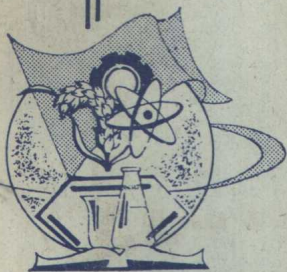


化学工人自学丛书



化工单元操作

流体输送

中国化工学会科普工作委员会组织编写

杨祖荣 庞瑶琳 编

2.1

化学工业出版社

化学工人自学丛书

化工单元操作

流 体 输 送

中国化工学会科普工作委员会组织编写

杨祖荣 庞瑶琳 编

化学工业出版社

全书共分两章，第一章流体力学，主要讲述理论基础如流体静力学、流体动力学。在此基础上再讲述流体阻力、流体测量及各种管子、管件等。第二章讲述各种流体输送机械。

本书适合于工人自学，内容浅显，通俗易懂，理论密切结合化工厂生产实际，通过此书的学习能提高理论水平，从而能更好的为生产服务。每章后附有思考题，可供学习时参考。

本书可作为化工厂工人自学的参考书，亦可作为化工厂技工学校的培训教材。

化学工人自学丛书

化工单元操作

流体输送

中国化工学会科普工作委员会组织编写

杨祖荣 庞瑶琳 编

责任编辑：苗延秀

封面设计：许立

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 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 $7^{3/8}$ 字数160千字 印数1—9,170

1985年9月北京第1版 1985年9月北京第1次印刷

统一书号15063·3697 定价1.35元

《化学工人自学丛书》

出版说明

为了普及化工生产技术知识及理论知识，提高我国化工企业广大工人的科学技术水平，以适应加速实现化学工业现代化的需要，特组织编写出版这套《化学工人自学丛书》。

这套丛书的内容包括化学、化工技术，基础理论以及化工生产工艺和设备，并反映当代新技术、新工艺、新设备、新材料。叙述力求深入浅出，理论联系化工生产实际，便于自学。根据化学工业多行业、多工种的特点，本丛书除分册出版无机化学、有机化学、化工生产原理等基础理论和基础技术读物外，还将陆续出版主要化工生产的工艺操作、主要化工设备机器的安装和检修，生产分析、化工仪表及自动化等方面的图书。

本丛书主要供化工企业具有初中以上文化程度的工人和其他有关人员自学。通过自学，达到或接近中等专业学校毕业的水平。也可作为各化工企业的技工学校教学参考书和考工评级的参考读物，还可供化工中等专科学校教师和学生学习参考。

前 言

提高全国人民的科学文化水平是实现我国社会主义现代化建设的当务之急。化学工业及化工类型生产的操作工，在进行安全教育及熟悉工艺流程与反应条件，能按操作规程于本岗位进行熟练操作后，都必须进一步地具备化工单元操作知识。

化工单元操作是从各种化工生产过程中，将以物理变化为主的处理方法，概括出其共同特点的基本操作。其内容可归纳为：流体流动过程；传热过程；传质过程；机械过程等操作。目前这方面的书籍大都是各级教材，内容侧重于理论和计算。这套化学工人自学丛书中的《化工单元操作》则以具有初中水平的在职操作工为对象，使他们以多年实践经验，结合化工单元操作的理论学习，可提高生产操作水平，而且可应用本岗位的数据，验算设备能力，既能挖潜，又能避免超负荷运转，做到心中有数。

由于我们初次组织编写这类图书，缺点与不妥之处在所难免，希广大读者提出宝贵意见，以便今后再版时修订。

拟出版的这套《化工单元操作》书有：《化工计算》、《流体输送》、《传热及换热器》、《蒸馏和吸收》、《萃取》、《干燥》、《冷冻》。

目 录

绪论	1
第一章 流体力学	3
第一节 流体静力学	4
1-1 流体的重度、密度、比重和比容	4
1-2 流体的压强	11
1-3 流体静力学基本方程式	19
1-4 液柱压强计	30
第二节 流体动力学	37
1-5 流量和流速	37
1-6 稳定流动和不稳定流动	41
1-7 流体稳定流动时的连续性方程式——物料衡算	42
1-8 流体流动时的柏努利方程——能量衡算	45
第三节 流体阻力	61
1-9 流体阻力产生的原因及其影响因素	62
1-10 粘度	63
1-11 流体流动的类型	66
1-12 流体在圆管中的速度分布	73
1-13 流体阻力的计算和测定	75
1-14 减低流体阻力的途径	89
第四节 流量测量	91
1-15 毕托管测速计	91
1-16 孔板流量计	93
1-17 文氏流量计	96
1-18 转子流量计	97

1-19 堰	99
第五节 管子、管件和管路布置	100
1-20 管子的材料和规格	101
1-21 管路的连接	102
1-22 管件和阀门	103
1-23 管路的布置和安装	105
思考题	108
符号说明	109
第二章 流体输送机械	111
第一节 液体输送机械	111
2-1 离心泵	112
一、离心泵的工作原理和结构	112
二、离心泵的性能和特性曲线	122
三、离心泵的吸上高度和汽蚀现象	127
四、离心泵的运行与调节	134
五、离心泵的型号和选用	139
六、旋涡泵	150
2-2 往复泵	153
一、往复泵的工作原理	153
二、往复泵的结构特点	154
三、往复泵的主要性能	156
四、往复泵的操作和调节	157
五、计量泵	158
2-3 旋转泵	160
一、齿轮泵	160
二、螺杆泵	161
2-4 流体作用泵	162
一、酸蛋	162
二、喷射泵	163
三、空气升液器	163

2-5 各类泵的比较	164
第二节 气体输送和压缩机械	167
2-6 往复压缩机	168
一、单级压缩	168
二、多级压缩	178
三、往复压缩机的运行和排气量的调节	184
四、往复压缩机的种类和型号	186
2-7 离心通风机、鼓风机和压缩机	189
一、离心通风机	189
二、离心鼓风机和压缩机	194
2-8 旋转鼓风机、压缩机和真空泵	198
一、罗茨鼓风机	198
二、液环压缩机	199
三、活片压缩机	200
四、水环真空泵	201
2-9 喷射式真空泵	202
符号说明	202
参考资料	204
附录	205
一、单位换算表	205
二、某些液体的重要物理性质	212
三、某些气体的重要物理性质	215
四、水的物理性质	217
五、干空气的物理性质 ($P = 760$ 毫米汞柱)	219
六、水在不同温度下的粘度	220
七、液体粘度列线图	221
八、气体粘度列线图	223
九、管内各种流体常用流速	225
十、管子规格	226

绪 论

在化工生产过程中所处理的物料，包括原料、半成品及产品等，大多数都是流体（液体和气体）。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、吸收、干燥及萃取等）和化学变化（如催化、裂化、聚合等），通常需要把它们从一个设备送到另一个设备，或从一个车间送到另一个车间。为此，化工生产过程将会碰到许多流体输送方面的问题。

流体输送问题究竟包括哪些内容？下面通过一个比较简单的实例，作些概述。

图0-1所示的是向精馏塔供给料液的输送管路。它的流程是，用泵将处于低位贮罐中的液体送往处于高位的精馏塔入口，进入精馏塔。送入的液体量用调节阀控制，并由流量

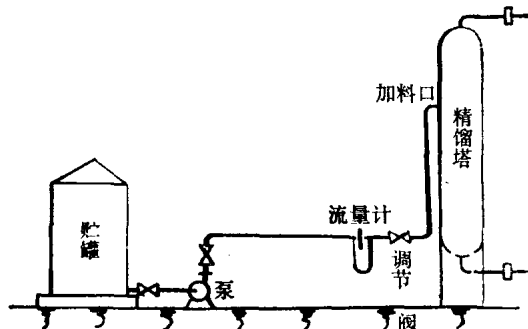


图 0-1 精馏塔的料液输送管路

计量。该流程虽然比较简单，但是也有许多问题需要正确处理和合理解决。这些问题概括起来主要有：

1. 如何确定输送管路的直径, 如何合理布置管路, 以做到既保证输送任务的完成, 又经济节约?

2. 如何计算该流体由低位贮罐送入精馏塔所需的能量, 从而确定输送机械(此处为泵)所需的功率, 并选择合适的型号?

3. 可选用什么样的计量或测量仪表, 对管路或设备中的流速、流量或压强等参数进行测量?

要解决上述问题, 必须了解和掌握有关流体流动的基本原理, 即流体力学^①基本知识, 例如流体在静止时的平衡规律, 流体在流动时的能量转换规律, 流体阻力等。因为, 它是解决流体输送问题的理论依据。

此外, 流体力学基本知识还是其它化工操作的基础。因为化工生产的各项操作过程, 无论是传热、传质或是化学反应, 大多是在流体流动的情况下进行的, 而流体流动的方式和连度, 都将影响这些过程的操作效率。

作为化工厂操作人员, 了解和掌握流体力学基本知识, 并进行一些基础计算能力的训练是很有用的。因为, 这不仅可以帮助你理解各类化工生产过程, 指导安全生产, 而且还可使你具备一定的计算和分析能力, 以便在技术革新中起更大的作用。

本书共分二部分, 第一部分主要介绍流体力学基本知识, 以及应用它来解释和解决流体输送问题的实例; 第二部分主要介绍各类流体输送机械的作用原理、基本结构和性能, 以便使读者能够正确地使用这些机械。

① 流体力学是研究流体平衡和运动的科学, 它可分为流体静力学(研究流体静止时的平衡规律)和流体动力学(研究流体流动时的能量转换规律, 流体阻力等)。

第一章 流体力学

本章主要介绍：流体静力学；流体动力学；流体阻力，流量的测量；管子、管件、阀件和管路的布置和安装。

由于本章要讨论的是流体力学问题，因此，在讨论前有必要对流体的特性加以扼要说明。

流体包括液体和气体。它们和固体一样，都具有重量，但又都具有一种固体所没有的性质——可以流动。正因为流体具有流动的特性，所以流体具有几乎可以不用任何外力就能改变它的形状的性质，而固体则不能；流体能向各个方向传递压强，而固体只能沿作用力的方向传递压强，如此等等。这样，流体在静止和运动时的规律，必然与固体在静止和运动时的规律有相当大的差别。我们在以后的研究中，必须充分注意。

另外，就液体和气体而言，它们之间的主要区别在于压缩性的大小。当压强或温度有变化时，气体的体积便随着变化，而液体的体积变化并不明显。为此，我们把气体视为可压缩性流体，而液体则视为不可压缩性流体。不过，气体在输送过程中倘若压强变化不大，因而重度变化也不大时，也可近似地按不可压缩流体来考虑。

弄清流体的共同特性和液体与气体之间的不同性质，对流体力学中各种现象的进一步分析和研究是很有帮助的。

第一节 流体静力学

流体静力学是研究流体在静止状态下受力（如重力和压力）的平衡规律。由于这些力的大小与流体的重度、压强等性质有关，因此，先予以介绍。

1-1 流体的重度、密度、比重和比容

一、重量（重力）和重度

任何流体在地心引力的作用下，都具有重量（重力）。在工程上，我们把单位体积流体所具有的重量称为流体的重度。对于均质流体^①，重度等于流体重量与其体积之比值，即

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

式中 γ ——流体的重度，公斤/米³；

G ——流体的重量，公斤；

V ——流体的体积，米³。

二、质量与密度

流体的质量是流体所含物质的量。工程上把单位体积流体所具有的质量称为流体的密度。对于均质流体，密度等于流体的质量与其体积之比值，即

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

式中 ρ ——流体的密度，公斤·秒²/米⁴；

m ——流体的质量，公斤·秒²/米；

① 当流体各部位的物理、化学性质相同时，该流体即为均质流体。

V ——流体的体积，米³。

重度和密度之间的关系，可通过牛顿第二定律 $G=mg$ 推出，即在此等式两边同除 V ，得

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g \quad (1-3)$$

必须注意，式 (1-3) 只适用于同一单位制中的换算^①，例如以〔公斤/米³〕为单位的重度与以〔公斤·秒²/米⁴〕为单位的密度之间的换算。

三、比重

流体的重度与纯水在4℃时重度之比，称为比重，以符号 s 表示，即

$$s = \frac{\gamma}{\gamma_{*}} \quad (1-4)$$

式中 s ——流体之比重，无单位；

γ ——流体之重度，公斤/米³；

γ_{*} ——纯水在4℃时之重度，公斤/米³。

由式 (1-4) 可知，比重是没有单位的。显然，纯水在4℃时的比重为1。因为水在4℃时的重度为1000公斤/米³，所以任一流体的重度在数值上等于它的比重的1000倍。即某流体的重度 $\gamma = 1000 s$ 公斤/米³。手册中常列出流体的比重数据。

四、比容

化工中常碰到比容这概念。单位重量流体所具有的体积，称为流体的比容，即

① 一个物理量方程中等式两端的单位必须一致，在进行运算时，无论采用哪种单位制，均应采用同一单位制，并贯彻始终，决不能将不同单位制的物理量代入方程进行运算。本书采用的是工程单位制。

$$U = \frac{V}{G} = \frac{1}{\gamma} \quad (1-5)$$

式中 U ——流体的比容，米³/公斤，

V ——流体的体积，米³；

G ——流体的重量，公斤。

由式 (1-5) 可知，流体的比容是重度的倒数。

五、液体和气体重度的求取

1. 液体重度的求取 在以上几个物理量中，最常用的
是重度。各种液体的重度，直接可从手册里查得。本书附录
中，列出了某些常用液体的重度数据。需要注意的是，在专
门手册中，通常只能查到液体的密度数据，并且常是绝对单
位制^①或国际单位制的^②，它的单位为克(质)/厘米³或公斤
(质)/米³。因此，使用时需换算成工程上的重度公斤(力)/
米³，其方法如下：因为质量为1公斤(质)的物体，在重力
场的作用下(即受地心的吸引力)为1公斤(力)，即它的
重量为1公斤。所以，以工程单位表示的重度 γ 公斤(力)/
米³与手册中查得的以国际单位制表示的密度公斤(质)/米³
在数值上相等，而与绝对单位制表示的密度克(质)/厘米³
的值，差1000倍，即将该值乘1000，就成为工程上要求取的
重度。例如手册中查得水银的密度为13600公斤(质)/米³
(国际单位制)，则水银的重度即为13600公斤(力)/米³(工
程单位制)^③。若手册中查得水银的密度为13.6克(质)/厘

① 绝对单位制的基本单位为长度厘米、质量克(质)和时间秒，其它量为导出单位。

② 国际单位制的基本单位为长度米、质量公斤质和时间秒，其它量为导出单位。

③ 工程单位制的基本单位为长度米、力或重力公斤(力)和时间秒，其它量为导出单位。由于本书采用工程单位制，因此，凡公斤单位后不注明(质)时，均指公斤(力)，简写成公斤。

米³ (绝对单位制), 则换算得水银的重度为 $13.6 \times 1000 = 13600$ 公斤 (力)/米³。当液体重度从手册中查不到时, 可用比重计现场测得。

2. 气体重度的求取 由于气体的重度随温度和压强有较大的变化, 因此手册中常常查不到, 即使查到, 一般也是常温、常压下的数据。当查不到某气体在某一温度与压强下的重度时, 如果此时气体的压强不太高, 而温度又不太低时, 则此气体的性质与理想气体^①的偏差不大, 它的重度可近似地用理想气体状态方程式^②求取。理想气体状态方程式为:

$$pV = \frac{G}{M}RT \quad (1-6a)$$

式中 p ——气体的压强, 公斤/米²;
 V ——气体的体积, 米³;
 G ——气体的重量, 公斤;
 M ——气体的分子量, 公斤/公斤分子;
 T ——气体的绝对温度, °K;

R ——气体常数, $R = 848 \frac{\text{公斤} \cdot \text{米}}{\text{公斤分子} \cdot ^\circ\text{K}}$ 。

由式 (1-6 a) 可得气体的重度算式:

-
- ① 理想气体是一种假想气体, 它完全由弹性分子组成, 这些分子不但不占有一定的容积, 而且分子间也不存在作用力, 因此每一个分子的运动都是自由自在不受牵制。虽然自然界中并不存在真正的理想气体, 但一般工程上常用的气体, 如氧、氮、氢、一氧化碳、二氧化碳等, 以及由这些气体所混合组成的空气或烟气的性质, 在压强较低, 温度又相当高时, 都非常符合上述假定。
 - ② 理想气体状态方程是描述, 当一定量的理想气体的状态发生变化时, 其三个状态参量 p 、 V 、 T 之间, 以什么规律变化的方程。

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{pM}{RT} \quad (1-6b)$$

3. 液体混合物和气体混合物重度的求取

(1) 液体混合物的重度 液体混合物的重度可用下式求得:

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{a_1}{\gamma_1} + \frac{a_2}{\gamma_2} + \cdots + \frac{a_n}{\gamma_n} \quad (1-7)$$

式中 γ ——液体混合物的重度, 公斤/米³;

$\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ ——液体混合物中各组分单独存在时的重度, 公斤/米³;

$a_1, a_2, \dots, a_n$ ——液体混合物各组分的重量分数。

(2) 气体混合物的重度 气体混合物的重度可用式(1-6b)计算, 但式中的M要用混合气体的平均分子量 $M_{\text{混}}$ 。混合气体的平均分子量 $M_{\text{混}}$ 可按式求得:

$$M_{\text{混}} = M_1 x_1 + M_2 x_2 + \cdots + M_n x_n \quad (1-8)$$

式中 $M_1, M_2, \dots, M_n$ ——气体混合物中各组分的分子量, 公斤/公斤分子;

$x_1, x_2, \dots, x_n$ ——气体混合物中各组分的体积分数。

六、举例

例1-1 求20℃98%硫酸10吨的体积是多少米³?

解 从附录中查得, 20℃98%硫酸的重度为1836公斤/米³。

$$\text{由式 (1-1) } \gamma = \frac{G}{V}, \text{ 得 } V = \frac{G}{\gamma}$$

已知 $G = 10 \text{ 吨} = 10000 \text{ 公斤}$

$$\text{所以 } V = \frac{G}{\gamma} = \frac{10000 \text{ 公斤}}{1836 \text{ 公斤/米}^3} = 5.44 \text{ 米}^3$$

例1-2 已知甲醇在20℃时的比重是0.792，试求它的重度和密度。

解 由公式 (1-4) $s = \frac{\gamma}{\gamma_{*}}$ ，即 $\gamma = 1000 s$

已知 $s = 0.792$ 代入上式得甲醇重度为

$$\gamma = 1000 s = 1000 \times 0.792 = 792 \text{ 公斤/米}^3$$

又根据式 (1-3) $\gamma = \rho g$

则甲醇密度为

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{792 \text{ 公斤/米}^3}{9.81 \text{ 米/秒}^2} = 80.7 \text{ 公斤} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^4$$

例1-3 已知甲醇水溶液中，按重量百分数计，甲醇的组成为50%，水为50%。求此甲醇水溶液在20℃时的密度。

解 由式 (1-7) $\frac{1}{\gamma} = \frac{a_1}{\gamma_1} + \frac{a_2}{\gamma_2}$

令甲醇为第1组分，水为第2组分。

已知 $a_1 = 0.5$

$a_2 = 0.5$

查附录，在20℃时

$$\gamma_1 = 792 \text{ 公斤/米}^3$$

$$\gamma_2 = 998 \text{ 公斤/米}^3$$

将 a 、 γ 值代入式 (1-7) 得

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{a_1}{\gamma_1} + \frac{a_2}{\gamma_2} = \frac{0.5}{792} + \frac{0.5}{998} = 0.001132$$

所以 $\gamma = 883 \text{ 公斤/米}^3$

例1-4 求甲烷在50℃和压强为10000公斤/米²时的重度和比容。