

化工中级工培训试点班讲义

化 工 基 础

上 册

天津市化学工业局教研室

局属各单位：

为落实国办发（84）33号文件精神，到1990年形成以中级技术工人为主体的，技术等级结构比较合理、具有较高政治、文化、技术素质的工人队伍。1985年中级工技术教育是我局职工教育工作的重点工作之一，各单位一定要把这项工作积极开展起来。

为此，局教研室组织有关工程技术人员，技校教师和从事职工教育工作的同志，根据化工部教育司制定的化工工人中级技术理论培训的教学计划和教学大纲，编写了“化学基础”、“化工基础”、“化工机械及设备”、“化工电气及仪表”、“化工企业管理、安全和环保知识”五本教材供各单位试用。

鉴于我局各单位工人的文化水平不同，可根据实际情况，适当补习一些初、高中文化知识。这本试用教材是为我

局
节
图

章
实

希
建

，
改

上册目

第一章 化工生产中的基本问题	1
第一节 化工生产的基本任务	1
一、什么是化学工业	1
二、化工生产的基本任务及分类	2
三、化学工业发展简史	3
第二节 化工生产过程及单元操作	6
一、化工生产过程及流程	6
二、化工生产过程的基本单元操作	7
第三节 化工生产中的几个基本概念	8
一、化工生产中的物料平衡问题	8
二、热量平衡	11
三、平衡关系	12
第四节 单位制及单位换算	13
一、基本单位和导出单位	13
二、单位制	13
三、国际单位制	14
四、单位换算	17
本章小结	19
习题一	20
第二章 化工原料的准备和输送	21
第一节 固体原料的预处理	21

一、粉碎	21
二、过筛	25
三、粉碎和过筛设备	28
第二节 流体的输送	37
一、流体的基本性质	39
二、静止流体的基本规律	54
三、流动流体的基本规律	67
四、流体阻力的计算	89
五、流体输送机械	104
第三节 气流输送	127
一、固体流态化是怎样形成的	127
二、临界流化速度和带出速度	129
三、流化床中常见的不正常现象	130
四、固体流态化技术的优缺点及应用	131
五、气流输送	133
六、气流输送的流程	137
本章小结	139
习题二	144
第三章 混合物料的分	163
第一节 概述	153
第三节 沉降分离法	155
一、重力沉降法	156
二、离心沉降	165
第三节 过滤分离法	174
一、基本概念	174

二、过滤设备·····	180
第四节 离心分离法·····	189
一、基本概念·····	189
二、影响离心分离的主要因素·····	192
三、离心机·····	193
第五节 其它分离方法·····	200
本章小结·····	204
习题三·····	209
第四章 化工生产的热量传递·····	210
第一节 概述·····	210
一、热量传递在化工生产中的重要性·····	210
二、热量传递的三种基本方式·····	211
三、工业上的热量传递方法·····	213
第二节 固体壁面内的热量传递·····	215
一、导热速率方程·····	215
二、导热系数 λ 的说明·····	216
三、平壁导热速率的计算·····	218
四、圆筒壁导热速率的计算·····	222
第三节 固体壁面与流体间的热量传递·····	224
一、热量传递过程分析·····	224
二、对流传热速率方程·····	225
二、给热系数 α 的说明·····	226
第四节 壁面两侧流体间的热量传递·····	227
一、热量传递过程分析·····	227
二、传热速率方程·····	228

三、冷、热流体间平均温差计算.....	229
四、传热系数 K 的计算.....	234
五、换热器传热速率的计算.....	238
六、换热器传热面积 A 的计算.....	241
第五节 提高传热速率的途径.....	243
一、增大传热面积 A	244
二、提高冷、热流体的平均温差.....	244
三、提高传热系数 K	246
第六节 常用换热器介绍.....	251
第七节 换热器的使用与管理.....	263
一、流体流道的选择.....	264
二、流体流速的选择.....	265
三、换热器的检查.....	267
四、换热器的清洗.....	267
本章小结.....	268
习题四.....	273
第五章 溶液的蒸发	276
第一节 蒸发的工业方法.....	276
一、基本概念.....	276
二、多效蒸发设备流程.....	279
第二节 蒸发过程讨论.....	282
一、蒸发中溶液的温度差损失.....	282
二、多效蒸发效数的限度.....	283
三、影响蒸发器生产能力和生产强度的因素.....	283
第三节 单效蒸发的计算.....	284

一、水的蒸发量计算.....	284
二、加热蒸汽消耗量的计算.....	285
三、蒸发器传热面积的计算.....	287
第四节 蒸发设备简介.....	290
本程小结.....	297
习题五.....	299

第一章 化工生产中的基本问题

化学工业是国民经济中一个十分重要的组成部分，它为农业提供了化肥、农药、和除草剂等，大大促进了农业的现代化；同时又为农副产品的贮存和加工，提供了新的技术，从而扩大了农业市场，促进了农业的繁荣。

冶金、煤炭、机械、电子、轻工和医药等工业部门，也都和化学工业的发展密切相关。它不仅为它们提供了原料、材料，而且也提供了技术，从而大大促进了这些工业部门的发展。

对于国防和航天工业，从高能燃料的研制，到新型材料的合成，都和化学工业的发展息息相关。

化学工业生产着数以百计的产品，有生产资料。也有生活资料，既关系到生产又关系到生活。因此，化学工业在为实现农业、工业、国防和科学技术现代化中，担负着艰巨的历史使命。作为化工生产战线上的一名战士，应该敢挑重担，努力为人民作出更大的贡献。

第一节 化工生产的基本任务

一、什么是化学工业

凡以化学方法为主要生产手段，或生产化学产品的工业，统称为化学工业。例如，以硫铁矿、空气和水为原料，制造硫

酸的硫酸工业；还有以盐水和石灰石为原料生产纯碱的制碱工业；以空气、焦炭和水为原料，生产合成氨的化肥工业；以食盐为原料进行电解制造烧碱、聚氯乙烯、农药等产品的氯碱工业；以石油为原料生产一系列石油产品，合成塑料、合成橡胶、合成纤维的石油工业等等。这许多工业，都是以天然的矿石、空气和水等资源为原料，经过一系列的加工和变化，改变了物质原来的性状和组成，制成了人类生产和生活所需要的产品。因此，我们又可以将化学工业称之为把天然资源加工成生产资料和生活资料的工业。

二、化工生产的基本任务及分类

化学工业，是以天然资源为原料（如煤、石油、天然气、矿产、水、空气、农副产品等）而制造产品的工业。因此，化工生产就必然研究这些资源的加工方法和过程，研究如何改变这些原料的性质而获得人类所最需要的产品；怎样才能充分利用有效成份获得最大的收率等等。归纳起来，化工生产的基本任务有以下几点：

1. 研究产品生产的基本过程和反应的基本原理；
2. 生产的工艺流程和工艺条件；
3. 生产的主要设备及其构造和作用。

目前，化学工业大致可分为以下十个部门：

1. 化学矿物开采业：如铁矿、磷矿及硼矿等；
2. 基本化学工业：如硫酸、硝酸、盐酸和纯碱、烧碱等；
3. 化学肥料工业：化肥的生产；
4. 无机物工业：如各种无机盐、硅酸盐及单质等；
5. 有机原料工业；

6. 染料及中间体工业;
7. 化学农药工业;
8. 医药工业;
9. 基本有机合成及高分子工业;
10. 石油化学工业。

三、化学工业发展简史

化学工业是一个历史悠久的工业部门，其发展历史从古至今大致可分为三个阶段。

①古代化学工业

自从人类认识并掌握“火”这个强大的自然动力以来，便开始了最早的化学实践活动，古代劳动人民在长期的生产实践中，逐步形成了以陶瓷、火药、酿酒、染色、炼丹术等等手工作坊为代表的古代化学工业。我们炎黄子孙走在世界的前列，早在七世纪至九世纪，我国的造纸术、火药制造术、炼丹术、医药学等传到了阿拉伯及西欧。为人类科学技术和古代化学工业作出了重大的贡献。

②近代化学工业

近代化学工业是以无机化工的发展为特征。

十五世纪以后，随着资本主义的兴起，尤其是纺织、印染、冶金等工业的蓬勃发展，对硫酸、烧碱、纯碱等化工产品的需求量猛强，古代化学工业已经远远不能适应社会的需要，十八世纪末出现了以食盐为原料制造纯碱的新工艺，由此也带动了硫酸、漂白粉等工业的生产。纯碱、硫酸等无机工业便成为近代化学工业的开端。我国著名科学家侯德榜在1942年创造了联合制碱法，把食盐的利用率提高到95%。为

近代化学工业作出了巨大贡献。

③现代化学工业

现代化学工业是从十九世纪末，二十世纪初开始的。现代化学工业是以石油化工和有机合成为特点，随着钢铁工业的兴起，炼焦的副产物—煤焦油成为当时难以处理的“废物”，经过人们长期不断的摸索，根据古代蒸馏酒的原理，把煤焦油进行一系列蒸馏，从而在这个废物里得到许多极为有用的有机化工原料—苯、甲苯、萘、酚、蒽等，推动了染料、医药工业的发展，形成了以煤为原料的有机化学工业。但从这条路线出发获得的有机化合物数量有限，不能适应大生产的需要。于是至本世纪三十年代，以电石、乙炔为原料的有机化工便迅速发展起来了。四、五十年代又出现了以石油、天然气为原料的石油化学工业。使现代化学工业有了新的发展。

④我国化学工业发展概况

我国是一个具有几千年历史的文明古国，在古代化学工业的发展中，我国的火药、酿酒、造纸、染色、冶金和炼丹术等为古代化学工业的发展起着极其重要的作用，走在世界各国前例。但自清朝以来，特别是自鸦片战争以来，由于帝国主义、封建主义和官僚资本主义的压迫和掠夺，我国的化学工业和其它经济部门一样远远落后于各资本主义国家。解放前的旧中国，化学工业的基础十分薄弱，当时的硫酸最高年产量只有十八万吨，纯碱只有十万吨，化肥只有二十二万吨及少量的染料、制药和日用化学品。而农药、基本有机合成与石油工业等均为空白。产品的产量低，品种少，质量差，技术力量也很薄弱。

新中国成立后，由于党的正确领导和全国各族人民的共同奋斗，我国化学工业获得了迅速地发展。经过三年恢复和第一个五年计划，我国的许多化工产品就已大大超过了解放前的水平。如果以解放前最高年产量为100的话，那么到一九五七年，硫酸已发展到352，纯碱发展为490，化肥为300，汽车轮胎则为1200。总产值为四十亿元。化学工业在全国工业中的比重约为7%。产品品种则为一九四九年的3.8倍。在这短短的八年中，每年平均增长30%，这是任何资本主义国家都没有过的高速度。

我国人民在经受了三年自然灾害的考验后，经第三、第四个五年计划的努力，化学工业又获得了很大发展。在一九六四至一九七四的十年间，石油增长了6.5倍，化肥增长了3.3倍，化学纤维也增长了3.3倍。硫酸、纯碱、农药、染料等已基本上满足了国内的需要，并在不断地填补着我国化工产品的空白。同时还为我国的尖端科学技术提供着具有各种特殊性能的原材料，人工胰岛素的合成，标志着我们中华民族继续在为世界科学技术的进步做出贡献。

在化学工业的布局上，从解放前的大连、天津、南京、锦西等几个沿海地区，发展到吉林、兰州、太原、四川等内地，建立了自己的化学工业基地。这就为进一步发展我国的化学工业打下了坚实的基础。

近年来，我国的化学工业在自力更生基础上努力采用世界先进技术和设备，先后建立了一批大型的现代化石油化工厂和天然气厂，三大合成材料（塑料、合成纤维、合成橡胶）和化肥的生产能力和技术水平日益提高。当今我国已建立了比较完整的化学工业体系，在国民经济中发挥越来越重

要的作用。全国化工战线的每个职工正在为本世纪内把我国建成现代化的化学工业而努力奋斗。

第二节 化工生产过程及单元操作

一、化工生产过程及流程

如前所述，所谓化学工业就是利用化学方法改变天然资源的组成和性状，使之成为生产资料或生活资料的工业，其改变天然资源组成和性状的加工过程就是化工生产过程。

现在我们试举几个化工生产过程，如：石油气裂解制乙烯和丙烯，乙烯烃化苯制苯乙烯，硫铁矿制二氧化硫，二氧化碳与氨制尿素等，这些产品的生产过程可以简单地用图（1—1）表示其生产的流程

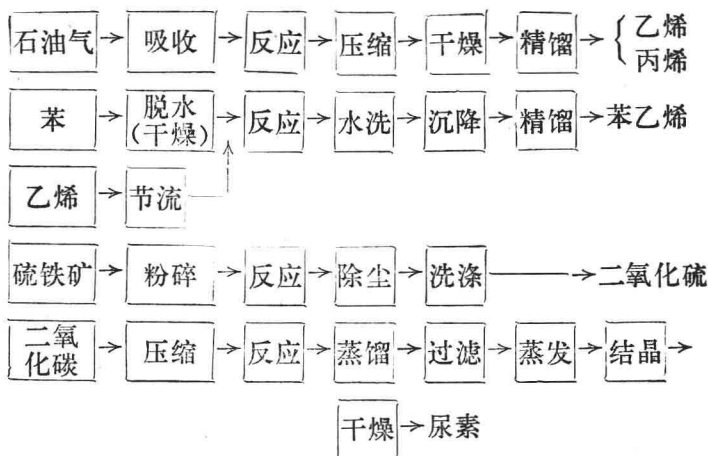


图 1—1 化工生产过程举例

二、化工生产过程的基本单元操作

化工生产的原料来源广泛，产品种类繁多，生产过程也各不相同，但是人们在长期的生产实践中发现，尽管化工生产过程有千殊万别的生产流程和型号繁多的设备装置，除化学反应外，其余步骤总可以归纳为为数不多的一些基本加工过程。如上图所示，这些加工过程不外乎是流体的输送，压缩、沉降、过滤、传热、蒸发、结晶、干燥、精馏、吸收、萃取、冷冻、粉碎等操作，我们把这些基本加工过程称为化工单元操作。若干单元操作串联起来，就构成了一个化工生产过程。

这就像我们学习英语单词一样，英语的单词很多，但可以用英语的26个字母组合而成。十多种化工单元操作与一些化学反应相结合，就构成了整个多行业、多品种的化学工业生产。

不同化工生产过程中的同一种化工单元操作，它们所遵循的原理相同，所用的设备相似。如上图（1—1）所示：在石油气制乙烯、丙烯的生产中都有精馏操作，在苯乙烯的生产中也有精馏操作，虽然其目的和具体内容可能不同（乙烯生产中的精馏是要从乙烷、乙烯和丙烯等混合物中分离出高纯的乙烯和丙烯；而苯乙烯生产中的苯精馏是要从苯水混合物中脱水）但它们共同遵循物质传递的基本原理，设备都采用精馏塔。又例如，在乙烯和尿素的生产中都涉及到气体的压缩和输送的操作，它们都遵循流体力学的规律，都使用气体的压缩和输送设备。

因此研究和了解这些单元操作所依据的原理，所遵循的规律，所使用的设备和所采取的强化措施，是解决化工生产基

本任务的关键，也正是我们这本《化工基础》的主要任务。

按照各单元操作所遵循的基本规律的不同，可将这些单元操作归纳为几个过程。

1. 流体动力过程

符合流体力学原理的一些单元操作，如流体的输送、过滤、离心沉降、固体流态化等。

2. 热量传递过程

符合物质间热量交换的基本规律的过程，如传热、蒸发等。

3. 质量传递过程

符合物质的质量从一个相转移到另一个相传质理论的单元操作，如蒸馏、吸收、干燥等。

4. 热力过程

符合热力学原理的一些单元操作，如冷冻、深度冷冻等。

5. 机械过程

符合机械力学的一些单元操作，如固体的粉碎、过筛、物料的搅拌等。

上述这五个基本过程都是物理或物理化学过程，本书将分别对各单元操作进行讨论。

第三节 化工生产中的几个基本概念

一、化工生产中的物料平衡问题

根据物质不灭定律，在一个稳定的生产过程中，所投入的物料量，应和所得产品量及过程损失量，处于平衡状态。如果对总物料或其中某一组分列出方程并求解，就叫做物料衡算。

设投入物料量为 $W_{\text{原}}$ ，产品量为 $W_{\text{产}}$ ，损失量为 $W_{\text{损}}$ ，则可列物料平衡方程为：

$$W_{\text{原}} = W_{\text{产}} + W_{\text{损}}$$

如果忽略损失，则

$$W_{\text{原}} = W_{\text{产}}$$

在进行物料衡算时、必须注意如下几个问题：

1. 明确进行衡算所包括的范围。这个范围可以是一个产品的整个生产过程，也可以是其中的某个工序，亦可是其中的某一设备。

2. 明确进行衡算的基准。即选定进行衡算的物质，最好是惰性物质（过程始、终不发生变化的物质），如果发生化学变化，则以某一化学元素为基准。

3. 统一单位。在国际单位制中，以公斤（kg）为质量单位、以立方米（ m^3 ）为体积单位。

例1—1 燃烧某种含碳79%（质量）、灰份6%（质量）的煤，所得的煤渣中含灰份90%（质量）、碳为10%（质量）试计算燃烧100Kg煤所得的煤渣重及碳的利用率。（损失可忽略）

解：1. 求煤渣量：

取100Kg煤为衡算范围，以灰份为基准物。

设煤渣量为XKg，

则燃烧前后的灰份不变，可列如下方程：

$$100 \times 0.06 = 0.90X$$

$$X = \frac{100 \times 0.06}{0.9} = 6.67 \text{Kg}$$

故煤渣为6.67Kg。

2. 求碳的利用率:

∴求碳的利用率, 故碳元素为基准物。

设利用了的碳量为 y , 则可建立碳的平衡方程式:

$$100 \times 0.79 = y + 6.67 \times 0.1$$

$$y = 100 \times 0.79 - 6.67 \times 0.1 = 78.33 \text{ Kg.}$$

$$\text{故碳的利用率为: } y_{\text{利}} = \frac{78.33}{79} \times 100\% = 99.2\%$$

∴碳的利用率为99.2%

例1—2 某厂硝化车间的废酸, 经分析后, 得知其中含有23% HNO_3 、57% H_2SO_4 和20% H_2O (均以质量表示)。现拟掺入93%浓度的 H_2SO_4 和90%浓度的 HNO_3 , 以制备含有27% HNO_3 和60% H_2SO_4 的混合酸。试问制备1000公斤混合酸, 需要多少公斤的废酸、浓硝酸和浓硫酸? 假定物料无损失。

解: 取1000公斤混合酸为基准。因是混合酸, 故无化学变化发生。

设废酸量为 x kg、浓硫酸为 y kg、浓硝酸为 z kg

则可分别以总物料、硫酸、硝酸为基准物进行衡算:

总物料的平衡: $x + y + z = 1000$

硫酸的平衡: $0.57x + 0.93y = 1000 \times 0.6$

硝酸的平衡: $0.23x + 0.90z = 1000 \times 0.27$

$$\text{即: } \begin{cases} x + y + z = 1000 \\ 0.57x + 0.93y = 600 \\ 0.23x + 0.90z = 270 \end{cases}$$

解上列三元一次联立方程得:

$$x = 416.94 \text{ Kg} \quad y = 389.6 \text{ Kg} \quad z = 193.46 \text{ Kg}$$