

電磁新單位

王子香編著

中國科學圖書儀器公司

出版

電 磁 新 單 位

中國科學圖書儀器公司

出 版

自 序

電磁的單位，從 1940 年元旦起，廢止以前的各種制系，一律採用喬麒制(MKS 制)。電磁單位的標準，亦從 1948 年元旦起，廢止國際單位，一律改用絕對喬麒制。從此無論單位或標準，都只用絕對喬麒制一種。那些大小不宜的單位制，都為深入人民大眾的實用單位所替代，所統一。這是歷史唯物論的結果。

這種初行的新單位，人民還不很熟識，應有專文介紹。這本書的上篇，就是介紹這新單位。舊的書本還在閱讀，舊的儀器還在應用。舊的單位亦非一年半載所能掃清。新舊單位的比較和換算，是迫切需要的。這本書的下篇，就是比較各種單位和換算各種單位的。

在上篇的喬麒制中，不會用矢量。希望學電的同志，都可閱讀，目的在普及。在下篇的各制比較中，不會有此限制，目的在澈底瞭解，無所遺漏。

在 1940 年的時候，我和葉允競同志都在國立武漢大學電機系教書，我研究各種單位的比較而不能通，請他一同研究，以便討論。我把材料交給他之後，也便拋開了。勝利的前夕，他寫好一本“各種單位制”交給我，叫我修改後出版。我帶到南京之後，在南京大學圖書館等處，看了一些雜誌，用了一點工夫，覺得有重寫的必要。我寫好寄給他，他亦不滿意。因此二本初稿，都不能共同具名印行。

今年暑假之前，大家努力於生產捐獻。我無所長，就把舊稿翻閱，

自己亦覺有重寫之必要。因在暑假中，又重新從頭寫過。所以這本書雖有許多缺點或錯誤，但已是第三稿了。寫好之後，正欲徵求葉同志的意見，而噩耗傳來，他已於前幾日去世了。不能再由他修改，只得請讀者多多指正。

王子香 1951 年 12 月

目 錄

上篇 喬 麒 單 位 制

第一章 電和磁的獨立式	1—18
1. 簡史	1
2. 優點	3
3. 增加的新單位	4
4. 力學單位	5
5. 高斯定律	6
6. 電場密度和磁場密度	7
7. 電場強度和磁場強度	7
8. 電容率和磁容率	8
9. 庫倫定律	9
10. 電位和磁位	10
11. 電極化和磁極化	13
12. 電容和磁容	16
13. 電場儲能和磁場儲能	19
第二章 電和磁的關聯式	19—28
1. 電流與磁流的種類	19
2. 傳導電流	20
3. 移位電流與移位磁流	21
4. 電流生磁場與磁流生電場	23
5. 法特定律與安馬定律	24
6. 二定律的特殊情形	25
7. 移位電流與移位磁流的互相作用	26
8. 傳導電流與磁的作用	27

9. 電感與互感	23
第三章 合理制與舊式制	29—40
1. 合理與否的關鍵	29
2. 合理與否的牽連	31
3. ϵ_0, μ_0 的單位	32
4. 合理制的優點	34
附：第一表，電和磁的獨立式(合理制與舊式制比較表)	35
第二表，電和磁的攝聯式(合理制與舊式制比較表)	36
第三表，喬基合理制(與靜電，靜磁二制比較表)	37

下篇 各種電磁單位制

第四章 單位的演變	41—51
1. 單位的種類	41
2. 米突制的來歷	42
3. 電磁單位的起源	43
4. 電磁單位的革命	43
5. 電磁單位的修改	44
6. 各制的創行	45
7. B,H 異同問題	46
8. 單位的統一	48
9. 國際單位的廢止	49
10. 廢止的理由	50
第五章 各制變化的規範	52—64
1. 九種單位制系	52
2. 四個基本單位	53
3. 三個單位比數	54
4. 光速與 ϵ_0, μ_0	56
5. 普遍式	57

6. 九制的成因和優劣	58
7. 其他制系的探討	59
附：第四表，各單位制的基本條件	61
普遍式（甲），電磁二方獨立的並行式	62
普遍式（乙），電磁二方相關的並行式	63
普遍式（丙），電磁二方共同的混合式	64
第六章 各種單位的比較	65—83
1. 各制的公式	65
2. 各制的相度	65
3. 各制單位的比值	67
4. 各制單位的名稱	69
附：第五表，普遍式	71
第六表，靜電制	72
第七表，靜磁制或實用制	73
第八表，高斯制	74
第九表，海羅制	75
第十表，合理喬麒制，培氏制，卡氏制	76
第十一表，舊式喬麒制	77
第十二表，各制的相度	78
第十三表，各制對靜磁制的單位比值	79
第十四表，各制對合理喬麒制的單位比值	80
第十五表，MKS 制的光學單位	81
第十六表，MKS 制對力，熱學上單位通同表	82
第十七表，MKS 制的物理常數	83
中西文名詞對照表	85

上篇 喬麒單位制

第一章

電和磁的獨立式

1. 簡 史

電磁學上的單位向甚紊亂，制系的種類既極繁多，變換的常數亦極複雜。僅以連絡制而論，便有靜電制，靜磁制，實用制，高斯制，海羅制，調和制，培氏制 (Bennett system)，卡氏制，(Karapetoff system)，喬麒制 (Giorgi system)，等九種。何況尚有許多混合制。真是五花八門，莫衷一是。即使熟習的人，也覺得頭痛。

爲了解除這不必要的痛苦，1935年6月國際電工委員會 (International Electrotechnical Commission) 開會於比京時⁽¹⁾，議決採用喬麒制爲各國統一的單位。同年10月國際度量衡委員會 (International Committee of Weights and Measures) 開會於巴黎，承認電工委會的決議，採用喬麒制，並定於1940年元旦，爲實行更改的日期⁽²⁾⁽³⁾。如今這新單位已行之十一年，西文書籍，多

(1) A.E. Kennelly, Trans. A.I.E.E., Vol. 54. Dec. 1935.

(2) A.E. Kennelly, Trans. A.I.E.E., Vol. 58. Feb. 1939.

(3) C.E. Crittenden, Trans. A.I.E.E., Vol. 59. Apr. 1940.

已採用。

喬麒制的基本單位爲米(meter), 鈣(Kilogram), 秒(Second), 所以亦叫做 MKS 制。它的第四基本單位原來是歐姆, 在 1938 年電工會開會於英國 Torquay 地方時, 却採取了空間磁容率 μ_0 的單位, 而放棄了歐姆和庫倫, 並且定名爲喬麒制, 而不是 MKS 制, 以紀念意人 G. Giorgi 的創議。

這樣一來, 單位的制系固然可以統一了; 但是單位的標準, 還有問題。因爲我們一向所用的八個實用單位(如安培, 伏脫等), 都是國際單位; 而用絕對方法, 從各種制系所測得的, 又爲絕對單位。絕對單位是從各制的基本單位算出的, 國際單位是以實質爲標準的。他們的大小最初是完全相等, 並無分別。可是時間越久, 科學越進步, 測法越精確, 他們的差額亦越顯著, 到後來便成爲二種單位。

爲了免除這種不應有的差異, 1937 年巴黎度量衡會曾經主張採用絕對單位, 放棄國際單位。可惜當時意見未能一致。保留到 1939 年的會議再行決定, 希望於 1940 年和喬麒制同時實行。不幸爲大戰所阻, 1939 年會議未曾舉行。

勝利後一年(1946 年)度量衡會開會於巴黎⁽¹⁾⁽²⁾, 決定照 1937 年的建議, 採用絕對單位以代替現行的國際單位。從此把紛紛攘攘的電磁單位, 不論制系和標準, 都歸宿到絕對喬麒制的一種。

可是一波未平, 一波又起。本來電磁單位可以分爲二類; 一爲合理的(rational), 一爲非合理的(unrational)。這“非合理”的名稱不很妥當, 有時亦稱爲“正常”的或“舊式”的或“無 π ”的。上面所講

(1) Bureau of standards, circular No. 459.

(2) G.F. Gardner, G.E. Review, Dec. 1947.

的九種制系，前四種是舊式的，後五種是合理的。

喬麒制原是合理的一種。喬麒本人在1901年所提確是合理制。可是1935年起各次會議之中，對於是否為合理化的一點，都爭持而未能決定。至今還是於二者之中，可以自由選用一種，而不加以拘束。

所以今後的電磁單位，又由一種而變為二種：一為合理絕對喬麒制，一為舊式絕對喬麒制。這二種單位的公式，有許多不同，意義亦有差異。合理制遠比舊式制為優，所以以下先叙合理制，到最後再與舊式制相比較。同時舊式制的單位，一般書中已有推導，這裏不必再推，以免重複。這亦是先推合理制的原因。不過這裏的推導，只是最簡的幾句話。目的在表單位的來歷，並不是要推演公式的。

2. 優點

合理喬麒制的優點，可分為四種：

(1) 保存習用的八個實用單位，合於電磁界或電工界的習慣：

伏脫 (Volt), 簡稱伏	安培 (Ampere), 簡稱安
歐姆 (Ohm), 簡稱歐	佳爾 (Joule), 簡稱佳
瓦脫 (Watt), 簡稱瓦	法特 (Farad), 簡稱法
庫倫 (Coulomb), 簡稱庫	亨利 (Henry), 簡稱亨

(2) 基本單位是米，尅，秒，都與社會實際所用，完全適合。並無過大或過小之弊。如舊式的實用單位制，長度和質量的單位，便不能如此。

(3) 以前所用的靜電，靜磁等制的單位，在許多公式中常常有單

位比數，而在合理喬麒制中，這些比數簡單為 1。意義較前明白，記憶亦較前容易。而且電磁對稱的現象，因為單位的關係，弄得不對稱。用合理喬麒制，又可對稱回來。

(4) 用舊式單位的公式中，不需要 4π 的地方，如平面現象，他却有 4π 。需要 4π 的地方，如球體現象，他又沒有 4π 。用合理喬麒制，這種毛病都可改回來。而且去掉 4π 的公式多，增加 4π 的公式少。不但較前合理而已。

3. 增加的新單位

喬麒制中各單位的名稱，除了米，尅，秒三個基本單位，和伏，安，歐，佳，瓦，法，庫，亨八個實用單位以外，又先後增加了下列五個單位專名：

頻率的單位：赫志(Hertz) 1 赫 志 = 1 週/秒

電導的單位：西門子(Siemens) 1 西門子 = 1 模

力的單位：牛 頓(Newton) 1 牛 頓 = 10^5 達因

磁勢的單位：安培匝(Ampere-turn) 1 安培匝 = $\frac{4\pi}{10}$ 吉而伯脫

磁縷的單位：韋白(Weber) 1 韋 白 = 10^9 馬克斯威

這樣單位有專名的共有十六個了。自然還是不夠用。有時把單位專名，倒寫過來，以為倒數的單位。例如

電導的單位：模(mho)，是電阻單位 Ohm 的倒寫。

電拒的單位：達賴甫(daraf)，是電容單位 farad 的倒寫。

磁拒的單位：意耐(yrneh)，是磁容單位 henry 的倒寫。

因為電導和電阻是互為倒數，電拒和電容或磁拒和磁容，亦是互

爲倒數。這種用法雖不甚合理，但許多工程書上，已經是這樣習用了。連應該用西門子的電導單位，也仍然用模。

有時又把數量及相度都相同，而性質不相同的物理量的單位，拿來代用。例如電量和電樓，數量是相同的。電量的單位是庫倫，電樓的單位無專名，就把庫倫來代替電樓的單位。磁量和磁樓的數量是相同的，磁樓的單位爲韋白，磁量的單位無專名，就把韋白用作磁量的單位。

有時性質及數量都不相同，只是相度相的，單位亦可以通用。例如亨利原爲電感的單位，一般亦用作磁容的單位。而且又從磁容的單位，倒寫回來，用作磁拒的單位，已經是代用再代用了。

經過這樣的推廣，喬麒制的單位，有專名的已有二十多個了。其實沒有專名，照樣可用。比喻指定 c.g.s. 制，那末 5 個力的單位，自然是指 5 個達因，只不很顯明罷了。

4. 力 學 單 位

喬麒制的基本單位是米，尅，秒，前面已說過。從這三個單位，便可推出其他的力學單位。設長度爲 l ，質量爲 m ，時間爲 t ，則按定義，

$$\text{速度} = \frac{l}{t} = v \text{ 米/秒}$$

$$\text{加速} = \frac{v}{t} = a \text{ 米/秒}^2$$

$$\text{力} = ma = f \text{ 牛頓} \quad (= 10^5 f \text{ 達因})$$

$$\text{功} = fl = W \text{ 佳爾} \quad (= 10^7 W \text{ 愛格})$$

$$\text{功率} = \frac{W}{t} = P \text{ 瓦脫} \quad (= 10^7 P \text{ 愛格/秒})$$

各式的單位比數，無不爲 1。而且各單位的大小，都切合實用。不像 c.g.s. 的達因，愛格等，對於工程方面，都嫌太小。例如一瓩的發電機是很小的。但一瓩的功率，如用 c.g.s. 制來表示，就得用十個圈子，很不方便。

5. 高 斯 定 律

有一極小的導體球（嚴格講，應爲一點），球上充以正電量 q ，則 q 向四周發出如絲如縷的電縷 ψ 。這 ψ 的多寡是與 q 成正比例。所以

$$\psi = \text{單位比數} \times q$$

在合理喬頓制中，取此單位比數爲 1，使公式爲最簡單。故

$$\psi = q$$

同理，設 m 爲磁量⁽¹⁾， ϕ 爲磁縷，則

$$\phi = m$$

二式合寫爲

$$\left. \begin{array}{ll} \psi = q & \text{庫倫} \\ \phi = m & \text{韋白} \end{array} \right\} \quad (1)$$

他們的單位： q 爲庫倫， ϕ 爲韋白， ψ 可以庫倫代用， m 可以韋白代用。（1）的上式是電的庫倫定律，下式是磁的庫倫定律。如把

(1) 正磁與負磁總是相結合，不能單獨存在。磁的高斯定律和庫倫定律是近乎理想的。這樣的敘述已成為經典的說法。但靜磁制，實用制等，都以磁的庫倫定律爲出發點。本書所着重的是單位，所以仍用舊說法。

(1)式改爲靜電制或靜磁制，則均爲

$$\left. \begin{aligned} \psi &= 4\pi q \\ \phi &= 4\pi m \end{aligned} \right\} \text{靜電制或靜磁制}$$

比合理喬頓制爲複雜。

6. 電纜密度和磁纜密度

按定義每單位面積中的電纜，叫做電纜密度。每單位面積中的磁纜叫做磁纜密度。設以 q 爲中心，作一想像的空球。球的半徑是 r ，則球面積 A 爲 $4\pi r^2$ 。穿過球面的電纜是 ψ ，如果是平均分佈，則密度爲

$$\left. \begin{aligned} D &= \frac{\psi}{A} = \frac{q}{4\pi r^2} \text{ 庫/米}^2 \\ B &= \frac{\phi}{A} = \frac{m}{4\pi r^2} \text{ 章/米}^2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

同理

D 是電纜密度， B 是磁纜密度。他們的單位： r 是米， q 或 ψ 是庫， A 是米²， D 是庫/米²， m 或 ϕ 是章， B 是章/米²。(2)式如用靜電或靜磁制，則

$$\left. \begin{aligned} D &= \frac{q}{r^2} \\ B &= \frac{c^2 m}{r^2} \end{aligned} \right\} \text{靜電制} \quad \left. \begin{aligned} D &= \frac{c^2 q}{r^2} \\ B &= \frac{m}{r^2} \end{aligned} \right\} \text{靜磁制}$$

c 是光速，約值爲 3×10^8 米/秒。二制於電磁二方，都不對稱，而喬頓制則電磁並重，彼此對稱。

7. 電場強度和磁場強度

上節所叙的 q ，放在想像球的中心， q 就向四周發電纜 ψ ，球面就有電纜密度 D 。我們亦可以說， q 向四周發出電場，那電場的強弱程度叫做電場強度，以 E 表之。任何點上， D 多則 E 強， D 少則 E 弱。所以 D 和 E 是成正比例的，亦是同方向的。（以同向性介質論）。同理磁亦如是，故

$$\left. \begin{aligned} D &= \epsilon E && \text{庫/米}^2 \\ B &= \mu H && \text{韋/米}^2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

H 是磁場強度。由(2)，(3)兩式，得

$$\left. \begin{aligned} E &= \frac{D}{\epsilon} = \frac{q}{4\pi r^2 \epsilon} && \text{伏/米} \\ H &= \frac{B}{\mu} = \frac{m}{4\pi \mu r^2} && \text{安/米} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ϵ 的單位是法/米， μ 的單位是亨/米。他們的性質說在下一節。

8. 電容率和磁容率

上節(3)，(4)二式中的 ϵ 和 μ ，很成問題。有些學者以為 D 和 E (或 B 和 H) 是同一物理量，即認定 ϵ ， μ 各為一純數，無單位，無相度。有些學者又主張 D 和 E (或 B 和 H) 是不同的物理量，即認定 ϵ ， μ 亦為一物理量，而非純數。因此發生所謂“ B, H 異同”問題。直至 1930 年，國際電工學會才決定 ϵ ， μ 各為一物理量，而非純數。因此 D 和 E 有別， B 和 H 亦有別。最近有些學者又以為 D 為 E 的函數， H 為 B 的函數。即 B 和 H 應該易位。此書所着重的是單位，故仍照舊習慣。

西文對 ϵ 和 μ 的名詞，非常複雜。近年所用，似以對 ϵ 為 Elec-

tric inductive capacity, 對 μ 爲 Magnetic inductive capacity 的名詞, 爲最普通而合理。因此將 ϵ 譯爲電容率, 將 μ 譯爲磁容率。以前有叫 μ 爲磁導率者, 似不妥當。因磁全無傳導作用。若叫 μ 爲磁導率, 則必叫 ϵ 爲電導率, 那又與電導率 g 相混淆了。

各媒質中的電容率或磁容率, 常需互相比較。而比較的標準, 大家採取自由的空間。設自由空間的電容率爲 ϵ_0 , 磁容率爲 μ_0 。媒質中的電容率爲 ϵ , 磁容率爲 μ 。二電容率的比 $\frac{\epsilon}{\epsilon_0}$ 爲 ϵ_r , 二磁容率

的比 $\frac{\mu}{\mu_0}$ 爲 μ_r , 則

$$\left. \begin{aligned} \epsilon &= \epsilon_0 \epsilon_r & \text{法/米} \\ \mu &= \mu_0 \mu_r & \text{亨/米} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ϵ_r 爲相對電容率, 簡稱介質係數(稱常數, 不很妥, 因要變化)。 μ 爲相對磁容率, 簡稱磁質係數。二者都是無單位的純數。 ϵ 和 ϵ_0 的單位爲法/米, μ 和 μ_0 的單位爲亨/米。

9. 庫 倫 定 律

以上所述的電場強度 E , 用什麼方法可以測得呢? 這很容易。只須於欲測的某點上, 放一正的單位電量。這單位電量所受的力, 便是這一點的電場強度。這力的方向, 便是電場強度的方向。

設某點上的電場強度爲 E , 單位電量所受的力是 f 。則 f 必等於 E 。若有 q' 庫倫電量放在某點上, 則所受之力必爲以前的 q' 倍。即力爲 $q'E$ 牛頓。故

$$\left. \begin{aligned} f_e &= q'E & \text{牛頓} \\ f_m &= m'H & \text{牛頓} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

E 是電場強度，單位為伏/米。 H 是磁強度，單位為安/米。 q' 為電量，單位為庫倫。 m' 為磁量，單位為韋白。 f_e, f_m 均為力，單位為牛頓。將(4)式的 E 和 H 代入(6)式，得

$$\left. \begin{aligned} f_e &= \frac{qq'}{4\pi\epsilon r^2} && \text{牛頓} \\ f_m &= \frac{mm'}{4\pi\mu r^2} && \text{牛頓} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

(7)的上式是電的庫倫定律，下式是磁的庫倫定律。各量的單位： q, q' 是庫倫， ϵ 是法/米， r 是米， m, m' 是韋白， μ 是亨/米， f_e, f_m 都是牛頓。這二定律的本身，用處不多。磁的庫倫定律且近乎理想。而對於單位，則關係甚大。因為許多單位制，都以此為基本式的。

10. 電 位 和 磁 位

一個正的單位電量放在電場中，這單位電量所被斥的力 f ，必等於電場強度 E ，這在上節已經敘明。那末電量因被斥而移動，移動的方向必為 E 的方向。如果移動的距離為 dn ，則電場所做之功，當為 $f dn$ 或 $E dn$ 。反之，如果加以外力，使單位電量向與電場相反的方向而移動，移動的距離仍為 dn ，則外力所做之功為 $(-E) dn$ 。

若移動的距離 l 和 E 的方向，相差一個角度 θ ，即 $dn = \cos\theta dl$ 。按定義，單位電量從 P_1 點移到 P_2 點，外力所做的功，便是 P_1, P_2 間的電位差。所以