

含煤岩系沉积环境研究方法

葛 宝 勋

(上 册)

焦作矿业学院

一九八七年

目 录

第一篇 重建含煤岩系沉积环境的方法

第一讲 沉积环境、相、沉积模式

第二讲 砂岩体的研究

第三讲 古水流方向的研究

第四讲 矿岩及地化标志的研究

第五讲 粒度分析

第六讲 原生沉积构造的研究

第七讲 测井曲线的研究

第一篇 重建含煤岩系沉积环境的方法

第一讲 沉积环境、相和沉积模式

近二十多年来，由于勘探、开发矿产资源的需要，特别是对能源矿产——煤、石油、天然气勘探、开发的迫切需要，国内外对沉积环境、沉积模式的研究日益深入，发展十分迅速。如1982年8月在加拿大汉密尔顿市召开的第十一届国际沉积学大会上，共列有40个专题组，其中直接与煤、油气有关的就有8个之多。在《煤和含煤岩系沉积学》专题组宣读的36篇论文中（其中我国学者提交的论文四篇），绝大多数是有关沉积环境和沉积模式的研究。因为这一研究不是一个纯理论问题，而其目的在于对煤层、煤质和开采技术条件进行预测，以解决勘探和开发中的实际问题，所以现阶段有关聚煤的沉积模式已成为含煤岩系沉积学研究的中心内容。因此，积极推广、应用沉积学的新理论、新方法、新技术，结合勘探开发的实际，大力开展对各种沉积矿产，特别是对能源矿产的沉积环境、沉积模式的研究，为生产服务，为四化建设服务，实为沉积学工作者和地质勘探部门的一项重要战略任务。

一、沉积环境

（一）环境的概念

“环境”这一术语虽早已引进地质文献，但人们对这一术语的认识是逐渐加深的。

谢泼德和莫尔（Shepard and Moore, 1955）曾将沉积环境定义为“一种空间单位，在此单位内，其外部物理、化学和生物

条件以及对沉积物发育的影响能力都是相当稳定的，从而形成了特定的沉积”。克鲁宾和斯洛斯 (Krumbein and Sloss, 1963) 则认为环境是“沉积物聚集的物理、化学及生物条件的总和”。他们都正确地指出了影响沉积环境的因素主要是物理、化学及生物条件。但前者混淆了环境及其产物，后者则并没有明确指出环境的实质是什么。

以后，塞利 (Selley, 1970) 给沉积环境下了一个确切的定义。“沉积环境是地球表面的一部分，它在物理、化学和生物性质上均有别于相邻的地区”。这一定义目前已为广大沉积学家所接受

(二) 剥蚀环境、平衡环境和沉积环境

既然把环境作为“地球表面的一部分”，则严格地说，应该根据其发生的作用把环境划分为剥蚀环境、平衡环境和沉积环境。

剥蚀环境指遭受剥蚀作用的地区，主要在大陆上，偶尔可作为不整合面保存下来。

平衡环境意味着既不遭受剥蚀，又不进行沉积作用的地区，如土壤地平面。

沉积环境是指进行着沉积作用的场所，主要是水下的。一般所说的“环境”，如不特别加上“剥蚀”或“平衡”等，即指沉积环境。

(三) 划分沉积环境的参数

目前大多数沉积学家认为划分沉积环境的参数有物理、化学和生物三类：

1. 物理参数 裴蒂庄 (pettijohn, 1975) 指出，物理参

数主要是沉积物从中降落的介质（水、空气等）的性质，包括静态的和动态的。前者如介质的密度、粘度和水的深度等；后者如流速、流向及水流的稳定性等。

2. 化学参数 包括介质的氧化还原电位（Eh）、酸碱度（pH）、盐度和温度等。

3. 生物参数 塞利认为在陆地上主要是草及植被；海洋中应包括生物的种属、它们的活动能力（如挖掘潜穴的能力）和骨骼成分等。

现代的沉积环境完全可以根据上述三类参数来划分，而古代的环境则只能根据古代环境的遗迹，如岩性、结构、构造、古生物特征来推断。

（四）沉积环境的分类

沉积环境是“地球表面的一部分”，因此，环境是“现代”的概念，是指地球表面的自然地理景观单位，所以是按自然地理区划来划分的。环境的分类有经典的、塞利的（1970）、裴蒂庄的（1975），国内应用较广的是刘宝瑞教授提出的分类（表1-1）。

三、相

“相”这个术语虽早在1669年由丹麦地质学家斯丹诺（N. Steno）引入了地质文献，但直到目前，有关相的概念还不统一，基本上有三种主要观点。第一种观点是把相和沉积环境等同起来。第二种观点的学者认为相的概念应包括沉积环境和沉积特征这两个方面的内容，而不应把相简单地理解为环境。第三种观点是把相理解为“沉积环境的古代产物”、“或古代环境的物质表现”。这种观

点比较接近于格列斯雷的原始定义。

沉积环境的分类 (刘宝琮, 1980)

表1-1

大陆环境	残积带		
	坡积带		
	沙漠		
	冰川		
	河流		
	湖泊		
	沼泽		
过渡环境	冲积扇		
	三角洲		
海洋环境	河口湾		
	滨海 (海岸)	有障壁海岸 (局限海)	泻湖 潮坪 障壁岛(滩)
		无障壁海岸 (广海)	后滨 前滨 近滨
	生物礁、滩		
	浅海陆棚		
	次深海		
	深海		

如鲁欣 (PYXNH, 1953) 认为: “相就是能表现沉积条件的岩性特征和古生物特征的有规律综合。因此, 相是沉积物形成条件的物质表现”。塞利 (1970) 则更具体地指出: “一个沉积相是一个岩体, 可以根据它的几何形态、岩性、沉积构造、古水流模式和化石加以确定, 并与其它岩体相区别”。何起祥 (1978) 认为: “应把相看作客观存在的地质体, 它是在地质历史中形成于特定环境里的一套

有规律的岩石共生组合”等。目前世界上大多数学者持第三种观点。

因此，可以说环境一般是指现代的，是看得到的，而相是古代的。但是相与古环境、古地理也不同。相着重于“物质表现”，而古环境、古地理是指古代的地理景观单位。所以，严格地说，古地理图上所表示的应是古代某时期的地理景观单位，如河流、湖泊、浅海等。而相图上所表示的可能是某些岩石类型的组合，如蒸发岩相、红层相、黑色页岩相等。但目前在理解和应用上还不一致。

从另一方面讲，一种沉积相是一个沉积环境的产物（图1—1）所以环境与相也不能混为一谈。

图1—1 沉积盆地的横剖面（表示相、环境与时间之间的关系
据 Selley, 1978）

环境可以分为亚环境，同样，相也可以分为亚相。

沉积相在时间上和空间上发展变化的有序性称为相序连续性原理或相序递变规律。瓦尔特（Walther, 1894）将其总结为：“只有那些没有间断的、现在能看到的相互邻接的相和相区，才能重叠在一起”。也就是说“相的纵向相序同时也就是它的横向相列，亦即只有在横向上相依的相，才能在纵列，

才能在纵向上互相叠复而没有间断”。这是研究沉积相时的一条基本规律，也称为瓦尔特相律。

在古代沉积中，相的垂向序列总是比横向相列易于观察到，特别是在岩心上进行含煤岩系的相分析时是这样。

三、沉积模式及成煤模式

地质工作者的根本任务就是要对自然界的各种地质现象和运用各种手段获得的各种地质资料进行客观地正确地解释，目的在于能正确地指出有经济价值的矿产的位置、几何形态、走向、倾向和质量。对于煤田地质工作者来说，就是要查清煤的数量和质量，包括煤的层数、厚度及其变化规律、煤质以及开采技术条件等。在进行上述工作时，对于沉积模式和成煤模式的建立和研究，将日益发挥其重要作用，这是由于把环境和相结合起来而得到的一种成果。

什么是沉积模式？

1963年波特和裴蒂庄指出“沉积模式实质上是描述了再现的沉积作用的面貌”。

塞利(1970)认为，“在今天的地球表面上存在着的沉积环境的数目是有限的(详细的研究表明，没有两个相似的环境是完全一样的，在侧向上两个环境之间可能表现为突变和逐渐过渡)”，“在地质历史中，在时间和空间上可能重复出现的沉积相的数目也是有限的(详细的研究表明，没有两个相似的相是完全一样的，相在侧向及垂向表现为突变或逐渐过渡)。”因此，“未知成因的古代沉积相的特点可以根据现代已知环境的沉积来推知，因而古代沉积相形成时的沉积环境是可以确定的”。据此，塞利得出结论：“只存在着数目有限的沉积环境，其中沉积了带有特征的沉积相，因而可以从中归纳出各种理想的体系或模式”。塞利对沉积模式的理论是十分精辟的。

综上所述，可知沉积模式就是根据现代沉积环境及古代沉积相以及室内模拟实验的研究，对古代沉积作用机理所作的一种成因解

释模型。

维谢尔 (Visher, 1965) 曾识别出六种沉积模式。布拉特等 (Blatt et al, 1972) 曾鉴别出冲积扇、河流、三角洲、堤岛、滨外浅滩、浊流—深盆地、碳酸盐台地、湖泊、风成沙漠和冰川等十种沉积模式。目前有关沉积模式的建立和研究是沉积学领域中最活跃的部分。如艾伦 (Allen, 1964) 的曲流河模式、鲍马的浊流沉积模式——鲍马序列，已为地质界所公认。

总之，沉积模式应该经过提炼和概括，使之成为具有典型和普遍意义的成因模型。研究沉积模式有四种作用：

- (1) 是进行对比的标准。
- (2) 作为新区研究的提纲。
- (3) 作为环境水动力学解释的基础。
- (4) 对新区进行预测 (这是主要的目的)。

将沉积模式的理论和方法应用于含煤岩系，建立聚煤的沉积模式 (或成煤模式)，从而进行煤层、煤质和开采技术条件的预测。在这方面有不少成功的实例。

美国学者霍恩 (J. C. Horne, 1978) 和费姆 (J. C. Ferm) 研究美国东部石炭纪煤系时，在阿巴拉契亚地区识别了河流冲积体系、三角洲体系和沙坝体系，确定了沉积环境和含煤性的关系。

国外一些煤田地质学家利用成煤模式在薄煤区寻找相对厚的煤层，在高硫区寻找低硫煤，在高灰煤区寻找低灰煤，在开采技术条件复杂地区寻找开采技术条件相对较好的地段。到目前为止，国外已报导过多种成煤模式，除了对三角洲成煤模式继续有大量报导外，

对冲积扇、河流、湖泊等模式也有研究报导，并探讨了每种环境中的含煤性特征。可以说，在国际上环境分析的理论和方法已经相当普及，一些勘探公司已将其作为能源勘探中必须进行的工作。

四、重建含煤岩系沉积环境的方法

近代恢复和重建含煤岩系沉积环境的方法基本上有两种。

第一种方法称为环境参数法或相标志分析法。即通过查明相标志来恢复环境参数，然后根据多种环境参数的综合来确定沉积环境类型。其基本流程为：

成因标志→环境参数→沉积环境类型

所谓相标志也即成因标志，系指具有成因意义的、能据以解释其形成环境的原生岩石学特征及少数早期成岩的特征，主要是成分、结构、构造、生物及古水流方向等标志。

近二十年以来，由于沉积学引进了一些相关学科的成果，使得人们对于各种沉积物（岩）的形成作用过程、机理以及作用的环境认识大大加深了，从而对环境分析提供了较多的依据。根据查明的相标志可归纳为相应的环境参数，因为任何一种环境都是由一系列环境参数限定的，虽然每一个参数只是必要的条件而不是充分条件，但多种参数的综合却可以求得单一解，这就是环境参数法的逻辑依据。例如，泻湖环境的特征为波浪作用弱、低能。沉积物以细碎屑物质和化学沉积为主，介质盐度不正常（淡化或咸化），生物群变异等。当我们通过相标志的鉴定，归纳为相应的物理、化学和生物参数，那么就可以恢复其泻湖环境的面貌。所以，环境参数法是重建沉积环境的一种常用的、有效的手段。但是也要看到，由于

目前我们对许多成因标志所代表的环境参数还不能作出十分肯定的判断；再者参数本身也会相互影响或变化。象物理、化学和生物等参数也不是完全独立的，它们可能相互制约和影响。例如生物群对诸如湍流（阻障反应），改变介质的PH和Eh值。甚至相对独立的物理、化学参数也可相互影响。如水体中的水是分层的话，在淡水覆盖盐水的情况下，较深处的水因盐度高而形成还原条件。另外，沉积物的堆积可以改变水深，还能影响水流强度、方向及湍流等。

其次是许多参数并不能十分明确地鉴定环境。除了非常有限的亚环境外，一种环境，如潮坪或湖泊等，其环境参数如温度、盐度、pH、Eh等可以在较大范围内变化。例如有些湖泊是咸湖，另一些则是淡水湖。有些泻湖是微咸的，另一些则是超咸的。有一些是充气很好的（氧化），另一些则是还原的。因此，即使有可能去查清所有的参数（常常是难以做到的），但有时也难以精确地确定环境。所以，我们必须探索重建沉积环境的新方法。

第二种方法称为沉积模式法。通常沉积模式多用图解表示，有三维模式图，垂向序列和横向序列模式。目前常侧重于应用岩性和沉积构造的纵向序列来重建沉积环境，这样可以较少地依赖于结构、矿物成分和化石等（可能被搬运）。效果最好的方法是应用沉积物（岩）的几何形态和垂向剖面，即以垂直剖面上所见到的岩性和沉积构造的纵向序列作为重建环境的主要方法。因为岩性和沉积构造的纵向序列是在特定环境中地质作用的综合结果。例如曲流河沉积模式是一种岩性向上变细、沉积构造由大型向上变为中、小型的纵向序列。以河流作用为主的高建设性三角洲的沉积模式为岩性向上变粗的纵向序

列等。由于不同沉积环境中形成的产物，其岩性和沉积构造的纵向序列有很大差别，因此，人们也把不同环境中形成的典型沉积岩和沉积构造的纵向序列称为沉积模式。所以，这种重建沉积环境的方法称为沉积模式法。

塞利(1978)曾提出一个简单明了的沉积环境鉴别流程图(图1-2)。

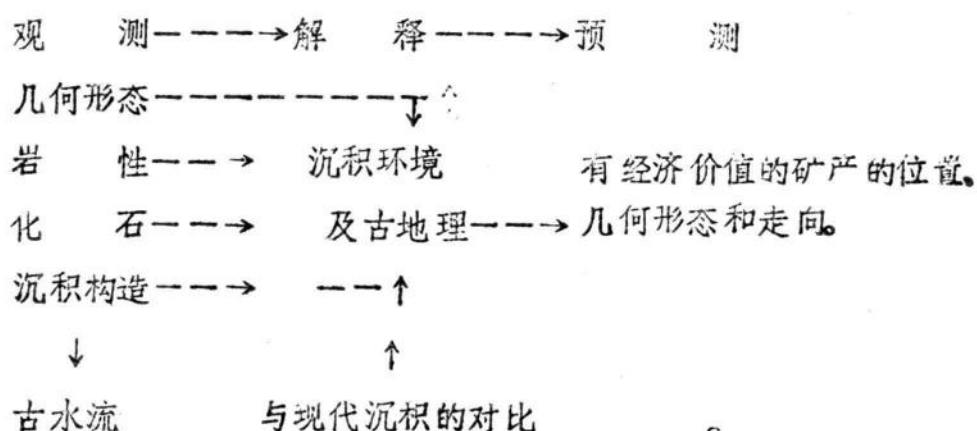


图1-2 沉积环境鉴别流程图(据 Selly, 1978)

应用沉积模式法重建沉积环境应尽量多地进行野外工作而较少依赖于实验室的分析、鉴定工作。

对含煤岩系进行环境分析，建立沉积模式的方法步骤如下：

(1)十分细致地进行野外观察，详细地分层描述和收集岩石的成因标志，包括结构、构造、成分、古生物和地化标志等。为建立模式而选择的典型地区应力求露头良好，以便直接了解沉积体及其内部标志在各个方向上的变化。

(2)研究沉积体的三维形态，特别是恢复砂岩体的三维形态，并通过主砂体图、含砂率图及纯砂图来显示研究区的沉积格架。

(3)古水流测量和分析。

(4)研究相的空间组合关系，将研究垂向层序和横向上相的变化结合起来。需要制作反映详细的垂直层序的柱状图、沉积断面图和古环境演化图，后者应表现尽可能短暂的时间间隔。

(5)研究煤体的三维形态和煤体参数。因为研究含煤岩系的沉积模式应着重于阐明环境与聚煤的关系。煤层和煤质特征也有助于分析沉积环境。

(6)研究含煤岩系的测井曲线特征，用来进行环境分析。特别是在采用无岩心钻进无岩心可供研究时，这是一种很有前途的研究方法。

(7)进行部分实验室鉴定和测试，如粒度分析、地化分析、岩矿鉴定等。用以确定沉积岩的粒度分布特征，识别有指示环境意义的矿物（如海绿石、绿泥石），鉴定微体化石、痕迹化石以及化石碎片等。但任何实验室研究都必须以详细的野外工作为基础。在通常的情况下，野外的观察和研究对确定环境具有决定性意义。

(8)最后，对野外所观察到的各种成因标志和宏观特征，如砂体形态、垂直层序、横向变化和室内所制作的各種分析图件、实验室的分析鉴定资料结合起来仔细研究，综合分析，作出有关沉积环境的客观结论。在此过程中，还要尽可能地将所研究的含煤岩系层段与相似的现代环境进行类比、验证，以作出科学的解释，因为有关环境分析和沉积模式研究中的许多新见解和科学性解释的得出，都来源于对现代沉积深入而广泛地考察和研究。

第二讲 砂岩体的研究

砂岩体是指以砂为主要成分，具有一定的外部形态和内部结构特征，并在某一沉积环境中形成的沉积岩体。砂岩体简称砂体。

砂体是含煤岩系中最常见的沉积岩体，它们可以呈单一岩体出现，也可成组出现。砂体常在含煤岩系中起着骨架作用，并可作为煤岩层对比、钻探和地质测量中的标志层。因此，对砂体的研究是含煤岩系沉积环境研究中的主要内容之一。

在含煤岩系中研究砂体，要着重研究砂体的三维形态与分布特点，特别要注意砂体与煤层、煤厚与煤质的关系。要查清砂体是否冲刷煤层？如冲刷煤层，则应查清冲刷的方向，还要弄清砂体的岩性组合及其在垂向和侧向上的变化等。

砂体也常是油气储集层和含水层，并可贮藏有经济价值的稀有、贵重金属及非金属矿产。

一. 砂体的分类

(1) 按形态分

波特(1963)曾将砂体分为等维的和长形的两种基本类型和几种派生的类型(图2-1)：

1. 等维的(席状或毯状)其长宽比接近于1:1，分布范围可从几公里²到几百公里²，甚至几千公里²。

2. 长形的 指长度远超过宽度的砂体，可有四种类型：(1)豆荚状：形似豆荚，其长宽比为3或小于3。(2)条带状：长条形，长宽比大于3，有时可高达20:1或更大。(3)树枝状：砂体有主干，有分支，形似树枝状。其长宽比大于3，形态比较复杂。(4)带状：常

由条带状或树枝状砂体的侧向迁移而形成。

图 2—1 砂体的形态 (据波特, 1963)

裴蒂庄 (1972) 曾将砂体划分为简单的线状或鞋带状、复杂的线状、楔形与席状砂体。

里奇 (Rich, 1923) 把那些长度大于宽度和厚度的砂体称为鞋带状砂体, 如河道砂体 (图 2—2)、障壁岛砂体。

图 2—2 肯塔基西部新阿尔巴尼亚页岩顶面构造图和贝塞尔河道砂 (据 Reynolds 和 Vineent, 1967, 转引自裴蒂庄, 沉积岩, 1975)

复杂的指带状砂体，如三角洲平原上分流河网体系形成的砂体（图2—3）

图 2—3 俄克拉何马州东部布奇砂岩等厚图（据 Busch, 1961, 转引自裴蒂庄, 沉积岩, 1975）

楔形砂体是指那些在剖面上呈楔形，在平面上呈扇形的砂体。如冲积扇、决口扇砂体等。

席状砂体是指厚度不大而在水平方向上延伸广阔的砂体。这些砂体覆盖了数千公里²的面积而厚度只有几十或几百米。这是一类较为广泛分布的砂体，大多数学者认为它是“侧向沉积作用”形成的，如河道、岸线迁移作用的产物。

（二）按其与世界沉积走向的关系分

由于形态相似的砂体可以形成于不同的环境，如河流、三角洲、障壁岛均可形成长形砂体，因此，尚需研究砂体与区域沉积走向的关系以区别某些形态相似，但形成环境不同的砂体。通常可分为倾向砂体和走向砂体两类。如河流、三角洲形成的砂体主要是沿倾向

分布的，而滨岸和浅海陆棚形成的砂体主要是沿走向分布的。

(三) 按其与岸线的关系分

可分为海侵砂体和海退砂体。前者系岸线向陆推进时形成，在地质剖面上表现为从下往上砂体逐个向大陆方向推进。后者为岸线向海洋移动时形成，在地质剖面上为从下往上砂体逐个向海方向推进。

(四) 按在垂向上的相互关系分

可分为错移砂体与叠置砂体(图2-4)。前者指上下层位的砂体位置相互错开，这可能与古地形的变化有关。小布朗(Brown Jr)认为这种变化常与

砂泥的差异压实有关。~~错移砂体和叠置砂体~~

如原先的三角洲间湾

泥发育的地区，由于压实

实的幅度大而造成低洼

地形，导致后续的三角

洲砂的发育。叠置砂体

指上下层位的砂体在垂

向上的同一部位反复出

现。它的出现可能主要

受同沉积构造控制。

(五) 按形成环境分

主要有冲积的、三角洲的、潮汐的、浊流的、海滩和障壁岛的、湖泊的、浅海的和风成的。裴蒂庄等(1972)认为，其中以冲积三