

# 合成氨工学

第一卷

姜圣阶等 編著

化学工业出版社

# 合成氨工学

— —

田中 孝 著

化学工业出版社

# 合成氨工学

化学工业出版社

合成氨工学是由姜圣阶同志主持編著的。在編写过程中，作者比較全面和系統地整理和总结了近年来国内外合成氨工业生产技术的成就，介绍了制取合成氨的不同原料和不同工艺过程的理論基础、工艺方法、設備材料、自动控制系统和防腐蝕等，是目前国内外綜合論述合成氨生产的較全面的著作之一。

全书分为四卷：第一卷为合成氨原料气的制取，第二卷为原料气的淨化，第三卷为气体压缩与氨的合成，第四卷为合成氨工业生产的生产控制、安全技术和防腐蝕等。

本书系合成氨工学第一卷，参加本卷編写、整理、审查工作的有姜圣阶、翁思麟、馮瑞林、施亚鈞、冷寅正、是本仁、官知义、李正朴、王白新、姚桂秋、郑騷、史耀增、刘詠、平成舫、于永生、孙华庭等。

本书可供从事合成氨工业生产、設計、科研方面的技术人員和中高等院校无机物专业师生閱讀参考。

## 合成氨工学

### 第一卷

姜圣阶等 編著

化学工业出版社出版（北京安定門外和平里七区八号）

北京市书刊出版业营业许可证出字第120号

北京市印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

开本：850×1168毫米 1/32 1966年2月北京第1版  
印张：14 $\frac{3}{8}$  插頁：2 1966年2月北京第1版第1次印刷  
字数：370,000 印数：1—3,508  
定价：（科六）2.10元 书号：15063·1031

## 序

“合成氨工学”这部书詳細地闡述了制造合成氨的基础理論和合成氨生产的工艺技术。

合成氨工业是基础化学之一。氨本身就是重要的氮素肥料，而且除了石灰氮以外，其他氮素肥料都是先合成为氨，然后予以加工制成，如氨水、各种铵盐或尿素等。将氨氧化可制成硝酸。硝酸不仅可以用来制造肥料(硝酸铵、硝酸磷肥等)，也是重要的化工原料；并且，可以制成各种炸药，用于采掘业及国防方面。合成氨、尿素和硝酸等，又是氨基树脂、聚酰胺树脂、硝化纤维素等高分子化合物的原料，从而制得塑料、合成纤维、油漆、感光材料等产品。所以，合成氨就成为工业、农业、国防事业、民用物品等方面所需要的重要原料。我国在党和毛主席的领导下，在两面红旗的指引下，大力发展合成氨工业是非常正确的。

我国之有合成氨工业，始于南京的永利铔厂、上海的天利氮气厂，以及日本軍国主义者在大連所設的硫酸铵厂，距今約有三十年之久了。这几个合成氨厂的产量都不大，技术上也都取法欧美。合成氨工业的真正建立与发展，是解放以后的事。因为不仅是产量上增长了几十倍，而且从此有了自己創制的催化剂、自己制造的高压压缩机、自己制造的高压合成塔等，使得合成氨工业能够在自力更生的基础上，蓬勃发展起来。在这个迅速发展期間，还培育了人才，改进了設計，积累了操作經驗，从而使合成氨工业的技术水平逐步提高，其中在某些方面已达到世界先进水平。而且由于合成氨是高压、中温及应用催化剂的大型化学工业，合成氨工业的发展，又推动了其他化工行业和一般化工机械工业部門的发展与提高。凡此种种，我与姜圣阶同志每談及之，就觉得我們从事于合成氨工业三四十年的入，应当把我們的心得記載下

来，以供广大青年技术員工参考。

本书的特点是从我国实际出发，实用性强，而闡理清楚，由浅入深，适合于当前国内青年讀者的需要。我可以举些例子來說明这个特点。

例如，对固定床固体燃料間歇造气的方法，进行了物料衡算与热量衡算，这种計算对改进固定床造气的結構和操作方法，都是有用的。而与此同时，书中对于用氧气或富氧連續造气及用天然气和石油气造气等技术也辟有专章予以綜合評述。

又如用銅氨液吸收一氧化碳的方法，国外多采用蚁酸銅氨液，国内則采用醋酸銅氨液。书中总结了国内的工作，不仅有些新穎資料，并且切合实用。与此同时，对超低温变换、微量一氧化碳轉化为甲烷的方法，也做了必要的介紹。

本书的另一特点是貫徹了我党百家爭鳴以推动学术发展的方針。例如合成塔的空間速度，国外多倾向于低空速，本书中則根据国内实践經驗，倡議高空速。

从上各例說明了本书的一些特点。可以看出，作者在总结国内外資料时，选材論述煞費苦心，力求理論与实践密切結合，以适合于我国国情，使之成为一本具有独特风格的参考书。可以預料，本书出版之后，对推动我国合成氨工业的进一步发展，将起一定的作用。

姜圣阶同志初习机械，后攻化工，三十年来，钻研合成氨技术，其理論基础与实际經驗都具有相当的水平。他自1959年开始写这本书，历时七年，其間又經有关同志群策群力加以充实提高，最后仍由姜圣阶同志增删定稿。稿成之后，他交我审閱，我以先睹为快的心情，述其經過并提出一得之見，是为序。

侯德榜 1965年8月

## 前 言

合成氨工业是氮素工业的基础，在国民經济中占有极为重要的位置。农业增产离不开化学肥料，而化学肥料中又以氮素肥料的需要量为最大。合成氨不仅对发展农业有着重要的作用，而且也是許多工业部門不可缺少的原料：基本化学工业中的硝酸、純碱，各种含氮无机盐类，有机化学工业中各种中間体，制药工业中磺胺类药物和高分子工业中聚酰胺纖維、氨基塑料、丁腈橡胶等，都必需以氨、氨的化合物或氨的衍生物为原料；冶金工业、石油加工工业、机械工业、冷冻工业等，无不需使用氨或其加工品。至于現代国防工业和現代尖端技术，也都与合成氨的生产有密切关系：各种含氮爆炸物，象三硝基甲苯、硝化甘油、苦味酸、硝化纖維、雷汞和硝酸铵等，固然要消耗大量的氨；导弹、火箭的推进剂和氧化剂，同样也离不开氨。所以，近五十年来世界合成氨工业的发展速度是非常快的。

合成氨工业在国民經济中所占的位置虽然如此重要，但在解放前我国的合成氨工业同其他工业一样，技术十分落后，生产水平很低，全国只有两家規模不大的合成氨厂。就以其中永利鋳厂來說，在帝国主义、官僚資本主义的重重控制和严酷摧残下，根本不可能发展，帝国主义的那些技术垄断者們，从建厂到开工生产上的重大技术問題，只許中国人按照他們的意图办事，知其然而不知其所以然。目的在于使中国工人和技术人員无法掌握合成氨的全套复杂技术，而不得不永远依賴他們。作者那时正在永利鋳厂从事技术工作，目睹此种情况，十分憤慨，深以无現代合成氨书籍及参考資料为苦，迨后去美国留学期間，多方設法，也未找到一本內容丰富而合乎实际的参考书籍。作者屡拟寻找机会从事編写一本合成氨工业书籍，但是在那样的社会制度下，这个願

望是无法实现的。

“一唱雄鸡天下白”，在解放后短短十几年中，尽管美帝国主义对我们重重封锁，梦想扼杀新中国，但是他们失败了。我国的合成氨工业在党的正确领导下和工人阶级的努力下，发生了根本变化：各种高压机械、设备和管件的制造，现代化大型合成氨厂的设计、施工和操作管理已经创造性地掌管起来了。现在我国的合成氨工业不仅产量有了很大的提高，而且在技术上也取得了显著的成就。例如，氨催化剂的制造及其性能已达到相当高的水平，成功地利用了廉价原料无烟煤制气，醋酸铜氨液洗涤少量一氧化碳的技术有创造性的改进等等。尤其在1958年大跃进以来，在总路线、大跃进、人民公社三面红旗的光辉照耀下，在党的一整套“两条腿走路”的方针指导下，大型企业飞跃发展，中小型企业普遍出现，技术革新、技术革命得到了进一步的开展，从而把我国合成氨工业的水平推向了一个新的阶段。凡此种种，充分说明了在党中央和毛主席的英明领导下，翻了身的中国工人阶级克服前进道路上种种困难的具体表现。这是毛泽东思想的胜利，是党的自力更生政策的胜利。

虽然我国合成氨工业有着迅速的发展，但由于原来的基础十分薄弱，因而还远远不能满足国民经济各部门发展的迫切需要，农业上单位面积化学肥料施用量仍然很低，所以大力发展合成氨工业，争取生产更多更好的合成氨和氮肥支援工农业生产，就成为我们化学工业工作者的当前一项重要而光荣的任务。

为了配合我国合成氨工业的发展，化学工业部的领导同志深感国内应该有一部自编的合成氨工学，要求比较系统地整理、总结国内外最近合成氨工业技术成就，为我国从事合成氨工业生产、设计研究的工程技术人员和高等院校的师生提供参考，以进一步推动我国合成氨工业多快好省地向前发展。这样的要求是比较高的，任务也是比较艰巨的。

1958年底，作者毅然接受了这个任务，拟定了“合成氨工学”编写提纲，随后趁化学工业部在兰州召开合成氨专业会议之际，



提出討論并加以修改。以作者的理論和技术水平來說，編写这部书是不能胜任的，但是大跃进的形势在激动着我，领导同志和广大群众在鞭策着我，加之十多年前旧中国的技术人员在技术上的徬徨情景一幕又一幕浮現在眼前，而个人又从事这一行业近三十年之久，对合成氨专业产生了深厚的感情，有責任接受这个光荣的任务。

在編写过程中，承化学工业部高揚部长、梁膺庸副部长的关怀和大力支持，給我增添了信心。侯德榜副部长以七十五岁高龄，对本书的編写多次提过意見，作过重要指示，并給本书作了重点审查，写了序言，奖掖后进的盛情令人感动。在原南京化学工业公司楊叶澎書記、陈西平經理、周太和副經理、林若冰副經理以及譚良傑、詹树章、馮元琦等同志的大力支持下，指定了該公司馮元琦、周志强、余祖熙、黃以恪、黃力行、是本仁、潘祖栽、吳錫軍、姚桂秋、向德輝、刘詠、于永生和孙华庭等二十多位同志，以脫产或半脫产的形式，来协助我搜集資料、整理編写，描图抄稿。化学工业部第一設計院、第四設計院、第八設計院、上海化工研究院、吉林化工研究院、兰州化学工业公司、华东化工学院等单位的馮瑞林、伍宏业、李正朴、翁思麟、王自新、冷寅正、郑駉、史耀增、方庆发、官知义、唐金章、施亚鈞等同志，对原稿不少章节提出了許多宝贵意見，有的还作了补充和改写，为本书增色不少。化学工业出版社編輯同志，他們积极地参加了本书的整理編写工作，并到处寻找資料、提出意見、奔走联系，对我們的帮助很大，特致謝忱。此外，对于本书提供意見和資料的同志很多，恕我不在这里一一臚列了。总之，这本书的写成，完全是党的关怀、各級领导的鼓励和群众的支持的結果。

本书共分四卷：第一卷是合成氨原料气的制取；第二卷是合成氨原料气的精制；第三卷是气体的压缩和氨的合成；第四卷是其他。全书共約一百多万字。这本用集体力量編著起来的“合成氨工学”即将陸續付印了。由于我們的水平所限，学識、經驗均感不足，且因我工作調动的关系，疏漏粗糙之处，更所难免，距离

---

化学工业部领导对这本书的要求很远，敬希读者不吝珠玉，尽量提出批评和意见，至所企盼！

姜圣阶

1964年国庆节于南京

# 合成氨工学第一卷目录

序

前言

概述	1
<b>第一章 固体块状燃料气化制取合成氨原料气</b>	<b>7</b>
第一节 固体燃料气化的理论基础	8
(一) 气化固体燃料时煤气发生炉内燃料层的分区	8
(二) 固体燃料气化的反应机理	9
第二节 气化反应的化学平衡和反应动力学	16
(一) 气化反应的化学平衡	16
(二) 气化过程的反应动力学	25
第三节 各种理想气体的制备	33
(一) 理想空气煤气	35
(二) 理想水煤气	37
(三) 理想半水煤气(空气煤气和水煤气的混合气)	38
(四) 理想氧-蒸汽煤气	41
参考文献	42
<b>第二章 固定层气化固体燃料的工业方法</b>	<b>43</b>
第一节 固定层气化对燃料的要求	43
(一) 水分	43
(二) 挥发分	45
(三) 灰分	46
(四) 硫分	46
(五) 机械强度	47
(六) 热稳定性	47
(七) 粘結性	47
(八) 化学活性	48
(九) 燃料的成渣性能	49

(十) 燃料粒度 .....	51
第二节 制取空气煤气与发生炉煤气的工业方法 .....	52
(一) 空气煤气的制取 .....	52
(二) 发生炉煤气的制取 .....	55
第三节 制取水煤气及半水煤气的工业方法 .....	62
(一) 间歇法制水煤气 .....	62
(二) 间歇法制半水煤气 .....	73
(三) 采用无烟煤和焦炭为原料时操作条件的比较 .....	74
第四节 固定层气化过程中的热损失及回收 .....	76
第五节 固定层煤气发生炉及其生产流程 .....	79
(一) 煤气发生炉 .....	79
(二) 间歇法制造水煤气和半水煤气系统的工艺流程 .....	93
第六节 其他气化方法 .....	96
(一) 在间歇式固定层煤气发生炉中以氧(或富氧空气)- 蒸汽混合物连续制取水煤气或半水煤气 .....	96
(二) 在加压下以氧(或富氧空气)-蒸汽混合物 的连续气化法 .....	100
第七节 气体的贮存 .....	106
(一) 湿式低压气柜 .....	107
(二) 干式低压气柜 .....	110
第八节 间歇式固定层煤气发生炉的物料衡算和 热量衡算 .....	112
(一) 计算的一般步骤 .....	112
(二) 制取发生炉煤气的计算举例 .....	115
(三) 制取水煤气的计算举例 .....	121
参考文献 .....	134
<b>第三章 沸腾层及气流床气化固体燃料 .....</b>	<b>136</b>
第一节 沸腾层气化 .....	136
(一) 过程的反应机理 .....	136
(二) 沸腾层气化对燃料的要求及反应条件分析 .....	143

---

(三) 沸騰层煤气发生炉及造气的工艺流程·····	152
第二节 气流床气化·····	159
(一) 气流床气化粉煤的反应过程·····	160
(二) 气流床气化粉煤的工业方法·····	161
参考文献·····	172
<b>第四章 气体烴轉化为合成氨原料气</b> ·····	<b>173</b>
第一节 气体烴轉化为合成氨原料气的理論基础·····	173
(一) 热裂解法的理論基础·····	173
(二) 蒸汽轉化法的理論基础·····	176
(三) 部分氧化法的理論基础·····	186
第二节 催化剂·····	202
(一) 催化剂的制备·····	203
(二) 催化剂的氧化还原·····	204
(三) 硫化物对催化剂活性的影响·····	205
第三节 炭黑生成的条件·····	207
第四节 气体烴轉化为合成氨原料气的生产方法·····	209
(一) 热裂解法·····	209
(二) 蒸汽轉化法·····	214
(三) 部分氧化法·····	224
(四) 綜合法·····	240
(五) 各种生产方法的比較·····	242
参考文献·····	244
<b>第五章 用液体烴制取合成氨原料气</b> ·····	<b>246</b>
第一节 液体烴制取合成氨原料气的理論基础·····	247
(一) 部分氧化法气化液体烴的理論基础·····	247
(二) 液体烴气化反应条件的討論·····	249
第二节 液体烴气化的主要生产流程·····	253
(一) 德士古法·····	253
(二) 佛瑟-蒙特卡梯尼法·····	255
(三) 謝尔法(壳牌公司气化法)·····	258

(四) 科柏斯-托切克法 .....	259
第三节 液体烃气化过程中的几个问题 .....	262
(一) 油及氧化剂的预热 .....	262
(二) 液体烃的雾化 .....	263
(三) 废热的回收 .....	264
(四) 炭黑的生成、清除和回收以及废水的处理 .....	265
第四节 液体烃气化过程的主要设备 .....	267
(一) 燃烧器 .....	267
(二) 气化炉 .....	268
第五节 液体烃气化的发展动向 .....	269
(一) 操作压力 .....	269
(二) 气化炉的规模 .....	270
(三) 原料的品种 .....	270
(四) 进料预热温度 .....	270
(五) 炭黑回收设备的改进和简化 .....	271
参考文献 .....	271
<b>第六章 深度冷冻的理论基础及其冷冻循环</b> .....	<b>272</b>
第一节 概述 .....	272
第二节 深度冷冻的热力学基础 .....	273
(一) 真实气体的状态方程式 .....	273
(二) 混合气体的状态方程式 .....	278
(三) 获得低温原理(致冷)及其方法 .....	279
(四) 热力学图表的应用 .....	288
第三节 气体液化的深度冷冻循环 .....	291
(一) 气体液化最小功 .....	292
(二) 利用节流膨胀的工作循环 .....	293
(三) 作外功的绝热膨胀循环 .....	312
(四) 气体逐级液化的循环 .....	321
(五) 主要冷冻循环的比较 .....	323
参考文献 .....	325

<b>第七章 空气的分离</b> .....	326
<b>第一节 空气分离的理论基础</b> .....	326
(一) 空气的组成 .....	326
(二) 氮氧二元系统的相平衡 .....	327
(三) 分离空气所需的理论功 .....	330
(四) 液态空气的精馏 .....	331
(五) 氩对氮氧产品纯度的影响 .....	342
<b>第二节 液化分离前空气的净化</b> .....	343
(一) 空气中机械杂质的清除 .....	343
(二) 空气中二氧化碳的清除 .....	345
(三) 空气中水分的清除 .....	349
(四) 乙炔及其他烃类的清除 .....	351
<b>第三节 空气分离装置的工艺流程及特性</b> .....	354
(一) 制取高纯度氮气而不带膨胀机的高低压流程 .....	354
(二) 具有蓄冷器和透平膨胀机的高低压制氧装置流程 .....	358
(三) 全低压制氧流程 .....	364
(四) 生产纯氧和纯氮的全低压流程 .....	376
<b>第四节 空气分离的主要设备结构和低温材料</b> .....	380
(一) 膨胀机 .....	380
(二) 管式换热器 .....	381
(三) 蓄冷器 .....	382
(四) 精馏塔 .....	384
(五) 冷凝蒸发器 .....	386
(六) 低温设备材料 .....	388
<b>第五节 空气分离的主要操作控制</b> .....	390
(一) 压力 .....	390
(二) 温度 .....	391
(三) 液面 .....	391
(四) 设备的加热与吹洗 .....	392

第六节 提取稀有气体 .....	392
(一) 氩的提取.....	392
(二) 氖和氮的提取.....	396
(三) 氦和氙的提取.....	397
第七节 空气分离过程的安全技术 .....	397
(一) 有害杂质的来源.....	398
(二) 有害杂质的爆炸.....	399
(三) 防止爆炸的方法.....	400
参考文献 .....	401
第八章 焦炉气及其他气体烃的分离 .....	403
第一节 焦炉气及其他气体烃分离的理论基础 .....	403
(一) 焦炉气及其他烃类气体的组成.....	403
(二) 焦炉气及其他气体烃的部分冷凝.....	404
(三) 液氮洗涤清除氩气中的少量一氧化碳.....	408
(四) 逐级冷凝时气液相组成的计算.....	413
第二节 焦炉气及其他气体烃分离的工艺流程 .....	416
(一) 焦炉气进入分离系统前的净化.....	416
(二) 林德-布朗流程 .....	418
(三) 带有高压氮膨胀机的焦炉气分离流程.....	423
(四) 变换气分离的工艺流程.....	427
(五) 空分-氮洗联合装置的工艺流程 .....	428
(六) 乙烯提纯的工艺流程.....	431
第三节 焦炉气分离的主要设备 .....	434
(一) 多程换热器.....	434
(二) 液氮蒸发器.....	434
(三) 液氮洗涤塔.....	436
第四节 焦炉气分离过程的安全技术 .....	438
(一) 可能引起爆炸的原因.....	438
(二) 防止爆炸的措施.....	439
参考文献 .....	440



## 概 述

氨是由氢气和氮气合成的。为了生产氨，必须首先制得 1:3 的氮氢混合气。

氮氢混合气可以采取分别制取氮和氢然后按比例加以混合，也可直接制成一定比例的氮氢混合气。

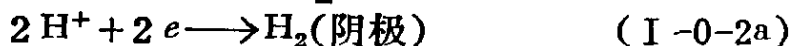
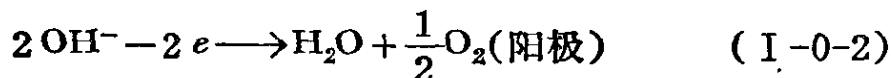
氮取自空气。从空气制取氮，通常有两种方法：一为深冷分离法，即在低温下将空气液化，然后进行精馏，将氮和氧分离即得纯氮；另一为燃烧分离法，即使空气中氧与碳或氢等还原性物质作用，化合而成二氧化碳或水蒸汽，剩下即是氮气。然后，将所获得的氮加以净化，便得到纯氮。

制氢有各种不同的方法，而这些方法的选择又决定于原料来源。兹简述如下：

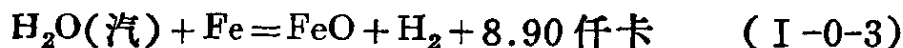
**1. 电解水法** 此法甚为简单，在水中加入少量强电解质(如无机酸、碱及其盐类)，并通入直流电，即可以获得氢。水电离的反应式如下：



通电流后，



**2. 铁水蒸汽法** 蒸汽与金属铁或氧化铁在 700—800°C 温度下相互作用，蒸汽中的氢被铁和氧化铁所还原而获得氢气。其反应式如下：



为了把铁从生成的磁性氧化铁或亚铁氧化物中还原出来，可送到再生系统，以水煤气进行还原，重新返回制氢系统使用。此