

目 录

关于研究岩组分析的若干理论与方法问题.....	张保民 (1)
苏南地区若干扭性断裂的显微构造特征.....	孙 岩 (13)
略论宏观与微观破裂变形的特征及其一致性.....	李述靖 王化锐 (25)
运用地质力学的方法对遥感像片资料进行地质构造解译的初步体会	江西省地质局区测五分队地质力学编图组 (31)
浅谈覆盖地区结构面的鉴定.....	刘泽容 李德同 (36)
云南省主要构造体系的初步划分及其特征 (附云南省主要构造体系图)	孙家骥 (44)
中国辽、吉东部山区与朝鲜构造体系梗概.....	朴宽镐 彭玉鲸 (57)
江西某斑岩铜矿地质构造特征及其控岩控矿作用.....	江西铜矿会战指挥部 (64)
构造体系的分析方法在煤田预测及普查工作中的应用.....	东北煤田预测组 (81)
对构造复杂煤矿开展老井挖潜的初步体会.....	河北省兴隆煤矿地质测量科 (91)
中国某地区现今区域地应力场问题的初步探讨	国家地震局地震地质大队 孙叶执笔 (97)
海城地震区地应力测量和构造应力场	国家地震局地震地质大队四队 李方全执笔 (115) 中国地质科学院地质力学研究所地应力组
滇西地区地应力绝对值测量及龙陵地震区地应力场初步分析	国家地震局地震地质大队四队 丁旭初执笔 (123) 中国地质科学院地质力学研究所地应力组
标定传感器的新方法	国家地震局地震地质大队 丁原辰执笔 (130) 中国地质科学院地质力学研究所
矿区之地应力测量与矿山设计	中国地质科学院地质力学研究所 廖春庭等执笔 (137) 国家地震局地震地质大队
旋卷构造应力场之有限元分析.....	王连捷 范雪玲 (148)

关于研究岩组分析的若干理论与方法问题

张保民

一、引言

近半个世纪以来，早在1929年，我国的青年地质学家李四光教授提出，“在造山运动时期大陆确实曾发生过水平运动。”又说：“从大地构造学的观点我们至少可以区分出两种类型的扭动：第一种是平行的或直线扭动；第二种是旋扭。而在第二种情况下，扭动实际上是围绕某些直立轴而作用，其结果在水平面上成一扭转运动。在此足以说明褶皱不总是由直交其轴的运动造成的。然而有些重要的构造特征总是由直接挤压力造成的。”在某种意义上说这是他扩展了一个极其重要的边界条件，对自然界的认识上是一个飞跃。

第二年，1930年M. J. 布尔格 (Buerger) 在研究晶体的滑动时，总结出有三种平移滑动，第一种是人们所熟知的平面平移。第二种是轴面平移。他所用的动力轴 σ_1 的‘箭标’是上下的垂直运动，给我们认识水平运动的轴面平移或者说是层间滑动造成混乱，因为水平运动的轴面平移的扭动方向与垂直运动的轴面平移相反（如图1）。第三种是扭转平移（如图2）。就是李四光早于布尔格一年所提出的扭转运动。



图1 轴面平移
(1)—水平；(2)—垂直



图2 扭转平移
(据布尔格)

1962年李四光又从地质力学观点把结构面分为下列五种，1.压性结构面（或是压性S面）；2.张性结构面（或是张性S面）；3.扭（剪）性结构面（或是扭性S面）；4.压扭结构面（或S面）；5.张扭结构面（或S面）。

1964年王嘉荫教授曾对第4和第5两种结构面的性质加了说明。他说：“后二者是同时或先后两种不同性质应力联合作用的结果。”他对“同时二种不同性质应力联合作用的

结果”的认识，对岩组分析是很重要的。

由上述所提出的一系列概念和认识，为岩组分析奠定了理论基础。

二、岩组分析

(一) 基 础

在岩组分析的问题上，李四光生前提出：“岩组分析，对于岩块内部某些矿物组合条理的辨识，是长久以来行之有效的办法。那种条理，除了由沉积和热影响所产生的以外，都是过去应力活动在岩石中留下来的陈迹。这正是地质力学所追求的东西。如何在适当的地点，适当的选择标本，来帮助构造体系的分析，还需要下一番功夫。”早期研究变质岩带和构造岩带的岩石变形，很少涉及到它们的内部结构，把岩石变形后形成的褶皱与断裂作为一个僵化的整体，单纯从力学的物理概念来描述运动。近半个世纪以来有了岩组分析，深入到岩石内部结构之间相互关系的变化，从大量统计规律来描述运动，这样记录的矿物运动状态，是一种关系、一种发展、一种量变、一种不可逆的时间因素。这样就有可能正确判断经过构造运动作用的岩石重新组织起来的结构和应力分布之间的关系。但是早期曾受有各方面的影响，发展较慢，诸如人们对地应力存在的怀疑，以及长期受有温度控制的矿物结晶，很少考虑到应力作用。为了继续前进，必须在显微层次里对变形岩石中矿物集合体在运动中应用的理论和细节，加以研究。同时清楚的解释出它同边界条件的意义和它们之间的关系。因而必须对目前所存在的繁琐的理论基础进行改造，由实践中得来的事例，做出必要的论证和概括，使岩组分析的基础与方法在理论和操作上感到自然而简便。

(二) 测 量

对变形岩石中矿物变量向量的测量，就是由矿物不同量上的量度，找到变形岩石在运动过程中新的共同转化点，也是量度矿物的转变含量，用来说明它们在运动中的转化能力。在新的边界条件下，这些矿物个体运动总是趋向于新的平衡态，它们在运动过程中随着时间的推移总是朝着不可逆的增加丧失转化能力的方向发展，因此就表现了运动过程的一种方向性，量度和统计出这个趋势性方向，绘制出岩组极密优选图，应用力学性质来处理，这种图像，就能揭示出岩石在变形过程中边界条件的变化。现在已经能够对于变形岩石进行量度，就因为已经找到了矿物在它运动过程所反映的应力位与边界条件是同质的，具有共同量的规定性。确定出矿物运动的滑动系统在 S 面上的位置，就可以间接了解结构面的应力性质，从静止中捕捉变化，从静止中量度运动。

(三) S 面

是连续变形和不连续变形的结构面的总称，比如褶皱面、层面、各种破裂面，象劈理、片理等，等于岩组 a 轴和 b 轴联合起来的 ab 面。

在运动过程中， S 面的变化，从来都是用力学性质来处理，比如，地块上一个褶皱发生了，随着时间的推移，塑性变形达到高潮，发生平行于褶皱轴面的流劈理，如图3。产

生压性结构面 (S_r)，于是连续变形停止了，发生了脆性破裂，褶皱作用不能继续，产生变余褶皱。 S_0 是破劈理，有时是层间滑动，有时在对翼上产生密集的破裂面。 S_0 、 S_r 统称为S面。

矿物在运动中活动的范围，反映了边界条件。在运动过程中，S面的变化反映着边界条件的改变。对边界条件建立起抽象的概念是很重要的。要表示出矿物在一定边界条件下的运动。如图4是一个抽象示意。

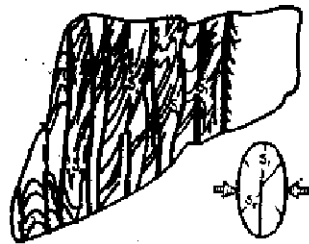


图3 变余褶皱—破劈理和流劈理

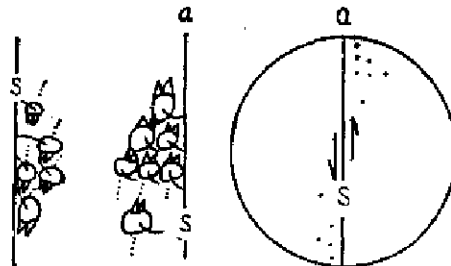


图4 物质滑移运动与边界条件抽象示意图

a—表示运动方向，S—边界条件

(四) 座 标

岩石变形的整个过程都需要安排组织系统，采用直角坐标来表示与运动系统的关系以及空间物质的联系。

对于岩石的塑性变形和脆性破裂的时(间)、空(间)特征的认识，需要进行岩石中矿物颗粒方位的测量和统计，或做群体矿物优选的统一量度。要建立岩组坐标系。在旋转台上测定矿物颗粒的优选向量，结合构造运动与空间物质的位置，认识它的优选与构造运动之间的关系，进而对于岩石变形在空间延展和时间持续的特征才能有正确的了解。

运动系统和量度系统的关系要与空间物质联系起来，因此在确定座标系统时还规定了它所代表的运动性质、时间和位置关系(图5)。

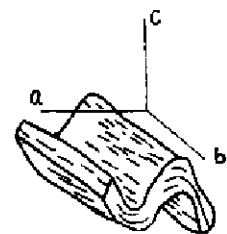


图5 岩组轴

a 轴：指示运动方向，也是作用力的方向，常常是褶皱幕开始后，物质的第一“拉伸取向”。在这个方向上以滑移为主，如果是褶皱变形，就是层间滑动。

b 轴：是物质的变形轴向，在褶皱形成时的褶轴，是构造运动的主要内外转轴，褶皱的后期阶段，是矿物变形的第二“拉伸取向”。

c 轴：垂直a轴和b轴，是分压方向，垂直c轴方向的ab面，物质常发生扁平压缩，压缩物质的长轴排列——“条理”有两种情况，即上述的第一和第二“拉伸取向”。

第三拉伸取向与a、b轴斜交。

(五) 标 本 采 集

如何在适当的地点，选择标本以及为了进行统一分析、认识，在采集标本时做了一定的规定。当进行某一断裂带的研究时，标本采集位置要在变质岩带或构造岩带上，而且是

受运动影响的岩块，其内部具有塑性变形和脆性破裂的岩石，同时在S面上有条理，剖面上有密集的平行线条。采集时注意：

- (1) 采集者脸对着的S面，是朝上的面。
- (2) 右手持罗盘，罗盘的北（或N）字指向外怀。
- (3) 读北针，划上走向线外怀指向做箭标把指北针读数记在“标向”上，量出倾角。
- (4) 将平面图画在记录本上，并记录时间、地点和标号。
- (5) 画上垂直走向和平行倾向的切口，如图6。

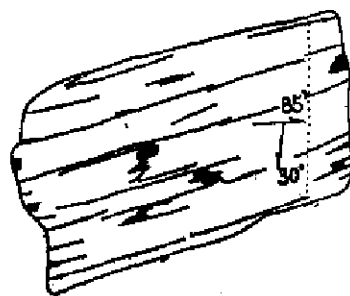


图6 点线是标本切口

(六) 磨制薄片

- (1) 平行切口切下，并在底玻璃上表示出朝上的S面位置。同时制作两片为宜。如图7。

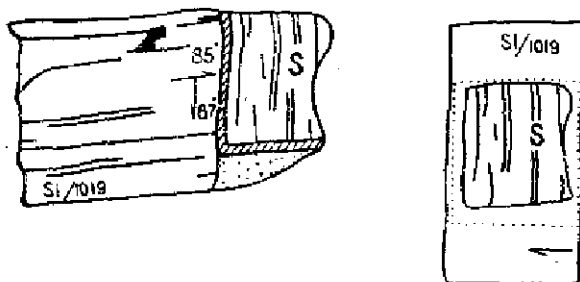


图7 标本制成薄片

- (2) 贴在底玻璃上的岩片按结晶学上的正 b ，切下后右手里翻贴上，浑江国产和德制赖兹（Leitz）旋转台底玻璃厚度应在0.9—1.1毫米，范围之内，底玻璃长度不要大于48毫米。

- (3) 加盖玻璃烘干。

(七) 准备测量

变质岩带和构造岩带的岩石变形的时、空特征，只有通过具有一定量的时、空特征的度量工具进行比较，绘制出时间先后的空间位置统计趋势图，才能进行分析和认识。这里也做些约定：在旋转台上进行测定矿物时应将

- (1) 旋转台的内立轴 μ 环的 0° 用M轴处置在“外怀”（即北端）。如图8。
- (2) 上半球投影，向旋转台仰起方向投影，水平轴由外向里数度，直立轴由里向外数度。
- (3) 吴氏投影网的位置也需一致，“内怀”固定是 180° （即位于南端）。
- (4) 测定矿物在运动过程中，对应力性质表现灵敏的光性特征以及S面，投影在图上。

(5) 用克罗宁网将S面两端对准1%位置点某一直行, 统计小单位圆面积的特征密集点数。

(6) 绘制等密线图, 等密线间距由具体情况自己选定, 曲线用内插法画出。得出极密和次极密以及极疏(图9)。

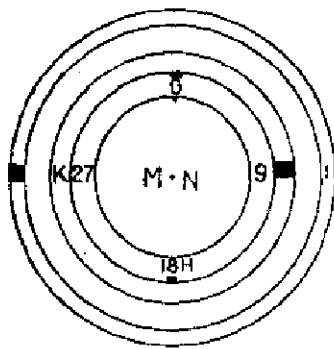


图8 *环0°在正北

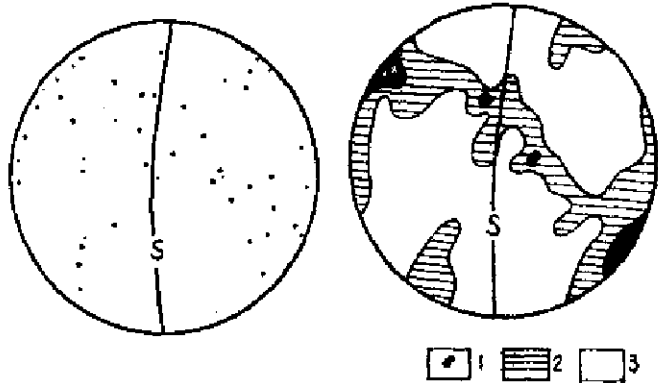


图9

1—极密, 2—次极密, 3—极疏

三、岩石变形

岩石变形无疑的是内部运动的产物。我国地质工作者对岩石的变形早 有极完善的描述。何作霖教授在1958年描述岩石变形时说,“若岩石本身的结构有不均匀时, 当受有水平压应力时, 地层不能永远保持水平, 于是发生弯曲, 一旦发生弯曲, 则弯曲旋量愈演愈大, 弯曲现象也就愈演愈剧, 此时张力方向几乎变为垂直, 产生褶皱, 同时发生后期剪节理, 节理交线平行褶轴, 地层面上显有平行褶轴的节理, 称为纵节理。压应力继续作用, 背斜顺其轴向做最大的延长, 张力方向又变为水平, 横节理发生, 横节理继续发展, 褶轴与走向平行可产生横断层。”这就把岩石变形通过应力场在时间和空间的一次运动中相互作用的背景进一步揭示出来了。

(一) 滑 动

是由应力作用所引起的塑性变形, 在围压下进行, 初期阶段经过塑性变形滑动的岩石, 滑面广泛在粒间进行, 后来塑性增高时, 滑面的间距变窄, 在粒内进行, 矿物沿着一定的结晶面进行, 同时伴随有重结晶。

岩石重结晶产生片理, 是岩石塑性变形的一种再造。片理是大部分片状矿物形成的结构面, 毫无疑问塑性变形是这些结构面的先导, 不独是可以看到以片状矿物在面上的规则排列, 就连那些隐蔽的石英细小颗粒, 在岩组图上也反映出它的(10 $\bar{1}$ 1)晶面常与扭性结构面平行定向。

(二) 褶 曲

岩石的褶曲现象是塑性变形的一个证明, 当岩层受有水平挤压作用时, 由于岩块物体

和外力作用的不均匀性，而发生了弯曲。初期在弯曲的倾斜面上，由于垂直层面的分压力，原有的矿物产生沿棱角破碎而转动，作形体或晶格方位的优选。若为一些粘土矿物则常脱水产生重结晶而成为片状矿物，形成片理。后来塑性变形加剧，S面由于机械定向（或由重结晶而增强方向性排列），在运动中片理面有时转化与轴面平行，而发生流劈理，片理形成作用达到高潮时，褶曲作用也就最终的停止了。

褶曲在形成过程中，整套的岩层均遭受了塑性变形，发生了轴面平移的层间滑动，与其共轭的扭性节理，顺层的一组产生了物质沿层面的再分配和滑移。在重结晶作用过程中，对于片理和线状构造的形成，均有很大影响。

(三) 转 化

由于构造运动在地块上产生的应力分布，具有一定的性质和方向，如扭应力作用能使岩石发生轴面平移，矿物沿滑动面平移后，保持了优选方位。主压应力作用在时间上持续进行，片理面转换与压应力方向垂直，矿物滑向沿滑面向拉伸方向作 90° 的转动，终极位置[\perp]平行于岩组轴 b 。如图10。

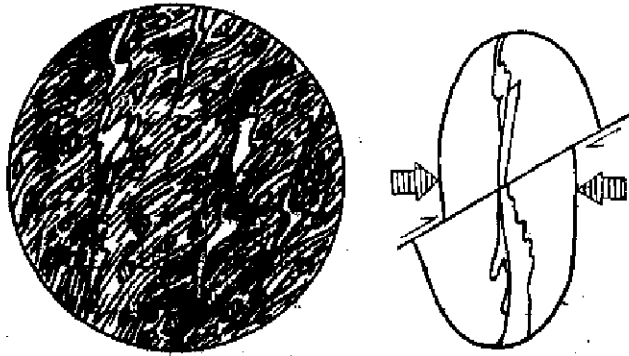


图 10 边界条件的变化与压性结构面的形成

为了把这个转化过程简单地表达出来，这里引进了一个术语叫它做岩石的“拉伸取向”，它标志着在扭性结构面或压性结构面中涉及到塑性变形的矿物晶体，按阻力小的位置和方向上排列或重结晶的拉长生长，在岩石变形过程中，这个转化一方面是由于矿物所处的应力性质、方向的变化发生和另一方面是拉伸取向的

变化之间存在着直接的因果关系。

岩石中所含的应力，力图改变它的状态使岩石发生变形。一种矿物的拉伸取向，可以由运动基本方式滑移、转动以及矿物的重结晶反映出来。

(四) 转 动

分散的塑性滑移面，初期，矿物的滑移面与层面平行，后来进入压性结构面的位置时偏离层面，片状矿物因其有较大的界面能，并且使它有远离粒状矿物（长石、石英）的倾向，片状矿物的滑动面转入压性结构面中，开始转动。塑性渐低，脆性发生，产生破裂，是为压性结构面。

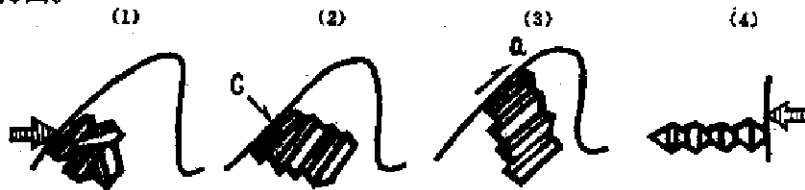


图 11

(1)—乱排，(2)—优选，(3)—滑移，(4)—转动

这个面的存在是由于旋转台上矿物的岩组结构中属于同一种矿物群体的不同干涉效应得到的。这个效应是由于矿物在运动中的平衡转化，它是由于应力方向和性质所控制的。转化之前是扭应力牵引[1]的滑移，以后(T)进入压性面，滑向力争辗转平行岩组轴b，终极时完成T字运动(图11)。

四、应 力 矿 物

矿物受应力作用而产生的“塑变”和脆裂，很自然应该是应力矿物，1964年王嘉荫教授将应力和矿物物性间的关系联系起来，凡是能反映应力大小的矿物，统称之谓应力矿物，并说，“矿物是可以反映应力情况的，”通过岩组分析用粒状矿物、片状矿物和碳酸盐类矿物的变量向量测量，是完全可以推求出应力性质，得出应力场的分布，对褶皱和断裂的成因关系以及变质作用都可以得到合理的解释。基于这个理由，还需要介绍矿物力学上的一些简单概念，便于我们在认识矿物的内在属性上做进一步的了解。

(一) 应 力 位

变形岩石中矿物集合体随着地应力场的性质和方向的不同，它们自身都具备了适应不同应力性质和方向的形体方位和晶格方位，就是晶体的应力位，也是矿物内在属性，如石英的(1010)面常垂直挤压应力方向转动优选。而(1011)则与扭性结构面平行滑移。如图12、13、14。

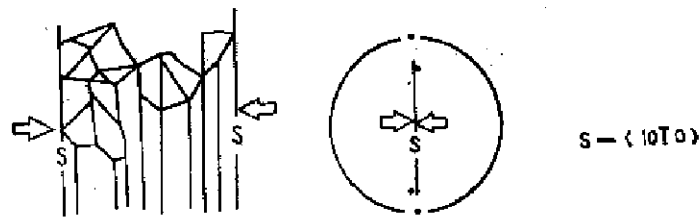


图 12 石英在压性结构面中的应力位

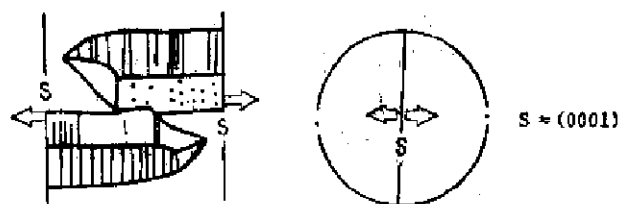


图 13 石英在张性结构面中的应力位

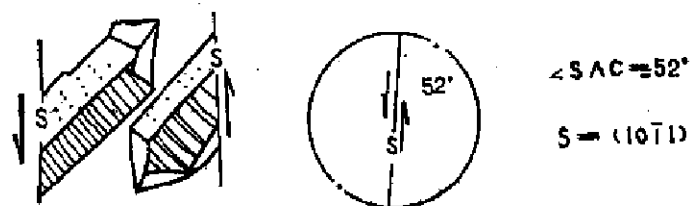


图 14 石英在扭性结构面中的应力位

(二) 滑 动 系

变形岩石中矿物的滑动系是由滑面 (T) 与滑向 [t] 组成。

(1) 滑面: 就是矿物沿外界滑动或转动面上的结晶面, 用晶面符号表示, 如绢云母的滑面是 (001)。

(2) 滑向: 就是矿物沿外界滑动或转动面内晶体上的滑动方向, 大多数是结晶轴, 如绢云母的滑向用 [100] 表示。如图 15。

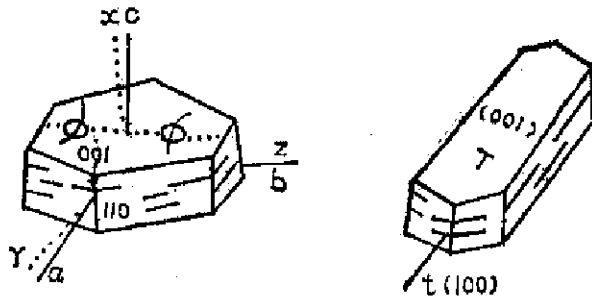


图 15 绢云母的光性方位和滑动系

(三) 界 面 能

矿物在运动过程中, 由于自身所具备的滑动系的数目多少与在过程中进入到界面的能量是成反比的, 当矿物的滑动系越少 (如绢云母只有一个滑动系) 它在运动中进入各种不同性质结构面的能力越高。因此片状矿物常常远离粒状矿物到各种结构面中都将安定位置。

因此片麻岩、片岩的片理都是由片状矿物组成的。如由压性结构面形成石英千枚岩的千枚理, 它就是绢云母远离石英而形成的。

建立在结构面和体系关系的地壳上的岩石变形, 是具有深刻的体现着自然界和谐一致的应力分布所控制的矿物运动。有其较为深刻的自然秩序。

在适当的地点, 采集构造岩带或变质岩带标本进行向量测量和性质分析, 对鉴定结构面性质确系一有效途径。可以查明在地壳上岩石变形的组织运动是如何完成的, 运动过程中矿物是怎样定向的。

野外宏观上的 ab 面——片理面、褶皱轴面、岩层层面、断裂面, 以及尚不能确定出 a 轴的 S 面, 和面上的线理, 都是由于其构造带内岩石中的矿物集合体, 经应力作用后形体方位或晶格方位的应变来反应的。由于它们是处于不同的结晶系中, 具有不同的标型, 在垂直挤压方向内, 开始时顺棱角破碎, 然后转动调整而优选, 后期碎小颗粒在高塑性条件下重结晶, 增强线性方向的排列。在扭性结构面内的滑移变形, 保持着优选方向的移动。参加运动的一切矿物, 都涉及到它们在变形过程中所动用的滑动系, 除去矿物自身的滑面平行于变形的结构面需要进行测量外, 还必须研究在结构面中的拉伸取向的量度才能对结构面性质作出正确的鉴定。

这个量度需要应用矿物的光性方位上不同干涉效应, 观察优选。在显微镜旋转台下研究 ab 面上矿物的运动时, 切片 $\perp b$ 轴。

(1) c 轴作用时间: c 轴作用在层面上以挤压作用为主造成转动优选, 量度在运动不同阶段和不同时间矿物的拉伸取向, 同时也应注意面内物质的透镜体的长轴排列方向, 与 a 轴和 b 轴的关系。探索应力分布在不同阶段时间的变化, 了解构造运动的发生和发展 (图 16)。

(2) a 轴的作用方向: a 轴方向就是滑动平移的前进方向, 它保持矿物的优选方位, 或是重结晶矿物沿这个方向加强拉伸取向, 可以看到物质沿滑动面的再分配, 也是大

规模变质岩，带状分布的由来（图17）。

(3) 重结晶矿物：它是按李克原理进行，在阻力小的方向上，沉淀出晶体，加大面拉长。应测量出，垂直于挤压应力面或平行于扭应力面的结构面中优选矿物的晶面符号，以及沿着阻力小方向的转动、滑移或生长方向晶轴符号。

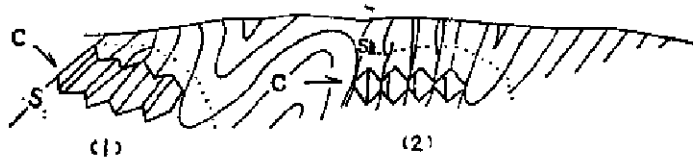


图16 绢云母在不同边界条件下的运动
(1)一在(S₁)扭性面中 $a_1 \parallel a_2$ ，(2)一在(S₂)压性面中 $a_1 \parallel a_2$

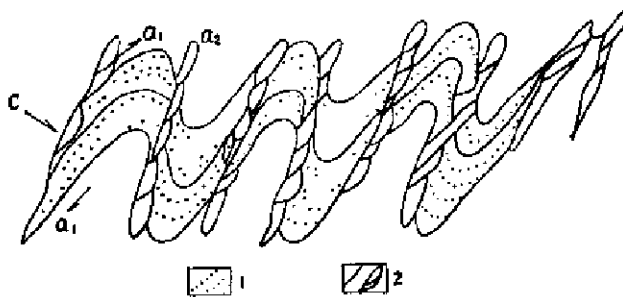


图17 矿物沿滑移和转动面上的再分配
1—粒状矿物，2—片状矿物

应用干涉效应和消光效应，计算运动的阶段和时间，确定结构面性质。

(4) 量度矿物滑向的空间转化位置：是塑性变形和脆性破裂在岩石变形过程中转折点。体现出矿物在应力作用下两个基本运动方式的变化，它既反映矿物的物性的变化，同时说明发生了新边界条件。在构造岩带上同一个走向内包含着两个绝然不同性质的结构面。

(5) 要在拉长矿物的垂直面内，量度挤压应力方向。

在不同矿物结晶体上接受

应力作用时，不同矿物发生着显著的特征标志，在岩组分析工作中被充分应用的矿物力学性质特征有下列主要三种：

(1) 矿物在应力场中比较发育的解理。如片状矿物的解理极点是岩组轴 c 的方向。

例，千枚岩的绢云母。(要求① $\perp b$ 轴的切片；②切片厚度在0.03毫米) $\perp(001) \parallel c$ 在片理面上，用干涉效应，测量 $\neq [100]$ 位置 (b, c 指岩组轴)。

干涉色红—黄色(二级)表示 $Y-X=0.030$

$[100] \parallel a$ 轴是为扭性结构面。

在不同结构面上产生干涉色蓝—绿色(三级)干涉色表示 $Z-X=0.036$

$[100] \parallel b$ 轴是为压性结构面。

见图10, S_1 和 S_2 的干涉效应。

(2) 矿物按晶子间隔小数倍的粒内滑移——机械双晶。如碳酸盐的方解石和白云石(图18)。

量度和统计它的次生双晶的滑动和晶体的光轴位置，投影在吴氏网上，不但可以鉴定出碳酸盐的矿物种类，还可以推导出挤压和拉伸方向。初期如果碳酸盐类矿物滑系中的滑面(T)。与结构面的方向、性质的位置不符合，首先引起矿物晶面发生转动，直到利于滑动位置时再产生双晶滑移而停止转动(图19)。

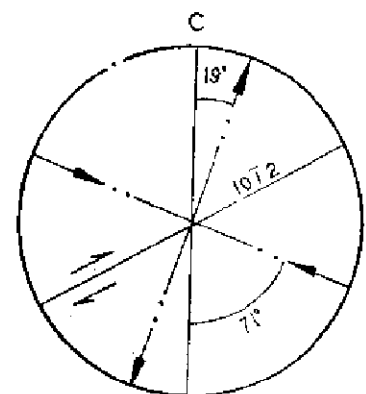


图18 方解石的应变滑动
方解石，晶体按 $(10\bar{1}2)$ 滑动 $(01\bar{1}2)$
= c 聚片 $c \perp (c) = 26^\circ$

如果碳酸盐类矿物受有挤压作用，矿物进行转动优选。方解石的 $(01\bar{1}2)$ 面与白云石的 $(02\bar{2}1)$ 面的滑面亦即转变为转动面（图20、21）。

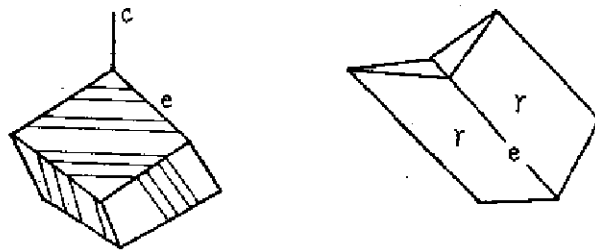


图 19 方解石沿 e ($01\bar{1}2$) 面的塑性变形机制

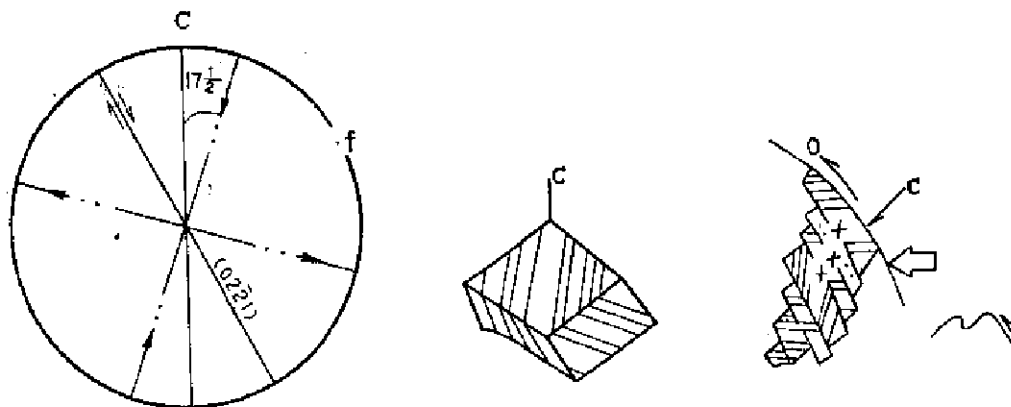


图 20 白云石的应变滑动

碳酸盐类，白云石晶体按 $(20\bar{2}1)$ 滑动 $(02\bar{2}1) = f$ 聚片 $c \perp f$ (f) = 62.5°

图 21 白云石沿 f ($02\bar{2}1$) 面塑性变形机制，转动后滑移

(3) 矿物中存在着特殊的晶轴方位，如中级晶系的光轴。

例如石英的光轴，具有细小颗粒塑性变形的石英晶体，应用消光效应作群组时，可以知道，平行结构面的石英在运动中产生塑性变形，发生优选。如在 45° 位置消光，在岩组图上可以求出平行结构面的石英晶面为 $(10\bar{1}1)$ 面是石英在扭性结构面上的塑性变形机制（图22）。

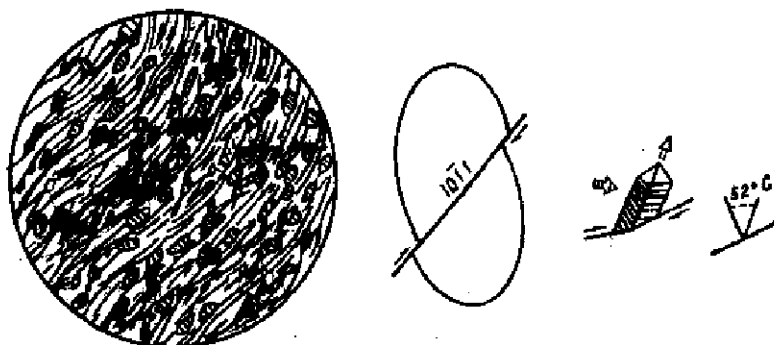


图 22 石英 $(10\bar{1}1)$ 面与扭性结构面平行定向

但在岩石变形中石英常被压碎后重结晶，定向是 $(10\bar{1}0)$ 在结构面中是平行消光，因

而 $m(10\bar{1}0)$ 在压性结构面上是石英重结晶的塑性变形机制(图23)。

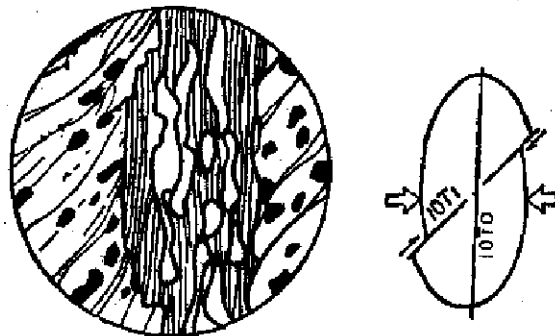


图 23 石英 $(10\bar{1}0)$ 面与压性结构面平行定向

五、组 构 对 称

人们对自然界的对称型式的认识是具有长远的历史，早在半个世纪以前，二十年代，就发现了宇称守恒定律。一直被人们认为是物理学上一条基本定律，但是这只是在一定范围内，人类在一定阶段对自然界的认识，到五十年代李政道、杨振宁提出来在某些特定条件下，宇称不守恒，打破了宇称守恒定律。在结构面的性质上也正如1956年李四光提出：“从发生的观点来看，结构面可概分为三种类型：1. 压性结构面；2. 张性结构面；3. 扭性结构面。每一类型的结构面都各有它们的物理的和几何的特征。这三种结构面的认识，对地质力学的组合分析工作，是具有基础性的意义的。”人们都知道，这样的结构面在岩组图上所表示的只有两个对称型式，即斜方对称（压性和张性）和单斜对称（扭性）。

1962年李四光又从地质力学观点对结构面的类型扩展了边界条件增加了压扭性结构面和张扭性结构面，使结构面类型由三种增为五种。这样岩组图的三斜对称就有了正确的归宿。

我们在中国东部地区对一些矿脉作了岩组分析和简单的模拟实验后，才认识到李四光在早年用应力分析方法所推断的力的来源，在新边界条件下形成的扭动运动，为岩组分析建立了坚实的基础，反过来，在这些体系中所观察、测量出矿物个体运动趋势，又为地质力学在宏观上提供了佐证。同时也认识了岩组分析是与地质力学有同样的理论实用的条件。当然它运用的范围不可能达到整个褶皱幕和断裂带。可是近年来我们在地段上的工作也证实了短时间和小范围的准确性，使我们看到了一个生气勃勃的微观世界。也体会到如果有了完整的理论基础做为岩组分析的指导，也会认为它并不神秘、复杂，而会感到十分自然。

为了清楚说明五种结构面性质与对称的密切关系，下面把对称型式作一些介绍：

(一) 这里用在组构方面的对称是按结晶学上的规定分成三种对称型式，即(1)斜方对称，(2)单斜对称，(3)三斜对称。如图24。

(二) 做对称测量时统计的数量在可能范围内保持在150—200颗粒，事实上矿物个体数量愈大，相对的对称程度就愈高。

(三) 宏观上岩石的变形都是由大量微观个体所组成的矿物运动，应用在显微镜下的宏观测量和统计，所得出的平衡态趋势，在一定的边界条件下遵守其严格的对称型式。它

代表的是岩组的定向方位与变形作用之间的联系。

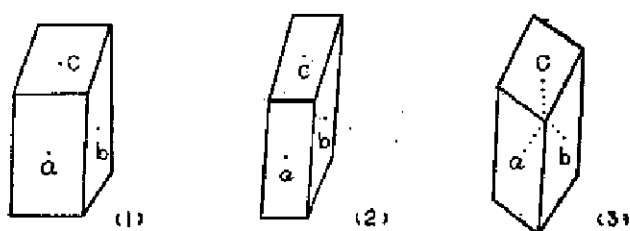


图 24 三种对称型式

(1) 一斜方对称，有三个对称面是 ab 、 bc 和 ac ；(2) 一单斜对称，有一个对称面是 ac ；(3) 一三斜对称，无对称面

(四) 对称组型是矿物内在运动的一种重要表现。

我们对于组构对称发生的理论和实践的认识，比过去丰富多了，并且已经能够应用它的效应来确定 a 轴与 b 轴的定向位置，其次还可以利用后效来校正切片的

偏离度。

压、张、扭、压扭和张扭五种结构面的定向方位、组构型式可以纳入到三种对称类型中。

(1) 斜方对称包括：压性结构面、张性结构面。

(2) 单斜对称包括：扭性结构面。

(3) 三斜对称包括：压扭性结构面、张扭性结构面。

按李四光同志提出五种不同性质的结构面，在实践中选出普遍适用的岩组图相，用作岩组分析参照模式图。以边界条件为基准，分析岩组图对称型，得出应力性质。要注意下面几点要求：

(1) 在图上需有给定的 S 面（边界条件）划出直线或大圆弧线表示，不用面极。

(2) 图底附箭标，指向以边界条件为限的地块上盘（即倾向）。

(3) 将 b 片以 c 为转轴迴转 90° 成 a 片（即地面相）。查 ac 面的对称。

(4) 在 a 片上，将参考座标 b 轴转至标出给定的 S 面走向方向，用以分析构造体系的归属，活动次数、复合关系以及被掩盖的那一部分形变。

这样，我们对石英岩组分析时，就不用桑德尔 (Sander) 的岩组图形，也不用他的 S 构造岩、 B 构造岩的分类，而用李四光的地质力学应力分析方法来处理现阶段人们所认识的构造岩的五种结构面类型。原则确定了，细节部分还有偏离组图映相可能。但其基本内容是不离地质力学的普适条件和范围的。如果岩组是研究除热和沉积以外的岩石中矿物集合体的话，它又是用力学性质来处理的。也可以认为岩组就是矿物力学的一部分。虽然它还包含很大篇幅的应力矿物。

苏南地区若干扭性断裂的显微构造特征

孙 岩●

各种类型的破裂结构面，它们切割岩块，使矿物、岩石遭受着不同程度的构造变动，动力变质。这些受过变动的矿物，岩石，形成了复杂的构造岩带或变质岩带，同其他的地质实体一样，它们具有一定的构造特征，并与结构面的力学性质有着密切的成生联系。

“如何把应力矿物的研究和结构面性质的鉴定工作联系起来，是不是有些变质岩带或构造岩带也形成定型的构造型式，值得作进一步的探索。”^[1]本文试图据苏南地区若干扭性断裂的观察，就这方面的工作作一些初步的探讨。

一、苏南地区构造体系及主要构造形迹

苏南地区，主要位于淮阳山字型东翼反射弧（宁镇弧），新华夏系、华夏系和东西带等构造体系，构成了该区的构造格架（图1）。

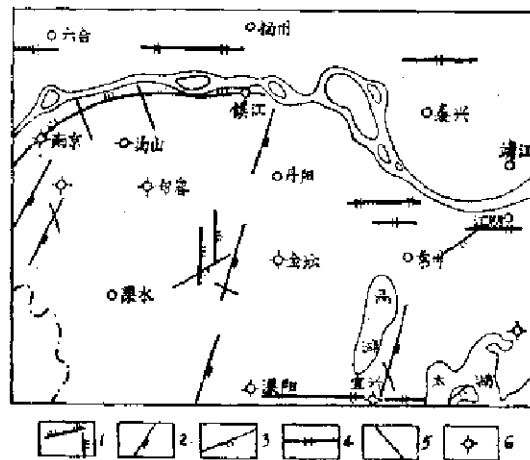


图 1 苏南地区构造体系略图

1—山字型构造形迹；2—新华夏系构造形迹；3—华夏系构造形迹；4—东西带构造形迹；5—扭性或张扭性断裂；6—观察地点

上述构造体系的压性结构面，一般以褶皱及逆冲断层为主，和这些压性的构造形迹连带发生的，还有和它们走向斜交的扭性断裂，以及与走向正交的张性或张扭性断裂。其中

● 张祖还、郭令智、罗国煜、俞鸿年、沈修志、马瑞士、卢华复和周新民等同志参加并指导了野外和室内工作。

山字型和华夏系的扭性和张扭性断裂, 和新华夏系的北北西向大义山式断裂, 及北西西向张扭性断裂带(或称破裂带)^[52], 经过野外和室内的观察, 它们在构造、构造岩和岩组等方面, 有明显的分带特征, 而与破裂压性断裂的分带特征不相同^[4, 5], 具有扭性断裂本身的构造分带特点。

二、扭性断裂的分带现象

在苏南地区所观察的十二个地点的扭性及张扭性断裂带, 依其构造、构造岩和岩组等方面, 由断裂带中心向两侧(通常主动运动盘尤为清楚), 大致可划分下列各带:

I. 扭性磨砾岩—断层泥砾带;

II. 滑动糜棱岩—劈理构造带;

III. 扭裂碎裂岩—派生构造带。

现对系统采集定向标本、进行显微构造观察的十二个实例(表1), 并以1—7为重点, 分带予以叙述。

(一) 扭性磨砾岩—断层泥砾带

位于扭性断裂中心, 一般是断层泥、岩粉和泥砾的松散混合物, 也有的胶结成磨砾岩^[4]。

1. 扭性磨砾岩带

据溧阳王市(表1)扭性断裂带中的磨砾计算扁度 $F=1.66$, 圆度 $P=0.43$ (级别属半圆—圆状)。与南京小九华山压性断裂中的磨砾计算^[52]相比, 扁度减小, 圆度增大。细考之, 它们在形状上也略有不同, 扭性的磨砾一般为双凸形, 球粒形和菱形; 而压性的则为平凸形、凹凸形(平或凹面向着断裂面)。扭性断裂中磨砾的这种特征现象, 在南京幕府山、乌龟山及无锡龙王山断裂带中都非常明显, 为与压性断裂中的磨砾岩区别起见, 故以扭性磨砾岩来命名。

(1) 磨砾岩

图版II—5所显示的扭性磨砾岩和周围的石英岩相比较, 由于扭力作用破坏了原来石英岩的嵌晶胶结结构, 成为由泥质及褐铁矿胶结。经过研磨滚动的石英, 排列杂乱, 呈次圆状、次棱角状, 本来表面光滑的石英, 也显示粗糙边缘。且有少数颗粒, 在锥光下观察已变为二轴晶, $2V$ 约为 10° 。变为二轴晶的石英, 通常具有颗粒较小, 棱角磨圆, 波状消光等特点, 快速测定, 可据光轴干涉图中消光影弯曲程度估算视光轴角。另外磨砾岩中出现和围岩不同的岩性, 是屡见不鲜的现象; 例如表1的1、2、4和9号断裂带中均有之。

(2) 巨磨砾岩

磨砾岩中的“砾”的直径有的达35厘米(图版I—4), 其砾径大于10厘米者, 可称巨磨砾岩[●]。这种巨磨砾岩的表层, 往往由于强烈滚动, 擦线密布, 并有一层动力变质的薄壳, 镜下可见表层已玉髓化, 局部还有显晶的石英颗粒, 而它的原岩(磷酸盐)只剩下零散的硅化交代残余了。

● 绝大部分砾径小于2毫米的磨砾岩, 以磨砾岩命名之。

表 1 按扭性及张扭性断裂分带集定向标本, 系统观察的十二个实例描述

编号	观察地点	切割地层、岩性	结构面产状	力学性质	构造归属	扭性糜棱岩—断层泥砾带	滑动糜棱岩—劈理构造带	扭性碎裂岩—派生构造带
1	涇阳县土包山矿区	泥盆系五通组石英岩	N58°W, NE<85°	扭性	新华夏系	糜棱岩带(图版 I—1 铁砾处) 宽度有变化, 约 8 厘米, 其断面上见显微照片(图版 II—5)	宽 45 厘米, 可分为高 17、19 和 15 厘米三个带, 带间充填淋滤的黄土, 构造岩为碎斑岩(图版 III—3), 劈理构造大部分为剪切劈理, 部分为流劈理	派生的张和剪节理均很发育(图版 I—1 箭头所指), 岩石碎裂
2	江宁县姚城山矿区	粗面安山岩	N21°W, SW<73°	扭性	新华夏系	宽 13 厘米, 断层泥和细糜棱岩相混杂(图版 I—2 箭头所指处)	对称发育, 粗糜棱岩(图版 III—4), 流劈理	张性节理密集, 岩石破碎风化甚烈(图版 I—2 铁砾下方); 扭性碎裂岩(图 10)
3	南京小九华山	侏罗系象山群砂岩	N15°W, SW<73°	扭性	山字型 宁镇弧	糜棱带本身很窄, 图版 I—3 罗盘处风化碎块下面, 可以割露出平行于断面的流劈理	流劈理为千枚糜棱岩(图版 III—5), 细箭头处的破碎理为碎粒岩(图 3, 4)	派生构造不发育, 图版 I—3 箭头处有数条扭节理, 粗箭头到派生显微裂隙(图版 IV—4)
4	南京幕府山乌龟山	石炭系黄龙岗灰岩	N5°E, NW<73°	张扭性	山字型 宁镇弧	糜棱岩带宽达 1 米多, 图版 I—4 铁砾上面	部分滑动糜棱岩受到断面上落来的引张错动影响, 以致脱落	派生构造(惟测包括劈理构造带在内)的裂隙, 为灰岩的粗结晶作用所愈合
5	无锡石塘山 173.6 高峰	五通组石英岩	N35°W, SW<78°	扭性	华夏系	宽达 25 厘米的糜棱带又经再次扭动, 产生与断面斜交的劈理	派生与断面平行的劈理构造带, 断层滑动面上, 密布与阶带方向相反的张性羽裂, 为条带状的碎粒岩	扭性节理(图版 I—5 与砾带平行)延伸较远, 本身又有派生的张节理, 靠近扭节理面有扭性碎裂岩
6	无锡龙王山山顶	泥盆系孝孝山群砂岩	N15°W, NE<62°	张扭性	华夏系	断层泥砾带的宽窄变化较大, 图版 II—1 箭头所指处为 16 厘米, 带中泥砾多成少, 砾呈球粒形	滑动镜面糜棱岩很发育, 张性羽裂密集, 有一系列平行于断面的扭断面, 其上都有横线	派生扭节理和平行断面的劈理粗集在一起
7	汤山起伏牛山	硅化岩	N15°E, NW<76°	扭性	山字型 宁镇弧	很狭窄的泥砾带(图版 II—2 铁砾左面), 砾多泥少, 糜棱带棱角形	滑裂带已部分风化成碎块, 与泥砾带界限不清, 碎粒岩, 硅化岩(图版 IV—2)	张节理(图版 II—2 罗盘处)局部密集, 岩石碎裂成碎块
8	南京幕府山透味峰	五通组石英岩	N25°W, SW<72°	张扭性	山字型 宁镇弧	一般在走向方向上宽度有变化, 通常较窄, 在几厘米至几十厘米, 磨砾都有	除尖劈理 12 之外, 部尖劈理构造带, 而是在新裂带断面上, 发育着羽状排列的裂隙构造。通常局部密集, 有时在小裂羽裂面上, 还能见到横线	派生节理, 扭裂带比较发育, 一般延伸较远, 有的可达十几米
9	汤山麒麟山	石炭系新山灰岩	N6°E, SE<63°	张扭性	山字型 宁镇弧	一定的厚度, 呈球粒形, 越向断裂中心粒越细, 磨圆度越好		
10	汤山镇孔山	二叠系栖霞灰岩	N65°W, NE<75°	扭性	山字型 宁镇弧			
11	溧阳县王市采石场	微晶玄武岩	N33°W, SW<77°	张扭性	新华夏系			
12	句容县铜山矿区	花岗岩	N22°E 近直立	扭性	山字型 宁镇弧			

(3) 磨砾岩中的构造现象

胶结致密的磨砾岩，在扭性断裂的持续活动中，往往产生一系列斜列的小扭裂面，由于处在扭动的中心，强烈的扭动使小扭裂面略有弯曲，类似于细褶皱劈理 (Crenulation)^[9]，见于图版 I—5 等断裂带中。

2. 断层泥砾带

未成岩的断层泥砾，细观察之，每每接近劈理构造带，其粒的粒径有变大的趋势，这比成岩的磨砾岩显得尤为明显。在泥砾带较宽的情形下，其中心部位会发现含砾很少或不含砾的断层岩粉及断层泥，如在汤山镇陡山，溧阳县王市采石场等断裂中都见到，但量很少，所观察的十二个实例中，断层泥没有单独成岩的。

当泥砾带两侧的劈理构造带易于风化时，风化的碎块很象磨砾，因此两带之间的界限往往不明显，或者其界限是一种假象，真正的界限，需经揭露才能发现 (图版 I—3, II—2 等)。

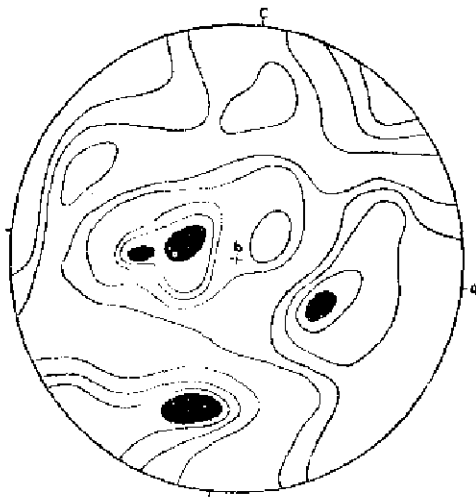


图 2 扭性磨砾岩 (图版 II—5)
中石英光轴方位图
177次测量, 切面 \perp δ , 密度级: 7—5—3—2—1—0%

同磨砾岩一样，泥砾中较大的磨砾，其表层也有动力薄壳，如在单个磨砾表层的切片 (图版 III—2) 中，可见橄榄石斑晶已明显粒化，形体略成定向排列。

3. 岩石组构

石英光轴方位测量，采用岩组学一般常用的方法 (二轴晶的矿物尚未测量)，各种波状消光的颗粒，取平均方位。岩组等密曲线图系用上半球等面积投影。

扭性磨砾岩 (图版 II—5) 定向切片 (ac 面)，测得的岩组图 (图 2) 上，从组构型式的花纹来看，四个分散的不显著的极密，既没有形成环带，也不具对称性，这和压性断裂带中，经多次变动的构造岩一样，石英光轴的分布表现为均质组构。

(二) 滑动糜棱岩—劈理构造带

这个岩带中，常见有两种情况，一种是有相对应的劈理构造带，糜棱岩在劈理的表面更为发育；另一种是缺失劈理构造带，糜棱岩则发育在扭裂面表层的小型羽状裂隙带中。通常后一种断裂规模较小 (见图 13)。

1. 滑动糜棱岩带

这个带上的糜棱岩在滑动镜面，擦痕面上最为发育。该岩带中常见的构造岩有：碎斑岩、碎粒岩、糜棱岩和千枚糜棱岩等。

(1) 碎斑岩

岩石显著破碎，少部分矿物粉碎成糜棱物，未被粉碎的矿物或岩块为碎块、碎斑状，被细粒或糜棱物质所包围，呈孤岛状，构成碎斑结构。矿物颗粒大都经过转动，一般是排列杂乱，无形体定向。个别见有细小颗粒，围绕大的斑状颗粒作旋转运动 (图版 III—3)。