

工业化学过程与计算

廖传华 顾国亮 袁连山 主编



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

工业化学过程与计算/廖传华, 顾国亮, 袁连山主编.
北京: 化学工业出版社, 2005. 6
ISBN 7-5025-7413-1

I. 工… II. ①廖…②顾…③袁… III. ①化工过程
②化工计算 IV. TQ0

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 070852 号

工业化学过程与计算

廖传华 顾国亮 袁连山 主编

责任编辑: 戴燕红

责任校对: 郑捷

封面设计: 尹琳琳

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

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

*

新华书店北京发行所经销
北京市昌平振南印刷厂印刷
三河市宇新装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 21½ 字数 523 千字

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7413-1

定 价: 38.00 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

过程工业是以物料为处理对象，经过一系列化学过程，通过改变物质的状态、结构、性质，生产出工业产品的工业过程的总称。世界过程工业的发展趋势表现为：生产规模更加大型化和集成化，原料和生产方法更加多样化，产品品种更加精细化和专用化。发展新材料是过程工业的战略重任，信息技术的发展也引起了过程工业内部的深刻变化，生物技术应用于化学工程领域形成了新兴的生物化工，对环境的治理及副产物的回收利用日趋完善。

在过程工业化学加工领域工作的科技人员都有一个共同的体会，熟练掌握过程工业化学过程计算的基本知识和技术是十分重要的，因为无论是在工厂从事技术管理，还是在研究单位开展科学研究，特别是在设计单位从事设计工作，都离不开物料、能量和设备的计算。物料与能量的衡算是进行工业过程设计及经济评价的基本依据。一方面，设备设计或装置制造，甚至设计整个工厂，都必须先对生产过程中整体或局部的过程作详细的物料和能量衡算，然后才能确定工艺流程和进行设备计算，从而完成整个设计。另一方面，对生产中的各项技术经济指标，如消耗定额、产品产率、产品成本等做出评价时，同样需要对生产过程作物料和能量衡算。此外，对工业过程进行深入研究时，需要用数学形式定量地准确地表达理论和实验的结果，也就是说对所研究的系统建立数学模型时，物料和能量衡算成为推导数学模型的基本方程。由此可见，物料和能量衡算对过程开发、设计及操作的改进具有很重要的意义。

鉴于上述发展趋势，对于 21 世纪的工科院校大学毕业生而言，无论是从事高新技术产品的研制，还是从事企业的技术管理，其要求就不能只停留在局部了解和掌握本专业范围内的知识上，还必须具有纵观过程工业全局及其开发创新的能力。为了让学生概括性地了解现代过程工业的特点和基本概貌，熟悉过程工业的主要领域及其典型系列产品的制备原理、生产方法和工艺过程，认识过程工业与其他工业部门之间的密切关系，理解资源、能源和环境与过程工业的重要性；我们编写了这本《工业化学过程与计算》。

工业化学过程是融化学、化学工艺学、化学工程学以及资源、能源、环境、信息与管理科学为一体的综合性的应用科学。

本书除理论阐述外，还列举了许多工业应用实例，具有很强的实践性，力求使读者能通过本书的学习，对我国现代过程工业有一个概括性的了解。全书共分 16 章。第 1 章概述了工业化学过程的特征及研究方法，第 2 章至第 4 章讲述了如何进行过程工业中的物料与能量的衡算，第 5 章至第 7 章分别讲述了现代过程工业中的基础无机工业，包括硫酸工业、碱工业、合成氨，第 8 章简要介绍了现代干法水泥工业的生产过程及有关物料和能量的衡算，第 9 章至第 13 章分别讲述的现代过程工业中的有机工业，包括石油炼制、烃类裂解、天然气转化、精细化工及医药工业，第 14 章叙述了工业水处理过程，第 15 章简要介绍了过程工业中“三废”的产业及其治理与综合利用方法，第 16 章介绍了过程工业的经济分析与环境评价。

本书由廖传华、顾国亮、袁连山主编。南京工业大学廖传华（第1、2、3、4、6章），南京工业大学董金善（第5章），南京工业大学朱廷风（第7章），南京凯盛水泥技术工程有限公司周玲（第8章），南京工业大学顾国亮（第9、14章），南京工业大学袁连山（第10、12章），扬子石油化工股份有限公司程静（第11章），华中科技大学周泽斌（第13章），南京工业大学周勇军（第15章），南京工业大学秦瑜（第16章）参加了编写工作。全书由廖传华统稿。南京工业大学黄振仁教授审查了初稿并提出了许多宝贵的建议；李政辉参加了图片处理，周青云等很多同学参加了书稿的打印工作。在此向他（她）们深表谢意。

本书的编写过程得到了南京工业大学教务处及机械与动力工程学院领导的关心、支持与指导，许多专家和工程技术界的朋友对本书的编写工作给予了热情的关心和支持，并提供了许多重要的技术资料。在此一并致以衷心的感谢。

由于科学技术的飞速发展，本书虽经多次审稿、定稿，但由于编者的水平有限，加之内容庞杂，涉及面宽，在内容取舍和文字编排方面仍难以尽善尽美，加之时间仓促，不妥及错误之处在所难免，诚望广大读者批评指正，编者衷心感谢。

编者

2005年于南京工业大学

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 工业化学过程的特征	1
1.1.1 过程工业	1
1.1.2 工业化学过程	1
1.2 工业化学过程的原料及产品	3
1.2.1 无机产品及原料	3
1.2.2 有机产品及原料	3
1.3 工业化学过程的分类	5
1.3.1 化学反应的分类	5
1.3.2 工业化学过程的分类	5
1.4 工业化学产品的开发过程	6
1.5 工业化学过程的系统优化	8
第 2 章 物料衡算	9
2.1 物料、能量衡算在工业化学过程研究中的作用	9
2.2 工业化学过程计算基础	10
2.2.1 过程工业生产中的主要操作变量	10
2.2.2 有关物料计算的基本概念	12
2.3 物料衡算	14
2.3.1 系统与环境	14
2.3.2 稳定过程与非稳定过程	15
2.3.3 物料平衡方程式	15
2.4 物料衡算的基本方法	16
2.4.1 系统的划分	16
2.4.2 计算基准及其选择	17
2.4.3 物料衡算的步骤	17
2.5 无化学反应过程的物料衡算	18
2.5.1 简单过程的物料衡算	18
2.5.2 有多个设备过程的物料衡算	20
2.6 有化学反应过程的物料衡算	21
2.6.1 反应转化率、选择性及收率等概念	21
2.6.2 一般反应过程的物料衡算	23
2.6.3 有平衡反应过程的物料衡算	25
2.7 带有循环、放空及旁路过程的物料衡算	27

2.7.1	循环过程的物料衡算	27
2.7.2	具有循环及排放过程的物料衡算	29
2.7.3	具有旁路过程的物料衡算	32
2.8	物料衡算过程的计算机化	33
	习题	34
	主要参考文献	35
第3章	能量衡算	36
3.1	能量平衡方程式	36
3.1.1	能量的形式	36
3.1.2	与能量衡算有关的重要物理量	37
3.2	能量衡算的基本方法及步骤	38
3.2.1	总能量衡算	38
3.2.2	热量衡算	41
3.2.3	机械能衡算	42
3.3	无化学反应过程的能量衡算	44
3.3.1	无相变的变温变压过程	45
3.3.2	相变过程的能量衡算	46
3.3.3	溶解与混合过程	47
3.4	化学反应过程的能量衡算	47
3.4.1	反应热及其表示	47
3.4.2	反应热的计算	48
3.4.3	化学反应过程的能量衡算	50
3.5	能量衡算过程的计算机化	54
	习题	57
	主要参考文献	58
第4章	物料和能量的联合衡算	59
4.1	稳定流动过程的物能联合衡算	59
4.1.1	物能联算的一般解法	59
4.1.2	独立方程数的决定	62
4.1.3	综合分析示例	65
4.2	不稳定过程的物料及能量衡算	72
4.2.1	不稳定过程的衡算方程	72
4.2.2	连续不稳定过程的物料衡算	73
4.2.3	连续不稳定过程的能量衡算	77
	习题	80
	主要参考文献	80
第5章	硫酸工业	81
5.1	概述	81
5.2	二氧化硫炉气的制备	82
5.2.1	硫铁矿焙烧	82

5.2.2	焙烧工艺流程和条件	84
5.3	炉气的净化与干燥	85
5.3.1	炉气的净化原则及净化指标	85
5.3.2	炉气除尘	85
5.3.3	炉气中氟、砷、硒和酸雾的清除	87
5.3.4	湿法净化流程	89
5.3.5	炉气的干燥	91
5.4	二氧化硫的催化氧化	92
5.4.1	基本原理	92
5.4.2	二氧化硫氧化催化剂与工艺条件	93
5.4.3	二氧化硫转化器及工艺流程	95
5.5	三氧化硫的吸收	97
5.5.1	三氧化硫吸收的基本原理	97
5.5.2	三氧化硫吸收的工艺流程	99
	习题	99
	主要参考文献	100
第6章	制碱工业	101
6.1	制碱工业方法简介	101
6.1.1	路布兰法生产纯碱	101
6.1.2	氨碱法生产纯碱	102
6.1.3	联碱法制取纯碱和氯化铵	102
6.2	氨碱法制纯碱	102
6.2.1	氨碱法生产的流程	102
6.2.2	石灰石煅烧与石灰乳制备	103
6.2.3	盐水精制与吸氨	105
6.2.4	氨盐水碳酸化	108
6.2.5	重碱过滤	110
6.2.6	重碱的煅烧	111
6.2.7	氨回收	113
6.2.8	氨碱法生产纯碱的总流程及特点	115
6.3	联碱法生产纯碱和氯化铵	116
6.3.1	联碱法工艺流程	117
6.3.2	联合生产纯碱和氯化铵的工艺条件	118
6.3.3	氯化铵的结晶与生产流程	119
6.4	电解法制烧碱	122
6.4.1	电解食盐水溶液的理论基础	122
6.4.2	隔膜法电解	123
6.4.3	离子交换膜法电解	126
6.4.4	液氯制造和盐酸合成	131
	习题	132

主要参考文献	132
第 7 章 合成氨工业	134
7.1 概述	134
7.1.1 氨的性质和用途	134
7.1.2 合成氨的生产方法简介	134
7.2 合成氨原料气的制取	136
7.2.1 固体燃料气化法	136
7.2.2 烃类蒸气转化法	139
7.2.3 重油部分氧化法	142
7.3 合成氨原料气的净化	143
7.3.1 原料气的脱硫	143
7.3.2 一氧化碳的变换	143
7.3.3 二氧化碳的脱除	145
7.3.4 原料气的最终净化	145
7.4 氨的合成	146
7.4.1 氨合成反应的化学平衡	146
7.4.2 氨合成的反应机理和动力学方程	146
7.4.3 催化剂及氨合成的工艺条件	147
7.4.4 氨合成工艺流程	149
7.4.5 氨合成塔	150
7.5 氨合成系统基本的物料衡算和热量衡算	152
7.5.1 氨合成塔的物料衡算	152
7.5.2 合成塔的热量衡算	153
7.5.3 合成回路的物料衡算	154
习题	156
主要参考文献	157
第 8 章 水泥工业	158
8.1 原料预均化	158
8.1.1 预均化的基本原理	158
8.1.2 原料采用预均化技术的条件	159
8.2 生料的均化	159
8.2.1 间歇式生料均化库	159
8.2.2 连续式生料均化库	160
8.3 生料粉磨	161
8.3.1 生料磨系统	161
8.3.2 各种烘干粉磨系统的特性及其选用条件	161
8.3.3 烘干粉磨系统的调节控制原则	163
8.4 熟料煅烧过程的工艺衡算	163
8.4.1 水泥熟料的形成过程	163
8.4.2 水泥熟料形成热的计算	165

8.5	回转窑	172
8.5.1	回转窑的煅烧方法	172
8.5.2	回转窑内的燃料燃烧	173
8.5.3	回转窑的结构	175
8.6	悬浮预热窑	175
8.6.1	各种悬浮预热窑的特性	176
8.6.2	悬浮预热窑的结皮及其防止技术	176
8.7	预分解窑	178
8.7.1	工艺概要及生产流程	179
8.7.2	分解窑的类型与结构	179
8.7.3	分解窑的工作原理	180
8.8	熟料冷却机	181
8.8.1	冷却机的分类	181
8.8.2	算式冷却机	182
8.9	水泥粉磨	183
8.9.1	水泥粉磨系统	183
8.9.2	选粉机	184
8.9.3	水泥的冷却	184
	习题	185
	主要参考文献	185
第9章	石油炼制	186
9.1	石油的组成及物理性质	186
9.1.1	原油的烃组成	186
9.1.2	原油的非烃组成	186
9.1.3	石油及其馏分的物理性质	188
9.2	油品的主要类别	189
9.2.1	汽油	189
9.2.2	喷气燃料	190
9.2.3	柴油	191
9.2.4	燃料油	192
9.3	石油的蒸馏	192
9.4	重质油裂化	194
9.5	石油精炼	197
9.6	油品精制	201
9.7	炼油厂的类型及其工艺	205
9.7.1	燃料型炼油厂	205
9.7.2	燃料-润滑油型炼油厂	205
9.7.3	燃料-化工型炼油厂	206
9.8	炼油过程的物料与能量衡算	206
9.8.1	分离及反应过程中的物料衡算	206

9.8.2	管式加热炉的能量计算	207
9.8.3	热量的综合利用	208
	习题	208
	主要参考文献	208
第 10 章	烃类裂解	210
10.1	概述	210
10.2	烃类裂解过程的化学反应	210
10.3	烃类热裂解反应的动力学模型	211
10.3.1	动力学模型的构成	212
10.3.2	电子计算机模型的构成	214
10.3.3	实验	215
10.3.4	实验值与计算值的比较与分析	215
10.3.5	结论	217
10.4	裂解工艺过程参数	217
10.4.1	温度	217
10.4.2	压力	217
10.4.3	停留时间	218
10.5	裂解原料和产品分布	219
10.5.1	裂解原料	219
10.5.2	裂解产品	220
10.6	管式裂解炉	221
10.6.1	结构	221
10.6.2	反应管材料	221
10.6.3	炉型	221
10.7	裂解气的分离和精制	222
10.7.1	概述	222
10.7.2	深冷分离法	222
10.7.3	精馏塔	226
	习题	227
	主要参考文献	227
第 11 章	天然气转化	228
11.1	概述	228
11.2	甲烷转化过程原理	229
11.2.1	转化反应	229
11.2.2	平衡组成及计算	231
11.2.3	影响因素	231
11.2.4	过程析碳及其处理	232
11.2.5	转化催化剂	233
11.3	天然气转化方法	233
11.3.1	天然气转化制氢	233

11.3.2	天然气转化制合成气	234
11.4	天然气脱硫	236
11.4.1	钴-钼加氢转化有机硫	236
11.4.2	氧化锌脱硫	237
11.5	两段转化流程和设备	237
11.5.1	两段转化流程	237
11.5.2	一段转化炉	237
11.5.3	两段转化任务的分配	239
11.6	转化过程的物料及能量衡算	239
11.6.1	一段转化炉的物料计算	239
11.6.2	一段转化炉的热量计算	240
11.6.3	二段炉的物料与热量衡算	241
11.7	天然气的加工处理	241
	习题	243
	主要参考文献	243
第12章 精细化工		244
12.1	概论	244
12.2	精细化工的定义	244
12.3	精细化工的范畴和分类	244
12.4	染料	245
12.4.1	染料名称	245
12.4.2	染料分类	245
12.5	农药	247
12.6	涂料	248
12.7	颜料	249
12.8	表面活性剂	250
12.8.1	表面活性剂的种类	250
12.8.2	表面活性剂的合成技术	253
	习题	258
	主要参考文献	258
第13章 医药工业		259
13.1	概述	259
13.2	化学制药	259
13.2.1	概述	259
13.2.2	化学合成药物简介	259
13.2.3	药物工艺路线的设计选择与工艺研究	261
13.3	天然药物制药	262
13.3.1	概述	262
13.3.2	天然药物的各主要类型化学成分简介	263
13.3.3	天然药物制药	264

13.4	生物制药	266
13.4.1	概述	266
13.4.2	生物药物的特点	266
13.4.3	生物药物的分类与来源	266
13.4.4	生物制药工艺技术基础	267
13.4.5	生物制药工艺技术的发展	268
13.5	药物制剂	269
13.5.1	概述	269
13.5.2	药物剂型的分类	270
13.5.3	药物制剂的发展	270
13.5.4	片剂生产简介	271
	习题	273
	主要参考文献	274
第14章	工业水处理	275
14.1	工业用水的水质要求	275
14.1.1	锅炉用水	275
14.1.2	冷却用水	275
14.2	水的硬性及其软化方法	276
14.2.1	天然水的化学成分	276
14.2.2	天然水的硬性	277
14.2.3	水的软化	277
14.3	水处理化学药剂	278
14.3.1	阻垢剂及分散剂	278
14.3.2	缓蚀剂	279
14.3.3	杀生剂	280
14.3.4	清洗剂	280
14.3.5	钝化和预膜处理药剂	280
14.3.6	水处理药剂的选择	281
14.4	工业冷却水系统	282
14.4.1	冷却水的水质标准	282
14.4.2	水中沉积物的处理与控制	282
14.4.3	水中微生物的处理与控制	283
14.4.4	水系统中金属腐蚀的处理与控制	284
14.4.5	循环冷却水设备的清洗和预膜	284
14.5	工业冷却水处理的应用实例	285
	习题	287
	主要参考文献	288
第15章	过程工业的“三废”治理与综合利用	289
15.1	过程工业的“三废”来源和特点	289
15.1.1	过程工业废水的来源及特征	289

15.1.2	过程工业主要大气污染物的特征	289
15.1.3	过程工业固体废弃物的来源及其特征	289
15.2	过程工业的“三废”治理和综合利用	290
15.2.1	水体的污染源和污染物	290
15.2.2	过程工业废水的处理与利用	291
15.2.3	过程工业废气的治理与利用	302
15.2.4	过程工业固体废弃物的治理与利用	304
	习题	306
	主要参考文献	307
第 16 章	过程工业的经济分析与环境评价	308
16.1	过程工业的经济分析	308
16.1.1	成本估算	308
16.1.2	财务评价	309
16.1.3	不确定性分析及方案比较	311
16.1.4	国民经济评价	313
16.1.5	设计概算	314
16.2	工业过程的环境影响评价	315
16.2.1	环境影响评价的基本原则	315
16.2.2	环境影响评价的具体规定	316
16.2.3	环境影响评价的主要工作内容和工作程序	316
16.2.4	环境影响评价报告书的主要内容	316
16.3	工程项目可行性研究报告的基本要求与内容	321
16.3.1	工程建设项目可行性研究报告的基本要求	321
16.3.2	项目可行性研究报告的内容和深度	322
	参考文献	326

第 1 章 概 述

1.1 工业化学过程的特征

1.1.1 过程工业

工业的发展与进步，对提高人类生活质量起着十分巨大的作用，但同时也带来许多人类难以解决的问题，如工业生产带来的污染，即使投入大量的人力、物力，也常常难以得到好的解决，人类对环境保护重要性的认识，明显滞后于对发展生产重要性的认识。

工业种类繁多，也有许多分类方法，如重工业与轻工业之分，又如机械、建筑、电子、航空、化学等工业的区分，还有一般与先进工业的区别，以及绿色与非绿色工业的区分等。如果比较科学地从生产方式、扩大生产的方法以及生产时物质（物料）所经受的主要变化来分类，则工业生产可以分为过程工业与产品（生产）工业两大类。

过程工业（process industry）也称流程工业，它们由一系列单元操作设备通过管道组合成复杂系统，原料通过一定工艺流程，最终输出产品，它们具有连续运行的特征和工艺、设备、控制、操作、管理等多方面的共同规律，也有易燃、易爆、有毒和易发生事故的工业系统。过程工业包括化学工业、石油炼制、石油化工、天然气加工、污水处理、能源工业、冶金工业、建材水泥、核能工业、生物技术工业以及医药工业等，它包含了每个国家的大部分重工业，是一个国家发展生产和增强国防力量的基础。发展这类工业，需要应用现代技术和大量投资。具体地说，这类工业有下列特点：

- (1) 工业生产使用的原料，主要是自然资源；
- (2) 它的产品主要用作产品生产工业的原料；
- (3) 生产过程主要是连续生产；
- (4) 原料中的物质在生产过程中经过了许多化学变化和物理变化；
- (5) 产量的增加主要靠扩大工业生产规模来达到，或者说靠“放大生产规模”（Scale-up）来达到；
- (6) 这类工业一般说来，污染比较严重，治理比较困难，需要发展新的绿色生产过程，才能从根本上解决生产带来的污染问题。

随着经济全球化、市场迅速变化以及日趋激烈的国际竞争，过程工业面临越来越严峻的挑战：产品的生命周期越来越短；用户对产品质量、品种及价格的要求越来越高；日益严格的安全、环境要求等。因此过程工业需要在设计活动的全过程考虑，包括从市场分析、概念设计、详细设计到控制、操作以及产品和装置废弃等问题。只有充分运用信息技术、计算机技术、工程技术及现代管理理论和方法，改造企业的生产及经营模式，才能保持企业的生存和发展。

1.1.2 工业化学过程

工业化学过程的特点是以化学反应为中心，用化学方法和化学-物理方法对原料进行加工处理，通过物理变化和化学反应来制得化学产品、化工原料或其他化学加工产品。

所谓化学方法，就是根据化学反应原理，创造适当的条件，使原材料物质发生化学反

应，改变其分子结构，以制得新物质的方法。应用化学方法可以使价廉易得的物质转变为具有一定特性、价值较高的物质，为人类创造更多的财富，这就是化学方法在许多场合往往优越于其他方法的一种重要标志。例如，人们使用随地可取的空气和水，借助于某些燃料，使用化学方法就可以制得宝贵的合成氨。经过进一步化学加工，还可制得硝酸和硝酸铵。过程中的副产物二氧化碳还可以作为生产尿素的原料。

但是，工业化学过程一般比较复杂，在工业上实现化学变化的条件往往又比较苛刻，所以用化学方法组织工业生产，要求有较高的技术和装备。一般来说，工业化学过程要求的原料比较纯净，有一定的配料比，要在适当的温度、压力和流动条件下进行。许多时候化学反应本身的反应速率很低，需用催化剂加速，并且反应往往不完全，产品需分离、提纯，未反应物需要回收利用。这样一来，整个化学反应过程必然牵连许多物理加工过程，整个工业化学过程变得十分复杂，实际上是采用一系列的化学、物理和化学-物理加工方法。这也是工业化学过程的一大特点。

例如，在以天然气为原料的合成氨生产过程中，原料气的制造和氨的合成均在数百度的高温下进行，这就需要设置一些加热和换热设备，高温传热技术在这里得到了广泛的应用。天然气转化在中压下进行，氨的合成在高压下进行，这就涉及到气体压缩及高压技术。在生产过程中还使用了多种催化剂，催化技术在生产过程中起着重要的作用。氨合成反应受到化学平衡的限制，反应产物中氨浓度不高，需要从中分出产品和回收未反应物，因而采用了冷凝分氨技术和循环反应操作。由此可见，整个合成氨生产过程把流体输送（包括压缩）、传热、传质和化学反应有机地结合起来，充分体现了工业化学过程的综合性。

如何在工业上实现化学反应是工业化学过程的中心任务。这种过程不仅涉及化学反应的理论和规律，而且涉及从实验室到工厂的整个化学、化学工艺和工程技术等实际问题，这是一种相当复杂的综合过程。人们把一个化学产品或一个化工过程从实验室研究开始过渡到工业装置生产为止的全过程称为过程开发。过程开发一般是根据实验室的基础研究成果和有关的工程技术资料，按照科学的方法，寻求技术可靠、经济合理的途径制取产品或实现化学加工过程，然后扩大试验，评价和设计工业装置，组织工业生产，制得化工产品。这是组织工业生产所遵循的程序和方法。

在国民经济的各个部门中，工业化学过程得到了广泛应用，工业化学产品遍及工农业生产的各个部门和人民生产生活的各个领域，诸如现代化农业需要的化学肥料、农药、杀虫剂、除莠剂、饲料添加剂和兽药等都是工业化学产品。工业部门中除了化学工业及石油化学工业本身需要的化工原料、催化剂及其他化学品以外，矿山及油田开采需要的炸药、浮选剂和油井化学处理剂；冶金和机械工业需要的助熔剂、浸取剂、酸洗剂和表面处理剂；石油炼制需要的氢气、酸、碱和催化剂；造纸工业用的烧碱、漂白剂和黏合剂；林产工业需要的油漆、木材防腐树脂、涂料和黏合剂；纺织工业需要的碱、洗涤剂、漂白剂、染料和树脂；建筑业用的合成建筑材料；以及食品加工业需要的冷冻剂和防腐添加剂等，都是工业化学产品。此外，许多人民日常生活品，如化妆品、药品、肥皂、牙膏、洗涤剂、消毒剂等也都属于工业化学产品。可以说，在当今世界上人民生产生活的各个方面——衣、食、住、行、卫生、通讯、娱乐和安全保卫等都离不开工业化学产品。

工业化学产品的多样性导致化学加工过程的广泛性、多样和复杂性，这给工业化学过程的研究增加了一定的困难。然而，在千差万别的工业化学加工方法之中仍然有其基本的规律和共同性，抓住这些共性，就能掌握工业化学生产过程的要领，这是工业化学过程研究的基

本方法。

一般来说，一个工业化学产品的生产或加工过程大都可以划分为原料预处理、化学反应和产品后加工三个步骤或三个基本环节。

原料的预处理是化学反应前的准备工作。当使用气体（或液体）原料时，预处理包括原料气的制备、净化和配制，要求制得的原料具有一定的组成、浓度和纯度，尽量少含杂质（特别是有害杂质）。当使用矿物原料时，预处理包括选矿、配矿、粉碎、筛分，有时还需干燥或煅烧。原料矿粉应具备一定的组成（或品位）及一定的细度，以利于化学反应。

化学反应是工业化学过程的中心环节。为使反应进行得迅速、完全，需要维持一定的温度、压力和流量等操作条件，多数情况还要使用催化剂。因此在化学反应过程中还要创造良好的传热、传质和流体流动条件，以保证化学反应的顺利进行。

产品的后加工主要是指对产品的分离和提纯以及对未反应物的回收利用。最常见的分离方法有冷冻冷凝、精馏分离和结晶分离等。未反应物的回收利用常常采取循环作业。此外，固体产品的造粒成型、干燥和包装也是产品后加工不可缺少的内容。

1.2 工业化学过程的原料及产品

工业化学过程的原料及产品种类繁多，特别是化工产品品种成千上万。以石油和天然气为原料生产的各种石油化学品不仅种类很多，而且具有自身的特点，已经形成了一大类重要的化学产品。与此同时，以高技术、深加工、小批量生产的具有特殊功能的精细化工产品也以其种类繁多、性能特殊而独立形成一类化工产品。根据当今世界过程工业生产发展的现状和趋势，可将各种工业化学产品分为无机产品和有机产品两大类。

1.2.1 无机产品及原料

主要指传统的基本化工产品，主要包括“三酸”（硫酸、硝酸和盐酸）、“两碱”（纯碱和烧碱）、无机肥料（氮、磷、钾肥）、无机盐和无机非金属材料（水泥、陶瓷）等许多化工产品。其基本特征是以无机矿物作为原料，生产的产品也均为无机物。

矿物原料是许多基本化工产品生产的专用原料。例如，硫酸生产必须使用硫或硫铁矿；磷肥生产离不开磷灰石；钾肥生产要用钾矿；纯碱生产需要盐或盐卤和石灰石；水泥生产需要石灰石。矿物原料品种多，质量和品位各不相同，工业使用之前一般都要进行试验研究，以寻求最恰当的加工路线和最适宜的操作条件。在开发利用某种矿物原料主要成分的同时，应注意综合利用其他成分，并避免污染环境的废料产生。对于一些品位不高的矿物原料，可采用选矿（富集）或配矿（调配）等原料预处理手段来提高品位，使原料得到充分利用。

自然界中蕴藏着大量的含盐水，它包括盐井卤水、盐湖水、油（气）井水和海水，其中含有一定量的氯化钠及其他无机盐类，是制取无机盐产品的天然原料。

1.2.2 有机产品及原料

有机产品及原料又可分为石油化工产品、基本有机化工产品和精细化工产品三类。

1.2.2.1 石油化工产品及其原料

凡是全部或部分以原油（液体石油）或天然气为原料，经过转化反应而制得的新化合物或元素，都可以称为石油化学品。工业上用的石油化工原料主要是天然气、炼油气（或炼厂气）及液体石油三大类。

石油化学制品从原料开始到最终产品，通常需要经过几个大的阶段，过程中生成一些中间产品，而前一阶段的产品往往就是下一阶段加工的原料。例如，从直馏油分重整制得的芳

烃，可以在下一阶段制成己内酰胺，后者又可最终加工为锦纶（尼龙）制品（聚酰胺纤维）。

根据石油化学品的这种加工层次和特性，可以将其细分为上游、中游和下游石油化学产品。上游产品又叫石油化工基本原料，主要来自天然气、炼厂气和石油炼制过程，其主要产品是 $C_1 \sim C_4$ 烷烃、乙烯、丙烯、丁烯、丁二烯、乙炔、芳烃和氢等。中游产品又叫中间产品，可依其来源不同分为若干小类，它们是以乙烯为原料的石油化学中间产品，以乙炔、丙烯、丁烯、烷烃和芳烃为原料的石油化学中间产品。下游产品又称最终产品或消费品，主要包括合成纤维、合成树脂、合成氨及化学肥料、炸药、医药、农药、合成洗涤剂 and 溶剂等。这些下游产品最后可以制成人们衣食住行等日常生活必需的消费品。

这三类石油化学品之间的关系十分密切，各类皆以上一类产品为原料制得，而同一原料又可以通过不同的途径制成不同的产品。它们之间的关系和纵横联系可以通过所谓的产品树加以表示。

1.2.2.2 基本化工产品及其原料

在这些产品中，仍有很多是用天然气或石油为原料，所以它们也属于石油化工产品。各种化工产品的交叉类属关系正反映了化学工业的发展过程。

早年的合成氨（基本化工产品）工业主要以煤、焦炭为原料。第二次世界大战后，合成氨原料结构开始从单一的固体原料迅速转变为以气（天然气）、液（各种油）、固（煤或焦炭）多种形式为原料。于是，天然气、石脑油（轻油）和重油等石油化工原料得到越来越广泛的应用。到了 20 世纪 70 年代，国外合成氨生产几乎全部转向石油化工原料，合成氨变成了石油化工产品。但随着石油化学品生产的快速发展，石油资源显得相对短缺，在某些国家和地区，合成氨生产又有转向使用煤、焦炭、油、气等多种原料的趋势。

基本有机化工产品的原料，在 20 世纪初主要是煤。煤通过干馏（或炼焦）生成焦炉气、煤焦油和焦炭，焦炉气和煤焦油中的有机物就是有机化工产品的主要原料。后来，利用煤和石灰制得电石，由电石可生产乙炔，以乙炔为原料可制造出有关的有机化工产品。与此同时，煤和焦炉气制得含一氧化碳和氢的合成气也是当时有机化工产品的重要原料。由于用石油化工原料生产的有机化工产品品种多，成本低，所以它们逐渐取代了煤焦而大量用于制造有机化工产品。到目前为止，绝大多数有机化工产品都是从石油或天然气制得，因此它们也属于石油化工产品。

煤、空气和水是重要的基本化工原料。除了空气和水以外，煤在自然界中藏量十分丰富。以煤为原料，除了可以制得众多的基本化工产品而外，还可以制得石油化工生产中难以得到的萘、苯酚、喹啉、吡啶、吡啶等化学产品。由于煤炭资源丰富、用途广泛，所以有人预言：随着石油和天然气的大量消耗，将会出现对煤炭资源充分利用的“第二个黄金时代”。

一些农副产品，如稻秆、麦秆、甘蔗渣、向日葵和桐子壳等，含有纤维素、半纤维素和钾盐，纤维素是多缩己糖，水解可得单糖，单糖发酵可制得酒精。半纤维素中的多缩戊糖脱水后可以转化为糠醛，后者是有机化工重要原料之一，可用于生产树脂和纤维等化工产品。农副产品中的钾盐主要为碳酸钾、氯化钾和硫酸钾，是提取钾盐的理想原料。

1.2.2.3 精细化工产品

精细化工产品的生产是以基本化工原料、有机合成材料和高分子化工材料为基础，做进一步的深度加工，以制得具有某些特殊性能或专门功能的化学品。精细化工产品具有品种多、产量小、纯度高、加工技术特殊、商品性强、更新快等特点，在国民经济各部门和人民物质文化生活中得到广泛的应用。