

小氮肥厂工艺设计手册

石油化学工业出版社

2

小氮肥厂工艺设计手册

石油化学工业部化工设计院 主编
江苏省化工设计研究所
吉林化学工业公司设计院 等单位编写
四川省化工第一设计院

石油化学

内 容 提 要

本书共分三篇，第一篇介绍以固体原料（块状无烟煤、石灰碳化煤球）制取合成氨及碳酸氢铵。按生产工序介绍了反应热效应、平衡常数、反应动力学和主要工艺设备的计算及图表应用。并以5000吨型小氮肥厂生产及设计数据作了工艺计算举例，以供使用者计算时参考。第二、第三篇分别介绍了以液态烃为原料非催化部分氧化和以天然气为原料间歇催化转化制取合成氨原料气部分。有关计算常用理化数据等编于附录部分。

本书主要供从事小氮肥生产、设计方面的工人、技术人员使用，也可供有关专业大专院校师生参考。

小氮肥厂工艺设计手册

石油化学工业部化工设计院 主编

江苏省化工设计研究所
吉林化学工业公司设计院 等单位编写
四川省化工第一设计院

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787×1092¹/₁₆印张55³/₁₆插页4 字数1324千字印数1—14,250

1979年1月北京第1版 1979年1月北京第1次印刷

书号15063·化194 定价4.50元

限国内发行

前 言

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，化肥工业战线的广大革命职工，坚持党的基本路线，深入开展工业学大庆的群众运动，贯彻执行以农业为基础、工业为主导发展国民经济的总方针，加速了我国化肥工业的发展，为支援农业的大发展发挥了重要作用。

为了满足农业对化肥不断增长的需要，许多小氮肥厂正在大力开展技术革新和技术革命，广大从事小氮肥工业建设和生产的同志，纷纷提出十分需要工艺设计计算方面的资料。为了满足这一需要，我们特组织一些设计和生产单位，在总结设计、生产实践的基础上编写出初稿，并组织了有关设计、科研、工厂、学校等五十多个单位进行了审查讨论，广泛收集了资料和意见，最后编写了这本手册。

为了读者使用方便，本书按固体、液体、气体为原料制合成氨，共分三篇编写：第一篇介绍以固体原料（无烟煤、石灰碳化煤球）制取合成氨。考虑到多数小氮肥厂采用煤、焦制取合成氨原料气，因此全手册以第一篇为基础，按小氮肥生产工艺过程进行介绍。对于专业性较强的设备如变换炉、碳化塔、氨合成塔等也分别编入各有关章节中。而某些通用性设备（如传质、传热设备），为便于系统叙述和避免重复，则另编于第十一章和第十二章。各章内附有一定的实际计算例题，以说明公式、图表等的应用。此外，还将各工序的主要工艺、设备计算举例（以5000吨型合成氨厂为例）统编于第十三章中，以供使用者计算参考。第二、三篇为以重油和天然气为原料制取合成氨原料气部分。

参加编写单位：第一篇由江苏省化工设计研究所、上海市化工局设计室、安徽省化工设计院编写，其中第二、三章分别由福建省化学工业设计研究院和广西大学、山东省石油化工设计院编写，山东省石油化工设计院还对水洗塔部分进行了补充；第二篇由吉林化学工业公司设计院、浙江省衢州化工厂编写；第三篇由四川省化工第一设计院、辽宁省石油化工设计院编写。最后由石油化学工业部化工设计院作了统一整理汇总。

在编写过程中，湖北化工设计院提供了碳化部分素材。福建省长泰县合成氨厂、广西桂林氮肥厂、浙江省兰溪化肥厂以及上海化工学院、合肥工业大学等单位都提供了生产查定数据。许多单位也给予了热情帮助和支持，提供了许多宝贵意见和资料。谨此表示衷心感谢。

本手册主要供从事小氮肥生产、设计方面的工人、技术人员和有关专业大专院校师生参考。

由于我们水平所限，书中缺点和错误之处，希广大使用者多加指正。

石油化学工业部化工设计院

一九七五年十二月

目 录

第一篇 固体原料（块状无烟煤、石灰碳化煤球）制合成氨

第一章 块状无烟煤(焦炭)	
气化制取半水煤气	
第一节 平衡常数及热效应..... 1	的计算法..... 9
一、碳的氧化反应..... 1	二、综合计算法..... 11
二、一氧化碳氧化反应..... 1	三、根据反应平衡计算法..... 15
三、二氧化碳还原反应..... 1	图 1-4-1 反应平衡计算法的附图
四、非均相水煤气反应..... 1	表 1-4-1 反应平衡法需要用到的平
五、均相水煤气反应..... 2	衡常数
六、甲烷生成反应..... 2	第五节 工艺流程及主要设备..... 25
七、硫化氢生成反应..... 2	一、工艺流程..... 25
八、硫氧化碳生成反应..... 2	图 1-5-1 块状固体燃料气化制取半
九、二硫化碳生成反应..... 2	水煤气流程(3000吨型厂
十、氰化氢生成反应..... 2	四版)
第二节 煤的几点性质..... 2	图 1-5-2 块状固体燃料气化制取半
一、煤的发热量..... 2	水煤气流程(3000吨型厂
表 1-2-1 无烟煤 H' 与 K_{0D} 值的关系	技改版)
表 1-2-2 无烟煤 V' 与 K_{0D} 值的关系	图 1-5-3 气压系统流程
表 1-2-3 烟煤的 K_{1D} 值	图 1-5-4 块状固体燃料气化制取半
表 1-2-4 无烟煤 H' 与 K_{0G} 值的关系	水煤气流程(5000吨型厂
表 1-2-5 无烟煤 V' 与 K_{0G} 值的关系	三版)
表 1-2-6 烟煤的 K_{1G} 值	图 1-5-5 水压系统(6缸自动机)流
二、煤灰的熔点..... 6	程
三、煤和焦炭的比热..... 7	图 1-5-6 制气时加氮的半水煤气生
表 1-2-7 各温度范围内 C_A 和 C_R 的	产流程
平均值	图 1-5-7 水压系统(8缸自动机)
第三节 气体的发热量..... 7	流程
一、气体的发热量..... 7	二、主要设备..... 31
表 1-3-1 主要气体发热量	表 1-5-1 煤气发生炉的规格、结构
二、气体在不同温度时的显热..... 8	及生产能力
表 1-3-2 常压气体在不同温度下的	表 1-5-2 洗气塔规格及生产能力
显热	表 1-5-3 8-18-12型离心通风机性
第四节 气化过程的计算..... 8	能表
一、以实测煤气成分为依据	表 1-5-4 4-72-11型5号离心通风
	机性能表
	参考文献..... 33

第二章 石灰碳化煤球的制造及气化特性

第一节 石灰碳化煤球的理化性质及气化特性	34
一、石灰碳化煤球所用原料及化学组成	34
表 2-1-1 某些厂碳化煤球所用无烟煤的工业分析	
表 2-1-2 某些厂石灰碳化煤球所用石灰的工业分析	
表 2-1-3 某些厂石灰碳化煤球的工业分析	
表 2-1-4 某些厂石灰碳化煤球的灰分工业分析	
二、石灰碳化煤球冷、热态的机械强度	35
图 2-1-1 煤球中碳酸钙分解率与灼烧时间的关系	
表 2-1-5 煤球中碳酸钙完全分解后煤球的强度	
表 2-1-6 某些厂石灰碳化煤球的冷热态机械强度	
图 2-1-2 碳化煤球强度、碳酸钙生成量与煤灰比的关系	
图 2-1-3 碳化煤球的冷热耐磨度与煤灰比的关系	
图 2-1-4 生球含水量对碳化煤球质量的影响	
三、石灰碳化煤球的灰熔点及结渣性	37
表 2-1-7 某些厂碳化煤球与原煤的灰熔点测定数据	
图 2-1-5 煤灰比与灰熔点的关系 [高熔点($T_2 > 1400^\circ\text{C}$)原煤]	
图 2-1-6 煤灰比与灰熔点的关系 [低熔点($T_2 < 1200^\circ\text{C}$)原煤]	
表 2-1-8 某些厂石灰不同加入量对碳化煤球灰熔点的影响	
图 2-1-7 碳化煤球与同品种块煤的	

结渣性能比较

四、石灰碳化煤球的化学活性	38
图 2-1-8 某些厂对原煤及制成的碳化煤球的化学活性	
第二节 石灰碳化煤球的制造	39
一、生球碳化过程反应	39
二、石灰碳化煤球制造的工艺流程	39
三、石灰碳化煤球制造的工艺指标	40
表 2-2-1 某些厂碳化煤球的工艺指标	
四、石灰碳化煤球设计技术经济指标	41
表 2-2-2 石灰碳化煤球设计技术经济指标	
五、主要设备选择	41
表 2-3-1 某些厂以石灰碳化煤球为原料制取半水煤气的工艺指标	
第三节 石灰碳化煤球气化工艺指标	44
参考文献	44

第三章 氨水脱硫

表 3-0-1 某些厂脱硫前半水煤气中硫化物含量	
第一节 氨水脱硫的基本原理	45
图 3-1-1 硫化氢的离解度与 pH 值的关系	
第二节 净化气体中硫化氢和氨的平衡分压	46
一、新鲜氨水平衡分压	46
二、循环氨水平衡分压	47
图 3-2-1 平衡常数 K_2 与离子强度 I 的关系	
图 3-2-2 平衡常数 K_3 、 K_4 与温度的关系	
表 3-2-1 K_3 与 K_4 值	
图 3-2-3 $A=0.5N$ 氨水液相平衡组成 (30°C)	
图 3-2-4 $A=1N$ 氨水液相平衡组成 (30°C)	
图 3-2-5 常数 a 、 m 与温度的关系	
表 3-2-2 氨在纯水中的亨利系数及	

	a 、 m 与温度的关系
图 3-2-6	硫化氢平衡分压与液相硫化氢含量的关系
图 3-2-7	气相平衡分压与温度的关系
图 3-2-8	气相硫化氢、氨和二氧化碳平衡分压与液相硫化度 R 的关系 (30℃, H_2S 含量 0.2克/升)
图 3-2-9	在 20℃ 下, 0.125、0.5、1.0 与 2.0N 氨水液面上 CO_2 与 NH_3 的平衡分压
图 3-2-10	在 40℃ 下, 0.125、0.5、1.0 与 2.0N 氨水液面上 CO_2 与 NH_3 的平衡分压
图 3-2-11	$NH_3-CO_2-H_2S-(NH_4)_2S_2O_8-H_2O$ 物系中 H_2S 的平衡分压
第三节	氨水中和法脱硫.....56
一、	脱硫效率与氨硫比的关系.....56
图 3-3-1	脱硫效率与氨硫比的关系
二、	溶液循环量.....56
三、	再生空气量.....57
四、	吸收及解吸传质系数.....57
表 3-3-1	某些厂采用氨水中和法脱硫装置运转数据
表 3-3-2	某些厂填料再生塔解吸速度
第四节	氨水液相催化法脱硫.....57
图 3-4-1	脱高硫流程 (再生塔方案)
图 3-4-2	脱高硫流程 (再生池方案)
一、	溶液的氨浓度.....59
图 3-4-3	氨硫比对脱硫效率的影响
表 3-4-1	某些厂氨水液相催化法脱硫及再生工艺条件
二、	硫容量及液气比.....60
图 3-4-4	吸收系数与液气比的关系
三、	温度.....61
四、	溶液中硫化氢和悬浮硫含量.....61
五、	吸收塔气速对吸收的影响.....61
图 3-4-5	体积吸收系数 K_{g0} 与气速

	w_g 的关系
六、	半水煤气中 H_2S 浓度.....62
第五节	氨水的氧化再生.....62
一、	再生反应.....62
二、	氧化再生的工艺操作条件.....63
图 3-5-1	再生温度与体积吸收系数 K_{g0} 的关系
三、	再生设备.....64
图 3-5-2	再生塔
图 3-5-3	再生池
图 3-5-4	喷射器
四、	硫回收.....66
五、	半成品硫及成品硫的物性数据.....67
六、	对苯二酚的性质及规格.....67
表 3-6-1	某些厂氨水液相催化法脱硫主要消耗定额 (每吨氨)
第六节	主要消耗定额.....67
参考文献68

第四章 一氧化碳的变换

第一节	平衡常数.....69
图 4-1-1	一氧化碳变换反应平衡常数
第二节	变换率.....71
一、	平衡变换率的计算.....71
二、	已知气体成分变换率计算.....72
第三节	反应热效应.....72
图 4-3-1	一氧化碳变换反应热效应
第四节	变换触媒.....73
一、	触媒的主要特性.....73
二、	活化能和反应速度常数.....73
表 4-4-1	变换触媒特性表
表 4-4-2	C_0 触媒生产操作数据
图 4-4-1	C_{1-2} 、 C_0 型触媒的反应速度常数
图 4-4-2	C_0 型触媒的反应速度常数
表 4-4-3	$t^\circ C$ 与 $\frac{1}{T} \times 10^3$ 换算表
三、	变换触媒使用实例.....78
表 4-4-4	C_{1-2} 、 C_0 、 C_0 中温变换触媒实际使用数据
第五节	压力对反应的影响.....80

图 4-5-1 压力对反应速度的影响	
第六节 蒸汽比对反应的影响	81
图 4-6-1 蒸汽比与平衡变换率的关系(块煤原料)	
图 4-6-2 蒸汽比与平衡变换率的关系(石灰碳化煤球原料)	
第七节 最适宜反应温度的计算	83
第八节 饱和热水塔	85
一、湿气体的热力学性质	85
二、饱和塔出气温度与补充蒸汽量的关系	87
图 4-8-1 蒸汽量与半水煤气温度的关系(一) 气体出塔压力 $P = 1.283$ 公斤/厘米 ² (绝)	
图 4-8-2 蒸汽量与半水煤气温度的关系(二) 气体出塔压力 $P = 5.5$ 公斤/厘米 ² (绝)	
图 4-8-3 蒸汽量与半水煤气温度的关系(三) 气体出塔压力 $P = 7$ 公斤/厘米 ² (绝)	
图 4-8-4 蒸汽量与半水煤气温度的关系(四) 气体出塔压力 $P = 9$ 公斤/厘米 ² (绝)	
图 4-8-5 蒸汽量与半水煤气温度的关系(五) 气体出塔压力 $P = 13$ 公斤/厘米 ² (绝)	
图 4-8-6 蒸汽量与半水煤气温度的关系(六) 气体出塔压力 $P = 15$ 公斤/厘米 ² (绝)	
三、平衡线 and 操作线	90
图 4-8-7 饱和热水塔平衡曲线和操作线	
四、循环水量	94
图 4-8-8 饱和热水塔平衡曲线	
第九节 变换炉	95
一、触媒床间的降温方法	95
图 4-9-1 冷水冷激流程	
图 4-9-2 煤气冷激流程	
图 4-9-3 间接换热流程	

二、平衡曲线、最适宜温度线和操作线	97
三、工艺条件的选定	98
图 4-9-4 触媒床间进、出口气体条件的试算(间接换热的变换炉)	
图 4-9-5 煤气冷激式变换炉的操作线	
四、触媒用量的计算	101
五、触媒床阻力计算	104
第十节 系统内温度分布的计算	104
第十一节 工艺流程及主要设备	105
一、工艺流程	105
图 4-11-1 一氧化碳变换流程(5000吨型厂三版)	
图 4-11-2 一氧化碳变换流程(3000吨型厂技改版)	
表 4-11-1 变换炉规格及设计参数	
表 4-11-2 饱和热水塔规格及生产能力	
表 4-11-3 热交换器规格、生产能力及设计参数	
表 4-11-4 冷凝塔规格、生产能力及设计参数	
二、主要设备	111
参考文献	111

第五章 水洗法脱除二氧化碳

表 5-1-1 各种气体的溶解度	
第一节 各种气体在水中的溶解度	113
第二节 压力对二氧化碳吸收的影响	113
表 5-2-1 不同分压、温度时 CO_2 在水中的溶解度	
表 5-2-2 不同分压、温度时 CO_2 在水中的溶解度	
图 5-2-1 不同分压、温度时 CO_2 的溶解度	
第三节 用水吸收二氧化碳的热效应	114
第四节 水洗操作条件	114
第五节 水洗塔	114
图 5-5-1 C 值与动能参数的关系	
表 5-5-1 不同塔径的筛板塔板间距	
图 5-5-2 塔板上液体的充气系数	

参考文献..... 117

第六章 碳 化

第一节 氨水碳化过程的基本反应..... 118

第二节 碳酸氢铵的物理性质
和碳酸氢铵肥料..... 118

一、碳酸氢铵的物理性质..... 118

表 6-2-1 碳酸氢铵在水中的溶解度

二、碳酸氢铵肥料..... 119

表 6-2-2 碳酸氢铵分解率

第三节 碳化过程液体中各组分
浓度表示法..... 119一、碳化氨溶液中氨和二氧化
化碳的浓度..... 119图 6-3-1 不同 CO_2 与 NH_3 浓度时的
碳化度

二、碳化度..... 121

第四节 氨在水中的溶解度及溶解热..... 121

表 6-4-1 氨在水中的溶解度

表 6-4-2 不同温度和压力下氨水的
浓度(重量%)第五节 不同碳化度的氨溶液
中,气态氨和二氧化
碳的溶解热..... 122

一、氨的溶解热..... 122

二、二氧化碳的溶解热..... 124

图 6-5-1 20℃时气氨在碳化氨溶液
中的溶解热图 6-5-2 20℃时 CO_2 在碳化氨溶液
中的溶解热第六节 不同碳化度的氨溶液
上方氨、二氧化碳和
水的分压..... 125表 6-6-1 20℃时不同碳化度的氨水
溶液上方气体分压的测定
值表 6-6-2 40℃时不同碳化度的氨水
溶液上方气体分压的测定
值表 6-6-3 60℃时不同碳化度的氨水
溶液上方气体分压的测定
值第七节 $\text{NH}_3\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 体系相图 127表 6-7-1 $\text{NH}_3\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 体系相图
实验数据图 6-7-1 $\text{NH}_3\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 体系相图

第八节 氨与二氧化碳的平衡..... 130

第九节 碳化塔..... 133

一、塔型..... 133

二、碳化塔的生产能力..... 134

图 6-9-1 串联流程的水配管

图 6-9-2 并联流程的水配管

第十节 工艺流程及主要设备..... 137

一、工艺流程..... 137

图 6-10-1 串联碳化流程

图 6-10-2 并联碳化流程

图 6-10-3 部分生产碳化氨水流程

图 6-10-4 吸氨流程

图 6-10-5 高位吸氨器示意图

二、主要设备..... 142

表 6-10-1 几种碳化塔的规格及参
数表 6-10-2 几种吸氨冷却排管的规
格及参数

参考文献..... 143

第七章 气体的压缩

第一节 热力学基础..... 144

一、气体的状态方程..... 144

图 7-1-1a 气体通用压缩系数(低
压范围)图 7-1-1b 气体通用压缩系数(中、
高压范围)

二、气体的状态方程..... 146

三、气体的压缩功..... 146

第二节 压缩机功率计算..... 147

图 7-2-1 相对压力损失

图 7-2-2 温度系数

第三节 压缩机的排气温度..... 149

第四节 压缩机冷却水用量计算..... 150

图 7-4-1 冷却水用量与压缩机功率
的关系

第五节 压缩机功率计算举例..... 150

一、已知条件..... 151

二、各段气体的绝热指数计算..... 151

三、各段实际压力比的计算..... 151

四、各段气体体积计算.....	151
五、功率计算.....	152
六、冷却水用量计算.....	152
第六节 常用压缩机性能.....	152
表 7-6-1 氮氮压缩机性能	
参考文献.....	152

第八章 铜氨液脱除少量一氧化碳

第一节 铜氨液的组成.....	154
表 8-1-1 醋酸铜氨液的组成	
表 8-1-2 碳化、水洗流程醋酸铜氨液的组成	
第二节 醋酸铜氨液的主要物理性质.....	154
一、密度.....	154
图 8-2-1 醋酸铜氨液的密度	
二、比热.....	155
三、粘度.....	155
四、铜氨液上方 NH_3 、 CO_2 及水蒸汽的分压.....	155
图 8-2-2 醋酸铜氨液的粘度	
第三节 铜氨液吸收一氧化碳的平衡.....	156
图 8-3-1 醋酸铜氨液的 α 值	
第四节 压力、温度对吸收一氧化碳的影响.....	158
一、压力的影响.....	158
图 8-4-1 压力对吸收能力的影响	
二、温度的影响.....	159
图 8-4-2 温度对吸收能力的影响	
第五节 铜比极限.....	159
表 8-5-1 不同总铜含量时铜比的极限	
第六节 吸收反应及热效应.....	160
第七节 铜氨液的还原与再生.....	160
第八节 工艺流程及主要设备.....	161
一、工艺流程.....	161
图 8-8-1 铜液洗涤和铜液再生流程	
二、主要设备.....	164
表 8-8-1 几种铜洗塔的规格及参数(162)	
表 8-8-2 几种铜液再生塔的规格及(163)参数	
表 8-8-3 几种铜液泵的规格及参数(163)	
表 8-8-4 几种铜液水冷器的规格及参数	

表 8-8-5 几种铜液氨冷器的规格及参数	
-----------------------	--

参考文献.....	164
-----------	-----

第九章 氨的合成

第一节 平衡常数.....	165
图 9-1-1 逸度系数	
图 9-1-2 氨的 K_p	
图 9-1-3 氨合成平衡常数	
表 9-1-1 氨合成平衡常数	
第二节 平衡氨含量.....	169
表 9-2-1 150 大气压下平衡氨含量	
表 9-2-2 200 大气压下平衡氨含量	
表 9-2-3 300 大气压下平衡氨含量	
表 9-2-4 纯氮氨气混合物的平衡氨含量	
图 9-2-1 150 大气压下平衡氨含量	
图 9-2-2 200 大气压下平衡氨含量	
图 9-2-3 300 大气压下平衡氨含量(175)	
第三节 液氨上方气相中氨的平衡含量.....	174
表 9-3-1 液氨上方气相中氨平衡含量	
图 9-3-1 液氨上方气相中氨平衡含量	
图 9-3-2 气相中平衡氨含量 $\text{CH}_4 + \text{Ar} = 0\%$	
图 9-3-3 气相中平衡氨含量 $\text{CH}_4 + \text{Ar} = 5\%$	
图 9-3-4 气相中平衡氨含量 $\text{CH}_4 + \text{Ar} = 10\%$	
图 9-3-5 气相中平衡氨含量 $\text{CH}_4 + \text{Ar} = 12.5\%$	
图 9-3-6 气相中平衡氨含量 $\text{CH}_4 + \text{Ar} = 15\%$	
图 9-3-7 气相中平衡氨含量 $\text{CH}_4 + \text{Ar} = 20\%$	
第四节 反应热效应.....	181
表 9-4-1 氨合成的表观反应热	
图 9-4-1 150 大气压下氨合成表观反应热	
图 9-4-2 200 大气压下氨合成表观反应热	

图 9-4-3	300 大气压下氨合成 表观 反应热		
第五节	反应动力学方程式	183	
第六节	氨合成触媒	185	
一、	触媒的主要特性	185	
表 9-6-1	氨合成触媒特性		
二、	活化能和反应速度常数	186	
表 9-6-2	氨合成触媒的活化能和反 应速度常数		
图 9-6-1	A_0 触媒 反应速度常数 (200、300大气压)		
图 9-6-2	A_0 触媒 反应速度常数 (300大气压)		
第七节	A_0 、 A_0 触媒上氨合成 反应速度	189	
图 9-7-1	A_0 触媒上氨合成 反应速 度 $P=200$ 大气压, $y_{I0} =$ 12%		
图 9-7-2	A_0 触媒上氨合成 反应速 度 $P=200$ 大气压, $y_{I0} =$ 15%		
图 9-7-3	A_0 触媒上氨合成 反应速 度 $P=300$ 大气压, $y_{I0} =$ 12%		
图 9-7-4	A_0 触媒上氨合成 反应速 度 $P=300$ 大气压, $y_{I0} =$ 15%		
图 9-7-5	A_0 触媒上氨合成 反应速 度 $P=300$ 大气压, $y_{I0} =$ 18%		
图 9-7-6	A_0 触媒上氨合成 反应速 度 $P=300$ 大气压, $y_{I0} =$ 20%		
图 9-7-7	A_0 触媒上氨合成 反应速 度 $P=300$ 大气压, $y_{I0} =$ 12%		
图 9-7-8	A_0 触媒上氨合成 反应速 度 $P=300$ 大气压, $y_{I0} =$ 15%		
图 9-7-9	A_0 触媒上氨合成 反应速 度 $P=300$ 大气压, $y_{I0} =$ 18%		
图 9-7-10	A_0 触媒上氨合成 反应速 度 $P=300$ 大气压, $y_{I0} =$ 20%		
表 9-7-1	$(1 + y_{NH_3})^2 \phi$ 计算值 $P =$ 200 大气压, $y_{I0} = 12\%$		
表 9-7-2	$(1 + y_{NH_3})^2 \phi$ 计算值 $P =$ 200 大气压, $y_{I0} = 15\%$		
表 9-7-3	$(1 + y_{NH_3})^2 \phi$ 计算值 $P =$ 300 大气压, $y_{I0} = 12\%$		
表 9-7-4	$(1 + y_{NH_3})^2 \phi$ 计算值 $P =$ 300 大气压, $y_{I0} = 15\%$		
表 9-7-5	$(1 + y_{NH_3})^2 \phi$ 计算值 $P =$ 300 大气压, $y_{I0} = 18\%$		
表 9-7-6	$(1 + y_{NH_3})^2 \phi$ 计算值 $P =$ 300 大气压, $y_{I0} = 20\%$		
第八节	最适宜反应温度的计算	206	
第九节	气体在液氨中的溶 解度	207	
表 9-9-1	氢氮混合气在液氨中的溶 解度		
图 9-9-1	氢氮混合气在液氨中的溶 解度		
图 9-9-2	惰性气在液氨中溶解度		
第十节	氨合成塔	209	
一、	氨合成塔的物料计算	209	
二、	氨合成塔的热量计算	210	
三、	触媒床的降温方法	212	
四、	触媒床对冷管外壁的 给热系数	213	
五、	触媒筐计算方法	214	
图 9-10-1	图解积分求标准接触时 间		
图 9-10-2	触媒筐结构简图		
六、	触媒床阻力计算	223	
第十一节	工艺流程及主要 设备	225	
一、	工艺流程	225	
图 9-11-1	氨合成概略流程 (5000 吨型厂, 三版设计)		
图 9-11-2	氨合成概略流程 (3000 吨型厂)		
二、	主要设备	227	
表 9-11-1	几种氨合成塔的规格及 参数		

表 9-11-2	几种循环机的规格及参数	
表 9-11-3	几种冷交换器的规格及参数	
表 9-11-4	几种水冷器的规格及参数	
表 9-11-5	几种氨冷器的规格及参数	
参考文献		231

第十章 氨压缩制冷

第一节	氨的热力学性质	232
表 10-1-1	氨的热力学性质	
第二节	氨的单位容积制冷量	234
表 10-2-1	氨的单位容积制冷量	
第三节	氨压缩机制冷能力的换算	234
表 10-3-1	氨压缩机制冷量换算系数 K_1	
第四节	氨压缩机的选用计算	237
图 10-4-1	压缩机缸套冷却水与压缩机轴功率的关系	
第五节	氨压缩机制冷辅助设备 的选用计算	237
一、冷凝器		237
表 10-5-1	冷凝器热负荷系数 K_c	
表 10-5-2	各种类型冷凝器的传热系数 K_c 和 q_c 值	
二、蒸发器		239
图 10-5-1	冷凝器热负荷与冷却水用量的关系	
表 10-5-3	各种类型蒸发器的传热系数 K_e 和 q_e 值	
三、氨油分离器		240
表 10-5-4	氨压缩机的吸气系数 λ	
四、液氨贮槽		242
第六节	氨压缩机及辅助设备	242
一、氨压缩机		242
表 10-6-1	常用氨压缩机主要技术规格	
图 10-6-1	8AS 10 氨压缩机性能曲线	
图 10-6-2	8S 12.5 氨压缩机性能曲线	

图 10-6-3 8AS 17 氨压缩机性能曲线

图 10-6-4 2AL 15-1 氨压缩机性能曲线

图 10-6-5 4AJ 15-1 氨压缩机性能曲线

二、氨冷凝器

表 10-6-2 立式氨冷凝器主要规格

表 10-6-3 淋洒式氨冷凝器主要规格

三、氨蒸发器

表 10-6-4 立式氨蒸发器主要规格

表 10-6-5 卧式氨蒸发器主要规格

表 10-6-6 液氨贮槽主要规格

表 10-6-7 氨油分离器主要规格

四、液氨贮槽

五、氨油分离器

参考文献 248

第十一章 传质设备

第一节 填料塔

一、常用填料特性

二、泛速的计算

表 11-1-1 常用填料特性

图 11-1-1 填料塔的流体力学特性

三、填料阻力的计算

图 11-1-2 填料塔泛速计算

图 11-1-3 液泛速度计算

图 11-1-4 填料层压力降的通用关联图

图 11-1-5 整砌填料的阻力系数

图 11-1-6 乱堆填料的阻力系数

四、充填高度的计算

图 11-1-7 逆流塔内的物料平衡

表 11-1-2 原子体积和分子体积

图 11-1-8 图解积分法计算传质单元数

图 11-1-9 传质单元数的图解

图 11-1-10 梯级近似法计算传质单元数

图 11-1-11 填料的液膜厚度与液体表面速度

表 11-1-3 拉西环填料的传质特性

数据	
图 11-1-12 填料表面效率	
五、鲍尔环填料塔.....	271
表 11-1-4 鲍尔环与拉西环体积传质系数的比较	
第二节 湍球塔.....	272
一、小球特性.....	272
表 11-2-1 湍球塔的小球特性	
二、静止床层高度、空隙率及球数.....	272
图 11-2-1 孔隙率与 D/a 的关系	
三、空塔速度的计算.....	273
表 11-2-2 小球的 ξ_0 值	
图 11-2-2 流化开始时气速和液体负荷的关系	
表 11-2-3 若干厂的湍球塔的操作速度	
四、膨胀高度及塔板间距 (接触区高度)的计算.....	275
五、塔内持液量的计算.....	276
图 11-2-3 不同球径的床层持液量	
图 11-2-4 开孔率 $\epsilon_0=0.45$ 的支承筛板的持液量	
六、液体在塔内停留时间.....	277
七、喷淋量.....	277
八、支承板及挡网.....	277
九、压力降的计算.....	277
图 11-2-5 湍球塔中气液相流化状况,气速与压力降的关系	
十、湍球塔的段数.....	280
十一、氨水中和法脱硫湍球塔计算举例.....	280
图 11-2-6 氨水吸收 H_2S 的平衡线与操作线	
第三节 穿流板塔.....	285
一、塔径的计算.....	285
二、塔板参数.....	286
三、塔板阻力的计算.....	287
四、塔板间距.....	288
第四节 筛板塔.....	288
一、筛板塔的主要结构参数.....	289
图 11-4-1 筛板塔板面结构图	
图 11-4-2 开孔面积与开孔区面积比	
图 11-4-3 开孔区面积 A_0	
图 11-4-4 塔板孔数算图	
图 11-4-5 弓形的宽度与面积	
图 11-4-6 液流收缩系数 r	
图 11-4-7 求 h_{0w} 的列线图	
图 11-4-8 溢流层超过齿顶时的 h_{0w} 值	
图 11-4-9 降液管	
二、筛板上的流体力学计算.....	297
图 11-4-10 干筛孔的流量系数	
图 11-4-11 有效液层阻力	
图 11-4-12 雾沫夹带量	
三、筛板塔的设计程序.....	300
图 11-4-13 初选塔径的算图	
第五节 喷射吸收塔.....	302
一、喷射吸收塔的主要结构参数.....	302
图 11-5-1 喷射塔示意图	
二、喷射吸收塔的流体力学计算.....	302
三、喷射吸收塔的计算举例.....	304
图 11-5-2 喷杯尺寸示意图	
参考文献.....	307
第十二章 换热设备	
第一节 传热计算的一般公式及参数.....	308
一、热传递量的计算.....	308
二、有效平均温度差.....	309
图 12-1-1 一壳程,二或二以上管程杂流平均温度差的校正系数	
图 12-1-2 二壳程,四或四以上管程杂流平均温度差的校正系数	
图 12-1-3 错流平均温度差的校正系数	
图 12-1-4 多次杂流	
图 12-1-5 套管式换热器载热体流向	
三、流体的平均温度.....	313
四、传热壁面的温度.....	314
表 12-1-1 常用金属材料的导热系数	
表 12-1-2 污垢层的导热系数	
表 12-1-3 气体结垢的热阻	
表 12-1-4 水垢层的热阻	

五、定性温度..... 315

图 12-1-6 水的污垢系数与温度及流速的关系

六、传热系数..... 316

表 12-1-5a 管式换热器的K值

表 12-1-5b 淋洒式换热器的K值

表 12-1-5c 蛇管式换热器的K值

表 12-1-5d 螺旋板换热器的K值

表 12-1-5e 套管式换热器的K值

七、换热器内流体流速的选择..... 318

表 12-1-6 换热器内常用流速

表 12-1-7 不同粘度液体的最大流速

图 12-1-7 气体和蒸汽流经换热器管束的最大容许流速

八、流体最终温度的选择..... 319

第二节 当量直径计算..... 319

表 12-2-1 当量直径计算式

第三节 给热系数..... 321

一、流体自然对流时的给热系数..... 322

表 12-3-1 水的B值

二、无相变强制对流的给热系数..... 322

表 12-3-2 水的A值

表 12-3-3 $\frac{l}{d} < 50$ 时的修正值 f_1

图 12-3-1 过渡流 α 值的校正系数

表 12-3-4 几种常用气体的系数A值

表 12-3-5 几种常用气体的系数A值

三、冷凝给热系数..... 327

表 12-3-6 水蒸汽的B值

表 12-3-7 氨及水的C值

表 12-3-8 氨及水的 L_{max} 值

四、沸腾给热系数..... 329

图 12-3-2 水的沸腾给热系数

五、热辐射给热系数..... 331

图 12-3-3 辐射给热系数

六、几种特定条件下的给热系数..... 332

图 12-3-4 过热水蒸汽作纵向流动时的给热系数

第四节 几种间壁换热设备的设计..... 334

一、列管式换热器..... 334

图 12-4-1 管板上管子排列法

表 12-4-1 管子在管板上排列的数目

图 12-4-2 卧式冷凝器管子排列

图 12-4-3 横向挡板的装置

表 12-4-2 换热器局部阻力系数

二、套管式换热器..... 339

三、螺旋板式换热器..... 339

图 12-4-4 螺旋板换热器结构

图 12-4-5 螺旋板长度计算附图

四、蛇管式换热器..... 343

五、淋洒式换热器..... 343

第五节 混合换热器的设计..... 344

一、混合换热器中的热交换与质交换..... 344

二、填充式气体冷却塔的计算..... 345

第六节 冷却冷凝器的设计..... 347

一、传热的基本公式..... 348

二、逐点计算法..... 349

三、三点法..... 350

第七节 保温壁温度和热损失的计算..... 351

一、平壁的热传导..... 351

图 12-7-1 多层平壁热传导

二、圆筒壁的热传导..... 352

三、其它形状物体的热传导..... 352

四、由外壁至空气的给热系数的简化计算式及应用..... 353

图 12-7-2 (例1)附图1

图 12-7-3 (例1)附图2

图 12-7-4 (例2)附图

参考文献..... 356

第十三章 工艺计算举例

第一节 块状固体原料气化制取半水煤气系统计算..... 357

一、物料、热量衡算..... 357

图 13-1-1 煤气制造流程

二、设备计算..... 372

图 13-1-2 废热锅炉火管排列法

第二节 石灰碳化煤球系统计算..... 382

一、加压变换气并联流程物料、热量衡算..... 382

二、加压变换气串联流程物料、热量衡算..... 391

第三节 一氧化碳变换系统计算..... 399	图 13-5-5 碳化全过程相图 (见 128 页后插图)
一、采用煤气冷激及蒸汽换热式变换炉的系统计算..... 399	二、设备计算..... 485
图 13-3-1 一氧化碳变换生产流程及压力分布 (一)	图 13-5-6 回收塔塔板数计算图
图 13-3-2 变换炉工艺条件计算图 (一)	第六节 铜氨液脱除一氧化碳系统计算..... 489
图 13-3-3 饱和热水塔塔板计算图 (一)	一、物料及热量衡算..... 489
二、采用水冷激式变换炉的系统计算..... 446	图 13-6-1 铜液再生流程及温度分布图
图 13-3-4 一氧化碳变换生产流程及压力分布 (二)	二、设备计算..... 497
图 13-3-5 变换炉工艺条件计算图 (二)	第七节 氨合成系统计算..... 512
图 13-3-6 饱和热水塔塔板计算图 (二)	一、物料及热量衡算..... 512
第四节 水洗脱除二氧化碳系统计算..... 468	二、设备计算..... 520
一、物料衡算..... 468	图 13-7-1 合成塔触媒筐计算方案图
二、水洗塔计算..... 471	图 13-7-2 t_b 与 T_M 、 T_c 的关系
图 13-4-1 筛板水洗塔塔板计算图	图 13-7-3 触媒床、中心管、冷管、下降管温度分布及氨浓度分布图
第五节 碳化系统计算..... 474	表 13-7-1 氨合成塔氨浓度和温度分布计算结果汇总表
一、物料及热量衡算..... 474	第八节 氨压缩制冷系统计算..... 545
图 13-5-1 碳化系统流程及温度、压力分布	一、已知条件..... 545
图 13-5-2 不同温度、 K 、 K_{CO_2} 值的氨水上方的平衡氨气分压	二、确定制冷工况..... 545
图 13-5-3 由 K 值求取 p_{NH_3}	三、确定耗冷量..... 545
图 13-5-4 由 K 值求取 p_{NH_3}	四、氨压缩机的选择..... 545
	五、蒸发器的选择..... 545
	六、冷凝器的选择..... 545
	七、氨油分离器的选择..... 546
	八、液氨贮槽的选择..... 546
	九、冷却水用量计算..... 546

第二篇 液态烃非催化部分氧化法制取合成氨原料气

第一章 原料的品种及性质

第一节 原料的品种..... 547	表 1-2-3 恩氏粘度与运动粘度换算(550)
第二节 重油的性质..... 547	图 1-2-2 粘度换算(552)
一、比重、重度和比重指数..... 547	图 1-2-3 石油馏分在高压下的粘度(552)
表 1-2-1 燃料油的体积膨胀系数 β (549)	图 1-2-4 混合油品粘度图(553)
图 1-2-1 油品重度与温度的关系(548)	三、比热..... 549
表 1-2-2 比重 d_4^{20} 与 d_{15}^{15} 换算(549)	表 1-2-4 0~200℃重油比热(551)
二、粘度..... 548	四、导热系数..... 550
	图 1-2-5 石油产品在不同温度下导热系数(554)

五、闪点及凝点.....	550	表 4-1-2 气化炉出口水煤气组成	
六、化学组成.....	553	三、第三种计算方法.....	582
七、热值.....	554	表 4-1-3 气化炉出口水煤气组成	
第二章 液态烃部分氧化法的 基本原理及工艺条件		四、富氧气化所得半水煤气组成的计 算.....	585
第一节 液态烃部分氧化反应的 基本原理.....	555	表 4-1-4 300~1400℃ (高温区) 气体比热(591)	
表 2-1-1 1250~1400℃ 一氧化碳变 换反应平衡常数		表 4-1-5 富氧气化半水煤气组成	
第二节 液态烃部分氧化法的工艺 条件.....	558	第二节 热量回收及冷却的计算.....	592
一、有效气体产率方程式.....	558	一、急冷流程的计算.....	592
二、温度和氧油比.....	559	图 4-2-1 急冷室出口温度算图	
三、蒸汽用量(蒸汽油比).....	560	图 4-2-2 一级文氏管出口气体温度 算图	
四、反应压力.....	560	图 4-2-3 二级文氏管出口气体温度 算图	
五、原料预热程度和热损失.....	561	二、废热锅炉流程的计算.....	599
第三章 重油部分氧化法工艺流程		第五章 主要设备及计算	
第一节 工艺流程.....	562	第一节 喷嘴.....	603
一、急冷流程.....	562	一、喷嘴的作用.....	603
图 3-1-1 急冷法工艺流程		二、雾化机理.....	603
二、废热锅炉流程.....	564	三、雾化方法.....	603
图 3-1-2 废热锅炉法工艺流程(565)		四、喷嘴的结构和类型.....	604
三、流程中的有关问题.....	564	图 5-1-1 二次气流雾化双套管式喷 嘴	
第二节 急冷流程和废热锅炉流程 的比较.....	567	图 5-1-2 三套管式喷嘴	
一、热量回收率的比较.....	567	图 5-1-3 一次机械雾化、二次气流 雾化的双套管外混式喷嘴(608)	
二、流程设备的比较.....	567	五、喷嘴设计中的有关问题.....	607
第三节 纯氧气化和富氧气化的比较.....	567	图 5-1-4 喷嘴水夹套	
表 3-3-1 纯氧气化和富氧气化 [每 生产 1000 标准米 ³ 有效气 体(CO+H ₂)]消耗定额		图 5-1-5 喷嘴水套和绕蛇形水管混 合冷却	
第四章 工艺计算		六、喷嘴计算.....	610
第一节 气化炉物料、热量和出口气体组成 计算.....	570	图 5-1-6 油-蒸汽螺旋体结构	
一、第一种计算方法.....	570	图 5-1-7 氧气螺旋体结构	
图 4-1-1 炭黑比热		图 5-1-8 蒸汽与重油在第一级雾化 喷嘴中的工作过程	
表 4-1-1 气化炉出口水煤气组成		图 5-1-9 第一级喷嘴	
二、第二种计算方法.....	577	图 5-1-10 一级雾化喷嘴中蒸汽及 重油的压力和流速变化	
图 4-1-2 二氧化碳公斤分子数 m 与 温度 t 关系		图 5-1-11 第二级喷嘴	
		图 5-1-12 氧螺旋槽中心管喷嘴	
		表 5-1-1 喷嘴有关参数	

第二节 气化炉.....	639
一、结构.....	639
图 5-2-1 气化炉(急冷法流程)	
图 5-2-2 气化炉(废热锅炉法流程)	
二、容积、直径和高度的计算.....	642
三、气化炉的耐火、保温材料 及砌筑方法.....	642
表 5-2-1 气化炉常用的耐火、保温 材料性能	
四、耐火及保温材料厚度及各砖层 温度计算.....	645
第三节 废热锅炉.....	648
一、结构类型.....	648
二、盘管式废热锅炉的计算.....	648
图 5-3-1 盘管式废热锅炉	
表 5-3-1 废热锅炉进口气体组成	
图 5-3-2 传热因子 jh	
图 5-3-3 管壁温差示意图	
图 5-3-4 20号及 15CrMo 钢导热系 数	
表 5-3-2 废热锅炉各温度段传热面 积计算表	
图 5-3-5 管壁不同粗糙度管内摩擦	

系数与雷诺数 Re 的关系	
表 5-3-3 假设一定的传热系数 K 值 的传热面积简易计算结果	
第四节 急冷室与文氏管.....	666
一、急冷室.....	666
图 5-3-6 CO 、 CO_2 、 CH_4 和水蒸汽 在常压下的粘度	
图 5-3-7 氮气在常压下粘度	
图 5-3-8 H_2 、 N_2 、 CO 、 CO_2 导热系 数	
图 5-3-9 甲烷和水蒸汽导热系数	
图 5-4-1 急冷室结构	
二、文氏管.....	672
图 5-4-2 文氏管洗涤器	
第五节 气化设备.....	674
表 5-5-1 废热锅炉流程设备一览表	
表 5-5-2 急冷流程设备一览表	
表 5-5-3 空分设备产品选型表	
第六节 急冷流程和废热锅炉 流程消耗指标.....	676
表 5-6-1 急冷流程消耗指标	
表 5-6-2 废热锅炉流程消耗指标	
参考文献.....	677

第三篇 天然气间歇催化转化法制取合成氨原料气

第一章 天然气的脱硫	
第一节 脱硫和再生的原理.....	678
第二节 脱硫器的计算.....	678
第二章 天然气间歇催化转化法制 取合成氨原料气	
第一节 天然气间歇催化转化法 的基本原理.....	681
一、吹风阶段.....	681
二、制气阶段.....	681
第二节 天然气间歇催化 转化反应条件.....	682
一、转化温度.....	682
图 2-2-1 转化温度对甲烷转化率的 影响	
图 2-2-2 蒸汽比对甲烷转化率	

的关系	
二、蒸汽量.....	683
三、吹风气中残氧.....	683
第三节 工艺流程.....	684
图 2-3-1 天然气间歇催化转化法 制取合成氨原料气工艺 流程图(685)	
第四节 改良 CN-2 号触媒.....	684
第三章 物料、热量衡算及消耗指标	
第一节 物料衡算.....	686
一、计算条件.....	686
二、计算.....	686
表 3-1-1 转化物料平衡表	
表 3-1-2 吹风气量及组成	
表 3-1-3 吹风物料平衡表	
第二节 热量衡算.....	689