

● 崔英德 主编

上册

实用化工工艺



化学工业出版社

实用化工工艺

上册

崔英德 主编

化学工业出版社
·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

实用化工工艺.上册/崔英德主编.—北京:
化学工业出版社,2002.2
ISBN 7-5025-3674-4

I.实… II.崔… III.化学工业-生产工艺
IV.TQ

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 002257 号

实用化工工艺

上册

崔英德 主编

责任编辑:赵颖力 黄丽娟

责任校对:顾淑云

封面设计:蒋艳君

*

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

北京市燕山印刷厂印刷

北京市燕山印刷厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 22 字数 541 千字

2002 年 3 月第 1 版 2002 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3674-4/TQ·1487

定 价:40.00 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

《实用化工工艺》编委会

主 编 崔英德

副主编 罗儒显 胡生泳 刘晓国 廖列文 瞿晓岳

编 委 (按姓氏笔画为序)

邓志城 朱锦瞻 刘晓国 杨鑫莉 宋启煌 罗儒显

郑 成 胡生泳 崔英德 梁 红 蒋家俊 廖列文

瞿晓岳

主 审 蒋家俊

前 言

本书是根据 1999 年我国高等学校专业调整后, 化学工程与工艺专业的要求, 并结合我国工农业生产的实际进行编写的教学参考书。本书可作为高等学校化学工程与工艺专业教学参考书, 也可供化工技术人员参考。

化工工艺是研究各种原料(如动物、植物、矿物、水、空气等)加工成为更有价值的消费品或生产资料的过程。其中包括原料路线的选择, 工艺流程的设计, 生产过程的基本原理, 最适宜的操作条件, 生产过程所需的各种机械设备的规格、结构与材质, 产品的质量控制在内容。化工工艺不仅要从理论上探讨每个工艺过程进行的可能性和条件, 而且还要找出用最低的能耗和物耗生产出最好的产品的工艺方案。

本书较全面而系统地阐明了化工工艺的基本概念和理论基础, 介绍了每个典型工艺过程的特点和基本内容, 并提出了各个工艺的最新技术进展。本书的特点是把化工工艺的理论研究与产品开发、工艺设计结合起来进行编写, 既有理论又有实践; 既介绍化工工艺的专业知识, 又介绍了与本专业有关的一些内容, 如计算机辅助设计、化工过程经济分析与评价、化工过程控制理论、安全生产与三废治理等。本书的内容广泛, 实用性强, 不仅可用作大学化学工程与工艺专业的教学参考书, 而且对于大学高年级学生进行毕业论文与设计、研究生进行论文研究、从事产品技术开发与研究以及化工部门管理人员来说, 也无疑是一本有实用价值的参考书。

本书内容较多, 涉及面广, 有关院校可根据专业方向的特点进行选修。通过本书的学习, 希望能使读者在化工工艺过程的理论与实践方面建立起较为系统而扎实的基础, 能较好地应用物理、化学、化工基础知识来分析和解决实际问题, 初步掌握化工工艺过程开发的基本思路 and 技巧, 并且对化工工艺的设计与控制、化工工艺过程经济评价以及计算机辅助设计也有一定了解, 为从事本门技术工作打下良好的基础。

本书由崔英德教授主编, 罗儒显、胡生泳、刘晓国、廖列文、瞿晓岳等担任副主编, 蒋家俊教授主审。第一、二十二、三十一章由崔英德、郭建维编写; 第二、三章由蒋家俊编写; 第十一、十五、十八章由罗儒显编写; 第七、十三章由胡生泳编写; 第九章由杨鑫莉编写; 第十七、十九章由刘晓国编写; 第五、二十一、二十八章由廖列文编写; 第八、二十四章由尹国强编写; 第十二、二十章由梁红编写; 第十六章由尚小琴编写; 第十四、二十三章由宋启煌编写; 第十、二十五章由易国斌编写; 第二十六章由郭建维编写; 第二十七章由李功祥编写; 第二十九、三十章由邓志城编写; 第四、六章由瞿晓岳编写。

由于编者水平有限, 本书难免存在缺点和不妥之处, 敬请读者批评指正。

编 者

2001 年 10 月

60477/05

化工出版社·工业装备与信息工程出版中心(部分图书目录)

序号	书 名	定 价 (元)	序 号	书 名	定 价 (元)
1	机械设计图册(1) (6)	666.00	43	化工工艺设计手册(上)(第二版)	79.00
2	机械设计手册(1) (5)(第三版)	386.00	44	化工工艺设计手册(下)(第二版)	128.00
3	机械设计实用手册	128.00	45	现代干燥技术	128.00
4	中国化工装备产品手册(第二版)	180.00	46	膜技术手册	120.00
5	破碎与筛分机械设计选用手册	95.00	47	膜分离技术基础	36.00
6	包装机械选用手册(上下册)	112.00	48	膜分离技术应用手册	36.00
7	电动滚筒设计与选用手册	48.00	49	膜分离技术(化学工程新技术丛书)	25.00
8	常用机械电器实用手册(上)	105.00	50	超临界流体技术——原理和应用	50.00
9	常用机械电器实用手册(下)	120.00	51	超临界流体萃取的原理和应用(化工新技丛书)	15.00
10	过程设备机械设计基础	30.00	52	石油化工管线设计	48.00
11	运输机械设计选用手册(上、下)	174.00	53	石油化工自动控制设计手册(第三版)	138.00
12	工业泵选用手册	45.00	54	软测量技术及其在石油化工中的应用	18.00
13	工业离心机选用手册	35.00	55	变送器选用与维护	25.00
14	联轴器选用手册	72.00	56	仪表常用数据手册	38.00
15	压力容器与化工设备实用手册(上、下)	156.00	57	仪表工手册	75.00
16	实用管工手册	36.00	58	可编程序控制器原理及应用技巧	28.00
17	实用焊工手册	25.00	59	软测量技术原理及应用	20.00
18	实用铆工手册	39.80	60	调节阀使用与维修	28.00
19	实用锅炉手册	120.00	61	实用维修电工手册	40.00
20	化工密封技术	35.00	62	流量测量节流装置设计手册	58.00
21	机械故障诊断	26.00	63	流量测量方法和仪表的选用	60.00
22	数控机床编程与操作实训	18.00	64	仿真技术	50.00
23	现代汽车电器电控维修技术问答	38.00	65	最新实用电工手册	148.00
24	化工机器与设备检修技术	76.00	66	光电检测控制电路手册	78.00
25	计算机绘图CAXA电子图板V2	17.00	67	实用电子电路精选	30.00
26	化工机械检修技术问答	50.00	68	实用电子电路500例	33.00
27	工业设备粘接维修	26.00	69	五笔字型编码速查手册	8.80
28	化工机器检修技术	58.00	70	网络编程与管理(软件村·网络集)	48.00
29	热管技术及其工程应用	35.00	71	网络工具与通信(软件村·网络集)	48.00
30	实用钣金展开计算法	22.00	72	新编计算机应用基础教程	29.00
31	低合金调质高强度钢焊接及工程应用	25.00	73	微机应用通用教程	28.00
32	波形膨胀节实用技术——设计、制造与应用	35.00	74	化工计算机计算	30.00
33	实用防腐蚀工程施工手册	180.00	75	微机故障检测与维护	20.00
34	腐蚀科学与防腐蚀工程技术新进展	120.00	76	先进控制技术及应用	32.00
35	水处理、防腐蚀和失效分析1000例	28.00	77	制革工厂设备管理与维修	36.00
36	腐蚀破坏事故100例	18.00	78	焊接材料、工艺及设备手册	130.00
37	二氧化碳腐蚀与控制	10.00	79	注塑机电路维修	43.00
38	阴极保护工程手册	50.00	80	工业工程三维造型设计——CAD-MDT应用	28.00
39	不锈钢及耐热耐热合金焊接100问	17.00	81	石油工业中的腐蚀与防护	25.00
40	建筑防腐蚀材料设计与施工手册	50.00	82	化学工业中的腐蚀与防护	30.00
41	石油化工安全分析方法及应用	38.00	83	化工装置实用操作技术指南	90.00
42	化工厂公用设施设计手册	160.00			

以上图书全国各大书店均有销售,也可直接从我社邮购。(欢迎索取我社图书目录)

- ◆ 您从邮局或银行汇款均可,包装邮寄费按10%计。
- ◆ 地址:北京市东城区安外大街80号 收款单位:化学工业出版社化工书店
 邮编:100011 开户银行:华夏银行北京安定门支行 账 号:617-8194638
- ◆ 电话/传真:010-64219168,84253318 E-mail: shudian@cip.com.cn 网址: www.cip.com.cn

目 录

上 册

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
一、化工工艺学的内容和任务	1
二、化学工业在国民经济中的地位和作用	1
三、我国的化学工业	2
第二节 基本概念	4
一、生产流程	4
二、含量和浓度	4
三、平衡转化率	4
四、转化率	5
五、产率	5
六、选择率(选择性)	5
七、利用率	5
八、过量率	5
第三节 化工过程开发	6
一、化工生产过程的组成	6
二、化工过程开发概述	7
三、化工开发的调研和评价	9
四、化工设计的阶段	9
参考文献	10
第二章 化工工艺过程基本原理	11
第一节 概述	11
第二节 化学反应的工艺特性	11
一、化学工艺的分类	11
二、化学反应的工艺特性	12
第三节 化工工艺流程	13
一、间歇过程和连续过程	13
二、操作流向	14
三、物料的多次加工	14
四、工艺流程的编制	15
第四节 化学平衡	16
一、平衡常数	16
二、吕·查德里原理和质量作用定律	18
三、温度对平衡的影响	20
四、浓度对平衡的影响	21

五、压强对平衡的影响	22
六、催化作用与化学平衡	23
第五节 化学反应速率	24
一、反应速率方程式	24
二、平行反应和串联反应	24
三、级数和分子数	25
四、提高过程速率的主要方法	25
五、反应物浓度对反应速率的影响	26
六、压强对反应速率的影响	27
七、温度对反应速率的影响	27
八、接触面对反应速率的影响	30
第六节 催化作用	32
一、催化剂的作用	32
二、催化作用的分类	35
三、多相催化过程的历程	35
四、催化剂的特性	36
五、催化剂的载体和助剂	37
六、催化剂的活性评价	39
参考文献	39
第三章 化工工艺基本计算	40
第一节 计算方法	40
一、内插和外推	40
二、求平均值	40
三、因式分解	41
四、量纲一致性和单位一致性	41
五、最小二乘法	42
六、试算法	43
七、逼近法	43
八、解析积分	44
九、图解积分	44
十、梯形法则积分	44
十一、辛普逊法则积分	45
十二、差分法	45
十三、拟合数学模型法	45
十四、用微分求极值的优化	46
十五、图解法求优化条件	46
第二节 物料衡算	46
一、基本知识	46

二、实例	48	三、吸收过程的热效应计算	107
第三节 热量衡算	57	第六节 接触法制硫酸的全流程	107
一、基本概念	57	第七节 硫磺制硫酸	109
二、实例	59	第八节 硫酸生产主要污染物及防治措施	110
参考文献	63	一、尾气处理	110
第四章 合成氨工业	64	二、烧渣的综合利用	112
第一节 概述	64	三、废水处理	112
第二节 造气	65	参考文献	113
一、烃类蒸汽转化法	65	第六章 制碱工业	114
二、煤气化法	68	第一节 概述	114
三、重油部分氧化法	72	一、纯碱的工业生产	114
第三节 净化	73	二、烧碱的工业生产	115
一、脱硫	73	三、天然碱加工	115
二、CO 变换	76	第二节 氨碱法制纯碱	115
三、CO ₂ 的脱除	77	一、氨碱法生产工艺流程	115
四、少量 CO 的脱除	79	二、氨碱法的主要工序和设备	115
第四节 氨的合成	80	第三节 联碱法制纯碱	124
一、氨合成的基本原理	80	一、联碱法的基本工序	124
二、氨合成的工艺与设备	83	二、联碱法析铵的基本原理	125
参考文献	86	第四节 电解法制烧碱	126
第五章 硫酸工业	87	一、电解制碱原理	127
第一节 概述	87	二、隔膜法电解	128
一、硫酸生产的发展	87	三、水银法电解	129
二、硫酸生产的原料	88	四、离子交换膜电解	130
三、硫酸生产工艺	88	参考文献	132
第二节 以硫铁矿为原料制取 SO ₂ 炉气	89	第七章 石油化学工业	133
一、硫铁矿的焙烧反应	89	第一节 概述	133
二、焙烧速率及其影响因素	90	一、石油化学工业的含义	133
三、硫铁矿的预处理及沸腾焙烧	90	二、石油化工的发展	133
四、焙烧流程和工艺条件	92	三、石油化工在国民经济中的作用	134
五、硫铁矿焙烧的工艺计算	93	第二节 石油炼制	135
第三节 SO ₂ 炉气的净化	95	一、概述	135
一、炉气净化设备	95	二、石油产品	136
二、炉气净制工艺流程	97	三、主要炼油工艺简介	137
第四节 二氧化硫的催化氧化	99	第三节 催化裂化	143
一、化学平衡和平衡转化率	99	一、催化裂化的原料	143
二、二氧化硫氧化反应催化剂	100	二、衡量原料性质的指标	144
三、二氧化硫催化氧化的反应机理与反应速度	101	三、烃类的催化裂化反应	146
四、SO ₂ 催化氧化的最佳工艺条件	101	四、催化裂化工艺流程	149
五、二氧化硫转化的工艺流程	103	第四节 催化重整	153
第五节 三氧化硫的吸收	105	一、原料油预处理	153
一、浓硫酸吸收 SO ₃ 的最适宜条件	106	二、催化重整装置构成	155
二、吸收流程	106	三、催化重整的化学反应	155

四、芳烃的抽提	158	二、聚酯的生产	239
五、芳烃精馏	161	第四节 水溶性聚合物	243
第五节 裂解和乙烯生产	162	一、概述	243
一、概述	162	二、聚丙烯酰胺的生产工艺	251
二、烃类裂解的化学反应	163	参考文献	254
三、裂解工艺流程	167	第十章 无机盐工业	255
四、裂解气的净化与分离	169	第一节 概述	255
五、裂解气深冷分离流程	175	一、无机盐工业的历史、现状和发展趋势	255
参考文献	178	二、无机盐工业的原料	257
第八章 化肥工业	179	三、无机盐工业生产方法及典型流程	257
第一节 概述	179	四、功能化无机盐产品的开发与应用	258
一、化学肥料在国民经济中的作用	179	五、无机盐工业在国民经济中的地位和作用	259
二、化学肥料的分类与品种	179	第二节 磷酸盐	259
三、化学肥料工业的发展概况	180	一、磷酸的生产工艺	259
第二节 氮肥的生产	181	二、正磷酸钙盐的生产工艺	262
一、氮素在作物中的作用	181	三、三聚磷酸钠的生产工艺	268
二、氮肥的分类与品种	181	第三节 碳酸钙	270
三、尿素的生产	181	一、轻质碳酸钙的生产工艺	271
四、碳酸氢铵的生产	187	二、活性碳酸钙	278
第三节 磷肥的生产	190	三、超细碳酸钙	279
一、磷肥的作用	190	第四节 硅酸盐	282
二、磷肥的分类与品种	190	一、硅酸盐水泥及其生产工艺	282
三、过磷酸钙的生产	191	二、玻璃生产工艺	285
四、钙镁磷肥的生产	193	三、陶瓷生产工艺	289
第四节 钾肥的生产	195	第五节 氯的含氧酸盐	291
一、钾肥的作用	195	一、二氧化氯	291
二、钾肥的品种	195	二、次氯酸钠	295
三、钾肥生产的原料	196	三、亚氯酸钠	298
四、氯化钾的生产	196	四、氯酸钠	298
五、硫酸钾的生产	198	五、氯酸钾	299
第五节 复合肥的生产	200	参考文献	301
一、复合肥的种类	200	第十一章 农副产品化工	303
二、磷酸铵的生产	201	第一节 变性淀粉	303
三、三元复合肥的生产	204	一、淀粉及变性淀粉概述	303
参考文献	207	二、阳离子淀粉	306
第九章 高聚物合成工艺	208	三、磷酸酯淀粉	308
第一节 塑料工业	208	四、羧甲基淀粉	310
一、概述	208	五、氧化淀粉	312
二、聚氯乙烯 (PVC) 的生产	213	六、羟烷基淀粉	313
第二节 橡胶工业	230	七、交联淀粉	314
一、概述	230	八、接枝共聚淀粉	315
二、丁苯橡胶的生产	230	九、淀粉黄原酸酯	318
第三节 化学纤维	239		
一、概述	239		

第二节 改性纤维素	319
一、纤维素及其衍生物概述	319
二、羧甲基纤维素	321
三、纤维素烷基醚	323
四、纤维素羟烷基醚	324
五、改性纤维素酯	327
六、阳离子纤维素醚	331
第三节 半乳甘露聚糖衍生物化工	332
一、半乳甘露聚糖的结构与性能	332
二、半乳甘露聚糖衍生物的制备及 应用	333
第四节 甲壳素衍生物化工	335
一、甲壳素、壳聚糖的特性及制备 工艺	335
二、甲壳素的化学改性及其应用	336
参考文献	338

中 册

第十二章 表面活性剂
第十三章 合成材料助剂

第十四章 食品添加剂
第十五章 香料
第十六章 生物化工
第十七章 涂料
第十八章 胶粘剂
第十九章 农药
第二十章 化妆品
第二十一章 化工产品检测

下 册

第二十二章 化工工艺流程选择与设计
第二十三章 化工工艺设备选择与设计
第二十四章 化工工艺管道布置设计
第二十五章 化工工艺过程优化
第二十六章 化工工艺过程控制
第二十七章 化工工艺过程计算机应用
第二十八章 化工工艺过程经济分析与评价
第二十九章 化工过程三废与治理
第三十章 化工生产安全与防护
第三十一章 化工工艺设计初步

第一章 绪 论

第一节 概 述

一、化工工艺学的内容和任务

化工工艺学是一门研究将各种原材料（如动物、植物、矿物、水、空气等）或者化工原料经过化工生产过程既改变它们的外形和物理性质又改变其内部结构和化学性质而加工成为更有价值的消费品的生产资料的科学，即研究化工生产技术的学科。

化工工艺学的重要特点之一是：化工生产为工农业生产、国防建设、科学技术和人民生活生产数以千计的化工原料和化工产品，行业多，品种繁，生产流程更是千变万化，这就使化工工艺学这门学科不仅涉及面广，要研究各种化工生产过程的原料路线和技术方法，还因为化工生产过程的加工深度大和涉及面广，既要从理论上探讨过程进行的可能性和工艺条件，还要研究用经济的方案和低的物耗和能耗生产优质的产品。总而言之，化工工艺学是理论和实际密切结合的学科。

化工工艺学的主要任务就是广泛而综合应用物理、化学、物理化学、化学工程、化工设备等学科的理论知识和技术经济方面的有关原则，按照国家的方针政策，选定具体化工生产过程应采用的原料路线、技术方案、工艺条件、设备选型等生产过程的必要环节，确定其最佳的技术经济指标，评价过程的经济和社会效益。研究一个生产过程时，必须考虑整个生产过程要符合 4 项基本要求：一是技术上必须是可行的；二是经济上必须是合理的；三是操作上必须是安全的；四是“三废”排放必须符合国家规定的标准。

二、化学工业在国民经济中的地位和作用

化学工业在国民经济中占有十分重要的地位，是国民经济不可缺少的一个部门。到目前为止，化工产品约 30 万种。我国化学工业产值占工业总产值的 12%，且比重还在逐年增大。化学工业的投资回报率高，某些精细化工产品短期内即可回收全部投资，大型的化工企业一般 3~5 年也可回收全部投资。化学工业产品不仅直接关系到人们的衣食住行，而且对工业、农业以及尖端科学技术也有着重要的作用。主要有以下几个方面。

（一）为农业提供重要的物质基础

我国是一个以农业为基础的国家，农村人口占全国人口的 80% 以上，农业是发展国民经济的基础。农产品如粮、油、棉花等的增产，很重要的因素是肥料，实验证明 1kg 化肥至少可增产 3~5kg 的粮食。此外，化学工业产品中塑料薄膜、塑料制品、农药、除草剂、植物生长激素、饲料、防腐剂、防冻剂以及各种农用化工材料也是提高农、林、牧、副、渔业的产量和质量，节约劳动力，提高劳动生产效率的重要基础物质。化学工业品中的合成纤维在一定程度上缓和了棉、粮争田的问题，年产 1 万 t 合成纤维相当于 1.7×10^4 公顷（25 万亩）棉花的作用。另外，化学工业还可以利用农业中的副产物生产出价值很高的化工产品，如禾草可以用来造纸，米糠可以用来提取植酸，木薯用来生产酒精，蓖麻油用来生产合成纤维等。

（二）为工业提供原料

采矿工业用的大量炸药，选矿用的大量药剂，冶炼和石油炼制中用的各种辅助原料（如硫酸和纯碱等），机器制造行业和电子工业中所用的各种塑料、油漆、电石、橡胶制品等都是化学工业产品。此外，化学工业也能广泛地利用各种工业部门的副产物制成许多化工原料和化工产品，例如从炼焦工业的副产品煤焦油中可提炼出苯、萘、酚、蒽等几十种化工产品，利用焦炉气或石油气可制造酒精、合成氨、塑料、合成橡胶和合成纤维，利用有色金属冶炼的废气可生产硫酸，利用某些有色金属烟灰可生产金属铋等。

（三）在轻工业、人民物质文化生活方面起重要作用

在饮食方面，馒头发酵、烤面包的添加剂，糖果、糕点、饮料、卷烟用的各种香精、香料，烹调用的各种调味剂，储存用的防腐剂、保鲜剂、冷冻剂也是化工产品。

在衣着方面，纺织部门用的各种染料、酸碱、漂白剂、洗涤剂、塑料和橡胶制品、合成纤维等都是化学品。

在交通运输方面，汽车用的轮胎、汽油、煤油、柴油、机油、润滑油等都是化学工业提供的。

在日用方面，食具、电视用品、文娱用品、玩具、手提袋、照相器材、显影剂、定影剂、彩色塑料等均是利用化工原料加工而成的。

在建材方面，屋面、墙壁、水管、粘合板、天花板、家具、水泥、涂料等也离不开化工生产。

在医药方面，化工行业提供了各种各样的化工产品，包括抗生素、天然药物提取剂、合成药物等等。此外，有些医疗器械以及人体四肢和五脏器官的代用品也由化工合成材料制成。

（四）对国防工业的发展有着重大的意义

炸药是国防工业中很重要的物质，而制造炸药用的原料就是硫酸、硝酸和苯类的化合物。

总之，化学工业与国民经济各个部门都有着密切联系，对于保证其他工业部门、农业、交通运输和国防工业发展所需物资，在经济建设中起着促进作用。

三、我国的化学工业

我国的化学工业具有悠久的历史。我国有闻名于世的造纸、火药、罗盘（指南针）、印刷四大发明，其中造纸和火药就运用了化学方法。周朝已冶炼出钢铁和精致的制品；马王堆汉墓出土的文物，反映出我国汉代的染料和油漆就有较高的水平。中国也是世界上最早发现和利用石油的国家之一，宋朝以前石油已用于照明、润滑、防腐、医疗、制墨等。明代宋应星的《天工开物》系统地论述了我国当时的化工生产已遍及各个领域。到20世纪初，随着世界化学工业的发展，我国也陆续建设自己的近代化工企业，开始生产硫酸、纯碱、石油制品、油漆、染料、橡胶制品、医药等化学品。总之，我国的化学工艺技术是我国几千年文明史的一个重要组成部分。

但由于历史原因，新中国建立前，我国的化学工业发展缓慢，仅在沿海几个城市有少数化工厂，基础薄弱，品种很少，最高年产量硫酸不超过18万t，硫酸22.6万t，纯碱10.3万t，烧碱1.2万t。

新中国建立以后，化学工业以较快的速度发展，特别是在1979年以后进入现代化建设

的新阶段，发生了巨大的变化，归纳如下。

(一) 建立了门类比较齐全的化学工业体系

我国已形成门类比较齐全的化学工业体系，拥有化肥、农药、煤化工、石油化工和有机原料、化学矿、酸碱、无机盐、合成树脂塑料、合成橡胶、合成纤维单体、感光材料和磁性记录材料、染料和中间体、涂料和颜料、国防化工、医药、橡胶制品、化学试剂、精细化学品、化工机械等行业。有县以上化工企业 5400 个，其中大中型企业 404 个。合成氨、硫酸、氮肥厂遍布全国各地。1995 年主要产品产量见表 1-1。

表 1-1 我国主要化工产品产量/万 t (1995 年)

产 品	产 量	产 品	产 量
化肥	2497	合成橡胶	58
纯碱	593	磷矿	2654
农药	35	硫酸	1777
聚氯乙烯	137	乙烯	304
原油加工	11808	精甲醇	147
合成氨	2765	合成纤维及单体	289
烧碱	512		
纯苯	111		

(二) 改善化学工业的布局

从我国实际情况出发，充分利用各地资源，新建扩建了一大批化工厂，化学工业的布局已经展开。

(1) 充分发挥沿海基地的作用，在上海、天津、青岛、大连、广州等地，一面新建化工厂，一面对旧厂更新改造。

(2) 用较大力量发展内地化工企业，1983 年与 1952 年相比，内地化工产值由占全国的 17.3% 升至 50.8%，四川、湖南、湖北、河南、黑龙江、山西等省都有相当规模的化工企业。

(3) 建设大型化工联合企业作为基地，包括吉林、兰州、太原、南京、大连、燕山、齐鲁、岳阳、衢州、锦西、安庆、广州等 12 个化工公司、总厂，其产品质量占全国比重为：合成橡胶 87.6%，塑料 31.5%，纯碱 40%，硫酸 13.3%，烧碱和合成氨 10% 左右。

(三) 化工技术不断发展

化工技术不断发展，为国防和尖端技术提供化工原料和新型材料，为原子弹、氢弹、人造卫星（包括通讯卫星）提供稳定性同位素、推进剂、强氧化剂、密封材料、特种涂料、高性能复合材料等。

在化肥方面，创造了有特点的碳化工艺；在基本化工原料方面，开发了联合制碱，采用金属阳极、离子膜电解制烧碱，硫酸生产采用两转两吸新流程；在基本有机合成和石油化工方面，开发了很多新工艺，用非汞催化剂代替汞催化剂。在其他方面，也开发了不少新工艺、新产品，而且推广了治理三废的新技术。

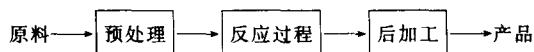
(四) 队伍逐步壮大

加强了生产队伍的培养锻炼，建立了科研、设计、建设安装、地质勘探队伍。1983 年全国化工系统有职工 280 万人，其中工程技术人员 12 万人。

第二节 基本概念

一、生产流程

在化工工艺中，原料加工为产品的各工序的顺序叫做化工生产流程。一个完整的化工生产流程，无论何种化工生产过程，一般在反应前有物料的预处理系统，反应后有产物的分离提纯系统，在系统中一般有一个以上的化学反应过程。其主要工序可图示为：



化工生产过程有连续的，也有间歇的。间歇过程中，反应物被逐批加入到反应器中，经过一定时间，完成了某一阶段反应后，逐批卸出成品或半成品，然后重新装入原料，重复进行操作。而连续生产过程中，反应物被不断加入到反应器中，同时连续卸出成品或半成品。

连续操作与间歇操作比较，其优点为：易于自动化和机械化生产，操作均衡稳定，设备利用率高，易回收能量，产品均匀，质量好。

现代化学工业中绝大部分大型生产过程采用连续的操作方法。但在精细化工小批量商品生产中（如化妆品、洗涤剂的生产等），或者一些操作上有特殊要求的（如发酵），操作中还常用间歇的操作方法。

二、含量和浓度

含量常指混合物中某组分的量占总量的分率。应强调指出，除注明外，液体和固体中组分的含量一般指其质量分率，如 18-8 不锈钢常指合金钢中含铬 18%（质量）和含镍 8%（质量）左右。气体组分含量是指体积分率，即摩尔分率，如空气中含氧 21%（体积）。

以 x 、 X 分别表示混合物中组分的质量含量和摩尔含量，其换算关系为：

$$x_A = \frac{X_A M_A}{X_A M_A + X_B M_B + \dots}$$
$$X_A = \frac{x_A / M_A}{x_A / M_A + x_B / M_B + \dots}$$

式中 M 为各组分（A, B, ...）的摩尔质量。

浓度是指一定体积物料中某组分的量，用 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ 或类似的单位表示。

三、平衡转化率

平衡转化率是指可逆反应中反应达到平衡时初始反应物参加化学变化的分率，即：

$$\text{平衡转化率 } x_e = \frac{\text{到达平衡时转化的某反应组分量}}{\text{初始该反应组分量}}$$

它常对特定的或具有一定经济价值的反应组分而言，如二氧化硫催化氧化反应中常指二氧化硫。

平衡转化率可以用该条件下反应的平衡常数计算，是该条件下反应时物料的利用极限。平衡转化率的值与化学热力学函数有关，与反应速率无关。在适当范围内，可以变动反应条件或工艺参数（如温度、压强、进料配比、浓度、掺合惰性组分或其他组分等）来改变平衡转化率。

对不可逆反应，只要有充分时间，反应物会按化学计量数全部转化，无所谓平衡转化率。

四、转化率

转化率是指实际条件下反应结束时初始反应组分参与反应的分率，即：

$$\text{转化率 } x = \frac{\text{实际反应的某反应组分量}}{\text{初始反应组分量}}$$

转化率也是对特定的反应组分而言的。转化率总小于平衡转化率，因为生产条件下，为获得更多的合格产品，反应总是只给有限的时间。

为获得较高的转化率，要选用有利于反应的条件，如适宜的温度、高活性的催化剂等等。

五、产率

产率的概念主要用于复合反应，并且往往是对产物而言的。在复合或复杂反应进行时可能有多种产物生成，目的产物仅为全部产物的一部分，设特定反应组分按化学计量关系全部转化时所能生成的目的产物量为 1，实际得到的目的产物在其中所占的分率即为产率。即：

$$\text{产率} = \frac{\text{实得的目的产物量}}{\text{特定反应组分全部转化时理论目的产物量}}$$

由于有副反应发生，产率总比转化率低。

某些特殊情况下，如物系分离或副反应过多的复杂反应中，很难用反应的化学计量关系计算产量或理论产量，这时也用产率、得率或收率来表示产品的实收程度，是指目的产物占初始原料中的质量分率。举例来说，石油原油炼制时，直馏汽油占原油的分率即为其产率或收率。石油油品催化裂化时，裂化汽油占裂化油品的分率即为其产率，因为裂化石油众多的平行和连串反应不能按化学反应式计算产量，并且石油油品和裂化汽油都不以化学纯度来衡量，而是以特定的指标（如馏程）为准的。

六、选择率（选择性）

选择率或选择性反映在有平行反应或连串反应的复合反应中生成目的产物的主反应所起作用的程度。在化学和化工生产中，选择率定义为：

$$\text{选择率} = \frac{\text{实得的目的产物量}}{\text{转化的反应组分按化学计量所能生成的目的产物量}}$$

按此定义，复合反应中的选择率总小于 1。

转化率、产率与选择率间的关系为：

$$\text{产率} = \text{转化率} \times \text{选择率}$$

七、利用率

利用率泛指在加工过程中的利用程度，定义为原料实际转化成合格产品的量占理论上原料可以生产该产品量的分率。

利用率有时也用在转化率和产率不能明确表达的场合，如氨碱法制纯碱时，残留于母液中的离子很难判断是以原始反应组分或最终生成物的形式存在，而只能以析出的产物与初始反应组分按化学计量关系求利用率。

八、过量率

多数情况下，反应并不采用化学计量比，而是使某些廉价或易得的反应组分过量，以利于使特定的反应组分获得高的转化率，如二氧化硫催化氧化时使氧过量，水煤气变换时使蒸汽过量等。过量率是以特定反应组分完全转化的化学计算关系为依据来计算的，定义为：

$$\text{过量率} = \frac{\text{该组分总量} - \text{与特定反应组分完全反应所需的量}}{\text{与特定反应组分完全反应所需的量}}$$

第三节 化工过程开发

一、化工生产过程的组成

化工生产过程通常由预处理、化学反应或物理化学加工、后处理等生产环节所组成，这些环节中涉及的基本工序参见表 1-2。

表 1-2 化工生产单元过程的组成

预处理（准备）			主反应过程			后处理（后加工）		
粉碎	溶解	化学反应过程	吸收	分级		成型	压缩	搅拌
分级	蒸发	物理化学过程	解吸	成型		输送	稀释	加热
混合	加热	附：输送	吸附	干燥		精选	除尘	回流
								萃取
								输送
								结晶
								浓缩
								离心
								包装

一个化工生产过程可以由上述的一个单元组成，如乙醇脱氢制乙醛、碳酸钠苛化制烧碱等；也可以由多个单元配合组成。如从甲醇催化氧化制甲醛、硫铁矿制硫酸等（图 1-1）。

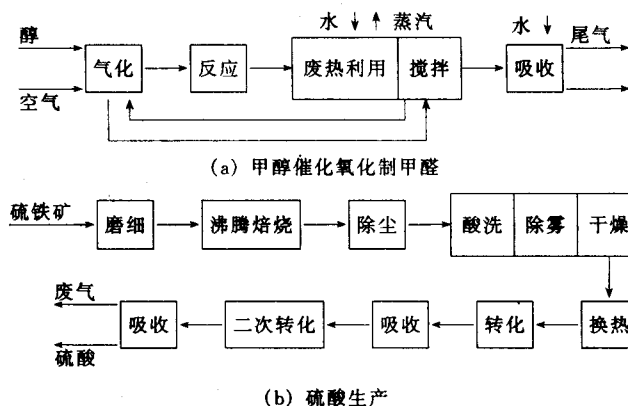


图 1-1 化工生产过程组成示例

大致说来，预处理主要由机械操作和传热过程等组成，反应过程常伴随有传热操作；后处理主要由传质过程、相分离操作等组成。

也有些过程虽属于化工生产，但过程中并不发生重要的化学反应，如原油的常减压蒸馏、利用吸附或离子交换等传质手段进行某些混合物的分离或提纯等。

生产过程中的各种工序按其物理和化学的特性可以分为单元操作和反应过程，反应过程也称为单元作业。

单元操作通常归属于化学工程范畴，包括有：

(1) 流体流动过程——流体的流动、输送、测量和调节控制、流态化，以及沉降、过滤、离心分离等。

(2) 热量传递过程——传导传热、对流传热、辐射传热、热交换、加热、冷却、冷凝等。

(3) 质量传递过程——溶解、结晶、抽提、萃取、蒸馏和精馏、离子交换、吸收和解吸，并包括由传热引起的扩散传递的蒸发等。

(4) 机械和物理操作——搅拌、混合、捏和、粉碎、研磨、成型、筛分、固体输送、电沉、浮选、磁选等。

反应过程是化工生产中以化学反应为主的工序，直接影响产品的产率和质量，往往是全

生产过程的关键，其工艺条件的探讨是化学工艺的主要内容。按化学类型，单元作业一般可分为：

(1) 化合——如氨合成、二氧化硫氧化、氯化氢合成、炼厂气或液化石油气叠合生产汽油、甲醇羰基合成醋酸等。

(2) 分解——如碳酸氢钠煅烧成纯碱、石灰石热分解成石灰、重质油品的催化裂化、石脑油裂解制乙烯等。

(3) 加氢和脱氢——如含一氧化碳和氢的合成气制甲醇、油脂加氢、乙苯脱氢成苯乙烯等。

(4) 氧化——无机物氧化和有机物氧化、均相氧化和非均相氧化、催化氧化等。如氨催化氧化成一氧化氮，有机物催化成醇、醚、酮、酸、酐等，丁烯氧化脱氢成丁二烯、丙烯胺氧化成丙烯腈、乙烯环氧化成环氧乙烷、乙烯与醋酸氧化偶联成醋酸乙烯等。

(5) 歧化、异构化、转化、芳构化、脱烷基化等——如甲苯歧化制苯和二甲苯、甲苯脱甲基制苯、石油油品催化重整制芳烃等。

(6) 氯化——石灰加氯制漂白粉或漂粉精、乙炔加氯化氢制氯乙烯、乙烯氯化制氯乙烯等。

(7) 硝化、磺化等——中间体、医药、染料、基本有机化工原料、某些精细化学品的生产等，如硝基苯、烷基磺酸钠等。

此外，还有有机物的缩合、聚合、水解、水合、氨解、酯化等作业。

(8) 电化学过程——包括无机物的电化工作业，如盐水溶解电解、熔融盐电解、电镀、电冶金等，也包括有机物的电化学操作、电解氧化、电解还原，如电极氧化制有机酸、电极还原制苯胺以及半胱氨酸、过氧化物的生产等。

化工生产中，物料可以是一次通过（单程）的，如硫铁矿制硫酸，也可以使未反应的物料再利用（循环），如合成氨生产中合成气的循环；可以是单独生产，也可以组成联合生产，如联合法制纯碱并副产氯化铵。

除了某些精细化工和特殊化学品生产外，大多数化工生产也有其经济规模，即要具有一定数量的合格产品产量，企业才有明显的效益，而产量的获得，是依靠生产能力大的成套设备，而不是依赖多套小型的并列设备单元。

大规模生产时，化工过程采用连续生产，如合成氨、硫酸、乙烯、基本有机原料生产。对小批量、多品种及配方型的精细化学品，有时用到间歇和半连续生产。间歇和半连续生产也适用于一些乡镇企业。

二、化工过程开发概述

化工生产过程开发是指从立项开始，通过实验室研究，经过中间环节，过渡到工业化装置投入生产的全过程。

化工过程开发中，要选择原料路线，确定生产方案，优选工艺流程，选用设备材质，确定设备型式，设定非定型设备，安排系统的调节控制，做出厂房布置并确定其结构之后安排并调试开车。其间还有多次的可行性规划，包括技术、经济、环境、安全等多项评价。

化工过程开发主要包括以下环节。

(1) 实验室研究。

开发的实验室研究与基础理论研究中单纯为合成新物质等的研究不同。开发的研究，尤其是为近期开发的研究中，选题立项来确定研究对象时，除了检索有关的文献资料外，还要