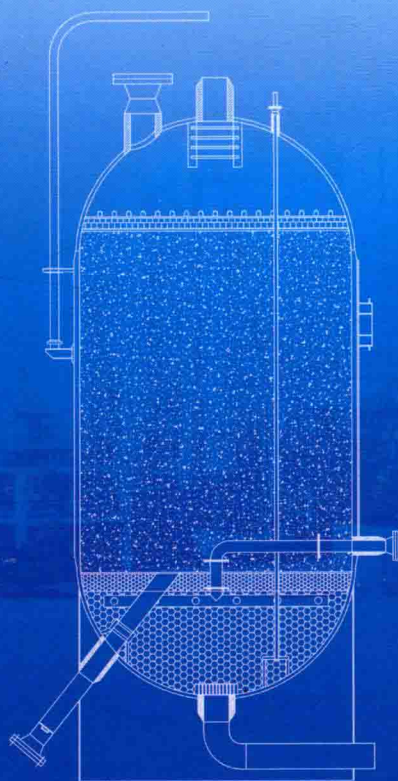


Technology and Engineering
of Direct Coal Liquefaction Process

煤炭直接液化 工艺与工程

吴秀章 舒歌平 李克健 谢舜敏 编著



科学出版社

煤炭直接液化工艺与工程

Technology and Engineering of Direct Coal
Liquefaction Process

吴秀章 舒歌平 李克健 谢舜敏 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要论述了当今世界上唯一一套煤炭直接液化工业示范项目的基础研究、技术开发及工业实践成果,包括煤炭直接液化各工艺过程的化学反应、催化剂、原料和产品、工艺过程和工艺流程、主要操作参数和操作技术、主要设备及环境保护等内容。本书内容完整、实用性较强,反映了当代煤炭直接液化技术及工程化的最新成果。

本书可供从事煤炭转化、炼油领域的工程技术人员及高校有关专业师生阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

煤炭直接液化工艺与工程=Technology and Engineering of Direct Coal Liquefaction Process/吴秀章等编著. —北京:科学出版社,2015. 2
ISBN 978-7-03-043082-3

I. ①煤… II. ①吴… III. ①煤液化-生产工艺 IV. ①TQ529

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 015908 号

责任编辑:万群霞 耿建业 / 责任校对:桂伟利 朱光兰

责任印制:赵 博 / 封面设计:华路天然工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 2 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015 年 7 月第二次印刷 印张:51 1/4

字数:119 300

定价:368.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

随着经济的持续快速发展,我国的能源消费继续保持较快的增长。对原油旺盛的需求,使得我国油气资源不足与需求快速增长之间的矛盾日益突出。2013年,我国石油对外依存度已经接近60%,且我国的进口原油的数量及对外依存度还将进一步提高。

发展煤炭直接液化等现代煤制油和煤化工技术,促进替代能源的发展,减少对国外石油的过度依赖,是保障我国能源安全 and 经济安全的主要举措之一。我国拥有相对丰富的煤炭资源,多年来提供了我国国民经济发展所需三分之二以上的能源。以煤为原料,利用自主研发的新型、高效转化技术生产部分油品、化学品符合我国的国情,是能源替代战略的重要组成部分。通过科研机构、大学和企业间十多年的协作与努力,我国已经成功开发了煤炭直接液化、煤炭间接液化、煤制烯烃、煤制乙二醇等技术,并实现了相应的工业化示范工程的安全、稳定、长周期、满负荷、优化运行,成为世界新型煤化工产业规模最大、门类最多、技术先进的国家。

在众多煤化工技术中,以煤为原料、在高效催化剂的作用下生产车用汽油、柴油和液化气等液体燃料的煤炭直接液化是大型、高效的以煤为原料生产石油替代燃料的技术路线。神华集团有限责任公司(以下简称神华集团)通过十多年的艰苦努力,于2008年12月建成世界首个百万吨煤炭直接液化示范工程,并一次开车成功,使我国成为世界上唯一掌握百万吨煤直接液化工业化技术的国家。该示范工程运行五年多来的经验表明:以煤为原料,采用先进的洁净煤转化技术,适度发展新型煤化工产业符合我国的国情,并能为国家产业转型升级、企业创新产业模式、地方提高经济发展水平做出积极贡献。为了满足煤炭直接液化产业化发展的需要,基于已有技术产业化的实践经验来编写有关煤炭直接液化工艺与工程的技术专著就恰逢其时,很有必要。

该书为第一部全面、系统总结工业化煤炭直接液化工艺技术、工程技术和生产运营技术的专著,以神华集团鄂尔多斯煤炭直接液化示范工程的技术研发、工程开发及生产运营和优化为主线,以国内外煤炭直接液化工艺、催化剂制备、煤液化油加氢稳定和加氢改质、轻烃回收、气体脱硫和脱硫醇、煤气化制氢、煤液化产品应用、环境保护等领域的研究成果和工业实践为基础,系统总结了煤炭直接液化生产运输燃料全流程各个主要单元的化学理论、催化剂、工艺过程和工艺流程、操作影响因素和控制技术、主要设备、环境保护等方面的技术与工程经验。全书内容丰富、新颖、完整和实用,具有很强的实践性和较高的学术水平。相信该书的出版对煤炭直接液化技术和产业的发展会有积极的推动作用。

张玉卓

神华集团有限责任公司董事长

中国工程院院士

2014年4月

前 言

随着我国经济的快速发展和人民群众生活水平的日益提高,我国对石油的需求逐年快速增长,2012年我国的原油消费量已达4.76亿t。我国的能源资源禀赋决定了我国的原油产量多年来基本维持在2亿t左右,因此不得不逐年增加原油进口量以满足日益增长的需求。自1993年我国成为原油净进口国以来,原油进口量平均以每年约1400万t的速度增长,到2012年,我国的原油进口量已达2.71亿t,原油对外依存度达到57%。如此高的对外依存度对我国经济和能源安全是一个非常大的威胁。

我国有丰富的煤炭资源,多年来煤炭一直为我国的国民经济发展提供约70%的能源。以煤炭为原料通过液化的方法生产运输燃料是一条有效的、可部分替代石油的可行路线,可以有效缓解对进口原油的依赖。我国的科研院所和企业自20世纪80年代初就开始了煤炭直接液化工艺和催化剂的研究开发工作,对适合直接液化的煤种进行了筛选和评价,并对有应用前景的煤直接液化项目开展了大量的应用基础研究和可行性研究工作。通过20多年的努力,建设了功能齐全的研发平台,开发出了高效的催化剂和独具特色的工艺技术,为煤炭直接液化产业化发展奠定了坚实的基础。

神华集团自20世纪90年代就开展了煤炭直接液化实验室研究、工艺开发、工程开发和产业化的工作。对鄂尔多斯盆地的神华煤(鄂尔多斯神东煤田煤样)的直接液化性能开展了大量、卓有成效的研究,在北京与煤炭科学技术研究院有限公司(简称煤炭科学研究总院)共同改建了日处理煤0.12t的小型连续试验装置(BSU),并开发出具有自主知识产权的煤直接液化催化剂,在上海建设了日处理煤6t的工艺开发装置(PDU)和日处理0.18t的小型连续试验装置,并成功地开发出具有自主知识产权的煤炭直接液化新工艺。神华煤炭直接液化示范项目于2008年12月竣工投产,在全世界开辟了一条全新的通过煤炭生产车用运输燃料的生产路线。该示范项目以煤炭为原料,通过干煤粉气化生产煤液化所需要的氢气原料,煤液化原料煤与循环溶剂制备成油煤浆后,在高温、高压及催化剂的作用下与氢气在反应器内生成煤液化油;煤液化油通过加氢稳定装置制备合格的煤炭直接液化循环溶剂的同时,对煤液化轻质油进行了初步的加氢精制;加氢稳定处理的煤液化油在加氢改质装置中进一步深度处理,得到合格的石脑油和柴油产品;通过轻烃回收装置回收煤液化各工段生产的液化气组分;石脑油组分通过催化重整生产车用汽油产品;为了减少“三废”排放,神华煤炭直接液化示范项目还设置了气体脱硫、脱硫醇,含硫污水汽提、酚回收及污水处理装置。为了最大限度地降低水消耗及减少污染物的排放,神华煤炭直接液化示范工程设置了膜分离除盐、含盐废水蒸发器和结晶器等设施,实现了煤液化生产废水零排放。该示范工程自投产以来,已平稳运行了五年多的时间,各工艺单元均达到了设计能力,取得了良好的经济效益和社会效益。

在神华煤炭直接液化示范工程安全、平稳、长周期运行的基础上,经过参与神华煤炭直接液化技术研究和开发及参与示范工程建设和运营的工程技术人员共同努力,完成了

系统反映煤炭直接液化主要工艺过程的专著——《煤炭直接液化工艺与工程》。本书力求达到以下几个目标：①完整性：本书包括了煤炭直接液化示范工程的全过程，包括了煤液化备煤、催化剂制备、煤浆制备、煤炭直接液化、煤液化油加氢稳定、加氢改质、轻烃回收、气体脱硫、煤制氢及煤液化干气制氢、煤液化产品的应用及环境保护等内容；②全面性：本书包括以神华煤炭直接液化工艺和催化剂开发为代表的工程应用基础研究、小试研究、中试研究、百万吨示范工程开发及生产运营和优化等几个重要阶段的研究成果；③新颖性：本书是第一系统阐述工业化煤炭直接液化工艺技术和工程技术的专著，包括了最新的研究成果和运行数据；④先进性：全面反映居世界领先地位的神华煤炭直接液化示范工程的技术水平；⑤实用性：本书包括理论研究、催化剂开发、工程设计和生产运营等多个层面，力求对科研开发、催化剂生产、工程设计、生产运营等领域的科研工程技术人员均具有很强的实用价值；⑥学术性：本书系统详细地总结了国内外科研、工程设计、生产运营的成果，理论与实践相结合，具有较高的学术水平。

本书由参与神华煤炭直接液化工艺和高效催化剂开发，以及神华煤炭直接液化示范工程建设和运营的主要工程技术人员策划、设计内容、拟定章节提纲、撰写和审查而成。吴秀章负责总体策划、章节分工、编著及编稿审定，并负责第1章、第5章至第11章等八章的撰写工作，舒歌平负责第2章、第4章的撰写工作，李克健负责第3章的撰写工作，谢舜敏负责各章设备部分的编写。

本书在编写的过程中，得到了中国神华煤制油化工有限公司（简称神华煤制油化工有限公司）、中国神华煤制油化工有限公司鄂尔多斯煤制油分公司（简称鄂尔多斯煤制油分公司）、中国神华煤制油化工有限公司上海研究院（简称神华上海研究院），原中国神华煤制油化工有限公司北京研究院（简称神华北京研究院）的领导、专家和工程技术人员的大力支持和帮助，特别感谢鄂尔多斯煤制油分公司的陈茂山、安亮、张延斌、王治华、刘东明、王建立等同事提供了翔实的生产运营数据。

本书是以神华煤炭直接液化示范工程为背景编写的，感谢为该示范工程建设做出重大贡献的工程设计团队和技术支持单位，特别是煤炭科学研究总院北京煤化工研究分院（简称北京煤化工研究分院）、中国石化工程建设有限公司（SEI）、中国石化石油化工科学研究院（RIPP）、中国石化抚顺石油化工研究院（FRIPP）、上海交通大学、天津大学、中国汽车技术研究中心等；也特别感谢为该示范工程建设和生产运营做出巨大贡献的张玉卓、李红凯、崔民利、梁仕普、陆正平、张继明、张传江、任相坤等领导和同事。

参加本书撰写的作者尽了最大的努力，把自己的所知、所学、所用奉献出来，但由于《煤炭直接液化工艺与工程》一书所涉及的工艺过程多、领域广，理论和实践的内容也很多，同时作者知识面、水平有限，书中难免存在不足，恳请读者批评指正。

编著者

2014年4月

目 录

序	
前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 我国原油与成品油的需求与生产	1
1.2 我国成品油的生产与消费	2
1.3 煤炭直接液化的可行性简要分析	3
1.3.1 可行性研究报告结论简介	3
1.3.2 项目总体优化	5
1.4 煤炭直接液化工程工艺过程综述	6
1.4.1 制氢系统	8
1.4.2 煤炭直接液化系统	12
1.4.3 煤炭液化产品精制系统	17
1.4.4 环境保护系统	18
参考文献	25
第 2 章 煤炭直接液化原料煤及前处理	26
2.1 原料煤及其前处理与液化特性的关系	26
2.1.1 煤化程度与液化特性的关系	26
2.1.2 煤的岩相组成与液化特性的关系	31
2.1.3 煤中矿物质与液化特性的关系	35
2.1.4 原料煤前处理与液化特性的关系	38
2.2 原料和产品	40
2.2.1 原煤	40
2.2.2 原煤筛分浮沉试验结果	49
2.2.3 洗精煤原料	52
2.2.4 煤粉产品	52
2.3 工艺过程	54
2.3.1 洗精煤的粉碎	54
2.3.2 煤粉的干燥	55
2.4 工艺流程	58
2.4.1 煤粉加工工艺流程	58
2.4.2 煤粉加工基本原理	58
2.4.3 煤粉加工流程概述	60
2.5 主要操作参数和操作技术	62

2.5.1 操作参数	62
2.5.2 主要操作技术	63
2.6 主要设备	64
2.6.1 磨煤机	64
2.6.2 热风炉	66
参考文献	67
第3章 煤炭直接液化催化剂	68
3.1 煤炭直接液化催化剂分类、机理与应用	69
3.1.1 煤炭直接液化催化剂种类	69
3.1.2 煤炭直接液化催化剂的作用机理	69
3.1.3 煤炭直接液化催化剂在各工艺中的应用	70
3.2 “863”催化剂制备化学	72
3.2.1 α -FeOOH	72
3.2.2 γ -FeOOH	73
3.2.3 δ -FeOOH	75
3.3 “863”催化剂制备的原料和产品	76
3.3.1 主要原料的影响	76
3.3.2 产品主要质量指标的影响因素及工艺调整原理	77
3.4 “863”催化剂的制备工艺过程和工艺流程	78
3.4.1 催化剂制备的工艺过程	78
3.4.2 催化剂制备工艺流程	80
3.5 主要操作参数和控制	85
3.5.1 工艺控制参数	85
3.5.2 工艺控制过程	86
3.6 主要设备	87
3.6.1 溢流球磨机	87
3.6.2 隔膜板框压滤机	89
3.6.3 刮板输送机	90
3.6.4 滤饼仓耙料器	91
3.6.5 回转圆筒干燥机	92
3.6.6 风扫磨	92
3.6.7 选粉机	95
3.6.8 氧化反应器	96
参考文献	97
第4章 煤炭直接液化	98
4.1 煤炭直接液化机理	98
4.1.1 煤炭的结构	98
4.1.2 煤炭直接液化机理	103

4.1.3 煤炭直接液化化学反应	126
4.2 煤炭直接液化工艺过程和工艺条件	130
4.2.1 煤炭直接液化工艺过程	130
4.2.2 煤炭直接液化工艺条件	161
4.3 原料和产品	180
4.3.1 原料	180
4.3.2 产品	182
4.4 工艺流程	188
4.4.1 神华煤炭直接液化工艺	188
4.4.2 神华煤炭直接液化项目工艺流程	196
4.4.3 神华煤炭直接液化项目工艺流程概述	207
4.4.4 物料平衡和元素平衡	214
4.5 操作参数和主要操作技术	219
4.5.1 操作参数	219
4.5.2 主要操作技术	221
4.6 主要设备	224
4.6.1 煤炭液化反应器	224
4.6.2 煤炭直接液化高温高压分离器	226
4.6.3 煤炭直接液化常压蒸馏塔	226
4.6.4 煤炭直接液化减压蒸馏塔	228
4.6.5 煤浆加热炉	229
4.6.6 减压蒸馏塔进料加热炉	230
4.6.7 煤浆混合罐底泵	230
4.6.8 高压油煤浆进料泵	232
4.6.9 反应器循环泵	233
4.6.10 减压蒸馏塔塔底泵	235
4.6.11 煤浆混捏机	236
4.6.12 煤粉在线质量流量计	237
4.6.13 煤液化高压差调压阀	237
参考文献	238
第5章 煤炭直接液化油加氢稳定	240
5.1 煤液化油加氢稳定的化学反应	240
5.1.1 烯烃的加氢饱和反应	241
5.1.2 加氢脱杂原子反应	241
5.1.3 芳烃部分加氢饱和	245
5.2 加氢稳定催化剂	246
5.2.1 Ni-Mo 类加氢催化剂	249
5.2.2 预硫化 Ni-Mo 类催化剂	258

5.2.3	Ni-W 类加氢催化剂	273
5.2.4	加氢稳定催化剂的失活与再生	277
5.2.5	催化剂的器外预硫化	279
5.3	加氢稳定原料和产品	280
5.3.1	加氢稳定装置的原料	280
5.3.2	加氢稳定全馏分产物性质	287
5.3.3	加氢稳定装置的产品	288
5.3.4	溶剂的作用及溶剂的供氢性	292
5.3.5	加氢稳定单元的物料平衡及产品分布	310
5.3.6	加氢稳定单元的元素平衡分析	311
5.4	加氢稳定工艺过程和工艺流程	313
5.4.1	加氢稳定工艺过程	313
5.4.2	加氢稳定工艺流程	317
5.5	主要操作参数和操作技术	322
5.5.1	加氢稳定过程的主要影响因素	322
5.5.2	加氢稳定装置的开工、停工操作	335
5.5.3	沸腾床反应器的操作与控制	339
5.6	主要设备	340
5.6.1	高压进料泵	340
5.6.2	反应进料加热炉	342
5.6.3	反应器	344
5.6.4	反应器底部循环泵	346
5.6.5	高压分离器	350
5.6.6	压缩机	352
5.6.7	重要的冷换设备	358
5.6.8	分馏塔加热炉	360
5.6.9	分馏塔	361
	参考文献	363
第 6 章	煤液化轻油的加氢改质	365
6.1	煤液化轻油加氢改质的化学反应	367
6.1.1	加氢脱杂原子反应	367
6.1.2	芳烃加氢饱和和加氢裂化	369
6.2	加氢改质催化剂	371
6.2.1	加氢精制催化剂的作用	376
6.2.2	加氢改质催化剂的作用	381
6.2.3	催化剂的装填与预处理	387
6.2.4	催化剂的失活与再生	389
6.3	原料和产品	392

6.3.1	加氢改质装置的原料	392
6.3.2	加氢改质装置的产品	393
6.3.3	加氢改质装置的物料平衡及产品分布	407
6.3.4	加氢改质装置的元素平衡分析	408
6.4	加氢改质工艺过程和工艺流程	410
6.4.1	加氢改质工艺过程	411
6.4.2	加氢改质工艺流程	413
6.5	主要操作参数和操作技术	415
6.5.1	加氢改质过程的主要影响因素	415
6.5.2	加氢改质装置的开工、停工操作	431
6.5.3	加氢改质装置的重要操作与控制	434
6.6	主要设备	438
6.6.1	进料过滤器	438
6.6.2	高压进料泵	440
6.6.3	反应进料加热炉	441
6.6.4	反应器	443
6.6.5	高压分离器	445
6.6.6	高压换热器	447
6.6.7	高压空冷器	449
6.6.8	压缩机	450
6.6.9	分馏加热炉	451
6.6.10	分馏塔	453
	参考文献	456
第7章	煤炭直接液化的轻烃回收	458
7.1	轻烃回收的原理	458
7.1.1	吸收过程	458
7.1.2	解吸过程	460
7.2	原料和产品	461
7.2.1	轻烃回收装置的原料	462
7.2.2	轻烃回收装置的产品	463
7.2.3	轻烃回收装置物料平衡	464
7.3	工艺过程和工艺流程	466
7.3.1	吸收稳定的工艺过程	466
7.3.2	吸收稳定的工艺流程	470
7.4	主要操作参数和操作技术	472
7.4.1	主要操作参数	472
7.4.2	主要操作技术	482
7.5	主要设备	489

7.5.1	气体压缩机	489
7.5.2	吸收塔	490
7.5.3	解吸塔	492
7.5.4	稳定塔	493
7.5.5	液氨气化冷却器	494
7.5.6	重沸器	496
参考文献		498
第8章	气体脱硫与液化气脱硫醇	499
8.1	醇胺法气体脱硫	499
8.1.1	典型的化学反应	500
8.1.2	脱硫溶剂	500
8.1.3	煤液化气脱硫的原料和产品	502
8.1.4	煤液化气脱硫工艺流程	505
8.1.5	气体脱硫的主要操作参数及操作技术	508
8.1.6	气体脱硫的重要设备	516
8.2	液化气脱硫醇	516
8.2.1	脱硫醇反应原理	516
8.2.2	催化剂和助剂	517
8.2.3	脱硫醇工艺	517
8.2.4	煤液化的液化气脱硫醇工艺流程	521
8.2.5	煤液化的液化气脱硫醇单元物料平衡	523
8.2.6	液化气脱硫醇的重要操作控制因素	523
8.2.7	液化气脱硫醇的主要设备	525
参考文献		526
第9章	煤制氢与氢气系统优化	528
9.1	煤气化制氢	528
9.1.1	煤气化制氢工艺过程	528
9.1.2	神华煤炭液化示范工程煤制氢工艺流程	544
9.1.3	煤制氢原料、产品及物料平衡	561
9.1.4	煤制氢装置的重要操作及控制技术	564
9.1.5	煤制氢装置的主要设备	571
9.2	氢气回收	587
9.2.1	回收中压气中的氢气	587
9.2.2	回收干气中的氢气	588
9.3	煤炭直接液化示范项目用氢分析	605
9.3.1	氢气的生产	607
9.3.2	产品含氢及氢气消耗	607
9.3.3	煤液化示范工程氢气平衡及分析	611

参考文献	612
第 10 章 煤液化产品的使用及应用前景	614
10.1 液化气的应用	614
10.1.1 丙烷脱氢工艺简介	616
10.1.2 煤液化液化气丙烷组分脱氢制丙烯分析	624
10.2 石脑油的应用	625
10.2.1 煤液化石脑油催化重整生产车用汽油	626
10.2.2 煤液化石脑油生产汽油和芳烃的方案研究	631
10.3 柴油的应用	631
10.3.1 柴油馏分的十六烷值与族组成的关系	632
10.3.2 柴油调和及添加剂调配研究	635
10.3.3 煤直接液化加氢改质柴油的发动机性能及排放试验	655
10.4 大比重喷气燃料的试生产及评价	681
10.4.1 煤基喷气燃料馏程分布	681
10.4.2 煤直接液化燃料试样的金属含量	683
10.4.3 煤基喷气燃料组成特性	684
10.4.4 煤基喷气燃料添加剂相容性	685
10.4.5 燃料组成与理化性能之间的相关性	685
10.4.6 煤直接液化喷气燃料的部分使用性能	687
10.4.7 煤直接液化喷气燃料的试生产	688
10.5 液化残渣的应用	689
10.5.1 煤液化残渣的组成、结构与性质	690
10.5.2 煤液化残渣的直接利用	698
10.5.3 煤液化残渣的溶剂萃取及萃取物应用	710
参考文献	723
第 11 章 煤炭直接液化环境保护	724
11.1 工艺装置的环境保护	724
11.1.1 备煤装置	724
11.1.2 催化剂制备装置	728
11.1.3 煤液化装置	730
11.1.4 加氢稳定装置	731
11.1.5 加氢改质装置	732
11.1.6 煤制氢装置	734
11.1.7 空分装置	735
11.1.8 轻烃回收装置	735
11.1.9 含硫污水汽提装置	736
11.1.10 硫黄回收装置	736
11.1.11 气体脱硫装置	737

11.1.12 酚回收装置	738
11.1.13 油灰渣成型装置	738
11.2 燃煤锅炉及自备电站的环境保护	739
11.2.1 工艺流程简述	739
11.2.2 主要污染物及处理措施	739
11.2.3 环保监测结果	741
11.2.4 自备电站脱硫脱硝技术改造	751
11.3 酸性气处理与硫平衡	758
11.3.1 酸性气处理	758
11.3.2 煤炭直接液化项目硫平衡	764
11.4 污水处理	767
11.4.1 含硫污水的工艺处理	767
11.4.2 污水处理场处理	779
11.4.3 工业废水“零排放”实践	794
11.5 CO ₂ 的排放、捕集与地质封存	795
11.5.1 煤炭直接液化示范工程 CO ₂ 排放分析	795
11.5.2 CO ₂ 的捕集与地质封存	799
参考文献	805

第 1 章 绪 论

随着我国国民经济的持续高速发展,我国的能源消费逐年增加,2011 年我国的一次能源消费已经达到 34.8 亿 t 标准煤。我国的能源资源禀赋的特点是富煤、缺油、少气,2011 年我国一次能源消费中煤炭约占 68.8%、石油和天然气约占 23.2%。近 10 年来我国的石油消费以年均 7.4% 的速度增长,而石油产量年均增长速度为 2.2%,2013 年我国石油对外依存度已经接近 60%,而且还有逐年递增的趋势。近年来,国际原油价格一直维持在 80~110 美元/桶的高价位,也使我国为原油进口付出了高昂的经济代价。

以我国相对丰富的煤炭资源适度发展石油替代能源,生产关系国民经济命脉的液体油品,符合我国能源安全和经济安全的战略。

在国家相关部委的倡导和支持下,神华集团从 1997 年就开始了煤炭直接液化生产液体运输燃料的研究工作,并从 2004 年开始在内蒙古自治区鄂尔多斯市开工建设世界上首条采用先进工艺技术的百万吨神华煤炭直接液化工业示范项目,并于 2008 年建成投产。目前该项目生产运行安全、稳定,经济效益良好^[1]。

1.1 我国原油与成品油的需求与生产

石油是我国经济发展的命脉,为我国提供了几乎全部的汽油、柴油等运输燃料,以及生产乙烯、丙烯等石油化工产品的基础原料,是我国最重要的能源资源。石油是世界各国的战略性资源,从某种意义上说,能源问题也就是石油问题,能源安全实质上就是石油安全。

我国的石油生产取得了很大进展,但远不能满足消费的需求,我国已经成为仅次于美国的全球第二大石油消费国。随着经济的快速发展,自 1993 年以来,石油的进口量逐年提高,历年的石油消费量、生产量和进口量见表 1-1^[2],2009 年以后我国的石油对外依存度就超过了 50%;2011 年,我国原油加工量为 4.48 亿 t,原油生产量为 2.04 亿 t,原油净进口 2.54 亿 t,进口原油支付费用 1951.3 亿美元,进口原油均价为 103 美元/桶^[3];预计 2020 年石油对外依存度将远在 60% 以上。

我国 2011 年的石油储采比仅为 9.9,远低于全球平均储采比的 46.2^[2];另外我国的石油战略储备远远低于国际能源机构(IEA)对其成员国要求的不低于 90 天的要求。

我国石油进口的地区集中度高,2011 年我国从中东和非洲进口的石油分别占进口总量的 51.5% 和 23.7%^[3],使得我国能源安全始终存在一定的隐患。

研究机构预测我国 2020 年石油的对外依存度见表 1-2^[4]。

表 1-1 1993~2011 年中国石油的供需情况 (单位: 亿 t)

年份	石油消费总量	原油生产总量	石油净进口总量
1993	1.4721	1.4517	0.0982
1994	1.4956	1.4608	0.0290
1995	1.6065	1.5005	0.0850
1996	1.7436	1.5733	0.1388
1997	1.9692	1.6074	0.3384
1998	1.9818	1.6100	0.2913
1999	2.1073	1.6000	0.4381
2000	2.2439	1.6300	0.6974
2001	2.2838	1.6396	0.6490
2002	2.4780	1.6700	0.7141
2003	2.7126	1.6960	0.9741
2004	3.1260	1.7420	1.4365
2005	3.1104	1.8080	1.3617
2006	3.4876	1.84	1.4518
2007	3.6659	1.8665	1.75
2008	3.7570	1.9510	1.7880
2009	3.8820	1.8950	2.035
2010	4.423	2.03	2.393
2011	4.4931	2.04	2.54

表 1-2 国内外机构对中国 2020 年石油对外依存度预测 (单位: %)

预测机构	中国能源研究所	国际能源机构	美国能源信息署(EIA)
预测值	55~62	76	65.5

根据我国目前的石油资源状况、勘探开发条件和水平,保障国内原油供应的措施有:一是东部主力油田采取三次采油、CO₂ 驱油(EOR)等新技术尽可能地稳产;二是加大西部地区的勘察开发力度;三是加强海上(特别是南海地区)的勘探开发力度,力争使我国的原油产量能够维持在 2 亿 t 左右。

我国对石油的高需求、高对外依存度、进口高度依赖某些国家和地区、低储备、低产量的特点,使我国的石油安全面临重大威胁。

1.2 我国成品油的生产与消费

随着我国运输行业的快速发展,成品油(主要指汽油、煤油和柴油)消费量急速增加。成品油消费量从 1990 年的 5032 万 t,增加到 2000 年的 11085 万 t,又增加到 2010 年的 24654 万 t;2010 年的成品油消费量占当年原油消费量的 54.2%;在 2010 年,汽油消费中

汽车占 84.3%，柴油消费中汽车和农用车占 71.8%，在煤油消费中民航占 78.8%^[5]。2011 年我国的成品油表观消费量达到 2.62 亿 t，同比增加 6.4%，其中汽油消费 7719 万 t，柴油消费 16620 万 t，煤油消费 1824 万 t，消费柴汽比为 2.15^[6]。

据预测，我国的汽车保有量将从 2010 年的 8500 万辆增加到 2015 年的 1.11 亿～1.30 亿辆和 2020 年的约 2 亿辆^[5]，因此成品油消费还将继续高速增长，在未来我国的原油供应将会越来越紧张，石油对外依存度会逐年提高。

1.3 煤炭直接液化的可行性简要分析

2002 年 1 月，神华集团完成并上报了《神华煤直接液化项目可行性研究报告》；2002 年 5 月，中国国际工程咨询公司组织专家对项目的可行性研究报告进行了评估，国家发展计划委员会（简称国家计委；后改组为国家发展和改革委员会，简称国家发改委）于 2002 年 9 月 9 日下发了《印发国家计委关于审批神华煤直接液化项目一期工程可行性研究报告的请示的通知》（计基础[2002]1587 号），文件批复了神华煤直接液化项目一期工程可行性研究报告，可行性研究报告提出一期工程分步实施，先建设一条生产线（先期工程），待取得经验后再建设其他两条生产线。2002～2004 年，神华集团对第一条煤炭直接液化生产线的工艺技术进行了大量研究和优化工作；2004 年 8 月 20 日，国家发改委以《国家发展和改革委员会关于神华煤直接液化项目一期工程工艺优化方案有关问题的批复》（发改能源[2004]1743 号）文件批准本项目开工建设。

1.3.1 可行性研究报告结论简介

国家计委在计基础[2001]345 号文件《印发国家计委关于审批神华煤直接液化项目建议书的请示的通知》中指出：“九十年代以来，我国石油消费不断增长，大大超过同期原油生产的增长速度，致使石油供需缺口逐年扩大，不得不依靠进口补充国内资源的不足。自 1993 年起我国成为石油净进口国，1999 年石油进口量达到 4000 万 t，2000 年进口量将达到 8000 万 t，预计 2005 年实际进口量将接近 1 亿 t。如此大规模的石油进口，增加了我国对国外资源的依赖程度，国际市场的波动和变化将直接影响到国内经济乃至政治的安全和稳定。我国有丰富的煤炭资源，是世界上最大的产煤国和消费国。到 1998 年末，我国煤炭保有储量高达 10070 亿 t。充分利用我国丰富的煤炭资源，大力开发以煤带油、以煤造油技术，多样化降低石油风险，是当前一项紧迫而带战略性的任务，同时也可缓解煤炭销售市场的不畅，煤炭工人就业压力加大的矛盾。”神华集团建设煤炭直接液化工程的必要性和意义主要有：①本项目建设在神华集团神东矿区，地处石油资源贫乏的山西、陕西、内蒙古、宁夏和甘肃等省区中间地带，这几个省区是我国西部开发的重要地区，本项目的建设对落实党中央西部大开发战略、加快西部经济发展具有重大的现实意义。②建设煤炭直接液化项目必然对缓解石油产品的供需矛盾开辟一条新的途径。③与石油相比，我国具有丰富的煤炭资源；到 1999 年年底我国累计探明的煤炭储量为 10018 亿 t。充分利用我国储量丰富的资源，大力开发替代石油的技术，多元化降低我国的能源风险，及早考虑能源的多样化是普遍的共识。④石油是保障国家经济命脉和政治安全的重要战略物