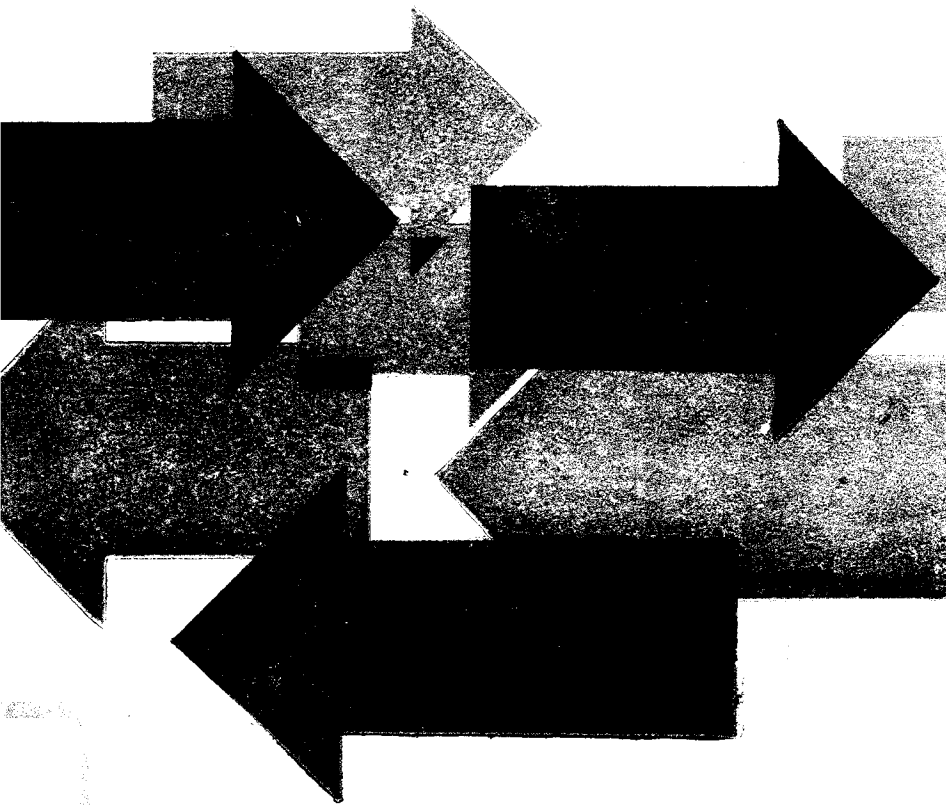


高等师范专科学校通用教材

# 化学工艺学

中南五省（区）师专

《化学工艺学》教材编写组



河南教育出版社

---

高等师范专科学校通用教材

化学工艺学

中南五省(区)师专《化学工艺学》教材编写组编

责任编辑 张玉林

河南教育出版社出版

河南新乡第一印刷厂印刷

河南省新华书店发行

787×1092毫米 32开本 13印张 254千字

1989年2月第1版 1989年2月第1次印刷

印数1 ——— 5200册

ISBN7-5347-0472-3/0.12

定价 3.90元

## 前 言

教材建设是学校三大基本建设之一。长期以来，高等师范专科教育没有一套具有自己特点和较为系统的教材，影响了教育质量的提高。为了深化高等师范专科教育的改革，为普及九年制义务教育培养更多的合格教师，中南五省（区）教委（高教局）高教（教学）处，共同组织五省（区）师专及部分有关高校的教师，协作编写了师专12个专业85门主干课程的通用教材。

编写这套教材的指导思想是，从高等师范专科教育的人才培养目标出发，根据国家教委新制定的二年制师专教学计划、教学大纲的要求，兼顾三年制和双科制专业的需要，力求突出适用性、科学性及高等师范专科教育的特点。因此，这套教材，不仅适用于普通高等师范专科的教学，而且也适用于教育学院和电大普通师范教育相关专业的教学，同时，还可作在职初中教师的培训和自修教材。

本教材是根据国家教委1988年2月印发的高等师范专科学校化学专业《化学工艺学》教学计划，参考原部颁教学大纲编写的。

本书除绪论外，分为十章。一至五章的内容为化学工程基本原理；六至十章为化学工艺。在编写过程中，我们认真

地考虑了本课程的目的要求和特点,结合师专的教学实际,在内容安排上注意了化学工程和化学工艺的适当比例;力求突出重点,少而精,理论联系实际,以定性描述为主;化学工艺部分的选材注意了典型性和适用性,增选了开发、联合生产、有机化工和化工三废治理的内容。

根据各校的不同情况,在安排教学时,吸收和蒸馏可任选一章;化工三废治理可作为选讲,并可根据当地情况讲授地方工业(一种产品工艺)或小化工。

本教材由河南周口师专担任主编单位。绪论和第一章由刘云平编写;第二、四章由广东肇庆师专陈乃焯编写;第三、十章由湖北荆州师专杨明霞编写;第五、八、九章由湖南衡阳师专戴国登编写;第六、七章由广西玉林师专陆夏威编写。全书由刘云平、戴国登讨论统稿,最后由刘云平审定。

这套教材是按主编负责,分工编写的原则成书的。由于这样大规模有组织地进行教材编写在我们还是第一次,因而错误缺点在所难免,恳请读者批评教正。

中南五省(区)师专协作教材编委会

1988年3月

# 目 录

绪论	(1)
§ 1. 化学工业的重要性	(1)
§ 2. 化学工艺学研究的内容	(2)
§ 3. 化学工业的分类	(5)
第一章 流体的流动与输送	(7)
§ 1. 流体的性质	(7)
§ 2. 流体静力学基本方程	(12)
§ 3. 流体稳定流动时的基本方程	(20)
§ 4. 流体流动的阻力	(38)
§ 5. 流体输送机械	(45)
习题	(57)
第二章 传热过程	(62)
§ 1. 概述	(62)
§ 2. 传导传热	(63)
§ 3. 对流传热	(72)
§ 4. 热交换的计算	(77)
§ 5. 热交换器	(89)
习题	(97)
第三章 吸收	(100)

§ 1 概述	(100)
§ 2 吸收的相平衡	(106)
§ 3 吸收速率	(110)
§ 4 填料吸收塔的计算	(119)
习题	(130)
<b>第四章 蒸馏和精馏</b>	<b>(132)</b>
§ 1 概述	(132)
§ 2 蒸馏操作的相平衡	(133)
§ 3 简单蒸馏	(140)
§ 4 连续精馏	(142)
§ 5 精馏塔	(164)
习题	(170)
<b>第五章 化学反应器</b>	<b>(172)</b>
§ 1 概述	(173)
§ 2 间歇搅拌釜	(177)
§ 3 管式反应器	(183)
§ 4 连续操作反应釜	(187)
§ 5 均相反应器的性能比较与选择	(193)
§ 6 气固相催化反应器	(200)
习题	(216)
<b>第六章 硫酸工业</b>	<b>(219)</b>
§ 1 概述	(219)
§ 2 二氧化硫炉气的制备与净化	(223)
§ 3 二氧化硫的催化氧化	(231)

§ 4	三氧化硫的吸收	(243)
§ 5	以硫铁矿为原料生产硫酸的全流程	(245)
	习题	(248)
<b>第七章</b>	<b>合成氨工业</b>	<b>(249)</b>
§ 1	概述	(249)
§ 2	原料气的生产	(255)
§ 3	氨的合成	(268)
§ 4	合成氨工业的联合生产	(283)
	习题	(292)
<b>第八章</b>	<b>氯碱工业</b>	<b>(294)</b>
§ 1	概述	(294)
§ 2	电解食盐水溶液的理论基础	(298)
§ 3	隔膜法电解食盐水的生产过程	(306)
§ 4	合成盐酸	(316)
	习题	(320)
<b>第九章</b>	<b>合成高分子材料工业</b>	<b>(322)</b>
§ 1	概述	(322)
§ 2	合成材料的主要原料—石油	(324)
§ 3	高聚物的合成原理与聚合方法	(335)
§ 4	聚氯乙烯的生产	(344)
§ 5	三大合成材料的主要品种和加工	(351)
	习题	(372)
<b>第十章</b>	<b>化工三废的治理</b>	<b>(374)</b>
§ 1	概述	(374)

§ 2 化工废气的治理.....	(379)
§ 3 化工废水的治理.....	(385)
§ 4 化工废渣的治理和利用.....	(390)
习题.....	(392)
附表.....	(393)
一、单位换算.....	(393)
二、水管、煤气管的规格.....	(397)
三、水的物理性质.....	(398)
四、饱和水蒸气表.....	(401)
五、一些液体的物理性质.....	(404)
六、一些气体在水中的溶解度.....	(406)
七、流体在一般管路中的流速范围.....	(407)
八、重要物理常数.....	(407)



# 绪 论

## § 1 化学工业的重要性

化学工业是遵照化学规律，利用自然资源生产各种化学产品的工业。

化学工业的门类繁多，生产数以万计的产品，与工农业、国防、科学研究和人民生活有着重大的关系。化学工业为农业提供了化肥、农药，为轻工业提供了纯碱、烧碱、合成树脂、合成橡胶、半导体材料，为纺织工业提供了染料、合成纤维，为冶金工业提供了氧气、焦炭，为机电工业提供了电石、塑料、橡胶制品，为矿物开采提供了炸药、浮选剂，为交通运输业提供了轮胎、汽油、柴油、润滑油，为国防及科学研究提供了特种溶剂、高能燃料及特殊性能的合成材料等。这就是说，化学工业为国民经济各部门提供了大量的必要的原材料。

化学工业和人民生活具有密切的关系。农业上使用化肥、农药提高粮、棉、油等农作物的产量；工业上使用化工原料、合成树脂、塑料、合成橡胶、合成纤维、染料、涂料，能生产更多更好的衣料、建筑材料、交通工具和日用化学

品。此外，化学工业还向人们提供了各种药物，为人民防治疾病，增进健康做出贡献。化学工业是国民经济的重要部门之一，为促进我国的社会主义四化建设和提高人民生活水平起着重要的作用。

目前，我国的化学工业发展速度很快，其产值在国民经济总产值中所占的比例越来越大。随着我国石油工业的发展，与工农业生产和人民生活密切相关的三大合成材料（合成纤维、合成橡胶、塑料）工业发展速度更快，它将生产出更多、更新的产品来满足人民的需要，为四化建设做出更大的贡献。

## § 2 化学工艺学研究的内容

化工生产是以化学变化和化学处理为主要特征的工业生产过程，原料来源广泛，产品种类繁多，加工过程复杂多样。但是，任何化工生产过程总涉及到两个基本内容，即工程和工艺。本课程的内容也分为化学工程和化学工艺两部分。首先介绍化学工程的一些基本原理，然后，在此基础上讨论几个典型的工艺。

化学工程是以化学工业的生产过程为研究对象的。化工过程的特点之一是步骤多。原料在各步骤中依次通过若干个设备，经过各种方式（物理的、化学的）处理之后才能成为合乎要求的产品。不同的化学工业所用的原料与所得的产品不同，所以，各种化工过程的差别也很大。例如，硫酸工业以固体的硫铁矿为原料，矿石经过破碎、过筛、焙烧制成 $\text{SO}_2$ 炉气，炉气经精制、转化制成 $\text{SO}_3$ 气体，再经吸收等操

作，最后变成液态的硫酸产品。又如合成氨工业，以空气、水和煤（或石油、天然气）作原料经过造气、精制、合成、分离等许多过程而制得气态的氨、液态的氨水或固态的尿素等产品。它们的生产工艺很不相同，但是，有一些过程只是使物料发生物理变化，如为了使原料适合化学反应的要求，需将其破碎、精选、压缩，或为了使反应产物符合需要而进行分离、提纯等；另有一些过程则是使物料发生化学反应，诸如硫铁矿的焙烧， $\text{SO}_2$ 的转化，氨的合成等。使物料发生物理变化的处理过程常称为化工单元操作；关于化学处理的过程属于化学反应工程的范围。单元操作和反应工程是化学工程的两大支柱。

不同工艺过程的同一种单元操作，具有共同的基本原理和典型的设备。例如流体的输送，在硫酸、合成氨以及其他化学工业中都需要。在所有的输送流体的操作中均需遵循流体力学的规律，都采用泵和风机进行工作。另外，在制糖工业中糖水的浓缩，和制碱工业中烧碱溶液的浓缩，都是通过蒸发这一单元操作而实现的。它们共同遵循热交换的原理并且都采用蒸发器。酿造工业中酒精的提纯与石油工业中烃类的分离都要进行蒸馏操作。它们共同遵循物质传递的原理并都采用精馏塔。流体的输送、蒸发、蒸馏……等都称为化工单元操作。化工单元操作按其所依据的内在的理论基础又可进一步归并为三类过程。

（1）以流体力学为基础的流体动力过程 包括流体输送、沉降、过滤、离心分离、搅拌、固体流态化等。

(2) 以热量传递为基础的传热过程 包括加热、冷却、蒸发、冷凝、热交换等。

(3) 以质量传递为基础的传质过程 包括蒸馏、吸收、萃取、干燥、结晶等。

以流体力学为基础的单元操作都涉及到流体流动。流体流动时其内部发生动量传递。故这些操作也可以按动量传递理论来研究。于是，各种单元操作的基础都可以归入动量、热量与质量三种传递理论中去。这三种传递又有彼此相类似的规律，可以合起来研究，形成了常说的“三传”过程。

在化工生产中，以化学反应为主的过程，通常在反应器中进行。不同的化学反应，反应的机理不同。所以，用于不同的化学工业中的反应器在构造与操作原理上差别很大。例如，氨合成用的合成塔，高分子合成用的反应釜，石油裂解用的裂解炉，都不相同。工业化学反应器中进行的不仅仅是化学过程，同时还伴随着许多物理过程。如传热、传质等。这些物理过程和化学过程相互影响，相互渗透，最终影响到反应的结果，使整个过程复杂化。根据化学反应的特性，结合传递过程的规律，以研究各类工业化学反应最适宜的反应器为内容的学科称为化学反应工程。化学反应工程是五十年代形成的一门工程学科。它在指导反应装置的选择，反应器的设计，过程的开发，过程优化以及操作最优控制等方面起着愈来愈大的推动作用，并日益受到广泛的重视。

化学工艺研究的是如何根据化学原理和具体反应的特点，结合经济技术原则，选择合理的原料和技术路线，确定最

优化的工艺条件（如温度、压力和原料配比等），制定合理的工艺流程。不同的产品，其生产工艺不同，通常划分为无机工艺和有机工艺两大类。

本书仅选编了流体动力过程中的流体流动与输送，传热过程中的热交换，传质过程中的吸收和蒸馏，化学反应工程中的基本反应器和气固相催化反应器等基本内容。同时也选编了一些典型的，在国民经济中有重要意义的化工产品的生产工艺，如硫酸工业、合成氨工业、氯碱工业、合成高分子材料工业和化工三废治理等内容，以便应用基本原理去分析实际问题，加强理论与实际的联系。

### § 3 化学工业的分类

化学工业的门类很多，用一种单一的分类方法，很难将所有的化学工业部门都包括进来。因此，通常采用综合法分类。

按照综合分类法，化学工业一般可分为无机化学工业和有机化学工业。其主要生产部门如下。

无机化学工业：

（1）基本无机化学工业（制酸、碱、盐及化学肥料等）；

（2）精细无机化学工业（药物、试剂以及稀有元素的生产等）；

（3）电化学工业（制氯、氢、烧碱以及金属—钠、镁、铝等）；

(4) 冶金工业 (黑色金属、有色金属、贵金属和稀有金属的冶炼等) ;

(5) 硅酸盐工业 (玻璃、水泥和陶瓷的生产等) ;

(6) 矿物颜料工业。

有机化学工业:

(1) 石油炼制工业;

(2) 煤的焦化和煤焦油工业;

(3) 基本 (重) 有机合成工业 (制醇、醛、醚、酮、酸、酯等) ;

(4) 高分子化学工业 (塑料、合成纤维、合成橡胶的生产等) ;

(5) 精细有机合成工业 (染料、医药、农药、香料、试剂以及各种化工助剂的生产等) ;

(6) 食品化学工业 (糖、淀粉、油脂、蛋白质、酒的生产等) 。

从经营和管理的角度来划分, 化学工业的范围要小得多。如冶金工业分属于冶金部门, 水泥工业分属于建材部门, 合成纤维工业分属于纺织部门, 塑料工业分属于轻工部门等。

# 第一章 流体的流动与输送

在化工生产中所处理的物料、中间体以及产品等，绝大多数都是液体和气体。由于二者都具有流动性，所以通称为流体。流体物料在静止和运动时都遵循流体力学的规律。以流体力学规律为基础的化工过程称为流体动力过程。

为了使流体物料能参与生产过程的物理和化学变化，必须将流体从一个地方输送到另一个地方，从一个设备送到另一个设备，并使流体在设备中保持最适宜的流动条件，以小设备达到大生产低消耗等。因此，流体的流动和输送是化工生产中常遇到的一个重要问题。

在这一章中，主要介绍有关流体动力过程的一些基本原理，比如流体在重力和压力作用下的平衡规律，流体流动时的能量转换规律和流体阻力等，以及如何应用这些原理去解决实践中的问题。

## § 1 流体的性质

化工生产中所处理的流体，通常在各种管道和设备中流动。由于管道的尺寸和材料不同，发生流动的条件不同等，

使化工生产过程中流动问题甚为复杂。我们首先阐述与流体流动有关的一些基本性质。

### 1—1 连续性

流体是由不断运动着的分子组成的。流体的运动包括其内部分子的微观运动，和由外部原因，如由重力、压力差等的作用而引起的宏观运动。化工生产中仅研究流体由于外部原因而引起的运动，分子运动不考虑。为了使研究简化，对流体性质提出下述两点近似的、宏观假设：

1. 流体是由无数连续的微小流体质点所组成；
2. 流体质点的运动过程也是连续的。

通过假设，我们对流体的研究就可以不从分子的角度开始，因而，由分子间的作用力而产生的复杂的分子运动就可以不予考虑。又由于质点是连续的，因而表征流体特性的物理量和参变数，如密度、压力、粘度等都是连续的。于是我们就可以很方便地运用连续函数的数学工具来解决流体力学问题。但是，并不是在任何情况下，都可以把流体视为连续介质的。如高真空下的气体，就不能视为连续介质了。

### 1—2 密度

密度是流体的一个非常重要的特性。它表明流体质点在空间的分布，即单位体积流体所具有的质量，称为流体的密度。其表达式为：



$$\rho = \frac{G}{V} \quad (1-1)$$

式中 $\rho$ 为流体的密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ ； $G$ 为流体的质量， $\text{kg}$ ； $V$ 为流体的体积， $\text{m}^3$ 。

通常在物化手册中查得的密度单位是 $\text{g}/\text{cm}^3$ （CGS制）。 $1\text{g}/\text{cm}^3$ （CGS制）相当于 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ （SI制）。因此，从手册中查得密度 $\rho\text{g}/\text{cm}^3$ ，只须乘以1000就可以换算成SI制的密度 $\rho\text{kg}/\text{m}^3$ 。

气体因具有压缩性和膨胀性，其密度随压强和温度而变化。因此，气体的密度必须标明其状态。一般当压强不太高，温度不太低时，气体的密度可近似地用理想气体状态方程进行计算。由

$$pV = nRT = \frac{G}{M}RT$$

得  $\rho = Mp/RT \quad (1-2)$

式中 $p$ 为压强， $\text{kN}/\text{m}^2$ ； $T$ 为绝对温度， $\text{K}$ ； $V$ 为体积， $\text{m}^3$ ； $M$ 为分子量， $\text{kg}/\text{kmol}$ ； $G$ 为气体的质量， $\text{kg}$ ； $R$ 为气体常数，其值为 $8.315\text{kJ}/(\text{kmol}\cdot\text{K})$ 。

### 1—3 压缩性

流体的另一性质是受压力作用体积会缩小的压缩性，和温度升高体积发生膨胀的膨胀性。在流体流动的研究中，压