

煤岩学译文集

F.T.C. 丁等

地质出版社

P618.1

D-32

煤岩学译文集

F.T.C. 丁等

方克定 等译

杨 起 等校

地质出版社

内 容 提 要

本书为一内容丰富的煤岩学译文集。书中主要介绍了煤岩学的新进展、煤岩学的地质应用以及地质应用相联系的研究方法。值得从事煤田地质工作和石油地质工作的科技人员及有关大专院校的师生学习或参考。

煤岩学译文集

F. T. C. 丁等

方克定 等译

杨 起 等校

责任编辑：牟相欣 李濂清

地质出版社出版

（北京西四）

地质出版社印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售



开本：787×1092¹/₁₆ 印张：12 字数：282,000

1986年7月北京第一版·1986年7月北京第一次印刷

印数：1—917册 定价：2.90 元

统一书号：13038·新235

译 者 的 话

收进本集的十八篇译文，选自六个国家的14种期刊和文集，反映了七十年代末八十年代初的一部分煤岩学研究成果。

这些译文的主要内容包括：从泥炭到无烟煤的煤化作用过程及其不同阶段——成岩作用、变质作用机理；不同阶段煤的显微组分的岩石学和荧光性特征；不同地质构造环境的煤化作用及其相关条件；光性、荧光性测定以及荧光光谱分析等新方法在煤岩学中的应用。以上研究进展表明，煤岩学不仅是煤田地质工作者也是石油地质工作者手里的有效工具。它的研究对象，从煤层扩展到沉积岩层中的分散有机物。它的地质意义，从煤田兼及烃类矿床，并涉及区域地质史上的地温和有机地球化学等问题。这是有重要意义的发展。

同时期内，我国煤岩学的地质应用领域正在逐步扩大，但在研究的广度和深度上还有一定的差距。有选择地把国外煤岩学的新进展、新成果介绍到国内来，或许是有裨益的。

一九八五年六月二日

目 录

从泥炭向褐煤的转化(成岩作用)的显微镜下观察.....	F. T. C. 丁 (1)
褐煤的宏观煤岩学和有机地球化学成分之间的关系	H. W. 哈格曼, A. 霍勒巴赫 (8)
天然气、石油与原始煤炭物质的显微组分成分的成因联系	B. И. 叶尔马科夫, E. И. 盖洛等 (14)
捷克斯洛伐克富惰性组煤的显微组分的性质.....	M. 科亲娜, J. 霍恩西尔 (18)
巴尔的摩河谷(下白垩统)页岩和煤中的树脂小杆	P. C. 莱昂斯, P. G. 哈彻等 (26)
美国西部煤的树脂体的岩石特征和荧光性.....	J. C. 格林, R. R. 杜切等 (40)
煤化作用研究的地质学意义——述评.....	M. 泰希缪勒, R. 泰希缪勒 (45)
沉积岩有机质的转化程度与地球内部热条件的关系	B. П. 恰依茨基, B. H. 马特维延科 (74)
前高加索东部地台区地层的古地温和烃类矿藏的分布	H. П. 格列契什尼可夫 (80)
日本列岛早第三纪煤矿床的形成和有机变质作用.....	相原安津夫 (90)
应用镜质组反射率各向异性评价煤的变质程度.....	J. C. 豪尔, A. 戴维斯 (97)
煤岩学分析方法.....	F. T. C. 丁 (116)
测定镜质组和沉积物中分散镜质组最大反射率的新方法	F. T. C. 丁, H. B. 罗 (130)
各向异性煤和无烟煤的光学特征研究.....	И. B. 叶廖明, Д. B. 克列尔 (136)
科罗拉多州西班牙峰地区烟煤的煤岩和荧光特性	R. 杜切尔, J. C. 克雷林等 (141)
泥炭和煤中稳定组和镜质组的荧光显微镜煤级研究及与油源评价热解结果的 对比.....	M. 泰希缪勒, B. 杜兰德 (148)
可溶有机质的荧光光谱分析在烃源岩评价中的应用	H. W. 哈格曼, A. 霍勒巴赫 (170)
△煤的肉眼描述——以伊利诺斯州南部煤层为例.....	A. R. 卡梅伦 (174)

从泥炭向褐煤的转化（成岩作用）的 显微镜下观察

F.T.C.丁*

摘 要

在美国北达科他州西部一个褐煤层中发现的一个硅化的古新世泥炭层，被证明是研究从泥炭向褐煤的转化的极好材料。在泥炭中完好地保存着解剖结构的细部，与石炭纪煤核的保存程度很相似。当泥炭转化成褐煤时，体积压缩成四分之一。体积的缩小主要是由于细胞腔和粒间孔隙的压实以及随之水分的损失或重新分配所造成的。由次生木质部和韧皮部硬化细胞形成的腐殖组，在显微镜下看来不同于由周皮和幼嫩的皮层组织形成的腐殖组。树脂体由树脂道的充填物、分泌细胞和次生韧皮部硬化细胞所形成，也可能由赋存在树叶的栅栏状、海绵状叶肉中的树脂物质所形成。角质体既可以由角质层，也可以由压缩了的幼根的皮层组织所形成。炭化的叶、炭化的次生木质部和韧皮部构成煤中丝质体和半丝质体碎片的重要部分。黄铁矿颗粒往往充填早期木射髓细胞的胞腔。在泥炭阶段，无结构镜质体和结构镜质体之间的差别已有所发展，随着煤化作用增强，无结构镜质体中的结构加速消失。

引 言

对于泥炭的聚集以及泥炭化作用过程，已经在全球基础上进行了广泛的研究。植物的显微构造常常完好地保存在泥炭中并且很容易识别。泥炭中的原始植物可以鉴别，各种可区分出的泥炭层的聚集环境，可以通过研究现代沼泽中活体植物群落的环境而加以确定。在美国东南部的高草沼地和红树林沼泽中曾经广泛地进行了这样的研究（Cohen, 1973, 1974; Spackman等, 1966, 1974）。这些泥炭岩石学和地层学研究结果充分阐明了地质历史上主要成煤期煤的沉积环境。

泥炭是一种极松散的未压实的物质，其中除有经受不同程度分解的植物残体外，还在残存的植物组织中保留着许多粒间孔隙和细胞腔。这些孔隙和腔的结局、植物物质变化的性质和程度，对关心早期阶段泥炭的成岩作用以及通称为“煤化作用”的后期变化的众多煤岩学者来说，已成为饶有意义的课题。泥炭的未压实的性质不仅在现代泥炭中，而且在由于泥炭的早期石化或高度矿化而保存或“冻结”下来的古代泥炭中都能见到。这些石化的泥炭呈碳酸盐结核（煤核）或硅质结核，或成层出现。

许多研究者在褐煤煤岩学中进行了广泛的比较研究（Weyland, 1957; Teichmüller, 1967, 1968）。这些研究主要围绕植物活体和褐煤之间的比较。缺乏适当地质时代的化石材料作直接对比。

在美国北达科他州西部古新世褐煤层中硅化泥炭层的发现，为研究从泥炭到褐煤的成

*美国西弗吉尼亚大学地质地理系。

岩作用或转化提供了丰富的原始材料。在泥炭中完好地保存着植物组织并易于识别其细微的解剖构造 (Ting, 1972a)。硅化泥炭呈薄层 (厚度100—200mm) 赋存在褐煤的中部,

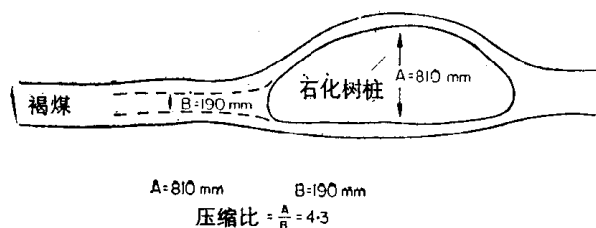


图 1 从泥炭到褐煤的压缩比示意图

它尽管有时不连续,但可以追索。在某些区段,当褐煤层一般较薄 (厚度 $<300\text{mm}$) 时,整个褐煤层都是硅化的。在褐煤层中偶尔可以见到硅化的树桩,可据以估算从泥炭转化成褐煤的压缩比 (Ting, 1972b)。据估算压缩比约为 4:1 (图 1)。比本文所述褐煤的煤级要低的德国褐煤的压缩比据称为 3:1 (Stach 等, 1975)。

硅化泥炭的宏观和微观特征

硅化泥炭除已石化外,在外观上具有木质泥炭的一切特征。在横断面上可以见到许多树根和细枝。它们全被细碎的泥炭物质所包围。小的树根和细枝保存完好,而较粗的 (直径 $>10\text{mm}$) 树根和细枝一般保存较差,其中心部分常被粗粒的石英晶体所置换。

在显微镜下观察,泥炭由细根、根、细枝、叶、种子、球果、孢子、花粉、蕨类组织、真菌孢子等组成。微细的植物碎屑组成泥炭的基质。木本只有针叶植物的,但偶尔可以鉴别出一些树叶可能是被子植物起源的,因为在横断面上有一些叶脉存在。蕨类起源的组织也很丰富。常常见到叶、带叶的细枝和叶痕。对活体的显微切片的比较研究表明,许多叶化石与落羽杉、木杉和崖柏的叶相似。在叶中完好保存着在紫外光照射下易发荧光的明显的树脂道。在这些叶子的叶肉中发现有大量微细的、发绿光的似树脂体。在硅化泥炭中,韧皮部的硬化细胞保存完好,它们的细胞壁显示出同心圆状纹理。

比较研究

在定向垂直切面上对硅化泥炭同褐煤进行比较,褐煤的最明显特点是粒间孔隙和细胞腔消失或急剧缩小。许多薄壁组织细胞的细胞腔在泥炭中保存完好,而在褐煤中不再能见到。它们或者在泥炭化作用的晚期阶段完全分解,或者已腐植化并压实成腐殖组的极细的线条,而与褐煤中的腐殖组基质难以区分。另一个引人注目的特点是,贯穿泥炭层并常常穿透早期堆积的植物残体的细根已消失。某些较老的细根已压实成为具有腐殖组核心的薄饼状,腐殖组核心的周围被推测是由细根的皮肤组织衍生而成的似角质层物质所环绕 (图 2)。随着泥炭转化成褐煤,除了水分、 $-\text{OH}$ 、 $-\text{COOH}$ 、 $-\text{CH}_3$ 及其它官能团的损耗外,粒间孔隙和细胞腔的消失,可作为从泥炭压实为褐煤的一个最重要的标志。

在硅化泥炭中常常完好地保存着早期的 (春季的) 木质细胞壁,而在褐煤中完全萎陷 (图 3)。丝炭化 (炭化) 细胞也是这样 (图 4)。晚期的 (夏季的) 木质细胞通常只是轻度压实的。在煤化作用中,当由于埋深加大而承载压力逐渐增加时,早期木质细胞或许发生破碎,反之,泥炭组织中的细胞腔由于早期硅化作用过程中硅质充填细胞腔而得以保存。

在泥炭转变成褐煤以后,尽管很容易看到细胞腔已被压实或者消失,但只凭这一点信

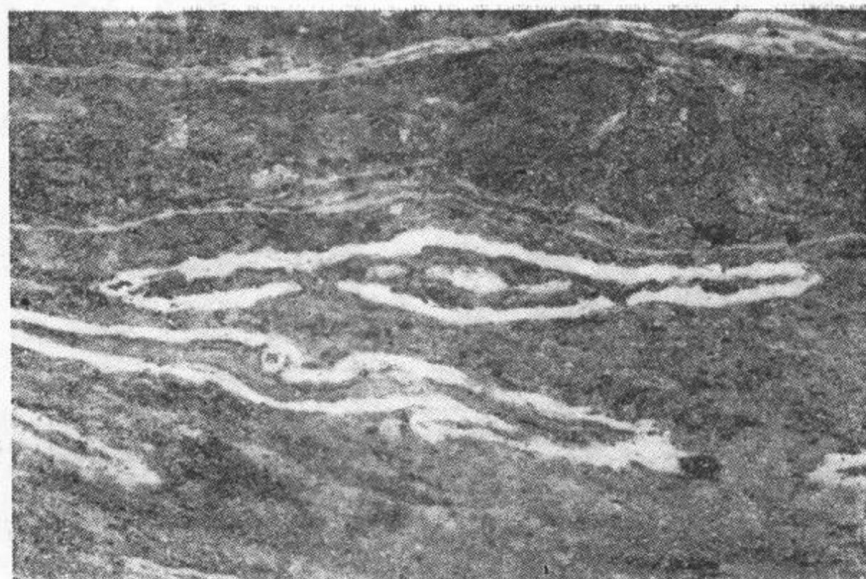


图 2 褐煤薄片中小根的横断面
围绕根部的角质层环可能是由皮层组织衍生而成的。透射光， $\times 200$

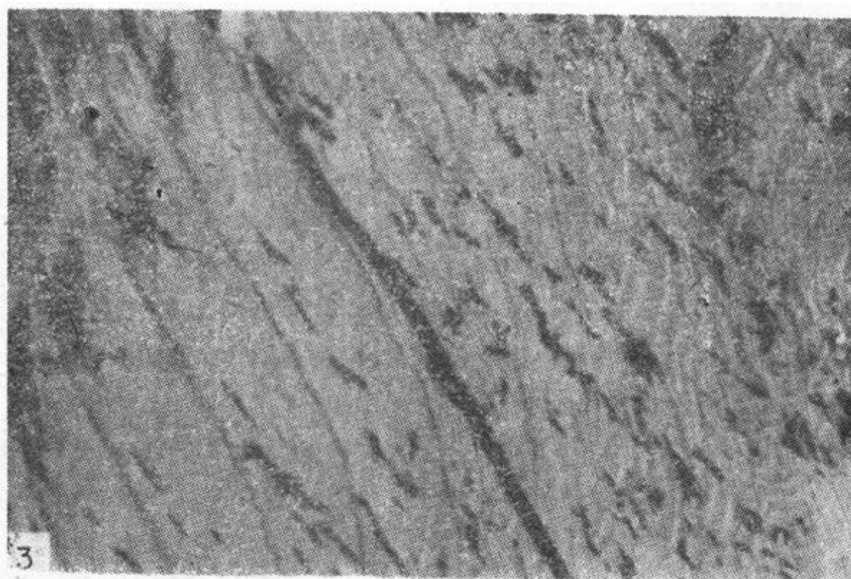


图 3 褐煤的斜光片

显示萎缩的早期木质细胞（右边）和相对未变形的晚期木质细胞（左边）。反射光，油浸， $\times 380$

息并不容易评价压实的程度。许多植物残体不容易被压实并可能显示不同的压实程度。在估算煤的压缩比时，必须考虑一个相当厚的层段以至整个煤层。与褐煤中的硅化泥炭处于相同层位的硅化树桩，作为一种独特的现象，有助于解决或至少是部分地解决压实问题 (Ting, 1972b)。如图1所示，硅化树桩整个地封存在褐煤层中。假定原始泥炭在短距离内厚度保持稳定，硅化树桩未被明显压实。压缩比可由褐煤部分的厚度除树桩的高度来计算，而褐煤部分的厚度是由褐煤总厚度减去硅化树桩上下的褐煤分层厚度之和来求得。用这个方法获得的压缩比接近于4:1，这同煤级低于美国褐煤的、德国褐煤的3:1压缩比是可比。

在硅化泥炭和在褐煤中都保存着宽厚的茎皮组织 (图5, 6)。许多茎皮是由周皮和韧皮

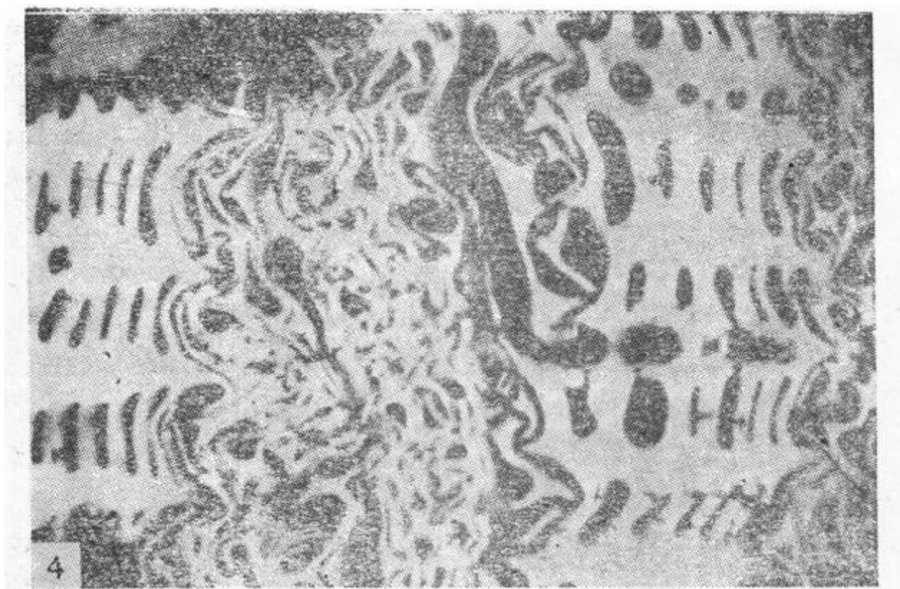


图 4 轻度炭化的针叶树木质部的横断面

显示萎陷的早期木质细胞（中部）和相对未变形的晚期木质细胞（左边和右边）。反射光，油浸， $\times 380$

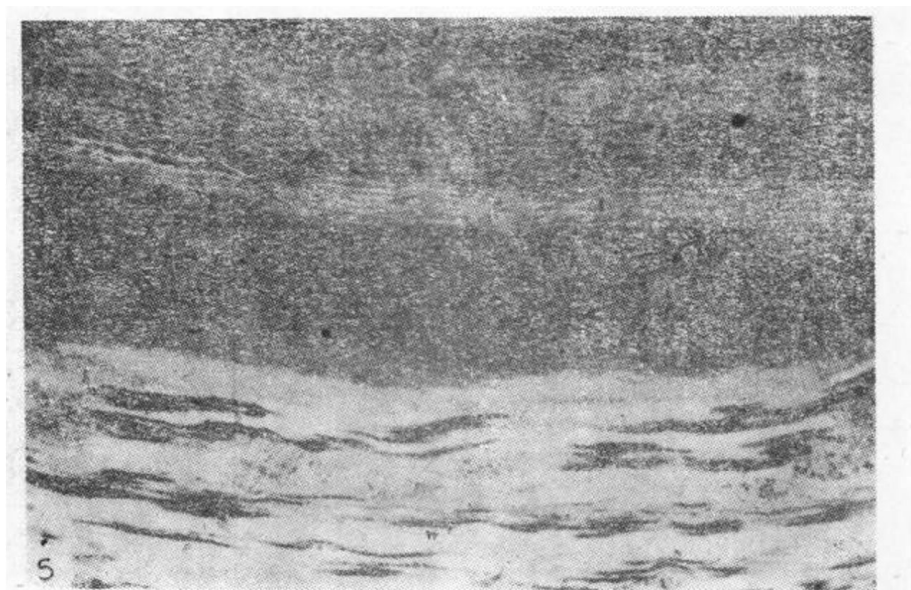


图 5 针叶树木质部薄片的纵切面

显示带木栓细胞壁的周皮（上部）、高度凝胶化的韧皮部组织（中部暗色条带）和带微粒体（不透明条纹）的浅色次生木质部。透射光， $\times 120$

部纤维、韧皮部硬化细胞或石细胞的交互层所组成的，显示很发育的次生细胞壁的同心圆状纹理。周皮包括木栓细胞充填物和木栓化细胞壁，显示出特殊的木栓质体的特征。在油浸下，它们呈现为（假如保存不好）暗色（石细胞）和浅色（木栓细胞及充填物）交互层（图7）。它们代表着结构腐殖体A（暗色）和结构腐殖体B（浅色）。同所认为的结构腐殖体A与结构腐殖体B之间的区别起因于不同程度的腐殖化作用（Stach等，1975）相反，这两种显微组分起源于针叶树植物的不同组织。结构腐殖体A由次生木质部、韧皮部硬化细胞和落皮层中的硬化细胞层所形成；而结构腐殖体B由韧皮部薄壁组织和周皮所形成。某些结构腐殖体B可以由被子植物的次生木质部所产生，但是，在硅化泥炭和褐煤中都没有

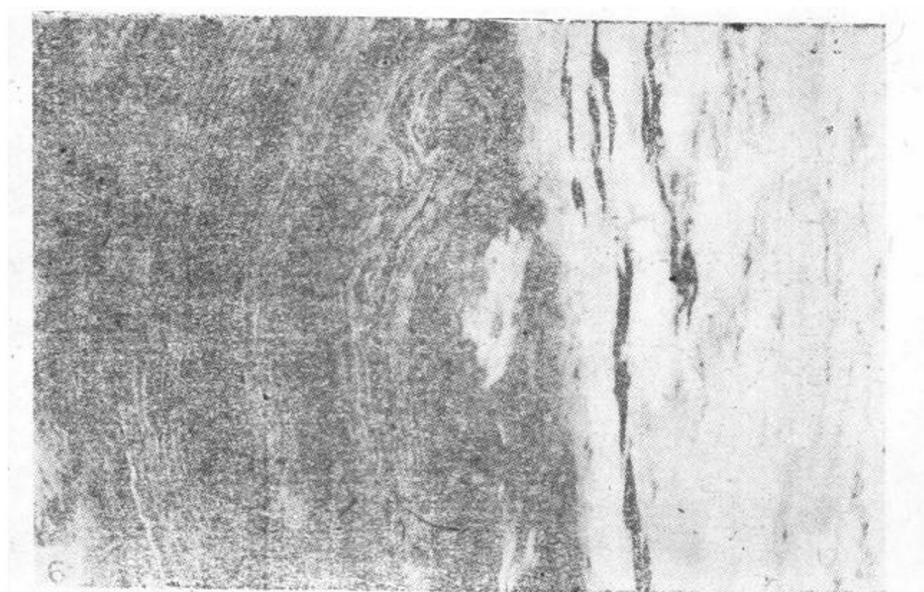


图 6 除出现浅色韧皮部硬化细胞（显微照片中心部位的小簇）之外，与图5相同中心部位的一些韧皮部硬化细胞可能已褐煤化并转化为腐殖组。透射光， $\times 120$



图 7 韧皮部硬化细胞（暗色）和凝胶化韧皮部薄壁组织细胞（浅色）的交互层
反射光，油浸， $\times 470$

见到被子植物的木质。

石细胞的中心部分可能是空的，或被腐殖组充填或局部充填（图6）。石细胞有时是极暗的，呈现树脂体或壳质组的外貌，具有明显的、同心圆状的胞壁纹理（图8）。在泥炭中见到许多厚的单体的角质层，推测起源于被子植物的叶和蕨类植物的小羽片，它们的维管束和叶肉已经完全分解或已分解。泥炭中的许多针叶具有易于识别的外形。许多微小的树脂体（5—10 μ m）占据着叶肉部位或位于细枝的皮层中（图9）。

在硅化泥炭所赋存的地区，常发现硅化木炭与石化树桩（杉科）紧密共生。在硅化泥炭中常有强烈炭化和部分炭化的木质组织，同细颗粒状的惰性组在一起。它们相当于褐煤中的丝质组、半丝质组和粗粒体。微粒体是褐煤中的一种次要组分，但在硅化泥炭中未见

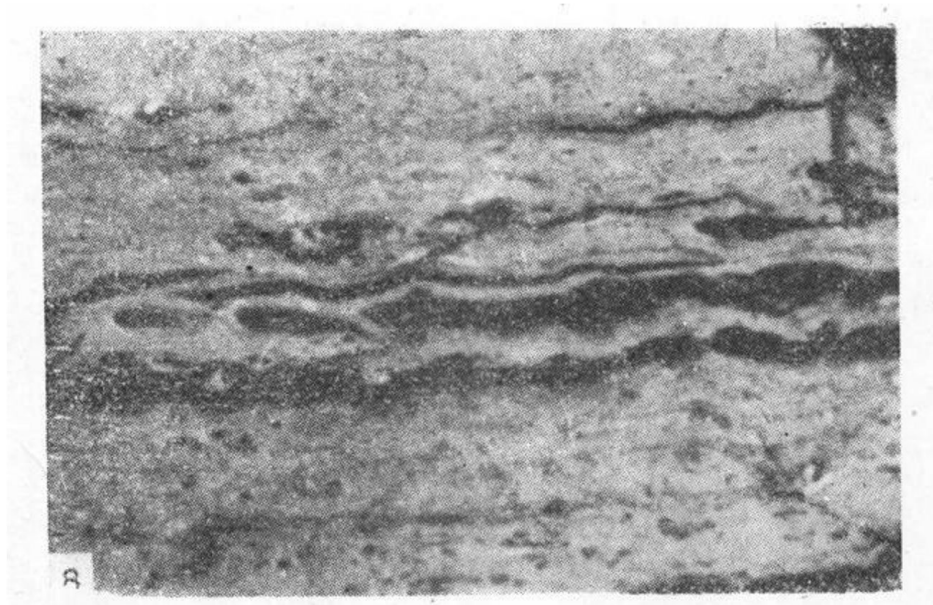


图 8 褐煤光片中树脂含量高的韧皮部硬化细胞（黑色）
这些硬化细胞在蓝色光照射下强烈发光。反射光，油浸， $\times 600$

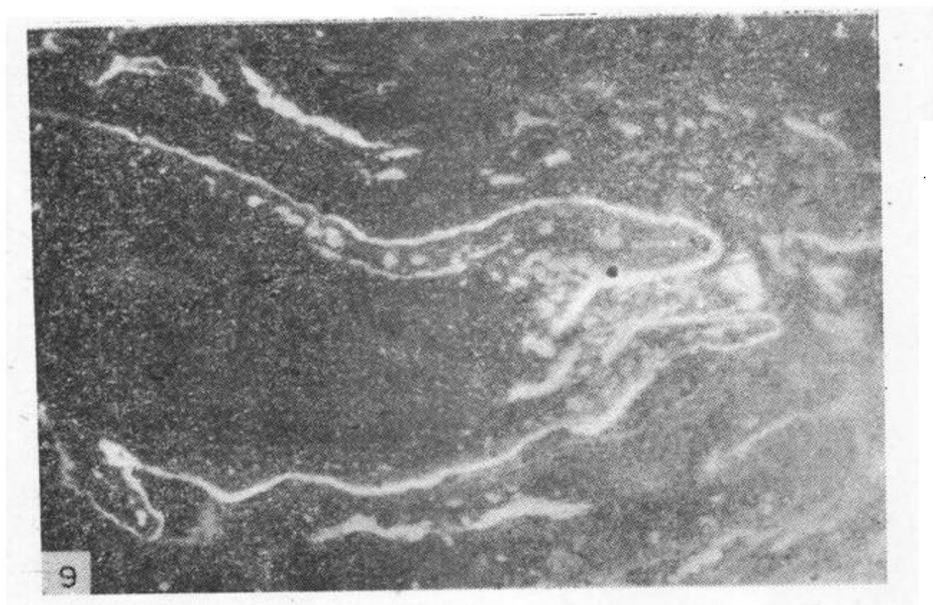


图 9 在蓝色光照射下的硅化泥炭的光片

显微照片显示出带强烈发光的角质层的嫩枝，图示枝和叶痕的外缘。直接分布在角质层之下的颗粒状发光体是由赋存在叶肉和皮层中的树脂物质所形成的。反射光，油浸， $\times 150$

到有。褐煤中的微粒体在腐植组成簇出现，呈现为原始细胞充填物的形式。这种成簇现象与在高煤级烟煤中所见到的相似（图5，6）。

虽然某些褐煤层可能含有许多肉眼可见的黄铁矿颗粒，其硫含量超过4%，但在大多数褐煤中黄铁矿是很少见的。除了形成球粒和透镜体以外，黄铁矿也与褐煤化的针叶树桩伴生。黄铁矿充填早期木射髓细胞腔，而未被充填的早期木质细胞常常在黄铁矿化之后被压碎。可是，在硅化泥炭中未见到有黄铁矿，这表明黄铁矿化发生在泥炭硅化之后。

在褐煤中保存完好的细胞状结构，特别是大颗粒木质的结构，可以回溯到泥炭阶段。幼根和茎的皮层组织由于在泥炭阶段或其后受到强烈的凝胶化作用而在褐煤中一般失去它

们的细胞状结构。老根和茎的同类组织通常在褐煤中保存完好。叶的维管束和叶肉在褐煤中一般很少保存下来。

结 论

1. 将硅化泥炭与有关的褐煤进行对比, 可以评价从泥炭到褐煤的转化。
2. 从泥炭到褐煤的压缩比接近于4:1。
3. 当泥炭转化为褐煤时, 由于细胞腔和粒间孔隙的消失, 导致体积缩小。
4. 在反射光油浸下, 针叶树的次生木质部和次生韧皮部硬化细胞呈现为暗色腐殖组, 而周皮和皮层组织呈现为浅色腐殖组 (即泰希缪勒的结构腐殖体A和结构腐殖体B)。
5. 在美国褐煤中有真正的微粒体产出。

参考文献 (略)

译自《Journal of Microscopy》, 1977, Vol.109, pt 1, 75—83.

(方克定 译 梅 清 校)

褐煤的宏观煤岩学和有机地球化学 成分之间的关系

H.W.哈格曼 A.霍勒巴赫*

摘 要

褐煤是由颜色、结构、构造、凝胶化程度等等不同的煤分层组成的，这主要是由于原始植物物质的不同和生物化学变化程度的不同所造成的。根据这些宏观煤岩学特征，可将褐煤划分成若干个煤岩类型。

对褐煤的不同煤岩类型用有机地球化学方法进行了分析。煤岩学和地球化学分析结果的对比表明，在可溶有机物的化学成分与煤岩类型的宏观煤岩差别之间存在着相关关系。脂族烃含量的变化与原始植物物质的生物化学降解作用强度有关。萜类化合物的出现可能也是由于原始植物物质的进入、沉积和生物化学变化的结果。还讨论了有关下莱茵湾成煤作用的新观点。

引 言

迄今为止，对褐煤的大多数有机地球化学分析都不考虑异常明显的煤岩学非均质性，而仅限于研究煤的区域性的或煤级的差别。本文主要是关于某个褐煤煤田（即下莱茵湾中新世软褐煤）的煤岩变化的范围。主要煤层的条带具有特别的意义，根据它们的结构、彩色亮度和色调的不同，可大体上把它们区分开来。结合应用煤岩学和地球化学方法，我们的兴趣主要集中在以下两个方面：

（1）试图以有机地球化学参数来描述用宏观煤岩学方法划分的莱茵地区软褐煤的煤岩类型。这就有希望为确定其原始物质的性质提供特定的信息。

（2）通过对通常称为化学化石（Hollerbach, 1976）的特征的有机物质的类型和分布的分析，可重建某些煤岩类型及其在第三纪时的植物群落的详细相模式。

宏观煤岩学描述和取样

在煤层剖面中，根据具有不同结构、构造、彩色亮度和色调的连续条带，以及根据有机或无机包裹体，可以识别褐煤层的非均一构造。业已知道，煤层中各分层特征的这些差别一般取决于：（1）煤的类型，它以原始植物物质及其沉积条件为特征；（2）煤级，它主要受植物原始物质的生物化学降解作用强度的影响（在软褐煤煤级范围内），这使煤的构造和物质成分发生变化。

通过煤的分析，这些特征差别可以用所示分类表（表1）中的可确定的煤岩学参数来表

* 联邦德国亚琛工业大学。

表 1 软褐煤（原地水分为75—35%）的宏观煤岩分类（据Hagemann, 1978）

类 别 栏的编号	煤岩类型大类 01	煤岩类型 02	03	煤岩类型亚型 04	05	
定性参数	构造：木质煤的存在和（或）被矿物质污染	结构：基质和植物残体的比例	彩色亮度和色调	凝胶化痕迹	包裹体	其它特征
宏观煤岩描述	①纯煤，非木质煤	①非条带状煤	①浅黄色	①凝胶化基质 (+, + +, + + +)	①树脂体 (+, + +, + + +)	(1) 表面结构 裂纹普遍 裂纹中等 无裂纹
	②纯煤，木质纤维状木质煤，树桩、树根等	②中等条带状煤	②中-浅黄色	②凝胶化组织 (+, + +, + + +)	②角质层 (+, + +, + + +)	(2) 断口 平坦 叠瓦状
	③不纯煤，非木质煤 粘土质煤 砂质煤 石灰质煤等	③条带状煤	③浅褐色	③显微粒状腐殖凝胶颗粒	③木炭 (+, + +, + + +)	(3) 颗粒碎裂 粗碎屑 细碎屑 粉碎
	④不纯煤，木质煤	④高度条带状煤	④中-浅褐色 ⑤深褐色 ⑥深黑色	④	④	

示。这是软褐煤的一种新的宏观煤岩学分类草案（Hagemann, 1978），其中木质煤和（或）不纯煤（构造型式）决定了煤岩类型的大类。煤岩类型这一术语包括了煤基质中植物（即组织）残体的比例（结构特征）。煤岩类型亚型只有在干的褐煤中才是清晰的，根据色调和彩色亮度、凝胶化类型以及原始植物碎屑的比例可区分之。煤的表面结构、断口和干裂也是可以考虑的其它描述特征。

在本项工作中，从莱茵湾中央地区（即大部分在福图那-加斯多夫和弗雷兴露天矿内）的主要煤层中，采取了15个褐煤样。在取样时，适当地考虑了结构——即基质与植物残体的比例（表1，02 栏）——以及褐煤的彩色亮度（表1，03栏）。

这 15 种不同的宏观煤岩类型代表了福图那-加斯多夫和弗雷兴露天矿中出露的95%以上的主要煤层。煤层剖面中煤层的厚度从0.6到3.2m，平均约2.5m。值得注意的是，高度条带状和条带状的煤岩类型超过了中等条带状和非条带状的煤岩类型。

还值得注意的是，在高度条带状和条带状的煤岩类型中，以深褐色亚型为主（图1）。相反的，在次条带状和非条带状煤岩类型中，以浅褐色亚型为主，而深褐色亚型缺失。

在莱茵软褐煤的所有这些煤岩类型和亚型中，木质煤或有（煤岩类型大类1和3）或无

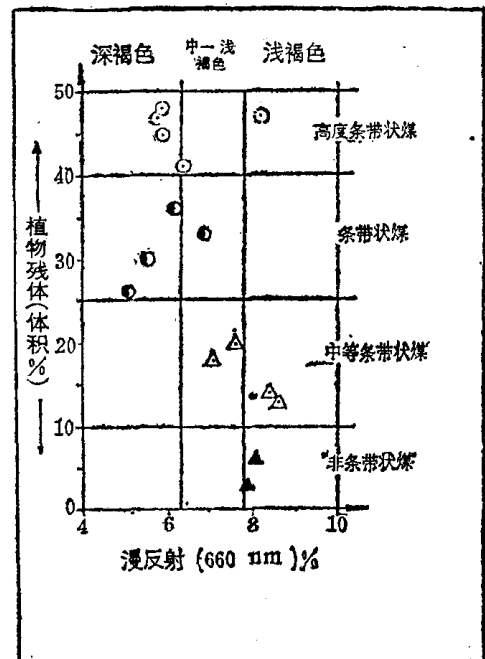


图 1 煤样的宏观煤岩分类（煤岩类型的类别和亚型）
根据漫反射（660nm）与基质中植物残体含量之间的关系

(大类2和4)。但是，在高度条带状和条带状煤岩类型中，木质煤（以茎秆残体和树桩为代表）特别多。

方法和结果

本项研究所应用的分析方法是石油地球化学和煤岩学中的筛选方法，因此这里仅作简要介绍。

用柱中色层分离法将由索格利特抽提法（二氯甲烷）得到的沥青（可溶有机物）分离成不同的馏分（图2）。在用正己烷进行柱中色层分离时，特别要注意回收主要含饱和烃的脂族烃馏分，然后用毛细气相色谱法进行分析。用气相色谱—质谱测定法来鉴别萜类。

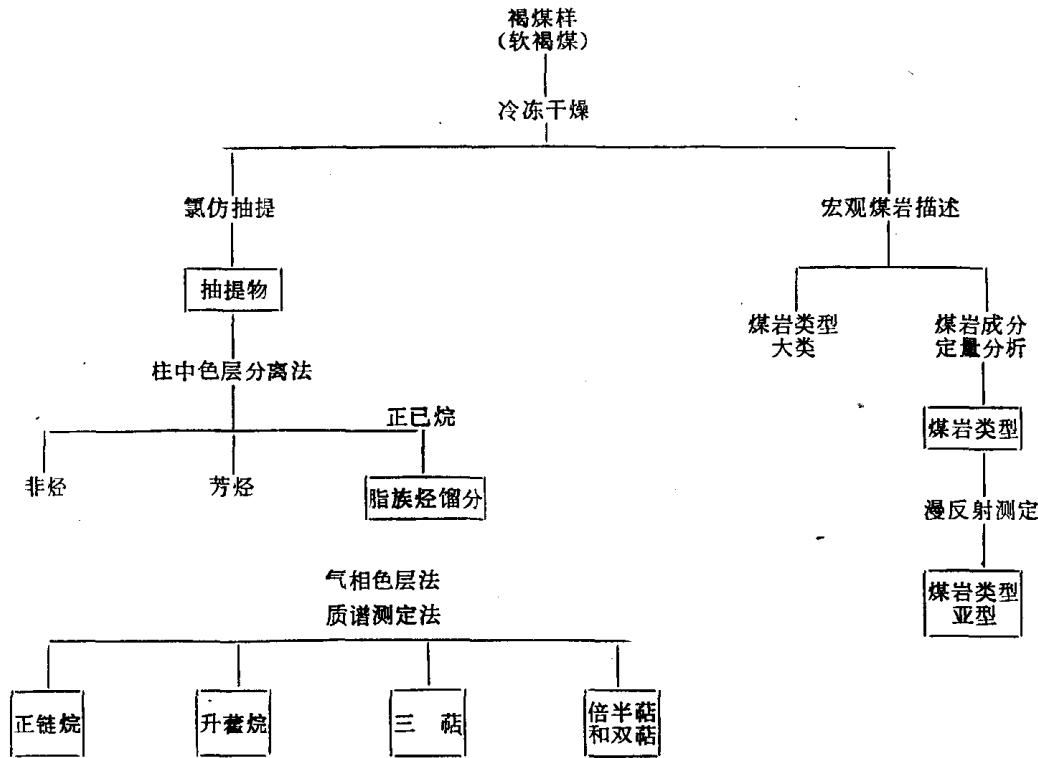


图 2 分析程序

除了在采煤台阶上作初步定性描述外，在实验室中建立了软褐煤分类的两个主要的宏观煤岩学定量指标。对基质中可识别的植物残体——如组织、凝胶、沥青（树脂体）、木炭等——的含量的分析，先是在原地湿切片上进行，然后用十字丝目镜计数法对冷冻干燥煤片进行。在此法中，漫反射光暗视域的低倍率（ $\times 50$ ）观察较为合适。软褐煤含有带色颗粒，其颜色在 45° 角照射的暗视域中清晰可辨。同时，凝胶化密集颗粒很容易与非凝胶化颗粒相区别。冷冻干燥法的优点在于它可使冷冻样中的水分升华挥发，从而使煤的氧化和构造变化甚微，可以忽略不计。这样，褐煤的结构、色调和凝胶化程度比在空气中用常规干燥法处理的要清晰得多。

莱茵褐煤的色调和彩色亮度是将显微光度计测定的光谱漫反射值（Piller, 1977）与标样（硫酸钡）进行对比而确定的。这些测定也是在暗视域照明条件下测定冷冻干燥煤片。软褐煤的光谱漫射参数规定波长为 660 或 680 nm，这样才可能在宏观范围内与滤光光度计

的测定结果进行对比 (Preuss, 1977)。

脂族烃馏分

在所测褐煤中, 主要含饱和烃的脂族烃馏分的数量为280到320ppm(图3), 并且很显然, 只有在中-浅色和浅色的、中等条带状和非条带状的煤岩类型中, 才含有较多的脂族烃 (>500ppm)。馏分的详细的质谱分析表明, 存在着具较高等植物状分布的奇数长链正链烷, 以及饱和和不饱和萜类生物标志化合物。

没有单独测定在大部分煤岩类型 (不包括2—5号煤样) 的抽提物中发现的倍半萜, 因为它们显示出清晰的气相色谱峰值。

所鉴定的环状双萜分别是叶状枝烷和贝壳杉烷 (Hollerbach等, 1977)。具有这些特殊四环结构的化合物在现代叶状枝和贝壳杉针叶树中是常见的 (Streibl 和 Herout, 1969; Maxwell等, 1971)。

在三环系统中有19个碳原子的降松香烷、降海松烷和降异海松烷, 是化石树脂 (Douglas 和 Grantham, 1974) 和褐煤 (Maxwell等, 1971; Hollerbach, 1976) 的常见成分, 在条带状和非条带状煤岩类型中都存在。

在本项工作中, 五环C₃₀三萜 (熊果烯和油烯型) 只发现呈环族系统中的具双键的化合物。这些五环三萜类型大部分存在于较高等的植物中 (Henderson等, 1969), 只有裸子植物是例外 (Metzner, 1973)。所分析的所有裸煤样都不同程度地含有升藿烷和升羽扇烷。升藿烷可能是一种由于异养微生物活动而导致的特殊生物地球化学降解作用的产物 (Van

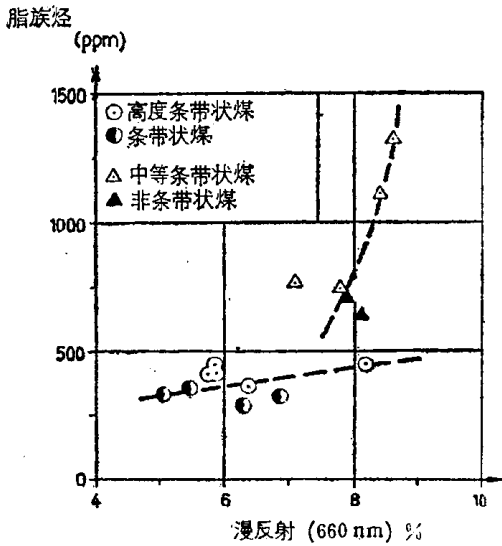


图3 煤岩类型的彩色亮度 (用660nm波长的漫反射测定) 与其脂族烃馏分产率的关系

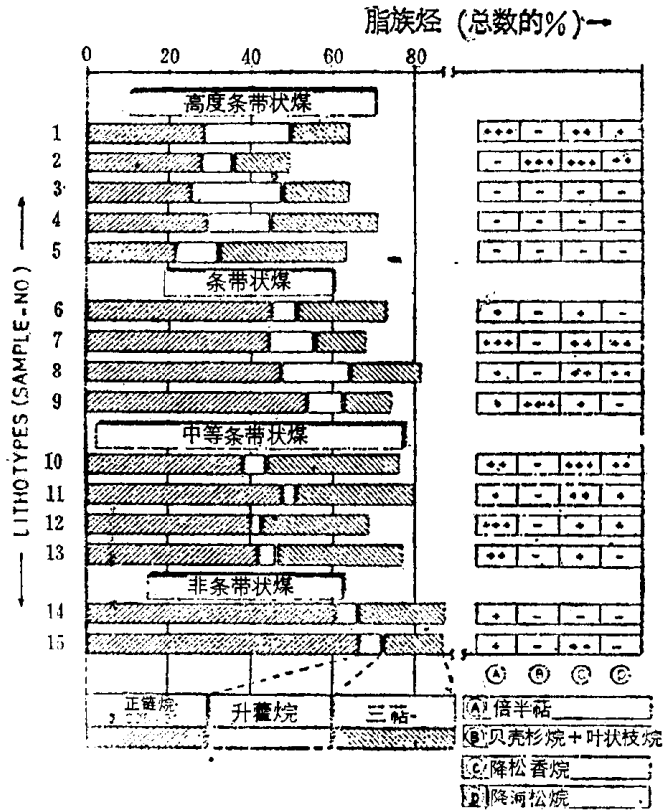


图4 联邦德国莱茵地区褐煤煤岩类型的脂族烃的物质平衡

Dorsselaer等, 1974)。

图4为根据这些分析得出的物质平衡, 从中可以看出如下的关系。在脂族烃馏分中, 只有20—29%的长链正链烷存在于高度条带状煤岩类型中, 而在非条带状煤岩类型中有61—67%。升藿烷在高度条带状和条带状煤岩类型中达到23%, 但在次条带状和非条带状煤岩类型中少于6%。其它三萜可出现在任何煤岩类型中, 从14—33%不等, 与宏观煤岩学参数无任何相关关系。

除了本炭含量高的煤岩类型(3—5号煤样)之外, 倍半萜和双萜烷存在于其它所有煤岩类型中。

讨 论

长期以来, 莱茵软褐煤为研究煤的成因提供了重要的资料, 特别是由于煤层剖面中煤岩类型的变化可用于判断原始沼泽相。Teichmüller (1958, 1962, 1975) 将本世纪三十年代以来的大量古植物学、孢粉学和煤岩学的研究成果加以综合汇总, 提出了煤的成因模式。这个模式在很大程度上依据了美国佛罗里达州的现代沼泽类型, 以简化的方式, 假设浅色带和深色带的独特变化决定于沉积相条件以及连续变化的4种不同沼泽类型。按浅色到深色褐煤的顺序, 它们是: (1) 缺乏树木的芦苇沼泽湿地, (2) *Nyssa-Taxodium* 沼泽, (3) *Myrica-ceae-Cyrtillaceae* 高沼, (4) 美洲杉混交林高沼。

Kilpper (1960) 和 Benda (1960) 对角质层进行的分析在一定程度上提出了不同的观点。主要的不同在于“浅色条带”组; 即 Vogt (1970) 所理解的浅色基质煤组。Teichmüller 和 Thompson (1958) 所提出的认为它们是莎草科泥炭并可与高草沼地泥炭对比的观点, 因此变得无根据了。莎草科的角质层出现在完全不同的分层中——即深—中—浅色条带状到高度条带状煤中。Kilpper (1960) 和 Bende (1960) 将通常为薄层的浅色条带解释为广泛海侵的沉积物。Hiltmann (1976) 赞同这一解释。在对 Vogt (1970) 和 Hiltmann (1976) 的宏观煤岩分类中的煤岩类型进行孢粉鉴定的基础上, 得出了下莱茵褐煤沼泽的相单元 (图5)。

与早期的观点相反, 煤中组织残体的彩色亮度和含量是彼此无关的, 而组织形式和花

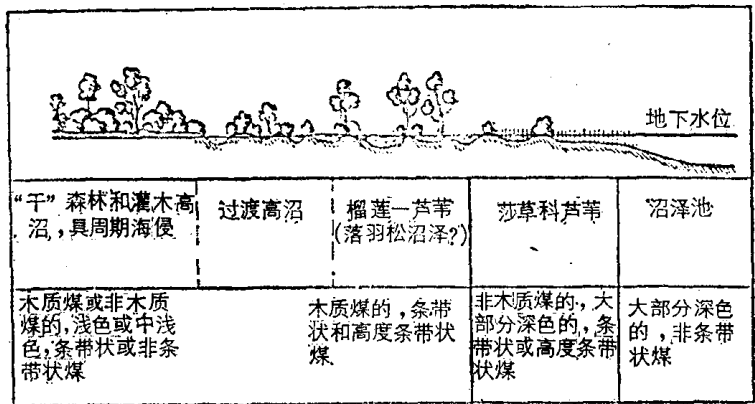


图5 联邦德国莱茵地区各种褐煤煤岩类型的成泥炭植物群落和推测的沉积环境的相剖面示意图

(据Hiltmann, 1976)