

第七章 断 层

一、概念：

断层是地壳内部的岩层或岩体在应力作用下产生面状破裂构造或面状流变带，沿其两侧的岩块发生明显的位移。

断层分两大类：脆性断层和韧性断层(韧性剪切带)。

二、研究断层构造的意义

1. 断层是地壳中重要的地质构造，规模较大的断层往往是大地构造单元的界线，控制区域地质结构和演化；
2. 控制和影响区域成矿作用，尤其是某些中、小型断层直接控制矿床和矿体的分布；
3. 一些现今活动断层除了影响水文、工程建筑，而且控制着地震的发生。

因此，对断层构造的研究，不仅在理论上、而且在实践上都具有重要的意义。

第一节 断层几何要素和位移

一、断层的几何要素

断层的几何要素是断层几何学研究的基础，断层的几何要素包括断层面、断层线、断盘、擦痕等。

1. 断层面和断层带

(1) 断层面：是相邻两部分岩块沿其滑动的破裂面。断层面是一种面状构造，它可以呈平面状，也可以是弯曲的面状。

(2) 断层线：断层面与地表的交线。

(3) 断层带：规模较大的断层经常由一系列相互平行的破裂面组成一个带，其中常夹有碎裂的岩块、岩片及各类断层岩。

2. 断盘

断盘：是断层面两侧沿断层面发生位移的岩块。

如果断层面是倾斜的，位于断层面之上的岩块称为上盘，而位于断层面之下的岩块称为下盘。

若断层面是直立的，可用方位来命名，如南盘、北盘或东盘、西盘。

3. 断层擦痕和阶步

(1) 擦痕是断层两盘的相互错动摩擦在断层面上产生的线状构造。

擦痕是断层活动的重要标志，也是确定断层存在、相对运动方向的重要依据（一般表现为一端粗，另一端细，由粗到细指示运动方向）。

擦痕的产状一般用擦痕线的倾伏(在竖直面内量度)和侧伏(在擦痕面上量度)来表示。

(2) 阶步：在断层面上与擦痕方向正交的微细陡坎。它是顺擦痕方向局部阻力的差异或因断层间歇运动的顿挫形成的。

二、断层位移

断层位移是断层两盘运动的总称。

目前测算位移的途径有两种：

第一种是利用相当点测算位移。断层发生之前的一个点，经断层作用并发生位移后形成两个点，此两点称为相当点；

第二种途径是利用相当层，即断层位移前的一个层，断层位移后变成两个层，并分布于断层两侧，这两个层称为相当层。

(一)滑距

断层面上，两相当点位移后的距离。

1. 总滑距(ns):断层发生前的一个点 P，经断层位移后分为断层两侧的两点 P 和 P'，PP' 代表 P 点在断层面上位移的真实距离，该距离称为总滑距(ns)。
2. 走向滑距(ss):走向滑距为总滑距(ns)在平行断层面走向线上的分量。
3. 倾斜滑距(ds):倾斜滑距为总滑距(ns)在平行于断层面倾斜线上的分量。
4. 总滑距侧伏角(α):是总滑距(ns)与断层面走向线所夹的锐角。

(二)断距

断距是指被断地层在剖面上(垂直地层走向或垂直于断层走向)两盘之间的相对距离，在不同的剖面上度量的断距是不同的。

1. 垂直地层走向剖面

- (1)地层断距(ho):在垂直于地层走向的剖面上，被断两相当层迹线间的垂直距离。
- (2)水平断距(hf):在垂直于地层走向剖面上，被断两相当层迹线间的水平距离。
- (3)铅直地层断距(hg):在垂直于地层走向的剖面上，被断两相当层迹线间的铅直距离。

地层断距(ho)=铅直地层断距(hg) $\times \cos \alpha$

地层断距(ho)=水平断距(hf) $\times \sin \alpha$

铅直地层断距(hg)=水平断距(hf) $\times \tan \alpha$

式中 α 代表标志层的倾角。

2. 垂直断层走向剖面

因为剖面垂直断层走向，不一定和地层走向垂直，于是有：

$h' o'$ 为视地层断距

$h' g' = hg$ 为铅直地层断距

$h' f'$ 为视水平断距

从上面表示位移的术语中，可以看出，滑距代表断层的真位移，断距表示断层的相对位移(视位移)。

第二节 断层的分类

目前地质文献中存在种种断层的分类，这些分类很不统一，其原因是断层的分类涉及到许多因素，如形成断层的地质背景、断层的运动方式以及断层形成机制等。下面我们介绍两种常用的断层分类。

一、几何分类

断层的几何分类考虑的基础是断层与其它构造的关系，以及断层两盘的位移。

(一)依据断层与褶皱轴的关系

1. 纵断层:断层走向基本上平行于褶皱轴;
2. 横断层:断层走向基本上与褶皱轴正交;
3. 斜断层:断层走向与褶皱轴斜交。

(二)根据断层与切割地层关系

1. 走向断层:断层走向基本上平行于被切割地层走向;
2. 倾向断层:断层走向基本上与被切割地层倾斜方向一致，并垂直于地层走向;
3. 斜交断层:断层走向与被切割地层走向斜交;
4. 顺层断层:断层面平行于地层的层理面，属于走向断层的一种特例。

(三)根据断层两盘相对运动分类

1. 正断层:断层上盘相对于下盘作向下运动。正断层的断层面倾角较陡，一般为 60° 左右。近年来研究发现，一些大型正断层的倾角由浅部向深部逐渐变缓，呈断层面的凹面向上的犁状形态，称为犁状断层或铲状断层。
2. 逆断层:断层上盘相对于下盘作向上运动。倾角大于 45° 的称为高角度逆断层;倾角

小于 45° 的称为低角度逆断层，或逆冲断层、逆掩断层。

3. 平移断层：断层两盘沿断层走向作相对运动。平移断层的断层面倾角陡峻以至直立，并以平行条带状和共轭型式产出。规模较小的平移断层发育于地壳浅部层次，而大规模的平移断层常称为走滑断层，多发育于板块构造的边界。

平移断层又有右行(旋)和左行(旋)之分；

断层两盘往往不完全沿断层的走向或倾斜方向滑动，因此断层经常兼有逆或正—平移滑动特征，常称为逆—平移断层和正—平移断层。

二、成因分类

所谓断层成因分类，主要指断层形成时应力作用方式，即地壳运动性质来划分断层类型。

1. 收缩(挤压)断层

在地壳收缩体制下，地块或岩块受到水平方向的挤压，垂直压应力(σ_1)方向产生的断层。

2. 伸展(拉伸)断层

在地壳伸展体制下，地壳上的地块或岩块受到水平方向的拉伸，垂直张应力(σ_3)方向产生的断层。

3. 走滑断层

在地壳扭动和挤压、拉伸体制下，由于剪切应力作用形成平行条带状(平行扭动方向)和共轭型式(夹角方向为压应力方向)的走向滑断层。

平行条带状走—滑断层的产生与简单剪切作用有关，而共轭型式的走—滑断层的产生与纯剪切作用有关。

此类断层面陡立，沿断层面两盘地块或岩块发生相对水平运动。走—滑断层一般具有较大规模，圣安德列斯断层发生大约 500km 水平位移。

三、断层的组合类型

断层在自然界常以组合型式产出，因而构成了断层的组合类型。

1. 地堑和地垒

地堑是由多条正断层组成，走向基本一致，倾向相向，形成槽形地带，在地貌上表现为狭长的谷地或线形盆地或湖泊。

地垒是由多条正断层组成，走向基本一致，倾向相背，构成垒形构造型式。

地堑和地垒主要是地壳表面受区域拉伸作用的结果。

2. 阶梯状断层

自然界并非所有的拉伸环境都能产生对称分布的正断层系统，在某些地区内只发育一组正断层，相对于一侧依次下降形成阶梯状断层(半地堑)。

3. 环状及放射状断层

若干条弧形或半环状正断层围绕一个中心呈同心圆状分布，构成环状断层。

若干条正断层自一个中心呈辐射状分布，构成放射状断层。

4. 叠瓦式逆断层或逆冲断层

由一系列产状相近的逆(或逆冲)断层上盘依次向上逆冲，在剖面上呈现岩片互相叠置构成叠瓦状。

叠瓦式构造是逆断层或逆冲断层常见的组合型式，其向深部往往与更缓的断层面(顺层断层或推覆构造面)相连。

第三节 断层的识别及位移方向的确定

断层广泛发育在地壳不同构造环境中，是普遍存在的一种构造现象。断层作用总会在地层、岩石、构造等方面留下踪迹，这些标志是确定断层存在、位移和性质的重要依据。

一、断层面

断层面是确定断层存在的最直接的标志。在断层面上可见以下几种构造现象。

1. 磨擦镜面：由于断层两盘相互错动磨擦，引起断层面上局部位置温度升高，使得铁质、锰质、硅质和钙质岩粉重熔，呈薄膜贴附在断层面上，形成磨光镜面。
2. 擦痕：由于断层两盘相互错动，在断层面上留下滑动痕迹。据此可以判断断层的存在和断盘相对运动方向。擦痕有时表现为一端粗而深，另一端细而浅，由粗深向细浅方向滑动。
3. 阶步：在断层面上与擦痕方向正交的微细陡坎，称为阶步。它在断层面上表现为一侧平缓，另一侧陡立的阶梯状陡坎，陡坎彼此平行排列，在平缓的面上留下擦痕、镜面，陡坎面向对盘运动方向。它是顺擦痕方向局部阻力的差异或因断层间歇运动的顿挫而形成。有正阶步和反阶步。

二、构造岩

断层带内岩石，在断层作用下发生破碎、重结晶，以致产生新的矿物，形成具有特征性组构、构造和矿物成分的岩石，称为构造岩(断层岩)。

根据断层岩的组构、构造特征以及断层产出的构造层次，划分断层为脆性断层和韧性断层，断层岩也相应的地分为与脆性断层有关的碎裂岩系列和与韧性断层有关的糜棱岩系列。本章只介绍碎裂岩系列。

碎裂岩系列一般包括断层角砾岩、碎裂岩或碎斑岩、超碎裂岩、玻化岩和断层泥。

1. 断层角砾岩

断层角砾岩是由仍保持原岩特点的岩石碎块组成。角砾形状多不规则，大小不一，角砾岩中的角砾一般在 2mm 以上。

断层角砾岩可划分为两种类型：

- (1) 一种断层角砾岩中的角砾和胶结物排列无一定规律，这种角砾岩一般在引张应力作用下形成，称为张性角砾岩。
- (2) 另一种断层角砾岩具有一定的磨圆、压扁，并具有定向排列，胶结物围绕角砾分布，显示叶理状定向，是挤压应力作用产物，此种断层角砾岩一般称为挤压角砾岩。

2. 碎裂岩

碎裂岩是经断层研磨得较细的断层岩，它是由原岩的细粒和岩粉组成。在显微镜下岩石具有压碎结构。在碎裂岩中若残留较大矿物颗粒，构成碎斑结构，称为碎斑岩。碎裂岩和碎斑岩的颗粒一般在 2mm~0.01mm。

3. 超碎裂岩

超碎裂岩是经断层作用研磨得很细的断层岩，岩石粒度比较均匀，颗粒大小一般在 0.01mm 以下。

4. 假玄武玻璃

如果岩石在强烈研磨和错动过程中局部熔融，而后又迅速冷却，会形成外貌似黑色玻璃状的岩石。往往呈细脉分布于断层岩中。

5. 断层泥

如果岩石在强烈研磨中成为泥状，单个颗粒一般不易分辨，而且较大碎粒(块)含量有限，这种未固结的断层岩可称为断层泥。

三、派生构造

由于断层作用，在断层两盘附近产生局部应力场，导致形成局部依附于断层的旁侧构造，称为派生构造。不同力学性质的派生构造无论在断层的剖面或平面上均与主断层斜交，它们发育于断层的一侧，不越过主断层，远离主断层便逐渐消失。

(一)拖曳构造和牵引褶皱

拖曳构造是在断层两盘相对错动过程中，靠近断层附近的岩层形成的弧形弯曲。弧形弯曲的突向指示被拖曳岩层所在盘的滑动方向，拖曳构造在靠近主断层附近。

牵引褶皱：如果由于断层的错动，在断层两侧的岩层形成一系列弯曲，称为牵引褶皱。牵引褶皱轴面(相当于应变椭球体 λ_1 、 λ_2 主应变面)与主断面所夹锐角的指向，代表断层相邻一侧断盘运动方向。

(二)派生破裂

断层作用过程中，局部的应力作用在断层附近产生派生破裂。这种派生破裂不仅可以确定断层的存在，而且可以作为鉴别断层两盘相对运动的依据。

1. **羽状张破裂**：断层的一盘或两盘经常产生羽状排列的张破裂，它们与主干断层的夹角 45° 左右。羽状张破裂与主干断层所夹锐角指示张破裂所在盘的运动方向。张破裂经常被各种脉体(石英、方解石脉等)充填，张破裂面一般代表应变椭球体 λ_2 、 λ_3 主应变面。

2. **羽状剪切破裂**：由于主断层的相对错动，在断层的一盘或两盘上产生羽状剪切破裂。剪切破裂有时一组发育，有时两组呈共轭型式产出。其中一组剪切破裂与主断层夹角小于 45° ，大约在 15° 左右，其破裂运动方向与主断层运动方向相同，它们与主断层所夹锐角指示剪切破裂所在盘运动方向；另一组剪切破裂与主断层夹角大于 45° ，其所夹锐角仍然指示所在盘运动方向。

四、构造线或地质体的不连续

任何岩层、矿层、岩脉、侵入体和围岩的接触面、叶理、变质岩相带、不整合面、褶皱的枢纽等在平面上和剖面上突然中断，说明可能有断层存在，也可根据标志层等作为断层位移的指示标志。

五、地层的重复和缺失

如果地层层序正常，并且是连续的，当有走向正(或逆)断层存在时，常造成两盘地层的重复或缺失现象，据此可以判定断层的存在，也可根据地层产状与断层产状的关系，鉴别断层两盘相对运动的方向，从而确定断层的正、逆性质。

六、地貌标志

1. 断层崖和断层三角面

断层崖：由于断层两盘的相互错动，在断层上升盘常形成陡崖，这种陡崖称为**断层崖**。

断层三角面：当断层崖受到与其垂直方向水流的侵蚀作用，形成沿断层走向分布的一系列三角形陡崖，称为**断层三角面**。

2. 山脊、河流折线分布

3. 带状分布的泉水、湖泊(洼地)、地震震中、带状分布的泉水、湖泊(洼地)，其中地震震中是断层存在的重要标志。

第四节 断层效应

概念：断层效应主要指断层作用引起岩层的视位移。当断层切过并错开岩层时，由于从不同剖面上观察，断层两盘位移方向和距离以及断层性质是不同的，断层的这种现象称为**断层效应**。

一、正(逆)倾斜滑移断层效应

当断层横切岩层走向，两盘沿断层倾斜方向移动(无论正或逆)时，上升盘突起部分被侵蚀夷平后表现为水平位移特征，给人以平移断层假象。

二、走向滑移断层效应

当倾向断层沿断层走向滑移时，剖面上表现为正、逆断层效应。

三、斜滑移断层效应

断层一盘沿地层倾斜方向在断层面上斜滑移，且断层上盘向下斜滑移时，会出现以下三种情况：

1. 如果断层面上滑移线与岩层在断层面上迹线平行，无论总滑距大小如何，断层两盘地层在平面上和剖面上均不显示被错开。

2. 如果断层面上滑移线侧伏角大于岩层迹线侧伏角，断层在剖面上表现为正断层，在平面上显示平移。

3. 如果断层面上滑移线的侧伏角小于岩层迹线侧伏角，在剖面上表现为逆断层，在平面上显示

平移。

第五节 断层作用的时间性

断层作用的时间性主要涉及断层形成后的地质历史，从断层的形成到断层长期多次活动问题。

一、断层的形成时期

- (1) 可以利用断层与地层、褶皱、掩体、岩脉的特征推断断层的形成时期；
- (2) 可以利用构造岩直接测年。

二、同沉积断层

同沉积断层又称生长断层，它主要发育于沉积盆地的边缘，表现为在断层的两侧或断层相关褶皱上部同一时代的厚度有明显差异，根据地层的时代确定断层的活动时期。

三、多次活动断层

地壳上某些较大型断层的活动历史是比较复杂的，它们在以往的地质历史时期，或者在同一地质历史时期的不同构造发展阶段均有过多次活动。鉴别多次活动断层的主要依据如下：

1. 断层两盘几个时期地层的岩相和厚度有显著差异；
2. 断层带内充填有多期的脉岩，或脉体又被断层错动所碎裂或存在多种力学性质的构造岩等；
3. 穿切不整合面的断层，在不整合面的上、下断距有明显差异。
4. 控矿断层经常表现为多次成矿作用

四、现代活动断层

鉴别现代活动断层的主要标志如下：

1. 现代活动断层最明显的标志是穿切第四纪沉积地层，它们主要发育在老山与现代平原的接触部位；
2. 温泉呈串珠状沿断裂带分布；
3. 近代地震活动与现代活动断层关系密切；
4. 近代河流阶地显示不均匀的升降运动。