

電工原理講義

第一回

50231B-1



社團法 人 考友社 出版發行

電工原理講義 第一回 目錄

第一回 (1/2)

第一講 電學基本原理	1
命題重點	1
一、物體之本質與使用單位	1
二、能量	3
三、電荷	6
四、電壓與電流	7
五、功率	8
精選試題	10
第二講 電阻	17
命題重點	17
一、電阻與電導	17
二、歐姆定律	18
三、色碼電阻	19
四、電阻溫度係數	20
五、焦耳定律	23
精選試題	25

第一回 (2/2)

第三講 電容器與靜電場	1
命題重點	1
一、電容器之電容量	1
二、固定電容器規格標示法	4
三、電容器的組合	7
四、電容器貯存的能量與靜電吸力	9
五、電位	11
六、電場與電場強度	14
精選試題	21

第一講 電學基本原理

命題重點

一、物體之本質與使用單位

(一)物質：

佔有空間具有質量，為一種或多種元素的化合物所組成，其帶電的方法有：1.摩擦生電 2.接觸帶電 3.感應帶電。

(二)元素：

由相同的原子組合而成，為自然界最基本的物質結構。

(三)分子：

由相同或不同的原子組成，而以物理方式分割至最小微粒，仍然不改變原來物質的特性者。

(四)原子：

物質分解至極小微粒後，已失去原來的特性，而由電子、中子、質子三者組合而成的基本質點。

1.原子的組成：質子、中子、電子。

當電子的數目少於質子的數目時，原子即帶正電荷；相反的，則原子帶負電荷。若兩者相等，則原子不帶電（中性）。

2.電子軌道的排列：

電子以特定的軌道繞著原子核運動，軌道層計有（由內向外）K、L、M、N、O、P、Q等七層，每一層又有s、p、d、f副層。每一軌道層上的電子數目最多為 $2n^2$ 個，但原子最外層軌道的電子數目不得超過8個，倒數第二層不得超過18個。另外各副層軌道的電子數目為s—2、p—6、d—10、f—14個，如表1所示。

3.自由電子：為較易脫離軌道能自由移動的電子。

4.束縛電子：為不易脫離軌道而移動的電子。

表 1

主 層	K (n=1)	L (n=2)	M (n=3)	N (n=4)
副 層	1s ^②	2s ^② 、2p ^⑥	3s ^② 、3p ^⑥ 、3d ^⑩	4s ^② 、4p ^⑥ 、4d ^⑩ 、4f ^⑭
最大電子數目 (2n ²)	2 × 1 ² = 2	2 × 2 ² = 8	2 × 3 ² = 18	2 × 4 ² = 32

(五) 導體、半導體、絕緣體

1. 導體：如圖 1 (a) 所示，傳導帶與價帶相重疊，電子能輕易的由價帶進入傳導帶者，稱為導體，其電阻值約為 $10^{-6} \Omega / \text{cm}^3$ 。

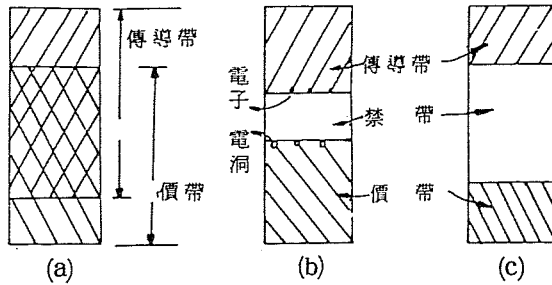


圖 1-1

2. 半導體：如圖 1 (b) 所示，電子須獲得相當的能量，才能從價帶穿越禁帶，而進入傳導帶，其電阻值約為 $10^{-1} \Omega / \text{cm}^3 \sim 10^{-5} \Omega / \text{cm}^3$ 。

3. 絕緣體：如圖 1 (c) 所示，電子不能由價帶進入傳導帶，即物質中沒有可自由移動的電子，其電阻值約為 $10^{18} \Omega / \text{cm}^3$ 。

(六) 單位：

工程中使用的單位：

1. 基本單位：為長度、質量、時間三個的單位。例如於 M. K. S. 制中的公尺、公斤、秒；於 C. G. S. 制中的公分、公克、秒。
2. 導出單位：為由長度、質量、時間三種基本單位組合而成的單位。例如面積中的平方公尺、平方公分；體積中的立方公尺、立方公分；速度中的公尺/秒、公分/秒等。

3. 電學中使用的單位：

- (1) C. G. S. 靜電單位：係根據靜電學中的庫倫定律導算而得，於各單位名稱前冠以“Stat”字樣，例如靜電伏特 (Stat-volt)、靜電安培 (Stat-ampere) 等。
- (2) C. G. S. 電磁單位：係根據電磁學中的庫倫定律導算而得，於各單位名稱前冠以“Ab”字樣，例如電磁伏特 (Ab-volt)、電磁安培 (Ab-ampere) 等。
- (3) 實用單位：前述的靜電單位與電磁單位於應用上，計量不是過大就是太小，因此於 1901 年發表 M. K. S. A. 制，再於 1958 年獲得國際間的承認使用，稱為國際實用單位 (S. I. units)。

實用單位與電磁單位及靜電單位間的關係如下表所示：

表 2 實用單位與 C. G. S 電磁單位及 C. G. S 靜電單位的關係

名稱	代號	符號	實用單位	電磁單位等效值	靜電單位等效值
電壓	E	V	伏特 (Volt)	10^8 Ab-V	$\frac{1}{3} \times 10^{-2} \text{ Stat-V}$
電流	I	A	安培 (Ampere)	10^{-1} Ab-A	$3 \times 10^9 \text{ Stat-A}$
電阻	R	Ω	歐姆 (Ohm)	$10^9 \text{ Ab-}\Omega$	$\frac{1}{9} \times 10^{-11} \text{ Stat-}\Omega$
電荷	Q	C	庫倫 (Coulomb)	10^{-1} Ab-C	$3 \times 10^9 \text{ Stat-C}$
電功率	P	W	瓦特 (Watt)	10^7 erg/sec	10^7 erg/sec
電感	L	H	亨利 (Henry)	10^9 Ab-H	$\frac{1}{9} \times 10^{-11} \text{ Stat-H}$
電容	C	Fd	法拉 (Farad)	10^{-9} Ab-Fd	$9 \times 10^{11} \text{ Stat-Fd}$
磁通	ϕ	Wb	韋伯 (Weber)	10^8 Ab-Wb	$\frac{1}{3} \times 10^{-2} \text{ Stat-Wb}$

電學單位中常用的字首與 10 的幕次值。

表 3 電學的公制字首及相對數值

名稱	符號	相對數值
Tera (兆)	T	10^{12}
Giga (十億)	G	10^9
Mega (百萬)	M	10^6
Kilo (仟)	K	10^3
hecto (百)	h	10^2
deca (拾)	da	10
deci (拾分之一)	d	10^{-1}
Centi (厘)	C	10^{-2}
milli (毫)	m	10^{-3}
micro (微)	μ	10^{-6}
nano (毫微)	n	10^{-9}
Pico (微微)	P	10^{-12}

二、能量

50231B-1 (1/2)

- (一)可使物質作功的能力即為能量，例如動能、位能、光能、熱能、化學能、電能等。
- (二)電能可經由各類型態的能量，如位能、核能、光能（太陽能）轉換為動能，以動能推動發電機運轉而產生電能。
- 或者由化學能轉換為電能的器具—電池，其優點為設備低廉、使用輕便、維修容易，缺點為電量太小。
- (三)電能的使用須靠完整的電路才可達成，完整的電路應具備電源、負載、控制元件、導線等四部份，如圖 1 - 2 所示。

(四)電源：

- 1.電源分為電壓電源與電流電源。
- 2.若電源的電壓數值不受其所供應負載電流大小的影響，仍可維持固定數值的，即

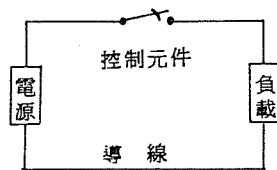


圖 1-2

為電壓電源。

- 3.若電源的電流數值不受其所供應負載電壓高低的影響，仍可保持固定數值的，即為電流電源。

(五)電壓電源：

- 1.如圖 1 - 3 所示，電壓電源可視為一電動勢與一內電阻串聯而成。
- 2.數個電壓電源以相同的極性串聯時，可增加輸出的電動勢。
- 3.若電壓電源串聯的極性相反，則輸出電動勢將減少。
- 4.相等數值端電壓的電壓電源並聯使用後，可供應較大的輸出電流。
- 5.不相等數值端電壓的電壓電源不可並聯使用。

(六)電流電源：

- 1.如圖 1 - 4 所示，電流電源可視為一理想電流源與一內電阻並聯而成。

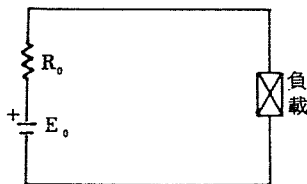


圖 1-3

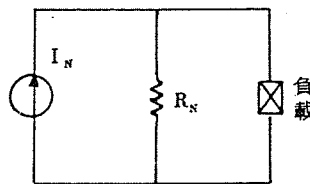


圖 1-4

- 2.不相等電流值的電流電源不能串聯使用。
- 3.數個電流電源以相同的極性並聯時，可供應較大的輸出電流。
- 4.若電流電源並聯的極性相反，則輸出電流值將減少。

(七)電壓電源與電流電源的等效互換：

1. 電動勢為 E_0 ，串聯內電阻為 R_0 的電壓電源，可等效化成理想電流值為 $\frac{E_0}{R_0}$ ，並聯內電阻為 R_0 的電流電源，如圖 1-5 所示。
2. 理想電流為 I_N ，並聯內電阻為 R_N 的電流電源，可等效化成電動勢為 $I_N R_N$ ，串聯內電阻為 R_N 的電壓電源，如圖 1-6 所示。

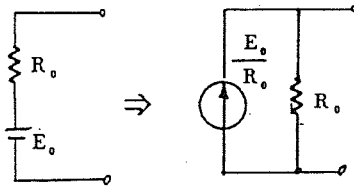


圖 1-5

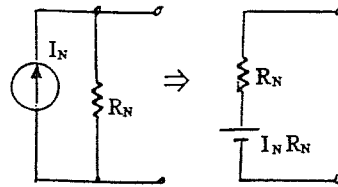


圖 1-6

3. 兩者在互換時，應注意電動勢與電流源的極性。
4. 兩者互換前後，電源本身的功率並不一定相等。

(八)複合電源的等效合併：

1. 複合電源就是電路內同時存在電壓電源與電流電源。
2. 合併時將與電壓電源並聯的元件斷路，而將與電流電源串聯的元件短路。
3. 串聯電路應先將各電源統一化成電壓電源，若為並聯電路則先將各電源統一化成電流電源。然後順向合併時相加，反向則相減。
4. 電壓電源與其他電源並聯時，應先將其化成等效電壓電源後再合併。

(九)電源與負載的判別：

1. 以元件的電流流動方向與端點極性來決定。
2. 電流由元件的“+”端流出，即為電源。如圖 1-7 所示。
3. 電流由元件的“+”端流入，即為負載。如圖 1-8 所示。

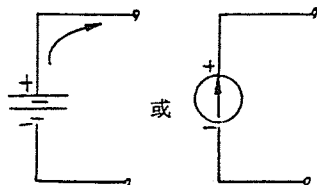


圖 1-7

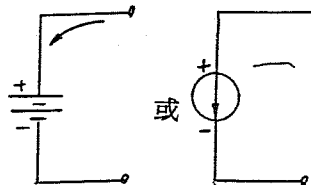


圖 1-8

(十)導線：

1. 導線的粗細，各國均有特定的線規加以分類，若標上數目，此即線號。
2. 常用的線規有：中國線規 (C.W.G.)、美國線規 (A.W.G.)、英國線規 (S.W.G.) 等。
3. C.W.G. 線規中單線以直徑毫米 (mm) 表示，絞線以截面積平方毫米 (mm^2) 表示。
4. A.W.G. 線規以直徑 0.460 吋的導線訂為 0000 號，直徑 0.003145 吋的導線訂

50231B-1 (1/2)

爲 40 號。其間以幾何級數均分爲 44 種線號。

5. A.W.G. 常以 # 10 線爲基準（直徑 0.1 吋、截面積 10400 C.M.、長 1000 呎、重量爲 31.416 磅、在常溫時電阻約爲 1 Ω ），依次可類推計算其他線號的截面積、線徑、重量及電阻值。
6. A.W.G. 線號每增加 1 號，則直徑減少約 0.123 倍、截面積減少 0.26 倍、重量減少 0.26 倍、電阻值增大 0.26 倍。
7. A.W.G. 線號每增加 3 號，則截面積減半、重量減半、電阻值增大 1 倍。
8. A.W.G. 線號每增加 10 號，則截面積與重量爲原來的 $\frac{1}{10}$ ，而電阻值爲原來的 10 倍。
9. S.W.G. 線規以導線直徑的密爾數（mil）來表示。1 圓密爾（C.M.）爲直徑 1 密爾（ $\frac{1}{1000}$ 吋）的圓截面積，圓密爾（C.M.）亦即等於直徑密爾數的平方。
圓密爾（C.M.）= $(D \times 1000)^2$ ，D 爲導線線徑（吋）。

$$\text{直徑吋數} = \frac{\sqrt{\text{C.M.}}}{1000}$$

三、電荷

(一) 定義：

1. 絕緣體上的帶電原子或與外界隔離的導體上其所分佈的電荷均爲靜止不動，稱爲靜電荷（電荷不流通故亦稱爲靜電）。

2. 電荷在導體中能自由流通而形成電流的，稱爲動電。

(二) 電荷分佈於孤立導體表面上，其導體內部的電荷量爲零。

(三) 孤立導體（絕緣體）表面的曲度愈大（曲率半徑愈小），則其電荷密度愈大。

(四) 檢驗靜電荷應使用驗電器，若電荷量愈多，則驗電器上的金箔張開的角度愈大。

(五) 失去電子的物質帶正電荷，獲得電子的物質帶負電荷。

(六) 同性電荷互相排斥，異性電荷互相吸引。

(七) 電荷能感應而產生異性電荷於相鄰物質的近端。

(八) 庫倫靜電定律：

1. 電荷間相互吸引或排斥的作用力，稱爲靜電力。

2. 兩帶電體的電量分別爲 Q_1 與 Q_2 ，若相隔 r 距離，則兩電荷間作用力的大小，與其距離的平方成反比，而與兩電荷帶電量的乘積成正比。

3. 基本公式：

(1) 在 M. K. S. 制中

$$F = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4\pi\epsilon \cdot r^2} = 9 \times 10^9 = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{\epsilon, r^2}$$

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r = \frac{1}{36\pi \times 10^9} \cdot \epsilon_r = 8.854 \times 10^{-12} \epsilon_r$$

F：靜電作用力（牛頓。正值爲排斥力，負值爲相吸力）

Q_1 、 Q_2 ：帶電體的荷電量（庫倫、C）

r ：兩帶電體的中心距離（公尺、m）

ϵ_0 ：真空的介電係數（法拉/公尺）

ϵ ：介質的介電係數（法拉/公尺）

ϵ_r ：相對介電係數（ ϵ/ϵ_0 ）

(2) 在 C. G. S. 制中

$$f = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

f ：靜電作用力（達因）

$Q_1 \cdot Q_2$ ：帶電體的荷電量（靜庫倫）

ϵ_0 ：數值為 1（靜法拉/公分）

r ：兩帶電體的中心距離（公分）

(九) 1 庫倫 = 3×10^9 靜庫倫；1 牛頓 = 10^5 達因。

$$\begin{aligned} \text{(十)} \epsilon_0 \text{ (自由空間)} &= \frac{1}{36\pi \times 10^9} \text{ 法拉/公尺} \\ &= 8.85 \times 10^{-2} \text{ 法拉/公尺} \\ &= 1 \text{ 靜法拉/公分} \end{aligned}$$

四、電壓與電流

(一) 電壓定義：

1. 電動勢：電源內部促使電子流動的原動力。

2. 電壓降：電流通過元件時，順著電流的流動方向，其電位逐漸減少。

3. 電位：促使單位電荷流動的位能。

4. 電位差：單位電荷自一點移至他點所作的功。兩物體帶有不同的電荷，兩者間即有電位差。

5. 端電壓：電流通過元件時，在元件兩端所產生的電位差。

6. 絕對電位：任一點與大地間的電位差，稱為該點的絕對電位。若為正值，即為正電位；若為負值，則為負電位。

7. 電壓：電動勢、端電壓、電壓降、電位差、電位通常稱為電壓，以伏特表示。

(二) 1 伏特：使 1 庫倫電荷完成 1 焦耳作功所須的電位差。

$$\text{公式：} V = \frac{W}{Q} = K \frac{Q}{r}$$

Q ：電荷的電量（C. G. S. 中為靜庫，M. K. S. 中為庫倫）。

W ：作功（C. G. S. 中為爾格，M. K. S. 中為焦耳）。

r ：移動距離（C. G. S. 中為公分，M. K. S. 中為公尺）。

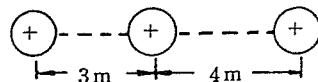
K ：常數（C. G. S. 中為 1，M. K. S. 中為 9×10^9 ）。

V ：電位差（C. G. S. 中靜伏，M. K. S. 中為伏特）。

1 庫倫 = 3×10^9 靜庫；1 伏特 = 1 / 300 靜伏。

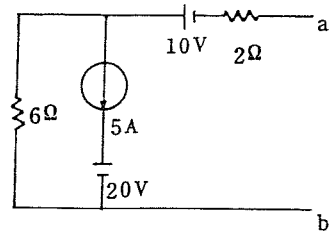
精選試題

- (B) 1. 一理想的電流電源，其內阻應為 (A)零 (B)無窮大 (C)隨負載電阻而定 (D)負值 (E)大小未定。
- (B) 2. 有兩個甚小之金屬球，各帶有 10^{-7} 庫倫之正電荷和 3×10^{-5} 庫倫之負電荷，兩電荷相距 4 米，在真空中之作用力為 (A) $16.8 \times 10^{-3} \text{ N}$ ，斥力 (B) $1.68 \times 10^{-3} \text{ N}$ ，吸力 (C) $0.168 \times 10^{-5} \text{ N}$ ，斥力 (D) $1.68 \times 10^{-3} \text{ N}$ ，斥力 (E) $168 \times 10^{-10} \text{ N}$ ，斥力。
- (C) 3. 兩相距 6 cm 之電荷，帶電量分別為 $+Q$ 及 $+4Q$ ，在其連線上置一電子則 (A) 在距 $4Q$ 電荷 2 cm 處 (B) 在距 $4Q$ 電荷 1.5 cm 處 (C) 在距 Q 電荷 2 cm 處 (D) 在距 Q 電荷 1.5 cm 處所受總力為零 (E) 以上皆非。
- (B) 4. 電荷在導體表面上分佈為彎曲程度 (曲率半徑) 較大處 (A) 其電荷密度較小 (B) 電荷密度較大 (C) 電荷密度均勻不變 (D) 不一定 (E) 以上皆非。
- (D) 5. 電荷量均為 Q 庫倫之二電荷，相距 d 公尺，則電荷間之作用力為
 (A) $\frac{Q}{4\pi\epsilon d}$ (B) $\frac{Q}{4\pi\epsilon d^2}$ (C) $\frac{Q^2}{4\pi\epsilon d}$ (D) $\frac{Q^2}{4\pi\epsilon d^2}$ (E) 0。
- (D) 6. 一庫倫等於 (A) 9×10^9 靜庫 (B) $\frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}$ 靜庫 (C) 3×10^5 靜庫 (D) 3×10^9 靜庫 (E) 300 靜庫。
- (D) 7. 根據近代原子理論，每層電子軌道可劃分 s, p, d, f 四個副層，其中 f 副層應具有最多電子數 (A) 2 (B) 4 (C) 8 (D) 14 (E) 18。
- (C) 8. A. W. G. #25 其線徑約相當於 C. W. G 之 (A) 0.26 (B) 0.36 (C) 0.46 (D) 0.56 (E) 0.66 mm。
- (A) 9. 鎳原子序為 32，則其電子層的電子數排列為 (A) 2, 8, 18, 4 (B) 2, 8, 16, 6 (C) 4, 8, 16, 4 (D) 4, 8, 8, 12 (E) 4, 8, 10, 10。
- (B) 10. A、B 兩銅線若 $I_A = 20 \text{ A}$, $d_A = 2 \text{ mm}$, $I_B = 40 \text{ A}$, $d_B = 4 \text{ mm}$ ，則其電子移動速率比 $V_A : V_B =$ (A) 1 : 2 (B) 2 : 1 (C) 1 : 4 (D) 4 : 1 (E) 相等。
- (B) 11. 某戶家庭電鍋為 1000 瓦，平均每日使用 3 小時，電冰箱 240 瓦，每日使用 16 小時，電視機 300 瓦，每日使用 4 小時，電燈合計 200 瓦，每日使用 4 小時，抽水機馬達 400 瓦，每日使用 2 小時，若每月以 30 日計算，設電費每度 1 元，則該用戶每月應付電費 (A) 2890 元 (B) 289 元 (C) 28.9 元 (D) 2.89 元 (E) 以上皆非。
- (A) 12. 一理想的電壓電源，其內阻應為 (A)零 (B)無窮大 (C)隨負載電阻而定 (D)負值 (E)大小未定。
- (C) 13. 下列有關電路之敘述，何者為錯誤敘述 (A) 電流電源二端電壓不論為任何數值，其電流不變 (B) 平面上任繪一圓圈，則流入該圓圈之電荷必與流出之電荷相等 (C) 2 A 與 3 A 之電流源串聯，總電流為 5 A (D) 不獨立之電壓電源不可與獨立電壓源並聯 (E) 以上皆非。
- (B) 14. 如右圖中，有三帶電體 a、b、c 各帶有正電荷，電量各為 $Q_a = 4 \times 10^{-5}$ 庫, $Q_b = 2 \times 10^{-5}$ 庫, $Q_c = 6 \times 10^{-5}$ 庫，則 b



帶電體所受力為 (A) 0.125 N_t (向左) (B) 0.125 N_t (向右) (C) 1.475 N_t (向左) (D) 1.475 N_t (向右) (E) 0.825 N_t (向左)。

- (E) 15. 如右圖中，合併後之電壓源為 (A) 80 V (B) 70 V (C) 60 V (D) 50 V (E) 40 V。



- (A) 16. 一起重機在一分鐘內舉 2000 磅之重升高 300 呎，則所作之功為 (A) 600000 呎磅 (B) 600000 馬力 (C) 600000 焦耳 (D) 600000 瓦特 (E) 以上皆非。
- (D) 17. 同 16. 題，其所消耗之功率為 (A) 600000 瓦特 (B) 600000 馬力 (C) 600000 呎磅/秒 (D) 10000 呎磅/秒 (E) 18.2 仟瓦。
- (B) 18. 同 16. 題，若起重機之效率為 75%，電動機之效率為 90%，電壓為 115 伏，則電動機由電源取用 (A) 17.5 A (B) 175 A (C) 80 A (D) 8 A (E) 以上皆非。
- (E) 19. 流經導體之電流為 10 mA，則一分鐘通過之電子數為 (A) 6.25×10^{18} 個 (B) 6.25×10^{15} 個 (C) 3.75×10^{15} (D) 3.75×10^{19} 個 (E) 3.75×10^{18} 個。
- (B) 20. 若銅線之截面積為 0.021 平方公分，銅之電子密度為 10^{29} / 立方公尺電流為 15 A，試求電子在銅中之平均速度 (A) 0.00035 公尺/秒 (B) 0.00045 公尺/秒 (C) 0.00035 公分/秒 (D) 0.00045 公分/秒 (E) 0.00055 公尺/秒。
- (D) 21. 將 0.25 庫倫的正電荷由電位為 70 伏特處移至 A 點，須作正功 10 焦耳，則 A 點的電位以伏特計應為 (A) 67.5 (B) 72.5 (C) 30 (D) 110 (E) 100。
- (E) 22. 二馬力電動機工作 5 小時耗電 (A) 10 度 (B) 74.6 度 (C) 7460 度 (D) 0.4 度 (E) 7.46 度。
- (B) 23. 一電動機在 550 伏電壓下，取用 28 A 電流，若其效用率為 89%，則其輸出之馬力為 (A) 23.2 馬力 (B) 18.37 馬力 (C) 2.32 馬力 (D) 1.837 馬力 (E) 20.6 馬力。
- (A) 24. 某 230 伏電動機將一台重 2000 磅，效率為 80% 的電梯在 10 秒內升高 10 呎距離，則該電動機之馬力為 (A) 4.55 馬力 (B) 3.35 馬力 (C) 10 馬力 (D) 14.76 馬力 (E) 以上皆非。
- (D) 25. 美國線規之線號 (A) 由 00 至 40 (B) 愈小，直徑愈小 (C) 愈大，電阻愈小 (D) 每增大三號，電阻約增一倍 (E) 愈小，電阻愈大。
- (C) 26. 一個電子所帶的負電量為 (A) 9.1×10^{-3} 庫倫 (B) 1.602×10^{-17} 庫倫 (C) 1.602×10^{-19} 庫倫 (D) 1.673×10^{-31} 庫倫 (E) 6.25×10^{18} 庫倫。
- (B) 27. 若兩個甚小的金屬球，各帶有 10^{-7} 庫倫之正電荷和 3×10^{-5} 庫倫之負電荷，兩電荷相距 4 米，在真空中之作用為 (A) 16.8×10^{-3} 牛頓斥力 (B) 1.68×10^{-3} 牛頓吸力 (C) 0.168×10^{-5} 牛頓斥力 (D) 1.68×10^{-3} 牛頓斥力 (E) 168×10^{-10} 牛頓斥力
- (B) 28. 一規格為 100 V、1000 W 之電爐，若接於 120 V 之電源，其容量為 (A) 1200 W (B) 1440 W (C) 1000 W (D) 833 W (E) 695 W。
- (A) 29. 一電熱器其電阻為 10 Ω，接 100 V 之電源，連續使用 10 小時，則所耗電能為 (A) 10 kW_h (B) 50 kW_h (C) 100 kW_h (D) 150 kW_h (E) 200 kW_h。