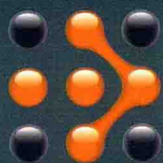


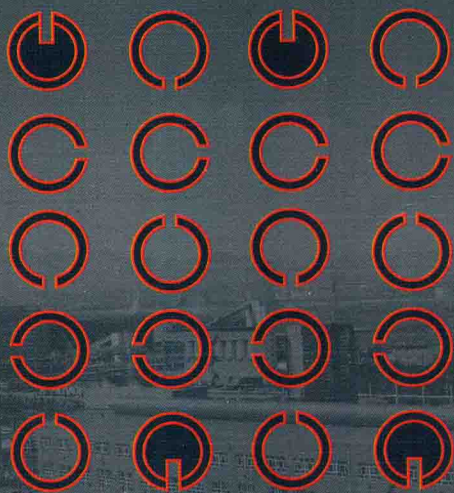


高职高专“十二五”规划教材

# 甲醇生产 与仿真操作



唐嘉 向丹波 编



JIACHUN SHENGCHAN  
YU FANGZHEN CAOZUO



化学工业出版社

高职高专“十二五”规划教材

# 甲醇生产与仿真操作

唐 嘉 向丹波 编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书以职业技能培养为目标,以甲醇仿真实训系统为平台,针对甲醇生产过程的三个工段,概要介绍基本原理,深入解析生产流程和操作步骤,对学生仿真练习过程中出现的具有普遍性和代表性的问题进行归纳整理,并在各工段学习中设置一些甲醇操作实用技术问答题和必要的思考练习题,以期学生深入理解生产的原理和流程,提高分析、处理问题的能力和操作调节技能。

本书可用做高职高专应用化工技术及相关专业教材,也可用做甲醇生产企业的职工培训教材。

#### 图书在版编目(CIP)数据

甲醇生产与仿真操作/唐嘉,向丹波编. —北京:化学工业出版社,2015.2

高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-22553-5

I. ①甲… II. ①唐…②向… III. ①甲醇-化工生产-化工过程-计算机仿真-高等职业教育-教材 IV. ①TQ223.12-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第295901号

---

责任编辑:张双进 窦 臻

文字编辑:汲永臻

责任校对:李 爽

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 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张6 字数140千字 2015年3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:20.00元

版权所有 违者必究

# 前 言

“甲醇生产与仿真操作”是应用化工专业继“有机化工生产技术”专业课程之后的工学结合特色课程，是培养学生化工操作技能的重要载体，是“三段渐进，虚实结合”人才培养模式的重要体现。在教学实践中，以北京东方仿真软件技术有限公司开发的水煤浆加压气化和甲醇生产工艺仿真实训系统为平台，采取“概要介绍原理，学生练习为主，教师指导为辅，讲练结合”的教学方法，改变了传统教学中学生单纯受体角色，有效调动了学生的学习积极性，在提高学生操作技能，理解生产原理和流程方面取得了较好的效果。

然而，在教学过程中也暴露出一些问题。由于供学生分析思考的材料准备不充分，加之相当一部分学生自主学习的意识和能力的欠缺，导致学生对化工操作缺乏深刻的理解。具体表现为：按照操作步骤机械地亦步亦趋，对温度、液位、压力等工艺参数偏离正常指标时或浑然不知，或手忙脚乱，一筹莫展，或操作调节不得要领，甚至做出完全错误的调节，个别操作较好的同学也是知其然，不知其所以然，没有建立起系统和整体的工艺思想来分析处理操作中的问题。

鉴于此，四川化工职业技术学院化工系应用化教研室尝试编写更适合“甲醇仿真教学”和高职学生实际的化工操作教材，以期有针对性地解决以上问题，深化学生理论与实际结合水平，提高学生的实践动手能力。

本教材编写的总体思路是，以甲醇生产过程的三个工段为基本训练项目，各项目中概要介绍原理；将重点放在生产流程和操作步骤的解析上，融入化工生产的工艺、安全、节能、环保等要求，加深学生对工艺流程和操作步骤的认识和理解，提高操作调节技能；将学生仿真练习过程中出现的具有普遍性和代表性的问题进行归纳整理，引导学生分析原因，找出解决办法和措施，提高学生分析和处理问题的能力，建立系统的工艺思想；各工段中设置一些甲醇操作实用技术问答题和必要的思考练习题，由于相当一部分题目就来自于生产企业，具有化工生产的共性，学习和完成这些题目不仅可以加深对原理和操作的理解，也能提高理论与实际结合，校企对接水平。北京东方仿真软件技术有限公司甲醇仿真系统中设置有事故处理训练部分，这部分内容的学习对于学生理解工段内部和工段之间的联系，提高化工生产的整体性和系统性认识仍然大有益处，由于学时数的限制，也不可能对甲醇生产进行全方位深入培训，因而附列于后，以便学生课外学习。

本教材由四川化工职业技术学院唐嘉、向丹波编写，唐嘉统稿，四川泸天化工股份公司甲醇装置高级工程师王焰审核。教材编写过程中得到了化工系应用化工教研室各位老师的大力支持，泸天化公司的技术人员也提出了很多有益的建议，在此一并致谢！

由于编者水平有限，书中难免存在不妥之处，恳请读者不吝指正。

编者

2014年12月

# 目 录

绪论 .....	1
一、甲醇的性质 .....	1
二、甲醇的用途 .....	1
三、甲醇的生产背景 .....	1
项目一 水煤浆加压造气工段 .....	4
第一节 生产原理 .....	5
第二节 工艺条件 .....	6
第三节 流程分析 .....	8
一、制浆系统 .....	8
二、合成气系统 .....	9
三、烧嘴冷却系统 .....	10
四、闪蒸及水处理系统 .....	11
五、锁斗系统 .....	12
第四节 岗位操作步骤详解 .....	14
一、冷态开车 .....	14
二、正常工况 .....	27
三、正常停车 .....	27
第五节 操作常见问题及原因分析 .....	35
第六节 造气操作实用技术问答 .....	36
练习题 .....	37
事故及处理 .....	38
项目二 甲醇合成工段 .....	39
第一节 生产原理 .....	39
第二节 工艺条件 .....	40
一、工艺条件的选择 .....	40
二、操作控制方案 .....	41
第三节 流程分析 .....	42
一、合成工段工艺流程 .....	42
二、装置的联锁保护 .....	44
第四节 岗位操作步骤详解 .....	45
一、冷态开车 .....	45
二、正常停车 .....	51
第五节 操作常见问题及原因分析 .....	53
第六节 合成操作实用技术问答 .....	53
练习题 .....	55
事故及处理 .....	56

拓展一：工厂操作实例 .....	58
一、开车操作 .....	58
二、停车操作 .....	60
三、正常生产操作 .....	61
四、异常生产现象的判断和处理 .....	62
<b>项目三 甲醇精制工段</b> .....	64
第一节 工艺概述 .....	64
第二节 工艺条件 .....	64
一、精馏工作原理 .....	64
二、操作控制方案 .....	64
第三节 流程分析 .....	66
一、精制工段工艺流程 .....	66
二、装置的联锁保护 .....	69
第四节 岗位操作步骤详解 .....	69
一、冷态开车 .....	69
二、正常工况 .....	75
三、正常停车 .....	78
第五节 操作常见问题及原因分析 .....	82
第六节 精制操作实用技术问答 .....	83
练习题 .....	84
事故及处理 .....	84
拓展二：工厂操作实例 .....	85
一、正常操作 .....	85
二、紧急停车 .....	85
三、异常现象分析与处理 .....	86
<b>参考文献</b> .....	88

# 绪 论

## 一、甲醇的性质

甲醇，分子式  $\text{CH}_3\text{OH}$ ，是饱和醇中最简单的一元醇，因为它最早是由木材和木质素干馏制得，故俗称“木醇”、“木精”。

### 1. 甲醇的物理性质

甲醇是一种透明、无色、易燃、有毒的液体，具有与乙醇相似的气味。熔点  $-97.8^\circ\text{C}$ ，沸点  $64.8^\circ\text{C}$ ，闪点  $12.22^\circ\text{C}$ ，自燃点  $47^\circ\text{C}$ ，相对密度 0.7915，爆炸极限  $6\% \sim 36.5\%$ ，能与水、乙醇、乙醚、苯、丙酮和大多数有机溶剂相混溶。

### 2. 甲醇的化学性质

甲醇不具酸性，其分子组成中虽然有碱性极微弱的羟基，但也不具有碱性，对酚酞和石蕊均呈中性。甲醇可以在催化剂作用下发生氧化、脱水、脱氢、酯化、羰基化等反应。

## 二、甲醇的用途

### 1. 基本原料和重要的溶剂

甲醇是多种有机产品的基本原料和重要的溶剂，广泛用于有机合成，染料、医药，涂料和国防等工业。甲醇在有机合成工业中，是仅次于烯烃和芳烃的重要基础有机原料。

### 2. 人工合成蛋白的原料

甲醇是较好的人工合成蛋白的原料，蛋白转化率较高，发酵速度快，无毒性，价格便宜。

### 3. 清洁燃料

甲醇是容易输送的清洁燃料，可以单独或与汽油混合作为汽车燃料，用它作为汽油添加剂可起节约芳烃，提高辛烷值的作用，汽车制造业将成为耗用甲醇的巨大部门，由甲醇转化为汽油方法的研究成果，从而开辟了由煤转换为汽车燃料的途径。

## 三、甲醇的生产背景

### (一) 国内外生产概况

1923年，德国巴登苯胺-纯碱公司 (Badische Anilin and Soda Fabrik, BASF) 的两位科学家米塔许 (Mittash) 和施耐德 (Schneider) 试验了用一氧化碳和氢气，在  $300 \sim 400^\circ\text{C}$  的温度和  $30 \sim 50\text{MPa}$  的压力下，通过锌铬催化剂的催化作用合成甲醇，并于当年首先实现了甲醇合成的工业化，建成年产 300t 甲醇的高压合成法装置，这比合成氨工业生产迟了约十年。从 20 世纪 20 年代至 60 年代中期，所有甲醇装置均采用高压法，采用锌铬催化剂。1966 年英国帝国化学工业公司 (I. C. I) 研制成功铜基催化剂，并开发了低压工艺，即 I. C. I 工艺。1971 年，德国鲁奇公司开发了另一种低压合成甲醇工艺，简称 Lurgi 工艺。20 世纪 70 年代中期以后，世界上新建和扩建的甲醇装置几乎都采用低压法。甲醇合成与氨合成的过程有许多相似之处，氨合成中所获得的高压操作的经验无疑对甲醇催化过程的发展是有帮助的。这一人工合成方法得到很快的发展，50 多年来，几乎成为工业上生产甲醇的唯

一方法，生产工艺不断地得到改进，生产规模日增增大，扩大了甲醇的消费范围。

我国的甲醇生产始于1957年，20世纪50年代在吉林、兰州和太原等地建成了以煤或焦炭为原料来生产甲醇的装置。60年代建成了一批中小型装置，并在合成氨工业的基础上开发了联产法生产甲醇的工艺。70年代四川维尼纶厂引进了一套以乙炔尾气为原料生产甲醇的95kt/a低压法装置，采用英国I.C.I技术。1995年12月，由化工部第八设计院和上海化工设计院联合设计的200kt/a甲醇生产装置在上海太平洋化工公司顺利投产，标志着我国甲醇生产技术向大型化和国产化迈出了新的一步。2000年，杭州林达公司开发了拥有完全自主知识产权的JW低压均温甲醇合成塔技术，打破长期以来被I.C.I、Lurgi等国外少数公司所垄断的局面，并在2004年获得国家技术发明二等奖。2005年，该技术成功应用于国内首家焦炉气制甲醇装置上。

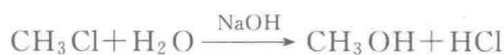
## (二) 主要生产方法

### 1. 木质素干馏法

早期用木材或木质素干馏法制甲醇的方法，今天在工业上已经被淘汰了。

### 2. 氯甲烷水解法

氯甲烷水解法也可以生产甲醇，其水解反应如下：



但因水解法价格昂贵。虽然水解法在一百多年前就被发现了，但没有得到工业上的应用。

### 3. 甲烷部分氧化法

甲烷部分氧化法也可以生成甲醇，其反应式如下：



这种制甲醇的方法工艺流程简单，建设投资节省，且将便宜的原料甲烷变成贵重的产品甲醇。但是，这种氧化过程不易控制，常因深度氧化生成碳的氧化物和水，而使原料和产品受到很大损失，致使甲醇的总收率不高。由于甲醇收率不高（30%），虽然已有运行的工业试验装置，甲烷部分氧化制甲醇的方法仍未实现工业化。但它具有上述优点，国外在这方面的研究一直没有中断，应该是一个很有工业前途的制取甲醇的方法。

### 4. 联醇工艺

中国所独创的联醇工艺，实际上也是一种中压法合成甲醇的方法。所谓联醇即与合成氨联合生产甲醇。联醇生产是在10.0~13.0MPa压力下，采用铜基催化剂，串联在合成氨工艺中，是我国合成氨生产工艺开发的一种新的配套工艺，具有中国特色，既生产氨又生产甲醇，达到实现多种经营的目的。目前联醇产量约占我国甲醇总产量的40%。

### 5. 合成气生产甲醇

甲醇生产流程如图0-1所示。

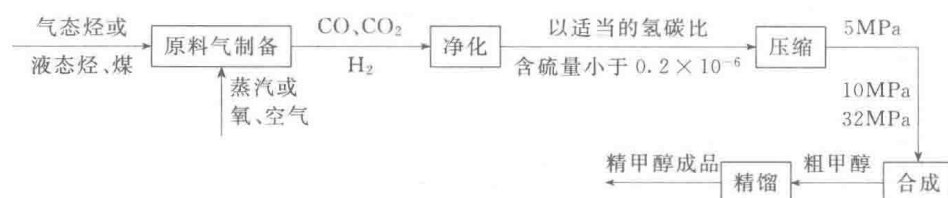
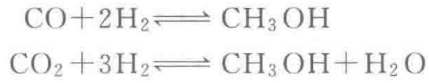


图 0-1 甲醇生产流程框图



目前工业上几乎都是采用一氧化碳、二氧化碳加压催化氢化法合成甲醇。主要包括原料气制备、原料气净化、压缩、甲醇合成、粗甲醇精制五个部分。

碳的氧化物与氢合成甲醇的反应式如下：



以上反应是在铜系催化剂或锌铬催化剂存在下，在  $(50.66 \sim 303.98) \times 10^5 \text{ Pa}$  ( $50 \sim 300 \text{ atm}$ )，温度  $240 \sim 400^\circ\text{C}$  下进行的。显然，一氧化碳与氢合成仅生成甲醇，而二氧化碳与氢合成甲醇需多消耗一分子氢，多生成一分子水。但两种反应都生成甲醇，工业生产过程中，一氧化碳和二氧化碳的比例要视具体工艺条件而定。

# 项目一 水煤浆加压造气工段

德士古水煤浆气化以水煤浆为原料，以纯氧为气化剂，在德士古气化炉内高温高压的条件下，进行气化反应，制得以  $H_2 + CO$  为主要成分的粗合成气，是目前先进的洁净煤气化技术之一。

## 1. 主要的技术优势

① 可用于气化的原料范围比较宽。除可气化从褐煤到无烟煤的大部分煤种外，还可气化石油焦、煤液化残渣、半焦、沥青等原料，后来又开发了气化可燃垃圾、可燃废料（如废轮胎）的技术。

② 与干粉煤进料相比，更安全和容易控制。

③ 工艺技术成熟，流程简单，设备布置紧凑，运转率高。气化炉结构简单，炉内没有机械传动装置，操作性能好，可靠程序高。

④ 操作弹性大，碳转化率高。碳转化率一般可达 95%~99%，负荷调整范围为 50%~105%。

⑤ 粗煤气质量好，用途广。由于气化温度高，粗煤气中有效成分（ $H_2 + CO$ ）可达 80%左右，除含少量甲烷外不含其他烃类、酚类和焦油等物质，后续净化工艺简单。产生的粗煤气可用于生产合成氨、甲醇、羰基化学品、醋酸、醋酐等，也可用于供应城市煤气和联合循环发电。

⑥ 可供选择的气化压力范围宽。气化压力可根据工艺需要进行选择，目前商业化装置的操作压力等级在 2.6~6.5MPa 之间，中试装置的操作压力最高已达 8.5MPa，为满足多种下游工艺气体压力的需求提供了基础。

⑦ 单台气化炉的投煤量选择范围大。根据气化压力等级及炉径的不同，单炉投煤量一般在 400~1000t/d（干煤），在美国 Tampa 气化装置，最大气化能力达 2200t/d（干煤）。

⑧ 气化过程污染少，环保性能好。高温高压气化产生的废水所含有害物极少，少量废水经简单生化处理后可直接排放；排出的粗、细渣既可做水泥掺料或建筑材料的原料，也可深埋于地下，对环境没有其他污染。

## 2. 突出的问题

① 炉内耐火砖寿命短，更换耐火砖费用大，增加了生产运行成本。

② 喷嘴使用周期短，一般使用 60~90d 就需要更换或修复，停炉更换喷嘴对生产连续运行或高负荷运行有影响，一般需要有备用炉，这增加了建设投资。

③ 考虑到喷嘴的雾化性能及气化反应过程对炉砖的损害，气化炉不适宜长时间在低负荷下运行，经济负荷应在 70%以上。

④ 水煤浆含水量高，使冷煤气效率和煤气中的有效气体成分（ $H_2 + CO$ ）偏低，氧耗、煤耗均比干法气流床要高一些。

⑤ 对管道及设备的材料选择要求严格，一次性工程投资比较高。

## 第一节 生产原理

水煤浆通过喷嘴喷入气化炉后，在极短的时间内完成了煤浆水分的蒸发、煤的热解、燃烧和一系列转化反应。

在德士古气化炉内进行的反应相当复杂，一般认为分以下三步进行。

### 1. 煤的裂解和挥发分的燃烧

水煤浆和纯氧进入高温气化炉后，水分迅速蒸发为水蒸气。煤粉发生热裂解并释放出挥发分。裂解产物及易挥发分在高温、高氧浓度下迅速完全燃烧，同时煤粉变成煤焦，放出大量的反应热。因此，在合成气中不含有焦油、酚类和高分子烃类。这个过程进行得相当短促。

### 2. 燃烧和气化反应

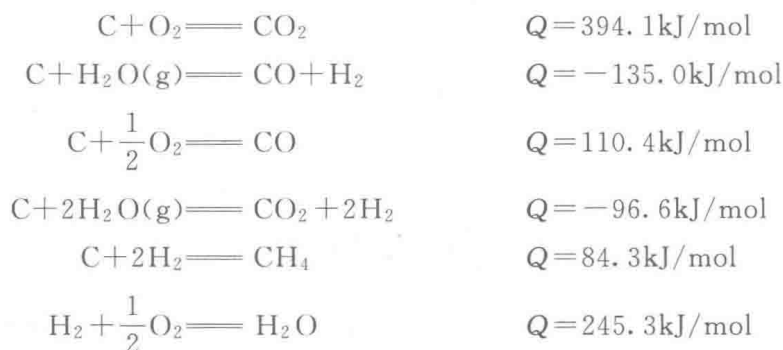
煤裂解后生成的煤焦一方面和剩余的氧气发生燃烧反应，生成 CO、CO<sub>2</sub> 等气体，放出反应热；另一方面，煤焦又和水蒸气、CO<sub>2</sub> 等发生化学反应，生成 CO、H<sub>2</sub>。

### 3. 气化反应

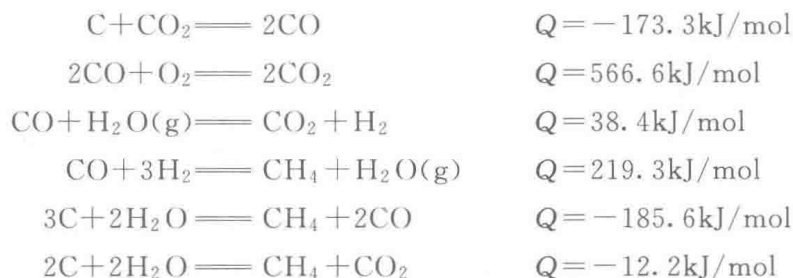
经过前面两步的反应，气化炉中的氧气已基本消耗殆尽。这时主要进行的是煤焦、甲烷等与水蒸气、CO<sub>2</sub> 发生的气化反应，生成 CO 和 H<sub>2</sub>。

气化炉发生的主要反应如下：

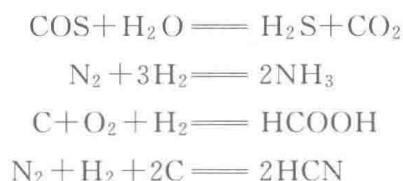
一次反应：



二次反应：



可能发生的副反应：



## 第二节 工艺条件

水煤浆加压气化属于气流床反应，影响气化操作和气化工艺指标的主要参数有：水煤浆浓度、氧/煤比、煤粉粒度分布及气化炉操作温度、压力等。

### 1. 水煤浆浓度

水煤浆的浓度及成浆性能，对气化率、煤气质量、原料消耗、煤浆的输送及雾化等有很大的影响。

水煤浆浓度的提高，则进入气化炉的水分相对少了，减少了蒸发水所消耗的热量，因而有效气体成分  $\text{CO} + \text{H}_2$  的产量增加，气化强度和气化效率均得到提高，能耗下降。

为了提高煤浆的可泵送性和稳定性，在制备高浓度水煤浆时，煤质是关键因素，而煤粉粒度的分布又是重要的影响因素，添加剂是改善流动性及堆积效率的一种有力措施。煤的内在水分含量低、粒度分布宽，将有利于高浓度水煤浆的制备。适宜的添加剂还能改变煤浆的流变特性，且煤粉的粒度越细，添加剂的影响越明显。

### 2. 氧/煤比

氧/煤比是指气化过程中氧耗量与煤中碳消耗量的比值。氧/煤比越高，气化炉温度也越高，部分碳将完全燃烧，生成  $\text{CO}_2$ ，或不完全燃烧生成  $\text{CO}$ ，又进一步氧化成  $\text{CO}_2$ ，从而使工艺气中  $\text{CO}_2$  含量升高，有效气体成分  $\text{CO} + \text{H}_2$  降低， $\text{CH}_4$  含量会降低；反之，氧/煤比越低，气化温度就越低， $\text{CO}_2$  含量就会降低，工艺气中有效气体成分就会升高，但  $\text{CH}_4$  含量就会升高，碳的转化率就会降低，有可能造成气化排渣困难，影响气化炉正常运行。

可以通过  $\text{CH}_4$  含量、排放粗渣中的残炭含量、粗渣中的  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  含量以及所排粗渣的形状来判断气化炉炉膛温度。氧/煤比一般控制在 480~520。

### 3. 气化反应温度

反应温度高，能提供较多的热量，对气化反应有利，影响合成气各个组分的含量。但反应温度过高，会极大地缩短气化炉内衬耐火砖的使用寿命，影响气化装置的长周期运行。因此，选取适当的气化温度，并在气化过程中维持温度在一定的范围内波动是极为重要的。目前，具体的气化温度是依据灰渣的黏温特性、原料煤的化学活性及耐火砖的性能考虑而选择的，良好工况时的气化温度为 1000~1350℃。

### 4. 气化压力

德士古煤气化反应是体积增大的反应，提高压力对化学平衡不利。但增加气化压力，反应物浓度增加，反应速率加快，提高了气化效率；也延长了反应物在炉内的停留时间，使碳转化率提高。同时，加压气化有利于提高水煤浆的雾化质量，减少设备投资，提高单位容积产气率，并降低后工序气体压缩功耗。

德士古工艺的最高气化压力可达 10.0MPa。一般根据煤气的最终用途，选择适宜的气化压力。如用于合成甲醇则为 6~7MPa 为适宜，这样后面的工序不需用增压。

### 5. 对煤种的要求

(1) 水分 固体原料中水分以三种形式存在：游离水、吸附水、结合水。游离水是在开采、运输和储存时带入的水分，也叫外在水分；吸附水是以吸附的方式与原料结合的水分，也叫内在水分；化合水是指原料中的结晶水。工业中只分析游离水和吸附水，两者之和为总水。

原料中水分含量高，不仅降低有效成分，而且水分汽化带走大量热量，直接影响炉温，降低发气量，增加煤耗。因此，造气要求入炉煤水分要低，一般水分 $<5\%$ 。

(2) 挥发分 挥发分是半焦或煤在隔绝空气的条件下，加热而挥发出来的烃类化合物，在氢化过程中能分解变成氢气、甲烷和焦油蒸气等。原料中挥发分含量高，则制出的半水煤气中甲烷和焦油含量高。

① 甲烷含量高，降低了外送有效气体含量，增加合成放空量，直接影响原料消耗定额和甲醇的合成能力。

② 焦油含量高，煤粒相互黏结成焦拱，破坏透气性，增大床层阻力。妨碍气化剂均匀分布，炉况会逐步恶化，严重时灭炉打疤。

③ 焦油含量高，易沉积在管道、设备填料和罗茨机转子和机内壳上，更严重时，会沉积在一段压缩机入口管边和活门上，影响输气量，给生产带来极大不利。因此，生产中要求挥发分要低，一般挥发分 $<6\%$ （固定床）。

(3) 灰分 灰分是固体燃料完全燃烧后所剩余残留物。一般要求灰分 $<15\%$ 。

① 灰分高，相对降低固定碳含量，降低煤气发生炉的生产能力。

② 灰分太高，增加排灰次数，增加运费和管理费。

③ 灰分太高，由于排灰量大，增加排灰设备磨损。

④ 灰分太高，除灰所排出碳增加，消耗会增大。

⑤ 灰分高，燃料层移动快，工况不稳定，生产不稳定。

(4) 硫含量 指煤焦中硫化物的总和。煤中硫含量 $50\% \sim 70\%$ 进入水煤气中， $20\% \sim 30\%$ 的硫随着灰渣一起排出炉外。其中煤气中的硫 $90\%$ 左右呈硫化氢存在， $10\%$ 左右呈有机硫存在。硫化氢存在不仅腐蚀设备管道，而且会使后序工段的催化剂中毒，因此要求含量 $<1\%$ 。

(5) 固定碳 指煤焦中除去水分、挥发分、灰分和硫分以外，其余可燃的物质——碳。它是煤焦中的有效成分，其发热值又分为高位发热值和低位发热值。为了比较煤的质量，便于计算煤的消耗，国家规定低位发热值为 $29270\text{kJ/kg}$ 的燃料为标准煤，其固定碳含量约 $84\%$ 。

(6) 灰熔点 由于灰渣的构成不均匀，因而不可能有固定的灰熔点，只有熔化范围。通常灰熔点用三种温度表示，即变形温度( $t_1$ )、软化温度( $t_2$ )、熔融温度( $t_3$ )。生产中灰熔点一般指 $t_2$ ，它是决定炉温控制高低的重要指标。灰熔点低，容易结疤，严重时影响正常生产。灰分中， $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) / (\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CaO} + \text{MgO}) = \text{酸/碱(摩尔比)}$ ，比值越大，灰熔点越高，硫含量越高，灰熔点越低，一般无烟煤的灰熔点约为 $1250^\circ\text{C}$ 左右。故气化层温度一般小于 $1200^\circ\text{C}$ 。

(7) 粒度 固体原料粒度大小和均匀性也是影响气化指标的重要因素之一。

① 粒度小，与气化剂（蒸汽、空气）接触面积大，气化效率和煤气质量好。但粒度太小，会增加床层阻力，不仅增加电耗，而且煤气带走煤渣也相应增多，这样会使煤气管道、分离器和换热器受到的机械磨损加大，同时煤耗也会增加。

② 粒度大，则气化不完全，当原料表面已反应完全时，内部还未必开始反应，所以灰渣中碳含量会增多，消耗定额增加，易使气化层上移，严重时煤气中氧含量会增高。

③ 粒度不均匀，由于气流分布不均匀，会发生燃料局部过热，结疤或形成风洞等不良影响，一般无烟煤不超过 $120\text{mm}$ ，焦炭不超过 $75\text{mm}$ ，生产中最好将煤焦分成三挡，小 $15 \sim 30\text{mm}$ 、中 $30 \sim 50\text{mm}$ 、大 $50 \sim 120\text{mm}$ ，分别投料，并根据不同粒度调节吹风强度。

(8) 机械强度 固体原料的机械强度指原料抗破碎能力。机械强度差的燃料，在运输、

装卸和入炉后易破碎成小粒和煤屑，造成床层阻力增加，工艺不稳定，发气量下降，而且因煤气夹带固体颗粒增多，加重管道和设备磨损，降低了设备的使用寿命，也影响废热的正常回收，因此应选用机械强度高的固体燃料。

(9) 热稳定性 固体原料热稳定性是指：燃料在高温作用下，是否容易破碎的性质。热稳定性差的原料，加热易破碎，增加床层阻力，难气化，碳损大，设备磨损也大，最好选热稳定性较好的原料。

(10) 化学活性 固体原料的化学活性是指其与气化剂如氧、水蒸气、二氧化碳反应的能力。化学活性高的原料，有利于气化能力和气体质量的提高。

总之，选用什么固体原料制取水煤气，要与本厂实际情况紧密结合，应考虑原料的来源、风机的性能、工艺配套和操作技术等诸多因素。

### 第三节 流程分析

水煤浆加压气化的工艺流程主要划分为制浆系统、合成气系统、烧嘴冷却系统、闪蒸及水处理系统和锁斗系统。

#### 一、制浆系统

由煤贮运系统来的小于 10mm 的碎煤进入煤仓 V1101 后，经称量给料机 W1101 后，送入磨煤机 M1101。

添加剂从添加剂槽 V1202A 通过添加剂泵 P1203 送至磨煤机 M1101 中。添加剂槽 V1202A 底部设有蒸汽盘管，在冬季维持添加剂温度在 20~30℃，以防止冻结。

工艺水（新鲜水、灰渣过滤液）通过磨机给水阀 FV1101 来控制水量，送至磨煤机 M1101。

煤、工艺水和添加剂在磨煤机 M1101 中，研磨成一定粒度分布的浓度 60%~65% 合格的水煤浆，水煤浆经滚筒筛 S1101 滤去 3mm 以上的大颗粒后，溢流至磨煤出料搅拌槽 X1101 中，由磨煤机出口槽泵 P1101A，送至煤浆槽 V1201。磨煤出料搅拌槽 X1101 和煤浆槽 V1201 均设有搅拌器，使煤浆始终处于均匀悬浮状态（如图 1-1 所示）。

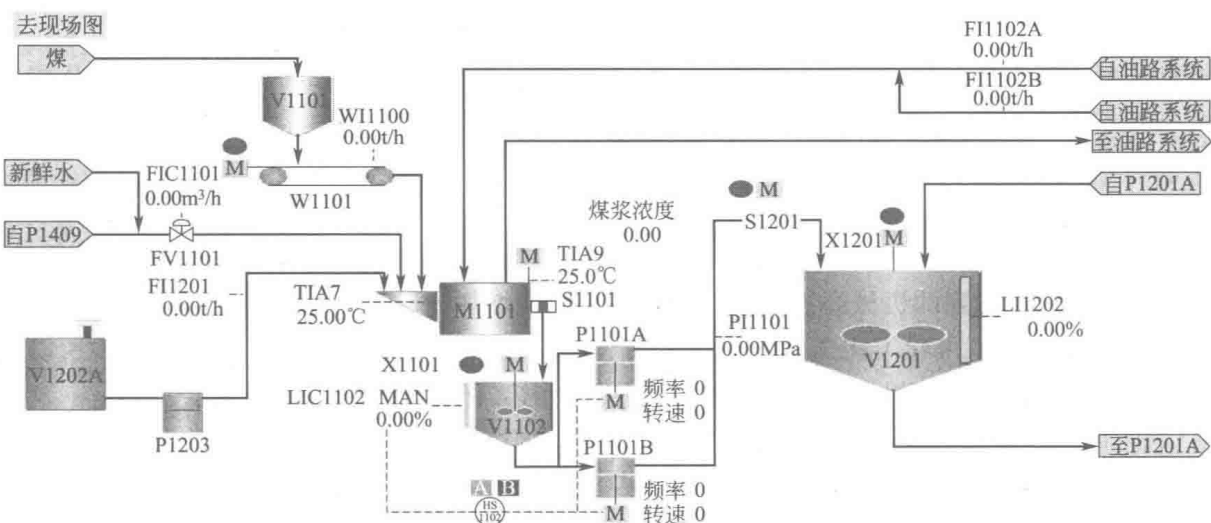


图 1-1 水煤浆制备

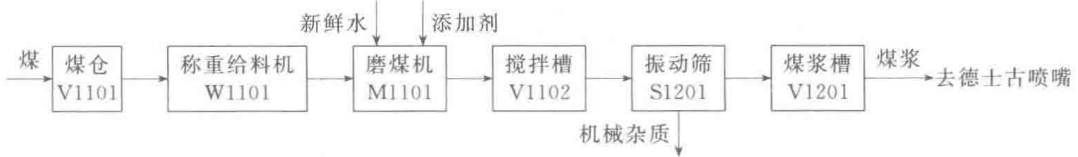


图 1-2 水煤浆制备流程框图

## 二、合成气系统

来自煤浆槽 V1201 浓度为 60%~65% 的煤浆，由煤浆给料泵 P1201A 加压，投料前经煤浆循环阀 HV1201A 循环至煤浆槽 V1201，投料后经煤浆切断阀 XV1201 送到德士古喷嘴的内环隙（如图 1-2 所示）。

空分装置送来的纯度为 99.6% 的氧气经氧气缓冲罐，通过 HV1301A 进入本工段，由氧气总管放空控制阀 HV1303A 控制氧气压力为 6.2~6.5MPa。在投料前用氧气调节阀 FV1303A 控制氧气流量，经氧气放空阀 HV1303A 放空。投料后由氧气调节阀 FV1303A 控制氧气流量送入德士古喷嘴（如图 1-3 所示）。

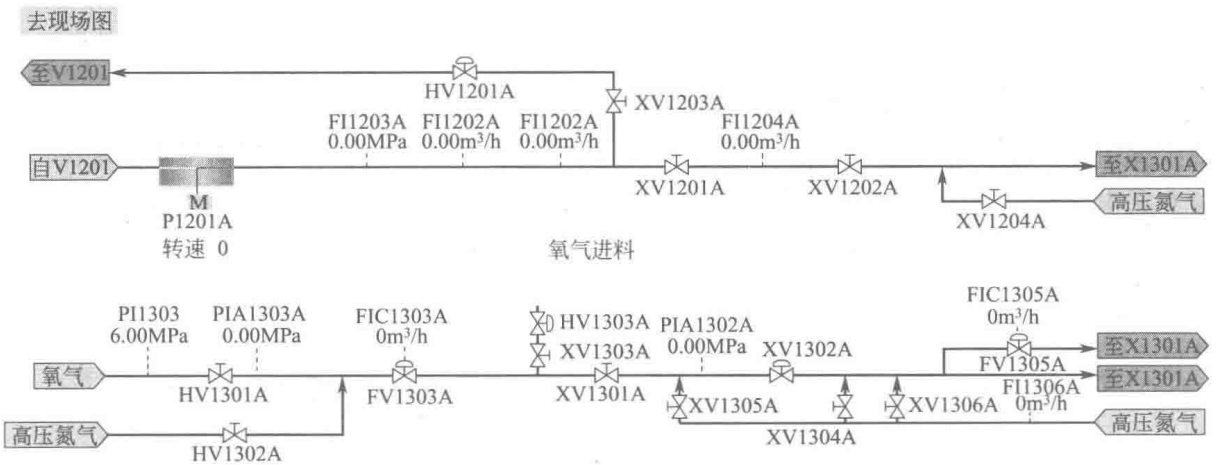


图 1-3 煤浆、氧气给料

水煤浆和氧气在德士古烧嘴中充分混合雾化后进入气化炉 R1301 的燃烧室中，在压力约为 6.5MPa，温度为 1300~1500℃ 的条件下，迅速完成气化反应，生成以氢气和一氧化碳为主的粗合成气。粗合成气和熔融态灰渣一起向下，落入激冷室底部。粗合成气从下降管和导气管的环隙上升，出激冷室去洗涤塔 T1401。在激冷室合成气出口处设有工艺冷凝液冲洗，以防止灰渣在出口管累积堵塞。冲洗水由冷凝液冲洗水调节阀 FV1408 控制冲洗水量。

激冷水经激冷水过滤器滤去可能堵塞激冷环的大颗粒，送入位于下降管上部的激冷环。激冷水呈螺旋状沿下降管壁流下，进入激冷室。

从激冷室出来被水汽饱和的合成气与从水洗塔 T1401 底部出来的黑水依次进入混合器 X1403、旋风分离器 V1408，大部分固体颗粒沉降到旋风分离器 V1408 底部与合成气分离，合成气进入水洗塔 T1401 继续洗涤除去煤气中的细末及未反应的炭粒，然后离开水洗塔 T1401 进入变换工序。

激冷室底部黑水，经黑水排放阀 FV1307 送入黑水处理系统，激冷室液位控制在

60%~65%。在开车期间，黑水经黑水开工排放阀 VD1321 排向真空闪蒸罐 V1402（如图 1-4 所示）。

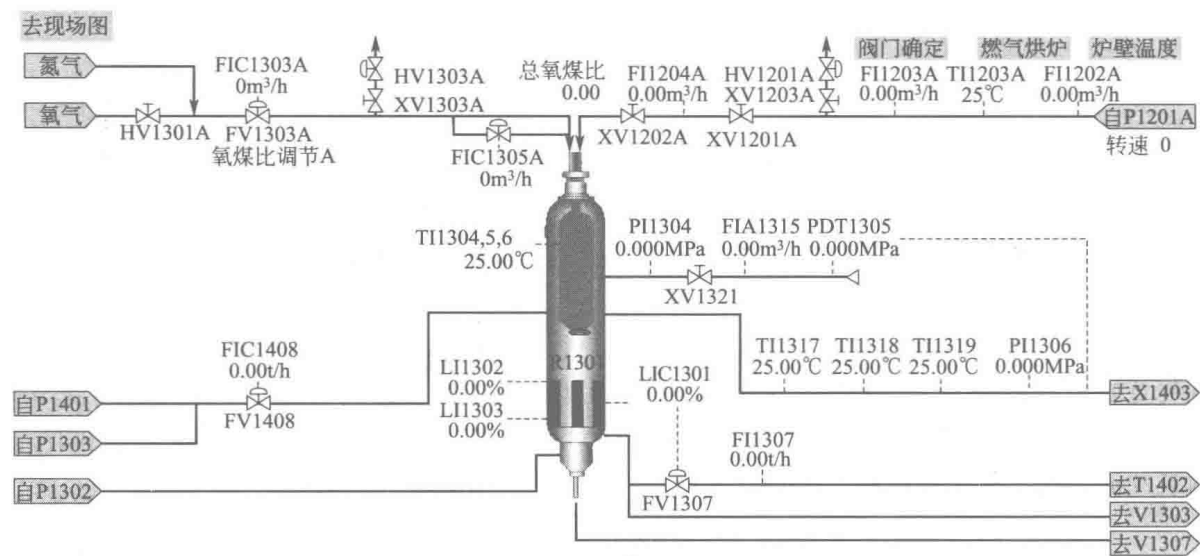


图 1-4 气化炉造气

气化炉配备了预热烧嘴，用于气化炉投料前的烘炉预热。在气化炉预热期间，激冷室出口气体由开工抽引器 VA1304 排入大气。开工时气化炉的真空气度，通过控制预热烧嘴风门风量和抽引蒸汽量来调节。

合成气系统流程如图 1-5 所示。

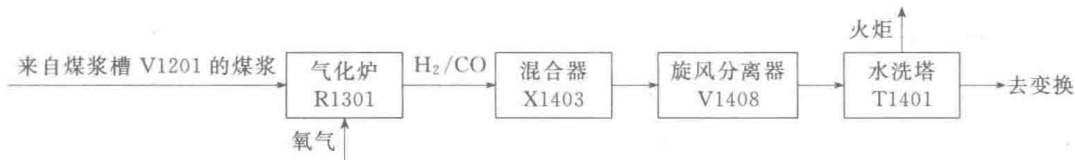


图 1-5 合成气系统流程框图

### 三、烧嘴冷却系统

德士古烧嘴在 1300℃ 的高温下工作，为了保护烧嘴，在烧嘴上设置了冷却水盘管和头部水夹套。脱盐水经烧嘴冷却水槽 V1301 的液位调节阀 LV1306 控制烧嘴冷却水槽的液位在 70%，烧嘴冷却水槽的水经烧嘴冷却水泵 P1301A 加压后，送至烧嘴冷却水冷却器 E1301 用循环水冷却，经烧嘴冷却水进口切断阀 VA1804A 送入烧嘴冷却水盘管，出烧嘴冷却水盘管的冷却水经出口切断阀 VD1811A 进入烧嘴冷却水分离罐 V1306，分离掉气体后靠重力流入烧嘴冷却水槽。烧嘴冷却水分离罐 V1306 通入低压氮气，作为 CO 分析的载气，由放空管排入大气。在放空管上安装 CO 监测器，通过监测 CO 含量来判断烧嘴是否被烧穿，正常 CO 含量为 0。

烧嘴冷却水系统设置了一套单独的联锁系统，在判断烧嘴头部水夹套和冷却水盘管泄漏的情况下，气化炉必须立即停车，以保护德士古烧嘴不被损坏。烧嘴冷却水泵 P1301A 设置了自启动功能，当出口压力低则备用泵自启动。如果备用泵启动后仍不能满足要求，则出口压力低使消防水阀打开。如果还不能满足要求即烧嘴冷却水总管压力低，事故冷却水槽的事



故障打开向烧嘴提供烧嘴冷却水（如图 1-6，图 1-7 所示）。

去现场图

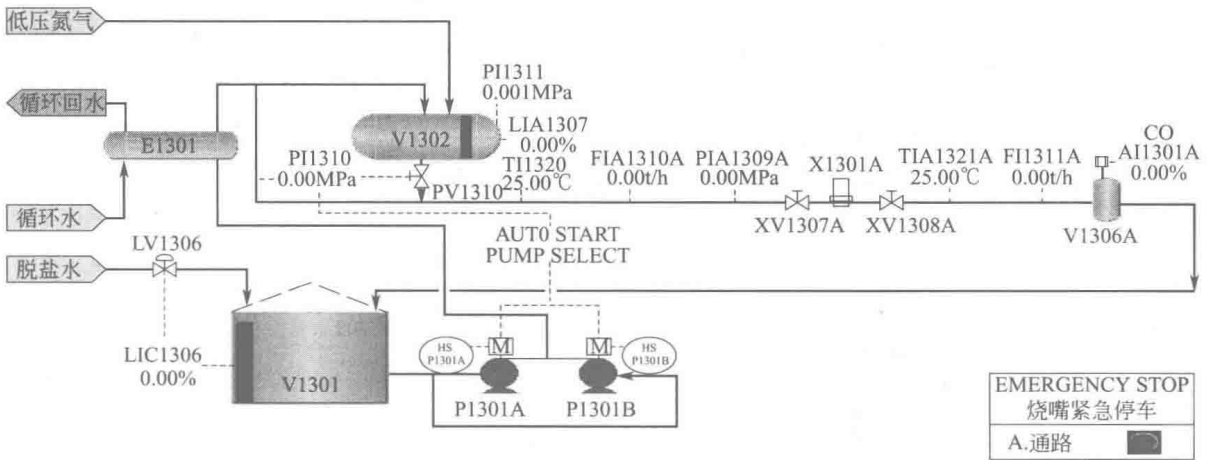


图 1-6 烧嘴冷却系统图



图 1-7 烧嘴冷却系统框图

#### 四、闪蒸及水处理系统

来自气化炉激冷室和水洗塔 T1401 的黑水，分别经黑水排放阀 FV1307、FV1406 减压后，进入蒸发热水塔 T1402。高温液体在罐内突然降压膨胀，闪蒸出水蒸气及二氧化碳、硫化氢等气体，同时黑水被浓缩，温度降低。从蒸发热水塔 T1402 顶部出来的闪蒸气，经酸气冷凝器 E1401 降温后，进入酸气分离罐 V1401 中分离出来，冷凝液送到灰水槽 V1418。分离出来的二氧化碳、硫化氢等不凝性气体，送至火炬（如图 1-8 所示）。

去现场图

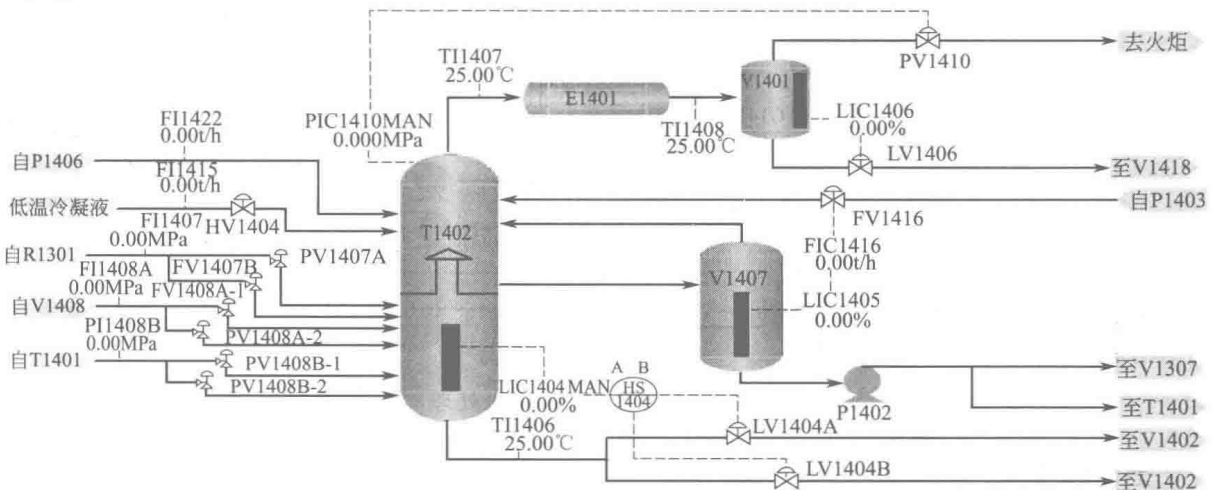


图 1-8 黑水一次分离

黑水经蒸发热水塔 T1402 后固体含量有所增高，然后进入真空闪蒸罐 V1402，进行第