

結構面力学性质  
鉴定方法

周 济 元



# 目 录

一、序言	(1)
二、结构面的概念	(1)
三、结构面的分类	(3)
四、线条及其分类	(9)
五、结构面力学性质鉴定方法概述	(11)
六、连续性结构面力学性质鉴定	(11)
(一) 褶皱力学性质的鉴定	(11)
(二) 扭曲力学性质的鉴定	(21)
七、不连续性结构面力学性质鉴定	(21)
(一) 断裂的形态和力学性质的关系	(22)
(二) 断裂面的形态特征	(29)
(三) 断裂面上的擦痕特征	(31)
(四) 不同力学性质断裂面通过粒状岩石时的特征	(35)
(五) 断裂面组合的形式	(36)
(六) 断裂两侧岩层变化和次级构造	(37)
(七) 劈理、片理和叶理	(41)
(八) 压溶、重结晶和钙、硅化现象	(45)
(九) 断裂构造岩	(46)
(十) 应力矿物	(58)
(十一) 岩组分析	(68)
(十二) 控制岩脉和矿脉的结构面力学性质的鉴定	(74)
八、复性不连续结构面力学性质鉴定	(80)

# 结构面力学性质鉴定

## 一、序 言

地质力学，是运用力学原理研究地壳构造和地壳运动规律的一门地质科学的边缘学科。它是我国卓越地质学家李四光同志在本世纪二十年代初开始倡导研究的，长期以来，立足我国地质实际，在广泛实践的基础上，总结群众经验，坚持“独立自主，自力更生”，走自己的道路发展起来的，至今已有半个多世纪的历史。它的理论和方法，只是到了解放后，在党和毛主席的英明领导和亲切关怀下，才开始得到应用和发展，预测了我国油区的分布规律，对我国石油工业的发展做出了卓越的贡献；指导寻找隐伏矿产，已取得了重要成果；在水文地质、工程地质、地热地质和地震地质等方面也已取得了一定成效。显示出地质力学在理论方面的科学意义和生产实践中的指导作用，它的强大生命力和今后发展的广阔前景。

因而，学习、掌握和运用这一学科于生产实践，解决生产中不断提出的新问题，已成为广大地质工作者当前的迫切要求，也是摆在地质力学工作者面前的一项艰巨而光荣的任务。

为了广泛普及地质力学知识，提高地质力学工作水平，使其更好地为无产阶级政治服务，为社会主义经济基础服务，为巩固无产阶级专政服务，其中首要的一个问题是如何有效地识别、准确地鉴定各种结构面的力学性质。这是地质力学工作的先行步骤，也是地质力学进行构造体系分析的一项基础性工作。

为此，认真总结鉴定结构面力学性质的标志和方法，就成为当前亟待解决的问题，也是一项十分有意义的工作。

但是，由于笔者水平有限，对这一工作的实践经验还很不够，所以，对这一问题的解决也就不一定会令人满意。恳请同志们批评、指正，以求逐步得到完善。

## 二、结构面的概念

由于地壳运动的影响，组成地壳的岩层、岩块或地块就要长期遭受地应力的作用。当地应力超过岩层、岩块或地块的强度极限或屈服极限时，岩层、岩块或地块的原来形状和内部结构就要发生变形或位移，产生诸如褶皱、断裂、节理（或裂隙）、劈理和片理等具有一定形态特征和力学意义的变形的形象（或形体）和位移的踪迹，以及跟随构造形变和位移而显现出来的岩石颗粒、矿物成分、岩块、矿床等的特殊结合形态。前述

这些形变的形象和位移的踪迹，称为地质构造形迹，或构造（结构）单元。

上述构造迹象，包括岩石和矿体的各部分原来组成以及它们相互组合的形象。统称为结构要素。所以，结构要素的概念，概括的范围较广；既包含了次生构造形迹，又包含了原生构造形迹。这就是说，所谓结构要素，它是表征地壳岩层或岩体在形成过程中由物质组成及其相互关系所反映的，或在后来形变过程中由各种形变的形象和位移所反映的各种形态特征的基本要素。

严格地说，原生构造形迹并不属于地质力学或构造地质学的范围。但为了研究岩层或岩体生成过程中的应力状态，以及对任何物质结构、构造的认识，若不了解它的原形，就很难知道它经过了什么样的变形。所以，地质力学在一定范围内，也要涉及岩层、岩体以及其中所含矿体（如果有的话）的产生方式的问题。

在充满着岩石的地壳中，即使是一个极不规则的岩体或矿体，不管大小，都必然有它的界限（分界面）；即使是一部分极其复杂的组织结构，无论如何纷繁，也必然有它的条理，而且除了个别特殊情况外，它的外形常常和它内部组成的条理是分不开的。

这里说的条理中的“理”，是指一切结构面或构造面而言的；其中的“条”，就是通常所说的线条或线理。如果把一般构造地质学所研究的各种问题加以分析、归类，结构面和线条便成为处理一切地质构造问题的中心问题之一。

结构要素，按传统的习惯，是指小型或小中型构造形迹而言的。但是，地质力学认为，就其实质而言，无论小型、中型、大型乃至超巨型，只有规模大小的不同，而无本质的区别。所以，把它们统称为构造形迹。

为了描述和制图方便，各种结构要素，在三度空间的方位，通常以连续性构造（如褶皱轴面）或不连续构造（如破裂面）的平面或曲面来表示，就称这些面为结构面或构造面。

结构面在地质图或构造体系图上常常是用各种类型的结构面在地面的出露线，或与地面的交切线来表示的，这种出露线或交切线称为构造线或结构线。那么，这就意味着，有多少种类的结构面，就有多少种类的构造线或结构线，如压性、张性、扭性、压扭性和张扭性等构造线或结构线。但是，实际地质图或构造体系图上还考虑了构造形态特征，所采用的构造线，最常用的有：褶皱轴线、冲断线与各种断层线；成群的片理、劈理、节理或裂隙、线条和流纹等等构造形迹，其排列在地面的方向和密度，有时也可依适当的方式、用构造线表示出来，并分属上述不同力学性质。对于各种不同构造线的意义和表示的方法，地质力学要求，加以严格规定，这样才可以直接了当地把构造线称为指标线。

众所周知，地质构造现象是错综复杂、变化多端的。然而，既然一切构造形迹的产生，都是在一定条件下，由于地应力——挤压、引张、直扭或旋扭等方式——的作用所产生的，也必然要显示压、张、扭、压扭、张扭等力学性质的不同特征。因而，按照力学原理分析研究它们的特征，则无论是如何错综复杂的构造形迹，却都是可以区分的，也是错综有序、条理井然的。

力学性质不同的结构面所表现的形态特征可以是相似的，但绝大多数是不一样的。

这是因为，它固然一方面与应力性质和作用方式有关，但另一方面还决定于岩石的力学性质，而岩石力学性质还受温度、压力、溶液及应力的作用、作用快慢、时间长短、作用次数等影响。这里的关键问题是，要求对每一结构面的形态特征进行深入细致的观察，去伪存真的分析，由表及里、透过现象地去抓住结构面的力学本质，并按照力学性质加以分类，从而为找出它们的内在联系和组合形态规律，为分析、研究构造体系奠定可靠的基础。

### 三、结构面的分类

构成地壳各部分岩石中的各种结构面，由于分类的依据不同，分类的方法也不尽相同。大体说来，可从它们的形态、发生和地质力学等不同观点，各分成下列各类(见表1)：

#### (一) 形态观点的分类：

##### 1、分划性结构面

把岩层、岩块或地块划分为大小不同的岩片或块片而使它们显示出有层次、有条理或其它形式的排列及结合的各种断裂和纹理等，都可称为分划面或联接面。这类结构面的特点是可以直接观察而得以辨认，如断裂面、侵入体接触面和层面等(图1)。

##### 2、标志性结构面

指示一个地区中某一部分岩层、岩体的某些组成部分或成份间相互的几何关系和它们排列的方位而划定的一切多少具有座标性的标准面，都可称为标志面或定位面。这类结构面的特点是只具几何意义，而不能直接观察辨认。所以只能从几何观点根据构成某一部分岩体的各部分或成份的排列方式来推定。其效用是，对于一定范围内经过变动的岩体和岩层的各部分，乃至其中矿物成分的排列规律和方位作一定的指示，来确定这种标志性结构面，例如褶皱轴面(图2)、某些S面等。

#### (二) 发生观点的分类

##### 1、原生结构面

岩层或岩体的各部分，在它们一次或逐渐形成过程中所遗留下来的结合面，如岩层层面(图1)、不整合面、间断面、侵入体之间或与围岩之间的接触面(图1)、侵入体边部的流层面等，都属于原

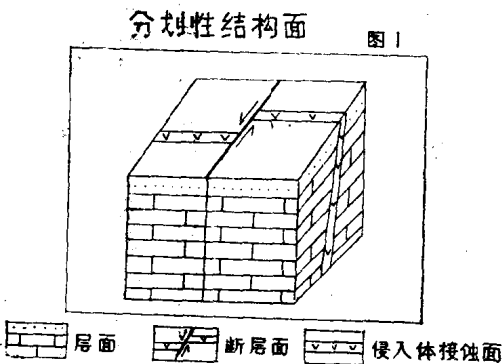


图 1

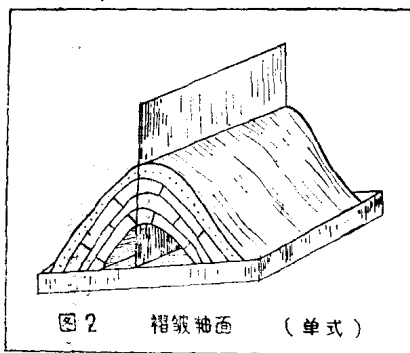
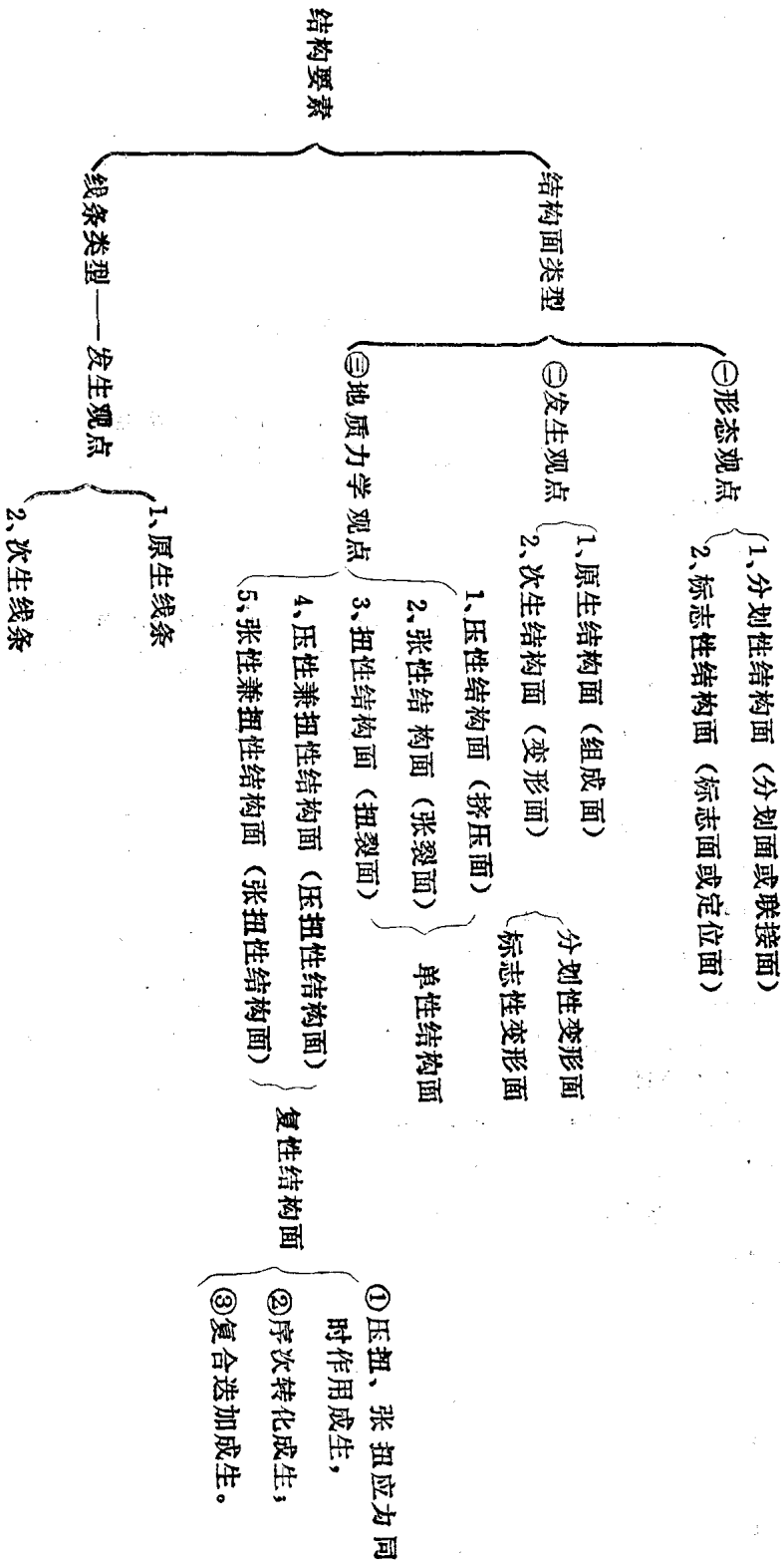


图 2

# 结构要素分类表

表 1



生结构面，也称为组成面。

### 2、次生结构面

岩层或岩体的各部分，在它们遭受地应力作用过程中所发生的形变和相对位移的一切有形迹的或几何的平面或曲面，都属于次生结构面，也称为变形面。它包括定位面的全部和联接面的一部分。属于几何性的，如褶皱轴面（图2）、某些S面等；属于有形迹的，包括一切断裂面或破裂面，如断层面、冲断面、节理或裂隙面、劈面等。它们又分别称为标志性变形面和分划性变形面或断裂面。

### (三) 地质力学观点的分类

各种类型的结构面，从地质力学观点来说，可分为下列5类（详见表2）。

## 结构面力学性质分类简表

表 2

力学性质 分类 名称 符号	单 性 结 构 面			复 性 结 构 面				
	压性结构面	张性结构面	扭性结构面	同 时 作 用		序 次 转 化		复 合 迭 加
				压扭、扭压	张扭、扭张	压·扭 扭·压	张·扭 扭·张	
连续性形变或位移成生的结构面	大小褶皱各类褶皱陡立地层带流层流线褶皱纹部分岩组类型	一般为均质岩组	部分扭曲带一部分岩组类型	部分斜歪褶皱，雁行状褶皱，部分扭曲带部分岩组类型	少部分扭曲带少部分岩组类型			
不连续性位移或形变成生的结构面	冲断层—俯冲断层（逆掩层）对冲拉铺（平伏巨型逆掩层，又称推掩瓦部分纵向裂隙少层流理挤压碎带	张性——裂缝或节理，部分断谷，地堑部分走向纵裂隙或节理。追踪断裂或节理张裂碎带	侧冲断层—平错断层剪层或又（X）断裂部分正逆褶皱雁行性扭斜剪	斜冲断层——平逆或逆平移动部分带状弧形裂隙或节理，滑理或应变滑理	斜落断层——平正或正平移动部分带状弧形裂隙，裂隙或节理少部分破理			

1、压性结构面，或简称为挤压面。如各种形式（单式或复式）的褶皱轴面（图2、3）、冲断面、逆断层或逆掩断层面（图4）、片理、叶理、劈理、少数正断层面、陡立地层带和其它形式的挤压带，等等。

2、张性结构面，或简称为张裂面。如断裂面、大部分正断层（图5、6）、一部分节理、裂隙（照片1）、裂缝和劈理，等等。

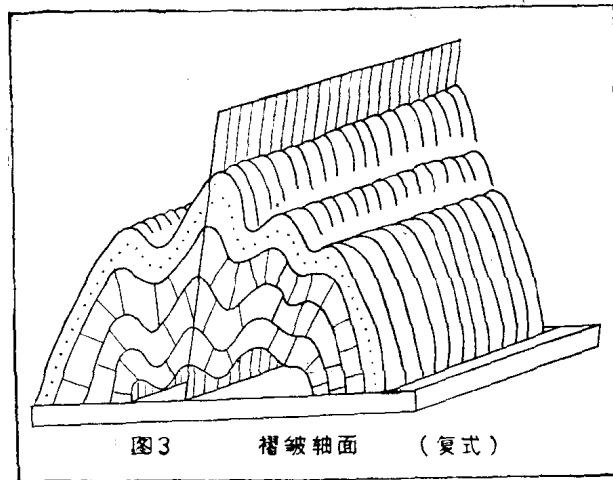


图3 褶皱轴面 (复式)

图 3

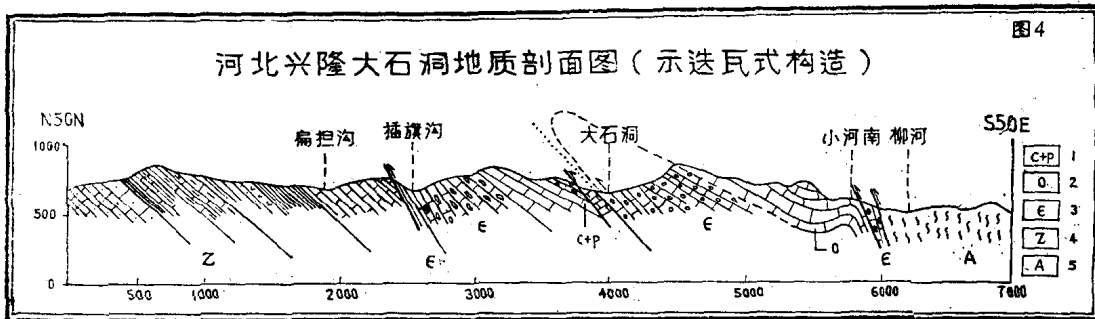


图4

图 4

3、扭性结构面，或简称为扭裂面。如平错断层（图7）、少部分正断层（图8 $\alpha \cdot bb'$ ）或逆断层（图8 $C \cdot C'$ ）、一部分节理、裂隙和劈理，等等。

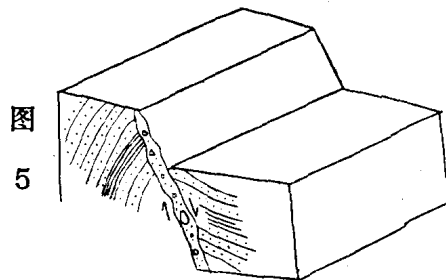


图 5

图5 正断层示意图

4、压性兼扭性或扭性兼压性的结构面，或简称为压扭性或扭压性结构面。如斜冲断层、平移逆断层或逆平移断层（图9）、一部分旋扭面和其它，等等。

5、张性兼扭性或扭性兼张性的结构面，或简称为张扭性或扭张性结构面。如斜落断层、平移正断层（图10）或正平移断层、一部分旋扭面和其它，等等。



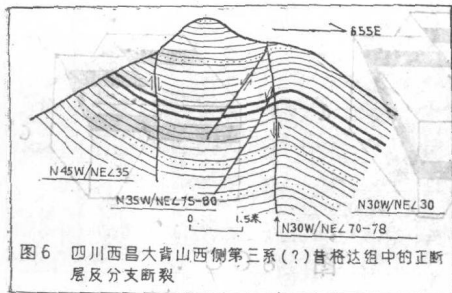


图6 四川西昌大青山山西侧第三系(?)普格达组中的正断层及分支断裂



图 6



平错断层示意图

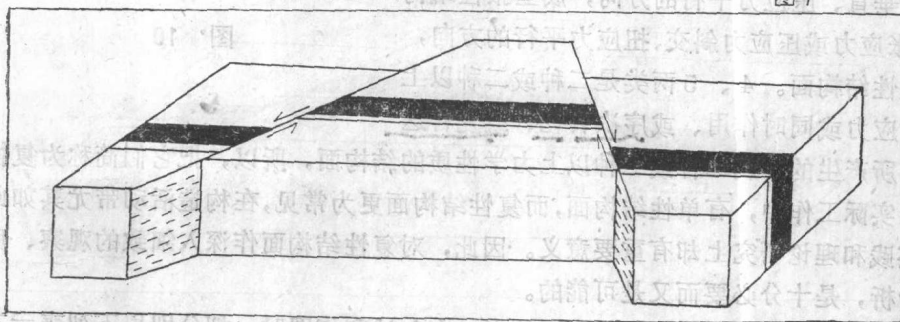


图 7

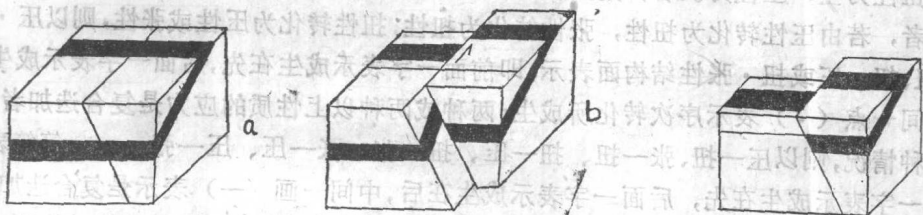


图8 倾斜岩层经平错位结果似正断层(b)和逆断层(c)

图 8 a, b, b'

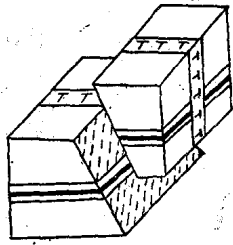
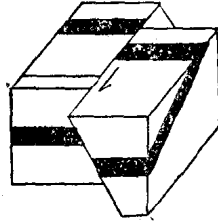
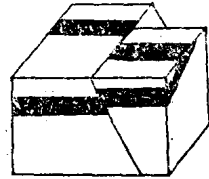


图9 斜冲断层

图 9



C



C'

图 8 C C'

上述分类中，1、2、3类是最基本的，是受单一性质的应力作用所产生的属单一性质的结构面，所以，把它们简称为单性结构面。这种单一性质的应力，可以由挤压、引张，也可以是由扭动作用所产生。在这些作用过程中，与压应力垂直、张应力平行的方向，成生压性结构面；与张应力垂直、压应力平行的方向，成生张性结构面；与张应力或压应力斜交、扭应力平行的方向，成生扭性结构面。4、5两类是二种或二种以上

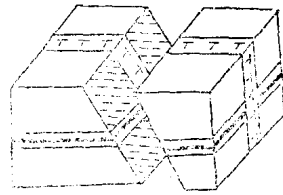


图10 斜冲断层

图 10

性质的应力或同时作用、或序次转化、或复合迭加作用所产生的，属二种或二种以上力学性质的结构面，所以，把它们简称为复性结构面。在实际工作中，有单性结构面，而复性结构面更为常见，在构造活动带尤其如此，在生产实践和理论研究上却有重要意义。因此，对复性结构面作深入细致的观察、反复认真的分析，是十分必要而又是可能的。

为了区分复性结构面这三种不同情况，在叙述和作图时，拟分别用下列表示方法：由两种性质的应力同时作用所成生的结构面，若以压性为主，扭性为次者，则为压扭性，反之，以扭性为主，压性为次者，则为扭压性，张扭、扭张意义相同；两种性质的应力是序次转化者，若由压性转化为扭性，张性转化为扭性，扭性转化为压性或张性，则以压·扭、张·扭、扭·压或扭·张性结构面表示，即前面一字表示成生在先，后面一字表示成生在后，中间一点（·）表示序次转化所成生；两种或两种以上性质的应力是复合迭加者，可以有各种情况，则以压—扭、张—扭、扭—压、扭—张、张—压、压—张、……等等表示，前面一字表示成生在先，后面一字表示成生在后，中间一画（—）表示是复合迭加，若有几次复合迭加，可依次增加，如先压、后扭、再张，则用压—扭—张性结构面来表示，反映多构造体系活动在同一结构面上多次复合迭加，等等。余者依次类推。

必须指出，上述结构面力学性质的分类，是以平面应力场为前提而提出来的。这是有理论和事实作为依据的。

## 四、线条及其分类

线条，是指在岩层、岩体或矿体中，由于一部分乃至全部岩石或矿物成分的颗粒朝着一定的方向延展或两组裂面相交所形成的一切构造形象和痕迹。其中，岩石成份的颗粒，不拘大小，大者如石砾，小者如粉末；矿物成分的晶粒，不拘形态，但以柱状矿物，如角闪石类，为最普遍。

由于线条类型的差别，延展方式也各不相同。概括可分为四类：

- 1、柱状矿物或捕虏体、包裹体等的定向排列；
- 2、片状矿物或破碎粒状矿物的压扁、拉长，定向排列，还可能伴有滚动；
- 3、岩层层面和劈理面或其它破裂面相互交切的痕迹，往往互相平行排列（图 11），



照片二 四川华莹山三桷梯路上志留纪页岩中两组破劈理(分别以两支铅笔指示)一组近于顺层；另一组与岩层近于垂直。

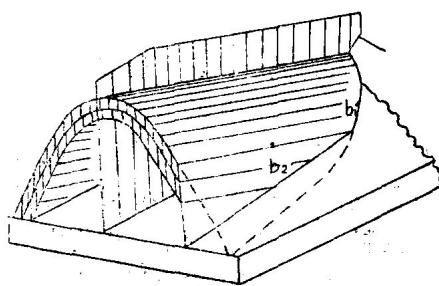


图 11 劈理面与层面的交线。  
 $b_1$ ，劈理面在岩层层面上的迹线。  
 $b_2$ ，岩层层面在劈理面上的迹线。

图 11

前者如笔状构造（照片 2），后者如两组共轭扭裂面相交的线便是；

4、岩层层面上所发生的褶皱（包括曳引褶曲、寄生褶曲）、香肠构造、窗棂构造和秆状构造等互相平行排列。

以上四种类型的线条，当然不会包罗一切可鉴别的线条。同时，目前为止，对线条本质的认识，也还要作很多工作。

现就认识的线条，从发生观点可分为二类：

### 1、原生线条（理）：

是指与岩层、岩体或矿体同时成生的线条，都属于原生线条。如往往在侵入体边缘部分出现的流线、流纹等。

原生线条的形成，是岩浆在侵入上升的过程中，由于各部分流速的差异，中、早期结晶的长条线矿物（如角闪石、长石和石英等），片状矿物（如云母等）和捕虏体等随流动而成生流线、流面或流层等。

**流线：**是一些针状或柱状矿物或长条形捕虏体等，如漂在流水中的木材，随水流动而平行岸边排列那样，其长轴方向呈近于平行的定向排列。流线的延长方向，一般反映了岩浆的、或矿液的流动方向。但是，岩体中的流动构造并非随处可见，而是要看岩浆结晶流动抑或宁静状态而定；前者流动构造明显，后者则不明显。同一岩体的不同部位也不相同：一般在岩体边部接触带，冷却快，阻力大，流速慢，捕虏体又多，流动构造常较为明显；岩体中心部位，温度高，冷却慢、流速快，捕虏体又少，流动构造往往不甚明显或不甚发育。另外，与侵入体侵入的深度和大小也有关系；深成相，大岩体，一般不明显；中深成相或浅成相的小侵入体，流动构造一般较明显。

**流面：**指岩体中的片状矿物或扁平捕虏体，呈平行接触面排列成面状或层状构造，也经常发育在岩体的边部，其形成条件与流线相似。

流线只能指示岩浆流动的方向，不能说明接触面产状；而流面则可确定接触面产状，而不能说明岩浆流动的方向，两相结合起来，才能判断岩浆运动的总趋势。

但是，有一点需要说明，即这种流动构造其实并不一定真正代表岩浆流动方向，而要作具体分析：其一，若在岩浆上升时，不受其它因素干扰，那么，这时形成的流动构造大体能代表岩浆的流动方向；其二，既然有岩浆侵入活动，则一定是伴随地壳运动和构造变动，就要遭受地应力作用，那么，岩浆流动就要受到地应力的制约，在其上升侵入的过程，也就是遭受地应力作用的过程，矿物排列的方式和方向，就要受地应力性质和方向的控制。在一般情况下，矿物定向排列的方向代表最大的张应力方向，与面状构造相垂直的方向就是压应力作用的方向。如两个岩墙状岩体中的流线构造，一与接触面平行，一与接触面斜交；前者显示垂直接触面的方向为压应力作用的方向（图12a），后者则反映岩体是在平行接触面扭动作用下侵入的（图12b），若脉体较宽，则在边部出现，中间则不发育。若岩浆侵入过程中，处在张应力作用下，则矿物晶体往往垂直两壁生长（图12c）。

## 2、次生线条（理）

岩层、岩体或矿体生成以后，遭受地应力作用，其内部产生相对运动所形成的线条，都属于次生线条。地质力学或构造地质学所研究的线条，主要是这一类。

次生线条的形成，是在地应力作用下，组成岩石的粒状物质（如砾石、矿物颗粒、鲕粒、化石、气孔、包裹体等）被压扁拉长，定向排列，以及扭裂面与扭裂面、扭裂面与层面、轴面与层面或裂面等相交的线和两盘岩块滑动所产生的擦痕等。

这些线条的延伸方向，一般为最大引张方向或滑动方向；面状构造（如片理等）的垂直方向即为压应力作用的方向。同样，伴随主断面力学性质的改变，线条或面状构造的产状也要发生变化：在压应力作用下，同级、序的线条或面状构造与主断面平行；在

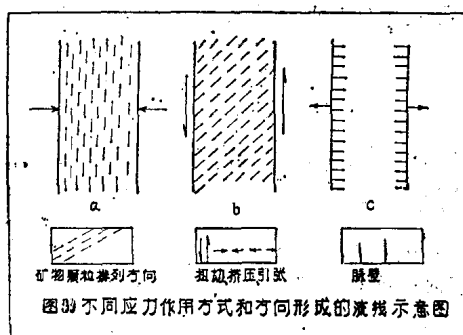


图 12

a b c

扭应力作用下，同级、序的线条或面状构造与主断面斜交；在张应力作用下，在主断面附近或在其上，也可以出现少量垂直主断面拉长的岩石颗粒。那些低级、序的线条或面状构造，它们的排列方向，或者与形成它们的压应力作用方向垂直，或者平行，要根据具体情况进行分析，加以区分。

可见，次生线条或面状构造（原生线条也一样）的研究，主要通过实际矿物、砾石、捕虏体等的测量，确定它们的排列方向和方式，以及主断面的关系。一旦测定了矿物颗粒等的定向排列方式和方向以后，其所遭受的应力性质和方向也可以得到判定。

对线条的研究方法，一是在实地测量，如对砾石、捕虏体等；另一种是采集定向标本，经定向切片后借助于电子扫描仪，费氏台进行测量，其结果用吴氏网等表示出来，结合野外实际观察进行分析。前者称为砾组分析法；后者称为岩组分析法。

线条的研究，不但对鉴定结构面力学性质有重要作用，而且对岩体或矿体形成过程中的方式和方向也有实际意义。

## 五、结构面力学性质鉴定方法概述

目前，对结构面力学性质的鉴定方法，主要在野外进行实地宏观调查，有时也采取一定的定向标本，进行岩组和应力矿物的研究。

不同力学性质的结构面，具有不同的外部和内部的形态特征、结构构造。表3、表4是不同力学性质结构面的一些主要特征和标志，可借以鉴别不同结构面的力学性质。

当然，在进行具体鉴定时，上述特征不一定各处均有，或每一结构面都完全具备，而往往只有其中较为突出的一项或几项。同时，由于同一力学性质的结构面穿过不同力学性质的岩层或岩体时，其特征也不相同。所以，在进行具体分析研究时不要机械地套用。

结构面力学性质鉴定方法，初步总结过去实践经验，大体分为连续性结构面力学性质的鉴定和不连续性结构面力学性质的鉴定。由于后者内容较多，将复性结构面中序次转化和复合迭加的结构面鉴定另列一节。

## 六、连续性结构面力学性质鉴定

由上已述，连续性结构面主要包括褶皱轴面、扭曲面和某些S面等。可见大体可分二类：一是平分两翼岩层产状的褶皱轴面或扭曲面；二是岩石颗粒或矿物晶体或晶轴的定向排列。从力学性质上来看，可分为压性、扭性或压扭性结构面，张性或张扭性结构面较少。

### （一）褶皱力学性质的鉴定

褶皱，是成层岩层的波状弯曲，大多是由于两侧挤压成生。其规模大小不等：大者

延伸几百至几千公里的超巨型拗褶，即指地向斜和地背斜；小者如褶皱，即小型或微型褶皱，有时需要在高倍显微镜下才能辨认，其中规模者，有大型拗褶，系地块以隆起和拗陷等表现出来，具体如陆梁、陆槽、长型盆地、穹窿和连串鼓包等，小一点，如褶曲，其形态殊异，有对称褶曲（图13）〔可分圆顶（图14）、尖顶（图15）〕

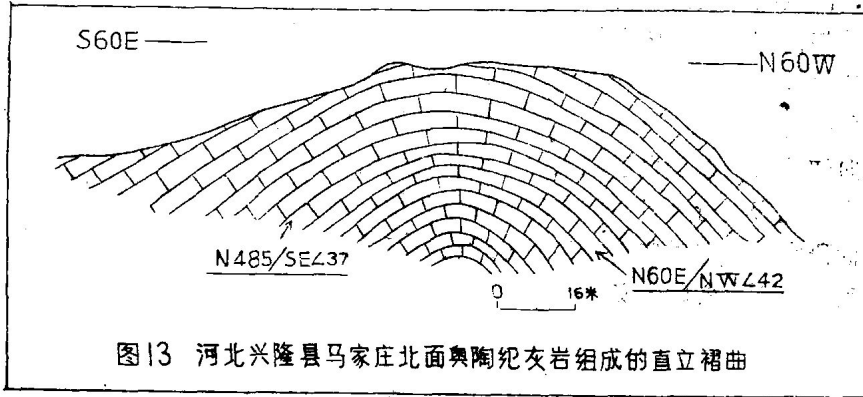


图13 河北兴隆县马家庄北面奥陶纪灰岩组成的直立褶曲

图 13

图 14

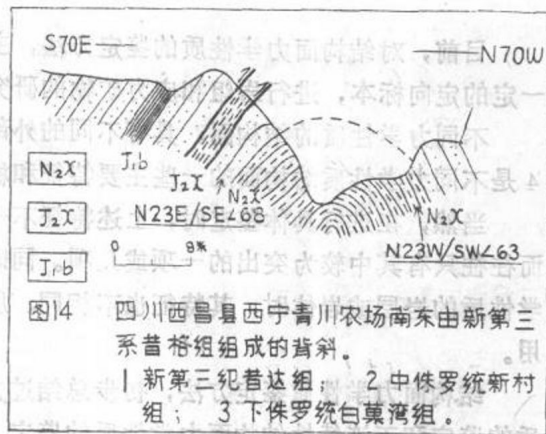


图14 四川西昌县西宁青川农场南东由新第三系普格组组成的背斜。  
1 新第三纪普达组； 2 中侏罗统新村组； 3 下侏罗统白莫湾组。

梳状（照片3）、箱状（照片4）等〕，倾斜（图16）、倒转（图17）、同斜（图17）、平卧（照片5、6）、翻卷（图18）、扇形（图19）、复式、沙尼页、

嘉陵江灰岩组成的梳状褶曲。  
上，伍洞岩西约100米由中三迭系  
照片3 四川重庆天府背斜



照片4 地点同照片3，箱状褶曲。



肠状等褶曲，大都属压性或压扭性结构面。有时，在区域地质调查和分析地质图时，单斜地层走向延伸比较稳定时，或为褶皱之一翼时，也可代表压性结构面的走向，若为陡立地层（倾角在 $60^\circ$

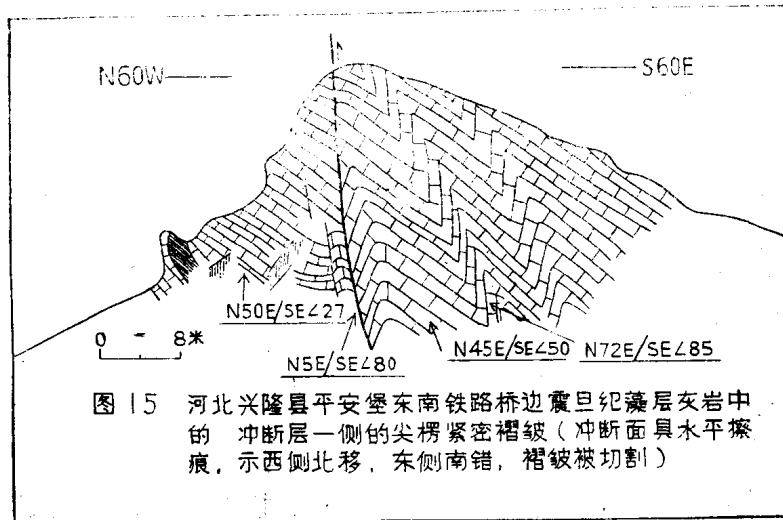


图 15 河北兴隆县平安堡东南铁路桥边震旦纪藻层灰岩中的冲断层一侧的尖楞紧密褶皱（冲断面具水平擦痕，示西侧北移，东侧南错，褶皱被切割）

图 15

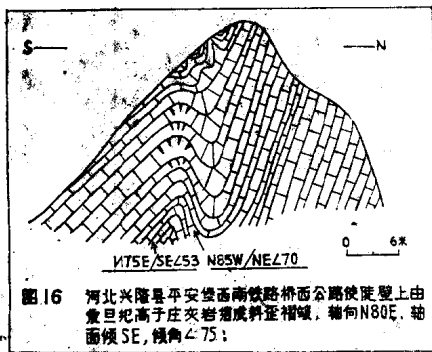


图 16 河北兴隆县平安堡西南铁路桥西公路使壁上由震旦纪高于庄灰岩组成斜歪褶皱，轴向北 $75^\circ$ ，轴面倾 $SE$ ，倾角 $45^\circ$ 。

图 16

图 17

以上），尤可作为压性结构面看待。由此可见，原生的岩层面，在遭受了地应力作用发生褶皱以后，就转化为次生结构面了，原生的陡立地层层面也就成为压性结构面（照片 7）；岩体中的次生结构面，在遭受又一次地应力作用后发生褶皱，这时的次生结构面就起了原生结构面的作用，

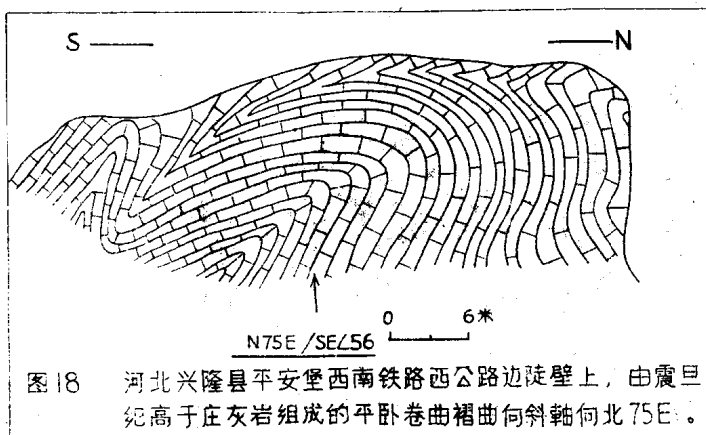


图 18 河北兴隆县平安堡西南铁路西公路边陡壁上，由震旦纪高于庄灰岩组成的平卧卷曲褶皱向斜轴向北 $75^\circ$ 。

图 18

也就是说，次生结构面转化成了原生结构面（照片8）。这些是不难理解的，也是大家所熟知的。

那些由于基盘断裂活动所造成的挠曲，其对称面就不代表压性结构面，只是反映上下方向的扭错。这种扭错究属何种性质的结构面，需视活动的

基盘断裂性质而定。但这毕竟不是褶皱形成的主要方式。也有的是自下而上的顶拱，如岩浆侵入（照片9）、岩盐刺穿等，形成穹窿，其对称面也不属于压性结构面。虽然岩浆和岩盐等塑性、粘性较大的物质往上侵入和刺穿时，大多是由于两侧挤压所造成的，而其特点却迥然不同。如四川渡口攀枝花辉长岩体的局部往上顶拱时，使震旦纪大理岩



图19 河北兴隆县平安堡西南铁路桥东，由震旦纪高于庄灰岩组成的扇形褶皱（轴向N80E）。

图  
19

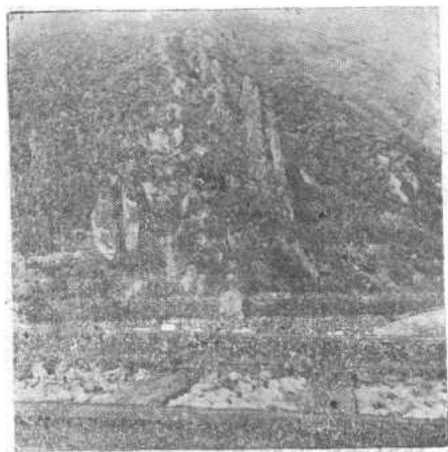
卧褶曲。  
由中三迭系嘉陵江灰岩组成的平  
照片5 四川重庆天府背斜



照片6 同照片五



被挤成直立，并有冲断面存在。  
铁路隧洞北侧，震旦系高于庄灰岩  
照片7 河北兴隆县土城子北，



照片 8



层向上弯曲,同时在岩层层间产生垂直层面的张裂隙和斜交层面的两组扭裂面,其上下方向的夹角为锐角,约 $60^{\circ}$ 左右(照片9、图20),说明上下方向的挤压,即主压应力方向为上下方向,是由下而上的顶拱所成。这些在褶皱的形成方式中也不是主要的。

此外,不少褶皱除了压性外,还兼具扭性。这是与褶皱成生时的应力活动方式或褶皱成生后的复合迭加有关的。概括地说,褶皱的成生,除了直接起源于岩层、岩块和地块两侧的挤压而代表压性外,一种由旋扭产生,是由于水平方向的扭动所派生;其三是在褶皱成生后,另一方向的褶皱复合迭加。几种不同的成因,具有不同的特点。使某些褶皱既具压性,又具扭性。与不连续性结构面相同,也是由于压扭同时,序次转化和复合迭加所造成的。连续性结构面力学性质的鉴定,可以根据下列方面(表4)加以鉴别。为了对这些特征很好理解起见,分别下列各点说明如下:



照片9 四川渡口攀枝花辉长岩体局部上顶,使震旦纪大理岩层发生弯曲,在层间有张裂隙和扭裂面。

图 20



图 20 攀枝花辉长岩体侵入大理岩时使岩层发生弯曲并形成垂直层理的张裂和斜交层理的两组扭裂及小断层锐角正对上下挤压方向

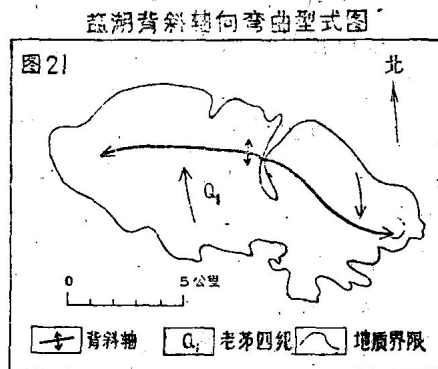


图 21

### 1、褶曲的平面形态、轴面、轴线和两翼岩层产状特征

褶曲的平面形态、轴面、轴线和两翼岩层产状特征,在一定程度上反映不同的力学性质:

**压性者:**褶曲往往呈直线状,特别是水平褶曲,轴面较比平整,轴线也呈现直线状,两翼岩层走向与轴线大体平行延伸;若有局部变化,而其总趋势是不变的。

**压扭同时者:**褶曲常呈弧形弯曲,其轴面、轴线和两翼岩层走向一般也跟着发生弧形弯转;岩层分布往往呈一端收敛,另一端撒开,与伴生的褶曲分布规律一致。

**序次转化者:**褶曲往往呈有规律的波状、弧形或S形弯曲(图21、22),轴