

煤和含煤岩系的 沉积环境

陈钟惠 编



中国地质大学出版社

P618.11
2-929

煤和含煤岩系的沉积环境

陈钟惠 编

中国地质大学出版社

707535

内 容 简 介

作者收集了国内外新近资料, 结合自己多年来的科研成果, 编写了《煤和含煤岩系的沉积环境》, 书中系统地阐述了煤和含煤岩系的沉积环境和沉积模式。全书共分10章, 分别对冲积扇、河流、湖泊、三角洲、碎屑滨岸和浅海等不同环境的沉积和聚煤作用进行了系统的论述。同时对植物遗体的堆积方式和堆积环境与聚煤的关系以及对沉积体系组合和古地理环境的时空变化等也作了必要的介绍。

本书资料丰富, 系统性强, 内容上体现了少而精, 实为地质专业高年级本科生和研究生的一本好教科书, 对从事煤田地质的科研及生产人员也是一本必备的读物。

煤和含煤岩系的沉积环境

陈钟惠 编

责任编辑 蒋良朴 段连秀

责任校对 熊华珍

中国地质大学出版社出版

湖北省气象局印刷厂印刷 湖北省新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 10.5 字数 242 千字

1988年10月第1版 1988年10月第1次印刷

印数 1—3000册

ISBN 7-5625-6089-4/P·39

定 价: 2.20元



前 言

煤和含煤岩系沉积学是煤地质学和沉积学相结合而形成的新的学科分支。近一二十年来,这个学科分支在国外,特别是在美国,发展很快,有大量成果发表。在我国,这方面的研究工作起步不久,与国际先进水平相比,还有相当差距。引进、消化国外的研究成果,总结我国自己的煤和含煤岩系沉积规律,尽快接近和赶上国外先进水平,这是我国煤地质工作者面临的一项光荣而艰巨的任务。

笔者在教学工作中深感需要一本可供煤田地质专业高年级本科生及研究生阅读的,能梗概地反映国外煤和含煤岩系沉积学现状的读物。为此,笔者在1984年曾根据当时能够接触到的部分文献资料,编写了《含煤岩系沉积环境分析》一书,作为院内试用教材。本书就是在这本试用教材基础上修改而成的。

与试用教材相比较,本书在内容上有很大变化。考虑到沉积构造及其在环境分析中的应用这部分内容在国内新近出版的一些沉积岩石学教材中已有系统介绍,由武汉地质学院一部分同志(包括笔者在内),共同翻译的Collinson等(1982)的专著——《沉积构造》也已完稿,即将由地质出版社出版,因此,本次改写时,将原书中的前半部分,即“环境分析的一般原则和主要方法”一篇,除个别章节外全都删掉。与此同时,根据新近的文献资料,对煤和含煤岩系沉积环境和沉积模式这部分做了许多修改和补充,力求能够反映国外在煤和含煤岩系沉积学方面最近的动态和研究成果,供国内同行借鉴、参考。

由于编者水平有限,不足和错误之处一定不少,敬请读者批评指正。

编 者

1987年9月于武汉

目 录

第一章	煤和含煤岩系沉积环境研究的历史和现状	(1)
第二章	植物遗体的堆积方式和堆积环境	(8)
§1	植物遗体堆积方式	(8)
§2	沼泽类型	(9)
	一、淡水、微咸水和咸水沼泽	(9)
	二、低伏沼泽、凸起沼泽和漂浮沼泽	(13)
§3	气候条件	(16)
§4	泥炭堆积速度及由泥炭到煤的厚度缩减	(18)
第三章	影响煤层分布、煤层厚度及煤质的若干沉积因素	(20)
§1	蓄水盆地的水位和水深变化	(20)
§2	聚煤地段的地形起伏	(22)
§3	差异压实效应	(23)
§4	溢岸沉积作用	(25)
§5	水系改道	(27)
§6	海相顶板	(29)
§7	综合影响和综合分析	(32)
第四章	冲积扇环境	(34)
§1	冲积扇的类型	(34)
§2	冲积扇的空间形态	(35)
§3	冲积扇的沉积物类型	(35)
§4	冲积扇的亚环境及其沉积特征	(37)
§5	冲积扇沉积物的垂直层序	(41)
§6	盆缘断裂型式及其对冲积扇的控制作用	(42)
§7	冲积扇朝其它沉积体系的过渡	(43)
§8	冲积扇与聚煤作用的关系	(46)
第五章	河流环境	(52)
§1	河道型式和河流类型	(52)
§2	曲流河环境及其沉积特征	(53)
	一、曲流河沉积物的主要类型	(53)
	二、曲流河沉积的垂直层序	(60)
	三、曲流河沉积体系及其总体形态	(62)
	四、曲流河环境与聚煤作用的关系	(63)
§3	辫状河环境及其沉积特征	(69)
	一、辫状河沉积物的主要类型	(69)

二、辫状河沉积物的垂直层序·····	(71)
三、辫状河沉积体系及其总体形态·····	(73)
四、辫状河环境与聚煤作用的关系·····	(73)
§4 网结河环境及其沉积特征·····	(75)
第六章 湖泊环境·····	(81)
§1 湖泊沉积物的主要类型·····	(81)
§2 湖泊沉积的垂直层序·····	(84)
§3 湖泊环境与聚煤作用的关系·····	(86)
第七章 三角洲环境·····	(91)
§1 三角洲的分类·····	(91)
§2 河控三角洲环境及其沉积特征·····	(95)
一、河控三角洲沉积物的主要类型·····	(95)
二、河控三角洲沉积的垂直层序和旋回性·····	(97)
三、河控深水三角洲和浅水三角洲·····	(101)
四、河控上三角洲平原和下三角洲平原·····	(102)
五、河控三角洲环境与聚煤作用的关系·····	(106)
§3 浪控三角洲环境及其沉积特征·····	(109)
§4 潮控三角洲环境及其沉积特征·····	(116)
第八章 碎屑滨岸带环境·····	(121)
§1 碎屑滨岸带环境概述·····	(121)
§2 海滩面环境及其沉积特征·····	(122)
一、海滩面沉积物的主要类型·····	(122)
二、海滩面沉积物的垂直层序·····	(124)
§3 潮坪环境及其沉积特征·····	(127)
一、潮坪环境主要沉积物类型·····	(128)
二、潮坪沉积物的垂直层序·····	(130)
三、潮坪环境与聚煤作用的关系·····	(132)
§4 障壁岛-潟湖环境及其沉积特征·····	(132)
一、障壁岛-潟湖环境沉积物的主要类型·····	(132)
二、障壁岛-潟湖沉积的垂直层序·····	(136)
三、障壁岛-潟湖环境与聚煤作用的关系·····	(140)
§5 河口湾环境及其沉积特征·····	(146)
§6 混合的碎屑-碳酸盐滨岸环境·····	(148)
第九章 浅海环境·····	(149)
§1 砂、泥质浅海沉积·····	(149)
§2 碳酸盐浅海沉积·····	(150)
第十章 沉积体系组合及古地理环境的时空变化·····	(152)
参考文献·····	(157)

第一章 煤和含煤岩系沉积环境

研究的历史和现状

煤是一种沉积矿产，煤层赋存在沉积岩系中，因此，沉积环境控煤（包括煤层分布、煤层厚度和结构以及煤质等）问题理所当然从一开始就成为煤地质学家关注的焦点。煤和含煤岩系沉积环境研究是怎样一步步地发展到今天的？中间能不能划分出若干个阶段？它的发展趋势和前景如何？这些都是我们非常感兴趣的问题。Rahmani和Flores在《北美煤和含煤岩系的沉积学：历史的回顾》（1984）这篇文章中，把过去几十年对含煤岩系沉积环境的研究史划分为“旋回层”阶段（cyclothem era）和“旋回层”后阶段（post-cyclothem era）。这样一种阶段划分，虽不那么严谨，但大体上还是符合实际情况的。本章中，笔者将以这两位作者的基本观点为线索，结合笔者本人的认识，对煤和含煤岩系沉积环境研究的历史和现状作一概略介绍。考虑到“旋回层”后阶段这个提法，容易使人产生在这个阶段已摒弃了旋回沉积作用的理论和研究方法的错觉，故本书中将它改称为沉积模式阶段。

“旋回层”阶段

这一阶段从19世纪末到20世纪中叶。这时期主要的努力是放在识别含煤岩系的重复层序或者说旋回结构，并对这类现象作出成因上的解释。1912年Udden最先揭示了北美伊利诺斯煤田石炭纪含煤岩系的旋回结构，指出它通常表现为根土岩—煤—海相灰岩或页岩—根土岩—煤这样一种重复层序。进入30年代，以Weller、Wanless、Moor等为代表，大力倡导以滨海平原地带广泛的海侵和海退过程来解释欧洲和北美石炭纪含煤岩系中海相层与含煤碎屑沉积的互层现象（图1-1）。几乎是在同一时期，苏联地质学家Лутугин Жемчужников等对顿涅茨煤田石炭纪含煤岩系的旋回结构作了深入研究，并成功地应用于地层对比和地质制图。到了50年代，在顿涅茨煤田已经

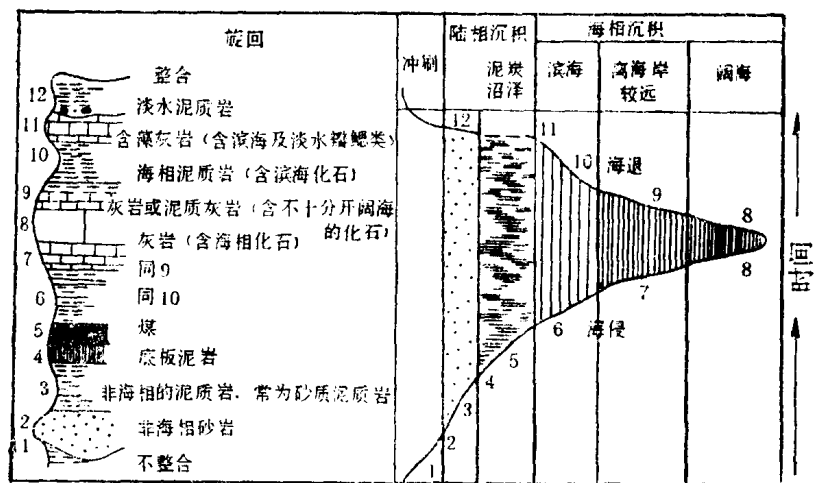


图1-1 美国内陆西部煤田宾夕法尼亚期沉积的旋回结构及其成因解释
(据Moor, 1940)

对石炭纪含煤岩系划分出数十到上百个小旋回，并对每个小旋回的海侵、海退部分分别编制了相古地理图。

如何评价这个阶段的工作？Reading在《沉积环境和相》（1978）这部著作中曾经非常客观地指出：“相互重叠的相型的概念或旋回沉积作用的概念，是沉积地质学中最富有成效的一种概念。它使地质学家能在明显的混乱中理出顺序来，并扼要地描述很厚的复杂互层的沉积岩。他们能够把这些岩层的旋回、韵律层或韵律（在此当同义语用）与在别处发现的旋回、韵律层或韵律进行对比”。以含煤岩系为摇篮产生的旋回沉积作用概念，迅速地在所有类型的沉积岩系中推广开来，说明它是有生命力的。

这个时期在理论和实践中所存在的问题，根据Reading（1978）、Galloway等（1983）、Rahmani（1984）等的意见加以归纳，主要表现在以下三个方面：

第一，把含煤岩系中出现的旋回结构或旋回性一律看成是地壳不均衡运动（小振荡运动或间歇性沉降运动）、区域海平面升降或气候变化的产物，而未认识到沉积过程自身的演化也可产生旋回结构。因此，一旦在某个研究区内不同地段上出现的旋回数不等时，往往不去深究造成这种现象的原因，而只是简单地称之为旋回分岔，并用地壳运动在各地段的不均一性来解释。

第二，“完备的”旋回沉积作用理论使得人们在很长一段时间内不重视将含煤岩系沉积作用与现代沉积作用进行对比研究。

第三，旋回的建立和划分往往带有主观性。由于集中注意于选择某些需要的特征或期望建立一个“理想的”旋回，而忽略了对沉积学解释所必不可少的重要事实。旋回似乎比组成旋回的岩石更重要。甚至出现了只根据简单的岩性描述就在室内划分旋回的情况。

以上所指出的问题，在相当程度上妨碍了煤地质学的发展，使我们无法识别含煤岩系沉积环境的多样性和沉积过程的复杂性，因此，也就难于从聚煤规律的角度作出深入的总结。

沉积模式阶段

这个阶段是从50年代大规模研究现代沉积，特别是密西西比河三角洲沉积开始的。这些工作证明三角洲朵体的建设和废弃，完全可以导致一定范围内的海侵和海退，从而产生旋回结构。Coleman等在《密西西比河三角洲平原的旋回性沉积作用》（1964）这篇文章中对此做了详细说明（图1-2）。在同一时间，Beerbower（1964）在谈到冲积平原上的旋回性沉积作用时指出，存在着两种基本类型的旋回性：自旋回（autocycle，

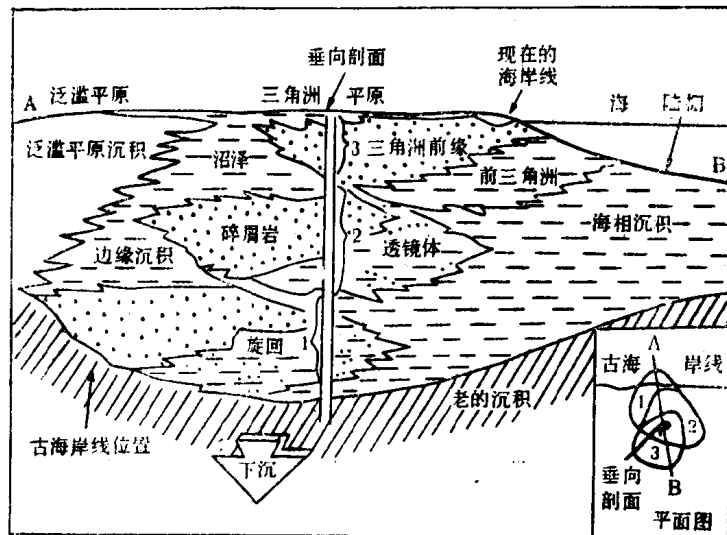


图1-2 由于朵体位置迁移而形成的三角洲多旋回沉积层序
(据Coleman等，1964)

或译为内因旋回)和它旋回(allocycle,或译为外因旋回)。自旋回的形成不是由于总能量和注入沉积体系的物质补给量的变化,而完全是由于能量及补给物在沉积体系内的再分配。形成机制包括河道侧向迁移、袭夺、决口以及由于压实和对负载的均衡调正而导致的沉降等。它旋回的形成则是由于能量和物质补给量的变化,其影响因素有海平面(海水水位)的升降、气候的变化、物源区的不规则上升以及盆地的间歇性沉降(除沉积负载之外的其它原因导致的沉降)等等。自旋回概念的提出无疑是沉积学和沉积地质学的一大进展,特别是对正确解释垂直层序,恢复一个地区的沉积史,有很大的推动作用。

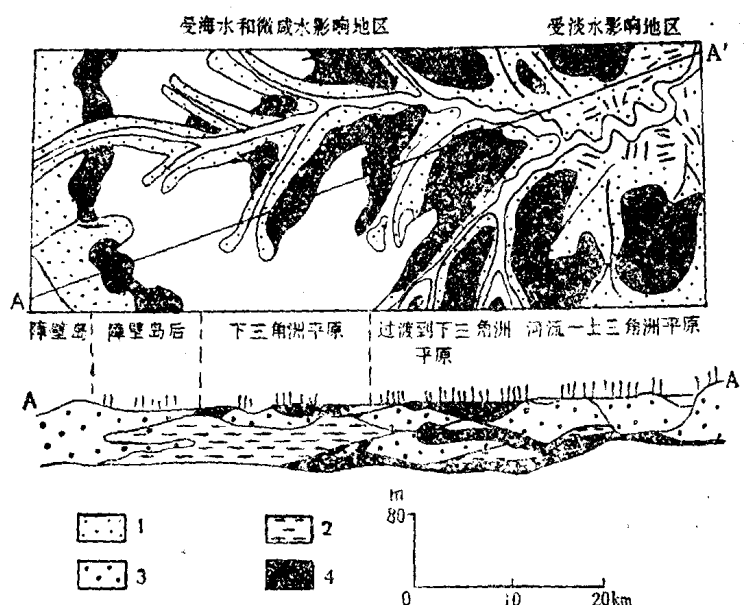
根据现实主义原则与“将今论古”的方法——现代可以成为了解过去的钥匙,对比研究美国东部阿帕拉契地区石炭纪含煤岩系和现代密西西比河三角洲沉积,Ferm及一些人认为,阿帕拉契地区石炭系旋回层中简单的海侵、海退过程完全可以用与现代密西西比河三角洲相类似的三角洲沉积作用过程来解释。Ferm和Williams(1963)首先提出了阿帕拉契区石炭系阿勒格尼(Allegheny)组的沉积模式。Coleman(1969)在另外一些地区做了检验,并与密西西比河三角洲作了详细对比。Ferm(1974)将阿帕拉契区石炭系阿勒格尼组的沉积模式进一步具体化,划分出了冲积平原、上三角洲平原、下三角洲平原、障壁岛和障壁岛后环境,并把地层的纵向、横向变化与环境分带联系起来。Horne等(1978)又对该模式进一步修改、补充,建立了目前已为大家所熟知的、适用于滨海地区成煤环境的沉积模式(图1-3)。Horne等详细论述了各个环境带的沉积特征及成煤作用特点,特别强调了上、下三角洲平原过渡带在形成有工业价值煤层上的重要性,认为美国东部地区石炭纪大部分重要煤矿区都位于这个带内。

自60年代阿勒格尼组沉积模式提出以来,含煤岩系沉积环境的研究有了突飞猛进的发展,其主要表现是:

第一,随着这期间整个沉积学和沉积地质学的迅速发展,识别了愈来愈多的含煤岩系沉积类型,建立了多种多样的含煤岩系沉积模式。作为阿勒格尼组三角洲沉积模式的自然扩展,首先建立了河流平原的以及滨岸带(包括障壁岛后)的沉积模式,随后又出现了冲积扇、内陆湖泊等的沉积模式。关于三角洲沉积类型与聚煤作用的关系,一度曾经认为,只有以河流作用为主的高建设性三角洲才有重要的聚煤作用发生;后来逐步认识到,以波浪作用为主的和以潮汐作用为主的三角洲也同样可以有重要的聚煤作用,并相应地建立了这些类型三角洲的沉积模式和聚煤模式。可以说,过去的20多年是含煤岩系沉积模式走向多样化的时期。

模式是认识复杂自然现象和过程的、理想的简化形式。模式摒弃了许多细节,归纳出主要特点,因此,具有更大的普遍意义。以欧洲和北美各时代含煤岩系的实际资料为基础所提炼的各种沉积模式在世界各地得到比较成功的应用,说明这些模式的建立基本上是合理的。

第二,含煤岩系沉积模式的建立和应用,从一开始就十分注意与煤矿床的勘探和开发紧密结合。Horne等(1978)把经过修改、补充的阿勒格尼组沉积模式称为煤矿勘察中的沉积模式(depositional models in coal exploration)。他们认为,某个煤田的沉积模式一旦确立,就可用于预测该区煤层的分布,并圈出最适于进一步勘察的地区。这样的模式还可不同程度地用于了解一个煤矿井各个煤层的厚度与质量变化,以及顶板或底板地层性质的变化,从而成为矿井设计中非常重要的辅助手段。国外一些地质学家已尝试着利用沉积模式



A 上三角洲平原区的垂直层序

B 下三角洲平原区的垂直层序

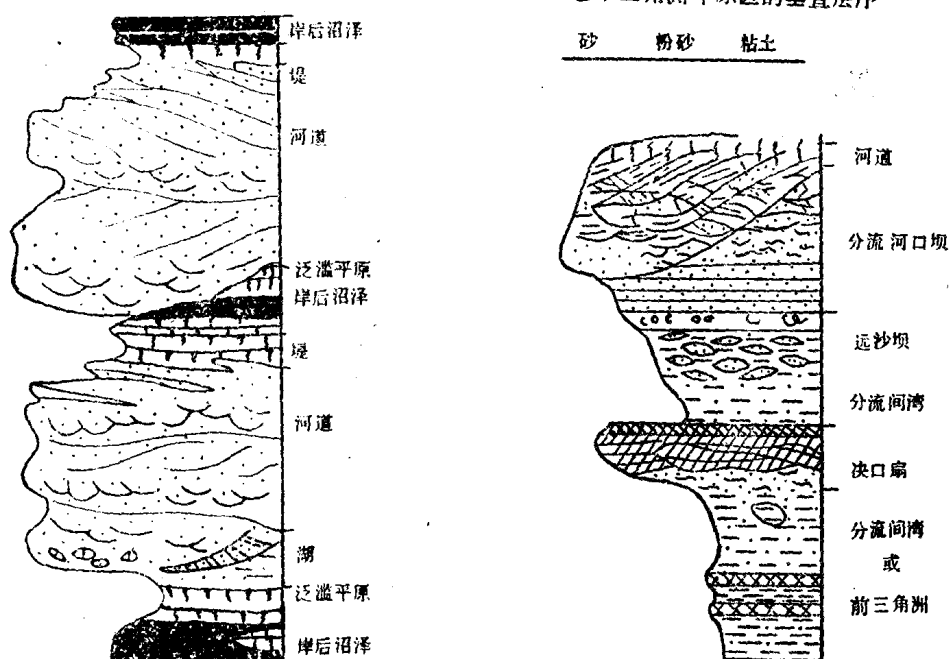


图1-3 适用于滨岸地区聚煤环境的沉积模式

(据Horne等, 1978)

1. 石英砂岩 2. 页岩 3. 杂砂岩 4. 煤

在相对薄煤区寻找厚煤层；在高硫煤区寻找低硫煤；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较好的地段。这些工作多数取得了较好的效果。

新近动向

Reading (1978) 曾正确地指出：“当一个新的、容易掌握的模式建立时，或当我们自己找到一种模式并往往对它过分热情时，最容易忽略别的假设”，“一个人确信自己的假设

是正确的，这常常标志着它对其它假设知道得甚少”。

笔者认为，在当前热潮般地出现各式各样含煤沉积模式的时候，高度重视某些批评性的或不完全相同的意见是完全必要的，这将使我们能避免片面性，更好地推动煤地质学的发展。当涉及到这一问题时，笔者特别强调新近由McCabe (1984) 和Ferm等 (1984) 所阐述的某些重要观点。

McCabe注意到在现有的各种含煤岩系沉积模式中，大都是把聚煤作用和活动碎屑沉积体系联系到一起。以河流和三角洲含煤沉积为例，现有模式十分强调在活动河道两侧泛滥平原上，在活动分流河道间平原上有重要的煤（泥炭）堆积。McCabe查阅了大量文献资料后发现，在作为河流聚煤模式原型的密西西比河上三角洲平原上，河道两侧泛滥平原中形成的“泥炭”灰分很高，其无水基平均灰分值为72.3%，最低的也达到55%；在作为三角洲聚煤模式原型的密西西比河下三角洲平原上，即使淡水沼泽中形成的“泥炭”，有机物含量也只有20—50%，而许多微咸水沼泽沉积中，有机质含量更少。许多作者都是选择最干净的样品（有机质大于75%）来计算和表述泥炭平均特征的。McCabe指出，发育在密西西比河泛滥平原上的“泥炭”虽只是偶尔地被携带沉积物的洪水淹没，但因为泥炭堆积速度缓慢，稀少的洪泛事件也能对灰分的增高起重要作用。

基于上述情况，McCabe认为必须对现有各种主要是立足于活动碎屑沉积体系的含煤岩系沉积模式做重要的修正。他的主要意见可归纳为以下三点：

第一，大部分活动碎屑沉积环境尽管可以发育广布的沼泽，但并不是有工业价值的煤层（泥炭层）形成的有利场所。聚煤作用主要是与废弃碎屑沉积环境中发育的沼泽有关。

第二，分析聚煤环境和聚煤规律时，不应将煤层下伏沉积物的重要性估计过高，因为在聚煤作用发生之前曾有过比较长时间的间断。河流平原煤、三角洲平原煤之类的说法不一定贴切。聚煤作用可能只是利用了原先环境（如河流平原、三角洲平原等）的低洼地形，换句话说也就是当聚煤作用发生时，这些环境已不存在（已经废弃）。煤层可能与上覆沉积物的关系更为密切。在决定煤的特征方面，上覆沉积物至少与下伏沉积物具有同等的重要性。

第三，有工业价值的聚煤作用如果确是与活动碎屑沉积环境有关的话，也应该是远离活动的水系（如活动河道和分流河道），或是有特殊的水介质条件，使水流携带的碎屑物质在沼泽边缘地带大量沉淀，或是与凸起沼泽（高位沼泽）有关，使泥炭免遭携带碎屑物质的水流影响。凸起沼泽对形成低灰煤有着重要意义。过去在论述聚煤作用时，十分强调低洼沼泽（低位沼泽），而凸起沼泽的重要性显然是被低估了。

Ferm等 (1984) 指出，原先由Ferm (1974)、Horne等 (1978) 根据阿帕拉契区石炭系阿勒格尼组资料所建立的沉积模式，曾设想煤层厚度及煤层侧向连续性与三角洲环境分带有密切关系，即上三角洲平原煤层是厚的、透镜状的，下三角洲平原煤层是比较薄而连续性较好的，上、下三角洲平原过渡带的煤层是比较厚而连续的，三角洲前缘障壁岛后的煤层是薄而不连续的。但近年来在阿帕拉契区其它地段，对波卡洪特斯组和组里弗组可采煤层的矿山资料所作的详细研究却表明，煤层厚度及侧向连续性与三角洲环境分带并不一致，例如贝克利煤层在障壁岛后是厚而可采的，在上三角洲平原带则比较薄的，而紧靠其上的苏埃尔煤层则完全相反，障壁岛后部分是薄而不连续的，上三角洲平原部分则不仅厚而且侧向连续。由此看来，已有模式未能对预测可采煤层的厚度和地区分布起理想中的作用，需要注意寻找另外一些控制可采煤体 (coal bodies) 的沉积因素。

Ferm等指出,在所述研究区内,煤厚变化存在着急剧分岔、逐渐变薄和水道冲刷等三种情况,其中第一种情况是主要的。在急剧分岔的煤分层之间有时出现厚的碎屑沉积体。研究煤层分岔的情况并与现代泥炭堆积物相对比,不难发现,地形是主要的控制因素。当沉积表面过低时,沼泽被淹没,造泥炭植物被破坏,已形成的泥炭部分地被富氧水体所分解,同时堆积了碎屑沉积物。当沼泽表面过高时,泥炭或造泥炭植物将被分解、破坏。对现代泥炭区的考察表明,这种“高”和“低”的地形差别往往只有几呎^①。

Ferm等认为,这种地形差别至少部分地与下伏沉积物的差异压实效应有关。当下伏为砂质、灰质、泥灰质等压实率较低的沉积物时,将出现略为高起的地形;当下伏为粉砂、粘土或泥炭等较易压实的沉积物时,将出现略为低洼的地形。还有资料表明,同沉积期的断层对地形也有控制作用。

Ferm等指出,由于所研究地段只是美国全部含煤地区中的一个很小的部分,因此,有关论点不一定能扩大到其它地区,但至少提供了进一步研究的方向。

以上笔者用较大的篇幅介绍了McCabe (1984)和Ferm等 (1984)的观点,目的在于说明,要想使已经建立起来的各种含煤岩系沉积模式能够有效地服务于煤矿床的勘察和开发(即建立所谓的勘察模式——coal exploration model),当前必须大力加强聚煤环境(或成煤环境——coal-forming environment,或煤的沉积环境——depositional environment of coal)和聚煤模式(或煤的沉积模式——coal depositional model)本身的研究。顺便指出,笔者在本书中将使用聚煤作用、聚煤环境和聚煤模式,而不是成煤作用、成煤环境、成煤模式等术语,其主要原因是,自50年代以来,我国广大煤田地质工作者已习惯于把由植物遗体转变为煤的生物化学、物理化学作用过程称为成煤作用,故沉积学研究中已不宜于再使用。

煤是以植物遗体转变成的有机物质为主并含有不同数量矿物杂质的沉积岩。煤(泥炭)的聚集对多种外界条件,如植物质料、气候、地形、地下水位、水介质特性、碎屑物注入量等等,有着十分特定的要求。只有各种适宜的外界条件的持续配合,才能形成有工业价值的煤层。不论是在现代的,还是在古代的碎屑沉积环境中,出现沼泽条件的机会都是比较多的,但并非所有的沼泽都有泥炭堆积,也并非所有的泥炭(煤)都是有工业价值的。聚煤作用的这个特点使得一般意义上对含煤岩系开展沉积环境和沉积模式的研究已显得远远不够。

从近期有关文献,特别是从第十一届国际沉积学大会后发表的《煤和含煤岩系沉积学》专集(1984)不难看出,聚煤环境和聚煤模式的研究已引起愈来愈多的沉积学家和煤地质学家的关注。他们的努力看来主要是集中在两个方向上:

第一,广泛开展对现代沼泽、泥炭沼泽和泥炭层的考察,加深对聚煤环境和聚煤作用控制因素的认识。总的说来这方面的研究工作开始得比较晚。60年代比较著名的有Frazier和Ozanik (1969)对密西西比河三角洲广布的树沼泽和草沼泽的研究。70年代比较著名的有Staub和Cohen (1979)对障壁岛后斯纳格底(Snuggedy)沼泽的研究,以及Spackman等(1976)对佛罗里达埃佛格累兹(Everglades)沼泽的研究。近年来,这方面的文献明显增多,其中比较重要的如Cohen (1984)对奥克弗诺基(Okefenokee)沼泽的研究,Styan和Bustin (1984)对弗雷泽河流三角洲泥炭的研究,Rich (1982)对若干河流平原沼泽的研究等等。近期工作的主要特点是十分注意从植物学、孢粉学、水化学、煤化学、煤

^① 1呎=0.3048米。

岩学、沉积学等方面进行综合研究。这些研究成果已被广泛地应用于与古代聚煤作用的对比研究。

当然，在把现代沼泽研究成果应用于古代聚煤作用时，持慎重态度是完全必要的。由于地质历史的发展，古代聚煤环境确有一些与现代泥炭堆积环境不同的地方。Galloway 等（1983）指出：“许多古代树沼泽和草沼泽，与现代的相比要大得多，表明了持续保持的平衡条件。现代树沼泽更能适应为第四纪所特征的不稳定条件，因而是相当不规则的。与地史上存在的、平缓的大片陆地不同，现代高差较大的地形带来了大量的碎屑注入物，从而限制了沼泽的范围。水系在许多古代聚煤盆地中要小得多，而且三角洲被波浪改造的程度较强，所造成的广布的障壁有利于大范围泥炭层的发育和保存”。笔者认为，在评价McCabe新近提出的观点时，以上所述各点是不能不予考虑的。

第二，在含煤岩系沉积环境和沉积模式的研究中，把煤层视为独立的沉积地质体而更加予以强调。他们十分重视研究煤体的三度空间形态，研究煤体与碎屑沉积体在垂向和横向上的相互关系，研究煤体与海相层的相互关系，研究煤岩成分和煤相，研究煤的灰分、硫分及其变化规律。可以说，既重视了作为聚煤作用大背景的含煤岩系沉积环境和沉积模式的研究，又加强了矿区范围内影响煤层、煤质变化的沉积控制因素的研究。

完全可以预期，通过广大的煤地质学家、煤岩学家、沉积学家的共同努力，煤和含煤岩系沉积环境和沉积模式的研究将取得新的、长足的进展。

在结束本章时，笔者还要强调指出，沉积模式的研究与旋回结构的研究绝不是相互排斥的。沉积学的进展和各种沉积模式的建立，有力地克服了原先旋回沉积作用理论和方法上的一些弊端，进一步推动了对旋回结构的研究。目前一般的做法是首先尽量区分自旋回和它旋回，而后把低级别的它旋回作为矿区和勘探区内地层层段对比的主要依据，并在低级别它旋回层范围内研究沉积环境和沉积体系的空间变化，在此基础上对更高级别的它旋回进行沉积环境和沉积体系演化的分析。当前还有些学者试图根据各地区的高级别它旋回研究全球性的海侵、海退规律。

第二章 植物遗体

的堆积方式和堆积环境

本章将阐述一些与植物遗体堆积并保存为泥炭有关的最基本的问题，尤其注意那些影响可采煤层形成的因素。

§1 植物遗体堆积方式

按成煤植物遗体是否经过搬运而后堆积的成煤过程，可把煤（泥炭）分为原地生成和异地生成两个大类。这样的分类既包含了植物遗体的堆积方式，也是指煤（泥炭）的生成和埋藏方式。

自然界绝大多数煤（泥炭）层都是原地生成的，即植物遗体是在原来生长的沼泽中堆积并转变成泥炭。沼泽范围内流动的水将部分植物遗体和已形成的泥炭短距离搬运后再堆积，称为微异地生成，它总的仍应属于原地生成的范畴。

若植物遗体经过相当距离的搬运再堆积而形成泥炭，则称为异地生成。已经形成的泥炭经过搬运而后再沉积，属于异地生成的另一种情况。Stach等（1975）描述过，在佛罗里达的西海岸，由潟湖的泥炭岛上冲落的大块泥炭顺流搬运，在搬运过程中逐渐破碎、变细，而后堆积在潟湖被障壁的部分，或是在海岸附近。

穿越过辽阔森林地带的河流将大量植物遗体搬运到河口及湖、海沿岸带的情况还是比较常见的，如密西西比河、亚马孙河、刚果河、勒拿河等都有这种情形出现。但由于富氧水流的分解作用和其它原因，能够保存成为泥炭的并不多。有几个描述较好的异地生成泥炭的实例，如在马哈坎河三角洲沿岸带，滩脊沿着岸线延伸7km，宽2km，有厚达2m的植物细碎屑堆积。在密执安的萨克湖，河口地带由砾—粉砂级植物碎屑堆积成厚达15m的泥炭层，最低的灰分也超过30%。我国河北赞皇和易县发现古河床的河湾处埋藏有大量躺倒的树干形成的泥炭，在泥炭层中找到了卵石和卵石夹层，推断系洪水期由山区冲来的大量树木搬运到河湾处，由于流速减小而形成的堆积。

由漂浮的植物遗体、泥炭碎块及由风搬运的孢子等与藻类遗体一道在湖底与有机质淤泥混合形成腐殖腐泥混合煤的情况较为多见，它们或是呈单独的煤层，或是作为腐殖煤中的夹层出现。可以肯定属于异地生成腐殖煤的实例甚少，这可能与异地生成泥炭多数未能保存下来有关，也可能与鉴别的难度较大有关。有些学者认为，二叠纪冈瓦纳大陆的煤中，有相当一部分物质是经过搬运的。另一些学者则认为，导致冈瓦纳大陆煤的岩石特征明显不同于北半球的主要原因更可能是气候和植物因素。

Прокопченко（1977）根据苏联顿涅茨煤田资料，对于原地和异地生成煤，提出了如下鉴定标志，可供参考。

主要是原地堆积的煤的特点是：① 在煤层底板中普遍见有发育很好的根座层，常见到根座逐渐过渡到煤；② 丝质体的结构和孢子的壳都保存完好；③ 形态分子基本上是无规则地分布在凝胶化基质中；④ 均一的或宽条带状的结构；⑤ 矿物杂质较少且分布均匀。

主要是异地堆积的煤的特点是：① 煤层的厚度、结构和物质成分变化极大；② 在底板中或是没有根座层或虽有但已被局部冲刷；③ 矿物杂质含量很高；④ 煤的岩石夹层中不含根座；⑤ 在靠近煤层顶、底板处可以见到煤朝炭质泥岩和泥岩的逐渐过渡；⑥ 煤中壳质组分的含量增高并在一些分层中富集；⑦ 结构凝胶化物质的含量超过均一凝胶化物质。

原地和异地混合堆积煤的特点是：① 在煤层底板中有保存完好的或被冲刷的根座层，这些根座层与煤的成因联系，有时因它们之间出现炭质泥岩或泥岩而出现疑问；② 矿物杂质含量高；③ 壳质组分显著地多于丝质组分，后者通常保存程度差；④ 角质层和孢子壳受到磨损；⑤ 稳定组的含量增高并在某些分层中富集；⑥ 煤层（组）中各种煤岩类型的含量比较平均，以均一的或木质镜煤结构的凝胶化物质为主的岩石类型并不占压倒优势；⑦ 煤层中有含根座和不含根座的岩石夹层。

§2 沼泽类型

植物遗体不是在任何情况下都能顺利地以原地生成方式堆积并转变为泥炭的，而是需要一定的条件。首先是要有大量植物的持续繁殖，其次是堆积的植物遗体不致全部被氧化分解，能够保存下来并转变为泥炭。具备这些条件的场所就是沼泽。草沼泽（marsh，或译为草本沼泽）中不生长树木，所形成的泥炭不含木质物质。树沼泽（swamp，或译为木本沼泽）含不同数量的木本植物，特别是在森林沼泽中，更是大树密布。有些沉积学文献中草、树沼泽不分，统称为沼泽（swamp）。

一、淡水、微咸水和咸水沼泽

淡水沼泽广泛分布于内陆地区，其成因或是由于湖泊等水体逐渐淤浅而沼泽化，或是由于洼地过分湿润而沼泽化。图 2-1 为德国西北部一个淡水沼泽的实例。这个地区原是冰川起因的湖泊，后来因植物生长堆积淤浅而沼泽化，可以看到湖心的有机质淤泥向湖滨逐渐过渡为细碎屑的淤泥、芦苇泥炭，

最后被森林泥炭所充填，形成缓慢而连续过渡的剖面。图 2-2 是由腐泥湖泊演化成为泥炭沼泽的示意图。在第一阶段，湖泊中心发育了藻类浮游生物等，它们死后落入湖底，形成腐泥层。沿岸的沼泽开始由湖岸向前推进，植物中死亡的部分构成了泥炭沉积。在第二阶段，泥炭已开始大量形成。在第三阶段介于腐泥和泥炭之间的水层减少到二者相互

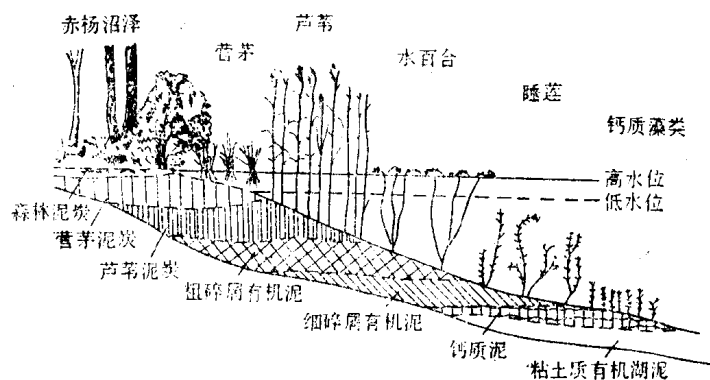


图2-1 植物生长充填着的湖泊和由不同类型的有机质淤泥和泥炭形成的剖面

(据Overbeck, 1950, 转引自Stach, 1975)

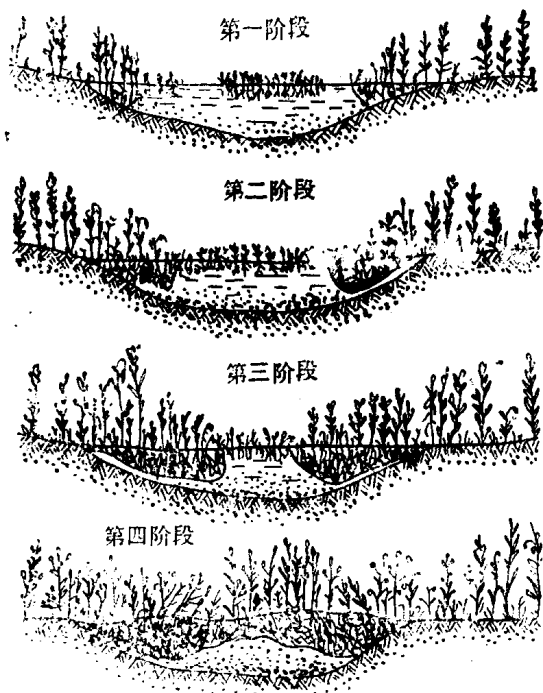


图2-2 湖泊为腐泥堆积所淤积，以及湖泊滨岸沼泽（或水生）植物丛生过程的四个阶段的示意图
(引自Жемчужников等, 1960)

但风暴期或异常高潮时仍有海水侵入，再加上地下水的咸化，沼泽水属于微咸水。不论是咸水还是微咸水沼泽，所生长的主要是海草（在现代海岸带主要为 *Spartina* 和 *Juncus* 等海草）。这里没有重要的泥炭聚集，所形成的通常是比较薄的泥炭，并具有高灰、高硫的特点。有时泥炭完全不发育，而只见到有草根穿插的、含铁质结核的粘土层。由微咸水草沼泽再向陆地方向，发育淡水草沼泽（fresh-water marsh）。这里有相当一部分地区可能是以漂浮草沼泽泥炭为

接触的程度，随草本植物之后，木本植物也开始由岸边向中心推进。在最后的第四阶段，在原来是湖泊的地方形成了具有木本植物的凸起沼泽。我国四川省西北部著名的若尔盖沼泽是湿地沼泽化的实例。这个沼泽位于岷山以西海拔3400m的高原上，四周被高山环绕，沼泽总面积达2700km²。这个地区降水量较大（年降水量为560—800mm），地下水得到充分供给；由于年平均湿度很大，气候又寒冷，水分蒸发很慢，因而地面常年积水并沼泽化，长满了喜湿的草本植物，普遍发育了1—6m厚的泥炭层。

淡水沼泽也广泛分布于滨海地带，其特点是朝海方向逐渐过渡为微咸水和咸水沼泽。

在温带地区，海岸带沼泽的分带情况如图2-3所示。最靠海一侧的是咸水草沼泽（saline marsh），这是潮汐作用能够影响到的地带，经常被潮水淹没；咸水草沼泽朝陆地方向过渡为微咸水草沼泽（brackish marsh），这里虽位于高潮线以上，

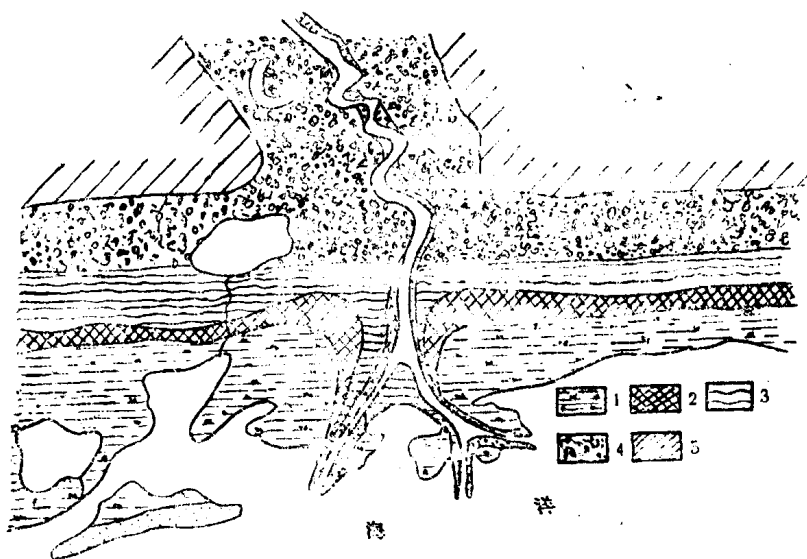


图2-3 咸水、微咸水和淡水沼泽分带示意图
(据Coates等, 1980, 转引自Galloway等, 1983)

1. 咸水草沼泽 2. 微咸水草沼泽 3. 淡水草沼泽 4. 树沼泽 5. 较老沉积物

主(图2-4)，缺少含植物根的底粘土，因而在古代地层中容易被错认为是异地成因的。在另外一些地方，通常是更靠陆地方向，淡水草沼泽也可以有厚达0.5—1m的根土层。总的说来，淡水草沼泽带已有比较重要的泥炭堆积。由淡水草沼泽带再向陆地方向，出现稳定的树沼泽环境，这里是聚积泥炭的最重要场所。当有河流平原发育时，滨海地带的树沼泽可以和河流平原上的树沼泽连成一片，朝上倾方向延伸很远。在河口处，淡水草沼泽可显著地朝海的方向突出。

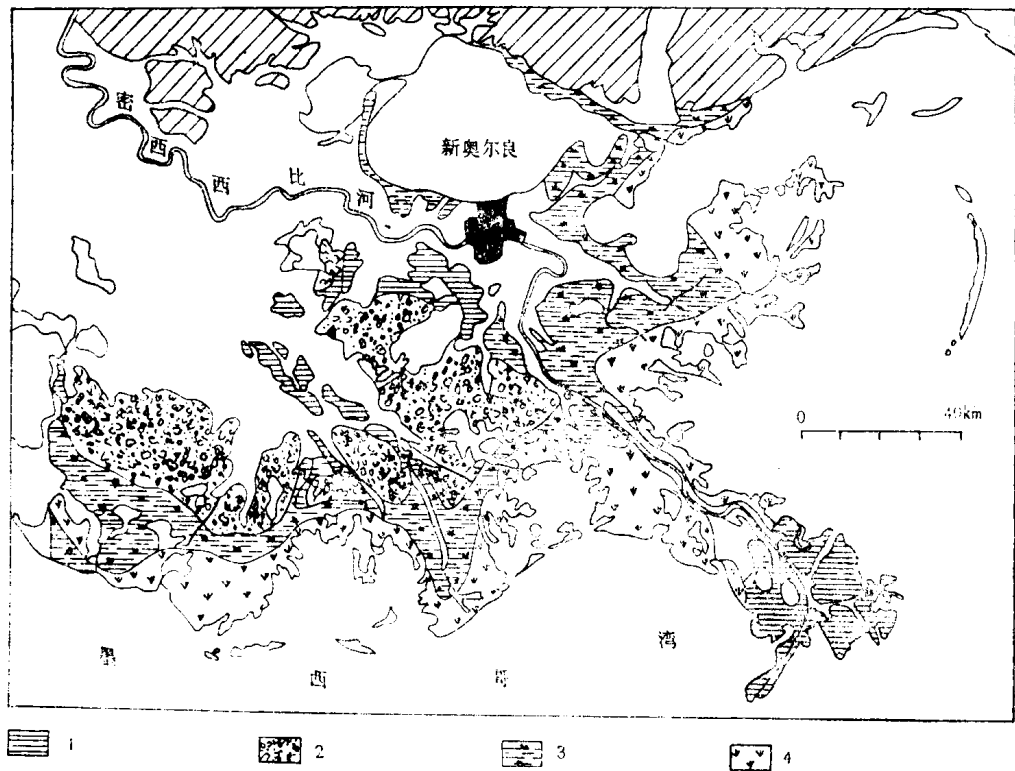


图2-4 密西西比河三角洲平原区草沼泽的分带

(据Frazier和Osanik, 1969和Saxena, 1976, 转引自Galloway等, 1983)

1. 淡水草沼泽 2. 漂浮草沼泽 3. 微咸水草沼泽 4. 咸水—微咸水草沼泽

在热带、亚热带地区的沿岸带，通常无草沼泽带，取代它们的是红树林沼泽，有时也有棕榈树—蕈帕桐生长。红树林沼泽朝陆方向直接过渡到淡水树沼泽。红树是一种具有鸡笼状支柱根的、高几米的树木，根部呈高跷状浅插入淤泥质土壤中(图2-5)。涨潮时，海水可淹没到支柱根以上，退潮时支柱根部分露出水面。关于红树林沼泽形成泥炭，在美国佛罗里达埃佛格累兹沼泽有过报导(图2-6)，但这里伴生的海相沉积物是碳酸盐。对于多数碎屑海岸带，由于大量粘土质的混入，最终形成的将只是富含有机质的、具植物根的粉砂质粘土，而不是泥炭(图2-7)。海水注入使pH值增高也促成泥炭物质的分解。Жемчужников等(1960)在描述红树林时也曾指出：“这些树木以其高跷状的根浅插入淤泥中，因此，大风暴时很容易被连根拔掉。其结果，在树木之间堆积了碎屑物质。这些碎屑物质与河流带来的和海中沉积的植物残体在一起，构成了类似于泥炭的沉积”。可以想象得到，这