

第四章 褶皱

岩石中的各种面状构造，在力的作用下发生弯曲的构造形态称为褶皱。
形成褶皱的面称为变形面或褶皱面。它可以是任何的原生或次生面状构造

第一节 褶皱的基本类型和褶皱要素

一、褶皱的基本类型

1. 根据组成褶皱岩层的新老关系，可把褶皱分为背斜和向斜。

背斜是指褶皱核部为时代较老的岩层，两侧为时代较新岩层；

向斜是指褶皱核部为时代较新岩层而两侧为老岩层。

2. 如果组成褶皱岩层的新老关系不清，可用背形和向形来描述。

凡是褶皱面向上拱曲的称背形；

褶皱面向下弯曲的称向形。

3. 将褶皱的弯曲的形态与地层新老顺序结合起来，可得褶皱的四种型式：

(1)背形背斜，简称背斜；(2)向形背斜；(3)向形向斜，简称向斜；(4)背形向斜。

此外，还有一些褶皱面向侧向弯曲和闭合的褶皱，如倾竖褶皱、平卧褶皱及斜卧褶皱等，这些非背形也非向形的褶皱称为中性褶皱。

二、褶皱要素

在研究褶皱构造时，要用几何要素来描述褶皱的形态。

1. 核：指褶皱在地面出露的中心部位的岩层。

2. 翼：核部两侧岩层。两翼切线夹角称翼间角。

3. 枢纽：在褶皱各个横截面上，同一褶皱面上最大弯曲点的连线，也称枢纽线。褶皱的枢纽可以是直线、曲线或折线。

4. 轴面：是指连结各个相邻褶皱层面上枢纽线而成的面，也称枢纽面。轴面可以是平面、也可以是曲面。

5. 转折端：指褶皱从一翼过渡到另一翼的部分。

6. 褶轴：褶皱层面上某一方位的直线，如果其平行于自身运动的轨迹与该褶皱面的形态完全一致，则这一方位的直线就称为褶轴。褶轴并无固定位置，也不限于哪一条直线，凡是与此直线平行的线，都可称为褶轴，它只具有几何方位的意义。在圆柱状褶皱中，褶轴与枢纽平行。

7. 轴迹：轴面与包含地面在内的任一平面的交线。

8. 拐点：在横截面上，褶皱面弯曲方向改变的一点称为拐点，该点曲率为零。

9. 脊和槽：在背斜(形)的横剖面上，一个褶皱面的最高点称为“脊”，各横剖面上同一褶皱面上最高点的连线称为脊线。在向斜(形)的横剖面上，一个褶皱面的最低点称为“槽”，连结各横剖面上同一褶皱面上槽的连线叫“槽线”。

三、褶皱的方位

褶皱的空间方位主要是由轴面和枢纽的产状来确定的。

轴面的产状如同岩层面产状一样，用走向、倾向和倾角来表示的。在野外可对小型褶皱的轴面直接测量。对于大型褶皱，是根据系统测得的褶皱各个部位褶皱面的产状，用赤平投影方法求得。

枢纽是一种线状构造，其产状同其它线状构造一样，用倾伏(倾伏角和倾伏向)和侧伏(侧伏角和侧伏向)来表示。

四、褶皱系、褶皱的波长和波幅

1. 褶皱系：一组在空间上和成因上有内在联系的褶皱群称为褶皱系。如果一个大型褶皱的翼

部或转折端发育了一套小型褶皱，这类小型褶皱可称为大型褶皱的从属褶皱。

第二节 褶皱的形态描述

正确地描述褶皱形态是研究褶皱的基础，褶皱形态的描述常从正交剖面的形态分析入手，因为只有正交剖面上才能表示出褶皱的真实形态。

褶皱在剖面上的形态是反映褶皱特征的主要方式。一般是在两种剖面上将褶皱划分为不同的形态类型：一种是相对于地表的铅直剖面；另一种是与褶皱方位有关的横截面。

一、铅直剖面上褶皱的形态

1. 在铅直剖面上，根据褶皱轴面和两翼产状特征，将褶皱描述为：

- (1) 直立褶皱：轴面近于直立，两翼倾向相反，倾角近相等；
- (2) 斜歪褶皱：轴面倾斜，两翼倾向相反，倾角不等；
- (3) 倒转褶皱：轴面倾斜，两翼倾向相同，其中一翼岩层为倒转层位；
- (4) 平卧褶皱：轴面近水平，一翼岩层为正常层位，另一翼岩层倒转；

2. 在铅直剖面上，根据褶皱面的弯曲形态，可将褶皱描述为：

- (1) 圆弧褶皱：褶皱面呈圆弧形弯曲；
- (2) 尖棱褶皱：褶皱两翼平直相交，转折端呈尖角状；
- (3) 箱形和屈形褶皱：褶皱两翼陡而转折端平直，常见有一对共轭轴面；
- (4) 扇形褶皱：褶皱面呈扇形弯曲，两翼岩层均呈局部倒转；
- (5) 挠曲：缓倾斜岩层中的一段突然变陡，形成台阶状弯曲。

二、横截面上褶皱的形态

褶皱的横截面又称正交剖面，是指与褶皱枢纽相垂直的剖面。只有在横截面上才能真实地反映褶皱的形态特征。

1. 在褶皱横截面上，根据褶皱翼间角，可将褶皱划分为：

- (1) 平缓褶皱：翼间角在 120° — 180° 之间；
- (2) 开阔褶皱：翼间角在 70° — 120° ；
- (3) 闭合褶皱：翼间角在 30° — 70° ；
- (4) 紧闭褶皱：翼间角小于 30° ；
- (5) 等斜褶皱：翼间角近于 0° 、两翼平行，产状一致。

2. 褶皱的对称性

- (1) 对称褶皱：两翼等长的褶皱为对称褶皱；
- (2) 不对称褶皱：两翼不等长的褶皱为不对称褶皱。

三、纵剖面上褶皱的形态

在纵向铅直剖面上，根据褶皱枢纽与水平面的关系，可将褶皱描述为：

- (1) 水平褶皱：枢纽为水平线，在平面上两翼岩层平行出露；
- (2) 倾伏褶皱：枢纽倾伏，在平面上有连续过渡的转折端；
- (3) 倾竖褶皱：枢纽与轴面均近直立的褶皱。

四、褶皱在剖面上组合形式的描述

1. 复背斜和复向斜

复背斜和复向斜是由不同级次褶皱所组成的巨大背斜构造或巨大向斜构造。这些巨大褶皱的翼部是由一系列次级褶皱所组成，各次级褶皱与主褶皱常有一定的几何关系。

典型的复背斜和复向斜的次级褶皱轴面向主褶皱的核部收敛，次级褶皱的枢纽与主褶皱的枢纽相平行。

复背斜和复向斜是造山带的主要构造样式，是反映地壳强烈运动的结果，被称为阿尔卑斯式褶

皱。

2. 隔档式褶皱和隔槽式褶皱

隔档式褶皱：由一系列平行的紧闭而窄的背斜和平缓而开阔的向斜所组成。

隔槽式褶皱：由一系列平行的平缓而开阔的背斜和紧闭而窄的向斜所组成。

隔档式和隔槽式褶皱是沉积盖层沿刚性基底上的软弱层滑脱变形的结果，产于造山带前缘。由于这类褶皱在欧洲侏罗山发育完好，故也称侏罗山式褶皱。

五、褶皱在地面上出露形态及组合形态的描述

1. 根据褶皱在地表面的出露形态、或在地质图上同一褶皱面的边界在延伸方向上的长和两翼宽度之比、可将褶皱描述为：

(1) 穹窿：同一褶皱岩层在平面上出露的纵向长度和宽度之比小于 3: 1 的背斜构造。

(2) 构造盆地：是与穹窿相对应的负向构造，即出露长度与宽度之比小于 3: 1 的向斜构造。

(3) 短轴褶皱：同一褶皱岩层出露的长度与宽度之比在 3: 1—10: 1 之间的褶皱构造，可称短轴背斜或短轴向斜。

(4) 长轴褶皱或称线状褶皱：同一褶皱岩层出露的长度与宽度之比超过 10: 1 的狭长形褶皱。

2. 根据褶皱在地表出露的组合形态：

(1) 线状背斜和向斜相间排列，枢纽彼此平行的称平行式褶皱；

(2) 一系列短轴背向斜呈平行斜列形式出现，称斜列式或雁行褶皱；

第三节 褶皱的分类

近年来，比较常见的褶皱分类方案有两种：一种是根据轴面和枢纽的产状在三维空间变化的理查德的位态分类；另一种是根据褶皱横截面上的几何特征的兰姆赛的分类。

一、褶皱的产状类型

(一) 理查德分类

理查德(M J Rickard, 1971)在总结前人褶皱产状分类的基础上，根据轴面倾角、枢纽倾伏角和侧伏角三个变量绘制出一个类似岩石命名分区图的三角投影网图，以便对褶皱的产状作定量研究。

三角网图的三条边线 AB、BC、AC 分别代表轴面倾角、枢纽倾伏角、枢纽侧伏角 0—90° 的变化。

AB 和 BC 边的相同刻度相联的平行线代表轴面等倾角线。

AC 边各刻度与 B 点的联线为枢纽在轴面上的等侧伏角线。

AC 边和 BC 边相同刻度相联的曲线代表枢纽等倾伏角线，由于考虑轴面产状对倾伏的影响，因此，该联线为曲线。

根据上述三角形网图内各项数据的变化规律，可将三角形图内划分为七个区，分别代表七种特征的褶皱产状类型：

I 直立水平褶皱：轴面近于直立(倾角 80°—90°)，枢纽近水平(倾伏角 0°—10°)；

II 直立倾伏褶皱：轴面近于直立(倾角 80°—90°)，枢纽倾伏(倾伏角 10°—80°)；

III 倾竖褶皱(竖直褶皱)：轴面和枢纽均近直立，倾角和倾伏角为 80°—90°；

IV 斜歪水平褶皱：轴面倾斜(倾角 10°—80°)，枢纽近水平，(倾伏角 0°—10°)；

V 平卧褶皱：轴面和枢纽均近水平，倾角和倾伏角为 0°—10°。

VI 斜歪倾伏褶皱：轴面倾斜，倾角 10°—80°，枢纽倾伏，倾伏角 10°—80°，但两者倾向和倾角均不一致。

VII 斜卧褶皱(重斜褶皱)：轴面倾角和枢纽倾伏角均为 10°—80°，二者倾向一致，倾斜角度大致相等，枢纽在轴面上的侧伏角为 80°—90°。

(二) 理查德位态分类的主要特点是：

1. 这一分类比较正确地反映了褶皱在三维空间的形态和产状特征，避免从二维空间对褶皱观察

描述可能出现的片面性错误。例如，可能把斜卧褶皱在横剖面上的效应误当成“平卧褶皱”。

2. 在三角网图上所划分的七个分区，分别代表七大类型褶皱产状的变化范围，图的各区面积范围的大小，也大致反映出该类褶皱在自然界出现概率大小及其过渡类型的一般变化规律。例如VI区的范围最大，表明斜歪倾伏褶皱是地壳中最常见的，产状变化也最大的一类褶皱。

3. 根据这种分类的各类型褶皱，可以在赤平投影图上明显地反映出褶皱的产状特征，这对褶皱产状的研究从概略性描述到用数据描述，为应用统计方法分析褶皱形态和产状特征提供条件。

4. 将一地区的多个褶皱产状投到三角网图上，则可观察该区褶皱产状及类型的变化规律。

二、褶皱横截面的几何类型

(一) 兰姆赛褶皱分类

兰姆赛(J. G. Ramsay, 1967)根据褶皱横截面上褶皱层各部位厚度变化和等倾斜线型式所反映出来的褶皱层面曲率变化特征划分褶皱类型。

这种方法是采用两种褶皱岩层厚度 t 和 T 。在垂直褶皱枢纽方向的褶皱横截面图上或照片上，画两条分别与上下层面相切的平行线 AB 和 CD。A 点与 C 点分别为两条直线与上下层面的切点。该两条平行线与轴面在剖面上的迹线 EF 的垂线 GE 相交 α 角，两条平行线间的垂直厚度为 $t\alpha$ ，在平行褶皱轴面方向上的厚度为 $T\alpha$ ，则 $t\alpha = T\alpha \cdot \cos \alpha$ 。褶皱岩层的厚度是围绕着褶皱枢纽而变化的，因此 $t\alpha$ 参数和 $T\alpha$ 是随着 α 角的大小而改变的。在褶皱枢纽部位 α 角为 0，所以 $t\alpha = T\alpha$ ，此时两种厚度分别记为 t_0 和 T_0 。在褶皱两翼上的 $t\alpha$ 和 $T\alpha$ 的值是随褶皱类型的不同而变化。根据 $t\alpha/t_0$ 和 $T\alpha/T_0$ 两种比值的变化，可将褶皱分为三类五型。

(二) 兰姆赛褶皱分类的特点

I 类褶皱的等倾角线向内弧呈收敛状，内弧曲率总是比外弧大，故外弧倾斜度也总是小于内弧。根据等倾角线的长度变化和收敛程度又可以分三个亚型。

I A 型：等倾角线向内弧强烈收敛，背斜中呈扇形散开，各线长短差别极大，翼部等倾角线长于枢纽部位。内弧曲率远远大于外弧，为典型的顶薄褶皱。

I B 型：等倾角线向内弧收敛，并与褶皱岩层面相垂直，各线长度大致相等，褶皱岩层厚度不变。内弧曲率大于外弧曲率，为典型的平行褶皱。

I C 型：等倾角线向内弧呈微收敛状，枢纽部位的等倾角线比两翼略长，反映两翼厚度有变薄的趋势，内弧曲率略大于外弧，这是平行褶皱向 II 类相似褶皱过渡的类型。

II 类褶皱的等倾角线互相平行且等长，褶皱岩层内弧和外弧的曲率相等，相邻褶皱岩层的倾斜度基本一致，为典型的相似褶皱。

III 类褶皱的等倾角线向外弧收敛，向内弧散开，在背斜中呈倒扇形状，外弧曲率大于内弧曲率，为典型的顶厚褶皱。

兰姆赛运用褶皱岩层几何数据划分的褶皱类型是与一定的褶皱形成机制相联系的，所以具有理论意义和实用价值。

三、同沉积褶皱

在沉积作用过程中逐渐变形形成的褶皱为同沉积褶皱。同沉积褶皱具有如下特征：

(1) 褶皱总的形态为平缓开阔型，而每一岩层的倾角是变化的，一般靠背斜的顶端部位比较平缓，而向下逐渐变陡。

(2) 同沉积褶皱中转折端部位，同一岩层的厚度变化较大，如背斜的顶部岩层厚度变薄，有时甚至缺失某些层位；而向斜中心部位岩层厚度增大。

(3) 同沉积褶皱中，同一岩层的岩石结构是随着褶皱的部位发生变化的。一般背斜的顶部常沉积浅水的粗粒物质，而向斜的中心位置则沉积细粒物质。

同沉积褶皱对油气藏、煤田和其它沉积矿产的形成和分布有一定的控制作用。

四、膝折

褶皱的两翼平直，且转折端显尖角状，称为膝折。

膝折构造常发育在岩性较均一的脆性薄岩层或面理化岩石中，由于层理、面理或劈理突然转折或旋转而形成，显然在各面间存在着滑动作用。

第四节 叠加褶皱

叠加褶皱也称重褶皱，是指已经褶皱的岩层再次弯曲而形成的褶皱。原来的褶皱轴面或轴面叶理作为叠加褶皱的褶皱面，原来的褶皱枢纽以及相关的面状和线状构造也都按一定规律产生相应的变化。叠加褶皱是确定岩石变形发生、发展先后顺序的重要依据，正确识别和分析叠加褶皱是查明岩石变形历史的关键。

一、叠加褶皱的基本型式

兰姆赛根据二期为滑褶皱叠加于三种基本位态的早期褶皱上所产生的效应，得出叠加褶皱的三种基本干扰型式。

第Ⅰ型：第二期滑褶皱“横跨”叠加于第一期直立水平褶皱上，其差异滑动方向(a_2)与第一期褶皱轴面平行。第二期滑褶皱轴向(b_2)与早期褶皱轴成较大角度相交或垂直，使第一期褶皱的变形面重复变形，形成所谓“穹一盆构造”。

第Ⅱ型：第一期为平卧褶皱，第二期滑褶皱轴向(b_2)与第一期轴向成大角度斜交或垂直，第二期滑褶皱的运动方向(a_2)与第一期褶皱轴面垂直。结果，第一期褶皱轴面和两翼因沿 a_2 方向差异滑动而被重褶成一系列的背形和向形，其枢纽也随之上拱和下凹。平面上呈新月形、蘑菇形等。

第Ⅲ型：第二期滑褶皱“共轴”叠加于第一期斜卧褶皱之上，第一期褶皱轴未发生波状弯曲，只是第一期褶皱的两翼被再次褶皱成波状弯曲。因此在平行褶皱轴的剖面上很难见到两种褶皱的叠加，但在横剖面上，则出现明显的两次转折图形。

共轴叠加的褶皱是比较普遍存在的，因为地质历史时期的递进变形作用不容忽视。

上述三种叠加干扰型式是最基本的，在实际工作中所遇到的叠加褶皱露头形态可能更加复杂。影响叠加褶皱露头形态的主要因素有以下几方面：(1)早期褶皱的产状；(2)晚期褶皱的叠加方向；(3)卷入叠加的褶皱的几何类型；(4)参与叠加的褶皱形成方式；(5)褶皱叠加的次数以及叠加褶皱的剥蚀深度和地面起伏形态等。

二、识别叠加褶皱的标志

在野外露头 and 手标本上有时可直接观察到叠加褶皱的存在。有时是通过间接的方法加以推测：如对一个地区所出现的面理、线理、褶皱枢纽等要素进行系统测量和投影分析，可间接确定褶皱之间的叠加关系。在野外识别褶皱叠加的最常见、最主要的标志有：

1. 重褶现象：在褶皱的同一切面上，不仅有先存褶皱轴面的重新弯曲，而且还有相应的双重转折现象。

2. 早期构造规律地变化：如果发现早期褶皱所伴生和派生的面理、线理发生有规律的弯曲和方位上的变化，可确定为被又一次变形褶皱所叠加。

3. 如果一个地区发现陡倾伏或倾竖褶皱广泛发育，这也是判别叠加褶皱存在的标志之一。

4. 褶皱的叠加现象在大褶皱的转折端显示得最明显。褶皱岩层内的小褶皱在穿过褶皱转折端时其弯曲方向不变，和两翼的小褶皱是连续顺向的，说明大型褶皱是后期叠加的。如果两翼褶皱相对大褶皱轴面对称的，显示在大型褶皱的转折端部位，小褶皱轴面与大型褶皱轴面还平行，说明小褶皱是大褶皱的寄生褶皱。

需要指出，切忌在个别露头上看到某一种褶皱构造的叠加现象，就认定整个地区的构造都发生了叠加。在褶皱不协调现象强烈发育地段尤其谨慎。褶皱轴面的弯曲和断层面的弯曲可能是同期构造作用中递进变形或构造应力状态不均一引起的。因此，除收集上述各方面的典型实例外，还要大量测定构造要素，通过赤平投影加以整理，结合褶皱的几何分析，才能准确确定叠加褶皱。