

主编 李阳初 王耀斌

石油化学 工程基础

石油大学出版社



DF49 50 10

石油化学工程基础

李阳初 王耀斌 主编

石油大学出版社

石油化学工程基础

李阳初 王耀斌 主编

*

石油大学出版社出版

(山东省东营市)

新华书店发行

山东新华印刷厂德州厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 28.25 印张 724 千字

1997年7月第1版 1997年7月第1次印刷

印数 1—2000 册

ISBN 7-5636-0993-8/TE·197

定价:22.00 元

序

本书论述石油化学工程中单元操作的基本原理及其设备的计算,包括绪论、流体流动、流体输送机械、沉降及过滤、固体流态化及气力输送、传热和换热器、辐射传热及管式加热炉、蒸馏、吸收、汽液传质设备等章。本书是编者数十年从事石油高校化工原理教学及科研的劳动结晶,重视基本概念,叙述由浅入深,重点突出,力求联系炼油和石油化工工业的生产实际,可作为石油院校少学时(100学时左右)化工原理教学的教材,亦可供炼油和石油化工部门的工程技术人员参考。

全书由李阳初、王耀斌主编。绪论及第一、二、三、五章由王耀斌执笔,第四、八、九章由李阳初执笔,第六章由肖家治执笔,第七章由李发永执笔。李发永还参加了全书的整理工作及附录的编写。

由于编者学识有限,书中欠妥之处一定不少,恳请同仁和读者不吝指教,以助日后修订。

编 者 1996年5月

目 录

绪论	(1)
一、本课程的研究对象和任务	(1)
二、单元操作过程中常见的基本规律	(2)
三、单位及单位换算	(4)
习 题	(7)
第一章 流体流动	(8)
第一节 概述	(8)
一、流体的密度	(8)
二、流体的比容	(10)
三、流体的粘度	(11)
第二节 流体静力学	(14)
一、流体的压力	(14)
二、流体静力学基本方程式	(15)
三、流体静力学基本方程式的应用	(16)
第三节 流体动力学	(20)
一、流量和流速	(20)
二、稳定流动与不稳定流动	(22)
三、物料衡算——连续性方程式	(22)
四、机械能衡算——柏努利方程式	(24)
五、柏努利方程式的应用	(27)
第四节 流体在管内的流动阻力	(30)
一、流体流动的类型	(30)
二、流体在圆形管内流动时的速度分布	(32)
三、流体流动阻力的计算	(33)
第五节 管路计算	(44)
一、简单管路	(44)
二、复杂管路计算要点	(46)
第六节 流量测量	(50)
一、测速管	(50)
二、孔板流量计	(52)
三、文丘里(Venturi)流量计	(54)
四、转子流量计	(55)
习 题	(57)
本章符号说明	(61)
第二章 流体输送机械	(63)
第一节 概述	(63)
第二节 液体输送机械	(63)
一、离心泵	(63)
二、其它类型的泵	(82)

第三节 气体输送和压缩机械	(86)
一、通风机	(86)
二、鼓风机	(89)
三、压缩机	(90)
四、真空泵	(94)
习 题	(97)
本章符号说明	(99)
第三章 沉降及过滤	(101)
第一节 概述	(101)
第二节 沉降	(101)
一、重力沉降	(101)
二、离心沉降	(108)
第三节 过滤	(112)
一、过滤的基本概念	(112)
二、过滤的基本方程式	(114)
三、恒压过滤	(115)
四、过滤常数的测定	(116)
五、过滤设备	(116)
六、过滤计算	(119)
习 题	(123)
本章符号说明	(125)
第四章 固体流态化及气力输送	(127)
第一节 固体流态化技术	(127)
一、概述	(127)
二、流化床的基本概念	(127)
三、散式流态化与聚式流态化	(128)
四、流化床的主要特性	(128)
五、流化床的操作范围	(130)
六、流化床的浓相区高度和分离高度(TDH)	(132)
七、高速流化床	(133)
第二节 气力输送	(134)
一、概述	(134)
二、稀相输送的流动特性	(135)
习 题	(137)
本章符号说明	(138)
第五章 传热及换热设备	(140)
第一节 概述	(140)
一、传热过程在石油加工和石油化工中的应用	(140)
二、传热的基本方式	(140)
三、工程上常用的换热方法	(141)
第二节 热传导	(142)
一、热传导的基本定律——傅立叶定律	(142)

二、导热系数	(143)
三、稳定导热计算	(145)
第三节 对流传热	(150)
一、对流传热过程分析	(150)
二、对流传热速率方程式	(151)
三、影响对流传热系数的主要因素	(151)
四、对流传热系数的一般关联式	(152)
五、对流传热系数的经验关联式	(153)
第四节 两流体通过间壁的传热计算	(163)
一、传热速率方程式	(164)
二、换热器的热负荷及热量衡算方程式	(164)
三、平均温度差的计算	(165)
四、传热系数	(169)
五、壁温的估算	(175)
第五节 换热器	(177)
一、间壁式换热器种类	(177)
二、列管式换热器的设计和选用	(186)
三、换热器传热过程的强化	(195)
习 题	(196)
本章符号说明	(199)
第六章 管式加热炉	(200)
第一节 热辐射基础理论	(200)
一、热辐射的基本概念	(200)
二、黑体辐射的基本定律	(203)
三、两黑体表面间的辐射换热	(203)
四、灰表面间的辐射换热	(204)
五、气体辐射与吸收	(207)
六、设备热损失的计算	(207)
第二节 管式加热炉种类、主要结构和工艺指标	(209)
一、管式加热炉的种类	(209)
二、管式加热炉的主要结构	(211)
三、管式加热炉的主要工艺指标	(214)
第三节 燃料的燃烧	(216)
一、燃料的种类、组成和发热值	(216)
二、理论空气用量	(217)
三、全炉热效率 η 及燃料用量的确定	(218)
四、过剩空气系数的测定与提高加热炉热效率的若干方法	(219)
第四节 辐射室传热计算	(221)
一、罗伯-伊万斯法传热速率方程式的推导	(222)
二、罗伯-伊万斯法传热速率方程式各参数的确定	(222)
三、热衡算方程式	(226)
四、用图解法确定辐射室热负荷 Q_R 及 T_g	(228)
五、辐射室表面热强度及主要结构尺寸的确定	(228)

第五节 对流室的传热计算	(233)
一、对流室的热负荷 Q_c	(233)
二、对流室的主要尺寸	(233)
三、对流管的表面积与表面热强度	(233)
第六节 炉管内流体的压力降和烟囱	(234)
一、炉管内流体的压力降	(234)
二、烟囱	(237)
习 题	(238)
本章符号说明	(239)
第七章 蒸馏	(241)
第一节 概述	(241)
第二节 二元物系的气液相平衡	(241)
一、理想溶液及拉乌尔定律	(241)
二、二元理想溶液的气液相平衡关系	(242)
三、高压下的气液相平衡	(247)
第三节 蒸馏方式	(253)
一、简单蒸馏	(253)
二、平衡蒸馏	(256)
三、平衡级	(259)
第四节 精馏原理	(260)
一、多次部分气化与多次部分冷凝	(260)
二、多次部分气化与多次部分冷凝的共同实现	(261)
三、精馏塔及精馏操作流程	(262)
第五节 二元连续精馏塔的计算	(263)
一、理论板	(263)
二、全塔物料衡算方程	(264)
三、精馏塔的操作线方程	(265)
四、理论塔板数的计算	(269)
五、回流比的影响及其选择	(276)
六、实际塔板数及塔板效率	(278)
七、全塔热量衡算	(280)
第六节 二元连续精馏塔的操作情况分析	(282)
一、回流比对操作的影响	(282)
二、进料组成改变的影响	(283)
三、精馏塔操作温度及操作压力的确定	(283)
四、热回流与冷回流	(284)
第七节 理论塔板数的简捷计算法	(285)
一、最少理论塔板数 N_{min} 的计算	(286)
二、最小回流比 R_{min} 的计算	(287)
第八节 水蒸气蒸馏	(287)
一、不互溶二元物系的蒸气压——沸点降低原理	(287)
二、水蒸气蒸馏馏出物组成的确定——水蒸气消耗系数	(288)

三、过热水蒸气蒸馏	(289)
第九节 多元精馏	(290)
一、多元精馏概述	(290)
二、多元物系的气液相平衡	(291)
三、多元精馏塔物料衡算——塔顶、塔底物料分布计算	(294)
四、理论塔板数的简捷计算法	(296)
第十节 原油蒸馏塔简介	(299)
一、原油蒸馏塔流程简介	(299)
二、常压塔的结构特点	(300)
三、常压塔的工艺特征	(301)
四、常压塔的回流方式	(302)
习 题	(303)
本章符号说明	(307)
第八章 吸收	(310)
第一节 概述	(310)
第二节 吸收过程的相平衡	(311)
一、气体在液体中的溶解度	(311)
二、亨利定律和亨利系数	(313)
三、吸收过程的方向及极限	(314)
第三节 吸收过程机理与吸收速率方程式	(315)
一、分子扩散和对流传质	(315)
二、吸收过程的机理——双膜理论	(316)
三、吸收速率方程式	(317)
第四节 吸收塔的计算	(321)
一、物料衡算与操作线方程	(322)
二、吸收剂用量和最小液气比	(323)
三、填料层高度的计算	(326)
四、板式吸收塔塔板数的计算	(332)
第五节 吸收系数	(333)
一、吸收系数的实验测定	(334)
二、吸收系数的经验公式	(335)
三、吸收系数的准数关联式	(336)
习 题	(339)
本章符号说明	(340)
第九章 气、液传质设备	(342)
第一节 概述	(342)
第二节 板式塔	(342)
一、塔板类型	(342)
二、塔板结构	(347)
三、板式塔的流体力学特性	(348)
四、塔板负荷性能图	(355)
五、板式塔的设计计算	(357)

六、塔板流体力学验算	(362)
第三节 填料塔	(365)
一、填料塔结构	(365)
二、填料塔的流体力学状况	(370)
三、填料塔的设计计算	(372)
第四节 填料塔与板式塔的比较	(374)
习 题	(374)
本章符号说明	(375)
附录	(377)
一、单位换算表	(377)
二、某些气体的重要物理性质	(381)
三、某些液体的重要物理性质	(383)
四、水的重要物理性质	(385)
五、某些固体材料的重要物理性质	(387)
六、空气的重要物理性质(101.3 kPa 压力下)	(388)
七、水的粘度(0~100℃)	(389)
八、饱和水蒸气表(按温度排列)	(390)
九、饱和水蒸气表(按压力排列)	(392)
十、水的饱和蒸汽压(-20~100℃)	(396)
十一、液体粘度共线图	(397)
十二、气体粘度共线图(常压下用)	(399)
十三、液体比热共线图	(401)
十四、气体比热共线图(常压下用)	(403)
十五、液体汽化潜热共线图	(405)
十六、一般液体表面张力共线图	(407)
十七、液体的粘度和密度	(409)
十八、某些有机液体的相对密度(液体密度与 277K 时水的密度之比)	(413)
十九、管子规格	(416)
二十、离心泵规格	(417)
二十一、离心通风机规格	(422)
二十二、壁面污垢热阻	(423)
二十三、管壳式热交换器系列标准(摘录)	(426)
二十四、国产炉管规格	(428)
二十五、管式加热炉炉管内膜结垢热阻	(429)
二十六、气体的发热值	(429)
二十七、炼厂常用燃料油性质	(430)
二十八、炼厂瓦斯性质	(430)
二十九、某些二元物系的气液平衡组成	(431)
三十、几种气体溶于水时的亨利系数	(433)
三十一、气体的自扩散系数($P=101.3\text{kPa}$)	(433)
三十二、某些气体二组分扩散系数($P=101.3\text{kPa}$)	(434)
三十三、某些液体的自扩散系数	(435)
三十四、某些液体二组分扩散系数(稀溶液)	(436)

三十五、某些填料的特性	(437)
参考文献	(440)

绪 论

一、本课程的研究对象和任务

在石油加工、石油化工等工业中有所谓工艺过程和单元操作,后者就是本课程的研究对象。

工艺过程是指将一定的原料经过各个物理加工和化学加工而获得符合一定规格要求的各种产品的过程。例如,石油加工中的原油常压蒸馏,就是将原油经换热、加热、蒸馏等加工处理,以得到汽油、煤油、柴油、重油等产品的生产过程,其原理流程如图 0-1 所示。

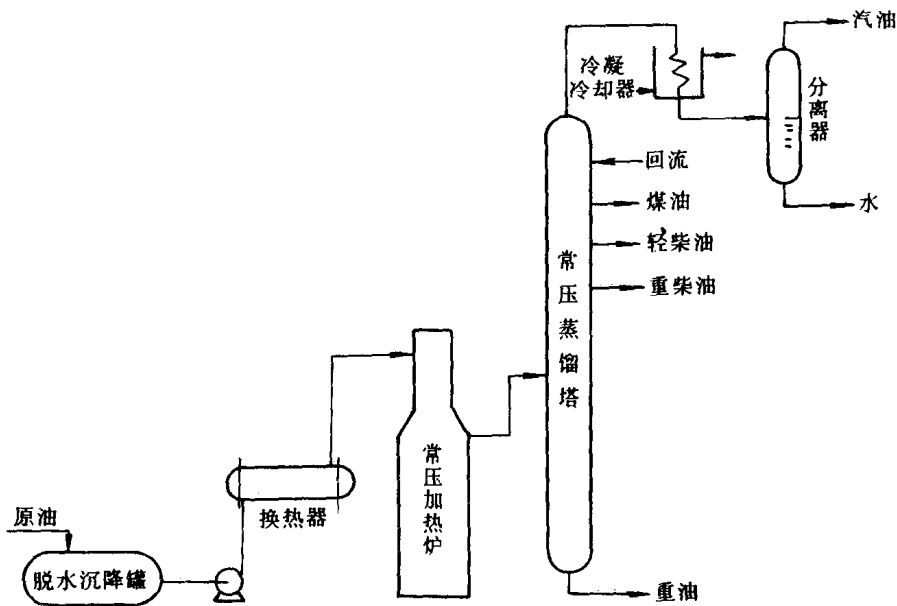


图 0-1 原油常压蒸馏原理流程

又例如石油化工中的裂解分离装置,就是将原料油(柴油或汽油等)经过加热、高温裂解、压缩以及低温分离,以得到乙烯、丙烯等烯烃产品的生产过程,其原理流程如图 0-2 所示。

由于石油加工、石油化工以及化学、制药、轻工、冶金、原子能等工业生产中,原料各异,要求得到的产品种类繁多,又有各种各样的加工方法和各种型号的装置设备,因此实际生产中有很多的工艺过程。

虽然工艺过程为数众多,而且随着科学技术和经济的发展、新产品的不断开发,还会有新的工艺过程出现。但经过分析可以发现,千殊万别的工艺过程都是由原理上相同或相似的一些基本单元组成。就以上所举出的两个典型的工艺过程大体上是由物料沉降、压缩和输送、加热和换热、裂解(化学反应)、蒸馏等基本单元所组成,其中除了裂解(有些工艺过程还有合成、聚合等)为化学反应过程外,其余的均是只改变物料状态或物理性质,并不改变物料化学性质的物理过程,将这些物理过程称为单元操作。在石油加工和石油化工中,其核心是化学反应过程及其设备——反应器。同时,为了保障化学反应过程有效地进行和得到各种规格的产品,就必须以各种物理过程对原料进行预处理以达到必要的温度、压力等条件和对反应产物进行处理以达到分离、精制等目的。因此,单元操作是石油加工和石油化工生产中不可缺少的重要组成

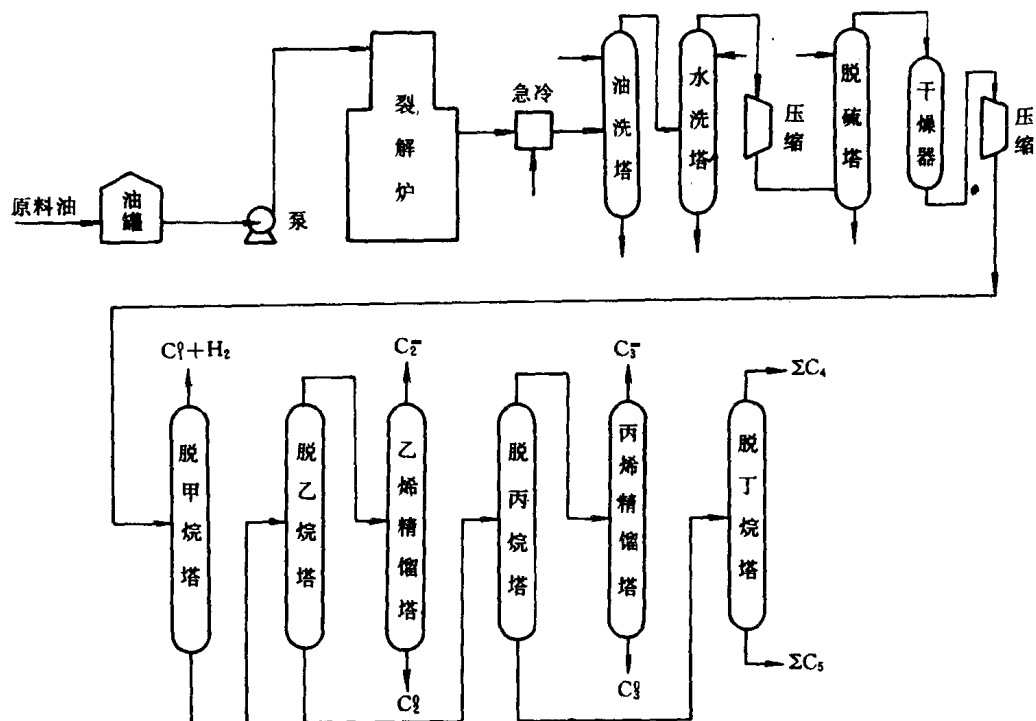


图 0-2 裂解分离装置的原理流程图

部分。

在石油加工和石油化工生产中,重要的单元操作约有 20 多种,按其理论基础可归纳为以下三类:

1. 流体流动过程,包括流体输送、气体压缩、沉降、过滤、离心分离、搅拌、固体流态化、气力输送等。
2. 传热过程,包括加热、冷凝和冷却、蒸发等。
3. 传质过程,包括蒸馏、吸收、萃取、吸附、干燥、结晶等。进行这些过程的目的是分离均相混合物,故称传质过程,又称分离过程。

《石油化学工程基础》这门课程既不同于自然科学中的基础学科,也区别于具体的石油加工和石油化工中产品生产工艺学,它是研究各个单元操作的基本原理、计算方法及其设备的设计、操作和选型等。通过本课程的学习使学生掌握各个单元操作的基本理论和计算方法,培养学生运用这些基本理论和计算方法正确地分析、解决各个单元操作中各种工程技术问题的能力。因此,《石油化学工程基础》与《化工原理》、《化学工程基础》、《单元操作》等属同一内容的课程,是石油加工、石油化工、炼油化工仪表自动化等专业的一门重要的技术基础课,也是石油应用化学、化工实验技术、环境工程等专业的一门工程基础课。因此,本课程具有十分广泛的实用性。

二、单元操作过程中常见的基本规律

单元操作虽有若干种,所解决的实际问题也非常之多,但是研究单元操作时,都遵循下列四个基本规律,也是研究单元操作的四个基本工具,即

1. 物料衡算

物料衡算是以质量守恒定律为基础,即向单元过程输入的物质质量必等于从该过程输出的物质质量与该过程中积累的物质质量之和,即

$$\text{输入的材料质量} = \text{输出的材料质量} + \text{积累的材料质量} \quad (0-1)$$

对于连续、稳定的操作过程,各物料量不随时间变化,则过程中不应有物料的积累,即公式(0-1)可写为

$$\text{输入的材料质量} = \text{输出的材料质量} \quad (0-2)$$

式(0-1)和式(0-2)均称物料衡算方程式,它既适用于总物料衡算计算,也适用于某一组分的物料衡算计算。物料衡算是单元操作过程、乃至化工工艺过程的重要计算内容之一,它对于设备尺寸的设计和生产过程的操作、控制等具有重要意义。在进行物料衡算计算时,要确定计算的范围,明确计算的对象(即总物料或某一组分),选定计算基准,一般常用单位时间或单位进料质量作为衡算的基准。

2. 能量衡算

能量衡算是以能量守恒定律为基础的,对于连续、稳定操作过程,输入系统的总能量必等于输出系统的总能量和系统与环境交换的能量之和。

能量有各种形式,本教材中所涉及到的能量主要有机械能和热能。进行机械能衡算或热量衡算的方法与物料衡算基本相同,同样也要确定衡算范围和基准,通常用单位质量或单位体积的物料(此处指的是总物料),或者用单位时间作为能量衡算的基准。

通过能量衡算可以了解生产操作中能量利用和损失情况,以便确定设备的能力,保证单元操作按所规定的条件(温度、流动要求)进行。

3. 系统的平衡关系

平衡状态是自然界普遍存在的现象,当系统在某一条件下自然发生变化时,其变化必趋于一定的方向,如任其发展,结果必达到平衡状态为止。例如热量从温度较高的物体传向温度较低的物体时,将一直进行到两个物体的温度相等时为止;又如,在一定温度下,当溶液中食盐浓度小于其饱和浓度时,加入的食盐就溶解,直至达到平衡状态;反之,溶液中的食盐会析出,最终达到平衡状态。因此,平衡状态是各种自然发生的变化过程可能达到的极限程度。在物系相间进行的传质平衡关系为相平衡关系,显然,用相平衡关系可判断传质过程进行的方向和可能达到的限度。

4. 过程速率

由上可知,任何一个系统,如果不是处于平衡状态,就必然向平衡状态变化。但以多大的速率趋于平衡,这不取决于平衡关系,而取决于系统的不平衡程度(如上述溶液中的食盐浓度与其饱和浓度相差程度)和影响过程变化的许多其它因素。通常以系统的不平衡程度为推动力,把其它许多影响因素归于过程阻力,则过程速率可近似地用下式表示,即

$$\text{过程速率} = \frac{\text{过程推动力}}{\text{过程阻力}} \quad (0-3)$$

不同的过程有各自的推动力和阻力的内涵,如传热过程的推动力是互相换热的两流体间的温度差,传质过程则是物系浓度与平衡浓度之差,而诸过程的阻力内涵则较为复杂,需要结合具体过程,进行具体分析。

由式(0-3)可见,过程速率与过程推动力成正比,与过程阻力成反比,这种关系类似于电学中的欧姆定律。过程速率是决定过程设备尺寸的重要因素,如果过程速率大时,设备尺寸就可以小些。因此,过程平衡关系是过程设备尺寸设计计算的理论依据,过程速率则是过程设备尺寸设计计算的基本工具。

在研究单元过程中,除了应用以上四个基本规律研究过程的变化和进行设备的设计计算

外,还要利用技术经济比较,以优化过程方案,使单元操作得以经济有效地进行。

三、单位及单位换算

1. 单位与单位制

任何物理量的大小都是用数值和单位来表示的。由于各种物理量之间存在着客观的联系,因此不必对每个物理量都单独进行任意选择,通常是任意选定几个独立的物理量,作为基本量,并根据使用方便的原则制定出基本量的单位作为基本单位,而其它物理量的单位通过基本单位根据其定义或物理方程导出,所以这些物理量称为导出量,其单位称为导出单位。所有导出单位都是由基本单位相互乘、除关系而构成的。如果选定长度和时间作为基本量,其单位定为米和秒,那么速度的单位就是导出量,其单位可通过它的定义导出,即为(m/s)。

基本单位与导出单位的总和称为单位制。由于基本量及其单位的不同选择,就产生了不同的单位制。过去我国所采用的单位制常有物理单位制(CGS制)和工程单位制,它们的基本量和单位如表 0-1 所示。

表 0-1 CGS 制与工程制的基本单位

量的名称 单位符号	CGS 制				工程制			
	长度 cm	质量 g	时间 s	温度 ℃	长度 m	力 kgf	时间 s	温度 ℃

工程单位制中把力作为基本量,其单位为 kgf(千克力或公斤力),1kgf 的意义为 1kg(千克)质量的物体在重力加速度为 9.807m/s^2 的海平面所受到的力。

由于科学技术的迅速发展和国际学术交流的日益广泛,以及理科与工科的关系进一步密切,要求有统一的度量单位。1960 年 10 月第 11 届国际计量会议制定了一种国际上统一的国际单位制,其代号为 SI(法文 *Système International d'unités* 缩写)。国际单位制(SI 制)中所规定的 7 个基本量及其单位和 2 个辅助量及其单位构成了不同科学技术领域中所需要的全部单位,如表 0-2 所示;用于构成十进倍数和分数单位的词冠及化工中常用的具有专门名称的导出单位分别列于表 0-3 及表 0-4。

表 0-2 国际单位制的基本单位和辅助单位

类别	物理量	单位名称	单位符号
基本单位	长度	米	m
	质量	千克(公斤)	kg
	时间	秒	s
	电流	安[培]	A
	热力学温度	开[尔文]	K
	物质的量	摩[尔]	mol
	发光强度	坎[德拉]	cd
辅助单位	平面角	弧度	rad
	立体角	球面度	sr

注:1. ()内的字为前者同义语。

2. []内的字,是在不致混淆的情况下,可以省略的字。

表 0-3 国际单位制用于构成十进倍数和分数单位的词头

所表示的因数	词头名称	符 号	所表示的因数	词头名称	符 号
10^{18}	艾〔可萨〕	E	10^{-1}	分	d
10^{15}	拍〔它〕	P	10^{-2}	厘	c
10^{12}	太〔拉〕	T	10^{-3}	毫	m
10^9	吉〔伽〕	G	10^{-6}	微	μ
10^6	兆	M	10^{-9}	纳〔诺〕	n
10^3	千	k	10^{-12}	皮〔可〕	p
10^2	百	h	10^{-15}	飞〔母托〕	f
10^1	十	da	10^{-18}	阿〔托〕	a

注：〔 〕内的字，可在不致混淆的情况下省略。

表 0-4 化工常用国际单位制中具有专门名称的导出单位

物 理 量	单位名称	单位符号	用其它导出单位表示	用基本量表示
频率	赫〔兹〕	Hz		s^{-1}
力；重力	牛〔顿〕	N		$kg \cdot m \cdot s^{-2}$
压力，压强；应力	帕〔斯卡〕	Pa	N/m^2	$kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$
能量；功；热	焦〔耳〕	J	$N \cdot m$	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$
功率	瓦〔特〕	W	J/s	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$
摄氏温度	摄氏度	$^{\circ}C$		

注：〔 〕内的字，在不混淆的情况下，可以省略。

我国于 1984 年 2 月 27 日发布了以国际单位制为基础，包括国家选定的国内外习惯或通用的少数非国际单位制单位在内的《中华人民共和国法定计量单位》，简称法定单位。其内容，除了表 0-2、0-3、0-4 外，还有《国家选定的非国际单位制单位》。表 0-5 是其节录。

表 0-5 国家选定的部分非国际单位制单位

物 理 量	单位名称	单位符号	换算关系和说明
时 间	分	min	$1\text{min} = 60\text{s}$
	〔小〕时	h	$1\text{h} = 60\text{min} = 3600\text{s}$
	天〔日〕	d	$1\text{d} = 24\text{h} = 86400\text{s}$
平 面 角	〔角〕秒	〔 $''$ 〕	$1'' = (\pi/648000)\text{rad}$ (π 为周率)
	〔角〕分	〔 $'$ 〕	$1' = 60'' = (\pi/10800)\text{rad}$
	度	〔 $^{\circ}$ 〕	$1^{\circ} = 60' = (\pi/180)\text{rad}$
旋转速度	转每分	r/min	$1\text{r/min} = (1/60)\text{s}^{-1}$
质量	吨	t	$1\text{t} = 10^3\text{kg}$
体积	升	L(l)	$1\text{L} = 1\text{dm}^3 = 10^{-3}\text{m}^3$

注：1.〔 〕内的字，在不致混淆的情况下，可以省略。

2.〔 〕内的字为前者的同义语。

3. 角度单位度、分、秒的符号不处于数字后时,要用括弧。
4. r 为“转”的符号。
5. 升的符号中,小写字母 l 为备用符号。

2. 单位换算

由于目前常用的物理、化学数据手册以及工程计算用表和图仍有许多是用物理单位制或工程单位制单位表示,所以查得的数据,其单位就可能是非法定单位。本教材采用法定单位,在例题和习题中,除特殊说明外,均采用 SI 单位制单位进行计算,因此必须掌握同一物理量的不同单位制单位之间的换算关系。由于同一物理量若用不同单位制单位度量时,量本身并无变化,只是其数值需相应地改变,因此进行单位换算时,需要乘以两单位间的换算因数。换算因数就是某一物理量用不同单位表示时,它们的数值关系系数。如把质量的单位由 kg(千克)换算成 g(克),因 1 kg 等于 1000 g,则其换算因数为 1000。同理,把长度的单位由 m 换算成 cm 时的换算因数为 100。

石油加工和石油化工中常用的单位换算因数可以从本教材附录中查得。

例 0-1 将某温度下水的密度 $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$ 换算成以 SI 单位表示的值。

解 由于 $1 \text{ g} = 10^{-3} \text{ kg}$, $1 \text{ cm}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$

$$\begin{aligned} \text{则 } \rho &= 1 \text{ g/cm}^3 = 1 \times \frac{\text{g} \times \frac{10^{-3} \text{ kg}}{1 \text{ g}}}{\text{cm}^3 \times \frac{10^{-6} \text{ m}^3}{1 \text{ cm}^3}} = 1 \times 10^{-3} \times 10^6 \\ &= 10^3 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

可见,把密度的单位由 g/cm^3 换算成 kg/m^3 的换算因数为 1000。

例 0-2 将压力 $p = 1.033 \text{ kgf/cm}^2$ 的单位分别换算成工程单位和 SI 单位。

解 由于 $1 \text{ kgf} = 9.807 \text{ N}$, $1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2$

$$\begin{aligned} \text{则 } p &= 1.033 \text{ kgf/cm}^2 = 1.033 \times \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2 \times \frac{10^{-4} \text{ m}^2}{1 \text{ cm}^2}} \\ &= 1.033 \times 10^4 \text{ kgf/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{又 } p &= 1.033 \text{ kgf/cm}^2 = 1.033 \times \frac{\text{kgf} \times \frac{9.807 \text{ N}}{1 \text{ kgf}}}{\text{cm}^2 \times \frac{10^{-4} \text{ m}^2}{1 \text{ cm}^2}} \\ &= 1.033 \times 9.807 \times 10^4 = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

故, kgf/cm^2 与 kgf/m^2 和 N/m^2 之间的换算因数分别为 10^4 和 9.807×10^4 。

例 0-3 将 30°C 水的比热 $c_p = 0.997 \text{ cal/(g} \cdot ^\circ\text{C)}$ 换算成以 SI 单位表示的值。

解 由附录查得 $1 \text{ cal} = 4.187 \text{ J}$, $1 \text{ g} = 10^{-3} \text{ kg}$, 又 $\Delta^\circ\text{C} = \Delta \text{K}$

$$\begin{aligned} \text{则 } c_p &= 0.997 \text{ cal/(g} \cdot ^\circ\text{C)} = 0.997 \times \frac{\text{cal} \times \frac{4.187 \text{ J}}{1 \text{ cal}}}{\text{g} \times \frac{10^{-3} \text{ kg}}{1 \text{ g}} \times ^\circ\text{C} \times \frac{\Delta \text{K}}{\Delta^\circ\text{C}}} \\ &= 0.997 \times 4.187 \times 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)} = 4.184 \times 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)} \end{aligned}$$

同样可见,比热的 $\text{cal/(g} \cdot ^\circ\text{C)}$ 与 $\text{J/(kg} \cdot \text{K)}$ 单位间的换算因数为 4.187×10^3 。

以上是从每一个单独的单位进行了换算,从而得到了不同复合单位之间的换算因数,这对初学者是一个必要的训练。在今后的计算中,可直接运用复合单位间的换算因数进行计算。