

化学工程 卷I 三版 SI单位

流体流动 传热与传质

[英] J.M. 柯尔森 J.F. 李嘉森 著

化 学 工 业 出 版 社

本书是根据J. M. Coulson与J. F. Richardson著、J. R. Backhurst与J. H. Harker协助编纂的“Chemical Engineering” Vol. I译成的。原书第一版由英国Pergamon出版社于1954年出版，曾由天津大学化工系及机械系部分教师据1955年的修订本译出，译本由本社于1958年出版。现该书（卷I）已于1977年出版了第三版，内容较前增补甚多，并改用国际单位制（SI），现由原来的译者根据第三版重新译出。

本书（卷I）介绍化学工程的基本知识和原理，内容包括流体流动、传热与传质这三种传递过程的物理基础，并有专章叙述这三种过程的联系与边界层学说。在提供坚实的理论基础的同时，对这些原理的具体应用——管路、流体输送机械、测量仪表、热交换器、增湿塔与凉水塔的设计与（或）操作问题，亦有仔细的论述。原书说理比较严密有系统，内容亦颇详实，是在国外被广泛接受的一本化学工程教科书。这个译本可作高等院校师生的教学参考书，亦可供从事化学工程方面科研、设计、生产的工程技术人员参考。

参加本书翻译工作的是天津大学有关教师，各章译者的姓名如后：序与第一、九章，丁绪淮；第二、三、四章，余国琮；第五、六章，刘豹；第七章，王绍亭；第八、十、十一章，麦本熙；附录与习题陈涛。由于化学工程卷Ⅳ习题解答汇编已出版故习题部分删去。全部译文的统一校订工作由麦本熙担任。

CHEMICAL ENGINEERING

volume one

FLUID FLOW, HEAT TRANSFER AND MASS TRANSFER

J. M. Coulson and J. F. Richardson

J. R. Backhurst and J. H. Harker

Pergamon press (三版) 1977

化 学 工 程

卷 I

流体流动、传热与传质

第3版

（国际制单位）

丁绪淮 余国琮 刘豹 王绍亭 麦本熙 陈涛 译

*

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850×1168¹/₃₂印张18³/₈字数526千字印数1—10,110

1983年9月北京第1版1983年9月北京第1次印刷

统一书号15063·3519定价2.25元

第 一 版 序

把各式各样的化学工业过程当作一系列的单元操作来处理的这一见解，首先是由华克尔(Walker)、刘易斯(Lewis)和麦克阿丹姆士(McAdams)在他们1923年所著的教科书中，作为一个新的工艺学基础而提出的。在这以前，化学工厂的工程技术是被看作异业各殊，彼此之间很少有共同之处的。自从本世纪二十年代的初期，化学工程就已经作为一门单独的学科在美国和英国的大学中开设，而且近年来颇有扩展，因之在这两个国家中目前都设有一些这门学科的大学课程。在过去二十年间，某些技术杂志上所记述的各种科学研究成果，使这门学科的内容得以广泛增加；这些杂志在本书中常有引用。

虽然这门学科日益受到了重视，但是除了对于某些部分例如蒸馏、传热等已有一些专书外，通论本则所见不多。本书的目的就是要将这门学科的基本知识介绍给学生。许多化工操作的机理，其物理基础是化学工学的一个重要部分。在解决个别操作的问题之先，把好多操作所共有的普遍机理着重加以探讨是重要的。因此我们把内容分为两卷，第一卷就包括这些基本知识——扩散、流体的流动和传热——的叙述。第二卷中我们将说明如何把这些理论基础应用于各个单元，例如蒸馏塔、过滤机、结晶器、蒸发器等的设计。

上册共分为四篇：流体的流动、传热、传质和增湿。化学工程师既然必须处理一切流体，包括在高压下可压缩的气体，我们相信，从热力学的观点来考虑这个问题，对流体的流动导出一些能在广泛的情况下使用的通式，是个好办法。对于边界层如何在平面上和导管内发展起来，我们曾经特别注意加以说明，因为它对传热和传质的控制是很重要的。同时，我们也加了泵送一章，这是由于化学工程本质上是一门实用学科，而在化学和石油工业中遇到的这类问题，是普通工程书籍中所不谈的。

传热一章叙述了计算在广泛的情况下用的传热膜系数时所公认的技巧，还包括了一部分关于列管式热交换器的一般构造的叙述，这些热交换器是许多工厂的一个重要部分。也指出了比较新的板式热交换器的前途。

在第三部分中，传质一章介绍了扩散的机理，随后论述了热量、质量和动量的传递彼此之间的共同关系以及浅显的边界层学说。最后一个部分包括了增湿的实际问题，其中传热和传质二者是同时进行的。

在所有各章中都有用小字排印的节段。像这样的一门学科，其中包括从极其理论的和理想的物系以至于具有经验性质的或实验测定的关系的实际问题，在初次阅读之时很可以把一些比较理论的部分略去，而事实上在较为实用的课程中就往往这样行事。因此把较难的理论部分用小字排印，而对于比较留心于问题的实用方面的人们，整个第九章也可以省略。

在很多的公式推导中，我们写出了比惯常为详细的数学分析。根据我们的经验，用数学来处理问题的方法应该交代详尽，而后学生应该把类似的分析方法运用到不同的问题中去。

在每一章中我们都插入了一些例题，我们相信，这些例题对于正确理解书中所述的处理问题的方法，是必要的。学生在自己解决新的实际问题之前，很有必要先搞懂例题。化学工程问题要求有数值的答案，因之熟习不同的技巧，以便能用系统的方法而并不是凭直觉去得出答案，这是要紧的。

编写这本教科书时，我们所遵循的是若干年来我们所开这门课的讲稿，其中论述了这门学科的内容，而着重于理论方面。对于一门发展得这样快而且包括从物理科学到实用技术的学科，其题材的选择必然是一件属于个人癖好的事。然而，理论和实践，前者在书中的阐述更较重要，后者则最好在工厂中获得。我们希望，这本书对于工业中的某些人员也有所裨益，他们即或善于运用经验关系式，却也想了解基本知识所能给予的帮助。

我们应当借此机会向一些曾经通过批评建议给予帮助的朋友们致

谢，其中我们特别感谢华纳尔(F. E. Warner)先生，古特(M. Guter)博士，拉斯巴希(D. J. Rasbash)博士和卡坦(L. L. Katan)博士。我们也向一些慨允使用它们的设备图的公司致谢。我们业已注明所引用的某些技术杂志文献，并对出版者允许使用他们书刊中的插图表示谢意。我们尤其要感谢英国化学工程师学会、美国化学工程师学会、美国化学会、牛津大学出版社和麦格劳-希尔(McGraw-Hill)图书公司。

1953年

第 三 版 序

英国和其它许多国家采用国际制 (SI) 单位, 这件事本身就使得有必要修订这部工程教材。明确推行单一的单位制, 这将不仅受到那些已经置身于工程职业中的人员, 还会更加受到那些将要参加这个队伍的人员的欢迎。这种单位制度系以厘米·克·秒 (c.g.s.) 和米·千克·秒 (m.k.s.) 两种制度为依据, 而 c.g.s. 和 m.k.s. 制都用长度 (L), 质量 (M) 和时间 (T) 作为三个基本因次, 如同在物理科学中所惯用的那样。它有很大的优点, 即它消除了工程单位制中对质量和力这两个量共用一个名称磅所引起的任何可能的混乱。因此, 我们在正文、习题和例题中都用 SI 单位, 但在附录中列物理性质表时则尽可能地兼用 SI 和其它单位制。我们认为这很重要, 因为有很多物理数据是用 c.g.s. 单位发表的。由于类似的原因, 在适当的地方也保留工程单位作为另一种选择。

除了改用 SI 单位外, 我们利用这个机会把内容加以刷新并求论述清晰。新增加了一节气-液混合物的两相流动, 以反映气体和石油工业中对它日益增长的兴趣以及它在垂直管内液体沸腾方面的应用。

质量传递对于化学工程师是一个特有的中心课题, 故对该章作了很大的扩充并使其内容反映现代化科技水平。这里我们想到重要的是, 在介绍某些理论工作时要着重指出它的暂时性, 并表明, 虽然某些理论往往可能缺乏充分的科学根据, 但它们却为解决问题提供了可行的技巧基础。在讨论流体流动时我们援引了美国的方法, 而流量测定则比较侧重于从控制系统部件的角度介绍仪表的应用。我们强调了管路网的重要性, 在现代大规模企业中管路网代表很大一个费用项目。

本书内容包括流体流动、热量传递和质量传递三种主要传递操作的物理基础。一些技巧已经发展到对实际应用能够提供最方便而可行

的解决办法，我们觉得，在介绍这些技巧之前，有必要为这些操作打下一个完善的基础。同时，我们引导读者注意象列管热交换器厂商协会（TEMA）和英国标准为热交换器设计制订的那样有价值的设计规范以及其它关于管内流动系统的手册。

对于设计人员，经常记住保证可靠和安全是很重要的：这可从理解所涉及的基本原理中加以领会，许多这些原理在本书中有所阐述。

我们感谢几个国家的许多朋友把建议写给了我们，并且我们希望这一版将对促进本行业的发展和对本专业的重视有所裨益。我们还乐于感谢几位实业家，他们供给的许多很有用的资料已编入这一版内；对这种援助我们在适当地方标明谢意。我们对瓦尔迪（B. Waldie）博士，他参与编写高温传热部分，并对凯洛格（Kellogg）国际公司和亨福莱士（Humphreys）与哥拉士高（Glasgow）有限公司的帮助，表示特别感谢。最后，我们愿意感谢巴克赫斯特（J. R. Backhurst）博士和哈克尔（J. H. Harker）博士的编辑工作以及把算题用SI单位重新演算过并把图表加以换算。

自从本卷第二版问世以来，已经出版了《化学工程》第三卷，以便把对大学和工业双方在七十年代都重要的那些化学工程领域更较全面地予以报道。

1976年1月

第 二 版 序

值此第二版问世之际，我们乐于向世界各地的许多朋友致谢，他们曾对如何清晰地叙述本书的一些部分和增加他们觉得是重要的内容，慷慨地提出过建议。在过去八年期间，大学里在对化学工程的一般入手方法方面已经有了改变，把重点转移到传递过程的物理机理上来，并对不稳态条件表现出更大的兴趣。我们借此机会加强了那些涉及过程的机理的章节，尤其是论述传质的第七章和论述流体力学的各章，在后者中我们更着重于动量变换的使用。许多化学工程师主要关心的是工厂的实用设计，因之我们试图在论述传热的第六章中包括略为多一点这方面的有用材料。增加了一节因次分析导论，但只能够简述使用这一种技巧可以开辟的一些途径而已。贯串着全书还会发现有许多小的改动，并且我们试图借增加若干例题和为学生遴选更多的习题以满足许多读者的要求。书中题材的选择及其安排变得更加困难，故而这在很大程度上必然是一件属于个人癖好之事，但我们希望，这次新版将对学习本学科的基本知识提供一个坚实的基础并将对从事实际工作的工程师或许有些价值。

J. M. 柯尔森

J. F. 李嘉森

注：上述各章号码在现行版（译者注：指第三版）中有所变动。

目 录

第三版序

第二版序

第一版序

第一章	单位与因次	1
第二章	流体流动——能量与动量的关系	18
第三章	管道内及渠道内的摩擦	46
第四章	可压缩流体流动及两相流动	93
第五章	流量与压力测量	126
第六章	流体的泵送	164
第七章	传热	222
第八章	传质	364
第九章	边界层与管内流动	418
第十章	动量、热量与物质传递	463
第十一章	气体增湿与水的冷却	491
附录：	物理性质图表	539
	水蒸汽表	567

第一章 单位与因次

1.1 引言

学习化学工程的人在早期就会发现，他使用的数据是用很多不同的单位表示的，因而在进行计算之先必须把他的数量用一个共同的单位制度表示出来。为了达到标准化，已进行尝试采用国际单位制(SI)，这个制度将在后面予以讨论，而且它是这次新版使用的主要制度。这个制度在欧洲大陆上广泛使用，而且现已被联合王国所接受并很可能会在国际间流行。在实验室中所测定的物理性质，大多数是要用厘米-克-秒(c.g.s.)制来表示，而正规生产设备的尺寸及其产量、设计和操作特征将或以某种通用的工程单位的形式，或以各个特定工业有其历史根源的特殊单位的形式出现。这种不一致是很难免的，而且也反映这样一个事实，即化学工程的发展在许多情况下是科学知识和实际经验的综合。所以，熟习各种不同的单位制度并且能从一种制度换算成另一种，是很重要的。在本章中将讨论主要的单位制度并强调了解因次的重要。而后叙述因次怎样能在很大程度上帮助把大量参数之间的关系用公式表达出来。

任何物理量的大小可用两个量的积来表示；一个是单位的大小，另一个是这些单位的数目。例如两点之间的距离可表示为1米或100厘米或3.28英尺。米、厘米和英尺分别是单位的大小，而1、100和3.28则是单位的相应的数目。(译者注：本章因为讨论单位，故把各单位名称及其代号译出。以后各章凡遇到单位时则一概沿用原文代号。)

既然一个物系的物理性质是通过一系列的力学和物理定律互相连结起来的，则有可能把某一些量看作是基本的，而把其它一些量看作是导出的。基本因次的选择，各个制度不同，但通常都取长度和时间。

为基本因次。这些量将用 **L** 和 **T** 来表示。速度，即距离随时间的增长率，它的因次可写成 LT^{-1} ；而加速度，即速度的增长率，它的因次可写成 LT^{-2} 。面积的因次为 L^2 而体积的因次则为 L^3 。

一个物体的体积并没有把它所含物料的数量完全加以明确，因而通常还要规定一个第三种基本量，此即物体中物质的数量，也就是它的质量 **M**。这样，物料的密度，即它的单位体积的质量，具有 ML^{-3} 的因次。另一种办法是，所选择的第三种基本量可以是力 **F**；在某些场合，可同时用力和质量作为基本量，如后面所述。

物理和力学定律为因次之间提供又一组关系。其中最重要的一条是，对一个物体产生给定的加速度所需的力与物体的质量成正比，而且同样地，给与一个物体的加速度与所施加的力成正比。

这样，力就与质量和加速度之积成正比，即

$$\mathbf{F} = \text{常数} \times \mathbf{M}(\text{LT}^{-2})$$

所以比例常数具有的因次是：

$$\mathbf{F}/\mathbf{M}(\text{LT}^{-2}) = \mathbf{FM}^{-1}\text{L}^{-1}\text{T}^2$$

在任何一组一致的单位中，比较方便的是把比例常数硬性地规定为一，而把单位力定义为给单位质量以单位加速度的力。只要不使用力和质量之间的其它关系，可把比例常数硬性地看作是无因次的并且得出有因次的关系式：

$$\mathbf{F} = \mathbf{MLT}^{-2}$$

但若引用另外某一种物理定律，比方说两物体之间的吸引力与它们的质量之积成正比，则上述 **F** 和 **M** 之间的关系不复存在。

1.2 单位制度

虽然在科学工作中把质量取作第三个基本量，而如前所述，在工程中有时又用力，可以用 **L**，**M**，**F**，**T** 这四个基本量，其主要好处是这四种单位本身通常都用来表示物理量。

现在将讨论各单位制度和与它们相联系的基本量。表 1.1 是一览表。

1.2.1 厘米-克-秒 (c.g.s.) 制

在此制中，基本单位是长度 **L**，质量 **M**，和时间 **T** 的单位，其名称是：

长度：	因次 L ：	单位 1 厘米 (1cm)
质量：	因次 M ：	单位 1 克 (1g)
时间：	因次 T ：	单位 1 秒 (1s)

力的单位是给予 1 克质量 1 厘米/秒² (1cm/s²) 的加速度的力，称为达因，

力：因次 **F** = **MLT**⁻²；单位 1 达因 (1dyn)

1.2.2 国际单位制 (SI) ①

此制是厘米·克·秒 (c.g.s.) 制的变体，但使用较大的单位。基本因次仍是 **L**，**M** 和 **T** 的因次，但它们的数值不同。

长度：因次 **L**；单位 1 米 (1m)

质量：因次 **M**；单位 1 千克 (1kg)

时间：因次 **T**；单位 1 秒 (1s)

力的单位称为牛顿 (newton)，它是给一千克质量以 1 米/秒² (1m/s²) 加速度的力。这样，1N = 1kgm/s²，因次是 **MLT**⁻²，而且可以看出，一牛顿等于 10⁵ 达因。能的单位，即牛顿米，是 10⁷ 尔格，称为焦耳；而功率的单位等于一焦耳每秒，称为瓦特。

于是 力：因次 **MLT**⁻²；单位 1 牛顿 (1N)

或 1 千克·米/秒² (1kg m/s²)

能：因次 **ML**²**T**⁻²；单位 1 焦耳 (1J)

或 1 千克·米²/秒² (1kg m²/s²)

功率：因次 **ML**²**T**⁻³；单位 1 瓦特 (1W)

或 1 千克·米²/秒³ (1kg m²/s³)

对于许多用途，SI 系统所选的单位在实际应用时可能太大或太小。下列是目前采用的标准词冠。最好用 10³ 的幂的倍数或次倍数，例如，用毫米总是比用厘米要好。

① 译者注：有关国际单位制内容的中文译法，尽量按照国家标准计量局国际单位制办公室 1978 年 9 月 30 日所发出的《计量单位名称、代号方案 (征求意见稿)》。

因数	词冠名称	代号
10^{12}	太拉(tera)	太(T)
10^9	吉咖(giga)	吉(G)
10^6	兆 (mega)	兆(M)
10^3	千 (kilo)	千(k)
10^2	百 (hecto)	百(h)
10^1	十 (deca)	十(da)
10^{-1}	分 (deci)	分(d)
10^{-2}	厘 (centi)	厘(c)
10^{-3}	毫 (milli)	毫(m)
10^{-6}	微 (micro)	微(μ)
10^{-9}	纳诺(nano)	纳(n)
10^{-12}	皮可(pico)	皮(P)

词冠应当很小心地使用，并且应当写得紧紧靠近所要形容的单位；此外，在一个给定单位之前每次只应当用一个词冠。例如， 10^{-3} 米，即一毫米，应写成1mm。 10^3kg 应写成1Mg而不是1kkg——这就立刻显出，**千克**这个名称作为质量的一个基本单位是不合适的，在不久的将来大概会给它一个新的名称。

1.2.3 英国工程制

此制用英尺和秒作为长度和时间的单位，但使用磅力作为第三种基本单位。磅力的定义是给一磅质量以 32.17英尺/秒^2 加速度的力。因此它是一个固定量，一定不要和磅重量相混淆，后者是地球的引力场施于一磅质量上的力而且是各处不同的。

此制中的质量单位称为斯勒(slug)，是受一磅力的作用而发生 1英尺/秒^2 加速度的质量：

$$1\text{ 斯勒} = 1(\text{磅力})(\text{英尺})^{-1}(\text{秒})^2$$

1.2.4 英尺-磅-秒 (f.p.s.) 制

这里的三个基本单位是长度 **L**，其值是 1 英尺；质量 **M**，其值是 1 磅；时间 **T**，其值是 1 秒。

力的单位是磅达 (poundal)，它是给 1 磅质量以 1英尺/秒^2 的加速度所需之力：

$$1\text{ 磅达} = 1(\text{磅质量})(\text{英尺})(\text{秒})^{-2}$$

比较英国工程制和英尺-磅-秒制可见：

1 斯勒=32.17磅质量且 1 磅力=32.17磅达

由于在一个制度中质量的单位和在另一个制度中力的单位名称相同，即都是磅，时常引起误会。为避免混淆，应把磅质量写成磅(lb)或甚至磅_质 (lb_m) 而把力的单位写成磅_力 (lb_f)。

许多作者，尤其是在美国，在同一方程中兼用磅质量和磅力作为基本单位，因为它们都是通常使用的单位。这本质上是一种不一致的单位制度，用时需特别当心。在这种制度中，把力和质量之间的一个比例因数定义为g_c如下：

力(磅力)=(磅质量)(加速度英尺/秒²)/g_c

因此，用因次表示：**F=(M)(LT⁻²)/g_c**

而g_c具有**F⁻¹MLT⁻²**的因次。

1.2.5 导出单位

SI和c.g.s.制度的三个基本单位是长度、质量和时间。曾经说明，力可以认为是具有 **MLT⁻²** 的因次；其它许多参数的因次可通过基本的**MLT**制而导出。

例如：

能是力和距离之积，其因次是**ML²T⁻²**。

压力是单位面积上的力，其因次是**ML⁻¹T⁻²**。

参 数	单 位	因 次	用千克-米-秒(kg,m,s)表示
力	牛顿	MLT⁻²	1千克米/秒²(1kg m/s²)
能或功	焦耳	ML²T⁻²	1千克米²/秒²(1kg m²/s²) = 1牛米(1Nm)
功 率	瓦特	ML²T⁻³	1千克米²/秒³(1kgm²/s³) = 1焦/秒(1J/s)
压 力	帕斯卡	ML⁻¹T⁻²	1千克/米秒²(1kg/ms²) = 1牛/米²(1N/m²)
粘 度		ML⁻¹T⁻¹	1千克/米秒(1kg/ms) = 1牛秒/米²(1Ns/m²)
频 率	赫兹	T⁻¹	1 $\frac{1}{秒}$ (1 $\frac{1}{s}$)

粘度的定义是单位速度梯度的剪应力，其因次是 $(\text{MLT}^{-2}/\text{L}^2)/(\text{LT}^{-1}/\text{L}) = \text{ML}^{-1}\text{T}^{-1}$ 。

运动粘度是粘度除以密度，其因次是 $\text{ML}^{-1}\text{T}^{-1}/\text{ML}^{-3} = \text{L}^2\text{T}^{-1}$ 。

这些量在SI制中的单位、因次和正规表示方法可陈述如表。

1.2.6 热单位

由于热是能量的一种形式，它可用具有因次 ML^2T^{-2} 的单位来表示，但这种表示方法有时不一定方便。假如引入温度这个概念，其因次为 θ ，则一个物体的热能 H 可方便地表示为 $(H) \propto \text{质量}(M) \times \text{温度}(\theta)$ 。比例常数是比热容，它随着物料而改变，不象牛顿运动定律中的比例常数那样。因此有必要把热量通过一种特殊的物料来加以规定，这种物料通常是 15°C (298K) 的水。如果这样做，对热能用热单位，则对水而言可使比例常数等于一，而按因次得出：

$$H = M\theta$$

在SI制中热这个量总是用焦耳表示，如同其它形式的能一样。在c.g.s.制中热的单位被定义为在大气压下使一克水升高 1°C 的热量。

在f.p.s.和英国工程制度中，英热单位是把一磅水升高 1°F ($60 \sim 61^\circ\text{F}$) 所需的热量，而磅卡（路里）或摄氏度热单位是把一磅水升高 1°C 所需的热量。

卡（路里）和千卡（路里）已通过焦耳严格地分别被重新规定为 4.1868J 和 4186.8J 。

把热能用和机械能同样的单位表示，则比热具有 $\text{ML}^2\text{T}^{-2}/M\theta = \text{L}^2\text{T}^{-2}\theta^{-1}$ 的因次，而水的比热变成等于热功当量（见下）。因此按所采用的单位制，水的比热将具有下列数值：

c.g.s.制	1 卡/克 $^\circ\text{C}$
工程制	1 英热单位/磅 $^\circ\text{F}$
SI制	4186.8焦/千克K

有必要能够把机械能和热能联系起来，这可以通过引用名词 J 作为热功当量而很方便地办到：

$$J = \frac{\text{机械能}}{\text{热能}} = \frac{LF}{H} = \frac{(L)(\text{MLT}^{-2})}{M\theta} = \text{L}^2\text{T}^{-2}\theta^{-1}$$

因此在机械能和热能出现在同一方程中的场合，必须当心保证二者都用同样单位表示。在SI制中， J 事实上等于一，因为在此制中 $H = M\theta$ 这个关系并不确实。

1.2.7 摩拉尔 (Molar) 单位

涉及化学反应时，用摩拉尔单位进行工作往往很有用。例如摩尔 (mole, 单位写成 mol) 是物质的量，此物质的质量用克表示时在数值上等于它的分子量，千摩尔 (kmol) 则是用千克表示时的相应量，而磅摩尔 (lb mol) 则是用磅表示时的相应量。

摩尔是SI制中所采用的摩拉尔单位，但本书将选用千克摩尔，因为用千克表示质量时它是一个更一致的单位。

1.3 单位的换算

把单位从一个制度换算到另一个制度是简单易行的，假如所有的量都用质量、长度、时间和温度的基本单位来表示。对于英制和米制，换算因数则是：

质量 1磅 = 1/32.2斯勒 = 453.6克 = 0.4536千克

长度 1英尺 = 30.48厘米 = 0.3048米

时间 1秒 = 1/3600小时

温度差 1°F = (1/1.8)°C = (1/1.8)K

力 1磅力 = 32.2磅达 = 4.44×10^{-5} 达因
 = 4.44牛顿

如果要把粘度从泊 (克每厘米-秒) 换算成英制或SI单位，则其程序可按例1.1所示如下。

例 1.1 把 1 泊(P) 换算成英国工程单位及SI单位。

$$\begin{aligned} \text{解} \quad 1 \text{ 泊} &= 1 \text{ 克/厘米秒} = \frac{1 \text{ 克}}{1 \text{ 厘米} \times 1 \text{ 秒}} \\ &= \frac{(1/453.6) \text{ 磅}}{(1/30.48) \text{ 英尺} \times 1 \text{ 秒}} = 0.0672 \text{ 磅/英尺秒} \\ &= 242 \text{ 磅/英尺小时} \end{aligned}$$

表 1.1 单 位

量	c. g. s. .	SI	f. p. s. .	用M, L, T, θ 的因次	英国/美国工程制	用F, L, T, θ 的因次	用F, M, L, T, θ 的因次
质量	克	千克	磅	M	斯勒	$FL^{-1}T^2$	M
长度	厘米	米	英尺	L	英尺	L	L
时间	秒	秒	秒	T	秒	T	T
力	达因	牛顿	磅达	MLT^{-2}	磅力	F	F
能	尔格 ($=10^{-7}$ 焦耳)	焦耳	英尺-磅达	ML^2T^{-2}	英尺-磅	FL	FL
压力	达因/平方厘米	牛顿/平方米	磅达/平方英尺	$ML^{-1}T^{-2}$	磅力/平方英尺	FL^{-2}	FL^{-2}
功率	尔格/秒	瓦特	英尺-磅达/秒	ML^2T^{-3}	英尺-磅/秒	FLT^{-1}	FLT^{-1}
单位质量的嫡	尔格/克- $^{\circ}C$	焦耳/千克-K	英尺-磅达/磅- $^{\circ}C$	$L^2T^{-2}\theta^{-1}$	英尺-磅/斯勒- $^{\circ}F$	$L^2T^{-2}\theta^{-1}$	$FM^{-1}L\theta^{-1}$

热 单 位

量	c. g. s. .	SI	英国/美国工程制	用M, L, T, θ 的因次	用H, M, L, T, θ 的因次
温度	摄氏温度	开氏度(K)	华氏度	θ	θ
热能或热	克-卡	焦耳	英热单位(Btu)	$M\theta$	H
单位质量的嫡, 比热	克-卡/克- $^{\circ}C$	焦耳/千克-K	英热单位/磅- $^{\circ}F$	—	$HM^{-1}\theta^{-1}$
热功当量, J	4.18×10^7 尔格/克- $^{\circ}C$	1焦耳(热能)=1焦耳(机械)	2.50×10^4 英尺-磅达/磅- $^{\circ}F$	$L^2T^{-2}\theta^{-1}$	$H^{-1}ML^2T^{-2}$