

教育部高等学校

化工类专业教学指导委员会推荐教材

# 化工工艺学

刘晓林 刘伟 主编



化学工业出版社

教育部高等学校化工类专业教学指导委员会推荐教材

# 化工工艺学

刘晓林 刘伟 主编



化学工业出版社

·北京·

全书共7章,内容包括:绪论、典型无机化工产品生产工艺、石油炼制过程及产品生产工艺、基本有机化工典型产品生产工艺、煤化工工艺、合成气及其重要衍生物的生产工艺以及典型聚合物产品生产工艺。本教材以典型化工产品生产工艺和典型化工过程为主线,介绍化工工艺过程的基本原理,注重新工艺新技术的应用以及资源的可持续利用。

本书可作为化学工程与工艺专业的本科教材,也可供化工过程的生产、设计、研究人员及科技人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

化工工艺学/刘晓林,刘伟主编. —北京:化学工业出版社,2015.10  
教育部高等学校化工类专业教学指导委员会推荐教材  
ISBN 978-7-122-24736-0

I. ①化… II. ①刘…②刘… III. ①化工过程-生产工艺-高等学校-教材 IV. ①TQ02

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第171049号

---

责任编辑:何丽 徐雅妮

文字编辑:丁建华

责任校对:边涛

装帧设计:关飞

---

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)

印装:三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张22 $\frac{3}{4}$  字数575千字 2015年10月北京第1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: 45.00 元

版权所有 违者必究

# 教育部高等学校化工类专业教学指导委员会 推荐教材编审委员会

主任委员 王静康 冯亚青

副主任委员 张凤宝 高占先 张泽廷 于建国 曲景平 陈建峰

李伯耿 山红红 梁 斌 高维平 郝长江

委 员 (按姓氏笔画排序)

马晓迅 王存文 王光辉 王延吉 王承学 王海彦

王源升 韦一良 乐清华 刘有智 汤吉彦 李幼年

李文秀 李文翠 李清彪 李瑞丰 杨亚江 杨运泉

杨祖荣 杨朝合 吴元欣 余立新 沈一丁 宋永吉

张玉苍 张正国 张志炳 张青山 陈 砾 陈大胜

陈卫航 陈丰秋 陈明清 陈波水 武文良 武玉民

赵志平 赵劲松 胡永琪 胡迁林 胡仰栋 钟 宏

钟 秦 姜兆华 费德君 姚克俭 夏淑倩 徐春明

高金森 崔 鹏 梁 红 梁志武 程 原 傅忠君

童张法 谢在库 管国锋

# 序

化学工业是国民经济的基础和支柱性产业，主要包括无机化工、有机化工、精细化工、生物化工、能源化工、化工新材料等，遍及国民经济建设与发展的重要领域。化学工业在各国国民经济中占据重要位置，自 2010 年起，我国化学工业经济总量居全球第一。

高等教育是推动社会经济发展的重要力量。当前我国正处在加快转变经济发展方式、推动产业转型升级的关键时期。化学工业要以加快转变发展方式为主线，加快产业转型升级，增强科技创新能力，进一步加大节能减排、联合重组、技术改造、安全生产、两化融合力度，提高资源能源综合利用效率，大力发展循环经济，实现化学工业集约发展、清洁发展、低碳发展、安全发展和可持续发展。化学工业转型迫切需要大批高素质创新人才，培养适应经济社会发展需要的高层次人才正是大学最重要的历史使命和战略任务。

教育部高等学校化工类专业教学指导委员会（简称“化工教指委”）是教育部聘请并领导的专家组织，其主要职责是以人才培养为本，开展高等学校本科化工类专业教学的研究、咨询、指导、评估、服务等工作。高等学校本科化工类专业包括化学工程与工艺、资源循环科学与工程、能源化学工程、化学工程与工业生物工程等，培养化工、能源、信息、材料、环保、生物工程、轻工、制药、食品、冶金和军工等领域从事工程设计、技术开发、生产技术管理和科学研究等方面工作的工程技术人才，对国民经济的发展具有重要的支撑作用。

为了适应新形势下教育观念和教育模式的变革，2008 年“化工教指委”与化学工业出版社组织编写和出版了 10 种适合应用型本科教育、突出工程特色的“教育部高等学校化学工程与工艺专业教学指导分委员会推荐教材”（简称“教指委推荐教材”），部分品种为国家级精品课程、省级精品课程的配套教材。本套“教指委推荐教材”出版后被 100 多所高校选用，并获得中国石油和化学工业优秀教材等奖项，其中《化工工艺学》还被评选为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。

党的十八大报告明确提出要着力提高教育质量，培养学生社会责任感、创新精神和实践能力。高等教育的改革要以更加适应经济社会发展需要为着力点，以培养多规格、多样化的应用型、复合型人才为重点，积极稳步推进卓越工程师教育培养计划实施。为提高化工类专业本科生的创新能力和工程实践能力，满足化工学科知识与技术不断更新以及人才培养多样化的需求，2014 年 6 月“化工教指委”和化学工业出版社共同在太原召开了“教育部高等学校化工类专业教学指导委员会推荐教材编审会”，在组织修订第一批 10 种推荐教材的同时，增补专业必修课、专业选修课与实验实践课配套教材品种，以期为我国化工类专业人才培养提供更丰富的教学支持。

本套“教指委推荐教材”反映了化工类学科的新理论、新技术、新应用，强化

安全环保意识；以“实例—原理—模型—应用”的方式进行教材内容的组织，便于学生学以致用；加强教育界与产业界的联系，联合行业专家参与教材内容的设计，增加培养学生实践能力的内容；讲述方式更多地采用实景式、案例式、讨论式，激发学生的学习兴趣，培养学生的创新能力；强调现代信息技术在化工中的应用，增加计算机辅助化工计算、模拟、设计与优化等内容；提供配套的数字化教学资源，如电子课件、课程知识要点、习题解答等，方便师生使用。

希望“教育部高等学校化工类专业教学指导委员会推荐教材”的出版能够为培养理论基础扎实、工程意识完备、综合素质高、创新能力强的化工类人才提供系统的、优质的、新颖的教学内容。

**教育部高等学校化工类专业教学指导委员会**

**2015年6月**

# 前言

化工工艺学是研究由原料经过化学反应及相应的加工过程制取化工产品的一门科学，是化学工程与工艺本科专业的核心课程。

教材的编写着眼于现代大化工一体化的发展趋势，通过系统地介绍无机化工、石油炼制、基本有机化工、煤化工、合成气以及聚合物化工中的典型产品生产工艺，使读者能够掌握化工工艺学的基本理论和基本知识，并了解化工行业中一些重要产品的生产原理、工艺特点、关键设备、环境保护及经济性评价方法等，还能够了解典型化工产品的生产工艺现状、发展趋势以及新技术的应用。本教材的内容除涵盖一般化工工艺学的基本知识和典型产品生产工艺以外，主要特点是从化学工业发展的进程、特点以及能源和产品供需现状角度进行教材的结构组织和内容编写，特别将合成气及其重要衍生物的生产工艺作为独立章节，希望通过合成气或甲醇的生产建立由天然气、煤碳或石油生产基本有机化工产品的桥梁，达到资源的合理利用，实现环境保护和可持续发展的目的。

本教材内容既有一定的广度，同时又具有一定的深度，可满足高校化学工程与工艺专业的教学要求。

本教材共分7章，由北京化工大学刘晓林和刘伟担任主编，丁文明和王周君参编。第1章和第4章（除4.4加氢和脱氢及4.7烃类氯化两部分外）由刘晓林编写，并承担全书的统稿工作；第2章和第4章的4.7烃类氯化由刘伟编写；第3章和第4章的4.4加氢和脱氢部分由丁文明编写；第5章、第6章和第7章由王周君编写。

编写本书时参考了国内外相关专著、期刊等文献，分别列在每章后的参考文献部分，并致谢意！

由于编者知识水平的局限，书中不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2015年6月于北京

# 目录

## 第1章 绪论 / 1

1.1 现代化学工业概述 .....	1
1.2 化工工艺学的研究对象与研究内容 .....	2
1.3 化工产品生产工艺流程的原则 .....	3
1.4 化工产品生产工艺流程的组织与评价 .....	3
1.4.1 工艺流程的基本组成 .....	3
1.4.2 工艺流程的组织原则和评价方法 .....	4
1.5 现代化学工业的特点和发展方向 .....	5
思考题 .....	5

## 第2章 典型无机化工产品生产工艺 / 6

2.1 硫酸 .....	6
2.1.1 概述 .....	6
2.1.2 硫酸生产工艺流程 .....	7
2.1.3 硫铁矿制二氧化硫炉气 .....	9
2.1.4 二氧化硫炉气净化 .....	11
2.1.5 二氧化硫转化制三氧化硫 .....	18
2.1.6 三氧化硫吸收 .....	25
2.1.7 安全与三废综合利用 .....	31
2.2 硝酸 .....	34
2.2.1 概述 .....	34
2.2.2 稀硝酸生产工艺流程 .....	35
2.2.3 氨接触氧化 .....	37
2.2.4 一氧化氮氧化 .....	41
2.2.5 氮氧化物的吸收 .....	43
2.2.6 尾气的治理和能量利用 .....	47
2.3 纯碱 .....	48
2.3.1 概述 .....	48
2.3.2 氨碱法制纯碱 .....	49
2.3.3 联合制碱法制纯碱 .....	57
2.4 烧碱 .....	58
2.4.1 概述 .....	58
2.4.2 电解法制碱的理论基础 .....	59



2.4.3 隔膜法电解技术 .....	61
2.4.4 离子膜法电解技术 .....	63
思考题 .....	64
参考文献 .....	65

### 第3章 石油炼制过程及产品生产工艺 / 66

3.1 概述 .....	66
3.1.1 石油及其产品 .....	66
3.1.2 原油的加工方案 .....	71
3.2 物理加工过程 .....	73
3.2.1 脱盐和脱水 .....	73
3.2.2 原油蒸馏过程 .....	76
3.2.3 渣油的丙烷脱沥青 .....	85
3.3 重质油裂化过程 .....	90
3.3.1 热裂化加工 .....	90
3.3.2 催化裂化 .....	94
3.3.3 加氢裂化 .....	107
3.4 产品精制过程 .....	111
3.4.1 催化重整 .....	111
3.4.2 加氢精制 .....	118
3.4.3 异构化、烷基化与甲基叔丁基醚生产 .....	120
思考题 .....	125
参考文献 .....	126

### 第4章 基本有机化工典型产品生产工艺 / 127

4.1 概述 .....	127
4.2 烃类热裂解 .....	131
4.2.1 烃类热裂解的原理 .....	135
4.2.2 管式裂解炉生产乙烯的工艺 .....	142
4.2.3 裂解炉工艺流程及管式裂解炉 .....	147
4.2.4 裂解气预分馏工艺流程 .....	155
4.2.5 裂解气的压缩与净化工艺流程 .....	158
4.2.6 裂解气分离与精制工艺流程 .....	171
4.2.7 乙烯工业的发展趋势和生产新技术 .....	179
4.3 芳烃转化 .....	182
4.3.1 概述 .....	182
4.3.2 芳烃转化反应的类型 .....	183
4.3.3 $C_6$ 芳烃异构化和 $C_6$ 混合芳烃的分离 .....	184
4.3.4 苯烷基化制乙苯 .....	190
4.3.5 甲苯催化脱甲基制苯 .....	191
4.4 加氢和脱氢 .....	194

4.4.1	概述	194
4.4.2	加氢与脱氢的机理分析	194
4.4.3	苯加氢制环己烷	199
4.4.4	乙苯脱氢制苯乙烯	201
4.5	烃类的催化氧化	204
4.5.1	概述	204
4.5.2	乙烯配位催化氧化制乙醛	209
4.5.3	环氧乙烷/乙二醇	213
4.6	羰基化反应	221
4.6.1	概述	221
4.6.2	丙烯羰基合成制丁醇和辛醇	222
4.6.3	甲醇低压羰基化制醋酸	228
4.6.4	羰基化技术新进展	231
4.7	烃类氯化	231
4.7.1	概述	231
4.7.2	乙烯氧氯化制氯乙烯	234
4.7.3	丙烯氯化制环氧氯丙烷	240
	思考题	244
	参考文献	245

## 第5章 煤化工工艺 / 246

5.1	概述	246
5.1.1	煤炭资源与煤的性质	246
5.1.2	煤化工分类及其主要产品	251
5.1.3	煤化工发展简史及煤化工在中国的发展	253
5.2	煤的热分解	254
5.2.1	煤的热解过程	254
5.2.2	煤在热解过程中的化学反应	255
5.2.3	影响煤热解的因素	256
5.2.4	热解过程中煤表面结构的变化	257
5.3	煤的干馏	258
5.3.1	煤的低温干馏	258
5.3.2	煤的高温干馏	261
5.4	煤的气化	270
5.4.1	概述	270
5.4.2	煤气化原理	271
5.4.3	煤气化方法	273
5.4.4	煤气化工艺	275
5.4.5	煤气化联合循环发电	278
5.5	煤的液化	279
5.5.1	煤的直接液化	279

5.5.2 煤的间接液化 .....	282
5.6 煤化工发展趋势 .....	284
5.6.1 煤化工发展存在的问题 .....	284
5.6.2 煤的清洁高效利用 .....	285
思考题 .....	285
参考文献 .....	286

## 第 6 章 合成气及其重要衍生物的生产工艺 / 287

6.1 概述 .....	287
6.1.1 合成气与碳一化工 .....	287
6.1.2 合成气的生产方法 .....	289
6.2 天然气转化制合成气 .....	290
6.2.1 天然气制合成气概述 .....	290
6.2.2 天然气蒸汽转化的基本原理 .....	291
6.2.3 天然气蒸汽转化的工艺条件 .....	295
6.2.4 天然气蒸汽转化的工艺流程 .....	296
6.3 煤气化制合成气 .....	298
6.3.1 煤气化制合成气的基本原理 .....	298
6.3.2 煤气化制合成气的工艺条件 .....	298
6.3.3 煤气化制合成气的工艺流程 .....	299
6.4 重油部分氧化制合成气 .....	300
6.4.1 重油部分氧化制合成气概述 .....	300
6.4.2 重油部分氧化制合成气的基本原理 .....	300
6.4.3 重油部分氧化制合成气的工艺条件 .....	301
6.4.4 重油部分氧化制合成气的工艺流程 .....	302
6.5 合成气的净化与调控 .....	303
6.5.1 酸性气体的脱除 .....	303
6.5.2 一氧化碳变换反应 .....	307
6.5.3 合成气的精制方法 .....	312
6.6 合成氨与尿素 .....	314
6.6.1 合成氨概述 .....	314
6.6.2 合成氨的基本原理 .....	315
6.6.3 合成氨的工艺条件 .....	319
6.6.4 合成氨塔 .....	320
6.6.5 合成氨的工艺流程 .....	322
6.6.6 尿素的合成 .....	324
6.7 甲醇及其利用 .....	326
6.7.1 概述 .....	326
6.7.2 合成甲醇的基本原理 .....	327
6.7.3 合成甲醇的工艺条件 .....	328
6.7.4 合成甲醇的工艺流程 .....	329

6.7.5 甲醇制汽油 (MTG) 技术 .....	330
6.7.6 甲醇制烯烃 (MTO) 技术 .....	331
思考题 .....	332
参考文献 .....	333

## 第 7 章 典型聚合物产品生产工艺 / 334

7.1 概述 .....	334
7.1.1 高分子的基本概念 .....	334
7.1.2 聚合物的命名与分类 .....	335
7.1.3 高分子材料的制备 .....	337
7.1.4 高分子材料的发展 .....	338
7.2 聚合反应的理论基础 .....	338
7.2.1 聚合原理 .....	338
7.2.2 聚合物的改性 .....	340
7.2.3 聚合反应实施方法 .....	341
7.3 聚合物的生产过程 .....	342
7.3.1 聚合物生产的特点 .....	342
7.3.2 聚合物的生产过程 .....	343
7.4 典型聚合物产品的合成工艺 .....	344
7.4.1 聚乙烯 .....	344
7.4.2 聚酯纤维 .....	345
7.4.3 丁苯橡胶 .....	347
思考题 .....	350

## 参考文献 / 350

# 第 1 章

## 绪 论

### 1.1 现代化学工业概述

化学工业是指物质转化和分离的过程工业，是国民经济的基础性和支柱性产业，主要包括无机化工、有机化工、精细化工、生物化工、能源化工、资源化工、材料化工等，广泛涉及国民经济、社会发展和国家安全的各个领域，如资源、能源、生态环境、健康以及新材料、生物工程与技术、食品质量与安全、信息与国防等领域。

化学工业既是一门古老的传统工业，又是一门新兴的工业。化学工业自诞生起一直都在世界各国国民经济中占据重要位置，例如美国、德国的化工产业比重均在其国民经济中占据第二位。为了满足人类生活质量不断提高的需要，化学工业技术不断发展与创新，60多年来，化学工业在我国也以年均超过10%的速度发展，并已经超过整个工业的平均发展速度；从业人数约占全国职工总数的6%，完成了约占全国12%的工业产值和23%的利税；自2010年起，我国化学工业产值超越美国跃居全球第一。

现代化学工业生产的产品种类多、数量大、用途广，已渗透到国民经济生产和人类生活的各个领域，与国民经济各部门存在密切的关系，并在国民经济建设中占有十分重要的地位。

用作化工生产的原料称为化工原料，其可以是自然资源，也可以是化工生产的阶段产品。例如由食盐生产纯碱、烧碱、氯气和盐酸；由硫铁矿生产硫酸；由煤或焦炭生产合成氨、硝酸、乙炔和芳烃；由石油和天然气生产小分子烯烃、芳烃、乙炔、甲醇和合成气；由淀粉或蜜糖生产酒精、丙酮和丁醇等。其中，硫酸、盐酸、烧碱、合成氨、工业气体（如氧、氮、氢、一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫）等无机物及乙炔、乙烯、丙烯、丁烯（丁二烯）、苯、甲苯、二甲苯、苯酚和醋酸等有机物，经各种反应途径可衍生生成千上万种无机或有机化工产品、高分子化工产品和精细化工产品，故又将它们称为基础化工原料。

由基础化工原料制得的结构简单的小分子化工产品称作一般化工原料。例如，各种无机盐和无机化学肥料，各种有机酸及其盐类，醇、酮、醛和酯等。它们可以直接作为商品出售，例如，氧化铁红（ $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ）、锌钡白（俗称立德粉，是硫化锌和硫酸钡的混合物）等无机盐用作颜料和染料，氟利昂（Freon，甲烷和乙烷的氟、氯或溴代化合物）用作制冷剂和气雾剂，丙烯酸酯用作建筑用涂料，氯化石蜡用作阻燃材料，丙酮用作工业溶剂等；也可作

为原料继续参与化学反应合成大分子或高分子化合物，例如，各种有机染料和颜料、医药、农药、香料、表面活性剂、合成橡胶、塑料、化学纤维等。

基础化工原料和一般化工原料统称为基本化工产品。

除利用一般的无机和有机反应外，工业上还可以通过生化反应来生产化工产品。这一类产品统称为生化制品。例如，利用微生物发酵和生物酶催化，可以制得乙醇、丙酮、丁醇、柠檬酸、谷氨酸、丙烯酸铵、各类抗生物药物、人造蛋白质、油脂、调味剂（如味精等）、食品添加剂和加酶洗涤剂等。随着科学技术的发展，利用生化反应制取的有机化工产品品种将越来越多。

化学工业既是原材料工业，又是加工工业；既有生产资料的生产，也有生活资料的生产，所以化学工业的范围很广，在不同时代和不同国家不尽相同，其分类也比较复杂。按照以前习惯将化学工业分为无机化学工业和有机化学工业两大类。随着化学工业的发展，新的领域和行业中跨门类的部分越来越多，两大类的划分已不能适应化学工业发展的需要。如果按照产品应用来分，又可分为化学肥料工业、染料工业、农药工业等；若从原料角度可分为天然气化工、石油化工、煤化工、无机化工、生物化工等；也有从产品的化学组成来分类，如低分子单体、高分子聚合物等；还有按加工过程的方法来分类，如食盐电解工业、农产品发酵工业等。按生产规模或加工深度又可分为大化工和精细化工等。按照2012年化学工业出版社出版的《中国化工产品大全》分类，我国化工产品可分为26类约13300余种（类）产品，这26类分别是：A 煤炭及石油、天然气产品；B 无机化工原料；C 矿产资源化工原料；D 生物资源化工原料；E 再生资源化工原料；F 颜料；G 染料；H 含能化学品；I 农业用化工产品；J 化学药剂；K 有机化工原料；L 高分子化工产品；M 涂料；N 胶黏剂；O 香精香料；P 表面活性剂；Q 化工辅助材料、助剂、添加剂；R 化学建材；S 食品添加剂；T 纺织印染助剂；U 油田化学品；V 造纸化学品；W 皮革化学品；X 电子与信息化学品；Y 水处理用化学品；Z 其他工业、日用、生活用专用化学品。

## 1.2 化工工艺学的研究对象与研究内容

由原料到化工产品的转化工艺称为化工工艺。化工工艺学以技术先进、工艺合理为原则，是研究从化工原料加工成化工产品的生产过程中所涉及的基本原理、生产方法、工艺流程及设备装置的一门工程科学，是建立在化学、物理、机械、电工电子以及工业经济等科学的基础之上的、与生产和生活实际紧密相关的、体现当代技术水平的一门科学，是化学理论与化工生产实践结合的产物，与化学工业的发展密切相关。

化工工艺学的研究对象为具体化工产品的生产，是从许多产品的生产实践中提炼出的共性和凸显其个性的问题，以指导新工艺的开发的学问。因此，化工工艺学本质上是研究产品生产的“技术”、“过程”、“方法”等，主要研究内容包括三个方面：①生产的工艺流程；②生产的工艺操作条件和技术管理；③安全和环境保护措施。化工生产首先要有一个工艺合理、技术先进、经济效益较高的“工艺流程”，旨在保证从原料进入流程直到产品产出的整个过程是顺畅的以及经济上是合理的，原料的利用率是高的，能耗和物料是比较少的。这个流程通过一系列设备和装置的串联或并联，组成一个有机的流水线。其次是要有一套合理的、先进的、经济上有利的“工艺操作条件与控制手段”和“质量保证体系”，它包括原料和原料准备、反应的温度和压力、催化剂、投料配比、反应时间、生产周期、分离水平和条

件、后处理与加工包装等，以及对这些操作参数监控和调节的手段。除此之外，在整个生产过程中，为保证人身安全和设备设施的安全运行，需要制定安全冗余措施，并对生产过程产生的污染要进行综合治理。

## 1.3 化工产品生产工艺流程的原则

化工生产早期以经验为依据，在生产实践和科学理论的长期发展中，逐渐由手工技术向以科学理论为基础的现代生产技术转变。化学工业的各个部门都有其各自的工艺，同一个化工产品可以用不同的起始原料生产，用同一种原料生产某一化工产品可以采用不同的生产工艺技术。目前，化工产品的生产工艺过程超过上万个，这些生产工艺给人类生活带来了革命性的变化。但是，绝大部分化工产品的生产过程存在着不同程度的污染问题，并具有高温、高压、低温、易燃、易爆、有毒等特点，因此，在生产有用产品的同时也对环境存在威胁。为此，对工艺技术、机械设备、设备材料、仪表与控制等都应严格要求，同时还需要考虑资源与能量的合理利用、环境保护、污染治理等问题。

化工产品生产工艺大体分四个步骤：第一步是原材料、燃料、能源的准备和预处理过程；第二步是化学反应过程，在这一步骤中得到目的产物，同时还会联产副产品和其他非目的产物；第三步是分离与精制目的产物；第四步是进行产品包装和储运，将非目的产物排出系统外。

化学工业的生产技术和许多深度加工的产品更新换代快，要求化学工业必须不断发展并采用先进科学技术，从而提高生产效率和经济效益。不断寻求和探索技术上最先进和经济上最合理的方法、原理、流程和设备是化学工业工艺创新的具体途径，化工新技术开发程序是一套科学的程序，它是以市场为导向，以创新为宗旨、以工业化和商业化为目的的创新过程。世界上经济发达的国家在化学工业的研究开发费用、科研人员以及专利和文献的数量等方面都位居各工业部门的前列。

## 1.4 化工产品生产工艺流程的组织与评价

### 1.4.1 工艺流程的基本组成

每一个化工产品都有其特有的工艺流程。对同一个产品，由于选定的工艺路线不同，工艺流程中各个单元过程的具体内容和相互关联的方式也不同。此外，工艺流程的组织与实施工业化的时间、地点、资源条件、技术条件等有密切关系。但是，当对一般化工产品的工艺流程进行分析和比较之后，发现组成整个流程的各个单元过程或工序在所起的作用上有许多共同之处，即组成流程的各个单元具有的基本功能存在一定规律性，这种规律性可以用图 1-1 形式进行表述。

① 原料预处理单元（生产准备）包括反应所需的主要原料、氧化剂、氯化剂、溶剂、水等各种辅助原料的储存、净化、干燥等。

② 催化剂准备（再生）单元包括反应时用的催化剂和各种助剂的制备、溶解、储存、配制以及催化剂再生等。

③ 反应单元（反应过程）是化学反应进行的场所，整个流程的核心。以反应过程为

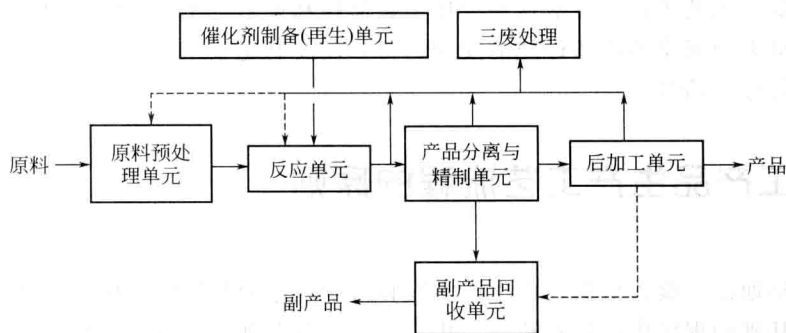


图 1-1 一般化工工艺流程中的主要单元组合形式

主，附设必要的加热、冷却、反应产物输送以及反应控制等。

④ 产品分离与精制单元（分离过程）将反应产物从反应系统分离出来，进行精制和提纯，以得到目的产品。并将未反应的原料、溶剂以及随反应物带出的催化剂、副反应产物等分离出来，尽可能实现原料和溶剂等物料循环利用。

⑤ 副产品回收单元 对反应产生的一些副产物，或不循环利用的一些少量未反应的原料、溶剂以及催化剂等物料，进行必要的精制处理以回收使用，需要设置一系列分离、提纯操作，如精馏、吸收等。

⑥ 后加工单元 将分离过程获得的目的产物按产品质量要求的规格、形状进行必要的加工制作，以及储存和包装出厂。

⑦ 辅助过程 除了上述六个主要生产过程外，在一般流程中还有为回收能量而设置的过程（如废热利用），为稳定生产而设置的过程（如缓冲、稳压、中间储存），为治理三废（废气、废液和废渣）而设置的过程（如废气焚烧）以及产品储存过程等。

## 1.4.2 工艺流程的组织原则和评价方法

对化工产品生产的工艺流程进行评价，旨在根据工艺流程的组织原则衡量被考察的工艺流程是否达到最优效果。对新设计的工艺流程，通过评价可以不断改进和完善，使之成为一个优化组合的流程；对于现有的工艺流程，通过评价还可以清楚该工艺流程有哪些特点，还存在哪些不合理或可以改进的地方，与国内外类似工艺过程相比又有哪些值得借鉴之处等，由此找到改进工艺流程的措施和方案，使其得到不断优化。

在化工生产中评价工艺流程的标准是，技术上先进、经济上合理、安全上可靠、符合国情且切实可行。因此，在组织工艺流程时应遵循以下原则。

### (1) 物料及能量的充分利用

① 尽量提高原料的转化率和主反应的选择性。因而应采取先进的技术，合理的单元，有效的设备，选用最适宜的工艺条件和高效的催化剂。

② 充分利用原料，对未转化的原料应采用分离、回收等措施以提高总转化率。副反应物也应当加工成副产品，对采用的溶剂、助剂等应建立回收系统，减少废物的产生和排放。对三废应尽量考虑综合利用，以避免污染环境。

③ 认真研究换热流程及换热方案，最大限度地回收热量。如尽可能采用交叉换热、逆流换热，注意安排好换热顺序，提高传热速率等。

④ 注意设备位置的相对高低，充分利用位能输送物料。如高压设备的物料可自动进入



低压设备，减压设备可以靠负压自动抽进物料，高位槽与加压设备的顶部设置平衡管可有利于进料等。

(2) **工艺流程的连续化和自动化** 对大批量生产的产品，工艺流程宜采用连续操作、大型化设备和仪表自动化控制，以提高产品产量并降低生产成本，如果条件具备还可采用计算机控制；对精细化工产品以及小批量多品种产品的生产，工艺流程应该具有一定的灵活性和多功能性，以便改变产量和更改产品品种。

(3) **易燃易爆品的安全措施** 对一些因原料组成或反应特性等因素潜在的易燃、易爆等危险品，在组织流程时要采取必要的安全措施。如在设备结构上或适当的管路上考虑防爆装置，增设阻火器、保安氮气等。工艺条件也要作相应的严格规定，尽可能安装自动报警及连锁装置，以确保生产安全。

(4) **适宜的单元操作及设备类型** 确定每一个单元操作中的流程方案及所需设备的类型，合理安排各单元操作中设备的先后顺序。应考虑全流程的操作弹性和各个设备的利用率，并通过调查研究和生产实践来确定弹性的适应幅度，尽可能使各台设备的生产能力相匹配，以免造成浪费。

根据上述工艺流程的评价标准和组织原则，可以对某一工艺流程进行综合评价。主要内容是根据实际情况讨论该流程哪些地方采用了先进的技术，并确认流程的合理性及确保安全生产的工艺条件；论证流程中有哪些物料和热量得到充分利用以及利用的措施和可行性。此外，也要说明因条件所限还存在哪些有待改进的问题。

## 1.5 现代化学工业的特点和发展方向

原料路线、生产方法和产品品种的多方案性与复杂性；装置规模大型化、生产过程综合化、化工产品精细化；技术与资金密集，经济效益好；注重能量利用，积极采用节能技术、安全生产、环保要求严格等构成了现代化学工业的特点。

面向市场激烈竞争以及人们生存环境不断恶化的趋势，未来化学工业将沿着合理利用资源、开发绿色技术、生产绿色化工产品等可持续发展的重要途径发展。

### ● 思考题

1-1 化工工艺学的研究对象和主要内容分别是什么？

1-2 化工工艺流程一般由哪些主要单元组成？

1-3 如何评价某一化工工艺流程？

1-4 现代化学工业的特点是什么？