

# 内蒙古东五分子地区韧性剪切变质作用的特征

刘喜山 李树勋

张履桥

(长春地质学院)

(内蒙古地质研究队)

**主题词:** 糜棱岩; 韧性剪切变质作用; 单矿物型及组合型变形结构; 碎斑结构; D—B型及B—D型带; 共生矿物对

**提 要:** 东五分子地区花岗-绿岩地体经受了三种类型变质作用的改造。韧性剪切带不仅控制了区域变质岩组合的分布,而且也导致其变质作用的强度出现了逆转序列。根据岩石的结构、碎斑含量及矿物成分,韧性剪切变质岩\*划分为三类,其共同特点是具有碎斑结构。其变形结构分为单矿物型及组合型。同一块韧性剪切变质岩由处在单变平衡的一组矿物组成。根据岩石变形及重结晶的特点,结合其产状,确定出两种不同类型韧性剪切变质带。共生矿物对的研究证明它们形成于地壳不同深度及温度、压力条件。本区的金矿化、运移、沉淀与韧性剪切变质带紧密相关。

内蒙固阳县西部东五分子地区花岗-绿岩地体属晚太古代的区域变质岩系。绿岩带的下部以斜长角闪岩为主夹有角闪片麻岩、片状蛇纹岩、角闪岩及条带状磁铁矿石英岩;中部为斜长片麻岩、变粒岩为主夹有斜长角闪岩及少量云母片岩,上部为黑云变粒岩、浅粒岩夹有云母片岩、石英岩和少量大理岩。

不同变质成因的岩石组合的分布规律、矿物共生组合及转化关系和岩石组构等特征表明本区绿岩带经受了区域变质作用、韧性剪切变质作用和热接触变质作用的改造。区域变质作用是本区最早发生的变质事件,形成了从低绿片岩相到低角闪岩相的变质带。韧性剪切变质作用在研究区内十分发育,涉及的范围相当广泛。在空间上呈近东西向,宽约0.2—0.5km,长20—30km,带状分布,不仅控制着不同变质岩石组在空间上的分布,且导致区域变质作用强度呈现了逆转序列(图1)。剪切带的变形特点介于脆性与韧性之间。岩石组构及矿物组合均呈退变质特点。由于晚期钾质花岗岩浆的侵入,在局部地段又迭加了热接触变质作用。

## 一、韧性剪切变质岩的特点

韧性剪切变质岩的分类目前尚没有统一的方案及原则。其代表性岩石“糜棱岩”是Lapworth (1885)首次使用的,表示在应力作用下形成的一种脆性变形的岩石。但近来的研究认为:糜棱岩是在地壳较深的部位及较高的温度、压力下、岩石在应力作用下发生韧性变形和

\* 韧性剪切变质岩是指地壳上已存在的岩石,在韧性剪切作用下,经变形、重结晶或变质结晶作用形成具有新的矿物组合及独特组构的变质岩。

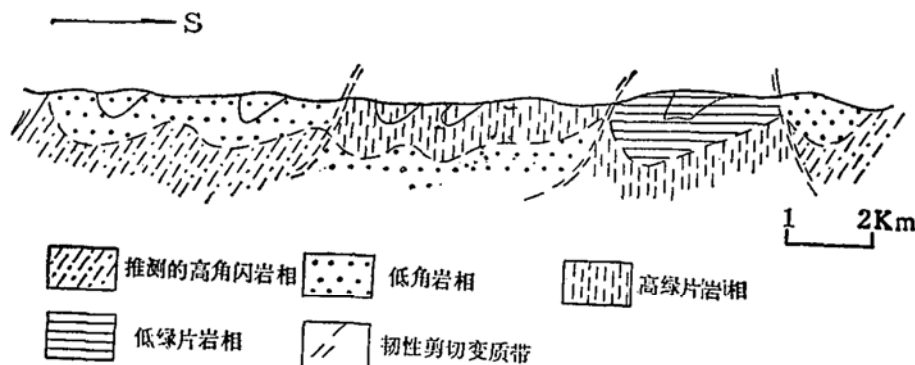


图1 东五分子地区区域变质相逆转序列图

Fig 1. Scheme for reversed series of regional metamorphic facies in the Dongwufenzi area

重组合作用的产物。根据韧性剪切变质岩的地质产状、矿物组合及组构特点,将其划分为三类:糜棱岩化岩石(碎斑含量 $>30\%$ )、糜棱岩(碎斑在 $30-10\%$ )和糜棱片岩(碎斑 $<10\%$ )。

**1. 糜棱岩化岩石:**该类岩石主要产在韧性剪切变质带的边部,以原岩成分为主,变形较弱,碎斑结构明显。在手标本上,细粒(或微粒)的基质集合体呈暗色的条纹或细条带。碎斑外形呈圆状,具定向排列,成分为石英、长石、角闪石,有时有云母及方解石等。镜下观察碎斑发育有各种变形结构。基质由石英、长石、绿帘石及片状矿物集合体定向分布构成。矿物拉伸不明显。

**2. 糜棱岩:**糜棱岩是确定韧性剪切变质作用存在的最重要的标志之一,多产在变形强烈的位置,碎斑结构及成分与前一类相似,而含量明显减少。在手标本上,碎斑多呈扁豆状,定向排列,有时可见有发生偏转现象;基质呈细粒集合体(或拔丝状)定向分布,构成糜棱叶理。叶理面比较平直,在暗色矿物较多或很少时,则出现一种似流动构造<sup>(1)</sup>。在镜下观察,岩石变质结晶结构及重结晶结构明显,碎斑韧性变形强烈。基质中矿物集合体及单个矿物均呈定向排列。矿物拉伸明显以致呈拔丝状。

**3. 糜棱片岩:**产生在韧性剪切变质带变形最强烈、重结晶明显的部位。碎斑结构少且不明显,其成分为石英、长石及角闪石等,碎斑粒度多在 $1-2.5\text{mm}$ ,呈小透镜体状断续地分布在基质中。基质矿物定向排列明显,构成糜棱片理或片麻理<sup>(2)(3)</sup>。在手标本上,如为长石质糜棱片岩,则呈纸(页)片状,片理面平直,暗色矿物在 $10-30\%$ ,且沿片理面分布,拉伸明显。若以暗色矿物为主时,与区域变质的片岩很相似,其区别主要在于前者含有沿片理分布的小碎斑及矿物的拉伸比较大( $L/H>10$ )。在镜下观察,碎斑韧性变形明显(如“S”型,螺旋型),基质为变晶结构(细粒粒状鳞片变晶结构),拔丝结构较发育。

本区韧性剪切变质岩,不论在手标本上、还是在镜下,均可在同一块岩石中发现两个世代的矿物。因而就其岩石总体矿物成分而言,并不是一个稳定的双变平衡组合,而是处在单变平衡状态下的一组矿物<sup>(4)</sup>。因而在确定韧性剪切变质岩的矿物组合时,是利用碎斑结构这一特殊组构结合变形及变晶组构的特点进行的。常见的代表性矿物组合列于表1。

表中矿物组合的变化说明韧性剪切变质作用表现为退化变质作用的特点且反应出体系不完全是一个封闭体系,如在铁镁质系列的岩石中,云母类矿物呈线状产在基质中,与阳起石、绿泥石一起定向排列,构成片理。因而至少可以说在这一转化过程中含钾的流体相参加了反应<sup>(5)</sup>。

表 1 东五分子地区韧性剪切变质岩的矿物组合

Table 1 Mineral assemblages of ductile shear metamorphic rocks  
in the Dongwufenzi area

| 区域变质的矿物共生组合<br>(碎斑)   |                   | 韧性剪切变质的矿物共生组合<br>(基质)                                                                                          | 岩石名称                               |
|-----------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 铁<br>镁<br>质<br>系<br>列 | Hb + Pl + Q       | Act + Cl - Chl + Ep + Pl + Q + Bi <sup>*</sup><br>Act + Ep + Ab + Bi + Q<br>Cl - Chl + Phen + Q + Cc + Bi + Ep | 阳起糜棱片岩<br>绿帘阳起糜棱岩<br>白云绿帘糜棱岩化斜长角闪岩 |
|                       | Hb + Q            | Cl - Chl + Ep + Act + Q + Bi                                                                                   | 绿帘绿帘阳起糜棱片岩                         |
| 长<br>英<br>质<br>系<br>列 | Pl + Q + Bi       | Ep + Ab + Phen + Q + Chl + Bi <sup>*</sup><br>Bi + Ep + Ab + Q + Cc + Phen                                     | 绿帘白云糜棱岩<br>黑云绿帘钠长糜棱片麻岩             |
|                       | Pl + Mic + Q + Bi | Phen + Q + Ab + Cl - Chl<br>Phen + Ab + Cc + Cl - Ch + Q                                                       | 绿帘白云糜棱岩<br>白云钠长糜棱岩                 |
|                       | Bi + Q ± Mus      | Cl - Chl + Phen + Q + Bi                                                                                       | 绿帘白云糜棱片岩                           |
|                       |                   |                                                                                                                |                                    |

\* 为电子探针分析的样品

## 二、韧性剪切变质岩的组构特征

碎斑结构普遍存在于韧性剪切变质岩中,这是与区域变质岩的主要区别之一。为了方便将变形结构又分为单矿物型和组合型。

## 1. 单矿物型变形结构

这类结构在韧性剪切变质岩内十分发育,对于研究变形的性质、强度及演化历史很有用处。常见有石英、角闪石及长石等矿物变形。

## 1) 石英的变形

除了脉石英外,石英在韧性剪切变质岩中以碎斑、变斑及基质形式出现。碎斑石英形态为椭圆状。在镜下除波状消光外,还常见有以下显微变形构造<sup>[6][7]</sup>:

a. 变形纹:碎斑石英尽管颗粒外形保持完整,但晶体内部构造已发生了变化,表现出同一颗粒中存在有不规则的细带(纹),近于平行分布,不同细带间消光位略有不同,边界隐约可见。多数情况下与糜棱叶理斜交(图2— a)。

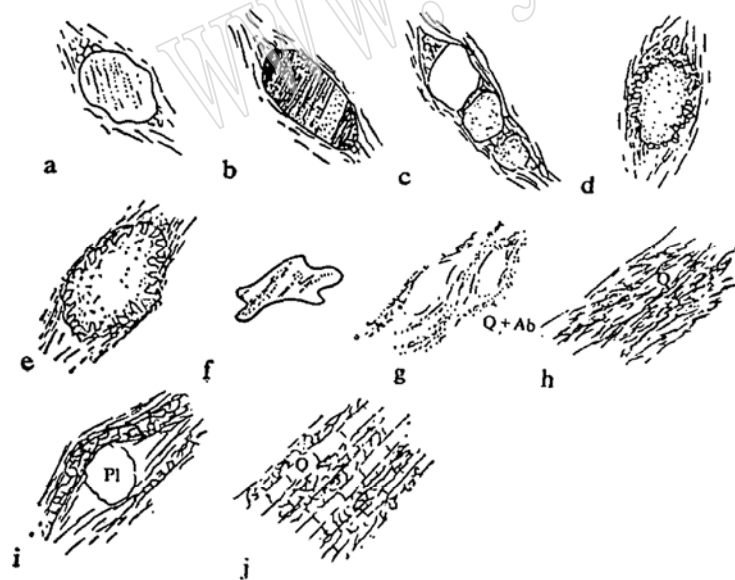


图 2 石英的变形图

Fig 2. Diagram for quartz deformation

a. 石英的变形纹 (YD-1); b. 石英的变形带 (ND-1); c. 石英的分离结构 (Yb-2); d. 石英的边部粒化 (Pb30); e. 石英边缘亚颗粒 (Pb62); f. 重结晶的石英变斑晶 (Nb1); g. 微-细粒石英集合体 (Pb52); h. 细粒石英条带 (Lw6); i. 细粒相嵌的石英条带 (Bn013); j. 板状石英的拔丝条纹 (Nb14-b)

b. 变形带: 碎斑石英具有类似于斜长石的聚片双晶, 但不及斜长石双晶清楚、连续及平直, 带的宽窄也有变化, 不同的带由于消光位的不同而分开。这种结构可能是由于剪切应力使晶体内部晶格发生滑动位错造成的 (图2—b)。

c. 分离结构: 在手标本上为碎斑, 在镜下观察则由几个颗粒所组成。消光位特点表明原系同一颗粒。在分离的石英颗粒之间有微粒重结晶的石英 (图2—c)。

d. 边部粒化: 碎斑石英的周围分布有微粒的不规则形态的石英颗粒。这是由于在应力作用下, 从原来颗粒的边部脱离下来而形成的 (图2—d)。

e. 边缘亚颗粒: 在碎斑石英的边缘出现了细粒石英, 其边界一部分与碎斑完全分开, 而另一部分则仍相连, 两者之间多数情况下其消光位有一定差异。但仍属于碎斑的一部分 (图2—e)。另外也见有碎斑石英内部表现出亚颗粒化, 特点是总体为一个颗粒, 但不同的亚颗粒其消光位不同。

石英变斑晶: 在手标本上与石英碎斑难以区分。在镜下观察, 石英变斑晶形态不规则、边界圆滑与基质界限为突变, 无细粒化现象 (图2—f), 为动态重结晶作用的产物。

基质中的石英, 随韧性剪切变质作用的加强, 其演化特点为由粉状石英集合体构成的条痕→细粒齿状、蠕状镶嵌的石英细条带→细粒粒状镶嵌的石英条带到板状石英组成的拔丝条纹 (图2、g—j)。在本区把具有消光位一致, 呈带状产出、边界比较规则、内部具有近于垂直于条带两壁的横向裂纹, 而终止在条带边部的板状石英称为拔丝石英。

## 2) 长石的变形

长石碎斑呈浑圆状或椭圆状镶嵌于糜棱叶理中, 以斜长石为主, 仅在部分岩石中为碱长石。常见的变形结构有:

a. 双晶变形: 碎斑斜长石的双晶已发生弯曲, 且同一双晶页片宽度也有变化 (图3—a)。有的斜长石双晶呈“S”型旋转, 以致变为螺旋状 (图3—b、c)。上述结构可能是连续变形作用的结果。

b. 剪切阶段: 碎斑斜长石由几颗呈近四边形的颗粒组成, 其间由细粒石英、斜长石填充。各部分消光位一致说明晶体沿剪切面发生过滑动及拉伸 (图3—d)。

c. 膝折结构: 椭圆状的碎斑斜长石沿剪切面发生塑性滑动变形, 但晶体仍保持完整性及边界的连续性, 膝折部分与滑动部分保持其各自的消光位 (图3—e)。有的膝折线呈波状弯曲 (图3—f、g), 暗示晶体可能在发生了一定旋转后出现膝折。

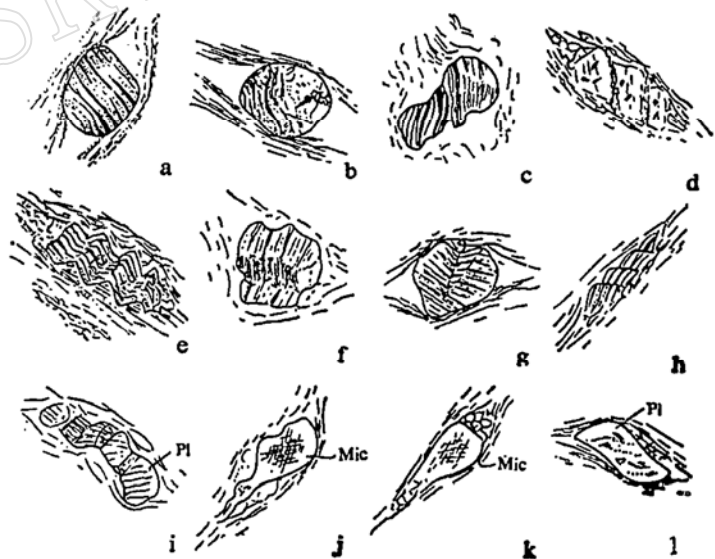


图3 长石的变形图

Fig 3. Diagram for feldspar deformation

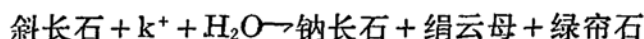
- a. 斜长石双晶弯曲 ( $Pb_{25}$ ); b. 斜长石双晶旋转 ( $Pb_{29}$ ); c. 斜长石双晶呈螺旋形 ( $Pb_{16}$ ); d. 斜长石的剪切阶段 ( $Pb_{62}$ ); e. 斜长石双晶膝折 ( $B_{062}$ ); f. 斜长石的膝折线呈波状弯曲 ( $Pb_{38}$ ); g. 斜长石的膝折线弯曲 ( $Yb_{11}$ ); i. 斜长石分离结构 ( $L_{w2}$ ); h. 斜长石双晶滑动位移 ( $Pb_{10}$ ); j. 微斜长石的细颈化 ( $So_{29}$ ); k. 微斜长石的拖尾 ( $D_{08}$ ); l. 斜长石晶体不对称结构 ( $Pb_{62}$ )

d. 滑动位移: 特点是整个晶体基本保持连续性, 虽双晶已错位, 但未被分离为几个独立的部分 (图3—h), 表示剪切连续加强, 使晶体沿剪切面发生滑动位移。

e. 分离结构: 碎斑斜长石虽被分离为几部分, 但消光特点基本保持一致。在各部分之间, 细粒的长石 (石英) 垂直分离壁生长, 暗示在滑动同时存在有拉伸作用 (图3—i)。

f. 其他变形结构: 在部分韧性剪切变质岩中, 碎斑微斜长石具细颈化结构 (图3—j), 拖尾结构 (图3—k) 以及晶体不对称结构 (图3—L)。此外也见有类似石英的边部粒化及亚颗粒结构。

由于斜长石不及石英稳定, 在韧性剪切变质过程中, 与流体相中的某些组分发生反应, 形成新的矿物成分, 可能的反应是:



### 3) 角闪石变形

本区韧性剪切变质岩中, 碎斑为褐绿色、蓝绿色 (Ng方向) 的普通角闪石, 基质中为针状、拔丝状的暗蓝绿色 (Ng方向) 的阳起石。碎斑角闪石不仅解理弯曲, 且明显地被阳起石、绿泥石等矿物组成的片理切割 (图4—a), 有的同时具有膝折 (图4—b)。在阳起石糜棱岩中, 碎斑角闪石呈小眼球体斜列式地产于片理之间 (图4—c), 保持着一定的结晶方位及消光位。在阳起糜棱片岩中, 碎斑角闪石的解理呈“S”型旋转 (图4—d), 此外也见有剪切阶步 (图4—e)。在多数情况下, 碎斑角闪石的长轴与糜棱片理斜交。在基质中, 阳起石呈针状, 定向排列, 与钠长石、绿帘石、绿泥石、黑云母等矿物共生。在糜棱片岩中, 阳起石呈拔丝状, 具横向裂纹, 呈竹节状外貌 (图4—f)。

### 4) 其它矿物的变形

云母碎斑不常见, 其特点是除解理普遍发生弯曲外, 有的解理发生了旋转又出现了膝折

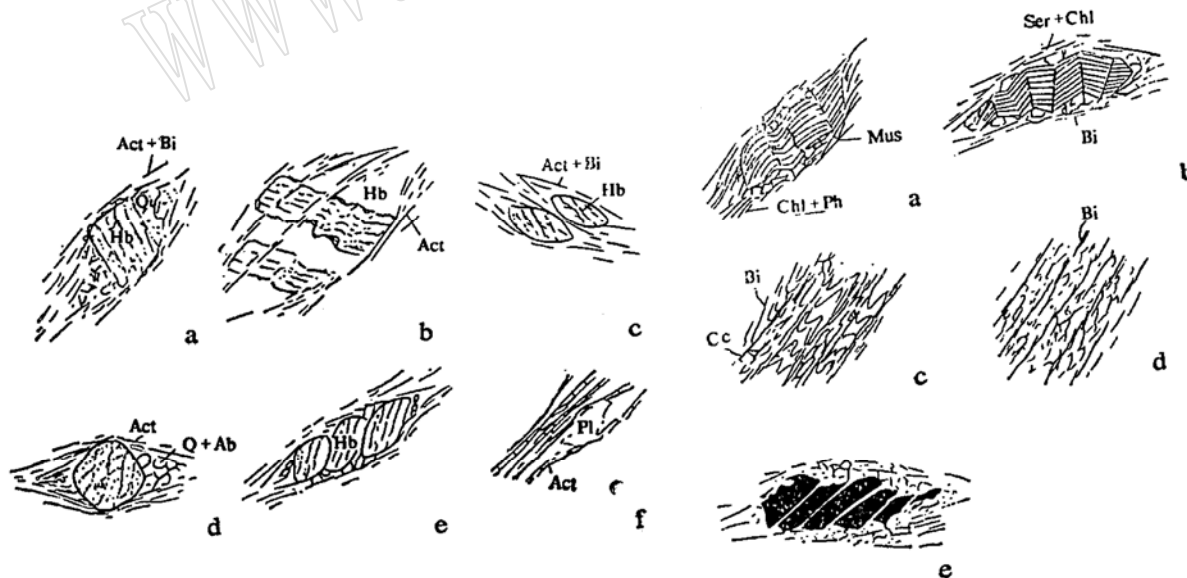


图4 角闪石的变形图

Fig 4. Diagram for amphibole deformation

a. 角闪石解理弯曲及被阳起石切割 ( $B_{a060}$ ); b. 角闪石的膝折 ( $B_{a064}$ ); c. 角闪石眼球状 ( $B_{a060}$ ); d. 角闪石解理呈“S”型旋转 (2); e. 角闪石剪切阶步 ( $N_{b-4}$ ); f. 拔丝阳起石 ( $R_{a060}$ )

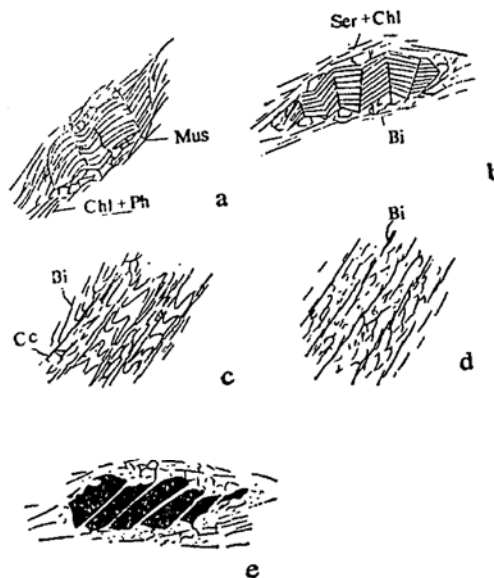


图5 其它矿物的变形图

Fig 5. Diagram for other minerals deformation

a. 旋转后白云母的膝折 ( $Y_{b a-1}$ ); b. 黑云母的膝折 ( $Y_{D-3}$ ); c. 黑云母的显微指折曲 ( $P_{b11}$ ); d. 拔丝的黑云母 ( $B_{a021}$ ); e. 黄铁矿的剪切阶步 ( $L_{w3}$ )

(图5—a)。在糜棱岩化云母片岩中,碎斑黑云母具有膝折结构(图5—b)。在不同岩性交互的糜棱岩中,黑云母具显微折曲构造(图5—c)。在基质中的黑云母(或白云母)可见到拔丝构造,呈线状分布但光性方位一致(图5—d)。黄铁矿为副矿物,可分为两期。早期的黄铁矿出现了类似于斜长石的剪切阶步(图5—e),拖尾结构或呈细粒状沿片理分布。

## 2. 组合型变形结构

我们在这里使用组合型变形结构一词是指伴随原有矿物的变形、溶解,而新生物质运移、再结晶形成的一类结构。常见类型有:

### 1) 压力影结构

在多数情况下,在碎斑矿物的两端均可见到有压力影结构(图2—a. b. i), (图3—a—d. f. g)及(图4)。构成压力影的矿物有石英、黑云母、绿泥石、钠长石及方解石等。不对称压力影在本区常见,如在黄铁矿的两端,由石英、绿泥石构成的不对称压力影(图6—a)。图6—b及c表示由黑云母构成的不对称压力影结构。

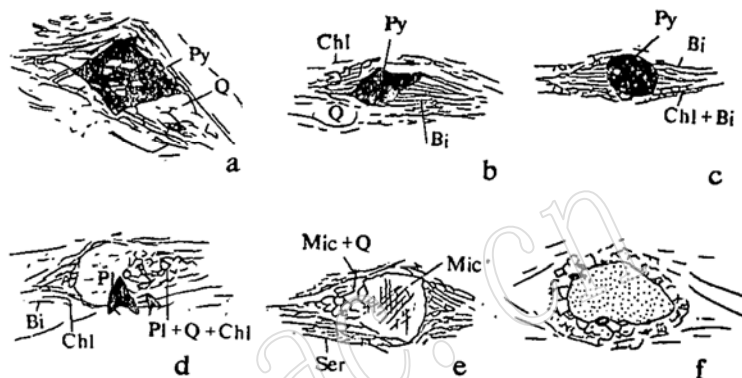


图6 组合型结构图

Fig. 6. Diagram for the deformed texture of association type

a. 黄铁矿的不对称压力影( $Pb_{30}$ ); b—c 黄铁矿其由黑云母组成的不对称压力影( $Pb_{33}$ ); d. 斜长石的山羊须结构( $Pb_{63}$ ); e. 微斜长石的山羊须结构( $S_{02g}$ ); f. 石英的核幔结构( $Pb_{16}$ )

### 2) 山羊须结构

山羊须结构在本区也较发育,如碎斑斜长石的一端由细粒长石、石英、黑云母等矿物组成山羊须结构(图6—d),或者由细粒长石、石英组成的山羊须结构(图6—e)。在具山羊须结构碎斑的另外一端几乎是由片状矿物组成。本区该类结构的特点是机械作用与重组合同时作用的产物。

### 3) 核幔结构

这类结构在长英质糜棱岩或糜棱片岩中较发育。如绢云长英糜棱岩中的碎斑石英周围有细粒镶嵌的石英环,而构成核幔结构(图6—f),这种结构是边部粒化的细小石英颗粒经重结晶而形成一个外壳,将碎斑包在中心,构成一种双层结构。

总之本区韧性剪切变质岩组构具有以下特点:①在相同的韧性剪切变质条件下,不同的矿物其变形、重结晶或变晶的行为不同,原岩组构不同所形成的糜棱组构也不同。②同一种矿物在不同韧性剪切变质的物化环境下,其变形及重结晶行为也有差异。③流体相的成分、数量直接影响韧性剪切变质岩组构的发育及岩石类型<sup>[5]</sup>,同时也影响金的矿化。

## 三、韧性剪切变质带的特征

本区韧性剪切变质带为脆性和韧性之间的过度型<sup>[8][9]</sup>,具体可划分为两个亚型:韧-脆性剪切变质带(D—B型)及脆-韧性剪切变质带(B—D型)。

### 1. D—B型剪切变质带

该带以石英及长石等碎斑压扁拉长呈“眼球状”定向排列、基质致密颜色发暗、连续定向分布、碎斑含量较高为特点。其岩石组合以各种糜棱岩与糜棱岩化变质岩交替出现为主,夹有少量糜棱片岩。在变形强烈的地段,岩石叶理(或片理)发育,呈薄片状。碎斑矿物变形具既有脆性又有韧性的特点,如边部粒化、边缘亚颗粒变形纹、剪切阶步及分离结构常见,基质中微粒石英呈条痕状和细粒齿状集合体的条带,重结晶不很强烈。典型矿物组合为  $\text{Phen} + \text{Cl} - \text{Chl} + \text{Ab} + \text{Q} \pm \text{Bi} \pm \text{Ep}$ ;  $\text{Act} + \text{Cl} - \text{Chl} + \text{Q} \pm \text{Bi} \pm \text{Cc}$ 。

## 2. B—D型剪切变质带

本带中发育有良好的鞘形折皱,如南坝水库及东牛管坝北沟。岩石外貌与细粒长英质片麻岩、片岩极为相似,主要差别是在岩石中含有沿片理分布、呈小透镜体状、眼球状的长石、石英或者角闪石的碎斑,其长轴常与片理之间有一角度。其主要岩石组合以各种糜棱岩与糜棱片岩(或者片麻岩)交互出现为特征,在局部地段或边部见有糜棱岩化变质岩。在变形强烈地段,岩石具有塑性流动的特点。碎斑矿物不仅含量低、粒度细,而且韧性变形明显,如“S”型旋转结构、核幔结构、滑动位移及变形带等。基质全部重结晶,细粒状镶嵌的石英条带及板状石英拔丝条纹均较发育。此外拔丝的黑云母、阳起石、绿帘石也常见。典型的矿物共生组合为:  $\text{Ab} + \text{Q} + \text{Bi} + \text{Phen} \pm \text{Cl} - \text{Chl}$  以及  $\text{Act} + \text{Cl} - \text{Chl} + \text{Ep} + \text{pl} (\text{An}) + \text{Q} \pm \text{Bi}$ 。

## 四、韧性剪切变质作用发生的物化环境

从表1所列矿物共生组合可明显地看出,韧性剪切变质作用的强度相当于绿片岩相环境。对D—B型的典型矿物组合( $\text{Ep} + \text{Ab} + \text{Phen} + \text{Q} + \text{Cl} - \text{Chl} + \text{Bi}$ )中的绿泥石及白云母、B—D型组合( $\text{Act} + \text{Cl} - \text{Chl} + \text{Ep} + \text{pl} + \text{Q} + \text{Bi}$ )中的阳起石、斜长石进行电子探针分析,根据固溶体热力学原理对分析数据进行了处理\*其结果如下:

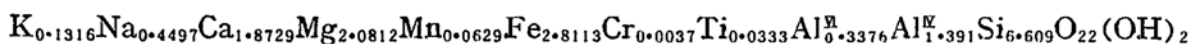
白云母分子式



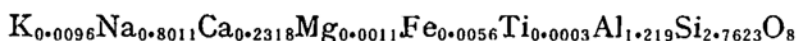
斜绿泥石分子式



阳起石的分子式



斜长石的分子式



### 1. 绿泥石-白云母矿物对分析

在薄片两者直接接触,呈丝状定向排列。可见到丝状的黑云母产在两者之间,但界限是渐变的。此外仍可见到片状黑云母呈残斑出现。因而可认为绿泥石与白云母共生,而丝状黑云母形成可能略晚些。白云母的成分为多硅白云母( $\text{Si}=3.2908$ )。Miyashiro(1973)<sup>[10]</sup>在研究白云母成分与生成温度之间关系时,提出了白云母成分随温度变化的图解(图7)。本区白云母成分落在绿泥石带中,温度约为300℃。在Velde(1967)的Si值等值线图中<sup>[11]</sup>,本

\* 刘喜山, 1985, 变质作用研究的热力学基础及应用, 长春地质学院。

区多硅白云母稳定在300-360℃。在 KOTOB(1975)<sup>[11]</sup> 的绿泥石与白云母中  $Al^M$  的分配与平衡温度之间的关系图解(图8)中: 本区绿泥石  $x_{Al}^{chl} = Al^M / (Al^M + Mg + Mn + Fe + Ti) = 0.23$ , 多硅白云母  $x_{Al}^{phcn} = Al^M / (Al^M + Mg + Fe + Mn + Ti) = 0.67$ 。投影结果  $T = 240^\circ C \pm$ 。很明显比实际温度要低, 因为绿泥石 + 白云母形成黑云母为一滑动反应, 三者共生的最低温度为325℃。偏低的原因来自于绿泥石分析误差偏大(87.4%)。因而在D-B带中, 斜绿泥石与

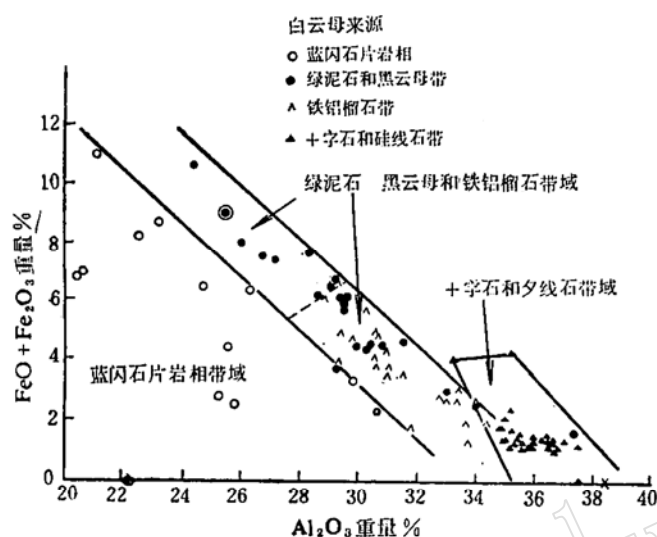


图7 变泥质岩中白云母的成分随变质级的变化

Fig. 7 Change of muscovite composition with metamorphic grade in metapelites (after Miyashiro, 1973)

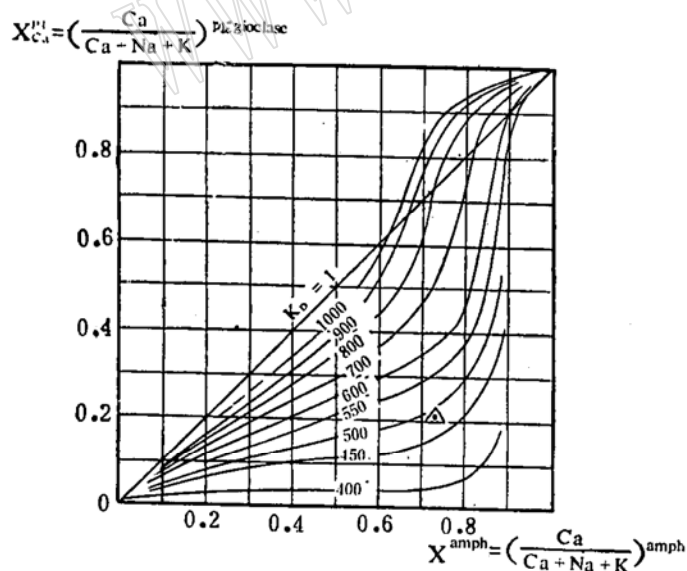


图9 共生的角闪石-斜长石之间Ca分配等温线图

Fig. 9 Isothermal diagram for Ca-distribution of coexisting amphibole-plagioclase (after Perchuk, 1970)

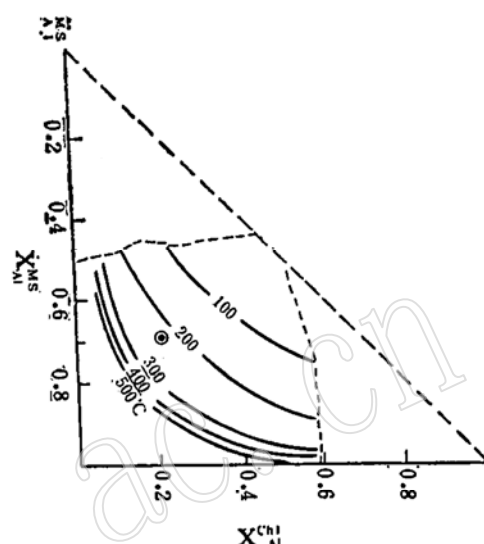


图8 共生的白云母-绿泥石之间Al分配等温线图

Fig. 8 Isothermal diagram for AL-distribution of coexisting muscovite-chlorite (after KOTOB, 1975)

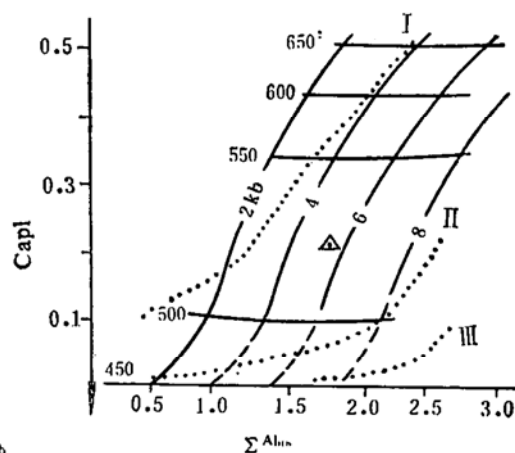


图10 实验的角闪石-斜长石地质温度压力计

Fig. 10 Experimental Geothermometry-Geobarometry of amphibole-plagioclase (after Plyusnina, 1982)

多硅白云母平衡的温度为 $320 \pm 20^\circ\text{C}$ ,平衡压力为250–300GPa,相应地热梯度为 $32 \pm 2^\circ\text{C}/\text{km}$ 。

## 2. 角闪石-斜长石矿物对分析

样品采自B—D带的南坝水库阳起糜棱片岩。在岩石中二者产在基质中,直接接触。阳起石呈拔丝状,定向排列。斜长石呈小柱状分布在阳起石的柱体之间。此外岩石中有少量角闪石及斜长石的碎斑。尽管角闪石-斜长石矿物对的研究中存在的问题有待进一步解决,但研究程度较前一对要高。Perchuk(1970)<sup>[11]</sup>在研究了角闪石-斜长石之间Ca的分配与平衡温度之间的关系后,提出 $x_{\text{Ca}}^{\text{Am}}-x_{\text{Ca}}^{\text{Pl}}$ 变异图解(图9)。本区阳起石 $x_{\text{Ca}}^{\text{Am}} = \text{Ca}/(\text{Ca} + \text{Na} + \text{K}) = 0.76$ ,斜长石 $x_{\text{Ca}}^{\text{Pl}} = \text{Ca}/(\text{Ca} + \text{Na} + \text{K}) = 0.22$ ,在Perchuk图上投影结果为:平衡温度在490–500 $^\circ\text{C}$ 。在Plyusnina(1982)<sup>[12]</sup>提出的角闪石中 $\Sigma\text{Al}$ 与斜长石中的Ca和平衡温度、压力图(图10)中, $\Sigma\text{Al}_{\text{Pmp}} = 1.73$ , $\text{Ca}_{\text{Pl}} = 0.23$ ,投影结果为:平衡压力为550GPa,温度为525 $^\circ\text{C}$ 。综合分析,该带中角闪石与斜长石平衡温度为 $500 \pm 10^\circ\text{C}$ ,压力为500–550GPa,相应的地热梯度为25–27 $^\circ\text{C}/\text{km}$ 。

## 五、结论

1. 计算结果表明: D—B型带形成于地壳较浅的部位,即9–10km处,地热梯度为 $32^\circ\text{C} \pm / \text{km}$ 。B—D型带相对发生在地壳较深的部位,约为19km $\pm$ ,地热梯度为25–27 $^\circ\text{C}/\text{km}$ 。很明显对于退化变质而言, D—B型带降温要比B—D型带快,这与它们发生的深度有关。

2. 计算结果与韧性剪切变质岩的组构特点及矿物成分相符合。在D—B型带,韧性剪切变质岩中原岩矿物成分保留较多,脆性与韧性变形共存,糜棱岩与糜棱岩化变质岩交替出现。在B—D型带,岩石中以韧性剪切变质作用形成的矿物成分为主,韧性变形结构占主导地位,糜棱岩与糜棱片岩交替出现。

3. 上述证据较好地解释了由韧性剪切变质作用引起的退化变质作用强度、特点与流体相的活动状态及含量有关。D—B型带由于处在地壳较浅的位置,岩石裂隙比较发育,降温又快,因而在韧性剪切作用的驱动下,流体相易于流失,造成退化变质不很强烈。而B—D型带由于处在地壳较深的位置,裂隙不发育,而且降温又慢,在韧性剪切作用的驱动下,流体相不易向外流失,在剪切带内流动,造成该带以新生的矿物成分为主。

4. 本区金的富集与韧性剪切变质带密切相关,但又不是在韧性剪切变质带中处处都有金矿化。现已查明,韧性剪切变质带退化变质强烈的位置恰恰是金矿化有利的地段。

## 参 考 文 献

- [1] 贺同兴等, 1980, 变质岩石学, 地质出版社。
- [2] Carol Simpson, 1985. Deformation of granite rock across the brittle-ductile transtion. *Journal of structure geology*, vol. 7, No5. 503–511.
- [3] Spry. A., 1969, *Metamorphic texture*, Oxord, Pergamon. Press. Ltd.
- [4] Winkler. G. F., 1976, *Petrogenesis of metamorphic rocks*, San Francisco.
- [5] McCaL G. A. M., 1984, Fluid-rock interaction in some shear zones from the Pyrencois. *J. Metamorphic. Geol.* 2. 129–141.
- [6] Stauffer. Mel R., 1969, Deformation textures in tectonites *Canadian Journal of Earth Sciences*. vo 17,

498—511.

[7] Bell, T. H., and Etheridge., 1973, Microstructure of mylonite and their descriptive terminology. *Lithos.* 6.337.

[8] Gibson, R. G., 1985, Ductile-to-brittle transition in shear during thrust sheet emplacement, Southern Appalachian thrust belt. *Journal of structural geology.* 7. 513—525.

[9] Mitsuhiro Toriumi., 1985. Two types of ductile deformation regional metamorphic belt. *Tectonophysics.* 113.307—326.

[10] Akiho Miyashiro., 1973 *Metamorphism and metamorphic belts*, London.

[11] 张儒瑗等, 1983, 矿物地质温度及压力计, 地质出版社。

[12] Plyusnina., 1982, Geothermometry and geobarometry of plagioclase-hornblende bearing assemblages. *Contrib. Mineral. Petrol.* 80. 140—146.

[13] Mitsuhiro Toriumi, 1985. Two types of ductile deformation regional metamorphic belt. *Tectonophysics.* 113.307—326.

[14] Carol Simpson, 1985. Deformation of granite rock across the brittle-ductile transition. *Journal of structural geology*, vol. 7, no. 5. p503—511.

## Characteristics of Ductile Shear Metamorphism in the Dongwufenzi Area, Inner Mongolia

Liu Xishan    Li Shuxun

(Changchun College of Geology)

Zhang Luqiao

(Institute of Geology, Inner Mongolia)

**Key words:** mylonite; ductile shear metamorphism; porphyroclast texture; single mineral deformation texture, associated deformation texture; D-B and B-D type metamorphic zones; coexisting mineral pairs

### Abstract

Granite-greenstone terrain in the Dongwufenzi area had undergone three different types of metamorphism. The ductile shear zones not only controlled the distribution of different metamorphic rock associations, but also resulted in reversed series of regional metamorphic grades. According to the contents of porphyroclast in rock, the ductile shear metamorphic rocks can be divided into three groups: mylonitization rock, mylonite and mylonite schist.

All of the three group rocks have mylonite texture and deformation textures can be divided into single mineral type and associated type. A ductile shear metamorphic rock consists of minerals being in univariant equilibrium. According to the rock association, characteristic of mylonite texture and recrystallization in rocks, two different ductile shear metamorphic zones have been recognized: Ductile-Brittle type and Brittle-Ductile type. They formed at the

different depth of the earth crust and conditions of temperature and pressure determined by calculations of coexisting mineral pairs. The results obtained show that the gold mineralization, transportation and deposition are related to the ductile shear metamorphic zones closely.

www.yskw.ac.cn