



普通高等教育“十二五”规划教材

化工基础

(第二版)

张四方 主编 刘 红 副主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

普通高等教育“十二五”规划教材

化 工 基 础

(第二版)

张四方 主 编

刘 红 副主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本教材的修订是以《普通高校化学类专业指导性专业规范》为依据,在保持第一版教材特色不变的前提下,删除了内容陈旧的氯碱工业,增加了甲醇和典型化工设备,对习题进行了全面更新,使教材更加具有时代性、实用性和简明性。全书共分10章,分别为:绪论、流体流动与输送、传热、吸收、精馏、化学反应与反应器、合成氨、煤化工、甲醇、化工设计初步。各章附有思考题和习题,书后附有常用数据及相关资料,供使用时参考。

本书可作为高等师范院校及综合理科院校化学、应用化学及其他相关专业的教材,也可作为化学和化工专业科技人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

化工基础 / 张四方主编. —2版. —北京:中国石化出版社, 2012. 8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5114-1687-2

I. 化… II. ①张… III. ①化学工程-高等学校-教材 IV. ①TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 178313 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

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

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 18.25 印张 453 千字

2012 年 8 月第 2 版 2012 年 8 月第 1 次印刷

定价:40.00 元

前 言

2004年8月,《化工基础》第一版在参编院校和中国石化出版社的大力支持下出版发行。发行以来,承蒙广大读者的厚爱,在此向广大读者表示最诚挚的感谢。

目前,我国的高等教育改革已进入到一个关键阶段。教育部、财政部《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》[教高2007年1号]和教育部《关于进一步深化本科教学改革全面提高教学质量的若干意见》[教高2007年2号],为我国高等教育改革进一步指明了方向,教育部高等学校化学类专业教学指导委员会的《普通高校化学类专业指导性专业规范》(以下简称《规范》)为高等化学教育改革提出规范,培养高素质复合型应用人才为社会服务已成为高等院校的必然选择。为了适应高等教育改革,为社会培养合格的化学人才,本书主编与原编著者商议,并得到原编著者的授权,邀请从事化工基础教学的中青年教师对第一版《化工基础》进行了全面修订。修订时,以《规范》为依据,以培养高素质复合型化学应用人才为目标,在保持第一版特色不变的基础上,作了以下修改:

1. 新增了甲醇的生产工艺内容,其目的是通过这部分内容的学习,使学生了解有机化工产品的生产过程,掌握甲醇的用途;
2. 删除了内容陈旧、技术落后的氯碱工业,使教材保持先导性和先进性;
3. 新增了化工生产过程的部分重要设备,通过这些设备的学习,使学生了解化工设备在化工生产中的重要性;
4. 全面修订了课后习题,删除了与教学过程联系不紧密、内容较陈旧、锻炼效果不明显的习题,增加了思路清晰、效果明显、紧贴教学的习题,并对所有习题的答案进行了核对,确保了习题的功能;
5. 全面修订了教学内容,删除了超出《规范》规定的内容,精简了繁琐的推演过程,使教材更具简明性。

本教材由张四方任主编,刘红任副主编,张四方、刘红对全书进行了统稿、审稿和定稿。参加编写的有:太原师范学院张四方(绪论、第5章)、太原师范学院杨春梅(第1章)、晋中学院刘冷(第2章)、运城学院孙鸿(第3章)、海南师范大学刘红(第4章)、太原师范学院韩红斐(第6章)、晋中学院路敏(第7章)、太原师范学院朱瑞涛(第8章)、山西大同大学武彦芳(第9章)。

本书修订过程参阅了国内外大量文献和资料,并在书中进行了引用,在此

向所有作者表示诚挚感谢。修订过程得到了参编院校和中国石化出版社的大力支持，任翠霞老师为本书的修订付出了辛苦劳动，特此向他们表示感谢。

鉴于编者经验和水平有限，书中难免有不妥之处，本书编者衷心期望专家、同行和广大读者提出批评和指正。

张四方

2012年5月于太原

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	(5)
§ 0-1.3 化学工业特点	(5)
§ 0-1.4 化学工业的原料与资源	(6)
§ 0-2 化学工程概述	(6)
§ 0-2.1 化学工程发展概况	(7)
§ 0-2.2 化学工程学科内容	(8)
§ 0-2.3 化学工程的研究方法	(11)
§ 0-3 化学工艺概述	(11)
§ 0-4 化学工程中的一些基本规律	(12)
§ 0-4.1 物料衡算	(12)
§ 0-4.2 能量衡算	(13)
§ 0-4.3 平衡关系	(14)
§ 0-4.4 过程速率	(14)
§ 0-5 单位制与单位换算	(15)
§ 0-5.1 单位与单位制	(15)
§ 0-5.2 单位换算	(16)
思考题	(17)
第 1 章 流体流动与输送	(18)
§ 1-1 流体静力学	(18)
§ 1-1.1 流体的密度	(19)
§ 1-1.2 流体的静压力	(20)
§ 1-1.3 流体静力学基本方程	(21)
§ 1-1.4 流体静力学基本方程式的应用	(22)
§ 1-2 流体流动的基本方程	(25)
§ 1-2.1 流量与流速	(25)
§ 1-2.2 稳态流动和非稳态流动	(26)
§ 1-2.3 连续稳态流动系统的物料衡算	(27)
§ 1-2.4 连续稳态流动系统的能量衡算	(28)
§ 1-2.5 柏努利方程式的意义	(30)
§ 1-2.6 柏努利方程式的应用	(31)
§ 1-3 流量测量	(35)
§ 1-3.1 测速管	(35)

§ 1-3.2 孔板流量计	(36)
§ 1-3.3 转子流量计	(38)
§ 1-4 实际流体流动与阻力计算	(39)
§ 1-4.1 黏度与牛顿黏性定律	(39)
§ 1-4.2 流体流动型态与雷诺数	(40)
§ 1-4.3 流体流动时的阻力计算	(41)
§ 1-5 离心泵	(45)
§ 1-5.1 离心泵的主要部件和工作原理	(45)
§ 1-5.2 离心泵的性能参数	(46)
§ 1-5.3 离心泵的特性曲线及其应用	(47)
§ 1-5.4 影响离心泵性能的主要因素	(48)
§ 1-5.5 离心泵的汽蚀现象与安装高度	(49)
§ 1-5.6 离心泵的工作点与流量调节	(50)
§ 1-5.7 离心泵的联用、安装与运转	(51)
思考题	(53)
习题	(53)
第 2 章 传热	(59)
§ 2-1 概述	(59)
§ 2-1.1 化工生产中的传热过程	(59)
§ 2-1.2 传热基本方式	(59)
§ 2-1.3 传热速率和热强度	(60)
§ 2-1.4 稳态传热和非稳态传热	(60)
§ 2-2 传导传热	(60)
§ 2-2.1 傅里叶定律	(60)
§ 2-2.2 传导传热计算	(61)
§ 2-3 对流传热	(65)
§ 2-3.1 对流传热过程分析	(65)
§ 2-3.2 牛顿冷却定律	(65)
§ 2-3.3 影响 α 的主要因素	(66)
§ 2-4 热交换计算	(66)
§ 2-4.1 传热总方程	(66)
§ 2-4.2 传热总系数	(68)
§ 2-4.3 热负荷计算	(68)
§ 2-4.4 传热温度差	(69)
§ 2-5 强化传热途径	(73)
§ 2-5.1 温度差 Δt_m	(73)
§ 2-5.2 传热面积 A	(73)
§ 2-5.3 传热总系数 K	(74)
§ 2-6 列管换热器	(74)
§ 2-6.1 列管式换热器的结构	(74)

§ 2-6.2 流程选择	(75)
思考题	(76)
习题	(77)
第 3 章 吸收	(81)
§ 3-1 概述	(81)
§ 3-1.1 吸收在化学工业中的应用	(81)
§ 3-1.2 吸收剂的选择	(81)
§ 3-2 吸收的气液相平衡	(82)
§ 3-2.1 亨利定律	(82)
§ 3-2.2 摩尔比	(83)
§ 3-2.3 相平衡与吸收过程的关系	(84)
§ 3-3 吸收速率	(85)
§ 3-3.1 单相内的扩散	(85)
§ 3-3.2 两相传质	(87)
§ 3-3.3 吸收速率方程	(87)
§ 3-4 吸收塔计算	(91)
§ 3-4.1 物料衡算和操作线方程	(91)
§ 3-4.2 填料层高度(低浓度气体)	(93)
§ 3-4.3 传质单元数和传质单元高度	(94)
§ 3-4.4 吸收塔塔径计算	(97)
§ 3-5 填料塔	(97)
§ 3-5.1 填料塔的结构特点	(97)
§ 3-5.2 填料	(98)
§ 3-5.3 填料塔的附属设备	(100)
思考题	(101)
习题	(101)
第 4 章 精馏	(105)
§ 4-1 双组分物系气液相平衡	(105)
§ 4-1.1 理想溶液的气液相平衡	(105)
§ 4-1.2 挥发度与相对挥发度	(106)
§ 4-1.3 $t-x-y$ 相图和 $y-x$ 相图	(107)
§ 4-2 连续精馏	(109)
§ 4-2.1 精馏原理	(110)
§ 4-2.2 精馏塔内的气液相组成	(111)
§ 4-2.3 精馏过程	(111)
§ 4-3 连续精馏物料衡算	(112)
§ 4-3.1 全塔物料衡算	(112)
§ 4-3.2 精馏段物料衡算	(113)
§ 4-3.3 提馏段物料衡算	(114)
§ 4-3.4 进料状况及 q 线方程	(114)

§ 4-3.5 操作线方程图示	(116)
§ 4-4 理论塔板数确定	(117)
§ 4-4.1 逐板算法	(117)
§ 4-4.2 图解法	(118)
§ 4-5 回流比的选择	(120)
§ 4-5.1 全回流与最小理论塔板数	(121)
§ 4-5.2 最小回流比	(122)
§ 4-5.3 适宜回流比的选择	(124)
§ 4-5.4 捷算法求理论塔板数	(124)
§ 4-5.5 塔板效率	(125)
§ 4-6 板式塔	(126)
§ 4-6.1 板式塔的结构特点	(126)
§ 4-6.2 板式塔的塔板类型	(126)
§ 4-6.3 几种典型的错流塔板	(127)
思考题	(130)
习题	(131)
第 5 章 化学反应工程与反应器	(134)
§ 5-1 概述	(134)
§ 5-1.1 化学反应工程与化学反应器	(134)
§ 5-1.2 工业反应器的分类	(134)
§ 5-1.3 化学反应工程研究的方法	(136)
§ 5-2 均相反应动力学	(136)
§ 5-2.1 化学计量式	(136)
§ 5-2.2 反应程度	(137)
§ 5-2.3 转化率	(137)
§ 5-2.4 化学反应速率	(137)
§ 5-2.5 化学反应动力学的表达式	(138)
§ 5-2.6 反应分子数和级数	(138)
§ 5-2.7 反应速率常数	(139)
§ 5-3 均相等温等容反应的动力学方程式	(139)
§ 5-3.1 不可逆反应	(139)
§ 5-3.2 可逆反应	(141)
§ 5-3.3 复杂反应	(141)
§ 5-4 均相反应器	(144)
§ 5-4.1 概述	(144)
§ 5-4.2 理想反应器	(146)
§ 5-5 反应器的组合	(152)
§ 5-5.1 平推流反应器与全混流反应器组合	(152)
§ 5-5.2 n 个 CSTR 串联	(154)
§ 5-6 均相反应器的评比与选择	(156)

§5-6.1 简单反应的反应器体积	(156)
§5-6.2 复杂反应的操作条件与反应器的选型	(157)
§5-6.3 反应器的选择	(159)
§5-7 非均相反应器	(160)
§5-7.1 气-固相催化反应过程	(160)
§5-7.2 固定床催化反应器	(161)
§5-7.3 流化床催化反应器	(163)
思考题	(164)
习题	(165)
第6章 合成氨	(169)
§6-1 概述	(169)
§6-1.1 合成氨工业发展史	(169)
§6-1.2 原料与流程	(170)
§6-2 原料气的制取	(171)
§6-2.1 造气的化学反应	(171)
§6-2.2 固体燃料气化反应器	(173)
§6-2.3 固定床间歇气化法的工作循环	(173)
§6-2.4 间歇法制半水煤气的工艺条件	(175)
§6-2.5 氧-水蒸气连续气化法	(176)
§6-3 脱硫	(177)
§6-3.1 干法脱硫	(177)
§6-3.2 湿法脱硫	(179)
§6-4 变换	(181)
§6-4.1 变换反应的热力学	(181)
§6-4.2 变换反应的动力学	(181)
§6-4.3 变换工艺条件	(183)
§6-5 脱碳	(184)
§6-5.1 二乙醇胺催化热钾碱法	(185)
§6-5.2 低温甲醇脱碳法	(185)
§6-6 精制	(186)
§6-6.1 铜氨液吸收法	(186)
§6-6.2 甲烷化法	(187)
§6-6.3 液氮洗涤法	(187)
§6-7 氨的合成	(188)
§6-7.1 氨合成反应的热力学基础	(188)
§6-7.2 氨合成反应的动力学基础	(191)
§6-7.3 氨的合成	(195)
习题	(199)
第7章 煤化工	(200)
§7-1 概述	(200)

§ 7-1.1 煤的组成和性质	(200)
§ 7-1.2 煤的分类	(201)
§ 7-2 煤的气化	(201)
§ 7-2.1 概述	(201)
§ 7-2.2 气化原理	(202)
§ 7-3 煤的液化	(205)
§ 7-3.1 煤的直接液化	(206)
§ 7-3.2 煤的间接液化	(208)
§ 7-4 煤的焦化	(210)
§ 7-4.1 煤的成焦过程	(210)
§ 7-4.2 配煤及焦炭质量	(212)
§ 7-4.3 炼焦炉的结构及操作	(216)
§ 7-4.4 炼焦挥发物的回收	(217)
习题	(219)
第8章 甲醇	(221)
§ 8-1 概述	(221)
§ 8-1.1 甲醇生产状况	(221)
§ 8-1.2 甲醇生产的原则流程	(222)
§ 8-1.3 甲醇生产方法	(222)
§ 8-2 原料气制造	(224)
§ 8-2.1 煤炭气化过程的基本反应	(224)
§ 8-2.2 煤的加压气化	(225)
§ 8-3 脱硫	(228)
§ 8-3.1 氧化锌脱硫	(228)
§ 8-3.2 钴-钼加氢脱硫	(230)
§ 8-3.3 干法脱硫工艺流程	(231)
§ 8-4 甲烷转化	(232)
§ 8-4.1 甲烷转化反应	(232)
§ 8-4.2 甲烷的纯氧转化	(234)
§ 8-5 甲醇合成	(237)
§ 8-5.1 热力学分析	(237)
§ 8-5.2 动力学分析	(239)
§ 8-5.3 合成反应器	(240)
§ 8-5.4 甲醇合成工艺流程	(242)
§ 8-6 甲醇精馏工艺	(244)
§ 8-6.1 甲醇精馏工艺技术	(244)
§ 8-6.2 甲醇精馏工艺流程	(245)
§ 8-6.3 产品质量	(245)
思考题	(246)

第9章 化工设计初步	(247)
§9-1 基本程序	(247)
§9-1.1 项目建议书	(247)
§9-1.2 可行性研究	(248)
§9-1.3 计划任务书	(250)
§9-1.4 设计阶段	(250)
§9-2 可行性研究报告	(251)
§9-2.1 市场调查	(251)
§9-2.2 产品需求预测和预测方法	(252)
§9-2.3 拟建规划	(254)
§9-2.4 原料路线选择原则	(255)
§9-2.5 工艺路线选择原则	(256)
§9-2.6 项目财务规划	(257)
§9-2.7 项目风险分析	(259)
§9-2.8 环境影响分析	(261)
§9-3 化工工艺设计	(261)
§9-3.1 化工工艺设计的内容	(261)
§9-3.2 工艺设计的初步设计内容和程序	(262)
§9-3.3 初步设计的设计文件	(263)
§9-3.4 工艺施工图设计文件	(265)
附表	(266)
一、单位换算	(266)
二、水的物理性质	(267)
三、一些液体的物理性质	(269)
四、水的饱和蒸气表	(269)
五、一些有机物的蒸气压	(271)
六、一些气体的物理性质	(273)
七、B型水泵性能表(摘录)	(274)
八、一些固体材料的导热系数(常温下)	(275)
九、扩散系数	(276)
十、一些传热系数的数据	(276)
十一、管壳式换热器系列标准(摘录)	(277)
十二、气体在液体中的溶解度	(278)
十三、一些填料的性质	(280)

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业。化学工业是国民经济的重要组成部分，其产值在国民经济中占举足轻重的地位，其数以千万计的产品与工农业、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

一直以来，化学工业就与发展生产力、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 年美国入 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 年美国入 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 年美国入 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—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 年美国入 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 砷制剂；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，化学工业进入到现代化学工业时期。在这个时期，传统化学工业生产规模日趋大型化，新型化学产品层出不穷，其特点集中表现在：生产规模大型化，原料和生产方法的多样化，化工产品精细与专用化，“三废”处理的综合化。

化学工业进入 21 世纪以来，除了传统化学工业大型化技术日趋成熟外，在纳米技术、超导技术、生物化工、煤化工、氢能利用、海洋化工等方面也取得了突破性进展。

(1) 纳米技术

日本 NEC 研制出了世界最小晶体管，长度为 5nm，比最小的病毒还要小 2 倍；俄罗斯科学家研制出生产能力为每小时 10g 的碳纳米管技术装置；法国国家科研中心应用粉末冶金制成平均尺度为 80nm、机械特性极佳的纯纳米晶体铜，其强度比普通铜高 3 倍，而且形变时非常均匀；英国谢菲尔德大学通过模拟细胞自我组装机理，使一种树状有机分子自我组装成截面约为 20nm×20nm、含 25 万个原子的晶格单元，由这些晶格构建的纳米晶体结构比普通液晶晶格结构更大、更复杂，可用于制造各种分子电子学和光学材料；以色列科学家利用生物自组装技术和碳纳米管的电子特性，首次在 DNA 上制造出纳米晶体管，证实利用生物技术制造无机物器件是可能的。

(2) 超导技术

1986 年瑞士 Bednorz 和 Müller 发现了 La-Ba-CuO 混合金属氧化物具有超导电性(转变温度为 35K)，随后，科学家又发现了 Y-Ba-CuO、Bi-Ca-CuO、Tl-Ba-Ca-CuO 等混合金属氧化物都具有超导电性，且超导转变温度已高于液氮温度(77K)，这些发现为室温超导材料的研究奠定了基础。2010 年英国利物浦大学和杜伦大学的研究人员通过施加一定的压力，改变了 C₆₀ 的晶体结构，制得 Cs₃C₆₀ 超导体，这个发现不仅合成了有机超导体，而且，Cs₃C₆₀ 是球状结构，属三维超导，具有广阔的发展前途。

(3) 生物化工

20 世纪 60 年代末至 80 年代中期，转基因技术、生物催化技术、动植物细胞培养技术、新型生物反应器和新型生物分离技术等开发和研究的成功，使生物化工进入了新的发展时期，其中被人们广为关注的是生物质能。

生物质能的利用主要包括生物质能发电和生物燃料。生物质能发电主要是直接燃烧发电和利用先进的小型燃气轮机联合循环发电。生物燃料是指通过生物资源生产的石油替代能源，包括生物乙醇、生物柴油、ETBE(乙基叔丁基醚)、生物气体、生物甲醇与生物二甲醚。

生物质属可再生资源，通过植物的光合作用可以再生，与风能、太阳能等同属可再生能源，资源丰富，可保证能源的永续利用。生物质的硫含量、氮含量低，燃烧过程中生成的

SO_x、NO_x较少，因而，可有效地减轻温室效应。

(4) 煤化工

煤化工开始于 18 世纪后半叶，19 世纪形成了完整的煤化工体系。进入 20 世纪，许多以农林产品为原料的有机化学品多改为以煤为原料生产。

煤中有机质的化学结构是以芳香族为主的稠环为单元核心，由桥键互相连接，并带有各种官能团的大分子结构，通过热加工和催化加工，可以使煤转化为各种燃料和化工产品。焦化是应用最早且至今仍然是最重要的方法，其主要目的是制取冶金用焦炭，同时副产煤气和苯、甲苯、二甲苯、萘等芳烃。

新型煤化工是以生产洁净能源和可替代石油化工的产品为主，如柴油、汽油、航空煤油、液化石油气、乙烯原料、聚丙烯原料、替代燃料(甲醇、二甲醚)等，它与能源、化工技术结合，可形成煤炭-能源化工一体化的新兴产业。煤炭能源化工产业将在未来能源的可持续利用中扮演重要的角色，是今后 20 年的重要发展方向。

(5) 氢能利用

1965 年美国研制成功了液氢发动机并应用于航天飞机；1976 年美国研制出一种以氢作燃料的汽车；20 世纪 70 年代末期，奔驰汽车公司已对氢气进行了试验，他们仅用了 5kg 氢就使汽车行驶了 110km。

用氢作为汽车燃料，不仅干净，在低温下容易发动，而且对发动机的腐蚀作用小，可延长发动机的使用寿命。更令人感兴趣的是，只要在汽油中加入 4% 的氢气，用它作为汽车发动机燃料，就可节油 40%。

在光的作用下将水分解成氢气和氧气，关键在于找到一种合适的催化剂。二氧化钛和某些含钨的化合物可作光水解的催化剂；半导体材料钛酸锶作光电极，金属铂作暗电极，将它们连在一起，然后放入水里，通过阳光的照射，就在铂电极上就可释放出氢气，而在钛酸锶电极上释放出氧气。

另外，一些微生物也能在阳光作用下制取氢。俄罗斯科学家们已在湖沼里发现了一种微生物，把这种微生物放在适合它生存的特殊器皿里，然后将微生物产生出来的氢气收集在氢气瓶里。日本科学家已找到一种叫做“红鞭毛杆菌”的细菌也能催化制氢。

(6) 海洋化工

海洋化工是以海洋中的一些物质作为原料通过工业化提取，分离并纯化，而形成产品的一个行业。进入 21 世纪以来，海水化工、藻类化工等引起了人们广泛关注。

海水化工主要包括海水淡化和海水制化学品。海水淡化即利用海水脱盐生产淡水。目前，所用的海水淡化方法有海水冻结法、电渗析法、蒸馏法、反渗透法等，其中应用反渗透膜的反渗透法以其设备简单、易于维护和设备模块化等优点被广泛应用；海水制化学品主要包括海水提取钾、溴、镁、锂、碘、铀、重水等。在 20 世纪 70 年代我国的千吨级海水提取氯化钾和百吨级海水提取氯技术就获得成功。进入 21 世纪以来，我国大力加强联产和综合提取技术的研究和开发，使海水化学资源的利用真正达到综合利用。

藻类化工包括藻类制油、藻类制纤维、藻类制肥。藻类制油是经由微藻的筛选和培育，获得性状精良的高含油量藻种，然后在光生物反应器中接收阳光、二氧化碳(CO₂)等，将二氧化碳转化为微藻自身的生物质从而固定碳元素，再经由引诱反应使微藻自身的碳物质转化为油脂，然后应用物理或化学方式把微藻细胞内的油脂转化到细胞外，进行提炼加工从而产生物柴油或航空燃油。藻类制纤维是以海藻酸盐(包含海带、褐藻、琼胶藻、卡拉胶原

藻等)为原料,采取绿色工艺制出海藻酸、海藻酸钙、海藻酸钡、海藻酸锌、海藻酸铜、海藻酸铝、海藻酸银以及多离子海藻纤维。藻类肥料除含有大量非含氮有机物和微量养分元素外,还含有海洋生物所特有的海藻多糖、藻朊酸、高度不饱和脂肪酸,以及陆生植物罕见的锌、镍、溴、碘等矿物元素以及丰盛的维生素,极易被植物接收。

§ 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、精细化工产品和特殊化学品;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部门。

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,如果发生泄漏,就会严重危及人的生命健康,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