

小合成氨厂 工艺技术与 设计手册 下册

梅安华 主编 汪寿建 林煥生 副主编



化学工业出版社

中國經濟學
五十年來之發展
與未來之展望
下冊

中國經濟學五十年來之發展與未來之展望



中國經濟學五十年來之發展與未來之展望

小合成氨厂 工艺技术与设计手册

下 册

梅安华 主 编
汪寿建 副主编
林棣生

化学工业出版社

·北 京·

(京)新登字039号

图书在版编目 (CIP) 数据

小合成氨厂工艺技术与设计手册 (下册)/梅安华主编.-北京:化学工业出版社,1994

ISBN 7-5025-1469-4

I.小… II.梅… III.①合成氨生产-化工厂-技术设计-技术手册②合成氨生产-化工厂-工艺管理-技术手册 IV.TQ113.28-62

中国版本图书馆CIP数据核字 (94) 第12100号

出版者 化学工业出版社 (北京市朝阳区惠新里3号)
社长 俸培宗 **总编辑** 蔡剑秋
经 销 新华书店北京发行所
印 刷 化学工业出版社印刷厂
装 订 化学工业出版社印刷厂
版 次 1995年3月第1版
印 次 1995年3月第1次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 51
插 页 1
印 数 1—4000
定 价 70.00元
京工商广临字198号

依靠科技進步
提高企業效益

化學工業部李季題

一九九〇年八月廿日

主要编写人员

(按章节顺序编排)

上册第1篇,张凤葵(编1、2、13, 3.1至3.4),陈捷(编3.5),陆海良(编4),崔斌(编5),朱芷芬(编6),叶中一(编7),杨世明(编8、9、10、14),吴志高(编11、12),肖永平(编15)。第2篇,王祥光(编1、2、3),李仕禄(编4、5、6、12),郭俊荣(编7、16)王文富(编8.1, 13.1)彭为良(8.2, 13.2),张学模(9.1),郑兴才(9.2),周代均(10、15),王炜(11、14)。第3篇,刘家辑编(编1、2、5),张喜春(编3、4、6)。下册第4篇,汪寿建(编1至10)。第5篇,林棣生(编1至10),王湘平(编11、12),王时珍(编13),汪志雄(编14),肖志敏(编15),张启仓(编16)。

主要校审人员

梅安华	汪寿建	林棣生	徐成础	徐京磐	金锡祥
张成芳	刘庆	谢定中	张启仓	余良骥	王一兆
沈树荣	郁正容	陆海良	吴志高	董彦良	陈道三
曹治勇	李仕禄	彭为良	王祥光	张凤葵	李福运
林红英	范逢源	金威	朱芷芬	袁晏晏	胡克仁
孟广信	赵秀芳	朱觉民	刘运根	钱水林	张和照
郑兴才	王发坤	吴其英	龚亦同	徐逢源	蒋珍华
王世伟	王玉才	周代均	郑修霖		

本手册最后由吴玉峰、陈道三、曹治勇、王正喜、孔繁荣统编整理。

前 言

《小合成氨厂工艺技术与设计手册》是化工部基建司化基标发(1991)第21号文安排的设计技术基础工作项目。编制的组织单位是化工部小合成氨设计技术中心站。主编单位是中国五环化学工程总公司(原化工部第四设计院)。参编单位有上海化工设计院、江苏省化工设计院、辽宁省石油化工规划设计院、湖南省化学工业设计院、山东省化工规划设计院、福建省石油化工设计院、四川省化工设计院、安徽省化工设计院和南京化学工业(集团)公司研究院等九单位。从事小氮肥设计、科研和生产等方面的30多位专家,历时三年多完成了本手册的编写、整理和审校工作。

中国的小合成氨厂生产工艺是采用中国自己开发的合成氨——碳酸氢铵联合生产的碳工艺流程。经过30多年的建设和发展,从1958年的年产800吨合成氨厂诞生,到现在已有生产厂家1060个左右,合成氨的产量约占全国合成氨总量的50%以上,为中国农业生产的发展作出了巨大的贡献。在这30多年中,小合成氨厂走过了一条曲折而艰难的道路,先后经历了两次全国性的产品滞销巨大冲击,攻克了粉煤成球代替无烟块煤的制半水煤气工艺技术难关,解决了全国性原料煤严重不足的矛盾;完成了一系列增产节能降耗的技术改造项目,改变了小合成氨厂全面亏损的局面。这是全体从事小合成氨行业的各级领导、工程技术人员及广大职工以主人翁的忘我精神,为了氮肥行业的生存和发展呕心沥血的结果。目前小合成氨厂的生产规模不断扩大,生产条件大有改善,能耗大幅度下降,企业的经济效益明显提高。尤其是90年代初碳铵改产尿素的成功,一批小尿素厂的投产,改变了氮肥产品的结构,并且还有许多小合成氨厂发展了其他化工产品,这将对我国氮肥行业的发展产生深远的影响。

在这种特定历史条件下,《小合成氨厂工艺技术与设计手册》脱稿了。该手册主要篇章内容反映了80年代末和90年代初小合成氨厂的技术水平,吸收和充实了80年代合成氨领域发展的一些科研成果和实验数据,并增设了节能降耗技改专题和小尿素专题内容,适用于小合成氨厂设计、技改的需要,是当前国内小合成氨行业中实用性较强的大型工具书。

本手册分为上下二册,上册包括原料气制备、气体净化和气体压缩;下册包括氨合成和尿素生产。

对热心从事本手册编写的工作人员和审校人员以及提供各种资料的单位和个人致以深切的谢意。

对本手册编制工作给予大力支持的杭州化工机械厂、长沙化工机械厂、湖北省化学研究所等单位致以衷心的感谢。

由于手册编审人员水平有限,时间仓促,错误在所难免,恳请读者批评指正。

《小合成氨厂工艺技术与设计手册》编委会

1994年10月

《小合成氨厂工艺技术与设计手册》编委会

主 编 梅安华

副主编 汪寿建 林棣生

顾 问 陈以楹

编 委 袁 纽 孔祥琳 徐京磐

郁正容 陆海良 董绍濂

吴志高 董彦良 王祥光

张凤葵 李仕禄 彭为良

责任编辑:孙绥中

封面设计:郑小红

下 册 目 录

第 4 篇 氨 合 成

1. 氨合成反应热力学基础.....	1	反应的 K_p 值	19
1.1 氨合成反应化学平衡	1	图1-1-3 普遍化逸度系数图 ($Pr=0\sim 4.0$)	20
1.1.1 低压下化学平衡常数计算	1	图1-1-4 普遍化逸度系数图 ($P_r=0\sim 20$)	20
表1-1-1 常压下不同温度时的平衡 常数 K_p	2	表1-1-16 用公式法计算的 K_p 值	21
表1-1-2 常压下不同温度时的平衡 常数 K_p	2	1.2 氨合成反应热效应	21
1.1.2 加压下化学平衡常数计算	3	1.2.1 气体混合热 ΔH_M 计算	21
1.1.2.1 加压下平衡常数的计算	3	表1-2-1 纯 $H_2/N_2=3$, 生成 17.6% NH_3 的混合热 ΔH_M (kJ/kmol)	22
表1-1-3 不同压力下 β , J 值	3	1.2.2 常压下氨合成反应热效应计算	22
表1-1-4 在不同温度、压力下的 $1/K_p$ 值	4	1.2.3 加压下氨合成反应热效应计算	22
表1-1-5 氨合成平衡常数 $K_p \times 10^3$	6	图1-2-1 加压下氨合成反应热 (ΔH_F)	23
图1-1-1 氨合成平衡常数曲线图	7	1.2.4 氨合成表观反应热计算	23
表1-1-6 由实验数据计算的平衡常数 K_p 值	7	表1-2-2 不同温度、压力时氨合成表观 反应热 (kJ/kmol)	23
表1-1-7 不同温度、压力下的平衡常数 K_p 值	9	图1-2-2 氨合成表观反应热 ($P=15.17\text{MPa}$)	24
表1-1-8 $H_2/N_2=3$, $y_0=0$ 时, 氨平衡 浓度 $y_{NH_3,0}^*$, mol%	12	图1-2-3 氨合成表观反应热 ($P=20.20\text{MPa}$)	24
表1-1-9 $H_2/N_2=3$, $P=15.20\text{MPa}$ 氨 平衡浓度 $y_{NH_3}^*$, mol%	13	图1-2-4 氨合成表观反应热 ($P=30.40\text{MPa}$)	25
表1-1-10 $H_2/N_2=3$, $P=18.18\text{MPa}$ 氨 平衡浓度 $y_{NH_3}^*$, mol%	14	1.3 平衡氨含量	25
表1-1-11 $H_2/N_2=3$, $P=21.21\text{MPa}$ 氨 平衡浓度 $y_{NH_3}^*$, mol%	15	1.3.1 用平衡常数计算平衡氨含量	25
表1-1-12 $H_2/N_2=3$, $P=24.25\text{MPa}$ 氨 平衡浓度 $y_{NH_3}^*$, mol%	16	1.3.2 用查图、查表法计算平衡氨含量	26
表1-1-13 $H_2/N_2=3$, $P=27.29\text{MPa}$ 氨 平衡浓度 $y_{NH_3}^*$, mol%	17	图1-3-1 温度、压力与平衡氨含量关系 ($P=1.01\sim 101.3\text{MPa}$)	27
表1-1-14 $H_2/N_2=3$, $P=30.4\text{MPa}$ 氨 平衡浓度 $y_{NH_3}^*$, mol%	18	图1-3-2 温度、压力与平衡氨含量关系 ($P=0\sim 81.1\text{MPa}$)	27
表1-1-15 彼吉-勃里日曼常数	19	表1-3-1 $H_2/N_2=3$, $y_0=0$ 时平衡氨含 量 $y_{NH_3,0}^*$, mol%	28
1.1.2.2 用普遍化因子图, 逸度系数计算 加压下的平衡常数	19	表1-3-2 $H_2/N_2=3$, $y_0=0$ 时平衡氨含 量 $y_{NH_3,0}^*$, mol%	30
图1-1-2 不同温度、压力下的氨合成		图1-3-3 惰性气体对平衡氨含量 影响关系	32

表1-3-3 不同压力、温度下含有惰性气 时平衡氨含量.....33	1.4.2.1 用经验公式计算平衡氨含量56
表1-3-4 不同压力、温度下含有惰性气 时平衡氨含量.....38	表1-4-6 液氨上方气相中平衡 氨含量.....56
图1-3-4 $P=15.7\text{MPa}$ 下不同惰性气体 含量的平衡氨含量.....40	图1-4-8 混合气体中平衡氨含量 y_{NH_3}57
图1-3-5 $P=20.2\text{MPa}$ 下不同惰性气体 含量的平衡氨含量.....40	1.4.2.2 惰性气体对平衡氨含量影响57
图1-3-6 $P=30.4\text{MPa}$ 下不同惰性气体 含量的平衡氨含量.....41	图1-4-9 气相中平衡氨含量 ($\text{CH}_4 + \text{Ar}=0$)58
表1-3-5 $\text{H}_2/\text{N}_2=3$, 平衡氨含量 $y_{\text{NH}_3,0}^*$, mol%42	图1-4-10 气相中平衡氨含量 ($\text{CH}_4 + \text{Ar}=5\%$)58
表1-3-6 $P=32.42\text{MPa}$, 不同氢氮比时 平衡氨含量 $y_{\text{NH}_3,0}^*$, mol%42	图1-4-11 气相中平衡氨含量 ($\text{CH}_4 + \text{Ar}=10\%$)58
图1-3-7 $P=30.42\text{MPa}$, $t=500^\circ\text{C}$ 时氢氮 比(摩尔)比与平衡氨含量关系.....42	图1-4-12 气相中平衡氨含量 ($\text{CH}_4 + \text{Ar}=12.5\%$)58
1.4 汽液相平衡43	图1-4-13 气相中平衡氨含量 ($\text{CH}_4 + \text{Ar}=15\%$)59
1.4.1 汽液相平衡基本方程43	图1-4-14 气相中平衡氨含量 ($\text{CH}_4 + \text{Ar}=20\%$)59
1.4.1.1 低压下汽液相平衡的计算43	本章符号对照表.....59
1.4.1.2 加压下汽液相平衡的计算43	参考文献.....60
表1-4-1 A_1, B_1, C_1 系数表(适用范围 $250\text{K} \leq T \leq 380\text{K}$)46	2. 氨合成反应动力学.....61
表1-4-2 C_{11}, C_{21}, C_{31} 系数表(适用范 围 $250\text{K} \leq T \leq 380\text{K}$)46	2.1 氨合成反应动力学方程61
表1-4-3 饱和压力下、饱和液氨摩尔体 积及组分的偏摩尔体积系数.....47	2.1.1 反应机理61
表1-4-4 氨的相平衡常数 K_{NH_3} 值.....48	2.1.2 动力学方程式61
表1-4-5 氢、氮、氩、甲烷的相平衡常 数 K_i 值49	2.1.3 动力学方程实用计算式62
图1-4-1 $\text{H}_2/\text{N}_2=3$ 时氨混合物中氨 的相平衡常数 K_{NH_3}52	2.1.4 氨合成反应动力学方程 应用通式.....65
图1-4-2 $\text{H}_2/\text{N}_2=3$ 时氨混合物中氢 的相平衡常数 K_{H_2}52	2.2 反应速度常数计算67
图1-4-3 $\text{H}_2/\text{N}_2=3$ 时氨混合物中氮 的相平衡常数 K_{N_2}53	2.2.1 查表、图解积分法计算 K_T67
图1-4-4 甲烷在氨中的平衡常数 K_{CH_4}53	2.2.2 查图、图解积分法计算 K_T68
图1-4-5 氩在液氨中的平衡常数 K_{Ar}54	表2-2-1 函数 $\phi(y_{\text{NH}_3})$ 值69
图1-4-6 在 $\text{H}_2/\text{N}_2=3$ 时氨混合物的 近似泡点.....54	表2-2-2 积分值 $\Phi(y_{\text{NH}_3})$ 值73
图1-4-7 在 $\text{H}_2/\text{N}_2=3$ 时氨混合物的 近似露点.....55	图2-2-1 函数 $\phi(y_{\text{NH}_3})$ 与 y_{NH_3} 、 $y_{\text{NH}_3}^*$ 的关系曲线图($y_{\text{NH}_3}^*=0.15\sim 0.31$).....78
1.4.2 混合气体中平衡氨含量56	图2-2-2 函数 $\phi(y_{\text{NH}_3})$ 与 y_{NH_3} 、 $y_{\text{NH}_3}^*$ 的关系曲线图($y_{\text{NH}_3}^*=0.32\sim 0.37$).....79
	图2-2-3 函数 $\phi(y_{\text{NH}_3})$ 与 y_{NH_3} 、 $y_{\text{NH}_3}^*$ 的关系曲线图($y_{\text{NH}_3}^*=0.38\sim 0.49$).....80
	图2-2-4 函数 $\phi(y_{\text{NH}_3})$ 与 y_{NH_3} 、 $y_{\text{NH}_3}^*$ 的关系曲线图($y_{\text{NH}_3}^*=0.50\sim 0.60$).....80
	2.2.3 查表计算法求 K_T81
	图2-2-5 积分值 $\Phi(y_{\text{NH}_3})$ 与 y_{NH_3} 、 $y_{\text{NH}_3}^*$ 关系曲线图($y_{\text{NH}_3}^*=5\sim 30\%$, $y_{\text{NH}_3}^*=12\sim 62\%$)81

图2-2-6 积分值 $\Phi(y_{\text{NH}_3})$ 与 y_{NH_3} , $y_{\text{NH}_3}^*$ 关系曲线图 ($y_{\text{NH}_3}=2\sim 16\%$, $y_{\text{NH}_3}^*=22\sim 40\%$)	82	$y_0=20\%$)	96
2.2.4 查图计算法计算 K_T	82	图2-3-4 A 109催化剂反应速度与温度、 氨含量关系曲线图 ($P=30.38\text{MPa}$, $y_0=15\%$)	97
2.2.5 经验公式计算 K_T	82	图2-3-5 A 109催化剂反应速度与温度、 氨含量关系曲线图 ($P=30.38\text{MPa}$, $y_0=18\%$)	97
图2-2-7 积分值 $\Phi(y_{\text{NH}_3})$ 与 y_{NH_3} , $y_{\text{NH}_3}^*$ 关系曲线图 ($y_{\text{NH}_3}=6\sim 30\%$, $y_{\text{NH}_3}^*=42\sim 60\%$)	83	图2-3-6 A 109催化剂反应速度与温度、 氨含量关系曲线图 ($P=30.38\text{MPa}$, $y_0=20\%$)	98
图2-2-8 积分值 $\Phi(y_{\text{NH}_3})$ 与 y_{NH_3} , $y_{\text{NH}_3}^*$ 关系曲线图 ($y_{\text{NH}_3}=16\sim 30\%$, $y_{\text{NH}_3}^*=42\sim 53\%$)	83	2.3.1 查表法计算 $dy_{\text{NH}_2}/d\tau_0$	98
图2-2-9 积分值 $\Phi(y_{\text{NH}_3})$ 与 y_{NH_3} , $y_{\text{NH}_3}^*$ 关系曲线图 ($y_{\text{NH}_3}=18\sim 30\%$, $y_{\text{NH}_3}^*=42\sim 52\%$)	83	2.3.2 查图法计算 $dy_{\text{NH}_2}/d\tau_0$	98
图2-2-10 积分值 $\Phi(y_{\text{NH}_3})$ 与 y_{NH_3} , $y_{\text{NH}_3}^*$ 关系曲线图 ($y_{\text{NH}_3}=6\sim 30\%$, $y_{\text{NH}_3}^*=22\sim 40\%$)	84	2.4 催化剂内表面利用率	99
2.2.6 A 106催化剂 k_1 计算	84	2.4.1 内扩散对反应速度的影响	99
2.2.7 A 109催化剂 k_1 计算	85	2.4.2 内表面利用率	99
2.2.8 温度与反应速度常数的关系	86	表2-4-1 不同温度时的 M 值	100
2.3 反应速度计算	86	表2-4-2 一定气体成分时的压缩 因子 Z 值	101
图2-2-11 函数 $f(t)$ 与温度、活化能 关系曲线 ($t=370\sim 450^\circ$)	87	表2-4-3 不同组分时的 $D_{\text{NH}_3}^0$ 值	101
图2-2-12 函数 $f(t)$ 与温度、活化能 关系曲线 ($t=450\sim 540^\circ$)	87	表2-4-4 不同粒度催化剂的 当量直径	101
表2-3-1 函数 $(1+y_{\text{NH}_3})^2 I(y_{\text{NH}_3})$ 值 ($P=20.27\text{MPa}$, $y_0=12\%$)	88	表2-4-5 $\Phi(y_{\text{NH}_3}\cdot\delta)$ 值 ($y_0=0.1463$, $b=1.343$)	102
表2-3-2 函数 $(1+y_{\text{NH}_3})^2 I(y_{\text{NH}_3})$ 值 ($P=20.27\text{MPa}$, $y_0=15\%$)	89	表2-4-6 A 106催化剂内表面利用率 ξ 值 (500°C , $y_0=15\%$)	102
表2-3-3 函数 $(1+y_{\text{NH}_3})^2 I(y_{\text{NH}_3})$ 值 ($P=30.38\text{MPa}$, $y_0=12\%$)	90	表2-4-7 A 106催化剂内表面利用率 ξ 值 (475°C , $y_0=15\%$)	103
表2-3-4 函数 $(1+y_{\text{NH}_3})^2 I(y_{\text{NH}_3})$ 值 ($P=30.38\text{MPa}$, $y_0=15\%$)	91	表2-4-8 A 106催化剂内表面利用率 ξ 值 (450°C , $y_0=15\%$)	103
表2-3-5 函数 $(1+y_{\text{NH}_3})^2 I(y_{\text{NH}_3})$ 值 ($P=30.38\text{MPa}$, $y_0=18\%$)	92	表2-4-9 A 106催化剂内表面利用率 ξ 值 (425°C , $y_0=15\%$)	104
表2-3-6 函数 $(1+y_{\text{NH}_3})^2 I(y_{\text{NH}_3})$ 值、 ($P=30.38\text{MPa}$, $y_0=20\%$)	93	表2-4-10 A 106催化剂内表面利用率 ξ 值 (400°C , $y_0=15\%$)	104
图2-3-1 A 106催化剂反应速度与温度、 氨含量关系曲线图 ($P=30.38\text{MPa}$, $y_0=15\%$)	94	表2-4-11 A 106催化剂内表面利用率 ξ 值 (375°C , $y_0=15\%$)	105
图2-3-2 A 106催化剂反应速度与温度、 氨含量关系曲线图 ($P=30.38\text{MPa}$, $y_0=18\%$)	95	表2-4-12 A 109催化剂内表面利用率 ξ 值 (475°C , $y_0=15\%$)	105
图2-3-3 A 106催化剂反应速度与温度、 氨含量关系曲线图 ($P=30.38\text{MPa}$,		表2-4-13 A 109催化剂内表面利用率 ξ 值 (450°C , $y_0=15\%$)	106
		表2-4-14 A 109催化剂内表面利用率 ξ 值 (425°C , $y_0=15\%$)	106
		表2-4-15 A 109催化剂内表面利用率 ξ 值 (400°C , $y_0=15\%$)	107
		表2-4-16 A 109催化剂内表面利用率 ξ	

值 (375℃, $y_0=15\%$)	107	(二)	118
本章符号对照表	108	表3-2-12 国产氨合成催化剂理化数据	
参考文献	108	(三)	119
3. 氨合成催化剂	109	表3-2-13 国产氨合成催化剂理化数据	
3.1 概述	109	(四)	119
3.2 氨合成催化剂的性能	109	表3-2-14 国内外氨合成催化剂	
3.2.1 催化剂活性	109	物化数据	120
3.2.1.1 比活性表示法	109	3.3 氨合成催化剂的还原	122
3.2.1.2 反应速度表示法	110	3.3.1 还原反应的化学平衡	122
3.2.1.3 空时得量表示法	110	表3-3-1 还原反应平衡常数	123
表3-2-1 某些氨合成催化剂活性		图3-3-1 $Fe-O_2-H_2$ 体系平衡图	123
数据表	111	3.3.2 还原过程动力学	123
表3-2-2 某些氨合成催化剂活性		图3-3-2 r_0-t-R 关系曲线	124
对照表	112	3.3.3 还原度	124
表3-2-3 国产A系列催化剂活性		3.4 影响催化剂的还原因素	126
数据表	112	3.4.1 还原温度	126
表3-2-4 A106催化剂活性数据表	112	表3-4-1 A型催化剂还原温度与	
3.2.2 催化剂稳定性	112	出水关系	126
3.2.2.1 耐热稳定性	112	表3-4-2 A型催化剂还原温度	
3.2.2.2 抗毒稳定性	113	控制指标	126
表3-2-5 水汽对A106催化剂的		表3-4-3 A型催化剂不同温度下的	
中毒效应	113	还原度	126
表3-2-6 一氧化碳对A106催化剂的		表3-4-4 A106催化剂还原温度与	
中毒效应	114	活性关系	127
图3-2-1 暂时性中毒对转化率的		3.4.2 还原压力	127
影响	114	表3-4-5 A型催化剂还原压力对活性的	
图3-2-2 永久性中毒对转化率的		影响	127
影响	114	3.4.3 还原空速	128
3.2.2.3 机械稳定性	114	3.4.4 气体成分	128
3.2.3 催化剂种类及作用	115	3.5 常用氨催化剂的性能及特点	128
3.2.3.1 催化剂种类	115	3.5.1 A110-1型氨合成催化剂	129
3.2.3.2 催化剂成分	115	3.5.1.1 主要化学组分及物性	129
表3-2-7 国产氨合成催化剂		3.5.1.2 产品质量指标	129
主要成分	115	3.5.1.3 装填方法	129
表3-2-8 国外氨合成催化剂		3.5.1.4 升温还原	129
主要成分	115	3.5.1.5 正常操作	130
3.2.3.3 助催化剂的作用	115	3.5.1.6 催化剂的维护	130
3.2.4 催化剂的物化性质	116	3.5.1.7 催化剂的钝化	130
3.2.4.1 化学性质	116	3.5.2 A110-2型氨合成催化剂	131
3.2.4.2 物理性质	116	3.5.2.1 主要化学组分及物性	131
表3-2-9 A型催化剂表面积与活性	118	3.5.2.2 产品质量指标	131
表3-2-10 国产氨合成催化剂理化数据		3.5.2.3 装填方法	131
(一)	118	3.5.2.4 还原方法	132
表3-2-11 国产氨合成催化剂理化数据		3.5.3 A110-4型氨合成催化剂	132

3.5.3.1 主要组分及物化性质	132	4.1 工艺参数选择	143
3.5.3.2 产品质量指标	133	4.1.1 压力	143
3.5.3.3 升温还原	133	图4-1-1 能耗与压力的关系	143
3.5.4 A110-5Q型氨合成球形催化剂	133	表4-1-1 国外往复式压缩机不同压力时 动力消耗比较值	143
3.5.4.1 主要组成及物化性质	133	表4-1-2 国内往复式压缩机不同压力时 动力消耗比较值	144
3.5.4.2 装填方法	134	表4-1-3 国外几种流程动力消耗比较值	144
3.5.4.3 升温还原	134	4.1.2 温度	144
3.5.5 A201型氨合成催化剂	134	图4-1-2 29.4MPa压力、A106催化 剂最适宜温度曲线	144
3.5.5.1 催化剂性能	134	4.1.3 空速	145
3.5.5.2 升温还原	134	表4-1-4 空速与氨含量、生产强度 的关系	146
3.5.6 A202Q型氨合成球形催化剂	135	4.1.4 入塔气体组分	146
3.5.6.1 主要组成及物性	135	4.1.4.1 入塔氨含量	146
3.5.6.2 升温还原	135	表4-1-5 入塔氨含量与氨净值关系	146
3.5.7 A301型氨合成催化剂	135	4.1.4.2 氢氮比	146
3.5.7.1 催化剂性能	135	4.1.4.3 惰性气体含量	147
3.5.7.2 产品质量指标	135	4.2 氨的分离	147
3.5.7.3 装填方法	136	4.2.1 冷凝法	147
3.5.7.4 还原方法	136	4.2.2 冷却分离设备	148
3.6 快速升温还原法	136	4.2.2.1 水冷器	148
3.6.1 概述	137	4.2.2.2 氨分离器	148
3.6.2 快速还原法的影响因素	137	4.2.2.3 冷交换器	148
3.6.2.1 产氨条件	137	4.2.2.4 氨冷器	149
3.6.2.2 空速和水汽浓度	137	4.3 氨合成工艺流程	149
3.6.2.3 提压	137	4.3.1 流程设计特点	149
3.6.2.4 微量 (CO+CO ₂)	137	图4-3-1 氨合成概略工艺流程图	149
3.6.3 对比法	137	4.3.2 氨合成传统工艺流程	150
3.6.4 催化剂层温度分布	138	图4-3-2 氨合成传统工艺流程图	150
图3-6-1 催化剂层温度分布示意图	138	4.3.3 氨合成反应预热热水工艺流程	151
3.6.5 催化剂快速升温还原	138	4.3.3.1 预热循环热水供精炼加热铜液工 艺流程	151
3.6.5.1 催化剂升温期	138	4.3.3.2 预热热水供造气闪蒸低压蒸汽工 艺流程	151
3.6.5.2 L ₁ N ₁ 层催化剂还原	138	图4-3-3 预热循环热水工艺流程图	152
3.6.5.3 L ₁ N ₂ 层催化剂还原	139	图4-3-4 预热循环热水局部工艺流程示 意图	152
3.6.5.4 L ₂ N ₃ 层催化剂还原	139	图4-3-5 预热热水局部工艺流程图	152
3.6.5.5 L ₃ N ₆ 层催化剂还原	139	4.3.3.3 第二换热网络热水工艺流程	152
3.6.5.6 催化剂升温还原注意事项	139	图4-3-6 第二换热网络热水工艺流程图	
表3-6-1 升温还原控制指标	140		
3.6.6 水汽浓度分析	140		
3.6.6.1 碱石棉称量法	140		
图3-6-2 分析流程图	141		
3.6.6.2 注意事项	141		
3.6.6.3 碱石棉称重法计算公式	141		
本章符号对照表	142		
参考文献	142		
4. 氨合成工艺参数选择及工艺流程	143		

.....	153	4.4.1 反应热回收方式及利用	164
图4-3-7 第二换热网络余热回收工艺流 程示意图.....	153	图4-4-1 反应热回收方式示意图	164
表4-3-1 第二换热网络主要控制指标	154	图4-4-2 设置提温型预热器局部工艺流 程示意图.....	164
表4-3-2 第二换热网络操作弹性值	154	图4-4-3 设置塔前热交换器局部工艺流 程示意图.....	165
表4-3-3 第二换热网络主要经济指标	155	4.4.2 新鲜气加入位置及消耗定额	166
4.3.4 中置式废热锅炉副产蒸汽工艺流程	155	表4-4-1 3:1氢氮气中的饱和水汽含量	166
表4-3-4 不同压力下副产蒸汽量	155	4.4.3 放空气位置	167
4.3.4.1 工艺流程简述	156	4.4.4 循环机位置	168
图4-3-8 中置式废热锅炉副产蒸汽工艺 流程图(无油润滑).....	156	图4-4-4 流程A示意图	168
4.3.4.2 流程特点	156	图4-4-5 流程B示意图	168
图4-3-9 中置式废热锅炉副产蒸汽工艺 流程图(有油润滑).....	157	4.4.4.1 电耗比较	168
图4-3-10 塔内抽气位置与废热锅炉关 系示意图.....	157	图4-4-6 流程C示意图	169
表4-3-5 三种不同位置废热锅炉回收蒸 汽性能表.....	158	图4-4-7 流程D示意图	169
图4-3-11 预热进塔气局部工艺流程图	158	表4-4-2 四种流程定性分析表	169
4.3.4.3 存在的主要问题	158	4.4.4.2 冷冻量比较	170
4.3.4.4 设计中主要考虑的几个因素	158	4.4.4.3 新鲜气单耗比较	171
图4-3-12 合成塔出口弹性管系示意图	159	表4-4-3 四种流程物料和热量计算结果	171
表4-3-6 计算应力数据表	159	4.4.4.4 节能效果	171
表4-3-7 $\phi 800$ 合成塔中置式废热锅炉工 艺流程测定数据摘录.....	160	本章符号对照表.....	171
4.3.5 后置式废热锅炉副产蒸汽工艺流程	160	参考文献.....	172
图4-3-13 后置式废热锅炉回收蒸汽工 艺流程.....	161	5. 氨合成塔内件.....	173
图4-3-14 后置式废热锅炉回收蒸汽热 水工艺流程.....	161	5.1 概述	173
4.3.6 后置提温型副产蒸汽工艺流程	163	5.1.1 内件设计指导思想	173
图4-3-15a 后置提温型副产蒸汽工艺流 程(一).....	163	5.1.2 设计总体要求	173
图4-3-15b 后置提温型副产蒸汽工艺流 程(二).....	163	5.1.3 内件分类	174
表4-3-8 后置式锅炉工艺流程生产测定 数据摘录.....	164	5.2 单层轴向内冷式内件	174
4.4 流程设计中应注意的几个问题	164	5.2.1 单管并流式内件	175
		5.2.1.1 单管并流式内件主要特点	175
		5.2.1.2 单管并流式内件流程及结构	176
		图5-2-1 单管并流式内件工艺流程图	176
		图5-2-2 单管并流氨合成塔	176
		图5-2-3 带分气盒单管并流合成塔局 部图.....	176
		图5-2-4 带扁平管式并流氨合成塔局 部图.....	177
		图5-2-5 带翅片管式并流氨合成塔局 部图.....	177
		图5-2-6 气体先进中心管式单管并流氨 合成塔.....	178

图5-2-7 单管单环并流氨合成塔	178	5.2.4.3 并流三套管内件流程及参数	186
5.2.1.3 单管并流式内件主要参数	178	表5-2-10 并流三套管内件主要参数	186
5.2.1.4 单管并流式内件生产运行	178	图5-2-16 并流三套管内件工艺流程	187
表5-2-1 单管并流式内件主要参数	179	图5-2-17 某塔改造前后催化剂床温度 分布	187
表5-2-2 $\phi 500$ 单管并流式内件生产数 据表	179	表5-2-11 $\phi 1000$ 三套管合成塔催化剂层 温度、浓度分布	187
表5-2-3 $\phi 500$ 单管并流式内件催化剂温 度数据表	179	表5-2-12 $\phi 800$ 三套管合成塔催化剂层 温度、浓度分布	187
表5-2-4 不同塔径单管并流式内件生产 数据表	180	表5-2-13 $\phi 800$ 三套管合成塔催化剂层 温度、浓度分布	187
表5-2-5 阻力分布数据表	180	表5-2-14 $\phi 600$ 三套管合成塔催化剂层 温度、浓度分布	188
图5-2-8 四种单管并流式内件催化剂床 温度分布曲线	180	表5-2-15 不同塔径并流三套管合成塔 阻力	188
5.2.2 单管折流式内件	181	图5-2-18 $\phi 800$ 三套管催化剂不同时期 温度分布	188
5.2.2.1 单管折流式内件主要特点	181	图5-2-19 并流三套管氨合成塔	188
5.2.2.2 单管折流式内件流程及结构	181	5.2.4.4 并流三套管内件结构	188
图5-2-9 单管折流式内件工艺流程	181	表5-2-16 $\phi 800$ 并流三套管合成塔各部 分阻力	189
图5-2-10 单管折流式合成塔内件	181	5.3 冷管改进型内件	189
5.2.2.3 单管折流式内件主要参数	182	5.3.1 概述	189
表5-2-6 $\phi 450$ 单管折流式内件主要参数	182	5.3.2 XF-III J型内冷分流式内件	190
图5-2-11 单管折流式内件催化剂层温 度分布曲线	182	5.3.2.1 XF-III J型内件设计主要特点	190
5.2.2.4 单管折流式内件生产运行	182	图5-3-1 降低零米温度后温度与氨含量 关系	191
表5-2-7 单管折流式内件操作数据表	182	图5-3-2 单管并流式冷管连接示意图	192
5.2.3 并流双套管式内件	182	5.3.2.2 XF-III J型内件主要参数	193
5.2.3.1 并流双套管式内件主要特点	182	表5-3-1 XF-III J型内件设计参数	193
5.2.3.2 并流双套管流程及参数	183	5.3.2.3 XF-III J型内件结构	193
图5-2-12 并流双套管式内件工艺流程 图	183	5.3.2.4 XF-III J型内件流程	193
图5-2-13 并流双套管催化剂层温度分 布	183	5.3.2.5 XF-III J型内件运行数据	193
表5-2-8 并流双套管式内件主要参数	184	表5-3-2a $\phi 600$ -XF-III J型内件生产测 定值	194
5.2.3.3 并流双套管内件结构	184	图5-3-3 $\phi 600$ -XF-III J型内冷分流式内 件简图	194
5.2.3.4 并流双套管内件生产运行	184	图5-3-4 XF-III J型内件工艺流程	194
5.2.4 并流三套管式内件	184	5.3.3 轴径向内冷式内件	194
5.2.4.1 概述	184	5.3.3.1 $\phi 800$ 轴径向内件主要特点	194
图5-2-14 并流双套管式氨合成塔	185	表5-3-2b XF-III J型内件的合成系统数 据表	195
表5-2-9 并流双套管合成塔生产运行数 据表	185	5.3.3.2 $\phi 800$ 轴径向内件结构、主要参数	
图5-2-15 三套管结构示意图	185		
5.2.4.2 并流三套管内件主要特点	185		

及流程.....	195	统生产数据表.....	203
图5-3-5 $\phi 800$ 轴径向内件结构简图	195	5.4 多层绝热冷激式内件	203
表5-3-3 $\phi 800$ 轴径向内件设计参数	196	5.4.1 概述	203
图5-3-6a $\phi 800$ 轴径向内件工艺流程.....	196	图5-4-1 冷激式内件流程示意图	204
5.3.3.3 $\phi 800$ 轴径向内件运行数据	196	表5-4-1 冷激气所占百分数与温度和氮	
5.3.4 双层对向流动式内件	196	净值关系.....	205
图5-3-6b $\phi 800$ 轴径向内件热电偶温度		5.4.2 NC-620型全冷激式内件.....	205
布置.....	196	5.4.2.1 NC-620型冷激式内件主要特	
表5-3-4 $\phi 800$ 轴径向内件测定数据表		点.....	205
.....	197	5.4.2.2 NC-620型冷激式内件结构、参	
表5-3-5 $\phi 800$ 轴径向内件的合成系统数		数及流程.....	206
据表.....	197	图5-4-2 NC-620型冷激式内件结构	
5.3.4.1 双层对向流动式内件主要特点		简图.....	206
.....	197	表5-4-2 $\phi 600$ NC冷激式内件设计参数	
5.3.4.2 双层对向流动式内件结构、主要		206
参数和流程.....	198	5.4.2.3 NC-620型冷激式内件运行数据	
图5-3-7 $\phi 800$ 双层对向流动式内件结构		206
简图.....	199	图5-4-3 $\phi 600$ NC型冷激式工艺流程.....	207
表5-3-6 $\phi 800$ 双层对向流动式内件		5.4.3 NC-840型轴径向全冷激式内件.....	207
参数.....	199	5.4.3.1 NC-840型冷激式内件主要特点	
图5-3-8 $\phi 800$ 双层同向流动式内件结构		207
简图.....	199	5.4.3.2 NC-840型冷激式内件主要参数	
5.3.4.3 $\phi 800$ 双层对向流动式内件运行		207
数据.....	199	表5-4-3 NC-840型轴径向冷激式内件	
图5-3-9 $\phi 800$ 双层对向流动式内件工艺		设计参数.....	207
流程.....	200	图5-4-4 NC-840型轴径向全冷激式内	
表5-3-7 $\phi 800$ 双层并联流动式内件测定		件结构简图.....	208
数据.....	200	图5-4-5 NC-840型轴径向冷激式内件	
表5-3-8 B厂温度、气体成分数据表	200	工艺流程.....	208
5.3.5 ZG型单管折流式内件.....	200	5.4.4 YD四段轴向冷激式内件.....	208
5.3.5.1 ZG型单管折流式内件主要特点		5.4.4.1 YD轴向冷激式内件主要特点.....	208
.....	200	5.4.4.2 YD轴向冷激式内件主要参数及	
5.3.5.2 单管折流式内件主要参数及结构		流程.....	208
.....	201	图5-4-6 YD四段冷激式内件结构简图	
图5-3-10 $\phi 600$ 单管折流式内件结构		209
简图.....	201	表5-4-4 YD四段轴向冷激式内件参数	
图5-3-11 $\phi 800$ 单管折流式内件结构		209
简图.....	201	图5-4-7 YD四段冷激式内件工艺流程	
表5-3-9 ZG系列内件设计主要参数.....	202	209
表5-3-10 $\phi 800$ ZG-F89型内件及合成系		5.4.4.3 YD轴向冷激式内件运行数据.....	209
统生产数据表.....	202	表5-4-5 YD四段轴向冷激式内件数据	
5.3.5.3 ZG型单管折流内件运行数据.....	202	209
图5-3-12 ZG系列内件工艺流程	203	5.5 多层绝热复合换热式内件	210
表5-3-11 $\phi 600$ ZG-Z87型内件及合成系		5.5.1 概述	210

5.5.2 三段绝热冷激间冷式内件	210	式内件主要参数	219
5.5.2.1 设计中需注意解决的几个问题	210	表5-5-9 内件各反应床温度参数	219
5.5.2.2 三段绝热冷激间冷式内件主要特点	211	5.5.5 二轴一径层间换热式内件	219
5.5.2.3 内件结构及主要参数	211	5.5.5.1 二轴一径层间换热式内件主要特点	219
图5-5-1 三段绝热冷激间冷式内件结构简图	212	5.5.5.2 二轴一径层间换热式内件主要参数	220
表5-5-1 $\phi 800$ 三段绝热冷激间冷式内件设计参数	212	图5-5-10 二轴一径层间换热式内件结构简图	220
表5-5-2 $\phi 600$ 三段绝热冷激间冷式内件设计参数	212	表5-5-10 二轴一径层间换热式内件设计参数	220
表5-5-3 内件各反应床温度设计参数	212	图5-5-11 二轴一径层间换热式内件工艺流程	220
图5-5-2 三段绝热冷激-间冷式内件工艺流程	213	5.5.5.3 二轴一径层间换热式内件运行数据	221
5.5.2.4 三段绝热冷激-间冷式内件的生产运行	213	本章符号对照表	221
表5-5-4 催化剂床温度实测值	213	参考文献	221
图5-5-3 催化剂床温度点布置图	214	6. 氨合成塔工艺设计	222
表5-5-5 合成塔温度、压力、气体成分实测值	214	6.1 氨合成塔物料衡算	222
5.5.3 NC型 $\phi 800$ 轴向式内件	214	6.1.1 物料计算依据	222
5.5.3.1 NC型内件主要特点	214	6.1.2 氨生成量计算	222
表5-5-6 $\phi 600$ -II型塔催化剂装填量	215	6.1.3 出塔气量和组分计算	223
5.5.3.2 NC型内件结构及主要参数	215	6.1.4 合成率计算	224
表5-5-7 NC型系列内件设计参数	215	6.2 氨合成塔热量衡算	225
5.5.3.3 NC型内件运行数据	216	6.2.1 合成塔出口温度计算	225
图5-5-4 NC-810型内件结构简图	216	图6-2-1 氨合成塔热量衡算示意图	225
图5-5-5 NC-820型内件结构简图	216	6.2.2 塔热损失计算	226
图5-5-6 NC-810型内件工艺流程	217	6.2.3 催化剂筐热量衡算	226
图5-5-7 NC-820(NC-830)型内件工艺流程	217	图6-2-2 催化剂筐热量衡算示意图	226
5.5.4 三段冷激-间接换热式内件	217	6.2.4 热交换器热量衡算	227
5.5.4.1 三段绝热冷激-间接换热式内件主要特点	217	图6-2-3 热交换器热量衡算示意图	227
5.5.4.2 三段绝热冷激-间接换热式内件结构及参数	218	6.3 催化剂床内各项给热系数计算	228
图5-5-8 三段绝热冷激-间接换热式内件结构简图	218	6.3.1 催化剂床对冷管的给热系数	228
图5-5-9 三段绝热冷激-间接换热式内件工艺流程	218	表6-3-1 α 系数表	229
表5-5-8 $\phi 600$ 三段绝热冷激-间接换热式内件主要参数	219	6.3.2 冷管间给热系数	230
		6.3.3 总传热系数	231
		6.3.4 计算实例	231
		6.4 氨合成塔催化剂层设计	236
		6.4.1 近似法	236
		6.4.1.1 绝热层催化剂用量和温度分布计算	237
		图6-4-1 绝热层计算示意图	238
		6.4.1.2 绝热冷激式催化剂用量和温度分布计算	238