



高职高专“十一五”规划教材

——煤化工系列教材

煤液化生产技术

MEIYEHUA SHENGCHAN JISHU

李赞忠 乌云 主编

乔子荣 韩春杰 主审



化学工业出版社



高职高专“十一五”规划教材

——煤化工系列教材

煤化学

化工单元运行操作

化学反应工程

洁净煤技术

现代煤化工生产技术

炼焦工艺

炼焦化学产品回收与加工

炼焦机械及设备

煤炭气化工艺

焦化实用新技术

焦炉煤气制甲醇技术

煤气化制甲醇技术

煤液化生产技术

煤焦油加工技术

煤质分析及煤化工产品检测

煤化工安全与案例分析

煤化工企业环境保护

煤化工专业实训指导

朱银惠 李刚

周长丽

刘军

郝临山

付长亮 张爱民

王晓琴

何建平

梁英华 刘永新

许祥静 刘军

杨庆斌 谢全安

李建锁 王宪贵 王晓琴

彭建喜

李赞忠 乌云

薛新科 陈启文

王翠萍 赵发宝

谢全安

谷丽琴 王中慧

薛金辉



ISBN 978-7-122-05721-1



9 787122 057211 >



www.cip.com.cn

读科技图书 上化工社网

定价：24.00元

高职高专“十一五”规划教材

——煤化工系列教材

煤液化生产技术

李赞忠 乌 云 主编
乔子荣 韩春杰 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

本教材结合我国煤炭化工发展的实际,系统地介绍了我国煤炭资源及利用情况;煤炭的形成、分类和性质;煤液化概述;煤直接液化生产技术;煤制合成气和氢气;煤间接液化生产技术;煤液化主要设备;液化油的提质加工及液化残渣的利用;煤转化后的产品及其综合利用等。

本教材可作为高职高专煤化工、煤质分析及应用化工技术等专业的教材或参考用书,也可作为从事煤化工技术、煤炭能源转化及能源相关领域的工程技术人员的培训教材或参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

煤液化生产技术/李赞忠,乌云主编. —北京:化学工业出版社,2009.7
高职高专“十一五”规划教材. 煤化工系列
ISBN 978-7-122-05721-1

I. 煤… II. ①李…②乌… III. 煤液化-高等学校:技术学校-教材 IV. TQ529

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 081066 号

责任编辑:张双进
责任校对:顾淑云

装帧设计:王晓宇

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:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张13½ 字数332千字 2009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:24.00元

版权所有 违者必究

前言

当前,我国正处在工业化快速发展阶段,随着我国制造业和创造业的兴起,对能源的需求不断增加。我国已成为能源生产和消费大国,但我国的资源特点是“多煤缺油少气”,煤炭一直是我国的主要能源,占我国能源消费的70%以上;石油资源短缺已经成为我国能源安全 and 经济发展的瓶颈。中国能源发展“十一五”规划中明确指出:“加快发展煤基、生物质基液体燃料和煤化工技术,完成煤炭液化的工业化示范,为后十年产业化发展奠定基础”。“煤液化”是以煤为原料来生产液体油品工艺过程的规范术语,俗称“煤制油”,即以固体煤炭为原料通过一系列的加工过程转化为液体油品。根据生产过程的不同,煤炭液化又分为两种不同的工艺路线:一是煤炭直接液化,就是把经过洗选加工过的精煤磨细、干燥,制备成干的细煤粉,干煤粉与装置自身生产的重溶剂油制备成可以用泵输送的油煤浆,油煤浆经泵增压后与氢气混合经预热后在高温、高压的条件下,在催化剂的作用下在反应器中发生加氢反应生成液体油品的过程。二是煤炭间接液化,煤炭首先与氧气发生部分氧化反应生成以一氧化碳和氢气为主要组分的合成气,净化后的合成气在催化剂的作用下在反应器中发生“费-托”合成反应,生成合成油品,合成油品经进一步加工后生产汽油、柴油等车用运输燃料。

本教材是根据教育部高职高专“十一五”规划教材建设精神,结合我国煤液化生产技术的发展现状和应用实际,以满足煤化工及应用化工技术专业教学需要,同时也可作为煤化工及相关专业技术培训用书。

本教材共分九章,其中第一章、第二章、第三章、第四章由内蒙古化工职业学院李赞忠编写;第五章、第六章、第七章由内蒙古化工职业学院乌云编写;第八章、第九章由内蒙古化工职业学院庞丽纹编写。全书由李赞忠统稿,由内蒙古化工职业学院乔子荣教授、韩春杰主审。

在本教材编写过程中,参考了大量的相关专著和资料,在此向其作者表示衷心感谢,同时还要对本教材提供技术资料的企业和老师、在出版过程中给予支持和帮助的单位及有关人员表示深深的谢意。

由于煤液化技术涉及的专业面宽、技术新、参考资料多,限于作者的水平和能力,不妥之处,恳请读者批评指正。

编者
2009年4月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 我国能源概况	1
一、能源	1
二、我国能源概况	2
三、我国能源消费预测	3
四、能源的可持续发展	3
五、我国的能源结构和能源战略	4
第二节 我国煤炭资源概况	4
一、我国煤炭资源概况	4
二、中国煤炭资源特点	4
三、我国煤炭资源的综合利用情况	5
四、我国煤炭利用存在的问题	6
第三节 发展煤液化工业的重要意义	7
一、新型煤化工	7
二、新型煤化工特点	7
三、煤液化技术在煤化工发展中的应用	8
四、本课程内容与任务	9
复习思考题	9
第二章 煤的形成、分类及性质	10
第一节 煤的形成特征	10
一、煤的形成	10
二、煤形成过程	11
三、煤的形成类型	12
四、腐殖煤的外表特征	12
第二节 煤的分类与组成结构	13
一、煤的分类	13
二、煤的组成与结构	16
三、煤的化学结构与原油化学结构的区别	21
第三节 煤的基本性质	21
一、煤的物理性质	21
二、煤的化学性质	25
三、煤的工艺性质	27
复习思考题	30
第三章 煤液化概述	31
第一节 煤液化技术发展概况	31
一、煤直接液化技术发展现状	31

二、煤间接液化技术发展现状	33
三、煤炭液化技术的发展前景	34
第二节 煤液化技术综合评价	35
一、煤液化技术分析	35
二、煤液化经济分析	39
三、煤液化技术综合评价	40
第三节 液化用煤种的选择	42
一、煤炭液化对煤质的要求	42
二、液化用煤种的选择	43
三、煤种液化特性评价试验	45
第四节 煤液化基本原理	47
一、煤炭液化方法	47
二、煤炭液化主要产品	48
三、煤炭液化的功能	48
四、煤炭液化的基本原理	48
第五节 煤液化工艺与其他煤转化工艺的对比	49
复习思考题	50
第四章 煤直接液化生产技术	51
第一节 煤直接液化机理	51
一、煤加氢液化的反应机理	52
二、煤加氢液化的反应产物	55
三、煤加氢液化的影响因素	56
第二节 煤直接液化催化剂	60
一、催化剂的作用	60
二、加氢液化催化剂的选择	61
三、煤加氢液化催化剂种类	61
第三节 煤直接液化工艺	65
一、煤直接催化加氢液化工艺	67
二、溶剂萃取法	75
三、煤炭溶剂萃取加氢液化	75
四、俄罗斯低压加氢液化工艺	81
五、煤油共炼技术	82
六、超临界萃取	85
七、中国神华煤直接液化工艺	86
复习思考题	86
第五章 煤制合成气和氢气	88
第一节 煤炭气化技术	88
一、煤发生气化的基本条件	89
二、煤气化基本原理	89
三、煤气化过程的影响因素	90
四、典型制取合成气的煤气化工艺	92

第二节 煤气除尘	100
一、旋风除尘器	100
二、静电除尘器	103
第三节 煤气脱硫技术	105
一、湿法脱硫	105
二、干法脱硫	109
第四节 CO 变换及 CO ₂ 脱除技术	112
一、CO 变换技术	112
二、CO ₂ 脱除技术	115
第五节 氢气提纯技术	118
一、膜分离技术	119
二、变压吸附技术	122
复习思考题	124
第六章 煤间接液化生产技术	126
第一节 煤间接液化机理	127
一、基本化学反应	127
二、F-T 合成反应机理	128
三、F-T 合成的理论产率	131
四、F-T 合成过程的工艺参数	132
第二节 F-T 合成催化剂	133
一、F-T 合成催化剂组成与作用	133
二、F-T 合成催化剂的制备及预处理	135
三、F-T 合成催化剂的失活、中毒和再生	136
四、F-T 合成催化剂	138
五、新型催化剂的研究与开发	141
第三节 F-T 合成技术	142
一、南非 Sasol 公司的 F-T 合成技术	143
二、荷兰 Shell 公司的 SMDS 合成技术	146
三、Mobil 公司 MTG 合成技术	148
四、丹麦 Topsøe 公司的 Tigas 合成技术	150
五、Exxon 公司 AGC-21 工艺	151
六、中国 MFT 合成油工艺	151
七、F-T 合成新工艺开发	153
复习思考题	154
第七章 煤液化主要设备	155
第一节 煤直接液化设备	155
一、直接液化反应器	155
二、煤浆预热器	157
三、高温气体分离器	159
四、高压换热器	160
五、减压阀	162

第二节 F-T 合成反应器	162
一、气固相固定床催化反应器	163
二、气固相流化床反应器	164
三、鼓泡淤浆床(浆态床)反应器	166
四、几种反应器的比较	167
复习思考题	167
第八章 液化油的提质加工及液化残渣的利用	169
第一节 液化油的提质加工	169
一、煤液化粗油的性质	169
二、液化粗油提质加工研究	171
三、液化粗油提质加工工艺	173
第二节 煤液化残渣的利用	177
复习思考题	178
第九章 煤转化后的产品及综合利用技术	179
第一节 合成氨及下游产品	179
一、合成氨	179
二、硝酸	182
三、硝酸铵	183
四、尿素	184
第二节 甲醇的生产	187
一、甲醇的性质及用途	187
二、甲醇合成对原料气的要求	188
三、合成甲醇催化剂的作用与性能	188
四、甲醇合成反应原理	189
五、甲醇生产工艺	190
第三节 电石及乙炔	195
一、电石的生产	195
二、电石-乙炔	199
复习思考题	201
参考文献	203

第一章

绪 论

煤炭是世界上储量最多、分布最广的化石能源。18 世纪末,蒸汽机的发明和使用,煤炭成为蒸汽机的动力能源,受到全世界的重视,推动了煤炭工业的发展,世界进入了煤炭时代。随着石油资源的开发和利用,石油资源成为首要的战略能源。由于 20 世纪 70 年代后发生的两次石油危机,使各国开始重新认识到未来能源中煤炭的战略地位,制定了相应的法规和政策,并明显加大了煤炭作为原料和燃料利用技术的开发力度。

煤炭资源分布于世界 76 个国家和地区,有 60 多个国家进行了规模化开采。据英国石油公司于 2000 年的统计数据显示,煤炭占世界化石能源剩余可采储量的 64.1%,而石油占 18.1%,天然气占 17.8%,按目前化石能源的开采量计算,石油可以开采约 40 年,天然气可以开采约 60 年,而煤炭则可以开采 200 年以上。由于煤炭的资源量和储采比大大超过石油和天然气,因此在未来 50 年内,煤炭仍将是世界主要能源之一,是世界经济发展的重要动力支柱。

我国是世界上煤炭资源最丰富的国家之一,煤炭储量远大于石油、天然气储量。目前,我国已探明的煤炭可采储量居世界的前列,随着勘探技术的发展,逐年还在发现新的大煤田,煤炭储量数字还在增加。我国一次能源消费结构中煤炭占 70% 左右,火力发电用煤占煤炭消费总量的 40%~43%。而且我国燃煤发电将继续增长,原来的燃油发电将逐步被燃煤所取代,煤气化、煤液化以及煤炭作为生产化工产品的原料,煤炭用量也在逐年增长。由此可见,煤炭仍然是我国现在和未来能源的重要组成部分,以煤为主的能源格局在相当长的时间内难以改变。因此,煤炭是 21 世纪我国经济快速发展的重要支柱,占有不可替代的地位,随着煤炭产量的逐年增长,煤炭在能源构成中的比重将进一步增加。

第一节 我国能源概况

一、能源

“能源”这一术语,过去人们谈论得很少,正是由于两次石油危机使它成了人们议论的热点。能源亦称能量资源或能源资源,是指自然界中能为人类提供某种形式能量的物质资源,如煤炭、石油、天然气、水能、风能、电能、太阳能、核能等。

能源种类繁多,而且经过人类不断的开发与研究,更多新型能源已经开始能够满足人类需求。根据不同的划分方式,能源也可分为不同的类型。

1. 根据能源的来源分类

(1) 来自地球外部天体的能源 主要是太阳能,太阳能除直接辐射提供地球一切生物所需的能量外,还为风能、水能、生物质能和矿物能等能源的产生提供基础。

(2) 地球本身蕴藏的能量 主要有原子核能、地热能等。

(3) 地球和其他天体相互作用而产生的能量 主要有潮汐能等。

2. 根据能源产生的方式分类

(1) 一次能源(天然能源) 一次能源是指自然界中以天然形式存在并没有经过加工或转换的能量资源,如煤炭、石油、天然气、水能等,也称为天然能源。

一次能源又分为可再生能源和非再生能源。凡是可以不断得到补充或能在较短周期内能够再产生的能源称为可再生能源,如风能、水能、海洋能、潮汐能、太阳能和生物质能等,反之称为非再生能源,如煤、石油和天然气等都是非再生能源。地热能基本上是非再生能源,但从地球内部巨大的蕴藏量来看,又具有再生的性质。

(2) 二次能源(人工能源) 二次能源指由一次能源直接或间接加工转换而成的能源产品,如电力、煤气、蒸汽、汽油、柴油、焦炭、洁净煤及各种石油制品等,因此属于人工能源。

3. 根据能源消耗对环境影响的分类

(1) 污染型能源 污染型能源主要包括煤炭、石油等。

(2) 清洁型能源 清洁型能源主要包括水能、电能、太阳能、风能及核能等。

4. 根据能源使用的类型分类

(1) 常规能源 常规能源也称传统能源,是指已经大规模生产和广泛利用的能源,如一次能源中的可再生的水力资源和不可再生的煤炭、石油、天然气等资源。

(2) 新型能源 新能源又称非常规能源,是指刚开始开发利用或正在积极研究、有待推广的能源,如太阳能、地热能、风能、海洋能、生物质能和核能等。

5. 按能源形态特征及转换应用分类

世界能源委员会将能源分为固体燃料、液体燃料、气体燃料、水能、电能、太阳能、生物质能、风能、核能、海洋能和地热能。其中,前三个类型统称化石燃料或化石能源。

此外,按能源性质可分为燃料型能源(煤炭、石油、天然气、泥炭、木材)和非燃料型能源(水能、风能、地热能、海洋能);按是否进入能源市场分为商品能源(如煤、石油、天然气和电等)和非商品能源(如薪柴和农作物残余如秸秆等)。

能源是工业的“粮食”,是整个世界发展和经济增长最基本的驱动力,是支持社会发展和经济增长的重要物质基础和生产要素,其利用效率是实施可持续发展战略的最重要问题之一。随着全球各国经济发展对能源需求的日益增加,现在许多发达国家都更加重视对可再生能源、环保能源以及新型能源的开发与研究,同时人们也相信随着人类科学技术的不断进步,会不断开发研究出更多新能源来替代现有能源,以满足全球经济发展与人类生存对能源的高度需求。地球上还有很多尚未被人类发现的新能源正等待人们去探寻与研究。

二、我国能源概况

我国国土资源丰富,蕴藏的能源品种齐全,储量也比较丰富。煤全国查明资源量已达1万亿吨以上,其中经济可采储量约1900亿吨,居世界第三位;水力资源理论蕴藏量为6.9亿千瓦,居世界第一位;石油和天然气的理论储量也很丰富。但与世界水平相比,中国的能源人均储量偏小,而且油气资源尤其贫乏,其中煤炭资源仅占世界人均资源的一半,而石油资源只占世界人均资源的1/10,特别是矿产资源的储量有限。作为世界上最大的发展中国家,我国是一个能源生产和消费大国,我国能源生产量仅次于美国和俄罗斯,居世界第三位,基本能源消费占世界总消费量的1/10,仅次于美国,居世界第二位。我国又是一个以煤炭为主要能源的国家,经济发展与环境污染的矛盾比较突出。近年来,能源安全问题也日益成为国家乃至全社会关注的焦点,日益成为我国战略安全的隐患和制约经济社会可持续发展的瓶颈。20世纪90年代以来,我国经济的持续高速发展带动了能源消费量的急剧上升。自1993年起,我国由一个能源净出口国变成能源净进口国,能源总消费已大于总供给,能源需求的对外依存度迅速增大。石油需求量的大幅增加以及由此引发的结构性矛盾日益成为

我国能源安全所面临的重大难题，这也决定了煤炭资源在一次能源消费中的重要地位。

三、我国能源消费预测

据国际能源机构发布的《世界能源展望 2007》预测，全球 2005 年到 2030 年间的一次能源需求将增加 55%，年均增长率为 1.8%。化石燃料仍将是一次能源的主要来源，在 2005 年到 2030 年的能源需求增长总量中占到 84%，石油仍是最重要的单种燃料，尽管它在全球需求中的比重从 35% 降到了 32%。2030 年的全球石油需求量将达到 1.16 亿桶/日，比 2006 年多出 3200 万桶/日（增长了 37%）。从绝对数量上看，煤炭需求量增幅最大，与近年来的飞速增长保持一致。在 2005 年到 2030 年间煤炭需求量将上升 73%，其在能源总需求中的比例也将从 25% 提高到 28%。

2000 年我国一次能源消费总量为 10.753 亿吨标煤，仅次于美国居世界第二位，煤炭消费量为 6.86 亿吨标煤，占一次能源消费总量的 63.8%，石油占 30.1%，天然气仅占 3%。

2008 年中国能源消费总量 28.5 亿吨标准煤，煤炭消费量 27.4 亿吨；原油消费量 3.6 亿吨；天然气消费量 807 亿立方米；电力消费量 34502 亿千瓦时。

2008 年，中国一次能源生产总量 26 亿吨标准煤。其中，原煤产量 27.93 亿吨；原油产量 1.9 亿吨；天然气产量 760.8 亿立方米；发电量 34668.8 亿千瓦时。

同期，中国进口原油 1.7888 亿吨，比上年增长 9.6%；中国进口成品油 3885 万吨，比上年增长 15%。

21 世纪前期煤炭仍将占据我国一次能源消费的主导地位，石油和天然气消费量将有较大增长，主要依靠大量进口石油和天然气来满足消费需求。国际能源机构（IEA）预测中国石油消费量依赖进口的程度 2010 年为 61%，2020 年为 76.9%，2020 年我国石油年消费量可达 5 亿吨以上，进口量将超过国产石油量。这样大的石油消费量和进口量将对中国的经济发展和能源安全造成很大压力，因此，以煤炭为主要能源的格局在今后一个较长的时期内不会改变。

四、能源的可持续发展

随着我国城镇化进程的不断推进，能源需求持续增长，能源供需矛盾也越来越突出，我国究竟该寻求一条怎样的能源可持续发展之路？研究人员认为，为了实现能源的可持续发展，我国一方面必须“开源”，即开发核电、风电等新能源和可再生能源，另一方面还要“节流”，即调整能源结构，大力实施节能减排。

开发新能源和可再生能源是能源可持续发展的应有之义。我国的能源供应结构中，煤炭、石油与天然气等不可再生能源占绝大部分，新能源和可再生能源开发不足，不仅造成环境污染等一系列问题，也严重制约能源发展，必须下大力气加快发展新能源和可再生能源，优化能源结构，增强能源供给能力，缓解压力。走能源可持续发展之路，从大的能源结构来讲，还是要加快发展核电。最近一两年，从中央到国务院，都坚定了加快发展核电的信心，核电的工作力度也在加大。在今后一个时期，在优化能源结构方面，核电的比重、速度要保持相对快速的生长，规模要在短期内有比较大的提升，如我国的核电装机容量不到发电装机容量的 2%，远低于世界 17% 的平均水平，应当采取有效的措施，解决技术路线、投资体制、燃料保障等问题，使我国核电发展的步子迈得更大一些。同时，我国的风电资源量在 10 亿千瓦左右，目前仅开发几百万千瓦，应当对风电发展进行正确引导，促进用电健康可持续发展。

节能减排是能源可持续发展的必由之路。我国能源需求结构不合理突出表现在能源利用

消耗高、浪费大、污染严重,缓解能源供需矛盾问题,从根本上就是大力节约和合理使用,提高其利用效率,严格控制钢铁、有色、化工、电力等高耗能产业发展,进一步淘汰落后的生产能力。同时,还要大力发展循环经济、积极开展清洁生产,全面推进管理节能,大力推广节能市场机制,促进节能发展,广泛开展全民节能活动。

五、我国的能源结构和能源战略

2007年12月国务院发布的《中国的能源状况与政策》白皮书中,明确提出了我国的能源战略是:“坚持节约优先、立足国内、多元发展、依靠科技、保护环境、加强国际互利合作,努力构筑稳定、经济、清洁、安全的能源供应体系,以能源的可持续发展支持经济社会的可持续发展。”“立足国内”和“努力构筑安全的能源供应体系”的措辞,表明石油替代产业在中国将有较大的发展空间。

首先,我国的石油采储比大大低于煤炭的采储比,且储采比近10年一直处于下降趋势,而中国对成品油的需求一直保持较快增长,发展石油替代能源的必要性迫在眉睫。按照《煤化工中长期发展规划(征求意见稿)》,到2020年我国将形成3300万吨左右的煤制油规模。以此计算,这将替代中国约8%~10%的石油消费量,将大大增强中国的能源安全。目前中国具有自主知识产权的煤制油技术主要有3家公司:神华集团、兖矿集团和中科合成油技术公司(以山西煤化所为班底)。兖矿集团和中科合成油是间接液化路线,神华集团已经研发成功了直接液化技术,并正在研发间接液化技术。另外,神华集团还与南非Sasol签署了合作协议,拟以合资方式引进Sasol成熟的间接液化技术和工程经验。

其次,国家政策明确支持煤制油试点。2007年底公布的《能源法(征求意见稿)》中,第37条是“替代能源开发”,里面提出“国家优先开发应用替代石油的新型燃料和工业原料”。2007年4月发布的《中国能源发展“十一五”规划》中也提出“加快发展煤基、生物质基液体燃料和煤化工技术”,明确提出“十一五期间,完成煤炭液化的工业化示范,为后十年产业化发展奠定基础。示范工程包括:建成100万吨/年煤炭直接液化示范工程;采用不同的自主知识产权技术,分别完成16万吨/年和100万吨/年间接液化示范工程;引进国外成熟技术,建设300万吨/年的间接液化工厂,并完成商业化运行示范”。为现有煤制油项目的平稳发展提供了有力保证。

第二节 我国煤炭资源概况

一、我国煤炭资源概况

我国煤炭资源丰富,截至2002年年底,全国共有煤炭资源的矿区6019个,查明煤炭资源储量为10201亿吨,其中煤炭基础储量3341亿吨(煤炭储量为1886亿吨),煤炭资源量为6872亿吨。按照我国探明可直接利用的煤炭储量1886亿吨计算,我国人均探明煤炭储量145吨,按人均年消费煤炭1.45吨,即全国年产19亿吨煤炭匡算,可以保证开采上百年。

我国煤炭储量主要分布在华北、西北地区,集中在昆仑山-秦岭-大别山以北的北方地区,以山西、陕西、内蒙古等省区的储量最为丰富。晋陕蒙(西)地区(简称“三西”地区)集中了中国煤炭资源的60%,另外还有近9%集中于川、云、贵、渝地区。

二、中国煤炭资源特点

我国煤炭资源相对丰富,其储量约占全国矿产资源储量的90%,具有巨大的资源潜力。

中国煤炭资源具有以下特点。

① 我国煤炭资源虽然丰富，但勘探程度很低。目前已查明资源中精查资源量仅占 25%，绝大部分为普查资源量。

② 我国煤炭品种齐全，从褐煤到无烟煤均有分布。其中，褐煤占全部保有储量的 13.07%，主要分布于内蒙古东部、黑龙江西部和云南东部等地；低变质烟煤（长焰煤、不黏煤、弱黏煤、1/2 中黏煤）占全部保有储量的 32.06%，主要分布于新疆、陕西、内蒙古、宁夏等地；中变质烟煤（气煤、气肥煤、肥煤、1/3 焦煤、焦煤和瘦煤）占全部保有储量的 26.25%，主要分布于华北石炭、二叠纪和华南二叠纪含煤地层中；高变质煤（贫煤、无烟煤）占全部保有储量的 16.92%，主要分布于山西、贵州和四川南部等地区。

③ 我国煤炭质量差异较大。主要以低变质烟煤为主，其次为中变质烟煤、贫煤、高变质无烟煤和低变质的褐煤；以特低硫、低硫煤为主，占 56%，低中硫、中硫煤占 33%；灰分中等，以低灰、中灰煤为主，特低灰、低灰煤也比较丰富；高、中热值煤占 92%，中低热值煤很少。

④ 我国煤炭资源埋藏量分布不均匀。南北方向上主要分布于昆仑-秦岭-大别山以北地区，占全国煤炭资源总量的 93.08%，其余各省煤炭资源储量之和仅占全国煤炭资源总量的 6.92%。东西方向上，分布于大兴安岭-太行山-雪峰山以西地区，占全国煤炭资源总量的 91.83%，而这一线以东地区，煤炭资源储量占全国煤炭资源总量的 8.17%。显然，中国煤炭资源在地域分布上存在北多南少、西多东少的特点。这就决定了中国西煤东运、北煤南运的基本生产格局。

⑤ 我国煤系伴生矿产资源丰富。煤系地层中具有煤层气、锗、铀、高岭土等多种矿产。

三、我国煤炭资源的综合利用情况

煤不仅可以作为燃料，它还是多种工业的原料。由煤制取化工产品主要有焦化、加氢、液化、气化、氧化制腐殖酸类物质以及煤制电石生产乙炔等方法，其中“碳一化学”及煤液化制造苯属烃的工艺日益引起人们的重视。

煤炭综合利用包括将煤炭本身作为一次能源，用煤炭制造二次能源、化工原料等几方面，煤炭综合利用途径如图 1-1 所示。

煤炭的综合利用可以采用多种方式如下。

(1) 几个煤炭利用部门的联合

- ① 采煤-电力-建材-化工；
- ② 采煤-电力-城市煤气-化工；
- ③ 钢铁-炼焦-化工-煤气-建材；
- ④ 炼焦-煤气-化工（三联供）。

(2) 几个单元过程的联合

- ① 焦化-气化-液化；
- ② 热解-气化-发电；
- ③ 气化-合成；
- ④ 液化-燃烧-气化；
- ⑤ 液化-加氢气化。

此外还有多种其他方式的联合，通过联合可以大大提高煤的利用效率，推动煤炭应用科学技术的迅速发展。

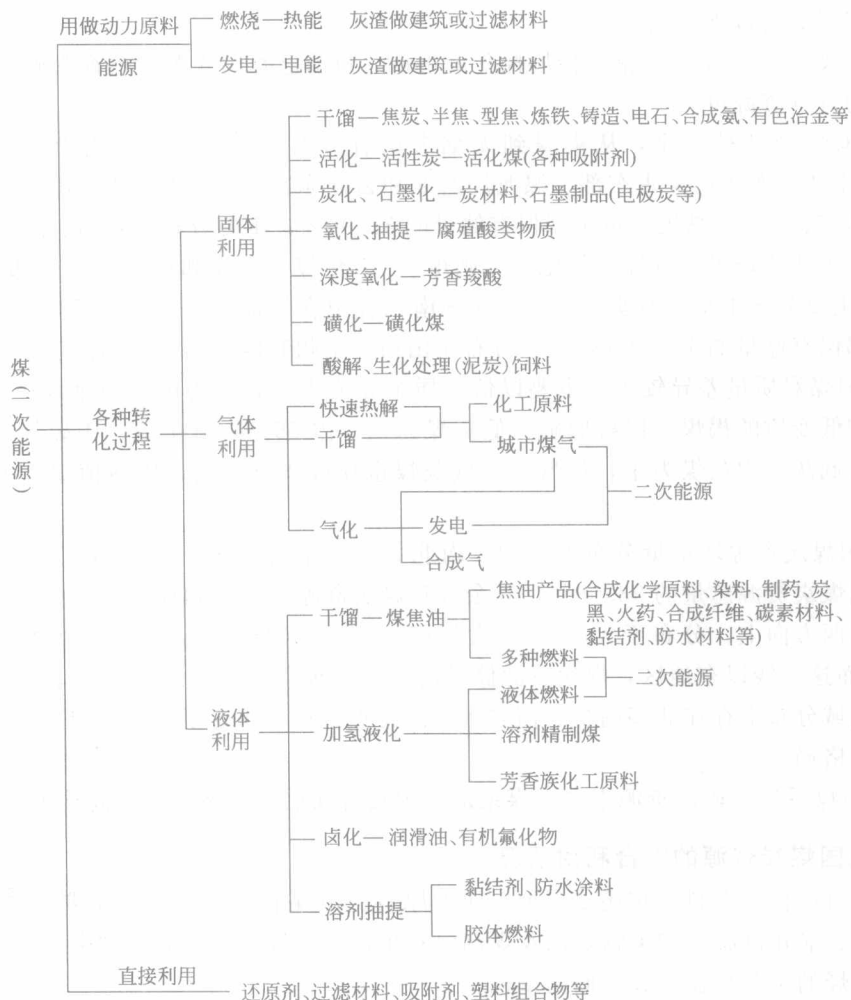


图 1-1 煤炭综合利用途径

四、我国煤炭利用存在的问题

1. 综合利用效率低

我国煤炭燃烧技术比较落后，综合利用效率约为 32%，与世界先进水平相比有很大差距，比发达国家低 10% 左右。以发电耗煤为例，2008 年我国 6000 千瓦及以上电厂供电标准煤耗平均为 349g/(kW·h)，比日本高出 39g/(kW·h)。

2. 能耗高、节能潜力大

2006 年我国万元 GDP（国内生产总值）能耗为 1.21tce，中国政府制定了“2005~2010 年能源开发五年计划”，要求万元 GDP 能耗到 2010 年须减少 20%，亦即从 2006 年的 1.21tce（吨标准煤当量）降低到 2010 年的 0.98tce，2008 年，全国万元国内生产总值能耗（单位 GDP 能耗）下降了 4.59%。下降幅度比 2007 年更进一步。历史数据显示，2007 年，我国单位 GDP 能耗比上年下降了 3.66%，2006 年该数值只下降了 1.79%。可见我国节能潜力很大。规划到 2020 年将我国能源利用效率提高到 42%，达到当前世界先进水平。

3. 煤炭生产效率低、成本高

我国煤炭行业中重点国营煤矿生产效率低、成本高，总体亏损严重，近几年来煤炭行业

进行结构调整,提高生产效率、降低成本取得了一定成效,2001年开始出现全行业盈利的大好局面。

4. 环境污染较为严重

我国在煤炭开采和利用过程中给生态环境造成严重污染,燃煤排放的 SO_2 占全国总排放量的 85%,居世界首位, CO_2 排放量仅次于美国居世界第二位,如何采取高效清洁燃烧技术,提高利用效率,减少 SO_2 、 CO_2 排放量,保护生态环境,是我国煤炭利用中必须解决的重大课题。

我国煤炭综合利用情况与发达国家相比,具有起步晚、规模小、发展速度快等特点。目前,我国在煤的综合利用方面虽然做了大量的工作,取得了很大的成绩,但与世界先进水平相比,差距还是很大。因此,作为世界上第一产煤和用煤大国,我国的煤炭洁净加工与高效利用仍任重道远。

第三节 发展煤液化工业的重要意义

我国能源特点是“富煤、少油、缺气”,中国石油消费的增长远高于生产量的增长,1993年起已由石油净出口国变为石油净进口国,2000年进口石油达0.7亿吨,2004年中国原油进口达1.227亿吨,首次突破1亿吨大关,2007年石油进口量已经达到1.968亿吨,2008年累计进口石油(含燃料油)2.1853亿吨。我国石油进口量增加1亿吨只用3年的时间,比专家预计的年限提前了3年。中国作为最大的发展中国家,能源的发展应建立在安全、多样和可持续的基础上,靠进口石油填补如此大的缺口显然不现实,为此只能通过非石油路线合成液体燃料解决液体燃料的供需问题。在替代石油的化石资源中,煤炭在近、中期内可以满足与千万吨数量级的油品缺口相匹配的需要,即通过煤液化合成油实现我国油品基本自给,是实现能源可持续发展的有效途径。利用我国丰富的煤炭资源,实施“以煤代油”和“以煤造油”是优化终端能源,实现石油供应多元化和保证能源安全的重大决策,符合我国国情和可持续发展的需要。因此,煤液化技术的开发和产业化具有重要意义。

一、新型煤化工

新型煤化工是以煤炭为基本原料(燃料)、碳一化工技术为基础,以国家经济发展和市场急需的产品为方向,采用高新技术,优化工艺路线,充分注重环境友好,有良好经济效益的新型产业。它包括了煤炭液化(直接和间接),煤炭气化、煤焦化、煤制合成氨、煤制甲醇、煤制烯烃等技术,以及集煤转化、发电、冶金、建材等工艺为一体的煤化工联产和洁净煤技术。新型的煤化工产业将迎来一个蓬勃发展的新时期,成为21世纪的高新技术产业的一个组成部分。

二、新型煤化工特点

新型煤化工是建立在传统煤化工基础上的,与传统煤化工密不可分,其特点如下。

(1) 以清洁能源为主要产品 新型煤化工以生产洁净能源和可替代石油化工产品为主,如柴油、汽油、航空煤油、液化石油气、乙烯原料、丙烯原料、替代燃料(甲醇、二甲醚)、电力、热力等以及煤化工独具优势的特有化工产品,如芳香烃类产品。

(2) 煤炭-能源-化工一体化 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。

(3) 高新技术及优化集成 新型煤化工根据煤种、煤质特点及目标产品不同,采用不同煤转化高新技术,并在能源梯级利用、产品结构方面对工艺优化集成,提高整体经济效益,如煤焦化-煤直接液化联产、煤焦化-煤气化合成联产、煤气化合成-电力联产、煤层气开发与化工利用、煤化工与矿物加工联产等。同时,新型煤化工可以通过信息技术的广泛利用,推动现代煤化工技术在高起点上迅速发展和产业化建设。

(4) 建设大型企业和产业基地 新型煤化工发展将以建设大型企业为主,包括采用大型反应器和建设大型现代化单元工厂,如百万吨级以上的煤直接液化、煤间接液化工厂以及大型联产系统等。在建设大型企业的基础上,形成新型煤化工产业基地及基地群。每个产业基地包括若干不同的大型工厂,相近的几个基地组成基地群,成为国内新的重要能源产业。

(5) 有效利用煤炭资源 新型煤化工注重煤的洁净、高效利用,如高硫煤或高活性低变质煤作化工原料煤,在一个工厂用不同的技术加工不同煤种,并使各种技术得到集成和互补,使各种煤炭达到物尽其用,充分发挥煤种、煤质特点,实现不同质量煤炭资源的合理、有效利用。新型煤化工强化对副产煤气、合成尾气、煤气化及燃烧灰渣等废物和余能的利用。

(6) 经济效益最大化 通过建设大型工厂,应用高新技术,发挥资源与价格优势,资源优化配置,技术优化集成,资源、能源的高效合理利用等措施,减少工程建设的资金投入,降低生产成本,提高综合经济效益。

(7) 环境友好 通过资源的充分利用及污染的集中治理,达到减少污染物排放,实现环境友好。

(8) 人力资源得到发挥 通过新型煤化工产业建设,带动煤炭开采业及其加工业、运输业、建筑业、装备制造业、服务业等发展,扩大就业,充分发挥我国人力资源丰富的优势。

三、煤液化技术在煤化工发展中的应用

煤液化技术作为新型煤化工的一个重要单元技术,大型先进的煤炭液化技术及液化产品的进一步合成利用,将成为今后发展的主要方向。它不仅可以将煤炭转化为液体产品,替代石油产品,而且可以使煤炭中存在的许多人工不能合成的化学品得到合理的应用。

近年来,在国家能源政策和产业政策的宏观指导下,全国拥有煤炭资源的地区,如内蒙古、山西、陕西、宁夏等地,发展煤液化工业的热情空前高涨。这些地区都从贯彻落实科学发展观的高度和发展循环经济的理念出发,纷纷作出要加快发展煤化工的战略决策,制定发展规划,将建设新型煤化工工程作为地方经济发展的战略方向。

神华煤直接液化技术在北京完成小试的基础上,2003年9月,神华集团在上海成立了煤制油研究中心,与上海电气集团、上海华谊集团共同建设我国第一套6t/天煤直接液化中试装置。该装置于2004年12月第一次投煤获得成功,打通了液化工艺流程,获得了石脑油、柴油等煤制油产物。该项目的成功,标志着我国已突破了煤制油的核心技术,迈出了煤液化技术产业化的关键一步。

2004年8月25日,经国家批准,我国第一个煤制油项目——神华集团煤炭直接液化项目在内蒙古鄂尔多斯正式开工建设。根据计划,2007年建成第一条500万吨的生产线,年加工煤970万吨,生产各种油品320万吨,其中首条生产线每年可转化350万吨煤,生产108万吨柴油、液化石油气、石脑油等产品,并于2008年12月31日投煤运行打通全流程。到2010年,该项目油品产量将达到500万吨。到2015年产量增加到1500万吨,2020年产量达到2000万吨。