高等学校教材

化工导论

邹长军 ◎ 编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

高等学校教材

化工导论

邹长军　编

石油工业出版社

内 容 提 要

化工是继土木、机械和电气之后形成的第四大工程，对人类文明和社会发展的影响是巨大的。本书作为一本导论性的入门教材，除了阐述化工学科的形成、发展与学科内涵外，还从原料和燃料的角度介绍了煤、石油和天然气等资源的加工和能源利用，从产品工程的角度介绍了石油天然气化工产品、高分子化工产品及精细化工产品等内容。但不管是原料加工还是目的产品生产，化工基础、环境友好及可持续发展的知识是重要的，因此，在本书的后两章向读者介绍了这方面的内容。

本书可作为化工类专业学生了解本专业的导论性教材，还可供从事或准备从事化工、石油、材料、能源、动力、机械、冶金、轻工等行业的专业和非专业人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

化工导论／邹长军编．— 北京：石油工业出版社，2018.9

高等学校教材

ISBN 978-7-5183-2825-3

Ⅰ.①化… Ⅱ.①邹… 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（2018）第 199616 号

出版发行：石油工业出版社

（北京市朝阳区安华里 2 区 1 号楼 100011）

网 址：www.petropub.com

编辑部：（010）64523579

图书营销中心：（010）64523633

经 销：全国新华书店

排 版：北京密东文创科技有限公司

印 刷：北京中石油彩色印刷有限责任公司

2018 年 9 月第 1 版 2018 年 9 月第 1 次印刷

787 毫米×1092 毫米 开本：1/16 印张：13.25

字数：336 千字

定价：29.90 元

（如发现印装质量问题，我社图书营销中心负责调换）

版权所有，翻印必究

前言

Preface

如何写好一本让即使没有一点儿专业背景的人也能看得懂的书是编者一直思考的问题。“化工”一词本身就有很多释义，既可以理解为化学工业、化学工程和化学工艺的总括，也可以理解为它们其中的一部分。如果再加上“导论”二字，用以引导读者轻松愉快地了解化工学科的奥妙，对于编者来说，无论如何都是一种挑战。

很感谢我们的先贤们在这方面所做的工作，当编者每每踏进图书馆驻足于书海中时，呈现在眼前的不仅仅是所寻找的资料，更被一种“为中华之崛起而读书”的精神所激励，那一刻仿若看见了无数的年轻后辈们投身于“化工”的宏大场景。“化工”这个国民经济的支柱产业，尤其在科技高度发展的今天，所起的作用更是不可或缺。

那么“化工”的内涵是什么？它又是如何发展形成的？未来，在人们对美好生活要求越来越高的时代，它的作用和地位又将如何变化？这些疑问不仅需要如编者般的老辈们思考，也需要更多的各行各业的年轻的科学工作者和工程师们思考。

编写本书的目的就是引导，给那些不同专业、不同层次的人们以启发，尤其是即将涉入化工专业的莘莘学子。如果说还能带来学科交叉或给非化工专业的读者带来启迪的话，那实在是编者的荣幸。

在本书编写过程中，天津大学王富民教授、重庆大学刘清才教授、吉林化工学院谭乃迪教授、北京理工大学珠海学院王淑波教授、中石油四川石油化工有限公司孙然功高工、中石油大庆油田分公司刘超工程师提出了许多宝贵意见和有益的指教。另外，本书还参考和应用了许多网络公开的图片和中外文献，并承蒙西南石油大学教材建设委员会的大力支持，在此一并深表谢意。

限于编者水平，错漏在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2018 年 6 月

目　　录

第一章　化工的发展历程 …… 1
第一节　化工学科形成 …… 1
第二节　化工学科的内涵 …… 7
第三节　化工与人类文明 …… 9
第四节　化工在经济发展中的作用 …… 12
第五节　化工的发展与分类 …… 15
第六节　化工学科的分化与化工教育 …… 21
本章思考题 …… 26
第二章　资源与能源化工 …… 27
第一节　无机化工 …… 27
第二节　煤化工 …… 32
第三节　石油炼制 …… 46
第四节　燃料电池 …… 58
第五节　天然气加工 …… 61
第六节　农林化工 …… 64
本章思考题 …… 68
第三章　产品化工 …… 69
第一节　石油化工 …… 69
第二节　合成气化工 …… 78
第三节　高分子化工 …… 85
第四节　精细化工 …… 99
本章思考题 …… 107
第四章　化工过程基本理论 …… 108
第一节　化工过程研究方法 …… 108
第二节　化工计算 …… 112
第三节　化工热力学 …… 116
第四节　熵 …… 119
第五节　化学反应工程 …… 125
第六节　动量传递 …… 132
第七节　热量传递 …… 141

第八节　质量传递…… 151
第九节　化工系统工程与计算机模拟…… 163
第十节　化工设计…… 166
本章思考题…… 173
第五章　化工生产与可持续发展…… 174
第一节　化工生产管理…… 174
第二节　化工安全…… 176
第三节　化工机械与设备…… 184
第四节　化工过程控制…… 187
第五节　化工环境保护…… 190
第六节　化工可持续发展…… 194
第七节　绿色化工…… 198
本章思考题…… 202
参考文献…… 203

第一章
化工的发展历程

“化工”一词，通常是化学工业、化学工艺和化学工程的总称或者其中之一。人类在长期的生活和生产活动中，为了求得生存和发展，不断地对大自然进行探索，逐步加深了对周围世界的认识，从而促进了人类文明的发展。在漫长的历史实践中，人类越发善于利用自然条件和改造自然，创造了丰富的物质世界。

在古代，人类的生活主要依赖于对天然物质的直接利用，或从天然物质中提取所需要的物质。随着人们需求的不断提高，当这些天然物质的固有性质不能满足要求时，便产生了加工技术。凡运用化学方法改变物质的组成或结构，或合成新物质的加工过程都属于化学生产技术（Chemical Technology），也就是今天我们所说的化学工艺，所得的产品称为化学品或化工产品。这样，许多自然界没有的物质就被源源不断地创造了出来。

最开始，人类生产这些产品的场所一般都是手工作坊，后来演变为工厂，并在土木建筑、机械制造等工业之后，逐步形成了一个特定的生产部门，即化学工业（Chemical Industry）。

随着生产力的发展，有些生产部门，如冶金、造纸、制革、炼油等，已作为独立的生产部门从化学工业中划分出来。尤其是随着石油炼制和石油化工的蓬勃发展，化学工程（Chemical Engineering）学科应运而生，即以化学、物理学和数学为基础并结合其他工程技术，研究化工生产过程中的共同规律，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。化学工程学科把化学工业从经验或半经验状态生产提高到了一个新的水平，从而使化学工业进入了理论和设计生产过程的新阶段，能够以更大的生产规模和创造能力，为人类增添大量的物质财富，加快了工业文明发展的进程。

总之，不同的历史时期、不同的场合，“化工”一词其含义不同。习惯上，“化工”已成为一个总的知识门类和事业的代名词，它在国民经济和工程技术中具有重要意义，广泛地引起了人们的兴趣，吸引着成千上万的人们为之奋斗。

第一节　化工学科形成

一、化工概念的提出

“化学工程”这一概念，最早由英国曼彻斯特地区的制碱业检查员 G. E. 戴维斯（图 1 - 1）提出，当时，法国革命时期已经出现了吕布兰法制碱。到了 19 世纪 70 年代，制碱、硫酸、化肥、煤化工等都已有了相当的规模，化学工业在这一时期出现了许多杰出的成就。例如索尔维法制碱中所用的纯碱碳化塔，高达 20 余米，在其中可同时进行化学吸收、结晶、沉降等过程，即使在今天看来，仍然是一项了不起的成就。但在当时取得这些成就的



图 1-1　G. E. 戴维斯[1]

人们却认为自己是化学家，而没有意识到自己已经在履行着化学工程师的职责。

G. E. 戴维斯通过总结指出：化学工业发展中所面临的诸多问题往往是工程问题；各种化工生产工艺，都是由为数不多的基本操作如蒸馏、蒸发、干燥、过滤、吸收和萃取组成的，可以对它们进行综合的研究和分析；化学工程将成为继土木工程、机械工程、电气工程之后的第四门工程学科。

虽然戴维斯的这些观点当时在英国没有被普遍接受，但对当时的英国还是有一定的影响，其证据之一就是 1885 年新成立的英国伦敦帝国学院，在创办的三个系中就有化学工程系，尽管该系讲授的课程只是化学和机械工程的混合，不久就停办了。戴维斯仍继续根据自己的观点搜集资料，并进行整理和分析。在 1887 ~ 1888 年，戴维斯在曼彻斯特工学院作了 12 次演讲，系统阐述了化学工程的任务、作用和研究对象。这些演讲的内容后来陆续发表在曼彻斯特出版的《化工贸易杂志》上，并在此基础上写成了《化学工程手册》，于 1901 年出版。这是世界上第一本阐述各种化工生产过程共性规律的著作，出版后很受欢迎，并于 1904 年出版了第二版。

二、化学工程专业的建立

1. 化学工程课程的开设

与英国的情况相反，戴维斯的这些活动在美国却引起了普遍的关注，化学工程这一名词在美国很快获得了广泛应用。1888 年，根据 L. M. 诺顿教授的提议，麻省理工学院开设了世界上第一个定名为“化学工程”的四年制学士学位课程，即著名的第十号课程。随后，宾夕法尼亚大学（1892）、戴伦大学（1894）、密歇根大学（1898）也相继开设了类似的课程。这些课程的开设标志着培养化学工程人才的开始。但这些课程的主要内容是由化学和机械工程构成的，还未具有今天化学工程专业的特点。这样培养出来的化学工程人才虽然具有制造各种化工产品的工艺知识，但仍不懂得化工生产的内在规律，因此还不能满足化学工业发展的需要。

戴维斯虽然提出了培养化学工程师的一种新途径，但是他的工作因偏重于对以往经验的总结和对各种化工基本操作的定性阐述，还缺乏创立一门独立学科所需要的理论深度。1902 年华克尔受命开始对麻省理工学院化学工程的实验教学环节进行改造，由此拉开了化学工程教育改革的序幕，使化学工程进入了一个新的发展时期。

2. 化工单元操作概念的提出与化学工程师的培养

华克尔当时是著名物理化学家 A. 诺伊斯的助手，在此之前他曾和 A. D. 利特尔一起从事化学工业方面的咨询工作，这种经历使他有条件致力于探索如何把物理化学和工业化学知识结合起来，去解决化学工业发展中面临的工程问题。1905 年华克尔在哈佛大学受聘讲述

[1] G. E. 戴维斯，1850 年生于英国伊顿，曾就学于斯劳机械学院和皇家矿业学校。20 岁以前从事由煤气中提取苯的试验工作。1870 年，任曼彻斯特的贝莱漂洗厂化学师。1872 年，任坎诺克蔡斯化工厂厂长。1880 年起在曼彻斯特从事私人咨询顾问工作，并任英国皇家碱业视察员。1881 年，他协助创立英国化学工业协会。1895 年，任英国化学工程学会曼彻斯特分会主席。

的工业化学课程中，已经形成了现今化工原理课程的基本思想。因此，1907 年华克尔全面修订了化学工程课程计划，更加强调学生的化学训练和工程原理的实际应用。

1）化学工程师的培养

利特尔（图 1－2）长期从事化学工业方面的咨询工作，基于对化学工程的兴趣，以及同华克尔的友谊，他一直关心着麻省理工学院的化学工程教育。1908 年，根据他的建议，麻省理工学院建立了应用化学实验室和化学工程实用学校，让学生接受各种化工基本操作的实际训练。1915 年，他在给麻省理工学院的一份报告中，提出了单元操作的概念，报告指出，任何化工生产过程，无论其规模大小都可以用一系列称为单元操作的技术来处理。只有将纷杂众多的化工生产过程分解为构成它们的单元操作来进行研究，才能使化学工程专业具有广泛的适应能力。这些建议对化学工程学科的发展产生了深远的影响。



图 1－2　A. D. 利特尔❶

利特尔当时所说的单元操作，实际上就是以物理化学、传递过程和化工热力学为理论基础，研究实现蒸馏、干燥等各单元操作的过程和设备，故后来的课程设置中又将单元操作称为化工过程及设备、化工原理等。单元操作的应用遍及化工、冶金、能源、食品、轻工、核能和环境保护等部门，对这些部门生产的大型化和现代化起着重要作用。化工过程常用的单元操作见表 1－1。

表 1－1　化工过程常用的单元操作

类　别	名　称	目　的
流体流动过程	流体输送	物料以一定的流量输送
	沉降与过滤	从气体或液体中分离悬浮的颗粒或液滴
	混合	使液体与其他物质均匀混合，构成混合物，或强化物理、化学过程，也有固体混合
传热过程	换热	使物料升温、降温或改变相态
	蒸发	使溶剂汽化而与不挥发溶质分离
传质分离过程	蒸馏	通过汽化和冷凝而分离液体混合物
	吸收	用液体吸收剂分离气体混合物
	萃取	用液体萃取剂分离液体混合物
	浸取	用液体溶剂浸渍固体物料，使可溶组分与残渣分离
	吸附	用固体吸附剂分离气体或液体混合物
	离子交换	用离子交换剂从稀溶液中提取或除去某些离子
	膜分离	用固体或液体膜分离气体或液体混合物
热质传递过程	增湿	调节与控制气体中的水汽含量
	干燥	加热固体，使所含液体（如水）汽化而除去
	结晶	使液体或气体混合物中溶质变成晶体析出
热力过程	制冷	将物料冷却到环境温度以下

❶ A. D. 利特尔，美国化学工程界的先驱者，1908 年参与发起成立了美国化学工程师协会，并担任该协会的主席。他提出了单元操作概念，对皮革、氯酸钾、醋酸纤维素的制造和应用等方面作出了贡献。

续表

类　别	名　称	目　的
粉体工程	颗粒分级	将固体颗粒分为大小不同的部分
	粉碎	在外力作用下，使固体物料变成小颗粒
	流态化	用流体使大量固体颗粒悬浮并使其具有流体状态的特性

随着化学工业的发展，单元操作一直处在不断的发展之中，其中最活跃的领域是混合物的分离。近年来，单元操作的研究进展主要有如下特点：

（1）新的分离技术不断得到开发和应用，如膜分离、区域熔炼、电磁分离、泡沫分离、超临界流体萃取和超离心分离等。

（2）在原有分离技术方面，处理能力加大、效率提高的新型设备不断出现；设备的放大效应逐步得到解决；研究成功许多合理利用能量的操作流程；一些高效的吸收剂、萃取剂等不断出现并在生产中应用。

（3）计算机模拟和辅助设计不断取得成果，缩短了新过程的开发周期；设备的设计和操作更趋于合理，提高了产品质量，降低了能量消耗。

生产的发展给单元操作提出了新的课题，在促进化工生产发展的同时，又推动了单元操作学科的不断进步。

2）最初的化工原理教材

1920 年，在麻省理工学院，化学工程脱离化学系而成为一个独立的系，由 W. K. 刘易斯（图 1－3）任系主任。这年夏天，在华克尔的缅因州夏季别墅里，华克尔、刘易斯和麦克亚当斯完成了《化工原理》一书的初稿，此书油印后立即用于化工系的课程教学，后于 1923 年正式出版。

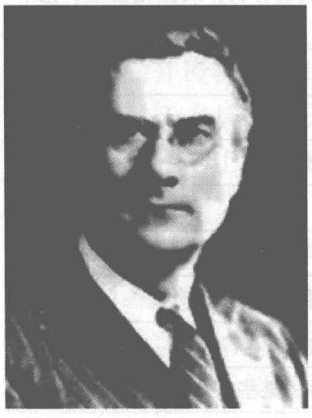


图 1－3　W. K. 刘易斯❶

《化工原理》阐述了各种单元操作的物理化学原理，提出了它们的定量计算方法，并从物理学等基础学科中吸取了对化学工程有用的研究成果（如雷诺关于湍流、层流的研究）和研究方法（如因次分析和相似论法），奠定了化学工程作为一门独立工程学科的基础，影响了此后化工专业人才的培养和化学工程学科的发展。

20 世纪 20 年代，在汽车工业的推动下，石油炼制工业兴起，出现了第一个化学加工过程——热裂化。另外，在化工生产中，连续操作日益普遍。这些过程的操作和放大，激发了人们对流体流动、热量传递及相际传质方面的研究热情。麻省理工学院培养的第一批具有单元操作知识的化工专业人才，在热裂化过程开发中发挥了极大的作用，这又进一步推动了单元操作的研究，取得了丰硕的成果。继《化工原理》后，一批论述各种单元操作的著作，如 C. S. 鲁滨孙的《精馏原理》（1922）和《蒸发》（1926）、刘易斯的《化工计算》（1926）、麦克亚当斯的《热量传递》（1933）、T. K. 舍伍德的《吸收和萃取》（1937）相继问世。

❶ W. K. 刘易斯，美国化学工程界的先驱者，被誉为化学工程之父，终身在麻省理工学院任教。除了著有《化工原理》外，他还与 W. 惠特曼提出了双膜理论，在皮革、橡胶制造、蒸馏、过滤、石油裂解、催化剂等方面有开创性贡献。刘易斯重视理论与实践相结合，开辟了化工学科的新途径，工业研究成果显著。他也是著名的教育家，擅长启发式教学，很多著名学者都出于他的门下。

3. 化工热力学的诞生

虽然在单元操作的阐述过程中，华克尔等就已经利用了热力学的成果，但是化学工程面临的问题还有很多，例如许多化工过程中都会遇到的高温、高压下气体混合物 PVT 的计算关系等，而经典热力学理论并没有提供现成的方法。20 世纪 30 年代初，麻省理工学院的 H. C. 韦伯等人提出了一种利用气体临界性质的计算方法，虽然从现今的物理化学观点来看，这种方法十分粗糙，但对工程应用，却已足够准确。这应该是化工热力学最早的研究成果。1939 年韦伯写出了第一本化工热力学教科书《化学工程师用热力学》，1944 年耶鲁大学的 B. F. 道奇写的第一本取名为《化工热力学》的著作出版，至此，化学工程的一个新的分支学科——化工热力学诞生了。

4. 化学工程的研究

第二次世界大战爆发以后，化学工程的研究不得不转入战争的需要。20 世纪 40 年代前期，在碳四馏分的分离和丁苯橡胶的乳液聚合、粗柴油的流态化催化裂化以及曼哈顿原子弹工程计划等重大项目的开发中，化学工程都发挥了重要作用。例如流态化催化裂化的设想就是由麻省理工学院的 W. K. 刘易斯和 E. R. 吉利兰提出的，在他们的指导下，几所大学同时进行了流化床性能的研究，确定了颗粒尺寸、密度等因素与床层膨胀、颗粒运动所需气速的关系，证实了在催化裂化反应器和再生器之间连续输送大量催化剂颗粒是可行的。这项技术开发的成功，使人们认识到要顺利实现过程放大，特别是高倍数的放大（在曼哈顿原子工程计划中放大高达 1000 倍），基础研究工作尤为重要，必须对过程的内在规律有深刻的了解。在单元操作经过二三十年的研究并已有了一定的基础之后，反应器的工程放大对化工过程开发的重要性也得到证实；同时，也为战后化学工程的发展指明了方向。

5. 化工学科体系的形成

如果说单元操作概念的提出是化学工程发展过程第一个里程碑的话，那么在第二次世界大战后，化学工程又经历了其发展过程中的第二个里程碑，这就是“三传一反”（动量传递、热量传递、质量传递和反应工程）。

1）“三传一反”概念的形成

化学工程诞生之初，对工业反应过程的研究吸引着许多化学工程师的注意。戴维斯在《化学工程手册》中曾对化学工业中的反应作过分类。单元操作的概念，也在处理蒸馏、蒸发、干燥、吸收等那些只包含物理变化的操作时获得了学界的认可。人们开始将反应过程按化学特征分为硝化、磺化、加氢、脱氢等单元过程，试图解决工业反应过程的开发问题。但实践证明：单元过程的概念没有抓住反应过程开发中所需解决的工程问题的本质。

1913 年哈伯—博施法合成氨投入生产，这一成功极大地促进了催化剂和催化反应的研究；1928 年钒催化剂被成功用于二氧化硫的催化氧化；1936 年发明了用硅铝催化剂进行的粗柴油催化裂化工艺。对这些气固相催化反应过程和燃烧过程的研究，使化学工程师开始认识到，在工业反应过程中质量传递和热量传递对反应结果的影响。20 世纪 30 年代后期，德国的 G. 达姆科勒和美国的 E. W. 蒂利分别对反应相外传质和传热以及反应相内传质和传热做了系统的分析，这些成果至今仍是化学反应工程的重要组成部分。50 年代初，随着石油化工的兴起，在对连续反应过程的研究中，提出了一系列重要的概念，如返混、停留时间分布、宏观混合、微观混合、反应器参数敏感性、反应器的稳定性等。1957 年在阿姆斯特丹

举行的第一届欧洲化学反应工程讨论会上，水到渠成地宣布了化学反应工程这一学科的诞生。

在《化工原理》中，华克尔等已经吸取了流体力学、传热学和关于质量传递的研究成果。到20世纪50年代，化学工程师更清楚地认识到，从本质上看所有单元操作都可以分解成动量传递、热量传递、质量传递这三种传递过程或它们的结合。这一观点，即使对工业反应器中进行的化学反应而言，传递过程的影响也清晰可辨。

20世纪50年代初，许多大学都开始给化工系的学生讲授流体力学、扩散原理等课程，并出现了把三种传递过程加以综合的趋向。1957年在普渡大学召开的美国工程学科的系主任会议上，传递过程和力学、热力学、电磁学等一起被列为基础工程学科，并制订了这一课程的详细计划。在这种背景下，威斯康星大学教授R. B. 博德、W. E. 斯图尔德和E. N. 莱特富特编写了《传递现象》教材，经威斯康星大学试用和修订，于1960年正式出版。这部著作的出版几乎和当年的《化工原理》一样产生了巨大的影响，成为化学工程发展进入“三传一反”时期的标志。

2）分支学科的综合和深化

20世纪50年代中期，电子计算机开始进入化工领域，对化学工程的发展起了巨大的推动作用，化工过程数学模拟迅速发展，由对一个过程或一台设备的模拟。很快发展到对整个工艺流程甚至整套装置的模拟。在50年代后期，第一代的化工模拟系统问世。

在计算机上进行模拟试验，既省时又省钱，使得研究化工系统的整体优化成为可能，形成了化学工程研究的一个新领域——化工系统工程，这是化学工程在综合方面上的深化。至此，化学工程形成了比较完整的学科体系。

在化学反应工程、传递工程、化工系统工程取得突破性进展的同时，单元操作和化工热力学并没有停滞不前。传递过程研究和电子计算机的应用给单元操作带来了新的活力。20世纪50年代初，美国化学工程师协会组织了蒸馏塔板效率的研究工作，对影响塔板效率的主要因素及应如何改进塔板结构有了感性认识。浮阀塔板、舌形塔板、斜孔塔板等新型塔板相继推出，通过设计方法的改进，筛板塔重新得到重视。反渗透、电渗析、超过滤等膜分离操作和区域熔炼等提纯技术投入了工业应用。液膜分离、参数泵分离等新的分离技术开始进行实验室研究。还有，高压过程的普遍采用和传质分离过程设计计算方法的改进，推动了化工热力学关于状态方程和多元汽液平衡、液液平衡及相平衡关联方法的研究，提出了一批至今仍获得广泛应用的状态方程和活度系数方程。

3）新兴领域的出现

进入20世纪70年代后，化学工业的规模不断扩大，并且面临着环境污染和能源紧缺的挑战。在单元操作方面，固体物料的加工和处理开始得到普遍的关注，粉体工程的新分支正在形成。在化工热力学领域，状态方程和相平衡关联依然是活跃的课题，提出了PR方程（1976）、SRK方程（1972）等形式简单又有足够精确度的新状态方程和基于基团贡献原则的UNIFAC（1977）等活度系数方程。另外，由于降低能耗的迫切要求，过程热力学分析获得了很大的发展。另一方面，高分子化工和生物化工的发展推动了非牛顿型流体传递过程特征的研究，激光测量、流场显示等新技术开始应用于传递过程。还有，化学反应工程不断向复杂领域扩展，20世纪70年代初催生了处理有大量连续组分参与反应的复杂反应体系的集总动力学方法和聚合反应工程、电化学反应工程等新分支。化工系统工程领域也开始对系统

综合进行探索，在换热器网络和分离流程的合成方面取得了有实用价值的成果。20 世纪 80 年代初开发了以 ASPEN 为代表的第三代化工模拟系统。

但是，由化工热力学、传递过程、单元操作、化学反应工程和化工系统工程构成的学科体系，无论在深度和广度上都已覆盖了传统化学工程的各个领域，所以在传统化学工程的范围内难以期望再会出现过去那种令人激动的突破。近十几年来，化学工程更引人注目的发展是在与邻近学科的交叉渗透中已经或正在形成的一些充满希望的新领域。

化学工程在与生物技术结合方面，通过二战期间问世的青霉素技术引领，各种抗生素和激素的生产迅速增长，微生物技术被用于石油蛋白生产和进行污水净化。20 世纪 70 年代，分子生物学在重组 DNA 技术方面等取得了重大成果，开拓了制备生物化学品和医药品的新领域，已可预见将对人类社会发展产生重大影响。

化学工程师已经以自己的专长为医学的发展做出了贡献，生物医学工程这一新学科正在形成。人的身体实质上相当于一座构造复杂的小型化工厂，许多生理过程可借助化学工程原理进行分析。传质原理已被用于潜水病的研究，传热原理已被用于体内热调节的研究，停留时间分布的概念可用来分析药物的疗效，在人工心肺机、人工肾的研制中应用了非牛顿流体流动和渗析的原理。

化学工程与固体物理、结晶化学、材料科学相结合，在化学气相淀积过程的研究中发挥着自己的作用。化学气相淀积是近二十年来获得迅速发展的一种制备无机材料的新技术，在微电子、光纤通信、超导等新技术领域中，广泛用于各种功能器件的制造。化工与材料科学的紧密结合推动了科学技术的进步，在碳材料（石墨烯和碳纳米管等）高度发展的今天，化工仍将担负着重要的历史重任。

正如一百年前从化学中分裂出了化学工程一样，今天化学工程中又在孕育着新的学科。

第二节　化工学科的内涵

一、化学工业的特点及研究对象

1. 化学工业的特点

化学工业是产品种类繁多的基础工业，为了适应化工生产的各种需要，化工设备的种类很多，操作条件也十分复杂：按操作压力有真空、常压、低压、中压、高压和超高压之分，按操作温度又有低温、常温、中温和高温之分。化工过程处理的介质大多数有腐蚀性，或易燃、易爆、有毒、有害等。有时对于某种具体设备来说，既有温度、压力的要求，又有耐腐蚀方面的要求，而且这些要求有时还互相制约，有时某些条件又经常变化。

随着科学技术的发展，化工过程由最初只生产纯碱、硫酸等少数几种无机产品和主要从植物中提取茜素制成染料的有机产品过程，逐步发展为一个多行业、多品种的生产部门，出现了一大批综合利用资源和规模大型化的化工企业。化工企业是利用化学反应改变物质结构、成分、形态等生产化学产品的部门，如无机酸、碱、盐、稀有元素、合成纤维、塑料、合成橡胶、染料、油漆、化肥、农药等。这些企业就其生产过程来说，同其他工业企业有许多共性，但就生产工艺技术、对资源的综合利用和生产过程的严格性、连续性等方面来看，

又有它自己的特点。

（1）生产技术具有多样性、复杂性和综合性。化工产品品种繁多，每一种产品的生产不仅需要一种或几种特定的技术，而且原料来源多种多样，工艺流程也各不相同；即使是生产同一种化工产品，也因有多种原料或不同反应路径而有多种工艺流程。由于化工生产技术的多样性和复杂性，任何一个大型化工企业的生产过程要能正常进行，都需要有多种技术的综合运用。

（2）化工生产具有综合利用原料的特性。化学工业的生产是化学反应，在大量生产一种产品的同时，往往会生产出许多联产品和副产品，而这些联产品和副产品大部分又是化学工业的重要原料，可以再加工和深加工。因此，化工部门是最能开辟原料来源、综合利用物质资源的一个部门。

（3）生产过程要求有严格的比例性和连续性。一般化工产品的生产，对各种物料都有一定的比例要求，在生产过程中，上下工序之间，各车间、各工段之间，往往需要有严格的比例，否则，不仅会影响产量、造成浪费，甚至可能中断生产。化工生产主要是装置性生产，从原材料到产品加工的各环节，都是通过管道输送，采取自动控制进行调节，形成一个首尾连贯、各环节紧密衔接的连续生产系统，任何一个环节发生故障，都有可能使生产过程中断。

（4）化工生产还具有耗能高的特性。第一，煤炭、石油、天然气既是化工生产的燃料动力，又是重要的原料；第二，有些化工产品的生产，需要在高温或低温条件下进行，无论高温还是低温都需要消耗大量能源。

2. 化学工业的研究对象

基于化学工业的特点，化工学科是研究化工过程中所进行的物质和能量转化，物质（组成、性质和状态）转变及其所用设备与过程的设计，操作和优化的共同规律与关键技术的一门工程技术学科。

化工学科的核心内涵是研究物质的合成，以及物质、能源的转化过程与技术，以提供技术上最先进、经济上最合理的方法、原理、设备与工艺为目标。其主要研究对象包括：以能源和资源开发及高效利用为目标的化学工程与技术，生物与制药过程中的化学工程与技术，以新物质和新材料开发、应用为目标的化学工程与技术，物质合成与转化过程中减轻和消除环境污染的化学工程与技术等。

二、学科理论与专业基础

1. 学科理论

化工学科经过一个多世纪的发展，尤其在化学工业及石油与天然气化工大规模生产需求的引领下，形成了以化学、物理学、数学和生物学基本原理和方法为基础，以“三传一反”为核心，包括化工热力学、分离过程、生物工程、系统工程和控制工程等重要理论的完整理论体系。

2. 专业基础

化工学科旨在培养能在化工、能源、信息、材料、环保、生物工程、轻工、制药、食品、冶金和军工等部门从事工程设计、技术开发、生产技术管理和科学研究等工作的工程技术人才，要求掌握化学工程与工艺等方面的基本知识与方法，同时注重化学与化工实验技

能、工程实践、计算机应用、科学研究与工程设计方法的基本训练，并具有对企业生产过程进行模拟优化、革新改造，对新过程进行开发设计和对新产品进行研发的基本能力。

除本学科的知识发展之外，相关学科的理论和技术的发展也使得化工学科的基础知识不断拓展和深化。总体来说，这些基础知识包括四大类：自然科学基础知识（数学、化学、物理、生物、生态学和医学），工程科学基础知识（工程机械等），技术科学基础知识（计算机科学与材料科学等）和人文社会科学基础知识（经济学与管理学等）。

第三节　化工与人类文明

人类与化工的关系十分密切，在现代生活中，几乎随时随地都离不开化工产品，从衣食住行等物质生活，到文化艺术、娱乐等精神生活，都需要化工产品为之服务。有些化工产品在人类发展的历史中，起着划时代的重要作用。它们的生产和应用，甚至代表着人类文明的一定历史阶段。引火烘烤食物是人类一个了不起的进步，等到熬制药物、酿酒制醋、烧陶制砖、炼铜冶铁、造纸印刷等化学加工技艺相继出现的时候，历史已流转了几千年。这些技艺的积累为化学工业的形成奠定了基础。图 1－4 为中国古代的酿酒过程，从图中已经能够看到发酵工艺和蒸馏化工单元操作的使用。

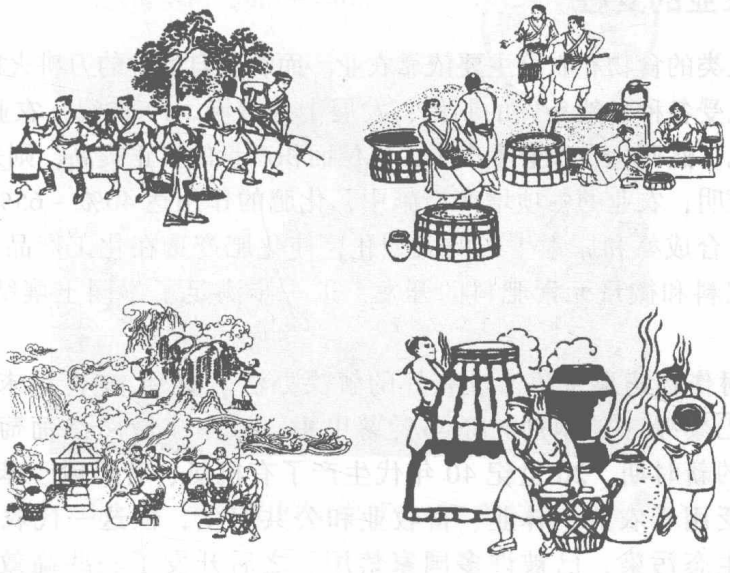


图 1－4　中国古代的酿酒过程

一、工业革命的助手

化学工业从形成之日起，就为各工业部门提供必需的基础物质。作为各时期工业革命的助手，正是它所担负的历史使命。18～19 世纪的产业革命时期，手工业生产转变为机器生产，蒸汽机发明了，社会化大生产开始了，这正是近代化学工业形成的时候。面临产业革命的急需，吕布兰（图 1－5）法制纯碱等技术应运而生，这使已有的铅室法制硫酸技术也得到发展，解决了纺织、玻璃、肥皂等工业对酸、碱的需要。

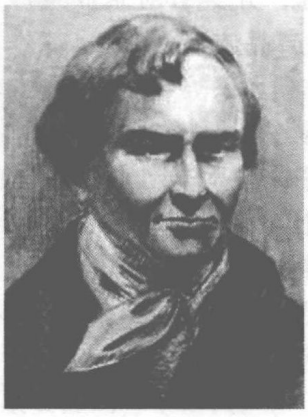


图 1-5　N. 吕布兰[1]

同时，随着炼铁、炼焦工业的兴起，以煤焦油分离出的芳烃和以电石生产的乙炔为基础原料的有机化工也得到了发展。合成染料、合成药物、合成香料等相继问世，橡胶轮胎、赛璐珞和硝酸纤维素等也投入生产。这样，早期的化学工业就为纺织工业、交通运输业、电力工业和机器制造业提供了必需的原材料和辅助品，促成了产业革命的成功。

20 世纪经过两次世界大战，一方面石油炼制工业中的催化裂化、催化重整等技术的出现，使汽油、煤油、柴油和润滑油的产量有了大幅度增长，特别是丙烯水合制异丙醇工业化以后，烃类裂解制取乙烯和丙烯等工艺相继成功，使基本有机化工生产建立在石油化工雄厚的技术基础之上，从而得以为各工业部门提供大量有机原料、溶剂、助剂等，从此，人们常以烃类裂解生产乙烯的能力，作为一个国家石油化工生产力发展的标志；另一方面，哈伯—博施法合成氨高压高温技术在工业上实现，硝酸投入生产，使大量的硝化物质出现，尤其是使火炸药工业从黑火药发展到奥克托今（环四亚甲基四硝胺），炸药的比能量提高了十几倍，这不仅解决了战争之急需，更重要的是在矿山、铁路、桥梁等民用爆破工程上，得到了应用。此外，对于核工程中同位素分离和航天事业中火箭推进剂的应用，化工也都做出了关键性的贡献。

二、发展农业的支柱

长期以来，人类的食物和衣着主要依靠农业。而农业自远古的刀耕火种开始，一直依靠大量人力劳作，且受各种自然条件的制约，发展十分缓慢。19 世纪，农业机械的运用，逐步改善了劳动状况。然而，在农业生产中，单位面积产量的真正提高，则是得益于化肥和农药的使用。实践证明，农业的各项增产措施中，化肥的作用达 40% ~65%。在石油化工蓬勃发展的基础上，合成氨和尿素生产的大型化，使化肥产量在化工产品中占据很大比重。氮、磷、钾复合肥料和微量元素肥料的开发，进一步满足了不同土壤结构、不同作物的需求。

早期，人类对作物病虫害防治没有好的解决办法。直到 19 世纪末，近代化学工业形成以后，采用巴黎绿（砷制剂）杀马铃薯甲虫、波尔多液防治葡萄霜霉病，农业才开始了化学防治的新时期。20 世纪 40 年代生产了有机氯、有机磷、苯氧乙酸类等杀虫剂和除草剂，广泛用于农业、林业、畜牧业和公共卫生，但这一代农药中有些因高残留、高毒，造成生态污染，已被许多国家禁用。之后开发了一些高效、低残留、低毒的新农药，其中拟除虫菊酯（除虫菊是具有除虫作用的植物）是一种仿生农药，每亩用量只几克，不污染环境，已经投入工业生产。此外，生物农药是 21 世纪来在农药研究中是最活跃的一个领域。

现代农业应用塑料薄膜（如高压聚乙烯、线型低密度聚乙烯等），用作地膜覆盖或温室育苗，可明显地提高作物产量，正在进行大面积推广。

---

[1] 1783 年，法国科学院以 1200 法郎高额奖金悬赏征求制造纯碱的方法。1789 年，法国奥尔良医生 N. 吕布兰（N. Leblanc，1742—1806）成功地创造了一种制碱的方法，1791 年获得专利，建立起日产 250 ~300kg 的碱厂。吕布兰制碱法所用的原料除食盐外，还有硫酸、木炭和石灰石。

三、战胜疾病的武器

医学和药学一直是人类努力探求的领域，在中国最早的药学著作《神农本草经》（公元1世纪前后编著）中，就记载了365种药物的性能、制备和配伍。明代李时珍的《本草纲目》中所载药物已达1892种，这些药物采自天然矿物或动植物，多数需经泡制处理，突出药性或消除毒性后才能使用。19世纪末至20世纪初，生产出解热镇痛药阿司匹林、抗疟药阿的平等，这些化学合成药成本低、纯度高、不受自然条件限制，表现出明显的疗效。20世纪30年代，人们用化学剖析的方法，鉴定了水果和米糠中维生素的结构，用人工合成的方法，生产出维生素C和维生素B_1等，解决了从天然物质中提取维生素产量不够、质量不稳定的难题。1935年磺胺药投产以后，拯救了数以万计的产褥热患者。在第二次世界大战中，青霉素救治伤病员，收到了惊人效果（图1-6）。链霉素以及对氨基水杨酸钠、异烟肼等药物，战胜了结核菌，结束了一个历史时期内这种蔓延性疾病对人类的威胁。天花、鼠疫、伤寒等，直到19世纪，曾一直是人类无法控制的灾害之一，但是当抗病毒疫苗投入工业生产以后，这些传染病就得到了彻底抑制。21世纪，疫苗仍是人类与病毒性疾病斗争的有力武器。各种临床化学试剂和各种新药物剂型不断涌现，使医疗事业大为改观，人类的健康有了更可靠的保证。

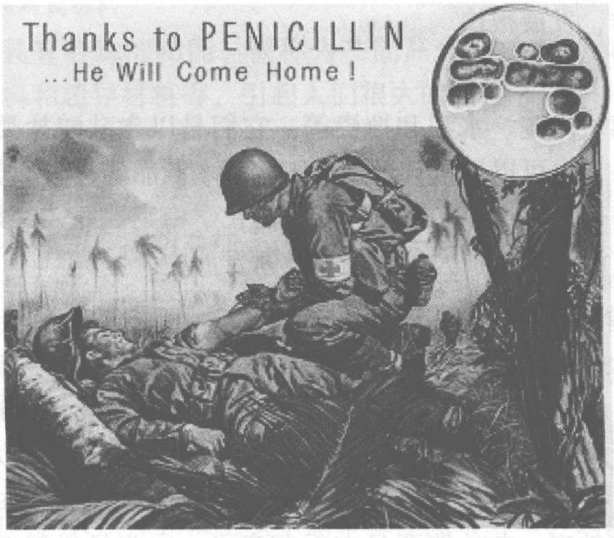


图1-6　青霉素让我们回家——二战末期宣传画❶

四、改善生活的手段

化工向人们提供的产品是丰富多彩的，它除了提供大量产品用于制造业外，还有用量很少但效果十分明显的产品，使人们的生活得到不断改善。例如用于食品防腐、调味、强化营养的各种食品添加剂，提高蔬菜物生长调节剂和保鲜剂，生产化妆品和香料香精的基础原料

❶ 青霉素（Penicillin，或音译盘尼西林）是抗生素的一种，分子中含有青霉烷，能破坏细菌的细胞壁并在细菌细胞的繁殖期起杀菌作用。1928年英国细菌学家弗莱明最先发现，1941年前后英国牛津大学病理学家霍华德·弗洛里与生物化学家钱恩实现对青霉素的分离与纯化，并发现其对传染病的疗效。1943年10月，弗洛里和美国军方签订了首批青霉素生产合同。青霉素在二战末期投入使用。