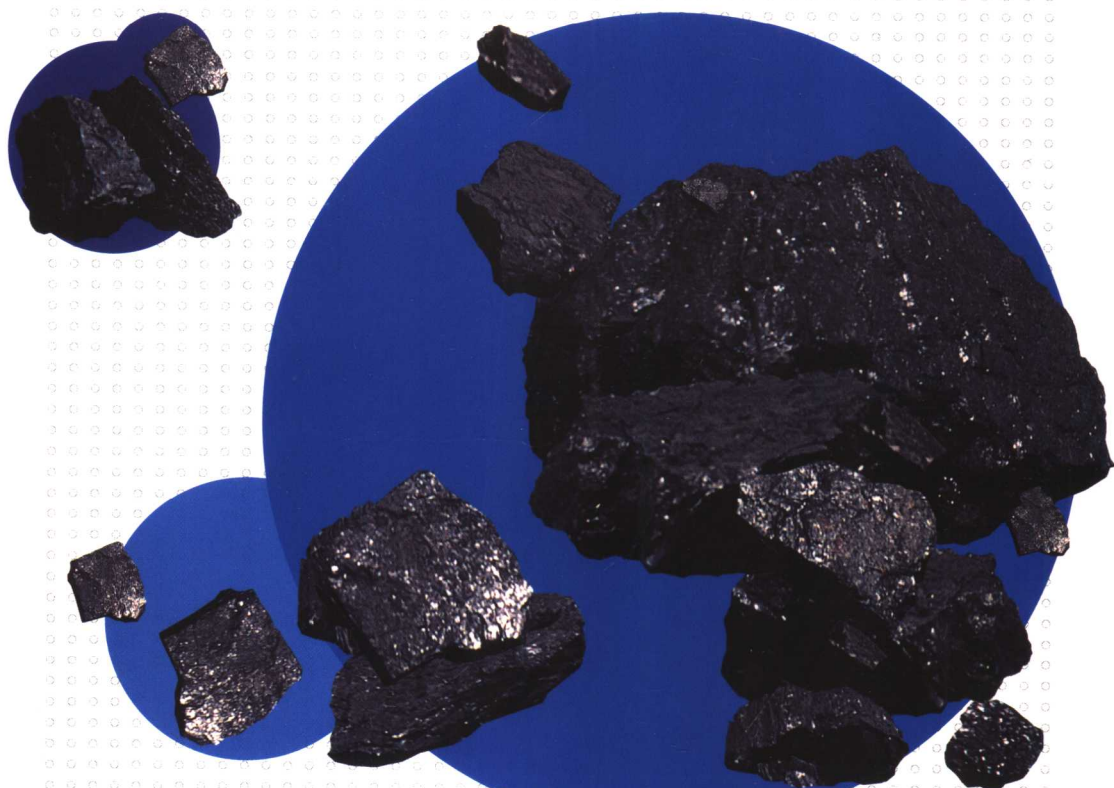


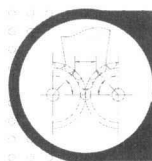
MEITAN QINGJIE
YOUXIAO LIYONG JISHU

煤炭清洁 有效利用技术

吴占松 马润田 赵满成 等编著



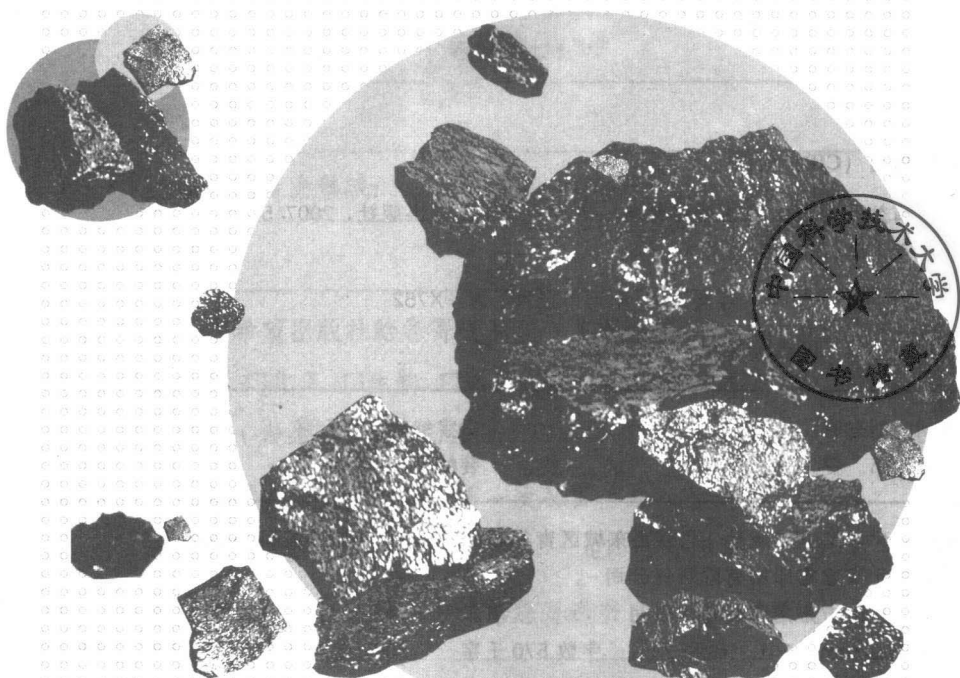
化学工业出版社



MEITAN QINGJIE
YOUXIAO LIYONG JISHU

煤炭清洁 有效利用技术

吴占松 马润田 赵满成 等编著



化学工业出版社

·北京·

本书根据煤炭资源和利用的状况,较系统地介绍了煤炭清洁有效利用前的准备技术、煤炭转化加工工艺及设备、产品或污染物的净化处理以及煤炭清洁有效利用新技术,对同一种目的的煤炭加工或同一种污染物的处理,介绍了多种工艺及设备以体现多种解决途径。

本书可供热能工程、环境工程、石油化工、冶金工程等领域的技术人员和研究人员参考,也可供高等院校相关专业师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

煤炭清洁有效利用技术/吴占松等编著. —北京:化学工业出版社, 2007. 5

ISBN 978-7-122-00306-5

I. 煤… II. 吴… III. 煤炭工业-无污染技术 IV. X752

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 057557 号

责任编辑:刘兴春

文字编辑:汲永臻

责任校对:郑捷

装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张23¼ 字数570千字 2007年7月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:58.00 元

版权所有 违者必究

前言

煤炭属于化石燃料,是非再生能源,不可能永远使用。虽然煤炭是世界化石能源中储量最多的,但是,据 1992 年世界能源会议公布的资料,1990 年末世界煤炭探明储量也只可供人类 200 多年的开采需要。而石油与天然气,如果没有新的探明储量补充,到本世纪中叶将濒临枯竭。至于核能原料铀的储量,若采用热中子堆技术,也只能供应半个世纪左右。另外,在化石燃料利用过程中,如不采用清洁有效利用技术,则不可避免地造成环境的污染和大气的温室效应。

我国的能源消费以煤炭为主,1995~2004 年间煤炭的消费量约占能源消费总量的 70% 左右,其中大部分用于燃烧。同时,一些先进国家煤炭的能源强度(单位 GDP 能耗)仅为我国的 2/3 甚至还要低,我国二氧化硫的排放量也位于世界前列。因此,对于我国来说,要促使国民经济、社会与环境的协调、持续快速的发展,清洁有效地利用能源是关键的策略之一。

多数的工业生产,如电力、建材、冶金、化工以及生活等都离不开煤炭。由于各行业使用煤炭的目的不同,生产工艺不同,尤其是由于技术的不断发展,使得不同领域的技术相互联合、交叉和渗透,所以煤炭清洁有效的利用是涉及内容广泛而且十分复杂的技术问题。

本书根据煤炭资源和利用的状况,对煤炭清洁有效利用的技术进行了较系统的介绍,包括发展水平、技术特点以及各领域之间的交叉和联合。其目的就是希望从中能给读者一些启发,得以举一反三,不仅成功地利用原有技术,而且能独立创新、自主研发新的技术。

本书基本是按照以下部分和次序编排的,即煤炭在使用前为清洁有效利用作前期准备的技术,煤炭转化加工工艺及设备、产品或污染物的净化处理以及煤炭清洁有效利用的新技术。第一章、第二章介绍煤炭的一些特征以及煤炭与经济关联的一些问题;第三章介绍我国煤炭资源与利用现状;第四章至第七章介绍煤炭在加工利用之前的清洁生产及有效利用技术;第八章介绍煤炭清洁利用过程所用到的基础知识—流态化技术;第九章至第十三章介绍煤炭清洁有效加工利用技术;第十四章至第十六章介绍煤炭加工过程中产品和一些废弃物的净化处理技术;第十七章至第十八章介绍煤炭与化工联产以及利用煤炭发电高效利用技术。其中第八章流态化基础由于涉及各个领域的一些技术问题,如煤炭气化、煤炭液化、流态化燃烧、以煤炭为原料的化工生产以及烟气的脱硫处理等,同时也是上述内容的基础,因此介绍的内容较多、编排篇幅较大。关于第十二章煤炭气化,它不仅是一种煤炭高质量和高附加值的利用方法,也是煤炭化工生产的基础,所以编排的篇幅也较大。另外,对同一种目的的煤炭加工或同一种污染物的处理,尽量介绍多种工艺及设备以体现多种解决途径,同时对国内外正在研究的煤炭利用新技术也做了详细的介绍,其初衷不外乎是开阔读者的思路,不断促进和扩大研发新技术的手段。

本书可供热能工程、环境工程、石油化工、冶金工程等领域的技术人员和研究人员参考,也可供高等院校相关专业师生参阅。

本书主要由吴占松、马润田、赵满成、左禹和张坤竹编著；另外，在本书编著过程中，在收集资料、绘图以及校对等工作方面得到了庄家人高级工程师、黄庚玲高级工程师、郭亮博士、余继军博士、幸向军工程师等的大力帮助，在此表示衷心感谢。

本书涉及的技术领域广泛，内容丰富，引用了近些年来国内外煤炭利用的技术资料，力图使读者在独立自主创新技术的道路上有所收获。但鉴于作者的水平，不足之处在所难免，望广大读者批评斧正。

编著者

2007 年 3 月

目 录

第一章 我国煤质特征及分类方法	001
第一节 煤的形成	001
一、泥炭的形成	001
二、褐煤的形成	001
三、烟煤的形成	001
四、无烟煤的形成	002
第二节 煤的分析	002
一、煤的分析方法	002
二、煤的真相对密度、视相对密度、散密度和孔隙率	007
第三节 煤炭分类及各类煤炭用途	008
一、我国煤炭分类	008
二、国际煤炭分类	010
三、各类煤炭的用途	011
第四节 煤炭分级标准	014
一、烟煤和无烟煤粒度分级	014
二、煤炭质量分级	015
第五节 煤的主要工艺特性	015
一、恒湿、无灰基、高位发热量和空气干燥基高位发热量	015
二、抗碎强度	015
三、反应活性	016
四、热稳定性	016
五、黏结性和结焦性	016
六、灰的熔融性	018
参考文献	018
第二章 煤炭利用的相关问题	020
第一节 能源与消费	020
第二节 能源与经济	022
一、国民生产总值 (GNP) 和国内生产总值 (GDP)	022
二、与能源相关的一些概念	023
第三节 能源与环境	028

一、大气污染.....	029
二、地球的温室效应.....	029
三、酸雨.....	031
四、水的污染.....	032
五、发展能源与保护环境.....	033
参考文献	034
第三章 我国煤炭利用状况	035
第一节 我国煤炭资源现状	035
一、储量和分布.....	035
二、煤炭种类.....	035
三、煤炭产量及开采.....	036
第二节 我国煤炭资源利用概况	037
一、我国煤炭利用状况.....	037
二、我国煤炭产量及用量增长状况.....	038
第三节 我国煤炭利用与大气污染	038
一、空气污染物及质量.....	039
二、我国酸雨概况.....	040
三、我国 CO ₂ 的排放	040
第四节 煤炭清洁有效利用	041
一、燃烧前处理技术.....	041
二、燃烧过程中的处理技术.....	042
三、燃烧产物的处理技术.....	042
四、转换技术.....	043
参考文献	043
第四章 选煤	044
第一节 跳汰选煤	044
一、跳汰选煤原理.....	044
二、跳汰选煤工艺及设备.....	045
第二节 重介质选煤	047
一、槽式分选机.....	047
二、旋流器分选设备.....	049
三、悬浮液.....	049
第三节 浮选选煤	050
一、煤泥浮选原理及设备.....	051
二、煤泥浮选药剂.....	052
第四节 选煤厂煤泥水的处理	053
一、煤泥水处理系统及设备.....	053

二、煤泥的利用·····	057
三、外排水的处理·····	058
第五节 煤的洗选脱硫·····	059
第六节 防尘措施·····	059
参考文献·····	060
第五章 水煤浆 ·····	061
第一节 水煤浆的由来及发展·····	061
一、煤浆体燃料的由来·····	061
二、水煤浆的发展·····	061
三、水煤浆的品种和用途·····	062
四、我国水煤浆生产概况·····	062
第二节 水煤浆制备工艺及设备·····	063
一、水煤浆制备系统·····	063
二、水煤浆制备设备·····	065
第三节 水煤浆的性质及添加剂·····	066
一、水煤浆的性质·····	066
二、添加剂·····	066
第四节 水煤浆的应用·····	067
一、国内应用情况·····	068
二、国外应用情况·····	070
三、燃气透平的试验·····	070
四、雾化喷嘴·····	071
第五节 有关水煤浆燃料的评价·····	073
一、环境保护方面·····	073
二、锅炉的燃用情况·····	073
参考文献·····	074
第六章 型煤 ·····	076
第一节 型煤的定义、特点和分类·····	076
一、型煤定义·····	076
二、型煤特点·····	076
三、型煤产品分类·····	077
第二节 粉煤成型因素和黏结剂·····	078
一、粉煤成型因素·····	078
二、黏结剂种类和特性·····	079
第三节 型煤生产工艺及设备·····	080
一、型煤生产工艺·····	080
二、型煤生产设备·····	083

第四节 民用型煤	086
一、民用蜂窝煤的类型	087
二、燃用型煤的优点	088
三、成型工艺	088
第五节 工业用型煤	089
一、锅炉型煤	089
二、气化型煤	089
三、型焦	092
参考文献	094
第七章 配煤	095
第一节 配煤原理及其意义	095
一、配煤原理及其意义	095
二、煤炭质量指标的可加性	096
第二节 配煤的质量标准及计算	097
一、配煤的质量标准	097
二、配煤计算	097
第三节 动力配煤工艺	098
第四节 炼焦配煤指标预测及配置方案	099
一、炼焦配煤的特点	099
二、配煤及焦炭质量预测	100
三、配煤方案试验	100
参考文献	101
第八章 流态化技术基础	102
第一节 流态化现象及其技术发展	102
一、流态化现象	102
二、非正常流化现象	103
三、流化质量	104
四、流态化技术的发展	105
第二节 流态化的分类及应用	105
一、按流化状态分类	106
二、按流化介质分类	106
三、流态化的应用	106
第三节 流态化技术的优缺点	108
一、流态化技术的优点	108
二、流态化技术的缺点	109
第四节 气-固流化床的重要参数及部件	109
一、颗粒的性质	110

二、床层空隙率·····	113
三、流化床床层的压降·····	113
四、临界流化速度和带出速度·····	114
五、膨胀比、起伏比和夹带分离高度·····	121
六、流化床的重要部件·····	125
七、颗粒流动控制机构·····	129
第五节 高速流态化 ·····	131
一、快速流化床的特点·····	131
二、床内固体颗粒的分布·····	133
三、压降、流化速度及循环量·····	134
第六节 有关传热问题 ·····	135
一、床层与换热表面之间换热的影响因素·····	136
二、传热过程·····	136
三、床层与换热表面换热的关联式·····	137
四、管内流体与壁面的换热系数·····	146
五、管壁的导热·····	146
第七节 三相流态化 ·····	147
一、初始流化·····	148
二、各相的含率·····	149
三、气泡行为·····	151
四、气-液体积传质系数 ·····	153
五、浸没物体与床层的传热·····	154
参考文献 ·····	154
第九章 常压流化床锅炉	155
第一节 流态化燃烧的评价 ·····	155
一、流化床锅炉·····	155
二、循环流化床锅炉·····	156
三、增压沸腾床锅炉·····	157
第二节 辅助计算 ·····	158
一、燃料的发热量·····	158
二、理论空气量的计算·····	159
三、理论烟气体积的计算·····	160
四、实际的空气和烟气体积·····	161
五、物料和热量平衡计算·····	161
第三节 煤在流化床锅炉内的燃烧 ·····	163
一、煤种的选择·····	163
二、煤颗粒粒径的选择·····	164

三、煤颗粒燃烧的各阶段·····	164
四、影响流化床燃烧的因素·····	165
第四节 脱硫和脱硫剂的评价·····	166
一、脱硫·····	167
二、脱硫剂的性能评价·····	169
第五节 重要部件和运行参数·····	171
一、布风板·····	171
二、操作速度和截面热负荷·····	173
第六节 沸腾床锅炉·····	174
一、沸腾层锅炉的结构·····	174
二、沸腾层锅炉的运行参数·····	175
三、沸腾层锅炉存在的问题·····	176
四、常压流化床锅炉联合循环·····	176
第七节 常压循环流化床锅炉·····	177
一、循环流化床锅炉的结构·····	177
二、物料循环系统·····	178
三、循环倍率·····	180
四、外置热交换器·····	181
五、旋风分离器·····	181
六、循环流化床锅炉的性能和发展·····	182
参考文献·····	185
第十章 增压流化床锅炉 ·····	186
第一节 增压流化床锅炉·····	186
一、增压流化床锅炉的特点·····	186
二、增压流化床锅炉系统的特点·····	188
第二节 增压部分气化联合循环·····	189
一、部分气化/常压循环流化床联合循环·····	190
二、部分气化/增压循环流化床联合循环·····	190
参考文献·····	191
第十一章 煤炭干馏 ·····	192
第一节 煤炭高温干馏·····	192
一、焦化生产工艺·····	192
二、焦炉的基本构成·····	192
三、焦炉的热平衡及热效率·····	193
四、熄焦·····	196
五、节能途径及发展·····	198
第二节 煤炭的中温干馏·····	199

一、原料要求.....	200
二、立式炭化炉的结构.....	200
三、工艺流程及生产参数.....	201
第三节 焦化厂废水处理	201
一、废水的来源.....	201
二、废水处理流程.....	202
参考文献	202
第十二章 煤炭气化	203
第一节 煤炭气化基础知识	203
一、气化反应的热效应.....	203
二、气化过程的基本反应.....	204
三、气化反应平衡.....	205
第二节 煤炭气化的用途	205
一、工业燃料.....	206
二、民用煤气.....	207
三、化工原料.....	207
四、联合循环.....	208
第三节 煤炭气化方法	208
一、固定床气化.....	209
二、流化床气化.....	223
三、气流床气化.....	229
四、循环流化床煤气工艺.....	239
第四节 煤炭地下气化	241
一、地下气化基本原理.....	241
二、地下气化开采方式.....	242
三、地下气化工程建设.....	242
参考文献	243
第十三章 煤炭液化	244
第一节 煤炭间接液化	244
一、费-托合成	244
二、合成甲醇.....	247
第二节 煤炭直接液化	249
一、煤加氢液化原理.....	249
二、反应器的类型.....	250
三、直接液化工艺.....	251
四、煤炭液化油的提质加工.....	259
参考文献	260

第十四章 除尘技术	262
第一节 干式除尘器	262
一、旋风除尘器	262
二、多管除尘器	267
三、袋式除尘器	269
四、静电除尘器	272
五、高温陶瓷过滤器	273
第二节 湿式除尘器	274
一、文丘里管除尘器	274
二、洗涤塔	275
三、麻石水膜除尘器	276
四、文丘里管麻石水膜除尘器	277
参考文献	278
第十五章 脱硫技术	279
第一节 概述	279
一、SO ₂ 的脱除	279
二、硫化氢的脱除	279
第二节 烟气中二氧化硫的脱除	280
一、活性炭吸附法	280
二、石灰/石灰石-石膏（硫酸钙）法	281
三、氨法	285
四、海水脱硫	289
五、循环流化床法	290
第三节 硫化氢的脱除	292
一、氧化铁法	292
二、低温甲醇洗涤法	293
三、改良蒽醌二磺酸钠（改良 ADA）法	294
四、环丁砜法	297
五、Selexol 法	298
六、高温法	299
参考文献	299
第十六章 氮氧化物的抑制和脱除	300
第一节 氮氧化物的形成	300
一、热力机理	300
二、燃料机理	301
三、瞬时机理	301
四、降低 NO _x 排放的途径	302

第二节 改善燃烧条件	302
一、空气分级燃烧	302
二、燃料分级燃烧	305
三、烟气再循环	307
四、低 NO_x 燃烧器	308
五、采用流化床燃烧抑制 NO_x 的生成	315
六、层燃炉降低 NO_x 的措施	315
七、各种低 NO_x 燃烧技术的比较	316
第三节 排烟中降低 NO_x 的方法	317
一、烟气干法脱硝	317
二、烟气湿法脱硝	320
参考文献	320
第十七章 以煤为原料的化工生产	321
第一节 合成氨的生产	321
一、原料气的生产与改质	321
二、合成氨厂的工艺流程	322
第二节 甲醇的生产	325
一、甲醇生产原理	325
二、工艺流程	326
第三节 二甲醚的生产	327
一、二甲醚生产原理	327
二、二甲醚生产工艺流程	328
第四节 煤炭与碳一化学	329
一、MTO 工艺	329
二、MTP 工艺	330
参考文献	331
第十八章 煤炭清洁高效发电	332
第一节 超净煤联合循环发电	332
一、超洁净煤制备工艺	332
二、超净煤在发电中的应用	333
第二节 磁流体发电	334
一、磁流体发电的原理	334
二、磁流体发电的关键问题	334
三、磁流体-蒸汽联合发电系统	335
第三节 燃料电池	336
一、燃料电池的分类	336
二、燃料电池原理	337

三、甲醇燃料电池	338
四、燃料电池的应用	339
第四节 整体煤气化联合循环	340
一、IGCC 工艺系统	340
二、冷水 IGCC 电站	343
参考文献	344
附录	346
附录 1 环境及污染物排放标准	346
表 1 一些国家和地区燃煤锅炉污染物的排放标准	346
表 2 大气环境质量标准 GB 3095—1996	347
表 3 火电厂大气污染物排放标准 GB 13223—2003 代替 GB 13223—1996 (摘录)	347
表 4 空气中二氧化硫含量对人体的影响	348
表 5 大气污染综合排放标准 GB 16297—1996 (摘录)	348
表 6 选煤厂洗水闭路循环等级 MT/T 810—1999 (摘录)	349
附录 2 煤炭及行业用煤标准	349
表 7 低硫散煤及制品 (蜂窝煤指标 北京市地方标准 DB 11/097—2004)	349
表 8 水煤气两段炉用煤技术条件 GB/T 17610—1998 (摘录)	350
表 9 合成氨用煤技术条件 GB/T 7561—1998 (摘录)	350
表 10 常压固定床煤气发生炉用煤质量标准 GB/T 9143—2001 (摘录)	351
表 11 发电厂煤粉锅炉用煤技术条件 GB/T 7562—1998 (摘录)	351
表 12 冶金焦用煤技术条件 GB/T 397—1998 (摘录)	352
表 13 铸造焦用煤技术条件 GB/T 17609—1998 (摘录)	352
表 14 水泥回转窑用煤技术条件 GB/T 7563—2000 (摘录)	353
表 15 有关煤炭的一些标准	353
附录 3 旋风分离器	354
表 16 D ₁ 型旋风分离器结构尺寸示例	355
表 17 埃索公司 B 型旋风分离器结构尺寸示例	356

煤炭的利用方法非常广泛，如可以作为燃料、制气的原料以及化工原料等。在各个应用领域中，对煤炭质量和特性要求不同，对煤炭了解目的是为了更好地应用。而煤质特性又与煤炭的形成有着密切的关系。

第一节 煤的形成

煤是由植物残骸演变而成的。高等植物的残骸在沼泽中经过生物化学作用，形成泥炭，它是一种松软的有机物。低等植物和浮游生物的残骸在缺氧的条件下，经过厌氧分解、聚合和缩合作用形成腐泥，它是一种黑褐色的有机物。

泥炭或腐泥不断被上面的沉积物所覆盖，埋藏到一定深度后，由于压力和温度的作用，经过物理化学过程，泥炭则形成腐殖煤，如褐煤、烟煤和无烟煤；腐泥则形成腐泥煤，如腐泥褐煤、腐泥烟煤和腐泥无烟煤。在腐殖煤和腐泥煤之间，还有由高等植物和低等植物共同形成的另一类煤，即腐殖腐泥煤。在自然界中存在最多、分布最广的是腐殖煤。下面简单介绍腐殖煤的形成过程。

一、泥炭的形成

远古时代，在低洼积水的沼泽地带，植物茂盛，生长迅速，死亡后的残骸大量堆积。它们在水的浸泡过程中，有机纤维素和木质素等物质，经生物化学作用形成一种较简单的有机化合物及其残余物。这些物质不断地被其他植物残骸所覆盖，逐渐沉入沼泽深处，由氧化环境转入弱氧化环境。在缺氧的条件下，已形成的有机化合物再经过复杂的化学过程，形成腐殖酸、腐殖酸盐及沥青等。这些物质与未分解或部分分解的植物残骸、泥沙和水中的矿物质混合，就形成了泥炭。这个过程称为泥化作用。

二、褐煤的形成

当地壳的下沉速度超过植物残骸的堆积速度时，则大量泥沙将泥炭掩埋形成顶板。泥炭在顶板的压力下，通过脱水、胶体老化等物理化学变化，逐渐变为水分较少、密度较大、颜色为黑褐色的褐煤。褐煤主要是由腐殖酸和沥青组成，存在离地表不深的地层中。

三、烟煤的形成

褐煤长期受顶板的压力作用，并在较高的温度下，大量腐殖酸逐渐分解、聚合和缩合称

为中性腐殖质，逐渐变成烟煤。烟煤燃烧时会产生大量的烟雾，从而得名。烟煤的硬度和密度都比褐煤大。

烟煤根据其变质程度不同可分为：长焰煤、气煤、肥煤、焦煤和贫煤等。

四、无烟煤的形成

由于地壳的变迁、岩浆迸发等原因，烟煤层受到更高的压力和温度的作用，逐渐转变成无烟煤。无烟煤燃烧时不产生烟雾。无烟煤的硬度和密度都大于烟煤。通常具有金属光泽。

第二节 煤 的 分 析

将煤炭作为燃料、气化和化工原料，就必须了解其化学组成，它不仅是工艺过程的计算基础，而且对于设备的设计、运行、管理和技术改进，以及对环境保护，都具有重要意义。

任何煤种都是由无机物和碳氢化合物组成，在高温下与氧作用可以燃烧，放出大量的热量；在隔绝空气或缺氧的条件下，将其加热可分解为可燃气体，将这些气体作为原料，进一步加工可获得某些化工产品；经过一定的物理和化学加工过程，也可以将其变为液体燃料。

煤炭的基本成分是碳（C）、氢（H）、氧（O）、氮（N）、硫（S）等元素，除此之外，还含有一定量的水分（W）和灰分（A）。上述的基本成分，在煤炭中不是以机械的混合物，而是以相当复杂的有机化合物存在。

一、煤的分析方法

对煤的分析有两种方法：即煤的工业分析（也称为实用分析）和煤的元素分析。

1. 煤炭分析的基准

在煤的分析中，由于煤中含有的水分和灰分变化较大，因此在分析时必须有一个公认的基准；另外根据使用的需要也要有相应的参照基准。这些基准通称为“基”，它表示分析是在什么条件下进行的。通常采用的分析基有以下几种：空气干燥基、干燥基、收到基、干燥无灰基、干燥无矿物质基、恒湿无灰基和恒湿无矿物质基等（可参阅国家标准 GB 3715—91）。有关煤炭分析基准的旧名称和符号已很少应用，目前多用新名称和符号，新旧符号对照见表 1.1。不同的分析基之间可以进行换算。上述各种“基”的含义如下：

（1）空气干燥基 以煤中的水分与空气中水分达到平衡时为基准，用 ad（air dry basis）表示；

（2）干燥基 以煤中不存在水分为基准，用 d（dry basis）表示；

（3）收到基 以收到时煤的状态为基准，用 ar（as received）表示；

（4）干燥无灰基 以煤中无水、无灰为基准，用 daf（dry ash free）表示；

（5）干燥无矿物质基 以煤中无水、无矿物质为基准，用 dmmf（dry mineral matter free）表示；

（6）恒湿无灰基 以假想含最高内在水分、无灰状态的煤为基准，用 maf（moist ash-free basis）表示；