

化 工 工艺学基础

于崇智 编著

辽宁教育出版社

化工工艺学基础

于崇志 编著

辽宁教育出版社出版 印刷：阜新市人民政府
(沈阳市南京街6段1里2号) 机关印刷厂

字数：210,000 开本：787×10921/32印张：10¹⁸₃₂
印数：1—08,000

1988年1月第1版 1988年1月第1次印刷

责任编辑：王一心 责任校对：周广东

封面设计：丁 一 插图描校：夏兰兰

统一书号：15371.5 定价：2.30元

LSBN 7—5382—0289—7

前 言

为了适应中等教育结构改革,发展职工教育这一新形势的要求,满足化工战线广大职工、中等技术人员及管理人员学习技术理论,提高工作水平的迫切要求,编者结合多年的工作实际,编写了这本《化工工艺学基础》。

本书原是1980年为阜新市化工局职业高中编写的《化工工艺学讲义》,供该校三年级化工专业学生使用。当时各有关化工厂也用作对现职岗位工人、初中级工程技术人员、管理人员进行培训的教材。与此同时又与国内数十所化工职业高中进行了交流,反映良好,要求订购,由于那时只铅印了1000册,而未能满足要求。

基于上述,编者对原讲义进行了补充修改,请辽宁教育出版社公开出版,并改名为《化工工艺学基础》。

考虑到读者对象及化工行业门类繁多的实际,本书着重讲述化工工艺学的一些最基本的理论和知识,并结合最常见的具有代表性的产品生产工艺进行讲解。全书共分三大部分:第一部分:第一章到第三章,讲述化工生产中常用的一些基本概念、基本理论、基本知识及有关问题,如物料平衡、能量平衡、化工机械及设备、化学工业用水等。第二部分:第四章到第八章,讲述典型无机产品的生产工艺,穿插于各工艺中,讲述了一些无机产品生产中常见的单元操作。第三部分:第九章到第十一章,讲述了基本有机化工产品的原料、加工及产品的生产工艺学问

题。基本有机化学工业已经成为化学工业最重要的部门之一，因而这部分内容实为非常重要，具有普遍意义。

本书在选材上，力求结合实际，除参考现有书刊外，还加进了一些作者本人所从事生产过的产品生产工艺。在语言、讲述方法上，力求通俗易懂，剔除与本书读者对象所不适应的理论和数学推导，并多举实例，因而本书实例多、插图多，成为一个突出特点，从而更加直观，易教易学。

本书在编写和试用过程中，得到了阜新市化工局职业高中李伯华校长、赵庆芬老师的多方支持和帮助，阜新市化工局技术科长宋上兵、工程师金永贵也给予多方关照，在此一并致谢。

由于编者水平所限和缺乏经验，资料不足，时间仓促，本书的缺点和错误一定不少，殷切期望使用本书的老师、同学及其他读者提出宝贵意见，批评指正。

于崇志

1987年10月于阜新

目 录

前 言

第一章 基本概念

第一节 化学工艺学研究的范围及其 在国民经济中的重要意义	1
第二节 我国化学工业发展简述	2
第三节 化学工艺中的基本概念	3
第四节 原料及产品	6
第五节 物料平衡	8
第六节 能量及能量平衡	11
复习题	14

第二章 化工机械及设备

第一节 物料的贮存设备	16
第二节 输送设备	21
第三节 物料的反应设备	34
第四节 反应参数控制及检测设备	45
第五节 物料的加工设备	48
复习题	71

第三章 化学工业用水

第一节 水的来源	73
第二节 对水质的要求	74
第三节 水的净化	78
第四节 循环冷却用水	87

第五节	回水及废水	89
复习题		91
第四章 硫酸的生产		
第一节	概述	93
第二节	硫酸的组成、性质	93
第三节	硫酸的生产工艺	97
第四节	硫酸生产的主要设备	107
第五节	其他生产硫酸的方法	110
第六节	其他几个值得注意的问题	112
第七节	接触法硫酸生产效率指标	113
复习题		114
第五章 氨及硝酸的生产		
第一节	合成氨的原料	116
第二节	合成氨的理论原理	118
第三节	合成氨的生产流程	121
第四节	主要设备	124
复习题		126
第五节	硝酸的制造	127
第六节	合成硝酸的理论基础	128
第七节	稀硝酸生产工艺过程	130
第八节	直接法合成浓硝酸	132
复习题		135
第六章 无机肥料的制造		
第一节	概述	136
第二节	磷肥	139

第三节	氮肥	145
第四节	钾肥	156
第五节	复合肥料	163
复习题		164
第七章 碱类产品的生产		
第一节	概述	166
第二节	氨碱法(索尔维法)制碱	168
第三节	侯德榜法生产纯碱	179
第四节	苛化法制烧碱	182
第五节	小苏打的生产	185
复习题		189
第八章 电化学工业		
第一节	概述	190
第二节	电解食盐制烧碱	195
第三节	氯气及合成盐酸的生产	198
第四节	电解工业产品	202
第五节	其他电热产品的生产	207
复习题		209
第九章 基本有机化学工业的原料		
第一节	概述	211
第二节	原料制备的方法	222
第三节	烃类裂解生产烯烃	231
第四节	芳香烃的制取	238
复习题		247
第十章 基本有机化学产品的二次加工产品		

第一节	甲烷和甲烷系加工的产品.....	249
第二节	甲醇的生产.....	253
第三节	乙烯系产品.....	259
第四节	丙烷及丙烯系产品.....	268
第五节	乙炔系产品.....	275
第六节	芳香系统产品.....	279
复习题		285
第十一章 有机化学工业的最后产品		
第一节	合成树脂.....	287
第二节	合成纤维.....	295
第三节	合成橡胶.....	302
第四节	农药通论.....	308
第五节	染料及颜料工业.....	315
复习题		326
参考书刊		327

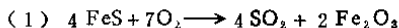
第一章 基本概念

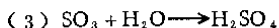
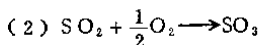
第一节 化学工艺学研究的范围及其在国民经济中的重要意义

化学工艺学是研究如何把原料经过化学处理和物理处理，制成有使用价值的生产资料和生活资料的方法和过程的一门科学。也可以说是建筑在化学、物理、机械、电工以及工业经济等科学的基础之上的，与生产实际和生活实际紧密相关的，体现当代技术水平的一门科学。

化学工艺学主要研究以下内容：利用什么原料，在什么样的设备里，依靠一些什么条件，经过那些化学的或物理的变化或机械加工，得到一些具有什么特性的产品等这样一系列问题。

例如：硫酸是一种最常用的基本的化工产品（或原料），生产硫酸的工艺学就要研究，用硫铁矿（或其他含硫物质），在焙烧炉中高温氧化生成二氧化硫，在转化器中，在催化剂作用下转化（氧化）为三氧化硫，再经水吸收塔，被水吸收变成硫酸。这里原料就是含硫物质（主要是硫铁矿），主要设备就是焙烧炉，转化器，吸收塔以及一些输送设备，能量交换设备等。主要条件就是有氧气供给，高温焙烧（氧化），催化转化等，主要化学过程是：





根据 SO_3 的净化，吸收的条件不同可以得到纯度不同含量也不同的硫酸，如试剂硫酸、工业硫酸、稀硫酸、浓硫酸、发烟硫酸等。

化学工业在国民经济中占有重要地位。它是一个国家工业化水平的标志之一。化学工业的发展状况直接影响着国民经济其他部门的发展，影响着人们的物质文化生活。例如化学工业中的三酸两碱（ H_2SO_4 ， HCl ， HNO_3 ， NaOH ， Na_2CO_3 ），不但是化学工业的重要原料，而且几乎用于国民经济的一切部门，如用于生产肥料、染料、炸药等。在日常生活中纸张、人造油漆、燃料等也都是化学工业的产品，因此化学工业在国民经济中是非常重要的，学好化学工艺学为化学工业的发展作出贡献，也是一件极其光荣的职业，我们每个化学化工战线上的学生、工人、工程技术人员会因为自己有幸从事化学工业生产而自豪。

第二节 我国化学工业发展简述

我国是世界文明古国之一。在世界化学发展史上有过辉煌的成就，对人类做出过很大的贡献。约在公元前2000年以前就有铜的制造，对陶器、漂染、发酵等就都有了相当水平的成就。公元100年（东汉时代）蔡伦就造出了漂白的纸张，600年以后传到西方，欧美人才会造纸。我国很

早就发明了用硝石（硝酸钾）、硫磺、木炭的混合物制造黑色炸药技术，宋、明时代发明了炼锌法，黑色火药大规模应用，并可以制成带颜色、毒性的等不同性能的火药。

旧中国由于统治阶级的剥削和压迫、帝国主义的侵略，使我国近代化学工业处于十分落后的地位，一直到二十世纪初才开始出现少数的现代化学工业工厂，如天津的永利化学公司等。只能生产数量品种都少得可怜的化工产品，绝大部分依靠进口。

解放后党和政府采取了一系列措施使化学工业与其他各项事业一起得到了飞速的发展，到1981年全国化学工业企业总数已经达到6016个，化学工业总产值为4,048,660万元。仅辽宁省化工企业就有426个，总产值296,300万元*。如果把石油工业加上去，辽宁省有435家大中小型的石油化工企业，总产值达到850亿元，占全省工农业总产值的三分之一。

党的“十二大”提出，到2000年我国工农业总产值要翻两番，国民收入达到小康之家的水平。这样化学工业肩负重任，不但要翻两番，还要争翻三番到四番，因此我们的事业有着光辉的未来，这就给每个有志于化学工业发展的同志指明了一个广阔的前程。

第三节 化学工艺学中的基本概念

1.3.1 转化率

化学工艺生产过程中，经常以转化率来表示原料利用的程度，生产条件的适宜性。转化率的定义为：

• 3 •

转化率 = (转变为成品的那部分原料重量 / 使用 (转入) 的原料的总量) $\times 100\%$

因此, 转化率总是小于 100% , 这是因为 (1) 反应总是不能完全进行到底, (2) 反应过程中产生的副反应的耗消等等。因而提高转化率是充分利用物资资源, 降低成本, 得到较好经济效益的重要途径。

1.3.2 产率

原料转化为产品, 但由于种种原因并不能保证全部都收到, 因而在实际收得的合格产品与反应生成的产品之间有一个比例, 这个比例即为产率。产率的定义为:

产率 = (实际收得合格品的总量 / 设计产量) $\times 100\%$

因此产率反映了工艺设备、操作人员、管理人员的水平。这是化工企业一项重要控制的内容。

例 1—1 以硫磺为原料经氧化得二氧化硫是生产硫酸的关键一步。假设投入硫磺 64 吨, 得到 SO_2 40 吨, 问硫磺的转化率是多少? 若设计产量为 SO_2 x 吨, 那么产率又是多少? (设计产量在此定为理论产量)

解: 已知化学反应为:



40 吨 SO_2 中 S 所占的比例为 $40 \times \frac{32}{80} = 16$ (吨), 所以硫的

转化率为: $\frac{16}{64} \times 100\% = 25\%$ 。

理论产量: 用 64 吨可得 80 吨 SO_2 , 如今得 40 吨 SO_2 ,

* 根据辽宁省统计局 1982 年统计资料。

$$\text{收率} = \frac{40}{80} = 50\%。$$

1.3.3 生产规模和生产能力

生产规模：一般指一个工厂或一个车间在一年内某个产品的最大产量。如规模10,000吨的硫酸厂，即指该厂每年最多能生产一万吨合格的硫酸。这与实际年产量不同，指的是可能性，而不是实际生产量。

生产能力：主要用以标明某个设备在单位时间内生产产品的最大能力。一般按设计能力计算，或以实际测定结果而定。

因此，采用先进设备和先进工艺、先进的操作方法，必然会提高生产能力，因而也是提高劳动生产率的重要途径。目前我国劳动效率低下，技术水平不高。管理不善就是其中的主要原因之一。所以提高工厂各级人员的素质，依靠技术进步，已成为当前提高劳动生产率的迫切任务。

1.3.4 工艺技术指标

化工生产中用以考核生产过程的经济技术水平所规定的产品产量、质量、原料消耗量、公用工程中的水、电、蒸汽消耗量、副产品的数量等总称为工艺技术指标。这些数量值的大小反映了该生产过程的技术水平、管理水平，是影响经济效益的重要因素。工艺技术指标通常是依据某一确定工艺路线计算设计出来或依据工业实验测定值确定的。

1.3.5 反应参数（工艺参数）

在化工生产过程中又常称为反应条件或操作条件。它

是指为完成某一工艺过程（化学过程或物理过程）必须控制的外界条件，以保证这一过程达到合理的工艺技术指标。最常用的工艺参数有反应过程的温度、压力、物料的浓度、投料配比、流量等。这些物理量当生产工艺选定后，就是一个固定的数值。如果改变了这些条件，过程的状态、物料的性质等也随之相应地发生变化。我们把这些反映外界条件的量称为参量或“参数”。

“参数”的控制是化工生产操作的根据或准则。

第四节 原料及产品

原料是任何化工过程的物质基础，是工业生产的起始物质。化工过程就是原料的加工处理过程，因此化工生产必须根据化学反应的客观要求对原料的质量规定出一个标准，只有符合这个标准的原料，进行加工处理，才能得到预期的合格产品。另一方面，原料的用量也必须严格控制，不足当然不行，而过量不但浪费了资源，有时会产生相反的结果，只有按质按量地投入才能使生产正常合理。化工过程，就是一定质量和一定数量的原料加工成产品的过程。离开数量和质量这两个前提，就失去化工生产的意义。

1.4.1 化工原料

化工用原料，范围很广，一般概括地分为矿物原料（如煤、石油等）和生物原料两大类。

矿物原料种类繁多，近代用做化工原料的矿物原料主要有煤、石油、天然气，食盐、硫铁矿、磷矿及其他一些化工原料矿等。

生物原料主要包括粮食、油料、棉麻、甘蔗、甜菜、橡胶及动物油脂等。可以看出发展农、牧、渔业对工业发展也极为重要。这些部门提供的原料都直接关系到人们日常生活所必须的轻工业产品。

原料经过加工可以得到半成品（化工上称为中间体或中间产品），成品，副产品，“废品”，都是原料的转化形式。

1.4.2 成品

成品：劳动力利用生产工具对原料进行加工处理所得的在本企业内不再进一步加工最终产物。它是一种商品，具有价值，例如硫酸厂的硫酸，氯碱厂的氯气和烧碱等。

半成品：原料加工的中间过程产物，作为进一步加工的物质，可能加工成一种或多种产品，根据生产条件和用途不同也可作为产品，例如硫酸生产中的二氧化硫，进一步氧化可以得三氧化硫，得硫酸，如三氧化硫与其他原料反应又可得到其他产品（如做磺化剂，得到苯磺酸等，也可以直接装瓶出售）。

副产品：在生产主产品之外，附带得到的，非目的产品。主副产品是相对的，这决定于产品的性质和其使用价值。例如食盐电解生产 NaOH ，由于电解生成 NaOH 的同时得到氯气（ Cl_2 ），这时氯气就算副产品，但是在以生产含氯产品为主的工厂中氯又为主产品，烧碱就算副产品了。在以后有关章节里将会多次遇到这类问题。

废品：在生产过程中，在最终产物里，由于某些原因达不到规定标准而失去使用价值（或暂时失去使用价值）

的产品以及暂时尚未得到实际应用的副产品，统称“废物”，因此“废物”是暂时的相对的，此时为“废”，彼时则为宝，也是重要的财富。对于化学家来说世界上是没有“废物”的。

第五节 物 料 平 衡

物料平衡是指在一个化工过程中所有进入的物质质量与所有引出的和在过程中积累的物质质量之和是相等的。即：

$$\text{加入量} = \text{积累量} + \text{引出量}$$

这个结论是以物质不灭定律为依据的，否则必得出物质可以被消灭或人为创造的荒谬结论。掌握和运用物料平衡，对于化工计算，诸如产量、原料消耗、副产物量等都是十分必要的；对于操作人员由直接测得的数据分析生产状况；调节生产过程改进生产；对于车间、工段及设备工艺指标的估计，化工设备的设计等，都是必不可少的。是化工技术人员的基本功。

1.5.1 没有化学反应的物料衡算

没有化学反应的情况，物料衡算可以用重量单位，也可以用衡分子单位。

例 1—2 精制苯酚时，采用精馏塔进行精馏，设进粗苯酚量为 800 公斤/时，进料中含苯酚 98.86%（重量），要求塔顶采出 100% 的苯酚，塔釜采出物料中含苯酚小于 80%。试计算塔顶和塔釜的采出量应是多少？列出物料平衡表。

解：精馏苯酚的工艺流程如图 1—3 所示。进料为

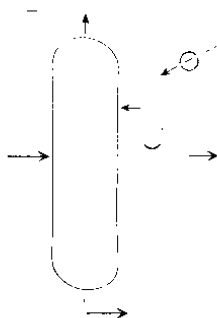


图 1—3
苯酚蒸馏工艺流程

F, 塔顶出料量为 D, 塔釜采出量为 W, 题给单位为公斤, 所以用公斤作为衡算单位。由物料平衡关系知:

$$F = D + W$$

(1) 对总物料的衡算:

$800 = D + W$ 或 $W = 800 - D$, 进料中苯酚的含量 $= 800 \times 0.9886$; 塔顶采出苯酚量 $= D \times 1.00$; 塔釜采出苯酚量 $= W \times 0.80$ 。

(2) 对全塔苯酚的物料平衡式则为:

$$800 \times 0.9886 = D \times 1.000 + W \times 0.8000$$

$$D = \frac{800 \times (0.9886 - 0.8000)}{1.0000 - 0.8000} = 754 \text{ (公斤/小时)}$$

$$W = 800 - D = 800 - 754 = 46 \text{ (公斤/小时)}$$

列出平衡表:

苯酚蒸馏平衡表

表 1—1

进 入 量			输 出 量	
苯 酚	790.88		塔顶苯酚	754
杂 质	9.12		塔底苯酚	36.8
			塔底杂质	3.2
合 计	800		合 计	800

1.5.2 伴有化学反应的物料衡算