

量和单位丛书 **5**

王家石 编

力学的量和单位

量出版社

量和单位丛书(5)

力学的量和单位

王家石 编

计 量 出 版 社

1983·北京

量和单位丛书 (5)

力学的量和单位

王家石 编

—*—

计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

北京计量印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

—*—

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张 2

字数 43 千字 印数 1—31 000

1983年5月第一版 1983年5月第一次印刷

统一书号 15210·270

定价 0.29元

说 明

为了贯彻1981年7月14日经国务院批准的、由中国国际单位制推行委员会颁布的《中华人民共和国计量单位名称与符号方案(试行)》,“全国量和单位标准化技术委员会”提出了有关量和单位的15项国家标准(即 GB3100、GB3101 及 GB3102.1—13),并已于1982年5月至7月先后经国家标准局批准发布(1983年7月1日起实施)。我们现在组织上述国家标准的起草人员编写了这套《量和单位丛书》,供各有关科学研究、文化教育、新闻出版、国防建设、国内外贸易、工农业生产、经济管理及政府机关人员使用参考。

对本丛书的意见,请寄北京市邮政2112信箱SI办公室。

中国国际单位制推行委员会办公室

1982年11月

目 录

一、国家标准《力学的量和单位》的制定原则·····	(1)
二、力学学科的特点·····	(3)
三、力学中使用的单位和单位制·····	(4)
四、国际单位制中的力学单位与工程单位制的区别 ·····	(7)
五、标准中主要力学量和单位的说明·····	(8)
附 录·····	(42)
国际单位制单位(力学)与其它单位的换算系数·····	(42)

一、国家标准《力学的量和单位》 的制定原则

1. 积极采用国际标准

国际标准化组织 (The International Organization for Standardization 简称 ISO) 是一个有较大影响的国际性组织。它发布了一个国际标准《力学量和单位》(ISO31/Ⅲ—1978)。我国国家标准 GB 3102.3—82 即与此相对应。在制定此国家标准时, 主要参考了 ISO/31—1978。同时还参考了日本、西德和苏联等一些国家的相应标准。这样就能够便于国际间科学技术的交流和进出口贸易的往来。

2. 积极贯彻国家有关计量方面的法令和条例

1977年5月27日国务院颁布的《中华人民共和国计量管理条例(试行)》中指出:“我国的基本计量制度是米制(即公制), 逐步采用国际单位制。”1981年8月6日又发布《中华人民共和国计量单位名称与符号方案(试行)》(以下简称《方案》)。这些条例、法令成为制定本标准的依据。特别是《方案》, 它是以国际单位制 (Système International d'Unités 国际简称为 SI) 为基础, 结合我国实际情况制定的。而 ISO 的各个标准都采用了 SI。这样, 以《方案》为主要依据来制定国家标准, 是与积极采用 ISO 的标准相一致的。同时, 也可以使国际、国内协调吻合。

另外, 对于国内一些影响较大的书籍、资料, 在制定本标准时也尽可能地予以注意, 以便做到协调一致。

3. 慎重地对待我国的习惯

在积极采用国际标准的同时, 也适当地尊重了我国的使

用习惯，特别是在量和单位的名称上，采取了慎重的态度。同时，由于各个学科长期以来在量与单位的名称上就有一些不一致的地方，要想在目前完全统一，也是不现实的。如果轻易改变各自习惯使用的名称，将来发现不合适再进行改动，就会增加许多不必要的混乱，同时也会降低标准的严肃性。所以标准中并列了一些量和单位的名称。

4. 标准所列出的都是一些最基本的量

本标准给出的39个量都是力学的一些最基本的量。因为力学是相当大的一个领域，它的量也是相当多的，本标准不可能全部给出。本标准以外的力学量，可以依照《国际单位制及其应用（GB3100）》、《关于量、单位和符号的基本原则（GB3101）》以及本标准各自制定，但要符合国家标准的有关规定。

5. 标准中量的定义不是严格的

本标准中量的定义，只是为了区别量和确定单位才给出的。因此，它的定义不是严格的。如果在本标准中给出量的严格定义，势必把标准变得非常庞杂。况且，量的定义在各个学科之间也是不完全统一的，若目前硬要统一，条件也尚不成熟。所以标准中对量的定义作这样的处理还是比较妥当的。同时，也不会使本标准失去它的基础标准的性质。

量和单位国家标准（全套15个）是基础性的国家标准。根据国家有关部门的要求，今后制定各项国家标准时，都要贯彻使用这一套国家标准。在有关的科学研究和工程技术中，也要依照这一套国家标准进行研究、设计、制造和施工。

国家标准《力学量和单位》分三部分：引言，力学中最基本的量和单位，附录（补充件）。

补充件性质的附录虽不是标准的正文，但它是对标准技

术内容所作的补充，相当于标准技术内容的一个组成部分。之所以把一些量的单位编排在附录中，没有列入标准正文的并用单位一栏内，是因为这些单位在《方案》中均属于暂时并用的单位。这些单位将根据我国推行国际单位制的进展情况，逐步废除。其中大部分单位，ISO已宣布禁止使用。所以，对这些单位应尽量少用或不用。

二、力学学科的特点

力学是一个领域相当广泛的学科，它与物理学中的其它学科相比，具有它自己的特点。

(1) 力学在人类社会生产实践中的应用是比较早的，可以说自从进入人类社会以来，人们就有意无意的开始运用力学的原理来从事生产劳动。古代科学家们也就逐步积累、总结生产劳动中运用力学原理的经验，并且开始做一些简单的力学实验。直到伽利略（1564—1642）冲破了宗教的束缚，才提出了相当深刻的力学理论和实践论证。经过科学家们的努力，到了十八世纪初的牛顿（1642—1727）时代，力学就已经成了一个比较完整、系统的学科。因此可以说，力学是一门古老而成熟的学科。

(2) 力学是一门实用性很强的学科。在工业、农业、交通、建筑、国防等各行各业，力学都有它的直接实用价值，就是人们的日常生活也离不开它。说它无处不有，似乎有点夸张。不过，说它得到了极其广泛的应用，却还是切合实际的。

(3) 力学与其它学科有着直接的密切的关系。不少学科是在力学的基础上发展起来的。在某种程度上，可以说力学对其它学科起着基础作用。

(4) 力学虽然古老，但是，它仍有着相当宽广的发展领域。自牛顿建立了经典力学以后的二百多年以来，已经出现了不少力学分支。诸如材料力学、弹性力学、塑性力学、结构力学、水力学、土力学等，还有近几年发展起来的断裂力学和各种工程力学举不胜举。它们有力学的共性，又有各自的特点。

正是因为力学学科有这么一些特点，它的单位和单位制的使用与其它学科比较，也就有其相应的特点。由于学科的形成比较早，比较成熟，它使用的单位和单位制也就有成熟、封闭的特点；由于力学在各部门应用的比较广泛，为了适应各部门的需要，它使用的单位和单位制就有灵活、多样的特点；由于力学对其它学科起着基础作用，其它学科使用的单位和单位制都是以力学的单位制为基础发展起来的，它们相互之间的依赖关系就比较明显。但是由于其它学科和力学分支有着本身的特点，为了使用单位制的方便，各学科总还是要建立各自的系统的。

总之，力学的单位和单位制既有成熟、封闭的一面，又有灵活、多样的一面。其它学科的单位制对力学单位制来说，既有依赖的一面，又有独立的一面。

三、力学中使用的单位和单位制

在所有学科中，力学使用的单位制的种类是比较多的。不过，这些单位制中也有一个共同的特点，那就是它们都采用了“三量纲制”。

力学中有很多物理量。这些物理量之间绝大多数都存在着内在的联系——力学的物理定律。例如，牛顿第二定律 $F = ma$ ，就是把作用在物体上的力、物体的质量和物体运动

的加速度三个物理量联系在一起的。人们总结了力学中各物理量之间的大量关系——力学的物理定律，发现在所有力学物理量当中只要选定3个量以后，力学的其它物理量就可以根据描述各物理量之间关系的物理定律推导出来。所选定的3个物理量，称为基本物理量，其它物理量称为导出物理量。把选定的3个基本物理量，相应的规定出它们的单位，这3个单位就称为力学的基本单位。根据描述各物理量之间关系的物理定律，可以由这3个基本单位推导出力学领域所有的物理量的单位，这些单位称为导出单位。这就是所谓力学单位的“三量纲制”。

力学中采用的单位制是多种多样的、极不统一的。在物理学上，普遍采用的是“厘米·克·秒”(CGS)制。它选择的3个基本物理量是长度、质量和时间，它们采用的单位分别是厘米(cm)、克(g)、秒(s)。至于力学中的其它物理量的单位，也就可以根据物理学的一些有关定律由此推导出来。例如，速度这个物理量，在物理学上定义为单位时间内所移动的距离，这样就可以用长度和时间的单位来表示这个物理量的单位，即厘米每秒(cm/s)。又如，动量这个物理量，在物理学上定义为质量和速度的乘积，这样它的单位就是克厘米每秒(g·cm/s)，等等。与“厘米·克·秒”(CGS)制类似的还有“米·千克·秒”(MKS)制、“米·吨·秒”(MTS)制。它们的共同特点都是选择长度、质量和时间这3个物理量的单位作为基本单位。有时就把这3种单位制统称为“绝对单位制”。又因为它们都是以米制(公制)为基础建立起来的，所以，确切地说，应该称为“米制绝对单位制”。

当长度单位采用英尺，质量单位采用磅，时间单位采用秒时，就形成了“英制绝对单位制”。即“英尺·磅·秒”制。

无论“米制绝对单位制”，还是“英制绝对单位制”，当前都在被物理学界广泛采用。“米制绝对单位制”中的“米·千克·秒”（MKS）制，如果加上词头和SI的分数及倍数单位就是国际单位制中的力学部分的单位。因为在国际单位制的7个基本单位中，有关力学的3个基本单位选定的也是米（m），千克（kg）和秒（s）。

除了物理学界普遍采用的上面这类力学“绝对单位制”以外，当前被广泛采用的还有另一类单位制，叫作“工程单位制”，或称为“重力单位制”。这种单位制与绝对单位制的根本区别，在于所选择的3个独立的物理量是不同的。工程单位制选择的是力、长度和时间这3个物理量，用它们的单位作为基本单位，即力用千克力、吨力等，长度用毫米、厘米、米等，时间用秒、分、小时等。再用这3个基本单位，根据物理学定律导出力学中的其它物理量的单位。工程单位制与绝对单位制在选择独立的物理量上有两个是相同的，即长度和时间是相同的，而另一个是不同的。绝对单位制选的是质量，而工程单位制选的是力。这类单位制在工交、建筑、设计和生产各部门中被广泛的采用着。使用米制（公制）的国家和地区，这种工程单位制，称为“米制工程单位制”。在使用英制的国家和地区，相应力的单位用磅力，长度的单位用英尺，时间的单位用秒，这就又形成了“英制工程单位制”。这一类单位制不仅在国内被广泛采用，就是在国际上，大多数国家在工程技术上都采用这类单位制。采用国际单位制的国家已经或者正在逐步废除工程单位制。国际标准化组织（ISO）已宣布禁止使用这类单位制。我们国家规定暂时允许使用工程单位制，但要予以限制。

四、国际单位制中的力学单位与 工程单位制的区别

国际单位制中的力学单位与工程单位制有着原则性的根本区别。如前所述，首先两者的基本单位选择的不同。国际单位制中有关力学的3个基本量的单位是长度单位米(m)，质量单位千克(kg)，时间单位秒(s)；工程单位制中所选的3个基本单位有两个与国际单位制是相同的，即长度单位米(m)和时间单位秒(s)，另一个选择的不是质量单位，而是力的单位——千克力(kgf)。千克力是这样定义的：1 kg质量的物体在纬度45°海平面上所受的重力（地球引力）定为1个力的单位，其名称为千克力(kgf)。“重力单位制”也由此而得名。其次，从两者的导出单位看，区别就更明显了。在国际单位制中，力的单位是导出单位，即1 kg质量的物体能获得 1 m/s^2 的加速度时所需要的力，定为1个力的单位，其名称为牛顿，国际符号为N。在工程单位制中质量单位是导出单位，就是1 kgf能使物体产生 1 m/s^2 的加速度时，此物体的质量定为1个质量单位。它的单位表达式（用工程单位制的基本单位表示）可以由 $F = ma$ 的变形

$$m = \frac{F}{a}$$

直接导出

$$[m] = \frac{[F]}{[a]} = \frac{\text{kgf}}{\text{m/s}^2} = \text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}$$

给予专门名称“工程质量”，没有国际符号。

表4-1中列出的是4个物理量的单位在两种单位制中的比较。

表 4-1

单位类别 \ 单位制	SI	工程单位制
基本单位	长度: 米(m)	长度: 米(m)
	时间: 秒(s)	时间: 秒(s)
	质量: 千克(kg)	力: 千克力(kgf)
导出单位	力: 牛顿(N)	质量: 工程质量(kgf·s ² /m)

由表中可以明显地看出质量和力在两种单位制中的区别。这个问题是当前推行国际单位制中的一个重点问题, 下面还要详细讨论。至于由两种单位制的基本区别而引起的其它不同, 在下面介绍本标准中各物理量及其单位时, 再作具体讨论。

有关英制的各种单位制与国际单位制的区别, 这里不再作详细的比较, 本标准中也没有列出有关英制的量和单位。因为我国无论在物理学界, 还是工程技术界, 英制已基本上不使用了。

五、标准中主要力学量 和单位的说明

标准中一共列出39个力学量, 这里未能全部予以介绍, 只是分类对一些主要的力学量给予介绍和说明。

1. 力及其单位

由前面所述我们可以看出, 力学单位制的变动, 从根本上说就是力的单位的变动, 从而引起了力学中一系列单位的变动。所以, 对力及其单位要着重予以说明。

(1) 力的定义

力这一物理概念，在不同的范围内，不同教科书和资料中，有各种不同的解释。诸如，物体之间的相互作用；改变物体运动状态的原因；物体的质量与其加速度之积；物体的动量对时间的变化率，等等。第一种说法比较通俗，是直观地解释力这一物理概念的，比较容易接受。第二种说法把作用在物体上的力和物体的运动状态（加速度）联系在一起，物体之所以能够改变运动状态，就是由于物体上有力的作用。第三种说法是第二种说法的具体化、公式化，是物理学中著名的牛顿第二定律。用公式来表达就是

$$F = ma$$

式中： F ——作用在物体上的力；

m ——物体的质量；

a ——物体所获得的加速度。

最后一种说法，是把应用的范围扩大了，把质量不再当作一个固定的常量，而是当作变量来考虑。因为当物体运动的速度接近或超过光速时，其物体的质量就不再是一个常量了，所以，用动量对时间的变化率

$$F = \frac{d(mv)}{dt}$$

来描述力就更恰当了。标准中就是给出的这种广义的定义。

如果物体运动速度比较低，质量 m 为常量，上式就演变成

$$F = \frac{mdv}{dt} = ma$$

即是以上第三种说法的表达式。通常情况下，都是用牛顿第二定律来描述力。

(2) 力的单位

在国际单位制中，力的单位是导出单位。推导单位的原

则是一贯性原则，也称为系数为1的原则。遵照这一原则，根据牛顿第二定律（物理方程）就可以导出力的单位。把物理方程（ $F = ma$ ）写成物理量方程

$$\{F\}[F] = \{m\}[m] \cdot \{a\}[a]$$

抽出其中的数字方程和系数

$$\{F\} = \{m\}\{a\}$$

剩下的单位方程

$$[F] = [m][a]$$

就是力的单位方程。在国际单位制中，质量 m 的单位是千克（kg），加速度 a 的单位是米每二次方秒（ m/s^2 ），代入力的单位方程

$$[F] = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2$$

即是力的单位，称为千克米每二次方秒。这就是国际单位制中力的单位。

如果用系数为1的原则来确定力的单位也可以。根据牛顿第二定律，使质量为1 kg的物体产生 1 m/s^2 的加速度，所需要的力定为1个力的单位，即

$$[F] = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}^2 = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

其单位的系数为1，是符合一贯性原则的。在标准中力的单位就是这样定义的。

力的单位是一个常用的重要的单位，对其给予一个专门名称是必要的。国际计量大会决定用牛顿（newton）作为力的单位名称，国际符号为N，就是用符号N代表力的单位 $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ 。

（3）SI 中力的单位与工程单位制中力的单位的换算

在工程单位制中，力的单位是基本单位，其定义为：质量为1kg的物体在纬度 45° 海平面上所受的重力为1个力的单位，称作千克力，符号 kgf。工程上常简写为 kg。上述地点

的重力加速度定为 $9.806\,65\text{ m/s}^2$ (实际重力加速度与此有出入, 在国际上把它定为标准重力加速度)。在国际单位制中, 质量为 1 kg 的物体获得 $9.806\,65\text{ m/s}^2$ 的加速度时, 物体所受到的作用力

$$F = 1\text{ kg} \times 9.806\,65\text{ m/s}^2 = 9.806\,65\text{ N}$$

这就是说, 工程单位制中 1 kgf 相当于国际单位制中 $9.806\,65\text{ N}$ 。如果用等式表示, 可以写成

$$1\text{ kgf} = 9.806\,65\text{ N}$$

对于一般工程, 取三位有效数字, 即可满足要求, 那么

$$1\text{ kgf} = 9.81\text{ N}$$

如果允许有2%的误差时, 就可以取

$$1\text{ kgf} = 10\text{ N}$$

例如, 原来说某汽车的牵引力为 10 t ($10\,000\text{ kg}$), 现在换成国际单位中的力的单位, 就是

$$10\,000 \times 9.806\,65 = 98\,066.5\text{ N} = 98.0665\text{ kN}$$

如果精度要求不高, 原来 10 t 的牵引力, 大约相当于 98.1 kN 的牵引力或 100 kN 的牵引力。

在 GB 3102.3—82 附录中还列入了另外一个力的单位——达因 (dyn)。这个单位在国际单位中要求一般最好不与国际单位制单位并用, 在我国的《方案》中规定为暂时与国际单位制并用的单位。这是考虑到我国的实际情况和物理学上的应用习惯, 才列入附录中的。

$$1\text{ dyn} = 10^{-5}\text{ N}$$

2. 质量及其单位

质量是衡量物体本身固有性质的一个物理量, 根据需要在不同场合分为惯性质量和引力质量。

所谓惯性质量, 是从物体的惯性角度来说明质量的。由牛顿第二定律 $F = ma$ 可以看出, 如果以相同的力 F 作用在

两个质量大小不同的物体上，其中一个获得较小的加速度 a ，则这个物体的质量 m 必然较大；另一个获得较大的加速度 a ，则这个物体的质量 m 必然较小。加速度是描述物体运动状态的，这样就可以说，获得较小加速度的物体，也就是质量较大的物体，保持原来运动状态的能力大；而获得较大加速度的物体，也就是质量较小的物体，保持原来运动状态的能力小。这种受力物体保持原来运动状态的能力，叫做物体的惯性。物体的质量大，惯性就大；质量小，惯性就小。所以说，质量是对物体惯性的度量。这就是惯性质量的由来。

所谓引力质量，是从任何两个物体之间都有相互吸引力的角度来说明质量的。由万有引力定律

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

中可以看出，式中的两个质量 m_1 和 m_2 的大小，直接影响着引力 F 的大小，因此，可以说质量是用来衡量物体间相互吸引能力的物理量。这就是引力质量的来源。

无论是惯性质量，还是引力质量，对于同一个参考系，物体质量的量值是相同的。所以，通常就不加以区分了，统称为质量。通俗地解释质量，就是物体中所含物质的多少。

在标准中没有给出质量的定义，因为在物理学中它不会和其它物理量相混淆。至于说明物品好坏的“质量”不属于物理量范畴。另外，质量在国际单位制中，是被选定的基本物理量，其单位是法定的基本单位，不需要用物理方程来推导。

质量的单位是千克，国际符号为 kg，它等于国际千克原器的质量。国际千克原器保存在国际计量局，它是用90%铂和10%铱的铂铱合金做成的圆柱体，其直径和高均为39mm。这个千克原器是1889年第1届国际计量大会上定为质量单位