

國際單位(SI新公制)及其換算

王輔羊 譯

臺北縣瑞芳國中

公制能引起十九世紀科學家們莫大的興趣，部分原因是它原欲作為一種國際通用的量度制；部分由於其量度單位在理論上可獨立導出；部分因為它採用十進位制，把單位的換算簡化了。這些科學家們開始相互討論，為各種物理量導出新單位來，如根據物理的基本定律而導出的質量與長度的公制單位。許多歐洲國家深受不同物理量的無關單位過多之苦，因而紛紛採用了公制。

雖然公制的基本單位在所採用的各國均相同，但其導出單位則在各國和各學科間，產生許多不同來。在電學和磁學裏，分別導出兩種獨立的電磁學單位制——一種叫做靜電制，根據兩電荷間彼此的作用力所導出；另一種稱為電磁制，則是從兩個假想的獨立磁極間的磁力所衍生。

第三種單位制（即所謂「電的實用單位」）的提出，使這種情況變成更為複雜化，這是十九世紀中葉因電報技術快速發

展之需，而由一個英國科學促進委員會首創的。這些實用單位不同於以上兩種單位，但與電磁制單位的十的整數次方有關。它們包括常用的伏特、安培與歐姆。

因此，對於這些電學上常用的物理量如電壓、電流與電阻，三套不同的單位就廣泛使用開來，每一科學家、工程師或教師必須決定他該使用那一種特定單位或混用那些單位。十九世紀下半葉與廿世紀上半葉電子技術的發展，導致實用單位的使用益廣，因而成為電機工程上的重要單位。

為了不致混淆起見，本世紀初有人提議結合電的實用單位與適當的力學單位，以長度和質量的公制單位為基礎，構成一個兩相一致的單位制。此即以公斤取代公克作為質量單位。這項建議使科學與工程界日益接受。一九六〇年第十一屆國際度量衡大會中制定了國際單位（The International System of Units，在各種語言中指定以 SI 代之），確定了此制的基本

單位，同時並載明了某些導出單位「無礙於那些將來可能添入的單位」。所以，在世界歷史上人類首度經由國際的協議而產生了一個統一的單位制。此制現已被許多國家採用為其法定的量度單位。

國際單位乃是一種統一的單位制，它對每一個物理量，如長度、時間或力，規定了唯一的一種單位。這些單位中某些經賦予特定名稱，如牛頓為力的單位；有些則尚保留其導出單位的名稱，如公尺/秒 (m/s) 為速率的單位。附表 1 所列的是 SI 基本單位與兩個有幾何性質的補充單位。附表 2 所列的是有特定名稱的導出單位。最重要的力學導出單位就是力的單位牛頓，能的單位焦耳與功率的單位瓦特。牛頓定義為作用於質量 1 公斤的物體，使它產生 1 公尺/秒^2 的加速度所需的力。焦耳就是以 1 牛頓的力把某物體沿著力的方向移動 1 公尺所作的功。瓦特即功率 (Power 或 Rate) 單位，等於 1 焦耳/秒。電學及其他導出單位於本文稍後再予討論。基本和補充單位的正式定義如下：

1 公尺的長度等於 Kr-86 原子在 2P_{10} 與 $5d_5$ 能階間轉移時，真空的放射線波長之 1,650,763.73 倍。

1 公斤等於國際仟克原器的質量。

1 秒就是 Cs-133 原子基態的兩個超精細能階間轉移的放射週期之 9,192,631,770 倍的時間。

1 安培是在真空中相距 1 公尺遠的兩

條無限長的平行導線間，不論其橫截面是否為圓形，只要能在每公尺的長度內產生 2×10^{-7} 牛頓的力，所通過的電流大小。

1 凱爾文是水的三相點之熱力學溫度的 $\frac{1}{273.16}$ 倍。

燭光是發光強度 (簡稱光度) 的單位，亦即在鉑 (Pt) 熔點溫度下，一個黑體的 $1/600,000$ 平方公尺的表面上，在其垂直方向受到每平方公尺 101,325 牛頓的壓力。

摩爾是一個系統內所含物質的數量，包括許多元素實體，如 0.012kg C-12 內所含的原子數就叫做 1 摩爾。

1 弧度是一圓的兩條半徑所截圓弧之長恰等於半徑長的平面角大小。

1 立體弧度是以球心為頂點所切下的球表面積等於以此球半徑為邊長的正方形面積之立體角的大小。

秒

在一九五六年以前，物理學上時間的基本單位秒定義為一個平均太陽日的 $1/86,400$ ，不過由於地球自轉的變化，這並非一個不變的時間單位。一九五六年國際度量衡委員會重新定義秒為一致公認的星曆時間秒，叫做星曆秒，即在一九〇〇年回歸年內，地球繞太陽軌道一周所需時間的 $1/31,556,925.9747$ 。為了要得到一個更為精確的時間單位，一九六四年在法

國巴黎召開的第十二屆國際度量衡大會上，通過了一個秒的原子定義。選定以 Cs-133 原子的振動頻率為標準。由於電子技術的進步，可測出銨金屬原子在 1 秒內吸收振動達 9,192,631,770 次的電波。

時間制

美國海軍天文台定出了三種地球自轉的與公轉的（均為天文的）和原子的時間制。然而，為了各種科學與技術的目的，符合精確時間的需要，修正為七種時間制：眞恆星時、平均恆星時、 UT_0 、 UT_1 、 UT_2 、星曆時與原子時 A_1 。 UT_2 是以無線電傳送的時間；其餘可從如「美國星曆與航海曆書」上獲得公布的修正表。

有一套十進位字首規定了構成 SI 新公制單位的倍數與分數的方法。這些字首及其縮寫與意義列表於下：

因此一公里 (km) 就是一千公尺，而一公釐 (mm) 則為千分之一公尺（這

些字首可用於各種單位中，如貳 kw、微吋 μin 等）。

公克原欲作為質量的定義單位，使質量單位得以定出，雖然真正的定義單位是仟克。公噸有時可稱為百萬克。1 公尺的百萬分之一叫做 1 微米 (micron)；這個單位常用於自然科學上，如在表示可見光與紅外線的波長時，習用符號 μ 示之。1 微米的千分之一即十億分之一米，以前叫做 1 毫微米，略作 $m\mu$ 。光譜學中的波長通常以埃 ($\text{\AA}$) 表示，它是毫微米的十分之一，即 10^{-10} m 。對於波長較短的波，如 X 光，微微米與 X 單位 ($X.U. = 10^{-13} \text{ m}$) 常被使用。一千立方公分的體積即為一公升 ($1000\text{cm}^3 = 1 \text{ dm}^3 = 1 \ell$)。(

附表 3)

長度、質量與時間

除了仟克外，所有 SI 的基本單位目

兆	Tera	T	10^{12}	分	Deci	d	10^{-1}
十億	Giga	G	10^9	厘	Centi	c	10^{-2}
百萬	Mega	M	10^6	毫	Milli	m	10^{-3}
千	Kilo	k	10^3	百萬分之一 (微)	Micro	μ	10^{-6}
百	Hecto	h	10^2	十億分之一 (毫微)	Nano	n	10^{-9}
十	Deca	da	10^1	兆分之一 (微微)	Pico	p	10^{-12}
				千兆分之一	Femto	f	10^{-15}
				百萬兆分之一	Atto	a	10^{-18}

前均以物理常數或現象的方式來定義，因為這些皆被視為不變，且可複製得非常準確。現在尚無一種技術研究出來，使能取代國際仟克原器的。各種質量的小單位在天秤上比較時，能夠達到 $1/10^8$ 以上的精密度。因此仟克的複製品仍然需要與藏在法國巴黎附近塞佛爾市的仟克原器比較，以保證其質量未變。仟克的倍數和約數標準建立於天秤上的組合重。

因為公尺是以 Kr-86 原子光譜波長之特定長度定義的，故可在任何高級的實驗室中獨立複製出來。用於工廠與實驗室中的刻度表和終點計，也能以干涉學上這種波長的方式直接校準。在最宜條件下，使用這些技術可達到的準確度接近 $1/10^9$ 的誤差。一九六〇年後雷射的發展頗為增進量度的速度與方便，更擴展了其使用的範圍。

同樣地，目前以原子來定義的秒也能在高級實驗室中，利用一束原子射線而獨立達成。調整至原子頻率的無線電波發生器激發了原子，產生光束，振動「周」波記錄下來後可測量時間，準確至 $1/10^{12}$ 。

英美制長度單位

根據長度的基本單位碼 (yard)，其他單位皆可依下列關係導出：

$$12 \text{ in (吋)} = 1 \text{ ft (呎)}$$

$$3 \text{ ft (呎)} = 1 \text{ yd (碼)}$$

$$5 \frac{1}{2} \text{ yd (碼)} = 1 \text{ rd, pole 或 perch (竿)}$$

$$4 \text{ rd (竿)} = 1 \text{ chain (鏈)} = 22 \text{ yd (碼)}$$

$$40 \text{ rd (竿)} = 1 \text{ fur (弗隆)} = 220 \text{ yd (碼)}$$

$$8 \text{ fur (弗隆)} = 1 \text{ mi (哩)} = 1,760 \text{ yd (碼)}$$

英美制質量與重量單位

通常物體的重量以常衡單位表示，但是另有兩個系統，金衡與藥劑用衡量制，這三種單位制中唯一相同的單位就是最小的格雷 (grain)，等於常衡磅的 $1/7,000$ (這表示以公斤代表磅的新定義恰可被 7 整除，所以格雷恰是 1 公斤的小數。) 這三種單位制表示如下：

常 衡

$$27 \frac{11}{32} \text{ gr (格雷)} = 1 \text{ dr (特拉姆)}$$

$$16 \text{ dr (特拉姆)} = 1 \text{ oz (唎)}$$

$$16 \text{ oz (唎)} = 1 \text{ lb (磅)}$$

$$100 \text{ lb (磅)} = 1 \text{ cwt (百磅)}$$

$$20 \text{ cwt (百磅)} = 1 \text{ ton (噸)} \\ = 2,000 \text{ lb (磅)}$$

然而在某些地方與貿易上，常用長百磅和長噸。

$$112 \text{ lb (磅)} = 1 \text{ long cwt (長百磅)}$$

$$20 \text{ long cwt (長百磅)} = 1 \text{ long ton} \\ \text{(長噸)} = 2,240 \text{ lb (磅)}$$

金 衡

$$24 \text{ gr (格雷)} = 1 \text{ pwt (錢)}$$

$$20 \text{ pwt (錢)} = 1 \text{ oz (唎)}$$

$$12 \text{ oz (唎)} = 1 \text{ lb (磅)}$$

藥劑用衡量

$$20 \text{ gr (格雷)} = 1 \text{ sc (斯克魯)}$$

3 sc (斯克魯) = 1 dr (特拉克姆)

8 dr (特拉克姆) = 1 oz (噶)

12 oz (噶) = 1 lb (磅)

英美制體積與容量單位

在醫藥上品脫可再細分如下：

1 pt (品脫) = 16 fl. oz (液盎)

1 fl. oz (液盎) = 8 fl. dr (液特)

1 fl. dr (液特) = 60 minims (米寧)

電磁學中的 SI 新公制單位

如前所述，SI 新公制的基本單位之選定方式，是以導出的電學單位相當於常用的「實用」單位為準。在此制中， $1 \text{ Volt} = 10^8 \text{ abvolts}$ ， $1 \text{ ohm} = 10^9 \text{ abohms}$ ，而 $1 \text{ ampere} = 1/10 \text{ abampere}$ ，後者乃電磁學單位制。SI 新公制單位定義如下：

伏特 (電位差與電動勢的單位)：1 伏特即在負載有 1 安培固定電流的一條導線兩點間，電功率的損耗為 1 瓦特時的電位差。

歐姆 (電阻單位)：1 歐姆即在一導體之兩點間有 1 伏特的固定電位差，並產生 1 安培的電流時的電阻，此導體不是任一電動勢所在。

庫倫 (電量單位)：1 庫倫是 1 安培電流在 1 秒內所通過的電量。

法拉 (電容單位)：1 法拉即以 1 庫倫電量儲存於電容器之極片上，使其電位

差升高 1 伏特時，此電容器之電容。

亨利 (電感單位)：1 亨利即當電路以每秒 1 安培之變化可產生 1 伏特之反電動勢時，此電路之電感。

韋伯 (磁通量單位)：1 韋伯是連成 1 轉的電路，產生 1 伏特的電動勢，在 1 秒內以一定的變化率降至 0 時的磁通量。

泰斯拉 (磁通量密度單位) 是每平方公尺內有 1 韋伯的磁通量密度。

A.G. McNish 作 (節譯自 "Collier's Encyclopedia")

附表 1, 2, 3 見以下各頁

附表1 SI 基本單位

基 本 量	單 位	符 號
長 度	公尺 (meter)	m
質 量	公斤 (kilogram)	kg
時 間	秒 (second)	s
電 流	安培 (ampere)	A
熱力學溫度	凱爾文 (kelvin)	K
光 度	燭光 (candela)	cd
物 質 量	摩爾、克分子 (mole)	mol
SI 補充單位		
平 面 角	弧度 (radian)	rad
立 體 角	立體弧度 (steradian)	sr

附表2 SI 導出單位及其因次

導 出 量	單 位	符號	其他單位因次	SI 基本單位因次
頻 率	赫芝 (hertz)	Hz	—	s^{-1}
力	牛頓 (newton)	N	—	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
壓 力	帕司卡 (pascal)	Pa	N/m^2	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
能、功、熱量	焦耳 (joule)	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
功率、輻射通量	瓦特 (watt)	W	J/s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
電量、電荷量	庫倫 (coulomb)	C	$s \cdot A$	$s \cdot A$
電動勢、電位	伏特 (volt)	V	W/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
電 容	法拉 (farad)	F	C/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
電 阻	歐姆 (ohm)	Ω	V/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
電 導	西門斯 (siemens)	S	A/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
磁 通 量	韋伯 (weber)	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
磁 感 應	泰斯拉 (tesla)	T	wb/m^2	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
電 感	亨利 (henry)	H	wb/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
光 通 量	流明 (lumen)	lm	—	$cd \cdot sr$
照 度	勒克斯 (lux)	lx	lm/m^2	$m^{-2} \cdot cd \cdot sr$

附表3 常用轉換因子

把公制換成英美制單位			把英美制換成公制單位		
把	換 成	得乘上	把	換 成	得乘上
長 度			長 度		
公分 cm	吋 in	0.3937	呎 ft	公尺 m	0.3048
公寸 dm	吋 in	3.9370	弗隆 fur	公尺 m	201.1684
公丈 dkm	呎 ft	32.8084	吋 in	公分 cm	2.5400
公引 hm	呎 ft	328.0840	吋 in	公釐 mm	25.4000
公里 km	哩 na·mi	0.5400	哩 na·mi	公里 km	1.8520
公里 km	哩 mi	0.6214	哩 mi	公里 km	1.6093
公尺 m	呎 ft	3.2808	竿 rd	公尺 m	5.0292
公尺 m	吋 in	39.3701	碼 yd	公尺 m	0.9144
公尺 m	碼 yd	1.0936	面 積		
公釐 mm	吋 in	0.0394			
面 積			面 積		
平方公分 cm ²	平方吋 in ²	0.1550	畝 ac	平方公引 hm ²	0.4047
平方公寸 dm ²	平方吋 in ²	15.5000	平方呎 ft ²	平方公分 cm ²	929.0341
平方公丈 dkm ²	畝 ac	0.0247	平方呎 ft ²	平方公尺 m ²	0.0929
平方公丈 dkm ²	平方竿 rd ²	3.9537	平方吋 in ²	平方公分 cm ²	6.4516
平方公引 hm ²	畝 ac	2.4711	平方哩 mi ²	平方公引 hm ²	258.9998
平方公里 km ²	畝 ac	247.1055	平方哩 mi ²	平方公里 km ²	2.5900
平方公里 km ²	平方哩 mi ²	0.3861	平方竿 rd ²	平方公尺 m ²	25.2930
平方公尺 m ²	平方呎 ft ²	10.7639	平方碼 yd ²	平方公尺 m ²	0.8361
平方公尺 m ²	平方碼 yd ²	1.1960	體 積		
平方公釐 mm ²	平方吋 in ²	0.0016			
體 積			闊得 cd	立方公尺 m ³	3.6246
			立方吋 (英 in ³)	立方公分 cm ³	16.3871
			立方吋 (美 in ³)	立方公分 cm ³	16.3871
			立方呎 (英 ft ³)	立方公尺 m ³	0.0283

把公制換成英美制單位			把英美制換成公制單位		
把	換 成	乘 上	把	換 成	得 乘 上
立方公分 cm^3	立方吋 in^3	0.0610	立方呎 (美 ft^3)	立方公尺 m^3	0.0283
立方公寸 dm^3	立方吋 in^3	61.0237	立方碼 (英 yd^3)	立方公尺 m^3	0.7646
立方公尺 m^3	立方呎 ft^3	35.3147	立方碼 (美 yd^3)	立方公尺 m^3	0.7646
立方公尺 m^3	立方碼 yd^3	1.3080	容 量 (液 量)		
立方公釐 mm^3	立方吋 in^3	0.0001	液特拉姆 fl.dr	公撮 ml	3.6966
容 量 (液 量)			液盎 fl.oz	公升 l	0.0296
公勺 cl	液盎 fl.oz	0.3382	液盎 fl.oz	公撮 ml	29.5729
公合 dl	液盎 fl.oz	3.3815	加侖 gallon (英)	公升 l	4.5460
公斗 dal	加侖 gallon (美)	2.6418	加侖 gallon (美)	公升 l	3.7853
公石 hl	加侖 gallon (美)	26.4178	吉耳 gi (英)	公撮 ml	142.0613
公升 l	加侖 gallon (英)	0.2200	吉耳 gi (美)	公撮 ml	118.2908
公升 l	加侖 gallon (美)	0.2642	米寧 minim	公撮 ml	0.0616
公升 l	夸脫 qt (美)	1.0567	品脫 (英)	公升 l	0.5683
公撮 ml	液盎 fl.oz	0.0338	品脫 (美)	公升 l	0.4732
容 量 (乾 量)			夸脫 (英)	公升 l	1.1365
公勺 cl	品脫 pt (英)	0.0024	夸脫 (美)	公升 l	0.9463
公勺 cl	品脫 pt (美)	0.0182	容 量 (乾 量)		
公斗 dal	品脫 pt (美)	0.1816	蒲式爾 bu (英)	公升 l	36.3671
公斗 dal	配克 pk (美)	1.1351	蒲式爾 bu (美)	公升 l	35.2383
公石 hl	蒲式爾 bu (英)	2.7497	配克 pk (英)	公升 l	9.0919
公石 hl	蒲式爾 bu (美)	2.8378	配克 pk (美)	公升 l	8.8096
公升 l	夸脫 qt (英)	0.9372	品脫 pt (英)	公升 l	0.5682
公升 l	夸脫 qt (美)	0.9081	品脫 pt (美)	公升 l	0.5506
公撮 ml	品脫 pt (美)	0.0018	夸脫 qt (英)	公升 l	1.1364
質 量			夸脫 qt (美)	公升 l	1.1012
公毫 cg	格雷 gr	0.1543	質 量		

把公制換成英美制單位			把英美制換成公制單位		
把	換	成 得 乘 上	把	換	成 得 乘 上
公銖 dg	格雷 gr	1.5432	特拉姆 dr (藥衡)	公克 g	3.8879
公錢 dag	兩 oz (金、藥衡)	0.3215	特拉姆 dr (常衡)	公克 g	1.7718
公錢 dag	兩 oz (常衡)	0.3527	格雷 gr	公克 g	0.0648
公克 g	兩 oz (金、藥衡)	0.0322	格雷 gr	公絲 mg	64.7989
公克 g	兩 oz (常衡)	0.0353	長噸 l.cwt	公斤 kg	50.8024
公兩 hg	兩 oz (金、藥衡)	3.2151	短噸 s.cwt	公斤 kg	45.3592
公兩 hg	兩 oz (常衡)	3.5274	兩 oz (金、藥衡)	公克 g	31.1035
公斤 kg	磅 lb (金、藥衡)	2.6792	兩 oz (常衡)	公克 g	28.3495
公斤 kg	磅 lb (常衡)	2.2046	錢 pwt	公克 g	1.5552
公噸 M.T.	長噸 l.t.	0.9842	磅 lb (金、藥衡)	公斤 kg	0.3732
公噸 M.T.	短噸 s.t.	1.1023	磅 lb (常衡)	公斤 kg	0.4536
公絲 mg	格雷 gr	0.0154	斯克魯 sc	公克 g	1.2960
			長噸 l.t.	公噸 M.T.	1.0161
			短噸 s.t.	公噸 M.T.	0.9072

附註：1. 竿 rod 又作 pole 或 perch。

2. 平方公引 hm² 又作公頃 ha。

3. 平方公尺 m² 又作 ca。

4. 平方公丈 dkm² 又作公畝 a。

5. 公噸 M.T. 又作 millier 或
tonne。