



高等学校教材

化学工程基础

李德华 编



化学工业出版社

高等学校教材

化学工程基础

李德华 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

化学工程基础/李德华编. —北京: 化学工业出版社,
1999. 9
ISBN 7-5025-2636-6

I. 化… II. 李… III. 化学工程-基础理论
IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 43661 号

**高等学校教材
化学工程基础**

李德华 编

责任编辑: 刘俊之

责任校对: 凌亚男

封面设计: 郑小红

*

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)

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

*

新华书店北京发行所经销

北京市密云云浩印制厂印刷

北京市密云同文印刷厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 16½ 字数 381 千字

2000 年 1 月第 1 版 2000 年 1 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—4000

ISBN 7-5025-2636-6/G · 674

定 价: 24.00 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

本书系作者在多年教学实践基础上，参考了国内外有关化学工程教材、专著及期刊资料，并结合国家教育部所属化学教学指导委员会制定的高等学校化学专业化学工程基础教学基本要求而编写的。

作为一本适应理科化学与应用化学专业教学需要的《化学工程基础》教材，一方面应当认真总结已有教材的优势，同时也需要具有通向未来的作用，因此本书尽量反映该学科当前发展水平。在实践多年的原教材基础上，现根据最新国家标准和化学工程名词，以及师生们的宝贵意见和建议，重新编写成书。首先介绍了化学工业与化学工程，为建立工业与工程概念作为敷设。对流体流动基本原理及应用、传热基本原理及应用、传质基本原理及应用和化学反应工程基本原理及应用等内容分章进行叙述，并于传质过程又辟新章介绍化学化工新型分离技术——膜分离方法和超临界流体萃取。同时在教材的适当地方引用新的教学手段——微型计算机，以便较好地适应面向 21 世纪培养高校理科化学专业人员的需要。

本书以化学工程学科中的基本单元操作、基本反应器原理，典型化工设备结构与选型，以及简单工艺计算为主要内容。在照顾该课程学科内容独立性与完整性的基础上，编写了化学工业与化学工程、流体流动过程、传热、吸收、精馏、萃取、新型分离技术和化学反应工程学——反应器基本原理等。在各章的叙述中尽量注意理论与实践相结合，着重加强技术经济观点的训练，并根据有关问题计算的需要，设计了有针对性的例题，编制和提供了有关问题的计算机求解程序和解答实例，以供读者进一步了解有关算法和掌握分析、解决工程问题的方法。本书文字叙述力求清晰、突出重点，以利于教学和不同层次读者自学。

在本书编写过程中，承蒙武汉大学郑洁修教授对书稿进行了详细审阅，并提出许多宝贵意见。湖北大学韩百光教授，华中师范大学尹其光教授以及系领导给予了热情的关心、支持。在此深表感谢。

鉴于水平所限，书中不妥之处在所难免，敬祈前辈、广大同行及读者批评指正。

编 者

一九九九年六月

内 容 提 要

本书根据高等学校理科化学与应用化学专业“化学工程基础”教学基本要求而编写。主要论述化学工程中典型单元操作及化学反应工程——典型反应器基本原理及其应用。全书共分八章,包括:化学工业与化学工程、流体流动过程、传热、吸收、精馏、萃取、新型分离技术和化学反应工程学——反应器基本原理。

本书可作为高等学校理科及师范院校化学专业,以及师专同类专业化学工程基础课程教材,亦可供从事化学应用研究人员和工程技术人员参考。

目 录

第一章 化学工业与化学工程	1
第一节 化学工业概述	1
一、化学工业的重要性及其发展	1
二、化学工业的分类及其特点	1
三、化工产品的市场及其前景	3
第二节 化学工程的发展趋势	3
一、化学工程的兴起与发展	4
二、化学工程的前沿研究领域	5
第三节 化工过程与单元操作	6
一、化工过程简介	6
二、化工单元操作	7
第四节 化工过程开发简介	7
一、化工过程开发的基本要求	7
二、化学实验与化工生产过程的联系与区别	8
三、化工过程开发步骤	9
四、化工过程开发最优化概念	11
第五节 化工数据	12
一、化工数据的分类	12
二、单位与单位制	12
三、单位换算	13
第二章 流体流动过程	14
第一节 概述	14
第二节 流体静力学基本方程式	14
一、流体的热力学属性	14
二、流体静力学基本方程式	16
三、流体静力学基本方程式的讨论	17
四、流体静力学基本方程式的应用	17
第三节 流体流动的基本方程式	19
一、流体的流动属性	19
二、流体的运动状态	20
三、连续性方程式	20
四、伯努利方程式	21
第四节 管内流体流动现象	24
一、牛顿粘性定律与流体的粘度	24
二、流体流动的内部结构	25

第五节 管内流体流动的阻力	28
一、流体在直管中的流动阻力	28
二、流体在非圆形管内的流动阻力	31
三、局部阻力	32
第六节 管路计算 计算机在管路计算中的应用	33
一、简单管路	33
二、复杂管路	37
第七节 流量的测量	40
一、孔板流量计	41
二、文丘里流量计	43
三、测速管	43
四、转子流量计	44
第八节 流体输送机械	45
一、离心泵	45
二、其他类型的化工用泵	53
三、泵的选择	55
四、气体输送机械	56
习 题	61
第三章 传热	65
第一节 概述	65
一、热量传递的三种基本方式	65
二、传热过程在化工生产中的应用	66
三、传热学与热力学的关系	66
第二节 热传导	66
一、热传导方程	67
二、传导传热计算	68
第三节 对流传热	75
一、对流传热分析	75
二、壁面和流体间的对流传热速率	76
三、管内湍流流动的传热膜系数	77
四、管外湍流流动的传热膜系数	79
五、大空间内自然对流的传热膜系数	80
第四节 传热计算	81
一、换热器的热负荷计算	81
二、传热平均温度差的计算	82
三、总传热系数	89
四、效率——传热单元数法	93
第五节 热交换器	97
一、间壁式换热器的类型	97
二、板式换热器	99

三、换热器发展概况	100
第六节 传热过程的强化	101
第七节 管壳式换热器的设计与选用	103
一、确定设计方案的基本原则	103
二、设计内容	104
三、管壳式换热器的选用	104
习题	104
第四章 吸收	107
第一节 概 述	107
一、吸收在化工生产中的应用	107
二、吸收剂的选择	107
三、吸收设备与吸收操作	107
第二节 吸收过程的相平衡关系	108
一、气体在液体中的溶解度	108
二、亨利定律	108
第三节 吸收过程机理	111
一、物质在单相中的扩散	111
二、双膜理论	112
第四节 吸收速率方程	113
一、气膜吸收速率方程	114
二、液膜吸收速率方程	114
三、总吸收速率方程	115
四、总传质系数与膜传质系数的关系	115
第五节 填料吸收塔计算	118
一、物料衡算、操作线方程	118
二、吸收剂用量的确定	119
三、填料塔塔径的计算	120
四、填料层高度的计算	120
第六节 填料塔	124
一、填料塔的构造和填料	124
二、填料塔的流体力学特性	126
三、填料塔的附件	128
习题	131
第五章 精馏	133
第一节 概述	133
第二节 精馏的基本原理	133
一、双组分溶液的气液相平衡	134
二、相对挥发度	136
三、精馏原理	138
第三节 双组分连续精馏塔的计算	139

一、全塔物料衡算	139
二、精馏段物料衡算和精馏段操作线方程	140
三、提馏段物料衡算和提馏段操作线方程	140
四、加料板的物料衡算与热量衡算	141
五、理论塔板数的计算	145
六、塔板效率与实际塔板数	152
七、塔高、塔径及板压降的计算	153
第四节 间歇精馏	155
一、馏出液浓度维持恒定的操作	155
二、回流比维持恒定的操作	156
第五节 特殊精馏	156
一、恒沸精馏	157
二、萃取精馏	157
第六节 精馏塔及其选择	158
一、有溢流装置的板式塔	158
二、无溢流装置的板式塔	161
三、新型塔板	161
四、精馏装置的选择	163
习题	164
第六章 萃取	166
第一节 概述	166
一、液-液萃取简介	166
二、萃取过程的适用性与经济性	166
三、萃取技术在工业上的应用	167
四、萃取剂的选择与发展	167
五、萃取基本流程	168
第二节 三元体系的液-液平衡关系	169
一、三角形坐标	169
二、杠杆规则	170
三、三角形相图	171
第三节 萃取过程的计算	173
一、单级萃取的计算	173
二、多级错流萃取的计算	174
三、多级逆流萃取的计算	175
第四节 液-液萃取设备及其选择	179
一、混合-澄清萃取器	179
二、离心式萃取设备	180
三、塔式萃取设备	181
四、液-液萃取设备的选择	184
习题	184

第七章 新型分离技术	186
第一节 膜分离技术	186
一、膜分离技术的发展.....	186
二、膜及膜分离技术的定义和分类.....	186
三、膜过滤的基本概念.....	188
四、膜过滤的基本理论.....	189
五、膜组件的结构及其特点.....	190
六、超滤和反渗透的应用.....	192
第二节 超临界流体萃取	192
一、超临界流体的性质.....	192
二、超临界流体萃取过程.....	193
三、超临界流体萃取的应用.....	194
第八章 化学反应工程学——反应器基本原理	196
第一节 概述	196
一、化学反应工程学的基本任务和研究方法.....	196
二、化学反应过程和化学反应器的分类.....	196
三、理想均相反应器.....	202
第二节 物料在反应器内的流动模型	203
一、理想流动模型.....	204
二、非理想流动模型.....	206
第三节 理想均相反应器计算	206
一、基本原理.....	206
二、间歇反应器.....	207
三、活塞流反应器.....	209
四、全混流反应器.....	214
五、多级全混流反应器.....	216
第四节 非理想流动	219
一、实际反应器对理想类型的偏离.....	219
二、停留时间分布的表示方法.....	219
三、停留时间分布的实验测定.....	220
四、停留时间分布的数字特征.....	222
五、理想反应器中的停留时间分布.....	223
六、非理想反应器中的停留时间分布.....	225
七、停留时间分布曲线的应用.....	228
第五节 气-固相催化反应器	231
一、气-固催化反应过程.....	231
二、气-固催化反应动力学.....	232
三、固定床催化反应器简介.....	234
四、流化床反应器简介.....	235
习题	236

附录	239
一、物理量的单位、量纲与换算.....	239
二、水的重要物理性质.....	240
三、水在不同温度下的粘度 ($0^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$)	241
四、饱和水蒸气性质 (以温度为准)	242
五、饱和水蒸气的性质 (以压强为准)	243
六、低压流体输送用焊接钢管规格.....	244
七、泵规格.....	245
八、物质的热导率.....	248
九、几种气体溶于水时的亨利系数.....	249
十、物质的扩散系数.....	249
主要参考文献	251

第一章 化学工业与化学工程

化学工业是以天然物质或其他物质为原材料，利用这些物质的性质或形态变化，或以这些物质组合，加工成对国计民生有价值的化学产品的一种工业。在这种工业中，以化学反应过程为核心。化学专业学生在学习了无机化学、有机化学、物理化学等课程以后，进一步学习生产和加工化学产品的应用技术知识，则必须了解化学工业生产基本知识，以及化学工程学科的基础理论和技术对化学工业发展所起的重要促进作用。

第一节 化学工业概述

一、化学工业的重要性及其发展

化学工业是国民经济重要的基础工业，是工业经济中最具活力，有待开发且竞争力极强的一个部门。其特点是产品品种多、服务面广、配套性强。其重要性可以大致归纳为如下几个方面：

- (1) 为农业提供化肥、农药、塑料薄膜等农用生产资料；
- (2) 为轻纺、建材、冶金、国防、军工及其他工业提供各种配套原材料；
- (3) 为微电子、信息、生物工程、航天技术等为代表的高技术产业提供新型化工材料和新产品；
- (4) 为人们的衣、食、住、行提供各种化工产品。

化学工业和其他工业有着广泛的联系，它既对外提供化工产品或原料，又从其他工业和化学工业本身获得原料或中间体。因此，化学工业的发展对相关产业的供需稳定有很大的影响，它们之间相互依存、相互促进的关系特别明显。

当前，化学工业在世界范围内正发生日新月异的变化，其发展的速度和规模都相当大，且产品已渗入国民经济的各个领域。就我国化学工业而言，已经发展成为具有化学肥料、塑料、合成纤维、合成橡胶、酸、碱、染料、油漆、农药和无机盐类等行业比较完整的化学工业体系。许多化工产品增长速度非常迅速，如化肥、农药、塑料、纯碱等。

二、化学工业的分类及其特点

化学产品的原材料及供应市场所涉及的范围是相当广泛的，很难对化学工业作出简单明确的分类。按照美国标准工业分类手册 (standard industrial classification, SIC) 确定的分类法，化学及有关产业的工业是较大的一类。它包括生产基本化工产品的企业和以化学方法为主进行产品加工的企业。它们一般生产三类产品：基本化工产品；进一步加工用产品以及供最终消费的化工产品。而在我国，目前大致分为：基本化学工业、化肥工业、石油化学工业和其他化学工业。主要化工行业及其产品如表 1-1 所示。

与化工行业相关的部门包括：石油化工、塑料制品、化学纤维、无机盐、炼焦化学、日用化工、皮革化工业以及医药等。

随着社会生产力和人们生活水平的不断提高，化工新技术开发的进度不断加快，化工产品的结构日趋合理，产品质量也在不断提高，已适应和满足了不同消费的需求。其中许多精细化工产品的生产已越来越受到重视。伴随该类产品产值在化学工业产值中的比重逐年上升，

表 1-1 主要化工行业及其相关产品

化工行业	主要产品或用途
化学矿山	磷矿、硫矿、硼矿、矾矿和石灰石矿等
酸、碱	硫酸、烧碱、纯碱
无机盐	磷酸、碳酸钾、小苏打、无水硫酸钠、氰化钠、硫酸铝、硝酸钠、氯化锌、轻质碳酸钙、过氧化氢、沉淀硫酸钡等
化 肥	氮肥(硫酸铵、硝酸铵、尿素、氯化铵、碳酸氢铵、氨水、石灰氮等)、磷肥(普通过磷酸钙、钙镁磷肥等)、钾肥
化学农药	敌百虫、乐果、甲胺磷、杀虫双、草甘磷、多菌灵等
电 石	可作为生产聚氯乙烯、聚乙烯醇、氯丁橡胶、乙酸、乙醛、乙炔黑、双氰胺、硫脲等工业的原料
热固性塑料和工程塑料	酚醛塑料、氨基塑料、环氧树脂、不饱和聚酯树脂等,聚碳酸酯、聚甲醛、ABS 树脂、尼龙 1010、尼龙 6、尼龙 66、聚砜等
合成橡胶	顺丁橡胶、丁苯橡胶、氯丁橡胶、丁腈橡胶等
染 料	硫化染料、直接染料、酸性染料、活性染料、碱性染料、还原染料、分散染料、冰染染料、阳离子染料等
涂 料	天然树脂漆、酚醛树脂漆、醇酸树脂漆、氨基树脂漆、过氯乙烯漆、聚酯漆、聚氨酯漆、硝基漆、有机硅漆等
增塑剂	邻苯二甲酸酯、对苯二甲酸二辛酯、己二酸二辛酯、烷基磺酸苯酯、氯化石蜡、磷酸酯等
橡胶加工助剂	防老剂、促进剂
工业表面活性剂	阳离子型、阴离子型、非离子型、两性型等
造纸化学品	脱墨剂、助留剂、助滤剂、表面处理剂、浆内施胶剂、纸张增强剂、涂布胶粘剂、分散剂等
感光材料	电影胶片、照相胶片、特种胶片、彩色像纸等
磁性记录材料	磁带、磁盘等
橡胶加工	轮胎、运输带、胶管、胶鞋、炭黑等

已经出现了把生产精细化工产品的工业作为一个单独部门从化学工业中划分出来的倾向。依据精细化工产品的功能和结构特征,其大致可分类如下:

①医药和兽药;②农药;③粘合剂;④涂料;⑤染料和颜料;⑥表面活性剂和合成洗涤剂;⑦塑料、合成纤维和橡胶用助剂;⑧香料;⑨感光材料;⑩试剂和高纯物;⑪食品和饲料添加剂;⑫石油用化学品;⑬造纸用化学品;⑭功能高分子材料;⑮化妆品;⑯催化剂;⑰生化酶;⑱无机精细化学品。

从上述如此繁多门类的化学工业在国内外发展状况来看,化学工业有如下特点:

- (1) 增长速度快;
- (2) 化工科研和新产品开发费用高;
- (3) 化工产品、工艺路线、技术创造性上竞争激烈;
- (4) 大规模连续化生产和技术的复杂性促使化学工业投资加大;
- (5) 新工艺的投入、生产规模的扩大以及设备的腐蚀,致使化学工业的工厂寿命缩短、报废快;
- (6) 在资金足够的条件下,化工产品进入市场的自由度大;
- (7) 市场需求在产品过剩与短缺之间循环变化;
- (8) 运输便利、均相及价值高的化工产品贸易有国际性;
- (9) 化学工业与整个工业相辅相存,在经济发展中起着支柱作用。

三、化工产品的市场及其前景

对化工产品的需求依赖于产品用途的开拓和市场消费的程度。其中，化学工业本身就是化工产品的最大消费市场，因为在对化工产品的深加工过程中，它需要依赖本工业生产的约一半的初级产品。从这种意义上来说，化学工业发展容易受其相关产业左右，如：合成纤维、塑料、农药、合成洗涤剂、包装材料和建筑材料等。正因如此，对于化工产品市场的调查和预测也就显得非常重要。因为市场需求是化工企业生产发展和经营开拓的依据，是企业赖以生存的前提条件。通过市场调查和预测了解和认识市场对产品的需求，分析和研究产品生产的生命周期；以此制定新产品开发、改造或淘汰老产品的规划；确定产品在其生命周期中各阶段的市场策略；制定产品生产销售计划；以保持企业在市场竞争中的优势。只有在产品营销过程中不断进行调查，掌握市场动向和发展趋势，及时反馈信息、储存信息，企业才能获得长足的进步和发展。

值得注意的是，化学工业中有些应用领域已经在数量和质量方面达到饱和，在这些领域内今后不可能会有很大发展，因此，发展化学工业的关键，应为满足人们现有需要的同时，开拓新用途并开发与新的需要相适应的产品。近年来，我国已经十分重视精细化工产品的开发和应用，如染料、涂料、表面活性剂、粘合剂、增塑剂、农药、医药、功能高分子材料和油品添加剂等行业都进行了深入的研究。预计在今后几年里，我国精细化工产品将会高速增长。表 1-2 显示了 1996 年我国精细化工的生产现状。

表 1-2 我国精细化工生产现状

门 类	企业数/个	生 产 能 力	品 种 / 个	产 值
		万吨 / 年		亿元 / 年
饲料添加剂	1000	25	177	40
食品添加剂	400	100	1200	70
表面活性剂	544	59	1028	84
水处理化学品	100	12	100	5
造纸化学品	80	10	400	2
皮革化学品	150	7	200	3
油田化学品	130	103	1000	19
胶粘剂	650	256	2800	60
生物化工	300	270	532	200
电子化学品	100	1	1000	3
纤维素衍生物	60	6	50	4
丙烯酸及其酯	3	19.8	23	15
聚丙烯酰胺	60	6.5	60	6
气雾剂	300	0.8	700	100
合 计	3877	876.1	9270	611

展望 21 世纪，化学工业将会由传统工业过渡到以新材料、精细化学品和专用化学品、生物技术为主体的技术密集型产业。正如有人所说，精细化、个性化、绿色化——知识经济时代化学工业、化学工艺及化学工程的大趋势。

第二节 化学工程的发展趋势

化学工程作为一门工程技术学科，迄今已有 80 多年历史了。它以物理学、化学和数学为基础，并结合工业经济基本法则，主要研究化学工业中的物理变化和化学变化过程及其有关机理和设备的共性规律，并把这些规律应用到化工装置的开发、设计、操作、控制、管理、强化以及自动化等过程中，在化工工艺与化工设备之间起着承上启下的桥梁和纽带作用。

一、化学工程的兴起与发展

化学工程是随着大规模化学工业的发展而形成和发展起来的。早在 1887 年，戴维斯 (Davis, G. E.) 在英国曼彻斯特工学院作了一系列化学工程问题的讲演，但由于当时还缺乏数据和对过程开发的全面认识，戴维斯并未能对化工操作作出定量的处理。1888 年美国麻省理工学院以诺顿 (Norton, L. M.) 为首，设置了关于应用化学工程教育问题研究委员会，并于同年 12 月作出设置化学工程课程的决定，世界上第一次讲授“化学工程”这门课程。1915 年利特尔 (Little, A. D.) 提出了“单元操作” (unit operation) 的概念，沃尔克 (Walker, W. H.) 则通过“单元操作”重新组织了麻省理工学院化学工程的讲授，并进一步改造了化学工程的指导方针和实验室建设。“单元操作”这个概念至今仍是化学工程之表征。1923 年，麻省理工学院的沃尔克、刘易斯 (Lewis, W. K.) 和麦克亚当斯 (McAdams, W. H.) 合著了化学工程第一本教科书——《化工原理》 (Principles of Chemical Engineering)，书中包括了流体流动、过滤、传热、蒸发、蒸馏、干燥、粉碎等单元操作，并对它们从理论上作了很好的总结和阐述，形成了一个体系。即以单元操作为中心，紧密结合应用化学，并明确指出在化学工程教学中不应忽视的化学与物理化学的作用。

20 世纪 40 年代以来，以合成纤维、合成橡胶、合成塑料三大合成材料为代表的石油化工的迅速发展，促使化学工程从经验向科学演变。经过对各种单元操作分析、综合，发现所有的单元操作均有着共同的基本规律，亦即动量、热量和质量传递等三种传递过程是化学工程的本质问题。

自 20 世纪 50 年代起，高速电子计算机的应用，解决了过去人们不能解决的复杂工程计算问题。这也就有了把化学反应规律与生产规模装置中的传递过程规律综合起来进行分析和处理的可能。于是，1957 年在荷兰阿姆斯特丹举行的第一次欧洲化学反应工程会议上，正式提出了“化学反应工程” (Chemical reaction engineering) 的概念。至此，“三传一反” (mass transfer, heat transfer, momentum transfer and reaction engineering) 就形成了化学工程的主要内容。这一时期内，原子能工业的诞生，环境科学被提到重要位置，气体扩散、气体离心分离、热扩散、超滤、反渗透、泡沫分离等技术相继问世，进一步促进了化学工程的发展。

20 世纪 60 年代后期，随着传递过程原理和化学反应工程的开拓，计算机用于化学工程以解决过程的最优规划、最优设计、最优控制及最优操作，又促成了“化工系统工程”的诞生，为化学工程的决策及方法论提供了有力的依据。

20 世纪 70 年代以来，随着电子计算机的进一步发展，同时由于化学工程基础理论的成熟和数学模型化方法的普遍应用，化工系统工程又有了较大发展。目前，这门学科在化工过程的开发、设计，现有工厂技术改造方面发挥着越来越大的作用，取得了良好的效果。

1983 年在美国化学工程师学会 (AIChE) 第 75 周年年会上，人们把化学工程定义为“经济地开发利用物质和能量的方法为人类造福的工学”，从而展现了化学工程及其广阔的领域和应用前景。

综上所述，学科要继续保持旺盛的活力，求得更大的发展，只有不断地适应社会层出不穷的新需要，不断加强自身的理论建设。图 1-1 示意化学工程的发展过程，从中可以看出它已经建立起了一套完整的理论体系。

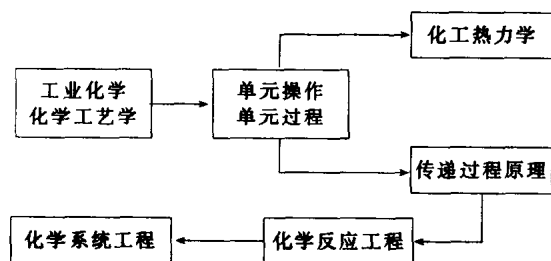


图 1-1 化学工程理论发展过程示意图

二、化学工程的前沿研究领域

从 80 年代开始,科学技术发展速度惊人。一场以高技术为中心的新技术革命正蓬勃发展起来。许多工业发达国家都以信息技术为先导、以新材料技术为基础、以新能源技术为支柱,沿微观尺度向生物技术开拓,沿宏观尺度向空间和海洋扩展。他们以这六大高技术领域为其发展战略,从而导致了許多学科发生了巨大的变化。这场新技术革命无疑为化学工程提供了新的发展机会,其范围已经不局限于传统的化工领域。化学工程已经面临处理更多边缘目标,将成为更为通用和广泛范围的学科。

1. 材料工程

随着高技术的发展,迫切需要开发具有高强度特殊性能的新型材料。在新材料领域,研究高聚物、陶瓷材料、复合材料等微结构材料的分子结构与性质之间的关系;研究原料选用及材料加工与所生成的微结构之间的关系;研究材料表面及界面上的物理化学现象;用化学方法而非机械方法制造部分复杂材料等,都需要进行化学工程方面的研究。而研制得到的新材料应力求达到:结构与功能相结合,具有智能,环境污染小,可回收再生,且能耗要低。

2. 能源化工

化学工业是一个高能耗工业,它利用各种形式的能量来合成和生产人们所需要的各种化工产品,因此,开发新能源,充分利用现有能源,回收化工生产过程排放的废热,这就形成了化学工程与能源技术相结合的新的研究领域——“能源化工”,在该领域中,煤炭资源的开发利用很值得研究。由于煤的结构特征是氢碳比较低,故欲使煤转化为气体或液体产品,必须采用加氢转化工艺。在煤的气化方面,目前世界上已经工业化或即将工业化的方法有:固定床、流化床、熔融热载体和等离子气体等。

煤的直接液化有溶剂热解抽提、溶剂加氢抽提、高压催化加氢、干馏液化、 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}$ 液化、无溶剂液化、地下液化以及生物酶对煤的催化转化等;掌握由合成气(H_2 、 CO)直接制取基础有机化学品,如醋酸、乙二醇、烯烃等新技术;开发石油炼制新原料;研究核能、氢能、太阳能、地热能、生物能及城市废物能源;研究各种高效节能新技术,如热泵、热管、高效强化传热表面等,仍是化学工程界 90 年代乃至下个世纪研究的热点。

3. 环境化工

与当代社会发展相伴的环境问题。化学工业是造成环境污染的“根源”之一。如何控制污染并使之减小到最低程度,保护环境,以“创造一个干净安全的世界”,则是化学、化工工作者义不容辞的责任。

目前,大多数工厂需要消耗大量燃料,并使之转化为热能、电能或机械能,然而人们利用的只是燃料的能量,而没有利用其中的物质——以 CO_2 的形式排放于大气之中,造成大气中 CO_2 浓度激增,产生全球性温室效应,影响生态平衡。从保护环境与碳源出发,诞生了一门新兴学科,即“二氧化碳化学”,专门研究处理和利用 CO_2 ,设法大规模人工固碳,以使不断消失的有机碳源回归生态环境系统中来。实验表明,用 CO_2 可以合成出目前利用石油为原料的各种产品。

此外,在全球范围内禁止使用氟氯烃,并开发其替代物以保护臭氧层。

伴随高速发展的工业生产,“三废”——废水、废气、废渣等问题也严重地威胁着人类的生存。如果不及时处理,将给子孙后代造成严重的隐患,所以,根治“三废”、“变废为宝”已是刻不容缓的任务。这项工作与化学工业有直接联系,且大部分工作将应用到化学工程的基本原理,使用的设备大致也和化学工业相同,故基本上属于化学工程的范畴。然而,应当引

起重视的是“三废”往往也是冶金、电力、核工业等部门所共有的问题，交叉关系比较复杂，有时还需应用生物学原理。加之噪音以及机动车辆、轮船、飞机等所产生的“三废”治理，因此，一门与化学工程密切相关的新兴工程学科——“环境工程”也就应运而生了。

4. 生物工程

目前在许多国家的发展战略中，在高技术竞争方面都把发展生物技术放到特别重要的地位。甚至有人说：20 世纪是近代物理学和化学的世纪，那么可以预言，21 世纪将是现代生物技术的世纪。

化学工程与生物技术的结合已经形成了化学工程的新方向——“生物化工”，其技术实质是以具有生物活性的酶为催化剂替代传统化学工业使用的一般催化剂。由于酶催化反应具有反应条件温和、能耗低、效率高、选择性强、三废少、可利用再生资源及能合成复杂有机化合物等优点，故生物化工正成为化工领域战略转移的目标。

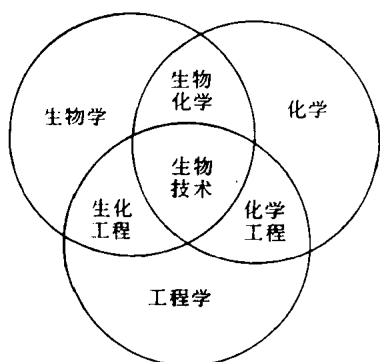


图 1-2 生物技术与各学科的关系

为了更好地说明生物技术（生物工程）的综合性，可用图 1-2 表示生物技术和几个基础学科的关系。生物工程在化工生产上的应用主要借助酶和微生物合成有机化合物（遗传工程用于医药方面，发酵工程用于医药及传统农林化学品）或处理工业废水。生物方法制成的化学品范围极广，它不仅能生产化学结构简单的小分子化合物（如：柠檬酸、乳酸、抗坏血酸、氨基酸、丙烯酰胺及生物色素等），而且还能制造出用传统方法极难合成的复杂结构的化合物（如：酶制剂、微生物多糖、聚 β 羟基丁酸酯及生物农药等）。

除以上所述的几点之外；像化工系统工程、临界或超临界条件下的化学工程也都属于化学工程研究的范畴。

随着高新技术革命向深度和广度进展，信息、知识的“爆炸”与更新，各种新兴科学如：可靠性技术、管理科学技术、新能源技术等进入化工领域，且相互渗透与结合，已产生了一些更新的边缘技术学科，例如：医学化学工程、电化学工程、地热化学工程、表面界面工程等等。预计为更好地适应高技术的发展，化学工程还将向更广的领域延伸。这不仅会推动化工产业日趋高技术化，而且对化学化工高等教育的发展与改革亦将产生重大影响。许多化工高技术专业与学科的建立，高校教学内容的更新，化学化工人才的知识结构必将转向“智能型”的轨道，以更好地适应 21 世纪科学技术发展和竞争的需要。

第三节 化工过程与单元操作

一、化工过程简介

所谓化工过程，是指将原料进行若干化学和物理过程加工、处理，生产出预期产品或中间产品，并获得一定附加值的生产过程。虽然化学工业门类繁多，产品各异，但是任何化工过程都可以用图 1-3 所示加以概括。

(1) 原料在反应前经过若干工序的预处理，其主要由机械加工、净制提纯和加热、冷却等过程组成，使原料达到符合化学反应所要求的工艺条件。

(2) 进行化学反应，伴随着热量的释放和吸收过程。

(3) 反应后的产物经过均相或非均相分离，以及过滤、筛析、干燥等若干工序的后处理，最终获得产品。