



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

中等职业教育化学工艺专业系列教材

合成氨工艺 及设备

HECHENGAN GONGYI JI SHEBEI

魏葆婷 主编

陈炳和 主审



化学工业出版社



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

中等职业教育化学工艺专业系列教材

合成氨工艺及设备

魏葆婷 主编 陈炳和 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是根据教育部近期制定的《中等职业学校化学工艺专业教学标准》，由全国石油和化工职业教育教学指导委员会组织编写的全国中等职业学校规划教材。

本教材以合成氨企业产品的生产过程为导向进行编写，主要内容包括合成氨生产过程准备、合成氨生产原料准备、合成氨生产原料气制取、合成氨生产原料气脱硫、合成氨生产原料气变换、合成氨生产原料气脱碳、合成氨生产原料气精制、合成氨生产原料气压缩、原料气合成、合成氨的储存与输送 10 个项目。内容选取上注重新工艺、新技术、新材料、新设备以及节能、减排、安全、经济、环保等相关信息在教材中的体现。

本教材可作为中等职业院校化学工艺专业及相关专业的教材，也可以作为企业员工的培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

合成氨工艺及设备/魏葆婷主编. —北京: 化学工业出版社, 2015. 11

“十二五”职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-122-25141-1

I. ①合… II. ①魏… III. ①合成氨生产-生产工艺-中等专业学校-教材②合成氨生产-化工设备-中等专业学校-教材 IV. ①TQ113. 26

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 218042 号

责任编辑: 旷英姿

文字编辑: 李 玥

责任校对: 宋 玮

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 装: 三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 17 字数 448 千字 2016 年 1 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: 35.00 元

版权所有 违者必究

前言

本书是根据教育部近期制定的《中等职业学校化学工艺专业教学标准》，由全国石油和化工职业教育教学指导委员会组织编写的全国中等职业学校规划教材。

本书紧密结合企业生产实际，以培养学生的职业能力为出发点，深浅适度。在内容编排上，以合成氨产品的生产过程为导向，采用项目式教学，以项目引领，任务驱动，知识与任务相呼应，并强化了生产过程的操作及事故的处理，具有较强的针对性和实用性。

在内容表达上充分考虑中职学生学习特点及认知规律，表达方式灵活、多样，图文并茂，视觉感强，使学生乐学、易学。

全书共分十个项目，由常州工程职业技术学院陈炳和教授主审。河南化工技师学院魏葆婷担任主编，负责编写项目五、项目八、项目十并且统稿；河南化工技师学院高美莹编写项目一、项目二并参与统稿；广西柳州化工技工学校戚桂良编写项目三中的任务一、任务二、任务三、任务四；广西柳州化工技工学校辛桂强编写项目三中的任务五、任务六；山东化工技师学院孙欣欣编写项目四；云南化工高级技校凡泽佑编写项目六；云南化工高级技校张弘浩编写项目七；河南煤业永煤集团吕本福编写项目九。

教材在编写过程中得到了编写老师所在学院领导及各方面的大力支持和帮助，并提出了许多宝贵的建议，在此一并感谢。

由于编写水平有限，编写时间仓促，书中难免出现不妥之处，敬请读者和同行批评指正。

编者

2015年7月

目录

项目一 合成氨生产过程准备	1
任务一 认识合成氨	1
一、合成氨	1
二、氨的性质	2
三、氨的用途	3
四、合成氨发展概况	4
五、合成氨生产工艺的特点	5
资源导读 合成氨的历史	6
任务二 认识合成氨生产过程	6
一、合成氨的原料	7
二、合成氨生产过程	7
三、以煤为原料合成氨的工艺流程	8
四、以天然气为原料合成氨的工艺流程	9
任务三 合成氨生产水处理	10
一、水中的杂质及其危害	10
二、常用的水质指标	11
三、水中杂质的清除方法	12
四、合成氨厂的水处理	15
任务四 认识合成氨生产中常用指标	20
一、经济评价指标	20
二、工艺控制指标	22
任务五 认识催化剂	23
一、什么是催化剂	23
二、催化剂的组成	24
三、催化剂的性能	24
四、催化剂还原与氧化	25
五、催化剂中毒与衰老	25
六、生产中对催化剂的要求	26
资源导读 合成氨生产催化剂的型号	27
任务六 认识化学基础知识	27
一、物质的量及其单位——摩尔	28
二、反应热、吸热反应与放热反应	28
三、可逆反应与不可逆反应	28
四、化学平衡、化学平衡移动因素及影响因素	28
五、化学反应速率及其影响因素	29
六、溶解度	29
七、氧化还原反应和非氧化还原反应	30
项目二 合成氨生产原料准备	31
任务一 合成氨生产固体燃料选取及处理	31
一、煤的性质及对煤气化的影响	32

二、煤的种类	33
三、固体燃料气化对原料的选取及处理	34
任务二 合成氨生产气体原料选取及处理	37
一、天然气	37
二、天然气的物理性质	38
三、天然气的预处理	39
资源导读 认识甲烷	40
任务三 空气液化分离	41
一、空分装置的基本原理和过程	42
二、实现空气分离的过程	42
三、空气分离的工艺流程	44
四、空气分离的主要设备	45
五、空气液化分离安全规程	48
资源导读 空分的发展历史	50
◆ 项目三 合成氨生产原料气制取	51
任务一 固定层间歇气化	51
一、固定层间歇气化流程	51
二、固定层间歇气化设备	52
三、固定层间歇气化基本原理	53
四、固定层间歇气化工艺条件	54
五、固定层间歇气化岗位安全操作及环保措施	56
任务二 固定层连续气化	58
一、固定层连续气化流程	58
二、固定层连续气化设备	59
三、固定层连续气化原理	60
四、固定层连续气化条件	60
五、固定层连续气化岗位安全操作及环保措施	60
任务三 水煤浆加压气化	62
一、水煤浆加压气化流程	62
二、水煤浆加压气化设备	63
三、水煤浆加压气化原理	65
四、水煤浆加压气化条件	65
五、水煤浆加压气化岗位安全操作及环保措施	66
任务四 粉煤气流层气化	68
一、粉煤气流层气化流程	68
二、粉煤气流层气化设备	69
三、粉煤气流层气化原理	70
四、粉煤气流层气化条件	70
五、粉煤气流层气化岗位安全操作及环保措施	71
任务五 天然气蒸汽转化	72
一、天然气蒸汽转化流程	73
二、天然气蒸汽转化设备	74
三、天然气的转化原理	75
四、天然气的转化条件	77
五、天然气的转化装置	78
六、天然气蒸汽转化岗位安全操作及环保措施	79

资源导读 烃类转化催化剂	83
任务六 重油氧化制气	84
一、认识重油氧化制气	85
二、重油部分氧化制气	85

◆ 项目四 合成氨生产原料气脱硫 89

任务一 栲胶法脱硫	89
一、栲胶法工艺流程	89
二、栲胶法脱硫设备	91
三、栲胶法基本原理	92
四、栲胶法脱硫工艺条件	93
五、栲胶法脱硫岗位安全操作要点	95
六、生产中异常现象和处理方法	96
任务二 其他湿法脱硫	97
一、ADA法	97
二、氨水对苯二酚法	100
三、PDS法	101
四、KCA法	102
五、本岗位安全技术要点及环保措施	102
资源导读 湿式氧化法脱硫堵塔的问题	104
任务三 干法脱硫	105
一、氧化锌法	106
二、钴钼加氢法	107
三、活性炭法	108
任务四 硫黄回收	110
一、克劳斯硫黄回收法	111
二、超级克劳斯硫黄回收工艺	115
三、硫黄回收生产中异常问题与处理方法	118
资源导读 硫黄回收工艺简介	120

◆ 项目五 合成氨生产原料气变换 122

任务一 认识合成氨变换流程	122
一、加压中温变换流程	122
二、中温变换串低温变换流程	123
三、全低温变换流程	124
四、中低低变换流程	125
任务二 认识合成氨变换设备	126
一、变换炉	127
二、饱和热水塔	128
任务三 认知合成氨原料气变换原理	129
一、变换反应的原理及特点	129
二、变换反应的化学平衡	129
三、变换反应速率	130
四、变换催化剂	131
资源导读 钴钼系催化剂硫化的方法和步骤	135
任务四 控制合成氨变换条件	137
一、中温变换工艺条件	137
二、低温变换工艺条件	138
三、耐硫低温变换工艺条件	139

任务五 操作合成氨变换装置	140
一、原始开车	140
二、短期停车后的开车	141
三、长期停车后的开车	141
四、系统停车	142
五、正常操作和控制要点	142
六、异常现象及处理	143
七、变换炉的升温硫化	144
八、应急预案	144
九、安全技术规程	146
任务六 合成氨变换岗位安全操作及环保措施	146
一、原料气变换岗位安全操作	147
二、变换岗位环保措施	149

项目六 合成氨生产原料气脱碳 151

任务一 聚乙二醇二甲醚 (NHD) 法脱碳	151
一、聚乙二醇二甲醚法流程	151
二、聚乙二醇二甲醚法设备	152
三、聚乙二醇二甲醚法原理	152
四、聚乙二醇二甲醚法条件	152
资源导读 NHD 净化技术	153
任务二 低温甲醇洗法脱碳	154
一、低温甲醇洗法流程	154
二、低温甲醇洗法设备	155
三、低温甲醇洗法原理	155
四、低温甲醇洗法条件	155
五、低温甲醇洗法生产装置	156
资源导读 低温甲醇洗的主产品流	156
任务三 其他物理法脱碳	156
一、碳酸丙烯酯法	157
二、加压水洗法	157
任务四 本菲尔法 (改良热钾碱法) 脱碳	157
一、本菲尔法脱碳流程	158
二、本菲尔法脱碳设备	159
三、本菲尔法脱碳基本原理	159
四、本菲尔法脱碳条件	159
五、本菲尔法脱碳溶液再生	160
六、本菲尔法正常操作与停车	160
七、事故及处理方法	161
资源导读 以碳酸钾为吸收剂的主要脱碳方法	163
任务五 甲基二乙醇胺 (MDEA) 法脱碳	163
一、甲基二乙醇胺 (MDEA) 脱碳流程	163
二、甲基二乙醇胺 (MDEA) 法脱碳设备	164
三、甲基二乙醇胺 (MDEA) 法脱碳基本原理	165
四、甲基二乙醇胺 (MDEA) 法脱碳条件	165
五、甲基二乙醇胺法脱碳岗位安全操作	165
资源导读 MDEA	166
任务六 变压吸附法脱碳	166
一、变压吸附法脱碳流程	167

二、吸附法脱碳设备	167
三、变压吸附法脱碳基本原理	168
四、变压吸附法脱碳条件	168
资源导读 脱碳方法简介	168

❖ 项目七 合成氨生产原料气精制 170

任务一 甲烷化法精制	170
一、甲烷化法流程	171
二、甲烷化设备	172
三、甲烷化法精制原理	172
四、甲烷化法工艺操作条件	175
五、甲烷化法生产操作要点及异常现象处理	176
六、安全及环保措施	178
任务二 液氮洗涤法精制	179
一、液氮洗涤法精制流程	180
二、液氮洗涤法精制基本原理	181
三、液氮洗涤法工艺条件	183
四、液氮洗涤法生产控制要点及异常现象处理	184
五、安全及环保措施	185
资源导读 氮的使用	186
任务三 认识双甲精制工艺	187
一、双甲精制工艺流程	188
二、双甲精制工艺原理	189
三、双甲精制工艺条件	190
四、双甲精制工艺生产操作要点及异常现象处理	191
五、安全及环保措施	192
六、醇烃化工艺	192
资源导读 甲醇的生产及应用	194

❖ 项目八 合成氨生产原料气压缩 196

任务一 认识原料气压缩设备	196
一、往复式压缩机	196
二、离心式压缩机	200
三、喘振	203
任务二 认识原料气压缩流程	204
一、压缩系统的工艺流程	205
二、30万吨合成氨厂压缩工艺流程	206
任务三 原料气压缩生产装置操作	207
一、压缩系统的开车过程操作	208
二、安全及环保措施	211
任务四 合成氨压缩岗位安全操作及环保措施	212
一、原料气压缩岗位安全特点	212
二、压缩岗位安全事故原因、处理方法	213
三、压缩岗位安全环保措施	214

❖ 项目九 原料气合成 218

任务一 认识原料气合成流程	218
一、氨合成工艺流程安排原则	218

二、中、小型氨厂氨合成工艺流程	219
三、大型合成氨厂氨合成工艺流程	221
四、放空气与弛放气的回收处理	222
任务二 认识原料气合成设备	224
一、氨合成塔	225
二、水冷器	230
三、氨分离器	230
四、氨冷器	231
五、冷凝塔	231
任务三 控制原料气合成条件	231
一、空间速度	232
二、反应温度	233
三、合成压力	234
四、气体成分	234
五、氨合成反应催化剂	235
任务四 原料气合成生产装置操作	236
一、原料气合成系统的开车过程操作	237
二、原料气合成系统正常过程操作	240
三、氨合成系统停车操作	242
四、氨合成岗位常见问题及处理方法	243
任务五 原料气合成岗位安全操作及环保措施	245
一、原料气合成岗位安全操作	245
二、原料气合成岗位环保措施	249

❖ 项目十 合成氨的储存与输送 251

任务一 认识合成氨的储存	251
一、氨冷冻原理及工艺流程	251
二、液氨的储存	255
任务二 认识合成氨的输送	256
一、液氨的输送	257
二、气氨的输送	260
参考文献	261

项目一

合成氨生产过程准备

任务一 认识合成氨

任务目标

通过对氨的理论知识的学习，掌握氨的物理性质和化学性质以及氨的用途，理解合成氨的意义，了解合成氨工业的发展概况及合成氨工业的特点。

任务要求

- ▶ 能说出氨的用途。
- ▶ 能写出合成氨的化学反应方程式。
- ▶ 列举出氨的物理性质并能对相应的物理性质的相关知识进行分析。
- ▶ 列举出氨的化学性质并能分析化学性质与用途间的关系。
- ▶ 能根据所学的知识，充分了解我国合成氨工业的现状、发展方向、开发的重点。
- ▶ 能树立正确的人生观、价值观、学习观、发展观，掌握正确的学习方法，学好合成氨生产知识。

任务分析

氨是我国产量最大的无机产品之一，合成氨工业在国民经济中占有重要地位，用途非常广泛。

理论知识

一、合成氨

科学家们通过研究发现，氮元素是植物营养的重要成分之一，它是植物生长最重要的营养，给土地施含有氮的肥料，能有效地增加粮食产量。氮气在空气中所占比例非常大(78.09%)，是自然界中分布很广的气体。但是大多数植物不能直接吸收空气中的氮气，只有当氮气与其他元素化合以后，才能被植物吸收利用，因此必须把空气中的氮气转变为氮的化合物。

把空气中的游离氮转变为氮的化合物的过程称为固定氮，如图 1-1 所示。

在自然状态下固定氮的方式有两种，如图 1-2 所示。一种是依靠固氮微生物将氮气转化为氨被植物吸收，另外一种是通过闪电等自然能量将氮气转化为氨，随雨水降到地面被植物吸收。但是这两种固氮方式都是依靠自然力量，效率很低，同时条件也有很大的局限性。人类不断地探索更高效的固氮方法，德国化学家哈伯于 1908 年成功地研究出由氮气和氢气反应合成氨的方法，由于是人工的方法将氮气转化为氨，所以称为人工固氮，这是目前应用最广泛也是最经济的固氮方法。

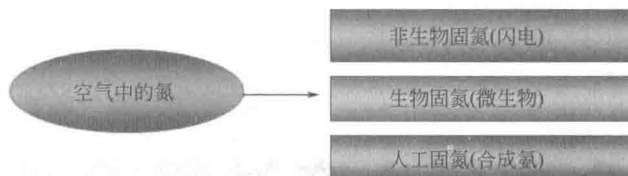


图 1-1 固定氮



图 1-2 固定氮的形式

用人工合成的方法固氮生产氨，习惯上称之为合成氨。

合成氨是用将氮气和氢气合成的方法生产氨。氨的化学式是 NH_3 ，现代的合成氨的方法是在高温、高压、有催化剂的条件下，把原料氮气和氢气合成氨气。反应方程式是：



合成氨是人类科学技术史上的一项重大突破，对社会发展与进步具有重要意义。

二、氨的性质

1. 物理性质

(1) 状态 氨是具有特殊刺激性臭味的无色气体，能刺激人体器官的黏膜。氨有强烈的毒性，空气中含有 0.5% 的氨，就会使人在几分钟内窒息而亡。在标准状况下，氨的相对密度为 0.5971（空气中），比空气轻。图 1-3 所示为氨气泄漏。

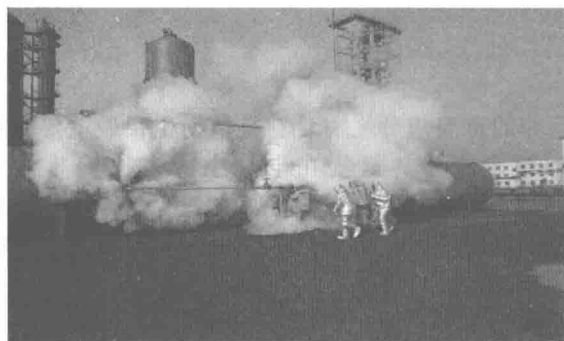


图 1-3 氨气泄漏



图 1-4 液氨钢瓶

(2) 氨极易溶于水 可制成含氨 15%~30% 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。

(3) 氨极易被液化 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。如果人与液氨接触，则会严重

地冻伤皮肤。液氨也很易汽化，降低压力可急剧蒸发，并吸收大量的热。液氨钢瓶如图 1-4 所示。

2. 化学性质

- ① 氨与酸或酸酐可以直接作用，生成各种铵盐，例如氯化铵、碳酸氢铵等。
- ② 氨与二氧化碳作用生成氨基甲酸铵，脱水生成尿素。
- ③ 在铂催化作用存在条件下，与氧作用生成一氧化氮，一氧化氮继续与水作用能制得硝酸。
- ④ 在高温、电火花或紫外线作用下，氨能分解成氢和氮。
- ⑤ 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。
- ⑥ 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%。

三、氨的用途

氨是重要的无机化工产品之一，在国民经济中占有重要地位，用途见图 1-5，具体分为如下几个方面。

① 氨主要用于农业，制造各种化学肥料。如图 1-6 所示，合成氨是重要的化工原料，用于制造尿素、碳铵、硝铵、氯化铵等肥料。

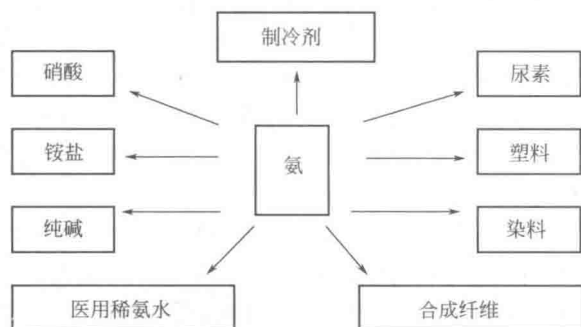


图 1-5 氨的用途



图 1-6 氨用于制造化学肥料

② 在化学工业中作为重要的化工原料，用于生产染料、制药、煤油、纯碱、合成纤维、合成树脂等，如图 1-7 所示。

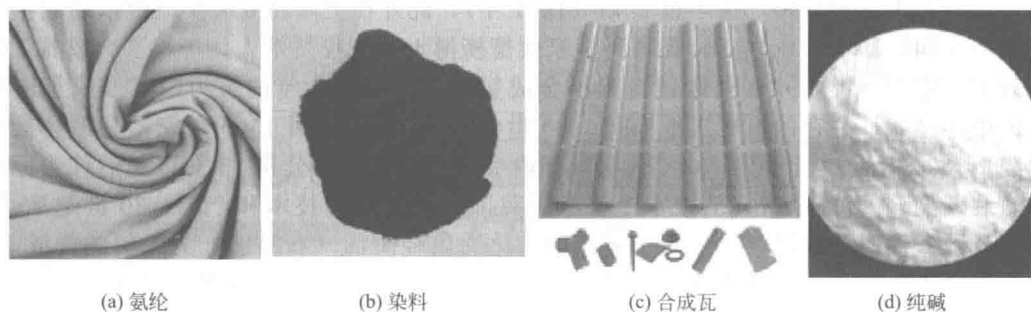


图 1-7 氨产品

③ 在国防工业中，氨是生产炸药的原料（图 1-8），另外可以生产导弹，作为火箭的推进剂和氧化剂。

④ 液氨是常用的制冷剂，在食品工业、医疗行业、冷藏系统中作为制冷剂。如图 1-9 所示。

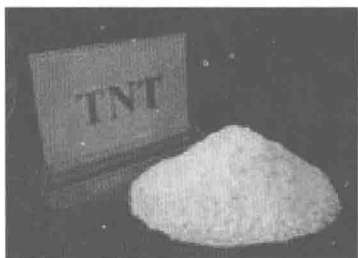


图 1-8 氨用于生产炸药

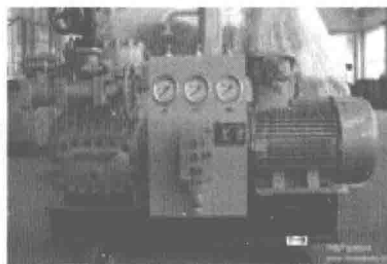


图 1-9 氨制冷机组

四、合成氨发展概况

1. 世界合成氨发展

合成氨工业在 20 世纪初期形成,开始用氨作火炸药工业的原料,为战争服务;第一次世界大战结束后,转向为农业、工业服务。随着科学技术的发展,对氨的需要量日益增长。20 世纪 50 年代后氨的原料构成发生重大变化。近 30 年来合成氨工业发展很快。

1913 年在德国奥堡巴登苯胺纯碱公司建成了一套日产 30t 的合成氨装置,是世界上第一个实现工业化生产的合成氨生产装置,至今合成氨工业已走过 100 多年历程,随着合成氨需要量的增长、石油工业的发展及新工艺新技术的不断涌现,合成氨工业在生产技术上发生了重大变化。20 世纪 60 年代,美国凯洛格公司首先利用工艺过程的余热副产高压蒸汽作为动力,实现了单系列合成氨装置的大型化,这是合成氨工业的一次重要突破。20 世纪 70 年代,计算机技术应用于合成氨生产过程,使操作控制产生了质的飞跃,使能耗水平大为下降。近年来合成氨工业发展很快,大型化、低能耗、清洁生产成为合成氨装置发展的主流,技术改进的主要方向是研制性能更好的催化剂、降低氨合成压力、开发新的原料气净化方法、降低燃料消耗、回收和合理利用低位热能等。

目前合成氨产量以中国、俄罗斯、美国、印度等国最高,约占世界总产量的一半以上。合成氨主要原料有天然气、石脑油、重质油和煤等,因以天然气为原料的合成氨装置投资低、能耗低、成本低,世界大多数合成氨装置以天然气为原料。但是自从石油涨价后,由煤制氨路线重新受到重视。从目前世界燃料储量来看,煤的储量约为石油、天然气总和的 10 倍,所以以煤为原料合成氨仍具有潜力。

2. 我国合成氨发展

我国合成氨工业于 20 世纪 30 年代起步,当时仅在南京、大连两地建有氨厂,以焦炭为原料,规模不大,最高年产量不过 50kt (1941 年),此外在上海还有一个电解水制氢生产合成氨的小车间。新中国成立后,我国科学家侯德榜博士率工程技术人员进行了合成氨工艺装置的研究、定型、推广并首创碳铵流程小合成氨厂,经过数十年的努力,已形成了遍布全国、大中小型氨厂并存的氮肥工业布局。20 世纪 60 年代,全国 1500 余家,几乎县县建有小化肥厂。20 世纪 60 年代至 70 年代初,国内引进美国凯洛格公司 13 套以天然气为原料的合成氨装置配 54 万吨尿素,从根本上提升了我国化肥工业的技术和产能。20 世纪 70 年代中期,我国石油工业发展,又出现了一批国产化的以轻质油(石脑油)为原料的合成氨厂。随着石油化工的发展,石脑油为原料的资源越来越贫,而相应的厂家则没法生存。20 世纪 80 年代,石油炼油发展迅速,提供大量的重油、渣油。以重油为原料的 30 万吨合成氨厂建了十余个,包括新疆、镇海、兰州、南京、大连、锦州等。随着炼油技术的提高,重油资源越来越少,以重油为原料的厂家几乎全部亏损,不得不选择其他原料制气。目前我国的煤炭资源丰富,油气匮乏,以煤炭为原料合成氨在我国合成氨工业中仍将占主导地位。

我国的合成氨产量排名世界第一。但设备单一、规模较小,近年来合成氨设备的大型化

是世界合成氨的主流发展趋势，因此我国也在对合成氨产业进行调整，兴建大型合成氨设备，改善中型合成氨设备，淘汰小型合成氨设备，建立区域性大型合成氨企业集团。

五、合成氨生产工艺的特点

合成氨生产具有传统产业和现代技术的双重特征，其生产工艺有如下特点。

1. 能量消耗高

合成氨工业是能耗较高的行业，由于原料品种、生产规模和技术先进程度的差异，能耗在 28~66GJ 之间。因此，当原料路线确定后，生产规模和所采用的先进技术应以总体节能为目标，即能耗是评价合成氨工艺先进性的重要指标之一。目前，合成氨装置的总能耗为：以天然气为原料、采用烃类蒸气转化的低能耗工艺的吨氨能耗最低达到 28.0GJ 左右；以重油为原料、采用部分氧化的低能耗工艺的吨氨能耗最低达到 38.0GJ 左右；以煤为原料、采用部分氧化工艺的吨氨能耗最低达到 48.0GJ 左右。

2. 技术要求高

一方面由于制取粗原料气比较困难，另一方面粗原料气净化过程比较长，而且高温高压操作条件对氨合成设备要求也比较高。因此，合成氨工业是技术要求很高的系统工程。

3. 高度连续化

合成氨工业还具有高度连续化生产的特点，它要求原料供应充足连续，有比较高的自动控制水平和科学管理水平，确保长周期运行，以获得较高的生产效率和经济效益。

4. 生产工艺典型

合成氨生产工艺中包括了流体输送、传热、传质、分离、冷冻等化工单元操作，是比较典型的化学工艺过程。

5. 与农业息息相关

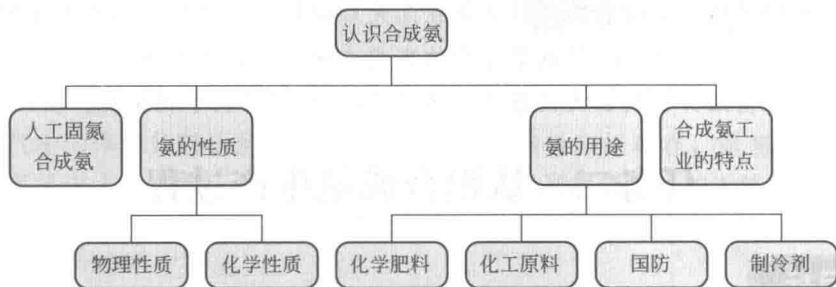
农业对化肥的需求是合成氨工业发展的持久推动力。

世界人口不断增长给粮食供应带来压力，而施用化学肥料是农业增产的有效途径，合成氨的下游产品主要是化学肥料，所以合成氨工业与国计民生紧密相连，如图 1-10 所示。



图 1-10 施肥后的庄稼

任务小结



思考与练习

1. 总结 NH_3 的物理性质和化学性质。
2. 写出工业合成氨的反应式（注明中文名称）。
3. 氨的用途有哪些？
4. 通过阅读下列资料，写出自己的感想，想一想你从资料中能得到什么启示。
5. 查阅合成氨工业的建立者哈伯的资料，谈一谈你的感想。

6. 你所在的地区有没有合成氨企业？请了解其规模。

资源导读

合成氨的历史

1900年，法国化学家勒夏特列通过理论计算，认为氮气和氢气可以直接化合生成氨。他在用实验验证的过程中发生了爆炸。他没有调查事故发生的原因，而是觉得这个实验有危险，就放弃了。后来查明实验失败的原因是他所用混合气体中含有氧气。稍后，德国物理化学家能斯特通过理论计算，竟然认为合成氨是不能进行的。后来才发现，他在计算时误用一个热力学数据，以致得到错误的结论。由于能斯特在物理化学领域的权威性，人工合成氨的研究陷入低潮。能斯特结论的公布给同时也在研究合成氨的哈伯很大的打击，但是通过比较发现，他所取得的某些数据与能斯特有所不同。他没有盲从权威，而是依靠实验来检验，终于证实了能斯特的计算是错误的。

哈伯首先想到，也许高温下会进行这个反应。结果却出乎意料，当温度升高到 1000°C 时，氨的产量才不过是原料体积的 0.012% ，还不如低温时的产量高。但是，降低反应温度时，反应却又变得十分缓慢。哈伯的实验陷入困境。1903年，伯克兰和艾德采取在空气中放电的方法固氮。哈伯赴美国考察，回国后也采用高压放电固氮，实验历时一年效果不尽如人意。放电法还是回到高温法？经过慎重考虑，哈伯觉得放电法需要大量的电力，不易形成流程化，没有前途，决定再回到高温法。

1905年底，哈伯确定了氮气和氢气的混合气体在高温高压及催化剂的作用下合成氨。但什么样的高温和高压条件为最佳？以什么样的催化剂为最好？经过四年几千次的实验和计算，哈伯终于在1909年取得了鼓舞人心的成果。这就是在 550°C 的高温、 200atm 和钨为催化剂的条件下，能得到产率约为 6.25% 的合成氨。现代合成氨工艺的反应条件是用铁作催化剂， 500°C 左右， $20\sim 50\text{MPa}$ 。氨的产量大约在 $10\%\sim 15\%$ 。

由于温度高、压力大，哈伯的实验装置在几天后的另一次实验中发生了爆炸，变成一堆废铁，后来另一位科学家博施采用双层结构的方式才解决了设备耐高温高压的问题，博施因在化工设备耐高温高压方面的巨大贡献也获得了1931年的诺贝尔化学奖。

任务二 认识合成氨生产过程

任务目标

通过本任务的学习，对合成氨生产过程建立初步的认识，巩固利用资料获取信息和利用互联网查阅资料的方法，能分析出以煤为原料生产合成氨的工艺过程和以天然气为原料生产合成氨的过程。

任务要求

- ▶ 能够准确地用方框图表示出合成氨生产的工艺过程。
- ▶ 用语言叙述出合成氨生产过程包括的三个步骤。

- ▶ 列举出合成氨生产所使用的原料。
- ▶ 查阅资料说明我国合成氨企业使用的原料的特点。
- ▶ 能够查阅资料根据当地的能源特点选择合成氨原料路线与生产路线。

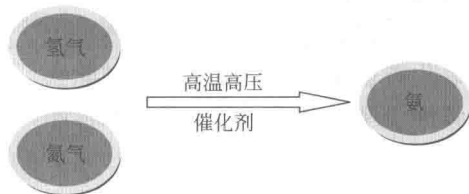
任务分析

氨是氢气和氮气在高温高压有催化剂的条件下合成的，因此需要选择合适的原料通过一系列的加工过程才能完成合成氨的生产。

理论知识

一、合成氨的原料

氢气和氮气是合成氨的直接原料气，所以生产合成氨必须要制备合格的氢气和氮气。



1. 氢气的来源

因为氢气不能直接 from 其他混合物中取得，合成氨生产过程中最重要的问题是如何获取纯净的氢气，合成氨的绝大多数过程都是在制取氢气。工业普遍采用焦炭、煤（图 1-11）、天然气、轻油、重油（图 1-12）等燃料在高温下与水蒸气反应的方法制取。根据这些原料的状态不同，又把合成氨原料分为固体燃料（焦炭、煤等）、气态烃（天然气等）和重油等。



图 1-11 煤



图 1-12 重油

2. 氮气的来源

氮气在空气中的体积分数达到 78.09%，空气在自然界广泛存在，是氮气的最好来源，要将空气中的氮气用于合成氨，可以通过把空气中的氧气和氮气分离的方法得到，或者将空气中的氧气通过燃烧的方式消耗掉从而得到氮气。

二、合成氨生产过程

合成氨的主要原料可分为固体原料、液体原料和气体原料。经过百年的发展，合成氨技术趋于成熟，形成了一大批各有特色的工艺流程，但都是由三个基本部分组成，即：



原料气的制备指的是由燃料经过燃烧制取氢氮混合气的过程；原料气的净化主要包括原料气脱硫、一氧化碳变换、脱碳、少量一氧化碳及二氧化碳脱除等工序，将原料气中的杂质硫化物、一氧化碳、二氧化碳等脱除，并对气体成分进行调整；气体的压缩与氨的合成指的是在高温、高压和有催化剂的条件下，将氢氮气合成为氨。各工序