



贺永德 主编

现代煤化工技术手册

第二版



化学工业出版社

贺永德 主编

现代煤化工技术手册

第二版



化学工业出版社

· 北京 ·

煤炭作为重要的能源和化工原料,随着人类物质文明的发展,日益重要。尤其对于有非常丰富煤炭资源的中国,更好地开发和利用煤炭资源,有着重要的战略意义。手册全面介绍了煤炭转化及煤化工的新技术、新工艺、新材料、新设备,全面探讨了煤炭作为能源与化工原料的利用化学及方法。

手册共分 11 篇,54 章近 318 万字。详细介绍煤田地质,煤的储运、燃烧、气化、焦化、液化的方法及物化基础、工艺流程、工艺条件选择,煤化工的主要设备结构与材质及其相关的环保、安全、仪表自控等的公用工程。手册内容有以下特点。①技术先进,方法全面。反映了 21 世纪国际煤化工的现代技术水平;如气化技术中气流床水煤浆加压气化,干粉煤加压气化,流化床的灰熔聚炉气化技术、煤的地下气化技术等;焦化中焦油煤化工产品的分离与提取技术,煤液化的直接与间接液化技术等。②全书理论联系实际,内容实用、可操作性强。③煤的利用涉及面广,如煤气化联合循环发电、燃料电池、碳素材料、由合成气制取氨、甲醇、二甲醚、低碳醇、低碳烯烃、乙二醇和羟基合成多种化工产品等均有介绍。④手册中有大量图表、数据、公式,文字通达。⑤手册是权威性专著,集中了全国一流的专家、学者。

本手册可供煤炭、煤化工领域的科研、设计、生产的工程技术人员使用;也可供相关专业大中专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代煤化工技术手册/贺永德主编. —2 版. —北京:化学工业出版社,2010.12
ISBN 978-7-122-09636-4

I. 现… II. 贺… III. 煤化工-技术手册
IV. TQ53-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 197010 号

责任编辑:靳星瑞 孙绥中
责任校对:郑捷

装帧设计:刘丽华

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 107 字数 3186 千字 2011 年 3 月北京第 2 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:298.00 元

版权所有 违者必究

京化广临字 2011—1 号

《现代煤化工技术手册》编委会

顾问：秦仲达 潘连生 谢克昌 时铭显

主任：贺永德

副主任：王文善 王 信 肖望国 钟 炳 吴春来
周玉明 贺久长 李树元 刘忠民

委员：潘行高 李大尚 田基本 王洪金 王 潮
白长阳 王燕芳 王志海 王 洋 殷曰勤
马志高 马晓迅 孙海鹰 孙启文 李永旺
毛少祥 任沛建 唐 琛 孙绥中

第二版修订人员名单

(按姓氏笔画排序)

门长贵	马师白	王宁波	王亦飞	王守锋	王明峰	王洪金	王辅臣	王锦平	王勤辉
王燕芳	叶道敏	田本良	田基本	史士东	朱逸斋	刘 郎	刘君华	刘忠民	刘海峰
刘瑜州	刘携人	许世森	孙启文	寿红华	李 军	李大尚	李文怀	李永旺	李克建
李秉义	李根忠	李彩琴	李清芳	杨会斌	吴春来	应美珩	宋怀河	张西旺	张爱民
武晋强	金奇庭	周玉铭	周安宁	赵 宁	贺永德	贺祖蔚	钱仓国	高聚忠	龚 欣
韩忆卓	舒歌平	窦廷焕	谭猗生	霍尚义	冀应杰	魏 伟	魏兴海		

第二版前言

2004年3月《现代煤化工技术手册》第一版出版发行以来，深受广大读者欢迎，2006年1月第二次印刷本也已销售一空。为了满足广大读者的需要，编者把近六年来现代煤化工技术最新进展以及工业示范项目取得的重大成果，收集整理编入了本手册。另外，对第一版中部分内容作了删改，内容更加简练充实。修订后的二版主要增加了煤制油、煤制烯烃、煤制乙二醇、煤制醇醚燃料、煤制天然气、煤低温热解（干馏）、煤焦油加氢、煤气化新技术等内容，以及这些技术的工业性试验和大型示范项目所取得的重大成果。这些自主创新成果的取得使我国现代煤化工技术处于世界领先地位而备受世界瞩目。例如60万吨DMTO、20万吨乙二醇、100万吨直接法煤制油、50万吨焦油加氢等示范项目均为世界首套最大的工业化装置，一批示范项目取得成功，为“十二五”现代煤化工健康发展奠定了基础。

“十一五”期间，中国大地曾经掀起了一股煤化工热潮，一些地区不顾自身条件、技术成熟程度和市场需求，盲目发展煤化工，加之2008年9月爆发世界金融危机，经济大幅下滑，煤化工受到很大冲击，产能严重过剩，装置开工率严重不足。为此，国家发改委及时出台一系列调控煤化工发展的政策，要求首先做好现代煤化工示范项目，严格控制新项目审批，以指导煤化工科学有序发展，遏制了煤化工盲目发展的势头。这一时期现代煤化工新技术开发和工业示范项目建设工作一刻也没有停顿，并进一步加大工作力度，克服重重困难，终于在2009~2010年取得了丰硕成果。

“十二五”是现代煤化工发展的关键时期，应认真总结经验教训，冷静思考，改变发展方式，科学有序地推进现代煤化工向前发展。

本手册在修订过程中得到有关企业和专家的帮助和指导，收到不少读者的建议，在此一并表示感谢。

贺永德

2010年9月

第一版序言

煤炭是中国和世界最丰富的化石能源。在中国一次能源的生产和消费结构中，煤炭占 70% 以上。世界化学工业的兴起和发展是从煤炭综合利用开始的。19 世纪末到 20 世纪 50 年代是煤化工发展的黄金时代，这期间 80% 的化工产品是以煤炭为原料生产的。

中国的化学工业是从煤化工起家的。1983 年化学工业总产值中，煤化工约占三分之二，直到今天煤化工仍然占有重要地位，合成氨和甲醇生产用的原料中煤炭（焦炭）占 60% 以上，电石、焦化产品、城市煤气及工业用燃料气等都是煤（焦炭）为原料进行生产的。中国有十分丰富的煤炭资源，而石油和天然气资源不足。中国能源结构以煤炭为主的状况，在今后一个相当长的时期内不会有大的改变。在石油和天然气资源日趋减少，价格不断升高的情况下，积极探讨利用丰富廉价的煤炭资源发展煤化工，走出一条具有中国特色的发展化学工业的路子来，是广大化学工业工作者义不容辞的责任。

目前一批以油为原料生产合成氨和甲醇的大中型企业，面临油改煤进行原料结构调整的压力。以无烟煤或焦炭为原料的一大批中小合成氨厂仍沿用落后的固定床造气技术，采用先进的煤气化技术进行改造势在必行。通过改造可以达到降低生产成本，改善环境状况之目的。

众所周知，用煤炭为原料采用传统的工艺技术生产化工产品和燃料油品，与石油和天然气为原料生产化工产品相比较，存在煤炭加工技术复杂，建设投资大，容易造成污染，三废治理难度大等问题。20 世纪 50 年代至 70 年代，由于廉价天然气和石油的大量开采，天然气化工和石油化工得到快速发展，在很多领域取代了煤化工。为了解决上述煤化工存在的问题，20 世纪 90 年代，工业化国家提出了发展洁净煤技术和建设能源化工园等现代煤化工的概念。一批新技术新设备及高效催化剂的开发取得成功，煤气化、煤液化、煤焦化、煤制烯烃、炭制碳素材料等煤化工领域的工业化生产新技术取得了重大突破。将来在开发与发展纯氢能源的事业中，以煤炭为原料，通过煤气化转化与深冷分离制造液氢相结合，亦将具有很大的技术经济优势。以高新技术和现代化装备取代传统技术和落后装备，使中国的煤化工产业更新换代，提高技术水平，扩展新的发展领域已成为可能。在改革开放政策的推动下，21 世纪随着可持续发展战略的实施，中国的煤化工产业，将会以现代化的新面貌展现出来，迎来一个新的发展时期，在参与国际市场竞争中发展壮大。

在上述背景下，一批多年来从事煤化工科研、设计和生产的科技工作者，在系统总结过去几十年发展煤化工的经验和教训的基础上，汇集了国内外有关煤化工方面的最新科研成果和高新技术，以科学求实的精神，组织编写了《现代煤化工技术手册》这本书，奉献给从事煤化事业的广大读者。期望这本书能起到促进中国煤化工事业发展的作用。

秦仲达

2003 年 2 月 24 日

第一版前言

中国的煤炭资源十分丰富，一次能源生产中煤炭占 70% 以上，以煤炭为主的能源结构在今后相当长的时期内不会有大的改变。因此，如何有效利用丰富的煤炭资源，积极开发先进的洁净煤技术，发展煤化工的同时，解决好煤炭加工利用过程中的环境污染问题，是国内外专家学者共同关注的问题。

21 世纪，中国煤化工事业进入一个新的发展时期，特别是在煤炭产地，一批新的煤化工项目开始起步，老企业正以现代新技术改造传统落后的生产装置，以油为原料的大、中型合成氨厂开始进行煤代油的技术改造。在此形势下大家希望编写一本内容比较全面、以新技术为主的实用性强的现代煤化工技术手册，供从事煤化工事业的广大科技工作者参考，推动中国洁净煤技术和煤化工事业的发展。

本书共有 11 篇 54 章约 282 万字。书中汇集了国内外最新技术成果和工程实例，理论与实践相结合，图文并茂。内容包括煤炭的性质、储运、洗选、水煤浆制造，煤的燃烧、气化、焦化、液化，煤气净化、后加工产品、碳素材料，煤化工生产对环境的影响及治理，生产过程中仪表及自动控制等。本书可供从事煤化工的科研、设计、教学和生产的科技人员参考。

参加本书的编写的 70 多位作者都是长期从事科研、设计、教学和生产的教授和专家，他们把自己多年来积累的知识和经验总结奉献给读者，其精神难能可贵。主要有：中国工程院院士时铭显，中国工程设计大师潘行高、李大尚，教授和高级工程师王洪金、王燕芳、王洋、王治普、亢万忠、叶道敏、吴春来、李少卿、田基本、周玉铭、周安宁、刘朗、许世森、郭人民、张荣曾、张秦岭、张爱民、杨清民、钟炳、孙玉罕、舒歌平、姚铁军、高聚忠、贺永德、窦廷焕、应美干、梁杰、冀应杰、钱仓国等。书稿完成后曾邀请有丰富经验的行业专家王文善、王洪金、张朗、冀应杰、田基本、相大光进行了校审，经过两次修改补充，最后由贺永德主编统稿编审完成送印稿。

本书在编写过程中得到原化学工业部秦仲达部长、潘连生副部长的关心和指导，中国石油和化学工业协会会长、原化学工业部副部长谭竹洲为本书题词，特此表示感谢！

本书的出版得到化学工业出版社、作者单位和刊登广告单位的大力支持和帮助，在此深表谢意。

由于本书内容庞杂、涉及面宽，加之编者水平所限，书中难免有不妥和错误之处，诚望读者予以指正。

贺永德

2003 年 10 月

目 录

第一篇 绪 论

第一章 煤炭在能源中的地位	1	第三章 现代煤化工重点产品	23
第一节 世界能源状况及发展趋势	1	第一节 甲醇制烯烃技术	23
一、世界化石能源储量及消费量	1	一、MTO 技术 (Methanol to Olefin)	23
二、世界能源发展趋势	1	二、MTP 技术 (Methanol to propylene) ...	24
第二节 中国能源结构及需求预测	2	三、中国 MTP 工业化示范项目	25
一、煤炭在中国能源和经济发展中的重要地位	2	第二节 煤制乙二醇	27
二、中国化石能源剩余可采储量及储采比	2	一、中国乙二醇需求增长很快	27
三、中国一次能源消费量及需求量预测	3	二、煤基乙二醇技术开发现状	27
第三节 煤炭利用现状及存在问题	4	第三节 煤制天然气	29
一、煤炭利用的现状	4	一、煤制天然气技术概况	29
二、煤炭利用存在的问题	5	二、甲烷化催化剂	29
第二章 现代煤化工及洁净煤技术	6	三、煤制天然气工艺过程	30
第一节 洁净煤技术包括的领域	6	四、煤制天然气成本	30
一、可持续发展与环境	6	五、煤制天然气建设项目	30
二、洁净煤技术的重要性	6	六、科学发展煤制天然气	31
三、洁净煤技术包括的领域	7	第四节 煤基醇醚燃料	31
第二节 煤炭焦化技术	7	一、醇醚燃料开发应用现状	31
第三节 煤气化技术	9	二、煤基甲醇汽油	32
一、煤气化的应用及重要性	9	三、二甲醚燃料	33
二、煤气化技术现状及发展趋势	10	第四章 现代煤化工发展模式	36
三、中国煤气化技术开发应用状况	12	第一节 南非 Sasol F-T 合成模式	36
第四节 煤炭液化技术	14	第二节 新西兰 Methanex 模式	36
一、煤炭直接液化技术	14	第三节 德国 Lurgi 公司 GTC-MTP 模式	37
二、煤炭间接液化技术	16	第四节 Shell 合成气园 (Syngas Park) 模式	38
三、煤炭液化的综合评价	19	第五节 煤炭、化工、冶金多联产模式	38
四、煤炭液化技术经济比较	20	第六节 展望 21 世纪能源系统	39
五、煤油共炼技术	20	第七节 榆林煤热解多联产模式	39
六、煤炭液化实施计划	21	第八节 煤化工产品链	40
		参考文献	43

第二篇 煤炭及其储存运输、洗选与加工

第一章 煤的组成和性质	45	二、煤的显微组成	50
第一节 成煤作用	45	三、煤的显微煤岩类型	55
一、成煤原始物质	45	四、煤中的矿物质	57
二、泥炭的形成	46	五、煤中的伴生元素	59
三、煤化作用	46	第三节 煤的化学组成	59
第二节 煤岩学基础	48	一、煤的工业分析	59
一、煤的宏观特征	48	二、煤的元素组成和元素分析	61

三、煤中的硫	62
四、煤中矿物质的特性	62
五、煤质分析中的基准及不同基准间的 换算	66
第四节 煤的主要物理和物理化学性质	68
一、煤的表面性质	68
二、煤的固态胶体性质	69
三、煤的密度	70
四、煤的机械性质	71
五、煤的光学性质	73
六、煤的电性质与磁性	73
七、煤的热性质	74
第五节 煤的化学性质	75
一、煤的氧化	75
二、煤的加氢	76
三、煤的其他化学性质	76
第六节 煤的工艺性质	77
一、煤的发热量	77
二、煤的热解	78
三、煤的黏结性和结焦性	83
四、煤的铝甑低温干馏试验	87
五、褐煤的苯萃取物产率(EB)	87
第七节 煤的分子结构	87
一、煤的基本结构单元	87
二、煤基本结构单元的边缘基团	88
三、煤的结构参数	90
第八节 煤的分析、鉴定方法和标准	90
一、煤质分析的步骤	91
二、分析鉴定方法和标准	91
第九节 煤炭分类	92
一、中国煤炭分类的完整体系	93
二、国际煤炭分类	96
三、中国煤炭产品品种	100
第十节 中国煤炭资源分布和煤质概况	102
一、煤炭资源分布概况	102
二、煤质概况	104
三、中国各大矿务局原煤产量及商品煤 质量	107
四、中国一些煤矿煤性质	108
第十一节 世界煤炭资源分布和煤质概况	111
一、世界煤炭资源分布概况	111
二、世界各主要产煤国煤炭煤质概况	111
第十二节 动力煤的合理配合	116
一、动力煤配煤意义	116
二、配煤主要指标间的可加性	116
三、配煤方案的优化	117
四、配煤工艺及设备	118
参考文献	118

第二章 煤的洗选	119
第一节 概述	119
一、煤洗选的重要性	119
二、中国煤炭洗选概况	119
三、选煤厂的构成与分类	120
第二节 煤的可选性	120
一、煤的粒度组成和密度组成	120
二、可选性曲线	121
三、煤的可选性评定方法与标准	122
第三节 选煤方法	122
一、重介质选煤	122
二、跳汰选煤	126
三、浮游选煤	128
四、其他选煤方法	131
第四节 选后产品的脱水和煤泥水处理	132
一、选后产品的脱水	132
二、煤泥水处理	133
第五节 煤的燃前脱硫	134
一、燃前脱硫是煤炭脱硫的主要环节	134
二、煤炭的洗选脱硫	134
三、磁选、电选脱硫	136
四、化学脱硫和微生物脱硫	136
第六节 技术经济评价	137
一、几种选煤方法比较	137
二、消耗指标	138
参考文献	138
第三章 煤焦的储存、运输及制备	139
第一节 概述	139
一、煤焦的储运、制备系统的组成及 内容	139
二、煤焦储运、制备系统工艺流程及 布置	139
三、煤焦储运、制备系统工艺计算	140
第二节 煤焦的卸载及受料	141
一、煤焦卸载-受料系统及组成	141
二、运输方式及卸载设备	142
三、受料设施及装置	147
第三节 煤焦的储存	148
一、储存方式及选择	148
二、露天堆场储存	150
三、仓库储存	150
四、储仓储存	152
五、储存与均化	153
第四节 煤焦的加工制备	154
一、煤焦的破碎与筛分	154
二、煤的磨粉加工	159
三、煤的干燥处理	161
第五节 煤焦的运输	161

一、煤焦的运输方式及配置	161	二、民用型煤的节能环保效益	211
二、运输设备及选择	161	三、对民用型煤的质量要求	212
三、固定式带式输送机	161	四、民用型煤生产工艺技术	212
四、波状挡边带式输送机	165	第八节 型煤技术的发展与展望	213
五、吊挂管状带式输送机	168	第九节 技术经济评价	214
六、气垫带式输送机	172	一、投资	214
七、埋刮板输送机	176	二、生产成本和经济效益	214
八、螺旋输送机	179	参考文献	214
九、斗式提升机	180	第五章 水煤浆制备	216
十、气力输送	181	第一节 概况	216
第六节 辅助设备及设施	185	一、水煤浆的物性与用途	216
一、给料设备	185	二、中国水煤浆制备技术的开发	216
二、闸（阀）门	186	三、水煤浆制备技术概要	217
三、电磁分离器及金属探测器	187	第二节 制浆用煤的选择	217
四、破拱装置	188	一、用户对煤质的要求	217
五、煤的解冻、松动及注水	189	二、煤炭成浆性	218
参考文献	190	第三节 水煤浆的粒度分布	219
第四章 型煤的制造	191	一、堆积效率与粒度分布间的关系	219
第一节 型煤技术发展现状	191	二、水煤浆粒度分布的测试方法	223
一、发展型煤的目的意义	191	第四节 水煤浆添加剂	225
二、型煤技术发展现状	191	一、分散剂	225
第二节 型煤分类及其质量	193	二、稳定剂	230
一、型煤的定义	193	三、其他辅助添加剂	230
二、型煤的分类	193	第五节 水煤浆制浆工艺	231
三、型煤质量指标及其测试方法	193	一、制浆工艺主要环节与功能	231
四、影响型煤质量的因素	194	二、干法制浆工艺	231
第三节 粉煤成型机理	197	三、干、湿法联合制浆工艺	232
一、煤的表面特性	197	四、高浓度磨矿制浆工艺	232
二、粉煤成型机理	197	五、中浓度磨矿制浆工艺	232
第四节 型煤黏结剂和添加剂	198	六、高、中浓度磨矿级配制制浆工艺之一	233
一、有机黏结剂	198	七、高、中浓度磨矿级配制制浆工艺之二	233
二、无机黏结剂	199	八、高、中浓度磨矿级配制制浆工艺之三	234
三、复合黏结剂	200	九、结合选煤的制浆工艺	234
第五节 型煤生产工艺及主要设备	200	第六节 主要设备	234
一、型煤生产工艺	200	一、破碎设备	234
二、型煤生产主要设备	200	二、磨机选型	235
第六节 工业型煤	205	三、球（棒）磨机运行参数的选择计算	239
一、工业型煤发展过程	205	四、球（棒）磨机功率与制浆能力计算	240
二、对型煤质量的要求	206	五、搅拌设备	243
三、几种工业型煤工艺技术	206	六、泵送设备	246
第七节 民用型煤	211	七、滤浆设备	246
一、民用型煤发展过程	211	参考文献	248

第三篇 煤 的 燃 烧

第一章 煤的燃烧原理	249	三、NO/NO ₂ 的平衡	251
第一节 煤燃烧的化学平衡	249	第二节 燃烧动力学	251
一、CO/CO ₂ 的平衡	249	一、化学反应的反应速率方程	251
二、SO ₂ /SO ₃ 的平衡	250	二、煤燃烧学说	254

三、碳的燃烧速度与燃尽	259	一、火床燃烧设备	308
四、着火	267	二、流化床锅炉	316
五、火焰传播速度与燃尽	274	三、煤粉炉	329
第三节 煤炭燃烧过程的计算	280	四、水煤浆燃烧技术	335
一、分析法	280	第二节 结渣、积灰、外部腐蚀与磨损	338
二、简便计算法	288	一、受热面的结渣与积灰	338
第二章 煤燃烧数学物理模型	290	二、受热面的外部腐蚀	339
第一节 煤层燃烧数学物理模型	290	三、对流受热面的磨损	340
一、Thring 模型	290	第四章 煤燃烧的环保控制	342
二、热解燃烧扩散综合模型	291	第一节 气体排放物的污染	342
第二节 煤沸腾燃烧数理模型	294	一、NO _x 的生成机理	342
一、大型飞灰循环流化床燃烧模型	294	二、SO _x 污染	344
二、燃煤循环流化燃烧综合模型	297	第二节 颗粒排放物的污染和控制	345
三、最优循环倍率模型	298	一、气相析出型烟尘	345
第三节 粉煤燃烧数理模型	299	二、粉尘	345
一、一维系统模型	299	第三节 煤燃烧后的其他污染物	346
二、多维系统模型	301	一、灰渣	346
第三章 煤炭燃烧设备	308	二、多环有机物质 (POM)	346
第一节 燃烧设备	308	参考文献	347
第四篇 煤炭的气化			
第一章 煤炭气化的物理化学基础及气化技术		一、煤气化产物的种类和用途	374
分类	349	二、煤气发生炉内的燃料分布情况	374
第一节 煤炭气化过程中煤的热解及气化		三、固定床气化对煤质量的要求	375
反应	349	第二节 发生炉煤气	375
一、煤炭气化过程中煤的热解	349	第三节 两段炉制气	379
二、气化过程中的气化反应	353	一、连续鼓风两段炉气化	379
第二节 气化反应的化学平衡与热效应	355	二、循环鼓风两段炉气化	380
一、化学反应热效应与平衡常数	355	第四节 间歇法气化工艺	381
二、碳与氧间的化学平衡与热效应	360	一、水煤气及实际气化的工作循环	381
三、碳与蒸汽间的化学平衡与热效应	361	二、半水煤气生产	382
四、甲烷生成反应的化学平衡与热		三、几种常用流程	383
效应	362	四、主要设备	383
第三节 气化反应动力学	363	五、型煤制气	386
一、煤炭气化反应的历程	363	第五节 气化过程节能综述	386
二、碳的氧化反应	364	一、气化炉的主要节能措施	386
三、水蒸气与碳的反应	366	二、吹风气余热回收	387
四、氢气与碳的反应	367	第六节 富氧连续氧化	390
五、气化生产过程的强化措施	368	一、工艺技术特点	390
第四节 煤炭气化技术分类	369	二、原料要求	391
一、世界各国主要分类方法	369	三、工艺流程及主要设备	392
二、气化技术按生产装置化学工程特征分		四、富氧连续气化炉操作特性分析	394
类法	371	五、原材料消耗及主要技术经济指标	395
三、气化技术的其他分类法	371	六、环境评价	396
四、煤气的热值及计算方法	372	参考文献	396
参考文献	373	第三章 碎煤固定层加压气化生产过程	397
第二章 常压固定床气化	374	第一节 概述	397
第一节 概述	374	一、碎煤加压气化特点	397

二、碎煤加压气化发展史	397	技术	455
第二节 加压气化原理与气化过程计算	398	一、HTW 煤气化技术特点	455
一、加压气化原理	398	二、HTW 煤气化中试装置及工业示范装置	455
二、加压气化的实际过程	399	三、HTW 煤气化工艺流程简述	456
三、煤种及煤的性质对加压气化的影响	400	四、两种温克勒气化炉技术数据对比	457
四、鲁奇加压气化炉数学模型及气化过程计算	405	五、HTW 气化炉物料及能量平衡计算	457
五、气化过程的物料衡算	408	第五节 灰熔聚流化床煤气化技术	458
六、气化过程的热量衡算	409	一、概述	458
第三节 加压气化操作条件及主要气化指标	412	二、灰熔聚流化床煤气化技术特点	458
一、操作条件分析	412	三、美国 U-gas 煤气化技术	458
二、主要气化指标	415	四、中国 ICC 灰熔聚流化床煤气化技术	461
第四节 鲁奇加压气化炉炉型构造及工艺流程	416	五、KRW 灰团聚流化床煤气化技术	464
一、几种炉型介绍	416	六、灰黏聚流化床多元气剂煤气化技术	466
二、加压气化炉及附属设备构造	421	七、CAGG 灰熔聚流化床粉煤气化技术	467
三、碎煤加压气化炉在中国的应用及工艺流程	424	第六节 循环流化床 (CFB) 煤气化技术	472
第五节 碎煤加压气化炉的操作控制	429	一、CFB 工艺特点	472
一、加压气化炉自动控制及安全联锁的装置	429	二、德国鲁奇 (Lurgi) CFB 煤气化技术	473
二、加压气化炉的开、停车操作	432	第七节 其他型式流化床煤气化技术	475
三、加压气化炉的正常操作调整与故障处理	437	一、间歇式常压流化床水煤气炉	475
第六节 碎煤加压气化工艺污水处理	439	二、恩德炉粉煤气化技术	476
一、煤气水中焦油、轻油的回收	440	三、载热体常压循环流化床粉煤气化技术	478
二、酚和氨的回收	440	四、国内外流化床气化装置一览表	479
三、废水生化处理	443	参考文献	479
四、生化处理工程实例	444	第五章 干法气流床煤的气化	481
参考文献	446	第一节 概述	481
第四章 流化床煤气化	447	一、气流床气化的特点及分类	481
第一节 概述	447	二、干法气流床气化技术发展概况及前景	482
第二节 工艺过程特性	448	第二节 气流床气化原理及工艺过程模型	484
一、过程特点	448	一、气化机理	484
二、反应特性	448	二、粉煤气化模型简介	485
三、流体力学条件	449	三、粉煤气化模型	485
四、床内传热	452	第三节 常压气流床粉煤气化 (KT 炉)	492
五、对原料的要求	453	一、概述	492
第三节 常压温克勒 (Winkler) 煤气化技术	453	二、原料要求	494
一、温克勒煤气化炉	453	三、工艺流程及主要设备	494
二、工艺流程简述	453	四、工艺过程计算	496
三、气化褐煤生产水煤气、半水煤气的技术指标	454	五、操作特性分析	501
四、主要设备	455	六、工艺技术特性及消耗定额	504
第四节 高温温克勒 (HTW) 煤气化		第四节 加压气流床粉煤气化 (Shell 炉)	505
		一、概述	505
		二、Shell 煤气化原理	507

三、原料要求	507	一、气化流程类型	563
四、工艺流程及主要设备	509	二、主要设备介绍	565
五、工艺过程计算	510	三、气化炉炉膛温度及表面温度测量	567
六、工艺及操作特性分析	515	四、主要设备国产化可行性	568
七、工艺技术特性及消耗定额	518	第四节 煤气化过程的物料热量衡算	569
八、环境评价	518	一、气化反应过程描述	569
第五节 Prenflo 煤气化工艺	520	二、炉膛气化过程的计算方法	571
第六节 科林公司粉煤气化技术 (CCG)	524	三、典型气化装置工艺数据	574
第七节 两段式干煤粉加压气化炉	529	第五节 灰水处理及环境保护	576
一、开发历程	529	一、灰水处理工艺	576
二、技术特点	530	二、废渣、废水及废气	578
三、模拟研究	533	第六节 气化炉的耐火材料	578
四、高温高压高升温速率气化反应动力学研究	535	一、气化炉用耐火材料的要求	579
五、工艺和试验装置	537	二、水煤浆气化炉耐火衬里结构及材料	579
六、工业应用实例	540	三、国内耐火材料的发展及应用	582
第八节 航天粉煤加压气化技术	540	四、耐火材料的施工砌筑及养护	584
一、概述	540	第七节 水煤浆气化装置的经济评价	584
二、主要工艺流程	541	一、德士古炉型的选择	584
三、关键设备：气化炉及烧嘴	541	二、采用不同原料建合成氨装置的经济比较	585
四、控制技术	543	参考文献	586
五、安全、环保	543	第七章 多喷嘴对置式气流床水煤浆气化技术	587
六、示范装置建设及开车情况	543	第一节 技术简介及试验装置	587
七、市场推广情况	545	一、工艺技术原理	587
参考文献	545	二、气化机理模型	587
第六章 湿法气流床加压气化	546	三、中试结果	588
第一节 国内外水煤浆气化技术开发概况	547	四、工业示范装置	588
一、美国德士古发展公司水煤浆气化技术开发历程	547	第二节 技术推广应用情况	590
二、联邦德国 ROH/RAG 工业试验装置	547	一、推广应用情况	590
三、美国田纳西伊斯曼化学公司气化装置	548	二、多喷嘴对置式水煤浆气化技术应用企业分布	590
四、美国冷水电站工厂气化装置	549	三、经济效益估算	590
五、日本宇部合成氨厂气化装置	550	第三节 四喷嘴与单喷嘴水煤浆气化技术比较	591
六、原联邦德国 SAR 气化装置	551	第八章 地下煤气化	593
七、美国道化学气化装置	551	第一节 概述	593
八、美国 Tampa 联合循环发电水煤浆气化装置	552	一、煤炭地下气化的定义和本质	593
九、中国水煤浆气化技术发展状况	553	二、煤炭地下气化技术的经济和社会意义	593
十、国内外水煤浆气化装置概况一览表	556	三、煤炭地下气化的研究与发展概况	594
第二节 水煤浆气化技术煤种的评价	558	第二节 煤炭地下气化的原理及方法	596
一、煤种的实验室评价及原料煤种的选择	558	一、煤炭地下气化化学反应原理	596
二、煤种试烧	562	二、煤炭地下气化的物理过程	598
三、工艺设计软件包的编制	562	三、煤炭地下气化工艺和方法	599
四、气化性能指标	563	第三节 煤炭地下气化站设计与计算	601
第三节 水煤浆气化装置工艺流程类型及主要设备介绍	563	一、气化炉结构设计	602

二、地面系统设计	605	二、煤制代用天然气 (SNG) 的优势	657
三、气化指标计算	608	三、煤制代用天然气 (SNG) 经济性 分析	658
第四节 煤炭地下气化过程管理与控制	609	参考文献	660
一、气化炉冷态试验	610	第十一章 其他煤气化方法	661
二、气化炉点火	610	第一节 熔融床气化	661
三、空气连续气化工艺	611	一、工艺技术特点及分类	661
四、两阶段气化工艺	611	二、熔渣床气化法	661
五、富氧水蒸气气化工艺	612	三、熔盐床气化法	666
六、辅助气化工艺	612	四、熔铁床气化法	668
七、燃空区充填	613	五、中国开发的熔渣床气化法	669
第五节 煤炭地下气化工程实例	613	第二节 变压固定床气化	671
一、徐州马庄煤矿煤炭地下气化工程	614	一、气化工艺技术特点	671
二、徐州新河二号井煤炭地下气化工程	614	二、工艺流程及主要设备	671
三、唐山刘庄煤矿煤炭地下气化工程	616	三、操作条件和主要工艺技术指标	673
四、山东孙村煤矿地下气化工程	617	第三节 两段式气化炉	673
五、其他工程	618	一、Bl-gas 气化炉	673
第六节 技术经济评价	618	二、C-E 气化炉	675
参考文献	619	三、Foster-Wheeler 气化炉	675
第九章 多元料浆新型气化技术	621	四、Peatgas (泥煤) 气化炉	675
一、多元料浆气化技术的开发沿革	621	五、Rockwell 气化炉	677
二、气化技术原理	622	第四节 热核气化	677
三、多元料浆气化工艺过程简述	623	参考文献	679
四、多元料浆气化关键技术	623	第十二章 空气分离	680
五、多元料浆气化技术特点	624	第一节 空气组成及物化性质	680
六、多元料浆气化工艺装置消耗	625	一、空气组成及物化性质	680
七、多元料浆气化装置产能与配置	625	二、氧-氮二元系气液平衡	680
八、主要设备	628	第二节 空气分离的方法	681
第十章 煤制代用天然气 (SNG)	635	一、概述	681
第一节 概述	635	二、气体分离方法	681
一、煤制代用天然气 (SNG) 的意义	635	三、分馏塔工作原理	682
二、国内外煤制代用天然气发展概况	635	第三节 深冷分离工艺技术及其主要设备	683
第二节 煤制代用天然气 (SNG) 技术	639	一、深冷分离工艺技术	683
一、概述	639	二、深冷分离主要设备	689
二、甲烷化工艺	640	第四节 变压吸附工艺技术及其主要设备	705
三、丹麦托普索 TREMP™ 技术	648	一、概述	705
四、美国巨点能源公司蓝气 (Bluegas™) 技术	650	二、变压吸附基本原理	705
第三节 催化剂	651	三、变压吸附制氮装置	706
一、甲烷合成催化剂概况	651	四、变压吸附制氧	708
二、耐热性合成甲烷催化剂	654	五、变压吸附主要设备	709
三、耐硫性甲烷化催化剂	655	第五节 消耗指标	711
第四节 煤制代用天然气 (SNG) 的可行性 及竞争优势	656	一、概述	711
一、概述	656	二、空分设备降低能耗的一些途径	711
		参考文献	714

第五篇 煤炭的焦化

第一章 煤炭的热解技术	715	一、热解技术的发展	715
第一节 概述	715	二、热解工艺分类	716

第二节 煤的热解动力学	717	三、年产5万吨型焦项目	766
一、煤热解的物理化学过程	717	参考文献	767
二、煤的热解动力学	717	第三章 煤焦油及深加工	768
第三节 热解方法	718	第一节 煤焦油的生成和性质	768
一、干馏方法	718	第二节 煤焦油主要加工产品的性质及用途	769
二、加氢热解法	723	一、煤焦油馏分	769
第四节 热解产物及其利用	725	二、酚类产品	770
一、热解产物	725	三、吡啶及喹啉类产品	772
二、热解产物的利用	731	四、古马隆-茛树脂	775
参考文献	733	五、萘系产品	775
第二章 煤的焦化技术	734	六、洗油加工产品	777
第一节 炼焦理论	734	七、蒽油加工产品	778
一、煤炼焦过程中发生的变化	734	八、溶剂油	779
二、塑性成焦机理	734	九、沥青及其加工产品	779
第二节 炼焦用煤的工艺性质评价方法	735	第三节 煤焦油加工前的准备	780
一、煤的黏结性与结焦性	735	一、煤焦油的运输、储存和质量均匀化	780
二、炼焦用煤的黏结性与结焦性的主要评价指标	737	二、煤焦油脱渣	781
第三节 配煤炼焦技术	737	三、煤焦油脱水	781
一、配煤炼焦工艺概述	737	四、煤焦油脱盐	781
二、配煤方法和焦炭质量预测	739	第四节 煤焦油蒸馏	782
第四节 炼焦新技术	740	一、煤焦油两塔式连续蒸馏	783
一、煤预热炼焦技术	741	二、煤焦油一塔式连续蒸馏	785
二、捣固炼焦技术	742	三、煤焦油常压-减压连续蒸馏	786
三、配型煤炼焦技术	744	四、煤焦油减压连续蒸馏	787
四、配添加剂炼焦技术	744	五、煤焦油主要蒸馏设备	788
五、干法熄焦技术	745	第五节 粗酚的提取和精制	790
第五节 型焦技术	747	第六节 粗吡啶的精制	796
一、型焦技术的发展	747	一、粗轻吡啶的精制	796
二、典型型焦工艺	748	二、粗重吡啶的精制	797
三、型焦质量指标及其应用	751	第七节 古马隆-茛树脂的制取	798
第六节 焦炉	754	一、硫酸法古马隆-茛树脂生产工艺流程	799
一、焦炉发展概况	754	二、以三氟化硼为催化剂的古马隆-茛树脂连续生产工艺	800
二、焦炉基本结构	754	第八节 工业萘和精萘的制取	801
三、典型焦炉简介	754	一、工业萘的制取	802
四、焦炉辅助设备、机械及其操作	754	二、精萘的制取	803
第七节 焦炭的种类及性质	756	第九节 洗油的加工精制	805
一、焦炭的种类	756	第十节 粗蒽的制取及加工	807
二、焦炭的组成	758	一、粗蒽的制取	807
三、焦炭的主要性质	759	二、精蒽的制取	807
第八节 炼焦技术的发展与展望	761	第十一节 沥青加工	808
一、现代化焦炉的发展	761	一、改质沥青的制取	808
二、炼焦新技术的发展	764	二、沥青焦制造	810
第九节 各种炼焦技术经济评价	766	第十二节 低温焦油加氢	811
一、常规顶装炼焦工艺年产 20×10^4 t/a 干全焦项目	766	一、引言	811
二、捣固炼焦工艺年产 35×10^4 t/a 干全焦项目	766		

二、低温煤焦油加氢技术原理及特点	812	第六节 酚回收	841
三、主要设备原理图及说明	822	一、概述	841
四、拟建规模	825	二、二异丙基醚 (Diipe) 溶剂萃取脱酚	843
五、原材料、动力消耗定额	825	三、醋酸丁酯脱酚	846
六、投资估算及效益分析	826	第七节 焦炉煤气利用	848
参考文献	827	一、焦炉煤气性质及用途	848
第四章 焦炉煤气及其利用	828	二、焦炉煤气纯氧部分氧化催化转化甲烷	848
第一节 概述	828	消耗	848
一、焦炉煤气 (干馏煤气) 中杂质及有	828	参考文献	849
害物	828	第五章 循环流化床煤热电气焦油多联产	850
二、焦炉煤气净化处理和副产品回收的	829	技术	850
主要工艺过程	829	第一节 概述	850
第二节 焦炉煤气 (荒) 冷凝冷却、加压	829	第二节 浙江大学循环流化床热电气焦油	851
及电捕焦油	829	多联产技术及其特点	851
一、焦炉煤气 (荒) 冷凝冷却	829	第三节 1MW 循环流化床热电气焦油多联	853
二、煤气加压	830	产中试装置及试验研究	853
三、低温水的制备	830	一、1MW 循环流化床热电气焦油多联	853
四、主要原材料动力消耗	830	产热态试验装置	853
五、电捕焦油	830	二、热态运行及试验结果	854
六、焦炉煤气脱硫	830	第四节 12MW 烟煤循环流化床热电气	856
第三节 焦炉煤气中氨的回收	831	焦油多联产示范装置	856
一、概述	831	一、设计燃料及设计参数	856
二、水洗氨生产浓氨水或无水液氨	831	二、12MW 循环流化床煤热电气焦油	857
工艺	831	多联产示范装置系统说明	857
三、用硫酸回收粗煤气中氨生产硫酸和	833	三、主要系统和设备	860
粗轻吡啶	833	四、12MW 热电气焦油多联产示范装置	861
四、磷铵水溶液法 (弗萨姆法) 回收	834	的运行特性	861
焦炉煤气中氨	834	第五节 投资及效益分析	864
第四节 焦炉煤气终冷和洗苯	835	一、主要运行指标	865
第五节 粗苯回收	837	二、总投资计算	865
一、洗苯	837	三、经济性分析	865
二、脱苯	837	第六节 三废治理方法	866
三、苯的回收	840	参考文献	867

第六篇 煤气的净化

第一章 煤气的除尘	869	一、袋式除尘器的分类及性能	889
第一节 概述	869	二、袋式除尘器的滤料	890
一、煤气除尘设备的分类	869	三、袋式除尘器的清灰方式	891
二、除尘器的主要性能指标	869	四、袋式除尘器的结构形式和应用	895
第二节 旋风除尘器	870	五、袋式过滤系统设计的几个问题	899
一、旋风除尘器的工作原理	870	第五节 湿法洗涤除尘器	900
二、旋风除尘器的结构形式与设计	872	一、除尘机理及分类	900
第三节 电除尘器	878	二、喷雾接触型洗涤器	901
一、电除尘器工作原理	878	三、文氏管洗涤器	902
二、除尘器结构设计	881	四、鼓泡接触型洗涤器	903
三、电除尘器的电气设计要求	885	五、捕沫器	904
四、应用实例及系列产品规格	886	参考文献	906
第四节 袋式除尘器	889	第二章 湿法脱硫	907

第一节 概述	907	四、使用实例	951
第二节 葱醌二磺酸钠法 (改良 ADA 法)	908	第二节 羰基硫水解催化脱硫	952
一、基本原理	908	一、基本原理	952
二、工艺流程	909	二、催化剂的性能	953
三、操作条件讨论	911	三、工艺流程及生产控制条件	954
四、工艺设计及生产控制条件	912	四、使用实例	954
五、工艺特征及工厂操作数据	912	第三节 氧化锌脱硫	954
第三节 氨水液相催化法	913	一、基本原理	954
一、氨水对苯二酚催化法	913	二、脱硫剂的物化性质及使用条件	955
二、MSQ 法	916	三、工艺流程及生产控制条件	957
第四节 栲胶法	917	四、使用实例	960
一、栲胶的化学性质	917	第四节 氧化铁法	961
二、反应机理	918	一、基本原理	961
三、操作条件讨论	918	二、氧化铁脱硫剂	963
四、工艺设计及生产控制条件	919	三、工艺设计及生产控制条件	964
五、工厂操作数据	919	四、工艺流程	965
六、栲胶法脱硫的优点	919	五、使用实例	966
第五节 络合铁法	919	第五节 活性炭脱硫法	967
一、FD 法	919	一、基本原理	967
二、Lo-CAT 法	921	二、活性炭的物化性质	967
三、工艺特征	922	三、工艺设计及生产控制条件	968
第六节 蒽醌法 (Takahax 法)	922	四、再生	969
一、基本原理	922	五、工艺流程	969
二、工艺流程	923	六、使用实例	970
三、操作条件讨论	924	第六节 其他脱硫剂简介	971
四、工厂操作数据	926	一、分子筛脱硫剂	971
第七节 湿式氧化法的主要设备及工艺		二、铁锰脱硫剂	972
计算	927	三、高温煤气脱硫剂	973
一、脱硫设备	927	第七节 干法脱硫的主要设备、设计要点	976
二、脱硫工艺过程衡算	929	一、主要设备	976
第八节 烷基醇胺法	931	二、脱硫槽设计要点	977
一、烷基醇胺类的性质	931	第八节 脱硫方法的选择	979
二、一乙醇胺法 (MEA 法)	932	一、湿法选择	979
三、二异丙醇胺法 (ADIP 法)	934	二、干法选择	980
四、甲基二乙醇胺法 (MDEA 法)	935	参考文献	981
第九节 物理-化学吸收法	935	第四章 CO ₂ 脱除	982
一、环丁砜法 (Sulfinol 法)	935	第一节 概述	982
二、常温甲醇法 (Amisol 法)	937	一、引言	982
第十节 硫的回收	938	二、CO ₂ 脱除方法	982
一、克劳斯 (Claus) 法	939	第二节 低温甲醇洗	982
二、湿式接硫法	941	一、基本原理	983
参考文献	943	二、工艺流程	985
第三章 干法脱硫	944	三、工厂操作数据	986
第一节 有机硫加氢转化催化脱硫	944	四、工艺技术特点	986
一、基本原理	944	第三节 聚乙二醇二甲醚法	987
二、加氢转化催化剂的物化性质及使用		一、基本原理	988
条件	947	二、聚乙二醇二甲醚溶剂的性质	988
三、工艺流程及生产控制条件	949	三、工艺流程	989