

# 韧性剪切带与金矿成矿关系 及韧性剪切带糜棱岩研究

03

(3-3)

335

地质矿产部秦巴协调领导小组

一九八九年五月

## 前言

断裂构造是地壳和岩石圈内普遍存在的一种构造型式。不论在基础地质研究中还是在矿产勘查中，从来都对断裂构造的研究给予了足够的重视。但是，断裂构造在产生的深度层次上有很大的差异，在形成环境与温、压条件等方面也大不相同，不同温压条件下形成的断裂构造具有不同的特征。因此断裂构造可以分为两大系列——脆性断层系列和韧性断层系列。

脆性断层系列的研究，不仅理论、方法已广为人知，应用得心应手，而且著作也很多。对韧性断层系列的研究，从瑞士地质学家Ramsay 1970年提出韧性剪切带概念以来，至今还不足20年的历史。即便在西欧，对它的研究热潮，也是1979年以后才开始的。所以韧性断层系列的研究与脆性断层系列的研究相比，两者间存在一个相当长的时间差。国内虽有不少地质学家早就从事了这方面的研究，并取得了许多有价值的成果，但是对广大的地质学家来说，特别是从事地质矿产勘查的地质学家来说，对它的研究起步较晚，因此对它不仅感到陌生而且也重视不足，这种情况是完全可以理解的。

随着地质矿产部“七·五”重点攻关项目——《秦(岭)巴(山)地区重大基础地质问题和主要矿产成矿规律研究》工作的展开，以游振东教授、张国伟教授、张寿广付研究员等课题组，在东秦岭北带变质地层中，不仅鉴别出了许多韧性剪切带，而且对其开展了数年的深入研究，获得了一批可喜的成果。根据地矿部领导关于科研成果向生产力转化的指示精神，地矿部秦巴协调领导小组与陕西省地矿局于一九八八年十月中旬联合举办了“韧性剪切带、糜棱岩及其与成矿关系的研讨班”，收到了比予想要好的效果。根据研讨班获得的启发及参加研讨班同志的愿望，为了把韧性剪切带、糜棱岩及其与成矿关系的研究成果，更广泛的实行转化，决定出版本书，希望促进其普及和引起多方面的重视。需说明的是，本书不是该区韧性剪切带、糜棱岩及其与成矿关系科研成果的汇编，它仅仅是从事这方面研究的理论与方法的介绍。当然本书也附有几篇研究成果的扼要实例，编进些实例的目的是帮助读者对所介绍的理论和方法有进一步的了解。

编入本书的六篇文章，力求构成一个完整的体系。鉴于编著者分散各地，有些小的重复实属难免，但编辑时已尽量注意了这点。

本书六个部分，可分为以下三组：韧性剪切带与金矿、韧性剪切带、糜棱岩。

韧性剪切带与金矿的关系。它是一个对金矿勘查具有现实意义的问题。国外研究较多，并取得一些重大的突破。而国内系统论述的专著尚不多见，所以这部分将会对从事矿产勘查的同志有所帮助。需指出的是韧性剪切带不仅与金矿，而且与其它矿产也有一定的关系，例如陕西某地铀矿就产出在韧性剪切带内。此外某些金、铜、锌矿化的钠长石化带和方柱石化带也与韧性剪切带有一定的关系。由于组稿等问题，这些方面未予涉及。还需指出，韧性剪

工作者阅读的入门读物。在力求概念正确，理论先进的前提下，没有更多的涉及深奥的数理基础和公式，有关地壳演化的内容也只好暂付阙如。

当读者通过本书对韧性剪切带、糜棱岩及其与金矿成矿关系有了初步了解之后，如需进一步提高的话，则可从所附参考文献中选择文章，继续钻研。

还应该说明的是，责任编辑除在统编过程中，删除部分重复之处，对文字稍作润色之外，对原稿未作任何原则性的变动，故只好由各位作者自负文责。

本书的出版，应感谢中国地质科学院项礼文研究员的大力支持，同时，还应感谢各位作者付出的辛勤劳动。

编者诚挚地希望读者提出批评和指正意见。如果本书能对地质工作者在基础地质研究、矿产勘查中有所补益，我们将感到十分欣慰。

编 者

1989年 5月

# 目 录

## 前言

<b>第一部分：韧性剪切变质带与金矿的成矿关系</b> .....刘喜山、李树勋	
一、韧性剪切变质带中金矿的研究现状.....	( 1 )
二、成矿围岩性质的研究.....	( 9 )
三、韧性剪切变质带的特征.....	( 12 )
四、韧性剪切变质带类型的划分.....	( 19 )
五、韧性剪切变质带内金矿地质特征.....	( 21 )
六、金矿成因问题讨论.....	( 23 )
七、金矿找矿模式.....	( 26 )
<b>第二部分：韧性剪切带研究</b> .....张国伟	
一、构造层次和断裂构造层次.....	( 29 )
二、韧性剪切带的概念及分类.....	( 36 )
三、韧性剪切带的几何学特征.....	( 37 )
四、糜棱岩及其显微构造研究.....	( 42 )
五、韧性剪切带的运动学、动力学特征及研究方法.....	( 43 )
六、韧性剪切带研究方法步骤的概要综述.....	( 51 )
<b>第三部分：韧性剪切带的变形显微构造研究</b> .....钟增球	
一、位错的基本知识.....	( 55 )
二、韧性剪切带中常见的显微构造及其变形机制.....	( 58 )
三、韧性剪切带的变形显微构造研究.....	( 64 )
四、应变分析.....	( 77 )
<b>第四部分：陕西商州市焦安沟韧性剪切带及其研究</b> .....张寿广、赵子然	
一、区域地质背景.....	( 82 )
二、韧性剪切带的宏观构造标志.....	( 84 )
三、韧性剪切带的微观构造标志.....	( 85 )
四、韧性剪切带与变质作用的关系.....	( 87 )
五、韧性剪切带中元素迁移的某些特征.....	( 88 )
六、剪切方向的确定.....	( 89 )
七、剪切带变形机制的分析.....	( 91 )
八、剪切带时代的确定.....	( 91 )
<b>第五部分：糜棱岩研究方法兼论豫西秦岭杂岩中的糜棱岩</b> .....游振东	

一、糜棱岩的概念.....	(95)
二、糜棱岩的地质特征.....	(95)
三、糜棱岩的宏观观察.....	(97)
四、断层岩分类命名.....	(97)
五、糜棱岩的岩相学研究.....	(99)
六、糜棱岩化过程中物质成分的变异.....	(103)
七、糜棱岩带剪切指向的标志.....	(105)
八、黔西韧性剪切带及其岩石类型.....	(105)
九、秦岭群糜棱岩的地质背景.....	(103)
<b>第六部分：陕西丹凤地区高(县)丹(凤)断裂</b> .....	
<b>南侧糜棱岩的研究</b> .....	胡能高、安三元
一、糜棱岩的地质背景.....	(112)
二、主要糜棱岩的岩相学特征.....	(113)
三、糜棱岩原岩恢复及原岩的时代归属探讨.....	(117)
四、主要矿物的变形和变晶特征及递减变形系列.....	(120)
五、韧性剪切变质作用的P-T路径.....	(126)
六、糜棱岩带的原始面理产状和运动方向.....	(130)
七、结论.....	(132)

及变形机制的研究表明金的矿化作用与渐进变形作用是同步发生的，而蚀变带和金矿化作用又是同时发生在一个事件中的两个侧面。认为渐进变形作用产生了韧性剪切带，而金矿化的产生位置又明显的受韧性剪切带控制，同时又受到这些韧性剪切带再活动的改造。其成矿模式为含金变质流体在韧性剪切带内与富铁的岩石（Golden Mile粒玄岩）相互作用而形成金矿。Kalgoorlie金矿一所以能构成一个大型金矿床，除了存在有两个最重要的容矿岩外，仅仅是由于该区存在有发育良好的韧性剪切带为金矿床的形成提供了良好的流体通道。

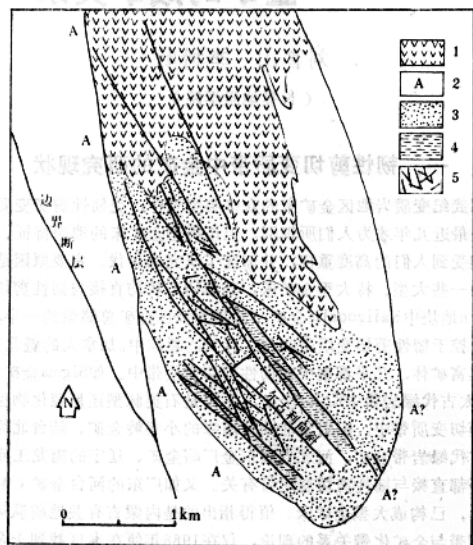


图1-1 Kalgoorlie金矿区蚀变带分布图

(Phillips, 1986)

M. Bonnemaïson (1986) 在对含金石英脉进行详细的室内外观测及描述的基础上，将百余条含金石英脉进行了对比，划分出剪切带活动过程中金再运移的三种方式，可用三种不同类型的石英脉来表示，即粗大乳白石英脉—网状乳白石英脉—砂糖状石英脉。认为韧性剪切带中的含金石英脉是早期的无金石英脉经变形作用改造和金的矿化作用而成，属含金剪切带的一种特殊情况—含金韧性剪切带再活动的产物。

含金剪切带的特点及成矿作用过程为：在韧性剪切带内存在有两种金矿化的陷井，即硫化物金富集陷井及砂糖状石英金富集陷井。金在韧性剪切带活动过程中运移到这两种陷井的位置沉淀下来。而金与硫化物可以有不同的来源，由于流体的载运而相聚。也就是说，含

区构造变形演化与含金石英脉形成之间的关系。认为韧性剪切带和带内的矿脉是在同一渐进变形过程中形成及定位的。通过对韧性剪切带内和外部应变椭球体之间的差异性分析,提出

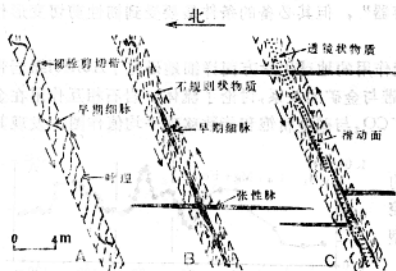


图1-3 在晚期挤压事件中韧性剪切带与矿脉形成阶段的示意图

演化模式如图1-3。在早期演化阶段,早期的S形细脉发生褶皱及石香肠化;在较强烈变形过程中,处在中心部位的叶理转而近于平行于剪切壁时,矿液流体便在剪切带内开始循环(B);这一变形为由韧性变形转为脆性变形,不规则状的脉为适应这种变化,沿韧性剪切带发生运移起源于连续的挤压作用,进而将已形成的张性脉发生错位。由此可以看出韧性剪切带和两种脉体类型的定向是由变形过程中应变椭球体的定向所控制。因而两种矿脉不仅为同期的而且成因相同。

E. M. Cameron (1988) 通过对太古代脉状金矿化的特点及氧化的成矿流体同位素特点总结,讨论了麻粒岩的形成与地壳中氧化还原分带性的关系,进而探讨了太古代韧性剪切带中金矿床的成因机制。认为含金的石英-碳酸盐脉产于脆性变形带中,而浸染状的金矿产于韧性剪切带中。说明金矿是在脆性-韧性过度带处沉淀,深度为10-15km(相当于0.25-0.4Gpa),温度在250-350°C的环境。

麻粒岩主要形成在 $2.7 \pm 0.2$  GPa,处于地壳增厚及相对稳定的时期。由地幔去气( $\text{CO}_2$ )而形成的以 $\text{CO}_2$ 为主的流体沿剪切带上移,导致角闪岩的脱水形成麻粒岩。构成地壳下部的流体主要由 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 组成,其中 $\text{H}_2\text{O}$ 来自角闪岩的脱 $\text{H}_2\text{O}$ 作用。同时由于由 $\text{CO}_2$ 组成的流体沿韧性剪切带上移,引起了大离子亲石元素向地壳上部移运。这一过程又仅能在比较氧化的条件下出现,且导致金与硫化物的溶解,进入流体而向上迁移。太古代的脉状金矿床又是在地壳的中部沿韧性剪切带而形成,其普遍的特点是围岩的碳酸盐化(可划分为近矿蚀变与区域性蚀变两类)。其 $\delta^{13}\text{C}$ 资料表明不论在矿床内还是矿床之间均具有一致性的值(表1-1),平均值为 $\delta^{13}\text{C}-3$ — $-4\%$ 之间。这表明有一个固定的混合来源。如果取温度为400°C,碳酸盐与 $\text{CO}_2$ 之间分馏高达2%的话,那么 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 估计值在 $-1$ — $-4\%$ ,相当于初生 $\text{CO}_2$ 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值( $-3$ — $-5\%$ ),这些数据有助于 $\text{CO}_2$ 来源于地幔去气作用的模式。

表1-1 太古代金矿床中碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}$ 值

地 点	样品数	平均 $\delta^{13}\text{C}$ 值 (%)	标准差 (%)	来 源
蒂姆斯14个金产地	275	-3.1	1.3	Fyon等(1986)
蒂姆斯霍灵格矿	14	-3.0	1.5	Burrows等(1986)
加拿大西森阿罗矿	21	-3.6	0.6	McNeil和Kerrich(1986)
卡尔古利4号矿脉	19	-3.4	0.4	Golding和Wilson(1983)

韧性剪切带与金矿的成矿机制。认为在Golden Mile的韧性剪切带型的载体中，含金的变质流体的进入主要受叶理发育程度控制，这一点可由黄铁矿化及白云母化的发育被限制在叶理带上得到证实，且与矿化有关的黄铁矿和其他的矿物的结构特点以及黄铁矿化程度伴随着应变程度的减弱而降低。它支持为一种基本同构造期的矿化作用事件的论点。

在变质作用过程中存在有大量的流体运动已为多数人所接受。但在地表条件下，测定这种具叶理的岩石，却具有一种极低的渗透性，这对驱动大规模流体通过这些封闭的岩石是有疑问的，因而他们采纳了Etheridge等（1983，1984）运用Ramsay（1980）的封闭裂隙过程

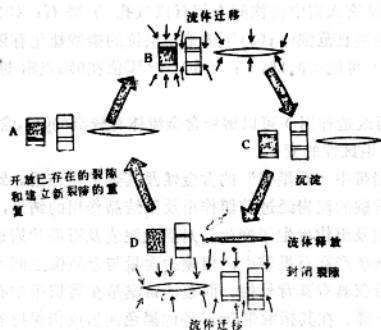


图1-5 封闭裂隙机制加大渗透性的示意图

来分析这类加速流体的流动。基本的驱动机制为在每一个显微裂隙事件过程中，建立起一种高的流体压力梯度，这种流体压力梯度使流体从周围的岩石中流进而加大了这种流体运动的速度。当带入裂隙中的流体压力处于平衡时，便出现了过饱和及发生沉淀作用。邻近的裂隙演化又把这种流体放出及封闭了这种裂隙。这种过程的重复循环过程可以引起流体的加速流动。（图1-5）就Golden Mile韧性剪切带来说，这种大量的粘性流体的流动又促进了应变作用，同时造成碳酸盐化，黄铁矿化，是伴随金矿沉

淀的主要原因。

A. J. Andrews等（1986）研究了加拿大西北部的Ontario地区Red湖的金矿床，探讨了金矿化与绿岩带、韧性剪切带及与岩基侵入引起的接触变质带之间的关系。其地质证据为：金矿产在Red湖的绿岩带中，尽管矿化作用相当分散，但95%以上的金矿化作用出现在科马提岩-拉斑玄武岩的地层层序内。而更有意义的事实是大多数金矿床以及相伴生的强烈地蚀变作用都位于韧性变形带中或者直接挨着该带（图1-6）。多数金矿床具有以下特点：

1. 金矿床产于变形带中，这些变形带切割了热接触变质带的等温面。金矿床形成于绿片岩相和角闪岩相的条件下；
2. 沿走向，变形带涉及到所有的岩石类型，但大多数金矿床位于变形带经过镁铁质拉斑玄武岩组成的围岩地段。而在其它围岩地段金矿化几乎没有经济意义；
3. 小型的无经济价值的金矿化带产于韧性变形带的外侧。

综合各种证据表明，热接触变质作用，韧性剪切变形作用及强烈的蚀变作用导致了金的矿化作用。

对于产在后寒武纪变质岩区韧性剪切带中的金矿研究，目前也有些报导。如D. H. C. Wilton及D. F. Strong（1986）研究了纽芬兰西南部Capy Ray韧性剪切带中的金矿床——为产于石墨片岩的主剪切带中的含金石英脉型金矿。通过对S、Pb等同位素的研究认为金矿的形成与



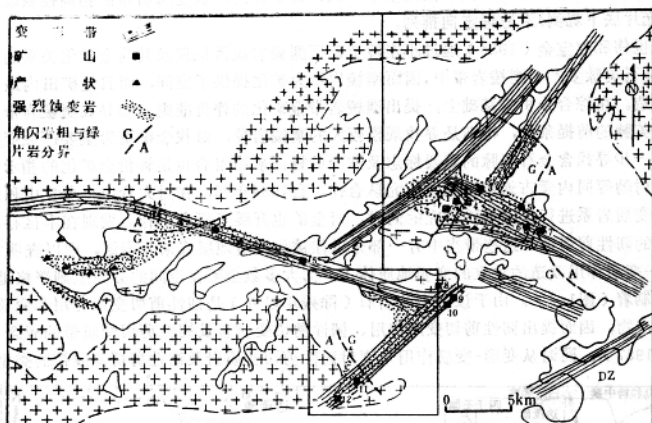


图1-6 Red湖绿岩带中变形、变质及蚀变作用及金矿分布图

Windowglass花岗岩有成因关系。其S同位素特点，在主剪切带中，黄铁矿的S同位素值具有较宽的变化范围(4.6和4.9‰——4.6和-5.2‰)。分析数据的统计显示Au、Ag、Cu、Pb和Zn具一般的分配，与片岩中和花岗岩中的脉具有相似的元素分配，亲Cu元素具双峰态分布。元素富集系数与含金块状硫化物矿床也相似。因而它与太古代金矿床明显不同。Pb、S同位素特征表明含矿流体为岩浆成因。剪切带中金矿Pb同位素五个数据的回归得到1200Ma的源年令，这与Grewille基底岩石年令相似。他们认为Cape Ray韧性剪切带的金矿床是由位于地壳较深处的Grewille基底片麻岩的部分融熔形成的Windowglass山花岗岩岩浆上升，并分离出一种含Cu、Pb、Zn、S、Cl、Au及Ag的含水流体，沿Cape Ray的韧性剪切带上升、聚集，在温度、压力下降时引起流体的沉淀而形成的金矿。

近几年，国内有关部门的研究者先后在变质岩区对这类金矿床开展了研究工作，现仅举几例予以介绍。

以广东地矿局109地质队为主体对河台金矿进行了综合性的研究及勘察工作，为在后寒武纪变质岩区开展这类矿床的研究提供了一个好例子。陈础廷等(1988)对该金矿区从矿源层、构造条件、热液蚀变作用、成矿溶液的性质及成矿条件进行了分析，认为金来源于震旦纪、寒武纪的变质地层，金的活化、迁移主要受区域变质作用、混合岩化(花岗岩化)作用及动力变质作用因素控制。千糜岩带是金运移、沉淀、定位及富集有利空间，构造的多期活动和多期热液蚀变作用导致金成矿作用多次发生。其中韧性剪切带是该区最重要的控矿构造。凌井生(1988)对河台金矿区含金韧性剪切带的宏观及微观构造特点进行研究及分析，认为金的矿化在空间上离不开糜棱岩带，因为矿床的原生晕及次生晕测量结果，金含量的0.1g/T的等量线和0.015g/T的次生晕等量线与糜棱岩的态势、规模几乎完全吻合。同时矿体的侧伏

从上面的介绍中可以清楚的看到，国内外的研究者均已注意到韧性剪切变质带与金矿化的关系。比较一致的看法是变质岩区石英脉+蚀变岩型的金矿床的产状明显地受韧性剪切变质带的控制，其证据是这类金矿几乎均定位于韧性剪切变质带内，且多在低温-脆性变质带内（脆-脆性过度带内）。金是在低压的绿片岩相或角闪岩相条件下，由流体与围岩相互作用（变质反应）而沉淀下来。金矿化作用发生在区域变质作用的主峰期之后，与韧性剪切变形作用和退变质作用同时或在其晚期阶段。蚀变作用是不可缺少的，这种作用对区域变质的矿物组合和（或者）韧性剪切变形-变质的矿物组合进行改造，而形成一套蚀变岩及蚀变的矿物组合，最常见的蚀变作用有碳酸盐化、绿泥石化及黄铁矿化或者黄铁矿-绢云母化、黑云母化，其中碳酸盐化在多数情况下可能比较早，但却暗示了存在有金矿化作用发生的可能性。而黄铁矿-绢云母化发生在晚期阶段，同时伴随有金矿化作用出现，从而构成工业矿体。

最有利于金矿化的围岩条件是多处于受韧性剪切变质作用改造的变质拉斑玄武岩-科马提岩、变质长英质火山碎屑岩-浊积岩及石墨片岩的附近。由区域变质作用所产生的变质流体（部分可能有上地幔排出的 $CO_2$ 流体的加入）从岩石中提取金及相应的元素形成一种含金的流体进入韧性剪切变质带，并沿该带上升到地壳的上部（有的晚期或者期后有岩浆流体的迭加），沉淀成矿或者富集。

有些问题也还存在不同的观点及提法，尤其对金的来源、流体的来源以及运移、沉淀机制方面比较突出。从不同的地质产状、各种内动力地质作用的相互制约关系及其演化、同位素地质特点及金矿床的自身特点来看，在某种程度上一些折衷的或者多元的解释是可取的。而且有些问题不是在找矿工作一开始就提出来的，而是在进行理论分析、总结规律过程中所遇到的。对于找矿而言，现在应该说问题比较清楚，即首先要找韧性剪切带。但问题也较为突出，例如如何识别这些变形-变质作用所形成的地质体，如何将它们与变质地层分开，进而从变质地层中划分出来。原因是金矿直接产出在这种带状或者线状的地质体当中，即韧性剪切变质岩系中。而这种变质岩系已不具备变质地层学的含意。又如，如何识别韧性剪切变质带、脆-脆性剪切变质带（后者为金沉淀的最佳场所）以及该类金矿床具有那些地质特征等。这方面的内容是本章重点要介绍的，而对成矿机制等方面的问题将仅做一般性的讨论。

## 二、成矿围岩性质的研究

近几年来，通过运用在基础地质研究中提出的新的理论、观点及方法对变质岩区所进行的详细研究，发现一个变质岩地区，尤其像前寒武纪中-高级变质岩分布地区，就其物质组成及结合方式而言，已不像原来所认为的那样单一和简单。目前的研究结果表明，它们是由不同地质成因的岩石、经历了不同方式改造而形成的岩石组合所构成。如冀东、内蒙古等一些高级变质区，主要由下列几个岩石组合构成：（1）变质的上壳岩及层状侵入岩系；（2）经变形-变质作用改造的深成岩系和部分新的中-酸性侵入岩；（3）韧性剪切变质岩系及（4）变质的暗色岩脉和新岩脉。与以往的研究成果相比较，除了识别出已变质变形的深成岩体外，最明显的变化是把一套在空间上呈带状展布的韧性剪切变质岩系从变质地层中划出

来，做为一种独立的变质地质体来填图。划分为独立的变质地质体的主要证据有：

1. 这套复杂的变质岩系在空间展布上，沿其走向追索，尽管在有些地段其叶理或线理构造与围岩的结晶片理构造近于一致，且它们之间也可能没有明显的构造分界，但总会发现它穿越了不同的变质地层及深成岩体等现象。如内蒙古固阳—武川一带发育的这套变质岩系，在西部东五分子地区，除了局部地方可见到不一致的关系外，均与绿岩带的结晶片理构造一致。而在固阳县与武川县分界一带，该套变质岩系穿越了麻粒岩、紫苏花岗岩及英云闪长岩等，同时其构造线的方向之间也存在有明显的切割关系。

2. 在中—高级变质岩分布区内，发育有呈带状展布的变质作用强度有差异的变质岩系，而且其变形特点也明显地不同于周围的变质岩系。以往根据变质地质学的理论，归为变质地层而冠以“群、组、段”的名称或者做为“未分岩组”来处理。由于在多数情况下其变质程度较低，因而在构造上又将其置于向斜构造的核部。然而在岩性上又不具备任何对称性的关系或者沉积不整合的证据。详细的研究发现，其变质作用的环境与围岩的变质环境之间存在有突变的现象。如内蒙古固阳—武川一带麻粒岩、紫苏花岗岩及英云闪长岩分布区内，发育有呈带状近东西向展布，相当于绿片岩相条件下形成的变质岩系，原来定为五台群，现在已查明为韧性剪切变质岩系，且金矿赋存在其中。又如在冀东迁安水厂北区的桑园—隔滦河一带，发育近南北向延伸的宽约200—300m的眼球状变质岩系，其变质程度相当于角闪岩相环境（周围为麻粒岩相）。已查明这套眼球状变质岩系是由地壳一定深度下形成的各种糜棱岩组成（张贻侠等，1986）。

3. 该变形变质地质体的物质组成特点（如岩石的矿物成分、岩石的结构构造及不同岩石在空间的分布等），不论在倾斜方向还是在其走向方向上变化都很大。如在倾斜方向上常见的变化为糜棱片岩→糜棱岩→初糜棱岩→糜棱岩化斜长片麻岩（东五分子地区南坝）。又如在以长英质韧性剪切变质岩为主的区段内，镁铁质韧性剪切变质岩则呈“鱼群状”分布，其长轴方向与叶理走向一致。在走向上的变化如由阳起石糜棱片岩→绢云母糜棱片岩→二长糜棱片麻岩（内蒙古东五分子地区）；正长片麻岩（ $Pl + Or + Q + Bi$ ）→黑云斜长角闪片麻岩（ $Pl + Q + Hb \pm Bi$ ）→斜长片麻岩（ $Pl + Q + Mus$ ）→石英岩（ $Q + 残块$ ）（苏联后贝加尔的石勒喀河地区）。上述这些变化，来自各方面的证据均已证明是不均匀变形—变质作用改造的结果，不具有任何变质地层的特点。

4. 在该变形变质地质体中，保留有原岩的残块、其成分多样、有变质上壳岩（如斜长角闪岩、磁铁石英岩、变粒岩、麻粒岩、榴英岩等），有深成岩体的残块，如紫苏花岗岩、斜长花岗岩等。其大小相差悬殊，小者几个 $cm^3$ ，而大者可超过数十至数百 $m^2$ 。苏联学者A.H. 叶菲莫夫等（1982）认为原岩残块是错动—变质带两个主要组成部分之一。这种由韧性剪切变质岩+原岩残块构成的变质地质体的特征是变质地层不可能具有的。

5. 该套变质岩系具有其特殊的结构构造，是其变质成因的岩石所不具有的。如残斑（或称碎斑）结构、“a”型褶皱及S—C构造等。其残斑结构的特点表明它不是起源于混合岩化作用过程中注入交代作用，也不是区域变质或者热接触变质作用过程中，由于变质作用进行的不彻底而保留下来的原火成岩或火山岩的斑晶。而是由在韧性剪切变形和变质作用过程中保存下的。

对于这套变质岩系，苏联学者A. H. 叶非莫夫及T. M. 捷佳耶娃（1982）称为错动—变质杂岩，划为非成层变质杂岩。由这套杂岩构成的带命名为线型错动带，并对该错动带内变形特点、变质作用及成分变化等进行了研究。他们认为目前我们所观察的层状或者片麻状的变质岩是由变质火山——沉积杂岩、变质深成岩和火山—深成岩及错动—变质杂岩组成。而后两者目前所呈现的成层特点不代表也不含有地层学的意义。因而在工作中应划分为三个独立的地质体，即火山—沉积杂岩、深成岩及非成层变质杂岩。尽管作者的某些观点和成因解释有待于进一步讨论，但他们把变形—变质作用形成的非成层变质杂岩从变质地层中划分出来是值得借鉴的。

我们在内蒙古大青山—乌拉山及色尔腾山地区进行地质研究过程中，放弃了以变质地质学为指导的制图方法，而采用了岩性—构造制图法（先后在武川县东红胜地区及腮忽洞地区分别进行了1:5万及1:2.5万非正规的地质制图）。这样做是基于如下几点考虑：

1. 前寒武纪变质岩区，尤其高级变质岩区，由于经历了多期变形、变质及岩浆等作用的改造，使其变质地层失去了连续性及完整性，呈大小不等的残块存在，因此也就不适合用变质地层学的理论和方法指导研究工作。

2. 目前我们所观察的变质岩是由原来不同成因的岩石经由多种内动力地质作用改造的最终产物。因而在研究中，如果单纯地去研究原岩建造、变质作用的温度、压力条件，而对其它地质因素的作用不给予充分的重视，那么得出的结论可能是片面的。特别是将一些非变质地层的岩石归到变质地层中，问题则更大。

3. 绝大多数的变质岩都具有某种程度的定向构造，如片理、片麻理、条带及成分层。如果把它们的起因都归于变形作用的产物，而划为构造岩，则会出现两个问题。一是把变质岩的形成看得过于简单，二是使研究的问题变得模糊不清。例如河北省宽城地区，由于燕山期花岗岩的侵入，使围岩发生了热变质作用的改造。其中震旦系串岭沟组页岩自外接触变质带的外圈向里变化为紫红色页岩→板岩→红柱石千枚岩→堇青石红柱石二云母片岩→堇青砂线钾长片麻岩。其片理或片麻理构造的产状与其成分层的产状一致，显然是继承原来的页理构造发育起来的，不属于构造变形的产物。

4. 从国内外已报导的韧性剪切变质带与金矿的关系来看，金矿产在韧性剪切变质带的特定位置及岩石组合中。然而又不是一种简单地成矿、控矿作用过程。对于找矿来说，首先要确定这样的一些有利部位，因而就要总结其找矿标志。从地质上来看，这种标志不仅存在于矿床本身，而且更重要的是存在于成矿、控矿地质体及周围的环境中。

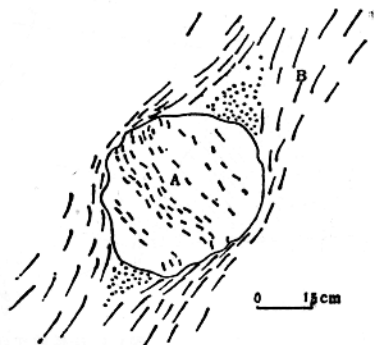
以这种方法制图的主要优点在于：

1. 可以查明不同成因的岩石组合在空间的分布特点及其结合方式。
2. 有利于确定韧性剪切变质带的边界性质及空间展布特征，揭示出内部的变化特点。
3. 有利于把研究区内不同地质事件进行排队，总结各事件之间的制约关系及地壳演化历史。
4. 有利于总结金矿地质特征及指导找矿工作。

质的地质体来研究，那么不论在空间分布上，岩石组合及矿物组合，以及岩石的结构构造、变质作用的特点和成矿控矿特点等均有其独特的性质，构成与其他变质成因的岩石区别的标志。现介绍如下：

### 1. 韧性剪切变质岩

目前许多研究成果已经表明，一个大型或者中型的韧性剪切变质带总是由一套变形程度、退变质程度不同的韧性剪切变质岩及原岩残块组成的（图1-8）。其中韧性剪切变质岩的组合特点具体地反映着韧性变形及变质作用性质和物化环境。因而为正确地描述和总结在地壳不同物化条件下所形成的韧性剪切变质带的特点和总结矿产出的地质背景，有必要根据韧性剪切变质岩的变形特点、矿物组合、基质和残斑含量和重结晶程度，将常见的韧性剪切变质岩划分为八个基本类型（表1-2）。



A. 退变的麻粒岩残块 B. 阳起石糜棱片岩  
图1-8. 阳起石糜棱片岩中央退变的麻粒岩块  
(固阳十五号村)

表1-2 韧性剪切变质岩常见的岩石类型

基质含量 < 90%	基质含量 > 90%	
1. 糜棱岩化岩石 (基质 < 10%)	4. 超糜棱岩	结晶程度增加
2. 初糜棱岩 (基质 10—50%)	5. 千糜岩	
3. 糜棱岩 (基质 50—90%)	6. 糜棱片岩	
	7. 糜棱片麻岩	
岩石全部重结晶		
8. 变晶糜棱岩		

在上述八个基本岩石类型的基础上，根据基质的矿物种类及含量，可进一步划分若干个岩石种类，如图1-9所示。

有必要说明的是：在手标本上，糜棱片岩和糜棱片麻岩与区域变质的片岩、片麻岩是难以区分的。最重要的区别标志是地质产状，前者同其他韧性剪切变质岩组合在一起，呈线状或者带状产出。

### 2. 韧性剪切变质岩的结构

在韧性剪切变质岩内，各种类型及尺度的变形结构、反应结构及矿物本身的成分环带结构均十分发育。矿物的定向拉伸明显，拔丝构造常见。在叶理面上（或片理面上）a线理清楚。在成分比较复杂的地段可见到鞘型褶皱或者“a”型褶皱。在变形强烈的地段可见到塑性流动而形成的一种假流纹构造。由动力分异作用形成的条带状构造常见。值得指出的是在高温环境下（角闪岩相条件以上）所形成的韧性剪切变质岩，尽管基质全部重结晶了，但拔

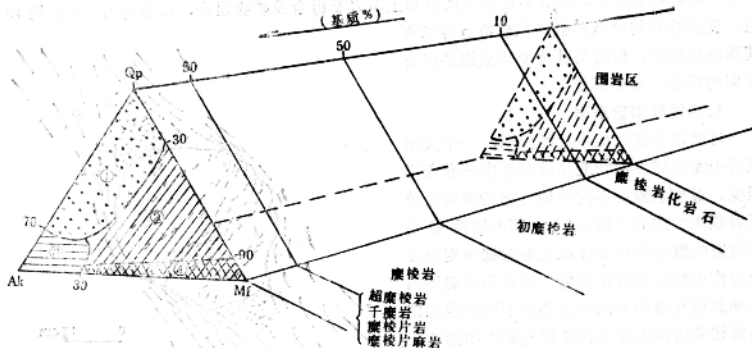


图 9-9. 韧性剪切变质岩结构—成分分类图

①长英质成分区, ②镁铁质成分区, ③富铝质成分区, ④超镁铁质成分区。Qp: 石英+长石, A K, 铝硅酸盐矿物+钾长石和白云母, Mf, 镁铁质矿物。

丝构造, 变形的残斑等仍可保留。如包头北哈达门沟近东西向走向的高温韧性剪切变质带中砂线堇青糜棱片麻岩中, 可见到条带状的堇青石与拔丝的石英和黑云母平行产出, “S”型条纹长石残斑仍保留着。透镜体状的石榴石, 其内含有已重折的针状砂线石包体, 一起分布在拔丝条带之间。其长轴方向与拔丝条带之间有一夹角(图1-10)。

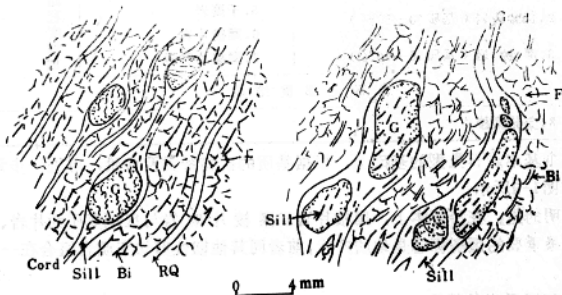


图 1-10 砂线石堇青糜棱片麻岩显微结构特点

Cord. 堇青石, Sill. 砂线石, Bi. 拔丝黑云母 F. 酸性斜长石+微斜长石, RQ, 拔丝石英

岩石内各种变形组构十分发育, 如变形纹、变形带、分离结构、粒化与亚颗粒结构、剪切阶步、变形双晶、膝折结构、核幔结构及压力影结构等(详见刘喜山等, 1987)。

岩石中常见的反应结构有: 在石榴石残斑颗粒外缘有黑云母(或者绿泥石、阳起石)或

堇青石等矿物构成的反应边结构(刘冀山, 1988)。角闪石有绿泥石或者阳起石或者浅闪石的反应边。辉石颗粒边缘有角闪石的退变边。这些结构的存在, 不仅指明在变形过程中, 也发生了变质反应作用, 而且为进一步研究在演化过程中变形与变质作用之间的关系提供了宝贵的信息。

除了上述变形、变晶结构外, 其残斑结构则是韧性剪切变质岩中极明显的标志, 也是与其他成因的变质岩重要的区别标志之一。就内蒙古大青山—色尔腾山地区所观测的几条大型韧性剪切变质带而言, 在多数情况下, 岩石中均可见到数量不等的残斑矿物存在。与混合岩化作用形成的交代斑晶的主要区别为: 残斑形态多呈椭圆形、“S”形; 长轴方向与叶理走向之间有一定的夹角; 残斑有旋转及拖尾结构; 成分比较杂, 如常见的残斑矿物除钾长石、斜长石及石英外, 普通角闪石、石榴石及辉石也常见。

### 3. 韧性剪切变质岩的矿物组合

组成韧性剪切变质岩的矿物成分, 不论在手标本上, 还是在镜下, 均可发现在同一块韧性剪切变质岩中, 同时存在着在不同阶段, 经不同变质成因的矿物组合在一起。因而就总体矿物成分而言, 并不是一个稳定的共生的双变平衡组合, 而是处在单变平衡状态下的一组矿物。因而在划分和研究韧性剪切变质作用所形成的矿物组合时, 要充分利用岩石中的残斑结构、反应结构及变形、重结晶结构的特点来进行。韧性剪切变质作用所形成的矿物组合列于表1-3中。

从由区域变质作用形成的矿物组合转化为韧性剪切变质作用的矿物组合来看, 韧性剪切变质作用可能发生在两种不同的流体环境下: 一种是发生在以 $\text{CO}_2$ 为主要成分的流体环境下(相对于流体中 $\text{H}_2\text{O}$ 的含量来说, 有人称为干体系), 表现为在变质作用过程中, 加 $\text{H}_2\text{O}$ 作用不明显; 另外一种环境为以 $\text{H}_2\text{O}$ 为主要成分的流体, 有少量 $\text{CO}_2$ 及其他成分, 加 $\text{H}_2\text{O}$ 作用明显。但不论那一种情况, 流体中均含有钾离子的成分。

有必要说明的是, 在相当于绿片岩相变质级别的区域变质与韧性剪切变质所形成的矿物组合是相似的。其划分仅能靠地质产状及岩石的显微变形结构。

### 4. 韧性剪切变质带的变质作用

韧性剪切变质带内的变质作用与其变质的围岩所经受的变质作用相比较, 除了在空间上构成一个线型退变质带外, 也波及到一部分相邻近的的围岩。在这里主要介绍在区域变质作用地区内, 这种退变质作用的一些特点。

1) 细粒化。韧性剪切变质岩(除残斑矿物外)岩石的粒度比围岩岩石粒度细。这是由于组成岩石的矿物在较高的温度、压力下, 由于变形作用, 动态重结晶作用或者变质反应作用而导致其粒度降低。其中变质反应作用起着重要的作用, 而不是脆性破碎或者研磨作用的结果。在较低温环境下形成的韧性剪切变质岩中, 这种细粒化的现象尤为明显。而在地壳较深的部位和角闪岩相以上的温度环境中, 所形成的韧性剪切变质岩, 其粒度降低的不明显。这是由于动态重结晶程度较高、变质反应进行的比较彻底的结果(Simpson, 1985)。但岩石中仍可保留有少数的残斑矿物。如美国的Coyote山地区, 含矽线石糜棱片麻岩, 内蒙古中部乌拉山南坡含矽线堇青石黑云糜棱片麻岩及紫苏辉石斜长糜棱片麻岩, 冀东水厂铁矿含紫苏磁铁矿英糜棱片麻岩等便具有上述特点。尤其后两种岩石中, 拔丝的紫苏辉石(长:宽>

表1-3 韧性剪切变质岩常见矿物组合

原岩系列	区域变质作用的矿物组合(呈残余存在)——构造期前		韧性剪切变质作用的矿物组合(以基质形式存在)——构造同期		静态结晶作用矿物组合——构造期后	地区
	变质相	矿物共生组合	相当变质相环境	矿物共生组合		
中—基性系列	麻粒岩相	Opx—Cpx—Pl	麻粒岩相环境	Opx—Pl(酸性)—Cpx—Q—Bi	矿物共生组合	内蒙古中部 Scourie 冀东桑园 Lochnivar Gairloch 内蒙古中部 Torridon 冀东水厂 内蒙古中部
	角闪岩相	Opx—Pl	高角闪岩相环境	Cpx—Hb—Pl—Bi—Q (酸性)		
	角闪岩相	Cpx—Pl—Ga	低角闪岩相环境	Act—Pl(酸性)—Bi—Mus—Q Chl—Mus—Ab—Bi(±Act)		
基性系列	角闪岩相	Hb—Pl(±Cpx)	低角—高绿片岩相环境	(Tre—Hb)—Chl—Pl—Q—(Cc)	Ser—Chl—Cc —(Q)细脉或团块 Chl—Ser—Cc —(Ep)	Torridon 冀东水厂 内蒙古中部
	角闪岩相	Hb—Ga—Pl—(±Q)	低绿片岩相环境	(Tre—Hb)—Pl—Bi—Q(Ep) (Act—Hb)—Ga—Pl—Q—Bi		
	角闪岩相	Hb—Pl	低绿片岩相环境	Act—Pl—Mus—Bi—Q—Cc Chl—Ep—Mus—Bi—Q(Cc)		
中—酸性系列	角闪岩相	Pl—Kf—Hb—Q	低角—高绿片岩相环境	Mus—Bi—Cc—Q—Mic—(Pl)	Mus—Ab—Ser Mic—Ab—Bic 褐绿色细脉 Mic—Ab	冀东水厂 内蒙古中部
	角闪岩相	Pl—Q—Bi	低角—高绿片岩相环境	Pl(富Ab)—Q—Bi—Mus—(Ep) Ep—Bi—Ab—Chl—Q—(Cc)		
	角闪岩相	Pl—Hb—Bi—Q(?)	低角—高绿片岩相环境	Cord—Sill—Pl—Q—Bi—(Hy) Cord—Sill—Q—Bi		
富铝质系列	麻粒岩相	Hy—Ga—Kf—Pl—Bi(?) —(±Sill)	麻粒岩相环境	Mus—Bi—Mic—Pl—Q—(Ga) Mus—Bi—Chl—Ab—Q—(Mic)	冀东水厂 内蒙古中部	冀东水厂 内蒙古中部
	麻粒岩相	Ga—Sill—Pl—Kf—Bi(?)	角闪岩相环境			
	麻粒岩相	Sill—Ga—Kf—Bi(?)	绿片岩相环境			

· 苏格兰地区的几条韧性剪切带(Beach, 1980)



6:1) 断续定向排列, 构成一种“紫苏辉石鱼群”分布在岩石中, 而残斑的紫苏辉石颗粒呈孤岛状存在于这种“鱼群”中, 同时两者之间有一夹角。有必要说明的是以往将上述岩石归为区域变质地层(相应的岩石名称有片麻岩, 片麻状磁铁石英岩等)或者混合片麻岩, 即混合岩化作用的产物。

2) 加流体作用。在韧性剪切变质岩中, 尤其在中温及低温环境下形成的韧性剪切变质岩的基质内, 出现了大量的含水矿物和碳酸盐矿物, 如普通角闪石、阳起石、绿泥石、云母类矿物及绿帘石等含水矿物和方解石、铁白云石等碳酸盐矿物。岩石的反应结构特点表明这些矿物是由较高温的矿物或者矿物组合在韧性剪切变形—变质作用过程中, 由于由 $H_2O + CO_2$ 组成的流体的加入而造成的。如辉石转变为角闪石; 角闪石转变为绿泥石; 斜长石转变为钠长石+多硅白云母+方解石或者绿帘石。这种流体的加入作用除引起含水矿物出现而外, 还可能使岩石的变形行为及边界条件发生变化, 加速应变体系中物质成分的交流及迁移以及出现含 $SiO_2$ 和(或)碳酸盐的流体, 经重结晶而形成平行于叶理构造的“石英层”、“碳酸盐岩层”或者“石英+碳酸盐岩的互层”。有的经再活动而形成各种脉。上述现象在内蒙古固阳县西部羊尾沟—十八顷壕一带十分普遍(图1-11), 同时也是低温初—脆性变质带和金矿化带发育最好的地段。

3) 钾交代作用。在韧性剪切变质带中, 钾质交代现象比较发育。主要表现在岩石中出现了大量的含钾矿物, 如黑云母、多硅白云母及微斜长石等。岩石中矿物或矿物组合的转变及结构表明, 在含钾流体作用下, 原有矿物分解而形成新矿物。如斜长石转变为钠长石+多硅白云母; 角闪石、辉石及石榴石转变为黑云母, 绿泥石及黑云母转变为多硅白云母。在这一转变过程的同时, 有 $SiO_2$ 、 $CaO$ 、 $(Fe, Mg)O$ 等组份析出进入流体相。有的学者认为当

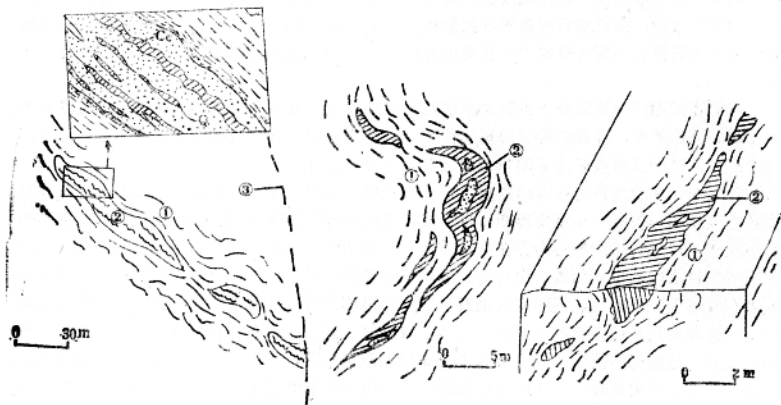


图1-11石英+碳酸盐脉形态与成分变化, 羊尾沟—十八顷壕。

①绿泥绢云母糜棱片岩, ②石英+碳酸盐矿物组成的脉, ③脆性断裂。