

郑传文

物理学单位

制定原理与换算

内蒙古人民出版社

物 理 学 单 位

制定原理与换算

郑 传 文

内蒙古人民出版社

**物理学单位
制定原理与换算**
郑 传 文

*

内蒙古人民出版社出版

(呼和浩特市新城西街82号)

内蒙古新华书店发行 内蒙古新华印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 5.125 字数: 118 千

1980年6月第一版 1981年6月第1次印刷

印数: 1—7,835册

统一书号: 13089·21 每册: 0.44元

前 言

由于历史的原因或实用方面的理由，在物理学中长期以来多种单位制并存。由于各制系所取的基本单位不同，某些物理量的概念也随之不同，因而物理常数和方程式等也各有差异，这就给学习和使用造成了困难，加之各国使用不同的单位制，又给国际间的科技交流和商业贸易造成了障碍。长期以来，许多国家就致力于统一单位制的工作。国际单位制问世后，才使物理学单位制得以完全统一。

国际单位制是经过改进的现代形式的米制（国际公制），是全世界唯一公认的“一切测量的共同语言”。各国采用国际单位制已是大势所趋。我国于一九五九年就颁发了《统一计量制度的命令》，确定以国际公制为我国的基本计量制度。一九七七年五月二十七日国务院又颁发了《中华人民共和国计量管理条例（试行）》，其中第三条规定：“我国的基本计量制度是米制（‘公制’），逐步采用国际单位制。”并规定中小学课本一律采用国际单位制中的新单位。目前，有些部门已经开始采用国际单位制，有些部门正在积极准备采用。

采用国际单位制将对我国国民经济各部门带来很大益处，根本解决统一计量制度的问题。采用国际单位制，在科研中可以使理论计算和实验测量中的计量单位大大减少，从而使理论和实验分析得到简化；在教学中可以避免现在使用的单位和生产实践中的单位相互脱节，又可节约时间；在工农业生产中可使生产设计、计算和测量免去不少单位反复换

算的麻烦。计量单位的统一和简化，也是搞好工业标准化、规格化和系列化的基础。在商业方面采用世界统一的单位制，无疑将促进国内贸易和国际进出口贸易的发展。总之，全面采用国际单位制对我国实现四个现代化是必要的，有利的。

本书以国际单位制为基础，对物理学单位制及常用单位进行了讨论，对国际单位制以外的其它单位制及制外单位，则主要侧重于说明与国际单位制的关系，以便在查阅资料时进行换算。本书可作为中学物理教师的教学参考资料和高等学校理工科学生的课外读物，也可供从事有关工作的科技人员参考。

在本书编写过程中，承内蒙古自治区标准计量所提供了许多有价值的资料；初稿写完后，曾请梁铁峥和刘典宪二位同志审阅，提出许多宝贵的意见和具体建议，谨在此一并致谢。

作者

一九七九年六月

目 录

第一章 选择单位和建立单位制的一般问题	1
§ 1-1 量度的一般概念	1
§ 1-2 量度单位的选择 单位制	6
§ 1-3 量纲的概念	9
§ 1-4 基本单位的个数问题	14
§ 1-5 国际单位制 (SI)	17
一、SI 的构成原则	17
二、SI 的基本单位	18
三、SI 的辅助单位	20
四、SI 的导出单位	21
五、SI 的词冠	22
六、SI 的使用原则	23
七、如何对待 SI 以外的单位	25
第二章 力学单位制	32
§ 2-1 基本单位和辅助单位	32
一、基本单位	32
二、辅助单位	35
§ 2-2 导出单位	37
§ 2-3 SI 以外的单位	47
一、CGS 制单位	47
二、MKgfs 制单位	50
三、制外单位	52
§ 2-4 解物理题时的计算规则	56

第三章 声学单位	59
§ 3-1 表征声音的物理现象的单位	59
§ 3-2 表征声音的生理现象的单位	65
第四章 热学单位制	68
§ 4-1 温度 温标	68
§ 4-2 SI 导出单位	71
§ 4-3 SI 以外的单位	80
一、CGS 制单位	80
二、制外单位	82
第五章 电磁学单位制	85
§ 5-1 SI 的电磁学单位	86
§ 5-2 CGSE 单位制	107
§ 5-3 CGSM 单位制	114
§ 5-4 高斯单位制	123
§ 5-5 各单位制相应单位之间的关系	125
第六章 电磁辐射单位	136
§ 6-1 电磁辐射的能量单位	136
§ 6-2 热辐射单位	140
§ 6-3 光学量单位	142
§ 6-4 放射性衰变单位	147
§ 6-5 辐射与物质相互作用的单位	149
参考书目	154
附录	155
附录 1 常用物理常数表	155
附录 2 ϵ_0 和 μ_0 在不同单位制中之值	156
附录 3 英文, 希腊文字母表	157

第一章 选择单位和建立 单位制的一般问题

§ 1-1 量度的一般概念

在日常生活中，人们每天都和各种量发生关系，如长度、面积、体积、时间、重量、温度，等等。在科学和工程方面，需要量度的物理量的范围就更加广泛了。例如，物体运动的速度和加速度、电网中的电压和电流强度、材料的弹性、气体的压强、玻璃的折射率、机器的功率、电磁波的波长或频率，等等。

量度的方法也非常多，哪怕是对于同一个物理量，也会有几种非常不同的量度方法。例如，简单的直尺和复杂的光学仪器都可以用来测量长度；测量电压或测量温度可以使用许多种不同的仪表，这些仪表的结构原理往往有很大的区别，应用范围和使用方法也各有不同。但不论使用何种仪器，测量的方法如何，所有对任意一个物理量的测量，都归结为将该量与另一个定作单位的同类量作比较。例如，测量桌子的长度，是把它与单位长度相比较；测量一个物体的质量，是把它与砝码的质量相比较。测量任何一个量，就是找出这个量与相应的量度单位的比，这一比值就是所要求的量的大小。显然，用不同的量度单位测量同一个物理量，会得到不同的

数值。

当然量度单位的大小是人为规定的，是可以任意选择的。不过，人们总是希望选择那些应用起来比较方便的单位，用这些单位来测量实践中经常遇到的那些量并得到大小合适的数值。

由于历史的原因，物理学的单位和单位制非常繁杂，同一个物理量有好几种单位。所以，必须要能够将一种单位转换到另一种单位，也就是要有一个同一物理量用某两种单位量度的数值之间的换算关系。

假定物理量 A 用单位 a_1 量度时得出的数值为 A_1 ，则可以写成

$$\frac{A}{a_1} = A_1$$

若将此物理量用单位 a_2 量度时得出数值 A_2 ，则有相应的关系式

$$\frac{A}{a_2} = A_2$$

比较此二式，得出

$$A_1 a_1 = A_2 a_2 \quad (1-1)$$

或

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{a_2}{a_1} \quad (1-2)$$

(1-1) 或 (1-2) 式就是我们所需要的同一物理量用两种不同单位量度时所得到的数值之间的换算关系。

这一公式也表示出为人们所熟悉的规律，即测量一个物理量时所得出的数值与其量度单位成反比。也就是说，当用来测量该物理量的单位大若干倍时，则表示此物理量的数值小同样的倍数。例如，用米作单位来量某人的身长得到的数

值是 1.70，意即此人身长 1.70 米；若用厘米作单位来量此人身长，则得到的数值为 170，即此人身长 170 厘米。这一规律是人们常识所能了解的简单规律，但正因为其简单，所以往往不引起人们很好的注意，以至当接触到比较复杂而又不常见的量时，一些人则忘记运用这一普通的规律而造成不应有的错误。特别是需要应用不同的单位制表示同一物理方程式时，在换算方程式的系数过程中更容易出错，这一点是应该着重提及的。

例如，计算真空中两个点电荷间的相互作用力 F 时，应用库仑定律

$$F = k \frac{qq'}{r^2}$$

式中 q 和 q' 分别为两个点电荷的电量， r 为它们之间的距离，而 k 为一比例系数，视式中 q 、 q' 、 r 、 F 采用不同量度单位而取不同的数值（暂且不管 k 的单位）。如果 q 和 q' 用静库作单位来量度， r 用厘米作单位来量度， F 用达因作单位来量度，则比例系数 $k = 1$ ；而如果 q 和 q' 用库仑作单位来量度， r 用米作单位来量度， F 用牛顿作单位来量度，比例系数 k 则可能是不等于 1 的其它数值。这是因为，在通常公式中的符号是表示量的数值，这些数值是表示这些量用某一单位来量度时所得到的数值。由于用不同的单位来量度同一物理量时会得到不同的数值，而物理量本身是不变的，所以同一公式中的各量采用不同的单位量度时，会有不同的比例系数。

下面计算当 q 和 q' 用库仑作单位， r 用米作单位， F 用牛顿作单位来量度时，真空中库仑定律公式中的比例系数 k 的具体数值。

因为 1 库仑 = 3×10^9 静库, 用前边讲过的符号表示, 就是

$$\frac{a_2}{a_1} = 3 \times 10^9$$

由 (1-2) 式得

$$\frac{A_{q_1}}{A_{q_2}} = \frac{a_2}{a_1} = 3 \times 10^9$$

此式中 A_{q_1} 和 A_{q_2} 分别表示同一电量用静库和库仑作单位来量度时所得到的数值。同样, 因为 1 米 = 100 厘米, 若 A_{r_1} 和 A_{r_2} 分别表示同一距离用厘米和米作单位来量度时所得到的数值, 就有

$$\frac{A_{r_1}}{A_{r_2}} = 100$$

因为 1 牛顿 = 10^5 达因, 若 A_{F_1} 和 A_{F_2} 分别表示同一力用达因和牛顿作单位来量度时所得到的数值, 就有

$$\frac{A_{F_1}}{A_{F_2}} = 10^5$$

此时, 库仑定律可以分别写作

$$A_{F_1} = \frac{A_{q_1} A'_{q_1}}{A_{r_1^2}}$$

和
$$A_{F_2} = k \frac{A_{q_2} A'_{q_2}}{A_{r_2^2}}$$

两式相除, 得

$$\frac{A_{F_1}}{A_{F_2}} = \frac{1}{k} \frac{\frac{A_{q_1}}{A_{q_2}} \cdot \frac{A'_{q_1}}{A'_{q_2}}}{\left(\frac{A_{r_1}}{A_{r_2}}\right)^2}$$

$$\therefore 10^9 = \frac{1}{k} \frac{(3 \times 10^9)^2}{100^2}$$

$$\therefore k = 9 \times 10^9$$

因而，此时真空中库仑定律的数学表达式应写作

$$F = 9 \times 10^9 \frac{qq'}{r^2}$$

又如，当力 F 用牛顿作单位，质量 m 用千克作单位，加速度 a 用米/秒² 作单位时，牛顿第二定律的数学表达式可写作

$$F = ma$$

但若保持 m 和 a 的单位不变，而以千克力作为力 F 的单位，则公式中便会有一个不等于 1 的比例系数 k ，即

$$F = kma$$

因 m 和 a 的单位不变，为确定比例系数 k 的数值，只须考虑力 F 的单位改变对比例系数所造成的影响就可以了。

实验表明，1 千克力 = 9.8 牛顿，用我们的符号表示，就是

$$\frac{a_{F2}}{a_{F1}} = 9.8$$

$$\therefore \frac{A_{F1}}{A_{F2}} = \frac{a_{F2}}{a_{F1}} = 9.8$$

式中 A_{F1} 和 A_{F2} 分别表示同一个力用 $a_{F1} = 1$ 牛顿和 $a_{F2} = 1$ 千克力作单位来量度时所得到的数值。但因 m 和 a 的单位不变，上述两式中 m 和 a 相应的数值亦应相等，故有

$$\frac{A_{F1}}{A_{F2}} = \frac{1}{k}$$

$$\therefore k = 9.8$$

于是，此时牛顿第二定律的数学表达式应写作

$$F = \frac{1}{9.8} \text{ ma}$$

为了更明确起见，还必须强调，正因为通常在公式中的一些符号是表示有关物理量用某些单位来量度时所得到的数值，因而，为了完整地表示一个物理量，必须在用某一单位来量度这一物理量所得到的数值后面加上该量度单位。在前面量身长的例子中，用米作单位量得身长为 1.70，应该说“身长为 1.70 米”。如果说成“身长为 1.70”，除了在日常生活中的特定环境中外，是没有意义的，而在物理学中是不允许的。尽管我们在计算过程中，往往并不把量度单位写出来，但绝不能忘记，所涉及的物理量的数值后面都是带有某一单位的，所以在计算结果中应写出相应的单位。

§ 1-2 量度单位的选择 单位制

要把任何一个物理量完整地表示出来，必须要有它的数值和单位。作为量度单位的大小是人为的任意规定的。初看起来，只要人为地给每个物理量任意规定一个量度单位，便完全解决了物理量的量度问题，其实不然。

任意规定的量度单位并不总是方便的，也就是说，用任意规定的量度单位来量度某一物理量时，并不总是大小合适的。例如，用米来量度房子的高度，桥梁的长度等比较合适，而用米来量度城市之间的距离，地球的直径等就显得太小（得出的数值太大）；用米来量度分子的直径、原子中电子轨道的半径，光波的波长等又显得太大（得出的数值太小）。因而，实际上总是人为的规定一些量度单位，使之在日常生活、生产实践和科学实验中应用起来比较方便。这样的

单位叫做主单位。在实际使用中为了使一切测量都得到大小合适的数值，往往又组成主单位的十进倍数单位和十进分数单位。

十进倍数单位是将主单位乘以10的正整数次幂而得到的单位。例如，1千米 = 10^3 米，等等。

十进分数单位是将主单位除以10的正整数次幂而得到的单位。例如1毫米 = $\frac{1}{10^3}$ 米 = 10^{-3} 米，等等。

由于各个物理量之间并不是互相独立的，而是由许多物理定义和物理规律把它们联系起来。这样，只要人们规定了少数几个物理量的单位，其它物理量的单位就可以根据定义或物理规律推导出来。这样独立定义的单位叫做基本单位，由基本单位导出的单位叫做导出单位。

例如，当选定长度单位米（m）和时间单位秒（s）作为基本单位，便可以根据定义得到速度的单位。由速度的定义可以得到

$$v = k \frac{s}{t} \quad (1-3)$$

式中 v 为速度， s 为在时间 t 内通过的路程， k 为比例系数。比例系数 k 是可以任意选择的，为使问题简化，我们选取 $k = 1$ ，由此即可得到速度的单位米/秒（m/s）。

又如，选定长度单位米（m），质量单位千克（kg），时间单位秒（s）作为基本单位，可以根据牛顿第二定律列出方程式

$$F = kma \quad (1-4)$$

式中 F 为物体所受到的合力， m 为物体的质量， a 为物体在力 F 的作用下所获得的加速度， k 为比例系数。依同样的原

则，令 $k = 1$ ，便得到力的单位千克米/秒²。这个单位有一个专门的名称，叫做牛顿，即 1 牛顿 = 1 千克米/秒²。

像 $v = \frac{s}{t}$ ， $F = ma$ 这样一些用来确定导出单位的物理方程式（或物理公式）叫做导出单位的定义方程式（或定义式）。

但须注意，上面得到的速度单位米/秒，是选择了长度单位米，时间单位秒作为基本单位，并且在（1-3）式中取 $k = 1$ 的结果。若取 $k \neq 1$ ，就不会得到米/秒这个速度单位。反之，若任意选取速度单位（例如公里/小时），便不会得到 $k = 1$ 这一比例系数。例如，仍选取米、秒作为基本单位，而选择公里/小时作为速度的单位，便由（1-3）式得到

$$1 \text{ 公里/小时} = k \text{ 米/秒}$$

由此得到

$$k = \frac{5}{18}$$

这就是说，如果选取米作为长度单位，秒作为时间单位，公里/小时作为速度的单位，那么速度的公式就应该写成如下的形式

$$v = \frac{5}{18} \frac{s}{t}$$

这就使问题复杂化了。由此可见，任意选择速度的单位是没有什么好处的。比较好的做法，是像我们前面做的那样，先令 $k = 1$ ，使定义方程化为最简形式，然后再由基本单位确定速度的单位。

用上述的方法，能够以某几个任意选定的基本单位为基础，推导出一系列导出单位，这一系列基本单位和导出单位作为整体，叫做单位制。

选取不同的单位作为基本单位,可以得到不同的单位制。

选择长度单位米 (m)、质量单位千克 (kg)、时间单位秒 (s) 作为基本单位,得到米千克秒制(MKS 制,下称 MKS 制);

选择长度单位厘米 (cm)、质量单位克 (g)、时间单位秒 (s) 作为基本单位,得到厘米克秒制(CGS 制,下称 CGS 制);

选择长度单位米 (m)、质量单位吨 (t)、时间单位秒 (s) 作为基本单位,得到米吨秒制(MTS 制,下称 MTS 制);

选择长度单位米 (m)、力(重量)单位千克力 (kgf)、时间单位秒 (s) 作为基本单位,得到米千克力秒重力制 ($MKgfs$ 制,下称 $MKgfs$ 制)。

MKS 制的进一步发展完善,成为国际单位制(SI,下称 SI) 本书将主要叙述 SI,对 SI 以外的单位,将着重说明其定义方法及与 SI 的换算关系。

§ 1-3 量纲的概念

选定了基本物理量之后,任何其它物理量都可以借助于定义方程式用基本物理量表示出来。在力学中,我们通常选择长度 l (路程 s)、质量 m 和时间 t 作为基本物理量。这样任何其它物理量都可以用 l (s)、 m 、 t 这三个物理量(或其中两个物理量)表示出来。为此,就必须选择一系列的定义方程式,这些定义方程式组成所谓定义方程式系列。

定义方程式系列应该满足下列条件:

(1) 在系列的第一个方程式中,除了包含有准备定义的物理量之外,只包含有基本物理量;

(2) 以后的任何一个方程式，除了包含有准备定义的物理量之外，只包含有基本物理量和前面已经定义了的物理量。

下面的方程式系列就满足这样的条件：

$$v = \frac{s}{t}$$

$$a = \frac{v}{t}$$

$$F = ma$$

$$p = \frac{F}{s}$$

$$W = Fs$$

$$P = \frac{W}{t}$$

$$J = mr^2 \text{ 等等}$$

系列中的任何一个方程式，都或者直接表示出导出量与基本量之间的依赖关系，或者给出了建立这种关系的可能性，即通过一定的文字运算得到导出量与基本量之间的依赖关系。

例如，方程式 $v = \frac{s}{t}$ 建立了导出量速度 v 与基本量路程 s 和时间 t 之间的依赖关系；方程式 $J = mr^2$ 建立了导出量质点绕一个轴转动时的转动惯量（惯性矩） J 与基本量质点的质量 m 和质点到转轴的距离 r 之间的依赖关系。

上面列出的其它方程式不能直接地建立起导出量与基本量之间的依赖关系，不过，这种依赖关系可以通过计算得到。为此，必须把方程式右边的导出量用基本量表示出来。

例如，在加速度的定义方程式中，把速度用路程 s 和时