



普通高等教育“十二五”规划教材

煤制甲醇半实物 仿真实训教程



王训道 主 编
宁卓远 高 健 副主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)



普通高等教育“十三五”规划教材

煤制甲醇半实物 仿真实训教程



主 编 王 强
副 编 王 强 王 强 王 强

中国石化出版社

CHINA PETROLEUM & CHEMICAL PRESS

普通高等教育“十二五”规划教材

煤制甲醇半实物仿真实训教程

王训遒 主 编
宁卓远 高 健 副主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书针对流程级煤气化制甲醇仿真实训装置,按照生产流程顺序分别介绍了煤气化工段、煤气变换工段、煤气净化工段、甲醇合成工段和甲醇精制工段(分别为第一章~第五章)的背景知识、工艺原理与主要设备,并概述了岗位操作、仿真界面、主要阀门与仪表的功能等内容。此外,还介绍了蒸汽-水换热系统(第六章)和在线学习系统(第七章)。附录中列出了课程教学大纲和授课的PPT讲义。

本书可作为高等院校化工及相关专业的仿真实训教材,也可供高职高专、中等职业学校教学参考,还可作为相关企业技术人员和生产操作人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

煤制甲醇半实物仿真实训教程 / 王训道主编. —北京: 中国石化出版社, 2015.1

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5114-3130-1

I. ①煤… II. ①王… III. ①煤气化-甲醇-化工生产-半实物仿真系统-高等学校-教材 IV. ①TQ223.12

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第293574号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街58号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092毫米 16开本 11.75印张 229千字

2015年1月第1版 2015年1月第1次印刷

定价:30.00元



前言

由于化工生产所涉及物料多为易燃、易爆、有毒物质，且许多生产过程都是连续的，因此学生在实习时一般只能“看”不能“动”，难以建立化工流程的概念，提高工程实践能力。为了弥补实习的不足，郑州大学联合天津睿智天成有限公司、北京东方仿真有限公司共同开发了“半实物仿真工厂——流程级煤制甲醇仿真实训装置”。该系统具有多专业共享、工厂情景化、操作实际化、故障模拟化、控制网络化的特点，操作环境与实际生产的中控室相似，操作参数、故障设置、出现故障时参数的变化及处理方法均来源于工厂实际。具有贴近真实生产操作系统的界面，有很强的交互性、重复性等特点。学生在实训课程中可认识各种输送机械、显示仪表，体验各种阀门的使用方法，按照操作规程，完成单工段或全流程冷态开车、停车及事故处理。该装置的运行使用在国内本科高校尚属首次，作为工程专业课程设置和教学改革创新环节，受到教育部工程专业认证专家组一致好评，专家认为这是郑州大学化工专业实践环节的亮点。

该装置建成后，为充分利用仿真实训装置，提高教学效果，相关任课教师在总结三年来实训课程教学经验的基础上，对授课内容和相关知识进行了系统总结和归纳，编写了本教材。教材以工段为单位设置章节，第一章～第五章分别是煤气化工段、煤气变换工段、煤气净化工段、甲醇合成工段和甲醇精制工段。对每个工段，在介绍相关背景知识、工艺原理与主要设备的基础上，对岗位操作，包括冷态开车和正常停车的步骤、仿真界面、主要阀门与仪表的功能等也进行了详细的说明。此外，第六章蒸汽-水换热系统，是一套热态系统，主要介绍了其流程和原理，第七章是在线学习系统简介。课程教学大纲和授课的PPT讲义列在附录中。

本教材第一章、第二章由高健编写，第三章、第七章由宁卓远编写，第四章～第六章由王训道编写。全书由王训道统稿，陈卫航教授主审。

本教材在编写过程中，得到中国石化出版社、郑州大学化工与能源学院、天津睿智天成有限公司和北京东方仿真有限公司的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，错误和疏漏之处在所难免，敬请广大读者和同行批评指正。

编 者

2014年9月

801

目 录

CONTENTS

第一章 煤气化工段..... 1

第一节 概述..... 2

第二节 工艺原理与主要设备..... 12

第三节 岗位操作..... 18

第四节 仿真界面..... 25

第五节 主要阀门与仪表..... 29

第二章 煤气变换工段.....31

第一节 概述..... 32

第二节 工艺原理与主要设备..... 32

第三节 岗位操作..... 41

第四节 仿真界面..... 46

第五节 主要控制仪表..... 50

第三章 煤气净化工段.....51

第一节 概 述..... 52

第二节 工艺原理与主要设备..... 58

第三节 岗位操作..... 68

第四节 仿真界面..... 78

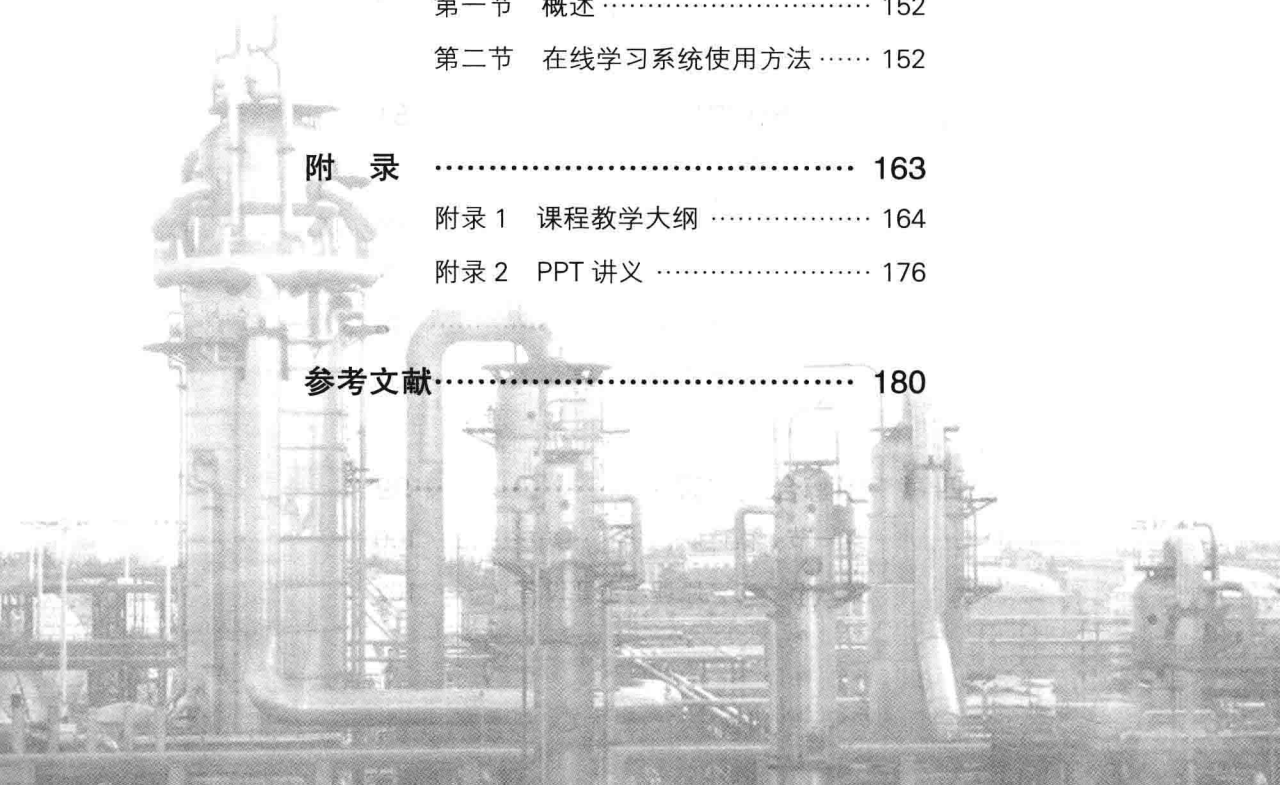
第五节 主要阀门与仪表..... 91

第四章 甲醇合成工段.....99

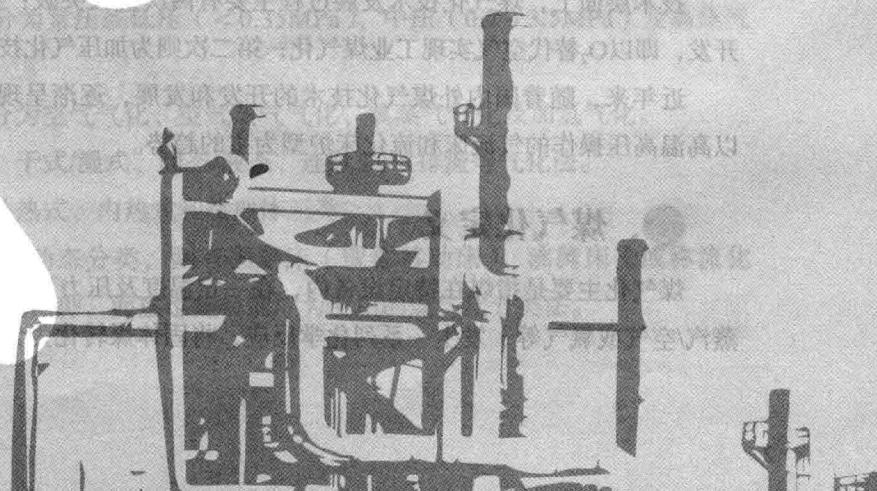
第一节 概述..... 100

第二节 工艺原理与主要设备..... 102

第三节	岗位操作	108
第四节	仿真界面	112
第五节	主要阀门与仪表	116
第五章	甲醇精制工段.....	119
第一节	概述	120
第二节	工艺原理与主要设备	121
第三节	岗位操作	128
第四节	仿真界面	133
第五节	主要阀门与仪表	136
第六章	蒸汽 - 水换热系统	141
第一节	系统简介	142
第二节	系统操作说明	143
第三节	实验原理及要求	148
第七章	在线学习系统简介.....	151
第一节	概述	152
第二节	在线学习系统使用方法	152
附 录		163
附录 1	课程教学大纲	164
附录 2	PPT 讲义	176
参考文献		180



第一章 煤气化工段



第一节 概述

随着原油资源的日益匮乏,如何满足化学工业高速发展的需求以及保障国家能源安全,成为各国必须面临的严峻考验。因此,根据自身的实际情况各国均想方设法来缓解甚至解决因原油资源不足带来的负面影响。由于我国煤炭储量相对较大,因此以煤代替石油进行相关化学品生产是一条切实可行的路线。

甲醇作为一种化工原料和洁净燃料在现代化工工业中的地位十分重要。以大型煤制甲醇,进而加工为烯烃和替代燃料,是我国目前化工产业的主要发展方向之一。

煤制甲醇生产工艺中,煤气化技术是关键性技术。作为煤化工产业的龙头,煤气化技术水平的高低直接决定煤基合成油、合成化学品等产品的质量优劣。

煤气化是煤转化技术的最重要部分,其发展历史较为悠久,早在发电之前就已出现相关研究。20世纪20年代,研制出常压固定层煤气发生炉,随后30~50年代间,用于煤气化的加压固定床鲁奇炉、常压温克勒沸腾炉和常压气流床K-T炉等被研制出来并相继实现了工业化,这批煤气化炉型普遍被视为第一代煤气化技术。

第二代煤气化技术开发始于20世纪60年代,由于当时国际上对石油和天然气资源开采技术水平不断提高和完善,使得制造合成气的投资和生产成本大大降低,一时间人们对于以天然气和石油资源为原料进而制取合成气的研究和应用趋之若鹜,这也导致煤气化新技术开发备受冷遇。但在全球出现石油危机后(20世纪70年代),煤气化新技术开发工作又得到迅猛发展,开发出的大批煤气化新技术实现了工业化生产应用,其中代表性的炉型有德士古(Texaco)加压机煤浆气化炉、熔渣鲁奇炉(Lurgi)、高温温克勒炉(ETIW)及干粉煤加压机气化炉等。

第二代煤气化技术的主要特点是:提高气化炉的操作压力和温度,提高单炉生产能力,扩大原料煤的品种和粒度使用范围,改善生产的技术经济指标,提高环境质量满足环保要求。

技术层面上,煤气化技术发展过程主要有两次重大突破:第一次为制氧工业装置的开发,即以 O_2 替代空气实现工业煤气化;第二次则为加压机技术的开发及应用。

近年来,随着国内外煤气化技术的开发和发展,逐渐呈现以煤粉或水煤浆为原料、以高温高压操作的气流床和流化床炉型为主的趋势。

一、煤气化定义

煤气化主要是指煤在特定设备内,在一定温度及压力下使煤中有机质与气化剂(如蒸汽/空气或氧气等)发生一系列化学反应,将固体煤转化为含有一氧化碳(CO)、氢气

(H_2)、甲烷(CH_4)等可燃气体以及二氧化碳(CO_2)、氮气(N_2)等非可燃气体的过程。煤气化主要通过煤气发生炉即气化炉进行转化而实现。这其中,经气化得到的可燃气体被称为煤气。

煤气组成随煤质和气化剂类型的不同会有所区别,但主要成分并不会发生明显变化,一般包括 CO 、 CO_2 、 H_2 、 CH_4 等。

二、煤气分类及组成

根据所采用的气化剂和煤气成分不同(煤气的组成取决于反应条件及反应深度),煤气可分为以下四类:

(1) 以空气或富氧空气作为气化剂的空气煤气,主要成分为: CO_2 、 N_2 、 CO 、 H_2 。

(2) 以空气及蒸汽作为气化剂的混合煤气,也被称为发生炉煤气;两者之间的比例要保持在一定范围内,通常以满足自身热平衡为原则,即以反应系统放出的热量与反应系统需要吸收的热量相当为宜。

(3) 以水蒸气和氧气作为气化剂的水煤气。水煤气是以水蒸气作为气化剂的煤气,因燃烧火焰呈蓝色,故也常被称为蓝水煤气。其主要成分包含 CO 和 H_2 (含量在85%以上),同时也会含有少量 CO_2 、 N_2 等杂质。

(4) 以蒸汽及空气作为气化剂的半水煤气,也可是空气煤气和水煤气的混合气。一般比例范围控制在 $n(H_2):n(N_2)=3:1$ 或 $n(CO+H_2):n(N_2)=(3.1 \sim 3.2):1$ 为宜, n 为物质的量。

三、煤气化方法分类

煤气化方法种类繁多,人们曾将它们分别归类,但因出发点不同,故分类方法有所不同。

按原料形态分类,包含固体燃料气化、液体燃料气化、气态燃料气化和固液混合燃料气化。

按入炉煤粒度大小分类,可分成块煤气化($6 \sim 100mm$)、小粒煤气化($0.5 \sim 6mm$)、粉煤气化($<0.1mm$)、油煤浆气化和水煤浆气化。

按气化压力分类,分为常压或低压($<0.35MPa$)、中压($0.7 \sim 3.5MPa$)及高压气化($>7.0MPa$)。

按气化介质分类,分为空气气化、空气蒸气气化、氧蒸气气化及加氢气化。

按排渣方式,则有:干式/湿式、固态/液态、连续/间歇排渣等气化法。

按供热方式则分成外热式、内热式和热载体三类。

按入炉煤在炉中过程动态分类,则有固定床(或称移动床)、沸腾床(或称流化床)、气流床及熔渣池气化四种,而这也是目前广为使用的煤气化分类法。

四、煤气化过程简述

从节能及效率方面考虑,一般煤气化技术多采用内热(自热)法,即气化(吸热)过程所需热量由燃烧(氧化)部分煤(碳)过程产生的热量所提供。气化炉中的气化反应所包含反应类别较多。由于煤的结构很复杂,其中含有碳、氢、氧和其他元素,因而在讨论气化反应时,一般只考虑煤中的主要元素碳,故人为地将其反应过程简单地分为:氧化(放热)反应、还原(吸热)反应、甲烷生成(裂解)反应和水煤气平衡反应等。

1. 氧化(放热)反应



上述反应均为放热反应。

2. 还原(吸热)反应



其中,式(1-4)称为 CO_2 还原反应,该反应属于较强吸热反应,需在高温条件下才能进行;式(1-5)、式(1-6)是制造水煤气的主要反应,也称为水蒸气分解反应。反应生成的 CO 可进一步和水蒸气发生如下反应:



该反应称为 CO 变换反应,也称为均相水煤气反应或水煤气平衡反应,为放热反应。在有关工艺过程中,为了把 CO 全部或部分转化为 H_2 ,往往利用这个反应来加以实现。

3. 甲烷生成(裂解)反应

煤气中的甲烷,一部分由煤中挥发物经热分解而得到,另一部分则是气化炉内的碳与煤气中的氢气反应以及气体产物之间的反应的结果。



上述甲烷生成反应,均属于放热反应类型。

五、煤中其他元素与气化剂的反应

煤中还含有少量单质氮(N)和硫(S),它们与气化剂 O_2 、 H_2O 、 H_2 以及反应中生成的气态反应物之间也可能要进行如下反应:



由此会在煤气中存在一批含硫和含氮化合物，而且这些产物均有可能产生腐蚀和污染等负面影响，在气体净化时必须除去。其中含硫化合物主要成分是硫化氢，其次为硫化氧化碳（COS）、二硫化碳（CS₂）以及其他含硫化合物。在含氮化合物中，氨（NH₃）为主要产物，氮氧化物（NO_x）和氢氰酸（HCN）为次要产物。但是，上述这几种反应对气化反应化学平衡的影响作用并不重要。

前面所列各气化反应是煤气化的最基本化学反应，不同气化过程的化学反应均是由上述全部或部分反应以串连或平行的方式经组合而成。

六、煤气化主要技术方法分类

煤气化时，必须具备三个条件，即气化炉、气化剂、供给热量，三者缺一不可。世界上不存在适用于任何原料和产品的煤气化技术，因此，对于不同的原料和产品就需要根据具体情况而采用与之相适应的煤气化技术方法。若按气化炉内煤料与气化剂的接触方式来区分，目前则主要有：

1. 固定床（移动床）气化

气化过程中，煤从气化炉顶部加入，气化剂则在气化炉底部加入，煤料与气化剂逆流操作，相对于气体的上升速度，煤料的下降速度则很慢，可视为固定不动，故称之为固定床气化，但由于煤料实际上是下降的，因此也被称为移动床气化。

该气化技术具体可分为常压和加压两种。对于大型煤制甲醇设备来说，虽常压固定床投资低，但要求使用块煤，导致碳转化率低、能耗高、气化强度不够、污水含焦油和酚、处理复杂。而加压法则是对常压方法的改进，通常气化剂选用氧气（O₂）和水蒸气，这使得对煤种类的选择适应范围更为宽化。

常见固定床气化技术包括：

1) 常压固定床间歇式无烟煤（或焦炭）气化技术

目前该技术在氮肥产业中应用较多，其特点是采用常压固定床空气、蒸汽间歇制气，使用25~75mm粒度的块状无烟煤或焦炭作为原料；但实际生产过程中，此技术对原料利用率低、单耗高、操作繁杂、对大气污染严重，故该工艺也将逐渐被淘汰。

2) 常压固定床无烟煤（或焦炭）富氧连续气化技术

其特点在于以富氧为气化剂、连续气化、采用标准为8~10mm粒度的无烟煤或焦炭为原料；与上一种方法相比，进厂原料利用率有所提高，对大气污染轻、设备维修工作量小、维修费用低，适用于有无烟煤的地方，该技术目前我国大部分小化肥企业均有采用。

3) 鲁奇固定床煤加压气化技术（Lurgi炉）

该技术多采用干法排灰，通过氧-蒸汽连续鼓风，主要用于气化褐煤、不黏结性或弱黏结性的煤。该技术对煤质要求较高，即热稳定性高、化学活性好、灰熔点高，因此，适用于生产城市煤气或合成气。产生的煤气中其焦油、碳氢化合物含量约1%左右，甲烷含量约10%左右。同时，因为其气化强度高，导致粗煤气中甲烷含量较高，一般不宜用于合成气的生产，并且净化系统较复杂，对焦油、污水等处理很困难。其工艺流程见图1-1。

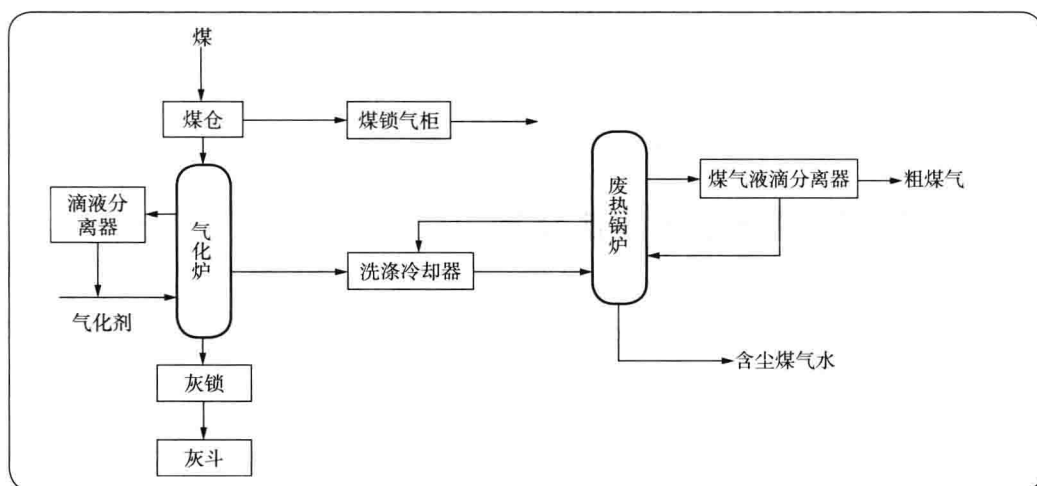


图1-1 鲁奇煤气化工艺流程

2. 流化床气化

一般选择粒度为0~10mm的小颗粒煤为气化原料，为让其在气化炉内能够保持悬浮分散在垂直上升的气流中，则气化反应中的煤粒要始终处于沸腾状态，从而可以保证煤料层内温度相对均一、易于控制，提高气化效率。性能较好的流化床气化炉，都会将其设计成将炉膛内的物料和飞灰返回炉膛再燃烧。该气化技术具有对煤种适应性强，燃烧效率较高，环保效果较好的优点。

20世纪70年代开始，我国陆续引进了由美国能源部所开发的U-Gas炉。还开发出常压灰熔聚炉和FM1.6型（1~13mm）的流化床气化炉。其中，灰熔聚流化床有较好的发展前景。目前，国内仅处于试验阶段，也积累了一定的生产经验；而在大型生产方面的经验还很不足，若在常压或接近常压下进行生产，生产强度低、能耗高、气化温度略低、碳转化率只有88%~90%，即使投资成本相对较低，但要在大型甲醇装置中使用，

还是会受到一定限制。

常见流化床气化技术主要包括：

1) 灰熔聚煤气化技术

该技术是经中国科学院山西煤炭化学研究所研制开发，属流化床气化炉。其特点是煤种适应范围宽（可气化褐煤、低化学活性的烟煤和无烟煤、石油焦等），煤灰不发生熔融，仅使灰渣熔聚成球状或块状灰渣排出。该工艺投资比较少，生产成本低。

其缺点是操作压力偏低，在环境污染及飞灰堆存和综合利用方面还需进一步解决完善。目前仅局限于中小型氮肥厂利用就地或就近的煤炭资源以改变原料路线。

2) 恩德粉煤气化技术

该技术是对温克勒沸腾床煤气化炉的改进，也属于流化床气化炉，适用于气化褐煤和长焰煤，同时要求原料煤不黏结或弱黏结性，灰分 $<25\% \sim 30\%$ ，灰熔点高、低温化学活性好。气化炉内的床层中部温度在 $1000 \sim 1050^{\circ}\text{C}$ 。目前，气化炉的产气量最大为 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ 水煤气。

其缺点是气化压力为常压，单炉气化能力低，产品气中 CH_4 含量很高（ $1.5\% \sim 2.0\%$ ），飞灰量大、在环境保护及综合利用方面还存在较大问题亟待解决。此技术适合于附近有褐煤资源的中小型氮肥厂来改变原料路线。

3. 气流床气化

该技术一般采用并流方式进行气化，即固体燃料在气化的同时，由气化剂将煤粉或煤浆并流夹带进粒度气化炉内，进行气化和燃烧。由于煤料在气化炉中的停留时间很短，因此，这就要求燃料与气化剂之间的气化反应要极快完成。为实现这一目的，通常是保证气化炉内能够维持较高温度，提供较高反应推动力。这种情况下，多选择氧气和一定量的水或水蒸气作为气化剂，而且煤料粒度要严格控制在 $<0.1\text{mm}$ ，以满足煤料在短时间内可以充分燃烧的需要。由于并流气化是高温气化过程（中心火焰温度高于 2000°C ），故灰渣多以液态形式排出气化炉。与固定床相比较，虽然流化床有较多优点，但往往气化温度不能更高，而且对煤的反应性要求较高。针对流化床气化存在的这些不足，气流床则进行了改进和提高，也是目前更为先进的气化技术。

气流床气化具有以下特点：

（1）采用粒度 $<0.1\text{mm}$ 的粉煤；

（2）气化温度一般为 $1400 \sim 1600^{\circ}\text{C}$ ，对环保有利，无酚、焦油，有机硫也很少，且硫形态单一；

（3）气化压力可达 $3.5 \sim 6.5\text{MPa}$ ，大大节省合成气的压缩功；

（4）碳转化率高，均大于 95% ，能耗低；

（5）气化强度大。但气流床气化的投资成本很高，特别是Shell粉煤气化。由此可见，若进行的是大型甲醇煤气化生产则选用气流床进行气化为宜。

常见气流床气化技术主要包括：

1) GE水煤浆加压气化技术

该技术也被称为德士古 (Texaco) 水煤浆加压气化, 最早由美国德士古石油公司研制并于1945年实现中试; 该技术及相关业务在2004年被美国GE公司所收购, 故又称为GE水煤浆加压气化技术。该技术首次提出水煤浆的概念, 替代传统的煤粉原料, 使得原料输运更加简单、安全可靠且节约投资成本。

Texaco水煤浆加压气化工工艺简称为TCGP, 包含制备煤浆、排灰渣、气化水煤浆等技术过程, 其中的生产核心和关键技术主要集中在气化炉部分。气化炉主要结构通常采用的是单喷嘴下喷式的进料方式, 耐火砖衬里; 气化反应后的气体经水激冷方式进行净化 and 除尘处理, 同时也起到增湿作用, 无需价格昂贵的高温高压飞灰过滤器, 投资省。

TCGP工艺过程是水煤浆与部分氧气间的反应, 涉及到多个相关联的反应过程, 是一种非催化的部分氧化反应。该反应是在高温、高压、非均相等条件下进行的, 虽然对气化炉的研究在不断深入, 但到目前为止对于气化炉的内部反应过程仍存在很多疑问, 亟待解决。因此, 工业生产过程中的碳氧比、出口工艺气的水气比、气化炉内的物料停留时间、急冷室的控制以及灰水系统的pH值调节等均可能会对气化炉的内部反应效果产生较大影响。

该工艺在美国、日本、德国等均建有多套生产装置, 单炉生产能力较大。目前, 国际上已建成投产6套装置15台气化炉, 气化炉的最大投煤量可达到2000t/d, 而国内已建成并投产的装置也很多, 其气化炉的生产能力最大为1000t/d。设计中气化炉的生产能力最大为1600t/d。气化系统不需要外供热量及输送气化用原料煤的 N_2 或 CO_2 , 气化系统总热效率高达94%~96%, 高于Shell干粉煤气化热效率(91%~93%)和GSP干粉煤气化热效率(88%~92%)。已建成投产的装置最终产品有合成氨、甲醇、醋酸、醋酐、氢气、CO、燃料气、联合循环发电, 各装置建成投产后, 一直连续稳定长周期运行。

目前行业中普遍达成的共识是, 在所用煤质合适的情况下, 应优先考虑选择水煤浆气化技术。但这是基于所用煤质具有较高使用品质的前提下(灰熔点 $<1250^{\circ}C$)。该技术的不足则是气化效率和碳转化率相对较低, 比氧耗略高, 总能耗略高, 气化炉耐火砖使用寿命较短, 一般不到2年; 气化炉烧嘴使用寿命较短。

2) 多元料浆加压气化技术

该技术属于湿法气流床加压气化技术, 是在添加助剂(如分散剂、稳定剂、pH值调节剂等)条件下将固体或液体含碳物质(如煤、沥青、石油焦、煤液化残渣等)与流动相(如水、废液、废水等)混合而配制出的料浆, 以增加入炉料浆的含碳有效反应物浓度, 经与氧气进行部分氧化反应, 可制得CO和 H_2 为主的合成气。该方法可有效减少生产单位量CO与 H_2 所需氧气及原煤的消耗量, 降低生产成本, 从而提高经济效益。

西北化工研究院已开发出具有自主知识产权的这一煤气化技术。其是以重油(或原

油)与水、乳化剂混合制备出油水乳化剂,再与原煤共混在磨机中磨制成料浆;典型的该多元料浆组成为含煤60%~65%,油料10%~15%,水20%~30%。

多元料浆加压气化技术与GE水煤浆加压气化技术之间的区别主要集中在气化原料上,其关键在于每一个加入的“元”对料浆性能的影响。

3) 多喷嘴(四烧嘴)水煤浆加压气化技术

多喷嘴(四烧嘴)水煤浆加压气化技术是对GE水煤浆加压气化技术的改进,集中表现在:煤浆由隔膜泵加压,经由气化炉中上部同一水平上对称分布的四个喷嘴,与氧气一起喷射入气化炉进行气化反应。气化时,气化炉内同时存在颗粒的湍流弥散、对流加热、辐射加热、煤浆蒸发、煤料中挥发物的析出、气相反应、煤焦多相反应、灰渣的形成等。反应是在高温条件下进行,气化速率由传递过程控制,通过喷嘴的配置以及气化炉结构和尺寸的优化,以利于形成撞击流来强化混合并延长停留时间,使得碳的转化程度更加完全。

该技术由华东理工大学、兖矿鲁南化肥厂、中国天辰化学工程公司共同开发,并已实现工业化生产。2005年,山东德州华鲁恒生化工股份有限公司建设了1套气化压力为6.5MPa、处理煤750t/d的气化炉系统,至今运转良好;山东滕州兖矿国泰化工有限公司也曾建设有2套气化压力为4.0MPa、处理煤1150t/d的气化炉系统,至今也仍在运行。

4) Shell干燥粉加压气化技术

Shell煤气化技术是世界上较为先进的第二代煤气化工艺之一。该气化技术是在高温、加压条件下进行的。一般选用褐煤、烟煤、无烟煤、石油焦及高灰熔点的煤作为气化的原料煤。经干燥、磨细后的干燥粉作为入炉的粉煤。干燥粉与氧气、蒸气在加压条件下并流进入到气化炉内,并在极短时间内完成升温、挥发组分脱除、裂解、燃烧及转化等一系列物理和化学过程。由于气化炉内的温度很高,这使得在有氧存在的情况下,碳、挥发组分及部分反应产物(CO 、 H_2)主要发生的是燃烧反应过程;而当氧被消耗掉后多发生的是碳的转化反应,即进入到气化反应阶段,可最终得到以 CO 和 H_2 为主的合成气(见表1-1)。

表1-1 典型Shell气化技术得到的煤气组分分布

气体成分	CO	H_2	CO_2	CH_4	N_2+Ar	$\text{H}_2\text{S}+\text{COS}$
体积分数/(%) (干)	67.10	23.84	3.84	微量	5.22	$1700\text{mg}/\text{m}^3$

Shell煤气化工艺流程如图1-2所示,原煤和助熔剂经磨煤机混磨(粒径 $<100\mu\text{m}$ 的占90%,质量分数)后,通过热风干燥、过滤,制得干燥的煤粉原料。在锁斗装置中,煤粉由加压气体(4.2MPa)输送进烧嘴中,并与预热的氧气、中压过热蒸汽一起进入气化炉内,在 $1500\sim 1600^\circ\text{C}$ 、3.5MPa条件下,发生燃烧反应。气化炉顶部排除的气体先经冷煤气激冷至 900°C ,后经换热器及合成气冷却器回收热量降至 350°C ,再通过过滤

处理去除掉90%的飞灰。收集到的气体，一部分作为激冷气返回至气化炉的气体返回室中，另一部分则由高压工艺水脱除掉剩余的灰渣并被冷却至150~300℃后去净化装置。

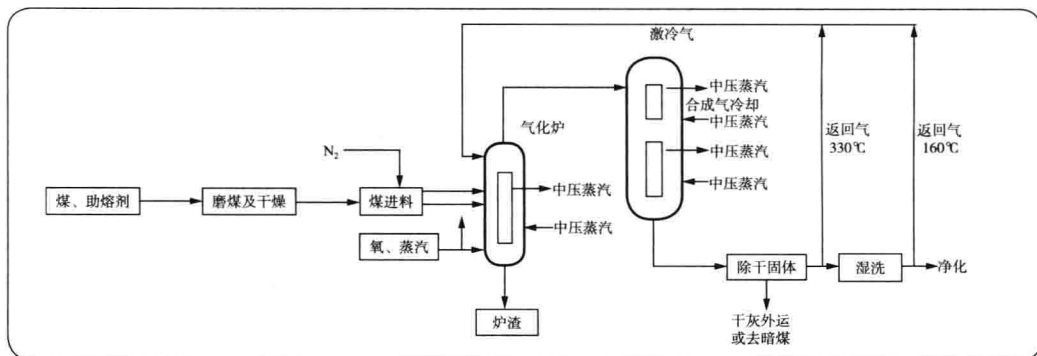


图1-2 Shell煤气化工艺流程图

气化炉内产生的熔渣经底部排出回收后，作为商品出售；收集到的飞灰经气提塔气体冷却至100℃后，一部分返回磨煤机，一部分则作为商品出售；气化炉膜式壁内及换热器中的水由泵提供动力并循环使用，产生的过热蒸汽则排入蒸汽包，经汽水分离进入蒸汽总管。

1978年，Shell煤气化在汉堡中试并运行成功。从1972年开始研发到2001年完全商业化，Shell煤气化工艺开发历经29年。目前国外最大的气化炉处理量为2000t/d煤，气化压力为3.0MPa。这种气化炉，采用水冷壁、无耐火砖衬里，可气化高灰熔点的煤，但在原料煤中需添加石灰石作为助熔剂。国内则自2000年以来先后已引进19台该类型气化炉，其目标产品包括合成氨、甲醇等，气化压力3.0~4.0MPa。由于我国引进的Shell煤气化装置时间较晚，相关可借鉴的经验较少，生产可能会存在一定的复杂性和挑战性。在煤化工生产中能否常年连续稳定运行还有待于进一步检验。Shell煤气化工艺投资过大，若在化工方面使用则应谨慎对待。

5) GSP干煤粉加压气化技术

该技术是以煤为原料发电、燃料与制备化工产品，化学残渣的气化和生物质液化为主要目的的煤化工技术，属于气流床加压气化技术。入炉原料煤为经干燥、磨细的干煤粉，采用气化炉顶进料方式将干煤粉送入炉内；气化炉内为水冷壁结构。其气化反应的机理是典型的粉煤气化过程，与Shell气化过程相同。其工艺流程如图1-3所示。

20世纪70年代，该技术由前民主德国GDR燃料所成功研制开发并商业化。发展至今，目前由西门子公司对该技术具有拥有权。迄今，国外最大的GSP气化炉投煤量为720t/d褐煤。因采用水激冷流程，投资比Shell炉省，适用于煤化工生产。世界上采用GSP气化工艺技术公司有3家，但均未采取气化煤炭方式进行生产。