

实用流体阻力手册

华绍曾 杨学宁 等编译

国防工业出版社

R
87.71073
235
C.2

实用流体阻力手册

华绍曾 等编译
杨学宁

内 容 简 介

本手册系根据苏联出版的《流体阻力手册》(第二版增订版,作者依德利契克),并收集国内外有关技术资料编译而成,是进行管道及设备流体阻力计算和实际设计的工具书。

书中对产生流体阻力的物理——机械过程作了简要的说明,并提供了大量的设计和计算气体和液体管道网路所必需的数据。这些数据大部分是以直线管道的摩擦阻力系数、各种类型的管道异形部件、节流装置、障碍物以及其它管道元件的局部阻力系数的形式,列于每一章的阻力系数图表中。

本书可供从事各种工程中凡装有气体和液体管道设备的各生产、技术部门的科研人员、设计人员、工艺人员、使用维护人员等使用。也可作为大专院校有关专业教学参考资料。

实用流体阻力手册

华绍曾 等编译
杨学宁

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
国防工业出版社印刷厂印装

787×1092 1/16 印张 41 5/8 978千字

1985年3月第一版 1985年3月第一次印刷 印数: 0,001—7,650册

统一书号: 15034·2630 定价: 5.50元

编译者的话

在现代化生产的各个部门无不与输送不同种类流体的管道系统有关，而且在不少部门，管道系统设计的合理性，对整个部门经营管理的许多指标起着关键性的作用。在一般情况下，减小管道的压力损失，是提高系统和设备运行经济性的重要措施。因此，在国内外对于研究管道流体阻力的工作都给予极大的注意。

1975年苏联出版的《流体阻力手册》(第二版增订版，作者依德利契克)收集了大量苏联和欧美各国在流体阻力试验研究方面的成果，它对于从事管道设计工作的人员有一定的参考价值。我们把全书翻译了出来，并在此基础上收集国内外有关技术资料，补充了两部分内容。第一部分是补充了一组较为详细的“各种物理量单位及其换算表”，它们以表1～表33形式排在正文之前。为避免重复起见，我们取消了原书中的表1-1“物理量的主要单位及它们与绝对单位制的关系”等四个表格；第二部分是补充了第十三章。由于原著所研究的对象均为单相均匀的介质，但随着科学技术的发展，必须对非单相介质的流动情况进行研究，如蒸汽锅炉的蒸发管、油气混合输送管道等，所以我们编写了“两相流和两相流阻力”，放在原著第十二章之后，列为第十三章。由于双相流的研究工作还不成熟，本书所提供的公式和数据只能作为参考，希望读者在实践中不断加以修正充实。

参加本书编译工作的有华绍曾、杨学宁、李世铎、崔正雄、邱嗣镐、冯德生、张建华、刘文阁、李来成、尹业鑫、程光榕、丁训慎、赵忠义、姚兆生等同志，最后由华绍曾和杨学宁两同志负责全书的整理和校核工作。

由于编译者的水平有限，时间也较仓促，书中还会存在不少错误之处。我们恳切地希望广大读者在使用本手册时，对书中的错误和缺点提出宝贵的意见。

编译者

原著序言

几乎没有哪一个生产、技术部门，不在某种程度上需要沿管道和各种设备运送流体。同时，流体管道的复杂程度也可能是很不相同的。

在一些情况下，管线基本由很长的直管组成（如：石油管路、煤气管路、水管路、蒸汽管路、大型企业中通风装置的空气管路和其它等等）。

在另一些情况下，管路比较短，有大量异形的和分支管件，以及以节流或调节装置形式出现的各种障碍物、格栅、凸出部等等（如：分支通风装置的空气管路；冶金、化工和其它工业以及锅炉设备、原子反应堆、干燥室和化工装置的通气道；飞机、火箭的汽油与滑油管路，以及其它管路等等）。

也常常有流体在单个设备中运动的情况（如：锅炉、各种炉子、换热器、发动机、空气和气体的净化器，化工、石油、冶金、食品、纺织和其它工艺上的设备）。

在所有的情况下，都应正确地计算管路中的流体（空气动力）阻力。如不了解管路中复杂元件内发生的主要物理机械过程，和不考虑对改善在复杂元件中的流动条件和降低其局部流动阻力方面的各种推荐方法与数据，就很难正确地进行具有复杂形式的流体管路的现代化设计。本手册提供了有关这方面的必要知识。

自本手册（原书）第一版问世以来，出现了很多关于流体阻力方面的新资料，为了应用新的研究成果，需要对手册进行较大的改动；而实际上又不可能将所有新发表的资料全部包括进去。所以，我们采用扩大这方面文献目录的方法来弥补这个不足。

手册（原书）由十二章组成，除第一章外，每章中都列出了一定的异形组件或流体在其中有类似运动条件的管路元件和管路其它管段的资料。

在第一章里，扼要地叙述了与流体管路中元件的水力计算有关的压力系统水力学和空气动力学的一般知识。

以后各章包括：

（1）说明部分：在其中照例叙述本章的基本内容，扼要地描述了管道中复杂元件内发生的物理机械过程，给出了选择、计算管路元件的实用推荐方法与数据和补充说明。同时也介绍了降低它们流体阻力的方法。

（2）计算部分：其中列出了直管段和各种类型异形管、附件、各种障碍和其它管路元件的流体阻力系数，或在个别情况下也给出了流体阻力的绝对值。在每章里，都用专门图表列出所研究的管路元件或障碍物的简图、计算公式、阻力系数、曲线关系和数值表格等。

在现代化设计中，使用电子计算机计算流体管路时，以计算公式表示阻力系数值是很重要的。此外，使用阻力系数和它的主要决定参数之间的函数关系的简明公式往往也是很方便的。

上述关系的曲线图，一方面可以更直观地说明该关系的特性，另一方面能够不用计算（有时计算公式很复杂）即可得到表格内没有的中间阻力系数值。

表格中的阻力系数值是供计算时使用的常用基本数据。

计量单位按国际单位制。为方便起见，在个别情况下，同时给出了工程单位制的相应值。

814814

目 录

各种物理量单位及其换算表	1
第一章 压力系统的水力学和气体	
动力学一般知识和要点	19
§ 1 概述	19
§ 2 流体的性质	23
§ 3 流体的运动状态	30
§ 4 流体的平衡状态	32
§ 5 流体的运动方程	33
§ 6 管路中的流体阻力	39
§ 7 流体经过孔的出流	42
§ 8 管路中增压机的工作	47
§ 9 管路流体阻力计算示例	49
第二章 直管道的流阻 (摩擦阻力系数和粗糙度)	65
§ 1 说明和实用推荐	65
§ 2 摩擦阻力系数图表	85
第三章 管道进口的流阻 (进口段阻力系数)	113
§ 1 说明和实用推荐	113
§ 2 阻力系数图表	121
第四章 速度突变和流经孔的流阻 (孔板、孔口及其它突然扩大、 突然收缩管段的阻力系数)	141
§ 1 说明和实用推荐	141
§ 2 阻力系数图表	154
第五章 速度渐变时的流阻 (渐扩管、渐缩管及其它 过渡管段的阻力系数)	178
§ 1 说明和实用推荐	178
§ 2 阻力系数图表	203
第六章 流体改变流向时的流阻 (弯曲管段如弯管、 肘管及其它的阻力系数)	247
§ 1 说明和实用推荐	247
§ 2 阻力系数图表	267
第七章 汇流或分流的流阻 (三通管、四通管、分流集管的阻力系数)	307
§ 1 说明和实用推荐	307
§ 2 阻力系数图表	317
第八章 截面中均匀分布障碍物的流阻 (格栅、网格、 多孔层及填料层等的阻力系数)	359
§ 1 说明和实用推荐	359

§ 2 阻力系数图表	371
第九章 管道附件和迷宫密封的流阻 (截止阀、闸阀、可调阀门、 旋塞、迷宫密封件、补偿器的阻力系数)	390
§ 1 说明和实用推荐	390
§ 2 阻力系数图表	397
第十章 管路内对物体绕流的流阻 (带有凸出部、支撑件、构架以及 其它物体的管段的阻力系数)	426
§ 1 说明和实用推荐	426
§ 2 阻力系数图表	437
第十一章 管子和通道出口的流阻 (出口段阻力系数)	454
§ 1 说明和实用推荐	454
§ 2 阻力系数图表	464
第十二章 不同器械的流阻 (器具和其他装备的阻力系数)	514
§ 1 说明和实用推荐	514
§ 2 阻力系数图表	531
第十三章 两相流和两相流阻力	573
§ 1 说明和实用推荐	573
§ 2 图表和实例	609
参考文献	629

各种物理量单位及其换算表

表 1 基本单位名称的十进词冠

词 冠			对基本单 位的关系	略 写 符 号	
中 文 ①	英 文	俄 文		国 际	苏 联
微微微 (渺)	Atto	Атто	10^{-18}	a	а
毫微微 (尘)	Femto	Фемто	10^{-15}	f	ф
微微 (沙)	Pico	Пико	10^{-12}	p	п
毫 微 (纤)	Nano	Нано	10^{-9}	n (mμ)	н
微	Micro	Микро	10^{-6}	μ	мк
毫	Milli	Милли	10^{-3}	m	м
厘	Centi	Санти	10^{-2}	c	с
分	Deci	Деци	10^{-1}	d	д
十	Deka	Дека	10^1	dk(dc, da)	дк(да)
百	Hecto	Гекто	10^2	h	г
千	Kilo	Кило	10^3	k	к
万	Myria		10^4	ma	
兆 (百万)	Mega(Meg)	Мера(Mer)	10^6	M	м
京 (千兆、十亿)	Giga	Гига	10^9	G	г
垓 (千京、兆兆、万亿)	Tera	Тера	10^{12}	T	т

● 本表中的微、毫、厘、分、十、百、千、兆等八个词冠符合1981年8月5日颁发的《中华人民共和国计量单位名称与符号方案(试行)》，其余待作统一规定后按新规定执行。

表 2 力 学 计

物理量 名 称	符 号	定义公式	国际单位制 (SI)、MKS制			
			单位 名称	单 位 代 号		单位量纲式
				中 文	国 际	
长 度	$L(l)$		米*	米	m	[米]
质 量	$M(m)$	$m = \frac{F}{a}$	公斤* (千克)	公斤	kg	[公斤]
时 间	$T(t)$		秒*	秒	s	[秒]
面 积	$S(A, F)$	$S = L^2$	平方米	米 ²	m ²	[米] ²
体 积	$V(v)$	$V = L^3$	立方米	米 ³	m ³	[米] ³
密 度	$\rho(D)$	$\rho = \frac{M}{V}$		公斤/米 ³	kg/m ³	[米] ⁻³ [公斤]
重 度	γ	$\gamma = \frac{G}{V}$ G为物体重量 [牛顿]		牛顿/米 ³	N/m ³	[米] ⁻² [公斤][秒] ⁻²
平 面 角	$\varphi(\alpha, \beta, \gamma, \theta, \delta)$	$\varphi = \frac{1}{r}$ r 为半径[米]		弧度	rad	零量纲
立 体 角	$\omega(\Omega)$	$\omega = \frac{s}{r^2}$		球面度	sr	零量纲
速 度	V	$V = \frac{L}{t}$		米/秒	m/s	[米][秒] ⁻¹
质量流量	Q_m	$Q_m = \frac{dm}{dt}$		公斤/秒	kg/s	[公斤][秒] ⁻¹
体积流量	Q_v	$Q_v = \frac{dV}{dt}$		米 ³ /秒	m ³ /s	[米] ³ [秒] ⁻¹
速度梯度	$\text{grad } V$	$\text{grad } V = \frac{dV}{dL}$		1/秒	1/s	[秒] ⁻¹
力	$F(f, P, Q, R)$	$F = ma$	牛 顿	牛 顿 (公斤·米/秒 ²)	N (kg·m/s ²)	[米][公斤][秒] ⁻²
压强	p	$p = \frac{F}{S}$		牛顿/米 ²	N/m ²	[米] ⁻¹ [公斤][秒] ⁻²
压力梯度	$\text{grad } p$	$\text{grad } p = \frac{dp}{dl}$		牛顿/米 ³	N/m ³	[米] ⁻² [公斤][秒] ⁻²
功	$A(W, L)$	$A = Fl \cos(F, l)$	焦 耳	焦(牛·米)	J	[米] ² [公斤][秒] ⁻²
能量	$E(T, W)$	$E_k = \frac{1}{2}mV^2$	焦 耳	焦	J	[米] ² [公斤][秒] ⁻²
功率	$N(P)$	$N = \frac{A}{t}$	瓦 特	瓦(焦耳/秒)	W(J/s)	[米] ² [公斤][秒] ⁻³
动力粘性系数	$\mu(\eta)$	$\mu = \frac{F}{S} \frac{\Delta L}{\Delta V}$		牛顿·秒/米 ²	N·s/m ²	[米] ⁻¹ [公斤][秒] ⁻¹
运动粘性系数	ν	$\nu = \frac{\mu}{\rho}$		米 ² /秒	m ² /s	[米] ² [秒] ⁻¹

- 注: 1. MKS制、CGS制均属绝对单位制, MKS制又称实用单位制;
 2. 国际单位制中的力学单位与MKS制的相同;
 3. MKS制的基本单位为米-公斤力-秒, 又称重力单位制; 因多用于静力学中, 故亦称工程单位制。在使用上, 公斤力允许采用缩写符号公斤(kG);
 4. *为基本单位。

量 单 位 表

CGS 制			MKfS 制		
单位名称	单 位 代 号		单位名称	单 位 代 号	
	中 文	国 际		中 文	国 际
厘米*	厘米	cm	米*	米	m
克*	克	g	工程质量单位	公斤力·秒 ² /米	kgf·s ² /m
秒*	秒	s	秒*	秒	s
平方厘米	厘米 ²	cm ²	平方米	米 ²	m ²
立方厘米	厘米 ³	cm ³	立方米	米 ³	m ³
	克/厘米 ³	g/cm ³		公斤力·秒 ² /米 ⁴	kgf·s ² /m ⁴
	达因/厘米 ³	dyn/cm ³		公斤力/米 ³	kgf/m ³
	弧度	rad		弧度	rad
	球面度			球面度	
	厘米/秒	cm/s		米/秒	m/s
	克/秒	g/s		公斤力·秒/米	kgf·s/m
	厘米 ³ /秒	cm ³ /s		米 ³ /秒	m ³ /s
	1/秒	1/s		1/秒	1/s
达因	达因 (克·厘米/秒 ²)	dyn (g·cm/s ²)	公斤力*	公斤力	kgf (kG)
	达因/厘米 ²	dyn/cm ²		公斤力/米 ²	kgf/m ²
	达因/厘米 ³	dyn/cm ³		公斤力/米 ³	kgf/m ³
尔格	尔格 (达因·厘米)	erg		公斤力·米	kgf·m
尔格	尔格	erg		公斤力·米	kgf·m
	尔格/秒	erg/s		公斤力·米/秒	kgf·m/s
泊斯	泊斯 (达因·秒/厘米 ²)	p		公斤力·秒/米 ²	kgf·s/m ²
沱	沱(厘米 ² /秒)	st		米 ² /秒	m ² /s

表3 热学单位表

物理量名称	符 号	定义公式	国际单位制(SI)、MKS制				CGS制			
			单位代 号		单位名称	单位代 号	单 位 文		单 位 代 号	国 际
			中 文	国 际			中 文	国 际		
热力学温度	$T(t, \theta)$		开氏度	$^{\circ}\text{K}$	开氏度*		开氏度	$^{\circ}\text{K}$		
热 量	$Q(q)$		焦(或卡)	J(或Cal)	尔格		尔格	erg		
热容量	C	$C = \frac{Q}{T}$	焦/度	J/deg			尔格/度	erg/deg		
比 热	c	$c = \frac{Q}{MT}$	焦/公斤·度	J/kg·deg			尔格/克·度	erg/g·deg		
热流量	Φ	$\Phi = \int F q dF$	瓦	W	瓦特		尔格/秒	erg/s		
熔化热	λ	$\lambda = \frac{Q}{M}$	焦/公斤	J/kg			尔格/克	erg/g		
汽化热	γ	$\gamma = \frac{Q}{M}$	焦/公斤	J/kg			尔格/克	erg/g		
嫡	S	$S = \frac{Q}{T}$	焦/度	J/deg			尔格/度	erg/deg		
传热系数	K	$K = \frac{Q}{STt}$	瓦/米 ² ·度	W/m ² ·deg			尔格/厘米 ² ·秒·度	erg/cm ² ·s·deg		
导热系数	λ	$\lambda = \frac{QL}{STt}$	瓦/米·度	W/m·deg			尔格/厘米·秒·度	erg/cm·s·deg		
导温系数	a	$a = \frac{\lambda}{c\gamma}$	米 ² /秒	m ² /s			厘米 ² /秒	cm ² /s		
温度梯度	grad T	$\text{grad } T = \frac{\partial T}{\partial n}$	度/米	deg/m			度/厘米	deg/cm		
线膨胀系数	α	$\alpha = \frac{\Delta L}{LT}$	1/度	1/deg			1/度	1/deg		
体积膨胀系数	β	$\beta = \frac{\Delta V}{VT}$	1/度	1/deg			1/度	1/deg		

注: 1. 对热学单位, MKS制的基本单位为米-公斤-秒-开氏度, CGS制的基本单位为厘米-克-秒-开氏度。国际单位制中的热学单位同MKS制;
 2. 对开氏度或摄氏度的温度差, 可用“度”或代号“deg”表示。在注明温度的数值时, 必须加注代号“ $^{\circ}\text{K}$ ”或“ $^{\circ}\text{C}$ ”;
 3. * 为基本单位;
 4. 1 卡 $\approx$ 4.1868 焦耳。

表4 长度单位换算表

公 制				英 制		
公 里 (km)	米 (m)	厘 米 (cm)	毫 米 (mm)	海里① (UKnm)	英 尺 (ft)	英 寸 (in)
1	10 ³	10 ⁵	10 ⁶	0.539612	3280.84	39370.1
10 ⁻³	1	10 ²	10 ³	5.39612×10 ⁻⁴	3.28084	39.3701
10 ⁻⁶	10 ⁻²	1	10	5.39612×10 ⁻⁶	0.0328084	0.393701
10 ⁻⁹	10 ⁻³	10 ⁻¹	1	5.39612×10 ⁻⁷	0.00328084	0.0393701
1.853184	1853.184	185318.4	1853184	1	6080	72960
3.048×10 ⁻⁴	0.3048	30.48	304.8	1.64474×10 ⁻⁴	1	12
2.54×10 ⁻⁶	0.0254	2.54	25.4	1.37061×10 ⁻⁶	0.0833333	1

① 1 国际海里 = 1852米; 在美国, 1 海里 = 1853.249米; 在德国 1 海里 = 1855米。

表5 面积单位换算表

公 制			英 制	
平方公里 (km ²)	平方米 (m ²)	平方厘米 (cm ²)	平方英尺 (ft ²)	平方英寸 (in ²)
1	10 ⁶	10 ¹⁰	10763910	1.55×10 ⁹
10 ⁻⁶	1	10 ⁴	10.7639	1550.00
10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁴	1	0.00107639	0.15500
9.29030×10 ⁻⁸	0.0929030	929.030	1	144
6.45160×10 ⁻¹⁰	6.45160×10 ⁻⁴	6.45160	0.00694444	1

表6 体积单位换算表

公 制			英 制				
立方米 (m ³)	升 (l, dm ³)	立方厘米 (cm ³ , ml, c. c.)	立方英尺 (ft ³)	立方英寸 (in ³)	英加仑 (UK gal)	美加仑(液) (U.S. gal)	磅(水) (lb)
1	10 ³	10 ⁶	35.3147	61023.7	219.969	264.172	2204.62
10 ⁻³	1	10 ³	0.0353147	61.0237	0.219969	0.264172	2.20462
10 ⁻⁶	10 ⁻³	1	3.53147×10 ⁻⁵	0.0610237	2.19969×10 ⁻⁴	2.64172×10 ⁻⁴	0.00220462
0.0283168	28.3168	28316.8	1	1728	6.22883	7.48052	62.4280
1.63871×10 ⁻⁵	0.0163871	16.3871	5.78704×10 ⁻⁴	1	0.00360466	0.00432901	0.0361273
0.00454609	4.54609	4546.09	0.160544	277.420	1	1.20095	10.0224
0.00378541	3.78541	3785.41	0.133681	231	0.832674	1	8.34540
4.53592×10 ⁻⁴	0.453592	453.592	0.0160185	27.6799	0.0997765	0.119826	1

注: 在英制中, 容量分为干量、液量和药量三套单位, 常见液量容量单位为: (基本单位为加仑)

桶 (bbl) = 31.5 加仑 (美)

夸脱 (qt) = 2 品脱 (pt)

桶 (石油) = 42 加仑 (美)

品脱 (pt) = 4 及耳 (gi)

加仑 (gal) = 4 夸脱 (qt)

及耳 (gi) = 142.065 毫升 (英) 或 118.294 毫升 (美)

表 7 质量单位换算表

公 制			英 制				
吨 (t)	公 斤 (kg)	克 (g)	英吨 (长吨) (UK ton)	美吨 (短吨) (U.S. ton)	英担 (长担) (Long cwt)	美担 (短担) (Short cwt)	磅 (lb)
1	10^3	10^6	0.984207	1.10231	19.6841	22.0462	2204.62
10^{-3}	1	10^3	9.84207×10^{-4}	0.00110231	0.0196841	0.0220462	2.20462
10^{-6}	10^{-3}	1	9.84207×10^{-7}	1.10231×10^{-6}	1.96841×10^{-5}	2.20462×10^{-5}	0.00220462
1.01605	1016.05	1016050	1	1.12	20	22.4	2240
0.907185	907.185	907185	0.892857	1	17.8571	20	2000
0.0508024	50.8024	50802.4	0.05	0.056	1	1.12	112
0.0453592	45.3592	45359.2	0.046429	0.05	0.892857	1	100
4.5359237×10^{-4}	0.45359237	453.59237	4.46429×10^{-4}	5×10^{-4}	0.00892857	10^{-2}	1

表 8 比容单位换算表

公 制		英 制			
米 ³ /公斤 (m ³ /kg)	厘米 ³ /克 (cm ³ /g)	英尺 ³ /磅 (ft ³ /lb)	英尺 ³ /英吨 (ft ³ /UK ton)	英加仑/磅 (UK gal/lb)	美加仑/磅 (US gal/lb)
1	1000	16.0185	0.358814×10^5	99.7763	119.826
0.001	1	0.0160185	35.8814	0.0997763	0.119826
0.062428	62.4280	1	2240	6.22883	7.48050
2.78696×10^{-5}	0.0278696	4.46429×10^{-4}	1	2.78073×10^{-3}	3.33951×10^{-3}
0.0100224	10.0224	0.160544	359.618	1	1.20095
8.34541×10^{-3}	8.34541	0.133681	0.299445×10^3	0.832674	1

表 9 密度单位换算表

公 制	英 制			
克/立方厘米(g/cm ³) 吨/立方米(t/m ³)	磅/立方英尺 (lb/ft ³)	磅/立方英寸 (lb/in ³)	磅/英加仑 (lb/UK gal)	磅/美加仑(液) (lb/U. S. gal)
1	62.4280	0.0361273	10.0224	8.34540
0.0160185	1	5.78704×10^{-4}	0.160544	0.133681
27.6799	1728	1	277.420	231
0.0997763	6.22883	0.00360465	1	0.832674
0.119826	7.48052	0.00432901	1.20095	1

表10 速度单位换算表

公 制			英 制		
公里/时 (km/h)	米/秒 (m/s)	厘米/秒 (cm/s)	海里/时 (nm/h)	英里/时 (mile/h)	英尺/秒 (ft/s)
1	0.277778	27.7778	0.539612	0.621371	0.911344
3.6	1	100	1.94260	2.23694	3.28084
0.036	0.01	1	0.0194260	0.0223694	0.0328084
1.85318	0.514773	51.4773	1	1.15152	1.68889
1.609344	0.447040	44.7040	0.868421	1	1.46667
1.09728	0.3048	30.48	0.592105	0.681818	1

注：船舶每小时航行1海里的速度为1节。

表11 体积流量单位换算表

公 制				英 制			
米 ³ /时 (m ³ /h)	米 ³ /分 (m ³ /min)	米 ³ /秒 (m ³ /s)	升/时 (l/h)	升/分 (l/min)	升/秒 (l/s)	英加仑/分 (UK gal/min)	英加仑/秒 (UK gal/s)
1	0.0166667	2.7778 × 10 ⁻⁴	10 ³	16.6667	0.27778	3.66615	0.0611025
60	1	0.0166667	60000	10 ³	16.6667	219.969	3.66615
3600	60	1	3.6 × 10 ⁶	60000	10 ³	13198.1	219.969
10 ⁻³	1.66667 × 10 ⁻⁵	2.7778 × 10 ⁻⁷	1	0.0166667	2.7778 × 10 ⁻⁴	0.00366615	6.11025 × 10 ⁻⁶
0.06	10 ⁻³	1.66667 × 10 ⁻⁵	60	1	0.0166667	0.219969	0.00366615
3.6	0.06	10 ⁻³	3600	60	1	13.1981	0.219969
0.272765	0.00454609	7.57682 × 10 ⁻⁵	272.765	4.54609	0.0757682	1	0.0166667
16.3659	0.272765	0.00454609	16365.9	272.765	4.54609	60	1
0.227125	0.00378541	6.30903 × 10 ⁻⁵	227.125	3.78541	0.0630903	0.832674	0.0138779
13.6275	0.227125	0.00378541	13627.5	227.125	3.78541	49.9604	0.832674
0.0283168	4.71947 × 10 ⁻⁴	7.86579 × 10 ⁻⁶	28.3168	0.471947	0.00786579	0.103814	0.00173023
1.69902	0.0283168	4.71947 × 10 ⁻⁴	1699.02	28.3168	0.471947	6.22882	0.103814
101.940	1.69902	0.0283168	101940	1699.02	28.3168	373.728	6.22882

表12 质量流量单位换算表

公 制				英 制			
吨(水)/时 (t/h)	公斤(水)/时 (kg/h)	公斤(水)/分 (kg/min)	公斤(水)/秒 (kg/s)	英吨(水)/时 (ton/h)	磅(水)/时 (lb/h)	磅(水)/分 (lb/min)	磅(水)/秒 (lb/s)
1	10 ³	16.6667	0.27778	0.984207	2204.62	36.7437	0.612394
10 ⁻³	1	0.0166667	2.7778 × 10 ⁻⁴	9.84207 × 10 ⁻⁴	2.20462	0.0367437	6.12395 × 10 ⁻⁴
0.06	60	1	0.0166667	0.0590524	132.277	2.20462	0.0367437
3.6	3600	60	1	3.54315	7936.63	132.277	2.20462
1.01605	1016.05	16.9342	0.282236	1	2240	37.3333	0.622223
4.53592 × 10 ⁻⁴	0.453592	0.00755987	1.25998 × 10 ⁻⁴	4.46429 × 10 ⁻⁴	1	0.0166667	2.7778 × 10 ⁻⁴
0.0272155	27.2155	0.453592	0.00755987	0.0267857	60	1	0.0166667
1.63293	1632.93	27.2155	0.453592	1.60714	3600	60	1

表13 力的单位换算表

公 制				英 制	
斯 (Sn)	公斤(力) (kgf)	克(力) (g)	牛 顿 (N)	达 因 (dyn)	磅(力) (lbf)
1	101.972	101972	10^3	10^5	224.809
0.00980665	1	10^3	9.80665	9.80665×10^5	2.20462
9.80665×10^{-6}	10^{-3}	1	9.80665×10^{-3}	980.665	0.00220462
10^{-8}	0.101972	101.972	1	10^5	0.224809
10^{-8}	1.01972×10^{-6}	1.01972×10^{-3}	10^{-5}	1	2.24809×10^{-6}
0.00444822	0.453592	453.592	4.44822	4.44822×10^5	1

表14 压力单位换算表

公 制					英 制						
公斤力/米 ² (kgf/m ²)	公斤力/厘米 ² (kgf/cm ²)	公斤力/毫米 ² (kgf/mm ²)	标准大气压 (atm)	托(torr)或水 银柱(0℃) (mm)	巴 (bar)	毫巴* (mbar)	英吨力/英寸 ² (UK tonf/in ²)	磅力/ 英尺 ² (lbf/ft ²)	磅力/英寸 ² (lbf/in ²)	英寸水银柱 (0℃) (in)	英寸水柱 (4℃) (in)
1	10 ⁻⁴	10 ⁻⁶	9.67841×10 ⁻⁵	0.0735559	10 ⁻³	9.80665×10 ⁻⁵	6.34972×10 ⁻⁷	0.204816	0.00142233	0.00289590	0.0393701
10 ⁴	1	10 ⁻²	0.967841	735.559	10.0000	0.980665	0.00634972	2048.16	14.2233	28.9590	393.701
10 ⁶	10 ²	1	96.7841	73555.9	10 ³	98.0665	0.634972	204816	1422.33	2895.90	39370.1
10332.3	1.03323	0.0103323	1	760	10.3323	1.01325	0.00656071	2116.22	14.6959	29.9212	406.784
13.5951	0.00135951	1.35951×10 ⁻⁵	0.00131579	1	0.0133322	1.33322	8.63251×10 ⁻⁶	2.78449	0.0193368	0.0393701	0.535240
10 ⁸	0.1	10 ⁻³	0.0967841	73.5559	1	0.0980665	6.34972×10 ⁻⁴	204.816	1.42233	2.89590	39.3701
10197.2	1.01972	0.0101972	0.986923	750.061	10.1972	1	0.00647491	2088.54	14.5038	29.5300	401.463
10.1972	0.00101972	1.01972×10 ⁻⁵	9.86923×10 ⁻⁴	0.750061	10 ⁻³	1	6.47491×10 ⁻⁶	2.08854	0.0145038	0.0295300	0.401463
1574860	157.486	1.57486	152.420	115841	1574.86	154.443	1	322566	2240	4560.68	62003.0
4.88243	4.88243×10 ⁻⁴	4.88243×10 ⁻⁶	4.72541×10 ⁻⁴	0.359132	0.00488243	4.78803×10 ⁻⁴	3.10020×10 ⁻⁶	1	0.00894444	0.0141390	0.192222
703.072	0.0703072	7.03072×10 ⁻⁴	0.0680462	51.7151	0.703072	0.0689476	4.46431×10 ⁻⁴	144	1	2.03602	27.6800
345.316	0.0345316	3.45316×10 ⁻⁴	0.0334211	25.4000	0.345316	0.0338639	2.19265×10 ⁻⁴	70.7262	0.491154	1	13.5951
25.4000	0.00254000	2.54000×10 ⁻⁵	0.00245832	1.86832	0.0254000	0.00249089	1.61283×10 ⁻⁵	5.20233	0.0361273	0.0735559	1

注：用水柱表示的压力，是以纯水在 4℃ 时的密度值为标准的，其理论数值为 1000 公斤/立方米，而其实际值为 999.972 公斤/立方米。

* 1 毫巴 = 100 牛顿/米² (N/m²) = 100 帕 (Pa)。

表15 功、能及热量单位换算表

公 制					英 制				
公制马力小时 (Hp·h)	公斤力·米 (kgf·m)	升·大气压 (l·atm)	焦 耳 (J)	尔 格 (erg)	千 卡 (kcal)	千瓦小时 (kwh)	英制马力小时 (hp·h)	英尺·磅力 (ft·lbf)	英热单位 (BTU)
1	2.7 × 10 ⁵	26131.7	2.64780 × 10 ⁸	2.64780 × 10 ¹³	632.416	0.735499	0.986320	1.95291 × 10 ⁶	2509.62
3.70370 × 10 ⁻⁶	1	0.0967841	9.80665	9.80665 × 10 ⁷	0.00234228	2.72407 × 10 ⁻⁶	3.65304 × 10 ⁻⁶	7.23301	0.0029488
3.82676 × 10 ⁻⁵	10.3323	1	101.325	1.01325 × 10 ⁹	0.0242011	2.81459 × 10 ⁻⁵	3.77443 × 10 ⁻⁵	74.7334	0.0960373
3.77672 × 10 ⁻⁷	0.101972	0.00986923	1	10 ⁷	2.38846 × 10 ⁻⁴	2.77778 × 10 ⁻⁷	3.72506 × 10 ⁻⁷	0.737562	9.47813 × 10 ⁻⁴
3.77672 × 10 ⁻¹⁴	1.01972 × 10 ⁻⁸	9.86920 × 10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁷	1	2.38846 × 10 ⁻¹¹	2.77778 × 10 ⁻¹⁴	3.72506 × 10 ⁻¹⁴	0.737562 × 10 ⁻⁷	9.47813 × 10 ⁻¹¹
0.00158124	426.936	41.3205	4186.8	4.1868 × 10 ¹⁰	1	0.001163	0.00155961	3088.02	3.96832
1.35962	3.67098 × 10 ⁵	35529.2	3.6 × 10 ⁶	3.6 × 10 ¹³	859.845	1	1.34102	2.65522 × 10 ⁶	3112.13
1.01387	2.73745 × 10 ⁵	26494.1	2.68452 × 10 ⁶	2.68452 × 10 ¹³	641.187	0.745700	1	1.98 × 10 ⁶	2544.43
5.12056 × 10 ⁻⁷	0.138255	0.0133809	1.35582	1.35582 × 10 ⁷	3.23832 × 10 ⁻⁴	3.76616 × 10 ⁻⁷	5.05051 × 10 ⁻⁷	1	0.00128506
3.98466 × 10 ⁻⁴	107.586	10.4126	1055.06	1.05506 × 10 ¹⁰	0.251996	2.93071 × 10 ⁻⁴	3.93016 × 10 ⁻⁴	778.168	1

注：表列千瓦·小时与英制马力小时换算系在北纬45°的国际标准，在格林威治则为1英制马力小时 = 0.74608千瓦小时，1千瓦小时 = 1.34034英制马力小时。

表16 功率单位换算表

公 制					英 制			
公制马力 (Hp)	公斤力·米/秒 (kgf·m/s)	千卡/时 (kcal/h)	千卡/秒 (kcal/s)	千 瓦 (kw)	瓦 特 (w)	英制马力 (hp)	英尺·磅力/秒 (ft·lbf/s)	英热单位/秒 (BTU/s)
1	75	632.415	0.175671	0.735499	735.499	0.986320	542.476	0.697117
0.0133333	1	8.43221	0.00234228	0.00980665	9.80665	0.0131509	7.23301	0.00929492
0.00158124	0.118593	1	2.77778×10^{-4}	0.0011630	1.16300	0.00155961	0.857785	0.00110231
5.69246	426.936	3600	1	4.18680	4186.80	5.61459	3088.02	3.96832
1.35962	101.972	859.845	0.238846	1	10^3	1.34102	737.562	0.947816
0.00135962	0.101972	0.859845	2.38846×10^{-4}	10^{-3}	1	0.00134102	0.737562	9.47813×10^{-4}
1.01387	76.0402	641.187	0.178108	0.745700	745.700	1	550	0.706786
0.00184340	0.138255	1.16580	3.23832×10^{-4}	0.00135582	1.35582	0.00181818	1	0.00128506
1.43448	107.586	907.186	0.251996	1.05506	1055.06	1.41486	778.168	1