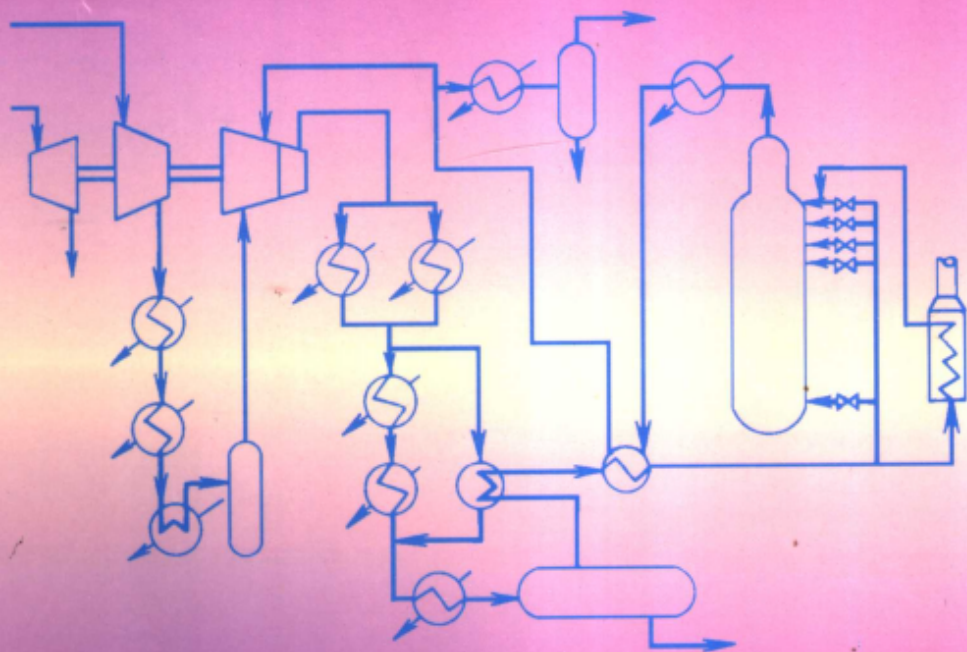




化工技工学校教材

合成氨生产工艺

陕西省石油化工高级技工学校 赵育祥 编



ISBN 7-5025-2040-6



9 787502 520403 >

ISBN 7-5025-2040-6/G · 602

定价：30.00元





化工技工学校教材

合成氨生产工艺

陕西省石油化工高级技工学校

赵育祥 编

化学工业出版社

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

合成氨生产工艺/赵育祥编. -2 版. -北京: 化学工业出版社,
1998. 5
ISBN 7-5025-2040-6

1. 合… II. 赵… III. 合成氨生产-生产工艺 N.TQ11
3.26

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 22571 号

化工技工学校教材

合成氨生产工艺

陕西省石油化工高级技工学校

赵育祥 编

责任编辑: 何 朋

责任校对: 陈 静 顾淑云

封面设计: 宫 历

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话 (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

*

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 22½ 字数 556 千字

1998 年 3 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 2 次印刷

ISBN 7-5025-2040-6/G·602

定 价: 30.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

前 言

本书是原化工技校教材《合成氨工艺》的修订本，依据化工部技工学校教学指导委员会1996年制定的第二轮教材——化工技校《合成氨生产工艺》教学大纲而编写。

本书重点介绍了大、中、小型合成氨厂生产合成氨的各种方法，讲述了合成氨生产过程的基本原理、工艺条件、工艺流程、主要设备、生产控制指标计算和生产操作，力求做到层次清楚、通俗易懂、重点突出和理论联系实际。与第一轮教材相比，删减了部分较深的理论和一些陈旧的生产方法，重点增加了生产操作，以及近年来应用的新工艺和新技术，使理论与生产实践紧密结合，突出了技工教育特点。本书内容全面，各学校可根据具体教学任务，重点讲授有关内容。

本书由陕西省石油化工高级技工学校赵育祥编写，浙江衢州化工技工学校姜志生主审，参审人员有贵州平坝化肥厂技工学校张威俊、吉林化工技工学校邹有铭、上海吴泾化工总厂技工学校袁怡南、太原化工技工学校常秀明、山东鲁南化工技工学校仲伟明。在编写过程中，曾得到许多单位和同志的热情支持与大力帮助，在此表示衷心的感谢。

由于水平有限，书中一定会有不少错误和不妥之处，希望使用书的老师和读者批评指正。

编 者

1996年10月

目 录

第一章 绪论	1
一、合成氨工业在国民经济中的意义.....	1
二、合成氨工业发展概况.....	1
三、合成氨生产过程.....	2
四、氨的性质.....	3
复习题.....	4
第二章 固体燃料气化制取合成氨原料气	5
第一节 概述.....	5
第二节 固定层间歇法制半水煤气的基本原理.....	6
一、燃料层的分区.....	6
二、固体燃料气化原理.....	7
三、半水煤气的制造.....	11
四、间歇法制半水煤气的工作循环.....	12
第三节 间歇法制半水煤气的工艺条件.....	13
一、气化效率.....	13
二、工艺条件.....	14
第四节 间歇法制半水煤气的工艺流程和主要设备.....	17
一、工艺流程.....	17
二、主要设备.....	21
第五节 间歇法制半水煤气的工艺计算.....	27
一、气化指标的计算.....	27
二、简单的物料衡算.....	31
第六节 间歇法制半水煤气的生产操作.....	33
一、开停车操作.....	33
二、正常操作管理.....	36
三、不正常现象及处理.....	40
第七节 固定层加压连续气化法.....	41
一、基本原理.....	41
二、工艺条件.....	42
三、工艺流程.....	43
四、鲁奇炉.....	45
第八节 水煤浆加压气化法.....	46
一、反应原理.....	46
二、工艺条件.....	48
三、工艺流程和设备.....	52

四、气化炉的生产操作	55
复习题	59
第三章 重油气化制取合成氨原料气	61
第一节 重油的组成和性质	61
一、重油的组成	61
二、重油的性质	61
第二节 重油气化的基本原理	62
第三节 重油气化工艺条件	64
第四节 重油气化工艺流程和主要设备	66
一、工艺流程	66
二、主要设备	68
第五节 重油气化过程炭黑的处理	72
第六节 重油气化工艺计算	75
第七节 重油气化的生产操作	77
一、开停车操作	77
二、正常操作	80
三、不正常现象及处理	82
复习题	83
第四章 气态烃及轻油转化制取合成氨原料气	85
第一节 概述	85
第二节 甲烷蒸汽转化反应的基本原理	86
一、转化反应的特点	86
二、转化反应的化学平衡和反应速度	87
三、转化过程的分段和二段转化炉内的反应	88
四、转化过程的析碳和除碳	89
第三节 气态烃蒸汽转化催化剂	90
第四节 气态烃蒸汽转化工艺条件	91
第五节 气态烃蒸汽转化工艺流程和主要设备	93
一、工艺流程	93
二、主要设备	94
第六节 气态烃蒸汽转化生产控制指标的计算	97
第七节 轻油蒸汽转化法	99
第八节 气态烃蒸汽转化生产操作	101
一、开停车操作	101
二、正常操作	104
三、不正常现象及处理	105
第九节 气态烃间歇催化转化法	106
复习题	110
第五章 空气的液化分离和惰性气体制备	112
第一节 空气的液化分离	112

一、空气的温-焓图	112
二、空气液化的基本原理	113
三、液体空气的精馏	116
四、空气的净化	118
五、空气液化分离工艺流程	118
六、空气液化分离的生产操作	120
第二节 惰性气体的制备	128
复习题	130
第六章 原料气的脱硫	131
第一节 概述	131
第二节 湿式氧化法脱硫	133
一、ADA 法	133
二、氨水对苯二酚催化法	143
三、几种新的湿式氧化法	144
第三节 干法脱硫	146
一、氧化锌法	146
二、钴钼加氢转化法	148
三、活性炭法	150
第四节 克劳斯硫磺回收法	152
复习题	154
第七章 一氧化碳的变换	156
第一节 一氧化碳变换的基本原理	156
一、变换反应特点	156
二、变换反应的化学平衡	157
三、变换反应速度	159
第二节 一氧化碳变换催化剂	159
一、中温变换催化剂	159
二、低温变换催化剂	162
第三节 一氧化碳变换工艺条件的选择	163
一、中温变换工艺条件	163
二、低温变换工艺条件	165
第四节 一氧化碳变换的工艺流程和主要设备	166
一、工艺流程	166
二、主要设备	168
第五节 生产控制指标的计算	169
第六节 一氧化碳变换的生产操作	171
一、中温变换的生产操作	171
二、低温变换的生产操作	176
复习题	177
第八章 原料气中二氧化碳的脱除	179

第一节 碳酸丙烯酯法脱除二氧化碳	179
第二节 低温甲醇洗法脱除二氧化碳	182
一、基本原理	182
二、工艺流程	185
第三节 加压水洗法脱除二氧化碳	188
一、吸收原理	188
二、水洗操作条件的选择	188
三、洗涤水的再生和气体的回收	190
四、工艺流程和主要设备	190
五、操作管理要点	191
第四节 有机胺催化热钾碱法脱除二氧化碳	193
一、基本原理	193
二、操作条件的选择	195
三、工艺流程和主要设备	196
四、生产操作	199
第五节 浓氨水脱除二氧化碳	203
一、基本原理	203
二、工艺操作条件的选择	208
三、工艺流程和主要设备	209
四、生产操作	213
复习题	219
第九章 原料气中少量一氧化碳和二氧化碳的清除	220
第一节 铜氨液洗涤法	220
一、铜氨液的组成和性质	220
二、铜氨液吸收原理	221
三、铜洗操作条件的选择	223
四、铜氨液的再生	225
五、铜洗与再生的工艺流程和主要设备	227
六、铜氨液的制备	231
七、铜洗及再生过程的生产操作	232
第二节 甲烷化法	237
一、基本原理	237
二、甲烷化催化剂	239
三、工艺操作条件的选择	240
四、工艺流程和主要设备	240
五、生产操作	241
第三节 液氮洗涤法	243
一、基本原理	243
二、操作条件	244
三、工艺流程	245

四、操作要点.....	246
第四节 原料气中少量二氧化碳的脱除.....	246
一、氢氧化钠溶液吸收法.....	247
二、氨水吸收法.....	248
复习题.....	249
第十章 气体的压缩	250
第一节 往复式压缩机.....	250
一、基本原理.....	250
二、压缩机的型号及性能.....	255
三、压缩系统工艺流程.....	256
四、往复式压缩机的结构.....	258
五、生产操作.....	258
第二节 离心式压缩机.....	263
一、离心式压缩机组.....	263
二、压缩系统工艺流程.....	267
三、生产操作.....	269
复习题.....	272
第十一章 氨的合成	274
第一节 氨合成的基本理论.....	274
一、氨合成反应的特点.....	274
二、氨合成反应的化学平衡.....	274
三、氨合成动力学.....	276
第二节 氨合成催化剂.....	278
一、催化剂的组成及性能.....	278
二、催化剂的还原与钝化.....	279
三、催化剂的中毒与衰老.....	281
第三节 氨合成操作条件的选择.....	281
一、压力.....	281
二、温度.....	282
三、空间速度.....	283
四、合成塔进口气体组成.....	283
第四节 氨合成工艺流程.....	284
一、氨合成基本工艺步骤.....	284
二、氨合成工艺流程.....	287
第五节 氨合成系统设备.....	290
一、氨合成塔.....	290
二、水冷器.....	296
三、氨分离器.....	297
四、氨冷器.....	298
五、冷凝塔.....	298

第六节 氨合成生产控制指标的计算.....	299
第七节 氨合成的生产操作.....	302
一、开停车.....	302
二、正常操作管理.....	307
三、不正常现象及处理.....	311
第八节 冷冻及液氨的贮存.....	311
一、冷冻.....	311
二、液氨的贮存.....	316
第九节 氨合成排放气体的回收.....	317
复习题.....	318
第十二章 合成氨生产综述.....	320
第一节 合成氨生产总流程.....	320
一、以煤为原料生产合成氨工艺流程.....	320
二、以重油为原料生产合成氨工艺流程.....	323
三、以天然气为原料生产合成氨工艺流程.....	323
第二节 合成氨厂的节能.....	326
一、大型氨厂的节能.....	326
二、中小型氨厂的节能.....	327
第三节 合成氨厂水处理.....	329
一、水中杂质及危害性.....	330
二、水中杂质的清除方法.....	331
三、大型合成氨厂水处理.....	336
复习题.....	339
主要参考资料.....	339
附录.....	340

第一章 绪 论

氨是一种重要的含氮化合物，在自然界中很少单独存在。工业生产氨的方法是在高温、高压和有催化剂存在的条件下，氮气和氢气直接合成为氨：



由于采用了合成的方法生产氨，所以习惯上将氨称为合成氨，将生产氨的工厂称为合成氨厂。本课程是讲述合成氨生产的基本原理、工艺技术及其生产操作技能的一门学科。

一、合成氨工业在国民经济中的意义

氨是重要的化工产品之一，用途很广。在农业方面，以氨为主要原料可以生产各种氮素肥料，如尿素、硝酸铵、碳酸氢铵、氯化铵等，以及各种含氮复合肥料。液氨本身就是一种高效氮素肥料，可以直接施用。目前，世界上氨产量的85%~90%用于生产各种氮肥。因此，合成氨工业是氮肥工业的基础，对农业增产起着重要的作用。合成氨工业对农业的作用实质是将空气中游离氮转变为能被植物吸收利用的化合态氮，这一过程称为固定氮。

氨也是重要的工业原料，广泛用于制药、炼油、纯碱、合成纤维、合成树脂、含氮无机盐等工业。将氨氧化可以制成硝酸，而硝酸又是生产炸药、染料等产品的重要原料。生产火箭的推进剂和氧化剂，同样也离不开氨。此外，氨还是常用的冷冻剂。

合成氨工业的迅速发展，也促进了高压、催化、特殊金属材料、固体燃料气化、低温等科学技术的发展。同时，尿素和甲醇的合成、石油加氢、高压聚合等工业，也是在合成氨工业的基础上发展起来的。所以合成氨工业在国民经济中占有十分重要的地位，氨及氨加工工业已成为现代化学工业的一个重要部门。

二、合成氨工业发展概况

自1754年发现氨，直到本世纪初才由哈伯等人研究成功了合成氨法，于1913年在德国奥堡建成世界上第一个合成氨工厂。

第一次世界大战以后，德国因战败而被迫将合成氨技术公开。有些国家在此基础上作了一些改进，从此合成氨工业得到了迅速的发展。目前，合成氨生产技术已发展到相当高的水平，生产操作高度自动化，生产规模大型化，生产能力达1550t/d，热能的综合利用充分合理，大大降低了生产成本。全世界合成氨产量迅速增加，1950年为443万t，1960年为1700万t，1981年增加到7850万t，1990年达到11756万t。

建国前，我国合成氨工业与其他工业一样十分落后，只有两个规模不大的合成氨工厂，全国年产量仅1万t左右。建国后，我国合成氨工业发展十分迅速，目前大、中、小型合成氨工厂约有900多个。其中年产30万t（即日产1000t）合成氨的大型厂有20多个，氨产量占全国总产量的23%左右；年产在4~20万t的中型氨厂有50多个，氨产量占总产量的27%左右；初期小型厂年产量一般为3000t或5000t氨，后经不断改造和扩建，目前年产量一般为1~4万t，有些还达到4万t以上。小型厂的数量曾经达到1300多个，后经调整，目前约有800多个。小型厂氨产量之和，占全国氨产量的50%左右。1980年全国氨产量1498万t。1990年我国氨产量为2129万t，仅次于前苏联，名列世界第二。到1994年我国氨产量达2442万t，

列世界第一。由我国自己设计、制造、安装的年产 30 万 t 合成氨厂，已于 1980 年投产，使我国合成氨工业朝现代化又迈进了一步。

三、合成氨生产过程

不同的合成氨厂，生产工艺流程不完全相同。但是，无论哪种类型的合成氨厂，生产过程均包括以下几个主要生产工序。

1. 原料气制备工序 其任务是制备生产合成氨所用的氢、氮原料气。它可以由分别制得的氢气和氮气混合而成，也可以同时制得氢、氮混合气。

氢气来源于水蒸气和含有碳氢化合物的各种燃料。目前工业上普遍采用焦炭、煤、天然气、轻油、重油等燃料，在高温下与水蒸气反应的方法制氢。将水电解可以直接得到氢，但此法电能消耗大，因而受到限制。焦炉气或石油加工废气等含有大量的氢，经分离也可以得到氢。

氮气来源于空气。在制氢过程中直接加入空气，将空气中的氧与可燃性物质反应而除去，剩下的氮与氢混合，获得氢氮混合气。或者在低温下将空气液化，再利用氮与氧沸点的不同，进行分离，得到纯的氮气。

除电解水以外，不论用什么原料制取的氢、氮原料气，都含有硫化物、一氧化碳、二氧化碳等杂质。这些杂质不但能腐蚀设备，而且能使氨合成催化剂中毒。因此，把氢、氮原料气送入合成塔之前，必须进行净化处理，除去各种杂质，获得纯净的氢、氮混合气。

2. 脱硫工序 用脱硫剂除去原料气中的硫化物。

3. 变换工序 利用一氧化碳与蒸汽作用，生成氢和二氧化碳的变换反应，除去原料气中大部分一氧化碳。

4. 脱碳工序 在变换工序之后，原料气中含有较多的二氧化碳，其中既有原料气制备过程生成的，也有变换产生的。脱碳工序的任务是利用脱碳溶液除去原料气中大部分二氧化碳。

5. 少量一氧化碳及二氧化碳的脱除工序 原料气经变换和脱碳后，除去了大部分一氧化碳和二氧化碳，但仍含有 0.3%~3% 一氧化碳和 0.1%~0.3% 二氧化碳。本工序的任务是脱除原料气中残余的一氧化碳和二氧化碳，得到纯净的氢、氮混合气。

6. 压缩工序 首先将原料气压缩到净化所需要的压力，分别进行气体净化，得到纯净的氢氮混合气，然后将纯净的氢氮混合气压缩到氨合成反应所需要的压力。

7. 氨合成工序 在高温、高压和有催化剂存在的条件下，将氢氮气合成为氨。

综上所述，生产合成氨的原料主要是焦炭、煤、天然气、重油、轻油等燃料，以及水蒸气和空气。生产合成氨的主要过程一般如图 1-1 所示。

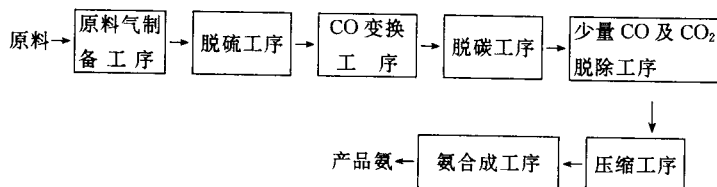


图 1-1 生产合成氨的主要过程

在合成氨厂，原料气的制备也称为造气；脱硫、变换、脱碳、少量一氧化碳及二氧化碳脱除四个工序称为原料气的净化。

由于所用原料不同，原料气的制备和净化方法也不相同，因而生产合成氨的过程亦有差

异。例如，以天然气或轻油为原料，制备合成氨原料气时，需要先除去硫化物；以重油为原料制备原料气，一般先经过变换后再进行脱硫。

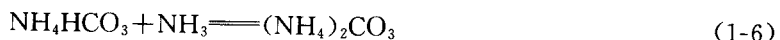
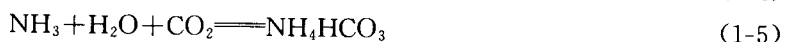
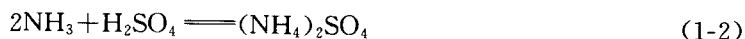
四、氨的性质

1. 物理性质 在常温常压下，氨是具有特殊刺激性臭味的无色气体，能刺激人体器官的粘膜。氨有强烈的毒性，空气中含有 0.5%（体积）的氨，就能使人在几分钟内窒息而死。在标准条件下，氨的相对密度为 0.5971（空气为 1）。

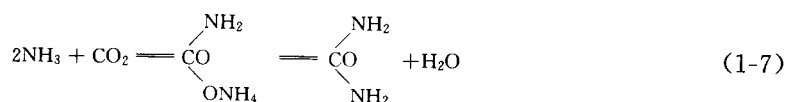
氨很易被液化，在 0.1MPa 压力下，将氨冷却到 -33.5°C ，或在常温下加压到 0.7~0.8MPa，氨就能冷凝成无色的液体，同时放出大量的热量。氨的临界温度为 132.9°C ，临界压力为 11.38MPa。液氨的相对密度为 0.667（ 20°C ）。如果人与液氨接触，则会严重地冻伤皮肤。若将液氨在 0.101MPa 压力下冷至 -77.7°C ，就凝结成略带臭味的无色结晶。液氨也很容易气化，降低压力可急剧蒸发，并吸收大量的热。

氨极易溶于水，可制成含氨 15%~30%（质量）的商品氨水。氨溶解时放出大量的热。氨的水溶液呈弱碱性，易挥发。

2. 化学性质 氨与酸或酸酐可以直接作用，生成各种铵盐：



氨与二氧化碳作用生成氨基甲酸铵，脱水生成尿素：



在铂催化剂存在的条件下，与氧作用生成一氧化氮：



一氧化氮继续氧化并与水作用能制得硝酸。

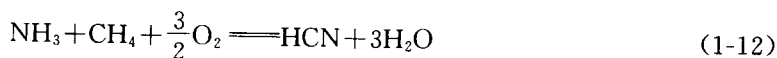
在铜催化剂或钨催化剂存在的条件下，氨与氧作用生成氮：



在高温下（ 800°C 以上），氨能分解成氢和氮：



氨与一氧化碳，或者与甲烷和氧作用生成氢氰酸：



液氨或干燥的氨气对大部分物质没有腐蚀性，但在有水的条件下，对铜、银、锌等金属有腐蚀作用。

氨自燃点为 630°C ，在空气中燃烧生成氮和水。氨与空气或氧按一定比例混合后，遇火能

爆炸。常温常压下，氨在空气中的爆炸范围为 15.5%~28%，在氧气中为 13.5%~82%。

复 习 题

- 1-1. 氨的用途有哪些？
- 1-2. 生产合成氨的主要原料是什么？合成氨厂有哪些主要生产工序？各工序的作用是什么？
- 1-3. 氨的主要物理性质和化学性质有哪些？

第二章 固体燃料气化制取合成氨原料气

第一节 概 述

固体燃料气化是用气化剂对固体燃料进行热加工,生成可燃性气体的过程,简称造气。固体燃料为各种煤和焦炭;用以与固体燃料进行气化反应的气体统称为气化剂,常用的气化剂有空气、富氧空气、氧和水蒸气等。气化后得到的可燃性气体称为煤气。进行气化的设备称煤气发生炉。

煤气的成分取决于燃料和气化剂的种类,以及进行气化的条件。根据所用气化剂的不同,工业煤气可分为下列四种:

空气煤气:以空气为气化剂制取的煤气,又称为吹风气。

水煤气:以水蒸气(或水蒸气与氧的混合气)为气化剂制取的煤气。

混合煤气:以空气和适量的水蒸气为气化剂制取的煤气,一般作燃料用。

半水煤气:是混合煤气中组成符合 $(H_2+CO)/N_2=3.1\sim 3.2$ 的一个特例。可用蒸汽与适量的空气,或蒸汽与适量的富氧空气为气化剂制得,也可用水煤气与吹风气混合配制。

上述四种煤气的大致组成,列于表 2-1。

表 2-1 各种工业煤气的组成

煤气名称	气 体 组 成, % (体积)						
	H ₂	CO	CO ₂	N ₂	CH ₄ ①	O ₂	H ₂ S②
空气煤气	0.9	33.4	0.6	64.6	0.5	—	—
水 煤 气	50.0	37.3	6.5	5.5	0.3	0.2	0.2
混合煤气	11.0	27.5	6.0	55.0	0.3	0.2	—
半水煤气	37.0	33.3	6.6	22.4	0.3	0.2	0.2

① CH₄ 含量随燃料及操作条件而变。

② H₂S 含量随燃料中含硫量而变。

煤气中的氢和氮是合成氨的原料。由于一体积的一氧化碳通过变换反应可生成一体积的氢,因此煤气中的一氧化碳和氢均为合成氨的有效成分^①。一个氨分子是由三个氢原子和一个氮原子组成,要求原料气中 $(H_2+CO)/N_2=3.1\sim 3.2$ ^②,故半水煤气是适宜于生产氨的原料气。水煤气经过净化后得到纯净的氢气,再配入适量氮气,也可成为合成氨的原料气。

目前,工业上以固体燃料为原料,制取合成氨原料气的方法,主要有以下几种。

1. 固定层间歇气化法 用水蒸气和空气为气化剂,交替地通过固定的燃料层,使燃料气化,制得半水煤气。通入空气的目的是空气中的氧与燃料中的碳燃烧,以便提高燃料层的温

① 虽然氮是合成氨的原料,但因氮在半水煤气制造中比较容易获得,并且不与碳发生化学反应,也不具备煤气的可燃性,因此习惯上认为半水煤气的有效成分是氢和一氧化碳,而不是氮。

② 按照氨合成反应,半水煤气中 $(H_2+CO)/N_2$ 应等于 3。但是,变换反应时,一氧化碳不能百分之百地转变为氢气,因此要求 $(H_2+CO)/N_2=3.1\sim 3.2$ 。

度，为蒸汽与碳的吸热反应提供热量，并为合成氨提供氮气。通入蒸汽的目的是与灼热的碳反应，得到氢和一氧化碳。具体的生产过程是将固体燃料由煤气炉顶部加入，从炉底通入空气，与燃料燃烧所放出的热量主要积蓄在燃料层中，这一过程称为吹风阶段，生成的气体称为吹风气，大部分放空，小部分回收。然后向燃料层通入蒸汽与碳反应，生成的水煤气与回收的吹风气混合得到半水煤气。通入蒸汽的过程称为制气阶段。随着制气过程的进行，燃料层温度下降，需要再次通入空气升温。

如果吹风阶段将吹风气全部放空，在制气阶段向蒸汽中加入适量空气，也可直接制得半水煤气。

我国以固体燃料为原料的中、小型合成氨厂，几乎均采用固定层间歇气化法制造半水煤气，本章将重点介绍。

2. 固定层连续气化法 以富氧空气（或氧气）与蒸汽的混合气为气化剂，连续通过固定的燃料层进行气化。该法克服了间歇气化法吹风与制气间歇进行、操作复杂的缺点，简化了流程，提高了煤气炉的生产能力。但需要制氧设备，生产 1t 氨耗氧（标准状态）量为 $300\sim 500\text{m}^3$ 。

根据操作压力的不同，连续气化法又可分为常压和加压两种。

采用常压连续气化法时，如果以纯氧和蒸汽为气化剂，可以连续制得水煤气，标准状态下的氧与蒸汽的比值一般为 $0.4\sim 0.6\text{m}^3/\text{kg}$ 。以富氧空气和蒸汽为气化剂，可以连续制得半水煤气，一般要求富氧空气中氧含量大于 50%，标准状态下的氧与蒸汽的比值为 $0.5\sim 0.6\text{m}^3/\text{kg}$ 。

加压连续气化法操作压力一般为 $2.5\sim 3.2\text{MPa}$ ，燃料的粒度为 $4\sim 50\text{mm}$ 。此法反应温度比较低，可采用灰熔点较低、机械强度与热稳定性较差的燃料，除无烟煤外，还可用烟煤及褐煤；生产强度大，便于实现大型化和自动化。但所生产的煤气中甲烷含量高达 $8\%\sim 10\%$ ，必须设置甲烷转化或分离装置。

加压连续气化方法中典型的为鲁奇法，所用气化炉称为鲁奇炉。目前国外采用较多，我国已有几家大、中型厂采用。

3. 气流层气化法 在高温下，以氧和蒸汽混合气为气化剂，与粒度小于 0.1mm 的粉煤并流气化，生成有效成分（ H_2+CO ）高达 $80\%\sim 85\%$ 的煤气，灰渣呈熔融态排出。该法生产强度大，煤气中甲烷含量低，并可气化各种固体燃料，也可以采用液体燃料或气体燃料。但需要将原料煤磨得很细，煤加工过程复杂，电耗较高，还需制氧装置。

气流层气化法中典型的方法是科柏斯-托切克气化法，简称 K-T 法，所用气化炉称为 K-T 炉。目前国外应用较多，国内还无这种生产装置。

4. 水煤浆加压气化法 将原料煤和水按一定比例，加到磨煤机中磨成水煤浆，经加压后和氧气一起由喷嘴喷入气化炉内，进行气化反应，制得水煤气。这种气化方法也称为德士古水煤浆气化法，是新开发的煤气化方法中，最成功的一种，在国内外迅速得到推广应用。我国已有几套大、中型装置投入使用，目前还有几套装置正在筹建之中。所产煤气不仅用于生产合成氨，也适用于生产甲醇和供城市煤气用。

第二节 固定层间歇法制半水煤气的基本原理

一、燃料层的分区

间歇法气化过程是在固定层煤气发生炉中进行的。固体块状燃料由顶部间歇加入，气化