

讲座连载

## 《沉积建造学讲座》

### 第三讲 沉积建造原理和分析方法(二)

孟祥化

(中国地质大学)

#### 二、建造的形成速率及补偿原理

沉积速率是标定和分析沉积盆地及建造发育的构造背景的重要研究内容。

现在已经有越来越多的资料证明,各种沉积物质本身的形成速度是很不相同的。蒸发岩类沉积速率最快,而各类蒸发岩的沉积速率又变化很大。蒸发白云岩、膏岩的沉积速度较低,石盐、钾盐的堆积速度最高,生物礁灰岩和浅滩的鲕粒灰岩也是在较快的速率下形成的。现在我们把近年文献中积累测定出的各类沉积物速率资料综合于表 1 中。沉积物形成速率的巨大差别的原因目前还缺乏详细和系统的研究,大概主要决定于这些物质本身聚集机理的一些性质,如丰度、浓度、溶解度、饱和度、晶格构造和岩石结构性质等。例如,纯净的石英砂岩、纯净的高岭石粘土岩、纯净的磷块岩等都是在沉积速率缓慢状况下聚集形成的。而成分不纯的长石石英砂岩、水云母粘土则是在沉积速率较快的条件下形成的。长石杂砂岩、岩屑杂砂岩、杂粘土岩都是在最快的沉积速率下形成的。碳酸盐岩的结构纯净度同样与沉积速率有关。颗粒支撑的内碎屑岩石是在较为缓慢,长期处于能量、速率很低的条件下形成的。而杂泥晶支撑的内碎屑岩则属快速堆积环境下形成的。

沉积速率不仅影响到岩性成分和结构特征,而且也直接影响到沉积建造的岩相厚度、水平分布和垂向沉积韵律旋回结构特征和复杂程度。因为沉积作用速率和沉积环境的变迁,直接决定于地壳运动、沉降拗陷速率与沉积补偿关系(图 1)。在图 1 中,Ⅰ为非补偿或低补偿性盆地,它们向变深方向发展和演化,沉积建造序列和岩相序列自下而上发生海进和正旋回结构;Ⅱ为平衡补偿性盆地,盆地大体上保持某一相对深度,沉积建造和沉积岩相无论水平方向还是垂向的变化都不明显,或者长期保持固定的周期性;Ⅲ为超补偿性沉积盆地,盆地朝着变浅的方向演化,沉积建造及其岩相均呈现明显地海退序列和反旋回结构。

应用沉积速率指示构造性质方面,还可以进一步从建造的沉积速率与板块构造的配合关系上加以分析。从沉积速率图解中,可以将沉积建造类型区分为近低速率共生组合、近高沉积速率共生组合和高低变速率共生组合三个基本模式。

从沉积速率图解中可以明显看出,发生于稳定克拉通盆地的建造类型(即稳定型建造)的岩石组合成员:锰质岩、磷块岩、硅质岩、红粘土、铝土岩等均无例外属于较低沉积速率分

布区内。它们在自然界中能经常在稳定克拉通盆地以及其它近稳定低速率地壳背景条件(如一些被动边缘)下密切共生,并形成稳定型建造系列,如铝土铁质建造、单陆屑建造、单陆屑含煤建造、稳定膏岩—白云岩型蒸发岩建造、远硅质建造、陆源硅酸盐建造、异化粒(颗粒)碳酸盐建造等。这种岩石共生和建造与建造的共生,完全是因为它们的沉积速度均偏低,彼此间速度又十分接近,彼此均适应于稳定型大地构造背景条件。

表1 各类沉积岩(物)的沉积速率及其速率共生模式表

(据孟祥化, 1984)

|          | 沉积速率<br>(mm/千年) | 陆 源 沉 积                                                                         | 内 源 沉 积                                                   |           |
|----------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------|
| 近低速率共生模式 | 0.001           |                                                                                 | 锰结核及瘤 0.003                                               | 高低变速率共生模式 |
|          | 0.01            |                                                                                 | 磷块岩                                                       |           |
|          | 0.1             | 高岭土、铝土岩、石英砂岩                                                                    |                                                           |           |
|          | 1               | 风成沉积0.6, 远洋红粘土1-4, 远洋非碳酸盐沉积物1.6 (大西洋) 陆隆沉积68 (北美) 复陆屑建造100, 磨拉石建造150-400 (阿尔卑斯) | 晚期沉积石灰岩结核 4 有孔虫白 硅质沉积5-20 20 至软泥18 钙质沉积10-40 (大西洋) (泥晶微晶) |           |
| 近高速率共生模式 | 10              | 长石质砂岩                                                                           | 石膏50-200...                                               | 复理石建造     |
|          | 100             | 陆棚沉积                                                                            | 珊瑚礁 { 330 藻沉积 { 4000                                      |           |
|          | 1000            | 4000 长石砂岩                                                                       | 2000-7000 石盐、钾盐100000                                     |           |
|          | 10000           | 复理石建造浊积岩 300000, 含煤建造 3000~ (顿巴斯) 50000 杂砂岩                                     | 5000                                                      |           |

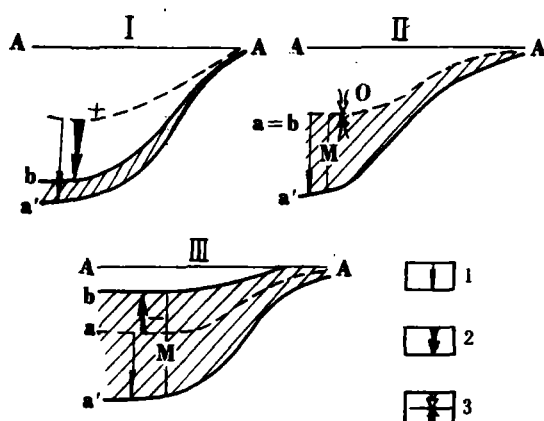


图1 地壳拗陷速率与沉积速率的补偿关系示意图(孟祥化, 1979)

1-地壳拗陷幅度; 2-受沉积作用补偿后盆地的变化; 3-表示盆地深度基本未发生变化(即地壳拗陷幅度等于沉积作用所补偿的厚度, +号者表示相对下降, -号者表示相对上升; a-开始时的沉积底层线; a'-拗陷后和沉积补偿前底层位置; b-沉积补偿后的新沉积底层线; A-A 海平面; M-沉积补偿的原始厚度)

从速率表中, 还可以看出, 蒸发岩(石膏、石盐、钾盐)、珊瑚礁灰岩、藻礁碳酸盐岩都是内源沉积速度最高的类型。从沉积速率观点它们完全可以与快速碎屑沉积类型, 如长石质砂岩、杂粘土、大陆火山碎屑沉积相共生。此类共生性质应命名为近高速率共生组合。在自然界中与此类共生有关的建造有: 本文作者(1979)提出分类中的礁碳酸盐建造、钾盐型—石盐型蒸发岩建造、复陆屑建造、火山复陆屑建造等。大量实际资料表明, 这些建造均属与裂谷、

原始大洋或被动边缘盆地相关的次稳定型建造类型之内。这些事实正好说明,从沉积速率原理分析,近高速率共生组合与裂谷、原始大洋张裂边缘的较高构造活动背景条件相适应。从总的特征来看,常出现高速沉降和高速沉积补偿。

高低变速率共生是一种特殊条件下的沉积速率组合类型。这种速率组合仅出现在板块构造活动边缘盆地中。这是因为只是这类与洋壳俯冲有关的活动边缘盆地,常常出现从低沉降速率—低补偿,高沉降速率—低补偿,到高沉降速率—高补偿(超补偿)的复杂多变状态。由于这一变速原理,导致在活动边缘盆地中所形成的沉积建造层序内部存在明显地从低速率到高速率沉积物的共生旋律。复理石建造就是最典型的例子。该类建造中的深海砂(复理石中的递变砂岩层段)代表高速沉积,平均最高速率可达30cm/a,但顶部远洋软泥段(页岩)的沉积速率可能低到1—2mm/10<sup>3</sup>a。又如红泥—微晶碳酸盐建造也存在变速沉积,其中微晶碳酸盐沉积要比红粘土沉积大10倍以上。

### 三、建造体内古水系网分析

应用指示古构造方向的古水系流向标志,指示古盆地构造斜坡的滑动构造;指示古断裂带、拗陷带的冲积扇体和泥石流体;指示古海盆斜坡的浊流和复理石层;指示沉积盆地古板块(地块、盆地)古纬度位置的剩余磁性的研究等,都能为定向定量再造古盆地构造方位和空间分布格局提供重要依据。

古水系网分布的测定是一项重要研究内容。大型三角洲相都发育在大河系入海的地方。由于大河系的流向都受大地构造格局的影响和控制,因此大型三角洲中也受大地构造格局的控制。按其三角洲排水网的形式和构造位置,可以划分出五个基本类型(表2)。

表2 大型三角洲的排水网与构造位置

| 排水网型式                     | 三角洲的构造位置      |               |                                      |                   |          |
|---------------------------|---------------|---------------|--------------------------------------|-------------------|----------|
|                           | 封闭的克拉通内的      | 张裂大陆边缘        | A带                                   | 消减带缝合线            |          |
|                           |               |               |                                      | 边缘盆地              | B带和转换断层带 |
| 1. 非洲型                    | 黑龙江,伏尔加河,乌拉尔河 | 尼日尔河<br>尼罗河   |                                      |                   |          |
| 2. 美洲型                    | 莱茵河<br>里古河    | 叶尼塞河<br>密西西比河 |                                      | 黄河<br>长江<br>珠江    |          |
| 3. 在褶皱带内<br>水系走向与<br>带平行  |               |               | 雅鲁藏布江,<br>普拉马普德拉<br>河                | 伊洛瓦底江,育<br>空河,湄公河 |          |
| 4. 在褶皱带边<br>缘水系走向<br>与带平行 |               |               | 勒那河,恒<br>河,印度河,罗<br>纳河,底格里斯<br>幼发拉底河 | 红河                |          |
| 5. 穿过褶皱带                  |               | 科罗拉多河         |                                      |                   | 蛇河,哥伦比亚河 |

美洲型排水网是指那些在大陆上呈单一流向排列的水网。例如,美洲大陆的排水网流向都是远离科迪勒拉带向东西两侧海岸流去。非洲型是指象非洲大陆那样的封闭克拉通内,没有褶皱山带控制流向,所有排水网都流向张裂大陆边缘。聚合板块缝合线型排水网,代表活动边缘俯冲挤压闭合褶皱带的水系特征。它包括三种大型:①位于克拉通一侧的大陆边缘,

称阿尔卑斯消减带(A)型,如勒那河、恒河、印度河、底格里斯幼发拉底河等,其水网沿褶皱带边缘分布,并与褶皱山带平行;或如雅鲁藏布江、普拉马普德拉河,其水网沿褶皱带内分布,走向亦与褶皱带平行。②位于大洋一侧,称为尼奥夫消减带(B)型,这一类水网,如蛇河、哥伦比亚河,水系穿过褶皱带。③位于俯冲弧后边缘盆地型水网,如黄河、长江、珠江等,为单向水系。

**深海浊流网系。**按海盆与板块运动方向还可以区别为两大类:一类称深海平原型(图2-A);一类称深海沟浊称楔型(图2-B)。深海沟型代表俯冲消减带方向与海沟近于平行或俯冲方向与海沟方向间有一定的夹角(或叫斜俯冲或转换断层)时的浊流网系。这种情况下,实际俯冲速度很小,因而浊流网系可以连续很长时间汇集于深海沟,并形成很厚的楔状复理石建造。

**等深流网系。**根据现代板块大洋和古板块沉积证据,等深流主要发育于被动边缘张裂海盆地和它的陆隆区。因此,等深流网系是次稳定陆源建造和次稳定内源建造的主要鉴定标志。

**风暴流(重力流)网系。**此网系与稳定克拉通浅海盆地背景条件有关。长期持续地平坦浅海陆棚是稳定克拉通盆地的主要特点。平坦浅海陆棚为风暴流作用提供了广阔场地,使得风暴重力流网系特别发育,成为鉴定稳定型沉积建造的特殊标志。

滑塌作用和滑塌构造,也是能广泛应用于指示建造形成的古构造活动方位的重要标志。滑塌作用在地形坡度 $1-2^{\circ}$ 时就可以发生,但最适宜于海相粘土发生滑塌的坡度是 $5-10^{\circ}$ (Kuenen, 1956)。滑塌作用最容易发生在各种构造背景陡峭地区,例如在沉积时期活动的大地构造边缘、构造三角洲的前缘、礁前缘、海底峡谷的源头,陆上和水下沙丘的前积层、沿侵蚀水道的边缘等。沉积层滑动形成特殊的褶皱块,褶皱块是滑动层的前缘部分向上或向下弯曲造成的,褶皱块中向上或向下弯曲方向的优势分布,有助于确定滑塌方向。顺斜坡滑动的塑性块体将趋向形成大致与顺坡运动的方向垂直的褶皱和揉皱。滑塌构造的平均走向就代表水下斜坡的走向。滑塌作用可能在大陆架边缘、张裂边缘和俯冲边缘的构造线上最为集中,因此滑塌构造的方位和方向有助于判断古构造线的走向和位置。我国古代地层中,如太古代的含铁建造、华北和华南元古代碳酸盐岩地层、晚震旦世、寒武纪地层,以及中生代地层均有广泛发育的滑塌沉积和构造,特别应当指出的是碳酸盐岩系中的滑动—滑塌沉积构造的同生变形特征更为复杂多样。因为碳酸盐沉积固结成岩很早,所以同生滑动挤压构造变形甚为复杂,往往不注意就很容易误认为后期造成的。

#### 四、建造体态与板块构造盆地关系的分析

沉积建造的空间分布形态是指建造形成过程原始堆积所呈现的面貌。它的分布形态特征和方向直接受板块构造盆地演化所控制。沉积建造体可以用三度空间(X、Y、Z)的沉积地质变量来表示,这在第一讲的“建造做为三维地质体的含义”一节中已有说明。建造体态类型与板块构造的关系如:

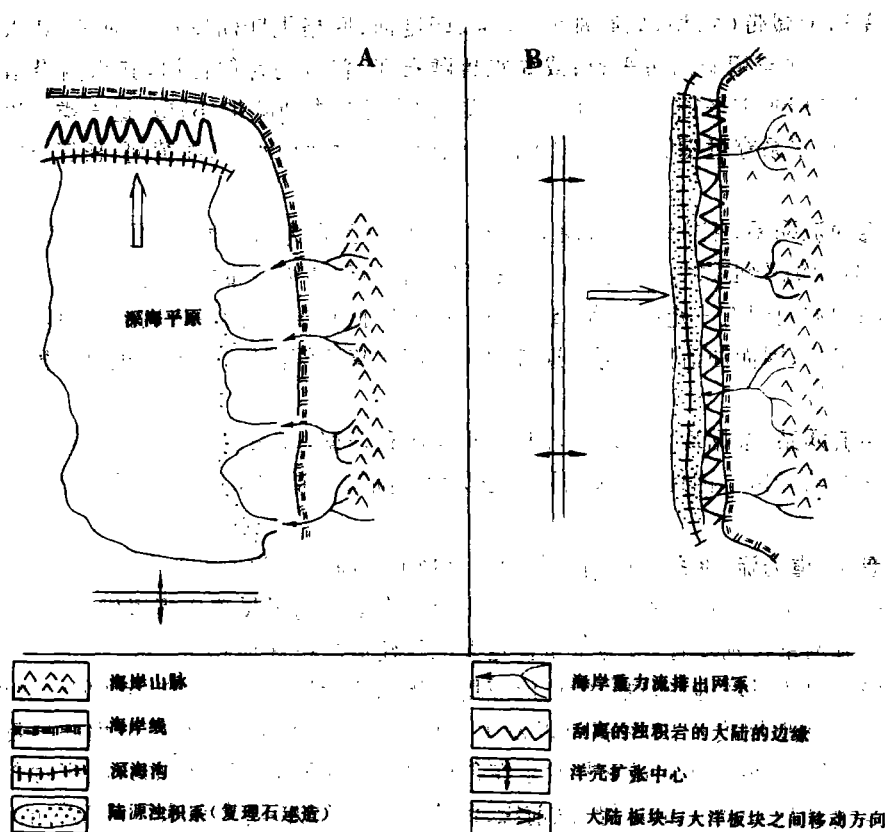


图2 深海浊流网系和沉积与板块构造的两种模式

(据 D. W. Scholl and M. S. Marlow, 1914)

- |      |                               |                      |
|------|-------------------------------|----------------------|
| 固定型  | a. 薄带状体型——克拉通边缘盆地或<br>气候分带的盆地 | } 稳定克拉通盆地(也包括深海平原盆地) |
|      |                               |                      |
| 非稳定型 | c. 扩张体型——洋中脊扩张盆地              |                      |
|      | d. 收敛体型——裂谷、原始大洋盆地            |                      |
|      | e. 位移体型——被动边缘、弧前、弧后及前陆盆地      |                      |
|      | f. 水平拖曳型——转换断层盆地              |                      |

固定型建造体, 主要代表板块内部由热力效应均匀沉降形成的盆地, 这里主要包括陆壳克拉通盆地和洋壳深海平原盆地, 主要的毯状体型和藻带状体, 属稳定型建造所特有。俄罗斯地台、西伯利亚、加拿大等克拉通盆地以及我国华北地台(古生代)都属于这类性质。固定型的薄带状体是在古气候分带明显时才可以分出。

非固定型建造体态是指建造沉积中心的空间位置不固定, 随沉积盆地的变位而具有明显位移。这类建造体态与控制盆地发育的板块固重力效应和热对流效应产生的水平移动、俯冲、动力沉降等变动有关。根据板块移位变动性质的不同, 可以形成各类建造体态。扩张型建造体态系因洋中脊热对流洋壳增生随时间扩张而形成, 如现今大西洋、太平洋中脊扩张所

形成红泥—微晶碳酸盐建造就是这种体态的典型实例。收敛型建造体态普遍见于蒸发岩建造,它是干缩盐分形成的“牛眼式”分布。它的形成也与板块张裂初期大洋水注入或板块后期封闭过程有关。古地中海中新世深干化盆地成因的蒸发岩建造,可作为代表。位移型建造体态是因古构造带(或与其配合的古气候带)随时间做定向地显著迁移引起的。其中最典型的发育过程见于以下两类板块构造部位:一是发生在大陆板块扩张过程中的被动边缘,在那里陆隆作用引起陆棚造礁碳酸盐岩体的不断向洋壳盆地方向增长和移动;另一个是,发生在板块俯冲过程中所形成的弧前、弧后、弧间和前渊盆地(又称前陆盆地)的位移和演化,造成复理石建造、磨拉石建造和各种大洋火山沉积建造等的位移型体态。此外,受转换断层平移控制形成的建造具有更为复杂的形态特点——拖曳型体(图3),其内部岩相带也受转换断层的控制发生相带扭曲。

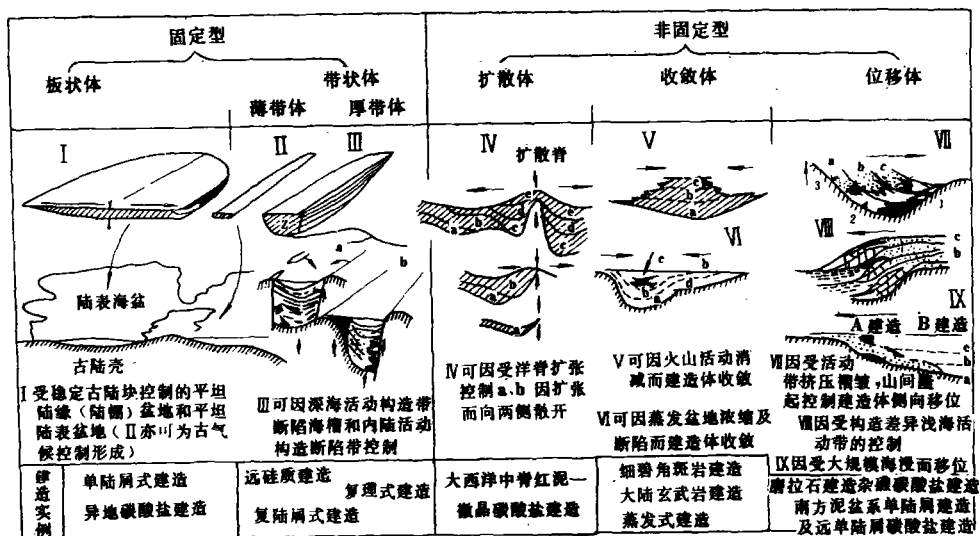


图3 建造体态类型及其形成机理示意图

(据孟祥化,1979)

## 五、建造的沉积相序分析

各种沉积环境下形成的沉积物,其分选程度有显著区别。在水系搬运的陆源沉积物中,搬运愈远,距离愈长的沉积物,其结构及成分成熟度愈高:

沉积 分选度(矩法标准偏差,  $\sigma$  单位)

冲积扇 1.8

网状河流 1.4

蛇曲河流,点砂坝 1.15

三角洲前缘 0.8

成熟海滩 0.4

重力流沉积物的成熟度都很低,显然属于沉积能量极度不平衡的特征。

## 六、建造的共生组合综合模式

- (1)稳定型岩石共生组合模式:[CQ+SQ+MQ+OQ];
- (2)次稳定型岩石共生组合模式:[CF+SF+MF+OF];
- (3)非稳定型岩石共生组合模式:[CR+SR+MR+OR]。

以上三种模式,它们分别代表(砾岩、砂岩、泥质岩、有机岩等)四个三角图的对应三端元的系列式中(参见第二讲图)。其中,CQ(稳定型砾岩类);CF(第一不稳定型砾岩类);CR(第二不稳定型砾岩类);SQ(稳定型砂岩类);SF(第一非稳定砂岩类);SR(第二非稳定砂岩类);MQ(稳定型粘土);MF(第一非稳定型粘土)和MR(第二非稳定型粘土)等含义,见第一讲的表2注。

属于稳定型岩石共生组合模式的建造称为稳定型建造,代表克拉通盆地性质。次稳定型组合模式的建造称为次稳定型建造,代表陆壳上发育的裂谷和断陷盆地性质。具有非稳定型组合模式的建造称为非稳定型建造,代表活动边缘、俯冲岛弧盆地性质。被动边缘盆地的建造性质往往兼有稳定型组合模式及次稳定型组合模式的两种特点。

## 七、建造系列分析

板块构造的发育情况控制了沉积盆地的形成和发展,从而也控制着沉积建造类型的发育和更替关系。因此,研究各类沉积建造序列和建立它们的发育系列模式是恢复古板块历史演化的重要手段和途经。建造类型的交替关系,包括两方面的含义:一方面是同时代建造之间的横向共生关系;另一方面是地壳历史演化过程中建造类型的纵向更叠。这两方面的研究内容需要通过编制区域沉积建造图和沉积建造地层表的工作来完成。

根据近期板块构造和某些板块构造发展时期的比较沉积学分析,已初步总结出各种板块构造演化过程的沉积建造发育系列的关系(孟祥化,1982)。在本讲座后几节中,作者将对不同板块构造演化阶段的九种建造系列,进行介绍。