



教育部高职高专规划教材

无机化工 生产技术

● 郑广俭 张志华 主编

0.6-43



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

无机化工生产技术

郑广俭 张志华 主编

化学工业出版社
教材出版中心
·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

无机化工生产技术/郑广俭, 张志华主编. —北京:
化学工业出版社, 2002.12
教育部高职高专规划教材
ISBN 7-5025-3930-1

I. 无… II. ①郑…②张… III. 无机化工-生产
工艺-高等学校: 技术学校-教材 IV. TQ110.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 086551 号

教育部高职高专规划教材

无机化工生产技术

郑广俭 张志华 主编

责任编辑: 何曙霓

责任校对: 李 林

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010)64982530

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

*

新华书店北京发行所经销
北京市管庄永胜印刷厂印刷
三河市前程装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 18¼ 字数 446 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3930-1/G·1081

定 价: 29.00 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

全国高等职业教育化工专业教材编审委员会

主 任：赵杰民

副 主 任：张鸿福 李顺汀 田 兴 黄永刚 任耀生

基础化学组：李居参 赵文廉 宋长生 苏 静 胡伟光 初玉霞 丁敬敏
王建梅 张法庆 徐少华

数理基础组：于宗保 王绍良 王爱广 金长义 陈 泓 朱芳鸣 高 松
刘玉梅 杨 凌 董振珂 李元文 丛文龙 傅 伟

化工基础组：唐小恒 周立雪 秦建华 王小宝 张柏钦 张洪流 邢鼎生
张国铭 徐建良 周 健

化工专业组：刘德峥 陈炳和 杨宗伟 王文选 文建光 田铁牛 李贵贤
梁凤凯 卞进发 杨西萍 舒均杰 郑广俭

人文社科组：曹克广 霍献育 徐沛林 刘明远 曾悟声 马 涛 侯文顺
曲富军 高玉萍 史高锋 赵治军

工程基础组：丁志平 刘景良 姜敏夫 魏振枢 律国辉 过维义 吴英绵
章建民 张 平 许 宁 贺召平

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分吸取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分吸取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

本书是根据全国高等职业教育化工教学指导委员会通过的《无机化工生产技术》教学大纲编写的。适合全日制高职高专学校化工工艺专业作为专业选修的方向课教材使用。

本书主要阐述典型无机化工产品的生产技术。全书力求贯彻应用性、实用性、综合性、先进性的原则，力图加强理论与现场实际的联系。在论述时注意点面结合，针对重点产品、重点过程进行详尽的探究，其他内容尽量搭建起知识的构架。书中重点放在论述和分析生产的基本原理、工艺条件的确定、生产工艺流程、主要设备的结构特点及生产操作的控制分析等；同时介绍了有关产品生产的新工艺、新技术、新设备、发展动态以及能量回收、三废处理等。

本书由吉林工业职业技术学院郑广俭和河北化工医药职业技术学院张志华主编。张志华编写第一章、第二章、第三章和第十二章，郑广俭编写绪论、第四章、第五章、第六章、第七章、第八章、第九章、第十章和第十一章并统稿。

全书由焦作大学符德学教授主审，同时特邀天津渤海职业技术学院高级讲师黄震参加并主持审稿。在此表示由衷的谢意！

本书在编写过程中，得到了编者所在学校领导和同事的关心和帮助，同时也得到了社会同仁的大力支持。吉林工业职业技术学院胡宗文老师和吕守信老师对本书的编写给予了热情的指导和帮助，曹喜民老师和黄耀东老师做了大量的绘图、扫图等工作；河北化工医药职业技术学院于文国老师和李丽娟老师对书稿内容提出了许多宝贵建议；吉林化学工业公司研究院韩占军先生提供了部分资料。在此一并表示感谢！

由于编者水平所限，书中的错误和不妥之处，恳请各位专家及使用本书的广大师生批评指正。

编 者
2002 年 9 月

内 容 提 要

本书介绍了典型无机化工产品的生产技术。全书内容分为三篇，共十二章。第一篇为“合成氨”，包括合成氨原料气的生产、合成氨原料气的净化和氨的合成。第二篇为“典型的氨加工产品”，包括碳酸氢铵、尿素、硝酸。第三篇为“其他典型无机化工产品”，包括硫酸、磷酸与磷肥、复合肥料与复混肥料、氨碱法制纯碱、联合法制纯碱与氯化铵、电解法生产烧碱。

本书在重点介绍产品的生产原理、操作条件的选择、工艺流程和典型设备的同时，对化工生产操作分析给予了特别加强。本书也介绍了有关产品生产的新工艺、新技术、新设备、发展动态以及能量回收、三废处理等。

本书为高职高专化工生产技术专业使用教材，也可供从事无机化工生产的技术人员参考。

目 录

绪论	1
一、无机化学工业的地位和作用	1
二、无机化学工业的发展概况	2
三、学习本课程的基本要求	6
 第一篇 合 成 氨	
一、各种原料制氨的典型流程	7
二、合成氨生产工艺的特点	8
第一章 合成氨原料气的生产	9
第一节 煤气化	9
一、气化原理	9
二、制取半水煤气的工业方法	13
三、间歇式生产半水煤气	13
四、煤间歇法制气原始开车的基本步骤——化工生产操作之一	19
五、氧（或富氧空气）-蒸汽连续气化法	21
第二节 烃类制气	23
一、气态烃类蒸汽转化法	23
二、石脑油蒸汽转化	37
思考与练习	38
第二章 合成氨原料气的净化	40
第一节 原料气脱硫	40
一、干法脱硫	40
二、湿法脱硫	43
第二节 一氧化碳变换	47
一、基本原理	47
二、变换催化剂	51
三、工艺条件	55
四、工艺流程	56
五、变换反应器的类型	58
第三节 原料气中二氧化碳的脱除	59
一、化学吸收法	60
二、物理吸收法	66
三、脱碳方法的选择	69
第四节 原料气的精制	70
一、铜氨液洗涤法	70

二、甲烷化法	75
三、液氨洗涤法	76
思考与练习	77
第三章 氨的合成	80
第一节 氨合成反应的基本原理	80
一、氨合成反应的热效应	80
二、氨合成反应的化学平衡	81
三、平衡氨含量及其影响因素	82
四、氨合成反应速率	84
第二节 氨合成催化剂	86
一、催化剂的组成和作用	86
二、催化剂的还原和使用	87
第三节 氨合成工艺条件	89
一、压力	89
二、温度	89
三、空间速率	89
四、合成塔进口气体组成	90
第四节 氨的分离及合成工艺流程	90
一、氨的分离	90
二、氨合成工艺流程	91
三、排放气的回收处理	94
第五节 氨合成塔	94
一、结构特点及基本要求	94
二、连续换热式合成塔	95
三、冷激式氨合成塔	99
第六节 氨合成过程的能量分析及余热回收	100
一、能量分析	100
二、热能回收的方法	102
第七节 氨合成塔的操作控制要点——化工生产操作之二	102
一、温度的控制	103
二、压力的控制	104
三、进塔气体成分控制	104
第八节 氨合成系统基本的物料衡算和热量衡算	105
一、氨合成塔的物料衡算	105
二、合成塔的热量衡算	106
三、合成回路的物料衡算	107
思考与练习	109

第二篇 典型的氨加工产品

第四章 碳酸氢铵	111
-----------------------	-----

第一节 三元水盐体系相图	111
一、三元体系恒温相图的表示法	112
二、简单三元体系相图	113
三、复杂的三元体系相图	116
第二节 碳酸氢铵的生产	121
一、生产原理	121
二、碳酸氢铵生产的工艺流程	126
思考与练习	127
第五章 尿素	128
第一节 概述	128
一、尿素的性质	128
二、尿素的用途	128
三、尿素的生产方法	129
四、尿素生产的原料	130
第二节 尿素的合成	131
一、尿素合成的基本原理	131
二、尿素合成的工艺条件	135
三、工艺流程	138
四、尿素合成塔	139
五、尿素合成塔的操作控制分析——化工生产操作之三	140
第三节 未反应物的分离与回收	141
一、减压加热法	142
二、二氧化碳气提法	146
第四节 尿素溶液的加工	149
一、尿素溶液的蒸发	149
二、尿素的结晶与造粒	152
三、尿素溶液加工的工艺流程	152
第五节 尿素生产综述	153
一、典型尿素生产方法的简评	153
二、尿素生产技术的改进	155
思考与练习	156
第六章 硝酸	158
第一节 稀硝酸的生产	158
一、氨的催化氧化	158
二、一氧化氮的氧化	163
三、氮氧化物的吸收	165
四、硝酸尾气的处理	165
五、稀硝酸生产的工艺流程	166
第二节 浓硝酸的生产	169
一、从稀硝酸制造浓硝酸	169

二、直接合成法制浓硝酸·····	169
三、超共沸酸精馏制取浓硝酸·····	170
思考与练习·····	171

第三篇 其他典型无机化工产品

第七章 硫酸 ·····	172
第一节 概述·····	172
一、硫酸的性质·····	172
二、硫酸的生产方法·····	172
第二节 硫铁矿制取二氧化硫炉气·····	174
一、硫铁矿焙烧的基本原理·····	174
二、沸腾焙烧的工艺条件·····	175
三、沸腾焙烧工艺流程及沸腾焙烧炉·····	176
第三节 炉气的净化与干燥·····	177
一、炉气的净化·····	177
二、炉气的干燥·····	181
第四节 二氧化硫的催化氧化·····	182
一、二氧化硫催化氧化的基本原理·····	182
二、二氧化硫氧化的工艺条件·····	184
三、二氧化硫催化氧化的工艺流程·····	184
四、二氧化硫转化器·····	186
五、转化器异常现象的分析——化工生产操作之四·····	187
第五节 三氧化硫的吸收及尾气的处理·····	188
一、吸收的工艺条件·····	188
二、吸收工艺流程·····	189
三、尾气的处理·····	191
思考与练习·····	192
第八章 磷酸与磷肥 ·····	193
第一节 湿法磷酸·····	193
一、湿法磷酸生产的基本原理·····	193
二、“二水法”湿法磷酸工艺条件的选择·····	197
三、“二水法”湿法磷酸生产的工艺流程及主要设备·····	198
四、湿法磷酸的浓缩·····	200
第二节 酸法磷肥·····	201
一、普通过磷酸钙的生产·····	201
二、重过磷酸钙的生产·····	206
思考与练习·····	208
第九章 复合肥料与复混肥料 ·····	210
第一节 磷酸铵·····	210
一、磷酸铵的性质·····	210

二、磷酸铵生产的基本原理及工艺条件·····	211
三、磷酸铵生产的工艺流程和主要设备·····	216
第二节 复混肥料·····	218
一、常见复混肥料的配方体系·····	219
二、复混肥料生产中原料的相配性·····	219
三、复混肥料的生产方法·····	221
四、复混肥料生产的工艺流程·····	222
思考与练习·····	223
第十章 氨碱法制纯碱 ·····	224
第一节 概述·····	224
一、纯碱的性质和用途·····	224
二、纯碱的工业生产方法·····	225
第二节 石灰石的煅烧与石灰乳的制备·····	226
一、石灰石的煅烧·····	226
二、石灰乳的制备·····	227
第三节 氨盐水的制备·····	227
一、盐水的制备与精制·····	227
二、精盐水的氨化·····	228
第四节 氨盐水的碳酸化·····	230
一、碳酸化过程的基本原理·····	230
二、氨盐水碳酸化过程的工艺条件·····	235
三、氨盐水碳酸化工艺流程和主要设备·····	237
第五节 重碱的过滤和煅烧·····	239
一、重碱的过滤·····	239
二、重碱的煅烧·····	240
第六节 氨的回收·····	243
一、蒸氨的基本原理·····	243
二、蒸氨的工艺流程及蒸氨塔·····	244
三、蒸氨的工艺条件·····	245
思考与练习·····	246
第十一章 联合法生产纯碱与氯化铵 ·····	247
第一节 联合法生产纯碱与氯化铵的基本原理·····	248
一、联合制碱法相图分析·····	248
二、氯化铵的结晶原理·····	250
第二节 制碱与制铵过程的工艺条件·····	253
一、温度·····	253
二、压力·····	253
三、母液成分·····	254
第三节 联合制碱法的工艺流程·····	255
思考与练习·····	258

第十二章 电解法生产烧碱	259
第一节 概述	259
一、电解法生产烧碱简介.....	259
二、氯碱工业的特点.....	260
三、氯碱工业生产的基本过程.....	260
第二节 电解法制烧碱的基本原理	260
一、电解过程的基本定律.....	260
二、电流效率.....	261
三、槽电压及电压效率.....	261
第三节 隔膜法电解	263
一、基本原理.....	264
二、电极及隔膜材料.....	264
三、隔膜电解槽的结构.....	265
四、工艺流程.....	266
五、操作条件.....	267
六、隔膜法电解的技术经济指标.....	268
第四节 离子交换膜法电解	268
一、离子膜法制碱原理.....	269
二、离子交换膜的性能和种类.....	269
三、离子交换膜电解槽.....	270
四、离子交换膜法电解的技术经济指标.....	272
第五节 盐水的制备与电解产品的后加工	272
一、盐水的制备.....	272
二、电解产品的后加工.....	274
思考与练习	277
参考文献	278

绪 论

化工生产技术，系指将原料物质主要经过化学反应转变为产品的方法和过程，包括实现这种转变的全部化学的和物理的措施。本课程的主要内容是研究合成氨、化学肥料、硫酸、硝酸、纯碱、烧碱等典型无机化工产品的生产技术，包括产品的原料、生产方法、生产原理、工艺条件、工艺流程、主要设备及操作控制等。

一、无机化学工业的地位和作用

无机化学工业的产品种类繁多，大宗的无机化工产品有硫酸、硝酸、盐酸、纯碱、烧碱、合成氨和氮、磷、钾等化学肥料，它们在国民经济中占有重要地位。其中的硫酸、硝酸、盐酸、纯碱、烧碱、合成氨等属于基本化工原料，其年产量一定程度上反映一个国家的化学工业发展水平。

合成氨是最重要的化工产品之一，其产量居各种化工产品的首位。氨本身是重要的氮素肥料，其他氮素肥料也几乎都是先合成氨，然后加工而成的。农业上使用的氮肥，如尿素、硝酸铵、碳酸氢铵、硫酸铵、氯化铵以及各种含氮混肥和复肥，都是以氨为原料。氨不仅可用来制造肥料，亦是重要的化工原料，无机化学工业中的硝酸、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内酰胺、己二胺、甲苯二异氰酸酯、人造丝、丙烯腈、酚醛树脂等，也都直接或间接用氨作为原料。氨还应用于国防工业和尖端技术中。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都消耗大量的氨。生产导弹、火箭的推进剂和氧化剂，同样也离不开氨。

化肥工业对农业发展的重要性不言而喻。施用化肥，对于提高农作物产量和质量，其效果非常显著，国内外公认化肥对农业增产的贡献约占 40%，故使用化肥已经成为发展农业的最重要措施之一。我国是一个拥有 12 亿人口的大国，占世界总人口约 22%，但耕地面积却只占世界耕地面积的 7%，而且耕地逐年减少，人口逐年增加。在这种情况下，为了保证粮食的供给，提高粮食单产是最有效的措施之一。因此，化肥工业在我国显得尤为重要。

硫酸是一种十分重要的基本化工原料，是产量很大的化工产品，工业生产已有二百六十多年历史，曾被誉为“工业之母”。它不仅是化学工业许多产品的原料，而且还广泛应用于其他各个工业部门。化肥生产中某些磷肥、氮肥和多元复合肥料，都需用大量的硫酸。硫酸用于生产多种无机盐、无机酸、有机酸、化学纤维、塑料、农药、医药、颜料、染料及中间体等。它还是重要的化学试剂。在石油炼制、冶金、国防、能源、材料科学和空间科学中，硫酸用作洗涤剂，用于制造炸药、提取铀、生产钛合金的原料二氧化钛、合成高能燃料等。

氯碱工业也是重要的基础原料工业。氯碱产品广泛应用于国民经济的各个部门，是人民生活衣、食、住、行不可缺少、与国计民生息息相关。在化学工业中，以氯碱工业产品为原料生产的产品有千余种，氯碱产品广泛应用于化学工业的各个领域。医药工业中，现有 300 种左右的药品以氯碱产品为原料，而各种医用树脂也需要大量烧碱、氯气为原料。轻工业中，造纸行业用碱量居各行业之首，其他如油脂化工、感光材料等的生产均使用烧碱和氯

气。纺织工业中，各种纺织产品大多使用氯碱产品。另外，在农业、建材、冶金、电力、电子、国防、石油、食品加工等各行业、各部门也均使用氯碱产品。

无机化工产品中还有应用面广、加工方法多样、生产规模较小、品种为数众多的无机盐，即由金属离子或铵离子与酸根阴离子组成的物质，例如硫酸铝、硝酸锌、碳酸钙、硅酸钠、高氯酸钾、重铬酸钾、钼酸铵等，约有 1300 多种。

除盐类产品外，还有多种无机酸（磷酸、硼酸、铬酸、砷酸、氢溴酸、氢氟酸等等）；氢氧化物（钾、钙、镁、铝、铜、钡、锂等的氢氧化物）；元素化合物（氧化物、过氧化物、碳化物、氮化物、硫化物、氟化物、氯化物、溴化物、碘化物、氢化物、氰化物等）；单质（钾、钠、磷、氟、溴、碘等）。

工业气体（氧、氮、氢、氯、氨、氩、一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫等）也属于无机化工产品。

这些化工产品虽然生产规模较小，但也广泛应用于国民经济的各个部门，是不可或缺的。

二、无机化学工业的发展概况

化学工业是应人类生活和生产的需要而发展起来的，化工生产的发展也推动了社会的发展。

18 世纪以前，化工生产均为作坊式手工工艺，像早期的制陶、酿造、冶炼等。18 世纪初叶建成了第一个典型的化工厂，即以含硫矿石和硝石为原料的铅室法硫酸厂，当然，它也是第一个典型的无机化工厂。1791 年路布兰法制碱工艺出现，满足了纺织、玻璃、肥皂等工业对碱的大量需求，有力地推动了当时在英国开始的产业革命。该法对化工的发展有很大贡献，其中的洗涤、结晶、过滤、干燥、煅烧等化工单元过程的原理一直沿用至今。从 18 世纪到 20 世纪初期，接触法制硫酸取代了铅室法，索尔维法（氨碱法）制碱取代了路布兰法，以酸、碱为基础的无机化工初具规模。同期，在德国首创了肥料工业和煤化学工业，化肥在农作物增产中起了重要作用。20 世纪初，化学家哈伯（F.Haber）发明了合成氨技术，并于 1913 年在工程师伯希（C.Bosch）的协助下建成世界上第一个合成氨厂，促使氮肥及炸药等工业迅速发展。合成氨工艺是工业上实现高压催化反应的第一个里程碑，在原料气制造及其精制方法、催化剂研制和开发应用、工艺流程组织、高压设备设计、耐高温高强度材料的制造、能量合理利用等方面均创建了新的知识领域，积累了丰富的资料和经验，有力地促进了化学工业的发展，被誉为近代化学工业的开端。

1. 合成氨工业

氨是 1754 年普里斯特利（Priestley）加热氯化铵与石灰混合物时发现的。1784 年伯托利（C.L.Berthollet）确定氨由氮和氢组成，随后，人们开始研究用氮和氢合成氨，并进行各种实验，但未获得实质性的突破。19 世纪末，物理化学得到蓬勃发展，化学热力学、反应动力学概念的建立对氨合成的研究及实现工业生产起到了重要作用。1909 年，哈伯用铁作催化剂，在 17.5~20.0 MPa 和 500~600 ℃ 下获得 6% 的氨。1910 年哈伯在工程师伯希的帮助下，建成了 80 g/h 的实验装置。1911 年米塔希（Mittasch）研究成功了以铁为活性组分的氨合成催化剂，使合成氨实现工业化具备了更有利的条件。1913 年在德国奥堡巴登苯胺纯碱公司建成了一套日产 30 t 的合成氨装置。自 1913 年合成氨实现工业生产至今已有 90 年的历史，90 年来，随着合成氨需要量的增长、石油工业的发展及新工艺新技术的不断

涌现, 合成氨工业在生产技术上发生了重大变化。20 世纪 60 年代, 美国凯洛格 (Kellogg) 公司首先利用工艺过程的余热副产高压蒸汽作为动力, 相继建成日产 600 st (544.31 t) 和 1000 st (907.19 t) 的氨厂, 实现了单系列合成氨装置的大型化, 这是合成氨工业的一次重要突破。20 世纪 70 年代, 计算机技术应用于合成氨生产过程, 使操作控制产生了质的飞跃。近年来, 合成氨生产技术的改进在很大程度上是以降低能耗为目标的。以天然气为原料的日产 1000 t 的合成氨装置吨氨能耗已从 70 年代的 40.19 GJ 下降到 29.31 GJ 左右。其中有竞争能力的是美国布朗 (S.F.Braun) 公司深冷净化工艺、英国帝国化学工业公司 AM-V 工艺和美国凯洛格公司 MEAP 工艺。

我国合成氨工业于 20 世纪 30 年代起步, 当时仅在南京、大连两地建有氨厂, 最高年产量不过 50 kt (1941 年), 此外在上海还有一个电解水制氢生产合成氨的小车间。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 34 310 kt, 排名世界第一。

我国合成氨工业的发展是从建设中型氨厂开始的。20 世纪 50 年代初, 在恢复与扩建老厂的同时, 从前苏联引进以煤为原料、年产 50 kt 的三套合成氨装置, 1957 年先后建成投产。在试制成功高压往复压缩机和氨合成塔后, 标志着我国具有自力更生发展合成氨的工业条件, 于是自行设计与自制设备, 陆续建设了一批年产 50 kt 的中型氨厂。60 年代随着石油、天然气资源的开采, 又从英国引进以天然气为原料的加压蒸汽转化法、年产 100 kt 合成氨装置, 并且从意大利引进以重油为原料的部分氧化法、年产 50 kt 合成氨装置, 从而形成了煤、油、气原料并举的中型氨厂生产体系。迄今为止, 我国已建成 50 多座中型氨厂。为了适应农业发展的迫切需要, 1958 年我国著名化学家侯德榜提出碳化法合成氨流程制取碳铵新工艺, 从 20 世纪 60 年代开始在全国各地建设了一大批小型氨厂, 1979 年最多时曾发展到 1539 座, 2000 年仍有 600 多家, 其产量仍占我国合成氨产量的一半以上。20 世纪 70 年代是世界合成氨工业大发展的时期, 由于大型合成氨装置的优越性, 我国陆续从国外引进并建成了 29 套年产 300 kt 合成氨联产尿素的大型装置。这些大型合成氨装置的建成投产, 不仅较快地增加我国合成氨产量和提高生产技术水平, 而且也缩小了与世界先进水平的差距。

此外, 我国已经能自行设计年产 300 kt 级的大型合成氨联尿系统。第一套我国自行设计以石脑油为原料的年产 300 kt 合成氨装置于 1980 年建成投产。而以天然气为原料的我国第一套年产 200 kt 氨的国产化大型装置, 于 1990 年在四川化工总厂建成, 吨氨能耗已达到 30.20 GJ。

展望 21 世纪, 合成氨装置将继续朝着大型化、集中化、自动化、低能耗与环境型的方向发展。并形成具有一定规模生产中心。单系列合成氨装置的能力将从 1000~1350 t/d 提高至 1500~2000 t/d。预计 21 世纪以下技术可能实现突破并工业化: ①气体分布更均匀, 阻力降更小、更合理的合成塔内件; ②无毒、无害、吸收能力更强、再生能耗更低的净化技术; ③采用低压 (3.0~6.0 MPa) 高活性的氨合成催化剂, 实现等压合成; ④合成回路增设变压吸附系统, 即在接近合成温度和压力条件下, 选择一种对氨比对 H_2 、 N_2 更具有吸附能力和更强选择性的吸附剂, 实现一次循环即获得纯氨产品以及未反应 N_2 、 H_2 再循环利用; ⑤建立合成氨装置的精确的数学模型, 采用 APC 技术, 如模型多变量预估控制和在线优化控制。另外, 生物固氮技术也有望在 21 世纪取得突破性进展, 实现合成氨生产的革命性改变。

2. 化学肥料工业

磷、钾肥工业始于 19 世纪中叶，氮肥工业从 1913 年氨合成法研究成功之后，才开始立足于世。

氮肥工业发展虽迟，但发展速度很快。氮肥中，尿素含氮量最高，它的发展尤其迅速，生产装置日趋大型化，目前单系列大型尿素装置已达年产 800 kt，硝酸铵的发展也很快，现已有年产硝酸铵 450 kt 的生产装置。磷复肥中，磷铵发展迅速，磷酸二铵最大的单系列规模已达到年产 700 kt。

最初的化肥工业，在相当长的时期内，是以生产单元肥料为主。到了 20 世纪 50 年代，由于农业生产出现新的需求和化肥工业本身的可能，复合肥料开始发展起来。从 60 年代开始，复合肥料发展速度极快，现在美国、西欧和日本，化肥消费结构中有 35%~45% 的氮、80%~85% 的磷和 85%~95% 的钾是由复合肥料提供的。

目前，化学肥料生产的发展趋势是营养元素含量高的比含量低的发展快；复合肥料比单元肥料发展快；液体肥料比固体肥料发展快。与此同时，各种新型肥料也开始研制并发展起来。如缓释肥料（包括控制释放肥料）、液体肥料、包膜肥料、微量元素肥料、稀土复合肥料、磁化肥料、生物活性肥料及有机复合肥料等。含有农药、除草剂的复混肥料等也开始研制并投入工业生产，使化肥向具有复合型、功能型和高利用率的方向发展。为适应绿色化学发展的需要，用微生物细菌分解磷矿和钾矿制磷肥和钾肥的研究已取得进展，这将对消除环境污染、生产清洁化肥具有重要作用。

我国的化肥工业起步较晚，建国初只有硫酸铵和硝酸铵两个品种。现在，已发展成为具有多种类型、比较完整的工业体系。大中小型化肥装置都能自行设计、制造和安装。全国化肥产量 1949 年为 6 kt(N)，到 2000 年产量已达到 31.86 Mt(N + P₂O₅ + K₂O)，居世界第一位。我国的化肥工业虽然发展很快，但面向迅速发展的农业还不能满足需要。一是数量不足；二是产品比例失调，多氮少磷缺钾；三是复合肥料比例低，高浓度化肥比例低；四是国产化大型装备差。

今后，我国化肥工业的发展方向主要围绕以下几方面：①调整产品结构，由于氮肥基本能满足农业的需求，应重点发展钾肥、磷肥、复合肥料及其他特殊肥料；②对于氮肥及磷铵等装置，采用先进技术，向大型化方向发展，同时应加快国产化进程；③开发可控缓释化肥，提高化肥利用率。

3. 硫酸工业

制取硫酸，始于 8 世纪。当时的炼金学者蒸馏绿矾（FeSO₄·7H₂O）制得了硫酸。1736 年有人用氮的氧化物使 SO₂ 催化氧化成 SO₃。1740 年有人将硝石与硫磺在玻璃瓶中混合燃烧来生产硫酸，并建成世界上第一座硫酸厂。1746 年采用铅室代替玻璃瓶，这就是所谓的“铅室法”制酸。

世界上接触法硫酸生产装置始建于 19 世纪末 20 世纪初。最初，采用铂催化剂，1913 年，德国 BASF 公司开发出钒催化剂，此后，钒催化剂得到广泛应用。20 世纪 50 年代初，德国和美国同时开发成功硫铁矿沸腾焙烧技术。1964 年，德国拜耳公司首先采用两转两吸技术。70 年代初又建成年产 500 kt 硫磺制酸装置和年产 360 kt 硫铁矿制酸装置。90 年代以来，单系列大型装置的生产能力不断增大，90 年代初，加拿大的一家公司采用美国孟山都技术，建成 2900 t/d 冶炼烟气大型制酸装置；1995 年，美国一家公司的 3500 t/d 炼铜烟气制酸装置投入生产；1998 年，澳大利亚一家公司建成的硫磺制酸装置生产能力达 4400 t/d。