

第二章 地质构造

地质构造是指岩层或岩体在地壳运动中，由于构造应力长期作用使之发生永久性变形、变位的现象。地质构造的规模有大有小，大的可以纵横数千公里如褶皱带、断裂带等等；小的只有几厘米，如片理构造等。但它们都是地壳运动造成的，因而它们的形成、发展和空间分布上，都存在着一定的内部联系。在地质历史过程中，地壳经历了长期、多次复杂的构造运动。在同一区域往往会有先后不同规模和不同类型的构造体系形成，它们互相干扰，互相穿插，使区域地质构造显得十分复杂，但大型的复杂的地质构造，总是由一些较小的简单的基本构造形态按一定方式组合而成的。地质构造类型常见的有水平构造、倾斜构造、直立构造、褶皱构造和断裂构造。研究地质构造对工程建筑有重要的意义。

第一节 地质年代

地壳发展演变的历史叫做地质历史，简称地史。据科学推算，地球的年龄至少有 45.5 亿年。在这漫长的地质历史中，地壳经历了许多强烈的构造运动、岩浆活动、海陆变迁、剥蚀和沉积作用等各种地质事件，形成了不同的地质体。因此查明地质事件发生或地质体形成的时代和先后顺序是十分重要的。

4.1.1 地质年代单位和地层单位

地质年代是指一个地层单位的形成时代或年代。

地层是在地壳发展过程中形成的，具有一定的层位的一层或一组岩层（包括沉积岩、火成岩和变质岩），并具有时代的概念。

划分地质年代单位和地层单位的主要依据是地壳运动和生物演变。地质学家们根据几次大的地壳运动和生物界大的演变，把地质历史划分为宙，每个宙中分为若干“代”，每个代又分为若干“纪”，“纪”内再分为世、期等。宙、代、纪、世是国际通用地质时间单位，期的划分和名称，则适用于一个生物地理区，其下尚可再分时，均称为区域性年代单位。与地质年代相对应的地层单位是宇、界、系、统、阶，如中生代三叠纪代表地质年代单位，相应地在这一时代形成地层称为中生界三叠系。地质年代代表反映了地壳历史阶段的划分和生物的演化阶段，见表 4-1。

表 4-1 地质年代表

相对年代				绝对年龄 (百万年)	生物演化		地壳运动	我国地质历史主要特点
宙(宇)代(界)	纪(系)		世(统)		植物	动物		
显生宙	新生 K_z	第四 Q		全新世 Q_1 上更新世 Q_3 中更新世 Q_2 下更新世 Q_1	2~3 25 70 135 195 230 285 350 400 440 500 600 700 1000 1400±50 1700± 2050± 4600 约 6000	被子植物 哺乳类 <		

4.1.2 相对地质年代的确定

地层的上下或新老关系称为地层层序。确定地层的地质年代有两种：一种是绝对地质年代，用距今多少年以前来表示，它是根据放射性同位素的蜕变规律，来测定岩石和矿物的年龄。另一种是相对地质年代，由该岩石地层单位与相邻已知岩石地层单位的相对层位的关系来决定的。在地质工作中，一般以相对地质年代为主。

1. 沉积岩相对地质年代的确定

沉积岩相对地质年代，是通过层序、岩性、接触关系和古生物化石来确定的。

（1）地层层序法

沉积岩在形成过程中，下面的总是先沉积的地层，上覆的总是后沉积的地层，形成自然层序。若这种自然层序没有被褶皱或断层打乱，那么岩层的相对地质年代可以由其在层序的位置来确定；若构造变动复杂的地区，岩层自然层位发生了变化，就难以用这种方法确定了。

（2）岩性对比法

用已知地质时代的地层的岩性特征与未知地质时代的地层的岩性特征进行对比，用以确定未知地层的时代。在同一地质时代、环境相似的情况下所形成的地层，在岩石成分、结构、构造等方面具有一定的相似性。但此方法具有一定的局限性和可靠性。

（3）岩层接触关系法

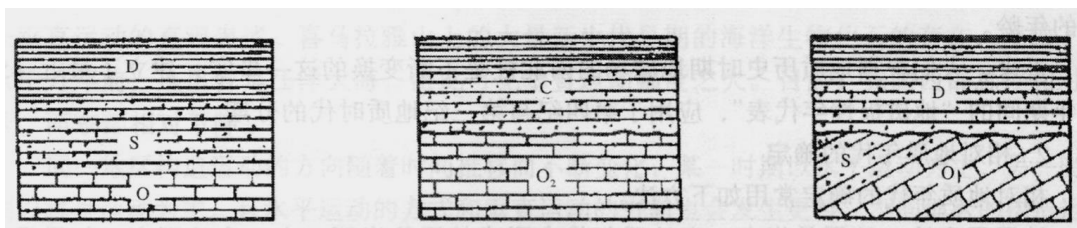
由于地壳运动的性质和特点不同，岩层接触的形式也不同，分为以下几种。

① 整合接触 是指同一地区上、下两套沉积地层在沉积层序上是连续的，且产状一致，即没有出现间断现象。

② 不整合接触 是指上下两套地层之间发生沉积间断，分为以下两种。

③ 平行不整合（又称假整合） 是指上下两套岩层之间有一明显的沉积间断，但产状基本一致或一致。

④ 角度不整合 是指上下两套岩层之间有明显的沉积间断面，且两套岩层呈一定角度相交，如图 4-1 所示。



a 整合接触

b 平行不整合接触

c 角度不整合接触

图 4-1 岩层接触关系

⑤ 古生物法

利用地层中所含化石确定地层的时代 地球上生物的演化具有阶段性和不可逆性，一定种属的生物生活在一定的地质时代。相同地质时代的地层里，必定保存着相同或相近种属的化石。所以，只要确定出岩层中所含标准化石的地质年代，那么也就可以随之确定岩层的地质年代了。

2. 岩浆岩相对地质年代的确定

岩浆岩的相对地质年代，是通过它与沉积岩的接触关系以及它本身的穿插关系来确定的。

(1) 侵入接触

沉积岩形成后，岩浆岩侵入沉积岩层之中，使围岩发生变质现象。它说明岩浆侵入体的形成年代晚于发生变质的沉积岩层的地质年代，如图 4-2 所示。如果多次侵入，侵入体往往相互穿插。此时穿插其它岩体的侵入岩的时代较新，被穿插的侵入岩的时代较老，如图 4-3 所示，I 时代最老；II 时代较新；III 时代最新。

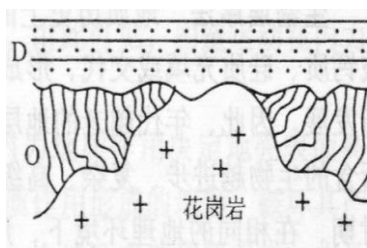


图 4-2 花岗岩与围岩的侵入

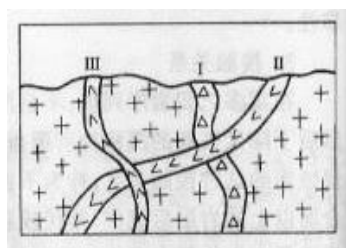


图 4-3 岩脉的穿插关系

(2) 沉积接触

岩浆岩形成之后，经长期风化剥蚀，后来在侵蚀面上又有新的沉积。侵蚀面上部的沉积岩层无变质现象，而在沉积岩的底部往往有由岩浆岩组成的砾岩或岩浆岩风化剥蚀的痕迹，见图 4-2 所示。这说明岩浆岩的形成年代早于沉积岩的地质年代。

4.2 岩层的产状

岩层是指由两个平行或近于平行的界面所限制的同一岩性组成的层状岩石。岩层的产状是指岩层在空间的位置。

4.2.1 岩层产状三要素

地质学上用走向、倾向和倾角三要素来确定岩层的产状。

1. 走向 岩层的走向表示岩层在空间的水平延伸方向。岩层面与水平面相交的线叫走向线。走向线两端所指的方向即为岩层的走向，如图 4-4 中的 CA 和 CB。岩层走向都有两个方位角数值，数值相差 180° 。

2. 倾向 指岩层倾斜的方向。在岩层的层面上与走向垂直并指向下方的直线称为倾斜线，它的水平投影所指的方位角即为倾向，如图 4-4 中的 CD 线。同一岩层只有一个倾向，倾向的方位角值与走向的方位角值相差 90° 。

3. 倾角 岩层的层面与水平面所夹的锐角。如图 4-4 中的 α 角。岩层的倾角表示岩层在空间倾斜角度的大小。

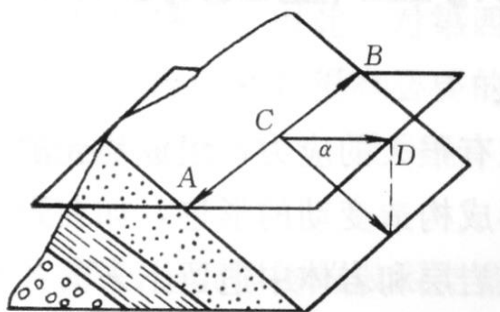


图 4-4 岩层的产状要素

岩层的倾斜线及其在水平面上的投影线之间的夹角就是岩层的倾角，又叫真倾角（图中的 α 角）。视倾斜线和它在水平面上的投影线之间的夹角，叫视倾角或假倾角（图

中的 β 、 β' 角），真倾角 α 与视倾角 β 的关系可表示为：

$$\tan \beta = \tan \alpha * \cos \omega$$

式中， ω 为真倾向与视倾向之间的夹角，如图 4-5 所示。

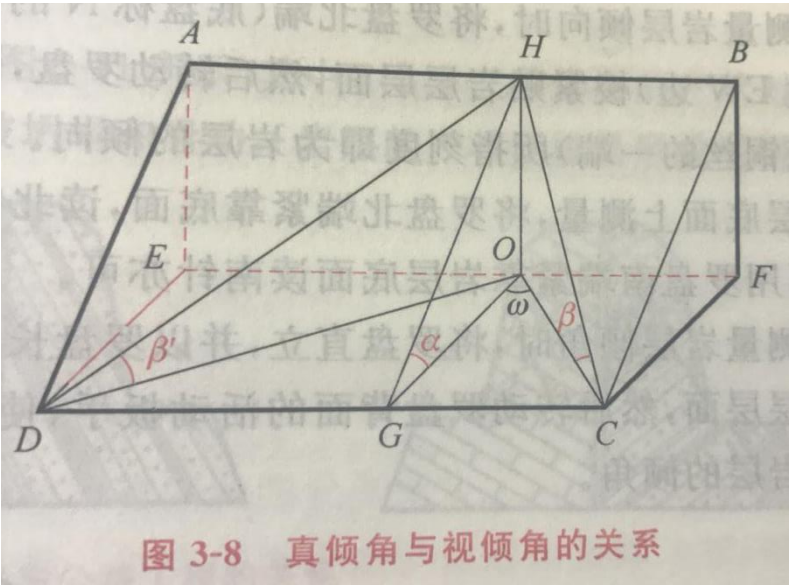


图 4-5 真倾角与视倾角的关系

从式（3-1）可以看出，视倾向越接近真倾向、其视倾角度也越大，最后趋近于真倾角值；视倾向偏离真倾向越远，即越靠近岩层走向，则其视倾角就越小，以至趋近于零。野外测量时，通常需要测量真倾向和真倾角，有时也需要测量视倾角，然后根据上述关系换算真倾角。

岩层呈水平产出时，其倾角为零，没有走向与倾向。岩层呈直立产出时，它的空间位置取决于层面的走向。

技能训练 5 使用地质罗盘测定岩层产状

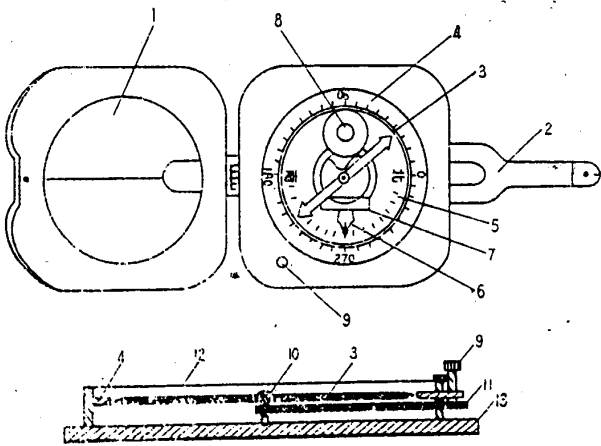
5.1 目的要求

认识罗盘，能熟练使用罗盘测定岩层产状，并能用文字和符号正确记录岩层产状要素。

5.2 内容方法

1. 地质罗盘的结构

地质罗盘式样很多，但结构基本是一致的，我们常用的是圆盆式地质罗盘仪。由磁针、刻度盘、测斜仪、瞄准觇板、水准器等几部分安装在一铜、铝或木制的圆盆内组成，如实图 4—6 所示。



加照片

- 1—反光镜 2—瞄准觇板 3—磁针 4—水平刻度盘
5—垂直刻度盘 6 垂直刻度指示器 7—垂直水准器
8—底盘水准器 9—磁针固定螺旋 10— 顶针
11—杠杆 12—玻璃盖 13—罗盘仪圆盘

图 4-6 地质罗盘结构图

(1) 磁针 一般为中间宽两边尖的菱形钢针，按装在底盘中央的顶针上，可自由转动，不用时应旋紧制动螺丝，将磁针抬起压在盖玻璃上避免磁针帽与顶针尖的碰撞，以保护顶针尖，延长罗盘使用时间。在进行测量时放松固动螺丝，使磁针自由摆动，最后静止时磁针的指向就是磁针子午线方向。由于我国位于北半球磁针两端所受磁力不等，使磁针失去平衡。为了使磁针保持平衡常在磁针南端绕上几圈铜丝，用此也便于区分磁针的南北两端。

(2) 水平刻度盘 水平刻度盘的刻度是从零度开始按逆时针方向每 10 度一记，连续刻至 360 度，0 度和 180 度分别为 N 和 S，90 度和 270 度分别为 E 和 W，利用它

可以直接测得地面两点间直线的磁方位角。

当刻度盘上的南北方向和地面南北方向一致时，刻度盘上的东西方向和地面实际方向相反，这是因为磁针永远指向南北。转动罗盘测量方向时，只有刻度盘转动而磁针不动，即当刻度盘向东转时，磁针则相对地向西转动，所以，只有将刻度盘上地东西方向刻的与实际地面东西方向相反，测得的方向才恰好与实际情况相一致。

(3) 竖直刻度盘 专门用来读倾角和坡角读数，以 E 或 W 位置为 0 度，以 S 或 N 为 90 度，每隔 10 度标记相应数字。

(4) 悬锥 是测斜器的重要组成部分，悬挂在磁针的轴下方，通过底盘处的觇板手可使悬锥转动，悬锥中央的尖端所指刻度即为倾角或坡角的度数。

(5) 水准器 通常有两个，分别装在圆形玻璃管中，圆形水准器固定在底盘上，长形水准器固定在测斜仪上。

(6) 瞄准器 包括接物和接目觇板，反光镜中间有细线，下部有透明小孔，使眼睛、细线、目的物三者成一线，作瞄准之用。

2. 地质罗盘的使用方法

(1) 在使用前必须进行磁偏角的校正。

因为地磁的南、北两极与地理上的南北两极位置不完全相符，即磁子午线与地理子午线不相重合，地球上任一点的磁北方向与该点的正北方向不一致，这两方向间的夹角叫磁偏角。

地球上某点磁针北端偏于正北方向的东边叫做东偏，偏于西边称西偏。东偏为 (+) 西偏为 (-)。

地球上各地的磁偏角都按期计算，公布以备查用。若某点的磁偏角已知，则一测线的磁方位角 $A_{\text{磁}}$ 和正北方位角 A 的关系为 A 等于 $A_{\text{磁}}$ 加减磁偏角。应用这一原理可进行磁偏角的校正，校正时可旋动罗盘的刻度螺旋，使水平刻度盘向左或向右转动，(磁偏角东偏则向右，西偏则向左)，使罗盘底盘南北刻度线与水平刻度盘 0~180 度连线间夹角等于磁偏角。经校正后测量时的读数就为真方位角。

3. 岩层产状要素的测定

岩层产状三要素是指岩层的走向、倾向和倾角。

(1) 岩层走向的测定 岩层走向是岩层面与水平面交线的方向也就是岩层任一高度上水平线的延伸方向。测量时将罗盘长边与层面紧贴，然后转动罗盘，使底盘水准器的气泡居中，读出指针所指刻度即为岩层之走向。

因为走向是代表一条直线的方向，它可以两边延伸，指南针或指北针所读数正是该直线之两端延伸方向。

(2) 岩层倾向的测定 岩层倾向是指岩层向下最大倾斜方向线在水平面上的投影，与岩层走向垂直。测量时，将罗盘短边紧靠着层面并转动罗盘，使底盘水准器气泡居中，读指北针所指刻度即为岩层的倾向。

(3) 岩层倾角的测定

岩层倾角是岩层面与假想水平面间的最大夹角，即真倾角，它是沿着岩层的真倾斜方向测量得到的，沿其它方向所测得的倾角是视倾角。视倾角恒小于真倾角，也就是说岩层面上的真倾斜线与水平面的夹角为真倾角，层面上视倾斜线与水平面之夹角为视倾角。野外分辨层面之真倾斜方向甚为重要，它恒与走向垂直，此外可用小石于使之在层面上滚动或滴水使之在层面上流动，此滚动或流动之方向即为层面之真倾斜方向。

测量时将罗盘直立，并以长边靠着岩层的真倾斜线，沿着层面左右移动罗盘，并用中指搬动罗盘底部之活动扳手，使测斜水准器气泡居中，读出悬锥中尖所指最大读数，即为岩层之真倾角。

岩层产状的记录文字表示法多用于野外记录和文字报告中，书写方式有两种：

①象限角表示法 象限角是以南、北方向为 0° ，东西方向为 90° 。用象限角表示产状要素时，一般记走向、倾角和倾向象限。如 $N60^\circ W/30^\circ SW$ ，即走向为北偏西 60° ，倾向南西，倾角为 30° 。

②方位角表示法 方位角是以正北为 0° 和 360° ，正东为 90° ，正南为 180° ，正西为 270° 。表示岩层产状要素时，只记录倾向和倾角。如 $NW300^\circ \angle 15^\circ$ （或记为 $300^\circ \angle 15^\circ$ ），前者表示倾向的方位角是北西 300° ，后者表示倾角为 15° 。方位角表示

法较简便，为目前广泛采用的方法。

在地质图上常用符号 “ $\swarrow 35^\circ$ ” 表示，长线表示在图纸上走向线的实际方向，短线为倾向，数字表示倾角。

野外测量岩层产状时需要在岩层露头测量，不能在转石(滚石)上测量，因此要区分露头和滚石。测量岩层面的产状时，如果岩层凹凸不平，可把记录本平放在岩层上当作层面进行测量。（如图 4-7）

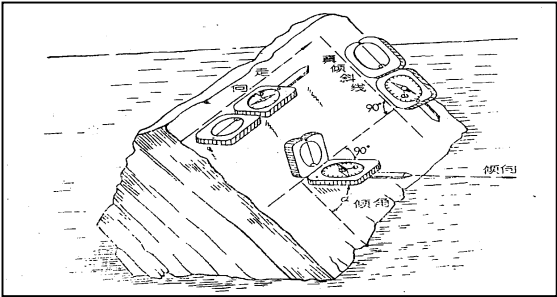


图 4-7 岩层产状及其测量方法

5.3 训练成果

用岩层模型随机摆放，利用罗盘测量 8 组岩层产状要素，并用方位角表示法记录在表 4-2 中。

表 4-2 岩层产状记录表

序号	走向	倾向	倾角	方位角表示法
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

4.3 水平构造、倾斜构造与直立构造

1. 水平构造（又称水平岩层） 是指岩层产状近于水平（一般倾角小于 5° ）

的构造。水平岩层出现在地壳运动较为轻微的地区或大范围均匀抬升或下降的地区，一般在平原、高原或盆地中部，其岩层未见明显变形。对于水平岩层，一般岩层时代越老，出露位置越低，越新则位置越高。水平岩层在地面上的露头宽度及形状主要与地形特征和岩层厚度有关，在地面坡度相同的情况下，厚度越大，露头宽度越大，反之越小。当岩层厚度相同时，坡度越缓，露头宽度越大，反之越小，若坡度接近 90° 度，出露宽度为 0，如图 4-8 所示。

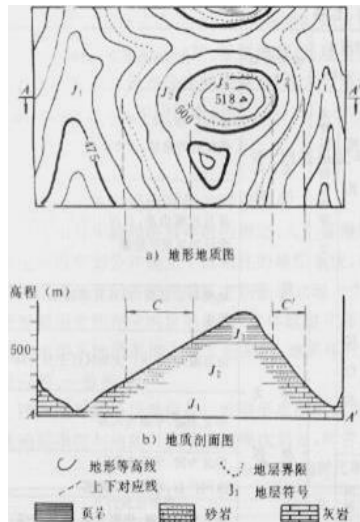


图 4-8

2. 倾斜构造 水平岩层受地壳运动的影响后发生倾斜，使岩层层面和大地水平面之间具有一定的夹角时，称为倾斜构造（又称倾斜岩层或称单斜构造）

构造是层状岩层中最常见的一种产状，它可以是断层的一盘，褶曲的一翼或岩浆岩体的围岩，也可能是因岩层受到不均匀的上升或下降所引起的。岩层层序正常时，岩层是下老上新的地层；若岩层受到强烈变位，形成上老下新地层时，则是倒转层序。岩层的正常与倒转主要依据化石确定，也可根据岩层层面特征以及沉积岩岩性和构造特征来判断确定。（如图 4-9）

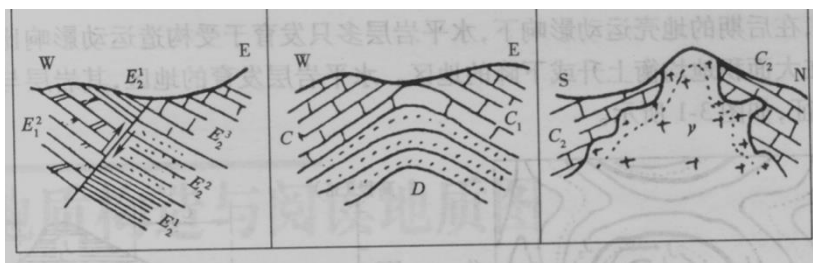


图 4-9 不同成因的倾斜岩层（据《地质矿产基础》长春地质学院编）

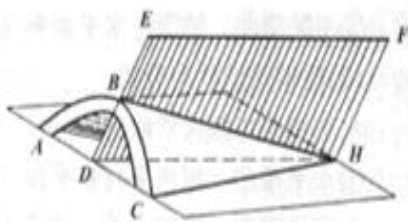
3. 直立构造 岩层层面与水平面相垂直时，称直立构造（又称直立岩层）。其露头宽度与岩层厚度相等，与地形特征无关。

4.4 褶皱构造

褶皱构造是指岩层受构造应力的强烈作用后形成的一系列波状弯曲而未丧失其连续性的构造。褶皱构造是岩层产生的永久性变形，是地壳表层广泛发育的基本构造之一。

4.4.1 褶曲要素

褶曲是褶皱构造中的一个弯曲，是褶皱构造的组成单位。每一个褶曲，都有核部、翼部、轴面、轴及枢纽等几个组成部分，如图 4-10 所示。



ABC 所包围的岩层-核 ABH、 CBH-翼部

DEFH-轴面 DH-轴 BH-枢纽

图 4-10 褶曲要素

核部 褶曲中心部位的岩层。

翼部 位于核部两侧向不同方向倾斜的岩层。**轴面** 平分褶曲两翼的假想面。它可以是平面，亦可以是曲面；它可以是直立的、倾斜的或近似于水平的。轴面与水平面的交线。轴的长度，表示褶曲在轴线上延伸的规模大小。

枢纽 是褶曲中同一层面与轴面的交线，也是褶曲中同一层面最大弯曲点的连线。它可以是水平的，也可以是倾斜的或波状起伏的。

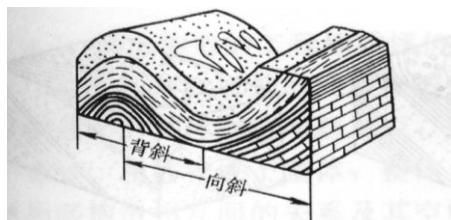
4.4.2. 褶曲类型

1. 褶曲的基本类型

背斜褶曲 岩层向上拱起的弯曲，核部岩层较老，从核部向两翼，依次出现的较新的岩层。

向斜褶曲 岩层向下凹陷的弯曲，核部岩层较新，从核部向两翼，依次出现的较老的岩层。

当地面受到剥蚀，造成背斜在地面上的特征是，从中心到两侧，岩层由老到新对称重复出露；而向斜从中心到两侧，岩层由新到老对称重复出露。如图 4-11 所示。



(a) 未剥蚀



(b) 已经剥蚀

图 4-11 背斜与向斜

2. 褶曲分类

(1) 根据轴面产状分类

直立褶曲 轴面近于直立，两翼岩层倾向相反，倾角大致相等。

倾斜褶曲 轴面倾斜，两翼岩层倾向相反，倾角不等。

倒转褶曲 轴面倾斜，两翼岩层倾向相同，其中一翼地层层序正常，另一翼地层层序发生倒转。

平卧褶曲 轴面水平或近似水平，两翼岩层产状也近于水平，一翼地层层序正

常，另一翼地层层序发生倒转。

扇形褶曲 轴面直立，两翼岩层倾向相反，倾角大致相等，两翼地层层序均发生倒转。

在褶皱构造中，褶曲的轴面产状和两翼的倾斜程度，常与岩层的受力性质及褶曲的强烈程度有关。在褶曲不太剧烈和受力性质比较简单的地区，一般多形成直立或倾斜褶曲；在褶曲强烈和受力性质比较复杂的地区，一般常形成倒转、平卧等褶曲。（如图 4-12）

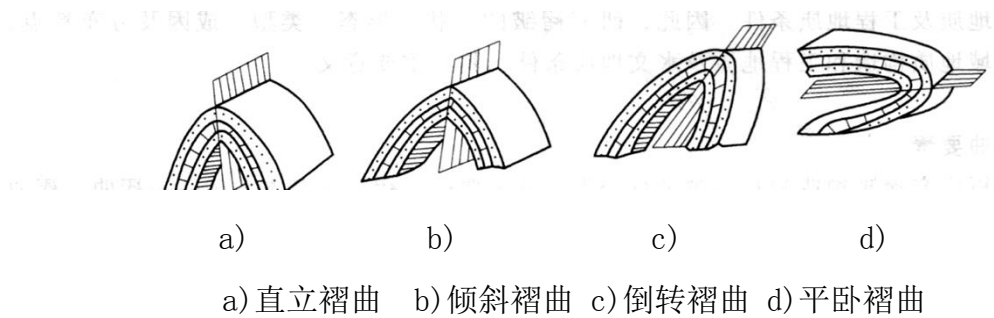


图 4-12 按轴面产状分类示意图

(2) 根据枢纽产状分类（如图 4-13）

水平褶曲 枢纽近似水平，两翼岩层走向大致平行并对称分布。

倾伏褶曲 枢纽向一端倾伏两翼岩层在转折端闭合。

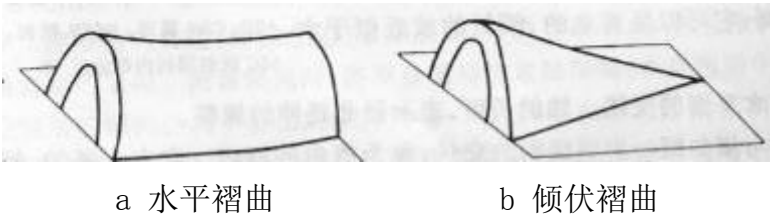


图 4-13 按枢纽产状分类示意图

(3) 按平面上的形态分类（如图 4-14）

线性褶曲 褶曲向一定方向延伸很远，一般长度超过宽度 10 倍以上；

短轴褶曲 褶曲两端延伸不远即倾伏，长度为宽度的 3~10 倍；

穹隆构造 褶曲的长度不超过宽度的 3 倍。若为背斜就叫做穹隆构造；

构造盆地 褶曲的长度不超过宽度的 3 倍，若为向斜就叫做构造盆地。

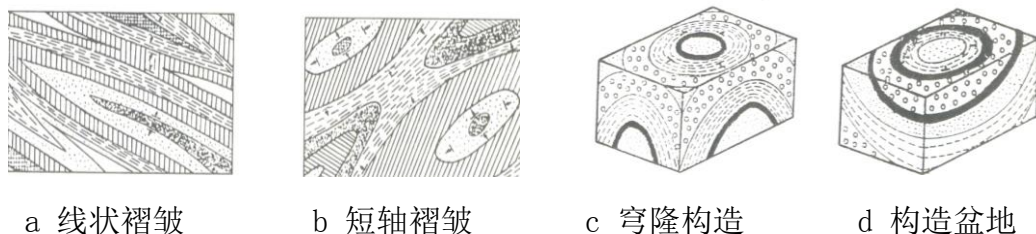


图 4-14 在平面上分类示意图

(4) 按横剖面上的组合形态分类（如图 4-15）

复背斜 是一个巨大的背斜，两翼为与轴面延伸近一致的次一级褶皱所复杂化。如秦岭为复背斜构造。

复向斜 是一个巨大的向斜，两翼亦为与轴面延伸近一致的次一级褶皱所复杂化。如茂县太平以北的岷江河谷两侧为复向斜构造。

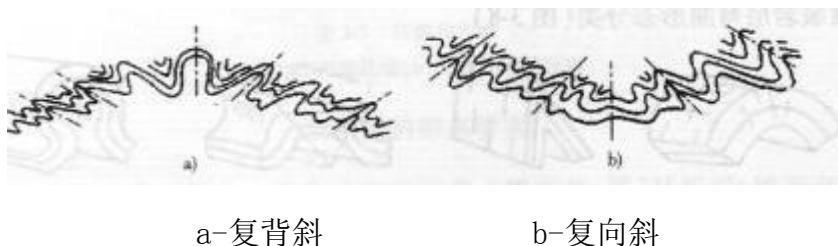
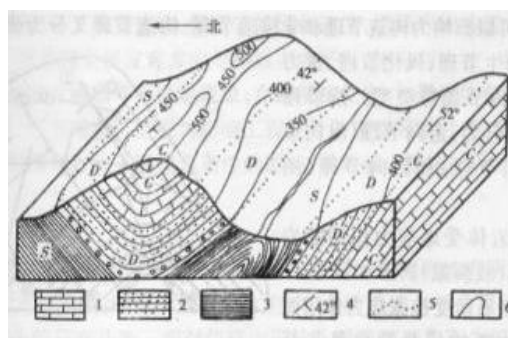


图 4-15 褶皱在剖面上的形态

4.4.3 褶皱构造的识别

在野外识别褶皱时，首先判断褶皱的基本形态是背斜还是向斜，然后确定其他形态特征。一般情况下人们认为背斜山，向斜谷，有这种情况，但实际情况要复杂的多。因为背斜遭受长期轴部裂隙发育，岩层较破碎且地形突出，剥蚀作用进行的较快，使背斜山被夷为平地，甚至形成谷地，成为背斜谷；与此相反，向斜轴部岩层较为完整，并有剥蚀产物在此堆积，故其剥蚀速度较慢，最终导致向斜地形较相邻背斜高，形成向斜山，如图 4-16 所示。因此，不能完全以地形的起伏情况作为识别褶皱构造的主要标志。



1-石炭系 2-泥盆系 3-志留

系 4-岩层产状

5-岩层界线 6-地形等高线

图 4-16 褶皱构造立体图

褶皱的规模有大有小，小的褶皱可以在小范围内，通过几个出露在地面的露头进行观察，大的褶皱，由于分布范围广，又常受到地形的影响，不可能通过几个露头窥其全貌。所以，在野外识别褶皱时，常采用下面方法进行判别。

1. 穿越法 即垂直于岩层走向的方向进行观察。

(1) 当地层出现对称重复分布时，便可判断存在褶皱构造。如图 2-13 所示，区内岩层走向近东西，从南北方向观察，有志留系及石炭系地层两个对称中心，其两侧地层重复对称出现，所以该地区有两个褶曲构造。

(2) 分析地层新老组成关系，左侧褶曲构造，中间是新地层 C，两侧依次为老地层 D 和 S，故为向斜；右侧褶曲构造，中间是老地层 S，两侧依次为新地层 D 和 C，故为背斜。

(3) 观察轴面产状和两翼情况，图中左侧向斜褶曲中，轴面直立，两翼岩层倾向相反、倾角近似相等，应为直立向斜；而右侧背斜轴面倾斜，两翼岩层倾向均向北倾斜，一翼层序正常，另一翼发生倒转，故为倒转背斜。

2. 追索法 即平行于岩层的走向（沿褶曲轴延伸方向）进行平面分析，了解褶曲

轴的起伏及其平面形态的变化。若褶曲轴是水平的呈直线状，或在地质图上两翼岩层对称重复，并平行延伸，则为水平褶曲，如图 2-13 所示。若在地质图上两翼岩层对称重复，但彼此不平行，且逐渐折转汇合，呈“S”形，则为倾伏褶曲。

在野外识别褶皱时，往往以穿越法为主，追索法为辅，根据不同情况，穿插进行。穿越法和追索法，不仅是野外观察识别褶曲的主要方法，同时也是野外观察和研究其它地质构造的一种基本方法。

4.5 断裂构造

断裂构造是指岩石受地应力作用发生变形，当变形达到一定程度后，岩石的连续性和完整性遭到破坏，产生各种大小不一的断裂。它是地壳中常见的地质构造，而且分布也很广，特别是在一些断裂构造发育地带，常成群分布，形成断裂建筑区岩体稳定性起控制作用。根据岩体断裂后两侧岩块相对位移的情况，断裂构造分为节理（裂隙）和断层两类。

4.5.1 节理

又称裂隙，是指断裂面两侧的岩石仅因开裂而分开，未发生明显相对位移的断裂构造。

1. 节理的类型（如图 4-17）

（1）节理的几何分类

根据节理与所在岩层产状之间的关系分为：

走向节理 节理的走向与所在岩层的走向大致平行；

倾向节理 节理的走向与所在岩层的走向大致垂直；

斜节理 节理的走向与所在岩层的走向斜较；

顺层节理 节理面大致平行于岩层面。

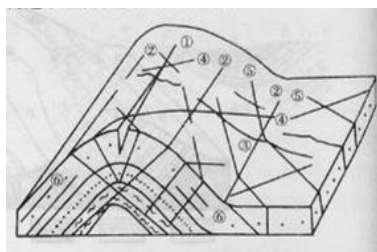
根据节理走向与所在褶皱的枢纽、主要断层走向或其他线状构造延伸方向的关系分为：

纵节理 两者大致平行；

横节理 两者大致垂直；

斜节理 两者斜交。

对枢纽水平的褶皱，以上两种分类可以吻合，即走向节理相当于纵节理，倾向节理相当于横节理。



①②-走向节理或纵节理③-倾向节理或横节理

④⑤斜节理⑥-顺层节理

图 4-17 节理几何形态分类

(2) 节理的成因分类

按照成因可以分为构造节理和非构造节理两类。

① 构造节理 是岩体受地应力作用随岩体变形而产生的节理（裂缝）。这种节理规模较大，分布较广，延伸较长、较深，方向较稳定，且有一定的规律性，往往成群、成组出现。按其力学性质可分为张节理和剪节理两种。

张节理 是岩石受张应力作用产生的节理。其特点是裂隙张开较宽，断裂面粗糙，一般很少有擦痕，裂缝宽窄变化较大，沿走向和倾向方向延伸不远。在砂岩和砾岩中，裂隙面往往绕过砂粒和砾石，出现凸凹不平状。在褶皱构造中，张节理主要发育在背斜或向斜的轴部。

剪节理 是岩石受剪应力的作用产生的节理。其特点是节理面平直而闭合，分布较密，走向稳定，延伸较深；断裂面光滑，常有擦痕、镜面等现象；若发生在砾岩中，可切破砾石；常有等间距分布，成对出现，呈两组共轭剪节理，又称 X 节理，将岩体切割成菱形块体。剪节理常出现在褶曲的翼部和断层附近。

除上述两种构造节理外。在强烈褶皱岩层、变质岩和断层两侧的岩层中，可见有一种大致平行、微细而密集的构造节理，称为劈理。劈理是一种小型构造，按其

成因分为流劈理和破劈理。流劈理是岩石在强烈构造应力作用下发生塑性流动，其内部片状、板状和长条状矿物沿垂直于压应力方向呈定向排列，并由此产生易于裂开的软弱面，多发育于塑性较大的较软弱岩层中，如页岩、板岩、片岩等。破劈理是指岩石中一组密集的平行破裂面，沿这些面上一般不产生矿物定向排列。劈理间距为数毫米至 1 厘米。如果间距超过 1 厘米，应称做剪节理。多发育在薄层的脆硬岩石中或在脆硬岩层内的软弱岩层中。

② 非构造节理 是由成岩作用、外动力、重力等非构造因素形成的节理。分为原生节理和次生节理。

原生节理 是岩石在成岩过程中形成的节理。如玄武岩中的柱状节理、沉积岩中的龟裂现象等等。

次生节理 是由岩石风化、岩坡变形破坏、河谷边坡卸荷作用及人工爆破等外力而形成的节理。一般仅限于地表，规模不大，分布也不规则。

2. 节理调查、统计及表示方法

为了了解工程场地节理分布规律及其对工程岩体稳定性的影响，在进行工程地质勘察时，都要对节理进行野外调查和室内资料整理工作，并用统计图表形式把岩体节理的分布情况表示出来。

技能训练 6 编制节理走向玫瑰花图

1. 目的要求

节理对工程岩体稳定和渗漏的影响程度取决于节理的成因、形态、数量、大小、连通情况以及充填等特征。通过岩土工程勘察查明这些特征后，应对节理的密度和产状进行统计和分析，以便评价它们对工程的影响。统计节理有各种不同的方式，其中节理玫瑰花图就是其中较为常用的一种。

要求学会利用节理产状编制玫瑰花图的方法判断节理的发育程度，初步判定岩石的工程性质。常用工具有地质罗盘、硬纸板、记录本、铅笔等。

2. 内容方法

(1) 节理观测统计

根据工程要求，在主要建筑物地段，选择节理比较发育、有代表性的岩体（面积 1-4m²），按照测岩层产状的方法对一定面积内岩石的节理产状、密度进行观测，把测得的数据加以整理，记入节理统计表(见表 4—3 中)。

表 4-3 节理统计表

方位间隔	节理数	平均走向(°)	平均倾向(°)	平均倾角(°)
1~10	15	186	96	61
11~20	10	194	104	70
21~30	4	209	119	58

(2) 节理走向玫瑰花图

①因为走向有两个值，通常采用上半圆表示，并按顺时针方位角由小到大的顺序，以间隔 10°（或 5°）分组，划分为：1° ~10°、11° ~20° ……81° ~90°；271° ~280°、281° ~290° ……351° ~360° 等 18（或 36）个组。

②将野外实测节理分组后，每组节理的走向取其平均值，如实测走向值中有 3 个方向节理，分别为 5°、7°、9°，取其平均走向 7°，将这 3 个方向的走向划分到 1° ~10° 的方向间隔组中（同理，相应可以求出它们的平均倾向和倾角）。

③以某一组中节理数最多者为标准，取一定比例尺的长度为半径（即把节理条数化为长度）作上半圆，标出刻度（0° ~90°，270° ~360°）。

④每组节理按给定的比例尺长度，根据该组平均走向的方位角，由圆心引出射线，射线的长度等于该组的节理数。

⑤将各射线的端点，依次用直线连接起来，若在规定的组内没有节理时，不能跨组连线，应向圆心连线。若某端点与相邻组内没有节理时，则该端点直接与圆心连成一条射线，如图 4-18 所示。这样就编成了节理走向玫瑰花图。

从图中可以看出，每一玫瑰花瓣越长，表明该方向出现的节理数目愈多；花瓣愈宽，说明节理方向的变化范围愈广。

⑥为了表示最发育一组节理的倾向、倾角，可在走向玫瑰花图上沿最发育一组

的平均走向方向上，沿径向向上引一延长线，并将其等分为 90° ，用来表示节理的倾角，再在该线顶端作一垂线，其长度按比例代表节理的条数，其所指的方向代表节理的倾向；将该组节理按倾向再分组，根据节理倾向和条数标出各点，每组分画成三角形，这就完成了最发育一组节理倾向和倾角图，见图 4-19。从图中可以看出，最发育一组走向区间为 $321^{\circ} \sim 330^{\circ}$ ，倾向北东两组，它们的倾角和条数分别为 $21^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 、25 条和 $71^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 、10 条。倾向南西有一组，其倾角和条数分别为 $51^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 、15 条。

(3) 节理倾向玫瑰花图

节理倾向玫瑰花图的编制方法和节理走向玫瑰花图的编制大同小异，因倾向的方向具有单向性，只能有一个方位角，因此，用全圆间隔来表示。同时与倾向相应的倾角，也是按倾角的平均值换成线段的长度，仍沿辐射线方向标点，然后按上述方法依次将各端点用直线连接起来，就得到倾向、倾角玫瑰花图。

在编图时，往往将节理倾向和倾角的玫瑰花图编在一起，可用不同颜色或花纹将它们区别开来。如图 4-20 所示。

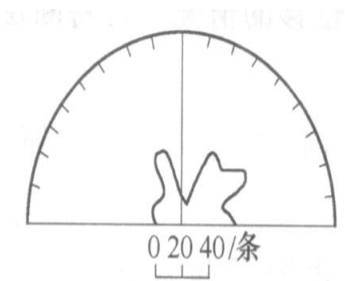


图 4-18 节理走向玫瑰花图实图

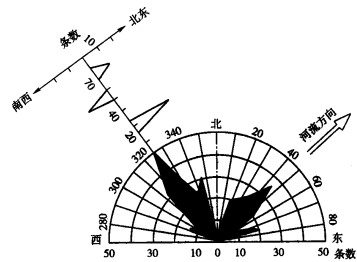


图 4-19 某坝址节理玫瑰图

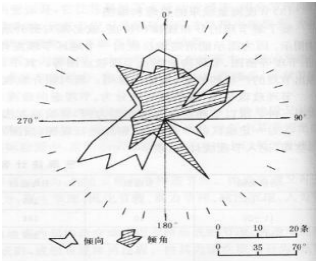


图 4-20 节理倾向、倾角玫瑰花图

在图 2-4 上标出河流及建筑物的方向，可分析节理与建筑物的关系。以垂直河流方向的节理最发育，且倾向河流下游者居多，据此可了解勘察区岩体节理的发育规律。

3.成果提交

表 4—4 为某坝址岩体节理统计表，要求学生按其节理产状编制玫瑰花图。

表 4-4 某坝址岩体节理统计

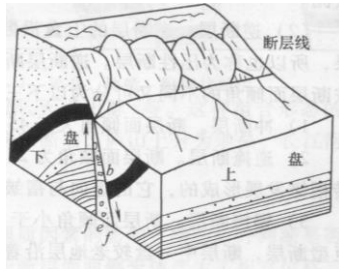
走向/(°)	节理数	走向/(°)	节理数	走向/(°)	节理数	走向/(°)	节理数
1~10	0	51~60	19	271~280	0	321~330	50
11~20	0	61~70	10	281~290	0	331~340	22
21~30	20	71~80	20	291~300	10	341~350	30
31~40	25	81~90	0	301~320	30	351~360	0
41~50	35	—	—	—	—	—	—

4.5.2 断层

断层指岩体受构造应力作用断裂后，两侧岩体发生了显著位移的断裂构造。它包含了断裂和位移两种含义。断层规模有大有小，大的可达到上千公里，小的几米，相对位移从几厘米到几十公里。断层不仅对岩体的稳定性和渗透性、地震活动和区域稳定有重大的影响，而且是地下水运动的良好通道和汇聚的场所。在规模较大的断层附近或断层发育地区，常赋存有丰富的地下水资源。

1. 断层要素

断层由以下几个部分组成，如图 4-21 所示。



ab-总断距；e-断层破碎带

图 4-21 断层要素图

断层面 是指两侧岩块发生相对位移的断裂面。断层面可以是平面、曲面，也可以是波状起伏面，其上常有擦痕。

断层破碎带 有时断层两侧的岩石不是沿着一个简单的面运动，而是沿着一个由许多密集的破裂面组成的错动带进行的，这个错动带称为断层破碎带，断层破碎带中常形成糜棱岩、断层角砾岩、断层泥等。

断层线 是指断层面（带）与地面的交线。断层线的方向表示断层的延伸方向，它的形状取决于断层面的形状和地面起伏情况。

断盘是指断层面两侧的岩块。若断层面是倾斜的，位于断层面上侧的岩块叫上盘；位于断层面下侧的岩块，称下盘。若断层面是直立的，可用方位来表示，东盘、西盘、南盘、北盘。

断距 是指两盘沿断层面相对错开的距离，称为总断距。总断距在水平方向的分量为水平断距，铅（垂）直分量为铅（垂）直断距。

2. 断层的类型（如图 4-22）

（1）根据两盘相对位移划分

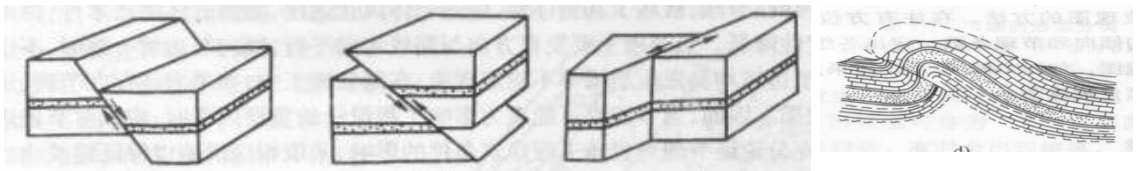
根据断层两盘相对位移分为正断层、逆断层和平移断层，如图 2-16 所示。

正断层 上盘沿断层面相对下降、下盘相对上升的断层。正断层一般是岩体由

于受到水平张力作用使岩层产生断裂，进而在重力作用下产生错动而成。这种断层一般规模不大，断层面倾角较陡，常大于 45° 。

逆断层 上盘沿断层面相对上升，下盘相对下降的断层。逆断层一般是岩体受到水平挤压作用的结果，所以也称为压性断层。逆断层规模一般较大，断层面呈舒缓波状，断层线方向常与岩层走向或褶皱轴方向一致，与压应力方向垂直。逆断层按断层面倾角的不同又可分为：冲断层，断层面倾角大于 45° ；逆掩断层，断层面倾角在 $25^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 之间；辗掩断层，断层面倾角小于 25° 。逆掩断层和辗掩断层的规模一般都较大。

平移断层 两盘沿断层面走向在水平方向发生相对位移的断层。一般认为平移断层是地壳岩体受到水平扭动力作用而形成的。



a-正断层

b-逆断层

c-平移断层

d-逆掩断层

图 4-22 断层类型示意图

(2) 根据断层走向和褶皱轴走向关系分为

纵断层 断层走向和褶皱轴（或区域构造线）方向一致或近于平行的断层；

横断层 断层走向和褶皱轴（或区域构造线）方向大致垂直的断层；

斜断层 断层走向和褶皱轴（或区域构造线）方向斜交的断层。

(3) 根据断层走向和岩层产状的关系分为

走向断层 断层走向和岩层走向一致；

倾向断层 断层走向和岩层倾向一致；

斜交断层 断层走向和岩层走向（或倾向）斜交。

(4) 根据断层的力学性质分为

压性断层 由压应力作用形成的断层，多呈逆断层形式。

张性断层 在张应力作用下形成的断层，多呈正断层形式。

扭性断层 在剪应力作用下形成的断层。

压扭性断层 压扭性断层具有压性断层兼扭性断层的力学特征，如部分平移逆断层。

张扭性断层 张扭性断层具有张性断层兼扭性断层的力学特征，如部分平移正断层。

(5) 断层的组合形式

在自然界中，断层很少孤立存在，往往由许多断层排列在一起形成一定的组合形态。主要有以下几种。

阶梯状断层 由数条倾向一致、大致平行的正断层组合而成，在地貌上呈阶梯状，如图 4-23 所示。

地堑和地垒 由两条倾向相向的正断层组成，其间相对下降的岩块为地堑；由两条倾向相背的正断层组成，其间相对上升的岩块为地垒。如图 4-23 所示。

叠瓦式构造 由数条倾向一致、相互平行的逆断层组合而成，呈叠瓦状。如图 4-24 所示。

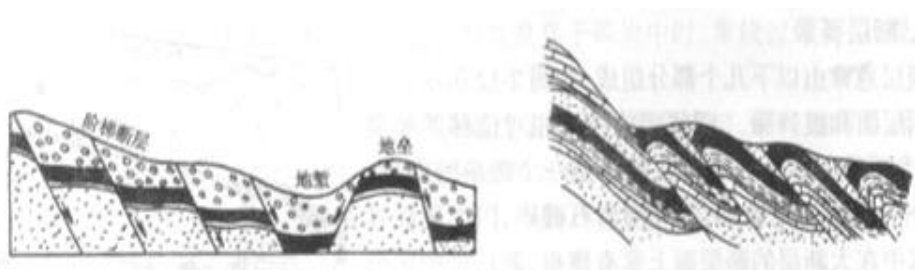


图 4-23 阶梯状断层、地垒和地堑



图 4-24 叠瓦状构造

3. 断层的野外识别

断层的存在，说明岩层受到了强烈的断裂变动，使岩体的强度和稳定性降低，对工程建设是不利的，为了预防断层对工程建筑的危害，首先必须识别断层的存在。野外调查时可从以下几方面进行判断。

构造上的标志

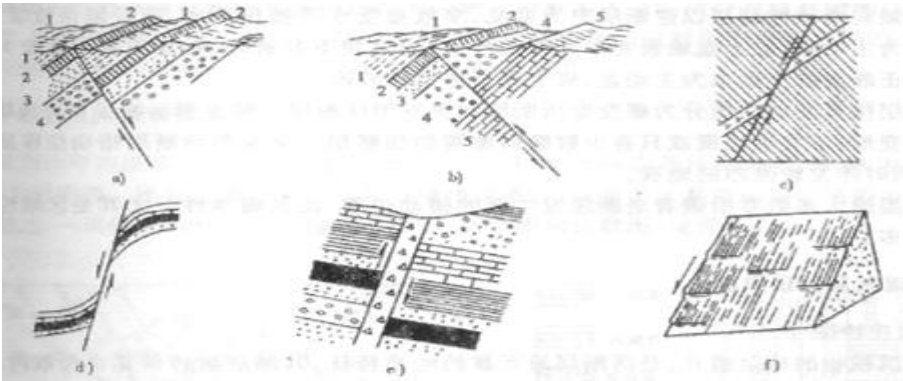
断层的存在常造成构造上的不连续，如岩层、岩脉等的错动，岩层产状的突然变化；断层面两侧的岩石发生塑性变形，产生牵引弯曲；在断层面上由于两盘错动出项断层擦痕、磨擦镜面和阶步；断层破碎带中存在断层角砾岩、糜棱岩和断层泥。如图 4-25 所示。

地层上的标志

造成地层的重复与缺失、岩层中断等现象。在单斜岩层地区，沿岩层走向观察，若岩层突然中断，交错的不连续状态，或改变了地层的正常层序，使地层产生不对称的重复或缺失，则往往是断层的标志。断层造成地层的重复与褶皱造成的地层重复不同，断层只是单向重复，褶皱为对称重复；断层造成地层的缺失与不整合造成的地层缺失也不同，断层造成地层的缺失只限于断层两侧，而不整合造成的地层缺失有区域性特点。地层的重复与缺失所出现的断层，可能有六种情况如表 4-5 所示。

表 4-5 走向断层造成地层重复与缺失情况

断层性质	断层倾向与岩层倾向关系		
	相反	相同	
		断层倾角>岩层倾角	断层倾角<岩层倾角
正断层	重复	缺失	重复
逆断层	缺失	重复	缺失



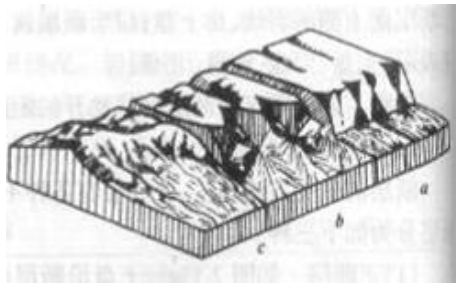
a) 地层重复 b)-地层缺失 c)-岩脉错动 d)-牵引褶曲 e)-断层角砾 f)-断层擦痕

图 4-25 断层现象

(3) 地形地貌上的特征

地形地貌特征主要有断层崖、断层三角面、河流纵坡的突变、河流及山脊的改向等。

断层上升盘突露于地表形成的悬崖，称为断层崖；一些比较平直的断层崖，经过流水的侵蚀作用，形成一系列横穿崖壁的“V”形谷，谷与谷之间的三角面，则称为断层三角面(如图 4-26)；



a-断层崖剥蚀成冲沟 b-冲沟扩大形成
三角面 c-继续侵蚀，三角面消失

图 4-26 断层三角面形成示意图

当断层横穿河谷时，可能使河流纵坡发生突变，造成河流纵坡的不连续现象。但河流纵坡的突变，不一定是由于断层形成的，也可能是河床底部岩石抗侵蚀能力不同所致；水平方向相对位移显著的断层，可将河流或山脊错开，使河流流向或山脊走向发生急剧变化；断陷盆地是断层围限的陷落盆地，由不同方向断层所围或一边以断层为界，多呈长条菱形或楔形，盆地内有厚的松散物质。

(4) 水文地质标志

在断层带附近湖泊、洼地、温泉和冷泉呈串状排列，某些喜湿植物呈带状分布。

以上是野外识别断层的主要标志。但是，由于自然界的复杂性，其他因素也可能造成上面的某些特征，所以不能孤立地看问题，要全面观察，综合分析，才能得

出可靠地结论。

4. 活断层

活断层又称活动断裂，是指现今仍在活动或者近期有过活动，不久的将来还可能活动的断层。在国家标准《岩土工程勘察规范》（GB 50021—2001）中将在全新世以来有过地震活动或正在活动，或将来可能继续活动的断裂叫做全新活动断裂。

（1）活断层对工程建筑的影响及设计原则

活断层对工程建筑影响很大，主要表现在两个方面：一是跨越断层的建筑物，因其活动导致建筑物的开裂、变形、甚至破坏；二是活断层的快速滑动引起地震。例如，2008年5月12日四川汶川大地震，这次地震是龙门山断裂带内映秀—北川断裂活动的结果，其最大垂直错距和水平错距分别达到5米和4.8米，沿整个破裂带的平均错距可达2米左右。在地表破裂带经过之处，所有的山脊水系和人类建筑均被错断毁坏，并形成大量的滑坡、山崩、泥石流等地质灾害。因此，在选择建筑物场地时，注意避开活断层。当不能避让活断层时，必须在场地选择、建筑物类型选择、结构设计等方面采取措施，以保证建筑物的安全性。

（2）识别活断层的标志

- 1) 新生代地层被错断、拉裂或扭动；
- 2) 地面出现地裂缝，且裂缝呈大面积有规律的分布，其总体延伸方向与地下断裂的方向一致。
- 3) 地形上发生突然变化，形成断崖、断谷；或河床纵断面发生突然变化，在突变处出现瀑布或湖泊；
- 4) 古建筑物（如古城堡、庙宇、古墓等）被断层错开；
- 5) 根据仪器观测，岩断层带有新的地形变化或新的地应力集中现象；
- 6) 地震活动、火山爆发等。

4.6 地质构造与公路工程的关系

地质构造一般包括水平构造、倾斜构造、直立构造、褶皱构造和断裂构造等。

公路工程主要指道路、桥涵、隧道及其辅助工程建筑物，这些公路工程与地质构造有着密切地关系。

4.6.1 地质构造与路基工程的关系

- 1. 当岩层水平、直立，或单斜层面及节理面背向路基时，对边坡稳定有利，如图 2-21a、b、c 所示。如夹有软弱岩层时，应抹面护壁以防止风化。
- 2. 单斜层面及节理面倾向路基，且结构面的倾角 $>10^{\circ}$ ，其走向又与路线平行或交角较小，易形成边坡的坍塌；当有软弱岩层或不整合面存在时，则易形成边坡滑动，如图 2-21e、d 所示。
- 3. 断层破碎带的岩体松散，节理也很发育，常是地下水活动的通道，加之断层面倾向路基所以当挖方边坡与断层带平行时，极易产生滑塌，如图 4-27 所示。

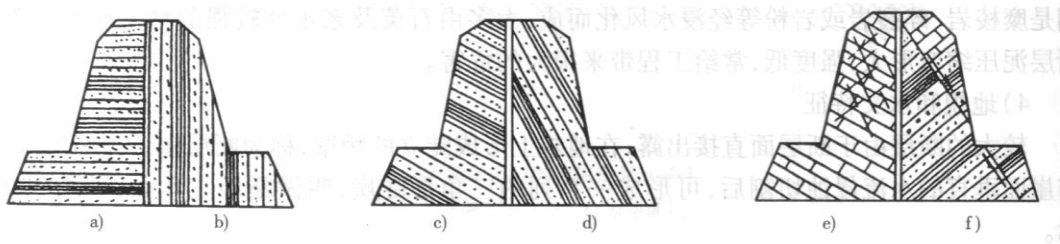


图 4-27 地质构造与路基工程之间的关系

- 4. 堆积层下伏基岩坡体较陡且倾向路基，在其接触面处常有地下水活动，当路堑开挖超过接触面的深度时，堆积层极易失去平衡发生滑塌，尤以基岩属软弱层为最严重，如图 4-28 所示。

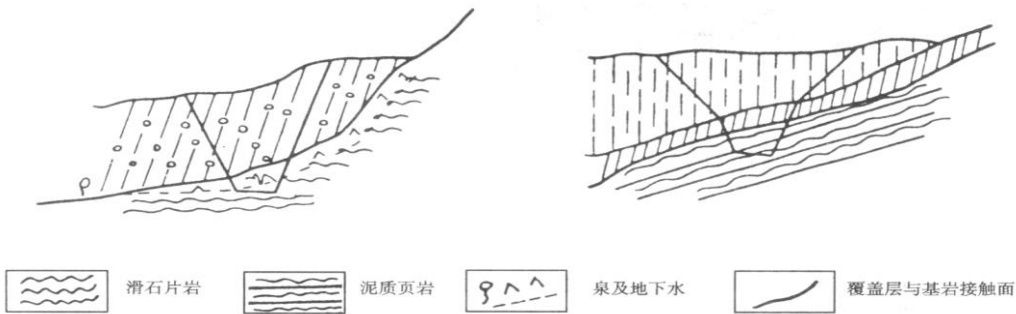


图 4-28 路堑边坡不稳定情况示意图

(引自《工程地质基础知识》，铁道部第一勘察设计院编)

5. 节理特别发育的陡坡地段,当有一组或几组节理倾向路基时,开挖后常造成边坡崩塌、落石等病害,而且构造节理中为张节理,对路堑边坡也是极不稳定的因素。

4.6.2 地质构造与桥基工程的关系

1. 在确定桥位之前,首要任务是勘察桥位可能穿越的地层、岩性、地质构造,尤其要分析桥位与大的构造线、断层破碎带的关系。

2. 桥位选定后,对桥墩位置的布置,应做具体探测,墩位应避免软弱层面。因为一个桥址的不同地段可能会遇到复杂的构造现象,可因地制宜作小的调整。

3. 桥基的稳定性与岩层产状、软弱面等都有直接影响。当岩层层面倾向下游,其中又有软弱夹层时,会因水的冲蚀作用而影响基础的稳定性。如果软弱夹层较厚,会使基础产生差异沉降导致墩身歪斜或倾覆,如图 4-29 所示。

当两种不同岩层接触,其接触面较陡时,会造成桥基不稳,因为接触面一般都是软弱结构面,故最好是将桥基设计在单一岩层之上。在定桥位时,应尽可能的避开断层破碎带,如图 4-30 所示,从图中可以看出,因桥基岩体破碎,易风化

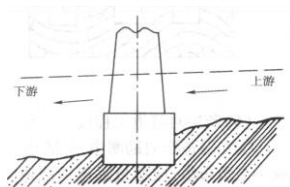


图 4-29 桥基不稳定图示

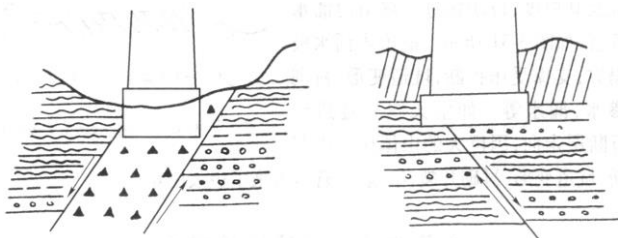


图 4-30 断层对桥基影响示意图

渗水,受桥基和桥体荷载后出现沉陷,或沿断层破裂面错动的方向,使桥墩发生滑动或倾斜。

4.6.3 地质构造与隧道工程的关系

1. 隧道穿过硬质厚层状的水平构造时,一般都是较为稳定的。如果是松软的薄层岩层,则开挖后可能会有顺层剥落或坍塌的危险,尤其是极易风化的软质岩石或含水的松软岩层,会给施工造成极大的困难,如图 2-25a 所示。

2. 隧道穿过直立构造且少地下水的岩层,一般是稳定的。如果岩层较薄,并有

软弱夹层存在，加上有少量的地下水活动时，则会产生较大的地层压力，有掉块和坍塌冒顶的可能。如图 2-25b 所示。

3. 在单斜构造地区，岩层倾角的大小和岩性对隧道的稳定性有极大的影响。若倾角平缓且岩质坚硬，则较稳定；若倾角大，夹有软弱层，且有地下水活动，则地层侧压力较大。如在塑性强的粘性土中，可能引起隧道边墙的坍塌和顺层滑动，如图 4-31 所示。

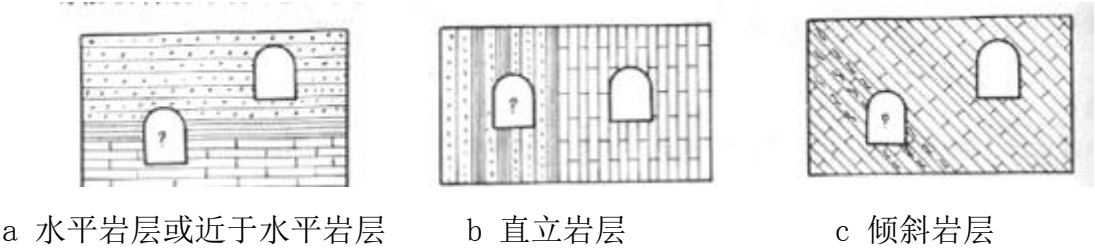


图 4-31 岩层产状与隧道工程关系

4.6.4 褶皱与隧道工程的关系

1. 如果隧道从向斜轴部穿过，则因两侧岩层向轴部挤压和核部向下坠落，产生较大的压力。

2. 如果隧道从背斜轴部穿过，则常因轴部张节理向上呈辐射状发育、顶部受水面积大，地下水向核部汇集，对隧道工程不利。

在褶皱地区开挖隧道，通常选择翼部通过，如图 4-32 所示。

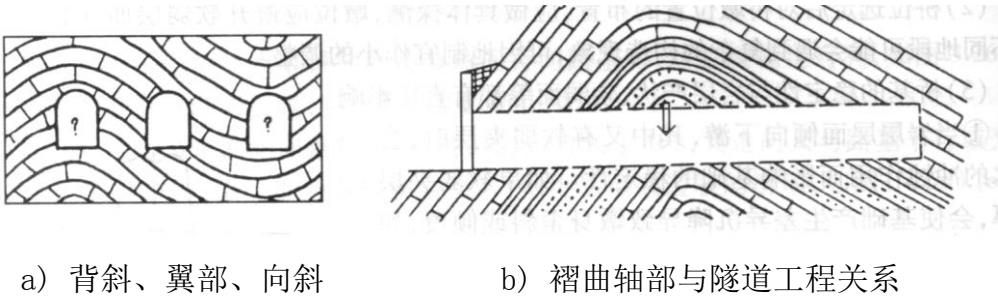


图 4-32 褶皱与隧道工程

4.6.5 断层与隧道工程的关系

1. 在隧道定向勘测中，对活动性断层或宽度较大的断层破碎地段，切忌与断层

构造线平行或小交角布线，应尽量远离或绕避。若必须穿越时，则应使隧道中线与断层构造线呈直交或近于直交穿越，以减小对隧道工程的影响范围, 如图 4-33 所示。

2. 隧道穿越走向逆断层时，应查清上盘岩体含水层的层位及其厚度，以防掘进中隧道内涌水给工程造成危害，如图 4-34 所示。隧道内涌水极易引起洞内塌方，支撑受压折断，坑道变形，衬砌严重开裂、渗水、漏水等。给施工、营运带来极大的困难。

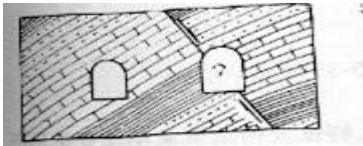


图 4-33 断层与隧道工程图

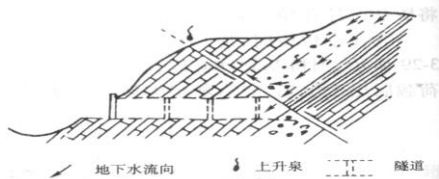


图 4-34 隧道内涌水情况

3. 当隧道通过几组断层时(图 4-35)，还应考虑围岩压力沿隧道轴线可能重新分布，断层形成上大下小的楔体，可能将其自重传给相邻岩体，使它们的地层压力增加。



1-减小；2、3-增加

图 4-35 断层引起的围岩压力变化

阅读地质图

思考题

1. 绘图表示地层的整合接触、假整合接触和角度不整合接触，并作简要说明。
2. 简述岩层产状要素及其测定方法。
3. 怎样认识褶曲的基本形态?对公路建设有何影响?
4. 绘图说明断层的基本类型及其组合形式的特征。在野外如何识别断层的存

在？

5. 断裂构造对工程有何影响？

分析地质构造对工程影响

加工程案例勘察中的断层、单斜构造