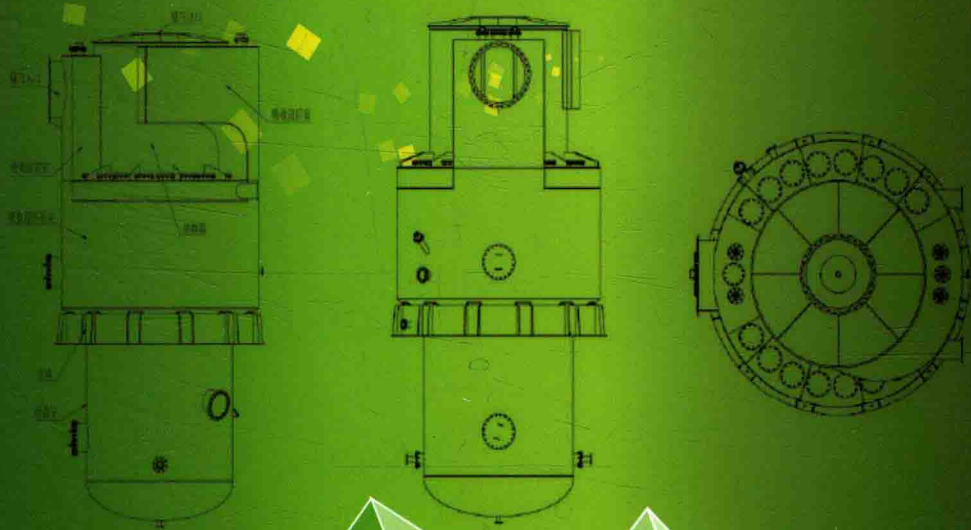


高等学校“十三五”规划教材

煤化工工艺学

宋永辉 汤洁莉 主编



化学工业出版社

高等学校“十三五”规划教材

煤化工工艺学

宋永辉 汤洁莉 主编



化学工业出版社

·北京·

《煤化工工艺学》是在全国高校化工工艺类专业教学指导委员会确定的“煤化工工艺学教材编写大纲”的基础上,结合目前煤化工专业的教学实际与新技术、新工艺发展趋势来编写的,建议教学时数为60~120学时,可根据本专业的实际需求进行学时调整。

《煤化工工艺学》重点阐述了煤的低温干馏、炼焦、炼焦产品回收与精制、气化、液化及碳素材料的制备与应用,同时对煤炭资源、性质特点及煤化工生产过程中的污染与防治进行了介绍。全书共分为10章,其中主要章节都根据行业的发展丰富了数据并增加了相关工艺与设备等的最新成果,以更好地适应能源化工(煤化工)行业的发展和相关专业教学的需要。本书既考虑了先期开设《煤化学》课程的专业教学,同时也充分考虑了部分先期没有开设相关课程的专业教学,适应面比较广。

图书在版编目(CIP)数据

煤化工工艺学/宋永辉,汤洁莉主编. —北京:化学工业出版社,2016.6

高等学校“十三五”规划教材

ISBN 978-7-122-26798-6

I. ①煤… II. ①宋…②汤… III. ①煤化工-工艺学-高等学校-教材 IV. ①TQ53

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第078411号

责任编辑:陶艳玲

装帧设计:孙远博

责任校对:王素芹

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:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张25 $\frac{3}{4}$ 字数672千字 2016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

《煤化工工艺学》是我国高等院校相关化工专业必修的专业骨干课程。本书在全国高校化工工艺类专业教学指导委员会确定的“煤化工工艺学教材编写大纲”的基础上，结合目前煤化工专业的教学实际与新技术、新工艺发展趋势来编写的，建议教学时数为60~120学时，可根据本专业的实际需求进行学时调整。

本书重点阐述了煤的低温干馏、炼焦、炼焦产品回收与精制、气化、液化及碳素材料的制备与应用，同时对煤炭资源、性质特点及煤化工生产过程中的污染与防治进行了介绍。全书共分为十章，其中主要章节都根据行业的发展丰富了数据并增加了相关工艺与设备等的最新成果，以更好地适应能源化工（煤化工）行业的发展和相关专业教学的需要。本书既考虑了先期开设《煤化学》课程的专业教学，同时也充分考虑了部分先期没有开设相关课程的专业教学，适应面比较广。

本书第1章绪论部分概括性地介绍了煤化工的发展历程以及煤化工工艺学的主要内容。第2章主要介绍了煤炭资源概况及煤炭组成、分类与性质特点等。第3章主要介绍了低温干馏工艺原理、产品及主要影响因素，重点对低温干馏炉型及现有典型工艺进行了系统阐述。第4章阐述了炼焦原料、炼焦原理、工艺特点、焦炉结构及炼焦新技术，进一步介绍了炼焦技术的发展。第5章主要介绍了炼焦过程化学产品的回收与精制技术原理与工艺、设备等，重点涵盖炼焦化学产品的产生、组成及影响因素，粗煤气的初冷、输送及初净化，氨和粗轻吡啶、粗苯回收以及焦油的加工利用等。第6章主要介绍煤的气化技术原理、分类、工艺及设备，重点介绍了固定床、流化床与气流床气化的原理、工艺特点及影响因素等，另外对煤炭地下气化技术、工艺及发展进行了介绍。第7、10章主要讲述煤直接液化与间接液化技术原理、技术特点、工艺及设备。第9章主要讲述了煤碳素制品的分类、特点及应用等。第10章对煤化工生产过程污染和防治技术的原理、工艺及设备进行介绍。

本书可以作为普通高等院校、高职院校化学工艺、能源化工（煤化工）等专业的专业教材，亦可供从事能源、煤炭、化工、电力、环境保护等专业设计、生产、科研的技术人员及相关专业师生参考。

本书由西安建筑科技大学宋永辉、汤洁莉任主编。第1、2、3章及第6章由西安建筑科技大学宋永辉、榆林学院苏婷编写；第4、5章由西安建筑科技大学汤洁莉、邢相栋编写；第7、8、9章和第10章由咸阳职业技术学院蒋绪、西安建筑科技大学田宇红编写。

由于水平有限，书中难免有不妥之处，希望使用本书的读者批评指正。

编者
2016.2

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 煤在社会发展中的地位	1
1.2 煤化工的发展历程	2
1.3 煤化工的范畴	3
1.3.1 煤的干馏	4
1.3.2 煤的气化	4
1.3.3 煤的液化	4
1.3.4 煤基碳素材料	5
1.4 主要教学内容	5
习题	6
第 2 章 煤炭资源特点及性质	7
2.1 煤炭资源概况	7
2.1.1 世界煤炭资源	7
2.1.2 中国煤炭资源	8
2.2 煤的形成	10
2.3 煤岩学基础	12
2.3.1 宏观特征	12
2.3.2 显微组成	13
2.3.3 煤中的矿物质	14
2.4 煤的分类及用途	14
2.4.1 煤的分类	14
2.4.2 主要煤类特征和用途	15
2.4.3 煤的质量分级	17
2.5 煤的组成和性质	17
2.5.1 煤的化学组成	17
2.5.2 煤的物理性质	18
2.5.3 煤的化学性质	20
2.5.4 煤的工艺性质	22
2.6 煤的工业分析与元素分析	25
2.6.1 煤炭分析的基准	25
2.6.2 工业分析	26
2.6.3 元素分析	29
习题	31
第 3 章 低温干馏	32
3.1 概述	32
3.2 煤的炭化热解原理	32

3.2.1	煤中的官能团	33
3.2.2	炭化热解机理	33
3.2.3	煤炭化热解中的化学反应	34
3.2.4	低变质煤的炭化热解过程	35
3.3	低温干馏产品	36
3.3.1	半焦/兰炭	36
3.3.2	煤焦油	37
3.3.3	煤气	39
3.4	低温干馏产品的影响因素	39
3.4.1	原料煤的影响	39
3.4.2	加热条件的影响	43
3.4.3	压力	45
3.4.4	停留时间	45
3.5	低温干馏主要炉型	46
3.5.1	内热式与外热式炉的特点	47
3.5.2	典型炉型	47
3.6	国外典型工艺	52
3.6.1	COED 工艺	52
3.6.2	鲁奇-鲁尔工艺	53
3.6.3	Coalcon 加氢干馏工艺	54
3.6.4	Toscoal 工艺	54
3.6.5	美国的 LFC 技术	55
3.7	国内典型工艺	57
3.7.1	固体热载体干馏工艺	57
3.7.2	SJ 型系列内热式直立炉干馏工艺	57
3.7.3	流化床热解热电气焦油联产工艺	59
3.7.4	多段回转炉温和气化工艺	59
	习题	60
第 4 章	炼焦	62
4.1	概述	62
4.2	焦炭的性质及其用途	62
4.2.1	物理性质及力学性能	62
4.2.2	焦炭的化学组成	64
4.2.3	焦炭的反应性及反应后强度	64
4.2.4	焦炭的用途及其质量指标	64
4.3	炼焦用煤及其成焦理论	67
4.3.1	炼焦用煤及其特点	67
4.3.2	配煤炼焦	68
4.3.3	煤的黏结成焦机理	70
4.4	炼焦炉及其设备	72
4.4.1	焦炉结构	72

4.4.2	焦炉炉型	79
4.4.3	筑炉材料	86
4.4.4	护炉设备	89
4.4.5	焦炉机械	90
4.5	焦炉加热理论	92
4.5.1	煤气的燃烧与热工评定	92
4.5.2	焦炉传热	97
4.5.3	焦炉的流体力学基础及其应用	98
4.6	炼焦新技术	102
4.6.1	配煤的预处理技术	102
4.6.2	熄焦新技术	109
4.6.3	型焦	112
	习题	115
第5章 炼焦化学产品的回收与精制		116
5.1	炼焦化学产品	116
5.1.1	炼焦化学产品的产生、组成及产率	116
5.1.2	炼焦化学产品的用途	118
5.1.3	炼焦化学产品的回收与精制	118
5.2	粗煤气的初冷、输送及初净化	120
5.2.1	粗煤气的初步冷却	120
5.2.2	焦油与氨水的分离	125
5.2.3	煤气的输送	126
5.2.4	煤气的初净化	128
5.2.5	焦炉煤气的利用	136
5.3	氨和粗轻吡啶的回收	138
5.3.1	氨的回收	138
5.3.2	粗轻吡啶的回收	143
5.3.3	剩余氨水的处理	145
5.4	粗苯的回收与精制	150
5.4.1	粗苯的回收	150
5.4.2	粗苯的精制	159
5.5	焦油的加工	172
5.5.1	焦油蒸馏前的准备	174
5.5.2	焦油蒸馏	175
5.5.3	焦油馏分的加工	182
5.5.4	焦油沥青的加工	187
	习题	189
第6章 煤的气化		190
6.1	概述	190
6.1.1	煤气化技术分类	190

6.1.2	煤气化设备	191
6.1.3	煤的气化评价指标	195
6.1.4	装料和排灰	197
6.2	煤的气化原理	198
6.2.1	煤气化的基本原理和过程	198
6.2.2	煤气化工艺的原则流程	199
6.3	气化过程相关计算及影响因素	200
6.3.1	煤的气化产物	200
6.3.2	煤气平衡组成	200
6.3.3	煤气的热值及计算	202
6.3.4	煤气化过程的物料衡算与热量衡算	203
6.3.5	煤气化过程的影响因素	206
6.4	固定床气化	209
6.4.1	常压固定床气化	209
6.4.2	加压固定床气化	224
6.5	流化床气化	231
6.5.1	流化床气化的特点	231
6.5.2	工艺过程	232
6.5.3	常压温克勒气化	232
6.5.4	高温温克勒气化	234
6.5.5	灰融聚流化床气化	235
6.5.6	循环流化床气化	240
6.5.7	恩德炉粉煤气化	242
6.6	气流床气化	243
6.6.1	气流床气化的特点	244
6.6.2	气流床气化原理	245
6.6.3	常压气流床粉煤气化	245
6.6.4	加压气流床粉煤气化	248
6.6.5	其它干法粉煤加压气化工艺	250
6.6.6	水煤浆加压气化	253
6.7	煤的地下气化	258
6.7.1	定义及特点	259
6.7.2	气化原理	259
6.7.3	地下气化技术	261
6.7.4	影响因素	262
6.8	煤气化联合循环发电	265
6.8.1	煤气化联合循环发电的特点	265
6.8.2	整体煤气化联合循环发电工艺流程	266
6.8.3	煤气化联合循环发电技术的发展	266
6.9	煤气的净化	267
6.9.1	煤气中的杂质及其危害	267
6.9.2	煤气中杂质的脱除方法	268

6.10 煤气的甲烷化.....	270
6.10.1 甲烷化基本原理.....	271
6.10.2 甲烷化催化剂.....	272
6.10.3 甲烷化工艺流程.....	272
习题.....	273
第7章 煤间接液化	275
7.1 费托合成.....	275
7.1.1 合成原理.....	275
7.1.2 催化剂.....	276
7.1.3 反应器.....	277
7.1.4 主要影响因素.....	282
7.1.5 F-T 合成的典型工艺.....	283
7.1.6 Sasol 的煤间接液化工业化生产.....	286
7.1.7 兖矿集团 F-T 合成技术.....	289
7.2 合成甲醇.....	292
7.2.1 合成原理.....	293
7.2.2 催化剂.....	293
7.2.3 反应条件.....	294
7.2.4 反应器.....	294
7.2.5 甲醇合成的典型工艺.....	296
7.3 甲醇转化为汽油.....	300
7.3.1 合成原理.....	300
7.3.2 催化剂.....	300
7.3.3 反应器.....	301
7.3.4 典型工艺.....	301
7.3.5 新西兰工业化生产.....	303
7.4 甲醇利用进展.....	304
7.4.1 甲醇燃料.....	304
7.4.2 甲醇裂解制烯烃.....	306
7.4.3 合成二甲醚.....	309
7.5 煤制醋酐.....	312
7.5.1 合成原理.....	312
7.5.2 工艺流程.....	312
7.6 合成气两段直接合成汽油.....	313
7.6.1 两段固定床合成工艺.....	313
7.6.2 丹麦两段组合合成工艺.....	314
7.6.3 浆态床 F-T 与 Mobil 法组合工艺.....	315
习题.....	316
第8章 煤直接液化	317
8.1 发展历程.....	317

8.2	煤直接液化原理	318
8.2.1	过程反应	318
8.2.2	反应历程	321
8.3	工艺过程及产物	321
8.3.1	基本工艺流程	321
8.3.2	直接液化产物	322
8.4	直接液化过程影响因素	323
8.4.1	原料煤	323
8.4.2	溶剂	324
8.4.3	工业催化剂	325
8.4.4	反应温度	326
8.4.5	反应压力	327
8.4.6	反应时间	327
8.4.7	气液比	328
8.5	主要设备	328
8.5.1	高压煤浆泵	328
8.5.2	煤浆预热器与煤浆加热炉	328
8.5.3	液化反应器	329
8.6	德国煤加氢液化老工艺	330
8.6.1	第一段液相加氢	330
8.6.2	第二段气相加氢	333
8.6.3	主要工艺条件和产品收率	334
8.7	直接液化的其它典型工艺	335
8.7.1	溶剂精炼煤法	335
8.7.2	氢煤法	337
8.7.3	埃克森供氢溶剂法	339
8.7.4	催化两段液化工艺	340
8.7.5	液体溶剂萃取工艺	341
8.7.6	德国煤液化精制联合工艺	342
8.7.7	我国神华煤直接液化工艺	343
8.7.8	中国煤炭直接液化工艺	344
8.7.9	煤油共处理技术	345
8.8	煤液化油的提质加工	349
8.8.1	液化油的组成及特点	349
8.8.2	液化粗油提质加工化学品	350
8.8.3	液化粗油提质加工工艺	352
	习题	353

第9章	煤的碳素制品	355
9.1	概述	355
9.1.1	碳素制品的性质	355
9.1.2	碳素制品的种类和用途	355

9.2	电极炭	357
9.2.1	原材料及其质量要求	357
9.2.2	石墨化过程	359
9.2.3	电极炭生产工艺过程	360
9.2.4	碳电极和不透性石墨材料	363
9.3	活性炭	364
9.3.1	概述	364
9.3.2	活性炭的种类	365
9.3.3	活性炭的结构与性质	365
9.3.4	活性炭的制备	367
9.3.5	活性炭的再生	371
9.3.6	活性炭的应用及发展	372
9.4	碳分子筛	372
9.4.1	碳分子筛分离原理	373
9.4.2	碳分子筛的特点	373
9.4.3	碳分子筛的制备	373
9.4.4	碳分子筛的应用	375
9.5	碳素纤维	375
9.5.1	碳素纤维的种类和性能	375
9.5.2	工艺流程	376
9.5.3	碳素纤维的应用	377
	习题	378
第 10 章 煤化工生产过程污染与防治		379
10.1	概述	379
10.1.1	环境污染	379
10.1.2	环境污染的严重性	380
10.2	煤化工主要污染物	380
10.2.1	大气污染物	380
10.2.2	液态污染物	381
10.2.3	固态污染物	383
10.3	废气处理技术	383
10.3.1	烟尘治理	384
10.3.2	烟气脱硫	386
10.3.3	烟气脱硝	387
10.3.4	废气燃烧	388
10.4	废水处理技术	388
10.4.1	废水处理概述	389
10.4.2	焦化废水处理	390
10.4.3	气化废水处理	393
10.5	二氧化碳减排和利用	395
10.5.1	提高能源利用率, 实现 CO ₂ 减排	395

10.5.2	CO ₂ 捕集与分离技术	395
10.5.3	二氧化碳埋存技术	396
10.5.4	气驱采油技术	397
10.5.5	二氧化碳利用技术	397
10.6	洁净煤技术的推广应用	398
	习题	398
	参考文献	399

第 1 章 结 论

煤是一种可燃的有机矿产，在地质历史时期由植物通过生物和地球化学作用转变而成的，由许多复杂的有机物和天然化合物组成的一种混合物。煤中有机质的化学结构是以芳香族为主的稠环为单元核心，以桥键互相连接并带有各种功能团的大分子结构。

以煤为原料，经化学加工使其转化为气体、液体和固体燃料以及化学产品的过程称之为煤化工，主要包括煤的低温干馏、炼焦、气化、液化以及焦油加工等。在煤的各种化学加工过程中，炼焦是应用最早的工艺，并且至今仍然是化学工业的重要组成部分。煤炼化的主要目的是制取冶金用焦炭，同时副产煤气和苯、甲苯、二甲苯、萘等芳烃；煤气化主要用于生产城市煤气及各种燃料气（广泛用于机械、建材等工业），也可用于生产合成气（作为合成氨、合成甲醇等的原料）；煤低温干馏、煤直接液化及间接液化等过程主要生产液体燃料，目前已经开始在国内外推广应用，前景广泛；煤的其它直接化学加工，如生产褐煤蜡、磺化煤、腐殖酸及活性炭等，仍有小规模的应用。

1.1 煤在社会发展中的地位

煤炭作为重要的能源和工业原材料，在人类文明的发展史上起着不可估量的作用。目前，世界上主要能源包括煤、石油、天然气、水能和核能，另外还有太阳能、风能、地热、海洋能、生物质能和低热值矿物能源（如油页岩、泥炭和石煤）等。图 1.1 为能源的基本分类。

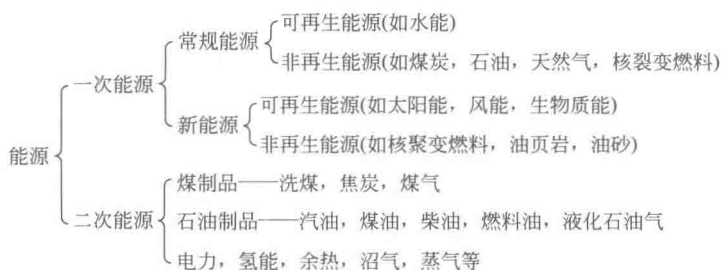


图 1.1 能源的分类

目前，人类所使用的能源主要是非再生能源，如石油、天然气、煤炭和裂变核燃料约占能源总消费量的 90% 左右，而再生能源如水力、植物燃料等只占 10% 左右。世界能源储量最多的是太阳能，在再生能源中占 99.44%，而水能、风能、地热能、生物能等则不到 1%。

世界上原煤消费量最多的国家是中国、美国、印度、日本和俄罗斯，其原煤消费量占全球的 76.5%。世界上再生能源最多的国家是美国、中国、德国、西班牙和巴西，其再生能源占全球的 57.7%。根据 BP 公司《Statistical Review of World Energy》历年的统计数据，世界一次能源消费结构如表 1.1 所示。

表 1.1 世界一次能源消费结构

年份	一次能源总量/ 百万吨油当量	一次能源结构中的份额/%					
		原油	天然气	原煤	核能	水力发电	再生能源
2005 年	10537.1	36.1	23.5	27.8	6.0	6.3	
2006 年	10878.5	35.8	23.7	28.4	5.8	6.3	

续表

年份	一次能源总量/ 百万吨油当量	一次能源结构中的份额/%					
		原油	天然气	原煤	核能	水力发电	再生能源
2007年	11099.3	35.6	23.8	28.6	5.6	6.4	
2008年	11294.9	34.8	24.1	29.2	5.5	6.4	
2009年	11164.3	34.8	23.8	29.4	5.5	6.6	
2010年	12002.4	33.6	23.8	29.6	5.2	6.5	1.3
2011年	12225.0	33.4	23.8	29.7	4.9	6.5	1.7
2012年	12476.6	33.1	23.9	29.9	4.5	6.7	1.9
2013年	12730.4	32.9	23.7	30.1	4.4	6.7	2.2

中国是世界第一产煤大国，煤炭产量占全世界的37%。作为中国的主要能源，煤炭在全国能源消费总量中所占比例一直维持在65%以上，并且在未来相当长的时期内，中国的能源消费结构仍将保持煤炭占据主导地位的状况。而化石能源的日渐枯竭和环境问题的逐步加剧，使我国能源消费结构必须向降低一次性能源比重的方向发展，因此，当务之急就是加快推广先进、清洁的煤炭转化技术，提高煤炭产业附加值和使用效率，有效保护生态环境。中国一次能源的消费结构如表1.2所示。

表 1.2 中国一次能源消费结构

单位：%

年份	原油	天然气	煤	核能	水力发电	再生能源	能源消费总量/ 百万吨油当量
2003年	22.1	2.4	69.3	0.8	5.3		1204.2
2004年	22.4	2.5	68.7	0.8	5.6		1423.5
2005年	20.9	2.6	69.9	0.8	5.7		1566.7
2006年	20.4	2.9	70.2	0.7	5.7		1729.8
2007年	19.5	3.4	70.5	0.8	5.9		1862.8
2008年	18.8	3.6	70.2	0.8	6.6		2002.5
2009年	17.7	3.7	71.2	0.7	6.4	0.3	2187.7
2010年	17.6	4.0	70.5	0.7	6.7	0.5	2432.2
2011年	17.7	4.5	70.4	0.7	6.0	0.7	2613.2
2012年	17.7	4.7	68.5	0.8	7.1	1.2	2735.2
2013年	17.8	5.1	67.5	0.9	7.2	1.5	2852.4

1.2 煤化工的发展历程

中国是使用煤最早的国家之一，早在公元前就用煤冶炼铜矿石、烧陶瓷，至明代已开始用焦炭冶铁。但是，煤作为化学工业的原料加以利用并逐步形成工业体系，则是在近代工业革命之后。

萌芽期（18世纪中叶）18世纪中叶由于工业革命的进展，对炼铁用焦炭的需要量大幅度地增加，炼焦炉应运而生。18世纪末，煤逐步用于生产民用煤气。1850—1860年，法国及欧洲其它国家相继建立了炼焦厂。这时的炼焦炉就是现代炼焦炉的雏形，同时炼焦化学品的回收也引起人们的重视。19世纪70年代德国成功地建成了有化学品回收装置的焦炉，由煤焦油中提取了大量的芳烃，作为医药、农药、染料等工业的原料。

第一次世界大战期间，钢铁工业高速发展，同时作为火炸药原料的氨、苯及甲苯也很急

需,这促使炼焦工业进一步发展,并形成炼焦副产化学品的回收和利用工业。1925年,中国在石家庄建成了第一座焦化厂,满足了汉冶萍炼铁厂对焦炭的需要。1920—1930年间,煤低温干馏的研究得到重视并较快发展,所得半焦可作民用无烟燃料,低温干馏焦油则进一步加工成液体燃料。1934年,在中国上海建成拥有直立式干馏炉和增热水煤气炉的煤气厂,生产城市煤气。

全面发展时期(18世纪末—20世纪40年代)第二次世界大战前夕及大战期间,煤化工取得了全面而迅速的发展。由于炼焦和冶金工业的迅速发展,使焦化工业得以起步,成为炼焦工业、冶金工业的辅助产业。20世纪20、30年代以煤为原料制取液体燃料的技术已经成熟,德国最早开始研究煤制油技术,并于1927年建立了世界上第一座商业化的煤炭直接液化工厂。此后,出现了世界煤化工迅速发展的新态势,煤成为有机化学工业的主要原料。以煤为原料,运用分离和合成技术,为化学工业提供了苯、焦油、焦炉气、合成气、乙炔等化学品。

萧条时期(20世纪50~60年代)第二次世界大战后,由于大量廉价石油和天然气的开采,除炼焦工业随钢铁工业的发展而不断发展外,工业上大规模由煤制取液体燃料的生产暂时中止,不少工业化国家用天然气代替了民用煤气。以石油和天然气为原料的石油化工飞速发展,致使以煤为基础的乙炔化学工业的地位大大降低。值得提出的是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。1955年SASOL-I费托合成法工业装置建成。1977年,又开发了大型流化床反应器,并先后开发SASOL-II、SASOL-III,1982年相继建成两座规模为年产1.6Mt的人造石油生产工厂。

技术开发时期(20世纪80年代至今)1973年中东战争以及随之而来的石油大幅度涨价,使由煤生产液体燃料及化学品的的方法又重新受到重视。欧美等国对此又进行了开发研究工作,并取得了进展。如在煤直接液化的方法中发展了氢煤法、供氢溶剂法(EDS)和溶剂精炼煤法(SRC)等;在煤间接液化法中发展了SASOL法,将煤气化制得合成气,再经合成制取发动机燃料;亦可将合成甲醇再转化生产优质汽油,或直接作为燃料甲醇使用。

我国煤化工的发展始于20世纪40年代,在南京、大连建成了两个以煤为原料的化工基地,生产合成氨、化肥、焦炭、苯、萘、沥青、炸药等产品。20世纪50年代建成了吉林、兰州、太原三大煤化工基地,生产合成氨、甲醇、化肥、电石、染料、酒精、合成橡胶等产品。60~70年代,随着化肥工业的发展在全国各地建成了一批以煤为原料的中型氮肥厂,在生产化肥的同时还生产多种化工产品,初步形成了我国煤化工生产的基础。

20世纪70年代以后,我国石油化工崛起,煤化工一度受到冷落,我国的化学工业也已转到以石油化工为主的结构,石油化工已成为我国支柱性产业。进入21世纪后,随着石油价格的不断高涨,煤化工再次引起重视,并在我国掀起新一轮煤化工热潮。煤制油、煤制烯烃、联产甲醇等煤化工技术取得重大突破,一批大型现代煤化工项目在建设和规划当中,我国煤化工产业已开始由传统煤化工产业向现代煤化工产业转变。

1.3 煤化工的范畴

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,可分为传统煤化工和现代煤化工。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畴。其中,焦炭、氮肥、电石等属于传统煤化工的范畴,而煤制油、煤制烯烃、煤制二甲醚、煤制乙二醇和煤制甲烷气等属于现代煤化工的范畴。

1.3.1 煤的干馏

煤的干馏 (coal carbonization) 是在隔绝空气条件下加热煤, 使其分解生成固体、液体、气体产品的过程。煤的干馏又分以下两类。

煤的高温干馏 (炼焦), 是指煤在炼焦炉中隔绝空气加热至 $900\sim 1100^{\circ}\text{C}$, 产生焦炭、焦炉气、粗苯、氨和煤焦油的过程。焦炉气主要成分是氢 ($54\%\sim 63\%$) 和甲烷 ($20\%\sim 32\%$); 粗苯中主要含苯、甲苯、二甲苯、三甲苯、乙苯等单环芳烃以及少量不饱和化合物 (如戊烯、环戊二烯、苯乙烯等) 和含硫化合物 (二硫化碳、噻吩等), 还有很少量的酚类和吡啶等; 煤焦油中含有多种重芳烃、酚类、烷基萘、吡啶、喹唑、蒽、菲、药、苊、芘等及杂环有机化合物, 目前已被鉴定的有 $400\sim 500$ 种, 是制取塑料、染料、香料、农药、医药、溶剂等的原料。其中含量最大且应用最广的是萘, 目前工业萘来源仍以煤焦油为主。

煤的低温干馏, 是指低阶煤在较低终温 ($500\sim 600^{\circ}\text{C}$) 下进行的干馏过程, 产生半焦、低温焦油和煤气等产物。由于终温较低, 分解产物的二次热解少, 故产生的焦油中除含较多的酚类外, 烷烃和环烷烃含量较多而芳烃含量很少, 是人造石油的重要来源之一。低阶煤既含有以无定型碳与灰为代表的固体成分 ($60\%\sim 80\%$), 又含有高达 $10\%\sim 40\%$ 的由链烷烃、芳香烃、碳氧支链构成的代表煤本身固有油气成分的挥发分。依据煤的组成和结构特征, 将煤本身含有的油气挥发分先经热解提取出来, 热解油气中既含有大量的 CO 、 H_2 和 CH_4 , 也含有大量的脂肪烃和芳香烃, 通过加氢处理可以得到性能良好的燃料油。这不仅可以避免资源浪费, 而且可以节约大量水资源和降低 CO_2 排放, 同时热解后残渣的气化性能又远优于原煤, 是我国当前煤炭利用产业的战略需求, 也是解决我国油气资源短缺的可行和有效途径。

1.3.2 煤的气化

煤的气化 (coal gasification) 是指在高温 ($900\sim 1300^{\circ}\text{C}$) 下使煤、焦炭或半焦等固体燃料与气化剂反应, 转化成主要含有氢、一氧化碳等气体的过程。生成的气体组成随固体燃料性质、气化剂种类、气化方法、气化条件的不同而有差别。气化剂主要是水蒸气、空气或氧气。煤干馏制取化工原料只能利用煤中一部分有机物质, 而气化则可利用煤中几乎全部含碳、氢物质。煤气化生成的 H_2 和 CO 是合成氨、合成甲醇以及 C1 化工的基本原料, 还可用来合成甲烷, 称为替代天然气 (SNG), 可作为城市煤气。

1.3.3 煤的液化

煤的液化 (coal liquefaction) 是指煤经化学加工转化为液体燃料的过程, 可分为直接液化和间接液化两大类过程。

煤的直接液化是采用加氢方法使煤转化为液态烃, 所以又称为煤的加氢液化。液化产物亦称为人造石油, 可进一步加工成各种液体燃料。加氢液化反应通常在高压 ($10\sim 20\text{MPa}$)、高温 ($420\sim 480^{\circ}\text{C}$) 下, 在催化剂的作用下进行, 具有氢耗高、压力高、能耗大、设备投资大及成本高等特点。氢气通常用煤与水蒸气气化制取。由于供氢方法和加氢深度的不同, 直接液化的工艺有所不同。

煤的间接液化是预先制成合成气, 然后通过催化剂作用将合成气转化为烃类燃料、含氧化合物燃料 (如低碳混合醇、二甲醚等)。甲醇、低碳醇的抗爆性能优异, 可替代汽油, 而二甲醚的十六烷值很高, 是优良的柴油替代品。近年来还开发了甲醇转化为高辛烷值汽油的

技术，促进了煤间接液化的进展。

1.3.4 煤基碳素材料

煤基碳素材料 (coal carboneous materials) 是由各种以碳元素为主的原料 (如无烟煤、焦炭等) 经过一系列加工 (煅烧、焙烧和石墨化等炭化过程) 所形成的一种高附加值材料。原料在高温炭化过程中发生缩聚、脱氧等反应, 使其结构中的非碳杂原子脱除, 以碳为主的结构逐渐稠环化, 从而转变为分子结构排列较整齐的炭制品及分子结构排列整齐的人造石墨。碳素制品广泛地用于冶金工业、化学工业、机械工业、建筑材料和国防尖端工业等各个部门。

传统的碳素材料指的是具有从无定形碳到石墨、金刚石结晶的一大类物质形成的材料, 包括金刚石、石墨、卡宾、炭黑、碳纤维、活性炭。20 世纪 80 年代以后陆续发现的以纳米炭管、炭葱为代表的富勒烯, 是继石墨、金刚石之后发现的纯炭的第三种独立形态, 在物理、化学、材料和生命科学等众多领域有着巨大的应用前景。

1.4 主要教学内容

《煤化工工艺学》在对煤炭资源概况进行介绍的同时, 重点讲述了煤的低温干馏、炼焦、炼焦化学产品回收和精制、煤的气化、煤的间接液化、煤的直接液化、煤的碳素制品和煤化工生产的污染和防治等的生产原理、产品特性、生产方法及主要设备。煤化工主要的技术工艺路线如图 1.2 所示。

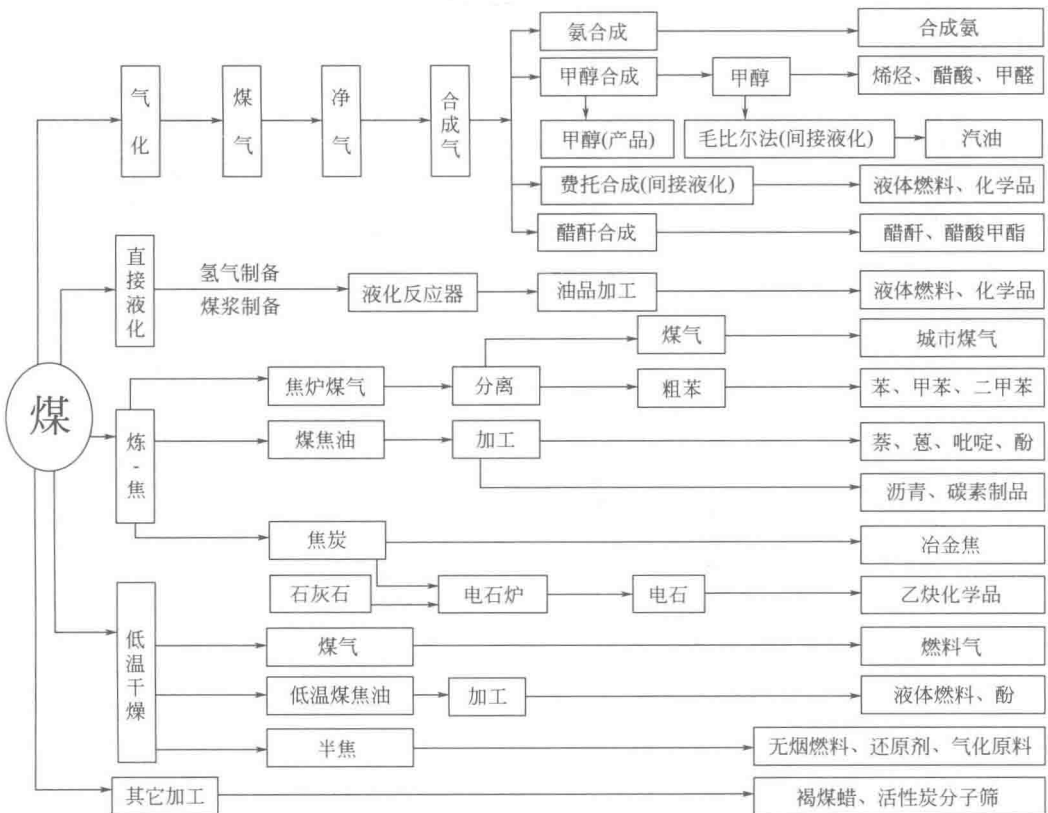


图 1.2 煤化工技术工艺路线图