

合成氨工学

第一卷

(第二版)

姜圣阶等 编著

石油化学工业出版社

合成氨工学

第二版

王德成 主编

化学工业出版社

北京 100011 信箱 62 号

81.39
374(2)
=1

合成氨工学

第一卷

(第二版)

姜圣阶等 编著

51.374(2)

石油化学工业出版社

本书是合成氨工学第一卷第二版，介绍合成氨原料气的制取。

这一版比较全面和系统地总结了第一版出版以来国内外合成氨工业生产中原料气制取方面的技术成就，论述了以固体燃料(焦炭、无烟煤、各种劣质煤及粉煤)、气态烃(天然气、焦炉气、石油炼厂气等)、液态烃(轻油、重油等)为原料制取合成氨原料气的基本原理、各种工艺方法、设备及其构筑材料、工艺计算等。在“深度冷冻技术在合成氨工业中的应用”一章里，重点介绍了大型空分装置制取氧和氮、焦炉气深冷分离制氢、稀有气体的提取以及天然气蒸汽转化-深冷分离法制取合成氨原料气等。

本书由姜圣阶主编。参加这一版主要编写和审查工作的有：概述、第一章到第三章——南京化学工业公司的是本仁、郑延龄、黄世英、徐庚；第四章、第五章——四川省化工研究院的冯孝庭、郑骝；第六章到第八章——湖北化工设计院的翁思麟、曹敏伟、夏敏文、张均生、钮因羔等。北京化工学院的郑冲对第六章和第七章作过审查，并对第六章第一节作了改写。

本书可供从事合成氨工业生产、设计、科研方面的技术人员以及中、高等化工院校的师生阅读。

合成氨工学

第一卷

(第二版)

姜圣阶等 编著

*

石油化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

石油化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本850×1168¹/₃₂印张18³/₄字数494千字印数1—16.750

1978年7月北京第2版 1978年7月北京第1次印刷

书号15063·化330 定价2.30元

原 序

“合成氨工学”这部书详细地阐述了制造合成氨的基础理论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，在三面红旗的指引下，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，以及日本军国主义者在大连所设的硫酸铵厂，距今约有三十年之久了。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，而且从此有了自己创制的催化剂、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。在这个迅速发展期间，还培育了人才，改进了设计，积累了操作经验，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门的发展与提高。凡此种种，我与姜圣阶同志每谈及之，就觉得我们从事于合成氨工业三四十年的人，应当把我们的心得记载下

来，以供广大青年技术员工参考。

本书的特点是从我国实际出发，实用性强，而阐述清楚，由浅入深，适合于当前国内青年读者的需要。我可以举些例子来说明这个特点。

例如，对固定床固体燃料间歇造气的方法，进行了物料衡算与热量衡算，这种计算对改进固定床造气的结构和操作方法，都是有用的。而与此同时，书中对于用氧气或富氧连续造气及用天然气和石油气造气等技术也辟有专章予以综合评述。

又如用铜氨液吸收一氧化碳的方法，国外多采用蚁酸铜氨液，国内则采用醋酸铜氨液。书中总结了国内的工作，不仅有些新颖资料，并且切合实用。与此同时，对超低温变换、微量一氧化碳转化为甲烷的方法，也做了必要的介绍。

本书的另一特点是贯彻了我党百家争鸣以推动学术发展的方针。例如合成塔的空间速度，国外多倾向于低空速，本书中则根据国内实践经验，倡议高空速。

从上各例说明了本书的一些特点。可以看出，作者在总结国内外资料时，选材论述煞费苦心，力求理论与实践密切结合，以适合于我国国情，使之成为一本具有独特风格的参考书。可以预料，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，其理论基础与实际经验都具有相当的水平。他自1959年开始写这本书，历时七年，其间又经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，他交我审阅，我以先睹为快的心情，述其经过并提出一得之见，是为序。

侯德榜

第一版 前 言

合成氨工业是氮素工业的基础，在国民经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，而且也是许多工业部门不可缺少的原料：基本化学工业中的硝酸、纯碱，各种含氮无机盐类，有机化学工业中各种中间体，制药工业中磺胺类药物和高分子工业中聚酰胺纤维、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。至于现代国防工业和现代尖端技术，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、硝化纤维、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。

合成氨工业在国民经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，全国只有两家规模不大的合成氨厂。就以其中永利铔厂来说，在帝国主义、官僚资本主义的重重控制和严酷催残下，根本不可能发展，帝国主义的那些技术垄断者们，从建厂到开工生产上的重大技术问题，只许中国人按照他们的意图办事，知其然而不知其所以然。目的在于使中国工人和技术人员无法掌握合成氨的全套复杂技术，而不得不永远依赖他们。作者那时正在永利铔厂从事技术工作，目睹此种情况，十分愤慨，深以无现代合成氨书籍及参考资料为苦，迨后去美国留学期间，多方设法，也未找到一本内容丰富而合乎实际的参考书籍。作者屡拟寻找机会从事编写一本合成氨工业书籍，但是在那样的社会制度下，这个愿

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。尤其在一九五八年大跃进以来，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，充分说明了在毛主席和党中央的英明领导下，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，是党的自力更生方针的胜利。

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。

一九五八年底，作者毅然接受了这个任务，拟订了“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，提出讨论并加以修改。根据作者的理论和技术水平，编写这部书是不能胜任的。但是大跃进的形势在激励着我，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现在眼前，而个人从事合成氨专业近三十年之久，对这一专业产生了深厚的感情，有责任接受这个光荣任务。

在编写过程中，承化学工业部领导同志的关怀和大力支持，给我增添了信心。侯德榜副部长以七十五岁高龄，对本书的编写多次作过重要指示，并对书稿作了重点审查，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的领导同志的支持下，指定了二十多位同志，以脱产或半脱产的形式，协助我收集资料、整理编写、描图抄稿。化学工业部第一设计院、第四设计院、第八设计院、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不少同志对原稿有关章节提出了许多宝贵意见，有的还作了补充和改写，为本书增色不少。化学工业出版社编辑同志，积极参加了本书的整理编写工作，并到处寻找资料、提出意见、奔走联系，对我们的帮助很大。总之，这部书的写成，完全是党的关怀、各级领导的鼓励和群众的支持的结果。

全书共分四卷：第一卷是合成氨原料气的制取；第二卷是合成氨原料气的净化；第三卷是气体压缩和氨的合成；第四卷是其他。共约一百多万字。由于我们的水平所限，学识、经验均感不足，且因我工作调动的关系，疏漏粗糙之处，更所难免，距离化学工业部领导对这部书的要求很远，敬希读者不吝珠玉，提出批评和意见，至所企盼。

姜 圣 阶

一九六四年国庆节于南京

第二版 前 言

合成氨工业是氮肥工业的基础。发展合成氨生产，对于农业增产有十分重要的作用，而为世界各国所重视。近十年来，全世界氮肥产量增长了一倍以上，工业用氨已占合成氨产量的百分之十以上。合成氨工业不但在工业发达国家有显著的增长，在第三世界国家中也有很大的发展。六十年代以后，由于合成氨工艺、冶金、机械、化学工程、自动化、电子计算技术等新技术的采用，不但实现了装置的大型化，而且由于能量的综合利用，生产合成氨的原料和燃料消耗大幅度下降，建厂投资和生产成本也降低很多。

建国以来，在毛主席的革命路线指引下，在敬爱的周总理的关怀下，我国合成氨工业发展十分迅速，产量方面已跃居世界前列，技术水平不断提高，并在科研、设计、设备制造和操作等方面取得了不少新的成就。以英明领袖华主席为首的党中央继承毛主席的遗志，一举粉碎了祸国殃民的王、张、江、姚“四人帮”反党集团，胜利召开了党的十一次代表大会，发出了召开全国科学大会的通知。全国人民群情振奋，斗志昂扬，认真贯彻党的十一大路线，为实现伟大的领袖和导师毛主席，敬爱的周总理的遗愿，在本世纪内实现农业、工业、国防和科学技术现代化，使我国国民经济走在世界的前列而奋斗。在这样的大好形势鼓舞下，更加激发了我们大干社会主义的劲头，决心为继续高速度发展我国合成氨工业贡献一份力量。

本书第一卷介绍合成氨原料气的制取，系一九六六年出版。第二卷介绍合成氨原料气的净化；第三卷介绍气体压缩和氨的合成，分别于一九七六年和一九七七年出版。第一卷已出版十余年，一些内容已显得有些陈旧，有必要进行全面修订，以适应合

成氨工业的发展形势。

本书第一卷修订的主要内容是：（1）删除了今后不拟发展的生产方法；（2）补充了以煤、气、油为原料的新的气化方法，特别着重充实以天然气（包括轻油）、重油为原料制取合成氨原料气的理论和最新工业生产方法；（3）深冷技术在第一版中列为三章，这次修订时作了简化，合并为一章，并适当增加了与合成氨生产有关的新内容。

我由于工作岗位变动，这次修订工作主要是在南京化学工业公司、四川省化工研究院、湖北化工设计院等单位的领导和有关同志的大力支持下完成的，谨志谢意。

姜 圣 阶

一九七七年十二月

目 录

原 序

第一版前言

第二版前言

概 述..... 1

第一章 固体块状燃料气化制取合成氨原料气..... 12

第一节 气化固体燃料时煤气发生炉内

燃料层的分区..... 13

第二节 固体燃料气化的反应机理..... 15

(一) 气化过程的主要化学反应方程式..... 15

(二) 气化过程的反应机理..... 16

第三节 气化反应的化学平衡..... 21

(一) 二氧化碳还原反应..... 24

(二) 均相水煤气反应..... 27

(三) 甲烷生成反应..... 28

第四节 气化过程的反应动力学..... 30

(一) 气化反应的过程..... 30

(二) 氧与碳的反应速度..... 32

(三) 二氧化碳与碳的反应速度..... 34

(四) 蒸汽与碳的反应速度..... 37

(五) 压力对反应速度的影响..... 38

第五节 各种理想气体的制备..... 38

(一) 理想空气煤气..... 39

(二) 理想水煤气..... 42

(三) 理想半水煤气 (空气煤气和水煤气的混合气) 44

33430

II

(四) 理想氧-蒸汽煤气	46
参考文献	48
第二章 固定层气化固体燃料的工业方法	49
第一节 固定层气化对燃料的要求	49
(一) 燃料的化学性质	49
(二) 燃料的物理性质	53
第二节 制取发生炉煤气的工业方法	55
(一) 制取发生炉煤气的气化过程	56
(二) 制取发生炉煤气的工艺条件选择	58
(三) 制取发生炉煤气的生产操作指标	62
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	74
(三) 采用无烟煤和焦炭为 原料时操作条件的比较	75
第四节 固定层气化过程中的热损失及回收	77
第五节 固定层煤气发生炉及造气的工艺流程	79
(一) 煤气发生炉	79
(二) 间歇法制取水煤气和半水煤气的工艺流程	89
(三) 煤气发生炉制取半水煤 气的物料和热量衡算	90
第六节 煤球在固定层煤气发生炉中的气化	108
(一) 煤球的质量及其气化特性	109
(二) 煤球的气化指标	114
第七节 其他气化方法	115
(一) 在间歇式固定层煤气炉中以氧(或富氧空气)-蒸 汽混合物连续制取水煤气或半水煤气	115
(二) 以氧(或富氧空气)-蒸汽混合物 为气化剂的加压连续气化法	118
参考文献	127

第三章 沸腾床及气流床气化固体燃料	128
第一节 沸腾床气化	128
(一) 气化过程的一般原理	128
(二) 对燃料的要求及反应条件分析	135
(三) 工艺流程及气化工艺指标	141
第二节 气流床气化	144
(一) 科柏斯-托切克气化法	145
(二) 其他气化方法	156
参考文献	163
第四章 气态烃及轻油转化制取	
合成氨原料气的理论基础	164
第一节 蒸汽转化法的理论基础	164
(一) 蒸汽转化的化学反应	164
(二) 蒸汽转化反应的化学平衡	167
(三) 甲烷蒸汽转化反应动力学	176
(四) 轻油蒸汽转化的反应动力学	188
(五) 影响蒸汽转化反应的几个主要因素	192
第二节 催化部分氧化法的理论基础	197
(一) 甲烷的部分氧化反应及反应平衡	197
(二) 甲烷催化部分氧化的反应机理	203
(三) 影响催化部分氧化反应的几个主要因素	208
(四) 蒸汽转化过程中二段炉内的反应	212
第三节 间歇催化转化法的理论基础	215
(一) 甲烷间歇催化转化的化学反应	216
(二) 甲烷间歇催化转化的反应平衡	219
(三) 甲烷间歇催化转化的反应热	223
(四) 甲烷间歇催化转化的反应机理	223
(五) 主要工艺参数对转化过程的影响	223
第四节 转化过程中炭黑的生成	224
(一) 炭黑生成的反应及最小水碳比	224

(二) 炭黑生成的反应机理	230
(三) 转化反应管内积碳反应速度 及其沿反应管长度变化的特点	234
(四) 防止生成炭黑的必要条件	238
第五节 转化催化剂	238
(一) 催化剂的制备	240
(二) 催化剂的氧化与还原	250
(三) 催化剂的中毒	254
参考文献	260

第五章 气态烃及轻油转化制

合成氨原料气的工业生产方法	264
第一节 气态烃及轻油的物理化学性质	264
(一) 气态烃的物理化学性质及组成	264
(二) 轻油的物理化学性质及组成	268
第二节 气态烃及轻油蒸汽转化制合成氨原料气	269
(一) 蒸汽转化法的发展与应用	269
(二) 工艺流程	269
(三) 主要设备及其构筑材料	275
(四) 消耗定额	315
(五) 物料衡算和热量衡算	315
第三节 气态烃部分氧化法制取合成氨原料气	324
(一) 常压催化部分氧化法	324
(二) 加压催化部分氧化法	329
(三) 加压高温非催化部分氧化法	331
(四) 物料衡算和热量衡算实例	332
第四节 气态烃及轻油间歇催化 转化制取合成氨原料气	334
(一) 气态烃间歇催化转化法	334
(二) 轻油间歇催化转化法	341
第五节 综合法制取合成氨原料气	345

第六节 各种生产方法的评述	346
参考文献	348
第六章 液态烃制取合成氨原料气	349
第一节 重油部分氧化法制	
合成氨原料气的基本原理	349
(一) 重油部分氧化法的反应原理	350
(二) 重油部分氧化法制合成	
氨原料气的工艺条件分析	355
第二节 液态烃热裂解法制气的基本原理	374
(一) 烃的热稳定性——裂解反应热力学分析	375
(二) 液态烃热裂解反应机理	377
(三) 影响热裂解反应的因素	380
参考文献	381
第七章 液态烃制取合成氨原料气的工业生产方法	382
第一节 重油的物理化学性质	383
(一) 重油的来源、品种及其组成	383
(二) 重油的物理性质	385
第二节 重油部分氧化法的工艺流程	389
(一) 急冷流程	390
(二) 废热锅炉流程	394
(三) 其他重油气化方法	396
(四) 重油部分氧化法的工艺计算	398
第三节 重油部分氧化法的	
主要设备及其构筑材料	407
(一) 喷嘴	408
(二) 气化炉	418
(三) 急冷室	422
(四) 废热锅炉	424
第四节 重油气化过程中生成炭黑的处理方法	431
(一) 用轻油萃取处理炭黑污水	433

(二) 用原料油萃取处理炭黑污水	436
(三) 用原料油直接洗涤脱除气体中炭黑	440
第五节 液态烃裂解法制取合成氨原料气的工艺流程	444
(一) 重油非催化裂解法	445
(二) 重油催化裂解法	448
参考文献	450
第八章 深冷技术在合成氨工业生产中的应用	452
第一节 气体液化的基本原理	453
(一) 获得低温的方法	453
(二) 深度冷冻循环	459
第二节 空气分离	480
(一) 空气分离的理论基础	480
(二) 空气的净化	495
(三) 空气分离装置的工艺流程	500
(四) 空气分离装置的主要设备	508
(五) 提取稀有气体	530
第三节 焦炉气、水煤气的分离	539
(一) 焦炉气、水煤气分离的理论基础	540
(二) 焦炉气的净化	553
(三) 焦炉气、水煤气分离装置的工艺流程	556
第四节 天然气蒸汽转化-深冷净 化法制取合成氨原料气	568
(一) 深冷净化法	568
(二) 深冷净化装置	570
第五节 合成氨尾气中氩和氢的提取	572
(一) 合成氨尾气的组成	573
(二) 合成氨尾气的净化	573
(三) 合成氨尾气的深冷分离	574
参考文献	580