第一章　沉积岩层的原生构造

本章要点：层理的识别及可用于确定岩层面向的原生构造标志；软沉积变形的基本特征、形态类型和研究意义。

沉积岩是地球表面分布最广泛的岩石。沉积岩层的原生构造是指在沉积过程中及沉积物固结成岩之前所产生的构造，如层理、层面构造，生物遗迹、叠层石以及软沉积物的各种变形构造等。这类构造对地质构造的研究具有重要意义，它们不仅为研究和判断岩层形成时的古地理和地壳运动特征提供了重要资料，而且有些原生构造还是鉴别岩层顶、底面及确定岩层相对层序的重要依据。因此，研究沉积岩原生构造是分析构造环境和构造几何形态的基础。

第一节　层理及沉积岩层面向的确定

一、层理及其识别

沉积岩最重要的特征是具有成层性，这种成层性是反映构造变形的最基本的标志。层理则是沉积岩中最普遍的一种原生成层性构造，是由岩层内部的成分、粒度、结构、胶结物和颜色等特征在剖面上的突变或渐变所显示出来的一种面状构造。

（一）层理的基本术语和形态分类

沉积岩的纹层、层系和层系组（或层组）既是层理的组成单位，也是其基本的描述术语（图 1-1）。

层理的形态分类是一种描述性分类，依据层理形态及其结构，主要可将其分为水平层理、波状层理、交错层理和递变层理等。

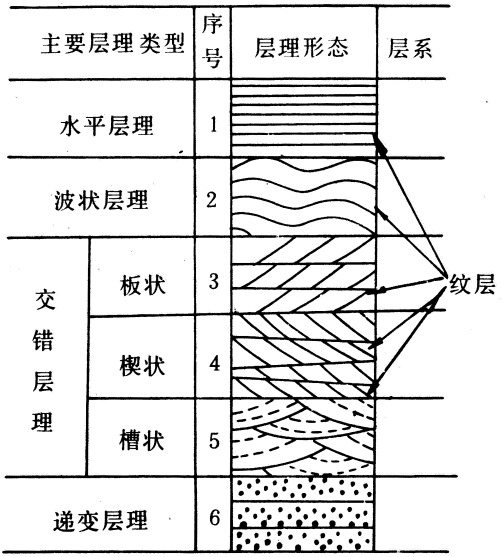

图 1-1　层理的基本术语和主要类型
（据何镜宇等，1983）

（二）层理的识别标志

沉积岩层理可根据岩石的成分、结构、色调等的变化得以识别。

1. 岩石成分的变化

沉积物成分的变化是显示层理的重要标志，即使在成分比较均一的岩层中，只要认真地观察，也会发现细微的成分变化。在成分均一的巨厚岩层中，有时可能存在成分特殊

的薄的夹层，藉助于这种夹层可以识别巨厚岩层的层理。

2. 岩石结构的变化

绝大多数碎屑沉积岩层都是由不同粒度、不同形状的颗粒分层堆积的，根据碎屑粒度和形状的变化，可以识别出层理。

3. 岩石颜色的变化

在成分均一、颗粒较细、层理隐蔽的岩层中，如有颜色不同的夹层或条带，则可指示层理，但要注意区分次生变化引起的色调变化。

4. 岩层的层面原生构造

波痕、底面印模、暴露标志等也可作为确定和识别层理的标志。

二、利用原生沉积构造确定岩层的面向

面向是指成层岩层顶面法线所指的方向，即成层岩系中岩层由老变新的方向。沉积岩中的许多原生构造标志可以用来确定岩层的面向。

（一）变异层理标志

1. 交错层理

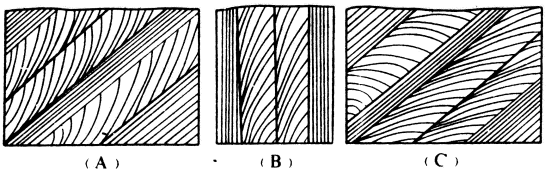

图 1-2　根据交错层理确定岩层顶、底面

（A）顶面在左边，正常岩层；（B）顶面在右边，直立岩层；（C）顶面在右边，倒转岩层

交错层理又叫斜层理，由一系列斜交于层系界面的纹层组成，有多种类型（图 1-1）。其中，可用来判别岩层顶、底面的交错层理有板状和槽状交错层理。这两种交错层理的斜纹层均呈弧形，斜纹层的顶部被截切，与层系面呈高角度相交，下部常逐渐收敛、变缓，与底面小角度相交或相切（图 1-1、1-2）。

2. 递变层理

递变层理又称粒级层，是碎屑物质在沉积过程中由于流体（通常是浊流）逐渐衰减而形成的一种沉积结构。其特点是，在一个单层中，从底到顶颗粒由粗逐渐变细。例如，由底部的砾石或粗砂向上递变为细砂、粉砂以至泥质。图 1-3 所示的递变层理是携带各种粒级悬浮体的浊流沉积，虽然其中混有粗细不同的颗粒，但总的特点仍是下粗上细。另外，递变层理的顶面与其上一层的底面是突变的，有明显的界面。

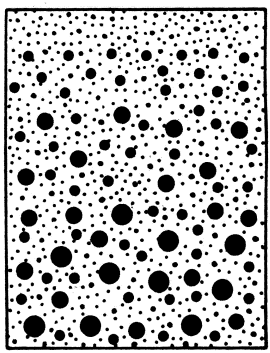

图 1-3　递变层理

细粒呈基质出现在整个层中，由底向顶粗粒逐渐减少

在少数情况下，会出现反向递变层理，即在一个单层内，由底到顶粒度逐渐变粗。这是由于水流逐渐加强等原因造成的，与正向递变层理的区别在于它的顶界是渐变过渡的。

（二）层面原生构造标志

1. 波痕

波痕是沉积物表面由于波浪、水流或风的流动而形成的波状起伏的堆积形态。主要发育在粉砂岩、砂岩及碳酸盐岩的表面，在细砂岩中也偶尔可见。

波痕是由波峰和波谷组成的（图 1-4）。根据波峰的形态，波痕可划分为多种类型。图 1-5 所示的几种波痕可用来确定岩层的顶、底面。这些波痕无论是原型还是其印模，都是波峰指向岩层的顶面，波谷的圆弧则凹向底面（图 1-4、1-5）。

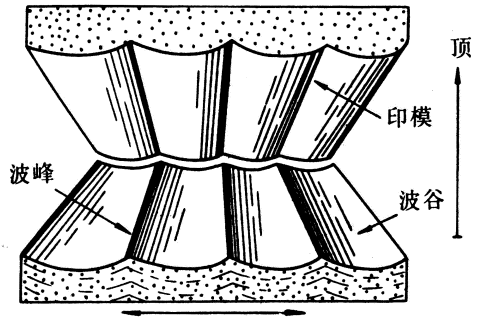

图 1-4　波痕及其印模
（据 R. R. Shrock，1948）

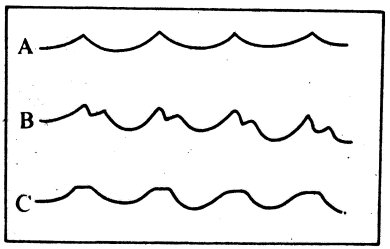

图 1-5　几种可确定岩层顶、底面的波痕
A 为浪成对称尖峰圆谷波痕，B 为双峰改造波痕，C 为平顶改造波痕

须指出的是，有一类在剖面上表现为不对称波形曲线的波痕，由于其形态特征在原型与印模中相似，故不能用来鉴别岩层顶、底面。

2. 泥裂

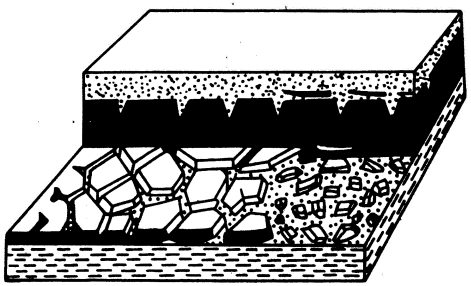

图 1-6　泥裂的示意立体图
（据 R. R. Shrock，1948）

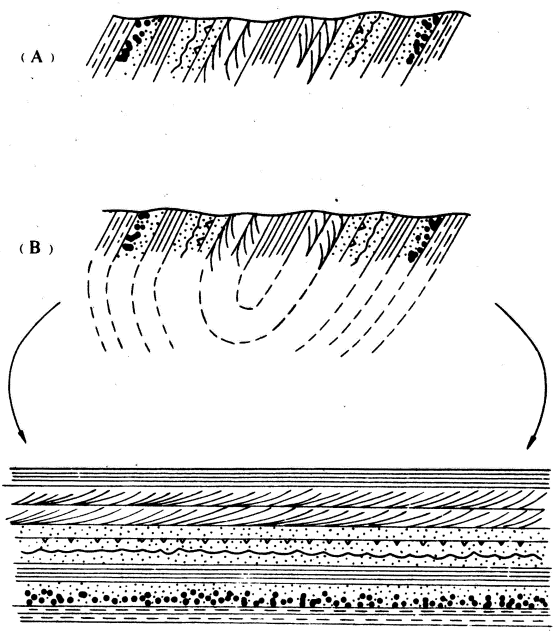

图 1-7　根据岩层原生构造恢复构造
（A）地表出露情况；（B）构造恢复；（C）原始层序

泥裂也称干裂，是未固结的沉积物露出水面后经曝晒干涸时发生收缩和裂开所形成的与层面大致垂直的楔状裂缝。常见于粘土岩、粉砂岩及细砂岩层面上，偶而也见于碳酸盐岩层面上。泥裂常使层面构成网状、放射状或不规则分叉状的裂缝，在剖面上一般呈“V”型（有时切穿层面也可呈“U”型）裂口。这些裂缝被上覆沉积物填充时，其填充层的底面常形成尖脊状印模（图 1-6）。楔状裂缝和尖脊状印模的尖端均指向岩层底面（图 1-7）。

3. 雨痕和冰雹痕

因雨滴或冰雹落在湿润而柔软的泥质或粉砂质沉积物表面所形成的圆形凹坑及其凸起的边缘称雨痕或冰雹痕。雨痕或冰雹痕被上覆沉积物填充、掩埋、成岩后，遂在岩层的顶面上留下凹坑，而在上覆岩层底面形成瘤状突起的印模（图 1-8）。



（A）　　（B）

图 1-8　页岩层面的雨痕（A）及印模（B）

4. 冲刷面

固结和半固结的沉积层的顶面，会因水流冲刷而成为凹凸不平的冲刷面。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又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（图 1-9）。

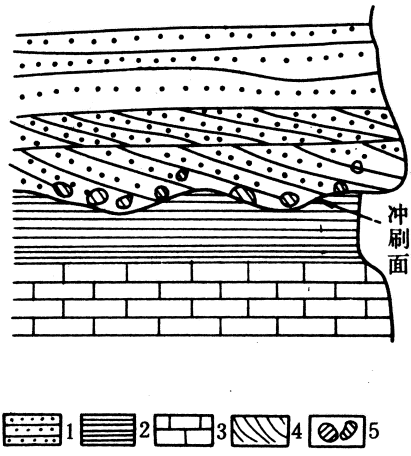

图 1-9　冲刷面的特点及与层序的关系

1. 砂岩；2. 硅质岩；3. 灰岩；4. 交错层；5. 硅质岩砾石

5. 底面印模

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，会在沉积物表面留下各种形状的凹坑和沟模痕迹，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（也称为铸型）。由于页岩易风化，而砂岩抗风化能力强，故这种印模常保留在砂岩的底面上（图 1-10）。底面印模都以与原始凹槽相反的形态表现出来，常见的有鳞茎状、舌状或细长的脊状等（图 1-11）。

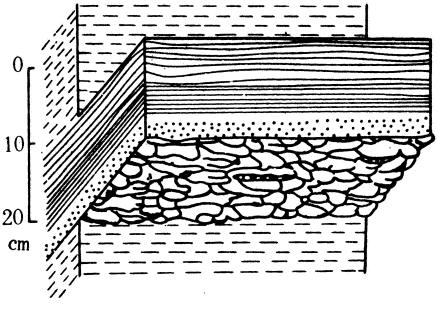

图 1-10　砂岩的底面印模

（据 K. Richter，1965）

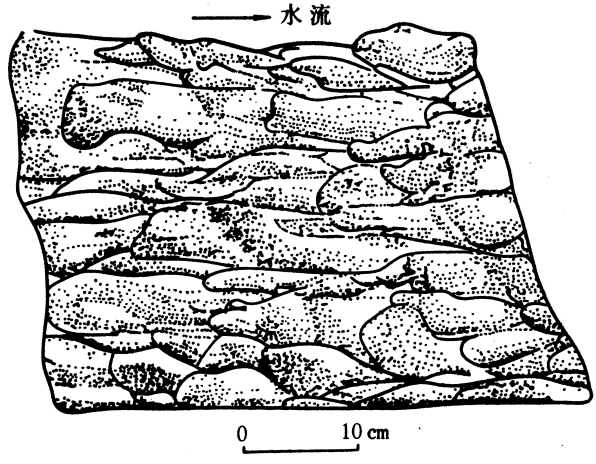

图 1-11　舌状底面印模

（据 Haaf，E. Ten，1959）

（三）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。

由某些藻类形成的叠层石，虽其类型不同、形态各异，如柱状、分枝状和锥状等，但均具有向上穹起的叠积纹层构造，这些穹状纹层的凸出方向即指示岩层的面向（图 1-12）。

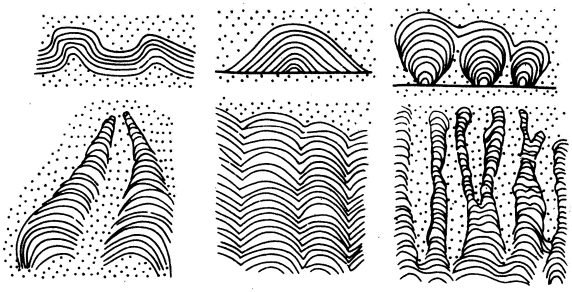

图 1-12　不同形态的叠层石
纹层凸向顶面

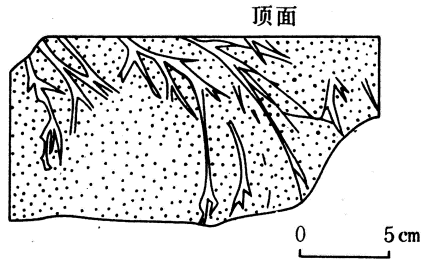

图 1-13　植物根系生长状态示意剖面
（据 R. R. Shrock，1948）

一些古植物的根系也可作为确定岩层顶、底面的标志，如图 1-13 所示，根系向上变粗并收敛，向下变细且分叉。此外，生物活动造成的遗迹化石，如三叶虫的停息迹、爬行觅食迹及潜穴的蹼状构造凹面均指示岩层的顶面（图 1-14）。异地埋藏的腕足类、腹足类和瓣鳃类介壳化石，多数保持着凸面向上的稳定状态，故其凸面方向往往指示岩层的面向（图 1-15）。

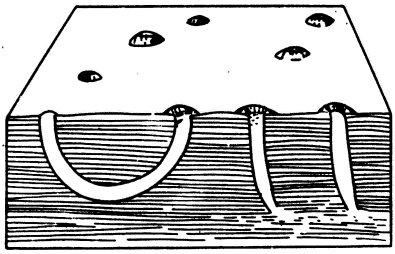

图 1-14　虫穴和垄岗开口向上
（据 Hjlls，1972）

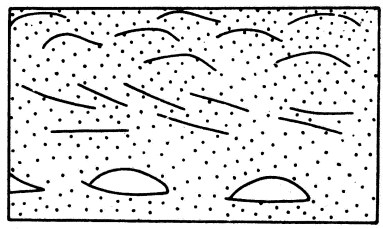

图 1-15　介壳埋藏状态示意图
（据 R. R. Shrock，1948）

第二节　软沉积变形

软沉积变形是指沉积物尚未固结成岩时发生的变形。构造研究确认，软沉积变形是比较常见的，有些还具有一定的规模。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时发生的。我们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和其叠加关系，避免构造分析的简单化。

软沉积变形涉及面很广，包括形成软沉积变形的构造环境、动力或促成因素、形态类型等。从局部沉积区来说，软沉积变形的形成作用主要包括负荷作用、重力滑塌和滑移作用、液化作用、孔隙压力效应以及水体扰动作用等。以下着重对一些常见的软沉积变形作一实例分析。

一、压模与火焰状构造

压模是一种底面印模，又叫重荷模或负荷铸型，一般发育在泥质物之上的砂层底面，呈圆丘状或不规则的瘤状突起。其排列杂乱，大小不一，突起高度从几毫米到十几厘米，但在同一层面上，压模的形状和大小较近似。有时砂岩中的原生层理因这种构造存在而变形，但向上层面逐渐恢复正常。

压模是当砂层沉积处在塑性状态的泥质层之上时由于超负载或差异负载作用使沉积物发生垂向流动而成（图 1-16）。

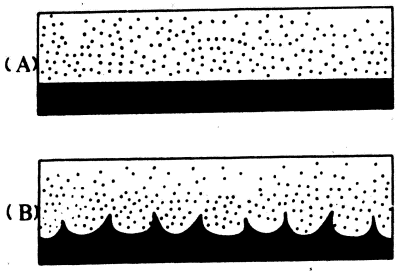

图 1-16　泥层（黑色）之上的砂层底面负荷铸型的成因示意图

（A）初沉积状态；（B）负荷引起的变形

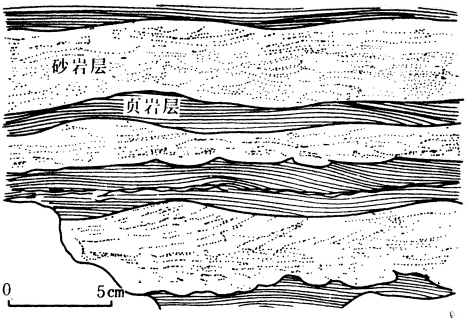

图 1-17　火焰状构造

（据 R. W. B. Davis，1994，修改）

火焰状构造是与压模密切相关的一种现象，即下伏的泥质层向上尖灭形成一排尖舌（图 1-17），这些尖舌有时弯曲并向一个方向倾斜。这是由于上覆砂岩的不均匀负载压力使砂岩之下呈塑性状态的泥质沉积物挤入负载瘤状突起之间形成的。

压模和火焰状构造在判断岩层面向时是极为重要的标志。具压模的层面为岩层的底面；火焰状构造的泥质舌尖指向岩层顶面。

二、球状和枕状构造

球状和枕状构造多发育在泥岩或粉砂岩之上的砂岩底部，一般局限在某一层内。其特征是，砂岩层的底部往往破裂成紧密排列或孤立分布的膝垫状和枕状体，有的为半球状或肾状体，大小从几厘米到数米不等。砂岩的纹层与砂体的枕状边界一致，常呈向上凹的盆状或倒蘑菇状。发育球-枕构造的砂岩层具有起伏不平的底面和平直的顶面，其下伏泥质层常常发生变形，甚至被挤压成舌状伸入到砂岩枕和砂岩球之间（图 1-18）。

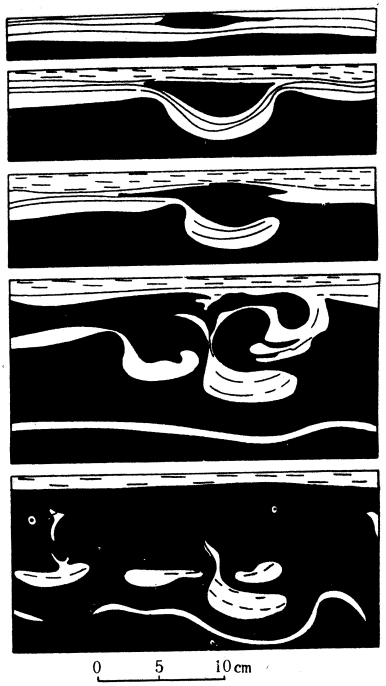

图 1-18　砂岩球和砂岩枕发育过程示意图

（据 P. H. Kuenen，1965）

球状和枕状构造是由于地震、水体扰动和局部负重使砂层破裂、下沉而形成的。某些砂岩球和砂岩枕的形成也

可能与滑塌作用有关。砂岩球和砂岩枕的凹面指向岩层顶面(图 1-18)。

三、滑塌构造与卷曲层理

滑塌构造是指松散沉积物在未固结成岩之前，在重力的作用下沿斜坡向下滑塌（或滑动）而形成的各种滑塌褶皱、滑塌断层及滑塌角砾岩等一系列相互有成因联系的构造(图 1-19)。风暴、海啸、地震等因素常诱发滑塌构造的产生。滑塌构造往往涉及到一个以上的沉积层，褶皱变形纹理极复杂且不连续。滑塌构造的规模和厚度变化很大，小到厘米尺度，大到几十公里的范围。大的滑塌构造被卷进的地层可达数十米至数百米厚，且往往有很大的位移。但不论其规模大小，滑塌构造均仅局限于与斜坡有联系的局部地带。



图 1-19　滑塌褶皱和滑塌断层
(据 P. H. Kuenen，1953)



图 1-20　卷曲层理
(据 P. F. Williams 等，1969)

卷曲层理是具有强烈卷曲或复杂褶皱的变形纹层(图 1-20)。变形纹层仅局限在一个特定的厚度稳定的沉积层内，其上下相邻岩层均未变形。多数具卷曲变形的岩层厚度在 2.5—25cm 之间。卷曲层理不同于滑塌褶皱，其中的纹层即使褶皱极为强烈，但仍非常连续，不伴有断层和角砾岩化现象。

卷曲层理主要产于细砂岩和粉砂岩中，在复理式地层，尤其是浊积岩中最为发育。卷曲层理有的是由于沉积物发生差异液化、侧向流动而成；有的则是因水流的拖曳作用引起层理变形所致。

四、砂岩墙和砂岩床

砂岩墙是斜切岩层的板状砂岩体，形态不规则者可称为砂岩脉(图 1-21)。砂岩床是与围岩产状一致的砂岩体。砂岩墙和砂岩床的成因相当复杂，但主要是未固结碎屑物质

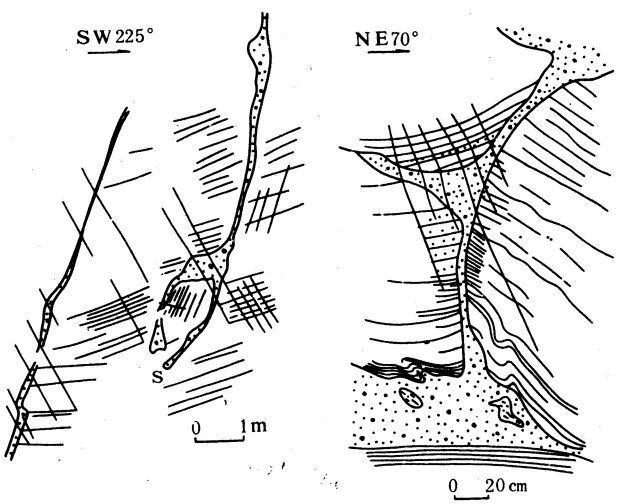

图 1-21　河南嵩山五佛山群中的砂岩墙和砂岩脉

液化后贯入到裂隙中形成的。它们的形态和规模差别极大，内部常具有流动构造，反映了液态的液化碎屑物质的贯入-变形作用，为构造作用和孔隙压力引起砂岩或砂层液化，其形成机制仍在探索之中。

五、碟状构造

碟状构造系指砂岩或粉砂岩中凹面向上、形似盘碟的纹理（图 1-22）。“碟”的直径一般在 1—50cm 之间，边缘上翘，在横向上呈断续分布，在垂向上互相叠置。它们的形成与沉积物中的水分向上流动有关。这种碟状纹层的凹面指向岩层顶面。

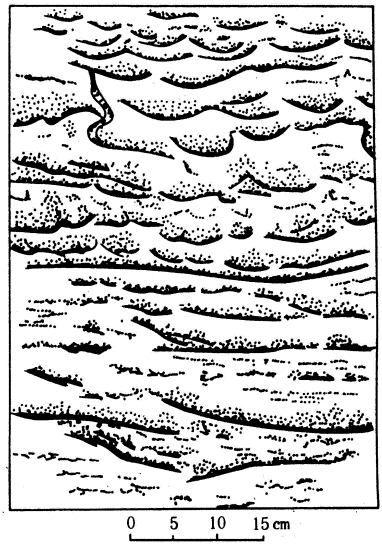

图 1-22 砂岩中的碟状构造
（据 P. E. Potter，1977）

以上仅概述了软沉积变形的某些实例。另外，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上薄褶皱。马克斯韦尔（J. C. Maxwell，1962）曾提出，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湾陆阶上更新世泥岩中发现的劈理，也为这种假说提供了佐证。

软沉积变形已成为引起地质学家注意的课题。其中，问题之一是如何鉴别软沉积变形。下面提出几点作为鉴别和分析的参考。第一，软沉积变形常局限于一定层位或一定岩层中，如果整套岩系变形轻微，更说明个别层的变形可能是软沉积变形的结果；第二，软沉积变形常局限于一定的地段，如沉积盆地边缘、大隆起边缘等；第三，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。因此，在研究软沉积变形时，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分出早期软沉积变形，则是一项很复杂的正在探索的工作。