

國際單位系統與氣象常數*

徐 明 同¹

一、前 言

國際單位系統(Le Système Internationale d'Umtsés, 簡稱 SI, 英文為 The International System of Units) 是由MKS單位系統發展出來的實用度量衡單位系統。其目的為求度量衡單位國際上統一使用。

近年來, 交通和通信急速發展, 隨着人們的交流, 資訊的交換, 以及貿易量顯著增加, 因此各方面認為迫切的需要度量衡單位的統一。早期各國協議度量衡單位的統一時, 係採取尋找各國所用單位間的妥協點, 由於意見分歧而沒有成功。因此後來改為先訂國際上認同的規格, 勸導各國逐漸採用。SI就是以這種方式訂定, 經由1960年第11屆國際度量衡總會決議通過為國際度量衡單位系統。

經過四分之一世紀至今, SI已經相當普遍被各國所採用。日本於1974年, 英國於1975年, 俄國於1978年, 西德於1980年, 美國於1983年陸續採用。

在學術計算上使用SI的優點很多, 世界氣象組織(WMO)的氣象常用表以及美國氣象學會均已採用。我國也將普遍使用, 茲介紹 SI及計算用 SI表示的氣象常數以供參考。

二、SI 的 歷 史

十八世紀末法國學者創造現在的 MKS 單位系統, 而經國民議會所採擇。其後被各國重視, 並認為有確立世界共通的度量衡單位系統之必要性。因此於1875年5月, 18國參加在巴黎開會議訂「國際米突條約(International Metric Convention)」。根據此條約由加盟國代表設立國際度量衡總會[General Conference on Weights and Measures(CGPM)], 以後每隔4年(初期為6年)在巴黎開會一次。

1889年第一屆國際度量衡總會認可以白金一鈹(Iridium)製訂國際公尺原器及國際公斤原器。並

定義時間單位秒為平均太陽日之 $\frac{1}{24 \times 60 \times 60}$ 。在當時需要做國際統一的實用單位只有長度, 體積, 質量, 時間及角度等。後來隨着科學的實用化而需要許多單位, 例如 CGS 單位系統, 重力單位系統等。此外還有電磁單位, 如 CGS 靜電單位系統, CGS 電磁單位系統, MKSA 單位系統等, 變成很複雜的多種計量單位。

因此第二次大戰後, 於1948年第9屆國際度量衡總會開始討論度量衡單位系統之統一問題。而於1960年第11屆總會採擇 SI。此單位系統由基本單位, 補助單位及誘導單位所組成, 而一種物理量只有一種單位相對應, 且各單位具有一種記號。

關於此單位系統的基本單位之定義, 隨着計測技術之進步而有變更。例如, 長度單位公尺依公尺原器比較時, 其準確度為 10^{-7} 左右, 但使用光線波長時, 其準確度可提高為 10^{-8} 左右, 故於第11屆總會將公尺定義改用波長定義。至1983年第17屆總會, 再將1公尺的定義改為光線在真空中 $\frac{1}{299,792,458}$ 秒中經過行程之長度。此乃因光速的測定技術提升之故。另時間單位秒的定義亦於1967~1968年第13屆總會時, 改為光的周期。

關於溫度的單位, 因水的三相點(triple point)較冰的融點, 更容易以較高準確度設定, 故訂三相點為273.16K(Kelvin度), 以此點為基本定點而定義熱力學溫度刻度。此係第13屆總會的決議。此時 Celcius 零度(冰點)的定義則較三相點低0.01度。

三、SI 之 定 義

前面已述, SI 由基本單位, 補助單位, 誘導單位以及這些單位之10的整數冪倍單位所構成。

(一)基本單位(base units)

SI 設長度, 質量, 時間, 電流, 熱力學溫度

*收稿日期: 75年11月21日 送審日期: 75年11月21日

¹國立臺灣海洋學院海洋學系教授

，物質量及光度為基本單位，其名稱及記號如表一。
 ○基本單位之定義如下：

表一 基本單位

量	名稱	記號
長度	meter	m
質量	kilogram	kg
時間	秒	S
電流	ampere	A
熱力學溫度	kelvin	K
物質量	mole	mol
光度	candle	cd

公尺 (meter)：光於真空中傳播 $\frac{1}{299,792,458}$ 秒的行程長度。

公斤 (kilogram)：質量的單位和國際公斤原器之質量相等。

秒 (second)：秒為對應鉅 133 (Cesium) 原子基態二超微細準位間之轉移所輻射 9,192,631,770 週期的繼續時間。

安培 (ampere)：通過真空中，距離一公尺兩條無限長平行直線狀導體(具無限小圓形截面積)內，而於這些導體長度 1 公尺產生作用力量 2×10^{-7} Newton 之一定電流。

橙敏 (Kelvin)：水的三相點熱力學溫度之 $\frac{1}{273.16}$ 。攝氏溫度(t)也可併用， $t = T - T_0$ 。(T為熱力溫度， $T_0 = 273.15K$)。

摩爾 (mole)：含有與 0.012kg 碳12中所含原子數相等構成要素系統之物質 (amount of substance) 為摩爾，其構成要素為原子，分子，

離子，電子以及其他粒子或者其集合體。

燭光(candle)：在 101,325 Pa 壓力下，溫度為白金凝固點的黑體 $\frac{1}{600,000} m^2$ 表面重直方向的光度(luminous intensity)為燭光。

(二)補助單位(supplementary units)

純粹幾何學的二個單位，即平面角和立體角為補助單位，其名稱和記號如表二：

表二 補助單位

量	名稱	記號
平面角	radian	rad
立體角	steradian	sr

其定義如下：

弧度 (radian)：於圓周上和半徑等長的弧之兩端與圓中心所構成的角為一弧度。

立體弧度 (steradian)：以球的中心為頂點，和以此球半徑為一邊的正方形相同面積的球表面，與球中心所構成的立體角為 1sr。

(三)誘導單位(derived units)

誘導單位由七個基本單位和兩個補助單位所組成而成。其中17個單位在實用上具有固有名稱和記號，如表三。表四表示由基本單位和補助單位所構成的誘導單位，而表五表示包含具有固有名稱誘導單位的誘導單位例子。

(四)表示SI單位10之整數冪倍的冠首詞 (prefixes)

SI單位能保持完全的一貫性，但有些量並不適合表示常用的大小。例如氣壓的單位巴斯噶 (Pa)，所表示的大氣壓過小，而靜電容量 F 則較常用值過大。因此SI單位加上冠首詞表示此單位10的整數冪倍，以便表示極大量和極小量，表六表示這些冠首詞。

1200 + 100750

表三 具有固有名稱的誘導單位

量	名 稱	記 號	定 義
頻率(frequency)	Hertz	Hz	s ⁻¹
力(force)	Newton	N	kg·m/s ²
壓力，應力(pressure, stress)	Pascal	Pa	N/m ²
能量，功，熱量 (energy, work, quantity of heat)	Joule	J	N·m
功率，輻射通量(power, radiant flux)	Watt	W	J/s
電荷(electric charge)	Coulomb	C	A·s
電壓(electric potential)	Volt	V	W/A
電容量(capacitance)	Farad	F	C/V
電阻(electric resistance)	Ohm	Ω	V/A
電導(Conductance)	Jeamens	S	A/V
磁通量(magnetic flux)	Weber	Wb	V·s
磁通密度(magnetic flux density)	Tesla	T	Wb/m ²
電感(inductance)	Henry	H	Wb/A
光通量(luminous flux)	Lumen	lm	cd·sr
照度(illuminance)	Lux	lx	lm/m ²
放射能(activity of radio-nuclides)	Becquerel	Bq	S ⁻¹
吸收線量(absorbeddose)	Grey	Gy	J/kg

表四 由基本單位和補助單位所構成的誘導單位

量	名 稱	記 號
面積	平方公尺	m ²
體積	立方公尺	m ³
速度	每秒公尺	m/s
加速度	每秒每秒公尺	m/s ²
角速度	每秒弧度	rad/s
角加速度	每秒每秒弧度	rad/s ²
動量	每秒公斤公尺	kg·m/s
密度	每立方公尺公斤	kg/m ³
比容	每公斤立方公尺	m ³ /kg
擴散係數	每秒平方公尺	m ² /s
電流密度 (current density)	每平方公尺安培	A/m ²
物質濃度 (concentration of amount of substance)	每立方公尺摩爾	mol/m ³

表五 含具有固有名稱誘導單位之誘導單位例子

量	名 稱	記 號
力， 矩 (moment of force)	牛頓·公尺	N·m
黏性係數 (dynamic viscosity)	巴斯噶·秒	Pa·s
表面張力 (surface tension)	每公尺牛頓	N/m
熱傳導率(thermal conductivity)	每公尺每度瓦特	W/(m·R)
熱容量 (heat capacity)	每度焦耳	J/K
比熱(specific heat capacity)	每公斤每度焦耳	J/(kg·K)
電場強度(electric field strength)	每公尺伏特	V/m
輻射強度 (radiant intensity)	每立體弧度瓦特	W/sr

2007200+200

表六 表示10的整數冪倍冠首詞

倍 數	名 稱	記 號
10^{18}	exa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^2	hecto	h
10	deca	da
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a

冠首詞記號和單位記號連在一起使用。例如

$$1\text{cm}^3 = (10^{-2}\text{m})^3 = 10^{-6}\text{m}^3$$

$$1\mu\text{s}^{-1} = (10^{-6}\text{s})^{-1} = 10^{-6}\text{s}^{-1}$$

$$1\text{mm}^2/\text{s} = (10^{-3}\text{m})^2/\text{s} = 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$$

值得注意的是，以前使用 μ (micron) 為長度單位，但在SI必須用 μm (micrometer)。此外例如 millimicron ($\text{m}\mu\text{m}$) 者，在SI不能重複使用冠首詞，故要用 nm (nanometer)。

質量單位 kg, 已含冠首詞 kilo, 故質量單位應使用 gram 加上冠首詞。例如: microkilogram (μkg) 不可用，而用 milligram (mg)。此點為SI的缺點。

(d) 非SI單位系統之處理

依照規約非 SI 單位系統應盡量避免使用，但如表七所表示，實用上重要的單位可和 SI 一起使用。此外表八表示暫時可和 SI 一起使用的單位。

四、以SI表示的氣象常數數值

過去氣象界常用的數值絕大部分都使用 CGS 系統或MKS系統，故改為 SI, 只乘10的整數冪倍就可以。關於熱量大部分使用 cal, 故要改為SI, 必須換算為 Joule (J)。cal 必須註明是否 指定溫

表七 可和SI一起使用的單位

量	名稱	記號	以SI單位表示之值
時間	分	min	60s
	時	h	3,600s
	日	d	86,400s
平面角	度	°	$\frac{\pi}{180}\text{rad}$
	分	'	$\frac{\pi}{10,800}\text{rad}$
	秒	"	$\frac{\pi}{648,000}\text{rad}$
體積	liter	ℓ	10^{-3}m^3
質量	ton	t	10^3kg

表八 暫時可和SI一起使用的單位

名 稱	記 號	以SI表示之值
海里(浬)(nautical mile)		1,852m
節 (knot)		0.51m/s
Ångström	Å	10^{-10}m
Arc	a	10^2m^2
Barn*	b	10^{-28}m^2
Bar	bar	10^5Pa
標準大氣壓	atm	101.325 Pa
gal	Gal	$10^{-2}\text{m}/\text{s}^2$
Curie	Ci	$3.7 \times 10^{10}\text{s}^{-1}$

(*有效剖面積之單位，大約為原子核剖面積之大小)

度。目前cal有以下幾種定義：

(一) 1克水由14.5°C昇至 15.5°C 所需熱量叫做 Cal_{15} 等於4.1855J.

(二) 1克水由 0°C昇至100°C所需熱量之 $\frac{1}{100}$ ，叫做平均 cal 或國際蒸氣表 (International Steam Table) cal 簡寫為 cal_{IT} 等於 4.1868J.

(三) 不指定溫度的cal為1W時之 $\frac{1}{860}$ ，用 cal 表示等於 4.1860J。

100 + 150 + 20 + 100

氣壓的 SI 為 Pa 等於現用 mb 的 $\frac{1}{100}$ 。WMO 於 1983 年決定氣壓單位使用 hPa

前面已述，溫度單位 K 為水三相點熱力溫度之 $1/273.16$ 。這樣定義，因水的三相點比冰點的測定準確度較高之故。即以水的三相點設定為 273.16K，以此點為定點定義熱力溫度。而冰點比三相點低 0.01K。因此攝氏溫度 ($^{\circ}\text{C}$) 的數值 t 和熱力溫度 (K) 的數值 T 的關係如下：

$$t = T - 273.15$$

關於溫度差，以往使用 deg，但於 SI，即使用 K 或 $^{\circ}\text{C}$ 而不使用 deg。

根據以上所述規定計算出來的常用氣象常數列在表九。

五、結 語

以上對於 SI 做解說，並計算各種常用氣象常數，以供參考，並盼望早日熟悉國際單位系統。

表九：各種常用氣象常數

(一) 有關力學者：

- 地球半徑 $6.371 \times 10^6 \text{m}$
- 地球旋轉角速度 $7.292 \times 10^{-5} \text{rad/s}$
- 萬有引力常數 $6.673 \times 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$
- 氣壓 $1 \text{mb} = 1 \text{hPa}$
- 1 氣壓 = $101.325 \text{Pa} = 1,013.25 \text{hPa} = 1.0133 \times 10^5 \text{N/m}^2$
- 光速(於真空中) $2.9979 \times 10^8 \text{m/s}$
- 空中音速 (於 0°C) 331.4m/s
- 1 dm(dynamic meter) = $10 \text{m}^2/\text{s}^2$
- 1 gpm(geopotential meter) = $9.8 \text{m}^2/\text{s}^2$
- 重力加速度 (於 45° ，海平面) : 9.80616m/s^2
- 地球質量 : $5.977 \times 10^{24} \text{kg}$
- 大氣質量 : $5.3 \times 10^{18} \text{kg}$
- 大氣中水汽質量 : $1.3 \times 10^{16} \text{kg}$

(二) 有關熱力學者：

- 冰點 : 273.15K
- 通常氣體常數 : $8.31432 \text{Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$
- 乾燥空氣氣體常數 : $287.05 \text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$
- 乾燥空氣分子量 : 28.9644
- 水汽分子量 : 18.0153
- 水汽氣體常數 : $461.51 \text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$
- 乾燥空氣定壓比熱 : $1.005 \times 10^3 \text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$
($0.240 \text{cal}_{\text{ITG}}^{-1}\text{K}^{-1}$)

定容比熱 : $0.718 \times 10^3 \text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$
($0.171 \text{cal}_{\text{ITG}}^{-1}\text{K}^{-1}$)

水汽定壓比熱 : $1.85 \times 10^3 \text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$
($0.441 \text{cal}_{\text{ITG}}^{-1}\text{K}^{-1}$)

定容比熱 : $1.39 \times 10^3 \text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$
($0.331 \text{cal}_{\text{ITG}}^{-1}\text{K}^{-1}$)

水的比熱 : $4.19 \times 10^3 \text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$
($1.000 \text{cal}_{\text{ITG}}^{-1}\text{K}^{-1}$)

冰的比熱 : $2.09 \times 10^3 \text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$
($0.5 \text{cal}_{\text{ITG}}^{-1}\text{K}^{-1}$)

蒸發熱 (於 0°C) : $2.501 \times 10^6 \text{Jkg}^{-1}$
($597.3 \text{cal}_{\text{ITG}}^{-1}$)

融解熱 (於 0°C) : $0.334 \times 10^6 \text{Jkg}^{-1}$
($79.7 \text{cal}_{\text{ITG}}^{-1}$)

昇華熱 (於 0°C) : $2.835 \times 10^6 \text{Jkg}^{-1}$
($677.0 \text{cal}_{\text{ITG}}^{-1}$)

Avogadro 常數 : $6.0225 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$

Loschmidt 常數 : $2.68719 \times 10^{25} \text{m}^{-3}$

1 mol 標準狀態 (273.15K, 1013.25hPa)

下理想氣體的體積 : $2.2415 \times 10^{-2} \text{m}^3$

(三) 有關輻射者：

- 太陽常數 : $1.94 \text{ly min}^{-1} = 1352 \text{Wm}^{-2}$
- Stefan-Boltzmann 常數 : $5.6697 \times 10^{-8} \text{Jm}^{-2}\text{K}^{-4}\text{s}^{-1}$
- Boltzmann 常數 : $1.3804 \times 10^{-23} \text{JK}^{-1}$
- Planck 常數 : $6.6252 \times 10^{-34} \text{Js}$
- Wien 位移常數 : $0.2884 \times 10^{-2} \text{mK}$
- 電子質量 : $9.108 \times 10^{-31} \text{kg}$

參 考 文 獻

American Meteorological Society (1974): SI units to be used in AMS journals, Bul. Am. Met. Soc., 55, 926-930

Smithsonian Institution (1958): Smithsonian Meteorological Tables, Thermodynamic Tables, 289-343.

WMO (1966): International Meteorological Tables, WMO No 188, Table 4, Thermodynamics.

WMO (1973): International Meteorological Tables.

WMO (1983): Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, No. 8, 1-8.

清水逸郎 (1976) : 國際單位系 (SI) について , 天氣23, 117-121.

清水逸郎 (1986) : 國際單位系 (SI) と氣象の

常數, 天氣33, 43-47.

理科年表 (1985) : 單位, 物8頁。

American Society for Testing and Materials (1977): Standard for metric practice, 38pp.

International System of Units and Meteorological Constants

Ming-Tung Hsu

ABSTRACT

The International System of units (SI) which is developed from the MKS system of units was adopted by the 11th General Conference on Weights and Measures (abbreviated CGPM from the official French name *Conférence Générale des Poids et Mesures*) in 1960, is intended as a basis for world-wide standardization of measurement units. Since then this new system of units has been adopted in many countries such as Japan (1974), United Kingdom (1975), U.S.S.R. (1978) West Germany (1980), U.S.A. (1983), successively, and also in the International Meteorological Tables published by the World Meteorological Organization

In order to be familiar with the SI, this report presents an explanation in detail and a number of useful meteorological constants are computed and shown in this new system of units by the writer. It is his pleasure that the SI will be widely accepted in our country.

200 + 200