

MEITAN ZHUANHUA YU MEI HUAGONG

现代煤炭转化与煤化工 新技术新工艺实用全书

主 编 廖汉湘



安徽文化音像出版社

封面设计 岳国雲

ISBN 7-88413-393-8



9 787884 133932 >

ISBN 7-88413-393-8
精装四卷 定价：980.00元

现代煤炭转化与煤化工 新技术新工艺实用全书

主 编 廖汉湘

(第一卷)

安徽文化音像出版社

书 名：现代煤炭转化与煤化工新技术新工艺实用全书

文本编著者：廖汉湘

出版发行：安徽文化音像出版社

光盘生产者：华韵影视光盘有限责任公司

出版时间：2004年5月

本 版 号：ISBN 7-88413-393-8

定 价：980.00元（全四卷）

编 委 会

主 编	廖汉湘				
副主编	陈凤英	邓展生	杜如昱		
编 委	陈凤英	邓展生	杜如昱	冯秋实	范上达
	傅贤波	龚连生	黄 桦	黄 婉	霍继荣
	何建行	胡冬煦	胡品津	姜远海	李年丰
	李远斌	李康华	李小毛	李异凡	廖允军
	刘衍民	刘蔚东	刘桐林	刘凤英	刘爱华
	陆大祥	赖佳民	鲁重美	欧石生	瞿素洁
	孙 虹	孙维佳	苏泽轩	沈守荣	唐丽安
	田湘娥	万小平	王国斌	王秋生	王群伟
	吴在德	夏穗生	徐泽湘	杨连粤	姚礼庆
	叶章群	尹本义	尹邦良	张宝善	张建军
	赵素萍	赵建勋	郑启昌	周汉新	

前 言

煤炭作为重要的能源和化工原料，随着人类物质文明的发展，日益重要。尤其对于有非常丰富煤炭资源的中国，更好地开发和利用煤炭资源，有着重要的战略意义。目前，我国的煤炭转化与煤化工事业进入一个新的发展时期，特别是在煤炭产地，一批新的煤化工项目开始起步，老企业正以现代新技术改造传统落后的生产装置，以油为原料的大、中型合成氨厂开始进行煤代油的技术改造。正是在此情况下，我们组织煤炭转化及煤化工领域的专家、学者和实际工作者共同努力，精心编撰了本书。

本书共分 10 篇，对煤炭洗选、加工、燃烧、焦化、气化、直接液化、间接液化、转化后的产品及其利用技术、方法、工艺流程、工艺条件、主要设备等做了详细介绍，并全面反映了 20 世纪国际煤化工的现代技术水平：如气化技术中流化床水煤浆加压气化、粉煤加压气化、流化床的灰熔聚炉气化技术、煤的地下气化技术；焦化中焦油煤化工产品的分离与提取技术；煤的直接与间接液化技术等，技术先进，方法全面。除此之外，本书还对煤的综合利用技术，如燃煤气化联合循环发电、燃料电池、碳素材、由合成气制取氨、甲醇、二甲醚、低碳醇和羟基合成多种化工产品等均作了详细介绍。

在本书的编写过程中，参考了国内外已有的相关文献，并得到了许多方面的关心和支持，同时也受益于学术同仁提出的很多中肯的意见，我们在此一并表示诚挚的谢意。

需要说明的是，本书虽经多方面努力，但由于编者水平有限，缺点和错误在所难免，敬请本领域内的专家和广大读者批评指正，以便再版时修订完善。

编 者

2004 年 5 月

目 录

第一篇 现代煤炭转化与煤化工总论

第一章 煤的组成和性质	(3)
第一节 成煤作用	(3)
第二节 煤岩学基础	(8)
第三节 煤的化学组成	(25)
第四节 煤的主要物理性质	(37)
第五节 煤的化学性质	(49)
第六节 煤的工艺性质	(51)
第七节 煤的分析、鉴定方法和标准	(66)
第八节 动力煤的合理配合	(70)
第二章 我国煤炭资源及煤质特征	(74)
第一节 中国分大区、分省(市、区)分煤种的储量	(74)
第二节 中国不同时代煤的煤质特征	(79)
第三节 不同类别煤的煤质特征	(92)
第四节 中国煤的主要质量特征	(103)
第五节 我国煤炭资源的特点及分级	(108)
第六节 煤的岩相组成与特性及其分类	(113)
第七节 中国煤炭质量分级标准	(129)
第八节 各种工业用煤质量指标	(135)
第三章 现代煤炭转化与煤化工发展概况	(143)

- 第一节 现代煤炭转化与煤化工技术概述····· (143)
- 第二节 现代煤化工发展模式简介····· (161)

第二篇 煤的洗选、加工技术与工艺

- 第一章 煤的洗选技术与工艺····· (171)
- 第一节 选煤的概念、分类及现状····· (171)
- 第二节 跳汰选煤····· (174)
- 第三节 浮游选煤····· (181)
- 第四节 湿法选煤工艺流程····· (188)
- 第五节 重介质旋流器选煤工艺流程····· (193)
- 第六节 重介质旋流器选煤自动化····· (214)
- 第七节 流态化分离技术····· (241)
- 第八节 选后产品的脱水和煤泥水处理····· (280)
- 第九节 煤的燃前脱硫····· (283)
- 第二章 型煤制造技术与工艺····· (289)
- 第一节 型煤技术发展现状····· (289)
- 第二节 型煤分类及其质量····· (292)
- 第三节 粉煤成型机理····· (298)
- 第四节 型煤黏结剂和添加剂····· (300)
- 第五节 型煤生产工艺及主要设备····· (303)
- 第六节 工业型煤····· (310)
- 第七节 民用型煤····· (319)
- 第三章 水煤浆制备技术与工艺····· (323)
- 第一节 水煤浆技术概论····· (323)
- 第二节 水煤浆处理剂····· (358)
- 第三节 高浓度水煤浆制备技术与工艺····· (389)
- 第四节 煤泥水煤浆技术····· (425)
- 第五节 主要设备····· (443)

第三篇 煤的燃烧原理、技术与设备

第一章 煤的燃烧原理·····	(467)
第一节 煤燃烧的化学平衡·····	(467)
第二节 燃烧动力学·····	(470)
第三节 煤炭燃烧过程的计算·····	(509)
第二章 流化床燃烧技术·····	(520)
第一节 流化床燃烧的特点·····	(520)
第二节 流化床燃烧机理·····	(521)
第三节 流化床中煤粒的燃烧过程·····	(528)
第四节 循环流化床锅炉的燃烧区域·····	(531)
第五节 影响流化床燃烧的主要因素·····	(533)
第六节 炉膛内燃烧份额和一、二次风的分配·····	(537)
第七节 流化床燃烧污染物排放控制·····	(539)
第三章 煤的燃烧设备·····	(559)
第一节 燃烧设备·····	(559)
第二节 结渣、积灰、外部腐蚀与磨损·····	(603)

第四篇 煤炭焦化技术与工艺

第一章 煤炭热解技术与工艺·····	(611)
第一节 概 述·····	(611)
第二节 煤的热解动力学·····	(613)
第三节 热解方法·····	(616)
第四节 热解产物及其利用·····	(626)
第二章 煤炭焦化技术与工艺·····	(638)
第一节 炼焦理论·····	(638)
第二节 炼焦用煤的工艺性质评价方法·····	(640)

第三节	配煤炼焦技术	(643)
第四节	炼焦新技术	(648)
第五节	型焦技术	(658)
第六节	焦 炉	(669)
第七节	焦炭的种类及性质	(674)
第八节	炼焦技术的发展与展望	(680)
第九节	各种炼焦技术经济评价	(688)
第三章	煤焦油及其深加工技术与工艺	(691)
第一节	煤焦油的生成和性质	(691)
第二节	煤焦油主要加工产品的性质及用途	(692)
第三节	煤焦油加工前的准备	(710)
第四节	煤焦油蒸馏	(713)
第五节	粗酚的提取和精制	(723)
第六节	粗吡啶的精制	(732)
第七节	古马隆-茛树脂的制取	(734)
第八节	工业萘和精萘的制取	(739)
第九节	洗油的加工精制	(744)
第十节	粗蒽的制取及加工	(746)
第十一节	沥青加工	(748)
第四章	焦炉煤气及其利用技术与工艺	(753)
第一节	概 述	(753)
第二节	焦炉煤气(荒)凝冷却、加压及电捕焦油	(755)
第三节	焦炉煤气脱硫	(757)
第四节	焦炉煤气中氨的回收	(761)
第五节	焦炉煤气终冷和洗萘	(766)
第六节	粗苯回收	(769)
第七节	酚回收	(775)
第八节	焦炉煤气利用	(786)

第五篇 煤炭气化技术与工艺

第一章 煤炭气化概述	(791)
第一节 煤炭气化的意义与工艺性质	(791)
第二节 煤的气化技术和性质	(799)
第三节 煤炭气化的反应原理	(816)
第四节 煤炭气化技术分类	(839)
第二章 常压固定床气化技术与工艺	(845)
第一节 概 述	(845)
第二节 固定床气化对煤质量的要求	(847)
第三节 发生炉煤气	(849)
第四节 两段炉制气	(867)
第五节 间歇法气化工艺	(871)
第六节 型煤制气	(887)
第七节 气化过程节能综述	(895)
第八节 富氧连续气化	(900)
第三章 碎煤固定层加压气化技术与工艺	(916)
第一节 概 述	(916)
第二节 加压气化原理与气化过程计算	(918)
第三节 加压气化操作条件及主要气化指标	(933)
第四节 鲁奇加压气化炉炉型构造及工艺流程	(941)
第五节 碎煤加压气化炉的操作控制	(960)

第一篇

现代煤炭 转化与煤化工总论

第一章 煤的组成和性质

第一节 成煤作用

煤是植物遗体经过复杂的生物、地球化学、物理化学作用转变而成的。从植物死亡、堆积到转变为煤经过了一系列的演化过程，这个过程称为成煤作用。成煤作用大致可分为两个阶段。第一阶段是植物在泥炭沼泽中不断繁衍，其遗体在微生物参加下不断分解、化合、聚集的过程。在这个过程中起主导作用的是生物地球化学作用，在这个作用下低等生物形成腐泥，高等植物形成泥炭。因此可称为腐泥化阶段或泥炭化阶段。当泥炭和腐泥由于地壳下沉等原因被上覆沉积物掩埋时，就转入第二阶段——煤化作用阶段，即泥炭、腐泥在以温度和压力起主导作用下转变为煤的过程。这个阶段包括成岩作用和变质作用，起主导作用的是物理化学作用。泥炭先变成褐煤（成岩阶段），再由褐煤变成烟煤（变质阶段）。

一、成煤原始物质

成煤原始物质主要是植物，植物界可分为低等植物和高等植物两大类。属于低等植物的有菌类和藻类；属于高等植物的有苔藓植物、蕨类植物、裸子植物和被子植物。植物的有机组分主要由以下四种有机化合物组成：碳水化合物——包括纤维素、半纤维素和果胶等，木质素，蛋白质和脂类化合物——包括脂肪、蜡质和树脂、胶质、木栓质、孢粉质等，各类植物的有机组成不同，同一种植物各部分的有机组成也不一样，见表1-1。

成煤原始物质是影响煤质的重要因素之一。原始物质组成不同的煤性质也会不一样，如成煤植物主要是植物的根、茎等木质纤维组织，则煤的氢含量就比较低；如果是由含脂类化合物多的角质膜、木栓层、树脂、孢粉所形成的煤，则其氢含量高见表1-2；若由藻类形成的煤其氢含量就更高。

根据成煤植物、成因、化学性质和岩石组成的不同，可划分出以高等植物为主形成的腐植煤和以低等植物为主形成的腐泥煤。自然界腐泥煤很少见，而工业开采的绝大多数是腐植煤，因此以下研究的均指腐植煤。

第一篇 现代煤炭转化与煤化工总论

表 1-1 植物的主要有机组成/% (质量分数)

植物及其不同部分		碳水化合物	木质素	蛋白质	脂类化合物
细菌		12~28	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
松柏及阔叶树		60~70	20~30	1~7	1~3
木本植物的 不同部分	木质部	60~76	20~30	1	2~3
	叶	60	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

表 1-2 成煤植物各种物质的元素成分/% (质量分数)

成煤植物 及各种物质	元素组成				成煤植物 及各种物质	元素组成			
	C	H	O	N		C	H	O	N
浮游生物	45.0	7.0	45.0	3.0	脂肪	77.5	12.0	10.5	—
细菌	48.0	7.5	32.5	12.0	蜡质	81.0	13.5	5.5	—
陆生植物	54.0	6.0	37.0	2.75	角质	61.5	9.1	29.4	
纤维素	44.4	6.2	49.4		树脂	80.0	10.5	9.0	—
木质素	62.0	6.1	31.9		孢粉质	59.0	8.2	32.5	
蛋白质	53.0	7.0	230	16.0	鞣质	51.3	4.3	44.4	—

二、泥炭的形成

高等植物能大量繁殖、堆积并转变为泥炭的地方是泥炭沼泽。泥炭沼泽的形成和发育是地质、地貌、气候、水文、土壤、植物多种自然因素综合作用的结果。不论是内陆地区还是近海地区都能形成泥炭沼泽。形成泥炭沼泽的植物可以是草本的也可以是木本

的。不同地理条件下形成的泥炭沼泽和泥炭各有不同的特点。

高等植物死亡后变成泥炭的生物化学过程称为泥炭化作用。近代研究资料表明,植物所有的有机组分和泥炭中的微生物都参加了成煤作用,而且各种组分对于形成泥炭与泥炭转变为煤都有影响,在不同程度上决定着煤的性质。一般认为,泥炭化过程的生物化学作用大致分为两个阶段:第一阶段,植物遗体中的有机化合物经过氧化分解和水解作用,转化为简单化学活性活泼的化合物;第二阶段,分解产物进一步合成为新的化合物,如腐殖酸沥青等。这两个阶段不是截然分开的,在植物分解不久时,合成作用也就开始了。

植物变成泥炭后,植物中含有的蛋白质在泥炭中消失了,木质素、纤维素等在泥炭中很少,而产生了植物中没有的大量腐殖酸。元素组成中,泥炭的碳含量比植物增高,氮含量有所增加,而氧含量减少。说明泥炭化过程中植物的各种有机组分发生了复杂的变化。泥炭的有机组成主要包括以下几个部分。①腐殖酸,它是泥炭中最主要的成分。腐殖酸是高分子羟基芳香羧酸所组成的复杂化合物,具有酸性,溶于碱溶液而呈褐色,是一种无定形的高分子胶体,能吸水而膨胀。②沥青质,可由合成作用形成,也可由树脂、蜡质孢粉质等转化而来,溶于一般的有机溶剂。③未分解或未完全分解的纤维素、半纤维素、果胶质和木质素。④变化不多的稳定组分,如角质膜、树脂、孢粉等。

泥炭沼泽分内陆泥炭沼泽和近海泥炭沼泽。泥炭沼泽的聚积环境对泥炭的成分和性质,以至煤的成分和性质有很大的影响。滨海沼泽常受海水淹没,含盐、含硫量高,其介质为弱碱性,十分有利于硫酸盐还原细菌和许多微生物的活动。在这样的环境下,不但生长的植物含硫量高,还有较多的藻类等低等生物加入到泥炭中。在海水介质、厌氧环境、微生物、原始成煤植物等因素的综合影响下,使得滨海沼泽比内陆沼泽泥炭形成的煤层,不但含硫量较高,而且在低中煤化阶段煤的氢含量较高、黏结性较好。

三、煤化作用

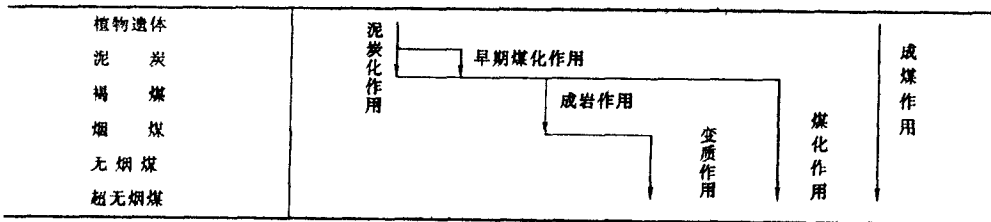
泥炭经过褐煤、烟煤的各种煤级直到无烟煤、超级无烟煤的发展叫煤化作用。温度、压力和时间是促使煤变化的因素,其中温度是主要因素。在煤化过程中静压力和构造压力是不可缺少的因素,但只是次要因素。压力促进煤的物理结构变化。如静压力使煤压实、孔隙率降低、水分减少和相对密度增加,促使芳香稠环平行层面,但不能使煤起化学变化。煤在较高温度下持续的时间越长,煤化程度越高。既然煤化程度是煤受热及其受热时间的常数,那么在较低温度下长时间受热和在较高温度下短时间受热,都有可能得到同样煤化程度的煤。成岩作用、煤化作用与变质作用的相互关系见表1-3。

1. 早期煤化作用阶段

泥炭从被埋藏之时起,即进入早期煤化作用阶段。随着煤化程度的加深,泥炭有机质的化学组成及化学结构发生了规律的变化。泥炭演化的总趋势是全水分 $M_{t,ar}$ 含量、H/C 原子比、O/C 原子比、纤维素含量等都减少,而发热量与挥发分之比 $Q_{daf,gr,v}/daf$ 、

芳碳率、黄腐酸转化率、热解最高峰值 T_{max} 、双环芳烃含量等都明显增大。在宏观岩石学特征上，表现为固结程度增强，颜色变深，出现微弱“光泽”及草本植物残体不可辨认。根据这些特征，国内某些研究者先后提出，将泥炭的煤化作用由浅到深划分为泥炭1号和泥炭2号阶段。与化学指标相比，泥炭显微光学物理性质在早期煤化阶段的演化似乎更为明显和规律，除了腐植组随机反射率渐增大外，孢粉体的荧光特征变化尤为显著。早期泥炭阶段，成煤植物种属及成炭微环境对有机地球化学特征的影响很大。进入软褐煤阶段后，主要由地温引起的煤化作用对有机质演化占了主导地位。

表 1-3 成煤作用的阶段划分



从泥炭向褐煤转化的早期煤化作用是有机质分解作用和合成缩聚平行发展的过程。分解作用主要表现是泥炭中纤维素和木质素含量相对富集，主要发生在埋藏泥炭的初期阶段，是微生物参与下的生物化学煤化作用的结果；合成缩聚作用在早期煤化作用过程中起主要作用，是一种地球化学煤化作用过程，主要表现在3个方面：有机质中非芳烃组分减少和芳香化合物增加，有机质中大分子缩合物增多，芳香族化合物的缩合程度提高。

2. 烟煤的煤化作用跃变

在煤化作用过程中，煤的分子结构、化学组成、物理性质以及工艺性质都会发生一系列规律性的变化。在煤化作用过程中有渐变也有突变，从烟煤向无烟煤演化有4次显著的跃变。

第一次跃变，发生在长焰煤开始阶段 ($C_{daf}75\% \sim 80\%$, $V_{daf}43\%$, $R_{o,max}0.6\%$)，其特点是沥青化作用发生并进入最明显阶段，与石油开始形成阶段相当，煤的分子结构、芳香稠环进一步缩合，反射率随之增高。

第二次跃变出现在肥煤焦煤阶段 ($C_{daf}87\%$, $V_{daf}29\%$, $R_{o,max}1.3\%$)，第二次煤化跃变是由于煤中甲烷大量逸出，释放出大量氢造成的。但这一阶段开始时，却因为富氢的侧联合键的大量聚集，使煤的密度下降到最小值。由于在煤化过程中上覆压力不断增大，煤的显微孔隙度随之不断减小，水分减少。到焦煤阶段 ($C_{daf}89\%$, $V_{daf}20\%$, $R_{o,max}1.7\%$)，腐植凝胶基本上完成了脱水作用，水分和孔隙度都达到了最低值，而发热量升高到最大值。这些是与镜质组的硬度、密度以及炼焦时可塑性最大值是一致的。随后，因化学结构的变化，水分含量又有所回升。此外，在第二次煤化跃变中出现最大