

应用煤岩学

周师庸 编著



yingyong
meiyanxue

冶金工业出版社

应用煤岩学

周师庸 编著

冶金工业出版社

应 用 煤 岩 学

周师庸 编著

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 12 3/8 字数 326 千字

1985年8月第一版 1985年8月第一次印刷

印数00,001~2,400册

统一书号: 15062·4254 定价3.05元

序 言

煤岩学是一门研究可燃岩石的学科。用肉眼或应用光学仪器来研究自然状态下固体可燃矿物的各种方法和方式，都属于煤岩学的范围之内。应用煤岩学则是运用煤岩学的观点和方法来分析和处理一切与固体可燃矿物有关的问题，特别是根据各种煤岩成分的不同性质，以各种适当手段，在各有关领域（主要是与固体可燃矿物加工有关的领域）里加以利用。

编写这本书有以下几个意图：

1) 煤岩学与固体燃料的其它学科相比，还是比较年轻的，但目前它已逐渐应用到各有关领域。与煤岩学应用有关的资料多数都散见在各种专业的刊物上，将它们收集起来，并结合以往的工作，编写成册，以期能引起有关方面的重视和支持，使煤岩学的应用在我国能获得较迅速的进展。

2) 煤岩学是一门正在发展中的较新学科，为了使它在四化建设中起应有作用，希望能有更多的人熟悉它、掌握它、运用它。就目前来说，应用煤岩学涉及的领域比较广泛，而煤岩学的普及并不理想，特别是从事工艺的科技人员。因此，希望这本书的内容能起到沟通煤岩学与各种有关工艺之间的桥梁作用。

3) 煤岩学可以说已成为某些专业的一门专业基础课，对它做进一步深入的基础工作和应用研究是十分必要的。而这些决不是个别单位及少数人所能完成的，只有有关专业和单位共同进行工作，才有可能出现新的局面。因此，编写此书，力图反映这一领域的现状。书中对有争议的观点或工作结果，也没有完全舍弃，以保留它的启发作用和做进一步的完善工作。

过去，我在从事煤岩学工作时，所见到的有关煤岩学书籍，总是用大量篇幅叙述煤岩学的基础知识，而对于我迫切需要了解的煤岩学方法、煤岩成分性质、各种煤岩成分在加热过程中的动

态，以及煤岩学在各领域中的应用等内容却叙述得太少，往往使我们感到煤岩学在工艺上应用无从入手。这种状况直到目前也还不能说已经解决。这一方面受煤岩学发展的限制，另一方面也可能是由于长期以来煤岩学似乎主要是地质专业的学科所致。总之，对其他有关专业来说，总感到有进一步充实的必要。本书内容试图对此有所改观。我以《应用煤岩学》作本书的书名，以区别于传统的地质专业的煤岩学。

应用煤岩学包括以下几个部分：

一、应用煤岩学简史。

二、煤的成因 从便于深刻理解煤的性质及其变化规律来叙述这部分内容。并为下一部分煤岩学基础提供依据。

三、煤岩学基础 介绍从事应用煤岩学研究工作所必须掌握的知识。

四、煤岩学方法 介绍应用煤岩学研究中的各种方法。

五、煤岩成分性质 这是运用和研究应用煤岩学的前提。

六、煤在加热过程中的动态 应用煤岩学中的大量工作与固体燃料的热加工和热态利用有关，因此，用煤岩学的方法和观点来阐明各种煤岩成分在加热过程中的动态，是应用煤岩学中重要的组成部分。

七、煤岩学在工业中的应用 目前煤岩学应用所涉及的有关专业较多，一个人不可能同时熟悉多种专业。因此，在工业中应用，也不是包罗无遗的，其中主要是阐述与焦化工业有关各领域的应用。至于煤岩学在地质上的应用，请参阅其他有关专著。

在本书编写过程中，承蒙冶金部钢铁司董海总工程师的关心和帮助，鞍山热能研究所冯安祖所长、科研办公室董伯臣主任、煤质室王立富主任的支持，周淑仪工程师的协助，于此诚表深切的谢意。

由于本书内容涉及面较广，本人的水平有限，有错误或不妥之处，希望读者多多指正。

目 录

序言	V
第一章 应用煤岩学简史	1
第二章 煤的成因	5
第一节 成煤植物的有机组成	5
第二节 生物化学作用	10
第三节 物理化学作用	17
第四节 煤化作用跃变	23
第五节 沥青化作用	25
第三章 煤岩学基础	26
第一节 宏观煤岩组成	26
第二节 煤的显微组成	28
第三节 残植煤、腐泥煤和腐植腐泥煤	50
第四章 煤岩学方法	54
第一节 取样	54
第二节 制片	55
第三节 煤岩显微组分定量	59
第四节 焦炭显微结构定量	60
第五节 煤的反射率测定	62
第六节 焦炭的反射率测定	75
第七节 反射率的自动测定	77
第八节 显微硬度	85
第九节 煤岩显微组分分离	89
第十节 加热过程中显微组分变化	95
第十一节 焦炭显微镜	98
第十二节 荧光显微镜和荧光光谱	103
第十三节 扫描电子显微镜	105
第十四节 图象分析仪	105
第十五节 光片腐蚀	107

第十六节 比较显微镜	107
第十七节 高温熔点显微镜	108
第五章 煤岩成分性质	109
第一节 宏观煤岩成分性质	109
第二节 煤岩显微组分性质	118
一、工业分析和元素分析	118
二、反射率	126
三、折射率和吸收率	130
四、比重	134
五、硬度	137
六、显微脆度	139
七、压缩性	139
八、荧光性	141
九、润湿热	143
十、膨胀性和粘结性	145
十一、膨胀压力	165
十二、溶剂抽提	167
十三、加氢	170
十四、氧化	170
十五、气体析出动态	172
十六、热解时的热效应	177
十七、焦炭和化学产品收率	183
十八、红外光谱分析	193
十九、官能团分析	195
二十、X-射线衍射分析	199
二十一、化学结构模型	201
第三节 煤岩显微类型性质	204
第四节 褐煤中镜质组的性质	205
一、工业分析、元素分析和含氧官能团的测定	206
二、腐植酸	206
三、沥青	210
四、褐煤中结构镜煤和镜煤基质的化学组成	211
第五节 接触变质煤的性质	213

一、基础物质	213
二、不变化的成分	214
三、新形成的成分	214
第六章 煤在加热过程中的动态	216
第一节 炭化过程总论	216
第二节 加热过程中煤的软化性状	218
第三节 各种显微组分在加热过程中对成焦的作用	220
第四节 中间相的转变过程	222
一、小球体的发现	222
二、液晶和中间相	223
三、中间相的形成	225
四、小球体的结构模型	226
五、中间相的发展	226
六、中间相发展的基本要素	229
七、各向异性碳	230
第五节 炭化过程中镜质组光学性质的变化	233
一、概述	235
二、炭化过程中影响镜质组光学性质变化的因素	237
三、讨论	249
四、结论	254
第六节 炭化过程中镜质组强度的变化	255
第七章 煤岩学在工业中的应用	256
第一节 煤岩学在焦化厂日常生产中的应用	256
一、评定煤质	256
二、解释焦化生产中出现的反常现象	257
三、控制来煤质量	260
第二节 煤分类	262
一、国际煤分类和我国现行煤分类存在的主要问题	263
二、采用煤岩学中指标的工业一成因分类现状	264
三、烟煤工业一成因分类中的若干问题和意见	280
第三节 选煤	289
一、煤岩成分的强度及其对颗粒分级和选煤的影响	290
二、煤岩成分的比重差别及其对选煤的意义	292

三、从煤岩学观点评定煤的可选性方法	294
第四节 配煤	298
一、配煤技术现状	298
二、煤岩配煤的基本原理	300
三、各种煤岩配煤方法	301
四、自动测定反射率设备在煤岩配煤中的应用	317
五、关于煤岩配煤研究的几点意见	317
第五节 煤加工	319
一、我国焦化厂备煤工艺现状	319
二、合理加工煤料的原则	319
三、煤料选择加工的理论基础	322
四、煤岩选择加工	323
五、煤岩加工另一个有效途径	341
第六节 焦炭光学性质的应用	348
一、煤岩显微组分和焦炭显微结构之间的关系	349
二、焦炭显微结构的命名和分类	351
三、影响焦炭显微结构组成的因素	354
四、焦炭光学性质的初步应用	353
第七节 其它方面的应用	374
一、煤中锆的富集	374
二、加氢液化的原料煤选择	374
三、从沉积岩中镜质组的反射率推断油藏和气藏	375
图片 (41张)	377
参考文献	384

第一章 应用煤岩学简史

1830年到1846年，古植物学研究者试制煤的光片和薄片，并把它在反射光和透射光下观察，试图证明煤是由古植物形成的。

1854年在英国发生所谓“炭质油页岩”审判案，对炭质油页岩是不是属于煤发生争论，争论持续了近二十年。煤的显微镜研究第一次显示了它的实际意义。

1892年到1898年，在显微镜下研究藻煤和烛煤的薄片，并确定藻煤是由藻类形成的。

1913年西逊（Thiessen）和怀特（White）发表了《煤的起源》。1920年西逊又发表了《古生代烟煤结构》，并附有大量煤的薄片的显微照片。这些著作在煤岩学发展中是有贡献的。

1919年斯托普斯提出四种煤岩成分，即镜煤、亮煤、暗煤、丝炭，并描述了它们的特征和它们性质之间的区别。1957年他又介绍了两种过渡成分，即暗亮煤和亮暗煤。

1924年波托涅编写了《普通煤岩学概论》一书。第一次出现了“煤岩学”这个术语。如果第一次出现煤岩学这个术语就意味着成为独立学科，那么，煤岩学成为一门独立的学科，就可以说是从那时开始的。在这以前，主要解决了薄片的制备，识别了煤中各种成分的形态特征，并确定了煤是由古植物残骸形成的。

1925年斯塔赫介绍了光片技术，并用油浸物镜作显微镜鉴定和显微照相。由于采用油浸物镜，在显微镜下能观察到更多的细节，因此，这一技术很快应用到煤的研究工作中。油浸技术的应用对后来煤岩学在工艺上应用的研究影响是很大的。与此同时，德国莱茨公司对垂直照明器作了改进。光学仪器的完善，也促进了煤岩学的发展。在此以前，要清晰地辨认植物结构，都必须用化学试剂来腐蚀光片表面。

1928年斯塔赫和屈耳魏恩提出制备粉煤光片的方法，使煤岩

学从一门描述性的学科，开始变成一门走向有可能以数据来表达的精确的学科。这不仅在后来成为煤岩定量的基础，而且对煤岩学在工艺方面的应用研究，解决了取样的代表性问题。

1935年M.斯托普斯建议用煤岩显微组分这一术语，使煤岩学向精细方向发展前进了一步。

1932年霍夫曼和晏克纳尔用勃瑞克光度计，发现镜质组的反射率和煤的变质程度相互有依赖关系。这个发现对以后煤岩学的发展有重大的影响。以后，很多人对测定反射率的仪器、方法和操作不断地作了改进，对测定反射率的仪器相继改用照相法、比较显微镜法、各种光电池法、光电倍增管法，以及配置灵敏度很高、性能稳定的显示设备。直到近年来，出现各种型号、性能略有不同的自动测定光度计。同时，凡是产煤和用煤的国家都先后对反射率测定开展了大量的基础工作和应用研究。自动测定光度计的试制成功，为煤岩学在各个领域中的应用和研究展现了广阔的前景。

在1950年，太赫米累介绍了测定沉积岩细粒煤包体的反射率以后，反射率测定对勘探石油和天然气储藏显示了它的重要性。

1949年出版了斯塔赫编著的《煤的显微镜学》。著作中对煤岩学如何应用到各有关领域，综述了若干具体的方法。这一著作在解放初期，对我国冶金系统开展煤岩学工作起过一定的作用。

1951年阿布腊姆斯基、马科夫斯基、曼特累和斯塔赫编写的《应用煤岩学图册》问世，内有256张照片，包括不同变质程度煤的各种显微组分和煤中矿物的显微照片。显微照片基本上都采用光片。斯塔赫认为，这是煤科学发展的里程碑。在五十年代，这本图册对冶金系统的煤岩工作者在以光片代替薄片的过程中起了有力的指导作用，从而奠定了煤岩定量和煤岩学应用的基础。

1951年步尔斯特连提出煤岩选择加工的理论 and 流程。以后，各国相继结合本国资源进行工作，并把它应用在焦化生产中。煤岩学应用于焦化工艺，无疑是第一次取得显著的成效。

1957年前后一段时期，克里格尔等对煤岩显微组分进行分

离，取得了很好的效果。这为了解煤岩显微组分的各种性质提供了必要的前提。此后，陆续出现煤岩显微组分各种性质的试验结果，这些对应用煤岩学的发展是有促进作用的。

1957年阿莫索夫提出著名的煤岩配煤理论。1961年施皮罗对此理论进行了补充。以后，各国根据这个理论，结合不同的资源和工艺条件提出各种煤岩配煤方法，并应用于生产中。

五十年代以后，各国著名的煤岩学家对煤在加热过程中的变化都进行了研究，并且得出大体上一致的结果，从而丰富了成焦机理的内容，为固体燃料的热加工提供了可靠的理论依据。

1961年塔洛和布罗克斯研究澳大利亚一个受接触变质影响的煤层后，提出了粘结性煤在加热过程中必须经过中间相的理论。这对成焦机理和固体燃料加工都有一定的重要意义。

近二十年来，焦炭显微镜有所发展。虽然R.P.腊姆多尔提出焦炭显微镜是在1928年，但由于仪器设备等多种因素的限制，长期以来停滞不前，直到六十年代，才从定性描述发展到定量研究。以后，又提出扩大应用范围的可能性。目前它已成为研究焦炭质量、控制加工条件，以及了解高炉中焦炭动态的重要手段之一。

早在三十年代，我国地质学家谢家荣就进行过煤岩学的研究工作，并发现富集树皮的著名江西乐平纸煤。五十年代初期，古植物学家徐仁举办了煤岩学学习班，训练了一批煤岩学工作的骨干。与此同时，科学院、地质、煤炭和冶金系统都建立了煤岩学实验室，按各自不同的目的和要求开展工作。近三十年来，我国在对各时代煤田煤岩研究的基础上，初步总结了主要聚煤期煤的显微煤岩特征，探讨了若干煤田的显微煤岩组成的化学工艺性质。煤岩学应用在煤分类、煤岩配煤、煤岩加工、焦炭鉴定、成焦机理、预测煤的可选性、煤层对比，以及探索勘探石油和天然气研究等方面都取得了不同程度的效果。

1953年成立了国际煤岩学委员会（ICCP）。二十多年来，国际煤岩学委员会对于统一命名、统一术语概念、推广煤岩学所取

得的成果在工业上应用，以及对煤岩学发展中出现重大问题组织广泛的讨论和研究工作都起了一定的作用。

煤岩学，特别是应用煤岩学，仍然处于急待发展的阶段。预计随着仪器设备的进一步完善和移植，以及有关学科的基础工作不断取得新的成就，应用煤岩学涉及的范围将会更广泛，效果将会更显著，作为固体可燃矿物中的一门独立学科将会更系统化、科学化。

第二章 煤的成因

煤是植物残骸经过复杂的生物化学作用和物理化学作用转变而成的。这一整个演变过程称为成煤作用。成煤作用按其化学作用的类型大致可分为两个阶段。第一阶段以生物化学作用为主。植物在泥炭沼泽、湖泊或浅海中不断繁殖、死亡，其残骸在微生物作用下不断分解、化合、聚积。低等植物经生物化学作用形成腐泥，高等植物形成泥炭。因此，成煤的第一阶段可称为腐泥化阶段或泥炭化阶段。第二阶段起主导作用的是物理化学作用。由于地壳下沉，腐泥或泥炭被上覆沉积物所掩埋，并受到温度和压力等的影响而变成煤。成煤的第二阶段包括成岩作用和变质作用两个连续的过程。泥炭受温度和压力的影响变为褐煤，称成岩作用。褐煤进一步变成烟煤和无烟煤，称变质作用。上述各阶段的相互关系可参见图2-1。

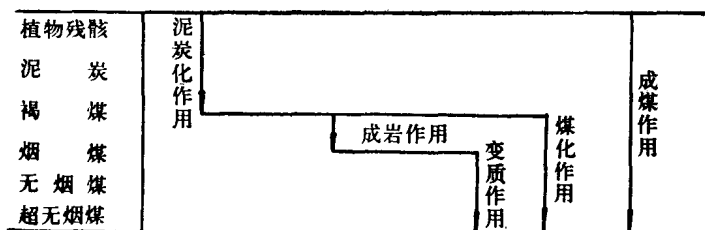


图 2-1 成煤作用各阶段的划分

第一节 成煤植物的有机组成

高等植物和低等植物都是成煤的原始材料，而且差不多所有部分都可参与成煤作用。但在煤中常见的是高等木本植物的茎、根、叶等部分转变而成的组分。植物主要由以下四类有机化合物组成：碳水化合物（包括纤维素、半纤维素和果胶等）、木质素、

蛋白质、脂类化合物（包括脂肪、蜡质、树脂、角质、木栓质、孢粉质等）。各类植物的有机组成不同，同一种植物不同部分的有机组成也不同。从表2-1可以看出，低等植物主要由蛋白质和碳水化合物组成，脂类化合物含量较高；高等植物主要以纤维素、半纤维素和木质素为主。木本植物各部分的有机组成差别很大，活的细胞中原生质主要是蛋白质；茎和叶主要是纤维素和木质素；角质膜、木栓层、孢子和花粉含大量的脂类化合物。煤的原始植物有机组成是决定煤的性质的一个重要因素之一。

表 2-1 植物的主要有机组分含量^{〔1〕}

植 物		碳水化合物	木质素	蛋白质	脂类化合物
细 菌		10~28	0	50~80	5~20
绿 藻		30~40	0	40~50	10~20
苔 藓		30~50	10	15~20	8~10
蕨 类		50~60	20~30	10~15	3~5
草 类		50~70	20~30	5~10	5~10
松柏和阔叶树		60~70	20~30	1~7	1~3
木本植物的 不同部分	木 质 部	60~75	20~30	1	2~3
	叶	65	20	8	5~8
	木 栓	60	10	2	25~30
	孢 粉 质	5	0	5	90
	原 生 质	20	0	70	10

以下简述植物有机组分与成煤作用有关的特点。

一、碳水化合物

碳水化合物包括纤维素、半纤维素和果胶质等。纤维素是构成植物细胞壁的主要成分。纤维素的大分子是由几千个D-葡萄糖残基以 β -1,4键相联结而成的多糖，呈长链状结构（见图2-2），分子式为 $(C_6H_{10}O_5)_n$ 。纤维素在溶液中呈胶体，容易水解。在活的植物中，纤维素对微生物的作用很稳定，但当植物死亡后，在氧化条件下容易受需氧性细菌、霉菌等微生物的作用而分解成 CO_2 、 CH_4 和水。在泥炭沼泽的酸性介质中，纤维素可分解为

纤维二糖和葡萄糖等。

半纤维素和果胶质的化学组成和性质与纤维素相近，但比纤维素更易水解为糖类和酸。

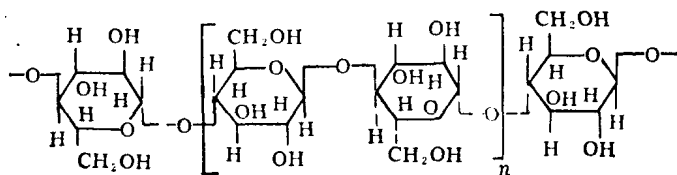


图 2-2 纤维素的分子结构^[2]

二、木质素

木质素也是植物细胞壁的主要成分，常分布在植物茎部的细胞壁中，与半纤维素等碳水化合物紧密结合，以增强其坚固性。木本植物的木质素含量高。木质素是具有苯基丙烷结构的芳香族高分子聚合物，其中含甲氧基等官能团（见图2-3）。

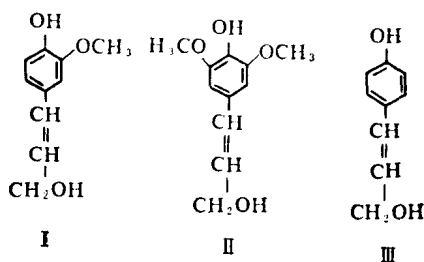


图 2-3 木质素不同类型^[2]的单体

I—针叶树中松柏醇 $C_{10}H_{12}O_3$ ；II—落叶树中芥子醇 $C_{11}H_{14}O_4$ ；

III—禾本中 ρ 豆香醇 $C_9H_{10}O_2$ 。

木质素的单体以不同的链连成大分子，所以比纤维素稳定，不易水解，在植物死亡后也比纤维素难分解，但较易氧化成芳香酸和脂肪酸。在泥炭沼泽中，在水和微生物的作用下，木质素发生分解，并和其它化合物生成与腐植酸相似的物质。所以，木质素是成煤原始物质中很重要的有机组分。

三、蛋白质

一般植物中蛋白质含量不多，它是组成植物细胞原生质的主要物质，所以它在植物生命活动过程中起着重要的作用。蛋白质是由若干个氨基酸按一定键结合而成的结构复杂的高分子化合物。它含羧基和羟基，具有酸性和碱性，是一种具有强烈亲水性的胶体。它在低等植物中（如藻类、菌类）含量高。植物死亡后，如果氧化条件充分，蛋白质可全部分解为气体而逸去。在泥炭沼泽和湖泊中，蛋白质可以分解或转变为氨基酸、吡啶含氮化合物，参与成煤作用。煤中的氮和硫可能与植物中的蛋白质有关。

四、脂类化合物

脂类化合物指不溶于水，而溶于醚、苯、氯仿等有机溶剂的有机化合物。它包括脂肪、蜡质、树脂、角质、木栓质和孢粉质等。

1. 脂肪 脂肪属于长链脂肪酸的甘油酯。低等植物含脂肪多，在藻类中含量达20%，高等植物一般仅含1~2%，而且多集中在植物的孢子和种子中。在生物化学作用过程中，脂肪在酸性或碱性溶液中能被水解，生成脂肪酸和甘油，脂肪酸参与成煤作用。

2. 蜡质 蜡质在植物中成薄膜覆盖在茎、叶和果实外皮上，以防止水分蒸发和避免遭受伤害。蜡质的成分比较复杂，主要是长链脂肪酸与含有24~36个碳原子的高级一元醇形成的酯类，其化学性质稳定，不易分解。在泥炭和褐煤中常能发现蜡质。

3. 树脂 树脂是植物生长过程中的分泌物。当植物受伤时，胶状的树脂不断分泌出来保护伤口。针叶植物含树脂最多，低等植物没有。树脂是混合物，其主要成分是二萜和三萜类的衍生物。树脂的化学性质十分稳定，不溶于有机酸，不能为微生物破坏，因此能很好地保存在煤中。我国抚顺第三纪煤中的“琥珀”就是由树脂变成的。