

|上册|

普通高等教育应用型本科院校教学改革研究成果

— 化工原理 —

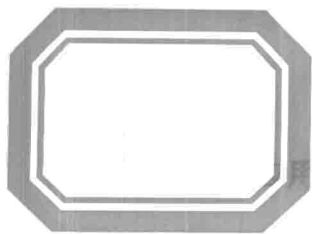
■ 主 编 李春利 王洪海
方 静 王志英



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社





型本科院校教学改革研究成果

化 工 原 理

(上册)

主 编 李春利 王洪海 方 静 王志英



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

化工原理(上册)/李春利,王洪海,方静,王志英主
编. —杭州:浙江大学出版社,2013.8

ISBN 978-7-308-11905-4

I. ①化… II. ①李… ②王… ③方… ④王…
III. ①化工原理—高等学校—教材 IV. ①TQ02

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第170917号

化工原理(上册)

主编 李春利 王洪海 方 静 王志英

责任编辑 邹小宁

文字编辑 叶梦箫

封面设计 朱 琳

出 版 浙江大学出版社

(杭州市天目山路148号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州教联文化发展有限公司

印 刷 杭州余杭人民印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 19.5

字 数 475千

版 印 次 2013年8月第1版 2013年8月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-11905-4

定 价 38.80元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

前 言

国内外化工界一直关注化学工业及化学工程学科的发展前景。化学工业的现代化和大型化促进了“单元操作”与“传递过程和反应工程”的进步。20世纪以来,化学工程学科经历了以单元操作与单元过程为核心,到以“三传一反”为基础、高新科技与相关基础学科相融合的宏观范围、介观、微观和大宏观的多层次、多尺度共同发展。化学工程成为了以各类物质转化过程为研究对象的工程科学。“反应”和“分离”已经并将继续在国民经济建设中发挥巨大作用。在化工过程的技术开发过程中,人们离不开基本原理的指导,并将在深入基础研究和应用的推动中不断强化和创新。

化工原理,又名单元操作。作为一门技术基础课,授课范围涉及所有化工类专业。同时,《化工原理》教材又是工程技术人员常用的一本参考书。本书以培养学生素质、知识与能力为目标,在体系和内容上体现创新精神、注重拓宽基础与能力培养,适当调整各单元操作的内容,力求从认知规律出发,阐述本门课程的特点、基本理论与生产实践和生活实践环节的结合,体现厚基础、重实践和实用性。

本书较详细地分析了典型单元操作的数学模型法、参数归并法和过程分解等,将化工单元操作按过程共性归类,以动量传递为基础,阐述了流体流动、流体输送机械、非均相混合物的分离;以热量传递为基础,阐述了传热及蒸发操作;以质量传递为基础,阐述了吸收、精馏、萃取、干燥等单元操作。

本书分上下两册,上册包含前五章。全书各章分别由李春利(绪论)、王洪海(第1章)、王志英(第2章、第6章)、方静(第3章、第10章)、杨振生(第4章、第7章)、张文林(第5章)、刘继东(第8章)和吕建华(第9章、附录)编写,最后由李春利修改,统一定稿。

十分感谢河北工业大学化工原理教研室的同事们在本书编写和修订工作中给予的帮助和支持。

编 者

2013年6月

目 录

第0章 绪 论	1
0.1 化工原理课程的内容和特点	1
0.2 物料衡算和能量衡算	5
0.3 单位制与单位换算	10
第1章 流体流动	12
1.1 流体的基本性质	12
1.2 流体静力学	18
1.3 流体流动的基本规律	26
1.4 流体流动现象	38
1.5 管内流动的阻力损失	46
1.6 管路计算	59
1.7 流速与流量的测量	65
参考文献	78
第2章 流体输送机械	79
2.1 离心泵	80
2.2 往复泵	106
2.3 其他化工用泵	110
2.4 气体输送机械	114
参考文献	128
第3章 非均相混合物的分离	129
3.1 固体颗粒的几何特性与筛分分析	130
3.2 流体通过颗粒层的流动	134
3.3 过滤原理及设备	139
3.4 过滤过程计算	146
3.5 颗粒沉降	156
参考文献	168



第4章 传 热	170
4.1 概 述	170
4.2 热传导	176
4.3 对流传热概述	186
4.4 流体无相变时对流传热系数的经验关联	191
4.5 蒸气冷凝与液体沸腾	200
4.6 辐射传热	208
4.7 传热过程的计算	216
4.8 换热器	230
4.9 传热过程强化的讨论	246
参考文献	255
第5章 蒸 发	256
5.1 概 述	256
5.2 单效蒸发	263
5.3 多效蒸发	273
5.4 蒸发设备	289
5.5 蒸发器的生产强度与选型	297
参考文献	305

第0章 绪 论

0.1 化工原理课程的内容和特点

化工原理课程是化工类各专业(包括化工、生物、制药、轻工食品、环境、石油、材料等)重要的技术基础课。它是综合运用数学、物理、化学等基础知识,分析和解决化学加工类生产中各种物理过程问题的工程学科,它承担着工程科学与工程技术的双重教育任务。



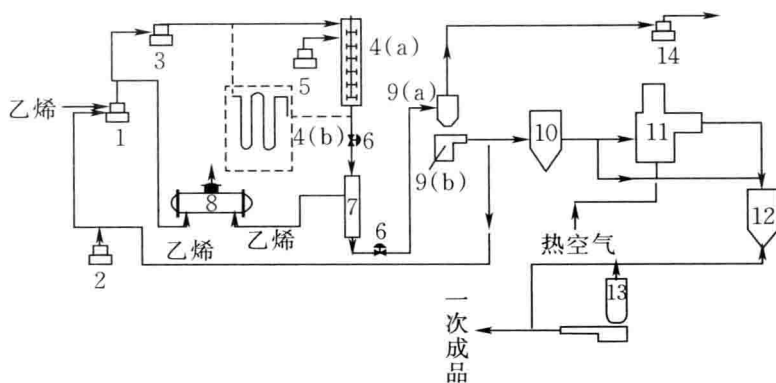
图0-1 某炼油厂区照片

0.1.1 化工原理课程内容

对原料进行化学加工获得有用产品的过程称为化工生产过程。例如,用乙烯生产高压聚乙烯需经过气体压缩、热量交换、化学反应、分离、造粒等一系列过程(见图0-2);抗生素(又称抗菌素)的整个生产工艺过程可分为上游工艺(包括菌种保存、选育、纯化、孢子制备、种子培育和发酵)、下游工艺(包括发酵液的过滤、预处理、抗生素的提取和纯化)和成品(主要指制剂和包装)等阶段。产品、原料的多样性及生产过程的复杂性,形成了数以万计的生产工艺过程。纵观纷杂众多的化工生产过程,都是由化学反应和物理过程有机组合而成。其中,化学反应及其设备是化工生产的核心,该部分内容由“反应工程”课程来研究。物理操作过程则起到为化学反应准备必要条件以及将反应物分离提纯而获得有用产品的作用。这些物理步骤在整个化工生产中发挥着极其



重要的作用,在很大程度上决定了生产过程的经济性和生产技术的先进性。这些物理过程统称为化工单元操作,简称单元操作。“化工原理”是研究单元操作共性的课程。



1—一次压缩机;2—相对分子质量调节泵;3—二次高压压缩机;4(a)—釜式聚合反应器;4(b)—管式反应器;5—催化剂泵;6—减压阀;7—高压分离器;8—废热锅炉;9(a,b)—低压分离器;10—挤出切粒机;11—干燥器;12—密炼机;13—混合器;14—混合物造粒机;14—压缩机

图0-2 乙烯高压聚合生产流程

需要强调指出,随着生产发展和技术进步,许多单元操作中用到化学反应,如化学吸收、反应精馏、反应萃取等,从而使得过程速率提高,设备台数减少,缩短了生产工艺流程。

《化工原理》沿用了1923年世界上第一部系统阐述单元操作物理化学原理及定量计算方法的著作 *Principles of Chemical Engineering* 的名称。从以产品来划分的化工生产工艺中抽象出单元操作,是认识上的一个飞跃,从而奠定了化学工程作为一门独立工程学科的基础。化学工程是研究化学工业和其他过程工业生产中所进行的化学过程和物理过程共同规律的一门工程学科。20世纪初,对于化学工程的认识仅限于单元操作。

我国于20世纪20年代开办了化学工程系,也开发出了化工原理课程。新中国成立以后,我国先后出版了以单元操作为主线的《化工原理》、《化工过程及设备》、《化工操作过程原理与设备》等教科书,至今仍沿用“化工原理”这个名称。

20世纪60年代“三传一反”概念的提出,开辟了化学工程发展过程的第二历程。计算机应用技术的快速发展,使化学工程成为更完整的体系,并将之推向了“过程优化集成”、“分子模拟”的新阶段。随着科学技术的高速发展,化学工程与相邻学科相融合,逐渐形成了若干新的分支与生长点,例如生物化学工程、环境化学工程、能源化学工程、计算化学工程、软件化学工程、微电子化学工程等。上述新兴产业与学科的发展,推动了特殊领域化学工程的进步,同时,也拓宽了化工原理课程的研究内容。

0.1.2 单元操作的分类和特点

1. 单元操作的分类

各种单元操作根据不同的物理化学原理,采用相应的设备,达到各自的工艺目的。

对于单元操作,可从不同角度加以分类。根据各个单元操作所遵循的规律和工程目的,将其分为表0-1所列的主要类型。除表中所列之外,还有热力过程(制冷)、粉体或机械过程(粉碎、分级)等单元操作。

新产品、新工艺的开发或绿色生产工艺的实现,对物理过程提出了一些特殊要求,又不断地发展出新的单元操作或化工技术,如参数泵分离、电磁分离、超临界技术和纳米技术等。同时,以节约能耗,提高效率或洁净无污染生产为特点的集成化工艺(如反应精馏、反应膜分离、萃取精馏、多塔精馏系统的优化热集成等)将是未来的发展趋势。

表0-1 化工中常用单元操作

传递过程	类别	单元操作	目的	原理
动量传递	流体动力过程	流体输送	液体、气体的输送	输入机械能
		沉降	非均匀相混合物分离	密度差引起的相对运动
		过滤	非均匀相混合物分离	介质对不同尺度颗粒的残留
		搅拌	混合或分散	输入机械能
热量传递	传热过程	换热 蒸发	加热、冷却或变相态 溶剂与难挥发溶质分离	利用温度差交换热量 供热汽化溶剂
质量传递	传质过程	蒸(精)馏	均相混合物分离	各组分挥发度差异
		气体吸收	气体均相混合物分离	各组分在溶剂中溶解度不同
		萃取	液态均相混合物分离	各组分在萃取剂中溶解度不同
		浸取	用溶剂从固态中提取物料	固体中组分在溶剂中溶解度不同
		吸附	流体均相混合物分离	固体吸附剂对组分吸附力不同
		离子交换膜分离	从液体中提取某些离子 流体均相混合物分离	离子交换剂的交换离子 固体或液体膜的截留
热质同时传递	热质传递过程	干燥	固体物料去湿	供热汽化湿分
		增、减湿	调节控制气体中水气含量	气体与不同温度水接触
		结晶	从溶液中析出溶质晶体	利用物质溶解度的差异

2. 单元操作的特点

单元操作时组成各种化工生产过程,完成一定加工目的的过程。同一单元操作在不同的生产过程中遵循相同的过程规律,但在操作条件及设备类型(或结构)方面会有很大差异。另一方面,对于同样的过程目的,可采用不同的单元操作来实现。例如,一种均相液态混合物中组分的分离,既可用精馏方法,也可用萃取方法,还可用结晶或膜分离方法。究竟采用什么方法,要根据物性特性、工艺要求和综合技术经济分析做出选择。

随着对单元操作研究的不断深入,人们逐渐发现若干个单元操作之间存在着共性。从本质上讲,所有单元操作都可归纳为动量传递、热量传递、质量传递这三种传递过程和它们的结合。三种传递过程中存在着类似的规律和内在的联系。“三传理论”的



建立,是单元操作在理论上的进一步发展和深化。传递过程是单元操作的深入,从理论上揭示单元操作的原理,并为所研究的过程提供数学模型。传递过程是联系各单元操作的一条主线。

单元操作的研究内容包括“过程”和“设备”两个方面,故单元操作又称为“化工过程和设备”。“化工原理”是研究各单元操作的基本原理,所运用的典型设备结构和工艺尺寸设计,设备强化和选型的共性问题。

0.1.3 化工原理课程的研究方法

本课程是一门实践性很强的工程学科,在长期的发展过程中,形成了两种基本的研究方法。

1. 实验研究方法(经验法)

该方法一般用量纲分析和相似论为指导,依靠实验来确定过程变量之间的关系,通过量纲为一数群(或称准数)构成的关系式来表达。它是一种工程上通用的基本方法。

2. 数学模型法(半经验半理论方法)

该方法是对实际过程的机理进行深入分析的基础上,在抓住过程本质的前提下,作出某种合理简化,建立物理模型,进行数学描述,得出数学模型,并通过实验确定模型参数。

如果一个物理过程的影响因素较少,各参数之间的关系比较简单,能够建立数学方程并能直接求解,则称为解析法。

需要强调指出,在计算机数学模拟技术迅速发展的今天,实验研究方法仍不失其重要性,因为即使采用数学模型方法,模型参数的确定还需要通过实验来完成。

研究工程问题的方法是联系各单元操作的另一条主线。

0.1.4 化工过程计算的理论基础

化工过程计算可分为设计型计算和操作型计算两类。不同计算的处理方法各有特点,但是不管何种计算都是以质量守恒、能量守恒、平衡关系和速率关系为基础。上述四种基本关系将在有关章节陆续介绍。

0.1.5 本课程的学习要求

本课程在化工类及相关专业(包括化工、石油、生物、制药、轻工食品、环境等)专门创新人才培养中具有举足轻重的地位。在教学的全过程中,本课程强调对学生工程观点、定量运算、实验技能及设计能力的培养,强调理论联系实际,增强创新意识。

具体地说,学生在学习本课程时,应注意以下几个方面能力的培养。

1. 单元操作和设备选择的能力

根据生产工艺要求和物料特性,合理地选择单元操作及相应的设备。

2. 工程设计的能力

学习工艺过程计算和设备设计。当缺乏现成数据时,能够从网络或资料中查取,实验测取或到生产现场查定。

3. 操作和调节生产过程的能力

学习如何操作和调节生产过程,使之达到整体优化。

4. 过程开发或科学研究的能力

学习如何运用物理或物理化学原理去选择或开发单元操作,进而组织一个生产工艺过程。

5. 实验能力

学习实验设计、单元操作实验、数据处理、误差分析方法,提高动手能力和实验技能。将可能变现实,实现工程目的,这是综合创造能力的体现。

0.2 物料衡算和能量衡算

0.2.1 概述

物料衡算和能量衡算是化工工艺设计和化工生产管理的重要基础,所依据的基本原理分别是质量守恒定律和能量守恒定律。物料衡算和能量衡算的主要目的和重要性主要表现在以下几个方面。

1. 为化工工艺设计及经济评价提供基础依据

通过对全过程或单元过程的物料和能量衡算,可以确定工厂生产装置设备的设计规模和能力;同时,可以计算出主、副产品的产量,原料的消耗定额,生产过程的物料损耗以及三废的排放量,蒸汽、水、电、燃料等公用工程消耗。

2. 为设备选型和基础设施建设提供依据

通过物料衡算和能量衡算可以确定各物料的流量、组成、状态和物化性质,从而为确定设备尺寸、管道设计、仪表设计、公用工程设计以及建筑、结构设计等提供依据。

3. 为生产改进、生产成本降低和节能减排提供依据

物料和能量衡算是化工技术人员必须熟练掌握的基本技能,也是学习和对化工过程进行深入研究时,推导数学模型基本方程的重要基础。

由于化工过程的多样性和复杂性,为便于理解和使问题清晰化,可依据不同化工过程的特点,将其分类处理,目前常见的化工过程分类方法主要有以下两种。

1. 根据化工过程的操作方式分类

可将化工过程分为间歇操作、连续操作和半连续操作三类。

(1) 间歇操作过程

原料在生产操作开始时一次加入,然后进行反应或其他操作,一直到操作完成后,物料一次排出。在整个操作期间,没有物料进出设备。设备中各部分的组分、条件随时间不断变化。

(2) 连续操作过程

在整个操作期间,设备的进料和出料是连续流动的,原料不断稳定地输入生产设备,同时不断从设备排出总量相等的物料。在整个操作期间,设备内各部分组成与条件



不随时间变化。

(3) 半连续操作过程

操作时物料一次输入或分批输入,而出料是连续的;或连续输入物料,而出料是一次或分批的。

2. 根据时间序列分类

可将化工过程分为稳态操作和非稳态操作两类。

(1) 稳定状态操作

整个化工过程的操作条件(如温度、压力、物料及组成等)不随时间而变化,只是设备内不同点有差异,这种过程称为稳定状态操作过程或称稳定过程,亦称定态操作过程。

(2) 不稳定状态操作

如果化工过程中的操作条件(如温度、压力、物料量的组成等)随时间不同而不断发生变化的,则称为不稳定状态操作过程,或称不稳定过程,亦称非定态操作过程。

由此可见,化工过程操作状态不同,其物料或能量衡算的方程将有所差别,而且衡算过程可能涉及的仅仅是简单的物理变化过程,也可能涉及的是物理化学变化同时发生的复杂过程。因此,在进行化工过程物料或能量衡算时,必须了解生产过程的类别,对过程特性有一清晰的认识,才能使计算准确无误。

0.2.2 物料衡算

物料衡算的理论依据是质量守恒定律,即在一个独立的体系中,无论物质发生怎样的变化,其总质量保持不变。所划定的体系或单元称之为衡算体系,根据衡算体系的不同,可将物料衡算分为过程总衡算、设备衡算和结点衡算三类,其中,过程总衡算是对一个化工过程进行总衡算;设备衡算是一个化工设备进行衡算;结点衡算是对物流的汇合点或分支点进行衡算。而依据衡算目标的不同,又可将物料衡算进一步划分为总体质量衡算、组分质量衡算和元素质量衡算三种。这里需要特别强调的一点是,无论选定的衡算体系是否有化学反应的发生,总体质量衡算和元素质量均符合质量守恒定律,即过程发生前后的总质量和元素量不发生变化,但对于组分质量衡算,当选定的衡算组分参与化学反应时,其过程前后的质量是要发生变化的,这一点要特别注意。

1. 基本平衡关系

在选定的衡算体和一定的衡算基准下,存在下列基本衡算关系。

(1) 总体质量衡算

根据质量守恒定律,对于任意衡算体系,均存在如下关系式:

$$\sum \text{输入系统质量} = \sum \text{输出系统质量} + \sum \text{系统质量积累量} + \sum \text{系统质量损失量} \quad (0-1)$$

(2) 组分质量衡算

在化学反应或非定态(非稳态)操作情况下,衡算体内的每种组分的质量或摩尔量将发生变化。

对组分 i (质量或摩尔量)

$$\text{输入系统的量} \pm \text{化学反应量} = \text{输出系统的量} + \text{系统积累量} + \text{系统损失量} \quad (0-2)$$

这里,若对反应物进行组分衡算,则化学反应量应取“-”号,若进行的是生成物的质量衡算,则化学反应量应取“+”号。

(3) 元素质量衡算

在不发生裂变的情况下,衡算体内任一元素 j (质量或摩尔量)均满足下列关系式:

$$\text{输入系统的量} = \text{输出系统的量} + \text{系统积累量} + \text{系统损失量} \quad (0-3)$$

在上述衡算中,如果选定的衡算体系处于稳定操作状态,则“系统积累量”一项为零,否则不为零。

2. 物料平衡基本方法

1) 物料流程简图

求解物料衡算问题时,应首先根据给定的条件画出物料流程简图(即物料衡算简图或称之为衡算体)。图中用简单的方框表示过程中的设备,用线条和箭头表示每个流股的途径和流向,并标出每个流股的已知变量及单位。对一些未知的量,可用符号表示。

【例 0-1】 含 CH_4 90%和 C_2H_6 10%(mol%)的天然气与空气在混合器中混合得到的混合气含 CH_4 8%,试计算 100mol 天然气应加入的空气量及得到的混合量。所画的物料流程如图 0-3 所示。

画出物料流程图,并将各流股的已知变量及未知变量清晰地记在图上,对求出物料衡算式有帮助。

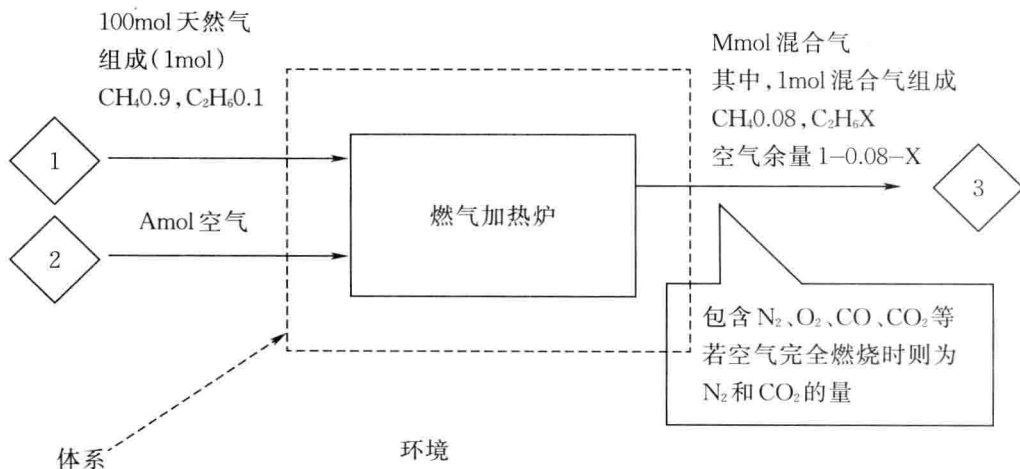


图 0-3 环境流程简图

2) 选择物料衡算基准的一般规则

在物料衡算时,必须按一定的物理量进行,这种所依据的物理量就叫做“计算基准”或简称“基准”,内容包括名称、数值多少和单位选用。尽管从原则上说任何一种计算基准都能得到正确的解答,但计算基准选择得恰当,可以使计算简化,避免错误。因此,基准的选取以计算方便为原则。



根据不同过程的特点,选择计算基准时,应注意以下几点:

(1)选择已知量尽可能多的流股作为计算基准。例如,某一个体系,已知反应物组成的主要成分,又知产物的组成,就可以选用产物的单位质量或单位体积基准,反之亦然。

(2)对于液体、固体物料,常选取单位质量或摩尔数作为计算基准。

(3)对于气体物料,如果环境条件(如温度、压力)已定,则可选取体积作基准。即对于气体物流,可选择单位体积或摩尔数作为计算基准。

(4)对于连续流动体系,选用单位时间的处理量作为计算基准更为方便。例如,以每小时或每天的投料量或产品量为基准等。对于间歇操作体系,常选择加入设备(衡算体)的批量作基准。

3)物料衡算步骤

进行物料衡算时,要根据过程的不同情况选择适宜的物料衡算式进行计算。一般包括以下几个步骤。

(1)收集已知数据,如进入或输出体系的物料的流量、温度、压力、浓度、密度等。分析问题涉及的已知条件,确定待计算量。

(2)画出物料流程简图,并在图中标出所有物料线,标上所有已知和未知量。若过程中有多股物流,则可将各股物流编号。

(3)确定衡算体系,根据已知条件及计算要求进行确定,可在流程图中用虚线表示体系边界。

(4)写出配平化学反应方程式,包括主副反应,标明分子量。若无化学反应发生,可免去此步。

(5)选择恰当的计算基准,在流程图上注明所选的基准值,过程的物料衡算和能量衡算应在同一基准上进行。

(6)详细列出物料衡算式,进行计算。对组成较复杂的物料,可先列出输入—输出物料表,便于整理已知条件和计算结果。

(7)完成输入—输出物料表

3. 无化学反应过程的物料平衡

对于不发生化学反应的单元稳定状态操作过程,比如混合、蒸馏、蒸发、干燥、吸收、结晶、萃取等,这类过程只存在物理变化,则其物料衡算式可由式(0-2)简化为式(0-4)。

$$\text{输入系统的量} = \text{输出系统的量} \quad (0-4)$$

0.2.3 能量平衡

1. 基本概念与基本平衡关系

能量衡算的基础是物料衡算,只有进行完备的物料衡算后,才能作出能量衡算。能量有多种存在形式,如势能、动能、电能、热能、机械能、化学能等各种形式的能量在一定的条件下可以相互转化。但无论怎样转化,总能量是守恒的。

(1)能量衡算计算依据及计算基准

能量衡算计算的依据是能量守恒定律。

能量衡算计算基准包括物料质量基准、温度及相态基准两个方面。

①物料数量上的基准。物料基准的选取原则与物料平衡计算相同。

②温度及相态基准。温度基准因能量衡算方法不同而不同。当采用平均热法计算时,大都取25℃作为能量衡算的基准温度。当采用统一基准焓法计算时因为焓的数据中已经规定了基准温度和状态,因而无需再重新选择。需要指出的是,焓数据有以单质在0K的焓作零为基准以及以单质在25℃的焓作零为基准。因此,能量衡算计算时,一定要注意基础热力学数据来源的基准温度问题。此时,由于以25℃的焓作零为基准采用的是摄氏温度表示,在使用上有时更为方便。

(2) 能量守恒定律

基本式

$$\text{输出能量} = \text{输入能量} + \text{生成能量} - \text{消耗能量} - \text{累积能量} \quad (0-5)$$

能量的形式主要有以下几种:

①动能 E_k ——物体由于运动而具有的能量。

②势能 E_p ——物体由于竖直位移差而具有的能量。

③内能 U ——物体除了宏观的动能和势能之外所具有的能量。

④功 W ——物体在外力的作用下通过一定距离,其所做的功为

$$W = \int_0^l F dl \quad (0-6)$$

式中, F 为外力, N; l = 距离, m。

外界对系统做功取正值,系统对外界做功取负值。

有时系统的压力和体积发生变化时也做功,即

$$W = \int_{v_1}^{v_2} p dV \quad (0-7)$$

式中, p 为压力, Pa; V 为单位体积, m^3 。

上述情况主要发生在气体压缩和膨胀时。

⑤热能——可以转化为热和功。热和功的转化,是系统的能量发生变化。通常,外界对系统加热为正,系统向外界放热为负。

⑥电能——电能是机械能的一种,在能量衡算方程式中一般包含在功的一项中。电能只有在电化学过程中能量衡算中才是重要的。

(3) 能量衡算方程

根据热力学第一定律,能量衡算方程式可写为

$$\Delta E = Q + W \quad (0-8)$$

式中, ΔE 为体系总能量的变化, $\Delta E_k + \Delta E_p + \Delta U$; Q 为体系从环境中吸收的能量; W 为外界对体系所做的功。

0.2.4 化工过程中物料与能量损耗

1. 物料损耗

化工生产中如何减少物料反应、转化及排放过程中产生的损耗,由于涉及较广,因此不是本章讨论的重点内容。



在生产工艺过程中存在物料的损耗,如工艺系统的排放,反应过程的弛放气,干燥过程,干燥介质带走的物料,精馏过程中随高、低沸物带走的物料。在生产过程中生产装置中设备、阀门和管件的法兰连接处,泵和压缩机密封,安全保护装置等都会引起物料的损耗。间歇和敞开的系统一般物料损耗较大。

在进行实际生产装置或体系的物料平衡计算时,应根据不同生产装置的情况,考虑一定量的生产损耗。在工艺设计时,应选用先进工艺技术,尽管减少物料损耗;在设备和管件选型时,应选用物料泄漏损失少的设备和管件。减少物料损失不仅可以提高经济效益,对大多数化工介质而言,减少物料损耗,同时有利于环境保护、安全卫生,应予以足够的重视。

2. 能量损耗

在环境系统中存在各种能量形式,能量损耗也有各种形式,如流动系统中流体的摩擦阻力将为系统的机械能损耗。一般在进行体系的物料和能量平衡时,主要讨论系统的热量损耗。

化工生产装置中物料、设备和管道的温度与环境温度存在温差,会引起热量损失,即使使用绝热材料,热量损失也是不可避免的。在进行生产装置或体系的能量平衡时,应考虑一定的热量损失。必要时,可以通过传热计算来确定热量损失。在设计传热设备时,更应考虑热量损失的问题。

能量的有效利用是化工技术人员十分关注的问题,亦是过程设计中能否体现技术先进的重要指标,应该在总体上和系统设计中给予重视和解决,如尽量利用工艺过程中产生的热量,降低物料排出系统的温度,减少能量的损耗量等。

0.3 单位制与单位换算

在科学技术与生产发展的过程中,由于历史和地区等原因形成了不同的单位制,主要有两类:绝对单位制和重力单位制(工程单位制),这两类单位制又有英制与公制之分。

各国使用的单位制不同,给国际间的科学技术交流与贸易往来带来不便。于是,1960年10月第十一届国际计量大会制订了一种新的单位制,称为国际单位制,符号SI。

目前国际单位制已为世界各国广泛采用,以国际单位制为基础,国务院制订了中华人民共和国法定计量单位现已正式实施,所以本课程采用法定计量单位。

虽然目前全世界已普遍采用国际单位制,但是,由于长期使用习惯和生产设备与科学仪器的延续使用,特别是以前出版的科技书籍、期刊与手册中均使用老的单位制,因此工程与科技人员必须了解各种单位制,并能正确掌握不同单位制的对应单位之间的换算。同一物理用不同单位制的单位度量用的数值比称为换算因数,例如1kg的物料用英制单位制时为2.20462lb,所以千克与磅的换算因数为2.204621。化学工程中各种单位制的单位间的换算因数可以在本书附录中查得。

下面通过实例说明单位换算的方法。

【例 0-2】 已知 $1\text{kcal}=4.268\times 10^4\text{kgf}\cdot\text{cm}$, 将其换算为 $\text{J}(\text{N}\cdot\text{m})$ 。

解: 按题意需将 $\text{kgf}\cdot\text{cm}$ 中力的单位换算为 N , cm 换算成 m 。

查附录得: $1\text{kgf}=9.81\text{N}$; $1\text{cm}=0.01\text{m}$ 。

以上述关系式代入即得:

$$\begin{aligned} 1\text{kcal} &= 4.268 \times 10^4 \text{kgf} \cdot \text{cm} \\ &= 4.268 \times 10^4 \times 9.81 \text{N} \times 0.01 \text{m} \\ &= 4186.908 \text{N} \cdot \text{m} = 4.19 \text{kJ} \end{aligned}$$

由此例可知在进行单位换算时, 只需将原复合单位中的组成单位用要换上的单位和这两个单位间的换算因数代入即可。

习 题

1. 从基本单位换算入手, 将下列物理量的单位换算为 SI 单位。

- (1) 水的黏度 $\mu = 0.00856 \text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s})$
- (2) 导热系数 $\lambda = 1 \text{kcal}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})$
- (3) 某物质的比热容 $c_p = 0.24 \text{BTU}/(\text{lb}\cdot^\circ\text{F})$
- (4) 传质系数 $K_G = 34.2 \text{kmol}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{atm})$
- (5) 表面张力 $\sigma = 74 \text{dyn}/\text{cm}$

2. 乱堆 25mm 拉西环的填料塔用于精馏操作时, 等板高度可用下面经验公式计算, 即

$$H_E = 3.9A(2.78 \times 10^{-4}G)^B(12.01D)^C(0.3048Z_0)^{1/3} \frac{\alpha\mu_L}{\rho_L}$$

式中, H_E 为等板高度, ft ; G 为气相质量速度, $\text{lb}/(\text{ft}^2\cdot\text{h})$; D 为塔径, ft ; Z_0 为每段(即两层液体分布板之间)填料层高, ft ; α 为相对挥发度, 量纲为 1; μ_L 为液相黏度, cP ; ρ_L 为液相密度, lb/ft^3 。 A 、 B 、 C 为常数, 对 25mm 的拉西环, 其数值分别为 0.57、-0.1 及 1.24。

试将上面经验公式中各物理量的单位换算为 SI 单位。

练 习 题

1. 何谓单元操作? 如何分类?
2. 联系各单元操作的两条主线是什么?
3. 比较数学模型法和实验研究方法的区别和联系。
4. 何谓单位换算因子?