

王师祥 杨保和 编著

小型合成氨厂 生产工艺与操作



3.2

化学工业出版社

王德明 张晓明 编著

小型合成氨厂 生产工艺与操作



化学工业出版社

小型合成氨厂生产工艺与操作

王师祥 杨保和 编著

化学工业出版社

·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

小型合成氨厂生产工艺与操作/王师祥, 杨保和编著.
北京: 化学工业出版社, 1999.5
ISBN 7-5025-2533-5

I. 小… II. ①王… ②杨… III. 合成氨生产 IV. TQ
113.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 07815 号

小型合成氨厂生产工艺与操作

王师祥 杨保和 编著

责任编辑: 肖望国 马 强

责任校对: 陶燕华

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)

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 850×1168 毫米 1/32 印张 11¹/₈ 字数 309 千字

1999 年 6 月第 1 版 1999 年 6 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—5000

ISBN 7-5025-2533-5/TQ·1130

定 价: 20.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

编者的话

我国小合成氨工业自 1958 年诞生以来,已经 40 年了。小合成氨工业从无到有,从小到大,逐步完善发展,不断巩固提高,已经成为我国化肥工业中一个不可缺少的重要组成部分,为我国国民经济作出了重大的贡献。40 年的发展,尤其是改革开放 20 年来,小合成氨工业更有长足的发展,在“七五”,“八五”期间,小合成氨工业无论从工艺的成熟程度,还是从设备的装备、产品品种结构及生产管理水平等方面,都跃上了一个新台阶。

回顾小合成氨工业的起步阶段,其生产能力只有 800t/a 和 2000t/a 型,其品种只有氨水和碳酸氢铵,整个工艺仅是造气、脱硫、变换、碳化或附水洗、压缩、铜洗和合成;而今天,最低产量为 2.5 万 t/a,全国已有 100 家发展到 4.5 万 t/a 的规模。目前,小合成氨厂合成氨产量已占全国合成氨产量的 58%,产品不仅有碳酸氢铵,还有肥效更高、结构合理的尿素、磷铵、各种复混肥,以及甲醇、纯碱等其他各种化工产品。小合成氨工业已成为我国化学工业中有前途、有潜力的行业。

为适应新形势下小合成氨工业的发展,迎接 21 世纪小合成氨工业面临的机遇和挑战。我们根据近年来,小合成氨行业开创的多项新技术和管理经验,组织编写了本书,以供全国从事小合成氨工业的有关人员学习参考。

本书除介绍小合成氨传统生产工艺外,根据我国小合成氨工业的发展及适应市场经济的需要,结合技术改造,节约能源,综合利用,降低成本,保护环境,使用先进技术和工艺的要求,增添了许多新工艺、新技术。如新法精脱硫,全低变、低能耗脱碳,新型合成塔内件,双甲工艺等高压双甲技术,氢回收技术及大型化的压缩机,螺杆制冷压缩机,新型煤气炉炉算,垂直筛板塔和规整填料,还有微机应

用等，以推动小合成氨工业不断发展和技术进步。

本书不但阐述小合成氨生产过程的基本原理、工艺条件、生产流程及主要设备等，还介绍各主要工段的操作要点和工艺操作指标，增加了常见事故及处理方法。在主要工段中增加了有关工艺计算、物料和能量平衡计算。力求达到深入浅出，层次清楚，理论联系实际，以便更好地为从事小合成氨行业的生产和技术管理干部、技术工人服务。

本书由江苏省化肥工业公司王师祥高级工程师直接指导和参与下进行编写。初稿经王师祥高级工程师亲自修改，并组织审稿。江苏淮河化工厂郭养九总工程师、江苏兴化化肥厂沈义隆总工程师、江苏江宁化肥厂王海波工程师参加了审定和修改，并对书稿提出了不少好的意见和建议，在此一并致谢。

由于全国小合成氨企业分布较广，各厂使用工艺条件及设备选型均有不同，所收集的资料也不够全面，加之水平有限，本书内容难免有不足之处，希全国小合成氨行业的专家，同事多批评指正。

杨保和

1998年6月

内 容 提 要

本书全面系统地介绍了小型合成氨厂生产过程中的基本原理、生产流程、工艺条件、主要设备、操作要点及主要工段的有关工艺计算和物料、能量平衡计算。

全书共分八章，按小型合成氨厂传统工艺流程分别介绍造气、脱硫、变换、碳化、脱碳、压缩、精炼、合成等主要工段的生产技术管理和操作技术。由于近年来小型合成氨厂技术发展较快，本书还介绍了目前我国小型合成氨厂生产中普遍推广和应用的新技术、新工艺、新设备。如新法精脱硫、全低变、低能耗脱碳、新型合成塔内件、双甲及等高压双甲工艺、氢回收技术，以及大型化的压缩机、螺杆制冷压缩机、新型煤气炉炉箅、微机应用等内容。

本书内容全面，联系实际，深入浅出，针对性强，可作为小型合成氨厂生产管理干部、工程技术人员、技术工人的学习培训教材和参考材料。

目 录

第一章 造气	1
第一节 气化原理及操作条件的选择	1
一、气化方法的确定及其理论基础	1
二、燃料层的分区与气体组成的变化	2
三、气化剂与燃料的反应过程	3
四、间歇法制气的工作循环	4
五、原料性质对气化作业的影响	5
六、操作条件的选择	7
第二节 制取半水煤气的工艺流程和设备	9
一、工艺流程	10
二、主要设备及构造	10
第三节 操作管理	16
一、原始开车	16
二、正常开车	18
三、停车及熄火	19
四、正常操作	20
五、操作中的主要故障及处理方法	26
第四节 粉煤成球与气化	31
一、碳化煤球成球工艺	31
二、碳化煤球气化条件	33
第五节 富氧空气连续气化法	34
一、基本原理	34
二、生产流程及工艺条件	35
第六节 重油气化	35
一、部分氧化法气化重油的理论基础	36
二、操作条件的选择	36
三、生产流程	38

第七节 天然气转化	38
一、部分氧化法	39
二、间歇催化转化法和蒸汽转化法	39
第八节 小合成氨厂的空分	39
一、空气的双级精馏塔	40
二、空分流程	40
三、主要技术指标	43
第九节 白煤气化指标的概算	43
第二章 脱硫	47
第一节 概述	47
第二节 脱硫的方法	47
一、干法脱硫	47
二、湿法脱硫	48
第三节 氨水液相催化法脱硫	49
一、基本原理	49
二、工艺条件的选择	50
三、工艺流程	51
四、正常生产控制要点	51
五、开停车操作	53
第四节 脱硫设备	54
第五节 氨水液相催化法脱硫的优缺点	58
第六节 脱硫有关工艺计算	59
第七节 精脱硫	62
第三章 变换	74
第一节 变换反应的化学平衡和反应速度	74
一、影响化学平衡的因素	74
二、影响反应速度的因素	74
三、变换催化剂的机理	75
第二节 变换催化剂	75
一、变换催化剂的性能	75
二、变换催化剂的还原	77
三、催化剂的中毒和老化	77
四、催化剂的维护和保养	78

第三节 操作条件的选择与工艺流程分析	78
一、操作条件的选择	78
二、变换工艺流程分析	80
三、变换工段热量回收和蒸汽节约	82
四、主要设备的构造和作用	82
第四节 生产操作	85
一、变换系统的开车	85
二、正常操作要点	86
三、变换系统的停车	88
第五节 常见不正常情况的判断及其处理	90
一、开工阶段常易遇到的问题	90
二、生产过程中常见事故及处理	90
三、停车阶段常易遇到的问题	92
第六节 全低变工艺	93
一、全低变工艺生产流程	93
二、全低变工艺主要设备	94
三、全低变工艺生产操作	94
四、全低变工艺节能性分析	97
第七节 中低低变换工艺	98
一、中低低变换主要工艺指标	98
二、中低低变换操作要点	99
三、中低低变换特点	100
第八节 变换工段的一段计算	100
第四章 碳化	104
第一节 碳化工段生产概况	104
一、碳化工段的任务与要求	104
二、碳化工段生产流程	104
三、原料的性质	105
四、碳化生产基本过程	106
第二节 碳化生产过程中的气液相平衡	107
一、相、相变化、相平衡	107
二、总压、分压、平衡分压	108
第三节 碳化生产过程中的液固相平衡	110

一、 $\text{NH}_3\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 体系相图	110
二、利用相图的有关计算	113
第四节 碳化塔内二氧化碳的吸收	116
一、氨水吸收二氧化碳的影响因素	116
二、碳化塔内碳酸氢铵的结晶	118
第五节 碳化和氨回收	119
一、碳化工序操作条件的选择	119
二、碳化工序流程和设备	120
三、碳化工序的操作管理	124
四、碳化工序常见事故及处理	128
第六节 浓氨水的制备	131
一、浓氨水制备的基本原理	131
二、喷射器吸氨	131
三、高位吸氨	133
四、吸氨工序操作管理	133
第七节 碳酸氢铵悬浮液的分离	135
一、离心分离的基本原理	135
二、WH-800 型离心机	138
三、LZH-800 型离心机	140
第五章 二氧化碳的脱除	143
第一节 物理吸收法脱除二氧化碳	143
第二节 碳酸丙烯酯法	143
一、碳酸丙烯酯法流程和工艺条件	143
二、碳酸丙烯酯法主要设备	147
三、碳酸丙烯酯法的改进	148
四、碳酸丙烯酯法的工艺计算	149
第三节 MDEA 法	149
一、MDEA 法工艺流程	149
二、MDEA 法主要设备	150
三、MDEA 法生产操作	151
四、MDEA 法主要工艺指标	152
第四节 NXT 法	153
一、NXT 法工艺流程	154

二、NXT 法主要设备	154
三、NXT 法工艺操作	155
四、NXT 法主要工艺指标	156
第五节 NHD 法	156
一、NHD 法工艺流程	157
二、NHD 法工艺操作	158
三、NHD 法主要设备	159
第六节 低温甲醇洗涤法	160
一、低温甲醇洗涤法生产工艺	160
二、低温甲醇洗涤法主要设备	162
三、低温甲醇洗涤法特点	162
第七节 化学吸收法脱除二氧化碳	162
第八节 热碳酸钾法	163
一、基本原理	163
二、热碳酸钾法流程	163
三、热碳酸钾法主要设备	165
四、热碳酸钾法生产操作	165
第九节 脱碳方法的选择	168
第六章 压缩	171
第一节 概述	171
一、活塞式压缩机的分类及其特点	171
二、活塞式压缩机的型号	173
第二节 活塞式压缩机的工作原理	173
一、气体的压缩过程	173
二、理论示功图 and 实际示功图	174
三、气体压缩的三种过程	175
四、多段(级)压缩	177
五、活塞力及其平衡	178
六、压缩机的生产能力及其影响因素	179
第三节 活塞式压缩机的有关计算	181
第四节 压缩系统的流程和设备	183
一、压缩系统的气体流程	183
二、压缩系统的设备	185

三、压缩机的润滑系统·····	189
第五节 压缩机的生产操作·····	191
一、压缩机正常操作的条件·····	191
二、压缩机正常操作的工艺指标 (L3.3-15/320 六级)·····	194
三、压缩机的开车·····	195
四、压缩机的停车·····	199
第六节 压缩机的故障及其处理·····	200
一、工艺故障·····	201
二、机械故障·····	206
第七节 压缩机的维护·····	208
一、压缩机的维护方法·····	208
二、判断和检查·····	208
第八节 活塞式压缩机简介·····	209
第七章 精炼·····	221
第一节 概述·····	221
第二节 铜液的组成及性质·····	222
第三节 铜液的吸收原理·····	223
一、铜液对 CO 的吸收·····	223
二、铜液对 CO ₂ 、O ₂ 、H ₂ S 的吸收·····	224
第四节 铜洗操作条件的选择·····	225
一、铜液成分的选择·····	225
二、铜液温度、流量及操作压力的选择·····	226
第五节 铜洗工艺流程·····	227
第六节 铜液再生·····	227
一、铜液再生的原理·····	227
二、影响铜液再生的因素·····	230
第七节 铜洗及再生系统的正常操作条件·····	231
一、铜洗系统的正常操作管理·····	231
二、再生系统的正常操作管理·····	232
三、开停车操作·····	234
第八节 铜液的制备·····	237
一、铜液的制备原理·····	237
二、铜液制备流程及方法·····	237

三、铜液制备过程注意事项	238
第九节 铜洗系统的主要设备	241
第十节 铜洗系统的计算	243
一、一般计算	243
二、物料衡算	246
三、热量衡算	253
第十一节 联醇	260
一、甲醇合成工艺及流程	260
二、甲醇合成工艺的主要设备	262
三、甲醇合成工艺操作要点	263
四、甲醇合成催化剂的还原操作	263
五、甲醇合成工艺控制指标	264
第十二节 双甲工艺	265
第十三节 等高压联醇串甲烷化工艺	267
第八章 合成	270
第一节 氨合成反应的化学平衡与化学反应速度	270
一、化学平衡	270
二、化学反应速度	272
第二节 氨合成催化剂	273
一、概述	273
二、A 系催化剂的物理性质	274
三、催化剂还原	274
四、催化剂的中毒与老化	276
五、催化剂的保护	277
第三节 氨合成操作条件选择与工艺流程分析	278
一、氨合成操作条件选择	278
二、氨合成工艺流程分析	281
三、氨合成新工艺流程介绍	283
第四节 氨合成工艺主要设备	286
一、合成塔的结构	286
二、几种主要合成塔内件的比较	287
三、合成余热回收设备	297
四、主要附属设备	298

第五节 生产操作	303
一、催化剂的升温与还原	303
二、生产操作	308
第六节 合成塔的物料衡算和热量衡算	313
一、物料衡算	313
二、热量衡算	316
第七节 冷冻	318
一、冷冻基本概念和冷冻循环	318
二、操作条件的选择与工艺流程	319
三、正常操作	319
四、氨吸收致冷	321
五、螺杆制冷压缩机（单级）	322
第八节 氢回收	336
一、深冷分离提氢法	336
二、变压吸附法	338
三、中空纤维膜分离法	339
参考文献	343

第一章 造 气

第一节 气化原理及操作条件的选择

一、气化方法的确定及其理论基础

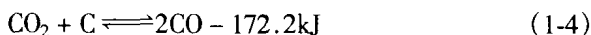
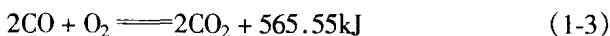
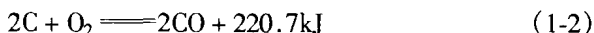
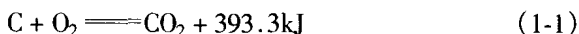
固体燃料气化是用气化剂对固体燃料进行热加工，生成可燃性气体的过程，又称造气。目前小合成氨厂大多使用固体燃料气化法制取煤气。固体燃料为各种煤、焦炭及煤球；气化剂有空气、富氧空气、氧和水蒸气等。气化后得到的可燃性气体称煤气。进行气化的设备称煤气发生炉。

煤气的成分取决于燃料和气化剂的种类以及进行气化的条件。小合成氨厂通常生产半水煤气，即用蒸汽与适量的空气为气化剂制得。

固体燃料气化主要反应如下。

1. 碳与氧的反应

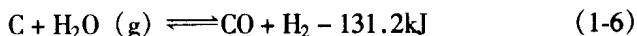
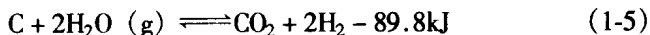
空气通过高温燃料层时，碳与氧发生下列反应



在反应过程中，空气中的氧迅速消耗，使氧的浓度急速下降，生成物中二氧化碳的浓度急速上升，即迅速进行着碳的氧化反应，并放出热量。碳燃烧生成的二氧化碳，在高温下还按式（1-4）进行吸热的还原反应，被碳还原为一氧化碳。

2. 碳与蒸汽的反应

碳与蒸汽的反应主要是灼热的碳将氢从水蒸气中还原出来。蒸汽通过高温燃料层时、最先通过的气化层称主还原层，这里的反应如下



当温度比较低时，还会发生生成甲烷的副反应



二、燃料层的分区与气体组成的变化

间歇法气化过程是在固定层煤气发生炉中进行的。固体块状燃料

由顶部间歇加入，气化剂通过燃料层进行气化反应，气化后的灰渣自炉底排出。

在固定层煤气发生炉中，燃料与气化剂的反应并不是遍布整个燃料层的。当空气自下而上通过燃料层进行气化反应时，燃料的分层情况如图 1-1 所示。

固体燃料自上而下移动时，发生一系列物理和化学变化。在燃料层顶部，新补充的燃料与热的煤气接触，使燃料中的水分蒸发，这一区域称为干燥层。往下燃料层的温度继续升高，燃料在此受热分解，放出挥发分，燃料本身则逐渐焦炭化，这一区域称为干馏层。再往下，燃料层的温度

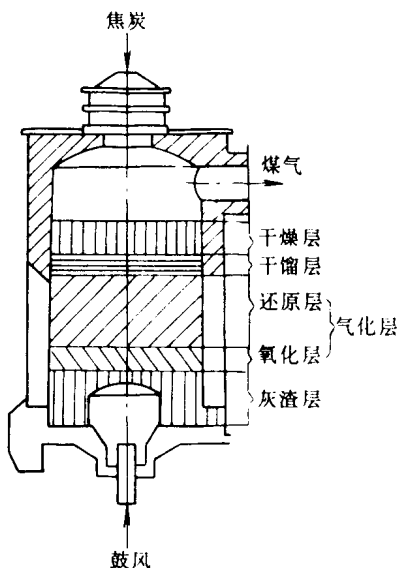


图 1-1 固定层煤气发生炉中燃料的分层情况

度更高，就是煤气发生炉气化固体燃料最主要的区域——气化层（也称火层）。在这里，燃料中的碳与气化剂中的氧发生化学反应，使固体燃料气化，生成煤气。气化层还可分为氧化层和还原层，在氧化层中生成的二氧化碳上升进入还原层被碳还原。在炉箅的上面有一层由固体残渣所形成的灰渣层，它能预热和均匀分布自炉底进入的气化剂，并保护炉箅不致因过热而变形。干燥层上面，没有燃料的空间称自由空间，起聚积煤气的作用。