

精密儀器工程

(第一部上册)

I

精密儀器工程

(第一部上册)

I

全書內容提要

第一部

理工上使用之各種單位，各種數表，數學，誤差觀察計算，刀學，熱學，彈性力學與材料力學，震動學，傳動學，精密機械基本原理，光學，工業上幾何光學，薄層光學品製造基本原理，光學之測量工程，照明工程，術語錄。

第二部

電子工程，對自動控制工程非電力之各種「量」的電力測量程序，精密測量工程，各種間隙與配合，金屬材料，金屬處理，塑膠材料，塑膠加工，玻璃材料，玻璃材料加工，木材處理，表面加工處理，各配件製造，調整，術語錄。

目 錄

—詳目分別載於各章之前—

第一章	理工上使用之各種單位	1
第二章	各種數表	47
第三章	數學	113
第四章	誤差觀察計算	249
第五章	力學	295
第六章	熱學	477
第七章	彈性力學與材料力學	609
第八章	振動力學	709
索 引		755

第一章

理工上使用之各種單位

本章由哲學博士巴第特先生執筆

內 容

1.1. 介 紹	2
1.2. 各種基本「量」，「量」的種類，各種「量」及其意義	3
1.2.1. 概 論	3
1.2.2. 各種不同「量」之公式	3
1.3. 理工上使用之各種單位	4
1.3.1. 各種單位制度	4
1.3.2. 公制單位制度	4
1.3.3. 國際單位制 (SI)	5
1.3.3.1. 在德意志共和國內之法定規則	5
1.3.3.2. 國際單位制的普及	6
1.3.4. 國際的與法定的單位	7
1.3.4.1. 各種法定基本單位	7
1.3.4.2. 法定引用單位	8
1.3.4.2.1 長度，面積與容積	8
1.3.4.2.2. 平面角	8
1.3.4.2.3. 時間與頻率，速度與加速	9
1.3.4.2.4. 質量與力量，密度與壓力	10
1.3.4.2.5. 粘滯性	12
1.3.4.2.6. 功，能，熱量與效率	12

1.3.4.2.7. 電與磁.....	13
電之各種單位概說；電流強度，電壓與電阻； 電之傳導，電量（充電），電容量，電之移動與 電場強度；磁學。	
1.3.4.2.8. 熱力學.....	15
1.3.4.2.9. 光度學.....	16
1.3.5. 特殊單位.....	17
1.3.5.1. 原子與核子物理之各種特殊單位.....	17
1.3.5.2. 聲學之各種特殊單位.....	18
1.3.5.3. 光譜學上之各種特殊單位.....	19
1.3.6. 識別字看.....	19
1.3.7. 碼磅制.....	20
引用文獻.....	21

1.1. 介紹

自從伽利略 (Galileo Galilei) 首次將物理上各種情形與程序以各種方程式引述以來，則使物理與工程人員能在所增多衡量中對此種引述方式加以運用。當然現在吾人對於物理上之各種量則可借助公式符號運算。首先對使用之符號任意選擇並按各種情形分別決定。目前為使國際上之協調能順利達成起見若干人士皆向此方面努力，故使用詳細之國際統一公式符號（參閱第 1.1 表）以及數學上之符號（參閱第 1.2 表）。而目前已知字母次序數目對於龐大數目之物理上各種情形與程序之說明均嫌不足，而皆係若干「量」的種類相等之公式符號而已，另一方面則規定對一種量避免常使用若干符號。所應注意者，則應以列於首位之符號為優先選用標準。

人們所使用之不同符號則視其常常書寫之各種特色與特性而定。當各公式符號單純為各種情形或程序之一般性質表示其特性時，則人們即利用理工上各種單位質與量的各種特性作為各別標誌，其縮寫符號作為質量，亦即作為常用參考量 (Konstante Bezugsgrößen)。然而應指示者，以何種基本量種類方可使物理上之“量”還原，為此則運用“因次符號” (Dimensionszeichen)。在第 1.3 表中則係吾人物理上所採用運算制度使用之公式符號，基本單位，以及各種基本量因次符號之對照表。

1.2. 各種基本量，量之種類，各種量及其意義

1.2.1. 概論

吾人之物理上衡量制度則建立於下列各基本量種類上：長度，質量，時間，電流，熱力學上之溫度以及光之強度，另外則又以平面角與立體角作為補充（參閱第 1.3 表）。

力學上之量的種類可按照基本量種類長度，重量與時間對比。為對電與磁量的種類加以標誌起見，則附加一種電的基本量種類，電流強度亦為必要，在研究熱力學時，熱力學上之基本量種類——溫度，則為必要，對於光度學而言，光度學上之基本量種類——光之強度，亦為必要。各種引用之量的種類則可視為由各基本量種類而形成之積或商（參閱第 1.4 表）。物理上各種量的種類有人稱之謂量之種類確定總數，此各種量的種類能將可以測量之各種特性，情形或程序加以標誌，因此所以此等「量」之種類則可視為從數值與單位而來的積表示之，例如：6m, 30s, 7A。在文獻中亦常有將量之各類別作為量表示者。對於各種「量」則在必要時可將「量別」（der Grössenart）之各種公式符號配屬給量別範圍而編入。

1.2.2. 各種不同之「量」的公式

各基本量種類則不以定義區分，反之則純作為既定性質引用，按上述情形則各基本量種類則不能以方程式表示之。經各基本量種類而演變出來之各量種類，則以定義解釋之。其定義上之方程式（參閱 1.4 表第 3 欄對照之）則稱之謂一般量方程式：例如

速度 = 長度 / 時間，即 $v = l / t$ 。

在此方程式中則可用各種量以代替公式符號，因此則將此公式符號寫成量之方程式，例如： $l = 1000\text{m}$, $t = 10\text{s}$: $v = 1000\text{m} / 10\text{s} = 100\text{m} / \text{s}$ 。在此式中單位之賦予可以省去不用，因此則可將此方程式變為一個數值方程式： $v = 1000 / 10 = 100 (\text{m} / \text{s})$ ，雖然應賦予單位，而資料內容仍一目瞭然。通常在一般量的方程式中皆應將各種單位納入，以公式符號

與單位則即形成其商，例如： $v = \frac{l}{m} \bigg/ \frac{t}{s}$ 此種方程式則稱之謂恰好「量」

公式 (zugeschnittene Grössengleichungen)，此種情形之方程式對於特殊目的非常適用，例如對於各種數字表之計算；皆大多數簡明有力。

1.3. 理、工上使用之各種單位

1.3.1. 各種單位制度

各種單位皆係一些一定數額或值的量且視為同等種類量的常數參考當量，亦即，一種質量 (Masse) 僅能直接與一個確定質量相比較，例如 1 公斤 (1 Kg)。

有人稱單位制度則係由一定數目基本單位導出之單位而再有系統的與此基本單位聯用。如導出之各單位皆可以因子 1 而向基本單位還原者，則稱此制度中之各單位為相干單位。與其他數目因子有關之各單位則謂之“不相干”。此尤其對於牽涉重力加速之各種單位則更為適用 (例如 Kilopond *，)。單位制度大半依照其各種基本單位稱呼命名：公制 (亦稱公尺制)，則係根據基本單位公尺 (Meter) 而來，亦即公尺——公斤——秒，或 MKS 制，但亦有人以其創始人的名字稱呼者，例如對 MKSA 制則稱謂“焦濟制” (Giorgisches System)。目前世界上所使用的各種單位制度則以公制特別重要，此外目前仍有主張採取英美磅磅制度者 (yard-poun-System)。

1.3.2. 公制單位制度

公尺制的單位制度首先在法國大革命時追求簡化而發生制定，而後在 1790 年由主教兼政治家達里昂 (Talleyrand) 在國民大會上又再提出建議採用，以便成為全世界通用之度量衡制度。此制度之基礎而選擇為“公尺

*譯者註：Kilopond，此係一力量單位，Kilo 為千之意，Pond 則係導源於拉丁文之 Pondus 即 = Gewicht (重量)。此重量之規定，係一立方公寸之純淨水在攝氏四度時 (密度最大時) 於 45 度地理緯度及海平面高度所有之重量。亦即現在法國巴黎度量衡協會所保管之個白金與依合金製的圓筒，其直徑 39mm 高 39mm，在地理緯度 45 度與海平面高度時，所形成之重量即為 1Kp = 9.80665N, 1N = 10⁵ dyn. 1 pond = 9.80665gm sec².

係地球子午線象限 $10'$ 分之 1 。其除與其乘皆採十進位制度。在此制度中度量單位如同以一公分正方形注入水的度量定義相同。時間單位 (Einheit der Zeit) 則採取秒 (Sec) 為單位，即平均晝間 86400 份之一。相當於 1795 年法國之法定制度中所使用之各種基本單位，而稱之謂 MKS 制。其適用範圍僅限於力學，機械。

高斯 (Gauss) 與魏勃 (Weber) 則於 1836 由 MKS 制中又演變成一種所謂 cgs 制，即係以公分 (cm)，克 (g)，與秒 (s) 等各基本單位組成，在 1881 年在科學界稱為高斯制或絕對度量衡制。因為電學上各種單位之需要，有人首先試圖在 cgs 制上追溯其應用範圍，以後高斯則以第四基本量種類——“絕對介質常數” (absolute Dielektrizitätskonstante, $\epsilon_0 \equiv 1$) 介紹於科學界，且又創作推演成“高斯氏靜電的度量制度” (das Gaussche elektrostatische Maßsystem) 對於磁學在電磁度量衡制度中則又引入“絕對導磁常數” (die absolute Permeabilitätskonstante, $\mu_0 \equiv 1$)。最後則將此末尾命名之兩種度量衡方法則與 cgs 各單位一起合併，所謂“混合度量衡制” (gemischen Maßsystem)。

在此時間內電子工程方面則更為進步，且顯示現有各種度量衡制度的各類單位已不足適應各種要求。因此在 1908 年由國際間引用一精密制度，作為電學上之各種特殊單位，此種單位如歐姆 (Ω)，安培 (A) 與伏特 (V) 等推演而成。1901 年意大利之物理學家焦濟 (Giorgi) 提議從 MKS 制度中再創立一種單位制度並建立一電力單位，因此則又成為 MKSA 或稱謂焦濟氏制 (Giorgische System)。此外則工程人員受惠之意義更為重大，而能有一具有量類別的精密量制度使用，如長度，力量與時間以及公尺 (m) (Meter)，公斤力 (kg 或 kg_f) 各種單位，在 1939 年之後又有 Kilopond (kp) 與與秒 (s) 之互用方式，則此制又獲得工程度量衡制度或 MK_pS 制的名稱。在第 1.5 表中為各種度量衡制度中力學上之各重要單位總合。

1.3.3. 國際單位制 (Das Internationale Einheitensystem) (SI)

1.3.3.1. 在德意志共和國內之法定規則

根據 1954 年第十屆度量衡會議之建議，因國際公尺制條約協會 (Internationalen Meterkonvention) 之最高國際當局決定，採用以下列各基本單位之所謂“實用單位制度” (Praktisches Einheitensystem) 為應用標準：

對於長度	以公尺 m 為單位
對於質量	以公斤 kg 為單位
對於時間	以秒 s 為單位
對於電流	以安培 A 為單位
對於溫度	以愷氏度 °K 為單位
對於光度	以燭光 cd 為單位

(對照第 1.3 表) 與所決定之引用有關各種單位 (參閱第 1.4 表)。在德意志共和國內對此實用單位制度則曾於 1958 年 8 月 14 日對於理工上使用之各種單位以命令規定之 (法規通報, 特別發行本第一章第 647 頁), 以及於 1958 年 10 月 8 日對於法定單位表格之規定 (法規通報, 特別發行本第 289 號)。第十一屆度量衡會議 (XI. Generalkonferenz für Maß und Gewicht) 則決定對此項制度賦以正式名稱爲國際單位制 (Systeme International d'Unites) 並附予縮寫字母 SI。此外在 1960 年因爲基於氪 86 (Krypton 86) 射線光波長度關係則又有新的公尺定義出現。至 1964 年第十二屆度量衡會議則又繼續有若干之變更。在德意志共和國內根據第十一與十二兩次度量衡會議之各種決議案; 則對於理工上所使用之各種單位特於 1967 年 5 月 31 日以新命令 (法規通報第二章第 351 頁) 規定之, 並決定國際制爲法定制。法定單位新表格則正調製中。

在第 1.6 表中皆係自己附有名字 (次要單位) (Sekundäreinheiten) 單位乘與除之數字首。除法定之目前採用原子與核子物理、天文, 光譜學 (Spektroskopie) 以及航海與航空各單位之外, 則不列入。

國際上未來之各種制度上的努力亦可能使吾人對基本單位演變而來之各種單位作有關之運用, 亦即, 在此等單位中純以因子 1 出現者。工程上重量單位 (Technischen Masseinheit, 1 TME = 1 kp · s² / m) 在未來亦將禁用, 蓋因其所用之國際制重量基本單位爲公斤, 則不完全相等, 且在工程度量衡制中曾係一種引用單位。

1.3.3.2. 國際單位制的普及

若干國家在其最現代形式中的公制則以其作爲法定國際制, 且成爲永久性的。除國際公尺制條約會議所屬各國家之外, 各新獨立之國家尤其皆採納國際制。在歐洲之各國幾乎皆屬於公尺條約簽訂範圍內之國家, 英國在 1963 年決定逐步採用國際制, 當美國尚在保守於碼磅制時則不啻爲一大革新。下

列各國則為採用法定單位最近年月，括弧內的年代則為其加入世界公尺條約之年月。

丹	麥	1950
芬	蘭	1965(1922)
法	國	1960(1875)
英	國	1963(1884)
印	度	1958(1956)
以	色 列	1954
意	大 利	1954(1875)
日	本	1966(1885)
挪	威	1946(1875)
奧	國	1950(1875)
瑞	典	1934(1875)
阿	聯	1951

1.3.4. 國際的與法定的單位 (Internationale und gesetzliche Einheiten)

1.3.4.1. 各種法定基本單位 (Die gesetzlichen Grundeinheiten)

公尺 (Meter) (m)，等於 1650763.73 光線真空波長，相當於光線在氬 86 (Krypton 86) 原子之 $2p_{1/2}$ 與 $5d_{5/2}$ 之間水平通過之距離。

公斤 (Kilogramm) (kg) 為國際上公斤原型之度量。

秒 (Sekunde) (s)，係 1900 迴歸年元月 0，12 點日錄時間之 31556925.9747 分之 1。

安培 (A) 係經過兩條直線的，並聯的，無限長而有相對導磁係數 1 之導線時間上不變的電流強度，且將其任意切斷為一公尺，在絕對真空之中每一公尺之雙導線上由電流電動力發生之力量，通常則以 $2 \cdot 10^{-7} \text{ mkg} \cdot \text{s}^{-2} (2 \cdot 10^{-7} \text{ N})$ 計算。

愷氏 (溫) 度 ($^{\circ}\text{K}$)，係純淨水之三重點熱力學上愷氏溫度 273.16 分之一。

燭光 (cd) 則係光之強度 (die Lichtstärke), 在凝固鉑之物理大氣壓力時則有一層黑色射線而垂直向其各表面照耀, 在計算上通常以

$$\frac{1}{600000} \text{ m}^2 \text{ 爲準。}$$

另外尚須對介於基本單位與引用單位二者之間的兩種角度單位加以補充說明, 即立體弧度 (Der Radiant) 以及錐弧度 (Steradian):

此弧度“徑” (rad) 係一平面角, 所屬之圓弧與其半徑長度比例爲 1。而錐弧度 (sr) 則係一立體角, 即其所屬球面之積與其半徑之平方比例爲 1。

1.3.4.2. 法定引用單位

1.3.4.2.1. 長度, 面積與容積 (Volumen)

公尺之新定義則導源於氦 86 橙色射線自然常數。

德意志共和國直到 1967 年爲止仍然採用舊制之公尺定義, 對平均分割距離仍採用原分劃組之公尺定義。

由公尺而形成之各種次要單位 (比照第 1.7 表) 皆妥爲開列。附帶的則爲海里與英里皆係航海航空用之單位, 每海里 (Seemeile) 等於 1852 公尺, ($1 \text{ sm} = 1852 \text{ m}$) 亦爲許可應用之單位。

面積單位則由長度單位之平方形成。附帶的則爲公畝 (Ar) ($1 \text{ a} = 10^4 \text{ m}^2 = 1 \text{ dam}^2$) 與公頃 (Hektar) ($1 \text{ ha} = 10^4 \text{ m}^2 = 1 \text{ hm}^2$) 亦視爲面積單位定義解釋, (參閱第 1.8 表)。

容積單位皆係長度單位之三次冪以及公升 (das Liter), 此公升根據世界第十一屆度量衡會議之決議視爲固有名詞, 即立方公寸 ($1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3$), 直到目前仍適用 $1 \text{ l} = 1.000028 \text{ dm}^3$ 之計算。雖然公升不能作爲精確衡量之用。而如同以一立方公尺氣體在正常狀態下 (亦即在 760 Torr 及攝氏 0 度時) 表示標準立方公尺 (Normkubikmeter) 亦不再適用, 而以一標準容積 m^3 爲準 (參閱第 1.9 表)。

1.3.4.2.2. 平面角 (Ebene Winkel)

除弧度“徑”之外 (見 1.3.4.1. 節), 則直角 (rechte Winkel) 或垂直角 (Rechter (L)), 亦許可使用, 此係四個平面角之每一角, 兩個係在相等鄰接角切割度下形成。

($IL = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$)，且，度 [$1^\circ = (\frac{1}{90})^L$]，分 [$1' = \frac{1}{60}^\circ$]，秒 [$1'' = (\frac{1}{60})'$] 以及“新度”(Neugrad)或稱為“貢”(Gon)，此新

度1貢為 [$1g = (10^{-2})^L$] 附帶的其百分之一則為“新分”(Neumminute) [$1^\circ = (10^{-2})^s$] 以及其百分之一則為“新秒”(Neusekunde) [$1'' = (10^{-2})^s$]。(參照第1.10表與2.4至2.11表)。

1.3.4.2.3. 時間與頻率，速度與加速

除秒之外(參照第1.3.4.1.節)時間之各種基本單位法定使用者為分(Minute) ($1 \text{ min} = 60 \text{ s}$)，小時(Stunde) ($1 \text{ h} = 60 \text{ min}$)與天(Tag) ($1 \text{ d} = 24 \text{ h}$) (參閱第1.11表之說明)。

秒之新定義曾經認為必要，而後則證明，蓋因晴天中午時間長短則受各種重大章動(變更)支配(10^{-7} s)，依高頻率工程高標準之觀點言之，其值則以 10^{-10} s 方可工作，如此則似不夠應用。1900年元月零時之時間點，“日錄時間”(Ephemeridenzeit) 12時，亦即為1899年12月31日世界時間12時之使用上表達方式，亦即正中午。自1952年日錄時間以天文之各種計算為基礎，且自1925年以來天文亦係用午夜至午夜的24小時天計算。秒之新定義在實際運用計算上則仍未達到成就。各時間點之區別標誌可在各時間單位右上角加以註明，如同各指數相同： $3^h 30^{min}$ 則即為三點三十分；然而 $3 \text{ h } 30 \text{ min}$ 則表示時間上所耗費之長短，即三小時另三十分之久。

頻率之單位為“赫芝”(Hertz) (Hz)，係一秒鐘期間定期程序之頻率。轉動數目(機械或電機)則可以每秒鐘若干轉(U/s)或每分鐘若干轉(U/min)代替頻率之計算方式。

「速度」與「加速度」之各單位(Die Einheiten für Geschwindigkeit und Beschleunigung)則係由各種長度單位與時間單位引用之單位(如每秒若干公尺 m/s)每分若干公尺 m/min ，每小時若干公尺 m/h 等等)分別由長度單位與時間單位之平方而來，(如 m/s^2 ， m/h^2 等等)。因為在航空與航海所使用之單位係節里(Knoten) ($1 \text{ kn} = 1 \text{ sm/h}$)，而此種單位並非直接屬於速度單位之系統，但仍許可使用。在地球物理學中則以“伽爾”(Gal, $1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2$)作為加速度單位。至於角速度(Winkelgeschwindigkeit)與角加速度(Winkelbeschleunigung)

則以 rad/s 與 rad/s^2 (參閱 1.4 表) 為適用, 以及許可使用之角度與時間單位的商, 例如 $^\circ/\text{min}$, $^\circ/\text{h}$, $^\circ/\text{s}^2$, $''/\text{min}^2$ 。

1.3.4.2.4. 質量與力量, 密度與壓力

質量之基本單位公斤, 不可成為次要單位, 而祇有從克 (Gramm) (g), 從噸 (Tonne) (t) 換算 (參照第 1.28 表), 不再許可使用下列各種單位如公擔, 對公擔與磅, 而代之以 50 公斤, 100 公斤, 或 1 分噸 (dt) 與半公斤 (0.5 kg) 或 500 公克 (g) (參閱 1.12 表)。

力 (Kraft) 之相關單位則係牛頓 (das Newton), 一種力量施於一公斤質量之物體上能產生 1 公尺/秒² 之加速者, 即為一牛頓之力。

無直接關聯的法定力量單位, 則如達因 (Dyn), (dyn), 與仟彭 (kp) 等皆係此類單位。仟彭則係由“彭” Pond (P) 次要單位所組成。在外國則以公斤力 (kgf) 而代替仟彭, 因 $1 \text{ kp} \equiv 1 \text{ kgf}$ 與 $1 \text{ Mp} \equiv 1 \text{ tf}$ (噸力)。此外下列各種關係在換算時皆非常重要:

$$1 \text{ 達因 (dyn)} = 10^{-5} \text{ N} = 1 \text{ cmg/s}^2$$

$$1 \text{ 仟彭 (kp)} = 9.80665 \text{ N} = 9.80665 \text{ m kg/s}^2 = 980$$

$$665 \text{ cmg/s}^2$$

例如:

一個縱向振動之自然頻率 f 為

$$\sqrt{c/m} \text{ 以 } c = 1 \text{ kp/mm 而 } m = 1 \text{ kg}$$

$$c = 1 \text{ kp/mm} = 9806.65 \text{ kg/s}^2$$

$$f = \sqrt{\frac{9806.65 \text{ kg}}{1 \text{ kg s}^2}} = 99.03 \text{ 赫芝 (Hz)}$$

質量則選為基本量種類, 以其作為物體不變更之特性。設有一物體 10kg 而將其放置於其他行星上亦仍為 10kg。而力量則為從質量而來之力加速乘積, 係一引用之“量”的單位類別。而固定的質量則視其所施之加速情形而定。以牛頓作為力之單位直到目前為止仍受世人偏愛, 且亦係全世界通用之單位。而仟彭則僅在地面上之各種標準情形下方為適用, 亦即在標準重力加速 9.80665 m/s^2 之情形下適用。

對於使用質量單位作各種力的指示以及質量作為“重量” (Gewicht)

表示則已不再許可。重量則係物理上的質量積以及視為當地之重力加速數字，亦為一種可變化之力。一公斤重量的“重力”(Gewichtskraft)若在南(北)極地區則應以 9.832N 計算，而在赤道上則以 9.780N 計算，在各種標準條件下則應以 9.80665N 計算，然而在月球上其重力加速 $\approx 1/6\text{gn}$ ，僅以 1.634N 計算。

凡接受一定質量之能力則稱之謂負荷能力(Tragfähigkeit)，此種能力則以質量單位表示之。對於施於一質量上重力加速力之反抗上昇力；則謂之負荷力，以力的各種單位表示之。

各種密度有關之單位則係以公斤/立方公尺表示之(kg/m^3)，此係均勻質料物體之各種密度表達方式，係採用1公斤質量與1立方公尺容積之算法。

因各種密度單位(Einheiten der Dichte)亦可為許可使用之質量單位與許可使用之容積單位之商，尤其對於流體物質及固體物質，必需使用公斤/立方公寸(kg/dm^3)作為密度單位。各密度單位亦可用於“容積密度”(即Schuttdichten)。

壓力(Druck)單位則視為各力之單位與面積單位所形成之商。有關之壓力單位則為牛頓/平方公尺(N/m^2)，此種單位目前尚無適當之名稱賦予。其定義則為一個牛頓之平均力量分配於一平方公尺面積上，此種壓力單位之定義即如此解釋。此外，從許可使用之力單位與面積單位而來之各種商數，亦屬於此種範圍，例如，仟彭/平方公分(kp/cm^2)或工程上之大氣壓(at)，達因/平方公厘(dyn/mm^2)，牛頓/平方公忽($\text{N}/\mu\text{m}^2$)等皆係此類。

在氣象學中(Meteorologie)對於空氣壓力指示皆喜使用“巴”(Bar)(bar)與“陶爾”(Torr)，後者則係代替以往採用公厘水銀柱(mm Hg)表示壓力之方法。以“巴”與“陶爾”可與各前置數字連貫作乘或除，最常使用者為“毫巴”(Millibar)(mbar)與“微巴”(Mikrobar)(μbar)，尤其後者在聲學上表示聲壓(Schalldruck)時最常用。從“陶爾”則又引用出“毫陶爾”(Millitorr)(mTorr)與“微陶爾”(Mikrotrorr)(μTorr)，此皆係在真空工程技術中劃分各種較微小壓力使用者，以表示目前尚未能劃分清楚界限時之真空壓力，在目前真空方面之壓力界限用字極其含糊，如概略壓力，精密壓力，高壓以及最高真空壓力。

各種氣體壓力通常則以工程上之大氣壓(technischen Atmosphären

) (at) 表示之。工程上大氣壓萬分之一亦可用公厘水柱 (Millimeter Wassersäule) (mmWS) 表示之，此外公尺水柱 (mWS) 與公分水柱 (cmWS) 亦皆許可使用。

物理上各種大氣壓 (atm, 以往則用 Atm), (physikalische Atmosphäre) 亦可作為正常大氣壓表示之，1948 年第九屆世界度量衡會議對於牛頓 / 平方公尺單位關係之確定；並以 $101325 \text{ N} / \text{m}^2$ 作為定義解釋。在第 1.14 表中所列者皆係各種不同之壓力單位。

1.3.4.2.5. 粘滯性 (Viskosität)

一個層狀流動，均勻，各向同性之物體動力上之粘滯性，於兩個水平平行層之間每一公尺距離之層面中，以每秒 一公尺 ($1 \text{ m} / \text{s}$) 之速度將切應變控制在 $1 \text{ N} / \text{m}^2$ 之精度上，再以有關測量單位每平方公尺牛頓小時 (Ns / m^2) 測量之。其十分之一稱為泊 (Poise) (P)。

對於動力上之粘滯性其法定單位則為平方公尺 / 秒 (m^2 / s)，此係動力之粘滯性物體 $1 \text{ Ns} / \text{m}^2$ 與密度 $1 \text{ kg} / \text{m}^3$ 時之運動粘滯性。其 10^{-4} 分之一則稱為“斯托克” (Stokes) (St)。

粘滯性各種單位之換算可參閱第 1.15 表。

1.3.4.2.6. 功、能、熱量與功率

對於功 (Arbeit), 能 (Energie) 以及熱量上有關之單位則為焦耳 (Joule) (J), 亦稱作牛頓公尺 (Nm) 或者瓦特秒 (Wattsekunde), 此即當一個牛頓之力量之施力點向某一物體施力時，使其沿力之方向移動一公尺所作之功。此外法定之各單位尚有爾格 (Erg) (erg) 以及卡 (Kalorie) (cal)。卡之準確熱量則須與第五屆國際蒸汽表會議 (Der 5 Internationalen Dampftafelkonferenz 1956, London) 之決定相符合方可，因此則 $1 \text{ cal} = 1 \text{ cal}_{17}$ 。

因為對功，能與熱量之各單位更可視為從許可使用之各長度單位，力之單位，功率單位以及時間單位中分支形成之單位。馬力小時 (die Pferdestärketunde) 已不再准許使用。關於最重要之各種能量單位可參閱第 1.16 表中說明。

功率之有關單位則為瓦特 (das Watt) (W) 因為其在一秒鐘之內完成一焦耳之功。對於電之表面功率則可用伏特安培 (das Voltampere) (VA) 以代瓦特，且以伐爾 (Var) (var) 表示“無功率”。此外目前馬力 (Pferdestärke) (PS) 以及許可使用之功率單位與時間單位之各種商數亦屬適用。為電力的與機械的功率，二者之間的差異目前已不再成立。

1.3.4.2.7. 電與磁

電之各種單位概說

電之各種單位則與力學各種單位則形成一種密切關聯系統。電學與磁學之各種單位則皆與 1898 年至 1958 年所制定的「國際單位」而現在仍視為“絕對”定義者相反。而在科學文獻中仍經常對各種國際單位加以引用，現將其重要者換算如下：

一個國際安培 = 0.99985 安培 (法定絕對值)

一個國際歐姆 = 1.00049 歐姆

一個國際伏特 = 1.00034 伏特

一個國際庫倫 = 0.99985 庫倫

一個國際法拉 = 0.99951 法拉

一個國際韋伯 = 1.00034 韋伯

一個國際亨利 = 1.00049 亨利

一個國際的西門子 = 0.99951 西門子

下列 cgs 制所屬之各電學單位已不准再行使用：

一個高斯 (G, Gs) = 10^{-4} 韋伯 / 平方公尺 = 10^{-4} = 10^{-4} 忒斯拉 (Tesla)。

一個馬克斯威爾 (Maxwell) (M, Mx) = 10^{-8} 韋伯

一個奧斯特 (Oersted) (Oe) = 79.5775 安培 / 公尺 (在地球物理學中迄今亦稱之為 Gamma (Γ))。

一個吉柏 ((Gilbert) (Gb) = 0.795775 安培。

在 1.17 表中則為有關高斯之 cgs 制以及電磁之 MKSA 制各種單位摘要。

電流強度，電壓與電阻

安培 (A) 為吾人單位制度中之一基本單位 (參照第 1.3.4.1. 節)。自從 1898 年此即以“銀安培” (Silber Ampere) 作為定義，亦即，由其解釋方式而言；其理論上之定義之優點則為測定上之獨立性。安培亦視為磁壓單位 (Einheit der magnetischen Spannung)。

伏特 (V) 則係電壓之單位。其定義為在一條質料均勻而均等煉製的金屬導線兩端之間的電壓，在此間定期以一安培強度之看不見的電流在兩端之間以一瓦特功率移動。其關係則為：