

高等学校教学用书

化学工艺学

上册

蔣家俊等編

高等教育出版社

高等学校教学用书



化 学 工 艺 学

上 册

蔣家俊等編

高等教育出版社

本书系由前高等教育部組織北京大学化学系蔣家俊和山东大学化学系武际元根据 1955 年高等教育部审定的綜合大学化学系試行教学大綱編写的讲义, 原拟作为綜合大学化学系化学工艺学的試用教材。由于第二次教学改革后教学方法、教学大綱等都有了很大改变, 故本书改作教学参考书出版。

本书的基本内容在于闡述总括的化学生产原則和各种典型的化学生产过程, 并偏重于物理化学規律与实践間的結合。

本书分上下两册出版。上册的内容包括有化学工艺中的一般問題, 化学工业中的基本工程知識(流体的流动与輸送、粉碎、非均相体系的分离、傳热、蒸发、蒸餾), 基本无机化学工业(酸、碱、化学瀝料)和冶金工业(鋼鉄、有色金属)。下册闡述电化学工业(食盐水电解、熔盐电解), 燃料工业(石油加工、固体燃料加工、人造液体燃料), 高聚物工业(塑料、橡胶和人造橡胶、合成纖維), 染料工业(中間体、染料), 动植物产品工业(油脂、制糖、发酵、造紙、制革)和制药工业(农药)。

化 学 工 艺 学

上 册

蔣 家 俊 等 編

高等教育出版社出版 北京宣武門內永恩寺 7 号

(北京市书刊出版业营业許可証出字第 054 号)

人民教育印刷厂印刷 新华书店发行

统一书号 15010·800 开本 787×1092 1/16 印张 29
字数 667,000 印数 0001—7,500 定价 (7) 元 2.70
1960 年 3 月第 1 版 1960 年 3 月北京第 1 次印刷

序

本书系按照綜合大学化学专业的化学工艺教学特点編写的。在本书中叙述了化学生产过程的理論基础、典型的操作流程和一些最主要的化工器械和原理,以使学生对化学生产能有一定程度的認識,并具有广闊的化学工业方面的知識。

作为綜合大学化学系中直接討論有关实际化学工业生产的化学工艺学課程,理論联系实际是十分重要的。因此,本书中除了叙述化学工艺方面一般性的概念之外,并通过具体和典型的例子來說明各个重要的化学生产过程的研究途徑,指出如何决定生产上最宜的物理化学条件,以及編制各具体工艺流程的受領和方法。

同时,在本书中还尽可能地給学生指出在社会主义国民經济中化学工业生产的特点和作用,我国化学工业的具体特点和发展方向,我国在化学工业中的新成就和新技术的采用,以及在我国具体条件下化学工艺的研究方向。

此外,与其他工业一样,大洋群和小土群同时并举、遍地开花,是我国化学工业建設的基本方針;而建立教学-科研-生产劳动相結合的联合基地,更是我国教育为无产阶级的政治服务、教育与生产劳动相結合的方針的具体貫徹。因此,在本书中也适当地介紹了化工的土法生产,綜合了有关的經驗,并将这些材料放在应有的重要地位。

本书的全部内容分为三篇,即化学工艺学的一般問題、化学工业中的基本工程知識和化学生产过程。

第一篇是化学工艺学的通論,它說明化学工艺学的研究方法、基本概念和原則,化学工业的发展历史以及化学工业中原料和能量等一般性的問題。

第二篇着重地叙述了化学工艺学中較为重要的生产过程中的单元操作和器械設備。这一篇包括有以下內容:流体的流动和輸送、粉碎、非均相体系的分离、傳热、蒸发、蒸餾。在本篇中只介紹了有关的基本原理和最典型的器械型式,同时在器械設備中只指出其最主要的結構部分而不討論其細节。某些其他的操作和器械(例如吸收、萃取、結晶、乾燥、固体的机械操作等),在以后各有关的化学生产过程的章节中提及,不再在本篇中討論,以使本篇內容能够集中。

第三篇是化学生产过程。本篇按照化学生产过程的綜合分类法,即按原料、操作和傳統性的分类法来編排。为了使本篇中丰富的內容系統化,按各生产过程的特点分成八个部分:基本无机化学工业、冶金工业、电化学生产、燃料工业、高聚物工业、染料工业、动植物产品工业和制葯工业。在进行讲述各具体生产过程以前,首先介紹了在該化学生产部門中应用的有关物理化学規律,以使学习时可以先有总的概念。由于在本篇中不可能不分巨細地罗列全部化学生产过程,某些工业(例如电热工业、盐类工业和气体生产等)只能适当地并入上述有关部分中簡單介紹;某些工业(例如食品工业等)在本篇中并不叙述;对有些內容过于丰富的工业(例如染料、高聚物、化学肥料、有色金屬等),也只能叙述在我国有特殊意义的、在国民經济中占重要作用的、或具有发展

前途的项目。在各章节中,还尽可能介绍有关的小型或土法生产。

为使各章节的重点内容明确和便于按不同学习情况加以选择,凡比较专门性的论述、补充的内容和某些一般性的章节,都用小字排列,以便在选择和学习时可以有所区别。

由于化学工业的特殊性,它包括有多种多样内容复杂异殊的部门,同时又广泛地应用工程技术和其他科学领域的成果;然而,归根结蒂来说,化学工艺学在近年来开始由包罗万象而分散的技术,转变到以物理化学规律为基础而逐渐系统化的科学。为反映这样的一个重要趋势,并使本书更能广泛地适用于多方面,在编写时考虑到以下方面:

1) 尽可能地内容系统化,以物理和物理化学规律指导实践并在实践中发展和在具体条件下修正补充,作为各化学生产过程叙述的中心内容,以易于使学生对化学工艺有比较明确的了解,易于认识到物理化学和其他技术科学在化学生产实践中应用的一般和综合的方法以及理论与实际结合的途径。

2) 对叙述项目的深度和广度作一定的限制,将一些对国民经济不那么重要的、或者尚未构成完整工业体系的、或者在物化规律的应用上与典型生产过程具有相似特点的、或者过于琐碎的部分予以删除。但在各典型的具体工业的叙述中,不仅从一般的规律和流程出发;同时也进行该工业特征的数据和论证的分析,以加强学生在解决工艺问题时获得具体的综合、分析、论证、归纳和推理的方法。

此外,本书较有系统地综合和分析了大量的物理化学数据,并以图表形式排列作明确的对比,使学生能随本书中所指出的思考途径,来熟悉化学工艺过程的研究方法,掌握有关的物理化学规律的应用,确定化学生产过程所选用的最宜条件、现有流程和器械改进的根据,并从该工艺流程的原则来认识各种工业间的共同性和特殊性。当然,这些图表和数据不必要作为记忆和背诵的对象。

3) 鉴于综合大学化学系的培养目标和各科高等学校的分工,本书中只对基本的化工单元操作和器械进行叙述。然而,由于教学和生产劳动相结合、学校中建立工厂的联合过程中,有关工程的基本知识变得日益重要。因此,在这些章节中还介绍了有关化工器械的某些普遍实用的经验数据和经验公式,供作参考。

第一章和第十章阐述化学工艺学中普遍和综合的内容,在讲述之外,还适合于以后各章学习时重复阅读。

在各章后面,附有该章主要的参考书刊;这些材料仅供教学讲授中参考。

在编著过程中,由于著者水平的限制,教学经验的不足、材料收集和综合得不够全面,有些章节还是初次尝试采用新的系统编写;所以在章节的安排,具体的内容和贯彻的原则间一定会有很多错误和缺点,竭诚地希望读者们给予批评、指正和提出宝贵的意见,作为进一步修改的根据。在本书中的主要问题和次要问题、主要数据和次要数据、重要的工业和次要的工业,工艺发展的方向等方面没有明确指明或叙述清楚的地方,要求讲授时教师能给学生以充分的指导。

上册的第一篇、第三篇的第一和第二部分,是由北京大学蒋家俊编写的;第二篇是由山东大学武际元原编,最后由蒋家俊改编的。

本书承教育部委托武汉大学化学系化学工艺教研组多次审阅，提供许多宝贵意见并指出编写中的缺点和错误，谨致以衷心的感谢。

编者

1959年7月

上册目录

序言	vi
----	----

第一篇 化学工艺学的一般问题

第一章 基本概念	1
----------	---

1-1. 化学工艺学的内容和任务	1
------------------	---

1-2. 一些重要的工艺学概念和定义	3
--------------------	---

1. 单元操作和单元作业

2. 过程的控制阶段

3. 物料衡算和能量衡算

4. 转化率、产率和利用率

5. 生产过程和生产强度

6. 劳动保健和技术保安

1-3. 工业流程	9
-----------	---

1. 间歇过程和连续过程

2. 操作流向

3. 物料的多次加工

4. 编制工业流程的要点

1-4. 化学工艺学的研究方法	13
-----------------	----

参考书刊	14
------	----

第二章 化学技术发展的主要阶段	15
-----------------	----

2-1. 化学技术的起源	15
--------------	----

中国的化学技术

2-2. 资本主义和帝国主义时代的化学工业	17
-----------------------	----

2-3. 苏联的化学工业	20
--------------	----

2-4. 社会主义建设下中国的化学工业	21
---------------------	----

参考书刊	27
------	----

第三章 原料和能量	28
-----------	----

3-1. 总论	28
---------	----

3-2. 矿物原料	30
-----------	----

3-3. 动植物原料	33
------------	----

3-4. 化学工业的能量	35
--------------	----

3-5. 物质资源的不同的利用方式	36
-------------------	----

3-6. 我国的资源	37
------------	----

参考书刊	40
------	----

第二篇 化学工业中有关的基本工程知识

第四章 流体的流动与输送	41
--------------	----

4-1. 一些有关的基本概念	41
----------------	----

4-2. 流体静力学基本规律及其应用	47
--------------------	----

1. 流体静力学基本方程式

2. 流体静力学基本方程式的应用

4-3. 流体动力学基本规律及其应用	50
--------------------	----

1. 流动流体的物料衡算

2. 流动流体的能量衡算

3. 柏努利方程式的应用举例

4-4. 粘滞流体的流动	57
--------------	----

1. 粘度

2. 流体的流动形态

3. 流体流动的摩擦阻力

4-5. 流速与流量的测量	53
---------------	----

4-6. 流体输送机械	59
-------------	----

1. 往复泵和往复压缩机

2. 逆转式泵和压缩机

3. 离心泵和离心鼓风机

4. 输送机械的比较和选择

参考书刊	76
------	----

第五章 固体物料的粉碎与筛选	77
----------------	----

5-1. 固体物料粉碎的基本知识	77
------------------	----

5-2. 粉碎机械	79
-----------	----

1. 粗碎机

2. 中碎机和细碎机

3. 研磨机

5-3. 固体物料的筛选	85
--------------	----

参考书刊	87
------	----

第六章 非均相体系的分离	88
--------------	----

6-1. 非均相体系的分类	88
---------------	----

6-2. 液体非均相系的分离	89
----------------	----

1. 沉降

2. 过滤

3. 离心分离

6-3. 气体非均相系的分离	101
----------------	-----

1. 气体的重力沉降除尘

2. 气体的过滤

3. 气体的离心分离净化

4. 电除尘

5. 超声波除尘

6. 气体除尘方法的比较

6-4. 固体物料的分级和分类	109
-----------------	-----

1. 水选法

2. 风选法

3. 磁选和静电选矿

4. 浮选

参考书刊	117
------	-----

第七章 传热	118
7-1. 热传导	118
1. 基本概念	
2. 通过多层平面壁和圆管壁的稳态热传导	
7-2. 对流换热	122
1. 基本概念	
2. 热交换的计算	
7-3. 热辐射	130
1. 基本概念	
2. 两物体的相互辐射	
3. 气体的热辐射	
4. 三种传热方式的总括比较	
7-4. 加热与冷却的方法	135
1. 烟道气加热	
2. 载热体加热	
3. 电热	
4. 冷却	
7-5. 热交换器	140
参考书刊	143
第八章 蒸发	144
8-1. 蒸发方法	144
8-2. 蒸发器	146
8-3. 影响蒸发的因素	149
8-4. 蒸发操作	152
1. 单效蒸发	
2. 多效蒸发	
3. 热泵蒸发	
参考书刊	160
第九章 蒸馏	161
9-1. 蒸馏的物理化学基础	161
1. 理想的二元互溶体系	
2. 非理想的二元互溶体系	
3. 蒸馏过程中组成的变化	
9-2. 简单蒸馏	171
9-3. 精馏	173
1. 精馏原理	
2. 精馏塔	
3. 精馏的流程	
4. 连续精馏的计算	
5. 间歇精馏的计算	
9-4. 实验室精密分馏	188
9-5. 特殊蒸馏方法	192
1. 水蒸汽蒸馏	
2. 非均相恒沸点液的蒸馏	
3. 萃取蒸馏	
4. 恒沸蒸馏	
5. 分子蒸馏	
参考书刊	199

第三篇 化学生产过程

第十章 物理化学规律在化学工艺中的应用	200
10-1. 工艺过程有关的化学平衡	201
10-2. 工艺过程的速度	207
1. 浓度、压力、温度等对反应速度的影响	
2. 催化作用	
10-3. 热化学和电化学规律	219
参考书刊	220
第一部分 基本无机化学工业	
第十一章 合成氨工业	221
11-1. 总论	221
11-2. 氨合成的物理化学基础	224
1. 氨合成的化学平衡	
2. 氨合成的反应速度	
11-3. 氨合成的最宜条件	234
11-4. 氨合成流程编制的原则	236
11-5. 中压氨合成的流程	238
11-6. 原料气的制备和净化	243
参考书刊	246
第十二章 硝酸工业	247
12-1. 总论	247
12-2. 氨的催化氧化	247
1. 氨氧化的方向和平衡	
2. 铂网上氨氧化反应速度和一氧化氮产率	
3. 常压氨氧化流程	
12-3. 一氧化氮的氧化和吸收	253
1. 一氧化氮的氧化	
2. 二氧化氮与水的作用	
3. 硝酸生成总过程的条件	
4. 常压制稀硝酸的工业流程	
12-4. 氨氧化制稀硝酸的土法生产	259
12-5. 稀硝酸的浓缩	262
12-6. 浓硝酸的直接合成	263
12-7. 氨合成和硝酸工业中各反应过程的比较	266
参考书刊	267
第十三章 硫酸工业	268
13-1. 总论	268
13-2. 二氧化硫气的制备和净化	271
1. 制硫酸的原料	
2. 硫铁矿焙烧制二氧化硫气	
3. 硫磺燃烧制二氧化硫气	
4. 二氧化硫气的精制	
13-3. 接触法制硫酸	280
1. 二氧化硫氧化的物理化学基础	
2. 催化过程的最宜条件	
3. 工业流程	

4. 三氧化硫的吸收	
5. 土法接硫	
13-4. 亚硝基法制硫酸	293
1. 塔式法的流程	
2. 塔式法的物理化学基础	
3. 塔式法制酸的生产条件	
4. 铅室法制硫酸	
5. 土法塔硫	
13-5. 各制酸方法的比较	301
13-6. 硫酸的浓缩	303
参考书刊	304
第十四章 化学肥料工业	303
14-1. 总论	306
14-2. 化学肥料生产的物理化学基础	308
14-3. 氮肥	310
1. 硫酸铵	
2. 硝酸铵	
3. 尿素的合成	
4. 氰氨化钙的制造	
5. 液体肥料	
14-4. 磷肥	321
1. 过磷酸钙的生产	
2. 其他的过磷酸钙型磷肥	
3. 钙镁磷肥	
4. 其他的磷肥	
5. 电热法制磷酸	
14-5. 钾肥	335
1. 明矾石的加工和综合利用	
2. 从钾长石制造钾肥	
3. 从苦卤制造钾肥和苦卤的综合利用	
4. 从光卤石提取氯化钾	
14-6. 玻璃肥料	352
14-7. 颗粒肥料	353
参考书刊	353
第十五章 碱工业	354
15-1. 总论	355
15-2. 氨碱法的物理化学基础	358
氨碱法相图的讨论	
15-3. 氨碱法生产纯碱	370
1. 氨碱法的流程	
2. 氨碱法的主要作业和设备	
15-4. 土法纯碱	383
15-5. 联产碳酸氢钠和氯化铵的联合制碱法	384
1. 工艺程序	
2. 联合制碱法的物理化学基础	
3. 氨碱法与联合制碱法的比较	
4. 综合利用芒硝的联合制碱法	
15-6. 苛化法制烧碱	390
参考书刊	395
第二部分 冶金工业	
第十六章 钢铁工业	398
16-1. 总论	398
16-2. 生铁的冶炼	400
1. 铁矿石的预处理	
2. 高炉中的化学变化过程	
3. 高炉及其操作	
16-3. 炼钢	409
1. 转炉炼钢	
2. 碱性转炉法	
3. 平炉炼钢	
4. 电炉炼钢	
16-4. 小型钢铁企业	418
16-5. 优质钢	419
16-6. 钢铁的热处理	420
1. 铁-碳合金体系	
2. 钢铁	
3. 碳钢的热处理	
4. 化学热处理	
参考书刊	427
第十七章 有色金属工业	429
17-1. 总论	429
17-2. 铜冶金	430
1. 概述	
2. 反射炉冶炼铜矿石成冰铜	
3. 冰铜的吹炼	
4. 鼓风炉熔炼	
5. 粗铜的精炼	
6. 铜的电解精炼	
17-3. 镍冶金	439
17-4. 铅冶金	442
1. 粗铅的炼成	
2. 粗铅的精炼	
17-5. 锌冶金	446
1. 锌的火法冶炼	
2. 锌的湿法冶炼	
17-6. 锡冶金	450
17-7. 金冶金	452
17-8. 稀有金属的冶炼	452
参考书刊	456

第一篇 化学工艺学的一般問題

第一章 基本概念

1-1. 化学工艺学的内容和任务

化学工艺学研究的对象,是借助于化学反应以改变物质組成和内部結構,将原料加工为生产資料和消費品的方法和生产过程,即研究化学工业的科学。

与化学工艺学相对的,是机械工艺学。机械工艺学是研究改变物体外形的过程(这些过程的进行主要是借机械操作实现,同时物料的物理性质也有所变化)。

按照历史性的分类,化学工业包括以下的主要部門:

无机物化学工业

基本无机化学工业(酸、碱、盐及无机肥料的生产);

冶金工业(黑色金属、有色金属、贵金属和稀有金属的生产);

硅酸盐工业(玻璃、水泥、陶瓷、粘台材料、耐火材料的生产);

电化学工业(电解工业——氯、氫、燒碱、水的电解、湿法电冶金、熔融盐的电解;电热工业——电石、氟氯化钙、磷等的生产);

无机药剂的生产(稀有元素、試剂、药剂、农药的生产);

矿物塗料及顏料的生产。

有机物化学工业

基本有机合成(醇、酸、醚、脂的生产;甲烷、一氧化碳、氫、乙烯、乙炔等的加工制人造石油和有机工业的基本原料等);

燃料化学加工工业(石油、煤、油母頁岩、天然气、木材的化学加工);

高聚物工业(塑料、合成纖維、合成橡胶、成膜材料的生产);

中間体和染料的生产;

精細的有机合成工业(医药、試剂、有机杀虫剂、除毒剂等的生产);

食品工业(糖、油脂、蛋白質、酒、醋酸、生物化学的工业产品);

有机輕工业(橡胶、造纸、制革、动植物加工等)。

上述的分类中,还没有包括国防化学工业在內。

随着化学工业的日益发展,化学工业中的某些部門已发展成为独立的工业部門。比如在我国的情况,現在属化学工业部門范围的有如下各类工业:

1. 化学矿物开采业——生产硫铁矿、磷矿石、硼矿和其他化工原材料等;

2. 基本化学工业——生产硫酸、硝酸、盐酸、燒碱、純碱、重要的盐类和各种农药等;

3. 化学肥料工业——生产各种类型的化学肥料;

4. 有机化学工业——生产各种染料、油漆、合成橡胶、合成纖維、塑料、溶剂或試剂等;

5. 医药工业——生产各种药物(磺胺类药物、解热药、維生素、激素等), 抗菌素(青霉素、鏈霉素、金霉素等)和制剂等;

6. 化学輕工业——主要生产橡胶和橡胶制品(輪胎、运输傳送帶和其他工业和国防用橡胶制品)。

而其他如石油、煤炭、冶金、建筑材料、輕工业和食品工业等都已成为独立的工业部門，但是它們与化学工业仍有密切的联系，在学习化学工艺学时应对它們有广泛的了解。

现代化学工业的特征，是在理論与实际創造性地密切联系下，进行化学产品的大量生产。在高度技术水平的指导下，密切地与机械化、自动化和电气化相联合的大生产的化学工业，对于社会主义国民經济生产过程的化学化起着巨大的作用。

国民經济生产过程的化学化使許多复杂的經济問題获得解决；例如：

1) 在天然資源的化学加工的基础上，不断地增加新的化学原料和合成材料的品种和质量，以适应发展着的其他社会主义生产对于新材料日益增长的需要；例如供給机器制造业和飞机工业以具有金属强度、質輕透明、耐蝕絕緣的新型塑料，特种品質的燃料和硅有机潤滑剂，供給具有广阔发展前途的新兴部門(例如半导体、电子技术、火箭、導彈和人造卫星、原子能利用等尖端科学和工业)以高純度的稀有元素和其他材料等。

2) 为扩大工业原料基地开辟无限的可能性，在生产过程中綜合而且全面地利用物料和能量。例如动力——化学、冶金——化学組成的巨大联合企业，充分合理地利用了矿質燃料資源，为有机重工业所需的碳氢化合物提供了强大的基地，因而为国民經济各部門生产更多的化学产品；以合成或木材加工的产品代替食品作原料，大大地节约粮食等非日用的消耗，而且供应了更經济和质量較高的化学材料(例如石腊氧化制脂肪酸，木材廢料水解及石油副产气体合成酒精)。化学工业是唯一的工业部門，它可以利用空气和水制得国民經济迫切要求的产品(例如氨、硝酸等)。

利用化学方法处理工业廢料是化学工业重要的任务。馬克思指出：在利用廢料方面，化学工业作出了光輝的范例。它不仅利用自己的廢料，为它找到用途，并且还能利用很多其他工业部門的廢料，并把它变成有益的产物。例如，从前几乎完全未加利用的煤焦油，经过化学处理则可以变成有机染料和茜素，而在最近甚至可以做成藥品。

3) 在国民經济各部門采用化学过程，急遽地提高生产过程的强度，減輕工人劳动，因而节省時間，节约資金，而且保証生产安全和卫生的条件。例如机器制造业的新技术中，化学过程的意义日益重大；将金属零件鍍耐蝕物料或施以氮化，使机器設備的质量提高和工作期限延长。鋼鐵工业采用富氧鼓风，可使高炉生产能力提高一倍，而单位生鉄消耗焦炭的数量反而降低 33%。

4) 在农业生产中采用新的化学产品和化学过程(肥料，农药，除莠剂，以示踪原子研究生物化学过程等)，保証了单位面积农作物产量的提高，土壤肥沃度的保持，畜牧生产的效率提高，并使农产品得以妥善保存和充分利用。

国民經济生产过程的化学化是指以下的基本內容：发展各种具有高度生产力的化学部門，以供給各其他工业部門以充分新的化学产品；发展并在其他国民經济部門推广足以根本改变生产技术的化学过程和化学方法，发展化学科学和技术，以便与其他科学技术部門共同改造生产过程，并提供原料和能量强大的新泉源。

化学工艺学广泛而綜合地应用物理、化学、物理化学、力学、热工学、电工学的法則，以及工程和經济方面的規律。化学工艺学中綜合应用这些法則和規律，为解决二个任务：

1) 确定工艺过程生产的可能性和必要的条件,其中包括:根据物理化学和有关法则的研究,肯定反应进行所达到的程度,选择生产过程和辅助操作最恰当的条件,编制物料和能量综合利用的方案和合宜的工业程序,以及从工艺学的理论决定设备和器械的构造和选择结构所用的材料。

2) 评定生产过程的经济性,即在现代的技术水平上,选择最经济的化学生产过程,比较各类过程在国民经济中的有利程度,根据国民经济的需要来保证化学产品的增长,以满足整个社会其他生产资料增长和生活的需要。按照国家经济计划确定化学工业部门的配置和建设,并在各个化学生产过程中加强劳动组织,生产管理和经常而迅速地对工艺过程的检查,并保证卫生和安全的劳动条件。

生产过程的经济性决定于下列的指标: i) 单位产品所消耗的原料和能量; ii) 产品的质量; iii) 生产过程的强度或器械的生产能力; iv) 生产的投资和维持费用,即产品的成本。

化学生产包括有多种形态异殊、包罗万象的部门,例如有历史悠久的酸碱基本工业,也有近年来迅速发展的高聚物工业;有在国家经济极端重要的基本化学工业,也有为人们生活制造消费品的化学轻工业。然而,现代化学工业有着发展的共同特点,即逐渐抛弃了以往的陈规,不再按照个别积累的经验来进行操作,也不是以侥幸的尝试来改进生产,而是根据严密的物理化学规律和技术经济的法则来确定生产过程的合理和合宜的反应程序、操作条件和器械构造。例如构成现代国民经济基础之一的基本化学工业,它们生产过程的改进,是按照反应的特点进行科学研究与综合具体实际情况的结果,硫酸工业中塔式法生产强度的提高和从亚硝基法发展到接触法,就是这方面的典型;现在正在迅速发展具有广阔前途、对国民经济起重大作用的基本有机合成工业,是在周密地探讨反应的热力学特性和反应机构,结合现代技术水平后才建立的;即使一些次要的、原来显得零乱和手工操作方式的化学轻工业,目前也循科学指导来创设更完善的工艺方案。

因此,学习化学工艺学时必须首先了解对化学生产过程起指导作用的普遍性原则,这些原则正是本章的内容。

应当指出,只有热力学上论证是可能的、并具有一定速度的反应,才能在工业上实现,而技术和经济的法则是为确定生产过程的充分条件和符合国民经济的要求。

然而,在各个生产过程中所起的主导的物理化学法则是不同的。举例而言,氨合成时要解决的主要问题是反应平衡与反应速度间的矛盾,氢氧化制硝酸中却是多个不可逆反应的速度相互竞争的矛盾,碱工业中起主导作用的是相图和相律,在电化工业中是电极过程和电化学的规律;石油炼制是复杂多向有机反应同时发生并相互作用的过程。为此,学习化学工艺学的各个具体生产过程,必须认识该工艺过程与其他生产过程间的共同性,但也必须分析该过程的特殊性,以归纳出生产最宜的条件,和应用技术经济法则来确定其合适的工艺流程。

化学工作者的基本任务,是在最短的时期内,提高我国化学水平使达到国际标准,同时按照国民经济的需要,研究利用我国富饶的资源,建成我国强大的系统的化学工业,改变化学工业目前还不适应于全国经济建设的需要而努力。在这样的情况下,化学工作者必须根据我国具体情况和特殊条件来创造性地进行研究和工作,来创设和确定建设我国化学工业的必要条件。

1-2. 一些重要的工艺学概念和定义

化学工艺学是理论与实践相联系的科学,它不仅需要应用物理化学的规律,而且需要处理实际的技术经济的问题。

化学工艺学中应用物理化学法则的目的是在于确定过程的途径和进行的方向。物理化学的公式和常数,提供在生产实际情况下,过程所能达到的极限。然而,实际的生产过程所处理的问题

題远較理論研究的对象复杂, 它的特征在于过程的变动性(原料的数量和质量因矿藏、地区和来源而有显著的区别), 綜合性(产品的数量和质量不仅受到物理化学因素总和的影响, 受到工业原料杂质及副反应的影响, 而且取决于器械的規模和利用率、操作技术水平的程度), 以及采用的操作方法和程序的多样化(間歇操作或連續操作, 逆流或并流)。因此, 在討論化学工艺生产过程之前, 应对工艺学有关的一些重要概念和定义有所認識。

1. 单元操作和单元作业

每一个具体的化学工艺生产过程由多个程序所組成, 按各个程序的特点, 通常归纳为化工单元操作和化工单元作业二类。

化工单元操作 单元操作(即化工原理研究的对象)是研究化学工业中所有各部門共有的一般性操作和操作的原理, 确定这些操作所用器械的构造和設計, 而并不專門处理該具体工业中化学反应进行所必要的物理化学条件:

单元操作处理下列的内容:

- 流体流动(流体流动、流体輸送、測量及控制);
- 热傳遞(热的傳导、对流、輻射, 热交換, 加热, 冷却, 冷凝);
- 扩散傳质过程(溶解, 結晶, 抽提, 蒸发, 蒸餾, 增湿, 吸收, 吸附);
- 机械操作(攪拌, 混合, 粉碎, 解磨, 成型, 篩选, 固体輸送);
- 非均相体系分离(过滤, 离心分离, 沉降, 电沉, 浮选, 磁选, 篩选)。

单元操作中起主导作用的是物理的規律, 广泛地应用力学、热学、电学以及有关工程技术上的成就。

化工单元作业 单元作业(或单元程序)所处理的对象, 是各具体生产过程中有关化学反应的合宜条件的探討。单元作业按各化学反应的特性, 确定生产所选用的經濟有效的措施和操作規程。单元作业中的条件直接影响产品的产量和质量。

单元作业处理的对象极为广泛, 举出下列一些項目为例:

- 燃燒和氧化(无机物的氧化, 碳氢化合物的氧化);
- 硅酸盐的生成(水泥和陶瓷生产);
- 分解(盐水体复分解);
- 煅燒(无机物高温分解);
- 电解(苛性鈉生产, 电化工业);
- 高温热解(固体燃料加工, 石油产品裂化);
- 还原(有机物的还原, 电化还原);
- 聚合(高聚物单体的聚合);
- 縮合(树脂的縮合);
- 炔化(苯与烯炔化制人造汽油);
- 硝化、磺化、卤化(中間体及染料的合成, 有机杀虫剂的制造);
- 发酵(动植物产品加工)。

2. 过程的控制阶段

任一化工过程的速度都可以下列普遍式表示:

$$v = \frac{dx}{d\tau} = \frac{kA\Delta F}{R}$$

式中 v ——过程的速度(例如流体流动时的流量, 传热时的传热量, 扩散过程中的传质量, 化学反应过程中的反应物或产物变化量);

ΔF ——过程中的推动力(或作用力, 例如流体流动时的压力差, 传热时的温度差, 扩散传质时的浓度差, 化学反应时当时转化率与平衡转化率间之差);

A ——过程中的作用面;

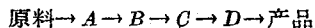
R ——过程中的阻力(例如流体流动时的摩擦阻力, 传热时的热阻, 扩散传质时的惰性膜的阻力, 化学反应时的化学阻力^①);

k ——过程的特性系数。

因此, 增大过程的推动力, 是提高化工过程强度的有效方法。

同时, 每个化学工厂的生产过程都是由多个程序或阶段所组成。正常操作的工厂应当是均衡有节奏地进行生产。因此, 建设一个工业过程或强化生产过程(即增大现有设备生产的产品量)时, 必须注意到设备或过程中最薄弱的环节。

在现代连续的大生产中, 原料组成一均匀的物流, 经过各阶段加工。这样工厂的生产能力取决于过程中最薄弱的环节, 例如过程包括以下的阶段:



如果 A, B, C, D 各阶段的设备在单位时间内能够处理的反应物数量分别为 3、4、5、6 分子数, 则单位时间总过程中所能加工的物料至多不可能超过 3 分子, 其时 B, C, D 各阶段的能力过剩, 而 A 的能力达饱和。若能将 A 的能力提高至处理 5 分子反应物, 则总过程单位时间能处理的反应物量变为 4 分子, 即总过程的能力受 B 所限制。

为平衡生产过程中各阶段的能力时, 必须考虑到能影响过程速度的全部物理化学因素及其他技术条件, 辅助操作的时间, 各个设备的大小和生产能力, 以及外来原料成分和数量的可能变动范围。在工厂中易于发生故障的地方, 往往应附设备用器械或可更换的装置。

3. 物料衡算和能量衡算

物料衡算和能量衡算是工艺计算和设计的基本组成项目。

物料衡算用以计算原料消耗的定额, 产品和半成品及废料的数量。物料衡算的基础是质量守恒定律, 根据这定律按化学反应方程式作这方面的计算。衡算包括两方面: 输入和输出, 输入为参加反应的原料, 输出是反应后的产物(成品和废料)。

能量衡算是根据能量(主要是热量)守恒定律编制的, 输入项目中通常包括: 放热反应自身释出的热量, 反应物带入的热量, 外界加入的热量; 输出项目中包括: 吸热反应吸收的热量, 反应产

^① 化学反应过程中, 生成的反应产物往往抑制反应的速度。

物带走的热量(并包括气化热等), 辐射的热损失。

物料衡算和能量衡算用来供给工厂设计必要的基本资料(决定器械的大致规模和厂房的投资等), 或者在操作过程中用来校对过程控制和分析的准确性, 以及在过程条件变异时寻找没有估计到的损耗及其原因。

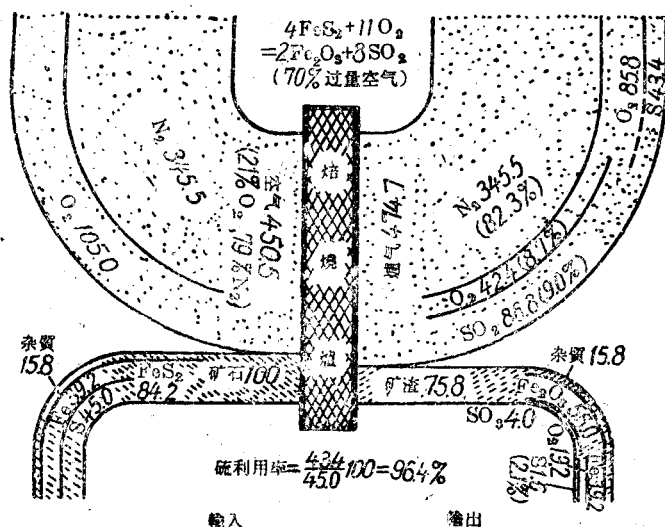
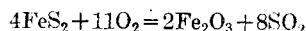


图 1-1. 硫铁矿焙烧的物料衡算。

程控制和分析的准确性, 以及在过程条件变异时寻找没有估计到的损耗及其原因。

举一个物料衡算的例子如下: 以硫铁矿焙烧制二氧化硫气(硫酸工业中), 硫铁矿中含硫45% (以 FeS_2 形式存在), 焙烧用170%理论量空气, 反应为:



生成的炉渣中含2.1%硫。按物料衡算, 可以求出产品(炉气)的成分和数量, 并计算原料(硫)被利用的程度。物料衡算可以图或表格形式表达清楚。图 1-1 为上例的图解, 其中单位为公斤(以起始硫铁矿 100 公斤为基准), 括号内为体积%。

4. 转化率、产率和利用率①

为测定原料或反应物利用的程度, 化学工艺学中常常采用一系列有关的术语, 以便在不同场合下明确地表达所指的涵义。其中有转化率、产率和利用率等。

平衡转化率是指在可逆反应中, 当反应达到平衡时, 起始反应物参加化学变化的百分率(以分子百分比表示)。它是仅指某一特定反应物而言, 例如 $\text{SO}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 = \text{SO}_3$ 反应中指二氧化硫; $\text{NO} + \frac{1}{2}\text{O}_2 = \text{NO}_2$ 反应中指一氧化氮。平衡转化率通常以 x_e 表示。

平衡转化率可从反应的平衡常数算出; 它只与热力学函数有连系, 与反应速度无关。

不可逆反应中进行时, 只要供给充分的时间, 原料会完全作用, 故不可逆反应中无所谓平衡转化率。

转化率是指实际条件下, 反应结束后, 起始反应物参加化学变化的分子百分率, 也指某一特定反应物而言; 它以 x 表示。转化率不仅与平衡的条件有关, 而且有赖于反应进行的时间。转化率通常只用在简单反应中。

例如 $\text{SO}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 = \text{SO}_3$ 反应中, 含 7% SO_2 , 11% O_2 , 82% N_2 的原料气在常压和 475° 时, 平衡转化率达 96.1%; 而在五氧化二钒催化剂上接触 0.5 秒时, 转化率为 65%, 1.5 秒时转化率为 85%。

转化率的极限为平衡转化率。

工厂条件下, 为争取单位时间更多的产品产量, 反应的进行往往只给以不多的时间, 所以转化率总小于平衡转化率。

产率的概念用在多方向反应中, 这类反应进行时, 可能有多种反应或多种产物同时生成, 而

① 这是一些本身并不包括时间因次的名称。

要求的生成物仅为全部产品的一部分。产率是将某一特定的反应物理論全部生成要求产品量为1,而以实际所得該产品在其中所占的百分率表示。因此,在多方向的反应中,产率总比轉化率要小。

轉化率是对反应物來說的,产率則指所需的生成物。例如氨氧化制一氧化氮时,生成物可能有氮、一氧化氮、一氧化二氮; 萘催化氧化制苯二甲酸酐时,产品可能为苯甲酸、苯二甲酸、酐、二氧化碳等。理論上,一克分子萘可生成一克分子苯二甲酸酐,但因副反应发生,实得仅为 a 克分子,故:

$$\text{产率} = \left(\frac{a \text{ 克分子}}{1 \text{ 克分子}} \times 100 \right) \%$$

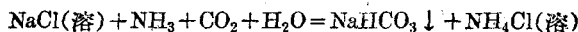
在物相或組分的分离过程中,或在历程或副反应极端复杂的化学反应中,有时往往也用产率来表明过程中产品的实收程度。这时产率所指的是合格产品占原料的重量百分率。例如在石油工业中,若1公斤原油蒸馏时分出0.2公斤的汽油,直馏汽油的产率即为20%;再如石油产品裂化过程中,若1公斤裂化原料油裂化生成0.5公斤汽油(其余为渣油和油焦),則裂化汽油的产率即为50%。因为在物相或組分的分离过程中,通常并不伴随着化学变化,而在裂化过程中,則有为数众多的并行和延續的反应发生,所以二者都不能按反应方程式計算理論产量;此外,在这两个过程中,合格的产物并不以組份的化学純度来衡量,而是以某一特定指标为标准的(例如石油产品是以沸点范围来判定的)。

利用率是泛指原料在加工的总过程中的利用程度,即理論上原料生成产品的量与实际轉化成合乎規格产品量之比(以百分率表示)。工业生产时,原料的利用率是不能达到完全的(100%),一方面因为操作条件总与理想間有一定的距离,一方面在过程中原料有損耗(例如有效成分夹杂于廢料中損失,被廢气带走,有时产品污損变质等)。

从硫铁矿制硫酸过程中,理論上硫铁矿焙燒时硫可以全部氧化成二氧化硫,二氧化硫氧化成三氧化硫时轉化率可达97%,三氧化硫吸收时有99%轉化成硫酸;硫的利用率本应为 $100\% \times 97\% \times 99\% = 96\%$,然而由于过程中的損耗,硫的利用率仅为85%。在合成氨中,过程是循环的,原料的利用率本应是100%,但实际上只达到95—96%。

利用率有时有特定的涵义,这时是在轉化率或产率无从表明实在的情况时采用的。例如溶液的离子反应生成沉淀产品的过程中,由于溶解度的关系,在液相中还有一些反应物的离子存在,这些离子往往不能利用。但因离子是在溶液中,不能說它是以原始反应物或最終生成物的形式存在,所以說轉化率或产率都是不合适的。这时就以利用率来表示,它是指实得合格产物量与反应物全部生成該产品量之比,以百分率表示。

例如氨碱法制純碱中,以食盐和二氧化碳为原料,以氨为媒介,进行反应:



理論上每克分子氯化鈉可生成一克分子碳酸氫鈉。工厂条件下,反应后母液中还殘留有 Na^+ 、 Cl^- 、 NH_4^+ 、 HCO_3^- ,沉淀析出的可利用的碳酸氫鈉产品只有0.72克分子,因之鈉利用率为72%。

产量只指产品的数量,与其他的因素(产率等)无关。

設備利用率是指設備被利用的程度(即开工生产的器械設備占全部的百分率),它不仅与劳动組織,工厂生产計劃有关,而且取决于社会的經濟結構,原料供应的情况,市場对产品的需要量等因素。例如在經濟危机时,资本主义国家的工厂中設備利用率只有50%,甚至低到20—30%,其他被閒置不用或受破坏。

討論設備利用率的同时,应当考虑工业器械的折旧率,通常化学工业的器械的工作期限只有2—20年,远較其他工业中为低(在机械工业或电气工业中設備可用五六十年以上)。因此,化学工厂的設備利用率应充分提高。

成品率是考察工厂产品的质量和劳动生产率的指标,即合格产品占全部产品的百分率。

机械强度是机械工艺学或化学工程研究对象之一,它指物质或器械所能承受的机械力量。例如铜的机械强度不如铁的;催化剂的机械强度(是否可耐气体的冲击)决定它是否有工业实用价值,以不致在过程中粉碎成尘。

5. 生产能力和生产过程强度

生产能力是单位时间内,一个器械或一个工厂企业所能生产的合格产品数量^①。

生产能力与设备的型式和规模、技术水平、劳动生产率和劳动组织有关。所谓强化生产,是指一个器械或工厂,在已有设备和规模上,因提高技术水平而获得更多合格的产品,即提高它的生产能力。

生产过程强度是指在现有规模的设备下,生产进行的剧烈程度。同一设备的工厂中,生产过程强度愈大,则生产能力愈高。

生产过程强度与生产能力一样,是个综合的因素,它不仅取决于经济和技术水平,也取决于工人创造性的劳动。资本主义社会以提高劳动强度(指工人在劳动时的紧张程度)来提高生产过程强度;社会主义条件下,用提高劳动生产率来增进生产过程强度。

如何提高生产过程强度也是化学工艺学主要探讨的问题。生产过程强度的提高可从三方面来着手:

- 1) 创立该过程最宜的物化条件,例如选用活性更强的催化剂、采用尽可能最高的温度,以谋求最快的反应速度;
- 2) 找求最新和有效的生产过程方案,例如固定空气中氮的方法中,合成氨法就比电弧法更为有效,而在合成氨的方案中,超声波合成是新的有效的方向。
- 3) 尽可能地减少辅助操作的时间,采用自动化和机械化的控制,并配合以快速分析的方法,以提高设备利用率和消除废品生成的可能。

器械强度是指单位体积(或其他特征的单位)器械在单位时间生产的产品数量。

器械强度,生产过程强度 and 生产能力相互间的连系是这样的:器械强度提高,生产过程随之强化,生产能力也就提高。但强化生产时应首先注意过程中最弱的环节(即器械强度最低的设备)。

随着化学动力学研究成果和新技术的采用,化学工厂设备的器械强度已在不断增进。塔式法制硫酸和高炉炼铁就是这样的例子(表 1-1)。

表 1-1. 某些化学工业的器械强度

年 份	塔式法制硫酸, 公斤硫酸 (100%计算) 立方米塔·24 小时	过磷酸钙生产, 公斤磷肥 立方米室·小时	高炉炼铁, 24 小时每立方米容积 产生铁量, 吨
1934	18	85	0.60 以下
1939	40	364	0.87
目前	250	755	1.35 以上

采用连续过程和循环操作后器械强度也大为提高。

生产率是指单位特定的物质的生产能力,例如催化剂的生产率是指单位体积(或面积)催化剂在单位时间(24 小时)内能处理原料的数量或生成产品的数量。催化剂的生产率与催化剂的性质

① 要将生产能力与生产力区分开来。生产力是指社会生产发展的水平,是人类与自然斗争的结果,生产力和生产关系的矛盾是社会发展的动力。生产力和生产能力具有显然不同的涵义。