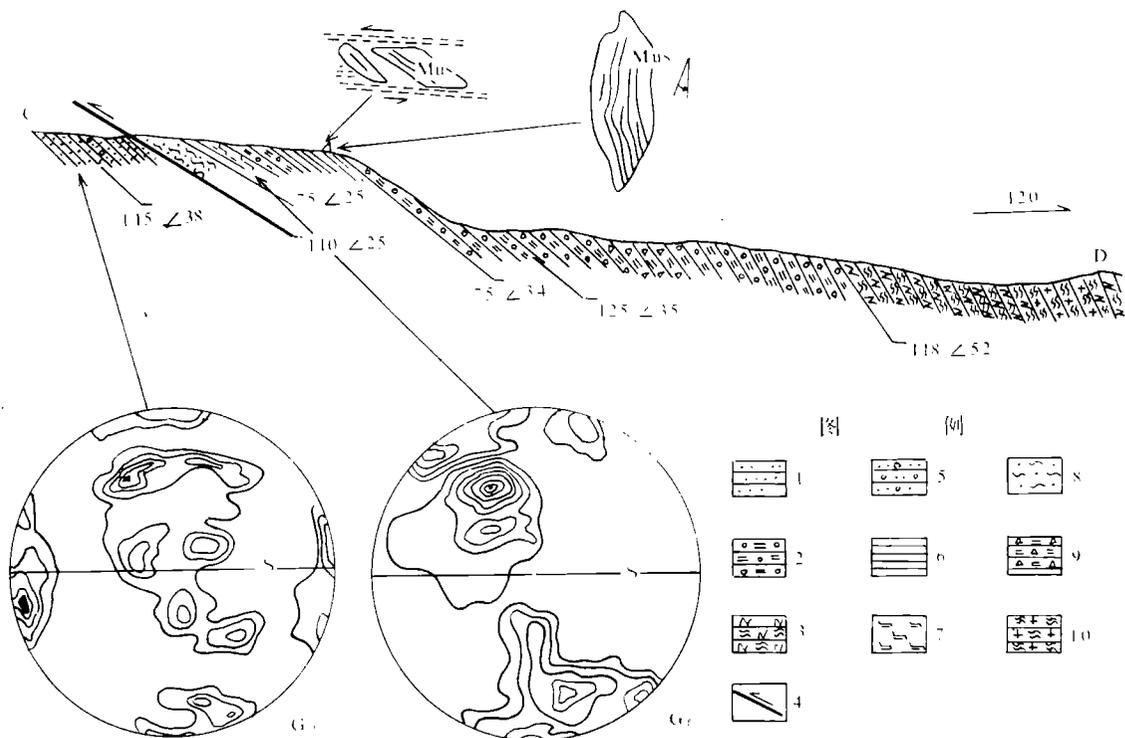
变晶糜棱岩:具变余糜棱结构。石英、斜长石相间排列,石英定向拉长,长短比为15:1,示矩形边结构,反映岩石形成糜棱岩以后又进入静态重结晶。

在糜棱岩带形成后发生脆性破裂,糜棱岩破碎成角砾(照片1),片麻岩形成碎裂岩、碎粒岩。

法严寺剖面后期有方解石细脉穿插。

2.2 主要矿物显微特征

在法严寺和高亭剪切带中主要为长英质糜棱岩,其主要矿物为石英、长石和云母。由于它



图例说明: 1. 石英砂岩 2. 糜棱岩 3. 混合岩化片麻岩 4. 推复构造 5. 含砾石英砂岩 6. 超糜棱岩 7. 变晶糜棱岩 8. 糜棱岩化片麻岩 9. 碎裂糜棱岩 10. 混合花岗岩

图 4 遂昌高亭韧性剪切带剖面图

Fig. 4 Section of Gaoting ductile shear zone

们的能干性差异,在塑性变形中具有不同的特征。石英属韧性物质,它通过扩散蠕变和位错蠕变机制发生塑性流动。在韧性剪切过程中,变形先是颗粒压扁,出现波状消光、带状消光。随着进一步变形,石英拉长成缎带状,粒内发育亚颗粒,边缘发育动态重结晶颗粒。动态重结晶作用由石英缎带的边缘向中心发展,使整个缎带全部为细小重结晶颗粒所替代,最后缎带轮廓全部消失(照片 2)。

长石则具有刚性特征,在糜棱岩化岩石中常呈脆性破裂。随着糜棱岩化的增强,显示波状消光,眼球状外形以至边缘出现动态重结晶,形成核幔构造等韧性变形现象。

云母在塑性流变中则表现为波状消光、解理纹弯曲和扭折。

3 韧性剪切带的运动学特征

在剪切带中变形岩石多为简单的剪切变形,它具有非共轴变形的特点,其变形构造多具单

斜对称或递进变形特征。因此,应用变形构造的不对称性作为判据,能够有效地解决研究区局部或区域性构造变形的运动学性质和变形机制。在显微构造与组构上可供判别的运动学证据主要有:

3.1 S—C 面理

在一定变形程度的岩石中,S—C 面理很容易在肉眼下识别。通常,细小绢云母片排列的方向是剪切面 C,石英变形长轴方向或大片云母的片状方向都是拉伸面理 S 的方向。在平行线理、垂直面理的切片上,很容易看到 S 和 C 面理,并能测出它们之间的夹角。S 与 C 所成锐角的指向为 C 面对盘运动的方向(照片 3)。

3.2 旋转碎斑系

通常由长石碎斑构成核,变形的细粒石英构成结晶尾,碎斑和结晶尾总称碎斑系。

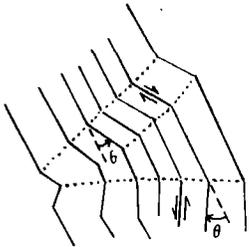
法严寺剖面中碎斑系特别发育(照片 4)。

3.3 鱼尾构造

是一种特殊的 S—C 构造。变晶的云母常呈“鱼”形,在 S 面上“鱼”的形体较宽,“鱼”头和“鱼”尾都向 C 面靠拢,两者夹角指示剪切运动方向(照片 5)。

3.4 扭折的外旋转

变形前的矿物因受顺滑移面的挤压而成弹性弯曲,同时有层间滑移,若局部折断失去弹性就产生扭折。云母有一组极完全的解理,可以沿解理发生错动产生扭折(图 5)。法严寺和高亭剖面中云母都有扭折现象(照片 6)。



说明:直箭头示内旋转方向,弯箭头示外旋转方向, θ 为外旋转角,实线为滑移面,点线为扭折壁

图 5 云母解理纹的扭折(据刘瑞恂)

Fig. 5 Contoured joints in mica

3.5 石英组构的不对称性

石英 C 轴组构在简单剪切递进变形过程中,常常表现为不对称的极密和环带,这种组构和物质的运动轴及应变轴之间往往有密切的联系。

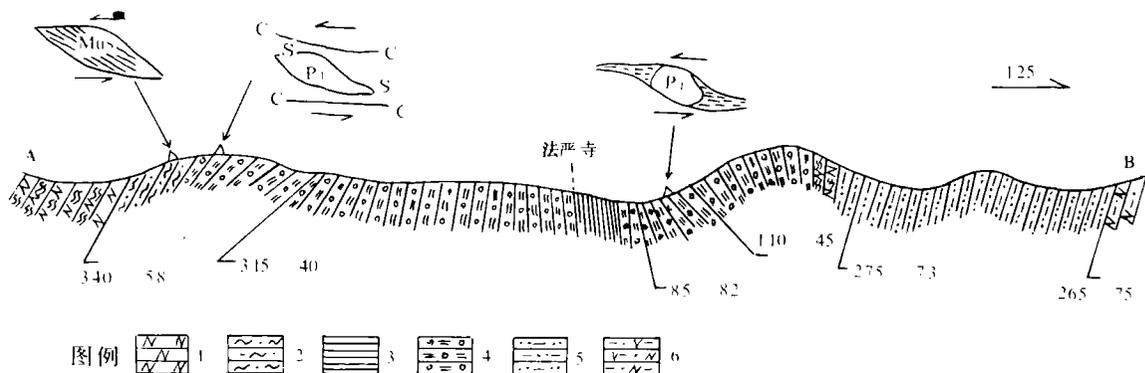
理论和实际研究表明:在递进简单剪切变形过程中,矿物最终要达到稳态方位,其优选方位的对称性与应变的对称性相关,利用优选方位型式的不对称性可判断剪切指向。优选方位型式的不对称性包括方位型式整体的不对称性及极密分布的不对称性。不对称的点极密、单环带(大圆环带)或交叉环带,都可作为剪切指向的判别标志。对于单环带,可利用其相对于 S 面极点偏向剪切指向一侧的准则来判别运动方向;对于非对称交叉环带,则可利用主环带与次

环带间的关系判别剪切指向(主环带是指连续的或扭折程度较低的环带,次环带是指扭折程度较大的环带),主环带一般偏向于剪切指向一侧。

根据镜下不对称显微构造确定法严寺和高亭韧性剪切带的剪切指向为左旋(图 6、4)。

南京大学地科系施建宁、许同春等对查田—溪口韧性剪切带(即法严寺剖面)进行磁组构研究认为,该剪切带受来自南东方向力的作用,指示了左旋运动^[2]。

在高亭剖面西侧,变晶糜棱岩(原岩为片麻岩)推复在早侏罗世变质砂岩之上(图 4),推复



图例说明:1.弱糜棱岩化混合片麻岩 2.糜棱岩化片麻岩 3.超糜棱岩 4.糜棱岩 5.变粒岩 6.混合岩化变粒岩

图 6 龙泉法严寺韧性剪切带剖面图

Fig. 6 Fayanshi ductile shear zone section

面产状为 $110^{\circ} \angle 25^{\circ}$ 。我们在推复面的上下盘变晶糜棱岩 (G_5) 和变质砂岩 (G_1) 中分别采集了定向标本, 在室内切制了定向薄片, 并在弗氏台上测定了薄片石英光轴 100 粒, 绘制成石英光轴方位图 (图 7, 8)。

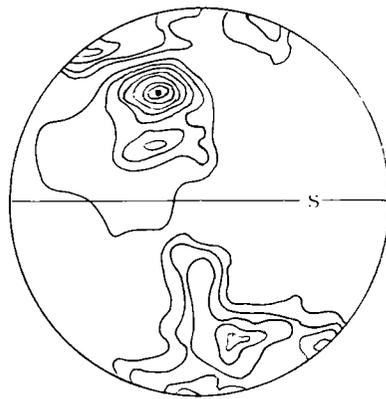
从变晶糜棱岩的岩组图看, 极密部 $> 10\%$, 受糜棱理所控制, 石英沿底面滑动。糜棱岩形成后受燕山运动影响, 推复在侏罗纪 (J_1) 变质砂岩之上。



说明:等密线:0-1-2-3-4->5, 极密部: >5%, 100 次测定

图 7 变质砂岩的石英光轴方位图 (G_1)

Fig. 7 Orientation of optical axes of quartz in meta-sandstone



说明:等密线:0-1-2-3-4-5-6-8->10, 极密部: >10%, 100 次测定

图 8 片麻岩的石英光轴方位图 (G_5)

Fig. 8 Orientation of optical axes of quartz in gneiss

变质砂岩的岩组图显示极密部 $>5\%$,说明砂岩形成后受燕山运动影响,岩石中的石英颗粒也显示塑性变形,其光轴也呈定向排列,只是极密程度不高。

在变晶糜棱岩和变质砂岩形成后,受推复影响,靠近变质砂岩的变晶糜棱岩,其产状由南东倾转为北东倾,它们的极密部位置也有了移动,且均示左旋运动。

我们根据 G_5 、 G_1 岩组图中的单环带,利用其相对于 S 面极点偏向剪切指向一侧的准则来判断运动方向,则无论是八都群变晶糜棱岩,还是侏罗纪变质砂岩均偏向 S 面(推复面)一侧,指示了左旋运动,与宏观所见一致。

4 法严寺、高亭剖面韧性剪切带中古应力值的估算

目前用作古应力计的测试依据有位错密度、亚晶粒度和动态重结晶粒度。利用透射电镜测位错密度要在高压下进行,设备较昂贵,使用一次的代价较高,本区韧性剪切带中石英一般以碎基方式存在,亚晶粒不太多。因此我们采用以石英动态重结晶的粒度来估算古应力大小。其经验公式为:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = 5.56 \times D^{-0.68} \text{ (Twiss, 1977)}$$

式中 D ——石英动态重结晶的粒度,单位为 μm 。但显微镜下测定矿物的粒度总比实际的粒度小,因为薄片不一定切在所有球形矿物颗粒的大圆上,而且原来等粒的矿物集合体也会因切片关系,切成不等粒集合体的薄片。因此,所测得的粒度要乘上一个系数才接近原始粒度,通常乘以 1.5 以校正^[4]。

据统计:法严寺剖面 $F_{4,3}$ 中石英动态重结晶的粒度平均值为 $9.05\mu\text{m}$,高亭剖面 G_{14} 中为 $10.56\mu\text{m}$,得出法严寺剖面的古应力值为 94.3MPa ,高亭剖面为 86.4MPa 。

5 剪切带中物质成分的变异

变质和变形是密切相关的,糜棱岩带不仅是变形带,而且是变质带。K. Brodie 等(1985)专门研究了变质和变形的关系,他们指出:变形使晶体构造改变,增加了晶体内缺陷密度和化学能梯度,因而增强了扩散速度;变形使粒度变细,增加了颗粒反应面积;变形增强了岩石的渗透性;局部快速变形产生剪切热。这样,伴随着变形作用,岩石和矿物中形成一定的应力梯度和化学浓度梯度,为流体及组分的运动提供了驱动力,开辟了通道。

变形还能使岩石内增加微裂隙,水通过裂隙能和更多的矿物接触,由水分解出来的氢氧根,在 380°C 以上的温度时,能进入硅酸盐晶格,使架状硅酸盐矿物变为层状硅酸盐矿物,并使层状硅酸盐矿物的易滑动面(001)转向与剪切面平行的方向,使糜棱理连续性愈好,进一步滑动也愈容易。

从表 1 分析,糜棱岩中碎斑的矿物组合基本上代表了原岩(主要为片麻岩)的矿物组合,而基质的组合基本上代表了糜棱岩的组合。伴随糜棱岩化作用,岩石的矿物成分发生了规律性的

变化,斜长石由中长石变为更长石,且已绢云母化,黑云母绿泥石化,后期尚有大量方解石细脉穿插,都表明原岩(八都群原属角闪岩相,龙泉群为高绿片岩相)已退变为低绿片岩相。从韧性剪切带的显微构造研究,斜长石、钾长石多以残斑形式出现;黑云母扭折;石英缎带发育且普遍具有动态重结晶颗粒等,这样的显微构造组合,也说明其形成环境相当于绿片岩相至低角闪岩相^[5]。

表1 韧性剪切带中长英质糜棱岩的矿物组合

Table1 Mineral association of felsic mylonite in ductile shear zone

地点	碎斑	碎基
法严寺	P1+Q+Bi+Mus	Q+Ser
	P1+Per+Bi	Q+Ser+Chl
	P1+Q+Mus	Q+Ser
高亭	P1+Bi+Mus	Q+Ser+Chl
	P1+Mic+Mus+Bi(+Q)	Q+Ser+Chl

6 结 语

a、浙西南龙泉、遂昌地区的韧性剪切带呈 NE—NNE 向分布。法严寺剖面主要发育在龙泉群中,高亭剖面主要发育在八都群中。

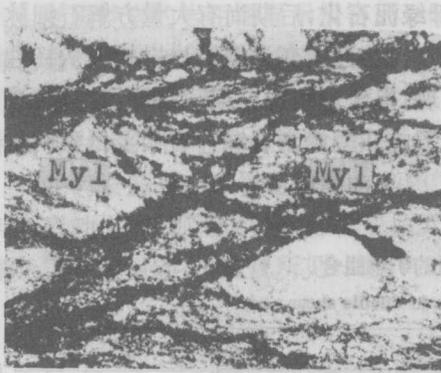
b、利用镜下各种不对称显微构造指示本区韧性剪切带的运动指向为左旋,后期有脆性变形。

c、利用石英动态重结晶颗粒估算应力值:法严寺剖面为 94.3MPa,高亭剖面为 86.4MPa。

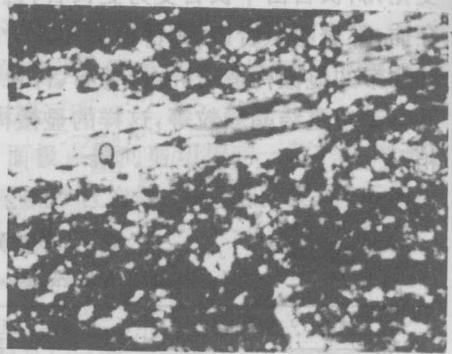
d、根据糜棱岩中的矿物共生组合和显微构造的组合分析,推断该韧性剪切带形成环境相当于绿片岩相。

参考文献

- 1 浙江省第七地质大队. 浙西南前寒武纪地质(未刊稿). 1989
- 2 施建宁,许同春. 浙闽碰撞造山带中剪切带的磁性组构与碰撞动力学的研究. 南京大学学报,1990,26(1)
- 3 李福佩,董传万,等. 浙北陈蔡地区韧性剪切带的研究. 浙江大学学报,1991,(6)
- 4 刘瑞恂. 显微构造地质学. 北京大学出版社,1988
- 5 钟增球,等. 豫西秦岭造山带核部韧性剪切带岩石学研究. 地质学报,1990,(2):122~129



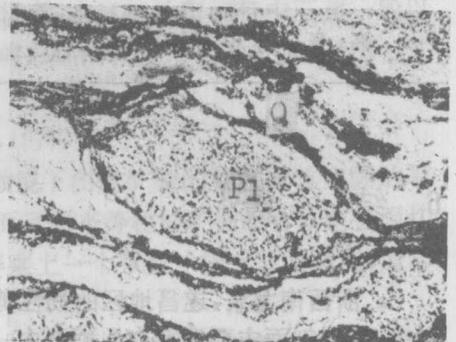
照片1 糜棱岩(MY₁)形成后又破碎成角砾
正交偏光 ×100



照片2 石英(Q)拉长成缎带状,边缘发育动态重结晶颗粒 正交偏光 ×100



照片3 由白云母(Mus)组成的叶理面S和由细粒石英组成的剪切条带C之间的夹角示左旋运动
正交偏光 ×100



照片4 由斜长石(Pl)碎斑和细粒石英(Q)组成的旋转碎斑系示左旋运动 正交偏光 ×100



照片5 白云母(Mus)受剪切作用形成云母鱼,示左旋运动 正交偏光 ×100



照片6 白云母(Mus)遭受扭应力作用,超过弹性极限产生扭折 正交偏光 ×100

THE RESEARCH OF DUCTILE SHEAR ZONE OF PRE-CAMBRIAN METAMORPHIC ROCK IN SOUTHWEST ZHEJIANG

Li Fupei Dong Chuanwan Wang Hongwei

(Zhejiang University)

Abstract

There are seven ductile shear zones developed in Precambrian metamorphic rock in southwest Zhejiang. They mainly extend from NE or NNE to SW or SSW and are developed in Badu group and Longquan group. The authors have researched on two of them along Fayansi section and Gaoting section.

Conclusions are made as follows:

1) The sense of the ductile shear is sinistral based on the investigation of the macroscopic geologic features and the asymmetric microstructures under microscope. Brittle deformation is appeared during later period.

2) The palaeo—stress values in the area are calculated by dynamic recrystallized quartz grain, 94.3 MPa in Fayansi and 86.4 in Gaoting.

3) Mylonite belt is not only a deformation belt but also a metamorphic belt. The performing environment is green schist facies inferred from mineral assemblage and microstructure association.