



普通高等教育“十二五”创新型规划教材

煤炭气化 工艺与操作

MEITAN QIHUA GONGYI YU CAOZUO

主 编 乌 云

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

普通高等教育“十二五”创新型规划教材

煤炭气化工艺与操作

主 编 乌 云

副主编（按姓氏笔画） 李曙阳 姜丽艳

参 编（按姓氏笔画） 杨志杰 郑 焱 薛彩霞

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书共分5个模块24个项目,模块一:基础知识,主要介绍了煤炭气化原理、煤炭气分类、煤炭气化物理化学基础、空气分离等;模块二:煤炭气化过程,主要介绍了鲁奇加压气化工工艺、德士古水煤浆加压气化工工艺、Shell 粉煤气化工工艺、GSP 粉煤气化工工艺;模块三:煤气净化过程,主要介绍了粗煤气的除尘、脱硫、脱碳工艺;模块四:化工产品合成过程,主要介绍了氨的生产、甲醇的生产、二甲醚的生产等;模块五:焦化分公司事故案例,主要介绍了焦化公司各生产部门事故案例。

本书可作为普通高等院校化工相关专业的教材,也可作为从事煤化工相关工作的人员参考使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

煤炭气化工艺与操作/乌云主编. —北京:北京理工大学出版社, 2013.5
ISBN 978-7-5640-7252-0

I. ①煤… II. ①乌… III. ①煤气化—研究 IV. ①TQ54

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 319857 号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/保定市中国画美凯印刷有限公司

开 本/710毫米×1000毫米 1/16

印 张/26.5

字 数/504千字

版 次/2013年5月第1版 2013年5月第1次印刷

定 价/79.00元

责任编辑/陈莉华

责任校对/周瑞红

责任印制/王美丽



图书出现印装质量问题,本社负责调换



前言

本书结合了国内煤化工发展的趋势和现代煤化工技术，是一本适合普通高等院校学生学习的工学结合教材。

本书以煤化工产品为主线，全面介绍了从原料煤的准备、煤炭的气化、粗煤气的净化、化工产品的合成与精制等工艺全过程，同时，为了体现“工学结合”、“教、学、做”一体的特色，课题组老师深入到十几个煤化工企业进行岗位能力调研，分析企业岗位人才能力的需求，并结合普通高校学生实际情况，开发出这本符合规划要求的专业学习教材。本书在编写过程中得到了内蒙古乌拉山化肥有限公司、国电赤峰化工有限公司、大唐内蒙古多伦煤化工有限公司、鄂尔多斯易高能源煤化工有限公司、神华宁夏煤业有限公司等多家煤化工企业的支持，编写过程中还得到了东方仿真公司的友好支持，他们为本书提供了部分插图，在此一并表示感谢。

本书共分5个模块24个项目，模块一：基础知识，主要介绍了煤炭气化原理、煤炭气化分类、煤炭气化物理化学基础、空气分离等；模块二：煤炭气化过程，主要介绍了鲁奇加压气化工艺、德士古水煤浆加压气化工艺、Shell 粉煤气化工艺、GSP 粉煤气化工艺；模块三：煤气净化过程，主要介绍了粗煤气的除尘、脱硫、脱碳工艺；模块四：化工产品合成过程，主要介绍了氨的生产、甲醇的生产、二甲醚的生产等；模块五：焦化分公司事故案例，主要介绍了焦化公司各生产部门事故案例。通过对本书的学习，学生能够系统地学习合成氨、合成甲醇工艺过程以及从原料到产品合成与分离过程的原理、工艺、操作规程等，同时，在实践教学中，通过结合东方仿真公司的水煤浆加压气化、合成氨、甲醇合成、二甲醚生产软件进行工艺过程的开车、停车及事故处理等模拟训练，可以使 学生能够自主进行工艺过程的控制及工艺过程参数的调节处理，达到培养、提高学生操作技能的目的，充分体现了培养企业所需高技能应用型人才的教育特色。

本书由乌云教授担任主编，姜丽艳、李曙阳担任副主编。其中，乌云教授编写了绪论，模块二的项目四、五、六、七，模块三的项目一；姜丽艳编写了模块

一，模块二的项目一、二、三；薛彩霞编写了模块三的项目二、三、四、五、六；郑焱编写了模块四的项目一；杨志杰编写了模块四的项目二、三，李曙阳编写了模块五。

由于编者水平有限，书中不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者



目 录

绪论	1
一、发展煤化工的重要意义	1
二、煤炭气化技术的发展状况	2
三、我国煤化工（煤气化）企业调研	5
四、本课程教学内容	15

模块一 基础知识

项目一 煤炭气化生产的准备	19
任务一 气化方法的选择	19
一、气化技术分类	19
二、地面气化技术	19
三、地下气化技术	20
四、煤气	21
任务二 生产的准备	22
一、煤气的组成及性质	22
二、气化原料煤的选择	23
三、气化原料煤的制备	27
任务三 应用生产原理确定工艺条件	27
一、气化过程的主要化学反应	28
二、气化过程的物理化学基础	29
三、煤气平衡组成的计算	31
四、煤炭气化过程的主要评价指标	35
项目二 空气分离生产的准备	39
任务一 空气分离方法的选择	39
一、空气的组成及性质	39
二、空气分离的目的	40
三、空气分离的方法	40

四、空气分离的物理化学基础	40
任务二 生产的准备	41
一、氧气的性质及用途	41
二、氮气的性质及用途	41
三、氩的性质及用途	42
四、乙炔的性质	42
任务三 应用生产原理确定工艺条件	42
一、空分流程的演变	42
二、我国空分流程的技术发展	43
三、现代空分流程的特点	43
四、空分装置与其他界区的联系	43
五、深冷分离工艺技术	44
六、液化精馏分离工艺流程	44
七、空气分离的主要设备及其操作	53
八、空分装置的安全操作措施	58
任务四 生产操作	59
一、开车过程	59
二、正常操作	62
三、异常现象及处理	63
项目三 公用工程	66
一、公用工程车间概况及特点	66
二、公用工程车间工艺概况	66
项目四 学习拓展	73
一、基本原理	73
二、变压吸附的基本过程	73
三、常用吸附剂	75
四、变压吸附的流程	75
练习与实训	76

模块二 煤炭气化过程

项目一 概述	81
一、世界煤炭气化技术的发展趋势	81
二、气化炉分类	81
项目二 固定床气化生产工艺流程的组织	85
任务一 鲁奇加压气化工艺	85

一、加压气化的发展	85
二、加压鲁奇炉的特点	86
三、加压气化炉	86
四、工艺流程叙述	91
任务二 生产操作	95
一、装置开车操作	95
二、装置正常生产中的调节	100
三、装置停车	106
四、事故处理	107
任务四 学习拓展	109
项目三 流化床气化生产工艺流程组织	111
任务一 流化床气化工艺	111
一、常压流化床气化工艺	111
二、加压流化床气化工艺	114
任务二 知识拓展	116
项目四 气流床气化生产工艺流程组织——水煤浆加压气化工艺	119
任务一 加压水煤浆气化工艺	119
一、德士古气化炉	119
二、气化装置岗位任务	121
三、气化装置管辖范围	121
四、灰水处理管辖范围	121
五、水煤浆气化反应的原理	121
六、水煤浆加压气化反应影响因素	122
七、德士古气化工艺	125
八、德士古气化工艺的主要设备	135
任务二 气化系统生产操作	141
一、开车	141
二、气化炉停车	143
三、不正常现象及处理	144
项目五 气流床气化生产工艺流程组织——SCGP 粉煤气化工艺	151
一、概述	151
二、SCGP 的主要工艺特点	151
三、工艺流程	153
四、主要工艺指标	154
项目六 气流床气化生产工艺流程组织——GSP 粉煤气化工艺	156
一、GSP 煤气化技术	156

二、GSP 煤气化技术特点	156
三、粗合成气组成	157
四、GSP 气化工艺流程	157
项目七 学习拓展	164
练习与实训	164

模块三 煤气净化过程

一、煤气中的杂质及其危害	170
二、煤气中杂质的脱除方法	170
项目一 固体颗粒的净化处理（除尘）	172
一、除尘分类	172
二、除尘设备	174
三、评价煤气除尘设备的主要指标	180
四、典型气化工艺除尘流程	181
五、生产操作	183
项目二 脱硫	188
一、煤气脱硫方法的分类	188
二、干法脱硫	190
三、湿法脱硫	200
项目三 一氧化碳的变换	215
一、一氧化碳变换的原理	215
二、一氧化碳变换反应的化学平衡	217
三、变换催化剂	220
四、一氧化碳变换的工艺流程和主要设备	226
五、生产操作	231
项目四 二氧化碳的脱除	234
一、概述	234
二、化学吸收法	236
三、物理吸收法	245
四、生产操作	265
项目五 典型焦炉煤气净化工艺流程	268
项目六 知识拓展	271
一、天然气脱硫工艺选择原则	271
二、克劳斯硫回收	271
练习与实训	274

模块四 化工产品合成过程

项目一 氨的生产	277
任务一 合成氨生产方法的选择	277
任务二 生产准备	279
一、氨的性质	279
二、氨的用途和生产现状	279
三、主要原料的工业规格要求	281
四、液氨产品质量指标要求	282
任务三 应用生产原理确定生产条件	282
一、生产原理	282
二、工艺条件的确定	284
任务四 生产工艺流程的组织	288
一、氨合成过程的基本工艺步骤	288
二、合成系统的生产工艺流程组织	290
三、氨合成塔的选用	294
任务五 正常生产操作	298
一、开车前的准备	298
二、开车操作	298
三、停车操作	298
四、正常生产操作	299
任务六 异常生产现象的判断和处理	300
一、合成氨岗位异常生产现象的判断和处理	300
二、其他异常现象的判断和处理方法	302
任务七 学习拓展	303
一、安全生产技术	303
二、“三废”治理与节能措施	305
三、产品包装及储运	306
练习与实训	307
项目二 甲醇的生产	308
任务一 生产方法选择	308
一、甲醇合成方法简介	308
二、目前工业合成甲醇的主要工艺	309
三、国内甲醇发展情况	309
四、甲醇生产方法选择	310

任务二 生产准备	311
一、甲醇性质概述	311
二、甲醇的用途	313
三、甲醇的毒性	315
四、安全措施	315
任务三 应用生产原理确定生产条件	316
一、甲醇合成原理	316
二、甲醇原料气的要求	317
三、甲醇合成催化剂	319
四、甲醇合成工艺条件	324
任务四 生产工艺流程的组织	326
一、甲醇合成流程概要	326
二、中压法甲醇合成工艺流程	330
三、甲醇合成主要设备	331
任务五 低压甲醇合成操作规程	335
一、原始开车	335
二、开停车操作和正常操作要点	339
三、事故停车程序	340
任务六 原始开车过程中的不正常现象及处理方法	340
一、开车过程中的不正常现象及处理方法	340
二、异常现象发生的原因及处理方法	342
任务七 甲醇的精馏	343
一、粗甲醇的组成	343
二、精馏工艺	344
三、精馏设备	346
四、甲醇精馏岗位操作规程	348
任务八 学习拓展	354
一、安全生产技术	354
二、“三废”治理与环境保护	356
三、产品的质量标准及包装储运	357
四、节能降耗	357
练习与实训	358
项目三 二甲醚的生产	359
任务一 生产方法选择	359
一、两步法	359
二、一步法	360

任务二 生产准备	364
一、二甲醚的性质	364
二、二甲醚的用途	364
任务三 应用生产原理确定生产条件	367
一、反应原理	367
二、甲醇气相脱水催化剂	368
三、影响甲醇转化率的因素	370
任务四 生产工艺流程的组织	371
一、工艺流程	371
二、反应器	373
任务五 正常生产操作	373
一、开车	373
二、停车	375
任务六 异常生产现象的判断与处理	376
练习与实训	377

模块五 焦化分公司事故案例

项目一 储运运行部事故案例	381
一、2009年9月13日粉碎机锤头衬板损坏事故	381
二、2009年12月16日配煤罐爬梯掉落事故报告	381
三、2010年7月19日回转减速机，交叉辊子轴承损坏事故	382
四、2010年12月2日旋转大臂断裂事故	382
五、2011年1月15日斗轮主轴断裂事故	383
六、2011年5月20日和2012年7月16日细破碎锤头衬板损坏事故	383
七、2011年6月7日粉碎机轴承烧损事故	384
八、2011年7月3日焦1#皮带未运空违规操作分析会	384
九、2011年12月18日焦3#皮带逆止器损坏事故	384
十、2012年1月21日预破碎机减速机损坏事故	385
十一、2012年2月6日和7月30日斗轮减速机输出齿套断裂事故	385
十二、2012年6月24日煤7#皮带纵向撕裂事故	386
十三、2012年7月16日煤8#皮带纵向撕裂事故	387
十四、设备可能发生的重大事故	387
项目二 炼焦运行部事故案例	389
一、2011年5月12日熄焦池烫伤人事故	389
二、2012年1月3日2#炉吸气管堵塞事故	389

三、2012年6月4日2#装煤车托煤板撞坏106#焦侧炉门框事故	390
四、2012年7月7日烧损1#拦焦车电缆	390
五、2012年9月7日挤伤事故的处理意见	391
六、2012年9月23日烧伤事故的处理意见	391
七、2012年11月6日2#推焦车撞弯推焦杆的事故	392
项目三 化产运行部事故案例	393
一、2011年9月20日硫铵事故分析报告	393
二、2012年1月5日炼焦运行部2#炉吸气管堵塞事故	393
三、2012年5月3日电捕焦油器爆炸的事故报告	394
四、2012年6月2日风机液耦事故报告	395
五、2012年7月4日液耦油温超标事故分析	396
六、2012年9月4日1号风机出口阀门掉砵事故分析	397
七、2012年9月5日由于硫铵误操作导致集气管压力高的事故分析	398
八、2012年9月10日脱硫再生塔液位调节阀掉砵导致甲醇停车事故分析	398
九、2012年9月16日洗脱泵贫油泵漏油事故分析	399
十、2012年9月22日中间溶液循环泵逆止阀破裂导致甲醇停车事故分析	399
项目四 甲醇运行部事故案例	401
一、2010年8月3日空分分馏塔事故档案	401
二、2010年9月25日空分分馏塔事故档案	402
三、2010年12月11日空分停车事故处理	403
四、2010年12月11日仪表根部着火事故分析	403
五、2010年12月16日空分液氧倒流事故分析	404
六、2010年12月12日预热炉出口着火事故分析	405
七、2010年12月13日压缩工段跳车事故分析	405
八、2011年1月20日空分工段事故报告	406
九、2011年7月23日空分工段油泵事故档案	406
十、2011年8月2日空分工段膨胀机事故档案	407
十一、2011年8月28日人身伤害案例分析	407
十二、2012年6月2日转化工段氧气放散着火事故案例	408
十三、2012年7月5日3#焦炉气压缩机一级缸磨损事故分析报告	409
十四、2012年8月21日液氧贮槽超压防爆板爆破事故报告	410
参考文献	411

绪 论

一、发展煤化工的重要意义

我国是一个富煤、贫油、少气的国家，煤炭资源作为主要生产能源的格局在未来相当一段时间内也将长期存在，同时随着我国经济的持续稳定发展，我国的能源、化工产品的需求也出现较快的增长势头。特别是“十二五”规划后，一系列能源发展计划及能源发展区域规划的出现更是带动了煤化工事业的大发展。作为煤炭资源大省，在我国煤炭资源就地转化的政策引导下，内蒙古自治区煤化工行业也迎来了前所未有的发展机遇。煤化工井喷式的发展同样也使得诸多煤化工企业普遍面临着专业技能人才缺乏的窘境。这样，能为普通高等院校创新一种理论联系实际、工学结合的专业技能人才培养模式，为企业培养适合岗位需求的专业人才提供一本实用可行的教材，是我们这本教材编写的一个初衷，当然这对我们编写组的成员来说也是一个更高的挑战。

煤化工是以煤炭为主要原料生产各种化工产品的行业总称。根据生产工艺与产品不同，主要包括炼焦、气化和液化三条产品链，其产品链情况见图0-1。

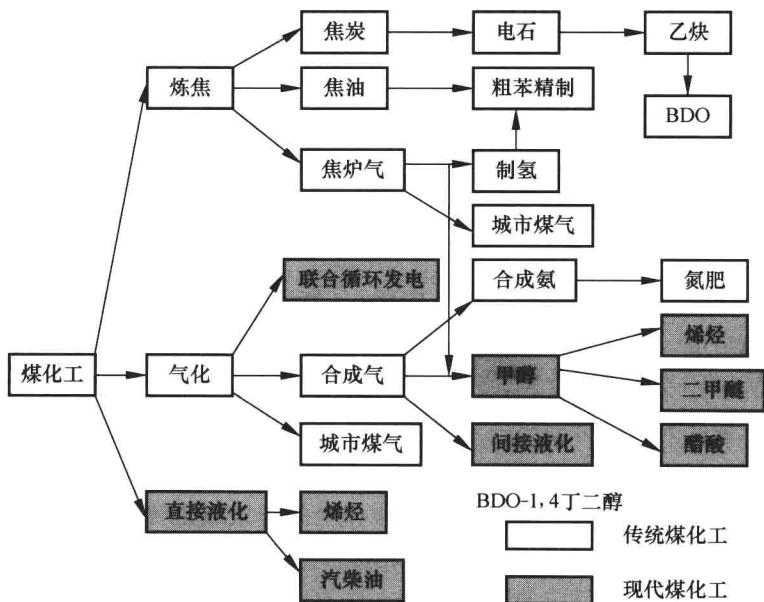


图0-1 煤化工产品链

煤焦化及下游电石、乙炔的生产，煤气化中的合成氨等都属于传统煤化工产业，而煤气化制醇醚燃料、甲醇制烯烃、煤液化则属现代煤化工领域，是新兴煤化工发展的主要方向，也是煤炭转化生产更高附加值产品的主要方式。

二、煤炭气化技术的发展状况

早期煤炭气化是采用固定床常压间歇水煤气法制备合成氨原料气，采用这种工艺存在煤资源有效利用率低、能耗高、生产规模小、环境污染严重的问题，传统煤气化方式显然已经不能满足新兴煤化工产业发展的要求。同时，随着我国化学工业的发展，出现了如合成甲醇、F-T合成等现代煤化工产业及以生产更高附加值产品为目标的新型工艺，其目前所采用的先进煤炭气化技术如下。

1. 固定床气化

鲁奇加压连续气化分为固态排渣和液态排渣两种气化炉型，实现了连续块煤气化技术，由于原料适用性强，单炉生产能力较大，目前在国内外得到广泛应用。固态排渣气化炉压力为2.5~4.0 MPa，气化反应温度为800℃~900℃，固态排渣、煤气可作为城市煤气、人工天然气、合成气使用。其缺点是气化炉结构复杂，炉内设有破黏装置、煤分布器和炉箬等转动设备，制造和维修费用大；入炉煤必须是块煤，原料来源受一定限制；出炉煤气中含焦油、酚等，污水处理和煤气净化工艺复杂。液态排渣气化炉特点是气化温度高，灰渣成熔融态排出，碳转化率高，合成气质量较好，煤气化产生废水量小并且处理难度小，单炉生产能力同比提高3~5倍，是一种有发展前途的气化炉。

2. 流化床气化

与固定床气化相比，流化床气化由于生产强度较固定床大，具有煤种适应性强和生产能力大等特点，在近几十年里得到了迅速的发展。已出现的技术有温克勒（Winkler）、灰熔聚（U-GAS和ICC）、循环流化床（CFB）和加压流化床（PFB）等。

循环流化床主要由上升管（即反应器）、气固分离器、回料立管和返料机构等几大部分组成。吹入炉内空气流携带颗粒物充满整个燃烧空间而无确定的床面，高温的燃烧气体携带着颗粒物升到炉顶进入旋风分离器，粒子被旋转的气流分离沉降于炉底入口，再循环进入主燃烧室。循环流化床气化炉操作气速范围在鼓泡流化床和气流床反应器之间，具有较大的滑移速度，使其气固之间的传热和传质速率提高。它综合了并流输送反应器和全混釜式鼓泡流化床反应器的优点，整个反应器系统的温度均匀，可使煤气化操作温度达到最大临界温度即灰熔点温度，从而有利于煤气化反应的快速进行。目前世界上已有60多个工厂采用，设计和在建的还有30多个工厂，在世界市场处于领先地位。

循环流化床气化炉基本是常压操作,若以煤为原料生产合成气,每千克煤消耗气化剂水蒸气 1.2 kg,氧气 0.4 kg,可生产煤气 1.9 ~ 2.0 m³。煤气成分中 CO 和 H₂ 的体积分数 > 75%, CH₄ 的体积分数为 2.5% 左右, CO₂ 的体积分数为 15%, 低于德士古气化炉和鲁奇 MK 型炉煤气中 CO₂ 含量,有利于合成氨的生产。

加压流化床是对常压流化床的改进。压力的提高,提高了反应速率,缩小了气化炉的体积,大大降低了炉内的表观流速,减轻了炉内磨损,同时可用的床层压降较高,允许深层运行。高流速和高床深使气体在床内的停留时间大大延长,从而提高了气化效率。

灰熔聚流化床粉煤气化技术:以碎煤为原料 (< 6 mm),以空气和水蒸气为气化剂,在适当的煤粒度和气速下,使床层中粉煤沸腾,床中物料强烈返混,气固两相充分混合,床中温度均一,在部分燃烧产生的高温 (950 ℃ ~ 1 100 ℃) 下进行煤的气化。煤在床内实现破黏、脱挥发分、气化、灰团聚及分离、焦油及酚类的裂解等过程。

流化床反应器的混合特性有利于传热、传质及粉状原料的使用,但当应用于煤的气化过程时,受煤的气化反应速率和宽筛分物料气固流态化特性等因素影响,炉内的强烈混合状态导致了炉顶带出飞灰(上吐)和炉底排渣(下泻)中的炭损失较高。常规流化床为降低排渣的炭含量,必须保持床层物料的低炭灰比;而在这种高灰床料工况下,为维持稳定的不结渣操作,不得不采用较低的操作温度 (< 950 ℃),这又决定了传统流化床气化炉只适用于高活性的褐煤或次烟煤。灰熔聚流化床粉煤气化工艺根据射流原理,设计了独特的气体分布器和灰团聚分离装置,中心射流形成床内局部高温区 (1 200 ℃ ~ 1 300 ℃),促使灰渣团聚成球,借助密度的差异,达到灰团与半焦的分离,在非结渣情况下连续有选择地排出低炭含量的灰渣,提高了床内炭含量和操作温度 (达 1 100 ℃),从而使其使用煤种拓宽到低活性的烟煤乃至无烟煤。

该技术可用于生产燃料气、合成气和联合循环发电,特别适用于中小氮肥厂替代间歇式固定床气化炉,以烟煤替代无烟煤生产合成氨原料气,可以使合成氨成本降低 15% ~ 20%,具有广阔的发展前景。

U-GAS 灰熔聚于 1994 年 11 月在上海焦化厂 (120 t/d) 开车,长期运转不正常,于 2002 年初停运。中科院山西煤化所开发的 ICC 灰熔聚气化炉,已通过工业示范装置试运行阶段,在多家合成氨厂开始推广使用。循环流化床和加压流化床可以生产燃料气,但国际上尚无生产合成气先例。Winkler 已有关于合成气生产案例,但对粒度、煤种要求较为严格,煤气中甲烷含量较高 (体积分数为 0.7% ~ 2.5%),而且设备生产强度较低,已不代表发展方向。

3. 气流床气化

流化床气化是一种并流式气化,粒度、含硫、含灰都具有较大的兼容性,国际上已有多家单系列、大容量加压厂在运作,其清洁、高效代表着当今技术发展

潮流。按进料的状态分有干粉进料和水煤浆进料两种。干粉进料的主要有 K-T (Koppres - Totzek) 炉、Shell - Koppres 炉、Shell 炉、Prenflo 炉、GSP 炉和 ABB - CE 炉, 水煤浆进料的主要有德士古 (Texaco) 气化炉和 Destec 炉。

(1) 德士古 (Texaco) 气化炉

美国 Texaco 开发的水煤浆气化工艺是将煤加水磨成质量浓度为 60% ~ 65% 的水煤浆, 用纯氧作气化剂, 在高温高压下进行气化反应, 气化压力在 3.0 ~ 8.5 MPa, 气化温度为 1 400 ℃, 液态排渣, 煤气成分 CO 和 H₂ 为 80% 左右, 不含油、酚等有机物质, 对环境无污染, 碳转化率为 96% ~ 99%, 气化强度大, 炉子结构简单, 能耗低, 运转率高, 而且煤适应范围较宽。

从已投产的水煤浆加压气化装置的运行情况看, 主要优点: 水煤浆制备输送、计量控制简单、安全、可靠; 设备国产化率高, 投资省。由于工程设计和操作经验的不完善, 还没有达到长期、高负荷、稳定运行的最佳状态, 存在的问题还较多, 主要缺点: 喷嘴寿命短、激冷环和耐火砖寿命仅一年; 因气化煤浆中的水要耗去煤的 8%, 比干粉为原料氧耗高 12% ~ 20%, 所以效率稍低。

(2) Destec (Global E - GAS) 炉

该炉型适合于生产燃料气而不适合于生产合成气, 目前美国已建设了 2 套商业装置。气化炉分水平段和垂直段: 水平段有 2 个喷嘴成 180 ℃ 对喷, 借助撞击流以强化混合, 克服了德士古炉速度分布的缺陷, 最高反应温度约 1 400 ℃; 在垂直段中, 为提高冷煤气效率, 采用总煤浆量的 10% ~ 20% 进行冷激, 此处的反应温度约 1 040 ℃, 出口煤气进火管锅炉回收热量, 熔渣自气化炉水平段中部流下, 经水冷激固化, 形成渣水浆排出。

Destec 气化技术的缺点为: 二次水煤浆停留时间短, 碳转化率较低; 为了分离一次煤气中携带灰渣与二次煤浆的灰渣与残炭, 设有一个分离器, 加大了设备投资。

(3) Shell 气化炉

20 世纪 50 年代初 Shell 开发渣油气化成功, 在此基础上, 进行了煤气化的实验。Shell 气化炉壳体直径约 4.5 m, 炉子下部沿圆周均匀布置在同一水面上 4 个喷嘴。炉衬为水冷壁, 炉壳与水冷管排之间有约 0.5 m 间隙, 作安装、检修用。

煤气携带煤灰总量的 20% ~ 30% 沿气化炉轴线向上运动, 在接近炉顶处被循环煤气激冷, 温度至 900 ℃, 熔渣凝固与煤气分离。煤灰总量的 70% ~ 80% 以熔态流入气化炉底部, 激冷凝固, 自炉底排出。

粉煤由 N₂ 携带, 密相输送进入喷嘴。工艺氧 (纯度为 95%) 与蒸汽也由喷嘴进入, 其压力为 4.3 ~ 4.5 MPa, 气化温度为 1 500 ℃ ~ 1 700 ℃, 气化压力为 4.0 MPa。冷煤气效率为 79% ~ 81%, 原料煤热值的 13% 通过锅炉转化为蒸汽, 6% 由设备和出冷却器的煤气显热损失于大气和冷却水中。