

# 流體工程 簡明手冊

(流體流動過程及裝置設計)

(美) N. P. 契爾米謝諾夫 著 潘文全 編譯

宇航出版社

# 流体工程简明手册

(流体流动过程及装置设计)

〔美〕 N. P. 契尔米谢诺夫 著

潘 文 全 编译

宇航出版社

## 内 容 简 介

本手册归纳了各类流体工程问题的设计要点和计算方法。介绍了有关压力损失、性能预算、管路尺寸、泵型选择、气力输送及其它常见的流体工程方面的各种资料,并附有实用性图表。内容叙述简明扼要。

本手册可作为化工、能源、机械、水利、自动化、轻工等专业的工程技术人员和大学生处理有关流体流动问题的实用性参考书。

## FLUID FLOW POCKET HANDBOOK

Calculations and guidelines for  
process and equipment design

Nicholas P. Cheremisinoff

Copyright © 1984 by Gulf Publishing Company  
Houston, Texas, USA.

## 流体工程简明手册

(流体流动过程及装置设计)

[美] N.P. 契尔米谢诺夫 著

编译: 潘文全

责任编辑: 龚雅芳

\*

宇航出版社出版

宇航出版社激光照排室排版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

京精印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 1/32 印张: 7 字数: 163 千字

1989年12月第1版第1次印刷 印数: 1-4000册

ISBN 7-80034-240-9/TB·050 定价: 3.20元

# 前 言

这是一本简明手册,可以方便地应用于流体工程设计和计算。本手册归纳和汇编了与各类流体工程问题有关的设计要点、公式和快速计算方法。

对于涉及流体工程问题的大学生、工程师和技术员来说,本手册是一本较好的实用性参考书。对手册中列举的若干例题,均附有详细解答,以说明设计公式的典型应用;手册中还介绍了有关压力损失、性能预估、管路尺寸,泵型选择、气力输送以及其它常见的流体工程方面的各种资料。

为便于迅速查阅和计算,各章节内容均简明扼要。虽然本手册几乎未作理论性阐述,但它为使用者提供了范围广泛的实用资料。

N. P. 契尔米谢诺夫

# 目 录

## 前言

|                          |      |
|--------------------------|------|
| <b>第一章 流体的物性参数</b> ..... | (1)  |
| 一、 气体的粘性系数 .....         | (2)  |
| 二、 液体的粘性系数 .....         | (9)  |
| 三、 粘度计 .....             | (15) |
| 四、 其它参数 .....            | (17) |
| 参考文献 .....               | (22) |
| <b>第二章 流动的控制方程</b> ..... | (24) |
| 一、 连续方程 .....            | (24) |
| 二、 流动方程 .....            | (27) |
| 三、 能量平衡方程 .....          | (29) |
| 四、 伯努利方程 .....           | (32) |
| 参考文献 .....               | (36) |
| <b>第三章 管内液体流动</b> .....  | (37) |
| 一、 管流的机械能关系式 .....       | (37) |
| 二、 管道摩擦损失 .....          | (38) |
| 三、 通流部件损失 .....          | (42) |
| 四、 变截面管道 .....           | (48) |
| 五、 容器小孔流出 .....          | (55) |
| 六、 最佳管径的选取 .....         | (57) |
| 七、 管与管流资料 .....          | (65) |
| 参考文献 .....               | (72) |
| <b>第四章 管内气体流动</b> .....  | (73) |
| 一、 计算压降的基本公式 .....       | (73) |

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| 二、直管中气体压力损失 .....          | (75)  |
| 三、流量计算 .....               | (81)  |
| 四、气体管流的各种资料 .....          | (87)  |
| 参考文献 .....                 | (94)  |
| <b>第五章 流量计</b> .....       | (95)  |
| 一、压差流量计的类型 .....           | (95)  |
| 二、压差流量计测量原理 .....          | (99)  |
| 三、压差流量计公式 .....            | (102) |
| 四、浮子流量计 .....              | (112) |
| 参考文献 .....                 | (114) |
| <b>第六章 盘管内流与管阵绕流</b> ..... | (116) |
| 一、盘管内流 .....               | (116) |
| 二、管阵绕流 .....               | (118) |
| <b>第七章 槽道流动</b> .....      | (121) |
| 一、非圆截面槽道流动 .....           | (121) |
| 二、流动公式 .....               | (125) |
| 三、堰与槽 .....                | (132) |
| 参考文献 .....                 | (144) |
| <b>第八章 气-液两相流</b> .....    | (145) |
| 一、流型分类 .....               | (145) |
| 二、流型状态图 .....              | (147) |
| 三、压降与壅塞 .....              | (153) |
| 参考文献 .....                 | (155) |
| <b>第九章 气-固两相流</b> .....    | (156) |
| 一、通过固定床的流动 .....           | (156) |
| 二、流态化的形成 .....             | (159) |
| 三、最小流化和气泡速度 .....          | (161) |
| 四、流化床的膨胀 .....             | (163) |
| 五、物料的气力输送 .....            | (165) |
| 六、颗粒材料的各种资料及特性 .....       | (173) |

|                         |              |
|-------------------------|--------------|
| 参考文献 .....              | (183)        |
| <b>第十章 泵的计算 .....</b>   | <b>(184)</b> |
| 一、 泵的类型 .....           | (184)        |
| 二、 泵的设计参数 .....         | (185)        |
| 三、 泵的吸程与扬程 .....        | (187)        |
| 四、 泵定律表达式 .....         | (189)        |
| 五、 特性曲线 .....           | (193)        |
| 六、 泵的选择 .....           | (195)        |
| 七、 串联和并联输送 .....        | (196)        |
| 八、 各种资料 .....           | (198)        |
| 参考文献 .....              | (209)        |
| <b>附录 单位换算系数表 .....</b> | <b>(210)</b> |

# 第一章 流体的物性参数

本章讨论下列主要物性参数:气体的粘性系数、液体的粘性系数以及状态方程所涉及的若干物性参数。

粘性系数通常以  $\mu$  表示,又称为动力粘性系数或动力粘度,其单位为  $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$  或  $\text{lb} \cdot \text{s}/\text{ft}^2$ 。在本书计算中经常使用的其它单位有 cP(即 centi poise):

$1\text{cP} = 1\text{mPa} \cdot \text{s} = 10^{-3}\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2 = 2.089 \times 10^{-5}\text{lb} \cdot \text{s}/\text{ft}^2$ ;  
式中,  $\text{Pa}(\text{帕斯卡}) = \text{N}/\text{m}^2$ 。

为方便起见,在计算中往往直接应用运动粘性系数  $\nu$ ,又称运动粘度。它与动力粘度的关系为

$$\nu = \mu/\rho \quad (1-1)$$

它的单位是  $\text{m}^2/\text{s}$  或  $\text{ft}^2/\text{s}$ ,在本书计算中经常使用的其它单位有 St,(即 Stoke)。

$$1(\text{St}) = 10^{-4}\text{m}^2/\text{s} = 1.076 \times 10^{-3}\text{ft}^2/\text{s}$$

流体的粘度,无论是动力粘度或运动粘度均可由试验的方法获得。将试验所获得的资料整理成公式或图表,以便计算和查阅。



## 一、 气体的粘性系数

### (一) 粘性系数计算法

1. 在压力不很高条件下的真实气体和蒸汽。Bromley 和 Wilke<sup>[1]</sup>提出的计算公式为:

$$\mu = \frac{33.3(MT_{cr})^{1/2}}{\tau_{cr}^{2/3}} f(1.33T_r) \quad (1-2)$$

式中:  $M$  = 气体的分子量;

$T_{cr}$  = 临界温度, K;

$\tau_{cr}$  = 临界体积, ml/g · mole;

$T_r$  = 温比,  $T_r = T/T_{cr}$

式中  $f(1.33T_r)$  为温比函数, 它可由 Scheibel<sup>[2]</sup> 提出的公式计算:

$$f(1.33T_r) = 1.058T_r^{0.645} - \frac{0.261}{(1.9T_r)^{0.9 \log(1.9T_r)}} \quad (1-3)$$

上述的临界系数的计算细节在 Perry 和 Chilton<sup>[3]</sup> 的文献中进行了讨论。

2. 下列公式也可用于计算气体的粘性系数:

$$\mu = 6.3 \times 10^{-4} \frac{M^{1/2} p_{cr}^{2/3}}{T_{cr}^{1/6}} \frac{T_r^{3/2}}{T_r + 0.8} \quad (1-4)$$

式中  $p_{cr}$  = 临界压力, atm。

范例 1-1. 试确定二氧化硫( $\text{SO}_2$ )在  $t = 300^\circ\text{C}$ 、 $p = 1\text{atm}$  条

件下的粘性系数。已知  $\text{SO}_2$  的临界温度和压力为  $T_c = 430\text{K}$ ;  
 $p_c = 77.7\text{atm}$ 。

解:利用式(1-4)直接计算。将  $M_{\text{SO}_2} = 64$ ,  $T_r = \frac{300+273}{430} =$

1.335 代入式(1-4)中:

$$\begin{aligned}\mu &= 6.3 \times 10^{-4} \frac{64^{1/2} \times 77.7^{2/3}}{430^{1/6}} \frac{1.335^{3/2}}{1.335 + 0.8} \\ &= 2.41 \times 10^{-2} \text{cP} \\ &= 2.41 \times 10^{-5} \text{N} \cdot \text{S} / \text{m}^2\end{aligned}$$

范例 1-2. 试确定二氧化硫( $\text{SO}_2$ )在  $t = 300^\circ\text{C}$ ,  $p = 1\text{atm}$  条件下的粘性系数。已知  $\text{SO}_2$  在  $t = 20^\circ\text{C}$ 、 $150^\circ\text{C}$  条件下的粘性系数分别为  $1.26 \times 10^{-2} \text{cP}$ 、 $1.86 \times 10^{-2} \text{cP}$ 。

解:利用线性外推法计算  $\mu$ 。在  $Y = T^{3/2} / \mu - t$  图上给出下列两点:  $t_1 = 20^\circ\text{C}$ 、 $Y_1 = \frac{T_1^{3/2}}{\mu_1} = \frac{293^{3/2}}{1.26 \times 10^{-2}} = 3.98 \times 10^5$  及  $t_2 = 150^\circ\text{C}$ 、 $Y_2 = \frac{T_2^{3/2}}{\mu_2} = \frac{423^{3/2}}{1.86 \times 10^{-2}} = 4.68 \times 10^5$ 。

如图 1-1 所示,作上述两点的连线并延长之。利用此延长线,由  $t = 300^\circ\text{C}$  可以查到  $y = 5.485 \times 10^5$ , 于是得到  $\mu = T^{3/2} / y = (573)^{3/2} / (5.485 \times 10^5) = 2.49 \times 10^{-2} \text{cP}$ 。若将图中直线写成方程,则可用计算的办法求得上值。

范例 1-3. 若已知二氧化硫( $\text{SO}_2$ )在  $t_1 = 150^\circ\text{C}$  条件下,  $\mu_1 = 1.86 \times 10^{-2} \text{cP}$ , 并知其  $T_c = 430\text{K}$ 。试求  $t = 300^\circ\text{C}$  条件下的  $\mu$ 。

解:仍可利用式(1-4)。对式(1-4)采用比值法,可得:

$$\frac{\mu}{\mu_1} = \left( \frac{T_r}{T_{r_1}} \right)^{3/2} \frac{T_{r_1} + 0.8}{T_r + 0.8} \quad (1-5)$$

因此

$$\mu = 1.86 \times 10^{-2} \left( \frac{573}{423} \right)^{3/2} \frac{423/430 + 0.8}{573/430 + 0.8} = 2.44 \times 10^{-2} \text{cP}$$

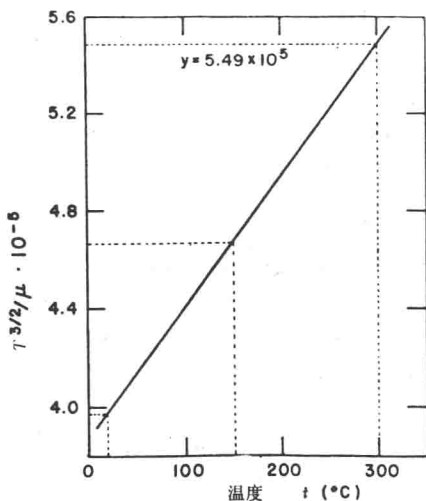


图 1-1 函数  $y = T^{3/2}/\mu$  与  $t$  的关系图

其实也可采用下列比值法确定  $\mu$ ：

$$\frac{\mu}{\mu_1} = \left( \frac{T}{T_1} \right)^{3/2} \frac{T_1 + 1.47T_r}{T + 1.47T_r} \quad (1-6)$$

或利用式(1-2)、(1-3)得到比值：

$$\frac{\mu}{\mu_1} = \frac{f(1.33T_r)}{f(1.33T_{r_1})} = \frac{1.058T_r^{0.645} - \frac{0.261}{(1.9T_r)^{0.9 \log(1.9T_r)}}}{1.058T_{r_1}^{0.645} - \frac{0.261}{(1.9T_{r_1})^{0.9 \log(1.9T_{r_1})}}} \quad (1-7)$$

而且此式可以推广到更宽的温度范围中去,但是无论用何种公式,采用比值法时都应谨慎从事,因为这毕竟是一种粗糙的近似处理方法。

## (二) 粘性系数查表法

查表法也是一种利用试验数据的办法。对于气体和低密度液体,已经有若干试验数据可用。图 1-2 是 Uyehara 和 Watson<sup>[4]</sup>提供的比粘度和比温度之间的曲线。比粘度定义为  $\mu/\mu_{cr}$ , 其中  $\mu_{cr}$  为临界温度和临界压力条件下的粘度。

对于低密度气体,其粘度随温度上升而升高,对于液体则正好与此相反。

临界粘度可由下式计算:

$$\mu_{cr} = \frac{61.6(MT_{cr})^{1/2}}{(\tau_{cr})^{2/3}} \quad (1-8)$$

直接查表法仍然是一种方便的方法。

若干常见流体的粘性系数,见图 1-3、图 1-4。

## (三) 混合气体的粘度

对于由几种成分组成的气体,可以按当量临界参数查阅图 1-2。当量临界参数的定义是

$$p'_{cr} = \sum_{i=1}^n x_i p_{cri} \quad (1-9)$$

$$T'_{cr} = \sum_{i=1}^n x_i T_{cri} \quad (1-10)$$

$$\mu'_{cr} = \sum_{i=1}^n x_i \mu_{cri} \quad (1-11)$$

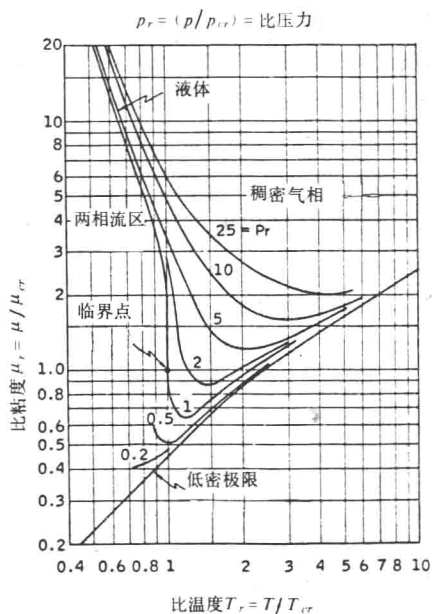


图 1-2 Uyehara 和 Watson 的普适比粘度

式中,带下标  $cri$  的量为各成分的气体的分参数。  
Cheremisinoff<sup>[5]</sup>对此作了更详细的叙述,并列举范例。



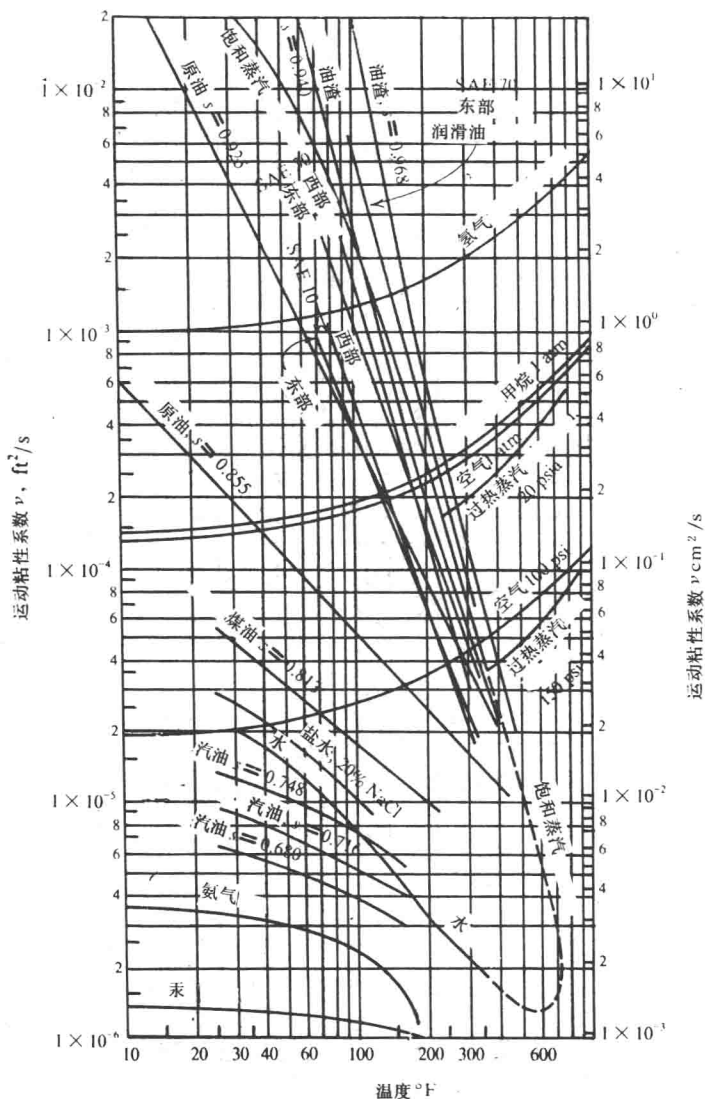


图 1-4 流体运动粘性系数  $\nu$  与温度的关系  
(注: 图 1-3 及图 1-4 摘自 V. Streeter 的流体动力学手册。)

## 二、液体的粘性系数

### (一) 粘性系数算法

利用下式计算液体粘度,即

$$\log(\log 10 \mu) = K \frac{\rho}{M} - 2.9 \quad (1-12)$$

式中:  $\mu$  = 液体粘度, cP;

$\rho$  = 液体密度, g/cm<sup>3</sup>;

$M$  = 分子量;

$K$  = 由下式确定的常数

$$K = \sum mI_a + \sum I_c \quad (1-13)$$

式中,  $mI_a$  等于一个分子中某种元素的原子数  $m$  与其对应的原子常数  $I_a$  的乘积。

$I_c$  等于表征分子结构的离子常数(由原子之间的组合与连接状态来确定)。

下表列出了一些元素的常数  $I_a$  的数值。

| 元素       | H   | C    | O    | N  | Cl | Br | I   |
|----------|-----|------|------|----|----|----|-----|
| 常数 $I_a$ | 2.7 | 50.2 | 29.7 | 37 | 60 | 79 | 110 |

常数  $I_c$  的各种典型数值如表 1-1 所示。



表 1-1 离子常数  $I_c$  的数值(见参考文献[6])

| 化合物, 聚合物<br>或结合物                                                                                                                         | 常数<br>$I_c$ | 化合物, 聚合物<br>或结合物                                                               | 常数<br>$I_c$ |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 双聚合物                                                                                                                                     | -15.5       | $\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{C}-\text{R} \\    \\ \text{O} \end{array}$ | +5.0        |
| 五环 C 原子                                                                                                                                  | -24.0       |                                                                                |             |
| 六环 C 原子                                                                                                                                  | -21.0       |                                                                                |             |
| 代入六环数                                                                                                                                    |             |                                                                                |             |
| 在正和负的位置上                                                                                                                                 | +3.0        | —CH—CHCH <sub>2</sub> X <sup>a</sup>                                           | +4.0        |
| 在中间位置上                                                                                                                                   | +1.0        |                                                                                |             |
| $\begin{array}{ccc} \text{R} & & \text{R} \\ & \diagdown & / \\ & \text{CHCH} & \\ & / & \diagdown \\ \text{R} & & \text{R} \end{array}$ | +8.0        | $\begin{array}{c} \text{R} \\   \\ \text{CHX}^a \\   \\ \text{R} \end{array}$  | +6.0        |
| $\begin{array}{c} \text{R} \\   \\ \text{R}-\text{C}-\text{R} \\   \\ \text{R} \end{array}$                                              | +13.0       | —OH                                                                            | +24.7       |
|                                                                                                                                          |             | —COO—                                                                          | -19.6       |
|                                                                                                                                          |             | —COOH                                                                          | -7.9        |
|                                                                                                                                          |             | —NO <sub>2</sub>                                                               | -6.4        |
| $\begin{array}{c} \text{R}-\text{C}-\text{H} \\    \\ \text{O} \end{array}$                                                              | +10.0       |                                                                                |             |

a: 负电组

范例 1-4. 醋酸在  $t=40^\circ\text{C}$  条件下的密度为  $\rho=1.027$  g/cm<sup>3</sup>, 试确定其粘度。已知  $t_1=20^\circ\text{C}$ ,  $t_2=100^\circ\text{C}$  条件下  $\mu_1=1.22\text{cP}$ ,  $\mu_2=0.46\text{cP}$ 。

解: 醋酸的分子量为  $M=60.06$ , 醋酸的常数  $K$  为:

$$\begin{aligned} K &= 2I_a(\text{C}) + 4I_a(\text{H}) + 2I_a(\text{O}) + I_c(\text{COOH}) \\ &= 2 \times 50.2 + 4 \times 2.7 + 2 \times 29.7 - 7.9 = 162.7 \end{aligned}$$

代到式(1-12)中去: