

# 力 学 量 与 国际单位制 (SI)

金 哲 学

(中国科学院力学研究所)

过去我国采用的基本计量单位是米制 (即公制), 而今后我国将逐步推行国际单位制。采用国际单位制, 牵涉较多的部门主要是工业技术、生产和教学等方面, 牵涉较多的学科主要是力学专业。为此, 在这里介绍国际单位制和有关的力学量单位。

国际单位制 (Système International d'Unités, 简称 SI) 是一九六〇年第十一届国际计量大会 (CGPM) 通过采纳的全世界统一的单位制, 它是在米制计量单位基础上发展起来的比较先进的计量单位制。现在世界上很多国家, 特别是科学技术比较发达的国家都已采用国际单位制。过去采用英制的国家也大部分已决定放弃英制, 采用或准备采用国际单位制, 其中英国是推行国际单位制最积极的国家。他们从一九六五年开始, 制订出十年计划推行国际单位制, 从一九七〇年以后出版的教科书, 几乎都采用了国际单位制, 最近几年出版的一些书刊也采用了国际单位制。

那么, 为什么各国都在推行国际单位制呢? 过去由于计量单位不统一, 给国际间的技术交流带来很大不便。过去计量单位很多, 也不统一, 即使一种米制单位, 也派生出 CGS 制、MKS 制、重力单位制 (工程单位制) 等多种单位制, 因而单位制和单位既多又乱, 带来不少混乱。米制和英制之间更要进行繁琐的换算。

国际单位制使科学技术与生产、国际贸易和日常生活等各个方面的计量单位统一在一种单位制中, 以代替各国所用的单位制, 达到计量制度在全世界范围内的统一。例如, 过去计量压力的单位繁多, 仅米制中就有工程大气压 ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )、标准大气压 (atm)、毫米水柱、毫米汞柱 (又叫托)、巴、达因/厘米<sup>2</sup> 等等, 而在国际单位制中只用一个压力单位帕斯卡 (Pa) 即牛顿/米<sup>2</sup> 代替。

其次, 国际单位制采用的是绝对单位制。长期以来, 千克 (公斤) 既是质量的单位, 又是重量的单位, 因此往往混淆。我国一九五九年六月二十五日由国务院

公布的“统一公制计量单位中之名称方案”中, 质量单位和重量单位名称一样, 例如其主单位 kg 都叫“公斤”。实际上重量是与力相同性质的量, 与质量完全不同 (重量 = 质量 × 重力加速度)。在国际单位制中千克 (公斤, kg) 只代表质量, 不再代表重量, 而重量的单位采用力的单位牛顿 (N)。

总之, 采用国际单位制在科研和生产中计量单位大大减少, 从而使理论和实验分析得到简化, 在工农业生产中避免反复换算计量单位的麻烦。采用国际单位制无疑将促进国际贸易和技术交流, 这对促进我国社会主义现代化, 是有利的。

## 一、米制与国际单位制

过去使用的米制单位中有物理学中使用的 CGS (厘米-克-秒) 单位制, MKS (米-公斤-秒) 单位制和工程技术中使用的重力单位制。为了便于比较, 将它们的基本量列于表 1。

表 1 米制中的各种单位制

基本量 \ 单位制	CGS 制	MKS 制	重力单位 (工程单位) 制
长 度	cm	m	m
质 量	g	kg	$\text{kg}^* \cdot \text{s}^2/\text{m}$
时 间	s	s	s
力	dyn (达因) $\text{g} \cdot \text{cm}/\text{s}^2$	N (牛顿) $\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$	$\text{kg}^*$

表 1 中  $\text{kg}^*$  为工程单位制的重量 (力), kg、g 为 MKS、CGS 单位制的质量。为了避免混乱, 过去在工程中以 kg 表示质量, kgf 或 kgw 表示重量 (力)。过去俄文中用  $\text{kgf}$  表示重量 (力),  $\text{kg}$  表示质量; 德文中用  $\text{kp}$  表示重量 (力),  $\text{kg}$  表示质量, 以资区别。

国际单位制实际上是 MKS 单位制的扩大, 其中质量以千克 (公斤, kg) 表示, 而力 (重量) 用牛顿 (N) 表示。这样, 压力单位中取消了  $\text{kgf}/\text{cm}^2$ , 而使用牛顿每平方米 ( $\text{N}/\text{m}^2$ ), 叫做帕斯卡 (Pa)。

国际单位制中构成一贯体系的基本单位、辅助单位和导出单位称为“国际制 (SI) 单位”, 而用来构成国际制 (SI) 单位的十进倍数单位与分数单位的词冠, 称为“国际制 (SI) 词冠” (表 6)。

国际制基本单位共七个 (表 2), 辅助单位共二个 (表 3)。国际制导出单位中有基本单位表示的导出单位、辅助单位表示的导出单位、具有专门名称的导出单位 (共 17 个) 和专门名称表示的导出单位等等 (表 4、5)。过去使用的一些单位有的与国际制单位一致, 有的可以与国际单位制并用, 有的暂时与国际单位制并用 (表 7、8)。

国际计量委员会认为, 具有专门名称的厘米克秒 (CGS) 制单位, 一般最好不与国际制单位并用, 例如尔

格(erg)、达因(dyn)、泊(P)、斯托克斯(St)、高斯(Gs, G)等等。另外,有些单位例如托(Torr)、千克(公斤)力(kgf)、卡(cal)等等建议一般不使用。目前,我国的计量单位以国际单位制为基础,同时沿用某些国际单位制以外的其他单位。因此,工程单位制(重力单位制)、厘米克秒制暂时允许使用。

表2 国际制基本单位

量	名称	代号
长度	米	m
质量	千克(公斤)	kg
时间	秒	s
电流强度	安培	A
热力学温度①	开尔文	K
物质的量	摩尔	mol
光强度	坎德拉	cd

①摄氏温度用摄氏度(代号℃)表示。

表3 国际制辅助单位

量	国际制单位	
	名称	代号
平面角	弧度	rad
立体角	球面度	sr

表4 具有专门名称的国际制导出单位

量	国际制单位			
	名称	代号	用其它国际制单位表示的关系式	用国际制基本单位表示的关系式
频率	赫兹	Hz		$s^{-1}$
力	牛顿	N		$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
压力、应力	帕斯卡	Pa	$N/m^2$	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
能、功、热量	焦耳	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
功率、辐射通量	瓦特	W	$J/s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
电量、电荷	库仑	C		$s \cdot A$
电位、电压、电动势	伏特	V	$W/A$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
电容	法拉	F	$C/V$	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
电阻	欧姆	$\Omega$	$V/A$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
电导	西门子	S	$A/V$	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
磁通量	韦伯	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
磁感应强度	特斯拉	T	$Wb/m^2$	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
电感	亨利	H	$Wb/A$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
光通量	流明	lm		$cd \cdot sr$
光照度	勒克斯	lx	$lm/m^2$	$m^{-2} \cdot cd \cdot sr$ ①
放射性活度	贝可勒尔	Bq		$s^{-1}$
吸收剂量	戈瑞	Gy	$J/kg$	$m^2 \cdot s^{-2}$

①该二式中球面度(sr)当作基本单位

表5 各种国际制导出单位示例

种类	量	名称	代号	用基本单位表示的关系式
基本单位表示的导出单位	面积	平方米	$m^2$	
	体积	立方米	$m^3$	
	速度	米每秒	$m/s$	
	加速度	米每秒平方	$m/s^2$	
	密度	千克(公斤)每立方米	$kg/m^3$	
具有专门名称的导出单位②	力	牛顿	N	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
	压力、应力	帕斯卡	Pa	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
专门名称表示的导出单位	粘度	帕斯卡·秒	$Pa \cdot s$	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
	力矩	牛顿·米	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
	表面张力	牛顿每米	$N/m$	$kg \cdot s^{-2}$
	重度	牛顿每立方米	$N/m^3$	$m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-2}$
辅助单位表示的导出单位	角速度	弧度每秒	$rad/s$	
	角加速度	弧度每秒平方	$rad/s^2$	

②具有专门名称的国际制导出单位共有17个,详见表4。

表6 国际制词冠

因数	词冠	代号	因数	词冠	代号
$10^{18}$	艾可萨	E	$10^{-18}$	阿托	a
$10^{15}$	拍它	P	$10^{-15}$	飞母托	f
$10^{12}$	太拉	T	$10^{-1}$	分	d
$10^9$	吉咖	G	$10^{-2}$	厘	c
$10^6$	兆	M	$10^{-3}$	毫	m
$10^3$	千	k	$10^{-6}$	微	$\mu$
$10^2$	百	h	$10^{-9}$	纳诺	n
$10^1$	十	da	$10^{-12}$	皮可	p

表7 与国际制并用的单位

名称	代号	相当于国际制单位的数值
分	min	1分 = 60秒
小时	h	1小时 = 60分 = 3600秒
日	d	1日 = 24小时 = 86400秒
度	°	$1^\circ = (\pi/180)$ 弧度
分	'	$1' = (1/60)^\circ = (\pi/10800)$ 弧度
秒	"	$1'' = (1/60)' = (\pi/648000)$ 弧度
升	l	1升 = 1立方分米 = $10^{-3}$ 立方米
吨	t	1吨 = $10^3$ 千克(公斤)①

①系指质量。

表 8 暂时与国际制并用的单位

名称	代号	相当于国际制单位的数值
海里		1 海里 = 1852 米
节		1 海里每小时 = (1852/3600) 米/秒
埃	Å	1 埃 = 0.1 纳米 = $10^{-10}$ 米
公亩	a	1 公亩 = 1 平方十米 = $10^2$ 平方米
公顷	ha	1 公顷 = 1 平方百米 = $10^4$ 平方米
靶恩	b	1 靶恩 = 100 平方飞米 = $10^{-28}$ 平方米
巴	bar	1 巴 = 0.1 兆帕斯卡 = $10^5$ 帕斯卡
标准大气压	atm	1 标准大气压 = 101325 帕斯卡
伽	Gal	1 伽 = 1 厘米/秒 <sup>2</sup> = $10^{-2}$ 米/秒 <sup>2</sup>
居里	Ci	1 居里 = $3.7 \times 10^{10}$ 秒 <sup>-1</sup> = $3.7 \times 10^{10}$ 贝可勒尔
伦琴	R	1 伦琴 = $2.58 \times 10^{-4}$ 库仑/千克(公斤)
拉德*	rad	1 拉德 = $10^{-2}$ 焦耳/千克(公斤) = $10^{-2}$ 戈瑞

\* 系吸收剂量的名称, 当这个国际代号与平面角单位弧度的国际代号 rad 混淆时, 可以用 rd 作为国际代号。

## 二、力学量的导出体系

在国际单位制中, 用三个基本单位——米、千克

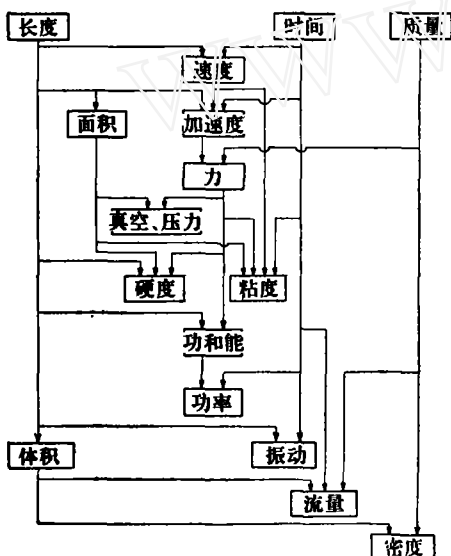


图 1 力学量的导出体系

(公斤)、秒和二个辅助单位——弧度和球面度, 就可以定出全部力学单位。常用的力学量的导出体系如图 1 所示。它们的国际制单位见表 4、5。

## 三、几点说明

(1) 国际单位制的重点是力的单位采用牛顿(N), 压力单位采用帕斯卡(Pa), 而取消了过去使用的力的单位千克(公斤)力和压力单位公斤力/厘米<sup>2</sup>(kgf/cm<sup>2</sup>)。一九七一年以前, SI 中压力单位使用牛顿/米<sup>2</sup>(N/m<sup>2</sup>), 后来明确了 N/m<sup>2</sup> 叫做帕斯卡(Pa)。

力是质量与加速度的乘积, SI 中力的单位是牛顿(N)。牛顿与其它力的单位的换算见表 9。

表 9 力值单位换算

牛顿①	达 因	公斤力②
N	dyn	kgf
1	$1 \times 10^5$	$1.01972 \times 10^{-1}$
$1 \times 10^{-1}$	1	$1.01972 \times 10^{-6}$
9.80665	$9.80665 \times 10^1$	1

注: ①千牛(kN)即斯坦(sn)。

②公斤力即千克力。

压力为面积上所作用的力, SI 中采用帕斯卡(Pa = N/m<sup>2</sup>)。压力单位帕[斯卡]与其它压力单位的换算见表 10。

过去使用的压力单位巴(bar)和标准大气压(atm)暂时与 SI 并用。其它单位的换算见参考文献<sup>[3]</sup>。

(2) 国际单位制与 CGS 制、MKS 制一样, 是绝对单位制的一种。所谓重力单位制是长度、时间单位是米、秒, 力的单位采用质量为 1 千克(公斤)的物体上作用的力——重量, 由这三者诱导出来的单位制, 一般用于工程技术中。过去绝对单位制中 1kg 的质量, 在重力单位制中认为  $0.10197 \text{ kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}$ 。在 SI 中质量的单位仍为千克(公斤, kg)。过去用绝对单位表示密度时, 其单位为  $\text{kg}/\text{m}^3$  (其中 kg 为质量的单位), 而在重力单位制中用  $\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$  表示(其中 kgf 为千克力, 是重量单位)。自然, 在国际单位制中密度的单位为  $\text{kg}/\text{m}^3$ , 重度的单位为  $\text{N}/\text{m}^3$ 。今后不再采用重力单位制。

表 10 压力单位换算

帕[斯卡]	巴	公斤力/厘米 <sup>2</sup>	标准大气压	毫米水柱	毫米汞柱、托
Pa	bar	kgf/cm <sup>2</sup>	atm	mm H <sub>2</sub> O	mm Hg, Torr
1	$1 \times 10^{-5}$	$1.01972 \times 10^{-5}$	$9.86923 \times 10^{-6}$	$1.01972 \times 10^{-1}$	$7.50062 \times 10^{-3}$
$1 \times 10^5$	1	1.01972	$9.86923 \times 10^{-1}$	$1.01972 \times 10^4$	$7.50062 \times 10^2$
$9.80665 \times 10^4$	$9.80665 \times 10^{-1}$	1	$9.67841 \times 10^{-1}$	$1.0000 \times 10^4$	$7.35559 \times 10^2$
$1.01325 \times 10^5$	1.01325	1.03323	1	$1.03323 \times 10^4$	$7.60000 \times 10^2$
9.80665	$9.80665 \times 10^{-3}$	$1.0000 \times 10^{-4}$	$9.67841 \times 10^{-3}$	1	$7.35559 \times 10^{-1}$
$1.33322 \times 10^3$	$1.33322 \times 10^{-3}$	$1.35951 \times 10^{-3}$	$1.31579 \times 10^{-3}$	$1.35951 \times 10$	1

#### 四、举 例

为了便于了解,下面举出两个实际计算例题,供参考。

[例题一] 在直径为 75 mm 的管道中装有孔径为 25 mm 的孔板,其中水以 300 cm<sup>3</sup>/s 的流量在流动。设水的粘度为 1 mN·s/m<sup>2</sup>,试求该孔板的流量系数。

[解] 孔口面积 =  $(\pi/4) \times 25^2 = 491 \text{ mm}^2$   
 $= 4.91 \times 10^{-4} \text{ m}^2$   
 水流量 = 300 cm<sup>3</sup>/s =  $3.0 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$   
 水在孔口的流速 =  $3.0 \times 10^{-4} / (4.91 \times 10^{-4})$   
 $= 0.61 \text{ m/s}$

粘度  $\mu = 1 \text{ mN} \cdot \text{s}/\text{m}^2 = 1 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$   
 $= 1 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{kg}/\text{s}^2 \cdot \text{m}^2$   
 $= 1 \times 10^{-3} \text{ kg}/\text{s} \cdot \text{m}$

因此水在孔板处的雷诺数

$$R_e = \frac{\rho d V}{\mu} = \frac{1000 \times 25 \times 10^{-3} \times 0.61}{1 \times 10^{-3}}$$

$$\frac{\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{m} \cdot \text{m}/\text{s}}{\text{kg}/\text{s} \cdot \text{m}}$$

$$R_e = 15250$$

直径比 = 孔口直径/管道直径 =  $25/75 = 0.33$

根据雷诺数和直径比查表(例如文献[5]的图 5.12)得孔板流量系数  $C_D = 0.67$ 。

[例题二] 单动空气压缩机的排气量为 0.1 m<sup>3</sup>/s (标准状态),它将空气从  $p_1 = 101.3 \text{ kN}/\text{m}^2$  (1 atm) 压缩到  $p_2 = 380 \text{ kN}/\text{m}^2$ 。如果吸入温度为 289 K,冲程是 0.25 m,频率为 4.0 赫 (Hz)。试求气缸的直径。设气缸的余隙  $c = 4\%$ ,其压缩和回程膨胀都是等熵的 ( $\gamma = 1.4$ )。试问压缩所需的理论功率是多少?

[解] 每冲程的体积

$$V_m = (0.1/4.0)(289/273) = 0.0264 \text{ m}^3$$

$$\text{压缩比 } p_2/p_1 = 380/101.3 = 3.75$$

每循环所进入的体积

$$V_m = V_1 \left\{ 1 + c - c \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{1/\gamma} \right\}$$

$$0.0264 = V_1 [1 + 0.04 - 0.04(3.75)^{1/1.4}]$$

扫过容积

$$V_1 = 0.0264 / (1.04 - 0.04 \times 2.7) = 0.0283 \text{ m}^3$$

因此,气缸的截面积

$$= 0.0283 / 0.25 = 0.113 \text{ m}^2$$

由此可得直径 =  $[0.113 / (\pi/4)]^{0.5} = 0.38 \text{ m}$

每行程所做的功

$$W = p_1 V_m \frac{\gamma}{\gamma - 1} \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} - 1 \right]$$

$$= 101300 \times 0.0264 [1.4 / (1.4 - 1)]$$

$$\times [(3.75)^{0.4/1.4} - 1]$$

$$= 9350(1.457 - 1) = 4278 \text{ J}$$

所需的理论功率

$$H = W \times 4.0 = 4278 \times 4.0$$

$$= 17112 \text{ W} \approx 17.1 \text{ kW}$$

#### 参 考 文 献

- [1] 国际计量局,国际单位制(SI),姜友陆译,科学出版社(1975)。
- [2] 国际单位制办公室,计量单位名称、代号方案(1978, 9)。
- [3] 《力值与硬度计量手册》,上册,科学出版社,(1978)。
- [4] 国际单位制(SI)“小特集”,计测と制御,13,8(1974)。
- [5] Coulson, J. M., Richardson, J. F., Chemical Engineering, I, Fluid flow, heat transfer and mass transfer, Third Edition (1977)。

(上接第 6 页)

多。在弹性常数的估算上比较准确,更多的工作要放在强度预测上,要用较大的样本确切的定出基体和纤维的强度分布规律。许多实用环境对复合材料的影响要积极积累数据,虽有些分析,还没有概括性的理论。在结构设计方面的工作更少,例如用多少置信度保证多少存活率来确定强度标准,美国军事标准对复合材料采用 95% 置信度下保证 90%。又如安全因素如何确定,英国标准对增强塑料规定为

$$K = 3k_1 k_2 k_3 k_4 k_5$$

3 是基本安全因素,  $k_1$  与生产方法有关为 1.4—3,  $k_2$  与时间有关 1.2—2,  $k_3$  与工作温度有关 1—1.25,  $k_4$  与疲劳有关 1.1—2,  $k_5$  与固化制度有关 1.1—1.5, 总的安全因数为 6—40, 这样大的安全因素,使复合材料在结构上的优越性接近消失,这只能说研究工作很不成熟。如果结构设计工作者熟悉复合材料,教学内容增加复合材料的一些基本原理,使更多的人员参与这项工作,则会有更多更新的设计思想和更可靠更合理的设计范例,以更好的发挥复合材料的固有特性。