

# 煤和含煤地层沉积学

( 国际沉积学家协会专著 )

R·A·拉赫马尼 编  
R·M·弗洛里斯

地 质 出 版 社

# 煤和含煤地层沉积学

(国际沉积学家协会专著)

R·A·拉赫马尼 编  
R·M·弗洛里斯

李廉清 等译  
李思田

地质出版社

## 内 容 简 介

本文集是第十一届国际沉积岩石学会议期间举行的、题为“煤和含煤地层”的专题讨论会文集。本文集的课题范围包括：煤沉积作用的一般模式；现代泥炭的沉积模式；煤沉积模式应用于开采；煤的组成与沉积环境；煤盆地的沉积构造。本文集在煤沉积学的最活跃、发展最快的一个领域，即聚煤模式方面，具有很好的代表性。

本书可供从事煤地质学、沉积学、沉积矿产研究的生产、科技和教学人员参考。

## Sedimentology of Coal and Coal-bearing Sequences

EDITED BY R. A. RAHMANI AND R. M. FLORES

SPECIAL PUBLICATION NUMBER 7 OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF  
SEDIMENTOLOGISTS PUBLISHED BY BLACKWELL SCIENTIFIC

PUBLICATIONS OXFORD LONDON EDINBURGH

BOSTON PALO ALTO MELBOURNE

1984

## 煤和含煤地层沉积学

(国际沉积学家协会专著)

R·A·拉赫马尼 编  
R·M·弗洛里斯

李谦清 等译  
李思田

责任编辑：牟相欣

地质出版社出版发行

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

开本：787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张：19.25 字数：450,000

1988年12月北京第一版·1988年12月北京第一次印刷

印数：1—1130册 国内定价：6.30元

ISBN 7-116-00336-3/P·292

## 译 者 的 话

本文集是作为国际沉积岩石学家协会 (IAS) 的专刊 (第7集) 出版的。本文集包括论文22篇, 其中18篇是1982年8月在加拿大哈密尔顿召开的国际沉积岩石学家协会第十一届国际沉积学会议期间举行的、题为“煤和含煤地层”的专题讨论会上所提交论文的一部分; 2篇是在会后征集的, 还有2篇是由其它出版物转印的。除这22篇论文外, 还有一篇由 R.A.Rahmani 和 R.M.Flores 在专题讨论会上的主题发言:《北美洲煤和含煤地层沉积学历史回顾》。

本文集中包括有我国学者的两篇论文: 缪奋的《中国东部含煤地层沉积作用的构造控制》; 李思田等的《中国东北部晚中生代断裂煤盆地的沉积作用和构造演化》。考虑到我国读者比较了解其内容, 故未译出。

本文集的课题范围很大, 有: 煤沉积作用的一般模式; 现代泥炭的沉积模式; 煤沉积模式应用于开采; 煤的组成与沉积环境; 煤盆地的沉积构造。涉及到的国家也很多, 在讨论会上提交的论文涉及到11个国家, 在本文集包括的论文中也涉及有7个国家, 有北美洲 (美国、加拿大)、英国、澳大利亚、亚洲 (中国、印度、日本) 等。

从当前国际煤地质学研究的进展来看, 本文集在煤沉积学的最活跃、发展最快的一个领域, 即聚煤模式方面, 仍然具有很好的代表性。

本书可供从事煤地质学、沉积学、沉积矿产研究的生产、科技和教学人员参考。

本书的翻译工作由中国地质大学煤田教研室组织, 译者和校者的姓名分别列于每篇译文的最末, 完稿后并由李廉清同志对全稿进行了审校。

译者 谨识

# 序

本文集包括22篇论文。这些论文是1982年8月在加拿大哈密尔顿召开的国际沉积岩石学家协会 (IAS) 第十一届国际沉积学会议期间举行的、题为“煤和含煤地层”的、为期两天的专题讨论会上所提交论文的一部分。这次讨论会由R.A.Rahmani和T.A.Ryer共同担任主席, 会间共提出35篇论文。为了使本文集更具代表性, 有两篇论文 (Flores和Hanley, McCabe) 是在会后征集的, 还有两篇论文 (Cohen, Styban和Bustin) 是由其他出版物转印的。

讨论会期间, H.G.Reading (IAS主席) 十分关注论文的质量, 敦促会议两位主席鼓励作者们提交论文全文, 以作为IAS的专集出版。在文集编辑初期, T.A.Ryer退出了编辑工作, R.M.Flores愉快地承担了共同编辑的责任。

讨论会课题范围很广 (见IAS文摘——1982), 涉及到11个国家。在向讲演者们征集论文时, 编者希望, 能够获得同样范围的课题, 涉及到同样多的国家。虽然这个目标未能完全实现, 但是本文集在煤沉积学的最活跃、发展最快的一个研究领域, 即成煤模式方面, 仍然具有很好的代表性。

没有作者们的共同努力, 出版这样一本文集显然是不可能的。为此, 我们谨向他们表示衷心的感谢。感谢国际沉积岩石学家协会办公室决定出版本文集, 特别要感谢 H.G.Reading和S.-D.Nio在早期阶段对我们的鼓励。感谢IAS的出版秘书B.H.Purser为本文集的出版付出了宝贵的时间。感谢Blackwell科学出版社Nick Parsons自始至终的合作。R.H.Affolter, E.S.Belt, R.M.Bustin, A.R.Cameron, D.J.Cant, T.Cross, J.Dixon, T.Elliott, A.Embry, D.W.Gibson, E.R.Gustason, F.J.Hein, F.Goodarzi, C.M.Jones, W.D.Kalkreuth, R.J.Knight, M.M.Lerand, D.G.F.Long, P.J.McCabe, J.R.McLean, A.D.Miall, G.E.Reinson, B.R.Rust, T.A.Ryer, J.D.Sanchez, C.T.Siemers, D.G.Smith, N.D.Smith, G.D.Stricker, A.Tankard, J.E.Vaninetti, D.M.Wightman和F.G.Young审查了论文, 在此一并致谢。

对加拿大亨特勘探公司Jennifer Ranger-McKenzie在抄写和秘书工作方面最适宜最周到的服务, 表示衷心的感谢。

R.A.Rahmani  
Romeo M.Flores

# 目 录

## 译者的话

## 序

|                                                      |     |
|------------------------------------------------------|-----|
| 北美洲煤和含煤地层沉积学历史回顾·····                                | 1   |
| 煤和含煤地层的沉积环境·····                                     | 7   |
| 澳大利亚东部二叠纪悉尼盆地和冈尼达盆地中与冲积扇共生的煤的岩<br>石组成和硫含量·····       | 33  |
| 美国怀俄明和蒙大拿州保德河盆地尤宁堡组(古新世)中的湖泊——<br>三角洲间煤·····         | 48  |
| 网结河沉积和共生的含煤河流沉积:美国怀俄明州保德河盆地北部古<br>新世尤宁堡组上汤河段·····    | 70  |
| 网结河流体系中煤的沉积作用:加拿大新斯科舍省乔金斯南部宾夕法<br>尼亚系坎伯兰群·····       | 86  |
| 印度宋—马哈纳迪和戈埃尔—达莫达尔河谷盆地地下二叠统煤系的河成<br>模式·····           | 100 |
| 澳大利亚贡叶拉地区二叠纪河流相煤系的发育·····                            | 122 |
| 加拿大阿尔伯达省雷德迪尔区晚白垩世河流—湖泊相含煤地层·····                     | 134 |
| 北达科他州西南部下尤宁堡组(古新统)煤沉积与河流三角洲相的关<br>系·····             | 147 |
| 美国新墨西哥州盖洛普煤田的上白垩统吉布森—克利里层段的岩性关<br>系·····             | 162 |
| 美国犹他州某些晚白垩世地层中的海侵海退旋回和煤层赋存·····                      | 177 |
| 奥克芬诺基树沼:海岸平原煤的与滨线相关的沉积模式的低硫分端元<br>组成·····            | 185 |
| 弗雷塞河三角洲泥炭矿床的沉积学——某些三角洲煤的现代类似物·····                   | 193 |
| 可采煤体的沉积控制·····                                       | 219 |
| 英国东米德兰煤田的决口扇沉积物和三夸特斯煤层(石炭纪)的顶板<br>岩性·····            | 232 |
| 美国印第安纳州吉布森县彼得斯堡岩组(宾夕法尼亚系)的莱斯利谢<br>米特里和弗朗西斯科分流河道····· | 248 |
| 控制美国亚拉巴马州黑沃里尔盆地普拉特煤层的沉积作用的地质因素·····                  | 254 |
| 澳大利亚库珀盆地显微煤岩类型与沉积环境的关系·····                          | 266 |
| 美国肯塔基州东部中宾夕法尼亚统上埃尔克霍恩三号煤的煤岩学·····                    | 279 |
| 日本早第三纪煤中硫的富集·····                                    | 291 |

# 北美洲煤和含煤地层沉积学历史回顾

R.A.Rahmani, R.M.Flores

## 摘 要

有关煤和含煤地层沉积环境的概念的发展,在北美也许可以最好地进行追溯,因为在对旋回沉积进行了激烈争论之后,旋回沉积的概念发生了戏剧性的变化。从19世纪80年代末期至20世纪中叶的旋回沉积概念时代,给煤系中沉积岩的地层描述和分类提供了基础。这一时代还试图煤系沉积学和沉积环境的原理统一起来。随后,在20世纪中叶以后对现代环境的广泛研究得出把了一些新的概念,而摒弃了旋回沉积时代的一些概念。旋回沉积后时代注意到可以应用有关三角洲、障壁和河流作用过程的现代概念来了解含煤岩层问题。这种研究方向最终导致对现代泥炭的物理特征和化学特征进行深入的研究。这些概念的发展将在本文集中进行评述,它开辟了煤和泥炭矿床沉积学研究的其它途径,其目的是在对煤和有关能源进行勘探和开发好时更好地利用所确立的概念。

## 引 言

现代找煤工作的发展,促使大学、政府机构和私人公司在有关煤的成因、形成和沉积环境的沉积学研究方面,获得了引人注目的发展。在美国地质学会、美国石油地质学家协会、国际沉积岩石学家协会、国际河流会议、国际煤勘探讨论会、国际石炭纪地层和地质会议这样一些地区性、国家和国际性会议上提交的论文的数量持续增加,也反映了煤研究工作的增长。特别强调沉积学、岩石学、地球化学、资源评价和开采的专门性的煤地质学会议的数目也在增加,例如,两年一次的落基山煤地质讨论会、美国石油地质学家协会的短训班和墨西哥湾海岸褐煤会议。

本专刊所介绍的煤研究中最重要领域是煤的沉积环境。该领域涉及到许多相关的分支学科,如:沉积学、岩石学、地球化学、古植物学和煤矿床古地理学。

煤的沉积学与煤及有关碎屑岩和碳酸盐岩的地层学、沉积作用和沉积环境有关。煤岩学或煤的显微镜研究涉及到在煤块或煤碎屑颗粒的透明薄片或光片(Stach, 1975)中可见的显微组分或有机组分。煤的地球化学研究确定有机物质和伴生无机组分的成分及其成岩作用。煤的古植物学是根据它们的孢粉体(成泥炭植物的孢子和花粉)和宏观植物的组成来确定。沉积区的古地理研究需要与由煤的沉积学、岩石学、地球化学和古植物学获得的资料进行综合,因为这些学科与共生沉积岩有关。虽然这些研究煤的各种分支学科是相互联系的,但煤沉积环境领域的研究者往往是独立地进行工作的,研究成果发表在各种出版物中。只是到最近,在共同性的会议(例如,1978和1982年召开的国际沉积学会议)期间,这些研究工作才得到了综合,因而对煤沉积环境获得了更全面的了解。本专刊上发表的



研究煤的各分支学科的许多论文证实了这一结论。

煤沉积学是一门公认的多学科科学,其发展与地层学概念演化中的两个重要时代密切相关。第一个时代是旋回沉积时代,涉及到对含煤地层中岩石的重复层序的认识,把该层序解释为沉积(或侵蚀)事件的产物,提出了这些现象的因果解释;对沉积旋回的确切定义及其成因都有很多的争议。这一时代几乎延续了60年,从19世纪末延续到20世纪中期。

煤沉积学演化中的第二个时代开始了20世纪50年代。到70年代它占据了主导地位,这是由于世界能源危机这样的事件,及由于对现代碎屑沉积环境(如三角洲、河流、泻湖和障壁岛)以及它们与泥炭形成的关系进行研究所致。第二个时代可以称之为旋回沉积后时代。

## 旋回沉积时代

欧洲和北美的石炭纪陆源含煤沉积物中的海相岩石夹层,一般认为是由于在低洼海岸平原上广泛的海侵和海退所致。Weller (1930)、Wanless和Weller (1932)把北美宾夕法尼亚纪岩层中的每一对海退—海侵岩层,称之为旋回沉积。在30年代初期到40年代,这些旋回沉积的性质和成因成为许多争论的对象(Ashley, 1931; Wanless, 1931; Wanless和Weller, 1932; Wanless和Shepard, 1936; Weller、Herbert和Dunbar, 1942),争论的主要点是海侵和海退的构造成因或海平面升降成因。

事实上,宾夕法尼亚纪岩层中的旋回沉积作用是由Udden (1912)在伊利诺斯盆地中首次进行描述的。Udden所描述的垂直旋回层序自下而上是:根土岩(底粘土)和煤,海相灰岩和(或)页岩,粉砂岩和砂岩,再往上,又覆盖着另一层根土岩和煤。Udden (1912)按照旋回沉积作用来解释这一层序。这种旋回层序开始是泥炭和下伏古土壤(煤和根土岩)的沉积,在这些“非海相”事件之后,盆地由于海侵而沉降,随后沉积海相灰岩和页岩。另外的粉砂和砂的沉积使盆地表面升高到沼泽和土壤能够再次形成随后的泥炭和根土岩的高度。Weller (1930)在海相层之上的砂层的底部识别出一个侵蚀事件或不整合,导致了对海平面上升和下降的争论。

Weller (1930)、Wanless和Weller (1932)的文章对旋回沉积概念的影响,反映在与美国 and 欧洲地质学家所表达的旋回沉积作用和地层学有关的一些原理上(Krumbein和Sloss, 1963; Merriam, 1964; Duff、Hallam和Walton, 1967)。全世界许多与含煤和非含煤岩层有关的论文表明了旋回沉积的广泛普及。在70年代以前(Ferm, 1974, 1975),还用含煤岩层来表示已确立的自然过程中的旋回性概念,往往耽误了旋回层序与现代类似物的对比。在70年代以前,认为美国中部大陆和阿巴拉契亚地区成煤海岸平原的海侵与构造活动和海平面升降有关的观点很普遍,并用它来解释煤聚积的机理。Ferm (1970)和Wanless等 (1970)分别在阿巴拉契亚北部和伊利诺斯盆地作了详细工作,这些工作往往重新对石炭纪煤系的沉积学和地层学进行研究。这些现在作为这两个盆地的煤沉积作用模式的关键性文章表明,在阿巴拉契亚高原北部阿勒格尼群的煤聚积过程中,三角洲沉积作用及其有关过程是最重要的因素。Ferm (1970)断定,旋回沉积中的简单海侵和海退过程,可以用与三角洲沉积作用有关的作用过程最好地加以解释,这些三角洲沉积作用可以与密西西比河三角洲的沉积作用相比拟。虽然Wanless等 (1970)宣称,在伊利诺斯盆地



的煤聚积过程中,三角洲沉积作用是重要的因素,但是他们仍然坚持将经典的海侵—海退旋回作为中部大陆旋回沉积的成因。因此,尽管现在公认沉积作用最为重要,但怀疑和争论却仍在继续。

## 旋回沉积后时代的变革

在Ferm (1970) 和Wanless等 (1970) 的工作之后,为阿巴拉契亚地区和伊利诺斯盆地所提出的三角洲模式并没有很大的改变 (Donaldson, 1974; Donaldson、Presley和Renton, 1979; Englund, 1974; Pryor和Sable, 1974; Ferm, 1974; Horne等, 1978)。这些模式的扩展,特别是阿巴拉契亚地区煤沉积作用的模式的扩展,导致了对共生的海岸环境,其中包括障壁后沼泽 (Hobday, 1974; Milici, 1974) 和冲积平原沼泽 (Ferm等, 1971; Pedlow, 1979) 等重要的成煤环境的认识。在Ferm等 (1979) 的文章中,以及Ferm从前的学生 (路易斯安那州立大学和南卡罗来纳大学) 和助手的一系列文章中,可以看到对北美东部阿巴拉契亚地区石炭纪沉积环境的全面描述。

在按照现代沉积环境来模拟北美东部和中部大陆的沉积环境的这些初期尝试之后 (Dapples和Hopkins, 1969; Ferm, 1970; Wanless等, 1970), 类似的研究工作很快扩展到了墨西哥湾沿岸平原和落基山区的中生代和新生代含煤岩层。在这些地区,虽然曾经作过一些把落基山区的白垩纪含煤岩层 (Young, 1955, 1966)、墨西哥湾沿岸平原的第三纪煤矿床 (Plummer, 1941, 1945; Fisher, 1964) 与旋回沉积作用相连系的尝试,但旋回沉积概念对确定煤矿床的沉积环境的影响,不如在美国中部大陆和东部那样明显。

对得克萨斯州的第三纪沉积及其与煤产出的关系, Fisher (1968)、Kaiser (1974)、Kaiser、Johnston和Bach (1978) 曾作过讨论,他们证明,这些煤矿床一般在三角洲、障壁后和河流环境中发育得最好。Fisher (1968) 证明,在三角洲和河流环境中形成的煤明显不同;与河流有关的煤矿床呈长条状,低硫低灰,由木本植物残体组成,而与三角洲有关的煤呈板状,高硫高灰,由非木本植物残体组成。与在阿巴拉契亚地区和伊利诺斯盆地主要依靠露头所进行的研究不同,在得克萨斯州,对煤沉积作用的模拟主要基于地下地球物理测井。砂体几何形态是基于与煤等值线图相连系的区域砂百分率图、纯砂图和最厚砂层图确定的,它们是解释煤的沉积环境的基础 (Kaiser等, 1978)。

对落基山地区白垩纪和第三纪含煤岩层的沉积环境, Murray (1977), Hodgson (1978), Carter (1980) 和Gurgel (1982) 作过最好的讨论。白垩纪和第三纪煤的沉积环境不同,前者发育在科迪勒拉高地与白垩纪陆缘海之间的海岸平原上,而后者则形成于山间的河控和湖控盆地中。白垩纪成煤环境主要是三角洲的和冲积的 (Weimer, 1977; Flores, 1980)。三角洲煤沉积在从浪控 (Balsley, 1980; Horne等, 1980)、河控 (Flores等, 1982; Ryer, 1981; Flores和Tur, 1982; Lawrence, 1982) 到潮控 (Rahmani, 1983) 的环境中。虽然在白垩纪期间以三角洲环境为主,但在整个白垩纪期间也可以形成次要的障壁后煤 (Young, 1955; Flores, 1978, 1980; Flores和Erpenbeck, 1981; Johnson和Vaninetti, 1982; Rahmani, 1983; Flores等, 1984)。在落基山区南部,白垩纪煤形成在冲积环境中 (Flores, 1984)。虽然对煤和有关沉积物的解释主要涉及其中具经济价值的煤矿床发育得最好的白垩系,但Blakey和Gubitosa (1983) 曾试图解释较老

的中生代含煤岩层。他们认为,犹他州南部和亚利桑那州北部的三叠纪含煤沉积是在辫状河和曲流河系边缘的湖沼环境中形成的。

落基山区的第三纪煤矿床或是在湖控的或是在河控的山间盆地中形成的。在盐湖盆地中,如在尤因塔盆地和格林河盆地中,煤是在与三角洲和河流系统有关的湖沼环境中形成的(Surdam和Wolfbauer, 1975; Ryder, Fouch和Elison, 1976; Fouch, 1983)。在古湖泊波动边缘附近形成的与三角洲有关的煤,在成分上看是腐泥煤(来源于藻类),与来源于木本植物的与河流有关的煤相反(Fouch, 1975)。基本上为湖成的盆地中的煤矿床一般无经济价值,但却是石油和天然气的重要源岩。Roehler (1979)报道了一个在弗米利恩河盆地的湖沼—湖泊环境中形成的潜在可采煤层。第三纪盆地中最有利的成煤环境与河流环境有关,例如,科罗拉多州北派克盆地(Hendricks, 1978),科罗拉多州桑德沃什盆地(Beaumont, 1979),怀俄明州和蒙大拿州的波德河盆地(Obernier, 1978; Ettridge, Jackson和Youngberg, 1981; Flores, 1981, 1983),北达科他州的大霍恩盆地(Hickey, 1980),丹佛盆地(Kirkham和Ladwig, 1979),威利斯顿盆地(Rich和Goodrum, 1982; Winczewski和Groenewold, 1982)。在这些盆地中,在漫滩沼泽中形成的煤与冲积扇、辫状河和网状河系统有关。更重要的是,在洪泛平原湖泊附近形成的漫滩沼泽,受到构造沉降的影响,导致地下水位的下降、泄水条件的变坏(Obernier, 1978; Winczewski和Groenewold, 1982; Flores, 1983)。

## 现代泥炭类似物

前面对含煤层序沉积模式的讨论表明,冲积环境、三角洲环境和海岸环境都是煤聚积的可能场所。这些环境的相对意义随盆地的类型、地质时期和构造条件而不同。对这些不同模式的批判性检验取决于对现代类似物的认识。但是,现代成泥炭环境的研究落后于煤矿床的研究。Dapples和Hopkins (1969)作了现代成泥炭环境与古代成煤环境对比的初步工作。Frazier和Ozanik (1969)的经典工作表明,密西西比河三角洲平原包括有广阔的树沼和草沼,其中的成泥炭植物形成厚的有机沉积物。密西西比河三角洲淡水树沼中的条件确实是这样的(Hall和Penfound, 1939; Montz和Cherubini, 1973; Kusters, 1983)。

障壁后树沼也是重要的成泥炭环境(Staub和Cohen, 1979; Cohen, 1973, 1974, 1975; Spachman等, 1974)。这种环境以位于佐治亚州特雷尔里奇障壁岛向陆一侧的奥克芬诺基树沼,位于南卡罗来纳州更新统障壁后的斯纳格迪树沼最为典型。北卡罗来纳州外滩障壁系统向陆一侧的大迪斯马尔树沼,是成泥炭障壁后环境的另一个实例(Whitehead, 1972)。这些障壁后环境也出现在斯里兰卡的马图拉亚维拉树沼(Amartunga, 1970),它发育在一个长形障壁沙嘴向陆一侧的泻湖充填物上。

Rich (1982)认为,不应低估与河流有关的树沼的意义,因为这些树沼大多是泥炭堆积区。Rich指出,在美国南部各州可以找到现代河流系统的树沼(例如,佐治亚州的下奥尔塔马霍河、萨旺尼河和圣玛丽斯河,阿肯色州的怀特—阿肯色河,以及沿密西西比河的大部分河段)。沿巴西、玻利维亚、阿根廷和巴拉圭的巴拉那河和巴拉圭河也报道有成泥炭的河成树沼(Instituto de Pesquisas Tecnologicas do Estado do São Paulo,

1981; Lappalainen, 1980)。在刚果盆地、马里的尼日尔河、肯尼亚的洛里安沼泽和博茨瓦纳的奥巴万戈沼泽中也有与河流有关的树沼 (Rich, 1982)。Rzoska (1974) 描述了苏丹南部的与河流有关的树沼, 在那里, 在曲流河系统的边缘的大量牛轭湖和洪泛盆地中有泥炭形成。

其它现代成泥炭沼泽是锅形树沼和沼泽、岩溶树沼和草沼、滩脊和滩槽树沼、蓄水树沼、冰川湖树沼和厚苔沼 (Rich, 1982)。还有沉降的或低洼的岸线树沼 (Spachman, Riegal和Dolsen, 1969, ) 在百慕大碳酸盐海台上有富含有机质的湖泊盆地 (Hatcher, 1978)。但是, 这些环境在地质记录上可能不如三角洲、障壁后和冲积环境那样重要。

上述所有研究都是有关潮湿的热带至亚热带地区的泥炭的。我们对潮湿温带的可能成煤的泥炭的了解还是空白 (Styan和Bustin, 1984, 是例外), 对其它高纬度地区也是这样。Legun (1980), Legun和Rust (1981) 研究了加拿大新不伦瑞克的宾夕法尼亚纪煤, 认为可能存在有半干旱成煤环境。即使过去或现在存在有这种环境, 它们也未必能代表很有意义的成煤泥炭。但是, 对这种可能的成煤环境还有必要进行研究。

对现代成煤环境的研究仍处于初期阶段, 需要进行更多的研究。适用于煤研究的这类研究, 必须包括下列方面: (1) 泥炭液体的地球化学; (2) 有机质的岩石学; (3) 古植物学; (4) 碎屑含量和无机质矿物成分; (5) 泥炭的厚度及几何形态; (6) 泥炭与地形的关系; (7) 泥炭—树沼与附近陆源碎屑物质蚀源区的关系。

## 煤和泥炭的进一步沉积学研究

McCabe (1984) 最近对成煤泥炭树沼附近陆源沉积作用的经典模式进行了评论。McCabe在对与陆源碎屑蚀源中心直接相邻的煤和泥炭树沼和草沼有关的文献作广泛研究之后得出的结论是, 这些泥炭似乎不可能形成有工业价值的煤矿床, 并提出要重新审查这些模式。正如McCabe所指出的那样, 成煤泥炭可以在与废弃的碎屑相系统伴生的树沼和草沼中形成。

我们认为, 最能明显增进我们对成煤环境的了解的研究领域是:

(1) 对位于所有纬度和气候带的现代泥炭进行系统的研究。泥炭堆积速率部分地受气候控制。Stach (1975) 指出, 婆罗洲的热带树沼有利于泥炭的快速堆积, 其堆积速率每4000年达17m。这项研究应当包括以上所讨论的地区。

(2) 应用已确立的地层学原理 (例如, Ryer, 1984) 来认识异常厚的煤的堆积。煤的堆积也可能受构造活动的影响, 如新几内亚一个沉降前渊煤盆地所示的影响, 该盆地内一个很厚的新生代地层层段含有大量的煤矿床 (Stach, 1975)。

(3) 继续利用煤岩学和地球化学作为沉积环境及其与泥炭沉积的关系的直接指标。虽然数量有限的研究工作曾试图把泥炭岩石学与煤的有机体或显微组分联系起来 (Cecil, Stanton和Dulong, 1981; Cohen和Spachman, 1980), 但这些研究工作的范围却有限。

(4) 需要了解作为煤层对比手段的煤的孢粉史, 作进一步的地层环境研究 (Tschudy, 1971; Kosanke, 1977)。这种类型的研究, 与以评价孢子、花粉和其它有机质为目的的煤岩学研究相结合, 是找油的一种很有价值的手段 (Bostick, 1971)。

(5) 在煤的勘探中广泛应用地震方法。这种传统技术将向煤沉积学家提供非常必需

的煤的连续的三维图象，它有助于解释地下煤的沉积环境。Vaninetti (1982)报道了在煤勘探中应用地球物理方法所获得的成功。

(6) 我们认为，煤的沉积环境的模拟现在处在这样的水平上，即可以利用煤层的几何形态来预测周围碎屑岩的环境；这种解释方法广泛地应用于石油工业。其实例是：(a) 煤向海尖灭可以绘制海岸线；(b) 线状薄煤带周围是厚煤透镜体，这表明有河道系统存在。用地球物理测井方法，煤比碎屑岩更容易鉴别，使这种方法能成功地对含烃岩层进行地下填图。

#### 参 考 文 献 (略)

李濂清 译 乔永胜 校

# 煤和含煤地层的沉积环境

P. J. McCabe

## 摘 要

大多数已发表的含煤地层沉积模式都提出,煤是由在三角洲、冲积平原和海岸地区低洼地带的沼泽内形成的泥炭所产生的。对文献的述评表明,这类模式可能要作些修改。由与模式中描述的沼泽相类似的现代沼泽所产生的泥炭,含有大量的由洪水和风暴带入的无机物质。这种泥炭如果在地质历史中得以保存,这将转变为碳质泥岩,或者充其量是高灰煤。

有些煤可能起源于漂浮沼泽或高位沼泽中形成的泥炭。这些沼泽类型的泥炭灰分含量低,即使沼泽发育在靠似活动的碎屑沉积地区时也是如此。漂浮沼泽和高位沼泽的形态可能影响共生碎屑沉积物的类型和组合形式。另一些煤可能形成在远离活动的碎屑沉积环境的沼泽中。在这些煤中,煤层与下伏沉积物之间在时间上推测有一个明显的沉积间断。就煤质的预测来说,对煤层上覆沉积物的沉积环境的了解也像对其下伏沉积物的沉积环境的了解一样重要。

碎屑沉积学、煤岩学和古生物学的综合研究,对认识古代沼泽的性质是很有必要的。通过这类研究,可以建立在煤田勘探和开发中具有较强预测能力的相模式。

## 引 言

### 沉积模式的应用

在煤矿床的勘探和开发中,相模式正愈来愈多地被用作预测的工具。由于规模的不同,也由于煤的许多特性具有临界经济意义,所以与油气工业中一般采用的相模式相比,煤炭工业的相模式需要有较高的分辨能力。大多数已发表的含煤沉积环境的相模式几乎全都以碎屑相为基础,很少或几乎没有讨论到煤相。

对煤的性质的要求取决于煤的利用途径,但是,一般地说,有经济价值的煤层是指分布面积广、厚度大、低灰、低硫的煤。这种煤层发育所必需的条件,在有活动的碎屑沉积作用的大多数环境中并不具备。在现代沉积环境中,很少有碎屑沉积物与优质泥炭共存的情况,我们应根据这种泥炭所具有的某些特征,修改现有的相模式。

本文的目的是讨论作为一种沉积岩石的煤的性质及其与其它沉积岩石的关系。煤是一种沉积岩石,这个事实常常被人们遗忘了。像任何其它沉积岩一样,煤原始呈层状沉积,可能具有横向和垂向相变(反映植被类型、水位、碎屑注入物等的变化)。在埋藏以后,它又经受了压实和成岩作用(煤化作用)。唯一的主要区别是,煤主要由有机化合物组成而不是由矿物组成。所以,煤的性质是它的沉积作用和成岩作用历史的结果。在一矿区或租借区范围内,煤的性质的变化几乎完全是原始沉积环境的反映。较系统的含煤地层的沉积模式,应把碎屑岩相与煤相连系起来,这样在煤勘探和生产阶段才会有较高的预测价

值。

### 各分支学科间研究的必要性

近20年来,煤岩学研究有了重大的进展,煤岩工作者人数也有所增加。Crelling和Dutcher (1980)报道,美国有45个煤岩实验室,Bustin等(1983)报道,加拿大有17个煤岩实验室。这62个实验室中,11个设在大学里,13个由联邦政府、州或省级机构主办,其余隶属于煤炭、钢铁、石油或者咨询公司内。尽管煤岩学研究是沉积地质学中正在兴起的、有重要经济价值的一个组成部分,但大多数沉积学家对煤的了解却微乎其微。在大多数基础教材中仅皮毛地或间接地涉及到煤。例如,Blatt、Middelton和Murray (1980)仅在成岩作用温度一章中略为详细地讨论到煤。在沉积学家经常利用的期刊中,极少发表过有关泥炭或煤的文献。所以,多数已发表的含煤地层的相研究文献中,一直把煤简单地解释为“沼泽”——这种叙述相当于把任何碳酸盐解释为“温暖的浅海环境”一样。另一方面,大多数煤岩学家和地球化学家很少掌握沉积学方面的基础知识,而把煤层研究与总的研究内容分隔开来。

本文的目的是进一步促进煤的各分支学科之间的研究。这种观察结果将不仅对在煤炭工业部门工作的地质学家有用,而且对研究含煤地层的油气地质学家也有用。简短地论述一下煤的性质,对于不熟悉煤地质学的那些人来说是有必要的。然而,本文并不打算遵循严格的煤岩学观点,或以某一方式批判一些特定地区的含煤地层中建立的沉积模式。有兴趣进一步钻研煤岩学的读者,可参考施塔赫编著的《煤岩学教程》(Stach等,1982),或Bustin等(1983)、Crelling和Dutcher (1980)的短训班教材。关于含煤地层沉积环境方面的论文有Briggs (1974)、Ferm和Horne (1979)、Ethridge和Flores (1981)等的著作。Horne等(1978)、Ryer (1981)、Galloway和Hobday (1983)给出了相模式在煤勘探和生产中应用的实例。

本文中使用的“沼泽”这一术语并不十分严格,通常表示湿度饱和的、任何有植被生长的陆地表面。这一术语在这里包括了bog (藓沼)、marsh (草沼)和swamp (树沼)而不考虑植被的类型。

## 煤 的 性 质

### 前言

Schopf (1956)把煤定义为“按重量含有50%以上、按体积含有70%以上碳质物质的易燃岩石,这种碳质物质是由与泥炭质沉积物的植物残体相似的、各种变化程度的植物残体经压实或固结作用形成的。”泥炭通过煤级递进逐步转化,通称为煤化作用。“褐煤”常常是指木质煤和亚烟煤,而“硬煤”是指煤级较高的煤。煤级增高的一般特点是,碳百分比增高,挥发分减少(图1),水分减少,发热量增加。

从经济学和沉积学的观点来看,煤是一种非均质岩石,记住这一点非常重要。有机部分可以分成为一系列“显微组分”——相当于矿物的有机质。各种不同的原生和次生矿物能够形成煤的“灰分”或者无机部分。煤的组成成分反映了原始泥炭的组成和它的成岩作用历史。

### 显微组分

表1列出了硬煤的岩石学研究中鉴别出来的各种显微组分，并简要描述了它们的形态和成因。从褐煤和泥炭中可以鉴别出类似的或者相同的显微组分，虽然有些变化（Jacob和Koch，1968；国际煤岩学委员会，1971）。Cohen和Spackman（Cohen，1974；Cohen和Spackman，1972，1980）的工作有助于阐明原始植物物质与显微组分之间的关系。

显微组分可分成三个组：镜质组（对泥炭和褐煤来说称为“腐殖组”），基本上是木质物质；壳质组（有时叫做“类脂组”），主要来源于孢子、树脂和角质层；惰性组，大部分来源于氧化的植物物质。显微组分的岩石学鉴别，在评定其变化程度时，往往带有主观性。各种显微组分一般是混合的，各种显微组分在岩石学鉴定中称为“显微煤岩类型”（表2）。

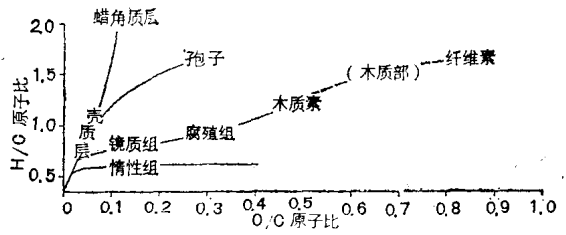


图 1 表示煤中主要有机组分的化学演变的van Krevelen图  
随煤级增高，特征曲线收敛  
（据Tissot和Welte，1978）

表 1 硬煤中可鉴别的显微组分和显微组分组

| 显微组分组        | 显微组分   | 形 态                      | 成 因                    |
|--------------|--------|--------------------------|------------------------|
| 镜质组<br>(腐殖组) | 结构镜质体  | 细胞状结构                    | 树干、枝、根、叶等的细胞壁          |
|              | 无结构镜质体 | 无结构                      | 溶解的有机物质以凝胶形式再沉淀        |
|              | 碎屑镜质体  | 镜质组碎片                    | 很早期降解的植物和腐殖泥炭碎片        |
| 壳质组<br>(类脂组) | 孢子体    | 化石形态                     | 大、小孢子                  |
|              | 角质体    | 可以有附属物的条带                | 角质层——叶、枝条、细茎的外层        |
|              | 树脂体    | 细胞充填物，层状或细分散状            | 植物的树脂、蜡和其它分泌物          |
|              | 藻类体    | 化石形态                     | 藻类                     |
|              | 碎屑类脂体  | 壳质组碎片                    | 降解作用残渣                 |
| 惰性组          | 丝质体    | 空的或矿物充填的细胞状结构，细胞结构一般保存较好 | 氧化的植物物质——大部分是植物燃烧形成的木炭 |
|              | 半丝质体   | 细胞状结构                    | 部分氧化的植物物质              |
|              | 粗粒体    | 非晶质胶结物                   | 氧化的凝胶物质                |
|              | 碎屑惰性体  | 小块丝质体、半丝质体和（或）粗粒体        | 再沉积的惰性组                |
|              | 微粒体    | 粒状，圆形颗粒，直径约 1 μm         | 煤化作用期降解的显微组分，特别是壳质组    |
|              | 菌类体    | 化石形态                     | 主要是真菌类遗骸               |

（据 Stach，等1982）

表 2 显微煤岩类型的组成

|                        |                 |
|------------------------|-----------------|
| 微镜煤                    | 镜质组>95%         |
| 微类脂煤                   | 壳质组>95%         |
| 微惰性煤                   | 惰性组>95%         |
| （微丝煤 = 不含微粒体和粗粒体的微惰性煤） |                 |
| 微亮煤                    | 镜质组和壳质组>95%     |
| 微暗煤                    | 壳质组和惰性组>95%     |
| 微镜惰性煤                  | 镜质组和惰性组>95%     |
| 微三合煤                   | 镜质组、壳质组和惰性组各>5% |



鉴别煤显微组分和显微煤岩类型，可有助于了解沉积环境。例如，以不连续的层或透镜体出现的丝质体被认为是来源于沼泽火灾期间产生的木炭（Cohen和Spackman，1977；Scott和Collinson，1978；Teichmuller，1982）。丰富的丝质体可能表明在周期性干燥时期，森林大火屡次发生，甚至烧着泥炭本身；缺少丝质体则表示是一种较平静的沉淀作用模式，水位一直较高。

组成泥炭的各种主要植物类型具有不同的化学成分。这反映在它们的显微组分组的组成上（图1）。低煤级煤的化学差异是明显的，但是在煤化过程中，煤的化学特征差异逐渐变小。在较高煤级时，从岩石学上区别各种显微组分也变得愈加困难（Stach等，1982）。煤的显微组分含量对确定煤的利用是重要的。在确定象煤的发热量、结焦性和液化可能性之类性质时，显微组分间的化学性质差异是重要的。在确定象可磨性和结焦可能性等因素时，显微组分的物理性质可能也是重要的。

在野外或者根据磨光煤片描述煤，对了解一个煤层内煤的变化是重要的。Schopf（1960）和Dutcher（1978）介绍了野外描述和取样方法。至少几毫米厚的分层的、宏观上可以鉴别的煤的岩石类型，称为“煤岩类型”。表3中列出了6种煤岩类型，并附有简短描述和它们的组成成分的说明。Cameron（1978）指出，各种煤岩类型的显微组分含量范围很广，即使在一个煤层内也是如此。

表 3 腐殖煤和腐泥煤的煤岩类型

| 煤岩类型 | 描 述                         | 组 成               |     |
|------|-----------------------------|-------------------|-----|
| 镜 煤  | 黑色，光泽强，薄分层易呈立方体破碎；厚分层具贝壳状断口 | 镜质组为主，壳质组少于20%    | 腐殖煤 |
| 亮 煤  | 镜煤和暗煤细分层，有时夹有丝炭，中等光泽        | 有变化               |     |
| 暗 煤  | 黑色或灰色，暗淡，断面粗糙               | 主要是惰性组和壳质组        |     |
| 丝 炭  | 黑色，丝绸光泽，性脆，质软               | 主要是丝质组            |     |
| 灿 煤  | 黑色，暗淡，油脂光泽，贝壳状断口            | 细的显微组分颗粒，一般以孢子体为主 | 腐泥煤 |
| 藻 煤  | 黑色或褐色，暗淡，均质，贝壳状断口，油脂光泽      | 以藻类体为主            |     |

煤有两种基本类型：腐殖煤，主要来源于大型的植物碎片；腐泥煤，来源于微型的植物碎片，绝大多数煤为腐殖煤，其中多数来源于泥炭。相反，腐泥煤是在厌氧条件下沉积的水下泥质物质。光亮煤中镜煤的百分比高，而暗淡煤中暗煤很丰富。光亮煤由木质的、未降解的泥炭衍变而来；暗淡煤主要由较小的植物碎片或降解的泥炭衍变而来。例如，二叠纪冈瓦纳煤可能是由寒冷气候条件下较矮化的树木和植物衍变来的，这种煤比阿巴拉契亚地区宾夕法尼亚煤要暗淡得多，后者来源于木质的、乔木大小的蕨类植物和大型石松类植物（Chandra和Taylor，1982）。

灰分含量

煤中能发现各种各样的矿物。二硫化铁、石英、碳酸盐和粘土矿物组成煤中主要的无机组分，但也有一大套副矿物。低温灰化仪的研制（Gluskoter，1965），已能详细研究煤

中粘土的含量(如, Gluskoter, 1967)。使用扫描电子显微镜并且常常配合以低温灰化仪, 最近已提供了关于副矿物的成因和性质方面的重要数据(如, Finkelman, 1978; Finkelman和Stanton, 1978; Stanton和Finkelman, 1979)。这种研究工作不仅具有地质学方面的意义, 而且在经济上也是重要的, 因为, 如果了解了常量元素和痕量元素的赋存形式, 那末在采煤或选煤期间就可采取措施除去那些被认为是有害的元素, 或富集那些有益的元素。

煤中矿物质可分成三类: 碎屑矿物、来源于植物的矿物和自生矿物。虽然某些矿物可明显地归属于其中某一类, 但是煤中无机组分的成因常常是不清楚的。

### 1. 碎屑矿物

这些矿物多半是由风或者水搬运到沼泽中的。由于泥炭的堆积速度缓慢, 所以由风搬运的沉积物是较为重要的。Finney和Farnham (1968) 报道, 在美国明尼苏达州的沼泽中, 风成无机物质占到泥炭的3.5%到15% (干重)。在任何活火山区附近形成的泥炭中, 风搬运的火山灰是泥炭中灰分含量的重要来源。许多作者 (Spears, 1970; Spears和Kanaris-Sotiriou, 1979; Bohor, Hatch和Hill, 1976; Ryer等, 1980; Pevear, Williams和Mustoe, 1980; Bohor和Triplehorn, 1981) 一直把高岭石夹矸 (tonstein) 和相类似的、虽然不完全相同的燧石粘土解释为蚀变的火山灰层。高岭石夹矸是硬的、富含高岭石的泥质夹矸 (Moore, 1968a)。有些高岭石夹矸分布很广, 在煤层对比中很有用 (Spears和Kanaris-Sotiriou, 1979; Ryer等, 1980)。由于泥炭的堆积速度很缓慢, 所以煤还是一种少有的含有可测定的地球外成分的岩石 (Finkelman和Stanton, 1978)。洪水泛滥时, 水搬运的沉积物可以冲入沼泽中。大洪水泛滥期沉积的沉积物厚度大, 足以保存成为煤中夹矸, 但较小洪流携带的沉积物经生物扰动, 可以与泥炭基质相混合。

### 2. 来源于植物的矿物

植物所含的无机物质, 可能对泥炭的灰分含量有明显的影响。Renton和Cecil (1979) 主张, 这种内在灰分可能占煤中非次生矿物的大部分。煤岩学研究表明, 在灰分含量超过5% (重量) 的煤中, 大部分非次生矿物是碎屑物 (Finkelman, 1982), 但这一点尚有争议。Casagrande等 (1977) 指出, 奥克芬诺基沼泽和佛罗里达大沼泽的泥炭中, 有相当数量的硫分是原始植物中固有的。甚至碎屑矿物物质也可能来源于植物物质, 如明尼苏达沼泽中45%的无机物质, 是来源于大草原草类的由风搬运的蛋白石 (Finney 和 Farnham, 1968)。

Renton和Cecil (1979) 指出, 泥炭的极端降解作用可能使来源于植物的无机物质充分富集而形成夹矸。Moore (1964) 提出一种有点类似的高岭石夹矸成因, 指出它们的化学成分与富含暗煤的煤相似。指出这一点是很有意义的, 即无机成分往往较富集在植物的非木质部分中 (Renton等, 1980), 并且因而往往富集在暗煤中。虽然近期的研究工作表明, 许多高岭石夹矸无疑是火山成因的, 但有些是降解作用产物还是有可能的。

### 3. 自生矿物

自生矿物是在泥炭沉积期间或沉积之后进入泥炭中的矿物, 或是在煤化作用过程中进入煤中的矿物。在某些现代沼泽中, 发生着明显数量的同生矿化作用。例如, 加拿大新不伦瑞克沼泽中的泥炭含有高达10%的铜 (Fraser, 1961)。在泥炭形成阶段及其浅埋藏以后, 生物化学作用在矿化作用过程中起重要作用。沉淀的矿物往往散布在整个泥炭层中,