

煤 层 断 裂

[苏] И.С.葛尔比耳 等著

刘志刚 译

梁亦勤 校

阜新矿业学院情报室

内 容 提 要

本书阐述了断裂的成因、形成机制及几何学特征的现代观点。依据作者大量的、丰富的矿山井下对断裂研究的实践，系统地阐述了断裂的研究方法。断裂的解释和连接，论述了断裂附近岩石性质变化的规律和构造的配置规律。根据许多矿山井下的实践，运用实例加插图，以大量的篇幅系统介绍了断裂的预测方法、断裂的几何学研究方法，特别是矿井中小型断裂的定量预测方法。

本书是矿山企业的地质、采矿、矿山测量人员难得的一本好书。也适用于科学研究院（所）和地质勘探部门的广大地质工作者；对于地质系统的研究生、地质院校、矿业学院和中等技校的学生，也是一本有益的参考书。

И.С.葛尔比耳 В.Е.葛利高里耶夫 Ю.Н.督帕克 Г.А.留比奇 Н.И.米申

译 者 的 话

《煤层断裂》一书终于与我国广大读者见面了。本书作者，是苏联著名的煤田和矿井地质专家；他们在书中较系统地介绍了断裂形成理论的新观点，并且运用苏联大量的煤田和矿井地质资料，详细地论述了发生于煤系地层中的断裂特征，以及矿山、井下研究断裂的方法，特别是为了适应煤矿采掘现代化的要求，重点探讨了矿井中、小构造的定量预测方法。

众所周知，在我国，一本系统地研究煤系地层断裂的书尚属罕见，特别是矿井中、小构造定量预测的理论和方法除仪器探测外还是空白；鉴于这种情况，为了适应祖国四个现代化的需要、加快煤炭工业的发展，将此书推荐给我国广大地质工作者，特别是煤田和矿井地质工作者，这是译者的宗旨。

由于译者水平有限，难免会发生个别翻译上的错误、敬请广大读者批评、指正。

在此书翻译过程中，得到中国煤炭学会矿井地质专业委员会主任柴登榜先生的鼓励，阜新矿业学院情报所梁亦勤老师热心、仔细地给与校对，院印刷厂王炳才、张芳本、孙笑竹和拣字排版印刷及装订等同志给予大力支持，对此译者深表谢意。

刘志刚

1987.8 于阜新

目 录

第一章 断裂的形成和结构特征

第一节 断裂形成理论的基本状况	1
第二节 断裂的成因特征和结构图	4
第三节 断裂的几何学特征	10

第二章 矿山坑道中断层的研究

第一节 断裂移位的标志	22
第二节 矿山坑道中断层的观察和测量	24
第三节 断裂带的研究	25
第四节 断层的解释和连接	28
第五节 断裂几何学	31

第三章 断裂带内构造和岩石性质变化规律的研究

第一节 断裂与节理的关系	34
第二节 岩石和煤的物理——力学性质变化	45
第三节 煤的物理——化学性质和工艺性质的变化	47
第四节 断裂影响带的划分	53

第四章 在煤矿中断裂表现的规律

第一节 构造应力轴方位的确定	58
第二节 构造应力轴方位对断裂方位、类型和形式的影响	62
第三节 在褶皱形成过程中主正应力轴的位置和断裂分布	65
第四节 煤矿中的典型断裂	77

第五章 断裂和断裂要素预测

第一节 未出露断裂的预测	85
第二节 预测暴露断裂的要素	94
第三节 煤层破坏性的评价	107

参考文献	116
------	-----

第一章 断裂的形成和结构特征

第一节 断裂形成理论的基本状况

由构造应力造成的各种形变中，断裂在煤矿中分布最广。在时间上，断裂的形成过程，即从节理的萌芽开始到各种不同长度和断矩断层的形成，是连续的过程。这个过程的强度和连续性，一方面取决于岩石的成分和结构，另一方面又为构造形变应力参数和连续性所决定。在探讨断裂和沿其发生的位移时，必须准确地指明断裂的形成机制和条件。至今为止，不同作者根据物理学、地质力学、构造物理学和构造地质学的成就详细研究了一系列断裂形成理论和略图〔2.4.5.16.26〕。

在阐述断裂形成的理论基础以前，先简要介绍一下在弹性理论中探讨的普遍问题，即固体应力状态问题。弹性理论证明，受应力作用物体的每一点，都对应着三个相互垂直的平面，这些平面称为主平面，在主平面上仅有正（垂直）应力作用在上面。根据主应力的相互关系，可以划分为三种基本的固体应力状态：两个主应力等于零的直线式应力状态、一个主应力等于零的平面式应力状态和任何一个主应力都不等于零的立体式应力状态。在直线式应力状态下，主应力只有一个符号（或者压应力、或者张应力），在平面式或立体式应力状态下，主应力即可以有相同符号，也可以有不同的符号。在岩层自然产出的条件下，岩体的一般应力状态大多数符合多向（立体）挤压。在以后论述中最大主压应力或最小主张应力以 σ_3 表示，最小主压应力和最大主张应力以 σ_1 表示，过渡（中间）主应力以 σ_2 表示。

M.B.葛卓夫斯基〔16、17、18〕和 A.C.扎布罗金〔24、25〕在其著作中充分地阐述了断裂的形成问题，作者把目前被认为是最可以接受的、能够适用于岩石的摩尔强度理论看作是断裂形成的物理学基础。根据摩尔理论，破裂是在剪切应力 τ 的作用下发生的，沿着达到极限状态的面可以找到移动的特征，同时，剪切应力值取决于作用在滑移面上的正应力。与主应力平行的任何一个面的正应力和剪切应力值都可以利用摩尔圆图解法加以确定。

在图 1a 中，表示了一个典型的摩尔图，在直角坐标系中，水平轴表示正应力 σ ，直立轴表示剪应力 τ 。从坐标 0 点开始，截取正应力值（压应力向右，张应力向左）。然后在线段的两端，象在圆的直径上一样，做圆（摩尔图），它们位于垂直于主应力平面的面内，具有正应力和剪切应力特征。表示固体极限状态的摩尔圆称为强度极限圆，它们由造成固体破裂的主应力来确定。

物体的极限状态可以在不同值的主应力和不同符号的主应力下达到。同时，极限圆有规律地分布：这些极限圆的半径在 σ 轴的正向上增大，负向上减小。最大剪切应力与正应力关系的规律性可以用包络摩尔极限圆的曲线（摩尔包络线）来表征；在这条曲线上，无论什么点相对映的任何应力组合 σ 和 τ 都能引起破裂，也就是说，对于所有极

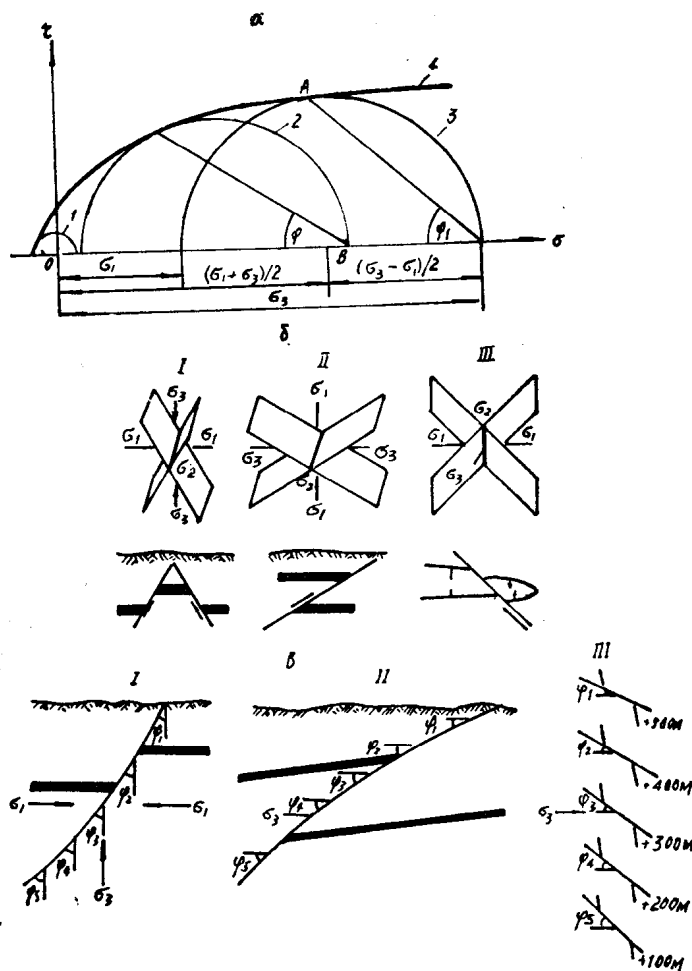


图1 (a) 摩尔图解 (b) 在主应力轴具有一定方向条件下, 断裂的可能类型 (B) 与深度相伴随的各种类型断裂产状的变化

I 正断层 II 逆断层 III 平推断层 (平面上); 1—3 强度极限圆; 4 强度极限包线

限状态来说, 破裂都能发生, 而对于这种状态, 摩尔圆中最大的圆也能与极限曲线相切。对于每一个单独的极限状态来说, 它的应力组合可以在这样的面上获得: 这个面的法线以 φ 角斜切 σ 轴。在图 1a 中, A 点就是破裂物理面的形象。在观察摩尔曲线时, 由于图 1a 中仅仅画出了这条曲线的一部分, 因而 A 点对于 σ 轴的镜像反映点 (对称点) 同样能确定可能的破裂面。以应力圆曲线的形式出现的摩尔理论图, 能直观地评价各种应力状态下破裂产生的可能性。来自摩尔理论的、可以解释断裂形成机制的最重要的根据, 总结如下:

1、在体积压缩和 $\sigma_3 > \sigma_2 > \sigma_1$ 条件下, 在均匀介质中形成的两个共轭滑动 (剪切) 面, 沿着平行的, 直立的中间应力轴穿过, 而主应力轴 σ_3 和 σ_1 则是这两个面夹角的等分线。

由此论点得出, 在构造应力轴定向的条件下, 剪切节理 (断层) 系的数量不能超过

两个。在该点上遇到的大量剪切节理系可以用应力轴方位的变化加以解释。用两个已知的共轭剪切节理（断层）可以确定中间构造应力轴的方位。但是，在自然条件下，两个可能的剪切节理系通常仅出现一个，这可以用岩石性质的不均一性加以解释。

2、最大主应力 σ_3 。常常是两个共轭断裂面的较小夹角的等分线。这个角在所有条件下都不能超过 90° 。在地质文献中，剪切面与 σ_3 轴之间的夹角称为剪切角〔16、23、24〕或称破裂角〔26、46、47〕并以 φ 表示。

在具有共轭节理或断层的条件下，引述的理论就给与了确定最大挤压构造应力轴在空间分布的可能性。根据锐角双面角的变化确定剪切角的平均值。对于煤系地层的岩石来说，共轭剪切面（节理或断层）的划分和剪切角的确定方法，将在第三、四章中叙述。

应用 1 和 2 两个论点，就可以在理论上提出，在不同应力轴位置下可能形成的断裂类型。为此，就要研究图 16 中所表示的主应力轴轴向的三种通常状况。如果直立主应力是最大压应力（垂直构造应力作用），就要形成图 16 I 中所描述的陡倾正断层；如果直立主应力值最小，并且作用着水平的最大构造应力（ σ_3 是水平的），那么就要发育逆断层（图 16 II 中）；而若直立应力是中间应力，那么就发育具有直立断层面的平推断层（图 16 III）。

3、剪切角随着主压应力的增长而增加，在达到岩石塑性状态时（摩尔包络线的水平部分）则可具有 45° 角。

论点 3 可以解释大断距断层伴随深部增加而出现的产状变化。如果某一主正应力轴与岩石重力方向一致（铅直的），那么，沿着这个轴的应力（大约等于这个深度内产生的比重）不能保持固定，而是随着深度的增加而加大。因此，在地壳深部要引起岩石的破裂需要在其它主应力轴方面有很大的应力。在摩尔图中，这个问题用极限圆向右边的移动来描述（见图 1a），因此剪切角不断地增大。考虑到 φ 角的特征性分布（位于断层面与 σ_3 轴之间，正象前面所述的那样，各种类型断裂的形成取决于 σ_3 轴相对于地表的空间方位），可以推测大型正断层的断层面伴随加深而变缓，逆断层断层面则变陡，而平推断层将伴随深部增加改变走向，具有螺旋状断层面（图 1b）。

4、在一定的应力状态下（在三向拉伸以及在挤压和拉伸同时作用的应力条件下）材料的破裂也可以通过张开的形式发生（沿着平行于最大主正应力的面）；同时， φ 角等于零。

最后的论点说明，岩石以张开的形式破裂是沿着垂直于最大张应力 σ_1 轴的节理系发生的。但是，在地壳里不能产生三向拉伸，因此，张开破裂只存在于拉伸和较小挤压应力同时作用的条件下（见摩尔图解左边边缘部分）。实际上，很难理解，岩体在多向受挤压的条件下拉伸应力的出现和张开节理的形成。葛里弗菲特（Грифит）理论在某种程度上回答了这个问题，该理论考虑到岩石中非均质性和小裂隙的存在。葛里弗菲特指出，甚至在简单挤压条件下，在一些节理的末端也会产生感应的张应力，它可以在平行于最大挤压轴的方向上造成节理的生长。因为岩石内部结构常常有缺陷，所以可以推测，在三向应力的物体内部，在主压应力轴有确定方向的条件下除了形成两个剪切破裂面系以外，还可形成一种张节理系。这种推测完全与地质工作者的野外观察到的情

况相吻合；观察证明，在断裂带内，存在着羽状张节理，以剪切角向着断层面分布。

由论点 3、4 得出，在岩石中剪切角随着主正应力的增长可以从 0° 增加到 45° ，这些论点可以用来检查断裂形成的应力状态，和评价在不同的复杂构造变动地区形成破裂条件的相对变化。

从所述的论点中得出：任何类型的断裂（正断层、逆断层、平推断层）的形成即可以仅仅起源于挤压应力作用，也可以起源于压应力和张应力同时作用。在后一种情况下，断裂的形成在较小的压应力值条件下进行。因此，关于正断层仅仅在拉伸条件下形成、逆断层仅仅在地壳挤压条件下形成的观点不能认为是正确的。

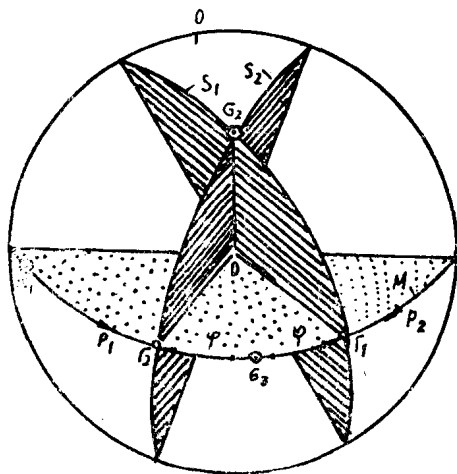


图 2 主正应力轴、共轭断裂面和位移方向的相互关系

煤矿断裂研究的经验证明，这些断裂多数是在三向挤压条件下形成的。在这种条件下，断裂将沿着与最大挤压应力轴组成 φ 角的面而发生。主正应力轴与剪切类型的共轭断裂面要素 S_1 和 S_2 的相互关系表示于图 2 中。从图中看出，中间正应力轴 σ_2 位于断层面平面内，最大和最小正应力轴则位于系称为滑动面的 M 面内。 M 、 S_1 和 S_2 面的交线与断裂两盘实际位移方向 OG_1 和 OG_2 一致，它们永远垂直于 σ_2 轴。

第二节 断裂的成因特征和结构图

如上所述，在地壳中，由于构造运动产生应力，当其达到岩石强度极限时就导致岩石中断裂的形成。岩石连续性的破裂首先表现为节理，它在力的进一步作用下可以发展成为断层（移位断裂）。因此，人们把构造运动的结果理解为断层，在构造运动的时候，岩石沿着某些面破裂，被割切的一部分将相对另一部分发生位移。

岩块沿其发生移位的断裂面称为断层面，而被割切的岩块称为断层盘（图 3a）。断层在空间，可以取倾斜的、直立和水平的位置。具有倾斜和水平断层面的断层可以区分为上盘——岩块位于断层面之上、下盘——岩块位于断层面之下。具有直立断面的断层，它的盘按方位（东、西、南、北）称呼。岩层面与断层面的交线称交切线。断层两盘沿着断层面移动的距离和方向用移动向量来表示，它等于所谓连接点（这种点在两盘移位以前是重合的）之间的距离。两个连接点之间，由下盘交切线向着上盘交切线的方向看作是向量的方向（下盘看作不动）。移动向量称为完全的（真的）断距 R 。

在进行详细探讨断层要素特征之前，先简单讲一下在成因分类基础上形成的断层术语。断层术语极为复杂；但是，下面反映移动向量相对断层走向线分布的术语是可以肯定的（图 3b）。

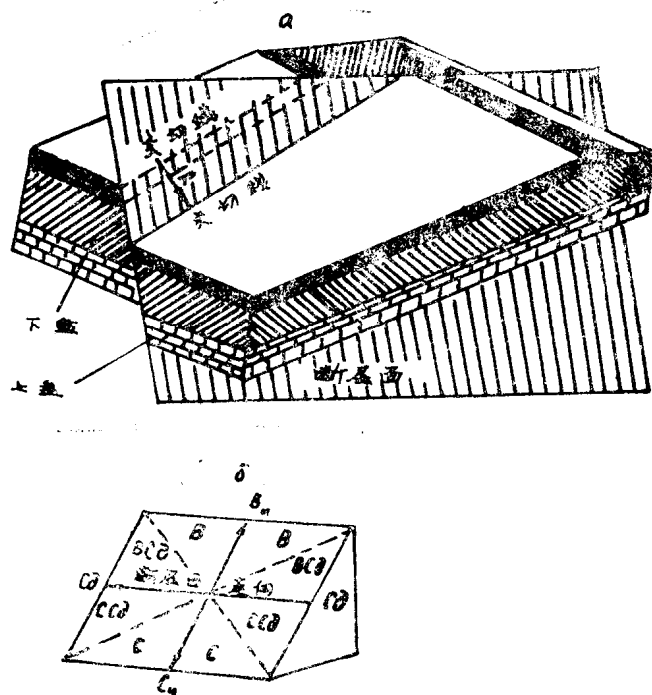


图3 断层要素的概括空间描述 (a) 和按移位向量对于断层面走向线位置划分的断裂类型 (b)

$C_u (B_u)$ —— “纯”正断层 (逆断层), $C (B)$ —— 正断层 (逆断层),
 C_n —— “纯”平推断层, $C_n (B_n)$ —— 正平推断层 (逆平推断层)

正断层和逆断层是带有与断层面倾向线一致 (或相近) 的移动向量的断层。

平推断层, 是移动向量与断层面走向线一致的断层。

正平推断层和逆平推断层, 其移动向量在断层面走向线与倾向线之间取过渡位置。

正断层、正平推断层的移动向量向着断层走向线之下分布, 而逆断层、逆平推断层的移动向量则向着断层面走向线之上分布。目前, 在地质工作者的实践中, 前述术语不仅常常应用于断层成因类型的鉴定, 而且不少还用来确定它的形式。例如, 所有上盘高于下盘的断层大多称为逆断层。正象下面指出的那样, 在岩层产状要素和断层面产状要素固定的条件下, 由于上盘在不同方向上运动 (正断层式、逆断层式的) 却可以形成相同的断层形式。所以, 为了正确地评价断裂的性质, 其中包括确定它的成因类型, 就必须考虑移动向量相对于断层走向线和倾向线在空间的位置。

在研究断层的时候, 不仅要确定移动的方位, 而且要确定它的长度, 这有很大意义。

任何一条断层, 甚至一些最大型的断层, 也会在某一个地点完全消失, 这已为从事断层研究的每一个地质工作者所熟悉。中小型断层消失的现象大量地记录在矿山工作图或煤层垂直投影图上。同时, 由于断层上盘和下盘的断层面与岩层面交切线彼此逐渐靠拢, 将合并于断距为零的点上。

在水平岩层里, 沿着穿过一条断裂不同盘的、顺着某些煤层伸展的平巷, 可以清楚

地观察到断距的逐渐变化。经常看到这样一种情况，穿切相近岩层系的断裂，有时，无论如何也不能在邻近的岩层中出现。

为了阐明断距沿断层面的变化特征，我们探讨一下被 A.C. 扎布罗金所推测过的断层面模式〔24, 25〕，这个模式把每个断层都看作一个岩石差异移动的封闭系统来研究，在系统的中心部分有最大的断距，而在边缘则逐渐减小到零。在图 4 里，充分直观地看到为断层面上断距分布的特点，这是一个横切直立平推断层 AB 的水平切面图。在 A 点和 B 点断距等于零。按第 2 层，最大断距集中在 O 点。考虑到最大断距是由位置相反、而值相同，终结于不移动点之间的移位相加而成的，可以想象在平推断层不同盘内岩石经历的形变特征。

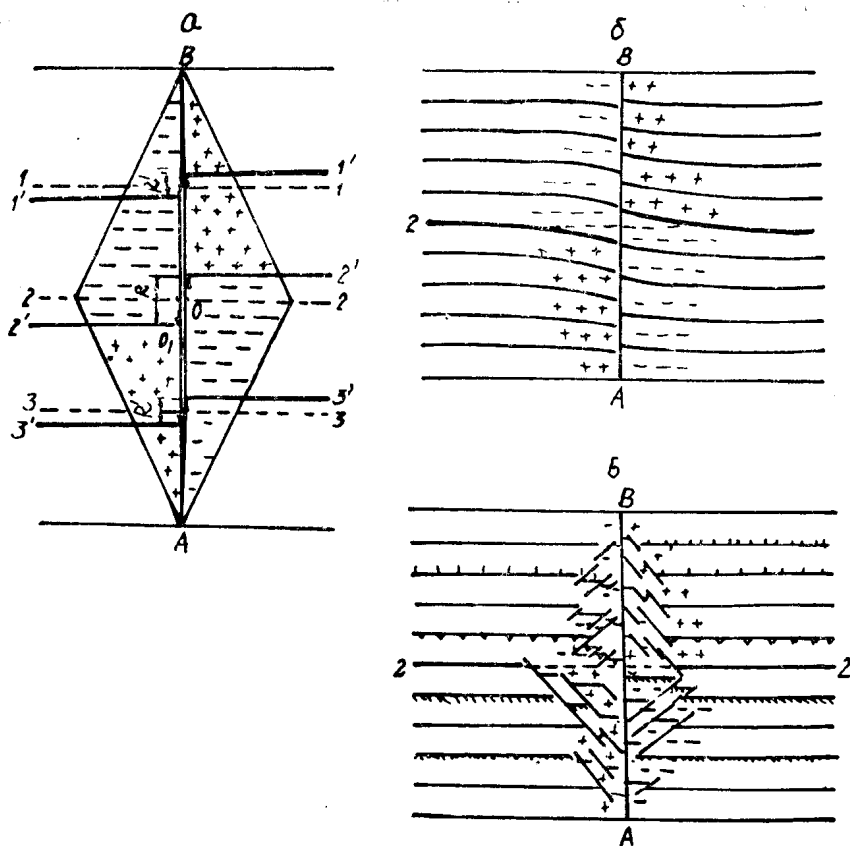


图 4 (a) 断层面附近岩石挤压带和拉伸带的分布 (b) 材料的塑性变形而形成的岩石挤压带、拉伸带 (c) 材料的脆性形变形成的岩石挤压带、拉伸带

标志层位置：1—3 位移以前，1'—3' 位移以后

我们看一看图 4 里平推断层的左盘。因为最大断距位于中心，A 点的断距等于零，并且朝着这个点的方向移动（图中箭头所示），因而得出结论：在 O_1A 段岩石被挤压（正号）。而在平推断层这个盘的 O_1B 段，作为对 O_1A 段挤压形变的补偿，岩石将会受拉伸（负号）。类似的岩石形变带在平推断层的另一盘内也是存在的。同时，与这

个盘的挤压带相对应，在另一盘内则分布着拉伸带。由图看出，在每个盘的移动方向上（左盘从B点起，右盘从A点起），开始都分布着拉伸带、后来则是挤压带，并且在后一种情况下，形变带的宽度将极大的减少。在岩盘沿着断层面移位的条件下，挤压带和拉伸带的形成，显然既可以由岩石塑性形变来实现，也可以由岩石的脆性破裂来完成。在第一种情况下，断距的补偿由不破坏岩石连续性的岩石塑性流动来达到，并且应当表现在岩石厚度变化上（图46）。在第二种情况中，这些带的岩石形变与不同符号的微小破裂的形成有关——在挤压带内（岩层）拉开，在拉伸带内（岩层）重迭（图4B）。

在直立平推断层断距的变化特征上，所研究的全部规律都涉及一种断面。如果在一张图纸上，不仅标划出图4a所示的断面断距的资料，而且表示出这个断裂其它水平断面断距的资料，并把相同的断距用线联起来，我们就得到了所研究的平推断层的模线图（图5a）。断层模线图是一种断层面的面图，在它的上面用等值线描述了真断距值。

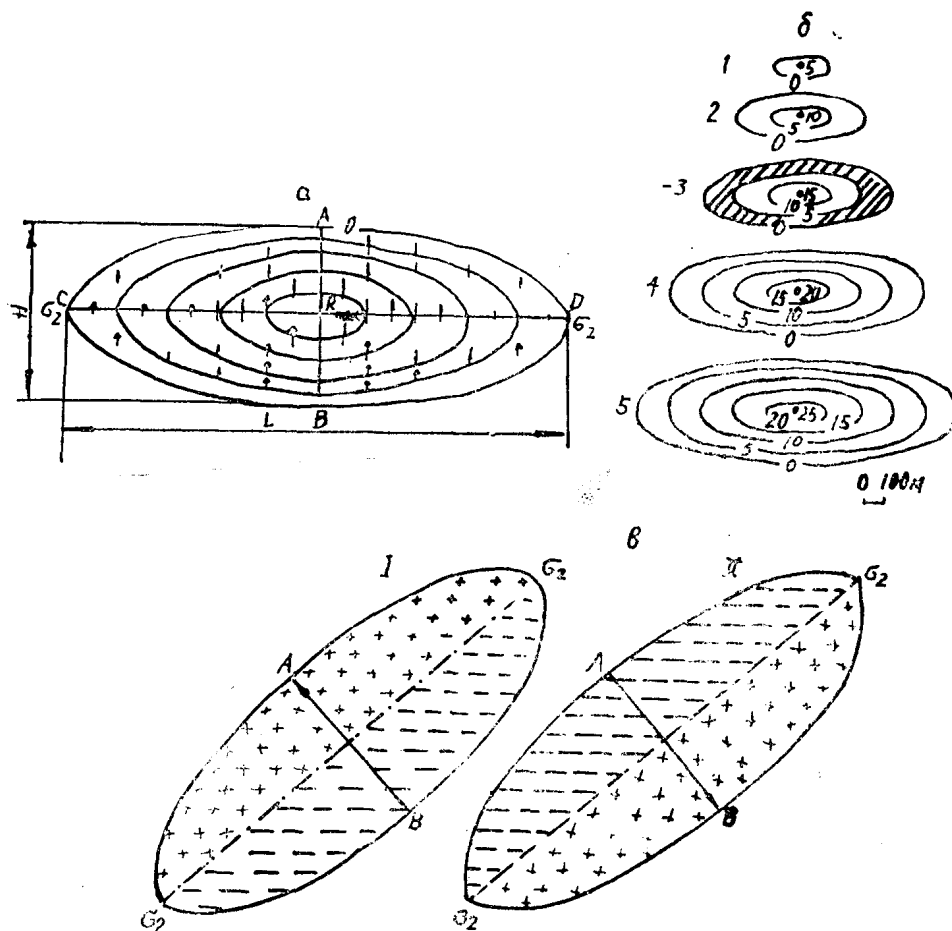


图5 (a) 断裂断层面模式线图 (b) 它的发展略

图 (B) 可能的岩变带略图

在模线图内，后者的等值线呈同心封闭曲线状。等值线的数值从模线图的中心向它的边

缘逐渐地减小。零断距等值线圈定了模线图的外形,因而也就确定了断层面的形态和规模。

在断层面上,类似的断距分布对于所有成因类型的断层来说,都可以作为其特征。通常断层面呈拉长的、近于椭圆的形态,具有对称图形的全部特征,这种对称图形,反映岩体内应力张量的对称性。断层面可以划分为两个相互垂直的轴——小轴 AB (高度 H) 和大轴 CD (长度 L) (见图 5a)。正象大多数实际资料所肯定的那样,移动向量永远平行于断层面小轴 (高度) 方向;并且垂直于与断层面大轴 (长度) 重合的中间正应力轴 σ_2 (见图 2)。最后是断层每一个盘内岩石挤压形变带与拉伸形变带之间的界限问题。在图 5B 里,引述了在上盘 (I) 和下盘 (II) 的断层面内,在移动方向上 (用箭头表示) 拉伸带和挤压带的分布图。

根据移动向量的不同方位,可以很容易确定模线图轴在空间可能占据的相对于断层走向线的位置 (见图 3b)。例如,正断层和逆断层的小轴与倾向线一致,而大轴则与走向线一致;平推断层恰恰相反,大轴与断层倾向线一致,小轴与走向线一致。逆平推断层和正平推断层的断层面轴则取它的倾向线与走向线之间的过渡位置。因而,已知断层两盘沿断层面的移动方向,就可以确定断层面轴在空间的定向位置。

断层模线图的分析不仅可以查明断层在结构方面的一般特征,而且可以确定它们的基本参数——真断距 R 和断层规模 (高度 H 和长度 L) 之间的数量关系。在确定这种相互关系时,最大真断距 R 有很重要的价值,它直接根据平行于断层两盘移动方向的断面上断层面的规模来获得 (见图 4a 中的 AB), 并且用在这个间距内的岩石总收缩量来确定,即:

$$R = \varepsilon H \quad (1)$$

这里, ε ——岩石极限剩余形变系数。

在 A.C. 扎布罗金编制的库兹巴斯煤矿断层模线图资料基础上,确定 ε 为 0.02~0.08, 平均等于 0.05。

同样,按前述资料,在断层面的长度 L 和高度 H 之间发现了下面的关系:

$$L = kH \quad (2)$$

这里, k ——用统计方法确定的比例系数,其值为 2 到 6, 平均等于 3。

由公式 (1) 确定了 H , 再把它代入公式 (2), 就可以得出断层面长度与最大断距的关系:

$$L = (k/\varepsilon)R \quad (3)$$

把系数 ε 和 k 的值代入公式 (1) 和 (3) 以后, 就可以得到断层面高度和长度与最大真断距的数量关系公式:

$$H \approx 20R \quad (4)$$

$$L \approx 60R \quad (5)$$

如果最大真断距被看作 1, 那么对于断层面的线性参数来说, 则有下列式成立:

$$R : H : L = 1 : 20 : 60 \quad (6)$$

显然, 关系式 (6) 不是万能的。对于每一个具体的盆地来说, 必须用统计方法确定 ε 和 k 值, 并按此值修正断层面参数之间的关系。对于此一点来说, 卡拉甘德盆地

发育的断层资料就是例证，在那里，最大真断距与断层面规模之间有下列的值：

$$H = 20R \quad (7)$$

$$L = 80R \quad (8)$$

相当于： $R : H : L = 1 : 20 : 80 \quad (9)$

因为没有考虑一系列能够影响断层参数的事实（构造形变的多期性，在不同成分和不同结构的岩石中断裂的形成，应力发生源的深度等等），无疑，所有被推导的关系只是逐步地近于实际情况。对于变动复杂的，已经采完不同厚度、不同产状但属于相似煤层组合的煤田（像库兹巴斯的曾罗寇皮耶夫和安日尔地区、卡拉甘德盆地和顿巴斯中心煤田等）已获得最充分的、最典型的、反映断层结构形态成因特征的资料。选择这些区域做为试验地是由于它们有多年的、有目的地综合井田构造研究历史，这些井田的特点是断裂的类型和规模非常复杂，在矿山坑道中暴露的程度很高。在这些矿床中选取的资料和编制的大量不同断距断层的断层面模线图表明，所有断层面都有类似的椭圆形态，断裂最大真断距与断层面轴规模之间有固定的关系，而与断层的空间方位、断层类型、断层形态和断距无关。

在这种关系中，探讨断层规模的增长过程、也就是断层的发育过程，那是很有意义的。在自然界中见到的、两盘岩块移位达几十米或几百米的断层，显然不是一举而成的，而是多次的、然而又是规模较小的错动形成的；在一般情况下，小错动都沿着断层、在一个方向上然而又并非必然完全在相同的方向上进行。正象 M.B.葛卓夫斯基〔16〕说的那样，“断层断距的加大是跳跃式的，并且每次跳跃的移位都不大于10~15米”。很多学者〔17、65〕认为，地震的发生与断层面两盘每一次的错动有关，他们推导出断层断距和长度的增加与地震能量的关系公式；并且认为，后者的能量也呈成比例的、初等跳跃的形式。

考虑到能量循序渐近地、断续“进入”正在发育着的断层的可能性，A.C.扎布罗金〔25〕推测了断层的发育略图，它象一个多年的植物“年轮”生长图（图56）。可以想象，由于构造运动的结果，在岩体中产生了应力，形成最大真断距为5米的断层；若考虑到断裂规模最大真断距的正比关系，就可以由公式（4）和（5）确定断层面的高度 $H = 100$ 米，长度 $L = 300$ 米。

这个断层的断层面规模线图表示在图561中，因为真断距 R 不能按该图比例尺绘出，用数字5把它写在椭圆的中心，椭圆的中心平分断层面轴和它的断距。假设造成断层进一步生长的构造应力新阶段又使新断距增加5米，在这种情况下，断层面的规模，将在小轴方向上增加50米，在大轴方向上增加150米。同时，断层面模线图具有这样的形式（图562）：5米断距等值线分布在原来零值断距等值线的地方，10米断距等值线则处在椭圆的中心，而新的零值断距等值线圈出了更大的面积。每一个接踵而来的增加5米断距的断层发育阶段，都以模线图大轴增加300米，小轴增加100米而不同于前一个阶段，同时看到断距等值线的值从中心向边缘减小（图563~5）。

从断层发育略图的研究可以推测，断层很可能是在施于断层的中心部分的构造应力影响下形成的，该中心部分伴随断层面模线图边缘切向应力的增长。在这个过程中，在三向压缩的条件下，伴随破裂自由面（断层面）形成时的应力释放就导致断层面上剪切

应力的急剧增加和冲击波的产生；并在冲击波的作用下产生了被切断岩石的移位。

在“环带”的宽度间距内（见图 563 的细线部分），岩块的移位与岩石的缩短呈比例，并取决于岩石极限残余形变系数（ ϵ ）；根据主正应力和剪切应力作用方向和在时间的接近可将断层形成过程划分为断层面形成阶段和两盘沿着断层面的移位阶段——这是在一次构造运动阶段内，在不改变应力轴方向条件下，实际上是瞬间发生的两个阶段。

以各种应力状态下岩石的破裂过程规律为基础理论，是煤矿中鉴别断裂和有根据地预测某些参数的基础，挤压带和拉伸带的出现、断层面轮廓的形成和以它作为断层预测和几何学方法基础的其它特征的形成，都与断层的发育过程有关。

第三节 断裂的几何学特征

一、矿山几何学作图的应用方法

分析断层的几何特征就要引入研究矿山几何学和地下几何学问题的范畴。该学科在自己的领域内，有一系列的、在几十年里研究和完善的专门分析方法和图解方法〔54、63〕。这里，我们应用其中的两种方法：在带有数字标记的投影图里图解作图法和借助于圆周图解网的帮助分析观察结果的方法。

带有数字标志的投影图在矿山地质和矿山测量工作中得到广泛地采用。其中，计算储量使用的煤层等高线平面图、顺层矿山坑道平面图就是这样的图件。这些平面图，通常是矿床勘探或开采地段所遵循的全部地质理论的基础，所以，带有数字标记的投影图的实质和工作的基本方法已普遍知晓；在下面的论述里，我们将只探讨与断层几何学有关的某些问题的解决方法。

在制图网上作图，特别是在分析不同构造要素之间的角度关系时有很多优点，然而，制图网在目前地质研究中应用范围具有局限性。因此，在着手分析断裂几何学特征之前，简单讲一讲关于制图网的一般概念。

在平面上描述球体的坐标网称为制图网。由于作图方法和特征不同，产生了彼此不同的多种制图网。除了制图学本身以外，制图网还应用于科学和技术的许多领域，其中包括地质学。在矿山几何学和矿井地质学当中，三种形式的圆形方位网得到应用：极射赤平投影网（乌氏网）、等积网（施密特网）和等过渡网（Равнопромежуточная сетка）（卡夫拉依斯基网）。这些制图网之间的区别，在于对误差描述的特征。其中，极射赤平投影网不歪曲对象的形状，而对它的面积有极大的歪曲。等积网则具有相反的特征。等过渡网在比较小的歪曲描述对象的形状和面积条件下，以相同精度进行角度测量。所以，对于角度测量来说，我们特别重视应用制图网，所有作图都是在卡夫拉依斯基等过渡网上完成的。应当注意到，全部三种形式的制图网的技术工作是相同的。

按球面坐标系极的分布，制图网分为极网和赤平网（或称横断面网）。在极网内，极点分布在圆的中心，子午线被描述成从极点出发、以等于经度差的角度散开的直线，纬线则被描述为以网的极点为中心的同心圆。在赤平网内，极点分布在直径的末端，也就是中心子午线的末端，其余子午线被描述成向两极收拢的弧。垂直于中心子午线的直

径就是球体的赤道。

借助于制图网的帮助，可以按给定的产状要素作直线或平面的投影。同时，在制图网内，直线被描述成按给定的方位和倾角通过圆心的直线与球面交点的投影。平面被描述成按给定的产状要素通过球心的平面与球面交切的弧线的投影；在赤平网内，带有不同倾角的平面弧表现为不同经度的子午线。

赤平网和极网在应用中有一定的专属性。极网应用于实际观察资料的原始统计工作，例如，它很适合划分节理体系而进行的节理测量的整理工作。对于解决面与面之间角度关系的矿山几何学课题来说，常常应用赤平网。

二、确定线与角的参数

在每一个（观测）点上，断层都具有它的空间位置（ x 、 y 、 z 坐标）、断距和形态特征。断裂研究点的空间坐标是在矿山测量或地形测量的基础上确定的。这些坐标，对于在平面图上描画断层和随后的不同点观察结果的整理都是必要的。

断层断距可以沿着不同方向测量。如前所述，在断层面上，沿着岩盘移动的实际方向测得的断距称为完全断距或称为真断距。完全断距伴随方向，就形成移动向量。实际上，任何其它方向的断距常常是被测定的或者是为解决不同的任务（其中包括解决岩层被错移地段的矿山坑道）所规定的。垂直断距（或称垂直地层断距） N ，铅直断距 H^{*1} ，垂直于岩层走向的水平断距 l^{*2} 和沿着断层面的水平断距 L^{*3} 是最有用的。由被测量的断距转换为指定方向的断距可以在等高线平面图上或剖面图用图解法来完成，或者按公式用解析法来实现。

$$N = H \cos \delta$$

$$N = l \sin \delta$$

$$N = L \sin \delta \sin w$$

这里， δ ——岩层倾角， w ——岩层走向与断层走向之间的夹角。

在一般情况下，如果断距 A 是沿着任意的方向被测定，那么垂直断距可按公式：

$$N = A \cos \alpha$$

计算出。这里， α ——岩层法线与测量断距方向线间的空间夹角。

α 角可以借助于卡夫拉依斯基制图网的帮助来确定，其确定方法将在下面叙述。

为了查明断层的形式，必须在地质观察的过程中确定层理面和断层面的产状要素（倾斜方位和倾角）。其余各角的大小，如层面与断层面交切线的倾斜（仰起）方位、倾角，层面与断层面之间的双面角等等，都是在产状要素测量的基础上，通过图解作图法加以确定的。作图要在带有数字标记的投影图上完成，或者借助于制图网的帮助来完成（对于后一种情况，这里还要引入求垂直断距的方法）

在下面例子里，我们就探讨解决这个问题。在座标为 $x_0 y_0 z_0$ 的矿山坑道工作面内，

*1 即铅直地层断距——译者

*2 即水平地层断距——译者

*3 即走向真断距——译者

测得岩层产状($200^{\circ} \angle 50^{\circ}$), 断层面产状($120^{\circ} \angle 40^{\circ}$)。按着仰孔(仰起方位 $230^{\circ} \angle 20^{\circ}$)测断层断距等于 25 米。

为了解决问题, 我们在带有数字标记的投影图内作岩层面和断层面平面图(预先指定比例尺)(图 6)。按着 x_0y_0 我们画出地质编录点 O 。以 200° 和 120° 的方位引出面的倾向线。然后我们作坡度图: 按选择的比例尺, 作两条平行线, 其间距等于等高线距 ΔZ , 我们再在它们之上画出 O_1 和 O_2 点, 使这两点位于同一条垂线上。从

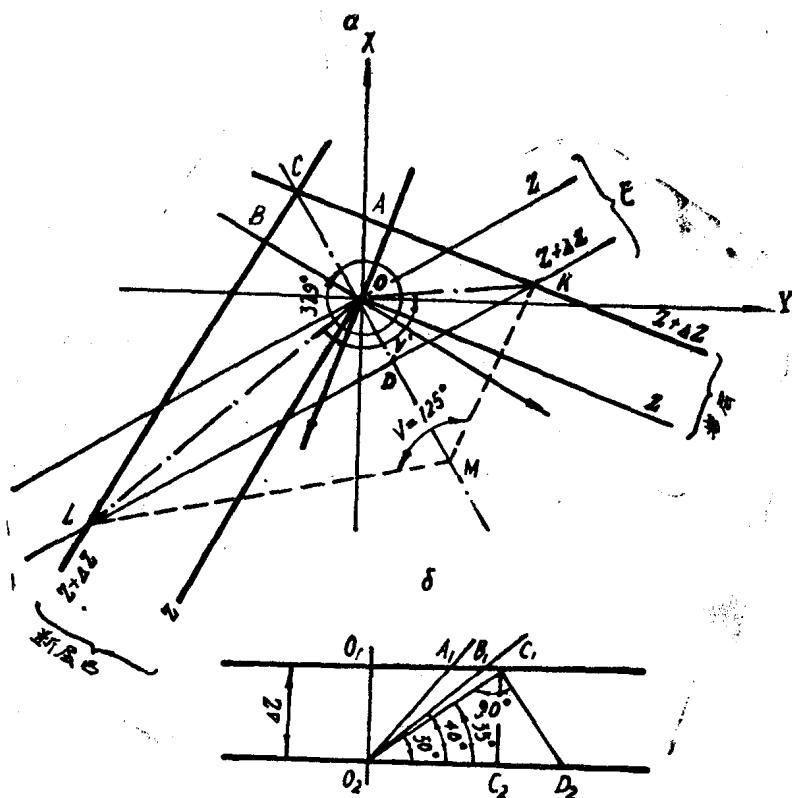


图 6 在带有数字标志的投影图里, 确定断层角度要素

(a) 平面图 (b) 坡度图

O_2 点以 40° 和 50° 作两条射线, 获得的线段 O_1A_1 和 O_1B_1 就是岩层面等高线和断层面等高线的坡度。在平面图上, 沿面的仰起线从 O 点起投落这些线段($OA=O_1A_1$, $OB=O_1B_1$), 通过 O 点和新获得的 A 点、 B 点作带有符号 Z 和 $Z+\Delta Z$ 的面等高线。通过同名等高线交点 O 和 C 的直线就是断层面与岩层面交线的投影。它的仰起方位(329°)可以在平面图上用量角器直接测得。为了确定交切线的倾角, 可在坡度图上投落线段 $O_1C_1=OC$, 连接 C_1 和 O_2 点, 测得射线 O_2C_1 的倾角(35°), 就是所求的倾角。

双面角 V 在垂直于交切线的面上测得。为了建立这个面, 可在坡度图上作 $C_1D_2 \perp O_2C_1$, 线段 C_2D_2 是所求面等高线的坡度。在平面图上, 从 O 点开始投落线段 $OD=C_2D_2$, 我们通过 O 点和 D 点作垂直于交切线的直线。这些直线是垂面 E 的等高线。连

接岩层和断层面与 E 面同名等高线的交点, 得 $\angle KOL = V'$ ——这是所求角 V 的投影。为了确定这个角的实际值, 从 D 点开始, 作线段 $DM = C_2D_2$, 则角 $V = 125^\circ (\angle KML)$ 。

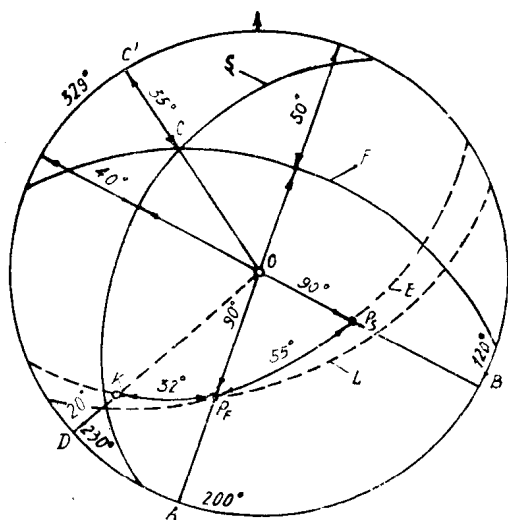


图 7 在制图网上确定断层角度要素

点。用类似的作图法, 也可以获得断层面 S 的投影和它的极点 P_S 。 F 和 S 弧的交点 C 是交切线的投影。为了确定它的方位, 使 OC 线与网赤道重合, 在外圆上标记 C' 点, 并沿着赤道读出 C 与 C' 之间的角度距离 (35°), 它就是交切线的倾角。返转描图纸到原始位置以后, 再在外圆上读交切线仰起的方位 (329°)。

为了确定双面角, 围绕圆心转动描图纸, 使两个极点在网的一条子午线 E 上出现, 再在这样的位置上确定它。沿着子午线 E , 包含在 P_F 和 P_S 点之间的角距, 等于 55° , 是未知双面角 V 达到 180° 的补角, 所以 $V = 180^\circ - 55^\circ = 125^\circ$ 。

为了按公式 $N = A_{CKB} \cdot \cos \alpha$ 计算垂直断距 (这里 $A_{CKB} = 25$ 米——是沿倾斜的钻孔测得的断距), 先用下面的方式确定岩层法线钻孔之间的夹角 α 。将描图纸固定在原始位置, 在外圆上, 按钻孔的仰起方位 (230°) 标记 D 点。转动描图纸, 使 D 点与网的直径之一重合, 从它开始, 向着网心方向读出等于钻孔倾角的度数 (在此例中为 20°)。所得点 K 就是钻孔方向线在网内的投影。转动描图纸, 找到一个使 K 点和 P_F 点位于网的一条子午线 L 上这样的位置。沿着子午线 L , 包含在 K 和 P_F 点之间的角度距离, 等于 32° , 这就是所求的 α 角。因此, 垂直断距 $N = 25 \cdot \cos 32^\circ \approx 22$ 米。

上述带有数字标记投影图中和制图网上的作图和测量, 也可用来解决其它问题, 如求解平面与平面间夹角和它们的交切线有关的问题。

确定断层两盘真正位移方向的方法, 将在下面予以探讨。已知移动向量的方位和倾角, 就可以按公式: $R = N / \cos \alpha$ 。确定断层在该点上的完全断距 (真断距)。在引述的公式中, α_0 ——岩层法线方向 (岩层面极点) 与沿断层面滑移方向之间的夹角。这个角类似前述问题中的 α 角, 借助于制图网的帮助来确定 (见图 7)。

在制图网上, 解决的问题过程如下所述。全部的作图都是在描图纸上完成的, 制图网是模图版。在卡夫拉依斯基网上铺上描图纸后, 在其上面标记原始位置——指北方向 (箭头) 和网心 O (图 7)。不移动描图纸, 在基圆 (外圆) 上, 从指北方向开始, 读出岩层层面的断层面的倾斜方位、标上 A 点和 B 点。转动描图纸, 使 A 点和网的赤道端点之一重合, 从赤道另一个端点开始读等于岩层倾角 (50°) 的角距, 在描图纸上描画子午线 F , 它就是岩层层面的投影。不移动描图纸, 从子午线 F 开始, 沿赤道读出 90° , 标记为 P_F 点, 这就是岩层面法线的投影, 称为这个面的极点