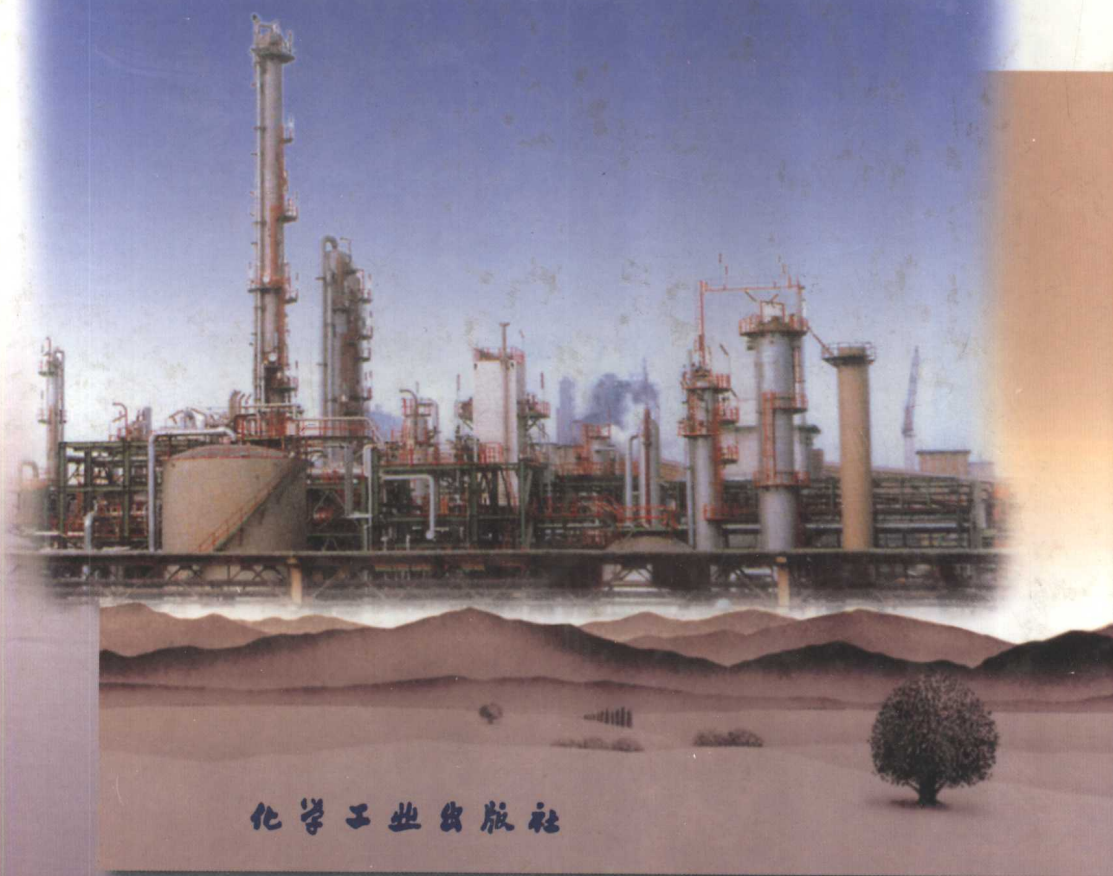


化肥工学丛书

HUAFEIGONGXUECONGSHU

合成氨

沈浚 主编 朱世勇 冯孝庭 副主编



化学工业出版社

化 肥 工 学 丛 书

合 成 氨

沈 浚 主 编

朱世勇 冯孝庭 副主编

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/沈浚主编. —北京: 化学工业出版社, 2001.1
(化肥工学丛书)
ISBN 7-5025-2904-7

I. 合… I. 沈… III. 合成氨生产 IV. TQ113-2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 31124 号

化肥工学丛书

合成氨

沈浚 主编

朱世勇 冯孝庭 副主编

责任编辑: 孙绥中

责任校对: 顾淑云

封面设计: 郑小红

*

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) 64982511

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

*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 81 $\frac{3}{4}$ 字数 2063 千字

2001 年 1 月第 1 版 2001 年 1 月北京第 1 次印刷

印数: 1—4000

ISBN 7-5025-2904-7/TQ·1260

定 价: 160.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换
京朝工商广字第 740 号

《化肥工学丛书》编委会成员

名誉主任 贺国强
顾问 陈冠荣 黄鸿宁 吴锡军 郭克礼
主任 陈鸿光
副主任 沈浚 谢木喜 江善襄 袁一
曾宪坤 汤桂华
委员 (按姓氏笔画排列)
王文善 方天翰 冯元琦 冯孝庭
许业伟 朱世勇 刘自强 刘培林
汪明远 林乐 郑冲 单光瑜
赵增泰 慕国蔚 戴元法

《合成氨》编审人员

主 编 沈 浚

副主编 朱世勇 冯孝庭

主要作者

第一章 沈 浚

第二章 沈 浚

第三章 陈兆元 熊鑫发 张东亮

第四章 陈兆元

第五章 熊鑫发

第六章 张东亮 蒋威德

第七章 张东亮 王 洋

第八章 杨世明

第九章 冯孝庭 谢木喜 张也贤

第十章 沈 浚

第十一章 龚永洲

第十二章 朱世勇 龚永洲

第十三章 朱世勇 古共伟

第十四章 朱世勇 龚永洲

第十五章 吴维贤 陈仪中

第十六章 张成芳

第十七章 张成芳

第十八章 张成芳

第十九章 张成芳

第廿章 向德辉 孙锦宜

第廿一章 张成芳

第廿二章 张成芳

第廿三章 马炳贤

第廿四章 夏敏文 党洁修

第廿五章 沈 浚

第廿六章 强天驰

第廿七章 华保合

第廿八章 刘自风

第廿九章 冯元琦

下列人员在有关章节段落中提供部分稿件

冯元琦, 郭宗奇, 郑延龄, 陆生安, 陈五平, 刘自风, 张成芳。

审稿人员

朱世勇, 第十一; 冯孝庭, 第九、廿四章; 张东亮, 第三、四、五、六、七、八章; 张惠林, 第五章; 孟广信, 第八章; 陈五平, 第十六、十七、十八、十九、廿、廿一、廿二章; 郑延龄, 第三、四章; 朱有庭, 第廿三章; 冯元琦, 第廿六、廿七、廿八章。汤学忠审改过有关章节。

全书各章最后由沈浚审稿及定稿, 并对部分章、节作了修改和补充。

许业伟在编写过程中负责组织联系, 并对大部分章节进行整理; 于永生对大部分书稿进行了文字加工。

序

农业是国民经济的基础，肥料是保证农业生产不可缺少的基本生产资料。建国以来，党中央、国务院十分重视化学肥料的发展，投入了大量资金，建设了各种不同类型的化学肥料厂，并制订相应扶植政策，有效地促进了化学肥料工业的持续发展。从50年代到70年代，我国自行建设了一大批中小型化肥厂，积累了一定的生产建设经验，并在以煤为原料生产合成氨的原料路线，合成气净化和氨合成技术方面有所创新。化学工业出版社根据当时的情况，约请了我国化工专家姜圣阶、吴锡军等同志编著了《合成氨工学》，并在硫酸、尿素、磷肥等方面也约请了许多专家编写了相应的生产技术用书，对总结已取得的成功经验、促进化学肥料工业的发展起了一定作用。从70年代开始，我国又从国外引进了大型合成氨、尿素、复合肥料的生产装置，通过十多年的生产实践，消化吸收上述引进装置中许多技术精华，进一步提高了我国化肥工业的技术水平。化学工业出版社适时提出了编写《化肥工学丛书》的选题计划，组织了原编《合成氨工学》的南京化学工业（集团）公司以及其他有关科研和设计单位、大专院校、生产企业的专家按合成氨、尿素、硫酸、磷酸及复混肥料，分四卷编纂出版。经过作者们的努力，现已完成全部稿件，将由化学工业出版社安排出版。我深信，这部丛书的出版，必将对总结经验，展望未来，推动我国化肥工业技术的进步起到积极作用。

最后，我代表编委会向付出辛勤劳动的作者们致以诚挚的谢意。向支持本书编纂出版的单位和有关负责同志致以衷心的感谢。我还诚恳地希望专家和读者们对书中的错误或不足之处予以指正。

姜圣阶

内 容 提 要

本书是化肥工学丛书之一。其他三本均已出版。本书主要介绍了合成氨生产理论基础。各种方法，原料路线，工艺流程和各种工艺条件的选择，主要设备与材质及能耗、环保、劳动卫生、自控仪表等相关的公用工程。

本书主要有以下几个特点：(1) 技术先进，方法全面。是指涵盖了当代国内外生产合成氨的现代技术和新技术、新工艺、新方法、新材料。(2) 对公用工程如环保、安全、仪表等适当增加了内容，以满足本书读者对象的需要。体现了工艺和工程的结合。(3) 全书理论结合实际，尤其反映中国的实际，对科研、设计、生产及教学都有指导意义。(4) 书中有丰富的图表，层次清楚，文字通达，是当前合成氨生产技术权威著作。

本书作者集中了国内一流的学者、专家和教授。

本书可供从事合成氨生产、科研、设计的工程技术人员及管理干部使用，也可供有关大专院校师生参考。

目 录

第一篇 绪 论

第一章 氮在国民经济中的地位和作用	1
第一节 氮及其化合物在农业中的作用	1
一、农作物的组成及养分	1
二、自然界氮的循环	3
三、人类活动对氮循环的影响	4
第二节 氮肥的来源	4
一、天然氮肥及副产氮肥	4
二、早期非用氮制造的氮肥	6
三、用氮制造的氮肥	7
第三节 氮在工农业中的使用	8
一、氮肥施用情况	8
二、氮的工业用途	14
参考文献	17
第二章 氨生产简史及发展远景	18
第一节 氨合成的基本条件及技术	18
一、合成氨的基础条件	18
二、基本工艺技术的确定与哈伯法的工业化	19
三、其他技术方法	22
第二节 原料的种类及技术演变	26
一、固体原料	26
二、气体原料	27
三、液态烃原料	31
四、氮及氧	33
第三节 气体净化	33
一、酸性气体的脱除	34
二、少量杂质的脱除	35
第四节 中国合成氨工业发展概况	35
一、早期合成氨工业的建立	35
二、中、小型氨厂的建设	38
三、引进国外技术,建立现代化的氨厂	39
第五节 合成氨工业的近期发展及远景	42
一、原料	42
二、单系统大型化	44
三、能源的综合利用和节能	46
四、催化剂的进展	49

五、气体净化及氨合成技术	50
六、环境保护	52
参考文献	53

第二篇 原料气制造

第三章 固体原料气化制取合成氨原料气	54
第一节 概述	54
一、固定床(移动床)	55
二、流化床(沸腾床)	55
三、气流床(夹带床)	56
第二节 煤的性质	57
一、煤的基本概念	57
二、煤的分类	58
三、煤的相对密度、比热容、导热系数和着火温度	60
第三节 固体原料气化的反应机理	61
一、三种气化方法的反应机理	62
二、碳与氧及蒸汽的反应过程	63
第四节 气化反应的化学平衡	65
一、质量作用定律及其对化学平衡的影响	65
二、气化炉内主要化学反应的平衡	67
第五节 气化过程的反应动力学	69
一、气化炉内反应的动力学分析	69
二、从动力学角度对煤焦化反应速度的比较	74
参考文献	74
第四章 常压固定床气化固体原料的生产过程	76
第一节 气化原料对生产过程的影响	77
一、水分	77
二、挥发分	77
三、固定碳	77
四、硫分	77
五、化学活性	77
六、灰分	78
七、机械强度	79
八、热稳定性	79

九、粘结性	80	二、操作要点	151
十、粒度	80	第六节 煤气水处理	154
第二节 实际气化过程及工作循环	80	一、煤气水分离	154
一、发生炉煤气	80	二、酚回收	156
二、水煤气	80	三、氨回收	158
三、半水煤气	83	参考文献	160
第三节 工艺条件的选择	84	第六章 水煤浆加压气化的生产过程	161
一、原料的管理	84	第一节 开发概况	161
二、工艺条件的相互影响	86	一、RCH/RAG 示范试验装置	161
三、提高气化效率和制气强度的有效措施	88	二、田纳西-伊斯曼煤气化装置	162
第四节 常用的几种工艺流程及主要设备	90	三、冷水工程 (Cool Water) 气化装置	162
一、工艺流程	90	四、宇部合成氨装置	162
二、主要设备	91	五、德国 SAR 煤制合成气装置	164
第五节 原料消耗分析及物料热量平衡	100	六、国外德士古水煤浆气化装置建设概况	165
一、煤气炉的理想热平衡	100	七、中国水煤浆气化的技术开发	165
二、真实煤气炉的热平衡	101	八、德士古水煤浆气化工艺的优缺点	166
三、灰渣残碳损失和消耗计算公式	102	第二节 水煤浆技术的开发和应用	166
四、煤气炉中各项显热损失	102	一、水煤浆的性质	166
第六节 粉煤成型及气化	103	二、水煤浆的开发现状	168
一、煤球的质量及其气化特性	103	三、粉煤粒度分布及控制	169
二、煤球的制造方法	106	四、添加剂的使用	171
三、制造石灰碳化煤球的工艺指标	107	第三节 水煤浆加压气化工艺流程及主要	173
第七节 富氧连续气化制合成氨原料气	108	设备	173
一、原料、气化剂对富氧连续气化的影响	108	一、工艺流程	173
二、富氧连续气化的工艺流程及操作条件	109	二、主要设备	175
参考文献	113	第四节 炉渣及灰水的处理	185
第五章 固定层碎煤加压气化的生产过程	114	第五节 水煤浆气化炉用耐火材料	187
第一节 概论	114	一、气化炉的环境和对耐火材料的要求	187
一、碎煤加压气化的基本概念	114	二、耐火衬里结构	187
二、碎煤加压气化的发展	114	三、炉衬向火面耐火材料	188
第二节 碎煤加压气化的原理	119	四、背衬耐火材料	191
一、碎煤加压气化实际过程	119	五、耐火材料的国产化	191
二、数字模型及操作性能	120	参考文献	192
第三节 煤种对加压气化的影响	127	第七章 固体原料气化的其他方法	194
第四节 生产流程、主要工艺条件及指标	131	第一节 常压粉煤气流床气化	194
一、生产流程	131	一、工艺特点	194
二、主要工艺条件	132	二、开发概况	195
三、主要生产指标	140	三、工艺流程及主要设备	197
第五节 气化炉的结构及操作要点	143	四、操作数据和消耗定额	200
一、气化炉的结构	143	第二节 气流床粉煤加压气化	202
		一、国外开发概况	202

二、干法进料与湿法进料的比较	205	四、炭黑回收工艺计算	267
三、干法加压气化的技术剖析	206	五、炭黑回收主要工艺及设备	268
第三节 小粒煤流化(沸腾)床气化	207	第九节 炭黑污水处理	271
一、Winkler 气化工艺	208	一、常规处理法	271
二、HTW(高温 Winkler) 气化工艺	210	二、好氧、厌氧法(A/O法)	271
三、灰熔聚流化床气化工艺	211	三、碱性氯化法	272
第四节 固定床变压气化	215	参考文献	272
参考文献	216	第九章 气态烃和轻质烃制取合成氨原料气	
第八章 重质烃气化制取合成氨原料气	218	第一节 烃类转化反应理论基础	273
第一节 概述	218	一、烃类转化反应及反应热	273
一、重质烃气化发展史	218	二、烃类蒸汽转化反应的平衡	274
二、重质烃部分氧化法的沿革	219	三、蒸汽转化反应动力学	276
第二节 重质烃的物理化学性质	219	四、二段转化反应	278
一、重质烃的来源、品种及其组成	219	第二节 转化催化剂	279
二、重质烃原料的特性	221	一、发展概况	279
第三节 重质烃部分氧化法制取合成氨		二、转化催化剂性能设计	282
原料气的基本原理	226	三、转化催化剂的选择	292
一、重质烃部分氧化法的反应原理	226	四、转化催化剂的使用	294
二、重质烃部分氧化法的反应平衡	230	第三节 烃类蒸汽转化的工业方法	314
三、重质烃部分氧化法的反应速度	230	一、烃类蒸汽转化的工艺条件	314
第四节 重质烃部分氧化法制合成气的		二、烃类蒸汽转化的工艺流程	317
工艺条件分析	231	三、部分氧化法	323
一、温度	231	四、烃类蒸汽转化的主要设备	325
二、压力	231	参考文献	340
三、氧油比	233	第十章 空气分离	342
四、蒸汽油比	233	第一节 空气的组成及低温基础条件	342
五、原料预热	234	一、空气的组成及其主要成分的物化参数	342
第五节 重质烃部分氧化法的工艺计算	235	二、空气在低温状态下的热力性质	342
一、常规快速手工计算法	235	三、低温的分类及其获得的方法	344
二、电算法	238	第二节 深度冷冻制冷	345
第六节 重质烃部分氧化法工艺流程	240	一、节流膨胀(焦耳-汤姆逊效应)	345
一、工艺流程的组成	240	二、作外功的膨胀	347
二、各种工艺流程的特点	240	三、等熵(作外功)、等焓(节流)两种	
三、主要工艺流程的比较	241	绝热膨胀过程的比较与应用	349
四、几种主要流程的叙述	241	第三节 深冷循环及空气的液化	350
第七节 重质烃部分氧化法的主要设备	246	一、热与功的转换	350
一、烧嘴(喷嘴)	246	二、空气的液化	351
二、气化炉	253	第四节 空气的精馏	357
三、气体冷却和炭黑脱除设备	256	一、气体混合物的分离方法	357
第八节 重质烃部分氧化过程中炭黑生成		二、空气分离的物理基础	358
原理及其回收	261	三、空气精馏技术及其演变	363
一、炭黑生成原理	261	第五节 空气分离的最终产品	368
二、炭黑回收方法	262		
三、炭黑回收工艺流程	262		

四、过滤机	486	一、基本原理	538
五、熔硫釜	486	二、工艺流程	545
六、湿式氧化法脱硫计算例题	486	三、主要设备	548
第八节 烷基醇胺法	493	四、工厂操作数据	548
一、各种醇胺液性质	493	五、工艺特点	549
二、一乙醇胺法 (MEA 法)	493	第五节 物理吸收过程的工艺计算	549
三、二异丙醇胺法 (ADIP 法)	498	一、吸收过程的工艺计算	549
四、甲基二乙醇胺法 (MDEA 法)	499	二、解吸过程的工艺计算	555
第九节 环丁砜法 (Sulfinol 法)	499	第六节 改良热碳酸钾溶液法	556
一、基本原理	499	一、基本原理	556
二、工艺流程	500	二、溶液成分和基本数据	559
三、工艺操作条件	501	三、工艺操作条件	561
四、操作数据	501	四、系统的腐蚀和缓蚀	564
第十节 常温甲醇法 (Amisol 法)	502	五、溶液的起泡和消泡	566
第十一节 干法脱硫剂	503	六、工艺流程和主要设备	567
一、加氢转化催化剂	504	第七节 氨水吸收法 (碳化法)	580
二、硫氧化碳水解催化剂	507	一、基本原理	580
三、氧化锌脱硫剂	508	二、工艺流程	583
四、氧化铁脱硫剂	511	三、主要设备	584
五、铁锰脱硫剂	513	四、防腐措施	585
六、其他脱硫剂	514	五、工艺操作条件	585
第十二节 精馏脱硫	516	六、用氨水脱除焦炉气中的二氧化碳	586
第十三节 脱硫方法的选择	518	第八节 甲基二乙醇胺法 (MDEA 法)	587
参考文献	519	一、基本原理	587
第十三章 合成氨原料气中二氧化碳的脱除	522	二、工艺流程	589
第一节 加压水洗法	522	三、主要操作条件	590
一、吸收原理	522	四、工厂操作数据	591
二、洗涤水的脱气再生和氮氢气体的回收	524	第九节 变压吸附法	591
三、工艺流程	526	一、基本原理	592
第二节 碳酸丙烯酯法 (Fluor 法)	527	二、工艺流程	592
一、基本原理	527	三、主要设备及吸附剂	594
二、物性数据	528	四、工艺特点及运行参数	594
三、工艺流程	530	五、变压吸附脱碳技术的应用前景	595
四、主要操作条件	531	第十节 其他方法	595
五、工厂操作数据	532	一、一乙醇胺法 (MEA 法)	595
第三节 聚乙二醇二甲醚法 (Selexol 法)	532	二、环丁砜法 (Sulfinol 法)	596
一、基本原理	532	三、N-甲基吡咯烷酮法 (Purisol 法)	596
二、工艺流程	534	四、用两种不同的净化剂联合脱除二氧化碳的方法	597
三、工艺操作条件	536	第十一节 脱除二氧化碳方法的比较和选择	599
四、工厂操作数据	537	一、脱除二氧化碳方法的比较	599
第四节 低温甲醇洗法 (Rectisol 法)	538	二、脱除二氧化碳方法的选择	600

第十二节 几种常用的脱除二氧化碳的 净化剂的原料及其制备方法	602
参考文献	603
第十四章 合成氨原料气中少量杂质的清除	606
第一节 铜氨液吸收法	606
一、铜氨液的种类、组成和物化数据	606
二、铜氨液吸收一氧化碳的理论基础	607
三、影响吸收的各种因素	610
四、再生后铜氨液中 CO 和 CO ₂ 的含量	613
五、铜洗后气体的净化度	613
六、铜氨液对原料气中其他成分的吸收	613
七、铜氨液再生原理	614
八、醋酸铜氨液的制备	618
九、醋酸铜氨液洗涤、再生过程的工艺 流程和主要设备	619
第二节 液氮洗涤法脱除一氧化碳	626
一、基本原理	627
二、工艺流程和主要设备	628
三、操作数据	631
第三节 少量二氧化碳的脱除	631
一、苛性钠溶液吸收 CO ₂	632
二、氨水吸收 CO ₂	632
第四节 甲烷化法	633
一、甲烷化反应方程及热力学	633
二、甲烷化催化剂主要物化性质	634
第五节 甲醇化法	637
一、甲醇化反应	638
二、甲醇催化剂主要性能	638
第六节 微量氯的脱除	640
一、脱氯剂物化性能及其组分作用	640
二、脱氯剂的主要化学反应	641
三、脱氯剂的装填	641
第七节 微量砷的脱除	641
参考文献	642

第四篇 合成氨原料气的压缩

第十五章 气体的压缩	644
第一节 概论	644
一、压缩工序概述	644
二、合成氨生产对压缩机的要求	644
三、压缩机的种类及应用范围	645

第二节 透平式压缩机	646
一、概述	646
二、透平式压缩机的工作原理	646
三、透平式压缩机的基础理论	650
四、透平式压缩机的结构	657
五、透平式压缩机在合成氨厂中的 应用	680
六、透平式压缩机的操作	686
七、透平式压缩机的驱动机简述	693
八、透平式压缩机和汽轮机常见故障 及处理	701
第三节 活塞式压缩机	709
一、概述	709
二、活塞式压缩机的分类	709
三、活塞式压缩机的工作原理	711
四、活塞式压缩机的结构设计	724
五、活塞式压缩机对外界（基础）所产 生的力	730
六、活塞式压缩机的主要部件	732
七、气阀装于活塞上的新型 VIP 压缩机	755
八、润滑系统	757
九、压缩机的气量调节	760
十、活塞式压缩机的管道振动和电-声 模拟试验	761
十一、关于临界转速问题	763
参考文献	763
第十六章 氨的性质	766
第一节 氨的物理性质	766
一、氨的一般物理性质	766
二、氨的物性数据	767
三、氨溶于水的性质	768
四、气体在液氨中的溶解度	769
五、液氨在高压气体中的含量	770
第二节 氨的化学性质	771
一、氨的氧化反应	771
二、氨与酸反应生成各种氮素肥料	771
三、氨与醇反应	771
四、氨与乙酸反应	771
五、氨与环氧乙烷反应	771
六、氨与甲醛反应	771
七、氨与二硫化碳反应	772
八、氨与氯乙酸反应	772
九、氨与二乙二醇反应	772

参考文献	772	三、凯洛格氨合成流程	815
第十七章 氨合成反应热力学	773	四、托普索氨合成流程	816
第一节 反应的热效应	773	五、布朗氨合成工艺流程	818
第二节 反应的平衡常数	774	六、ICI-伍德氨合成工艺流程	819
第三节 反应的平衡组分	776	第三节 氨合成塔	820
一、温度和压力的影响	777	一、反应床层的降温方式	820
二、惰性气体的影响	777	二、轴向流动和径向流动的方式	821
三、氢氮比的影响	777	三、中、小型氨厂常用的合成塔	821
第四节 其他物性数据	779	四、大型氨厂用合成塔	827
一、压缩因子(压缩系数)	779	第四节 氨合成工艺条件的选择	835
二、恒压热容	781	一、压力	836
三、粘度和导热系数	782	二、温度	836
四、高压气体中的水含量	786	三、空间速率	837
参考文献	786	四、循环气氢氮比	837
第十八章 氨合成反应动力学	787	五、循环气惰性气含量	838
第一节 反应过程	787	六、进塔氨含量	838
第二节 化学动力学机理	787	第五节 合成排放气的回收处理	838
第三节 化学吸附平衡和速率	788	一、深冷分离法	838
第四节 化学动力学方程	789	二、中空纤维膜分离法	840
一、捷姆金和佩涉夫方程	789	三、变压吸附法	842
二、其他动力学方程	791	四、排放气回收技术的比较	844
三、本征速率的影响因素	792	参考文献	845
四、动力学方程的实用形式	794	第二十章 氨合成催化剂	847
第五节 宏观动力学	797	第一节 氨合成催化剂发展简况	847
一、气体在多孔催化剂内的扩散	797	第二节 氧化态催化剂的化学组分和结构	849
二、氨合成催化剂的内表面利用率	799	一、化学组分	849
三、氨合成催化剂内扩散的实验研究	803	二、物理结构	849
第六节 真实氨合成动力学特征	804	第三节 熔铁催化剂的制造方法	852
一、氨合成反应宏观活化能和最佳温度	804	一、原料的精制	852
二、活性衰老和温度维持方针	805	二、 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 比值的控制	853
三、氨合成的实验方程式	806	三、熔炼温度	853
四、活性系数及其影响因素	807	四、冷却速度	853
参考文献	809	五、颗粒形状	853
第十九章 氨合成工艺及流程	810	六、杂质的控制	854
第一节 氨合成循环工艺基本步骤	810	第四节 氨合成催化剂的还原	854
一、氨的合成及反应热的利用	810	一、还原过程	854
二、氨的分离	811	二、还原过程的动力学	856
三、循环气的再压缩	812	三、影响还原的主要因素和实际还原情况	858
四、合成气的最终精制	813	第五节 还原后氨合成催化剂的结构和各种助催化剂的作用	861
五、惰性气的排放和利用	813	一、还原后的结构	861
第二节 氨合成工艺流程	814	二、各种助催化剂的作用	863
一、不利用废热的氨合成流程	814		
二、中、小型氨厂的氨合成流程	815		

第六节 预还原氨合成催化剂	864	第七节 氨合成塔用电加热器	917
一、催化剂的预还原、贮运、装填和再还原	864	一、电加热器的基本要求和结构形式	917
二、使用预还原催化剂的经济效益	866	二、电热元件的材料及其电工计算	919
第七节 氨合成催化剂的中毒、失活和衰老	867	三、电加热器功率的选择	921
一、热烧结引起的失活	867	四、安全打气量的计算	923
二、中毒引起的失活	867	第八节 氨合成塔操作行为	925
三、中毒后的再生	870	一、氨合成塔最佳操作参数	925
四、衰老	871	二、三套管氨合成塔的操作行为	925
第八节 氨合成催化剂的使用和维护	872	三、氨合成塔的动态操作行为	933
一、正确选择	872	参考文献	936
二、正确使用	877	第二十二章 氨合成系统工艺计算	938
三、运输、保管和装填	878	第一节 氨合成系统的物料衡算	938
第九节 钨基催化剂和 $Fe_{1-x}O$ 催化剂	878	一、氨分解基衡算方法	938
一、钨基催化剂	878	二、氨合成产量和催化剂生产强度	938
二、 $Fe_{1-x}O$ 催化剂	879	三、补充气的消耗和排放气量	939
参考文献	881	四、液氨贮槽的逸出氨及其回收	940
第二十一章 氨合成回路的设计方法和操作行为	883	五、合成回路的物料衡算	942
第一节 催化床的压力降	883	第二节 氨合成系统的能量衡算	943
一、轴向床压力降的计算	883	一、氨合成反应的绝热温升计算	944
二、径向床压力降的计算	884	二、氨合成反应的一般能量衡算	945
第二节 径向床的流体均布	885	三、气体冷激的能量衡算	946
一、主流道动量方程和静压变化	885	四、水冷却冷凝的能量衡算	946
二、流体均布的开孔调节	886	五、氨冷系统冷量损失的分析	947
三、轴径向床流动形式	887	第三节 大型氨合成塔数学模拟计算	949
第三节 催化床传热的特性	888	一、凯洛格氨合成塔数学模拟计算	949
一、催化床对壁的给热系数	888	二、托普索径向氨合成塔数学模拟计算	952
二、催化床的有效导热	888	第四节 合成气中氨冷却冷凝器的计算	956
第四节 多段绝热式氨合成塔段间分配	889	一、冷却冷凝状态分析	956
一、多段中间换热式各段最佳分配	889	二、热量、质量传递的关联	957
二、多段冷激式各段最佳分配	891	三、部分冷却冷凝器的设计计算方法	958
三、多段催化床段间分配直接搜索法求解	894	参考文献	962
第五节 冷管型催化床数模和设计	894	第二十三章 氨生产的主要设备及材料	963
一、冷管型催化床一维拟均相数模	894	第一节 概述	963
二、冷管型床层一维微分方程组解法	896	一、氨生产设备的主要特征	963
三、冷管型催化床的二维模型	900	二、氨生产设备用钢的基本要求	964
四、冷管型催化床的设计准则	903	第二节 高压容器	965
第六节 氨合成塔换热器的应用	905	一、高压容器的一般概念	965
一、氨合成塔下部换热器	905	二、高压筒体和高压管箱	968
二、氨合成塔中间换热器	909	三、高压密封	976
三、螺旋板式换热器	912	四、其他主要零部件	994
		第三节 高温容器	1000
		一、氨生产中的高温容器	1000
		二、高温无隔热层热壁容器（热壁容器）	

.....	1000
三、高温有隔热层非热壁容器（非热壁容器）	1002
.....	1002
第四节 低温容器	1008
一、低温容器的基本特性	1008
二、低温容器的结构要求	1011
三、氨生产中的低温容器	1012
第五节 特殊结构的换热器	1016
一、双管板换热器	1016
二、板式换热器	1017
三、绕管换热器	1023
第六节 废热锅炉	1024
一、废热锅炉的基本类型	1024
二、列管式废热锅炉	1025
三、盘管式废热锅炉	1030
四、插入管式废热锅炉	1031
五、U形管式废热锅炉	1033
第七节 氨生产设备用材料	1036
一、一般压力容器用钢	1036
二、高压容器常用材料	1038
三、高温耐热钢	1040
四、低温容器用材料	1041
五、抗氢、氮腐蚀钢	1045
六、应力腐蚀及其用钢	1047
第八节 高压管道	1051
一、高压管道的分类	1051
二、高压管道的密封结构和相关标准	1052
三、高压管件的类型	1055
四、高压管道的规格及材料	1055
五、管道应力分析的基本概念	1057
参考文献	1059

第五篇 综合技术

第二十四章 合成氨生产过程中的能量利用	1061
.....	1061
第一节 现代用能理论的基本要点	1061
一、能量的基本属性	1061
二、焓与熵——度量能量“量质兼顾”的物理量	1062
三、理想功和损耗功——评价过程能量利用完善性的尺度	1067
四、能量系统的热力学分析	1068
五、科学用能的基本原则	1072
第二节 合成氨生产的能耗	1073

一、过程理论能耗和产品理论能耗	1073
二、合成氨生产的实际能耗	1075
三、典型合成氨装置能量系统的热力学分析	1076
第三节 合成氨总能系统的应用	1085
一、总能系统的构成	1085
二、能量系统的独立性和相关性	1086
三、总能系统的热平衡	1086
四、总能系统的热动平衡	1087
第四节 合成氨生产蒸汽动力系统的节能	1093
.....	1093
一、合成氨厂蒸汽动力系统的简化表示	1093
.....	1093
二、合成氨厂蒸汽动力系统的节能措施	1094
.....	1094
第五节 合成氨厂蒸汽动力系统的设计	1098
一、设计的基本原则	1098
二、设计计算方法	1101
参考文献	1110
第二十五章 合成氨生产工艺总流程	1112
第一节 根据原料确定合成氨生产流程的主线	1112
一、气态烃原料	1113
二、固体原料	1115
三、液态烃原料	1116
第二节 合成氨与其他产品的联产	1117
一、变换气脱二氧化碳与碳化技术相联合	1117
.....	1117
二、脱一氧化碳与甲醇生产相联合	1117
三、氨生产与合成气生产相联合	1118
第二十六章 DCS和合成氨生产中的自动控制	1120
.....	1120
第一节 集中分散型控制系统（DCS）	1120
一、DCS的发展历程	1120
二、DCS的基本结构和特点	1121
三、DCS在合成氨厂的应用概况	1124
第二节 DCS功能	1124
一、集中操作管理功能	1124
二、过程分散控制功能	1131
第三节 DCS在合成氨工业中的应用	1134
一、重油气化的氧油比控制	1134
二、一段转化炉水碳比控制	1135
三、一段转化炉出口温度控制	1136
四、饱和塔出口气体温度极值控制	1137

五、铜洗工艺铜比调节系统	1139	二、事故的分类与统计	1186
六、离心压缩机的防喘振控制	1139	三、事故的调查与处理	1187
七、工业燃气轮机自动控制	1141	四、现场急救	1189
八、燃气轮机蒸汽自动喷射系统	1142	参考文献	1192
九、合成氨氮比自动控制	1143	第二十八章 合成氨生产的环境保护	1193
十、合成塔催化剂层温度控制	1144	第一节 概述	1193
十一、惰性气含量控制	1147	第二节 废水的治理	1193
十二、蒸汽系统的自动控制	1148	一、含氰污水的治理	1194
第四节 合成氨生产中的特殊仪表	1151	二、含氨废水的处理及回收利用	1205
一、重油气化炉测温仪表	1151	三、含硫废水的处理	1208
二、重油气化炉表面温度监测系统	1153	四、其他废水的处理	1212
三、重油流量测量仪表	1154	五、废水的综合处理	1212
四、贮罐液位测量仪表	1155	第三节 废气的治理和综合利用	1213
五、离心压缩机组状态监测仪表	1156	一、废气治理的主要方法	1213
六、汽轮机电子调速器	1157	二、含硫化氢气体的治理	1214
第五节 合成氨生产在线分析仪表	1158	三、造气吹风气的治理	1222
第六节 可编程序逻辑控制器 (PLC) 与逻辑 控制系统	1159	四、二氧化碳的综合利用	1225
一、可编程序逻辑控制器 (PLC) 概况	1159	五、一氧化碳再生气的回收利用	1225
二、PLC 在合成氨生产中的应用	1161	六、开停车及事故排放和火炬系统	1226
参考文献	1167	第四节 固体废物的回收与处置	1227
第二十七章 氨生产中的安全、卫生和急救	1168	一、煤灰、煤渣的综合利用	1227
第一节 安全技术氨生产中的重要性	1168	二、炭黑的综合利用	1229
一、合成氨生产的特点	1168	三、废催化剂的回收利用	1230
二、国内外事故案例	1169	四、铜液渣的利用	1233
三、氨的危险特性	1170	五、污泥的处理	1233
第二节 防火防爆	1171	六、废渣的最终处理	1234
一、燃烧的基本条件	1171	第五节 噪声污染及其防治	1234
二、化学爆炸的基本条件	1172	一、噪声防治的一般方法	1235
三、爆炸极限	1172	二、工业噪声控制的主要设备和材料	1236
四、爆炸极限的计算	1173	三、合成氨厂主要噪声源的控制	1239
五、防火防爆主要措施	1174	第六节 其他类型的污染源及其防治	1243
六、压力容器与压力管道	1176	一、粉尘污染及其防治	1243
第三节 防尘防毒	1179	二、热污染及其防治	1244
一、合成氨生产中的尘毒有害因素	1181	三、辐射污染及其防治	1244
二、合成氨生产中常见毒物的理化特性 及危害	1181	四、恶臭污染及其防治	1245
三、毒物浓度及换算方法	1183	参考文献	1245
四、尘毒物质的检测方法 with 检测周期	1184	第二十九章 液氨的贮存、运输和装卸	1248
五、防尘防毒措施	1185	第一节 液氨的贮存	1248
第四节 事故与急救	1186	一、压力容器的分类	1248
一、事故的成因与预防	1186	二、液氨贮罐的种类	1248
		第二节 液氨的运输	1253
		一、铁路运输	1253
		二、公路运输	1254
		三、水路运输	1258