

➤ 面向 21 世纪高等院校教材

化工基础

张四方 李改仙 编
康旭珍 郭生金

中国石化出版社

面向 21 世纪高等院校教材

化 工 基 础

张四方 李改仙 编
康旭珍 郭生金

中国石化出版社

内 容 提 要

本书依据 21 世纪对化学人才的知识和能力结构要求撰写,重视化学工程学基础知识、基本概念的阐述,注重工程观点和方法的培养,内容简明扼要,重点突出,由浅入深,系统连贯。全书包括化学工程和化学工艺两部分共九章,涉及流体流动与输送、传热过程、吸收、精馏、化学反应工程与反应器、合成氨工业、煤化工、氯碱工业和化工设计初步等内容。各章附有思考题和习题,书后附有常见物质的物性数据及相关资料,供学生在学习时参考。

本书可作为高等师范院校及综合大学化学专业和应用化学专业的教材,亦可作为化学和化工专业的科技人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

化工基础/张四方,李改仙,康旭珍,郭生金编.
—北京:中国石化出版社,2004
ISBN 7-80164-617-7

I.化… II.①张…②李…③康…④郭… III.化学工业—
基本知识 IV.TQ0

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 076254 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

北京大地印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 16 开本 16.75 印张 424 千字

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

定价:32.00 元

前 言

化工在现代汉语中是化学工业、化学工程和化学工艺的简称。虽说化学工业、化学工程和化学工艺出现于不同的历史时期，各有不同的含义，但由于它们的相互联系和渗透，化工已成为一个总的知识门类的代名词。

化工是人类在求得生存和发展过程中，认识自然、改造自然的结晶。在古代，人类更多地依赖于对天然物质的直接利用。但由于这些物质固有的性能不能满足人类的需求，于是产生了各种加工技术，把天然物质转变为具有多种性能的新物质。这种应用化学方法改变物质组成或结构，合成新的物质的生产技术就是化学工艺，所得产品成为化学品或化工产品。起初，这类产品是在手工作坊生产，后来演变成了工厂，并逐渐形成了一个特定的生产部门，即化学工业。随着生产力的发展，特别是石油炼制、石油化工工业的蓬勃发展，出现以化学、物理和数学为基础并结合其他工程技术，研究化工生产过程的共同规律，解决规模放大和大型化中出现的诸多工程技术问题的学科——化学工程。化学工程学科的诞生，使化学工业从经验半经验状态进入到理论和预测阶段，使化学工业以其更大规模生产的创造能力，为人类社会创造更多物质财富。

《化工基础》是高等师范院校化学及应用专业的必修课程之一，其目的是通过对化工基础的学习，使学生掌握化学工业生产过程中的一些基本概念、基本原理、基础操作，认识化工生产过程中的一些典型设备，了解一些典型工业生产过程，为未来的教学和科研工作奠定基础。

本书以 21 世纪对化学人才知识和能力结构要求为依据，结合化学和应用化学专业的培养目标，根据该课程的教学要求撰写而成。除绪论外，共有九章，包括了流体流动与输送、传热、吸收、精馏、化学反应工程与反应器、合成氨工业、煤化工、氯碱工业和化工设计初步等内容。这些内容不仅涉及到化工生产过程中的典型传递过程(动量传递、热量传递和质量传递)、反应过程和化学工艺，还涉及到一些典型的化工设备。在撰写时，我们尽量以如何实现化学反应工业化为主线，从化工生产的典型单元操作入手，以典型化工产品为示例，系统地分析和阐述了化工生产过程的单元操作、化学反应工程、工艺过程优化、技术经济分析及环境保护，使教学内容知识体系与能力培养达到最佳编排。为此，在撰写时特别注意了：

1. 有目的、有意识地对工程技术思考和方法的渗透与传授，使学生了解各种工程研究方法，解决具体问题，以达到独立思考、自我获取、扩展能力和培养素质的目的。

2. 教学内容的选择上，力求由浅入深，重点突出，并对传统的“三传一反”

内容进行了精减,将现代全球关注的热点知识,如能源、环保等,纳入了教学内容,拓宽了课程覆盖面,为学生发展提供了空间。

3. 对基本概念、原理的阐述,尽可能将它们所具有的物理概念予以清晰而准确的表述,在此基础上用具体事例加以分析,以期学生对学习内容有明显的理解。

4. 为了便于学生自学,对一些复杂难理解的内容予以图表形象化,并在每章的最后安排了适量的思考题与习题,以期提高学生分析问题和化工运算能力。

5. 为了适应科学技术的发展和计量国际化,本书全面采用了SI单位制。

6. 为了适应不同区域、不同层次、不同教学时数的教学,本书赋予使用者较大的机动性,各章独成系统,使用者可根据教学要求进行选用。

7. 为了便于学生做习题,书后附有必要的化工数据,以供学生学习参考。

本书由张四方主编,张四方、李改仙、康旭珍、郭生金共同撰写,其中绪论和第1章由太原师范学院张四方撰写,第5章、第6章由晋中学院康旭珍撰写,第4章、第7章、第8章由晋中学院李改仙撰写,第2章、第3章和第9章由晋中学院郭生金撰写。全书由张四方修改并统校。

在成书过程中,作者参考了国内外有关书籍及教材,并引用了其中的一些材料和数据,在此向各书的作者和出版社表示深深的谢意。另外在成书过程中得到了作者所在院校的大力支持,尤其是李捷同学,在收集资料、绘图等方面做了大量工作,付出了辛勤的劳动,在此一并向他们表示诚挚的感谢。

由于作者水平有限,加以时间仓促,书中一定存在错误和不妥,敬请专家、同行及读者批评指正。

编 者

目 录

绪论	(1)
§ 0-1 化学工业概述	(1)
§ 0-1.1 化学工业的发展	(1)
§ 0-1.2 化学工业分类	(3)
§ 0-1.3 化学工业特点	(4)
§ 0-1.4 化学工业的原料与资源	(4)
§ 0-2 化学工程概述	(5)
§ 0-2.1 化学工程发展概况	(5)
§ 0-2.2 化学工程学科内容	(6)
§ 0-2.3 化学工程的研究方法	(10)
§ 0-3 化学工艺概述	(10)
§ 0-4 化学工程中的一些基本规律	(11)
§ 0-4.1 物料衡算	(11)
§ 0-4.2 能量衡算	(12)
§ 0-4.3 平衡关系	(13)
§ 0-4.4 过程速率	(13)
§ 0-5 单位制与单位换算	(13)
§ 0-5.1 单位与单位制	(13)
§ 0-5.2 单位换算	(15)
第 1 章 流体流动与输送	(16)
§ 1-1 流体静力学	(16)
§ 1-1.1 流体的密度	(17)
§ 1-1.2 流体的静压强	(18)
§ 1-1.3 流体静力学基本方程	(19)
§ 1-1.4 流体静力学基本方程式的应用	(20)
§ 1-2 流体流动的基本方程	(23)
§ 1-2.1 流量与流速	(23)
§ 1-2.2 稳定流动和非稳态流动	(24)
§ 1-2.3 连续稳定流动系统的物料衡算	(25)
§ 1-2.4 连续稳定流动系统的能量衡算	(26)
§ 1-2.5 柏努利方程式的意义	(28)
§ 1-2.6 柏努利方程式的应用	(29)
§ 1-3 流量测量	(33)
§ 1-3.1 测速管	(33)

§ 1-3.2 孔板流量计	(34)
§ 1-3.3 转子流量计	(35)
§ 1-4 实际流体流动与阻力计算	(37)
§ 1-4.1 粘度与牛顿粘性定律	(37)
§ 1-4.2 流体流动形态与雷诺数	(38)
§ 1-4.3 流体流动时的阻力计算	(39)
§ 1-5 离心泵	(43)
§ 1-5.1 离心泵的主要部件和工作原理	(43)
§ 1-5.2 离心泵的性能参数	(44)
§ 1-5.3 离心泵的特性曲线及其应用	(45)
§ 1-5.4 影响离心泵性能的主要因素	(46)
§ 1-5.5 离心泵的气蚀现象与安装高度	(47)
§ 1-5.6 离心泵的工作点与流量调节	(48)
§ 1-5.7 离心泵的联用、安装与运转	(49)
思考题	(51)
习题	(51)
第 2 章 传热	(55)
§ 2-1 概述	(55)
§ 2-1.1 化工生产中的传热过程	(55)
§ 2-1.2 传热基本方式	(55)
§ 2-1.3 传热速率和热强度	(56)
§ 2-1.4 稳定传热和不稳定传热	(56)
§ 2-2 传导传热	(56)
§ 2-2.1 傅立叶定律	(56)
§ 2-2.2 传导传热计算	(57)
§ 2-3 对流传热	(61)
§ 2-3.1 对流传热过程分析	(61)
§ 2-3.2 牛顿冷却定律	(61)
§ 2-3.3 影响 α 的主要因素	(62)
§ 2-4 热交换计算	(62)
§ 2-4.1 传热总方程	(62)
§ 2-4.2 传热总系数	(64)
§ 2-4.3 热负荷计算	(64)
§ 2-4.4 传热温度差	(65)
§ 2-5 强化传热途径	(69)
§ 2-5.1 温度差 Δt_m	(69)
§ 2-5.2 传热面积 A	(69)
§ 2-5.3 传热总系数 K	(70)
§ 2-6 列管换热器	(70)
§ 2-6.1 列管式换热器的结构	(70)

§ 2-6.2 流程选择·····	(71)
思考题·····	(72)
习题·····	(73)
第 3 章 吸收·····	(75)
§ 3-1 概述·····	(75)
§ 3-1.1 吸收在化学工业中的应用·····	(75)
§ 3-1.2 吸收剂的选择·····	(75)
§ 3-2 吸收的气液相平衡·····	(76)
§ 3-2.1 亨利定律·····	(76)
§ 3-2.2 摩尔比·····	(77)
§ 3-2.3 相平衡与吸收过程的关系·····	(78)
§ 3-3 吸收速率·····	(79)
§ 3-3.1 单相内的扩散·····	(79)
§ 3-3.2 两相间传质·····	(81)
§ 3-3.3 吸收速率方程·····	(81)
§ 3-4 吸收塔计算·····	(85)
§ 3-4.1 物料衡算和操作线方程·····	(85)
§ 3-4.2 填料层高度(低浓度气体)·····	(87)
§ 3-4.3 传质单元数和传质单元高度·····	(88)
§ 3-4.4 吸收塔塔径计算·····	(91)
思考题·····	(91)
习题·····	(91)
第 4 章 精馏·····	(94)
§ 4-1 双组分物系气液相平衡·····	(94)
§ 4-1.1 理想溶液的气液相平衡·····	(94)
§ 4-1.2 挥发度与相对挥发度·····	(95)
§ 4-1.3 $t-x-y$ 相图和 $y-x$ 相图·····	(96)
§ 4-2 连续精馏·····	(98)
§ 4-2.1 精馏原理·····	(99)
§ 4-2.2 精馏塔内的气液相组成·····	(100)
§ 4-2.3 精馏过程·····	(100)
§ 4-3 连续精馏物料衡算·····	(101)
§ 4-3.1 全塔物料衡算·····	(101)
§ 4-3.2 精馏段物料衡算·····	(102)
§ 4-3.3 提馏段物料衡算·····	(103)
§ 4-3.4 进料状况及 q 线方程·····	(103)
§ 4-3.5 操作线方程图示·····	(105)
§ 4-4 理论塔板数确定·····	(106)
§ 4-4.1 逐板计算法·····	(106)
§ 4-4.2 图解法·····	(107)

§ 4-5 回流比的选择	(109)
§ 4-5.1 全回流与最小理论塔板数	(110)
§ 4-5.2 最小回流比	(111)
§ 4-5.3 适宜回流比的选择	(112)
§ 4-5.4 捷算法求理论塔板数	(113)
§ 4-5.5 塔板效率	(114)
思考题	(115)
习题	(115)
第 5 章 化学反应工程与反应器	(117)
§ 5-1 概述	(117)
§ 5-1.1 化学反应工程与化学反应器	(117)
§ 5-1.2 工业反应器的分类	(117)
§ 5-1.3 化学反应工程研究的方法	(119)
§ 5-2 均相反应动力学	(119)
§ 5-2.1 化学计量式	(119)
§ 5-2.2 反应程度	(120)
§ 5-2.3 转化率	(120)
§ 5-2.4 化学反应速率	(120)
§ 5-2.5 化学反应动力学的表达式	(121)
§ 5-2.6 反应分子数和级数	(121)
§ 5-2.7 反应速率常数	(122)
§ 5-3 均相等温等容反应的动力学方程式	(122)
§ 5-3.1 不可逆反应	(122)
§ 5-3.2 可逆反应	(124)
§ 5-3.3 复杂反应	(124)
§ 5-4 均相反应器	(127)
§ 5-4.1 概述	(127)
§ 5-4.2 理想反应器	(129)
§ 5-5 反应器的组合	(135)
§ 5-5.1 平推流反应器与全混流反应器组合	(135)
§ 5-5.2 n 个 CSTR 串联	(137)
§ 5-6 均相反应器的评比与选择	(139)
§ 5-6.1 简单反应的反应器体积	(139)
§ 5-6.2 复杂反应的操作条件与反应器的选型	(140)
§ 5-6.3 反应器的选择	(142)
§ 5-7 非均相反应器	(143)
§ 5-7.1 气-固相催化反应过程	(143)
§ 5-7.2 固定床催化反应器	(144)
§ 5-7.3 流化床催化反应器	(146)
思考题	(147)

习题	(148)
第6章 合成氨	(150)
§6-1 概述	(150)
§6-1.1 合成氨工业发展史	(150)
§6-1.2 原料与流程	(151)
§6-2 原料气的制取	(152)
§6-2.1 造气的化学反应	(152)
§6-2.2 固体燃料气化反应器	(154)
§6-2.3 固定床间歇气化法的工作循环	(154)
§6-2.4 间歇法制半水煤气的工艺条件	(156)
§6-2.5 氧-水蒸气连续气化法	(157)
§6-3 脱硫	(158)
§6-3.1 干法脱硫	(158)
§6-3.2 湿法脱硫	(160)
§6-4 变换	(162)
§6-4.1 变换反应的热力学	(162)
§6-4.2 变换反应的动力学	(162)
§6-4.3 变换工艺条件	(164)
§6-5 脱碳	(165)
§6-5.1 二乙醇胺催化热钾碱法	(166)
§6-5.2 低温甲醇脱碳法	(166)
§6-6 精制	(167)
§6-6.1 铜氨液吸收法	(167)
§6-6.2 甲烷化法	(168)
§6-6.3 液氮洗涤法	(168)
§6-7 氨的合成	(169)
§6-7.1 氨合成反应的热力学基础	(169)
§6-7.2 氨合成反应的动力学基础	(172)
§6-7.3 氨的合成	(176)
习题	(180)
第7章 煤化工	(181)
§7-1 概述	(181)
§7-1.1 煤的组成和性质	(181)
§7-1.2 煤的分类	(182)
§7-2 煤的气化	(182)
§7-2.1 概述	(182)
§7-2.2 气化原理	(183)
§7-3 煤的液化	(186)
§7-3.1 煤的直接液化	(187)
§7-3.2 煤的间接液化	(189)

§ 7-4 煤的焦化	(191)
§ 7-4.1 煤的成焦过程	(191)
§ 7-4.2 配煤及焦炭质量	(193)
§ 7-4.3 炼焦炉的结构及操作	(197)
§ 7-4.4 炼焦挥发物的回收	(198)
习题	(200)
第 8 章 氯碱工业	(202)
§ 8-1 概述	(202)
§ 8-2 电解制碱基本原理	(203)
§ 8-2.1 电极反应	(203)
§ 8-2.2 离子放电顺序	(204)
§ 8-2.3 理论分解电压	(205)
§ 8-3 电流效率和电能效率	(206)
§ 8-3.1 法拉第定律	(206)
§ 8-3.2 电流效率	(207)
§ 8-3.3 电能效率	(208)
§ 8-3.4 电能消耗计算	(208)
§ 8-4 隔膜电解法	(209)
§ 8-4.1 饱和食盐水的制备和净化	(210)
§ 8-4.2 食盐水的电解	(211)
§ 8-5 水银电解法和离子膜法	(217)
§ 8-5.1 水银法	(217)
§ 8-5.2 离子交换膜法	(218)
习题	(219)
第 9 章 化工设计初步	(221)
§ 9-1 基本程序	(221)
§ 9-1.1 项目建议书	(221)
§ 9-1.2 可行性研究	(222)
§ 9-1.3 计划任务书	(224)
§ 9-1.4 设计阶段	(224)
§ 9-2 可行性研究报告	(225)
§ 9-2.1 市场调查	(225)
§ 9-2.2 产品需求预测和预测方法	(226)
§ 9-2.3 拟建规划	(228)
§ 9-2.4 原料路线选择原则	(230)
§ 9-2.5 工艺路线选择原则	(230)
§ 9-2.6 项目财务规划	(231)
§ 9-2.7 项目风险分析	(233)
§ 9-2.8 环境影响分析	(235)
§ 9-3 化工工艺设计	(235)

§ 9-3.1 化工工艺设计的内容	(235)
§ 9-3.2 工艺设计的初步设计内容和程序	(236)
§ 9-3.3 初步设计的设计文件	(237)
§ 9-3.4 工艺施工图设计文件	(239)
附录	(240)
一、单位换算	(240)
二、水的物理性质	(241)
三、一些液体的物理性质	(243)
四、水的饱和蒸气表	(243)
五、一些有机物的蒸气压	(245)
六、一些气体的物理性质	(247)
七、B 型水泵性能表(摘录)	(248)
八、一些固体材料的导热系数(常温下)	(249)
九、扩散系数	(250)
十、一些传热系数的数据	(250)
十一、管壳式换热器系列标准(摘录)	(251)
十二、气体在液体中的溶解度	(252)
十三、一些填料的性质	(254)

绪 论

化学工业又称化学加工工业，泛指生产过程中化学方法占主要地位的制造工业。化学工业是国民经济的重要组成部分，其产值不仅在国民经济中占举足轻重的地位，其数以千万的产品与工农业、国防、科研，尤其人类生产生活都有密切关系。

§ 0-1 化学工业概述

§ 0-1.1 化学工业的发展

自有史以来，化学工业就一直与发展生产力，保障人类生活必需，应付战争等过程密不可分。为了满足这些方面的需要，化学工业走过了对天然物质的简单加工、深度加工和模仿创造出自然界没有的产品等过程。

1. 古代化学加工

化学加工在形成化学工业之前的历史可以从 18 世纪中叶追溯到远古的时期。那时人类就能运用化学加工方法制作一些简单的生活必需品，如酿造、染色、冶炼、制漆、制陶、造纸以及制造药品、火药和肥皂。

考古发现，早在中国新石器时代的洞穴中就有了残陶片；公元前 50 世纪左右的仰韶文化时期，已有红陶、灰陶、黑陶、彩陶；在浙江河姆渡出土的文物中有同一时期的外涂朱红色生漆的木胎碗；公元前 20 世纪，夏禹以酒为饮料并用于祭祀；在公元前 21 世纪中国进入了青铜时代，公元前 5 世纪进入了铁器时代，用冶炼出的铜、铁制作武器、炊具、餐具、乐器、钱币等；公元前 11 世纪，盐已被食用；公元 1 世纪东汉时期，造纸工业已相当完善；公元前后，中国进入了炼丹、炼金术时期，并对世界的医药做出了巨大的贡献。秦汉时期的《神农本草经》记录了动、植、矿物药品 365 种；16 世纪李时珍的《本草纲目》总结了以前药物之大成，全书收集药物 1892 种，其中大量矿物和有机药物的条目中，记述了中国古代化学工艺的重要成就。产生于 3 世纪的欧洲炼金术到了 15 世纪才转为制药。在制药研究过程中，实验室制得了一些化学品，如硫酸、硝酸、盐酸和有机酸。这些虽说未形成工业，但为 18 世纪中叶化学工业的形成准备了条件。

2. 早期化学工业

从 18 世纪中叶至 20 世纪初是化学工业的初级阶段，在这个阶段无机化工已初具规模，有机化工正在形成，高分子化工处于萌芽阶段。

(1) 无机化工

第一个典型的化工厂是在 18 世纪 40 年代建立于英国的铅室法硫酸厂，它先以硫磺为原料，后以硫铁矿为原料，产品主要用于制硝酸、盐酸及药物。1775 年 N·吕布兰提出了以食盐为原料，用硫酸处理得芒硝(Na_2SO_4)及盐酸，芒硝再与石灰石、煤粉配合入炉煅烧生成纯碱的方法，并在 1791 由奥尔良公爵筹款在巴黎附近建成第一个吕布兰法碱厂。20 世纪初，吕布兰法逐渐被索尔维法取代。1890 在德国建成了第一个制氯工厂，1893 年在美国建成了

第一个电解食盐水溶液制氯和氢氧化钠的工厂。至此，整个化学工业的基础——酸、碱的生产已初具规模。

(2) 有机化工

随着纺织业的迅速发展，天然染料已不能满足需求，1856年英国人W·H·珀金由苯胺合成了苯胺紫染料。后经剖析，天然茜素的结构为二羟基蒽醌，便以煤焦油中的蒽为原料，经氯化、取代、水解、重排等反应，仿制了与天然茜素完全相同的产物。同时，制药工业、香料工业也相继合成了与天然产物相同的许多化学品。1867年，瑞典人A·B·诺贝尔发明了迈特炸药，大量用于采掘和军工。1895年建立了以煤和石灰为原料，用电热法生产电石的第一个工厂，电石经水解生产乙炔，以此为起点生产乙醛、乙酸等一系列基本有机原料。

(3) 高分子化工

1839年美国人C·固特异用硫磺及橡胶助剂加热天然橡胶，使其交联成弹性体，开创了高分子化工时代。1869年美国人J·W·海厄特用樟脑增塑硝酸纤维素制成赛璐珞塑料；1891年H·B·夏尔多内在法国贝松桑建成了第一个硝酸纤维素人造丝厂；1909年美国人L·H·贝克兰制成了酚醛树脂，俗称电木，广泛用于电器绝缘材料。

3. 近代化学工业

从20世纪初到20世纪60~70年代是化学工业真正成为大规模生产的阶段。在这个阶段，合成氨和石油化工得到了发展，高分子化工进行了开发，精细化工逐渐兴起。在这个时期，英国人G·E·戴维斯和美国人A·D·利特尔等人提出了单元操作的概念，这些为化学工程建立奠定了基础。

(1) 合成氨工业

20世纪初，F·哈伯用物理化学的平衡理论，提出了用氮气和氢气直接合成氨的催化方法，以及原料气与产品分离后再循环使用的设想，C·博施进一步解决了设备问题，因战争的需要，1912年在德国奥堡建成了第一座日产30t的合成氨厂。合成氨主要用焦炭为原料，到了20世纪50年代改为石油和天然气为主要原料，从而使化学工业和石油工业更加密切联系起来。

(2) 石油化工

1920年异丙醇在美国的产业化标志着大规模发展石油化工的开始。1939年美国标准油公司开发了临氢催化重整，这成为芳烃的重要来源；1941年美国建成了第一套以炼厂气为原料用管式炉裂解制乙烯的装置，开创了乙烯工业新时代(由于基本有机原料和高分子材料的单体主要以乙烯为原料，人们以乙烯的产量作为衡量有机化工的标志)。1951年，以天然气为原料，用水蒸气转化法得到一氧化碳及氢，使“碳一化学”受到重视，目前主要用于生产氨、甲醇和汽油。

(3) 高分子化工

1937年德国法本公司开发丁苯橡胶获得成功，以后各国又陆续开发了顺丁、丁基、丁腈、异戊、乙丙等多种合成橡胶；1937年美国人W·H·卡罗瑟斯成功合成尼龙-66，以后涤纶、维尼纶和腈纶等陆续投产，使其逐渐占据了天然纤维和人造纤维的大部分市场；继酚醛树脂之后，又出现了脲醛树脂、醇酸树脂等热固性树脂。20世纪30年代后，热塑性树脂品种不断出现，如聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚乙烯等；在这个时期还出现了耐腐蚀的材料，如有机硅树脂、氟树脂，其中聚四氟乙烯有“塑料之王”称号。

(4) 精细化工

在染料方面,发明了活性染料,使染料和纤维以化学键结合;在农药方面,20世纪40年代瑞士人P·H·米勒发明了第一个有机氯农药TTD,后又相继出现了系列有机氯、有机磷杀虫剂;到了20世纪60年代,杀菌剂、除草剂发展极快,出现了像吡啶类除草剂和咪唑杀菌剂等品种;在医药方面,1910年法国人P·埃尔利希制成了606砷制剂,随后又制成了914;20世纪30年代对磺胺类化合物和甾族化合物进行了结构上的改进,使其发挥了特效作用;1928年英国人A·弗来明发现了青霉素,开辟了抗菌药物新领域;在涂料方面,摆脱了天然油漆的传统,改用合成树脂,如醇酸树脂、环氧树脂和丙烯酸树脂等。

4. 现代化学工业

20世纪60年代以来,化学工业进入了现代阶段。这个时期传统化工生产规模日趋大型化,新技术革命兴起,对化学工业提出了新的要求,发展精细化工、超纯物质、新型结构材料和功能材料已成为大势所趋。

在规模大型化方面,1963年美国凯洛格公司设计建造了第一套日产540t合成氨单系列装置,到了20世纪70年代合成氨单系列生产能力已达900~1350t/d,80年代已达成800~2700t/d。乙烯单系列生产规模从20世纪50年代的年产50kt,发展到70年代的年产100~300kt,到20世纪80年代的年产680kt。在信息技术化学品方面,20世纪60年代以来,大规模集成电路和电子工业的迅速发展,多晶硅和单晶硅的产量以每年20%的速度增长;在记录材料方面,继1963年菲利普公司首盘磁带研制成功后,又出现了磁盘、磁鼓、磁泡、磁卡等多种类型,尤其光导纤维的出现,不仅用于光纤通信,而且广泛用于工业和医疗中;在高性能材料方面,20世纪60年代已开始使用聚酰胺、聚缩醛类、聚碳酸酯,以及丙烯腈、丁二烯和苯乙烯三元共聚物(ABS树脂)等结构材料。20世纪60年代以后,又出现了聚砜、聚酯、聚苯醚和聚苯硫醚等,尤其是聚酰亚胺,已广泛用于航空航天、农业、工业、建筑等领域;有机硅树脂和含氟材料发展也很迅猛,广泛用于电子工业、原子能工业、航天工业以及人造器官及生物医疗器材;在能源材料和节能材料方面,1960年美国试制成功了可以实用的醋酸纤维素膜,用以淡化海水等领域;1970年开发了芳香族聚酰胺反渗透膜,1977年改进后的反渗透膜用于海水淡化,每立方米淡水仅耗电23.7~28.4MJ。此后又出现了聚砜中空纤维气体分离膜,用于合成氨尾气的氢、氮分离及其他气体分离;在特殊材料方面,1971年美国福特汽车公司及威斯汀豪斯电气公司研发了 β -氮化硅(β - Si_3N_4)结构材料,耐温可达1370℃;20世纪80年代改进了陶瓷的脆性,开发了硅碳纤维增强陶瓷;20世纪90年代出现的超导材料和纳米材料更是将新型化学材料推向了一个新的高度。

§0-1.2 化学工业分类

化学工业按产品分,有无机化学工业、基础有机化学工业、高分子化学工业和精细化学工业;按原料来源划分,有石油化工、煤化工、天然气化工和油页岩化工;按产品市场特点分,有大宗产品、大宗专用产品、精细化工产品 and 特殊化学品;按中国工业统计方法分,有合成氨及肥料工业、硫酸工业、制碱工业、无机物工业(包括无机盐及单质)、基本有机原料工业、染料及中间体工业、产业用炸药工业、化学农药工业、医药药品工业、合成树脂与塑料工业、合成纤维工业、合成橡胶工业、橡胶制品工业、涂料及颜料工业、信息记录材料工业(包括感光材料、磁记录材料)、化学试剂工业、军用化学品工业、化学矿开采工业和化工机械制造工业。

§ 0-1.3 化学工业特点

1. 多样性和复杂性

化学工业与其他工业相比,原料、生产方法和产品的多样性和复杂性是其独有的特点。化学工业可以从不同的原料出发制造同一产品,也可以用同一原料制造许多不同产品。同一原料制造同一产品可以采用不同的生产路线。一个产品有不同的用途,而不同的产品有时却有同一用途。一种产品往往又是生产其他产品的原料、辅助材料或中间体。这些错综复杂的关系,使其原料来源、技术、设备和市场等方面的变化既相互适应,又有较大的选择余地。从这个意义上说,化学工业是一个具有多功能和灵活性较强的工业。

2. 能耗大

化学工业伴随着化学反应,化学反应又伴随着吸热和放热,因而化学工业是一个能耗大的工业,同时也是节能潜力很大的工业。现代化学工业非常重视能量的充分利用,在换热器的设计上,过去强调减少传热面积以减少投资的理念逐渐被有效利用能源,尽可能提高能量利用率的新理念所代替。因而管道纵横,反应器连换热器,加热管与冷却管并行,已成为现代化工企业的标志性特征。

3. 知识和资金的密集性

由于化学工业的复杂性和生产设备的大型化,使化学工业成为一个知识密集化、资金密集化的生产部门。在这个部门集中了多种专业的技术专家和受过良好教育及训练有素的管理人员和技术人员,他们有的从事新产品、新技术的开发,有的从事科技信息工作,以获取市场和科学技术信息,有的在生产第一线,用自己的智慧创造社会财富。在这个部门还集中了大批技术先进、性能优良的耐高温、耐高压的生产设备,这些设备决定了化学工业是一个资金密集型的部门。例如一个年产 300kt 合成氨、450kt 尿素的化肥厂,投资需 40~50 亿人民币,一个年产 300kt 的乙烯厂,需资 60~80 亿人民币。

4. 易污染、重污染

化学工业产品有许多是易燃、易爆、有毒的化学物质,在生产、储存、运输、使用等过程中,如果发生泄露,就会严重危险人的生命健康,污染环境。化学工业生产过程中的废气、废水和废渣,若不适当地处理,会给大气、水、土壤及环境带来危害,例如 1984 年美国联合碳化物公司在印度博帕尔市农药厂的毒气泄露事件,造成 2000 人中毒死亡;1999 年比利时等国相继发生的二噁因污染事件,导致畜禽类产品及乳制品严重污染,造成全世界大恐慌。因而,现代化化工企业非常注意环境保护,除制定相关的管理制度外,还要投入巨资来保护环境。近年来,传统的先污染后治理理念已逐渐被“绿色化学”和“友好化学”的理念所取代。

§ 0-1.4 化学工业的原料与资源

1. 原料

化学工业的原料有很多,概括来讲,主要有以下几类:

(1) 矿物原料

有煤、石油、天然气以及无机化学矿,如硫铁矿、磷矿等。化学工业发展的初期,煤是主要原料,用于合成氨、染料、煤化学产品和有机合成产品的原料。到了 20 世纪 40 年代,由于石油工业的发展,石油和天然气逐渐成为化学工业的主要原料,这是因为它所需的设备

投资和产品成本都低于以煤为原料的生产。

(2) 生物原料

包括粮食、农副产品废料和林产品的副产物。历史上许多有机产品都是以生物原料取得的,如乙醇、糠醛等。但随着石油的使用,其价格优势和来源优势,在世界范围内逐渐取代了生物原料。虽说现在生物化工部门还在使用生物原料,但其比例在整个化学工业中已经很小。

(3) 水和空气

水作为最廉价和最丰富的溶剂,广泛用于化学工业,但水也是工业制氢气的原料,同时大量用于洗涤、冷却介质和锅炉给水。海水因含大量的无机盐,是工业提取镁、溴、碘、食盐等许多元素和盐的原料;空气则是工业用氮气、氧气及稀有气体的来源。

2. 资源

煤、石油、天然气既是能源,又是化工原料。作为化工原料,虽说与能源相比的比例小,但其经济效益却很高。在世界范围内来讲,煤、石油和天然气等化工原料分布很不均匀,石油天然气主要分布美国、俄罗斯、中东、加拿大、罗马尼亚、中国等国家和地区;煤炭主要分布在德国、南非、中国等国家和地区;化工用矿主要有磷矿、钾矿、硫铁矿、天然碱、硼矿、芒硝等。磷酸盐储量超过亿吨的国家有 21 个,其中美国、俄罗斯、摩洛哥三国的产量占世界总产量的 75%;钾盐来自于光卤石、天然卤水等,俄罗斯、加拿大、法国、德国、美国等 12 个国家生产钾盐,其中俄罗斯产量最大,占世界总产量的 35%;硫铁矿主要分布于俄罗斯和欧洲,元素硫矿主要分布在墨西哥、波兰、俄罗斯;天然橡胶主要分布于东南亚和南美。

§ 0-2 化学工程概述

化学工程学是研究化学工业和其他过程工业生产中所进行的化学过程和物理过程共同规律的一门工程学科。这些工业包括石油加工工业、冶金工业、食品工业和造纸工业等。它们都是从石油、天然气、煤、空气、水和粮食等基本原料出发,借助化学过程和物理过程,改变物质的组成、性质和状态,使之成为多种价值较高的产品,如化学肥料、汽油、合成纤维、塑料、烧碱和合成橡胶等。化学过程是指物质发生变化的反应过程,而物理过程则是指物质不经化学反应而发生的组成、性质、状态和能量变化过程。任何一个化学工业过程它都包含着化学过程和物理过程,并且化学过程与物理过程都是同时发生。对这些表现形式多样,错综复杂的过程,我们都可通过化学工程的研究,认识和阐释其规律,并使之应用于生产过程和装置的开发、设计和操作,以达到优化和提高效率的目的。

§ 0-2.1 化学工程发展概况

据考证,早在一万年前中国人已掌握了用窑穴烧制陶器的技艺;五千年前埃及人开始酿造葡萄酒,并用布袋对葡萄汁过滤……,但在相当长的时期里,这些操作都仅仅是规模很小的手工作业。化学工程真正成为一门独立的学科,是 19 世纪下半叶随着大规模制造化学产品的生产过程的发展而形成的。

1. 化学工程发展的萌芽

1791 年 N·吕布兰发明的吕布兰法制碱工业化标志着化学工业的诞生。到了 19 世纪 70