



职业教育行业规划教材

职业教育改革创新教材

# 化工单元操作

沈晨阳◎主 编

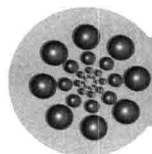
廖志君 吕晓莉◎副主编

郭跃红◎主 审

HUAGONG DANYUAN CAOZUO



化学工业出版社



职业教育行业规划教材

职业教育改革创新教材

# 化工单元操作

沈晨阳◎主 编

廖志君 吕晓莉◎副主编

郭跃红◎主 审



化学工业出版社

·北京·

本书是在当前职业教育“以工作过程为导向”的课改理念的指导下编写而成。全书内容包括：绪论、流体流动、流体输送机械、传热、精馏、吸收、干燥、萃取等常见单元操作。各章节主线为化学工程中常见单元的操作内容，其形式以实训项目予以展现，力求引导学生一步步地掌握化工操作技术人员的基本技能，并在此基础上辅以理论知识提升、加深理解。

本书可作为高职、中职化工类以及相关专业的教材，也可作为现代化工企业的培训教材，还可供化工生产技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

化工单元操作/沈晨阳主编. —北京: 化学工业出版社, 2013.6

职业教育行业规划教材 职业教育改革创新教材  
ISBN 978-7-122-17197-9

I. ①化… II. ①沈… III. ①化工单元操作-中等专业学校-教材 IV. ①TQ02

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第088136号

---

责任编辑: 旷英姿  
责任校对: 战河红

文字编辑: 林媛  
装帧设计: 尹琳琳

---

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)  
印 装: 化学工业出版社印刷厂  
787mm×1092mm 1/16 印张13<sup>3</sup>/<sub>4</sub> 字数325千字 2013年6月北京第1版第1次印刷

---

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899  
网 址: <http://www.cip.com.cn>  
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 26.00元

版权所有 违者必究



# 前言

化工单元操作是中等职业教育化学工艺专业的一门核心课程，也是学生进行化工操作必修的专业课程。本教材的编写依据是2008年上海市教育委员会颁布的中等职业教育化学工艺专业教学标准。

本教材较为显著的特点是引入了当前职业教育“以工作过程为导向”的课改理念，具体表现为：第一，全书以单元装置实践操作项目教学为主线，以工作任务为引领，着力培养学生实践操作能力；第二，以实用性、针对性理论知识为支撑，重点阐述单元操作过程、原理以及常用设备，服务于实践操作的教学；第三，理论与实践操作有机融合，便于实施理实一体化教学；第四，各单元尽可能引入了新技术、新工艺，拓展了学生的专业视野。另外，每个单元后设置有小练习，并附有二维码可以查到答案。

本书由上海石化工业学校沈晨阳主编，上海石化工业学校廖志君和济宁技师学院吕晓莉副主编，沈晨阳和廖志君负责最后统稿，新疆化学工业学校郭跃红担任主审。具体编写分工如下：绪论、吸收单元由廖志君和沈晨阳编写，流体流动及流体输送机械单元由上海石化工业学校周艳玲编写，传热单元由上海石化工业学校叶健和新疆化学工业学校库尔班江编写，萃取单元由吕晓莉和上海石化工业学校范晓宇编写，精馏和干燥单元由叶健和范晓宇编写。另外，在本书的编写过程中，上海石化股份公司、上海氯碱化工股份有限公司、德国拜耳（中国）公司、德国赢创（中国）公司等单位提供了大量的素材，上海石化工业学校章红、甘肃石化技师学院林玉波等对本书提出了许多宝贵的意见和建议，化学工业出版社也给予了鼎力支持，在此，一并致以衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

编者

2013年1月

# 目 录



## 0 绪论

- 0.1 化工过程与单元操作 /2
- 0.2 计量单位与单位换算 /5
- 0.3 物质的聚集状态 /7
- 0.4 理想气体与理想溶液 /9

## 1 流体流动

- 1.1 预备知识 /12
- 1.2 流体在管内流动形态的判断及测定 /18
- 1.3 流体内部机械能变化的观察及测定 /22
- 1.4 流体流动阻力（直管、局部）的认知及测定 /27
- 1.5 化工管路简介 /31

## 2 流体输送机械

- 2.1 预备知识 /42
- 2.2 离心泵的开停车 /43
- 2.3 旋转泵的开停车 /54
- 2.4 往复泵的开停车 /57
- 2.5 往复式压缩机的开停车 /61
- 2.6 水环式真空泵的开停车 /64
- 2.7 流体作用泵 /67

## 3 传热

- 3.1 预备知识 /70
- 3.2 认知传热装置的工艺流程 /76
- 3.3 传热装置的开停车 /82



# 目 录

3.4 换热器的切换 /88

## 4 精馏

- 4.1 预备知识 /92
- 4.2 认知精馏装置工艺流程 /97
- 4.3 精馏装置的开车准备 /103
- 4.4 精馏装置全回流开车 /107
- 4.5 精馏装置部分回流操作 /109
- 4.6 精馏塔异常现象的处理 /115
- 4.7 精馏装置的正常停车 /117

## 5 吸收

- 5.1 预备知识 /120
- 5.2 认知吸收-解吸实训装置的工艺流程 /124
- 5.3 吸收-解吸装置的开车准备 /133
- 5.4 吸收-解吸装置的正常开车 /135
- 5.5 吸收尾气浓度的控制 /138
- 5.6 吸收-解吸装置的正常停车 /141

## 6 干燥

- 6.1 预备知识 /144
- 6.2 认知流化干燥实训装置的工艺流程 /150
- 6.3 流化干燥装置的正常操作 /156

## 7 萃取

- 7.1 预备知识 /164

# 目 录



- 7.2 认知萃取装置的工艺流程 /167
- 7.3 填料萃取塔的开车准备 /174
- 7.4 填料萃取塔的正常操作 /176

## 附录

- 1. 常用构成十进倍数和分数单位的词头 /181
- 2. 国际单位制的基本单位 /181
- 3. 国际单位制中具有专门名称的导出单位 /181
- 4. 我国选定的非国际单位制单位 /182
- 5. 某些气体的重要物理性质 /182
- 6. 某些液体及水溶液的重要物理性质 /183
- 7. 干空气的物理性质 /184
- 8. 水的物理性质 /185
- 9. 饱和水蒸气表 (以温度为基准) /186
- 10. 饱和水蒸气表 (以压力为基准) /187
- 11. 常用固体材料的密度和质量热容 /189
- 12. 某些气体和蒸气的热导率 /190
- 13. 某些液体的热导率 /191
- 14. 某些固体的热导率 /192
- 15. 部分双组分混合液在 101.3kPa 下的汽-液平衡数据 /193
- 16. 实训记录表 /193
- 17. 酒精计示值与温度的体积分数换算表 /198
- 18. 实训装置流程图 /199

## 参考文献

# 0 绪论

化学工程以化学工业的生产过程为研究对象。一个化工过程通常包括许多步骤，一类以进行化学反应为主，另一类很重要的并不进行化学反应的步骤称之为单元操作。

本书的内容就是讨论比较重要且常用的一些单元操作。在绪论中，将对单元操作的特点、内容以及学习方法进行介绍，同时对学习本书所需的基础知识加以概述，以期对读者起到引导之作用。





## 0.1 化工过程与单元操作

### 0.1.1 化工过程

化学工程以化学工业的生产过程为研究对象。在化学工业中，对原料进行大规模的加工处理，使其不仅在状态与物理性质上发生变化，而且在化学性质上也发生变化，成为合乎要求的产品，该过程即为化学工业的生产过程，简称为化工过程。

一个化工过程通常包括许多步骤，原料在各步骤中依次通过若干个或若干组设备，经历各种方式的处理之后才能成为产品。由于不同的化学工业所用的原料与所得到的产品不同，因此各种化工过程的差别很大。

一般将化工过程所包含的步骤分为两类：一类以进行化学反应为主，通常在反应器内进行，由于所进行的化学反应不同，反应的机理相差很大，因此用于不同化学工业中的反应器有很大差别。例如用于合成氨的合成塔，用于裂解石油的裂解炉，用于聚合高分子化合物的反应釜等。此外还有一类步骤并不进行化学反应，例如白酒加工生产中进行的蒸馏操作；染料、纸张生产中必需的干燥操作；食盐生产过程中包含的流体输送、蒸发、结晶、离心分离等操作。常将此类操作步骤称为单元操作。

### 0.1.2 单元操作

#### 📖 单元操作的特点

- (1) 单元操作都是物理性操作，只改变物料的状态或者物理性质，并不改变化学性质。
- (2) 单元操作都是化工生产中共有的操作，只不过化工过程中所包含的单元操作数目、类型与排列顺序不同而已。
- (3) 用于不同化工过程的单元操作，其基本原理并无不同，操作的设备往往具有通用性。

#### 📖 单元操作研究的内容

本书的内容主要介绍一些比较重要且常用的单元操作。单元操作按其所根据的内在理论基础，一般可以分为三类：

- (1) 以动量传递理论为基础，包括流体输送、沉降、过滤、离心分离、搅拌、固体流态化等；
- (2) 以热量传递理论为基础，包括加热、冷却、蒸发等；
- (3) 以质量传递理论为基础，包括精馏、吸收、吸附、萃取、干燥、结晶、膜分离等。此类操作的目的一般是将混合物进行分离，故又常将此类操作称为分离过程。

#### 📖 学好单元操作的方法

一个合格的化工操作人员应能严格按照操作规程进行日常生产操作，使设备能正常进行

运转,同时通过理论课程的学习,能了解现行的生产过程与设备的基本原理,继而保障工艺流程畅通,使得生产装置安、稳、长、满、优的生产。

所有这些工作都要求对各单元操作有充分了解。单元操作是工程技术的一个分支,理论与实践紧密结合。对于中职生来说,不但要熟练掌握常用设备的操作技能,也要了解各单元操作的理论知识,二者不能有所偏废。

## 单元操作的基本概念

每种单元操作的原理及设备的计算都是以物料衡算、能量衡算、平衡关系和过程速率四个概念为依据的。下面简要介绍这几个基本概念。

### ● 物料衡算

物料衡算是以质量守恒定律为基础对物料平衡进行的计算。物料平衡是指“在单位时间内进入系统的全部物料质量,必定等于离开该系统的全部物料质量与积累起来的物料质量”,即:

$$\sum G_{in} = \sum G_{out} + G_o \quad (0-1)$$

式中,  $\sum G_{in}$  为进入系统的物料质量的总和, kg/h;  $\sum G_{out}$  为离开系统的物料质量的总和, kg/h;  $G_o$  为积累在体系中的物料质量, kg/h。

该式为总物料衡算式,既适用于连续操作,也适用于间歇操作。当过程中没有化学反应时,它也适用于物料中的任一组分的衡算;当有化学反应时,它只适用于任一元素的衡算。当连续操作达到稳定后,因无新的积累量,则  $G_o=0$ ,上式可以化简为

$$\sum G_{in} = \sum G_{out} \quad (0-2)$$

进行物料衡算时,首先画出过程示意图,在图上用箭头标出各物料流股的流向,并用符号及数字标明物料的量及组成,然后用虚线圈出衡算范围,进而确定衡算对象及衡算基准,把穿过衡算范围的物料流股逐项列出建立衡算式。对于间歇操作,常以一次操作为基准;对于连续操作,则常以单位时间为基准。下面通过例题加以说明。

【例0-1】使用两个连续操作的串联蒸发器浓缩KOH溶液。每小时有5t 15% (质量分数) KOH溶液进入第一个蒸发器,浓缩到25%后输送到第二个蒸发器,进一步浓缩成为48%的溶液而排出。试分别求出两个蒸发器每小时蒸发的水量及从第二个蒸发器送出的浓溶液量。

解 (1) 绘出过程示意图(图0-1)

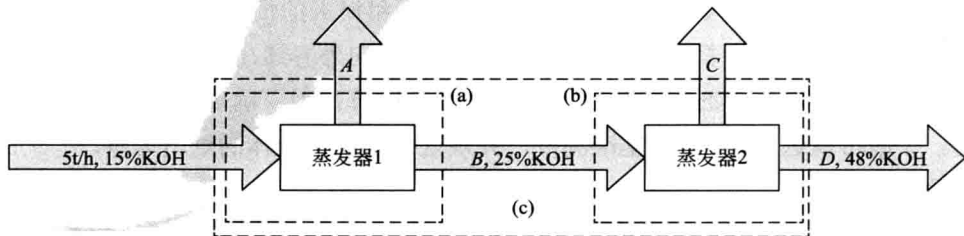


图0-1 例0-1的过程示意图

图中A表示在蒸发器1蒸发掉的水分,B表示送入蒸发器2的溶液量,C表示在蒸发器2中蒸发掉的水分,D表示从蒸发器2中送出的溶液量。

(2) 划定衡算范围

用一封闭的虚线来表示衡算范围。衡算范围一经确定,便可假想圈内部分与外界隔开。

箭头方向表示物料流股的方向，凡是穿越边界指向内部的，都属于进入系统的项；凡是穿越边界指向外部的，都属于离开系统的项。

(3) 规定衡算基准

对于虚线 (a) 进行衡算，以 1h 作为基准。

(4) 列出衡算式进行求解

总物料衡算： $5=A+B$

KOH 衡算： $5 \times 0.15=0+0.25B$

联立这两个式子，解得： $A=2\text{t/h}$ ， $B=3\text{t/h}$

用同样的方法，再对虚线 (b) 进行衡算，仍以 1h 作为基准，可得：

总物料衡算： $3=C+D$

KOH 衡算： $3 \times 0.25=0+0.48D$

联立这两个式子，解得： $C=1.438\text{t/h}$ ， $D=1.562\text{t/h}$

当然也可以对虚线 (c) 进行衡算，同样可求得相同的结果，请读者自行尝试完成。

由上例可知，通过物料衡算可确定过程中某些未知的物料量，为正确选择设备的尺寸提供重要的依据，也可以为能量衡算提供数据。如果实际操作中的物料量与理论计算不相符合，应找出原因，有针对性地采取改进生产操作、提高原料利用率的措施。

• 能量衡算

能量衡算为能量守恒定律在化工计算中的一种表现形式。化工生产中所需的能量主要以热能为主，用于改变物料的温度与聚集状态，或是提供反应所需的热量。若操作过程中有几种能量相互转化，则可以能量衡算确定其间的关系；若只涉及热能，则能量衡算可简化为热量衡算。在本课程中，能量衡算常为热量衡算，热量衡算式可以表示为

$$\sum Q_{in} = \sum Q_{out} + q \quad (0-3)$$

式中  $\sum Q_{in}$ ——输入该过程的物料所带入的总热量，W；

$\sum Q_{out}$ ——该过程的输出物料所带走的总热量，W；

$q$ ——该过程与环境交换的热量，当过程向环境散热时，取正值，外界向过程中加入热量时取负值，W。

通过热量衡算，可以了解在生产操作中热量利用和损失的情况，也可以运用热量衡算，在生产过程与设备的设计计算中，解决需从外界加入或向外界送出的热量的问题。进行热量衡算时，除了要如物料衡算时画出流程图示意图、划定衡算范围、确定衡算基准外，还要确定基准温度。一般可以选择  $0^{\circ}\text{C}$  作为基准温度，并规定该温度下液体的焓值为零。

• 平衡关系

任何物理和化学变化过程，都有一定的方向和极限。在一定条件下，过程的变换达到了极限，就可认为达到了平衡状态。例如：热量从高温物体传到低温物体直至两物体的温度相等为止；糖在一定温度下溶解于水中直至糖水达到饱和状态为止等。

任何一种平衡状态的建立都是有条件的。当条件改变时。原有平衡状态会破坏并发生移动，直至在新的条件下建立新的平衡。因而在生产中常用改变平衡条件的方法使平衡向有利于生产的方向移动。为了能有效地控制生产，对许多化工生产，应了解过程的平衡状态和平

衡条件的相互关系。这可以从生产过程的物系平衡关系来推知过程能否进行以及能进行到何种程度。平衡关系也为设备的设计提供理论依据。

### ● 过程速率

过程速率是指物理或化学变化过程在单位时间内的变化率。平衡关系只表现过程变化的极限，而过程速率则表明过程进行的快慢。在生产中，过程速率比平衡关系更为重要。如果一个过程可以进行，但速率十分缓慢，则该过程在生产中无使用价值。

在本课程中，常用单位时间内过程进行的变化量表示过程的速率。例如传热过程速率以单位时间传递的热量，或用单位时间单位面积传递的热量表示；又如传质过程速率以单位时间单位面积传递的质量表示。

过程进行的速率决定设备的生产能力，过程速率越大，设备生产能力也越大，或在同样产量时所需的设备尺寸越小。在工程上，过程速率问题往往比物系平衡问题显得更重要。过程速率是过程推动力与过程阻力的函数，可用如下基本关系表示：

$$\text{过程速率} = \text{过程推动力} / \text{过程阻力}$$

由此可见，过程推动力越大，过程阻力越小，则过程速率越大。

由于过程不同，推动力与阻力的内容也各不相同。通常，过程偏离平衡状态越远，则推动力越大；达到平衡时，推动力为零。例如，引起冷热物体间热量流动的推动力是两物体间的温度差，温度差越大，则传热速率越大，温度差等于零时，则两物体处于平衡状态，彼此间不会有热的流动。过程阻力较为复杂，将在之后的相关章节中进行介绍。

由上述可知，改变过程推动力或过程阻力即可改变过程速率。在学习各单元操作时，要注意分析影响推动力和阻力的各种因素，探求改进生产的措施。

## 0.2 计量单位与单位换算

### 0.2.1 计量单位

#### 📖 法定计量单位

法定计量单位是强制性的，各行业、各组织都必须遵照执行，从而确保单位的一致性。我国的法定计量单位是以国际单位制（SI）为基础并选用少数其他单位制的计量单位来组成的。

我国的法定计量单位包括：国际单位制的基本单位、国际单位制的辅助单位、国际单位制中具有专门名称的导出单位、国家选定的非国际单位制单位以及由以上单位构成的组合形式的单位、词头与以上单位所构成的十进倍数和分数单位。

#### ● 基本单位

国际单位制的基本单位共有7个，如图0-2所示。其中常用的有5个：长度单位米（m）、时间单位秒（s）、质量单位千克（kg）、温度单位开尔文（K）、物质的量单位摩尔（mol）。

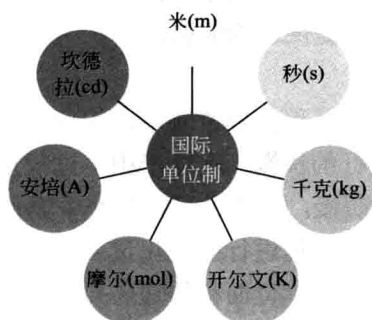


图0-2 国际单位制

## ● 辅助单位

在国际单位制中，平面角的单位（弧度）和立体角的单位（球面度）未归入基本单位或导出单位，而称为辅助单位。辅助单位既可以作为基本单位使用，又可作为导出单位使用。它们的定义如下：

弧度是一个圆内两条半径在圆周上所截取的弧长与半径相等时，它们所夹的平面角大小，用 rad 表示。

球面度是一个立体角，其顶点位于球心，而它在球面上所截取的面积等于以球半径为边长的正方形面积，用 sr 表示。

## ● 导出单位

在选定了基本单位和辅助单位之后，按物理量之间的关系，由基本单位和辅助单位以相乘或相除的形式所构成的单位称为导出单位。例如表示力的单位牛顿（N）以及表示压强的单位帕斯卡（Pa），用基本单位可以表示为：

$$1\text{N}=1\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$$

$$1\text{Pa}=1\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}^2)$$

其他更多导出单位不逐一列出，读者可以查阅相关的资料进一步了解。

## ● 国家选定的非国际单位制单位

除了以上所介绍的单位，我国还选定了一些非国际单位制单位作为我国法定单位制的补充。例如可用于表示时间的单位：天（d）、小时（h）、分（min）、秒（s）；用于表示平面角度的单位：[角]秒（″）、[角]分（′）、度（°）；用于表示质量的单位：吨（t）；用于表示体积的单位：升（L）等。其他选定的非国际单位制单位这里不再一一罗列。

## ● 词头

词头用于表示单位的倍数和分数，目前有 20 个词头。表 0-1 列出了常用的一些词头。

表 0-1 部分常用词头

词头	纳 (n)	微 (μ)	毫 (m)	厘 (c)	千 (k)	兆 (M)
意义	$10^{-9}$	$10^{-6}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^3$	$10^6$

词头使用时，只需将其置于单位前，例如毫米（mm）、千帕（kPa）等。

## 📖 工程制单位

在工业生产中，习惯上仍然使用一种工程制单位。工程制的基本单位为长度单位米

(m)、重量单位千克力(kgf)以及时间单位秒(s)。在工程制中,常将重量单位千克力(kgf)简称为千克(或称公斤),这与国际单位制中的质量单位千克(kg)容易混淆,因而在使用中要特别注意。

质量和重量(或力)是两个截然不同的概念。一个物体的质量是它所包含物质的多少,其值是固定的,而它的重量则为它所受地球吸引力(重力)的大小,随其距离地球的远近而变化。通常所谓的重量是指在地球表面附近的重量而言。

质量和重量的关系可以用牛顿第二力学定律来表示:

$$G=mg \quad (0-4)$$

式中  $G$ ——作用于物体上的重量, N;

$m$ ——物体的质量, kg;

$g$ ——物体在地面附近所受重力作用产生的加速度, 其值等于 $9.81\text{m/s}^2$ 。

于是容易得到kgf与kg之间的关系:

$$1\text{kgf}=9.81\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}^2)=9.81\text{N}$$

这也是国际单位制与工程制之间的换算桥梁。

## 0.2.2 单位换算

简单的单位换算关系可以查阅手册获得,本书在相关章节中也会列出。对于复杂的单位换算,通常可以将其拆分为几个简单的单位换算关系,运算后得到所需结果。下面通过一道例题来说明单位换算的方法。

【例0-2】一个标准大气压 $1\text{atm}$ 的压力等于 $1.033\text{kgf/cm}^2$ ,试将其换算成SI单位。

分别对单位kgf、cm进行换算,它们与SI单位的关系是:

$$1\text{kgf}=9.81\text{N}$$

$$1\text{cm}=10^{-2}\text{m}$$

于是:

$$1\text{atm}=1.033\text{kgf/cm}^2=1.033\times\frac{9.81\text{N}}{(10^{-2}\text{m})^2}=1.013\times 10^5\text{N/m}^2$$

上述方法的特点是将单位与数一起代入分别计算,对于单位换算不熟练者可以采用此种方法。

## 0.3 物质的聚集状态

### 0.3.1 相

通常所见的物质的聚集状态有三种:气态、液态和固态。在一个体系中,根据物质存在的形态和分布不同,可以将系统分为若干相。相是指在没有外力作用下,物理、化学性质以

及成分完全相同的均匀物质的聚集态。

所谓均匀是指其分散度达到分子或离子大小的数量级（直径小于 $10^{-9}\text{m}$ ）。相与相之间有明确的物理界面，超过此界面，一定有某宏观性质（如密度、组成等）发生突变。物质在压力、温度等外界条件不变的情况下，从一个相转变为另一个相的过程称为相变。相变过程也就是物质结构发生突然变化的过程。

例如，任何气体均能无限混合，所以系统内无论含有多少种气体都是一个相，称为气相；均匀的溶液也是一个相，称为液相；而浮在水面上的冰不论其质量多大，不论是一大块还是一小块，都认为是同一个相，称为固相。相的存在和物质的量的多少无关，可以连续存在，也可以不连续存在。

### 0.3.2 影响物质聚集状态的外部因素

物质受到温度、外界压力的影响，其聚集状态是可以被改变的。因此在描述某物质的物理性质时，必须指定其所处温度以及外压的条件，如没有特别说明，一般指常温常压下的情况。

#### 温度

温度是表示物体冷热程度的物理量，微观上可反映物体分子热运动的剧烈程度。用来量度物体温度数值的标尺叫温标，它规定了温度的读数起点（零点）和测量温度的基本单位。目前国际上用得较多的温标有华氏温标、摄氏温标、热力学温标。

三种温标之间的换算方法如下：

$$t = T - 273 \quad (0-5)$$

$$F = 1.8t + 32 \quad (0-6)$$

式中  $t$ ——摄氏温标， $^{\circ}\text{C}$ ；

$T$ ——热力学温标（又称开式温标）， $\text{K}$ ；

$F$ ——华氏温标， $^{\circ}\text{F}$ 。

#### 压强

压强是表示压力作用效果的物理量，其定义为物体单位面积上所受力的大小：

$$p = \frac{F}{A} \quad (0-7)$$

式中  $F$ ——压力， $\text{N}$ ；

$A$ ——压力作用的面积， $\text{m}^2$ ；

$p$ ——压强， $\text{Pa}$ 。

容易看出： $1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$ 。

在工程上，不至于混淆的前提下，习惯把压强称为压力，本书依照工程上的习惯，在不加特别说明的地方，压力皆指压强。

压强的常用单位有很多，例如千帕（ $\text{kPa}$ ）、兆帕（ $\text{MPa}$ ）、标准大气压（ $\text{atm}$ ）、工程大气压（ $\text{at}$ ）、公斤力（ $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ）、米水柱（ $\text{mH}_2\text{O}$ ）、毫米汞柱（ $\text{mmHg}$ ）以及巴（ $\text{bar}$ ）、毫巴

(mbar)。这些单位之间的换算关系如下

$$1\text{MPa}=10^3\text{kPa}=10^6\text{Pa}$$

$$1\text{atm}=1.013\times 10^5\text{Pa}=760\text{mmHg}=10.33\text{mH}_2\text{O}=1.033\text{at}=1.033\text{kgf/cm}^2$$

$$1\text{bar}=10^3\text{mbar}=10^5\text{Pa}$$

## 0.4 理想气体与理想溶液

### 0.4.1 理想气体

理想气体是一种分子本身不占有体积，分子之间没有作用力，实际不存在的假想气体。当温度不是很低或很高、压力不是很低或很高，或没有其他特殊条件时，一般气体均可视为理想气体。

理想气体遵循理想气体状态方程（又称克拉珀龙方程）：

$$pV=nRT \quad (0-8)$$

式中  $p$ ——压力，Pa；

$V$ ——气体体积， $\text{m}^3$ ；

$n$ ——物质的量，mol；

$T$ ——热力学温度，K；

$R$ ——通用气体常数，其值为 $8.314\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ 。

### 0.4.2 理想溶液

理想溶液是指体系中各组分的分子大小及作用力彼此相似，当一种组分的分子被另一种组分的分子取代时，没有能量的变化或空间结构的变化。换言之，即当各组分混合成溶液时，没有热效应和体积变化的这样一类溶液。

一般溶液大多不具有理想溶液的性质，但是因为理想溶液所服从的规律较简单，并且实际上，许多溶液在一定的浓度区间的某些性质常表现得很像理想溶液，因而引入理想溶液的概念，不仅在理论上价值，而且也有实际意义。在以后的章节中可以看到，只要对从理想溶液所得到的公式作一些修正，就能用于实际溶液。

#### 小练习

（下列练习题中，第1～4题为简答题，第5题为填空题，第6、7题为计算题）

1. 化工过程中包含的步骤有哪几类？
2. 单元操作有哪些特点，研究的内容有哪些？
3. 国际单位制中的基本单位有哪些？
4. 若测得某溶液温度为 $145^\circ\text{F}$ ，则其对应的热力学温度为多少？



5. 试按要求换算压强单位：

$0.3\text{bar} = \underline{\hspace{2cm}}\text{kPa}$ ；

$700\text{mmHg} = \underline{\hspace{2cm}}\text{kgf/cm}^2$ ；

$9.5\text{mH}_2\text{O} = \underline{\hspace{2cm}}\text{atm}$ 。

6. 试求在  $101.3\text{kPa}$ 、 $20^\circ\text{C}$  的条件下， $1\text{mol}$  空气的体积为多大？

7. 湿物料原来含水  $16\%$ （质量分数，下同），在干燥器中干燥至含水  $0.8\%$ 。试求每吨物料干燥出的水量。

扫一扫看答案

