



化工技工学校教材

无机物工艺

陕西兴平化工技工学校

赵师琦 编

化学工业出版社

化工技工学校教材

无机物工艺

陕西兴平化工技工学校

赵师琦 编

化学工业出版社

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

无机物工艺/赵师琦编. —北京: 化学工业出版社, 1985. 8
化工技工学校教材
ISBN 7-5025-0412-5

I. 无… II. 赵… III. 无机化工-生产工艺-技工学校-教材 IV. TQ110.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 03090 号

化工技工学校教材

无机物工艺

陕西兴平化工技工学校

赵师琦 主编

责任编辑: 孙绥中

封面设计: 于 兵

*

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)

发行电话: (010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 23½ 字数 546 千字

1985 年 8 月第 1 版 2004 年 1 月北京第 13 次印刷

ISBN 7-5025-0412-5/G·68

定 价: 30.00 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

前 言

本书是根据1982年上海会议复议的化工部“无机物工艺”教学大纲编写的，适用于以合成氨为主的三年制化工技工学校无机化工工艺专业，约讲授130学时。亦可供中等化工专科学校无机化工工艺专业学生和广大工人自学参考。

《无机物工艺》分三篇：酸（硫酸、硝酸）、碱（纯碱、烧碱）、化学肥料（尿素、硝酸铵、碳铵、磷肥、钾肥、复合肥料、液体肥料）。介绍了十多种化工产品的工艺原理、工艺流程、工艺条件、主要设备及操作要点。

化学肥料篇系本书重点，其中尿素由于近年来发展快，肥效高，是一种重要的化肥产品，对其生产工艺过程介绍较多。今后我国将大力发展磷肥，对磷肥也用了较多的笔墨。对带有发展方向性的复合肥料也作了适当的介绍。另外我国小氮肥厂星罗棋布，因此还介绍了碳酸氨铵的生产工艺过程，并对其改进产品性能，强化生产，采用新工艺等也作了适当的介绍。

全书由陕西兴平化工技工学校赵师琦编，贵州平坝化工厂技工学校冉启幼、河南安阳化工技工学校牛海生主审。参加审阅的有：兰州化工技工学校王秀臣、山东鲁南化工技工学校于凤霞、牡丹江化工局技工学校庄万有、上海吴泾化工厂技工学校林石勇。

本书根据审稿、定稿会议的讨论意见，作了必要的修改，力求在基本概念、基础理论、主要工艺操作要点及有关工艺指标计算等方面有所加强，使教材的内容在深度及广度上基本符合化工部颁发的“教学计划”和“教学大纲”的要求。但由于时间匆促，编者水平有限，书中肯定存在不少缺点和错误，热忱希望广大教师和读者在使用中批评指正，以便进一步修改完善。

编者

一九八三年十二月

目 录

第一篇 硫酸与硝酸

第一章 硫酸	1
第一节 概述	1
一、硫酸的组成	1
二、硫酸的性质	1
1. 物理性质	1
2. 化学性质	4
三、硫酸的用途	4
四、硫酸的生产方法及规格	4
1. 硫酸的生产方法	4
2. 硫酸的规格	5
五、耐酸材料的选择	5
1. 金属材料	5
2. 耐酸非金属材料	6
六、国内外硫酸工业发展概况	7
1. 我国硫酸工业发展概况	7
2. 国外硫酸工业概况	7
第二节 二氧化硫炉气的制造	8
一、原料及预处理	8
1. 普通硫铁矿	8
2. 浮选硫铁矿	8
3. 含煤硫铁矿	8
二、硫铁矿焙烧的理论基础	9
1. 焙烧反应及方法	9
2. 硫铁矿的焙烧速度及影响因素	11
三、硫铁矿的沸腾焙烧	12
1. 沸腾焙烧的基本原理	12
2. 沸腾焙烧炉的构造	14
3. 沸腾焙烧工艺流程及其它设备	15
四、焙烧操作要点及有关技术经济指标的计算	16
1. 操作要点	16
2. 有关技术经济指标的计算	17
五、焙烧过程热能的回收和烧渣的利用	18

1. 热能的回收	18
2. 烧渣的综合利用	18
第三节 炉气的净化与干燥	19
一、炉气的净化	19
1. 杂质的危害及净化的要求	19
2. 净化的原理	19
3. 净化的工艺流程	21
二、炉气的干燥	24
1. 干燥原理	24
2. 工艺条件的选择	24
第四节 二氧化硫的催化氧化	25
一、二氧化硫催化氧化的理论基础	25
1. 二氧化硫氧化反应的化学平衡	25
2. 二氧化硫氧化催化剂	27
3. 二氧化硫催化氧化的机理	28
二、二氧化硫催化氧化工艺条件的选择	28
1. 温度	28
2. 最适宜的二氧化硫起始浓度	30
三、二氧化硫催化氧化的主要设备和工艺流程	32
1. 转化器的类型	32
2. 工艺流程	35
四、催化氧化操作要点及技术经济指标的计算	38
1. 操作要点	38
2. 有关技术经济指标的计算	39
第五节 三氧化硫的吸收	39
一、三氧化硫的吸收及工艺条件选择	39
1. 吸收率的计算	39
2. 工艺条件的选择	40
3. 吸收的工艺流程和主要设备	41
二、干燥吸收过程操作要点	43
第六节 用其它含硫原料制硫酸	44
一、利用硫磺制硫酸	44
二、用有色金属冶炼烟气制硫酸	45
1. 烧结过程的化学反应	46
2. 鼓风返烟烧结流程	46
3. 带式烧结机的构造	47
4. 烧结过程的操作条件	48
三、用石膏制硫酸	48
第七节 硫酸生产中的三废治理	49

一、污水处理	49
1. 污水处理的方法和原理	49
2. 污水处理流程和设备	50
3. 沉淀渣的利用	50
二、从酸泥中提取硒	50
三、尾气的处理	51
1. 氨-酸法的基本原理	51
2. 工艺条件及流程	52
第八节 硫酸生产中的安全技术和劳动保护	52
一、原料、焙烧工序	53
二、净化工序	53
三、干燥吸收工序	53
四、转化工序	53
复习思考题	53
第二章 硝酸	55
概述	55
第一节 稀硝酸的制造	55
一、硝酸和氮氧化物的性质	55
1. 硝酸的物理性质	55
2. 硝酸的化学性质	56
3. 氮氧化物的性质	56
二、氨接触氧化的理论基础	57
1. 氨的接触氧化反应	57
2. 氨接触氧化的催化剂	58
3. 氨接触氧化的机理	61
4. 氨接触氧化工艺条件的选择	61
5. 工艺流程和主要设备	65
6. 操作要点	68
三、一氧化氮的氧化	71
1. 一氧化氮氧化反应的化学平衡	71
2. 一氧化氮氧化反应的速度及影响因素	72
3. 工艺条件及设备流程概述	74
四、氮氧化物的吸收	74
1. 吸收反应的化学平衡	75
2. 吸收过程的机理	78
3. 吸收工艺条件的选择	78
4. 工艺流程和主要设备	80
5. 吸收操作要点	84
五、稀硝酸生产流程综述	84

1. 常压法生产稀硝酸的工艺流程	85
2. 加压法生产稀硝酸的工艺流程	86
3. 综合法生产稀硝酸的工艺流程	86
4. 常压、加压及综合法的比较	88
六、氮氧化物尾气处理	88
1. 湿法吸收	89
2. 用固体物质吸收或吸附	90
3. 催化还原法	90
第二节 浓硝酸的制造	91
一、从稀硝酸浓缩制造浓硝酸	91
1. 概述	91
2. 硝酸镁法生产浓硝酸	92
二、由氨直接合成浓硝酸	94
1. 概述	94
2. 液态四氧化二氮的制备	94
3. 由液态四氧化二氮合成浓硝酸	97
4. 工艺流程和设备	99
5. 主要操作要点	100
复习思考题	102

第二篇 化学肥料

化学肥料概述	103
第一节 化学肥料概况	103
一、化学肥料的分类与品种	103
二、化肥工业的现状与发展	105
第二节 化肥生产中的相图简介	105
一、三元水盐体系相图	105
1. 水盐体系相律	105
2. 三元体系恒温相图的表示法	106
3. 简单三元水盐体系相图	108
4. 生成水合物和复盐的三元体系相图	113
5. $\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{H}_2\text{O}$ 三元体系恒温相图	115
6. $\text{NH}_3-\text{CO}_2-\text{H}_2\text{O}$ 三元体系相图	116
二、四元水盐体系相图	120
第一章 尿素生产工艺	122
第一节 概述	122
一、尿素的性质	122
1. 物理性质	122
2. 化学性质	122

二、尿素的用途与规格	123
三、尿素的生产方法简介	124
1. 不循环法和半循环法	124
2. 全循环法	124
四、尿素生产对原料的要求	126
第二节 尿素的合成	126
一、合成尿素的反应机理	126
二、氨基甲酸铵的性质	127
1. 甲铵的离解压力	127
2. 甲铵的熔化温度	127
3. 甲铵的溶解性	127
三、氨基甲酸铵的生成	128
1. 生成甲铵的化学平衡	129
2. 甲铵的生成速度	130
四、尿素的合成	130
1. 合成反应的化学平衡	130
2. 合成尿素的反应速度	135
五、尿素合成工艺条件的选择	136
1. 温度的选择	136
2. 氨碳比 (NH_3/CO_2) 的选择	137
3. 水碳比 ($\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$) 的选择	137
4. 操作压力的选择	138
5. 物料停留时间的选择	138
六、尿素合成工艺流程	139
1. 水溶液全循环法流程	139
2. 全循环二氧化碳气提法流程	139
七、尿素合成的主要设备	140
1. 二氧化碳气体压缩机	140
2. 尿素合成塔	141
八、尿素合成塔状态分析及操作要点	143
1. 合成塔正常生产时的状态	143
2. 合成塔操作要点	144
第三节 未反应物的分离与回收	148
一、减压加热法	149
1. 减压加热分离未反应物	149
2. 未反应物的回收	154
3. 循环工艺流程	163
4. 中压吸收塔及其操作要点	165
二、二氧化碳气提分离法	166

1. 二氧化碳气提分离法原理	166
2. $\text{NH}_3\text{-CO}_2\text{-CO(NH}_2)_2\text{-H}_2\text{O}$ 似三元体系的气液平衡	168
3. 气提过程及工艺条件的选择	169
4. 甲铵冷凝过程的相图分析	172
5. 二氧化碳气提、循环、回收过程的工艺流程	173
6. 二氧化碳气提法优点概述	175
7. 主要设备及操作要点	176
第四节 尿素溶液的蒸发与造粒	178
一、尿素溶液的蒸发	178
1. $\text{CO(NH}_2)_2\text{-H}_2\text{O}$ 体系相图分析	178
2. 蒸发工艺条件的选择	180
二、尿素的造粒	180
三、蒸发造粒工艺流程	181
四、尿素蒸发与造粒操作要点	182
第五节 尿素生产中的副反应及其防止	182
一、缩二脲的生成	183
1. 影响缩二脲生成的因素	183
2. 减少缩二脲生成的措施	184
3. 缩二脲的回收利用	185
二、尿素的水解	185
1. 影响尿素水解的因素	185
2. 工业生产中防止尿素水解的措施	185
第六节 合成尿素生产综述	185
一、尿素生产流程概述	185
1. 三井全循环改良C法	187
2. 溶液全循环法其它工艺流程	188
3. 我国对溶液全循环法的改进	188
4. 其它方法	189
二、尿素生产中腐蚀及耐腐蚀材料	189
三、尿素生产的发展动向	190
1. 提高尿素合成转化率	190
2. 充分利用尿素生产中的能量	190
3. 尿素质量的改进	192
四、尿素生产安全技术知识	192
1. 生产物料的安全特性	192
2. 尿素生产防爆问题	192
3. 必要的安全保护装置	193
4. 各工序安全操作要点	194
复习思考题	194

第二章 硝酸铵的生产	196
第一节 硝酸铵的物理化学性质	196
一、硝酸铵的性质	196
1. 一般性质	196
2. 特殊性质	196
二、硝酸铵的用途	199
第二节 氨与硝酸中和制造硝酸铵	199
一、氨与硝酸的中和	199
1. 中和反应及工艺条件选择	199
2. 中和反应器	201
3. 中和操作要点	202
二、硝酸铵稀溶液的蒸发及工艺条件选择	202
三、硝酸铵的结晶和干燥	203
第三节 硝酸铵生产工艺流程	204
一、常压中和造粒法	204
1. 常压中和三段蒸发造粒法	204
2. 常压中和一段蒸发造粒法	205
3. 常压中和二段真空蒸发结晶法	205
二、加压中和无蒸发法制取硝酸铵	207
复习思考题	207
第三章 碳酸氢铵的生产	208
第一节 碳酸氢铵的性质和用途	208
一、碳酸氢铵的性质	208
二、碳酸氢铵的用途	209
第二节 生产碳酸氢铵工艺流程简述	209
第三节 氨水碳化过程原理	211
一、碳化过程机理	211
1. 吸氨过程	211
2. 碳化过程	211
二、溶液和气体浓度的表示方法和计算	212
1. 碳化氨水溶液中氨和二氧化碳含量的表示方法	212
2. 气体中氨含量的表示方法	213
3. 碳化度的定义和计算	213
4. 氨转化率	214
三、影响氨水吸收二氧化碳速度的因素	215
1. 氨浓度的影响	215
2. 温度的影响	216
3. 空塔气速的影响	217
4. 二氧化碳分压的影响	217

四、结晶过程原理	217
1. 结晶过程的原理	217
2. 影响结晶大小的因素	218
五、碳酸氢铵质量的改进	218
1. 添加剂简介	219
2. 阴离子表面活性剂的使用方法	219
3. 强化碳化过程的效果	219
4. 存在问题	220
第四节 碳化和氨回收	220
一、碳化工序操作条件的选择	220
1. 操作压力	220
2. 氨水组成	221
3. 溶液温度	221
4. 气体组成	222
5. 回收清洗塔的操作条件	222
二、主要设备	222
1. 碳化塔	222
2. 回收清洗塔	223
三、碳化操作要点	224
1. 主塔操作	224
2. 预碳化塔的操作	225
3. 调塔操作	225
4. 碳化两并一串操作	226
5. 回收清洗塔的操作	227
四、氨平衡与水平衡的计算	227
1. 氨平衡	227
2. 水平衡	228
第五节 浓氨水的制备	228
一、浓氨水制备的原理	228
二、喷射器吸氨	229
三、高位吸氨简介	230
1. 高位吸氨器的结构及工作原理	230
2. 高位吸氨工艺流程	230
第六节 悬浮液的分离	231
复习思考题	231
第四章 磷肥的生产	232
第一节 概述	232
一、磷肥的作用	232
二、磷肥的分类	232

三、生产磷肥的主要原料	232
1. 磷灰石	233
2. 磷块岩	233
第二节 湿法磷酸	233
一、湿法磷酸生产的理论基础	233
1. 制造湿法磷酸的化学反应	233
2. 硫酸钙的晶型和生产方法简介	234
二、二水物法制湿法磷酸	234
1. 工艺流程	234
2. 二水法湿法磷酸工艺条件的选择	235
3. 主要设备	236
4. 主要经济指标计算	238
5. 耐腐蚀材料	238
三、湿法磷酸的浓缩	239
第三节 酸法磷肥	240
一、普通过磷酸钙的生产	240
1. 过磷酸钙的性质、产品指标和肥效	240
2. 普钙生产对磷矿质量的要求	240
3. 过磷酸钙生产原理	241
4. 硫酸分解磷矿的影响因素和工艺条件的选择	243
5. 工艺流程和主要设备	245
6. 主要技术经济指标的计算	248
二、重过磷酸钙的生产	248
第四节 热法磷酸和热法磷肥	250
一、热法磷酸	250
1. 黄磷的生产	250
2. 热法磷酸	251
二、热法磷肥	252
1. 钙镁磷肥	252
2. 脱氟磷肥	256
3. 烧结钙钠磷肥	257
4. 偏磷酸钙	257
5. 钢渣磷肥	257
第五节 磷肥生产中氟的回收利用	257
一、氟的危害性	257
二、过磷酸钙生产中氟的回收	258
1. 氟硅酸钠的生产	258
2. 氟化钠的生产	259
3. 冰晶石和氟化铝的生产	260

三、钙镁磷肥生产中氟的吸收和处理	261
复习思考题	262
第五章 钾肥的生产	263
第一节 氯化钾的生产	263
一、由钾石盐制取氯化钾	263
1. 溶解结晶法原理	263
2. 工艺流程	265
二、用光卤石制取氯化钾	265
1. 生产过程原理	265
2. 工艺流程	265
三、从富钾盐湖卤水和苦卤中提取氯化钾	268
1. 从富钾盐湖卤水中提取氯化钾	268
2. 从苦卤中提取氯化钾	268
第二节 从明矾石提制硫酸钾	268
一、还原热解法	268
二、氨碱法	269
复习思考题	269
第六章 复合肥料及液体肥料简述	270
第一节 磷酸铵	270
一、磷酸铵的性质	270
二、生产磷酸铵的基本化学反应	271
三、转鼓氨化流程及主要设备	271
第二节 硝酸磷肥	272
一、硝酸分解磷矿的基本原理	272
二、工艺条件的选择	273
1. 硝酸用量及浓度	273
2. 温度	273
3. 分解时间与粒度	273
三、硝酸磷肥的生产方法	273
1. 碳化法	274
2. 混酸法	274
3. 硫酸盐法	274
4. 冷冻法	275
第三节 液体肥料	276
一、液体氮肥	276
二、液体复合肥料	276
1. 液体磷酸铵	276
2. 液体硫酸磷酸铵肥料	276
3. 液体硝酸磷肥	276

复习思考题	277
-------	-----

第三篇 纯碱与烧碱

第一章 概述	278
第一节 纯碱和烧碱的性质	278
一、纯碱的物理化学性质	278
二、烧碱的物理化学性质	279
第二节 制碱生产方法简介	279
一、纯碱的生产方法	279
1. 路布兰法生产纯碱	279
2. 氨碱法生产纯碱	279
3. 联合法制纯碱和氯化铵	279
二、烧碱的生产方法	280
第三节 国内外制碱工业概况	280
一、纯碱工业概况	280
二、烧碱工业概况	281
第二章 氨碱法生产纯碱	282
第一节 氨碱法生产程序	282
第二节 石灰石的煅烧与石灰乳的制备	283
一、石灰石煅烧的原理	283
二、石灰窑及其操作	284
三、石灰乳的制备	285
第三节 盐水的制备	286
一、饱和食盐水的制备	286
二、盐水的精制	287
1. 石灰-氨-二氧化碳法	287
2. 石灰-纯碱法	288
第四节 精盐水的氨化	289
一、盐水氨化的理论基础	289
1. 氨化反应及化学平衡	289
2. 原盐和氨溶解度的相互影响	289
3. 吸氨过程的热效应	289
二、氨化工艺流程和工艺条件的选择	290
1. 工艺流程	290
2. 工艺条件的选择	291
第五节 氨盐水的碳酸化	291
一、碳酸化过程的基本原理	291
1. 碳酸化过程的反应机理	291
2. 氨盐水碳酸化过程相图分析	292

二、氨盐水碳酸化过程的工艺条件分析	294
1. 碳化度及其对钠利用率的影响	294
2. 原始氨盐水溶液的理论适宜组成	295
3. 影响碳酸氢钠结晶的因素	296
三、氨盐水碳酸化流程与碳化塔	297
1. 氨盐水碳酸化流程	297
2. 碳化塔	298
3. 碳化塔操作要点	298
第六节 重碱的过滤	300
一、真空过滤和真空过滤机	300
二、真空过滤的流程及控制要点	302
第七节 重碱的煅烧	303
一、重碱煅烧的基本原理	303
二、重碱煅烧设备简介	305
1. 内热式蒸汽煅烧炉	305
2. 沸腾煅烧炉	307
三、重碱煅烧工艺流程及操作要点	307
1. 工艺流程	307
2. 蒸汽回转煅烧炉的操作要点	308
第八节 氨的回收	308
一、蒸氨的原理	309
二、蒸氨工艺条件的选择	309
三、蒸氨工艺流程及其操作	310
四、淡液蒸馏	312
第九节 氨碱法生产纯碱小结及总流程	312
一、氨碱法生产纯碱小结	312
二、氨碱法生产纯碱总流程	312
第三章 联合法生产纯碱和氯化铵	314
第一节 概述	314
一、联合制碱法简介	314
二、联合制碱法工艺流程	314
三、联合制碱法相图分析	316
第二节 制碱与制铵过程的工艺条件选择	318
一、压力的选择	318
二、温度的选择	318
三、母液浓度的选择	318
1. β 值	318
2. α 值	318
3. γ 值	319

第三节 氯化铵的结晶	319
一、氯化铵结晶的原理	319
1. 过饱和度	319
2. 结晶的介稳区和影响结晶粒度的因素	320
3. 冷析结晶原理	321
4. 盐析结晶原理	322
二、氯化铵结晶的工艺流程	323
三、氯化铵结晶器及操作要点	324
1. 结晶器	324
2. 操作要点	325
四、氯化铵的干燥	326
第四节 洗涤法精制原盐	326
一、洗涤法精制原盐的原理	326
二、精制流程及设备	327
1. 工艺流程	327
2. 螺旋洗盐机	328
第五节 母液喷射吸氨	328
一、工艺流程	328
二、喷射吸氨器简介	329
复习思考题(1~3章)	330
第四章 电解法制烧碱	331
第一节 电解食盐水溶液的理论基础	331
一、法拉第定律和电流效率	331
二、电解时的电压和电压效率	332
1. 理论分解电压	332
2. 超电压	333
3. 槽电压和电压效率	334
三、电能效率	335
第二节 隔膜法电解	336
一、电极反应与副反应	336
二、电极及隔膜材料	337
1. 阳极材料	337
2. 阴极材料	338
3. 隔膜材料	338
三、隔膜电解槽的构造	339
四、隔膜电解法工艺流程	341
1. 盐水的制备和精制	341
2. 电解	342
3. 氢气的处理和输送	343