

二、线状结构的产状要素

直线的产状是直线在空间的方位和倾斜程度，直线的产状要素包括倾向、倾角，及其所在平面上的侧倾向和侧倾角。

倾向（指向） 某一直线在空间的延伸方向，即某一倾斜直线在水平面上的投影线所指示的该直线向下倾斜的方位，用方位角或象限角表示（图 2-3A）。

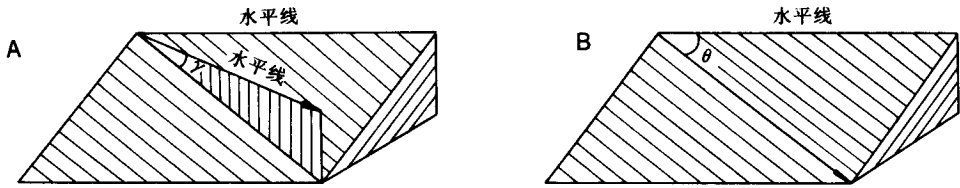


图 2-3 直线的产状要素

A. 箭头示倾向、 γ 为倾角；B. 水平线右端为侧倾向、 θ 为侧倾角

倾角 指直线的倾斜角，即直线与其水平投影线间所夹之锐角，如图 2-3A 中之 γ 角。

侧倾角 当线状构造包含在某一倾斜平面内时，此线与该平面走向线间所夹之锐角即为此线在那个面上的侧倾角，如图 2-3B 中之 θ 角。

侧倾向 构成侧倾角的走向线的那一端的方位，如 24°N ，表示侧倾角 24° ，构成 24° 的走向线指向北。

第二节 沉积岩层的新生构造

一、层理及其识别

层理是沉积岩的最基本的原生构造，是研究构造的最基本的参考面。构造变形主要是通过层理而得以显示，所以在构造研究中，首先要识别层理。层理一般是清晰明显的，而在成分和结构均一的巨厚岩层中，层理会被隐蔽，变形变质岩中产生的新生面理也会掩蔽原生层理。在层理不清的情况应尽力识别出原生层理。

沉积岩层理可根据岩石的成分、结构、色调等的变化而得以识别。

1. 成分的变化 沉积物成分的变化是显示层理的重要标志。在成分较均一的巨厚岩层中，有时可能存在成分特殊的薄夹层，藉助于这类夹层可以识别巨厚岩层的层理。

2. 结构的变化 碎屑沉积岩层一般由不同粒度、不同形状的颗粒分层堆积而成，根据碎屑粒度和形状的变化可以识别层理。

3. 颜色的变化 在层理隐蔽、成分均一、颗粒较细的岩层中，如有颜色不同的夹层或条带，可以指示层理。

4. 层面原生构造 波痕、底面印模、暴露标志等层面原生构造也可以作为确定和识别层理的标志。

二、利用原生沉积构造鉴定岩层的面向

面向是指成层岩层顶面法线所指的方向，是成层岩系中岩层由老变新（由底面至顶面）的

方向。沉积岩层的面向是构造研究的基础。以下列举几种在构造研究中可以用来确定岩层面向的原生沉积构造。

1. 交错层理 交错层理是由纹层互相斜交组成的，常呈弧形，有多种类型。根据前积纹层的形态及被层面截切的关系可以判断岩层的顶、底面。前积纹层的顶部多被截切，与层面呈高角度相交，下部常逐渐变缓收敛，与底面小角度相交或相切（图 2-4）。

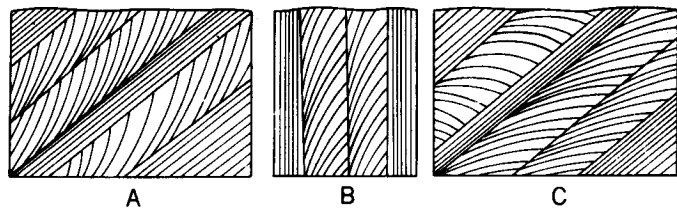


图 2-4 根据交错层理确定岩层顶、底面

A. 顶面在左边，正常层序；B. 岩层直立，顶面在右边；C. 顶面在右边，岩层倒转

2. 递变层理 递变层理的特点是在一个单层中，从底面到顶面粒度由粗到细，如由底部的砾石或粗砂向上递变为细砂、粉砂以至泥质，递变层理的顶面与其上一层的底面常是突变的，有明显的界面。

3. 波痕 波痕是沉积物表面由于水和空气流动而形成的波状起伏不平的形态。主要发育在粉砂岩、砂岩及碳酸盐岩的表面。

波痕类型很多，用于确定岩层顶、底面的主要标志是振荡式浪成波痕。振荡式波痕成对称的尖脊圆谷状，尖脊指向顶面，圆弧则指向底面（图 2-5）。

4. 层面暴露标志 当未固结的沉积物暴露在水面之上时，其表面会留下各种成因的暴露

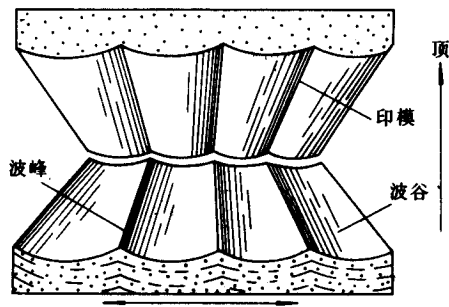


图 2-5 波痕及其印模

(据 R. R. Shrock, 1948)

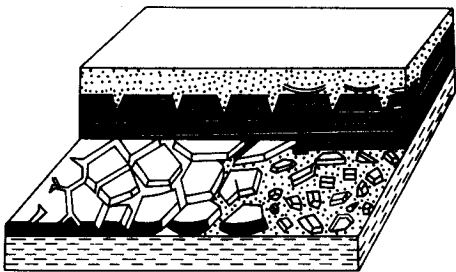


图 2-6 泥裂的立体示意图

(据 R. R. Shrock, 1948)

标志。常见的暴露标志有泥裂、雨痕等，可用来确定岩层的顶、底面（图 2-6、图 2-7）。泥裂也称干裂，是未固结的沉积物露出水面后，经曝晒干固时收缩形成的与层面大致垂直的楔状裂缝。泥裂常使层面构成网状、放射状或不规则分叉状的裂缝，在剖面上则呈“V”型。这些裂缝被上覆沉积物填充，使填充层的底面形成底面脊状印模（图 2-6）。楔状裂缝和脊状印模的尖端均指向岩层底面。泥裂常见于粘土岩、粉砂岩及细砂岩层面上。

雨痕是当雨点落在湿润而又柔软的泥质或粉砂质沉积物表面时，冲打出的圆形凹坑及其凸起的边缘（图 2-7）。雨痕被上覆沉积物填充掩埋并成岩后，岩层面上会留下凹坑，在上覆



图 2-7 页岩层顶面的雨痕 (A) 及底面印模 (B)

岩层底面形成突起印模。

5. 生物标志 根据某些化石在岩层内的埋藏保存状态也可鉴定岩层的顶、底面或面向。藻类形成的叠层石，虽类型不同形态各异，但均具有向上穹起的叠积纹层构造，穹状纹层的凸出方向指向岩层的顶面（图 2-8）。

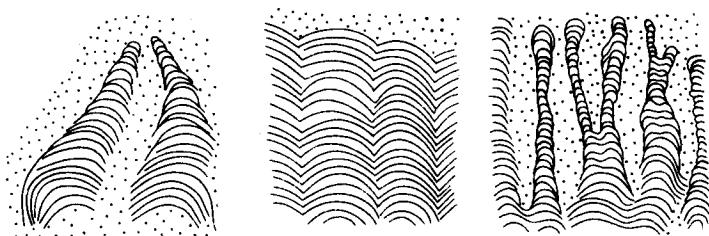


图 2-8 不同形态的叠层石
纹层凸向顶面

一些古植物的根系也可以作为确定岩层顶、底面的标志，古植物的根系分叉方向指向底面。此外，异地埋藏的介壳化石多数保持着凸面向上的稳定状态，其凸出的方向往往指示岩层的顶面。

6. 底面印膜 当水流或涡流在松软的沉积物上流动时，由于涡流对沉积物的侵蚀或水流携带物（如介壳碎片、岩屑、树枝等）对沉积物表面的刻划，会在沉积物的表面留下各种形态的凹坑和沟槽，这些痕迹常被砂质所充填。成岩后，它们多在泥质岩层之上的砂岩底面保留下来，称作底面印模，也称作铸型。由于页岩易于风化而砂岩抗风化能力强，故

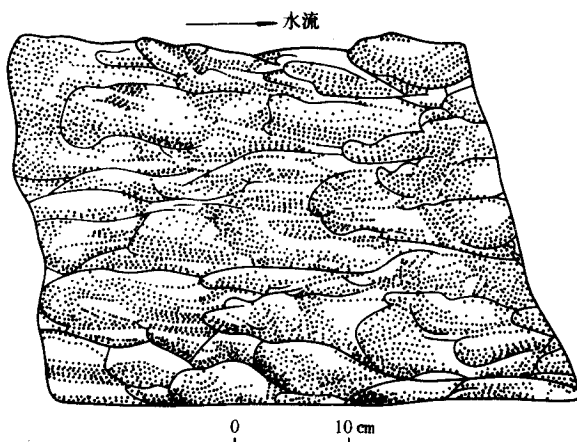


图 2-9 舌状底面印模
(据 Haaf, E. Ten)

这种印模常保存在砂岩的底面上（图 2-9）。底面印模都以原始凹槽相反的形态表现出来，常见舌状凸起或细长的脊状等，因此根据底面印模可以判定岩层的顶、底面。

判断岩层顶、底面或面向的标志并非仅仅是上述几种原生构造。在野外工作中认真观察和分析，常可发现一些有用的标志，如沉积层系内的冲刷面等。冲刷面是固结和半固结的沉积层的顶面，因水流冲刷而成为凹凸不平的面。在这不平整的冲刷面之上再沉积时，被冲刷下来的下伏岩层的碎块和砾石往往堆积在冲刷出的沟、槽中。根据冲刷面和上覆岩层的碎屑，可以判别岩层的相对层序。

第三节 软沉积变形

软沉积变形是指沉积物尚未充分固结成岩时发生的变形。软沉积变形是比较常见的，有些还具有很大规模。斯宾塞（E. W. Spencer, 1977）指出，褶皱造山带中坚硬岩石内见到的一些构造可能是在沉积物尚未固结或半固结时形成的。他甚至提出，巨大的逆冲断层、褶皱系，甚至某些板状劈理都可能是岩石处于半固结状态中发生的。笔者提出软沉积变形的目的，一方面是要指出构造现象并不全是成岩后构造作用引起的，以便更好地理解构造形成和发展的复杂历程；另一方面是为了正确分析和区分成岩前与成岩后的变形或其叠加关系，避免构造分析简单化。

软沉积变形涉及面很广，包括形成软沉积变形的构造环境、动力和促成因素、形态类型等等。本节只对一些常见的软沉积变形作一实例分析。从局部沉积区来说，软沉积变形的形成作用包括：负荷引起的软沉积变形、重力滑塌和滑移作用、孔隙压力效应和水体扰动作用等。

一、负荷引起的软沉积变形

当砂层沉积在塑性的泥质层之上因差异压实会使沉积物发生垂向流动而形成软沉积变形构造。

1. 火焰状构造 当砂质层堆积在含水且具高塑性泥质层之上时，差异压实会引起上、下砂质层与泥质层之间发生相互垂向运移。泥质层成尖舌状贯入上覆砂质层中，形成一排尖舌，称之为火焰状构造（图 2-10）。火焰状构造的舌尖指向岩层顶面。

2. 砂岩球和砂岩枕 在差异负荷状态下覆于塑性泥质层之上的砂质层，会因震动等触发而断开并下陷至泥质层中，形成砂球或砂枕。这类砂球或砂枕或断续相连或孤立产出。其周围的泥质层常绕砂球或砂枕弯曲。砂岩球和砂岩枕的凹面指向岩层顶面（图 2-11）。

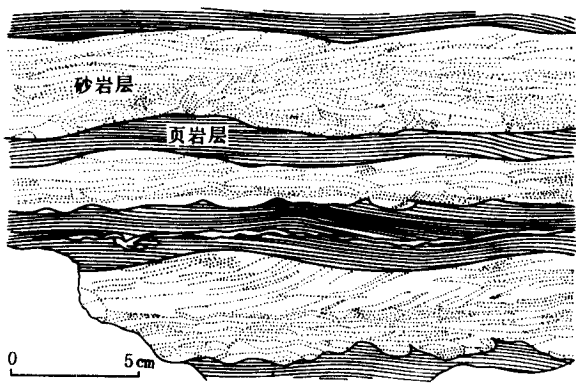


图 2-10 火焰状构造
（据 R. W. B. Davis, 1960, 修改）

二、滑塌作用和滑移作用

滑塌作用和滑移作用一般是在陆上尤其在水下隆起的斜坡上，由于重力、水流和震动等

原因引起松软沉积物顺坡下滑或顺层流动的作用。滑塌作用的下滑速度快而突然,滑移作用的下滑速度较小,甚至为蠕动式。滑塌作用和滑移作用中还常常有孔隙压力参与。

发育在软沉积中的滑塌作用和滑移作用常局限于同一层中,但也会影响几个沉积层。其厚度、规模从数厘米至数十米或更大,影响空间可达数十平方公里。卷曲层理是滑塌和滑移引起的一种常见的构造(图 2-12)。卷曲层理是具有盘回褶皱和复杂柔褶的变形特点,多限于同一层或个别层内。缺乏脆性断裂和角砾化是鉴别它的主要标志。

三、软沉积变形中孔隙压力效应

当饱和水的砂层被不透水层封闭并受到重压等作用时,砂层中的孔隙水就会产生异常高压,即异常孔隙压力。孔隙压力可以诱发近地表砂层的滑坡,导致柔软沉积物出现各种滑塌构造,甚至促发大规模的冲断作用。一些沉积岩中的砂岩墙,就是饱水砂层被压入裂隙中形成的。

1. 砂岩墙 砂岩墙是碎屑岩墙的一种,是穿插贯入于沉积岩等岩石中的板状和脉状砂岩体。砂岩墙早在 19 世纪已被发现,近年来更引起地质学者的关注。砂岩墙主要是未固结碎屑物质液化后贯入到裂隙中形成的。砂岩墙形态复杂,规模差

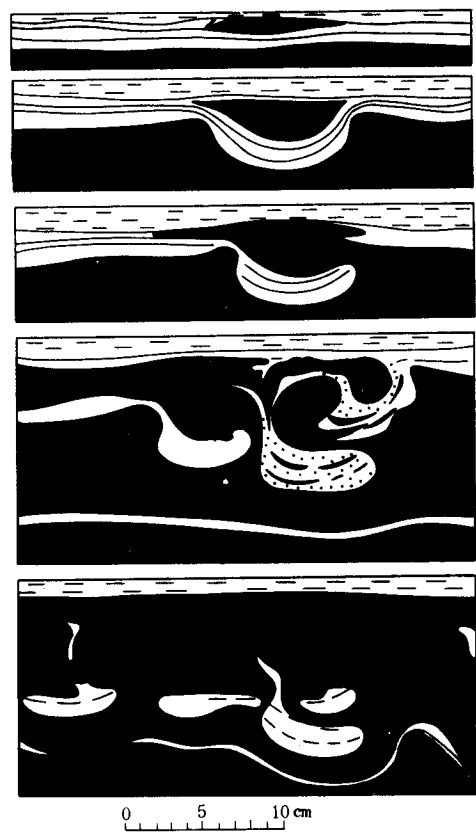


图 2-11 砂岩球和砂岩枕发育过程示意图
(据 P. H. Kuenen, 1965)

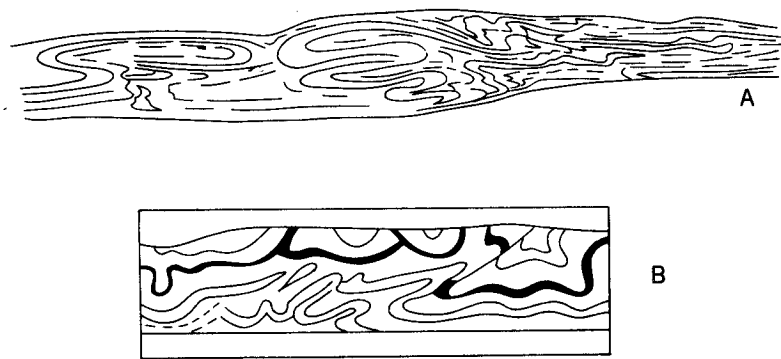


图 2-12 卷曲层理示意图
(图 A 据 P. F. Williams, et al., 1969; 图 B 据 P. H. Kuenen, 1953)

别极大,内部常具流动构造,如流动褶皱、流动条带,反映了液化碎屑物质的贯入-变形作用。其形成机制仍在探索之中,不过孔隙压力效应具有重大作用。碟状构造也是一种可能由孔隙压力引起的构造(图 2-13)。

2. 碟状构造 碟状构造“碟”的直径一般为1~50cm左右,边缘上翘,在横向上呈断续分布,在垂向上互相叠置。它们主要发育于快速堆积又饱含孔隙水的细粒砂层内,在高压—超高压孔隙压力作用下,引起孔隙水向上运动,冲断砂质纹层,截切砂质层成碟状。这种碟状纹层的凹面指向岩层顶面。

以上只是概述了软沉积变形的某些实例,还有一些重要的值得注意的软沉积变形,如压实作用下埋丘上的同沉积形成的顶薄褶皱。马克斯韦尔(J. C. Maxwell, 1962)还指出,某些板状劈理是在压实引起异常孔隙压力的作用下形成的。在阿留申海沟内壁和墨西哥海湾陆架上更新世泥岩中发现的劈理,为这种假说提供了佐证。

软沉积变形已引起构造地质学家的注意。如何鉴别软沉积变形,可提出以下几点作为鉴别和分析的参考:①软沉积变形常局限于一定层位或一定岩层中,如果一强烈变形层夹于整套变形轻微岩系中,则说明个别层是软沉积变形的结果;②软沉积变形常局限于沉积盆地中一定的地段,如沉积盆地边缘、大隆起边缘等;③软沉积变形主要是重力作用的结果,一般不显示构造应力造成的构造定向性。所以,在研究软沉积变形中,应该把沉积作用、沉积环境与构造变形结合起来。至于如何从已强烈变形的构造中筛选出早期软沉积变形,则是一项很复杂的工作。

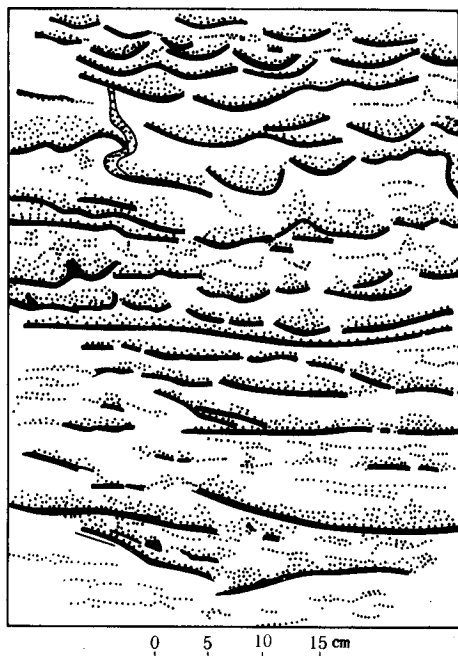


图 2-13 砂岩中的碟状构造
(据 P. E. Potter, 1977)

第四节 水平岩层

水平岩层是未经变动的仍保持成岩后原始状态的沉积岩层(图 2-14)。

地台盖层变形极其轻微,往往成水平或近水平产出,如北美地台和俄罗斯地台的盖层,近水平产出,展布范围可达数十万平方公里。我国一些后期变形微弱的大盆地中的沉积盖层,如四川盆地中部某些地区的侏罗系和白垩系地层,也基本上呈近水平产出。

水平岩层具有如下特征(图 2-14):

- (1) 在地形地质图上,岩层的地质界线与地形等高线平行或重合。在山顶或孤立的山丘上的地质界线呈封闭的曲线,在沟谷中呈尖齿状条带,其尖端指向上游。
- (2) 一套水平岩层,老岩层在下,新岩层在上。如地形切割强烈,则在沟谷处出露较老的地层,自谷底至山顶地层时代依次变新。
- (3) 岩层顶、底面之间的垂直距离是岩层的厚度,水平岩层的厚度即为其顶、底面的标高差。
- (4) 岩层出露宽度是其顶、底面出露线间的水平距,水平距的大小取决于岩层厚度和地面坡度。