

高级 技工规划教材

第八届中国石油和化学工业优秀教材奖

合成氨生产工艺

第二版

● 林玉波 主编



化学工业出版社

中国化工出版社

化工行业职业技能鉴定教材

合成氨生产工艺

第二版

王德成 主编

中国化工出版社

第八届中国石油和化学工业优秀教材奖
高级技工规划教材

合成氨生产工艺

第二版

林玉波 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本教材从不同原料、不同工艺、不同设备,多层次、多角度地阐述了合成氨生产工艺,特别是结合当前全国煤化工发展及用工单位对毕业生理论与实践技能的要求,着重介绍了多种煤制气的新工艺、新技术。

全书共分四篇,其中包括原料气的制取、原料气的净化、原料气的压缩与合成、合成氨生产综述与基本工艺计算。在各章的理论部分,分别介绍了基本原理、工艺条件的选择、流程配置的原则、主要设备的结构及操作控制要点。为了突出理论与实践的同步教学,在每一篇的篇末增加了同步教学课题,便于组织学员开展以任务引领型的教学活动,结合拓展训练与思考使所学理论与实践进一步融会贯通。在同步教学内容的编写中,注重由设备单元岗位操作、车间工段操作到全厂全系统操作的循序渐进。

由于合成氨既有气固相、气液相非催化反应,又有气固相、气液相催化反应,其生产工艺包括了液体输送、传热、传质、分离、冷冻等典型的化工单元操作,因此本书既可作为化工类及其相关专业的高、中级技工学校的教材,也可用于在职职工培训及专业技术人员自学。

图书在版编目(CIP)数据

合成氨生产工艺/林玉波主编.—2版.—北京:
化学工业出版社,2011.7

高级技工规划教材

ISBN 978-7-122-11242-2

I. 合… II. 林… III. 合成氨生产-生产工艺-
技工学校-教材 IV. TQ113.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 085050 号

责任编辑:于 卉
责任校对:战河红

文字编辑:孙凤英
装帧设计:刘亚婷

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 19½ 字数 512 千字 2011 年 8 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:35.00 元

版权所有 违者必究

全国化工高级技工教材编审委员会

主 任 毛民海

副主任 苏靖林 律国辉 张文兵 张秋生 李成飞 曾繁京
张朝晖 胡仲胜 杨絨立

委 员 (排名不分先后顺序)

毛民海	苏靖林	律国辉	张文兵	张秋生	李成飞
曾繁京	张朝晖	胡仲胜	杨絨立	江海傲	林远昌
郭养安	贺召平	陈久森	吴卫东	王永利	陆善平
王矿生	王杜生	张 荣	姚成秀	李国平	李文原
周仕安	王 宁	陈洪利	郑 骏	韩立君	桂 昕
肖建华	李晓阳	李社全	李先锋	何迎健	周兴良
米俊峰	王应铁				

前 言

本书是根据中国化工教育协会批准颁布的《全国化工高级技工教学计划、教学大纲》，由全国化工高级技工（技师）教育教学指导委员会领导组织编写的全国化工高级技工规划教材，《合成氨生产工艺》2005年出版以来，多次印刷，在全国化工职业院校中广泛使用，得到广大师生及读者的好评。

近年来，由于化工行业迅猛发展，新工艺、新技术、新设备、新操作不断得到广泛应用。为了更好地满足化工行业企业高技能人才培养的教学需求，在听取了有关学校老师和企业技术人员的意见和要求后，决定对该书进行修订。

在修订版中，为了突出职业教育特色，理论联系实际，根据人力资源社会保障部最新制定的化工专业相关职业标准及全国中等职业学校《化学工艺教学标准》，特别编写了理论与实践同步教学的课题，便于组织学员开展以任务引领型的教学活动，循序渐进地掌握必备的职业能力，并通过相应的拓展训练与思考题目，进一步将理论与实践融会贯通。

本书的计量单位统一使用我国法定计量单位，符号和计量单位执行国家标准。本书为满足不同类型专业的需要，增添了教学大纲中未作要求的一些新知识和新技能。教学中各校可根据需要选用教学内容，以体现灵活性。

本书由甘肃石化技师学院林玉波编写绪论、第一章、第二章、第三章、第十四章、第十六章；太原高级化工技校李聪敏编写第四章、第六章、第八章；宁夏化工高级技校王颖编写第七章、第九章、第十五章；山东高级化工技校刘胜伟编写第十一章、第十二章、第十三章；其中第五章由林玉波、李聪敏合编；第十章由李聪敏、王颖合编。全书由林玉波统稿。

本教材在编写过程中得到中国化工教育协会、全国化工高级技工（技师）教育教学指导委员会、化学工业出版社及相关学校领导和同行们的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，不完善之处在所难免，敬请读者和同行们批评指正。

编 者
2011年5月

第一版前言

本书是根据劳动和社会保障部颁布的《高级技工学校化工工艺专业教学计划》和《合成氨生产工艺教学大纲》，由全国化工高级技工教育教学指导委员会组织编写的全国化工高级技工化工工艺专业的统编教材。

本书从化学工艺的基本原理方面介绍了合成氨的生产原理、工艺条件的选择、工艺流程的配置原则以及基本工艺计算；从化工生产的实践角度分别阐述了以固体、液体和气体为原料生产合成氨的工艺流程、主要设备的结构与作用及生产操作与技能训练。为了突出高级技工教育特色，理论联系实际，力求在编写内容上有所创新。例如：侧重了基本原理、设备结构介绍；侧重了新理论、新技术的对比分析；侧重了生产操作与技能训练内容编写。有利于突出技能实训方面的教与学。

由于合成氨既有气固相、气液相非催化反应，又有气固相、气液相催化反应，其生产工艺包括了液体输送、传热、传质、分离、冷冻等典型的相关单元操作，因此本书既可作为化工类及其相关专业的中、高级技工学校的教材，又可用于在职职工培训及专业技术人员自学。作为教材，各学校可根据毕业生的就业定向，选择性地讲授有关内容。

本书由林玉波担任主编，并编写绪论、第一章、第二章、第三章、第十一章；李聪敏编写第四章、第五章、第七章；王颖编写第六章、第八章、第十二章；刘胜伟编写第九章、第十章。简祁主审。

本书在编写过程中，得到了中国化工教育协会、化学工业出版社、全国化工高级技工教育教学指导委员会及有关学校的大力支持和帮助，在此表示诚挚的谢意。

由于编者的水平有限，书中不足之处恳请各位专家及读者批评指正。

编 者
2005 年 10 月

目 录

绪论	1	四、合成氨生产原料的种类及技术特点	3
学习目标	1	五、学习《合成氨生产工艺》的方法与要求	4
一、氨的性质及用途	1	思考与练习	5
二、合成氨工业的发展概况	2		
三、合成氨生产的基本过程	2		

第一篇 原料气的制取

第一章 固体燃料气化	6		
学习目标	6	二、工艺流程	20
一、固体燃料的种类及对气化反应的影响	7	三、主要设备及操作控制要点	21
二、固体燃料制气技术简介	8	第四节 水煤浆气流层加压气化	23
第一节 固体燃料气化原理	9	一、水煤浆气流层加压气化技术简介	23
一、气化反应的化学平衡及影响因素	9	二、气化炉内的反应	24
二、气化反应的反应速率及影响因素	12	三、主要影响因素及工艺条件的选择	25
三、半水煤气的制造	13	四、工艺流程	29
第二节 块煤固定层间歇式气化	14	五、主要设备及操作控制要点	31
一、气化炉中发生的反应	14	第五节 粉煤气流层气化	34
二、间歇式制取半水煤气的工作循环	15	一、粉煤气化技术简介	34
三、间歇式制取半水煤气的工艺条件	15	二、气化反应	35
四、工艺流程	17	三、主要影响因素及工艺条件的选择	36
五、主要设备及操作控制要点	18	四、工艺流程	39
第三节 碎煤固定层加压连续气化	19	五、主要设备及操作控制要点	42
一、工艺条件的选择	20	思考与练习	44
第二章 重油氧化制气	46		
学习目标	46	二、压力	51
第一节 概述	46	三、氧油比	51
一、重油的组成	46	四、蒸汽油比	51
二、重油的性质	46	五、原料的预热	52
三、重油气化制取合成氨原料气技术简介	47	六、气体的停留时间	52
第二节 重油部分氧化法	47	七、炭黑生成的抑制	52
一、重油部分氧化法的基本原理	47	第四节 工艺流程	52
二、重油气化的化学平衡	49	一、激冷流程	53
三、重油气化的反应速率	50	二、废热锅炉流程	53
四、重油气化反应中的析炭分析	50	三、炭黑处理	54
第三节 工艺条件的选择	51	第五节 主要设备及操作控制要点	55
一、温度	51	一、气化炉	55
		二、烧嘴（喷嘴）	55

思考与练习	58		
第三章 烃类转化制气	59		
学习目标	59	第五节 工艺条件的选择	69
第一节 概述	59	一、压力	69
一、烃类制气的原料	59	二、温度	69
二、烃类转化制气技术简介	59	三、水碳比	69
第二节 烃类蒸汽转化的基本原理	60	四、空间速率	70
一、甲烷蒸汽转化反应的基本原理	60	第六节 工艺流程	70
二、化学平衡及影响因素	61	第七节 主要设备及操作控制要点	71
三、反应速率及影响因素	63	一、一段转化炉	71
四、影响析炭反应的因素	63	二、二段转化炉	73
五、炭黑生成的抑制及除炭方法	65	第八节 气态烃蒸汽转化的新技术	75
第三节 烃类转化催化剂	66	第九节 轻质油蒸汽转化	76
一、催化剂的组成	66	一、反应过程	76
二、催化剂的还原与钝化	66	二、防止石脑油析炭的方法	77
三、催化剂的中毒与再生	68	三、工艺流程	77
第四节 烃类蒸汽转化的工业方法	68	思考与练习	78
第四章 空气的分离与惰性气体的制备	79		
学习目标	79	第三节 主要设备及其操作控制	84
第一节 概述	79	第四节 惰性气体的制备	85
一、空气的净化	79	一、惰性气体的制备原理	85
二、空气的液化	81	二、工艺流程	85
三、空气的分离	82	思考与练习	86
第二节 空气分离的工艺流程	82		
第五章 原料气制取的理论与实践同步教学	87		
学习目标	87	任务4 异常现象及故障处理	91
课题一 气流层水煤浆加压气化的生产		课题二 空气分离生产操作	93
操作	87	任务1 空气分离装置的启动	93
任务1 气化装置启动操作	87	任务2 正常操作	94
任务2 正常停车操作	89	任务3 异常现象及处理	95
任务3 事故停车操作	90	拓展训练与思考	96

第二篇 原料气的净化

第六章 原料气的脱硫	97		
学习目标	97	二、氧化锌法	104
第一节 湿法脱硫	98	第三节 硫磺的回收	107
一、栲胶法	98	第四节 脱硫方法的选择与比较	108
二、其他湿法脱硫方法	102	一、湿法脱硫的比较	108
第二节 干法脱硫	103	二、干法脱硫的比较	109
一、钴钼加氢转化法	103	思考与练习	110
第七章 一氧化碳变换	111		
学习目标	111	第二节 一氧化碳变换催化剂	114
第一节 一氧化碳变换原理	111	一、中温变换催化剂	114
一、变换反应的特点	111	二、低温变换催化剂	116
二、变换反应的化学平衡	111	三、耐硫变换催化剂	117
三、变换反应速率	113	第三节 工艺条件的选择	118

一、中温变换工艺条件	118	三、全低变流程	123
二、低温变换工艺条件	120	四、中低低流程	123
三、耐硫低温变换工艺条件	120	第五节 主要设备及操作控制要点	124
第四节 生产流程	120	一、主要设备	124
一、中温变换流程	121	二、操作控制要点	125
二、中温变换串低温变换流程	122	思考与练习	129
第八章 原料气中二氧化碳的脱除	130	二、甲基二乙醇胺法 (MDEA)	141
学习目标	130	第三节 变压吸附法	143
第一节 物理吸收法	130	第四节 脱碳方法的比较与选择	143
一、聚乙二醇二甲醚法 (NHD 法)	130	一、物理吸收法的比较	143
二、低温甲醇洗法	134	二、化学吸收法的比较	144
三、其他物理吸收法	136	三、脱碳方法的选用	145
第二节 化学吸收法	137	思考与练习	146
一、本菲尔法	137	四、工艺流程	147
第九章 原料气的精制	147	五、主要设备及操作控制要点	159
学习目标	147	第三节 液氮洗涤法	161
第一节 铜氨液洗涤法	147	一、基本原理	161
一、醋酸铜氨液的组成及性质	147	二、工艺条件	161
二、铜液吸收 CO 的基本原理	148	三、工艺流程	162
三、铜液吸收 CO ₂ 、O ₂ 和 H ₂ S	149	四、主要设备及操作控制要点	163
四、铜液吸收工艺条件	149	第四节 双甲精制工艺简介	165
五、铜液的再生	150	一、基本原理	165
六、铜液工艺流程和主要设备	151	二、醇烃化精制工艺	166
第二节 甲烷化法	155	思考与练习	166
一、基本原理	155		
二、甲烷化催化剂	156		
三、工艺条件的选择	157		
第十章 原料气净化的理论与实践同步教学	168		
学习目标	168	课题二 耐硫低温变换生产操作	171
课题一 湿式氧化法脱硫生产操作	168	任务 1 开车操作	171
任务 1 原始开车	168	任务 2 停车操作	172
任务 2 正常操作	169	任务 3 正常操作	172
任务 3 停车	170	任务 4 异常现象及处理	173
任务 4 异常现象及处理	170	拓展训练与思考	173

第三篇 原料气的压缩与合成

第十一章 原料气的压缩	174		
学习目标	174	二、操作条件	176
第一节 概述	174	第三节 往复式压缩系统的工艺流程	176
一、气体压缩在合成氨生产中的意义	174	一、正常生产时的工艺流程	177
二、气体压缩技术简介	174	二、气体循环时的工艺流程	177
第二节 往复式压缩机的生产能力	175	三、润滑系统的工艺流程	178
一、设备条件	175	思考与练习	179
第十二章 原料气的合成	180		
学习目标	180	一、原料气合成在合成氨生产中的	
第一节 概述	180	意义	180

二、原料气合成技术简介	180	三、空间速率	195
第二节 氨合成的基本原理	181	四、进塔气组成	196
一、反应特点	181	第五节 工艺流程	197
二、反应热效应	181	一、氨合成基本工艺步骤	197
三、化学平衡	181	二、氨合成工艺流程	199
四、化学反应速率	184	三、氨合成排放气的回收	203
第三节 氨合成催化剂	187	第六节 主要设备	205
一、催化剂的组成和作用	187	一、氨合成塔	205
二、催化剂的还原和钝化	189	二、氨分离器	211
三、催化剂的中毒和衰老	193	第七节 氨冷冻与液氨的储存	212
第四节 工艺条件的选择	193	一、氨冷冻	212
一、压力	193	二、液氨的储存	215
二、温度	194	思考与练习	215
第十三章 原料气压缩与合成的理论和实践同步教学	217	课题二 氨合成的生产操作	223
学习目标	217	任务1 开车	223
课题一 往复式压缩机的生产操作	217	任务2 停车	224
任务1 压缩机的开车	217	任务3 正常操作	224
任务2 压缩机的停车	218	任务4 常见故障及处理方法	228
任务3 正常操作	219	拓展训练与思考	228
任务4 常见故障及处理方法	222		

第四篇 合成氨生产综述与基本工艺计算

第十四章 合成氨生产综述	230	二、一氧化碳与甲醇生产的联合	237
学习目标	230	三、氨生产与合成气生产的联合	237
第一节 合成氨生产的工艺技术特点	230	第三节 合成氨生产操作	238
一、固体原料生产合成氨	230	一、合成氨生产操作综述	238
二、液态烃原料生产合成氨	231	二、合成氨生产的自动控制	241
三、气态烃原料生产合成氨	233	三、合成氨的安全生产	242
四、合成氨生产的展望	235	四、生产操作的基本技能	243
第二节 合成氨与其他产品的联产	236	思考与练习	245
一、变换气脱二氧化碳与碳化技术的联合	236		
第十五章 合成氨生产基本工艺计算	247	四、总物料、热量汇总表	255
学习目标	247	第三节 生产控制指标计算案例	255
第一节 物料与能量衡算的意义和方法	247	一、脱硫生产控制指标计算	255
第二节 物料与热量衡算案例	248	二、一氧化碳变换生产控制指标计算	256
一、转化过程物料衡算	248	三、氨合成生产控制指标计算案例	258
二、转化过程热量衡算	250	思考与练习	260
三、供热系统（天然气燃烧供热）物料及热量综合衡算	252		
第十六章 合成氨全系统生产理论与实践同步教学	262	第一部分 合成氨系统的开车操作	264
学习目标	262	任务1 气化及炭黑回收工段开车	264
课题一 认识合成氨操作的仿真系统	262	任务2 净化工段开车	272
任务1 了解仿真技术	262	任务3 合成及冷冻工段开车	278
任务2 启动学员站	263	第二部分 合成氨系统的停车操作	281
课题二 合成氨全系统生产仿真实训	264		

任务 1 气化及炭黑回收工段停车	281	任务 3 氨合成及冷冻工段的停车	287
任务 2 净化工段的停车	283	拓展训练与思考	288
附录	289		
一、中华人民共和国法定计量单位	289	气中的最高容许浓度	294
二、法定单位与其他单位的换算关系	290	八、合成氨生产中常见有毒物质的理化特性	294
三、化肥催化剂分类和命名	292	九、合成氨生产中常见毒物对人体的危害及中毒症状	295
四、我国合成氨厂生产用的几种重质油的组分	293	十、氨的 p - H 图	296
五、氨的饱和蒸气压及有关性质	293	十一、空气的 T - S 图	297
六、液氨产品的规格	294		
七、合成氨生产中常见有毒物质在车间空			
参考文献	298		

绪 论

【学习目标】

1. 掌握氨的物理、化学性质及其用途。
2. 了解合成氨工业的发展概况。
3. 掌握合成氨生产的基本过程及生产特点。
4. 了解课程知识结构，掌握正确的学习方法。

氮是自然界里分布较广的一种元素。人们对农作物需要养分的研究发现，碳、氧、氢、氮、磷、钾六种元素是作物生长的主要养分，其中碳、氧、氢可由植物自身的光合作用或通过根部组织所吸收的水分获得，而氮元素则主要从土壤中吸收。因此可以说氮是植物生长的第一需要，从而也就成为动物生存所必需的。由此可见氮素对生命的重要性。

空气中含氮量约为 79%（体积分数）。但是，空气中的氮是呈游离状态存在的，不能供植物吸收。植物只能吸收化合物中固定状态的氮。因而必须把空气中游离的氮转变为氮的化合物。把空气中游离的氮转变为氮的化合物的过程在工业上称为固定氮。

固定氮的方法很多，以氮和氢为原料合成氨，是目前世界上采用最广泛，也是最经济的一种方法。在高温、高压和有催化剂存在的条件下，氮气和氢气可以发生下列反应：



由于采用了合成的方法生产氨，所以习惯上称为合成氨，将生产氨的工厂称为合成氨厂。讲述合成氨生产的基本原理、工艺技术及其生产操作的课程称为合成氨生产工艺。

一、氨的性质及用途

1. 氨的性质

（1）物理性质 在常温常压下，氨是一种具有特殊刺激性气味的无色气体，有强烈的毒性。空气中含有 0.5%（体积分数）的氨，就能使人在几分钟内窒息而死。

在 0.1MPa、-33.5℃，或在常温下加压到 0.7~0.8MPa，就能将氨变成无色的液体，同时放出大量的热量。氨的临界温度为 132.9℃，临界压力为 11.38MPa。液氨的相对密度为 0.667（20℃）。若将液氨在 0.101MPa 压力下冷至 -77.7℃，就凝结成略带臭味的无色结晶。液氨容易气化，降低压力可急剧蒸发，并吸收大量的热。

氨极易溶于水，可制成含氨 15%~30%（质量分数）的商品氨水。氨溶解时放出大量的热。氨的水溶液呈弱碱性，易挥发。

（2）化学性质 氨的化学性质较活泼，能与酸反应生成盐。如与磷酸反应生成磷酸铵；与硝酸反应生成硝酸铵；与二氧化碳反应生成氨基甲酸铵，脱水后成为尿素；与二氧化碳和水反应生成碳酸氢铵等。

在有水的条件下，氨对铜、银、锌等金属有腐蚀作用。

氨自燃点为 630℃。氨与空气或氧按一定比例混合后，遇火能爆炸。常温常压下，氨在空气中的爆炸极限为 15.5%~28%，在氧气中为 13.5%~82%。

2. 氨的用途

（1）制造化学肥料的原料 除液氨本身可作为化学肥料外，农业上使用的所有氮肥、含氮混合肥和复合肥，都以氨为原料。

（2）生产其他化工产品的原料 基本化学工业中的硝酸、纯碱、含氮无机盐，有机化学

工业中的含氮中间体, 制药工业中的磺胺类药物、维生素、氨基酸, 化纤和塑料工业中的己酰胺、己二胺、甲苯二异氰酸酯、人造丝、丙烯腈、酚醛树脂等都需要直接或间接地以氨为原料。

(3) 应用于国防工业和尖端技术中 作为制造三硝基甲苯、三硝基苯酚、硝化甘油、硝化纤维等多种炸药的原料; 作为生产导弹、火箭的推进剂和氧化剂。

(4) 应用于医疗、食品行业中 作为医疗食品行业中冷冻、冷藏系统的制冷剂。

二、合成氨工业的发展概况

1. 合成氨工业化及其产量

自从 1913 年在德国奥堡巴登苯胺纯碱公司建成了世界上第一个日产 30t 的合成氨工厂至今已有 90 多年的历史。90 多年来, 随着世界人口的增长, 合成氨产量也在迅速增长, 如图 0-1 所示。

从图中可以看出, 合成氨工业化开始以后三十年, 产量增长缓慢。到第二次世界大战结束以后, 开始大幅度提高, 这是由于 20 世纪 50 年代天然气、石油资源大量开采, 氨的需要急剧增长, 尤其是 60 年代以后开发了多种活性好的催化剂, 反应热的回收与利用更加合理, 大型化工程技术等方面的进展, 促使合成氨工业高速发展, 其产量在化工产品中仅次于硫酸。

2. 我国合成氨工业的发展

我国合成氨工业于 20 世纪 30 年代起步, 1941 年, 最高年产量不过 50kt。新中国成立后, 经过数十年的努力, 已形成了遍布全国, 大、中、小型氨厂并存的氮肥工业布局, 1999 年合成氨产量为 34310kt, 排名世界第一。

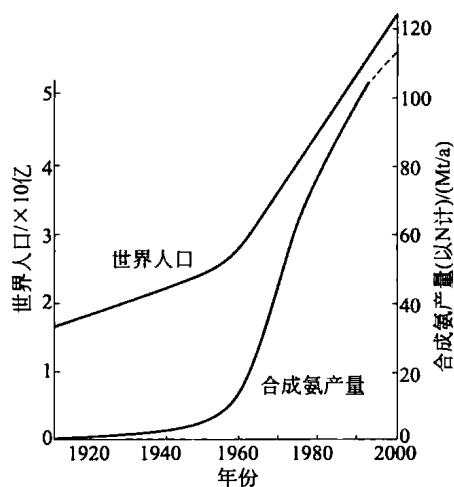


图 0-1 世界合成氨产量变化情况

20 世纪 50 年代初, 在恢复与扩建老厂的同时, 从苏联引进并建成一批以煤为原料、年产 50kt 的合成氨装置。60 年代, 随着石油、天然气资源的开采, 分别从英国引进以天然气为原料、年产 100kt 的加压蒸汽转化法合成氨装置; 从意大利引进以渣油为原料、年产 50kt 的部分氧化法合成氨装置。从而形成了煤、油、气原料并举的中型氨厂的生产体系。

为了适应农业发展的迫切需要, 发挥中央和地方办化肥厂的积极性, 从 20 世纪 60 年代开始在全国各地建设了一大批以碳化法合成氨流程制取碳铵为主的小型氨厂, 1979 年发展到 1539 座氨厂。目前对这些小型厂的改造重点是抓好规模、品种、技术、产业等方面的结构调整工作。

随着石油、天然气工业的迅速发展, 20 世纪 80 年代后期和 90 年代初, 我国引进了具有世界先进水平日产 1000t 的节能型合成氨装置。与此同时, 我国自行设计的以轻油为原料年产 30 万吨的合成氨装置于 1980 年建成投产, 以天然气为原料年产 20 万吨氨的第一套国产化大型装置于 1990 年建成投产。

由于我国人口众多, 粮食产量不断提高, 化肥需求量逐年增长, 在“九五”至“十一五”期间又相继建成投产了以天然气、渣油、轻油、煤为原料的大型合成氨装置, 分布在海南东方县、乌鲁木齐、呼和浩特、九江、兰州、南京、吉林和渭南等地。

三、合成氨生产的基本过程

生产合成氨, 必须制备含有氢和氮的原料气。

氢气来源于水蒸气和含有碳氢化合物的各种燃料。目前工业上普遍采用焦炭、煤、天然

气、轻油、重油等燃料，在高温下与水蒸气反应的方法制氢。

氮气来源于空气，可以在低温下将空气液化分离而得，也可在制氢的过程中加入空气，将空气中的氧与可燃性物质反应而除去，剩下的氮与氢混合，获得氢氮混合气。

除电解水（此法因电能消耗大而受到限制）以外，不论用什么原料制取的氢、氮原料气，都含有硫化物、一氧化碳、二氧化碳等杂质。这些杂质不但能腐蚀设备，而且能使氨合成催化剂中毒。因此，把氢、氮原料气送入合成塔之前，必须进行净化处理，除去各种杂质，获得纯净的氢、氮混合合成气。因此，合成氨的生产过程包括以下三个主要步骤。

第一步，原料气的制取。制备含有氢气、一氧化碳、氮气的粗原料气。一般由造气、空分工序组成。

第二步，原料气的净化。除去粗原料气中氢气、氮气以外的杂质。一般由原料气的脱硫、一氧化碳的变换、二氧化碳的脱除、原料气的精制工序组成。

第三步，原料气的压缩与合成。将符合要求的氢氮混合气压缩到一定的压力后，在高温、高压和有催化剂的条件下，将氢氮气合成为氨。一般由压缩、合成工序组成。

生产合成氨的基本过程可用下列方框图 0-2 表示。

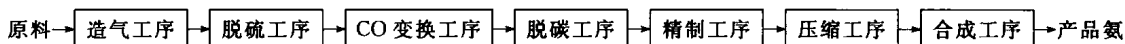


图 0-2 生产合成氨基本过程

由于所用原料不同，原料气的制备和净化方法也不相同，因而生产合成氨的过程也有差异。例如，以天然气或轻油为原料制备合成氨原料气时需要先除去硫化物；以重油为原料制备原料气时，一般先经过变换后进行脱硫。

四、合成氨生产原料的种类及技术特点

合成氨生产的原料，按物质状态可分为固体原料、气体原料和液体原料三种。固体原料主要有焦炭、煤及其加工品碳化煤球、水煤浆；气体原料有焦炉气、天然气；液体原料有石脑油、重质油。

1. 固体原料合成氨

合成氨的固体原料主要是焦炭、煤。

焦炭是由原煤干馏而得到的产品，不含挥发分。利用焦炭制取合成氨原料气，主要以空气与水蒸气为气化剂通过间歇交替吹入气化炉中的固定炭层进行气化反应，而获得合成氨生产用的原料气。

煤的品种很多，按其在地生成时间的长短，大体分为泥煤、褐煤、烟煤、无烟煤等。除烟煤外，其他煤种因含挥发分较多，不适于常压固定炭层间歇气化方法。所选择的造气设备（气化炉）多为流化床（沸腾床）和各类气流床。沸腾床或气流床都必须连续作业且都需使用氧气或富氧空气，这是与固定床间歇造气最大的不同点。

煤的连续气化法唯一使用固定层（移动床）的是德国的鲁奇炉，固定层加压连续气化主要使用无烟煤，或其粉煤经加工处理后的碳化煤球。无烟煤的挥发分含量很低，性能较为接近焦炭，生产能力却高于焦炭。该工艺一开始就使用加压技术，前后经历了三代自我改造，迄今仍有其生命力。

用煤粉与水配制成可泵送的水煤浆，在外热式的蒸发器内，水煤浆经预热、蒸发和过热三阶段，最终形成蒸汽-粉煤悬浮物。以高浓度水煤浆进料，液体排渣的加压纯氧气流床气化是由美国德士古发展公司开发，取名德士古煤气化工艺。该气化工艺由于煤种适应范围宽，工艺灵活，合成气质量高，生产能力强（引进技术的单台炉日处理煤量达 1800t，相当于日产合成氨 1200t），不污染环境而成为当今具有代表性的第二代煤气化技术。

用煤粉直接气化的方法也称干法进料气流床气化技术,与湿法(水煤浆气化)相比,干法进料气化具有原料适应性广、冷煤气效率高、碳转化率高、比氧耗低等特点。

近年来,以粉煤或水煤浆气化制取粗原料气工艺技术得到了进一步发展,不仅应用于合成氨工业,也广泛应用于甲醇合成、联合循环发电等诸多领域。由此,在化工工艺专业之中,又出现了专门研究以煤为原料生产各类产品的新兴学科——煤化学或煤化工工艺学。

2. 气体原料合成氨

适合于合成氨生产的气体来源很多,有天然产生的,也有其他工业副产的。气体原料生产氨的技术很多,如以焦炉气为原料的深冷氢分法、部分氧化法;以天然气或石油加工气为原料的无催化热裂解法、部分氧化法等。其中以天然气为原料的蒸汽转化技术被广泛使用。由于该技术的建设费用少、生产成本低,目前在全世界已成为合成氨厂的主流,在20世纪70年代已达总氨产量的60%,80年代达80%,进入90年代还在继续扩大。

3. 液体原料合成氨

石脑油来自石油馏出的较轻馏分。利用石脑油制取合成氨原料气最先由英国的帝国化学公司(ICI)开发应用,在20世纪50~60年代,一度被一些没有天然气资源的国家所推广。这种原料的使用技术与天然气蒸汽转化本质上没有太大的不同,主要区别之一是在转化反应中需采用耐烯烃的专用催化剂。

由于石脑油价格上涨等因素,以石脑油制取合成氨原料气的合成氨厂正在逐渐地改用以天然气为原料的制氨技术。

重质油包括减压渣油、常压重油甚至原油。作为合成氨原料,要根据各地的原油加工深度而定。制取高热值煤气的工艺技术有热裂解法、加氢裂解法和催化裂解法,适合于氨生产的工艺技术主要是部分氧化法。

五、学习《合成氨生产工艺》的方法与要求

1. 课程知识结构

《合成氨生产工艺》是一门理论与实践紧密结合的综合性化工专业课程。不仅需要基础化学理论、化工过程与设备等学科的理论建立本课程完整的理论体系,而且还需要应用计算机、化工自动化与仪表、工程与技术经济等知识建立本课程的操作控制体系。因此,它不像基础科学学科那样有明显的学科体系。对初学者应明确这一课程的知识结构,从而运用正确的学习方法取得良好的学习效果。

2. 学习方法

本课程的理论与技能是以合成氨生产为序排列的,各工序虽然有独立的生产目的、生产技术,但从宏观上都包含有基本原理、工艺条件选择、工艺流程、主要设备结构、生产操作与技能训练这六个主要部分。在学习基本原理、工艺条件选择时,要注意运用化学热力学、反应动力学理论以及催化剂理论等去演绎推理;在学习工艺流程、主要设备及生产操作时,要结合生产认识性实习、下厂参观及仿真模拟训练,将理论与实践相结合。

3. 学习要求

就课程体系而言,在学习中要将原料的选择与生产原理;生产方法的选择与设备的作用;催化剂的选择与使用;影响操作的因素与工艺条件的选择等有机地结合起来。

对于典型过程,要求理解并掌握生产原理、工艺条件的选择依据、工艺流程的组织原则、不同反应设备的结构特点等;对于不同原料的不同工艺路线,应从技术特点、能量回收利用等方面分析其各自的优缺点;对于典型设备或生产过程的物料与能量衡算,要求通过课堂讲解与练习,掌握其基本的计算方法与步骤;对于生产实习或仿真模拟操作,要求理论与实践相结合,通过实际操作训练培养分析问题和解决问题的能力。

思考与练习

1. 试从氮与氨的用途说明合成氨对人类生存的意义。
2. 合成氨生产包括哪几个主要步骤？用方框图表示出合成氨生产的基本过程。
3. 合成氨生产的原料有哪几类？并说明不同原料制取合成氨原料气的技术特点。
4. 观看录像片或通过多媒体课件，了解合成氨生产的基本过程及发展状况。
5. 下厂参观，了解当地的合成氨生产的基本过程及生产特点。并画出当地的合成氨生产方框流程图。
6. 通过观看录像片、下厂参观，写出观后感。同时以表格的形式归纳出你对合成氨生产的管线、阀门、仪表的识别。