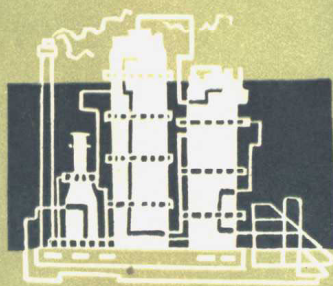


# 基础化学工程

(上册)

《基础化学工程》编写组



上海科学技术出版社

# 基础化学工程

上册

《基础化学工程》编写组

上海科学技术出版社

**基 础 化 学 工 程**

**上 册**

《基础化学工程》编写组

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 上海中华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 23 字数 549,000

1978年1月第1版 1982年10月第4次印刷

印数 86,001—96,500

书号: 15119-1914 定价: 1.65元

## 编 者 的 话

《基础化学工程》分上、中、下三册出版。上册包括绪论、流体流动、流体输送机械、传热和蒸发。中册包括气体吸收、液体精馏、塔设备和液-液萃取。下册包括气固分离、液固分离、流化床反应器、固体干燥、液体搅拌、电子计算机在化工计算中的应用举例,以及化学工程的若干问题。

参加本书编写人员为:黄圣惠、江体乾、袁渭康、吴俊生、黄颂安、孙象兴。张寿柏同志参加了校阅工作。

在本书编写过程中,曾得到不少工厂、设计和研究单位,以及兄弟院校的大力支持和帮助,谨此表示感谢。

本书可供化工院校各专业教学参考之用;也可供化工厂、设计及研究单位的技术人员参考。

由于我们的业务水平不高,实践经验不多,书中缺点和错误在所难免,希望广大读者批评指正。

《基础化学工程》编写组

1979. 12.

# 目 录

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 绪 论 .....                 | 1  |
| 第一章 流体流动 .....            | 7  |
| 第一节 管径的选择 .....           | 8  |
| 一、流体的重度、密度、比重和比容 .....    | 8  |
| 二、流量和流速 .....             | 11 |
| 三、管径的选择 .....             | 12 |
| 第二节 流体的压强及其测量 .....       | 14 |
| 一、压强的定义及单位 .....          | 14 |
| 二、压强的表示方式 .....           | 15 |
| 三、测压仪表 .....              | 16 |
| 四、测压注意事项 .....            | 20 |
| 第三节 流体流动过程中的物料和能量衡算 ..... | 22 |
| 一、稳定流动和不稳定流动 .....        | 22 |
| 二、流体作稳定流动时的物料衡算 .....     | 22 |
| 三、流体作稳定流动时的能量衡算 .....     | 23 |
| 四、能量衡算方程的应用 .....         | 29 |
| 第四节 流体的阻力 .....           | 35 |
| 一、流体阻力产生的原因及其影响因素 .....   | 36 |
| 二、粘度 .....                | 36 |
| 三、流体流动型态 .....            | 39 |
| 四、当量直径与水力半径 .....         | 41 |
| 五、流体在圆管中的速度分布 .....       | 42 |
| 六、边界层的形成、发展及分离 .....      | 46 |
| 七、流体阻力的计算 .....           | 49 |
| 八、直管阻力的计算 .....           | 49 |
| 九、管壁粗糙度及其对摩擦系数的影响 .....   | 51 |
| 十、滞流时的摩擦系数 .....          | 52 |
| 十一、湍流时的摩擦系数 .....         | 53 |
| 十二、局部阻力的计算 .....          | 57 |
| 十三、减低流体阻力的途径 .....        | 63 |
| 第五节 管路的计算和布置 .....        | 65 |
| 一、简单管路的计算 .....           | 65 |
| 二、串联管路和并联管路的计算 .....      | 70 |
| 三、管路布置和安装的一般原则 .....      | 74 |
| 第六节 流量的测量 .....           | 76 |
| 一、测速管 .....               | 76 |
| 二、孔板流量计 .....             | 78 |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 三、喷嘴流量计和文氏流量计 .....            | 81         |
| 四、转子流量计 .....                  | 83         |
| 五、靶式流量计 .....                  | 87         |
| <b>第二章 流体输送机械</b> .....        | <b>92</b>  |
| <b>第一节 化工用离心泵</b> .....        | <b>92</b>  |
| 一、作用原理及结构 .....                | 92         |
| 二、主要零部件结构 .....                | 93         |
| 三、主要性能参数 .....                 | 96         |
| 四、特性曲线 .....                   | 99         |
| 五、特性曲线的换算 .....                | 101        |
| 六、吸入真空高度及汽蚀现象 .....            | 103        |
| 七、离心泵的工作点及流量调节 .....           | 106        |
| 八、离心泵的并联与串联操作 .....            | 108        |
| 九、化工厂常用离心泵的类型与型号 .....         | 110        |
| 十、离心泵的选用 .....                 | 114        |
| 十一、旋涡泵 .....                   | 116        |
| <b>第二节 化工用其他类型泵</b> .....      | <b>118</b> |
| 一、往复泵 .....                    | 118        |
| 二、旋转泵 .....                    | 123        |
| 三、流体作用泵 .....                  | 124        |
| <b>第三节 各种化工用泵的比较</b> .....     | <b>124</b> |
| <b>第四节 气体压缩和输送机械</b> .....     | <b>126</b> |
| 一、通风机 .....                    | 126        |
| 二、鼓风机 .....                    | 130        |
| 三、压缩机 .....                    | 132        |
| <b>第五节 化工厂用真空泵</b> .....       | <b>137</b> |
| 一、往复式真空泵 .....                 | 137        |
| 二、旋转式真空泵 .....                 | 137        |
| 三、蒸汽喷射泵 .....                  | 139        |
| 四、水喷射真空泵 .....                 | 140        |
| 五、真空泵的选型和计算 .....              | 140        |
| <b>第三章 传热</b> .....            | <b>145</b> |
| <b>第一节 概述</b> .....            | <b>145</b> |
| 一、化工生产中的传热问题 .....             | 145        |
| 二、换热器及换热过程中的基本问题 .....         | 145        |
| <b>第二节 传热面积的计算</b> .....       | <b>148</b> |
| 一、热负荷——工艺对换热能力的要求 .....        | 148        |
| 二、传热温度差 .....                  | 149        |
| 三、传热系数 $K$ .....               | 157        |
| 四、热传导 .....                    | 159        |
| 五、对流传热 .....                   | 166        |
| <b>第三节 列管换热器的结构和设计计算</b> ..... | <b>185</b> |

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 一、列管换热器的基本结构型式    | 185 |
| 二、列管换热器设计中的几个基本问题 | 187 |
| 三、列管换热器设计的基本步骤    | 195 |
| 四、列管换热器设计和选用实例    | 200 |
| 五、流体有相变化的换热器      | 206 |
| 六、列管换热器的热损失       | 213 |
| 第四节 其他常用换热器       | 220 |
| 一、套管式换热器          | 220 |
| 二、蛇管式换热器          | 221 |
| 三、夹套式换热器          | 224 |
| 四、翅片管式换热器         | 226 |
| 五、螺旋板式换热器         | 227 |
| 六、石墨换热器           | 231 |
| 第五节 传热强化途径和新型换热器  | 232 |
| 一、传热强化途径          | 232 |
| 二、新型换热器介绍         | 234 |
| 第六节 设计参考资料        | 239 |
| 一、载热体             | 239 |
| 二、疏水器             | 240 |
| 三、立式热虹吸式重沸器       | 242 |
| 四、冷凝器的计算          | 259 |
| 第四章 蒸发            | 270 |
| 第一节 概述            | 270 |
| 一、蒸发及其在工业上的应用     | 270 |
| 二、多效蒸发操作的流程       | 271 |
| 三、蒸发器的生产能力        | 273 |
| 四、蒸发器的生产强度及其影响因素  | 275 |
| 第二节 蒸发器的型式及应用     | 276 |
| 一、自然循环蒸发器         | 276 |
| 二、强制循环蒸发器         | 279 |
| 三、膜式蒸发器           | 279 |
| 四、浸没燃烧蒸发器         | 284 |
| 五、蒸发器的选型          | 285 |
| 六、蒸发器的改进          | 287 |
| 第三节 蒸发器的计算        | 287 |
| 一、蒸发水量的计算         | 288 |
| 二、加热蒸汽消耗量的计算      | 290 |
| 三、蒸发器所需传热面积的计算    | 293 |
| 四、多效蒸发器效数的限度和生产能力 | 305 |
| 五、蒸发器设计举例         | 306 |
| 第四节 蒸发辅助设备        | 312 |
| 一、汽液分离器(捕沫器)      | 312 |
| 二、混合冷凝器           | 313 |
| 第五节 设计参考资料        | 313 |

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| 一、混合冷凝器的设计计算                               | 313 |
| 二、水喷射冷凝器及水喷射真空泵的设计计算                       | 317 |
| 附录                                         | 324 |
| 一、单位换算                                     | 324 |
| 二、几种通用常数                                   | 329 |
| 三、某些液体的重要物理性质                              | 330 |
| 四、干空气的物理性质( $P=760$ [毫米汞柱])                | 332 |
| 五、某些气体的重要物理性质                              | 333 |
| 六、水的物理性质                                   | 334 |
| 七、水在不同温度下的粘度                               | 335 |
| 八、水的饱和蒸汽压( $-20\sim 100[^\circ\text{C}]$ ) | 336 |
| 九、饱和水蒸汽表(以温度为准)                            | 337 |
| 十、饱和水蒸汽表(以压强为准)                            | 338 |
| 十一、液体粘度列线图                                 | 340 |
| 十二、气体粘度列线图(常压下用)                           | 342 |
| 十三、液体比热列线图                                 | 343 |
| 十四、气体比热列线图(常压下用)                           | 345 |
| 十五、液体汽化潜热列线图                               | 346 |
| 十六、常用固体材料的重要性质                             | 347 |
| 十七、管内各种流体常用流速                              | 348 |
| 十八、管子规格                                    | 349 |
| 十九、泵规格                                     | 351 |
| 二十、离心通风机规格                                 | 354 |
| 二十一、管壳式热交换器系列标准                            | 356 |
| 二十二、冷凝器规格                                  | 358 |
| 二十三、蒸汽被复校正系数计算图                            | 360 |

# 绪 论

## 一

化学工程是工程技术的一个分支,是探讨化工生产装置中所进行过程的规律性,并根据对这些规律性的认识来解决化工生产中的工程问题,例如,实验工作的组织,过程的工程放大,设备的化工设计及操作等等。它对于化工生产的发展起着重要的作用。在有关各工业部门,如化学、石油及天然气加工、冶金、食品、造纸、海水综合利用及原子能等工业中,亦占有重要地位。

化学工程是人们在长期生产斗争和科学实验中的总结。它的发展过程表明:生产实践是认识发展的基本来源。只有用辩证唯物论的认识论来认识自然,改造自然,才能促进科学技术的发展。

“中国是世界文明发达最早的国家之一”,古代劳动人民在长期的生产实践中,在科学技术和化学工艺方面有着无数的发明创造,对于我国社会的发展和世界文明,曾作出了卓越的贡献。如陶瓷、冶金、火药、燃料(煤、石油、天然气)、酿酒、染色、造纸、无机盐和炼丹术等,一直到西方出现资本主义以前,都走在世界前列。近代许多化工生产正是在古代化学工艺的基础上发展起来的。

伟大革命导师马克思在谈到近代化学工业形成时曾指出:“一个工业部门生产方式的变革,必定引起其他部门生产方式的变革。……因此,有了机器纺纱,就必须有机器织布,而这两者又使漂白业、印花业和染色业必须进行力学和化学革命。”(《资本论》第一卷)古代的生产方式,已不能适应蓬勃发展的纺织业、印染业的需要。十八世纪末出现了以食盐为原料制造纯碱的新工艺,由此也带动了硫酸、漂白粉等工业的生产,纯碱、硫酸等无机工业便成为近代化学工业的开端。随着钢铁工业的发展,在炼焦的过程中,又产生了恶臭的副产品——煤焦油,成为当时难以处理的“废物”。经过人们长期变革物质的实践,根据古代蒸馏酒类似的原理,把煤焦油经过一系列的蒸馏操作,就在这个“废物”里分离出苯、甲苯、酚、萘、蒽等多种有机化工原料,为合成染料、药品提供了原料,大大推动了染料、医药工业的发展,原来的“废物”竟变成了今天的至宝。值得提出的是,这些生产过程中应用了煅烧、吸收、蒸馏、萃取、过滤、结晶、干燥等操作,为后来化学工程的形成和发展奠定了基础。

## 二

化学工程是怎样描述生产装置中所进行过程的规律性呢?它常运用“物料衡算”、“能量衡算”、“平衡关系”及“过程速率”等概念来反映物料的变化规律,而每一个概念都是从长期的生产斗争和科学实验中总结出来的,它是现实的模型,也是自然科学中一些基本规律在化学工程中的具体应用。但是,在阶级社会里,当人们把长期化工生产斗争和科学实验中大量材料概括、整理而上升为理论和概念时,必然打上一定阶级的世界观的烙印,唯物论与唯心论,辩证法和形而上学的斗争,必然要反映到化学工程中来。所以,在开始学习本书时,对于

反映化学工程中各种过程一般的、本质的概念,应当有一个基本的认识。

辩证唯物论认为:世界是物质的,物质是运动的。化工生产中所处理的物料,包括原料、中间体及产品,都是物质的具体形态,都是不依赖于我们感觉而存在着的客观实在。它们是相互联系和不断地转化的,物料在运动的过程中,经常是两相或三相共存。物质从一相转移到另一相,同时,进行着能量的交换和物质的传递。在一定条件下伴随着化学反应的发生,旧的化合物消失了,又生成了新的物质,一切皆流,一切皆变。拿什么去计量它们呢?质量守恒定律在这里得到了具体应用,这就是上面所说的“物料衡算”。它说明,凡引入某设备或整个装置中进行操作的物料重量,必须等于操作后所得产品的重量。但事实上,在实际的制造过程中物料不可避免有损失,亦即输出的量较输入的量少,其差额即为物料的损失。物料衡算对于设备的设计和生产过程的正确进行具有重要的现实意义。在设计新的生产过程中,物料衡算可以帮助我们正确地选择过程的流程及设备的大小;在实际操作中,物料衡算可以揭示物料的浪费和设备操作的正常情况及生产的完善程度,从而可以订出改进方案,做到既经济又合理。

质量守恒定律是从物质运动的这一角度来反映自然界中物质不灭的一条定律。但是,由于“物体的属性只有在运动中才显示出来”,(《自然辩证法》)运动是物质内在的根本的属性,是物质存在的基本形式。所以,化工生产上所碰到的物质运动形式亦有各种各样。如机械运动、热运动、化学运动等,人们经过长期变革物质的实践认识到,“运动和物质本身一样,是既不能创造也不能毁灭的,……只能转移。”(《反杜林论》)这种认识在自然科学上概括为另一个基本定律,伟大革命导师恩格斯赋予这一定律一个科学的完整的名称——能量守恒和转化定律。他高度评价能量守恒和转化定律,指出:“如果说,新发现的、伟大的运动基本规律,十年前还仅仅概括为能量守恒定律,仅仅概括为运动不生不灭这种表述,就是说,仅仅从量的方面概括它,那末,这种狭隘的、消极的表述日益被那种关于能的转化的积极的表述所代替,在这里过程的质的内容第一次获得了自己的权利。”(《反杜林论》)恩格斯把它和进化论、细胞理论并列,称为揭示了自然界辩证发展过程的十九世纪的三大发现。这一定律的发现有力地打击了唯心主义和形而上学的自然观,为马克思主义哲学的诞生提供了重要的自然科学基础。

因此,研究生产装置中物料的各种运动形式的相互转化是化学工程的重要内容。人们经常用各种“能”来表示各种不同的运动。这里所说的“能”就是物质的运动。“能”实际上是对物质千变万化的运动的总概括。能量是物质运动的表现,是物质运动的一般度量。物质运动的不同形式可以用不同的能量来表达。在本书中,首先遇到的是机械能与热能的相互转化。例如,流体作稳定流动时的能量衡算,就是转化定律的具体应用。不仅机械运动和热运动,一切物理运动和化学运动都可以在一定条件下相互转化,在转化中运动的量不会消失。因此,生产装置中物料的运动,都可归结为各种运动形式相互转化的过程。所以,“能量衡算”是化学工程中又一基本概念。我们运用它,在生产过程与设备设计时,可以揭示热量是否需要外界引入或向外界输出。在生产操作中,帮助选择操作条件和检验能量消耗程度,制定既经济又合理的能量消耗方案等等。

人们在认识物质时离不开物质的运动,运动是普遍的,绝对的,“任何静止、任何平衡都只是相对的,只有对这种或那种确定的运动形式来说才是有意义的。”(《反杜林论》)所以,要描述运动,就要把现实的运动加以分析和解剖,要看到绝对运动中的静止。否则,世界就成了

瞬息万变,无从捉摸的东西。为了描述引入设备或整个装置中物料的运动,化学工程一开始就抓住了物料稳定的、静止的一面。因为运动和静止是相互联系的,而且,“运动应当从它的反面即从静止找到它的量度”。(《反杜林论》)例如,流体流动的压强差,热量传递的温度差,扩散过程的浓度差,均反映了过程进行的一定方向,由不平衡趋向于平衡。然而,它是在很小的局部和很有限的时间,某些相互影响暂时忽略不计的条件下,出现的近似的平衡。由于这些平衡关系在生产上具有一定的实际意义,它揭示过程进行的方向和限度,能为设备尺寸的设计提供依据。从哲学上看,它是“个别的运动趋向于平衡”(《反杜林论》)这一哲学原理在自然科学中的具体表现。自然界的无限发展,物质运动的永恒循环,正是体现于无数的这些具有一定方向的具体过程之中;如果脱离这些过程,它们将失去意义。但它们也决不是单一的自发过程所能包括无遗的,就整个自然界来说,一切事物是互相联系、互相作用、互相转化的,个别运动趋向平衡的同时,又为破坏其平衡和促使其他过程的进行创造条件。所以,平衡只是相对的和暂时的,不平衡则是绝对的。“个别的运动趋向于平衡,总的运动又破坏平衡”,(《反杜林论》)根本不存在什么绝对的平衡,永久的平衡。

在生产实践中,过程速率较平衡更具有现实意义。一般地讲,总希望过程速率快些,时间就能节省,从而提高设备的生产能力。由于化学运动并非孤立地产生,它远比机械运动、物理运动更为复杂,何况各种运动形式又互有关系,相互渗透,相互转化。要把一切影响过程速率的规律都找出来确有困难,有些尚不清楚。目前,通常还是采用归纳法来概括这类问题,即把过程速率归纳为:

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

这里的“力”不拘泥于力学中的含义,这里的过程推动力可具体理解为流体的压强差、温度差、浓度差,它是自发过程有利于趋向平衡因素的总概括。至于过程阻力则更为复杂,具体情况应作具体分析。总之,“世界上的一切归纳法都永远不能把归纳过程弄清楚。只有对这个过程的分析才能做到这一点。”(《自然辩证法》)

人们借助“物料衡算”、“能量衡算”、“平衡关系”和“过程速率”等基本概念,来认识化学工程中各种过程一般的、本质的特征。但是,化学工程目前尚处在从经验到科学的过渡,我们经常遇到理论上的困难。伟大革命导师恩格斯指出:“只有辩证法能够帮助自然科学战胜理论困难”。(《自然辩证法》)在学习化学工程的过程中,我们一定要坚持自觉地运用辩证唯物主义观点去观察一切、分析一切。

### 三

化学工程是从化工生产工艺中概括出来的,反映人的认识由特殊到一般的过程。但对人们整个认识来说,并没有完结,还须再由一般回到特殊的过程。在生产实践和科学实验的活动中,我们首先接触和处理的通常都是事物的特殊性,它是认识的基础,通过它可以更好的掌握一般规律。但是,认识一般规律不是我们学习的最终目的,我们认识一般规律的主要目的,为的是“拿了这种对于客观规律性的认识去能动地改造世界。”所以,对于本书的学习与讨论必须紧密联系生产实际,努力做到教育为无产阶级政治服务,同生产劳动相结合。在弄通基本概念与原理的条件下,要把精力集中在培养分析问题和解决问题的能力上,沿着毛主席指引的又红又专的道路大踏步前进。

• • •

## 物理量的因次与单位制

凡参与生产过程的物料都具有各种各样的物理性质,如粘度、密度、导热系数等,而且还需用各种不同的参变数;如温度、压强、速度等来表示过程的特征。尽管这些物理量种类繁多、各不相同,但都可以通过几个彼此独立的基本量来表示其性质。常用的基本量如长度 $[L]$ 、力 $[F]$ 或质量 $[M]$ 、时间 $[T]$ 和温度 $[\theta]$ 等。其他物理量都可以通过既定的物理关系与基本量联系起来。所以,这些物理量又称为导出量。例如,在绝对单位制中已选定长度 $[L]$ 、质量 $[M]$ 和时间 $[T]$ 作为基本量,而其他导出量都可以按下列形式表示出来:

$$[Q] = L^{\alpha} M^{\beta} T^{\gamma}$$

此式称为物理量 $Q$ 的因次(或量纲)式; $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 称为因次(或量纲),它们可以为任意有理数。

因次式显明地表示导出量与基本量之间的关系,阐明了物理量的特性。它对于单位换算、校验计算结果的正确性,具有实际的意义。因次的一致原则,即物理方程等号两边各项对应的因次必须相等,是整理化工实验数据常用方法之一。这个方法称为因次分析,在本书中将会用到。

人类自从学会使用劳动工具自发地改造自然界时就开始了计量工作,在长期的生产斗争和科学实验中,为了度量物理量的大小,创造出多种单位制度。我们伟大的祖国具有悠久的历史。在四千多年前已经开始建立了科学的计量制度,统一度量衡,奠定了我国两千年来所沿用的度量衡制度,有利于社会生产和科学技术的发展,是古代科学技术的一大进步。

新中国成立后,在毛主席无产阶级革命路线的指引下,1959年我国政府正式确定公制为我国的基本计量制度,逐步取消了英制和旧有杂制,有力地促进了我国社会主义经济建设和科学技术的发展。

单位制是基本单位与导出单位的总和。所谓基本单位即基本量的单位,通过基本量而导出的单位为导出单位。公制(或称米制)中又分绝对单位制和工程单位制(重力单位制)。常用的绝对单位制有两种:

(1) 厘米·克·秒制(简称CGS制),又称物理单位制。在此制中,长度单位是[厘米],质量单位是[克],时间单位是[秒],其他物理量的单位可以通过物理或力学的定律,由这些基本量导出。比如,力的单位由牛顿第二定律:  $F=ma$  导出,其单位为[克·厘米/秒<sup>2</sup>],称为[达因]。在科学实验和物化数据手册中常用此制。

(2) 米·公斤·秒制(简称MKS制),又称绝对实用单位制。在此制中,长度单位是[米],质量单位是[公斤],时间单位是[秒]。同理,其他物理量单位均由这三个基本量导出。比如,力的单位是[公斤·米/秒<sup>2</sup>],称为[牛顿]。

但是,在工农业生产和工程实际中,经常需要考虑物料的重量和所受的力,而且物料的质量一般都是通过它的重量来测定的。因此,选择力作为基本量就比较方便。这种单位制称为工程单位制(或重力单位制)。此制中长度单位是[米],力的单位是[公斤力],通常简写为[公斤],时间单位是[秒]。这样,质量就变为导出量。本书在运算中一律采用工程单位制。为区别起见,当[公斤]作为质量单位时,则用[公斤(质)]表示。工程单位制中力的单位

[公斤]是这样规定的,它相当于在真空中以 MKS 制量度的 1 [公斤] 质量的物体,在重力加速度为  $9.80665$  [米/秒<sup>2</sup>] 处所受的重力。所以重量与质量间的联系可根据牛顿第二定律:  $F=ma$  导出:

$$1[\text{公斤}] = 1[\text{公斤(质)}] \times 9.81[\text{米/秒}^2] = 9.81[\text{公斤(质)} \cdot \text{米/秒}^2] = 9.81[\text{牛顿}] = 1000[\text{克(质)}] \times 9.81 \times 100[\text{厘米/秒}^2] = 981000[\text{克(质)} \cdot \text{厘米/秒}^2] = 981000[\text{达因}]$$

由此可见,在绝对单位制中质量为一公斤的物体,其在工程(或重力)单位制中的重量亦为一公斤;但在任何同一单位制中 1 [公斤] 并不等于 1 [公斤(质)]。因此,在本书的运算过程中,均已将 [公斤(质)] 的单位换算为工程单位的表达形式。

国际单位制(简称 SI)是一种新的计量制度,它是米制发展的现代形式。原来的米制实际上是多种单位并用,例如一个压强单位就有: [公斤/厘米<sup>2</sup>]、[克/厘米<sup>2</sup>]、[公斤/米<sup>2</sup>]、标准大气压、[毫米汞柱]、[巴]、[达因/厘米<sup>2</sup>] 等等。为了消除这些混乱,国际计量局吸取米制的优点,制定了国际单位制,只用一个“帕斯卡”[牛顿/米<sup>2</sup>] 代替上述所有的压强单位。目前,此单位制在我国及一些国家中正在被逐步推广采用。

各单位制总结如下页表。

一些物理量的单位与因次

| 物理量名称 | 公制单位                                        |                                           |                        |                                      | SI制单位                |                      |                   |
|-------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------|
|       | 绝对单位                                        | 单位制                                       | 因次式                    | 工程单位制                                |                      | 名称                   | 代号                |
|       |                                             |                                           |                        | 单位                                   | 因次式                  |                      |                   |
| 长度    | [厘米]                                        | [米]                                       | $L$                    | [米]                                  | $L$                  | [米]                  | m                 |
| 质量    | [克]                                         | [公斤]                                      | $M$                    | [公斤·秒 <sup>2</sup> /米]               | $FT^2L^{-1}$         | [千克]                 | kg                |
| 力     | [克·厘米/秒 <sup>2</sup> ]或[达因]                 | [公斤·米/秒 <sup>2</sup> ]或[牛顿]               | $MLT^{-2}$             | [公斤]                                 | $F$                  | [牛顿]                 | N                 |
| 时间    | [秒]                                         | [秒]                                       | $T$                    | [秒]                                  | $T$                  | [秒]                  | s                 |
| 速度    | [厘米/秒]                                      | [米/秒]                                     | $LT^{-1}$              | [米/秒]                                | $LT^{-1}$            | [米/秒]                | m/s               |
| 加速度   | [厘米/秒 <sup>2</sup> ]                        | [米/秒 <sup>2</sup> ]                       | $LT^{-2}$              | [米/秒 <sup>2</sup> ]                  | $LT^{-2}$            | [米/秒 <sup>2</sup> ]  | m/s <sup>2</sup>  |
| 功     | [克·厘米 <sup>2</sup> /秒 <sup>2</sup> ]或[尔格]   | [公斤·米 <sup>2</sup> /秒 <sup>2</sup> ]或[焦耳] | $L^2MT^{-2}$           | [公斤·米]                               | $LF$                 | [焦耳]                 | J                 |
| 功率    | [克·厘米 <sup>2</sup> /秒 <sup>3</sup> ]或[尔格/秒] | [公斤·米 <sup>2</sup> /秒 <sup>3</sup> ]或[瓦特] | $L^2MT^{-3}$           | [公斤·米/秒]                             | $LEFT^{-1}$          | [瓦特]                 | W                 |
| 压强    | [克/厘米·秒 <sup>2</sup> ]或[巴]                  | [公斤/米·秒 <sup>2</sup> ]                    | $L^{-1}MT^{-2}$        | [公斤/米 <sup>2</sup> ]                 | $L^{-2}F$            | [帕斯卡]                | Pa                |
| 密度    | [克/厘米 <sup>3</sup> ]                        | [公斤/米 <sup>3</sup> ]                      | $L^{-3}M$              | [公斤·秒 <sup>2</sup> /米 <sup>4</sup> ] | $FT^2L^{-4}$         | [千克/米 <sup>3</sup> ] | kg/m <sup>3</sup> |
| 粘度    | [克/厘米·秒]或[泊]                                | [公斤/米·秒]                                  | $ML^{-1}T^{-1}$        | [公斤·秒/米 <sup>2</sup> ]               | $FTL^{-2}$           | [帕斯卡·秒]              | Pa·s              |
| 表面张力  | [达因/厘米]                                     | [牛顿/米]                                    | $MT^{-2}$              | [公斤/米]                               | $FL^{-1}$            | [牛顿/米]               | N/m               |
| 扩散系数  | [厘米 <sup>2</sup> /秒]                        | [米 <sup>2</sup> /秒]                       | $L^2T^{-1}$            | [米 <sup>2</sup> /秒]                  | $L^2T^{-1}$          | [米 <sup>2</sup> /秒]  | m <sup>2</sup> /s |
| 温度    | [°C]                                        | [°C]                                      | $\theta$               | [°C]                                 | $\theta$             | [开尔文]                | K                 |
| 热     | [卡]                                         | [千卡]                                      | $L^2MT^{-2}$           | [千卡]                                 | $LF$                 | [焦耳]                 | J                 |
| 比热    | [卡/克·°C]                                    | [千卡/公斤·°C]                                | $L^2T^{-2}\theta^{-1}$ | [千卡/公斤·°C]                           | $L\theta^{-1}$       | [焦耳/千克·开尔文]          | J/kg·K            |
| 导热系数  | [卡/厘米·秒·°C]                                 | [千卡/米·秒·°C]                               | $LMT^{-3}\theta^{-1}$  | [千卡/米·秒·°C]                          | $FT^{-1}\theta^{-1}$ | [瓦特/米·开尔文]           | W/m·K             |

# 第一章 流体流动

气体和液体都是能够流动的，总称为流体。在化工生产过程中所处理的物料，包括原料、中间体及产品等，绝大多数都是流体。为了使这些流体物料能参与生产过程中的物理变化(如加热、冷却、蒸发、蒸馏及萃取等)和化学反应(如催化、裂化等)，必须将流体从一个地方输送到另一个地方，从一个设备流到另一个设备，并使流体在设备中保持最适宜的流动条件，以小设备达到大生产低消耗。因此，流体流动是化工生产过程中常遇到的一个十分重要的问题。

现将生产中与流体流动有关的问题介绍如下：

## (1) 管径的选择及管路的布置

流体是通过管路来输送的，一条管路是用管子、管件(如管接头、肘管、法兰及三通等)和阀门连接而成的。有的管路长达上千公里，如大庆原油通过输油管从油田输送到工厂进行炼制；有的管路将一个工厂或车间的产品输送到另一个工厂或车间作为原料；有的管路是用来沟通车间中的设备，如贮槽、计量槽、高位槽、换热器、反应器、分离器及塔器等。除了上述的物料管路之外，还有用来输送加热蒸气、冷却水、压缩空气、废气、废液及连接真空系统等等的各种管路。所以，管路在化工厂中起着极其重要的作用，好比人体中的血管一样。要使管径的选择及管路的布置正确合理，须根据被输送流体的性质和输送量的大小，并考虑到生产操作上的安全与方便，节约材料与能量等因素加以确定。

## (2) 估算输送流体所需的能量、确定流体输送机械的型式及其所需的功率

流体是由大量质点组成的连续体，当受到外力(如重力或压力等)的作用时，流体便会流动。例如，水受重力的作用，能自动地从水塔沿着管路流到工厂中各个地方。但是，要想使流体从位置或压强低的地方流到高的地方，对于短距离的液体输送，可利用压缩空气或抽真空来达到，而在大多数的场合，流体的输送是依靠流体输送机械(如泵或风机等)对流体做功来提高流体的压强，使流体能从位置或压强低的地方输送到位置或压强高的地方，或者，使流体作长距离的输送，这说明流体流动的推动力是位置高差或压强差。同时，流体在管路和设备中流动时是有阻力产生的，流体输送机械对流体做功所供给的能量，正是为了抵消提高流体所处的位置、压强和克服阻力而损耗了的能量。因此，流体输送机械的选用问题是经常会遇到的，要合理解决它，须根据流体的性质、流体输送量的多少，通过流体流动过程中的物料衡算、能量衡算及流体阻力计算，求得流体输送机械所需的能量及流量，然后参照生产操作的经验选用适宜型式的输送机械，确定所需的功率，作为选用电动机的依据。

## (3) 流速、流量及压强的测量

为了了解生产过程进行的情况，控制生产在稳定的条件下进行，往往需要随时测量管路或设备中流体的流速、流量或压强等参数，须在有关的管路或设备上装置测量这些参数的仪表。要做到测量精确和仪表选用经济合理，须了解仪表的操作原理、性能、在管路或设备上的安装要求，以及所要测量的大致范围等。

(4) 提供最适宜的流体流动条件,作为强化设备操作及设计高效能设备的依据

流体流动在化工生产上的应用,除了解决上述问题之外,更重要的是为了强化设备操作及设计高效能设备提供依据。在化工生产过程中的传热、传质、流体与固体的分离、固体流态化及化学反应等过程,都是在流体流动或运动的情况下进行的,因此,流体流动对于上述各个过程的进行及能量损耗等各方面都有密切的联系。最近十多年来,在化工生产上使用的一些新型设备,如板片、板壳及板翅式换热器;新型填料塔、旋流塔;龙卷风除尘器以及管道反应器等,它们的出现都是与流体流动的研究分不开的。

要合理解决上述提出的四个方面的问题,必须掌握流体的平衡及流动的规律,诸如流体流动过程中的物料衡算、能量衡算和流体阻力计算等。运用这些规律为生产实践服务,“理论的基础是实践,又反过来为实践服务。”在流体流动方面所用到的理论知识,都是劳动人民通过治水、防风及农田水利等生产实践中长期累积起来的经验,在运用它解决问题时,还须密切联系生产实际,通过调查分析,能动地加以应用。

本章学习的内容有:管径的选择、流体的压强及其测量、流体流动过程中的物料和能量衡算、流体的阻力、管路的计算和布置以及流量的测量等。

## 第一节 管径的选择

在化学工业中,流体一般在管路中流动,管径的大小取决于流体的输送量,而计算输送量又要了解流体的特性,如对重度、密度、比重、比容以及流体的流量、流速有一个统一的认识。

### 一、流体的重度、密度、比重和比容

**重度** 单位体积流体的重量,称为流体的重度。如果设  $G$  为流体的重量,  $V$  为流体的体积,  $\gamma$  为流体的重度,则:

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1-1)$$

**密度** 单位体积流体的质量,称为流体的密度。如果设  $m$  为流体的质量,  $\rho$  为流体的密度,则:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-2)$$

因为,流体的重量等于质量乘以重力加速度  $g$ , 即:

$$G = mg \quad (1-3)$$

将式(1-3)的等号两端各除以流体的体积  $V$ , 可得:

$$\frac{G}{V} = \frac{m}{V} g$$

或

$$\gamma = \rho g \quad (1-4)$$

由式(1-4)可知,流体的重度等于流体的密度乘以重力加速度。

流体的重度、密度的单位和数值的大小,与所采用的单位制度有关。在工程与工业计算中采用的是工程单位制。如前面所介绍的重度,它的定义是单位体积流体的重量,按工程单位制,重度的单位应写为[公斤/米<sup>3</sup>]。如水在4[°C]时的重度为1000[公斤/米<sup>3</sup>];空气在标准状态(0[°C]及760[毫米汞柱])下的重度为1.293[公斤/米<sup>3</sup>]。

由式(1-4)移项,可得密度  $\rho$  为重度  $\gamma$  除以重力加速度  $g$ , 即:

$$\rho = \frac{\gamma}{g}$$

在工程单位制中,密度的单位是:

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{[\text{公斤}/\text{米}^3]}{[\text{米}/\text{秒}^2]} = \left[ \frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}^4} \right]$$

如水在  $4[^\circ\text{C}]$  时的密度为:

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{1000}{9.81} = 102 [\text{公斤} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^4]$$

$$g = 9.81 [\text{米}/\text{秒}^2]$$

但是在化学、物理学中通常采用的是绝对单位制。在 CGS 绝对单位制中,密度的单位是  $[\text{克(质)}/\text{厘米}^3]$  或  $[\text{克}/\text{厘米}^3]$ , 如  $4[^\circ\text{C}]$  时水的密度为  $1[\text{克}/\text{厘米}^3]$ 。

流体的重度数据可从化工手册或设计参考书中查到,在本书的附录中列出了某些工业上常用的气体及液体的重度数据。在有些手册中没有重度这个名称,就可以查流体的密度,换算成重度。已知  $1[\text{公斤(质)}]$  的物体,所受到的地心吸引力是  $1[\text{公斤(力)}]$ ,即重量为  $1[\text{公斤}]$ ;采用绝对单位制表示的密度  $[\text{公斤(质)}]$  与工程单位制表示的  $[\text{公斤(力)}]$ ,在数值上是相等的。如上面表出的水的重度为:  $1000[\text{公斤(力)}/\text{米}^3]$ ,假使用绝对单位制表示,则为  $1000[\text{公斤(质)}/\text{米}^3]$ ,因此将密度为若干  $[\text{克(质)}/\text{厘米}^3]$  换算成重度  $[\text{公斤}/\text{米}^3]$  时,只须将密度的数值乘以 1000 即可。

比重 比重为流体的密度与  $4[^\circ\text{C}]$  时纯水的密度之比,用符号  $S$  表示,即:

$$S = \frac{\rho}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} \quad (1-5)$$

由式(1-5)可知,比重是没有单位的(无因次),仅仅是一个比值。因水在  $4[^\circ\text{C}]$  时的密度为  $1[\text{克}/\text{厘米}^3]$ ,所以,比重的数值与用绝对单位制表示的密度数值是相同的,如在物理及化学手册中查到纯苯的比重  $[S]_{40}^{20} = 0.88$  (括号右上角数字表示纯苯的温度,右下角数字表示纯水的温度),由此可知纯苯在  $20[^\circ\text{C}]$  时的密度为  $0.88[\text{克}/\text{厘米}^3]$ 、重度为  $880[\text{公斤}/\text{米}^3]$ 。

比容 单位重量流体的体积,称为流体的比容,用符号  $v$  表示,即:

$$v = \frac{V}{G} = \frac{1}{\gamma} [\text{米}^3/\text{公斤}] \quad (1-6)$$

由式(1-6)指出,流体的比容是重度的倒数。

上述一些物理量是表明流体的重量(或质量)与体积的换算关系,如果已知流体的重量及重度(或比容、比重),即可求得流体的体积,反之亦然。

例 1-1 某输酸管路每小时输送 98% 的硫酸 10 [吨] (硫酸温度设为  $20[^\circ\text{C}]$ ),试求每小时通过的硫酸体积为若干  $[\text{米}^3]$ 。

解 已知每小时通过硫酸重量为 10 [吨],从手册中查到  $20[^\circ\text{C}]$  时 98% 硫酸的比重为 1.84, 所以, 98% 硫酸的重度为:

$$1.84 \times 1000 = 1840 [\text{公斤}/\text{米}^3]$$

而:

$$\gamma = \frac{G}{V}$$