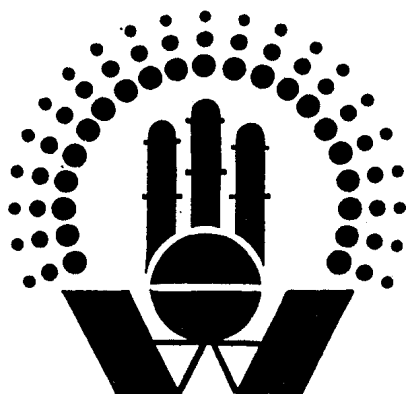




化工技工学校试用教材

化工过程及设备

北京化工厂技工学校

赵锦全 编

化学工业出版社

本书根据1982年8月在上海召开的全国化工技校无机专业教材编审会议修订的教学大纲编写的。全部内容的教学时数为160学时。

全书内容包括：流体力学基础；液体输送机械和搅拌；气体压缩与输送机械；流体与粒子间的相对运动；传热原理与换热器；蒸发；气体吸收；液体精馏；干燥；冷冻等十章。每章中有例题，章末附有习题及复习参考题。

本书可供化工类无机、有机、化机、分析、仪表五个专业使用。

化工技工学校试用教材

化工过程及设备

北京化工厂技工学校

赵锦全 编

责任编辑：骆文敏

封面设计：季玉芳

*

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本787×1092¹/₁₆。印张24¹/₄。字数572千字印数1—31,170

1985年8月北京第1版1985年8月北京第1次印刷

统一书号15063·3756 (K·281) 定价3.00元

前 言

本书是根据1982年8月在上海召开的全国化工技校无机专业教材编审会议修订的教学大纲编写的。全部内容的教学时数为160学时。

本书从技工教育的特点出发，在保证本学科的科学性、系统性、完整性的前提下，着重介绍化工单元操作的基础理论及其设备，力求做到深入浅出、通俗易懂，并特别注重理论与实践的结合，以适应化工技工学校教学、在职职工的技术教育以及工人自学的需要。

本书适合于无机、有机、化机、分析、仪表五个专业使用。由于各专业对本课程的要求不同，各校可根据需要进行选用。

参加本书编审的有：合肥市化工技工学校林麟祥，抚顺市化工技工学校倪根发，陕西兴平化工技工学校毛民海，大连化学工业公司技工学校许传海，贵州平坝化肥厂技工学校陈明元，天津大沽化工厂技工学校王连武，上海吴泾化工厂技工学校曹福胜，由林麟祥担任主审。编写过程中，曾在一些高等院校和技校的教师，以及一些工厂的技术人员和工人中广泛征求意见，许多同志对本书提出了建设性的意见，在此，谨向这些同志表示衷心的感谢。

由于时间短促，水平有限，书中一定有不少缺点和错误，希望有关方面的同志和读者提出批评指正。

编 者

一九八三年十一月十八日

目 录

绪论.....	1
第一章 流体力学基础.....	7
第一节 流体静力学.....	8
一、密度、相对密度和比容.....	8
二、流体的压强.....	10
三、流体静力学基本方程式.....	13
四、流体静力学基本方程式的应用.....	14
第二节 流体动力学.....	17
一、流量与流速.....	18
二、稳定流动与不稳定流动.....	19
三、稳定流动下的物料衡算.....	19
四、稳定流动下的能量衡算.....	20
五、柏努利方程式应用举例.....	23
第三节 流体阻力的计算.....	28
一、流体阻力的来源.....	28
二、粘度.....	28
三、流体流动的类型.....	31
四、层流内层.....	33
五、流体阻力的计算.....	34
第四节 管路的布置与计算.....	38
一、管子的种类.....	39
二、管径的选择.....	40
三、管件.....	41
四、阀.....	42
五、管路布置和安装的一般原则.....	43
六、简单管路的计算.....	45
本章符号说明.....	49
复习参考题.....	50
习题.....	51
第二章 液体输送机械和搅拌.....	56
第一节 离心泵.....	56
一、工作原理和结构.....	56
二、离心泵的主要性能.....	59
三、离心泵的特性曲线.....	61

四、安装高度的确定.....	62
五、工作点与流量调节.....	65
六、离心泵安装与运转中的注意事项.....	67
七、离心泵的类型.....	68
八、离心泵的选用.....	71
第二节 其它类型泵.....	72
一、往复泵.....	72
二、计量泵.....	75
三、齿轮泵.....	76
四、螺杆泵.....	77
五、屏蔽泵.....	77
六、液下泵.....	78
七、旋涡泵.....	78
八、流体作用泵.....	79
第三节 各类泵的比较.....	79
第四节 液体搅拌.....	81
一、搅拌的作用.....	81
二、搅拌器的类型.....	81
三、强化搅拌作用的措施.....	83
本章符号说明.....	84
复习参考题.....	84
习题.....	85
第三章 气体压缩与输送机械.....	87
第一节 往复式压缩机.....	87
一、往复式压缩机的工作原理和结构.....	87
二、往复式压缩机的主要性能.....	89
三、多级压缩.....	91
四、往复式压缩机的分类与型号.....	92
五、操作与运转.....	93
第二节 透平式压缩机.....	94
一、工作原理和结构.....	94
二、透平式压缩机的特性曲线、工作点与气量调节.....	95
三、喘振现象.....	96
第三节 液环式压缩机.....	98
第四节 鼓风机.....	98
第五节 通风机.....	99
一、轴流式通风机.....	99
二、离心式通风机.....	99
第六节 真空泵.....	101

一、往复式真空泵	101
二、液环式真空泵	102
三、旋片式真空泵	102
四、喷射式真空泵	103
本章符号说明	104
复习参考题	104
习题	105
第四章 流体与粒子间的相对运动	106
第一节 沉降	106
一、重力沉降	106
二、重力沉降器	110
三、离心沉降	111
四、离心沉降设备	112
第二节 过滤	114
一、基本概念	115
二、常用过滤设备的构造与操作	117
第三节 离心分离	120
一、一般概念	120
二、影响离心分离的主要因素	121
三、离心机的类型	122
四、离心机操作注意事项	126
第四节 固体流态化	126
一、基本概念	126
二、流化床的流体力学	127
三、气力输送	132
本章符号说明	135
复习参考题	136
习题	136
第五章 传热原理与换热器	138
第一节 概述	138
一、传热的基本方式	138
二、工业上的换热方法	139
三、化工生产中的传热问题	140
第二节 导热	141
一、傅立叶定律	141
二、导热系数	141
三、平面壁的导热	143
四、圆筒壁的导热	146
第三节 对流传热	150

一、对流传热的概念.....	150
二、无相变时的对流传热膜系数.....	151
三、沸腾与冷凝.....	155
四、提高传热膜系数的途径.....	157
第四节 间壁两侧流体的热交换.....	158
一、热负荷的计算.....	159
二、平均温度差的计算.....	161
三、传热系数的确定及其讨论.....	165
四、传热面积.....	171
第五节 强化传热的途径.....	177
一、增大传热面积.....	177
二、提高传热的温度差.....	178
三、提高传热系数.....	178
第六节 热辐射.....	179
一、基本概念.....	179
二、管式炉.....	184
第七节 换热器的类型.....	186
一、列管式换热器.....	186
二、夹套式换热器.....	188
三、蛇管式换热器.....	188
四、套管式换热器.....	189
五、翅片管式换热器.....	189
六、螺旋板式换热器.....	190
七、板式换热器.....	191
八、板翅式换热器.....	192
本章符号说明.....	193
复习参考题.....	194
习题.....	195
第六章 蒸发.....	198
第一节 概述.....	198
第二节 单效蒸发的计算.....	200
一、水的蒸发量.....	200
二、蒸汽消耗量.....	200
三、蒸发器的传热面积.....	203
四、温度差损失.....	204
五、蒸发器的生产强度.....	206
第三节 多效蒸发.....	207
一、多效蒸发原理.....	207
二、多效蒸发的流程.....	208

第四节 蒸发设备	209
一、自然循环蒸发器	209
二、强制循环蒸发器	212
三、膜式蒸发器	212
四、除沫器与冷凝器	215
本章符号说明	216
复习参考题	217
习题	217
第七章 气体吸收	219
第一节 吸收的物理基础	219
一、相组成的表示方法	219
二、气液平衡关系	225
三、吸收机理——双膜理论	229
第二节 吸收速率方程式	230
一、气、液相吸收速率方程式	230
二、吸收总系数和分系数的关联式	233
三、用平均推动力表示的吸收速率式	235
第三节 吸收过程的计算	236
一、填料的类型	237
二、全塔物料衡算——操作线方程式	239
三、吸收剂用量的确定	241
四、塔径的确定	243
五、填料层高度的计算	245
六、板式吸收塔的塔板数	247
第四节 解吸	251
第五节 吸收设备	252
一、填料塔	252
二、湍球塔	256
三、喷射式吸收器	256
四、吸收塔操作要点	257
本章符号说明	257
复习参考题	258
习题	259
第八章 液体精馏	262
第一节 概述	262
一、蒸馏在化工生产上的应用	262
二、蒸馏的分类	262
三、精馏的流程	263
第二节 精馏原理	264

一、理想二元溶液的汽液平衡关系	264
二、非理想二元溶液的汽液平衡	268
三、挥发度与相对挥发度	269
四、精馏原理	272
第三节 连续精馏塔的计算	275
一、全塔物料衡算	275
二、操作线方程式	276
三、进料状况对操作线的影响	279
四、塔板数的确定	283
五、回流比的影响与选择	288
六、塔径和塔板间距的确定	290
七、连续精馏的热量衡算	291
第四节 特殊蒸馏	294
一、水蒸汽蒸馏	294
二、恒沸蒸馏	295
三、萃取蒸馏	296
第五节 精馏塔	297
一、泡罩塔	298
二、筛板塔	299
三、浮阀塔	300
四、舌形塔	300
五、浮动喷射塔	302
六、斜孔塔	302
第六节 精馏塔的操作	303
一、影响精馏塔操作的主要因素	303
二、操作负荷性能图	304
三、生产过程中的控制	305
本章符号说明	305
复习参考题	307
习题	307
第九章 干燥	310
第一节 湿空气的性质	311
一、湿空气的性质	311
二、湿空气的湿度图	315
第二节 干燥器的衡算	318
一、物料衡算	318
二、热量衡算	322
第三节 干燥速度和干燥时间	325
一、物料中所含水分的性质	325

二、干燥速率及其影响因素	326
三、恒定干燥情况下干燥时间的计算	327
第四节 干燥器	330
一、厢式干燥器	330
二、气流干燥器	331
三、立式流化床干燥器	331
四、卧式多室沸腾床干燥器	332
五、喷雾干燥器	333
六、转筒干燥器	334
七、真空耙式干燥器	335
八、干燥器的比较与选择	336
本章符号说明	337
复习参考题	338
习题	338
第十章 冷冻	340
第一节 压缩蒸汽冷冻机	340
一、温熵图	340
二、压缩蒸汽冷冻机的工作过程	341
三、压缩蒸汽冷冻机的计算	342
四、多级压缩蒸汽冷冻机	347
第二节 冷冻剂与载冷体	348
一、冷冻剂	348
二、载冷体	349
第三节 压缩蒸汽冷冻机的主要设备	349
一、冷冻机	349
二、冷凝器	350
三、膨胀阀	350
四、蒸发器	350
第四节 深冷过程概述	351
本章符号说明	352
复习参考题	352
习题	353
附录	354
一、单位换算	354
二、水的物理性质	355
三、液体的粘度和在293K时的密度	356
四、气体在常压下的粘度	357
五、常用钢管的规格	359
六、常用泵的规格	359

七、8-18、9-27型离心通风机综合特性曲线图	364
八、比热列线图	364
九、液体汽化潜热列线图	367
十、饱和水蒸汽表（按压力排列）	368
十一、饱和水蒸汽表（按温度排列）	370
十二、管板式换热器系列标准（摘录）	371
十三、无机溶液在大气压下的沸点	373
十四、氨的T-S图	374
十五、几种冷冻剂的物理性质	375

绪 论

一、本课程的内容、性质和任务

化学工业是国民经济中一个重要的组成部分。化学工业生产数以万计的产品，包括各种生产资料和生活资料，与工业、农业、国防、科学文化以及人民生活等各方面都有着极为密切的联系。

我国是世界上科学技术发展最早的国家之一，象冶金、火药、酿酒、染色、造纸、炼丹术等，早在西方出现资本主义以前，就走在了世界的前列。可是在旧社会，由于帝国主义、封建主义和官僚资本主义的压榨和掠夺，我国的化学工业和其他经济部门一样，远远落后于各资本主义国家，全国仅有少量的日用化学品、纯碱和化肥的生产。新中国成立以后，在党的正确领导下，很快恢复和建立了如大连、吉林、锦西、兰州等一批化学工业基地，特别是近年来，随着石油工业的发展，我国的化学工业更有了突飞猛进的发展。

化学工业的门类很多，如酸、碱、化肥、医药、橡胶、染料，以及石油化工等等。它们所采用的生产方法、工艺流程、设备大小也往往千差万别，各不相同。它们之所以统属于化学工业的范畴，首先是因为这些工业过程中所用的原料变为产品，不仅在物理性质上发生了变化，而且一般地都有着化学性质的变化。例如：食盐经过化学处理变成碱， NO_2 气体溶于水变成硝酸，无论是它们的物理性质和化学性质都发生了完全变化。另外，如果把它们各自的制造过程加以分析就会发现：这些不同的生产过程都是由一些为数不多的基本操作组成，例如流体的流动与输送、沉降、过滤、离心分离、传热、蒸发、结晶、蒸馏和吸收等。在本课程里，我们把这样的基本操作称为化工单元操作，这些单元操作遵循着共同的物理学定律，所用设备相似，作用相同。以干燥为例，在制碱、化肥、塑料、医药等行业中都使用，它们都是通过某种热的介质与固体产品接触，以使物料中所含的非结合水分汽化并除去，它们所用的设备都称之为干燥装置。化工单元操作的数目虽然不多，一共只有十几种，但它就象大家所熟悉的26个英文字母一样，可以组合成无数的字、词和文章，并成为在世界范围内许多国家都使用的一种语言和文字。化学工业的门类虽然很多，制造过程千差万别，但它们都是由这些单元操作组合起来的。

在对这些化工单元操作进行研究后又发现：在这十几种单元操作中，遵循着某些为数更少的基本规律，从而又进一步把它们归纳成如下的几个基本过程：

1. 动量传递过程 包括遵循流体动力学规律的一些单元操作，如流体的流动与输送、沉降、过滤、离心分离以及固体流态化等。

2. 热量传递过程 简称传热过程，包括主要遵循热交换基本规律的一些单元操作，如传热、蒸发、结晶等。

3. 质量传递过程 简称传质过程，即物质通过扩散，从一个相（液相或气相）转移到另一相的过程，包括蒸馏、吸收、干燥、萃取等单元操作。

4. 热力过程 包括遵循热力学诸规律的一些单元操作，如冷冻与深度冷冻等。

《化工过程与设备》就是学习与研究这几个基本过程的一门学科，但这一课程的性质是属于技术基础课，而不是专门研究某一化工产品的工艺专业课。学习这一课程的目的在于掌握这些过程的基本原理和规律，熟悉各单元操作所用设备的结构、性能、工作原理和运转中的注意事项等。这样，我们将来到任何一个化学工厂里工作，都有可能把这些知识运用到生产中去，并在生产实践中不断改进和提高操作技能，为早日实现我国的四个现代化多做贡献。

二、化工过程的基本规律

如上所述，本学科包含着四个基本过程的理论以及根据这些理论而设计的典型设备，它们各自遵循着不同的基本规律，但同时又遵循着某些共同的规律，在我们学习过程中，如果我们从这些共同的规律着手，去掌握和认识各个过程的共同特性，那么将会有助于加深对各个过程的理解，掌握各个过程的有关理论；此外，它也是我们从工程观点出发去分析某个过程技术上的可行性和经济上的合理性的基本依据。这些共同的规律是：

1. **质量守恒** 这是宇宙间一切事物所必须遵循的共同规律。在化工生产过程中，随着过程的进行，物质在不断的起着变化，但在一个固定的系统或固定的设备内，它必须符合：

$$\text{输入物料量} = \text{输出物料量} + \text{物料的损失量}$$

按照这一规律进行的计算，称为物料衡算。物料衡算的计算式看上去很简单，但在化工生产中却起着十分重要的作用。

例 0-1 在右图所示的氯化氢合成塔中，已知每小时进入的氢气量为20kg，氯气量为710kg，实际测定出氯化氢的产率为98%，试求该合成塔每小时的产量和损失量。

解 根据 $\text{产率} = \frac{\text{实际产量}}{\text{理论产量}}$ 的概念，在产率已知的情况下，只要知道理论产量就可以算出实际产量，因此首先应计算塔的理论产量。

已知氯化氢的反应式为 $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 = 2\text{HCl}$

各组分之间的关系为

2	71	73
20	710	730

即理论上HCl的产量为730kg/h，实际产量为 $730 \times 98\% = 715.4 \text{ kg/h}$

则 物料损失 = $730 - 715.4 = 14.6 \text{ kg/h}$

其结果符合物料衡算式

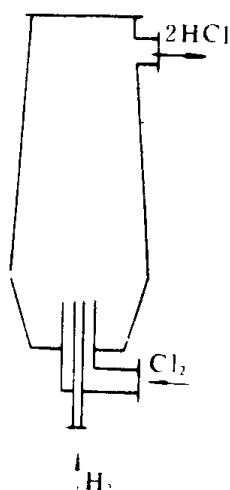
$$\text{输入物料量} = \text{输出物料量} + \text{物料损失量}$$

$$20 + 710 = 715.4 + 14.6$$

上述计算说明我们可以通过物料衡算了解合成塔的实际生产能力，并通过实际产量所需输入的原料量和其他工艺条件来确定合成塔的主要尺寸。

必须指出，任何过程总是有损耗的。损耗越小，说明操作越完善，经济效益越高，否则说明生产状况不正常，就应该找出原因加以改正。

此外，在本课程中以后要提到的一些重要内容，如流体的连续性方程，各种单元操作的生产能力的计算等，都是以物料衡算为基础而导出的，这些都充分说明了掌握这一基本规律的重要性。



例 0-1 附图

2. 能量守恒 能量守恒同样是宇宙间的一条根本规律。在化工生产中，除了物质的变化，还必然伴随着能量的转换。例如：在流体流动与输送中，就存在着流体的位能、动能、静压能和外加机械能的转换问题。在热量传递过程和质量传递过程中，也存在着冷热流体之间以及和环境之间的热量交换问题。根据能量不灭定律，在任何一个系统中：

$$\text{输入的能量} = \text{输出的能量} + \text{能量损失}$$

按照这一规律进行的计算，称为能量衡算。能量衡算在化工生产中，可以帮助我们选择最佳的生产条件，检验能量的消耗程度，制定既经济又合理的能量消耗方案，确定能量综合利用的途径等。例如：锅炉（或燃烧炉）排出的烟道气、加热蒸汽排放的冷凝水等，都要带走一部分热量，工程上把这部分热量称为余热，当这部分能量较大时，我们就应该想法利用它。为此，化工部在关于《化工企业能量平衡管理工作条例》中规定：10吨以下锅炉烟道气排放温度不得大于473K，蒸汽冷凝水不得大于353K，否则应予利用。

在以后章节中将会提到，根据过程需要输入或输出能量的数值，作为确定如流体输送机械的型号、换热器面积等的基本依据。

3. 平衡关系 任何过程都是变化着的，在一定条件下由不平衡到平衡，平衡状态是过程变化的极限。以食盐溶解为例，在一定的温度和一定量的溶剂中，所投入的食盐在溶液中溶解，直至达到饱和溶液为止；这时，从溶解与结晶这两个单一的过程来看，过程并没有终止，两者处于动平衡状态，但溶液的浓度再也无法增加。当冷热流体最终的温度相等时，两种流体之间的传热过程也就不再进行。当吸收剂中所含气体的浓度达到在一定条件下的溶解度时，宏观的吸收过程便不能进行下去了。这些都说明一个过程在一定条件下能否进行，以及进行到什么程度，只有通过平衡关系来判断，平衡关系是我们这个学科中所讨论的许多过程的基本规律之一。

4. 过程速率 平衡关系只说明过程的方向和极限，而过程进行的快慢在工程上是比平衡关系更为重要的问题。我们把单位时间里各种过程进行的变化量称为过程的速率，显然，过程的速率越高，设备生产的能力则越大，在同样产量的情况下，设备的尺寸就可以越小，这是我们从事工业生产的人很关心的问题。过程的速率可以用如下的基本关系表示：

$$\text{过程的速率} = \frac{\text{过程的推动力}}{\text{过程的阻力}}$$

过程的推动力是过程在某一瞬间状态的因素距离平衡状态因素的差额。在流体流动过程中，它表现为压强差；在传热过程中它是冷热流体的温度差；在传质过程中，它是物质的浓度差。构成过程阻力的因素很多，而且同样是因过程的性质不同而不同。从这一基本的关系式中可以看出，提高过程速率的途径在于加大过程的推动力和减少过程的阻力，这将是我们在学习本课程中应引起极大注意的一个重要概念。

此外，本课程中除了引用物理、化学、工程学中一些基本概念之外，本身也还有一些重要概念（如压头、准数等）、基本原理（如边界层理论、双膜理论等）以及基本方法（如解析法、图解法等），在学习过程中，我们一定要牢牢抓住对这些基本概念、基本原理和基本方法的理解，对一些基本公式的物理意义和应用条件，以及一些物理量的意义和所用的单位，要作到明确、清晰，对影响过程的各种因素要做到主次分明。将来通过劳动实践，逐步的使我们把所学的知识深入化、系统化，达到能够理论联系实际、灵活应用的程度。

三、单位制和单位换算

1. 基本量和导出量 影响化工过程的因素是很多的,但基本上可以概括为两个方面:一个是物料的物理性质,如密度、粘度、比热、导热系数等。另一个是过程的参变量,如温度、压强、速度等。这些物理性质和参变量,在过程中都是需要加以计量和控制的,我们把它们统称为物理量。

尽管物理量的种类很多,但它们都可以通过几个彼此独立的基本量来表示。例如长度(单位为米),质量(单位为公斤),时间(单位为秒)等,而其他一些物理量可以用这些基本量来表示。如速度是路程和时间之比,可以由长度与时间导出,单位为米/秒,代号为 $m \cdot s$;我们把这种可以由基本量导出的量称为导出量。

基本量所用的单位称为基本单位,由基本单位导出的单位称为导出单位。

2. 几种常见的单位制 由于在计量各个物理量时,采用了不同的基本量,因而产生了不同的单位制度。在我国除了少数情况下,如市场上买卖东西还采用市制,工程上表示管径使用英制外,现在最常见的单位制有三种:

(1) 绝对单位制 以长度(单位为厘米,代号为 cm)、质量(单位为克,代号为 g)、时间(单位为秒,代号为 s)为基本量,通常以这三个基本量单位的英文字头而简称之为 cgs 制。由于厘米和克的量太小,故有时以米(代号为 m , $1 m = 10^2 cm$)、公斤(代号为 kg , $1 kg = 10^3 g$)和秒(s)为基本单位。以米(m)、公斤(kg)、秒(s)为基本量的单位制,又称为绝对实用单位制,或者称为 MKS 制。绝对单位制在自然科学领域里,尤其是一些早期的物化手册中广泛采用,所以又称之为物理单位制。

(2) 工程单位制 以长度(单位为米)、力(单位为公斤)、时间(单位为秒)为基本量。它是各种单位制中唯一不用质量,而把力作为基本量的制度。质量作为导出量可以根据 $力 = 质量 \times 重力加速度$ 导出其单位为 $公斤 \cdot 秒^2 / 米$ 。为了简化起见,我们用公斤(质)来表示工程单位制中的质量。

(3) 国际单位制 国际单位制是早在一九四八年就提出来的一种新的单位制。一九六〇年第十一届国际计量大会上正式通过为国际单位制,代号为 SI 。它以长度(单位为米,代号为 m)、质量(单位为千克或公斤,代号为 kg)、时间(单位为秒,代号为 s)、热力学温度(单位为开尔文,代号为 K)、物质的量(单位为摩尔,代号为 mol)、电流强度(单位为安培,代号为 A)、发光强度(单位为坎德拉,代号为 cd)为基本单位。在本课程中只用前面的五种。

国际单位制对一些导出单位的名称也作了专门的规定。例如:表示力的单位是 $kg \cdot m \cdot s^{-2}$,称为牛顿,代号为 N ;表示压强的单位是 N/m^2 ,称为帕斯卡,代号为 Pa ;表示能量的单位是 $kg \cdot m^2/s^2$,称为焦耳,代号为 J ,等等。为了使用的方便,它还规定了一套词冠来表示单位的倍数和分数。如 10^3 以 k (读作千)表示, 10^6 以 M (读作兆)表示, 10^{-3} 以 m (读作毫)表示,因而千分之一牛顿可写成 mN ,1千个牛顿可以写成 kN ,1千个焦耳可写成 kJ ,等等。

考虑到现有的一些单位使用起来比较方便和实用,虽不属于国际单位,但允许与国际单位并用,在本学科中使用的有日(代号为 d , $1 d = 86400s$)、小时(代号为 h , $1 h = 3600s$)、分(代号为 min , $1 min = 60s$)、升(代号为 l , $1 l = 10^{-3} m^3$)、吨(代号为 t ,

1 t = 10³ kg) 五种。此外, 标准大气压 (代号为 atm, 1 atm = 101325 Pa, 但实用中常近似地取为 1 atm = 101.3 kPa)、巴 (代号为 bar, 1 bar = 10⁵ Pa) 等, 也可以暂时与国际单位并用。

国际单位制其所以被采用作为国际上通用的一种单位制度, 是因为它具有许多方面的优点。这首先表现在它严格的统一性, 国际单位制包括了所有理论与应用科学的计量单位, 可以使科研、生产、文教、贸易及人民生活各个方面应用的计量单位都统一在一个单位制中, 这将大大有助于促进全世界科学技术、文化教育和经济的交流。此外, 还表现在它的简明实用, 每一个物理量只有一个单位, 数值的大小可以通过范围很广的词头表示, 不存在在其他单位制中一个物理量有许多种单位的混乱现象。例如在工程单位制中规定, 可以用来表示压强的单位有公斤 (力)/厘米²、公斤 (力)/米²、物理大气压、工程大气压、毫米汞柱、米水柱等许多种形式, 而 SI 制中就只有帕斯卡 (Pa)。工程单位制中表示热和功的单位分别为千卡和公斤·米, 它们之间又有一定的换算关系 (1 千卡 = 427 公斤·米), 而在国际单位制中, 所有能量一律以焦耳 (J) 表示。当然, 对于已经习惯于使用其他单位制的人来说, 在开始使用国际单位制时会有一种很不习惯的感觉, 但只要使用一段时间以后, 就会体会到使用国际单位制是比其他单位制更为方便的。

3. 工程单位制和 SI 制单位的换算 自从国际单位制正式颁发以来, 世界上一些工业先进的国家先后采用了 SI 制。例如英制发源地的英国, 自一九六五年开始就自愿向 SI 转换, 一九七五年主要的工业标准就已全部改为国际单位制。目前世界上绝大多数国家, 包括美、苏、法、德等国, 都已经采用或正在向采用 SI 制过渡, 国外出版的科技书籍和期刊, 早已全部采用国际单位制。

我国有关方面在一九六三年就开始抓 SI 制的推广工作, 国务院一九七八年十月成立了《中国国际单位制推行委员会》, 全面负责这一工作的实施; 一九八四年二月二十七日国务院发布命令, 明确规定在我国实行以 SI 为基础的法定计量单位, 要求在一九九〇年底以前各行各业要全面完成向法定计量单位的过渡。

鉴于二十多年来, 在工农业生产和工程技术界中, 一直广泛使用着工程单位制, 现在理化手册和科技资料中的数据还仍然主要是采用物理单位制, 因而在以后的有关章节中我们将介绍这些单位制之间的换算。这里将工程上最常用的一些物理量在工程单位制和 SI 之间的换算关系列表如下:

物 理 量	工 程 单 位 制	SI
质 量	1 公斤·秒 ² ·米	9.81 kg
密 度	1 公斤·秒 ² ·米 ⁴	9.81 kg·m ³
力	1 公斤	9.81 N
压 强	1 公斤/米 ²	9.81 Pa (N·m ⁻²)
功	1 公斤·米	9.81 J
功 率	1 公斤·米/秒	9.81 J/s = 9.81 × 10 ⁻³ kW
绝对粘度	1 公斤·秒/米 ²	9.81 Pa·s (N·s·m ⁻²)
温 度	0 °C	273 K
热 量	1 卡	4.2 J
	1 千卡	4.2 kJ
比 热	1 千卡/公斤·°C	4.2 kJ/kg·K
导热系数	1 千卡/米·秒·°C	4.2 kJ/m·s·K
传热系数	1 千卡/米 ² ·秒·°C	4.2 kJ/m ² ·s·K

例 0 2 已知 1 标准大气压 = 1.033 公斤/厘米², 试问 5 标准大气压等于多少 Pa?

解 从表中查得 1 公斤/厘米² = 9.81×10^4 Pa

$$5 \text{ 标准大气压} = 5 \times 1.033 \times 9.81 \times 10^4 = 50.67 \times 10^4 \text{ Pa}$$

例 0 3 一个发动机作了 36000 公斤·米的功, 问它相当于多少 kJ?

解 从表中查得 1 公斤·米 = 9.81 J

则 $36000 \text{ 公斤} \cdot \text{米} = 36000 \times 9.81 = 353.16 \text{ kJ}$

例 0 4 假定某房间的暖气片, 每小时向空气中传出 840 kJ 的热量, 试换算成工程单位表示的量。

解 从表中查得 1 千卡 = 4.2 kJ

则 $840 \text{ kJ} = \frac{840}{4.2} = 200 \text{ 千卡}$

例 0 5 已知工程单位制和 SI 制中下述物理量的换算关系如下: 1 公斤分子 = 1 kmol; 1 °C = 1 K。试将通用气体常数 $R = 0.822 \text{ 大气压} \cdot \text{米}^3 / \text{公斤分子} \cdot \text{°C}$ 换算成以 kJ/kmol·K 表示的量。

解 从例 0 2 中已知 1 大气压 = 1.033 公斤/厘米² = $1.033 \times 10^4 \text{ 公斤} / \text{米}^2$ 。

则 $R = 0.822 \text{ 大气压} \cdot \text{米}^3 / \text{公斤分子} \cdot \text{°C} = 0.822 \times 1.033 \times 10^4 \text{ 公斤} \cdot \text{米} / \text{公斤分子} \cdot \text{°C}$

从上述换算关系表中查得 1 公斤·米 = 9.81 J

则 $R = \frac{0.822 \times 1.033 \times 10^4 \times 9.81}{10^3} \text{ kJ} / \text{kmol} \cdot \text{K} = 8.31 \text{ kJ} / \text{kmol} \cdot \text{K}$

这一计算结果与手册上所载 $R = 8.314 \text{ kJ} / \text{kmol} \cdot \text{K}$ 极为接近, 但不完全相同, 这是由于计算上的误差所造成的。

复习参考题

1. 化工生产中有哪几个基本过程? 各包含哪些单元操作?
2. 试简单的说明物料衡算在化工生产中有什么意义?
3. 试简单的说明能量衡算在化工生产中有什么意义?
4. 举一个你熟悉的例子, 来说明平衡关系规定了过程的方向和极限。
5. 提高过程速率的途径是什么?
6. 列出常用的三种单位制的基本量和它的基本单位。
7. 简述国际单位制较之其他单位制的主要优点。

习 题

- 0 1 已知工程单位制中的功率单位 102 公斤·米/秒 = 1.36 马力, 问一台 40 马力柴油机的功率在 SI 制中为多少千瓦 (kW)?
- 0 2 一台起重机将质量为 10^3 公斤的物体升高了 4 米, 问钢丝绳对物体做了多少千焦耳 (kJ) 的功?
- 0 3 一段蒸汽管, 每小时向空气中散失热量 1400 千卡, 试换算成以 SI 表示的量。
- 0 4 质量为 30 kg 的物体从某一高度自由下落, 4 秒钟后到达地面, 假定空气对物体的阻力为零, 试求重力对物体做的功为多少 J?
- 0 5 已知 SI 制中 $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$, 试将 $R = 8.314 \text{ kJ} / \text{kmol} \cdot \text{K}$ 换算成以 atm·l/mol·K 表示的量。