

普通高等教育“十二五”规划教材

煤化工工艺学

孙 鸿 张子峰 黄 健 ● 主编

MEIHUAGONG GONGYIXUE



化学工业出版社

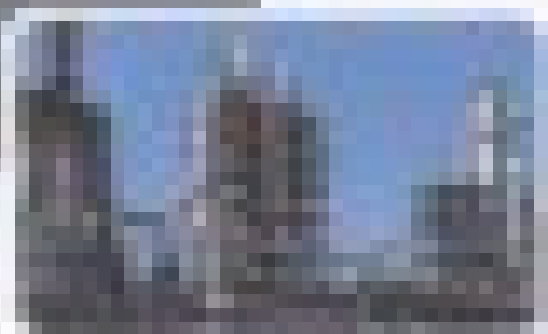
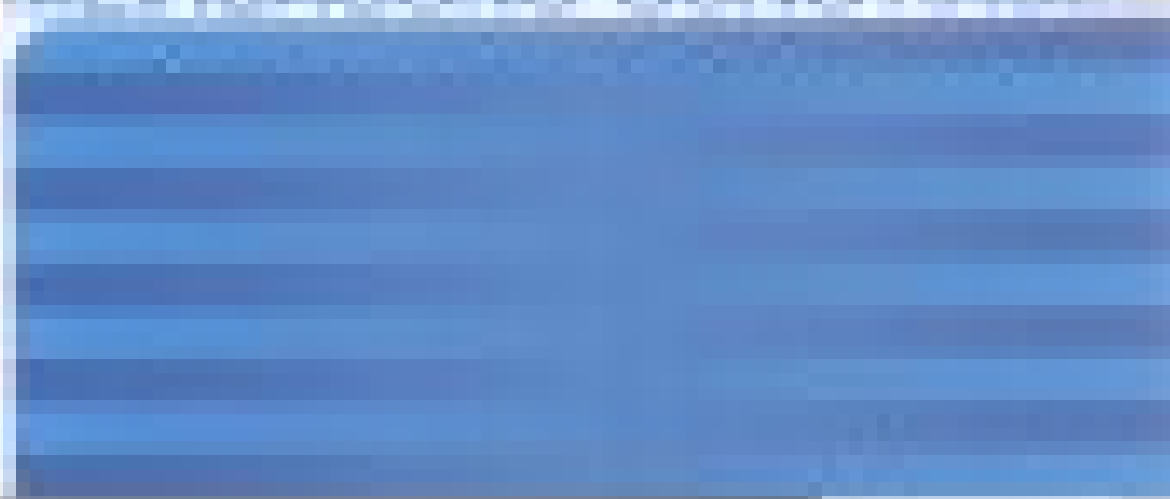


教育部批准“十二五”普通高等教育

煤化工工艺学

王 勇 曹学博 曹 强 主编

MEIJIANGONG CONGSHU



ISBN 7-122-15000-0

普通高等教育“十二五”规划教材

煤化工工艺学

孙 鸿 张子峰 黄 健 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书共分八章，分别介绍了煤炭资源与煤分析、煤炭洗选、炼焦、炼焦化学产品的回收与利用、煤炭的气化、煤的直接液化和间接液化以及煤化工与环境保护等内容。本书注重应用能力和实践能力的培养，在各个章节的编写中，减少理论性的内容，注重对工艺、设备的介绍。为了方便学生的学习，在每章后增加了思考题部分。

本书可作高等学校化学工艺专业教材，也可供从事煤化工利用专业设计、生产、科研的技术人员及有关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

煤化工工艺学/孙鸿，张子峰，黄健主编. —北京：化学工业出版社，2012.7

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-13992-4

I. 煤… II. ①孙…②张…③黄… III. 煤化工-工艺学-高等学校-教材 IV. TQ53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 068674 号

责任编辑：杨 菁

文字编辑：刘莉璐

责任校对：宋 夏

装帧设计：关 飞

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 装：三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 20 $\frac{1}{4}$ 字数 522 千字 2012 年 8 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：39.00 元

版权所有 违者必究

前 言

据预测，若按照当代全世界对石油、天然气和煤的耗量计算，石油大约仅可开采 30 年，天然气可开采 50 年，煤还可以开采 250 年。我国石油和天然气资源严重不足，煤炭资源相对丰富，在可预见的未来，中国以煤作为主要能源的状况不会根本改变，在水电、风力发电、地热发电、太阳能、核能等能源远远不能满足需要的情况下，新型煤化工将形成具有中国特色的煤炭-能源-化工新产业，是我国煤炭产业结构调整、实现可持续发展的战略方向，对未来能源建设和能源技术的发展具有重要的战略意义。

我国煤炭资源丰富，煤种齐全，新型煤化工是未来中国能源技术发展的战略方向，紧密依托于煤炭资源的开发，并与其他能源、化工技术结合，形成煤炭-能源-化工一体化的新兴产业。21 世纪，中国煤化工事业正进入一个新的发展时期。

本书共分八章，分别介绍了煤炭资源与煤分析、煤炭洗选、炼焦、炼焦化学产品的回收与利用、煤炭的气化、煤的直接液化和间接液化以及煤化工与环境保护等内容。

参加本书编写的有：运城学院的孙鸿（第 3 章）、黄健（第 7 章）、张稳婵（第 1 章）、杨斌武（第 8 章）、王玉春（第 2 章）、景晓霞（第 5 章）；吕梁学院的张子峰（第 6 章）；太原理工大学的张继龙（第 4 章）。全书最后由孙鸿整理定稿。

本书在编写过程中，参考了国内外许多同行的多种文献；化学工业出版社的编辑对本书的出版付出了辛勤的劳动，在此一并致谢！

限于编者经验不足，编写时间仓促，书中难免存在疏漏和不妥之处，祈望广大读者和同行赐教指正。

编者

2012 年 5 月

目 录

绪 论		1	
0.1 概述	1	思考题	3
0.2 煤炭资源	2	参考文献	3
0.3 煤化工发展简史	2		
第 1 章 煤炭资源与煤分析		4	
1.1 煤炭的基本知识	4	1.5 煤的工业分析	14
1.1.1 煤化学的发展历程	4	1.5.1 煤中水分的测定	14
1.1.2 中国煤炭的储量和分布状况	5	1.5.2 煤中灰分的测定	16
1.1.3 煤炭资源禀赋条件的不足之处	5	1.5.3 挥发分的测定	18
1.1.4 成煤的五大条件	5	1.5.4 煤中固定碳含量的计算	20
1.1.5 煤的形成过程	6	1.5.5 各种基的换算	20
1.2 煤炭的分类	6	1.6 煤中全硫的测定	21
1.2.1 煤炭的分类方法	6	1.6.1 艾氏卡法	21
1.2.2 中国煤炭的分类	6	1.6.2 高温燃烧-酸碱滴定法	22
1.2.3 各类煤的特性及用途	8	1.6.3 库仑滴定法	24
1.3 煤的组成	10	1.7 煤的发热量测定	26
1.3.1 煤中的有机质	10	1.7.1 发热量及表示方法	26
1.3.2 煤中的矿物质	11	1.7.2 发热量的测定方法	26
1.3.3 煤中的水分	11	1.8 煤的黏结性和结焦性指标	29
1.4 煤的性质	11	1.8.1 黏结性与结焦性	29
1.4.1 煤的物理性质	11	1.8.2 表征黏结性与结焦性的指标	29
1.4.2 煤的化学性质	12	思考题	31
1.4.3 煤的工艺性质	13	参考文献	31
1.4.4 煤的质量分析	14		
第 2 章 煤炭洗选		32	
2.1 概述	32	2.3.1 重介质选煤原理	41
2.1.1 煤炭洗选的作用及意义	32	2.3.2 重介质悬浮液	41
2.1.2 我国煤炭洗选的发展过程、现状及发展趋势	32	2.3.3 重介质分选机	43
2.1.3 煤炭洗选过程、洗选工艺	34	2.3.4 悬浮液的回收与再生	55
2.1.4 选煤厂	35	2.4 流槽洗煤	56
2.2 跳汰选煤	35	2.4.1 块煤洗槽	56
2.2.1 跳汰选煤的原理	36	2.4.2 末煤洗槽	58
2.2.2 跳汰机的种类	36	2.4.3 洗煤槽的自动调节	60
2.2.3 跳汰机结构及工作原理	36	2.5 浮游选煤	61
2.2.4 跳汰机的操作要领	40	2.5.1 浮游选煤概述	61
2.3 重介质选煤	41	2.5.2 浮选机	62
		2.6 摇床选煤	64

2.7 其他选煤方法	65
2.7.1 磁选煤	65
2.7.2 风力选煤	65

思考题	66
参考文献	66

第3章 炼焦

67

3.1 概述	67
3.1.1 炼焦产品	67
3.1.2 炼焦工业的发展	67
3.2 焦炭及其性质	68
3.2.1 焦炭的物理性质	68
3.2.2 焦炭的化学组成	69
3.2.3 焦炭的反应性和反应后强度	69
3.2.4 焦炭的用途及其质量指标	70
3.3 室式结焦过程与配煤	72
3.3.1 焦炭的生成过程	72
3.3.2 炭化室内的成焦特征	73
3.3.3 化学产品的产生	75
3.3.4 炼焦用煤及其结焦特性	75
3.3.5 配煤	76
3.3.6 配煤新技术	78
3.4 炼焦炉及其设备	81
3.4.1 炼焦炉的发展	81
3.4.2 蓄热式焦炉的构造	82
3.4.3 焦炉结构类型	86
3.4.4 护炉设备及其作用	87
3.4.5 焦炉煤气设备	88
3.4.6 焦炉机械	90
3.5 炼焦生产	91
3.5.1 焦炉装煤	91
3.5.2 焦炉出焦	91

3.5.3 熄焦	94
3.5.4 筛焦	96
3.6 焦炉内煤气的燃烧和传热	96
3.6.1 焦炉加热用煤气	96
3.6.2 煤气的燃烧	97
3.6.3 焦炉传热	101
3.7 焦炉的加热制度与热工评定	103
3.7.1 焦炉加热制度	103
3.7.2 焦炉物料和热量平衡	107
3.7.3 焦炉热工评定	109
3.7.4 炼焦耗热量	109
3.7.5 降低炼焦耗热量、提高焦炉热工效率的途径	110
3.8 焦炉的砌筑、烘炉与开工	111
3.8.1 焦炉的炉龄与砌筑	111
3.8.2 筑炉材料	111
3.8.3 炼焦炉的烘炉及开工	112
3.8.4 焦炉开工	115
3.9 炼焦新技术	116
3.9.1 捣固炼焦	116
3.9.2 型焦	117
3.9.3 焦炉大型化	118
3.9.4 几种新型炼焦方法	122
思考题	124
参考文献	124

第4章 炼焦化学产品的回收与利用

126

4.1 概述	126
4.1.1 炼焦化学产品	126
4.1.2 炼焦化学产品的回收工艺	131
4.1.3 炼焦化学产品回收利用进展	133
4.2 焦炉煤气的净化	134
4.2.1 荒煤气在集气管中的冷却	134
4.2.2 荒煤气的初步冷却	135
4.2.3 煤气的输送	137
4.2.4 煤气的脱氨和吡啶	138
4.2.5 煤气的脱苯和萘	139
4.2.6 煤气的脱硫化氢和氰化氢	139
4.3 焦油的回收	139
4.3.1 焦油氨水分离	140

4.3.2 电捕焦油	142
4.4 氨和吡啶的回收	144
4.4.1 氨与吡啶回收的原理	144
4.4.2 硫酸吸氨法	144
4.4.3 磷酸吸氨法	152
4.4.4 吡啶的回收	154
4.4.5 剩余氨水加工	157
4.5 苯和萘的回收	160
4.5.1 回收苯族烃的方法	160
4.5.2 吸收苯族烃的基本原理	160
4.5.3 吸收苯族烃的工艺流程	162
4.5.4 影响苯族烃吸收的因素	163
4.5.5 吸收塔	164

4.5.6 富油脱苯	165	4.7 炼焦化学产品的利用	179
4.5.7 萘的回收	170	4.7.1 焦炉煤气的利用	179
4.6 硫、氰的脱除及回收	173	4.7.2 粗苯的精制	182
4.6.1 干法脱硫	173	4.7.3 焦油的加工利用	185
4.6.2 湿法脱硫	174	思考题	192
4.6.3 克劳斯法生产硫黄	178	参考文献	192

第5章 煤炭的气化

193

5.1 概述	193	5.5.2 国内煤炭地下气化技术	218
5.1.1 煤炭气化的概念	193	5.5.3 煤炭地下气化技术的原理	218
5.1.2 煤气的种类	193	5.5.4 煤炭地下气化技术的应用	219
5.1.3 发展煤炭气化的意义	193	5.5.5 煤炭地下气化技术的特点	219
5.1.4 煤炭气化技术的应用	194	5.5.6 煤炭地下气化发展的新趋势	219
5.1.5 气化用煤对煤质的要求	194	5.6 煤气化联合循环发电	220
5.1.6 煤炭气化技术的现状	197	5.6.1 概述	220
5.1.7 煤炭气化发展方向	197	5.6.2 煤气化联合循环发电的特点	220
5.2 煤炭气化原理	197	5.6.3 整体煤气化联合循环的系统	221
5.2.1 煤炭气化方法	197	5.6.4 国内外煤气化联合循环发电技术 的现状	221
5.2.2 煤炭气化原理	198	5.6.5 IGCC 技术发展的障碍	222
5.3 煤炭地面气化方法	200	5.7 煤气的净化	222
5.3.1 气化炉	200	5.7.1 煤气中的杂质及危害	222
5.3.2 气化炉分类	200	5.7.2 煤气杂质的脱除方法	223
5.3.3 固定床气化	200	5.7.3 除尘设备	224
5.3.4 流化床气化	203	5.7.4 脱硫技术	226
5.3.5 气流床气化	204	5.7.5 CO ₂ 脱除技术	226
5.3.6 熔融床气化炉	206	5.8 煤炭气化技术的发展现状和前景	227
5.4 典型的气化工艺	207	5.8.1 地面煤气化技术发展概况	227
5.4.1 鲁奇加压气化技术	207	5.8.2 地下煤气化技术发展概况	228
5.4.2 Shell 煤气化工艺	211	5.8.3 煤气化技术的发展趋势的展望	228
5.4.3 德士古水煤浆气化技术	212	思考题	228
5.5 煤炭地下气化	217	参考文献	229
5.5.1 国外煤炭地下气化技术	217		

第6章 煤的直接液化

230

6.1 概述	230	6.3.3 煤直接液化工艺	242
6.1.1 煤与石油的比较	231	6.4 煤直接液化的反应设备	248
6.1.2 适宜直接液化的煤质要求	232	6.4.1 煤直接液化反应器	248
6.1.3 煤炭直接液化反应原理	232	6.4.2 煤浆预热器	251
6.1.4 煤直接液化溶剂的作用	233	6.4.3 高温气体分离器	252
6.2 煤直接液化机理及催化剂	234	6.4.4 高压换热器	252
6.2.1 煤直接液化机理	234	6.4.5 高压换热器减压阀	254
6.2.2 煤直接液化的催化剂	239	6.5 煤直接液化技术的发展	255
6.3 煤直接液化工艺	240	6.5.1 煤直接液化的现状	255
6.3.1 煤直接液化的反应历程	240	6.5.2 煤直接液化的发展前景	256
6.3.2 煤直接液化工艺条件的选择	240	思考题	256

第7章 煤的间接液化

258

- | | | | |
|---------------------------|-----|----------------------------------|-----|
| 7.1 煤炭间接液化基本原理及反应历程 ... | 259 | 7.4 甲醇汽油的合成 | 277 |
| 7.1.1 煤间接液化的基本原理 | 259 | 7.4.1 汽油性质及用途 | 277 |
| 7.1.2 F-T 合成反应机理 | 260 | 7.4.2 甲醇转化汽油机理 | 278 |
| 7.1.3 F-T 合成的理论产率 | 264 | 7.4.3 甲醇转化汽油 (MTG) 工艺 | 278 |
| 7.1.4 影响反应的因素 | 265 | 7.4.4 甲醇转化汽油的工艺条件及影响
因素 | 281 |
| 7.2 合成工艺流程及设备 | 265 | 7.5 甲醇制烯烃 | 282 |
| 7.2.1 合成工艺流程 | 265 | 7.5.1 甲醇生产烯烃原理 | 282 |
| 7.2.2 F-T 合成反应器主要设备 | 267 | 7.5.2 甲醇生产烯烃工艺 | 283 |
| 7.3 甲醇的生产 | 269 | 7.5.3 生产烯烃的反应条件及影响
因素 | 284 |
| 7.3.1 甲醇的性质及用途 | 269 | 7.6 煤炭间接液化技术发展历程与进展 ... | 285 |
| 7.3.2 甲醇合成对原料气的要求 | 270 | 思考题 | 286 |
| 7.3.3 合成甲醇催化剂的作用与性能 ... | 271 | 参考文献 | 286 |
| 7.3.4 甲醇合成反应原理 | 271 | | |
| 7.3.5 甲醇生产工艺 | 272 | | |

第8章 煤化工与环境保护

288

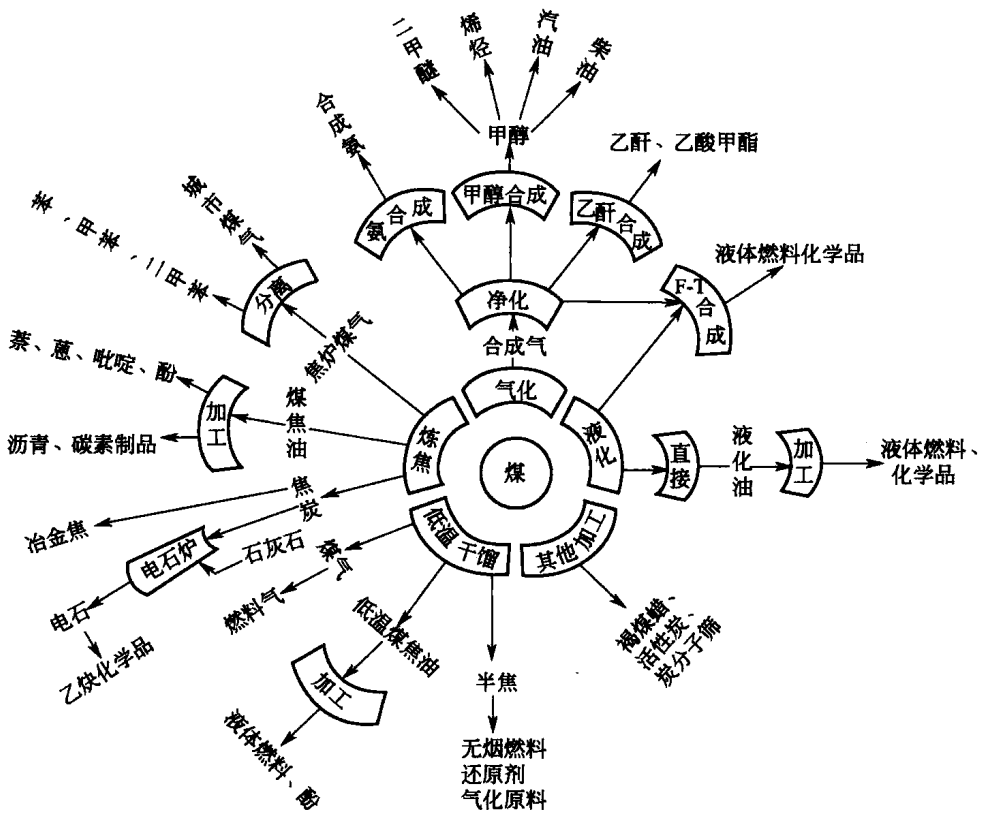
- | | | | |
|------------------------|-----|-----------------------|-----|
| 8.1 环境与环境问题 | 288 | 8.3.1 煤化工废气的来源 | 299 |
| 8.1.1 环境与环境问题 | 288 | 8.3.2 除尘装置 | 301 |
| 8.1.2 环境科学 | 290 | 8.3.3 烟尘控制 | 303 |
| 8.1.3 煤化工的污染与防治 | 290 | 8.4 煤化工废渣废液及其利用 | 305 |
| 8.2 煤化工废水污染和治理 | 290 | 8.4.1 焦化生产的废渣废液 | 305 |
| 8.2.1 煤化工废水来源及危害 | 290 | 8.4.2 煤气化生产的废渣 | 312 |
| 8.2.2 废水处理基本方法 | 292 | 思考题 | 313 |
| 8.3 煤化工废气污染物及控制 | 299 | 参考文献 | 313 |

绪 论

0.1 概述

煤化工是以煤为原料，经过化学加工使煤转化为气体、液体、固体燃料以及化学产品的过程。

从煤的加工过程分，主要包括干馏（含炼焦和低温干馏）、气化、液化和合成化学品等；从产品上划分，煤化工包括焦炭、煤焦油等传统煤化工和煤制油、煤制烯烃和甲醇、制二甲醚等新型煤化工；从加工深度上分，煤化工包括煤的一次化学加工、二次化学加工和深度化学加工。煤的焦化、气化、液化，煤的合成气化工、焦油化工和电石乙炔化工等，都属于煤化工的范围。



煤化工分类及产品示意图

新一代煤化工技术是指以煤气化为龙头，以一碳化工技术为基础，合成、制取各种化工产品和燃料油的煤炭洁净利用技术，与电热等联产可以实现煤炭能源效率最高、有效组分最大程度转化、投资运行成本最低和全生命周期污染物排放最少的目标。

近年来，受国际石油、天然气价格上涨影响，大力发展煤化工，是保证我国能源安全及化学工业持续发展的一项重要而紧迫的任务。

0.2 煤炭资源

2010年,全球煤炭探明储量为8609亿吨。中国位居全球第三,煤炭探明储量为1145亿吨,占总量的13.3%。探明储量前两位的国家分别是:美国2373亿吨,占总量的27.6%;俄罗斯1570亿吨,占总量的18.2%;其后的是澳大利亚、印度、南非、乌克兰和哈萨克斯坦。

中国煤炭产量多年来一直居世界首位,2010年,占全球产量的比重为48.3%;全球共有十个国家煤炭产量超亿吨,占全球产量的89.7%。分别是美国、印度、澳大利亚、俄罗斯、印度尼西亚、南非、德国、波兰、哈萨克斯坦。

中国是煤炭产销大国,煤炭资源分布广、品种全,不仅有优质的炼焦煤,还有世界少见的大同、神府等优质煤;煤炭储量以华北、西北为最,分别占全国的50%和30%左右,西南、华东次之;其中,山西、内蒙古和陕西三省(区)最多,分别占全国总储量的26%、22%和16%,其次是新疆、贵州和宁夏。

中国的炼焦煤资源,以山西省最多,占全国储量的50%;其后是安徽、贵州、山东、河北和黑龙江。

尽管2004年中国已成为世界第二大原油进口国,石油进口量逐年增加,但中国独特的“富煤、贫油、少气”的能源资源特点,决定了煤炭作为中国能源和化工原料的主要来源,在未来很长的一个时期内,难以有实质性的改变。

0.3 煤化工发展简史

煤化工的发展始于18世纪,由于工业革命的进展,炼铁用焦炭的需要量增大,炼焦化学工业应运而生。18世纪末,开始由煤生产民用煤气,生产的干馏煤气首先用于欧洲城市的街道照明。

第二次世界大战期间,煤化学工业取得了全面迅速发展。德国开展了由煤制取液体燃料的研究和工业生产。1931年,Bergius成功地由煤直接液化制取液体燃料,获得了诺贝尔化学奖。1932年发明了由一氧化碳加氢合成液体燃料的费托合成法,称为煤间接液化法。第二次世界大战末期,德国用加氢液化法由煤及焦油生产的液体燃料总量已达到每年480万吨。在此同时,工业上还从煤焦油中提取各种芳烃及杂环有机化学品,作为染料、炸药等的原料。

第二次世界大战后,由于大量廉价石油,天然气的开采,除了炼焦化学工业随钢铁工业的发展而不断发展外,煤制油失去了经济上的可行性,大规模的生产随之停滞,代之兴起的是以石油和天然气为原料的石油化工,煤在世界能源构成中由65%~70%降至25%~27%。只有南非由于其所处的特殊地理和政治环境以及资源条件,以煤为原料合成液体燃料的工业一直在发展。

1973年由于中东战争以及随之而来的石油大涨价,使得由煤生产液体燃料及化学品的的方法重新受到重视,欧美等国加强了煤化工的研究开发工作,并取得了进展。例如,成功地开发了多种新的直接液化方法;在间接液化方法中除SASOL法已工业化外,还成功地开发了由合成气制造甲醇,再由甲醇转化成汽油的工业生产技术。

20世纪80年代后期,煤化工有了新的突破,成功地将煤制成乙醇。

由于石油储量少,用量大,不断涨价,煤在世界能源构成中将不断回升,必然要由煤生

产气体燃料，液体燃料和化学品。

煤化工的发展动力，主要还是由其成本优势带来的巨大经济效益。原油价格的持续上涨，推动了煤化工产业的大发展。按照目前的普遍测算，如果石油价格在 40 美元/桶之上，煤化工项目将能够明显盈利。只要石油价格持续处于高位，煤化工的发展就会一直受到企业和市场的强力推动。

思 考 题

1. 简述煤化工的概念、分类和煤化工产品。
2. 我国发展煤化工有什么优势？

参 考 文 献

- [1] 谢克昌. 煤化工发展与规划. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [2] 徐广成. 按照科学发展观调整炼焦产业结构. 山东冶金, 2005, 27 (3): 1-3.
- [3] 李洪祥, 赵玉全. 浅谈煤化工产业面临的问题. 河北化工, 2007, 30 (7): 62-63.
- [4] 郭树才. 煤化工工艺学. 第 2 版. 北京: 化学工业出版社, 2006.

第 1 章 煤炭资源与煤分析

煤炭被人们誉为黑色的金子，工业的食粮，它是 18 世纪以来人们使用的主要能源之一。煤不仅是重要的燃料，而且是珍贵的冶金和化工原料。

煤炭是我国的主要能源，它在能源消费结构中占 70% 以上。我国煤的储量达 6424 亿吨，居世界第三位，可见，煤炭是发展生产的重要物质基础。

1.1 煤炭的基本知识

1.1.1 煤化学的发展历程

煤化学的发展历程可以分为四个阶段。

(1) 萌芽阶段 (1780~1830 年) 在这一阶段，人们考虑的问题是煤的起源。到 1830 年以后，人们基本接受了煤是由植物质，特别是陆生植物群形成的看法。

(2) 启蒙阶段 (1830~1912 年) 在 1887 年，人们在煤炭研究中首次应用显微镜，辨认出煤的主要煤岩类型，为 1919 年斯托普斯 (Stopes) 的镜煤、亮煤、暗煤和丝炭煤岩分类奠定了基础，开辟了通向经典煤岩学之路。与此同时，法国也开展了对煤的系统研究，率先提出以元素组成为基础的第一个煤分类系统，开始对煤的热分解、溶剂抽提、煤的氧化等一系列研究。

(3) 经典阶段 (1913~1963 年) 即煤化学发展的黄金时期。在这一时期，煤作为热源和能源处于实际垄断地位，在铁路运输、航海、炼焦、电力生产等领域取得了重要突破，人们对煤炭及煤化学的研究产生了极大的兴趣，在煤分类学、煤的液化与气化以及煤加工工艺、反应机理和动力学方面取得了巨大进步。其中具有里程碑意义的贡献包括：贝吉乌斯研究开发的煤高温高压直接液化技术，引起固体物料加工工艺革命；被称为温克勒炉的流化床反应器；煤间接液化技术 (F-T 合成液烃技术) 等。

(4) 波动阶段 (1963 年~现在) 从 1963 年到现在，煤炭的研究经历了衰落、复兴到陷入低谷和再振兴的变动期。20 世纪 60 年代初期，大量的廉价石油和天然气动摇了煤炭经济，煤炭工业逐渐衰落，煤炭研究处于停滞不前的状况。随着石油价格的上涨、石油危机的出现，改变了燃料结构的面貌，重新唤起人们对煤炭研究的兴趣，又恢复了煤在能源结构中的地位。到 20 世纪 80 年代前后，环境保护的呼声，再一次冲击煤炭的利用及煤化学研究的进程，有关全球气温变暖的问题、温室气体 CO_2 的排放，构成对煤炭利用的又一次冲击，使煤炭研究重新陷入低谷。但是煤炭始终是最主要的能源和化工原料，面对石油、天然气资源有限的现实，尤其是 2010~2011 年，石油价格一次又一次地飞涨，人们到了谈“油”色变的阶段，对煤炭再次燃起希望，新一轮的煤化学研究全面复苏。从全球的观点看，因为储量巨大，煤炭始终是人类生产生活中无法替代的能源之一，随着洁净煤技术的发展，煤炭气化等新技术的日趋成熟，煤炭将恢复和保持最具竞争力的地位。

我国是以煤炭为主要能源的国家，现已查明的煤炭资源量占我国化石能源资源的 95% 以上。现代煤化工的发展，符合我国富煤、少油、缺气的国情，煤制油、煤制甲醇和二甲醚等替代能源的技术开发和产业化发展，对于降低石油进口依赖程度、缓解能源瓶颈具有重大意义，新型煤化工在我国正面临新的发展机遇和长远的发展前景，中国将称为世界最大的煤

化工生产国家。

1.1.2 中国煤炭的储量和分布状况

我国煤炭资源丰富,煤种齐全,据最新统计数据,全国煤炭储量超过6424亿吨,资源量超过1万亿吨,预测远景储量为5.5万亿吨以上,分别居世界第三位、第二位、第一位。其中,炼焦用煤占储量的35%,其他非炼焦煤为65%。由此可见,我国的煤炭储量是相当丰富。

煤炭分布情况:按保有储量分析分布情况,2/3的煤炭集中于华北地区,西北占12%,西南占12%,华东只占6.5%,中南仅占3.7%,东北占3.1%。

按省、区地分布情况,山西为首位,占31.3%,其次是内蒙古占30%,贵州第三占7.2%,储量在100亿~200亿吨的省区有宁夏、安徽、陕西、河南、新疆、云南、河北、山东、黑龙江。以上12个省煤炭保有储量占全国的93.5%。其他省如湖南、湖北、广东、广西、江苏、浙江、福建、江西等省区,仅占全国保有储量的1.9%。总之,我国煤炭资源的分布特点是北多南少,西多东少,而多数工业发达地区和人口密集地区的分布恰恰与煤炭资源分布地区相反。从长远发展来看,煤炭基地的开发将逐步向北、向西转移。山西、内蒙古将作为大力发展煤炭工业的基地。

1.1.3 煤炭资源禀赋条件的不足之处

随着经济的快速发展,煤炭需求大幅度增加,煤炭产量不断增长,有力地支撑了国民经济的快速发展。但是,从我国人均煤炭资源占有量、开采条件、煤种结构分析,煤炭资源的禀赋条件与社会需求还有很大差距。

(1) 人均占有可采储量少 我国煤的储量达6千多亿吨,居世界第三位,但由于人口众多,人均储量约462t,远远小于世界平均水平。

(2) 煤炭资源禀赋条件差,开采比较复杂 有研究表明,我国大陆是由众多小型地块多幕次汇集而成,多次发生陆块地碰撞、俯冲,产生强烈的板内变形,使煤盆地经受了多期次挤压变形改造,煤田具有高地应力、高瓦斯、高地温等自然灾害,客观上为煤炭开采带来难度。

(3) 优质的煤炭资源少 如作为生产焦炭的主要煤种焦煤和肥煤资源稀缺:焦煤仅占我国炼焦煤资源的24%,肥煤与气肥煤仅占13%左右,其中还有部分高灰、高硫、难洗选,不能用于炼焦用煤,优质的焦煤和肥煤资源量更少。

1.1.4 成煤的五大条件

(1) 物质条件 主要是成煤的原始植物,包括高等植物和低等植物。植物遗体大量堆积是成煤的物质条件。高等植物形成的煤叫腐殖煤,低等植物形成的煤叫腐泥煤。由高等植物和低等植物共同形成的煤叫腐殖腐泥煤。

植物演化的5个阶段:菌藻植物时代;裸蕨植物时代;蕨类和种子植物时代;裸子植物时代;被子植物时代。

(2) 堆积条件或环境条件 泥炭沼泽:常年积水,极其潮湿,内有大量植物生长、堆积,植物死亡后遗体被沼泽水覆盖,并与氧呈半隔绝状态,使植物遗体不至于完全氧化分解,经生物化学作用形成泥炭。

泥炭沼泽的形成取决于古植物、古气候、古地理和大地构造条件。

沼泽根据不同的分类标准分为低位沼泽、高位沼泽、中位沼泽;滨海泥炭沼泽、三角洲平原泥炭沼泽、红树林泥炭沼泽;草本泥炭沼泽、木本泥炭沼泽;淡水沼泽、半咸水沼泽、咸水沼泽等。

堆积方式(原地生成、异地生成)、形成泥炭的植物群落(高等植物、低等植物)、沉积

环境（浅沼的、湖沼的、微咸水的、咸水的、富含钙质的）和养分供给（富养分的、贫养分的）、pH值、细菌活动性、硫的供给、泥炭的温度、氧化还原电位等因素决定了煤层原始特征。

(3) 温度和压力条件 温度和压力决定于埋藏深度，成煤应有一定的埋藏深度。煤化程度是煤受热温度和持续时间的函数。温度越高，变质作用的速度越快。

(4) 时间条件 漫长的地质年代（宙、代、纪、世、期），一般需要几千万到几亿年的时间。

(5) 地质条件 地壳的不断运动。

1.1.5 煤的形成过程

当地球处于不同地质年代，随着气候和地理环境的改变，生物也在不断地发展和演化。就植物而言，从无生命一直发展到被子植物。这些植物在相应的地质年代中造成了大量的煤。

由于古代植物大量沉积，被深深埋在地层下，受到高压和高温，经过几亿年的时间，变成煤炭、煤矿和其他矿。煤与煤之间的性质千差万别，不仅不同煤田的煤质差别较大，即使是同一煤田中不同煤层的煤质，其差异也很大。究其原因，是与成煤的物质和成煤的条件有关。

由植物变为煤的过程可以分为三个阶段。

(1) 菌解阶段 即泥炭化阶段。当植物堆积在水下被泥砂覆盖起来的时候，便逐渐与氧气隔绝，由嫌气细菌参与作用，促使有机质分解而生成泥炭。通过这种作用，植物遗体中氢、氧成分逐渐减少，而碳的成分逐渐增加。泥炭质地疏松、褐色、无光泽、相对密度小，可看出有机质的残体，用火柴烧可以引燃，烟浓灰多。

(2) 煤化作用阶段 即褐煤阶段。当泥炭被沉积物覆盖形成顶板后，便成了完全封闭的环境，细菌作用逐渐停止，泥炭开始压缩、脱水而胶结，碳的含量进一步增加，过渡成为褐煤，这称为煤化作用。褐煤颜色为褐色或近于黑色，光泽暗淡，基本上不见有机物残体，质地较泥炭致密，用火柴可以引燃，有烟。

(3) 变质阶段 即烟煤及无烟煤阶段。褐煤是在低温和低压下形成的。如果褐煤埋藏在地下较深位置时，就会受到高温高压的作用，使褐煤的化学成分发生变化，主要是水分和挥发成分减少，含碳量相对增加；在物理性质上也发生改变，主要是相对密度、光泽和硬度增加，而成为烟煤。这种作用是煤的变质作用。烟煤颜色为黑色，有光泽，致密状，用蜡烛可以引燃，火焰明亮，有烟。烟煤进一步变质，成为无烟煤。无烟煤颜色为黑色，质地坚硬，有光泽，用蜡烛不能引燃，燃烧无烟。

1.2 煤炭的分类

1.2.1 煤炭的分类方法

煤的种类很多，各有不同的性质和用途，这和它的化学组成、结构、工艺性质密切相关。针对不同的侧重点，煤种划分方法有如下几种。

(1) 煤的成因分类 成煤的原始物料和堆积环境分类，称为煤的成因分类。

(2) 煤的科学分类 煤的元素组成等基本性质分类，称为煤的科学分类。

(3) 煤的实用分类 煤的实用分类又称煤的工业分类。按煤的工艺性质和用途分类，称为煤的实用分类。中国煤分类和各主要工业国的煤炭分类均属于煤的实用分类。

1.2.2 中国煤炭的分类

2009年6月1日，我国发布了《中国煤炭分类》(GB 5751—2009)，并规定从2010年1月1日起正式实施。

(1) 分类参数

① 用于表征煤化程度的参数：干燥无灰基挥发分，符号为 V_{daf} ，以质量分数表示；干燥无灰基氢含量，符号为 H_{daf} ，以质量分数表示；恒湿无灰基高位发热量，符号为 $Q_{gr,maf}$ ，单位为兆焦每千克 (MJ/kg)；低煤阶煤透光率，符号为 P_M ，以百分数表示。

② 用于表征煤工艺性能的参数：烟煤的黏结指数，符号为 $G_{R,1}$ (简记为 G)；烟煤的胶质层最大厚度，符号为 Y ，单位为毫米 (mm)；烟煤的奥阿膨胀度，符号为 b ，以百分数表示。

(2) 编码 各类煤的编码用两位阿拉伯数字表示。

① 十位上的数字，按煤的挥发分分组，数字越大，表示煤化程度越低。

a. 无烟煤为 0 ($V_{daf} \leq 10\%$)。

b. 烟煤为 1~4。分别表示：1—低挥发分烟煤 ($10\% < V_{daf} \leq 20\%$)；2—中挥发分烟煤 ($20\% < V_{daf} \leq 28\%$)；3—中高挥发分烟煤 ($28\% < V_{daf} \leq 37\%$)；4—高挥发分烟煤 ($V_{daf} > 37\%$)。

c. 褐煤为 5 ($V_{daf} > 37\%$)。

② 个位上的数字，表示的意义与煤类有关，不同的煤类，意义不同。

a. 无烟煤类为 1~3，表示煤化程度依次降低。

b. 烟煤类为 1~6，表示黏结性依次增强。

c. 褐煤类为 1~2，表示煤化程度依次提高。

(3) 煤类划分

① 首先，采用煤化程度参数 (主要是干燥无灰基挥发分 V_{daf}) 将煤炭划分为无烟煤、烟煤和褐煤三大类。见表 1-1。

表 1-1 无烟煤、烟煤及褐煤分类

类别	代号	编码	分类指标	
			$V_{daf}/\%$	$P_M/\%$
无烟煤	WY	01,02,03	≤ 10.0	—
烟煤	YM	11,12,13,14,15,16	$> 10.0 \sim 20.0$	—
		21,22,23,24,25,26	$> 20.0 \sim 28.0$	
		31,32,33,34,35,36	$> 28.0 \sim 37.0$	
		41,42,43,44,45,46	> 37.0	
褐煤	HM	51,52	$> 37.0^{\text{①}}$	$\leq 50^{\text{②}}$

① 凡 $V_{daf} > 37.0\%$ 、 $G \leq 5$ ，再用透光率 P_M 来区分烟煤和褐煤 (在地质勘探中， $V_{daf} > 37.0\%$ ，在不压饼的条件下测定的焦渣特征为 1~2 号的煤，再用 P_M 来区分烟煤和褐煤)。

② 凡 $V_{daf} > 37.0\%$ 、 $P_M > 50\%$ 者，为烟煤， $P_M > 30\% \sim 50\%$ 的煤，如恒湿无灰基高位发热量 $Q_{GW}^A \cdot GN$ 大于 24MJ/kg (5700cal/g)，则划为长焰煤。

② 无烟煤亚类的划分，采用煤化程度参数干燥无灰基挥发分 V_{daf} 和干燥无灰基氢含量 H_{daf} 作为分类指标，将其分为 3 个亚类，即无烟煤一号、二号和三号。

③ 褐煤亚类的划分，采用煤化程度参数低煤阶煤透光率 P_M ，将其分为两个小类，即褐煤一号和二号。

④ 烟煤比较复杂，需同时考虑煤化程度和工艺性质 (主要是黏结性)。

首先，根据干燥无灰基挥发分 V_{daf} 分为 4 组，分别用 1~4 的数码表示，数码越大，表示煤化程度越低。

其次，每组再根据烟煤的黏结指数 G 值，分为 6 个，分别用 1~6 的数码表示，依次

为：不黏结或微黏结煤 ($G \leq 5$)，弱黏结煤 ($5 < G \leq 20$)，中等偏弱黏结煤 ($20 < G \leq 50$)，中等偏强黏结煤 ($50 < G \leq 65$) 和强黏结煤 ($G > 65$)。数码越大，煤的黏结性越强（在个别组中， $G > 30$ 或 $G > 35$ 仍用 2 表示）。

根据干燥无灰基挥发分 V_{daf} 、黏结指数 G 、胶质层最大厚度 Y 和奥阿膨胀度 b 可将烟煤划分为 24 个单元（根据 V_{daf} 分成 4 个，根据 G 分成 6 个），每个单元都对应有一个两位数的数码，该数码就是烟煤分类表中“编码”一栏的数值，其中，十位上的数值（1~4）表示煤化程度，个位上的数值（1~6）表示黏结性。

在 24 个单元中，按照同类煤的性质基本相似，不同类煤的性质有较大差异的原则进行归类，共分成 12 个类别，这 12 个类别，就是烟煤的 12 个大类。

1.2.3 各类煤的特性及用途

(1) 无烟煤 (WY) 煤化程度最高的一类煤，固定碳含量高，挥发分产率低，密度大，硬度大，燃点高，燃烧时不冒烟。01 号无烟煤为年老无烟煤，适于作碳素材料及民用型煤；02 号无烟煤为典型无烟煤，是合成煤气的主要原料；03 号无烟煤为年轻无烟煤，因其热值高、可磨性好而适于作高炉喷吹燃料。这三类无烟煤都是较好的民用燃料。如北京、晋城、阳泉分别为 01 号、02 号、03 号无烟煤。

(2) 贫煤 (PM) 贫煤是煤化度最高的一种烟煤，不黏结或微具黏结性，燃烧时火焰短，耐烧。在层状炼焦炉中不结焦。主要用作动力、民用和工业锅炉的燃料。山西潞安矿区是生产贫煤的典型代表。

(3) 贫瘦煤 (PS) 贫瘦煤是高变质、低挥发分、弱黏结性的一种烟煤。其性质介于贫煤和瘦煤之间。结焦较典型瘦煤差，单独炼焦时，生成的焦粉较多，配煤炼焦时，配入较少比例就能起到瘦化作用，有利于提高焦炭的块度。这种煤主要用于动力或民用燃料，少量用于制造煤气。山西西山矿区生产典型的贫瘦煤。

(4) 瘦煤 (SM) 瘦煤是低挥发分的中等黏结性的炼焦用煤，在炼焦时能产生一定量的胶质体。单独炼焦时，能得到块度大、裂纹少、抗碎性较好的焦炭，但焦炭的耐磨性较差，主要用于配煤炼焦。河北峰峰四矿生产典型的瘦煤。

(5) 焦煤 (JM) 焦煤是中等及低挥发分的中等黏结性及强黏结性的一种烟煤。加热时能产生热稳定性很高的胶质体。单独炼焦时能得到块度大、裂纹少、抗碎强度高的焦炭，其耐磨性也好。但单独炼焦时，产生的膨胀压力大，使推焦困难。河北峰峰五矿、安徽淮北后石台及山西古交矿井生产典型的焦煤。

(6) 肥煤 (FM) 肥煤是低、中、高挥发分的强黏结性烟煤，加热时能产生大量的胶质体。单独炼焦时能生成熔融性好、强度较高的焦炭，其耐磨强度优于相同挥发分的焦煤炼出的焦炭。缺点是单独炼出的焦炭，横裂纹较多，焦根部分常有蜂焦。属配煤炼焦的基础煤，但不宜单独使用。河北开滦、山东枣庄是生产肥煤的主要矿区。

(7) 1/3 焦煤 (1/3JM) 1/3 焦煤是中高挥发分、强黏结性的一种烟煤，是介于焦煤、肥煤、气煤三者之间的过渡煤。单独炼焦能生成熔融性较好、强度较高的焦炭，既能单独炼焦供中型高炉使用，同时也是炼焦配煤的好原料。安徽淮南、四川永荣等矿区产 1/3 焦煤。

(8) 气肥煤 (QF) 气肥煤是一种挥发分和胶质层都很高的强黏结性肥煤类，有的称为液肥煤。炼焦性能介于肥煤和气煤之间，单独炼焦时能产生大量的气体和液体化学产品，最适宜高温干馏制煤气，用于配煤炼焦可增加化学产品的回收率。江西乐平和浙江长广煤田是典型的气肥煤生产矿区。

(9) 气煤 (QM) 气煤是一种煤化度较浅，挥发分较高的烟煤。加热时能产生较高的挥发分和较多的焦油。胶质体的热稳定性低于肥煤，能够单独炼焦。但焦炭多呈细长条而易