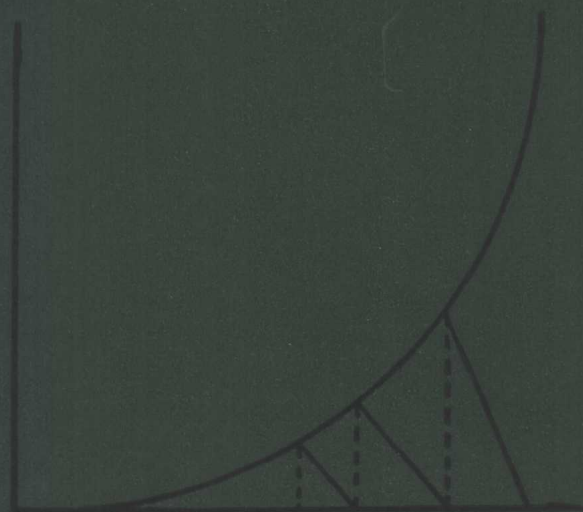


HuaXueGongCheng
JiChu
JianMingJiaoCheng

化学工程基础简明教程

华南师范大学 广西师范大学 湖南师范学院 昆明师范学院 合编



化学工程基础简明教程

华南师范大学 广西师范大学 合编
湖南师范大学 昆明师范学院

湖南科学技术出版社

内 容 简 介

本书是按1980年教育部颁发的师范院校化工基础教学大纲并结合各院校多年来的教学经验编写成的一本教科书。其初稿曾经全国34所高等理科院校教师审查,并为全国许多师范院校试用了一年。在广泛收集意见的基础上,编者对全书进行了重新修订。

本书内容包括了流体流动与输送、传热、吸收、蒸馏、反应工程、硫酸、合成氨、石油炼制和氯碱工艺等方面的基础理论、主要设备和生产工艺。一些新理论、新技术、新设备、新工艺都在本书中有所反映。

本教程还根据教学需要编写了适当例题、习题和复习题,以方便教学。每篇还附有参考书目和文献,以便于师生查阅参考。

化学工程基础简明教程

华南师范大学 广西师范大学 合编
湖南师范学院 昆明师范学院

责任编辑:罗盛祖

*

湖南科学技术出版社出版

(长沙市展览馆路14号)

湖南省新华书店发行

湖南省新华印刷二厂排版 湖南省新华印刷一厂印刷

*

1983年11月第1版 1985年4月第2次印刷

开本: 787×1092毫米1/16 印张: 19.25 字数: 480,000

印数: 9,401——17,500

统一书号: 13204·89 定价: 3.10元

前 言

本书是根据1980年教育部颁发的教学大纲编写的,它适合于高等师范院校(包括师范专科学校、教育学院等)化学系(科)使用,也可作为其他理科院校的教学参考书。

在编写过程中,编者经过了充分讨论,吸取了教学实践中的经验,并参考了国内外部分新教材。内容经过精选,由浅入深、由简到繁,对重点及难点写得较详细,其余部分力求简明,并注意了章节衔接的系统性。为了帮助读者学习,书中选编了一定数量的例题,各章节还附有复习题和习题。全书采用国际单位制。

1981年12月下旬,武汉大学、西南师院、西北师院、安徽师大、辽宁师院、江西师院、贵阳师院、新乡师院、宝鸡师院、武汉师院、荆州师专、韶关师专等34所院校40余名代表在华南师院(现华南师大)对本教材进行了集体审稿。一致认为:“选材适当,章节层次比较分明,内容重点较突出,系统性较强,而且行文流畅、叙述清楚,不失为师范院校化学工程基础课适用的较好教材之一。”根据各兄弟院校的要求,本教材于1982年先后内部印刷发行两次,供各院校作教材或参考书使用。

经过一年的教学实践,收到了许多兄弟院校的来信,除对本教材加以肯定外,还提出了很多宝贵意见。编者根据上述意见和自己的教学实践,进行了认真讨论和仔细修改。因此,本教材的质量有很大提高。全书修改稿由湖南师院成阶平副教授审核定稿。

本书第一、二、九章由广西师大梁肇勤编写;第三章由广西师大陈琼编写;第四、五、十二章及附录由湖南师院毛棣辉编写;第六、七、八章由华南师大叶炳林编写;第十章由昆明师院李庆元编写;第十一章由华南师大曾灼先编写。

本书在编写出版过程中,得到了上述兄弟院校的大力支持,在此一并表示衷心感谢。由于我们水平有限,时间仓促,书中错漏在所难免,敬请读者批评指正。

编者 1983年8月

目 录

第一章 绪论	(1)	量衡算	(91)
第一节 概述	(1)	四、流体流动能量衡算方程的应	
一、化学工程的性质和内容	(1)	用	(20)
二、化学工程基础的教学目的和		第四节 流体流动的阻力	(23)
任务	(2)	一、流体阻力产生的原因及其影	
第二节 四个基本概念	(2)	响因素	(23)
一、物料衡算	(2)	二、粘度	(23)
二、热量衡算	(3)	三、流体的流动型态	(24)
三、平衡关系	(4)	四、流体在圆管内流动时的速度	
四、过程速率	(5)	分布	(26)
第三节 物理量的单位及其换算	(5)	五、流体在圆管内流动时的阻力	
一、单位制度	(5)	计算	(27)
二、国际单位制	(6)	六、降低流体阻力的途径	(33)
三、单位换算	(6)	七、简单管路计算	(34)
复习题、习题	(7)	第五节 流体流量的测定	(36)
本章符号说明	(8)	一、孔板流量计	(36)
		二、文丘里流量计	(37)
		三、转子流量计	(38)
		第六节 流体输送机械	(39)
		一、离心泵	(39)
		二、往复压缩机	(45)
		复习题、习题	(47)
		本章符号说明	(50)
第一篇 传递工程		第三章 传热过程	(52)
第二章 流体动力过程	(9)	第一节 概述	(52)
第一节 流体静力学方程	(10)	一、化工生产中的传热问题	(52)
一、流体的主要物理性质	(10)	二、传热过程的基本概念	(52)
二、流体静力学基本方程式	(12)	三、热量传递的三种基本方式	(53)
三、流体静力学基本方程式的		第二节 热传导	(54)
应用	(12)	一、热传导基本方程——付立叶	
第二节 流体流动连续性方程	(14)	定律	(54)
一、流体的流量和流速	(14)	二、导热系数	(55)
二、稳定流动和不稳定流动	(15)	三、平面壁的稳定热传导	(57)
三、流体作稳定流动时的物料衡		四、圆筒壁的稳定热传导	(59)
算 (连续性方程)	(16)	第三节 对流传热	(62)
第三节 流体流动能量衡算方程	(17)		
一、流体作稳定流动时具有的能			
量	(17)		
二、理想流体流动过程的能量衡			
算	(18)		
三、实际流体作稳定流动时的能			

一、对流传热过程分析.....(62)	三、简单蒸馏.....(110)
二、对流传热方程和给热系数...(63)	第二节 精馏的理论基础.....(113)
三、对流传热系数的准数关联式.....(63)	一、双组分互溶体系的气液平衡(113)
第四节 热交换的计算.....(66)	二、双组分互溶体系分离难易的比较.....(116)
一、传热方程式.....(66)	第三节 双组分连续精馏.....(117)
二、热负荷.....(66)	一、连续精馏原理.....(117)
三、传热平均温度差.....(67)	二、在精馏塔内进行的精馏过程.....(118)
四、传热系数.....(71)	三、连续精馏流程.....(119)
五、强化传热过程的途径.....(73)	第四节 连续精馏操作线方程.....(120)
第五节 换热设备.....(75)	一、全塔物料衡算.....(120)
一、换热设备的分类.....(75)	二、操作线方程.....(121)
二、列管式换热器.....(75)	第五节 塔板数的确定.....(124)
三、其它换热器.....(79)	一、理论塔板数.....(125)
复习题、习题.....(82)	二、实际塔板数.....(129)
本章符号说明.....(83)	三、回流比的选择对塔板数的影响.....(130)
第四章 气体的吸收.....(85)	第六节 精馏塔.....(131)
第一节 化学工业中的吸收.....(85)	一、精馏塔的一般要求与分类...(131)
一、基本概念.....(85)	二、典型板式塔.....(132)
二、相间传质.....(86)	复习题、习题.....(133)
第二节 气液相平衡.....(86)	本章符号说明.....(134)
一、相间组分浓度表示方法.....(86)	本篇参考书目.....(134)
二、相际间的平衡.....(88)	
第三节 吸收速率.....(92)	
一、吸收机理——双膜理论.....(92)	
二、吸收速率方程.....(92)	
三、强化吸收过程的途径.....(96)	
第四节 吸收剂用量的确定.....(99)	
一、吸收操作线方程.....(99)	
二、吸收剂用量计算.....(100)	
第五节 吸收设备及其计算.....(102)	
一、填料塔的构造及操作.....(102)	
二、填料吸收塔的计算.....(102)	
复习题、习题.....(106)	
本章符号说明.....(108)	
第五章 蒸馏.....(109)	
第一节 概述.....(109)	
一、蒸馏的概念.....(109)	
二、比挥发度及气液平衡关系式.....(109)	
	第二篇 化学反应工程
	——反应器基本原理
	第六章 基本反应器.....(136)
	第一节 概论.....(136)
	一、反应工程的内容和任务.....(136)
	二、化学反应工程的研究方法...(137)
	三、化学反应器的类型.....(137)
	第二节 反应器设计基础.....(139)
	一、动力学方程式的建立.....(139)
	二、流体流动模型.....(142)
	三、反应器基本方程式.....(144)
	第三节 间歇反应器.....(145)
	一、反应时间的计算.....(145)
	二、反应器容积的计算.....(147)
	第四节 活塞流反应器.....(148)

一、空间速度、空间时间与停留时间	(149)
二、活塞流反应器基本设计方程	(149)
第五节 混合反应器	(154)
一、理想混合反应器	(154)
二、多釜串联反应器	(157)
复习题、习题	(161)
本章符号说明	(161)
第七章 反应器型式和操作方法的评选	(164)
第一节 反应器生产能力的比较	(164)
一、间歇反应器与活塞流反应器	(164)
二、间歇反应器与连续混合反应器	(164)
三、混合反应器与活塞流反应器	(165)
四、多釜串联反应器与活塞流反应器	(167)
第二节 关于收率的分析	(168)
一、平行反应	(168)
二、连串反应	(173)
第三节 变温过程	(175)
一、温度的影响	(175)
二、变温操作的反应器设计	(177)
三、反应器的热稳定性	(180)
复习题、习题	(183)
本章补充符号说明	(184)
第八章 非理想流动	(185)
第一节 理想流动的偏离	(185)
一、产生偏离的原因	(185)
二、实际反应器的设计方法	(186)
第二节 停留时间分布及其测定	(187)
一、停留时间分布的表示方法	(187)
二、停留时间分布的测定	(188)
第三节 理想流动反应器的停留时间分布	(191)
一、理想活塞流反应器的停留时间分布	(191)

二、理想混合反应器的停留时间分布	(192)
三、RTD曲线形状分析	(193)
第四节 非理想流动反应器的设计	(194)
一、扩散模型	(195)
二、多釜串联模型	(198)
三、非理想流动反应器的计算	(199)
复习题、习题	(202)
本章补充符号说明	(203)
本篇参考书目	(204)

第三篇 典型工艺

第九章 硫酸生产	(205)
第一节 概述	(205)
第二节 二氧化硫炉气的制造	(206)
一、制造二氧化硫炉气的原料	(206)
二、硫铁矿的破碎与配料	(206)
三、硫铁矿沸腾焙烧的物理化学基础	(207)
四、硫铁矿焙烧设备—沸腾炉	(208)
五、沸腾焙烧原理	(209)
六、沸腾炉焙烧操作的稳定条件	(212)
第三节 炉气的净化	(213)
一、炉气净化的目的	(213)
二、炉气净化方法及其原理	(213)
三、炉气净化流程	(215)
第四节 SO_2 的催化氧化	(216)
一、 SO_2 氧化热力学	(216)
二、催化剂及动力学方程	(218)
三、 SO_2 氧化的最佳工艺条件	(219)
四、 SO_2 氧化反应设备	(223)
五、 SO_2 催化氧化工艺流程	(225)
第五节 SO_3 的吸收	(226)
一、吸收酸的浓度	(227)
二、吸收酸的温度和进气温度	(228)
三、喷淋密度	(228)
第六节 硫酸生产总流程和“三废”治理	(228)
一、硫酸生产总流程	(228)
二、“三废”治理	(229)

复习题	(231)	二、影响催化裂化的因素	(266)
本章参考书目	(231)	三、催化裂化的工艺流程	(267)
第十章 氨的合成	(232)	第四节 催化重整	(267)
第一节 概述	(232)	一、催化重整的基本反应类型	(268)
一、氨在国民经济中的重要性	(232)	二、重整流程	(269)
二、合成氨生产技术的进展	(232)	第五节 芳烃抽提和气态烃分离	(270)
三、合成氨的生产方法	(233)	一、芳烃抽提(萃取)	(270)
第二节 原料气的制备	(234)	二、气态烃分离	(273)
一、固定层煤气发生炉及生产 流程	(234)	第六节 石油产品的精制	(274)
二、固体燃料气化过程的热力学	(237)	一、化学精制法	(274)
三、固体燃料气化过程的反应动 力学	(239)	二、物理化学精制法	(275)
第三节 原料气的净化	(241)	复习题	(276)
一、脱硫	(241)	本章参考书目	(276)
二、变换	(242)	第十二章 氯碱工业	(277)
三、脱二氧化碳	(242)	第一节 概述	(277)
四、精制	(243)	一、氯碱工业的现状	(277)
第四节 氨的合成	(245)	二、电解食盐水溶液的方法	(278)
一、氨合成反应热力学	(245)	三、水银电解法	(278)
二、氨合成反应动力学	(247)	第二节 盐水制备	(279)
三、氨合成反应器—合成塔	(251)	第三节 食盐水溶液的电解	(280)
第五节 氨合成的工艺过程	(254)	一、理论基础	(280)
一、氨合成的工艺条件	(254)	二、隔膜电解槽	(283)
二、工艺流程	(255)	第四节 槽电压及电流效率	(284)
复习题	(256)	一、槽电压	(284)
本章参考书目	(257)	二、法拉第定律的应用	(284)
第十一章 石油炼制	(258)	三、电流效率	(285)
第一节 概述	(258)	第五节 氯气处理及盐酸生产	(285)
一、石油的重要性	(258)	一、氯气处理过程	(285)
二、我国石油工业发展概况	(258)	二、盐酸生产	(286)
三、石油的组成和分类	(258)	第六节 电解液的浓缩	(288)
四、石油精制工艺方案	(259)	一、基本原理	(289)
第二节 石油的蒸馏	(260)	二、蒸发过程	(289)
一、多组分混合液的蒸馏	(260)	第七节 氯碱工业的发展趋势	(291)
二、原油蒸馏过程及设备	(261)	复习题	(292)
三、原油蒸馏的特点	(263)	本章参考书目	(292)
第三节 催化裂化	(264)	附录(一) 国际(SI)单位及单位 换算	(293)
一、催化裂化原理	(265)	附录(二) 水及饱和蒸汽的物理性 质	(297)

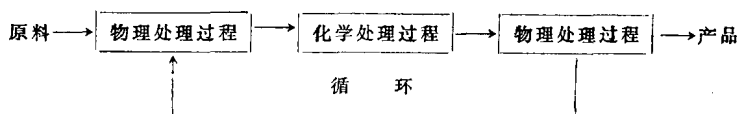
第一章 绪 论

第一节 概 述

一、化学工程的性质和内容

化学工程是工程技术的一个分支，是一门探讨化工生产过程的基本规律，并应用这些规律来解决化工生产问题的学科。它是人们在长期生产斗争和科学实践中的总结，是发展化学工业，提高化工技术所必需的基础理论。

化学工程是随着化学工业的发展而逐渐形成和发展的。在早期的化学工业，各种化工产品的生产技术，被看作是孤立的。那时，从一种产品到另一种产品，只能逐个地摸索其生产过程的规律。至本世纪20年代初期，人们认识到，化工产品虽有成千上万种，生产工艺流程虽然各式各样，但它们之间也有共同之处。以硫酸和合成氨的生产为例，硫酸生产在我国大多数是以固体硫铁矿为原料，矿石经破碎、筛分和焙烧制成 SO_2 炉气，再经除尘、精制、转化及吸收等过程，最后制成硫酸。合成氨生产以煤(也有以石油或天然气)为原料，经过造气、精制、合成、分离等过程而得到液态的氨或固态产品尿素或碳酸氢铵等。它们的生产工艺流程虽有差别，但也有共同的地方，即原料在化学反应前都需要经过物理加工使它适合于化学反应的要求，然后进行反应，得到的产品也要通过物理加工，提纯为纯净的产品。任何化工生产过程可以概括为如下的典型过程。即：



而每一种化工产品的生产过程都是运用若干单元操作技术来处理某些化学反应的原料、产品的过程的总和。于是提出了化工“单元操作”的概念。“单元操作”是指在各种化工产品的生产过程中，具有共同的物理变化、遵循共同的物理学定律和具有共同作用的基本操作。例如流体输送，在硫酸、合成氨和石油炼制及其它化学工业中都需要，而且在输送各种流体的操作中，都遵循流体力学的规律。都采用泵或风机进行工作，目的都是把流体从一个地方送到另一个地方；又如烧碱(NaOH)和蔗糖稀溶液的浓缩，都具有需要将溶液煮沸而蒸发去水分的共同特点，而且都遵循传热过程的规律。因此，流体输送和蒸发都属于化工生产的单元操作。

在许多单元操作的发展过程中，人们逐渐认识到它们物理过程的共同原则，可以进一步归纳为动量传递、热量传递和质量传递三种“传递过程”。总称为传递工程。

自本世纪五十年代以来，得知工业规模的化学反应，都存在着宏观的特征。不但不可避免地伴随着上述三种传递过程，而且还必须将化学反应与传递过程同时考虑和分析。于是把化学动力学与传递工程结合起来，从宏观动力学来研究与化学反应有关的问题。简言之，即研究工业规模化学反应的反应器，便形成了化学反应工程。它成为化学工程中的一个分支。但仍处于继续发展和完善的阶段。因此，目前的化学工程，包括传递工程、化学反应工程等。

作为化学工程基础, 本书介绍以下内容: 流体静力学基本原理及其应用; 流体流动时所遵循的法则及其应用; 传热学基本原理及物质间热量的传递规律; 分离过程则讲述物质通过相界面的扩散分离, 以吸收和蒸馏为实例。对于化学反应工程, 则只讨论某些基本概念和反应器基本原理。此外, 在学习化学工程的基础上, 还列举了四个典型化学工艺, 它的重点是根据物理化学原理, 结合技术经济原则, 应用工程规律和方法, 以探讨化工生产的工艺技术路线, 确定最优的工艺条件, 制定合理的工艺生产流程等。因此, 本书主要内容, 可以概括为“三传一反”及典型化学工艺。

二、化学工程基础的教学目的和任务

高等师范学院的任务是培养中学师资, 要求培养对象毕业后具有较丰富的知识。为此, 在高等师范学院化学系开设的《化学工程基础》课程, 除讲授化学工程的基本理论和基础知识外, 还结合化学工程基本理论讲授硫酸、合成氨、石油炼制和氯碱四个典型工艺。通过本课程的学习, 使学生理解化学工程规律在化工生产中的应用, 获得化工计算及设计的基础训练, 理解如何运用化工基础理论和技术知识来分析、评价生产工艺流程、工艺条件 and 生产设备, 从而使获得对化工生产及化学科研工作分析问题和处理问题的方法, 也为学生今后从事教学工作处理有关化工教学及改进化学实验技术等打下基础。

化学工程基础与化学系的其它基础课程相比, 有它不同之处, 它是与化工生产实际紧密地联系在一起的, 综合性很强。因而也就复杂得多。所以必须注意这一特点。

第二节 四个基本概念

在分析单元操作或工艺过程中, 我们经常用到物料衡算、热量衡算、平衡关系和过程速率这四个基本概念, 它们是分析任何一个化工过程的出发点。例如流动流体的柏努利方程及基本反应器的基本设计方程的推导, 就是从物料衡算和热量衡算开始的。因此, 在这节里先把这四个基本概念作扼要的叙述, 为以后各章学习作好准备。

一、物料衡算

物料衡算的依据是质量守恒定律, 它说明在一个化工过程中, 进入的物料量必等于排出的物料量和过程中的积累量(或减少量)。用数学式子表示则为:

$$\text{进入的物料量}(\Sigma G_{\text{入}}) = \text{输出的物料量}(\Sigma G_{\text{出}}) + \text{系统内的积累量或减少量}(G)$$

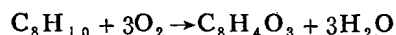
进行物料衡算时, 必须注意以下几点。首先是要规定出衡算的系统, 即计算对象所包括的范围。在工艺计算中, 通常是以一个生产过程作为衡算系统, 而在设备计算中, 则以一个设备或一组设备作为一个系统, 也有以设备的一部分作为一个系统的。规定出的系统应绘出流程方框图(或简图), 并用箭头标出各股物料的进出方向、数量以及温度、压力和组成等条件。

其次, 要规定一个衡算的基准。对于一个反应系统究竟采用什么作衡算基准较为适宜, 这要看具体情况, 难于作硬性规定, 但一般来说是取过程中不起变化的一个量作为计算基准。在连续操作中, 则以单位时间作基准较为方便, 也可以应用已知组成的进料开始计算。如果进料组成只知它的主要成分, 而主产物的产量是确定的, 就用产物的单位质量作基准, 反算得到进料量。

最后, 计算时物料的量可以用重量或摩尔数表示, 但一般不宜用体积表示。只有理想气体及系统中温度、压强不变时才可以用体积表示。同时采用的单位应该统一, 计算的结果最好整理成表格, 使人易于看出明确的结论。

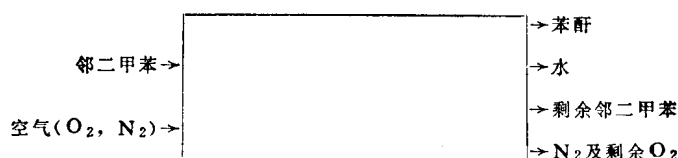
下面通过实例来熟悉这种物料衡算。

【例1—1】 以空气使邻二甲苯氧化制苯酐, 反应式是



设邻二甲苯的转化率为60%, 氧用量为理论量的150%, 如每小时投料量为100千克, 能得到多少千克苯酐?

【解】 先绘出邻二甲苯氧化的物料衡算简图(如例1—图1)



例1—1图 邻二甲苯氧化衡算图

因为邻二甲苯每小时的投料量和转化率为已知, 所以取100千克邻二甲苯作为衡算基准, 按反应式进行计算得:

$$\text{进料 邻二甲苯} = \frac{100}{106} = 0.944 \text{ kmol}$$

$$\text{氧} = 0.944 \times 60\% \times 3 \times 150\% = 2.55 \text{ kmol}$$

$$\text{出料 苯酐}(\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_3) = 0.944 \times 60\% \times 148 = 83.83 \text{ kg}$$

$$\text{水} = 0.944 \times 60\% \times 3 \times 18 = 30.6 \text{ kg}$$

$$\text{剩余邻二甲苯} = 100 \times 40\% = 40 \text{ kg}$$

$$\text{氧} = (2.55 - 0.944 \times 60\% \times 3) \times 32 = 27.22 \text{ kg}$$

$$\text{氮} = 2.55 \times \frac{0.79}{0.21} \times 28 = 268.6 \text{ kg}$$

计算结果如表1—1。

表1—1

邻二甲苯氧化制苯酐衡算结果

进 料			出 料		
项 目	千摩(kmol)	千克(kg)	项 目	千摩(kmol)	千克(kg)
邻二甲苯...	0.944	100	邻二甲苯...	0.377	40
氧.....	2.55	81.60	氧.....	0.851	27.22
氮.....	9.59	268.6	氮.....	9.59	268.6
—	—	—	苯酐.....	0.566	83.83
—	—	—	水.....	1.70	30.6
总 计...		450.2	总 计...		450.25

二、热量衡算

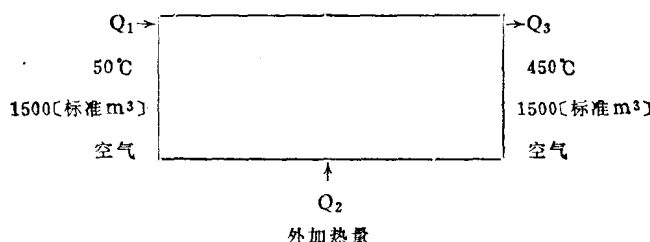
热量衡算的理论基础是能量守恒定律。根据此定律可以列出热量衡算的数学表达式, 输入系统的热量($\sum Q_{\lambda}$) = 输出系统的热量($\sum Q_{\mu}$) + 系统内积蓄或减少的热量(Q)。其中

$\Sigma Q_{\text{入}}$ 包括：从外界加入的热量、反应物带入的热量和放热反应所放出的热量； $\Sigma Q_{\text{出}}$ 包括：反应产物带走的热量(包括气化热等)、吸热反应吸收的热量、辐射的热损失等。

【例1—2】 在硫酸生产中，转化器升温时，需要预热干燥空气，试计算1500标准 m^3 空气在预热器中，由50℃预热到450℃所需的热量。

【解】 按题意绘出例1—2的空气预热衡算简图。以0℃作计算基准，设空气在50℃时的热量为 Q_1 ，经预热吸收热量 Q_2 ，后便升温至450℃，它的热量为 Q_3 。据热量衡算式得：

$$Q_3 = Q_1 + Q_2 \text{ 或 } Q_2 = Q_3 - Q_1$$



例1—2 空气预热衡算简图

由化工手册或其它有关手册查得：空气0~50℃的平均体积热容为 $1.29\text{kJ}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$ ，0~450℃的平均体积热容为 $1.34\text{kJ}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$ 。于是：

$$Q_1 = 1500 \times 1.29 \times 50 = 97 \times 10^3 \text{ kJ}$$

$$Q_3 = 1500 \times 1.34 \times 450 = 90.45 \times 10^4 \text{ kJ}$$

$$\therefore Q_2 = 90.45 \times 10^4 - 97 \times 10^3 = 80.75 \times 10^4 \text{ kJ}$$

计算结果如表1—2。

表1—2 空气预热热量衡算结果

输 入		输 出	
项 目	kJ	项 目	kJ
50℃空气带入的热…	97×10^3	450℃空气带走的热…	90.45×10^4
外部加入的热……	80.75×10^4	—	—
总 计	90.45×10^4	总 计	90.45×10^4

物料衡算和热量衡算是所有工艺计算的基础，是决定生产过程中所需要设备的数目及主要尺寸的依据。同时，通过物料衡算和热量衡算，既可以深入分析过程，又可以拟订出生产操作的最佳条件，确定设备的最适宜结构。后面将要学到的反应器设计就是以物料衡算和热量衡算作基础的。因此它们对于工艺过程设计和设备设计起着极其重大的作用。此外，物料衡算和热量衡算对生产还起着检查作用，它们能够揭露物料和能量的浪费和操作的反常现象，从而制定改善生产的方案。

三、平衡关系

自然现象总是向使它的体系所具有的力学或者化学的能量趋向最稳定状态的方向变化的，变化的极限就是过程的平衡状态。例如盐类的溶解度极限是当时条件下，盐类在溶液中的饱和溶解度；可逆反应的极限是当时条件下的平衡转化率等。除非影响物系变化或反应作用的情况有变化，否则平衡关系是不会改变的。

平衡关系是一种动态平衡。平衡条件可以用热力学法则来描述。有关气体和液体的平衡关系，将在吸收、蒸馏各章中分别讨论。

对于许多化工过程，平衡关系具有实际的意义。过程能否进行，以及能进行到什么程度，都可以由平衡关系推知。同时，它还能设备尺寸的设计，生产操作条件的选择和改进方法等提供依据。

四、过程速率

平衡关系只表明任何一个过程变化的极限，但不能决定过程变化的快慢。实际上，任何一个过程以什么速率趋向平衡的问题更为重要。

任何一个物系如果不是处在平衡状态，则必然会发生趋向平衡的过程，而过程变化的速率（如移动速率、反应速率等），总是和它所处状态与平衡状态的差距（推动力）成正比，而与阻力成反比。即：

$$\text{过程速率} = (\text{推动力}) / (\text{阻力})$$

推动力的性质决定于过程的内容。传热过程的推动力是温度差，流体流动的推动力是压力差，传质过程的推动力是浓度或分压差。与推动力相对应的阻力则与操作条件和物性有关。有关这种关系将在后面的流体动力过程、热量传递和质量传递各章中讨论。

化学工程除了引用物理、化学、物理化学和工程学中的重要原理和定律外，它本身也有一些重要的概念、理论及其基本计算，如准数、比摩尔含量、双膜理论、图解积分和传质单元等等，也将在以后各章中加以叙述。

第三节 物理量的单位及其换算

一、单位制度

表示一个物理量的大小，不能只列出数字，还要列出所计量的单位，否则便没有意义。在化工生产中遇到的物理量很多，人们从其中选定少数几个物理量作为量度的基准，称为基本量，其它根据物理公式由基本量导出的物理量则称为导出量。基本量的单位称为基本单位，导出量的单位称为导出单位。由于各国各民族不同文化的发展，各自形成了自己的单位制。例如，欧美国家使用的是米制或英制；我国在解放前市制与英制及米制并用，解放后，于1959年正式确定米制为我国的基本计量制度，逐步取消了过去采用的英制和旧有的杂乱计量制度，有力地促进了我国社会主义经济建设和科学技术的发展。常见的几种单位制度所用的力学基本量和基本单位如表1—3。

表1—3 常见单位制度的基本单位

基 本 量		长 度		质 量		时 间		力	
单 位 制 度		中文名称	代 号	中文名称	代 号	中文名称	代 号	中文名称	代 号
绝对单位制	C G S 制	厘米	cm	克	g	秒	s	—	—
	M K S 制	米	m	千克 (公斤)	kg	秒	s	—	—
	国际(SI)制	米	m	千克 (公斤)	kg	秒	s	—	—
工程单位制(重力单位制)		米	m	—	—	秒	s	公斤力	kg(f)

由表1—3可以看出，绝对单位制以长度、质量和时间为基本量，它们的单位为基本单位，力是导出量，它的单位是导出单位；工程单位制以长度、力和时间为基本单位，质量单位则属于导出单位。在绝对单位制中，CGS制的长度、质量的基本单位与MKS制和SI制的基本单位是不同的。

这些单位制度并行使用，在科学技术和国际交往中造成很大的不便，随着科学技术的发展，要求有统一的度量单位。于是在1960年第十一届国际计量会议上，以 MKS 制为基础，把现行各种单位和单位制加以选择调整，按一定原则统一到一个单位制中来，并作了一些规定和命名，制定了国际单位制（简称 SI 制）。1971年的国际计量会议补充了物质的量的单位——摩尔，而成为现行的国际单位制。这个单位制现已逐渐为各国所采用。1977年7月国务院颁发了《中华人民共和国计量管理条例（试行）》，明确规定“我国的基本计量制度是米制（即‘公制’），逐步采用国际单位制”。

二、国际单位制

国际单位制(SI制)采用七个基本单位，除在力学中采用m、kg、s这三个单位之外，在热学中采用热力学温度的单位开尔文(kelvin)，简称开，代号为K。在光学中采用发光强度的单位坎德拉(candela)，简称坎，代号为cd，在电学中采用电流的单位安培，简称安，代号为A；在化学和分子物理学中采用物质的量的单位摩尔(简称摩)，代号为mol。

SI制还规定两个辅助单位与基本单位并用。这两个辅助单位是：平面角，单位为弧度，代号为rad；立体角单位为球面度，代号为sr。此外时间还采用日(d)、小时(h)、分(min)；质量采用吨(t)；容积采用升(L)；角度采用度(°)、分(')、秒(")等。

在使用SI制的基本单位或导出单位时，有时它们的数量级显得太大或太小，不甚方便，为了克服这种困难，SI制确定了一套词冠(表1—4)，加在SI制单位之前，构成SI制的倍数或约数单位。

表1—4 国际单位的词冠

因 数	词 冠	符 号	因 数	词 冠	符 号
10^{18}	艾 可 萨 (exa)	E(艾)	10^{-1}	分 (deci)	d(分)
10^{15}	拍 它 (peta)	P(拍)	10^{-2}	厘 (centi)	c(厘)
10^{12}	太 拉 (tera) (兆兆)	T(太)	10^{-3}	毫 (milli)	m(毫)
10^9	吉 咖 (giga) (千兆)	G(吉)	10^{-5}	微 (micro)	μ (微)
10^6	兆 (mega)	M(兆)	10^{-9}	纳[诺](nano)(毫微)	n(纳)
10^3	千 (kilo)	k(千)	10^{-12}	皮[可](pico)(微微)	p(皮)
10^2	百 (hecto)	h(百)	10^{-15}	非[姆托](femto)(毫微微)	f(非)
10^1	十 (deca)	da(十)	10^{-18}	阿[托](atto)(微微微)	a(阿)

三、单位换算

单位换算在化工计算中十分重要，虽然我国已公布使用SI制单位，但由于历史上的原因，许多物理量数据的单位到目前仍然不是SI制的。因此，在计算之前，如遇到别的单位制的单位时，应把它们换算成SI制单位。实践证明：单位换算不仅初学者容易发生混乱，即使是有经验的人，如果在运算中不遵守一定规则，微不注意，也会造成错误。但是，只要在运算前知道各种物理量在不同单位中的换算因数(即原单位与新单位大小的比值)，先在一个式子中

换算成同一种单位制, 再进行计算, 就能避免差错。各单位的换算因数参见书后附录。化学工程中常用单位的换算因素, 在无表可查时, 只要查到有关单位的换算因素也可进行换算。

【例1—3】 $1\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 等于多少Pa? 1大气压等于多少Pa?

$$\text{【解】 } 1\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2} = \frac{9.81\text{N}}{\left(\frac{1}{100}\right)^2\text{m}^2} = 9.81 \times 10^4 \text{N}\cdot\text{m}^{-2} = 9.81 \times 10^4 \text{Pa}$$

$$1\text{atm} = 1.033\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2} = \frac{9.81 \times 1.033\text{N}}{\left(\frac{1}{100}\right)^2\text{m}^2} = 1.013 \times 10^5 \text{N}\cdot\text{m}^{-2}$$

$$= 1.013 \times 10^5 \text{Pa}$$

【例1—4】 $1\text{kcal}\cdot\text{h}^{-1}$ 等于多少w? 1kw 等于多少 $\text{kcal}\cdot\text{h}^{-1}$?

$$\text{【解】 } 1\text{kcal}\cdot\text{h}^{-1} = \frac{4.187 \times 10^3 \text{J}}{3600\text{s}} = 1.163 \text{J}\cdot\text{s}^{-1} = 1.163 \text{w}$$

$$1\text{kw} = 1\text{kJ}\cdot\text{s}^{-1} = \frac{1}{\frac{4.187}{3600}} = 860 \text{kcal}\cdot\text{h}^{-1}$$

【例1—5】 将 $2500\text{kg(f)}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 换算为功率kw。

$$\text{【解】 } \because 1\text{kg(f)}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1} = 9.81 \text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1} = 9.81 \text{w}$$

$$1\text{w} = \frac{1}{9.81} \text{kg(f)}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$1\text{kw} = \frac{1000}{9.81} \text{kg(f)}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1} = 102 \text{kg(f)}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$\therefore \frac{2500}{102} = 24.5 \text{kw}$$

【例1—6】 5尔格(CGS制)是多少焦耳(SI制)?

$$\text{【解】 } 1\text{尔格} = 1\text{g}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-2}$$

$$1\text{焦耳} = 1\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2} = 1000\text{g}\cdot 100^2\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-2}$$

$$\therefore \frac{1\text{尔格}}{1\text{焦耳}} = \frac{1\text{g}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-2}}{1000\text{g}\cdot 100^2\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-2}} = 10^{-7}$$

$$\therefore 5\text{尔格} = 5 \times 10^{-7} \text{焦耳}$$

复 习 题

- 1、试结合生产例子说明《化学工程》研究的内容、任务和目的。
- 2、在师范学院学习《化工基础》的目的何在?
- 3、试举例说明物料衡算、热量衡算、平衡关系和过程速率对化工生产的指导意义。

习 题

1. 将 6000kg , 浓度为 95.5% 的硝酸铵熔融后结晶, 得到的产品含 99.8% 硝酸铵与 0.2% 水分。试对结晶过程进行物料衡算。
2. 试把压强中 $\text{kg(f)}\cdot\text{cm}^{-2}$ 〔公斤(力)·厘米 $^{-2}$ 〕单位换算成下列单位的换算因素: (1) N·

m^{-2} ; (2) $\text{kg(f)} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

3.7公斤(力)·米⁻²等于多少牛顿·米⁻²? 多少帕斯卡?

4.5公斤(力)·米·秒⁻¹等于多少牛顿·米·秒⁻¹? 多少焦耳? 多少千瓦?

5. 要使一辆电动机车运行, 需用5000N的力。(1) 问此力是多少千克力? (2) 如果这辆车行驶500m, 问此电机所作的功是多少焦耳?

6. 某蒸馏设备的电表上指针指示电力消耗为2000w。问在2小时内发出的理论热量是多少千卡? 相当于多少焦耳?

本章符号说明

at	工程大气压	kg(f)	千克(力)
atm	物理大气压	kcal	千卡
℃	摄氏度	kJ	千焦耳
cm	厘米	m	米
g	克	N	牛顿
G	物料量	Pa	帕斯卡
h	小时	Q	热量
K	开尔文	S	秒
kg	千克(公斤)	W	瓦特

第一篇 传递工程

传递工程包括：动量传递、热量传递及质量传递三种过程。动量传递主要讲述流体的输送与增压、气相和液相非均一系的分离、液体的搅拌等；热量传递则叙述传热、蒸发、冷冻等内容；质量传递则包含：干燥、吸收、蒸馏、萃取和结晶等内容。由于教学时间限制，本教程只能选讲其中较为重要又比较典型的过程。

本篇共分四章。第二章流体动力过程主要叙述流体力学的基本规律—静力学方程、连续性方程及能量衡算方程及其应用，如流量测定、管路阻力计算以及离心泵和压缩机的构造与工作原理等。第三章传热过程从传热机理出发，分析传热速率及其影响因素，找出控制传热快慢的规律和强化途径。主要内容有：付立叶定律和牛顿冷却定律、传热基本方程和计算以及各种换热设备。第四章气体的吸收叙述吸收质在气液相间的传递，主要内容有：气液平衡关系、吸收机理（双膜理论）和吸收速率方程、以及填料塔的基本结构和计算。第五章蒸馏叙述液体混合物中各组分在气液相间的传递。主要内容是：二组分体系连续精馏的原理、精馏塔理论板数的计算、板效率和实际塔板数等。

第二章 流体动力过程

化工生产过程的各种化学反应，大多数是在液相或气相中进行的，生产过程中所处理的物料，不论是原料、中间产物或者是产品，大部分是流体。它既包括液体，也包括气体。流体在反应时，需要在一定的设备内进行，反应完成后，又必须从设备中流出，所以流体在化工厂中总是由一个设备流到另一个设备，从一个地方送到另一个地方，而且过程进行的好坏与流体在设备内的流动状况也密切相关。流体的输送是依靠压缩机、泵、重力对流体做功才能完成。因此流体输送管路和输送机械在化工生产中起着很重要的作用。

生产上对流体的流动和输送需要解决的问题主要是：

- ①合理选择流体输送管道的管径。
- ②流体流速、流量和压强的控制和测量。
- ③计算流体输送所需要的能量，选择合适的流体输送机械以及确定它所需的功率。
- ④保持流体最佳的流动条件，作为达到预定的工艺要求和强化设备效能的依据。

所有上述问题，都是以流体力学的理论作指导的。流体流动过程不仅与流体的输送有关，而且还直接影响到传热和传质过程的效率。因此，学习流体动力过程亦是学习传热和传质过程打下基础。

学习本章时，要求掌握流体动力过程的基本规律，并在此基础上，理解它在流体输送、阻力计算、流速和流量的测量等方面的应用。