

化工工人技术理论培训教材



合成氨造气

化学工业部人事教育司 组织编写
化学工业部教育培训中心

化学工业出版社

化工工人技术等级培训教材

合成氨造气

化学工业出版社人教部审订 主编 编委
化学工业出版社培训中心

化学工业出版社

化工工人技术理论培训教材

合 成 氨 造 气

化学工业部人事教育司 组织编写
化学工业部教育培训中心

化学工业出版社

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

合成氨造气/化学工业部人事教育司, 化学工业部教育培训中心组织编写. —北京: 化学工业出版社, 1997. 10
化工工人技术理论培训教材
ISBN 7-5025-1918-1

I. 合… II. ①化… ②化… III. 氨-合成气制造-技术-培训-教材 IV. TQ113.26

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 17128 号

化工工人技术理论培训教材

合成氨造气

化学工业部人事教育司 组织编写
化学工业部教育培训中心

责任编辑: 王苏平

责任校对: 李丽 顾淑云

封面设计: 于 兵

*

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)

新华书店北京发行所经销

北京市通县京华印刷厂印刷

北京市通县京华印刷厂装订

*

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 3 1/8 字数 81 千字

1997 年 10 月第 1 版 1997 年 10 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—5000

ISBN 7-5025-1918-1/G · 524

定 价: 6.00 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

为了适应化工系统工人技术等级培训的需要，提高工人的技术理论水平和实际操作技能，我们依据《中华人民共和国工人技术等级标准》和《化工系统工人技术理论培训教学计划和教学大纲》的要求，组织有关人员编写了这套培训教材。

在教材编审过程中，遵循了“坚持标准，结合实际，立足现状，着眼发展，体现特点，突出技能，结构合理，内容精炼，深浅适度”的指导思想，以“等级标准”为依据，以“计划和大纲”为蓝图，从有利于教师教学和方便工人自学出发，力求教材内容能适应化工生产技术和现代化生产工人培训的要求。

按照《中华人民共和国工人技术等级标准》规定的化工行业 168 个生产工种的有关内容，在编制教学计划和划定大纲时，在充分理解等级标准的基础上，吸取了国外职业教育的成功经验，对不同工种、不同等级工人围绕技能所要求掌握的技术理论知识进行分析和分解，作为理论教学的基本单位，称之为“单元”。在计划和大纲中，168 个工种按五个专业大类（及公共课）将不同等级的全部理论教学内容分解为 301 个教学单元。为了方便各单位开展培训教学活动，把教学计划中一些联系较为密切的“单元”合在一起，分成 112 册出版。合订后的全套教材包括以下六部分。

无机化工类单元教材共 25 册：《流体力学基础》、《管路的布置与计算》、《物料输送》、《气相非均一系分离》、《液相非均一系分离》、《物料混合》、《固体流态化与应用》、《加热与冷却》、《蒸发》、《结晶》、《浸取与干燥》、《制冷》、《焙烧与工业炉》、《粉碎与筛分》、《电渗析》、《吸附分离》、《离子交换》、《常见的无机化学反应》、《电解及其设备》、《物料衡算与热量衡算》、《合成氨造气》、《合成氨变换》、《合成氨净化》、《合成氨压缩》和《氨的合成》。

有机化工类单元教材共 7 册：《吸收》、《蒸馏》、《萃取》、《有机化学反应（一）》、《有机化学反应（二）》、《有机化学反应（三）》和《化学反应器》。

化工检修类单元教材共 43 册：《电镀》、《腐蚀与防护》、《机械传动及零件》、《液压传动与气动》、《金属材料热处理知识》、《机械制造工艺基础》、《化工检修常用机具》、《工程力学基础》、《测量与误差》、《公差与配合》、《化工机器与设备安装》、《化工压力容器》、《展开与放样》、《化工管路安装与维修》、《钳工操作技术》、《装配和修理》、《钢材矫正与成型》、《电工材料及工具》、《焊工操作技术》、《焊接工艺》、《阀门》、《化工用泵》、《风机》、《压缩机》、《化工分析仪表（一）》、《化工分析仪表（二）》、《化工测量仪表》、《电动单元组合仪表》、《化工自动化》、《集散系统》、《仪表维修工识图与制图》、《仪表常见故障分析与处理》、《过程分析仪表》、《化工检修钳工工艺学》、《化工检修铆工工艺学》、《化工检修管工工艺学》、《化工检修焊工工艺学》、《化工防腐橡胶衬里》、《化工防腐金属喷涂》、《化工防腐金属铅焊》、《化工防腐砖板衬里》、《化工防腐塑料》以及《化工防腐玻璃钢》。

化工分析类单元教材 6 册：《化学分析的一般知识及基本操作》、《化学分析》、《电化学分析》、《仪器分析》、《化验室基本知识》和《有机定量分析》。

橡胶加工类单元教材共 11 册：《橡胶、配合剂与胶料配方知识》、《再生胶制作机理、工艺及质量检验》、《橡胶加工基本工艺》、《轮胎制造工艺方法》、《力车胎制造工艺方法》、《胶管制造工艺方法》、《胶带制造工艺方法》、《橡胶工业制品制造工艺方法》、《胶鞋制造工艺方法》、《胶乳制品制造工艺方法》和《炭黑制造工艺方法》。

另外还有公共课及管理课类单元教材共 20 册：《电工常识》、《电工基础》、《电子学一般常识》、《电子技术基础》、《机械识图》、《机械制图》、《化工管路识图》、《工艺流程与装备布置图》、《工厂照明与动力线路》、《电气识图与控制》、《电机基础及维修》、《工厂电气设备》、《工厂电气技术》、《安全与防护》、《三废处理与环境保护》、《化工计量常识》、《计算机应用基础知识》、《化工应用文书写》、《标准化基础知

识》和《化工生产管理知识》。

按照“单元”体系组织编写工人培训教材，尚是一种尝试，由于我们经验不足和教材编审时间的限制，部分教材在体系的合理性、内容的先进性、知识的连贯性和深广度的准确性等方面还不尽如人意，为此建议：

一、各单位在组织教学过程中，应按不同等级的培训对象，根据相应的教学计划和教学大纲的具体要求，以“单元”为单位安排教学。

二、工人技术理论的教学应与操作技能的培训结合起来。技术理论的教学活动除应联系本单位生产实际外，还应联系培训对象的文化基础、工作经历等实际情况，制订相应的教学方案，确定相应的教学内容，以提高教学的针对性和教学效率。

三、在教学过程中发现教材中存在的问题，可及时与我们联系，也可与教材的编者或出版单位联系，使教材中的问题得到及时更正，以利教学。

本套教材的组织编写，得到全国化工职工教育战线各方面同志的积极支持和帮助，在此谨向他们表示感谢。

化学工业部人事教育司

化学工业部教育培训中心

1996年3月

目 录

合成氨造气 (无 043)	1
第一章 基础知识	2
第一节 合成氨在国民经济中的意义和发展概况	2
第二节 合成氨生产过程	3
第三节 氨的性质	6
第二章 固体燃料气化制取合成氨原料气	8
第一节 概述	8
第二节 固定层间歇法制取半水煤气的基本原理	8
第三节 间歇法制取半水煤气的工艺条件	18
第四节 间歇法制半水煤气的工艺流程和主要设备	19
第五节 间歇法制半水煤气的操作要点	23
第六节 工艺计算	26
第七节 加压气化法	27
第八节 沸腾层气化法	28
第三章 气态烃及轻油转化制取合成氨原料气	30
第一节 概述	30
第二节 甲烷蒸汽转化反应的基本原理	31
第三节 烃类蒸汽转化催化剂	32
第四节 气态烃蒸汽转化工艺条件	36
第五节 气态烃蒸汽转化工艺流程和主要设备	38
第六节 气态烃蒸汽转化操作要点	44
第七节 气态烃蒸汽转化生产控制指标的计算	44
第八节 轻油蒸汽转化法	47
第九节 气态烃间歇催化转化法	49
第四章 重油气化制取合成氨原料气	52
第一节 概述	52
第二节 重油部分氧化法的基本原理	53

第三节	重油部分氧化法的工艺条件	54
第四节	重油部分氧化法的工艺流程和主要设备	57
第五节	重油部分氧化过程炭黑的处理方法	65
第六节	重油部分氧化法操作要点	68
第七节	重油部分氧化法的基本工艺计算	68
第八节	重油热裂解法制取合成氨原料气	69
第五章	空气的液化分离和惰性气体的制备	73
第一节	空气的液化分离	73
第二节	惰性气体的制备	85
参考文献		89

合 成 氨 造 气

(无 043)

吉林化学工业股份有限公司化肥厂	刘长忠	编
吉林化学工业股份有限公司化肥厂	曹瑞勋	编
吉林化学工业股份有限公司化肥厂	姜义君	编
吉林化学工业股份有限公司化肥厂	武宝峰	编
吉林化学工业股份有限公司职教总校	许长江	审

第一章 基础知识

第一节 合成氨在国民经济中的意义和发展概况

一、合成氨在国民经济中的意义

合成氨是一种重要的化工原料，广泛用于农业和工业生产中，以氨为主要原料可制造各种氮素肥料，主要产品有尿素、硝酸铵、碳酸氢铵、氯化铵等，氨还可以和含有磷、钾等成分的原料制成氮磷钾高效复合或混合肥料。农田施用化肥以后可大幅度地提高农作物的产量，因此，合成氨对加速农业生产的发展具有重要意义。

氨在工业部门也有广泛的用途，如基本化学工业中的硝酸、纯碱、含氮无机盐，有机化学工业中的含氮中间体，氨和其他原料加工合成的胺和磺胺广泛地用于塑料工业、合成纤维工业以及医药工业。

在国防工业中，由氨氧化制得硝酸，并由此而加工的硝基甲苯、硝化甘油、硝化纤维等各种硝基炸药和生产导弹、火箭的推进剂和氧化剂。

除此之外，在制碱、橡胶、机械加工等工业部门中也要使用氨或氨的衍生物。在食品工业中氨是一种可靠常用的冷冻剂。

合成氨工业的迅速发展也促进了一系列科学技术和近代化学合成工业的发展。如高压低温技术、催化剂和特殊金属材料的应用，固体燃料气、尿素及醇的合成、石油加氢、高压聚合工业化都是在合成氨工业基础上发展起来或应用其生产技术成就而获得成功的。随着科学技术和生产技术的发展，合成氨工业在国民经济中的基础作用必将日益显著。

二、合成氨工业发展的概况

合成氨工业从本世纪初诞生至今，几十年来发展很快，早期合成氨以焦炭（或无烟煤）为原料，合成的方法有低压法、中压法和高压

法。从 50 年代开始,随着石油工业的发展,许多国家转而以天然气和石油副产品为原料生产合成氨,促进了合成氨原料气制取方法和气体净化技术的发展,合成氨的生产技术日趋完善。

60 年代以来,由于各国化肥施用水平不断提高和氨的用途越来越广促使合成氨生产迅猛发展,世界各国相继建成投产了许多大型氨厂,使合成氨产量提高幅度很大。

现代化的氨厂发展与传统的中、小型氨厂相比在技术发展上有明显的特点和优势。

1. 生产规模大型化。1966 年出现了规模为 600t 氨/d 和 1000t 氨/d (合成塔单塔能力) 的大型装置,这些大型氨厂具有投资省、成本低、占地少和劳动生产率高的优点。

2. 综合利用能量,降低合成氨生产的总能量消耗,采用比较先进的“集中回收”余热的方法,将全装置各部分的余热,分等级预热锅炉给水和产生高压蒸汽,因此,热能利用率高,产品氨的单位能耗比中小型厂低得多。

3. 采用高效离心式压缩机,降低操作压力,并加紧开发全过程为 7000~8000kPa 的等压流程。

4. 高度自动化和集中控制或电脑控制,并设有一整套安全连锁系统,显著提高了生产水平和带动生产率。

中国的合成氨工业建国前十分落后,建国后的 30 多年中有了飞速的发展,现在各省市都有中小型氨厂,合成氨的设备和各种催化剂基本上都能自己生产,特别是改革开放以来,中国先后引进建成了几十个现代化的大型氨厂,1996 年,全国合成氨的产量已达到 3059 万 t,中国为实现 2000 年化肥自给的目标正积极推进新的建设计划。使中国的合成氨工业进入崭新的阶段。

第二节 合成氨生产过程

氨是由氮和氢合成的。为了生产氨一般均以各种燃料为原料,首先制取含氢和一氧化碳等组分的煤气。其中的一氧化碳与水蒸气经过变换反应,生成氢气和二氧化碳,氢气即可供氨合成使用。在上述生

产过程中，由于原料和生产方法的不同，煤气中往往含有灰尘（或炭黑）、硫化氢、有机硫化物、氧、一氧化碳、二氧化碳等有害杂质，所以必须采用各种净化方法将其脱除，以获得符合氨合成要求纯净的1:3氮氢混合气。氮取自空气，可以结合煤气生产过程，将空气中的氧与可燃物质反应而除去氧，剩下的氮作为煤气的组分；也可以由深冷分离法把空气制成纯氮和氧，氮和氢按比例混合，供氨合成之用，最后，氮氢混合气经过压缩至15.0MPa以上，借助于铁催化剂合成氨。

当前国内应用较广的各种主要生产方法，其主要区别在于造气和净化部分，现分别简述如下。

一、以固体燃料为原料生产合成氨

用焦炭或无烟煤为原料，采用间歇固定层气化法生产半水煤气，经过除尘、脱硫、变换、压缩、脱除二氧化碳和少量一氧化碳（包括少量残余二氧化碳和氧）以获得纯净的氮氢混合气，最后在15.0MPa以上的压力下合成为氨，其流程示意如图1-1。

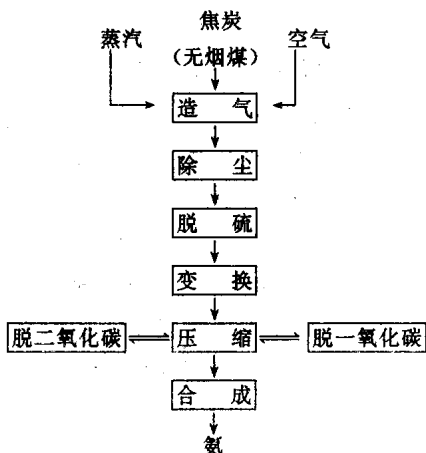


图 1-1 以固体燃料为原料生产合成氨流程示意图

二、以气态烃或轻油为原料生产合成氨

天然气及轻油（直馏汽油）均可采用加压蒸汽转化，生产半水煤气，经高温和低温变换并脱除CO₂后，残余的一氧化碳和二氧化碳含量在0.3%~0.4%，再经过甲烷化催化剂生成甲烷，然后在15.0MPa

以上的压力下合成为氨，其生产过程如图 1-2 所示。焦炉气、石油炼厂气、轻油裂解分离出来的甲烷、氢、乙炔生产中含甲烷的尾气等，经过适当的净化处理后可采用上述方法生产合成氨。

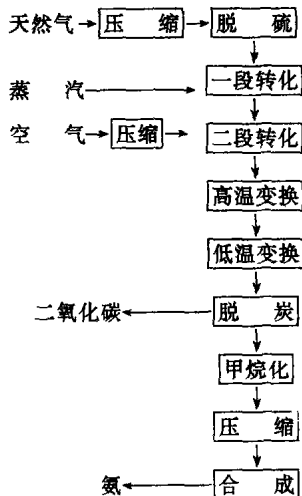


图 1-2 以气态烃或轻油为原料生产合成氨流程图

三、以重油为原料生产合成氨

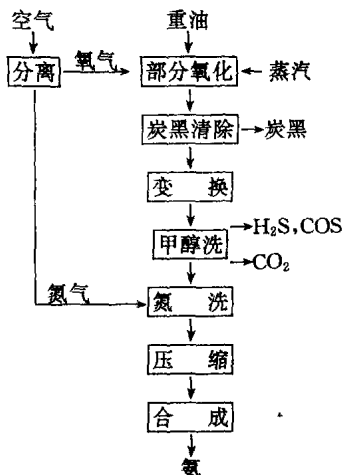


图 1-3 以重油为原料生产合成氨流程图

重油在加压及高温下用氧进行部分氧化生成水煤气,除去炭黑后,经过变换将 CO 转化为 CO_2 ,再经过低温甲醇洗,脱除硫化氢、有机硫化物及二氧化碳等物质,使气体中 CO_2 浓度小于 20×10^{-6} ,再经过液氮洗,脱去少量一氧化碳,进入压缩机中压缩后,进入合成塔在 15.0MPa 以上压力下合成氨,其流程见图 1-3。

第三节 氨的性质

氨的分子式为 NH_3 。在常温、常压下,氨是一种有特殊刺激臭味的无色气体,能灼伤皮肤、眼睛、呼吸道器官粘膜,有强烈的毒性。当空气中含有 0.5% (体积) 的氨时,能使人在几分钟内窒息而死。在标准状态 (101.325kPa、273K) 下,1mol 氨气的体积为 22.05L。由于氨的分子量 (17) 小于空气 (29),因此氨比空气轻。氨自燃点为 630°C ,在空气中燃烧分解为氮和水。氨与空气遇火能爆炸,常压室温下爆炸范围为 15.5%~28%,或 13.5%~82% (在氧气中)。

氨极易溶于水,可生产含氨 15%~30% (重量) 的商品氨水。氨溶解时放出大量的热。

氨容易变为液体,氨液化与温度和压力有紧密关系。氨的液化温度与压力的关系如表 1-1。

表 1-1 氨的液化温度与压力的关系

压力, kPa	液化温度, $^\circ\text{C}$	压力, kPa	液化温度, $^\circ\text{C}$
100.10	-34	1205.26	30
443.7	0	1040.56	45
885.6	20	3012.09	50

当氨气的温度升高到 132.9°C 以上时,无论施加多大压力都不能将其变为液体,这个温度称为氨的临界温度。在临界温度下,使氨气变为液体的最低压力 11.38MPa,这个压力称为临界压力。

液体状态的氨称为液氨。液氨挥发性很强,液氨蒸发变为氨气时可吸收巨大的热量。人体触及液氨会被严重冻伤。液氨的气化热较大,

当蒸发压力为 103.11kPa 时，液氨的气化热为 1369.49kJ/kg。

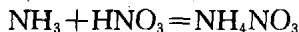
氨极易溶于水，不同温度下，氨在水中的溶解度如表 1-2。

表 1-2 氨在水中的溶解度

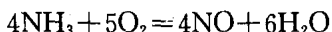
温度, °C	0	5	10	15	20	25	30	40	50
氨溶解度 g 氨/100g 水	87.5	77.5	67.9	60.0	52.6	46.0	40.3	30.7	22.9

氨溶解时放出大量的热。氨的水溶液是弱碱性，容易挥发。

氨是活泼性化合物，与酸反应生成盐类，如：

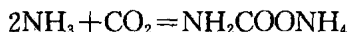


氨在铂或其他催化剂存在的条件下，可与空气中的氧反应，生成一氧化氮。



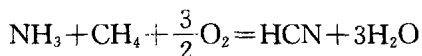
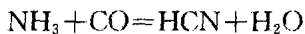
一氧化氮进一步被氧化为二氧化氮，并被水吸收便制得硝酸。

氨与二氧化碳在高温高压下可反应生成氨基甲酸铵。



氨基甲酸铵脱水后即生成尿素。

氨与一氧化碳或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。

氨在空气中遇火星会自燃或爆炸，生产区应严禁烟火。

第二章 固体燃料气化制取合成氨原料气

第一节 概 述

固体燃料主要指煤和焦炭。所谓固体燃料气化，就是用氧或含氧气化剂对其进行热加工，使碳转变为可燃性气体的过程。气化所得的可燃气体称为煤气，进行气化的设备称为煤气发生炉。

煤气的成分取决于燃料和气化剂的种类以及气化条件。譬如：用空气为气化剂制取的空气煤气，主要成分含有大量的氮以及一定量的二氧化碳；用水蒸气为气化剂制得的水煤气，主要成分为一氧化碳和氢气，其含量可达 85% 左右。

近年来，一些国家研究用水蒸气与氢作为气化剂，生成主要含甲烷的高热值煤气，其气化过程的最终产物组成与天然煤气相似。

本章主要讨论半水煤气的生产工艺及其基本原理。

第二节 固定层间歇法制取半水煤气的基本原理

以煤为例。固体燃料在煤气发生炉中由于受热分解，放出低分子量的碳氢化合物，而燃料本身逐渐焦化。此时可将燃料近似地看成碳。碳再与气化剂（空气或水蒸气）发生一系列的化学反应，生成气体产物。

一、化学平衡

以空气为气化剂时，碳与氧之间的反应为：

