



台科大圖書

since 1997

AC10122

技術型高級中等學校 | 電機與電子群

基本電學

上

Basic Electricity



Basic Electricity

CHAPTER 5 電容及靜電

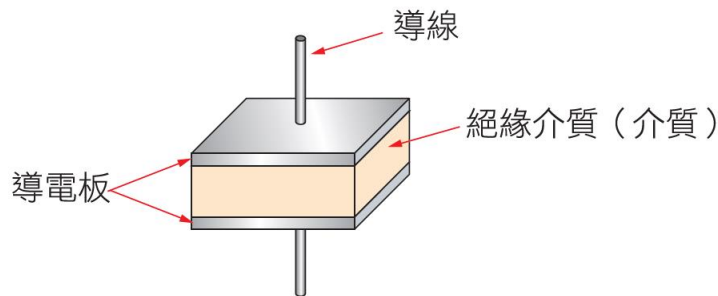
5-1 電容器

5-2 電容量

5-3 電場及電位

5-1 電容器

- **5-1.1** 電容器的構造及充放電
- 具有儲存電荷能力的裝置稱為電容器（**capacitor** 或 **condenser**）；它的基本構造是在兩平行導電板間隔以絕緣材料而成；其構造如圖**5-1**所示，其中兩平行導電板是以金屬導體為材料，稱為電極，中間的絕緣材料則稱為介質。



(a) 結構圖



(b) 實體圖

圖 5-1 電容器的構造

5-1 電容器

- 電容器在電子電機方面應用很廣，種類形式也很多，大致分成固定值電容器及可變值電容器兩類，其電路符號如圖 5-2 所示。



(a) 一般無極性固定電容器



(b) 有極性電解質電容器



(c) 可變電容器



延伸知識

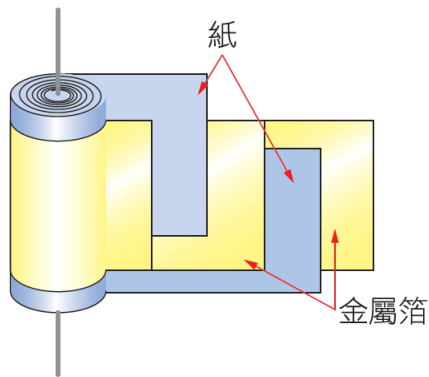
電容器的功能

電容器雖然具有充放電功能，但是其儲存電量不大，無法當作電池來使用；電容器通常安裝於電源的輸出端或負載的輸入端，用於負載變動時提供穩定的電壓；除此之外，電容依其功能不同而有不同名稱，例如：濾波電容、耦合電容、諧振電容、積分電容、微分電容、補償電容等等，上述數種電容將會在電子學相關課程學習之。

5-1 電容器

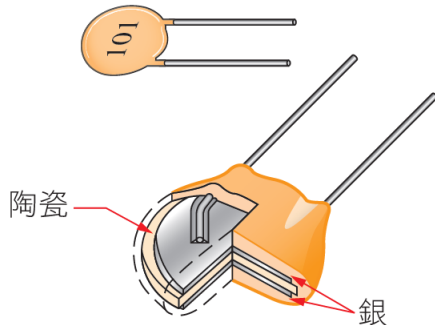
- 1. 固定值電容器
- 固定值電容器其電容量固定，依其外形不同可分為插件式及表面黏著式（**Surface Mounted Devices, SMD**）；固定值電容器依介質材料的不同分類如圖5-3，說明如下：

5-1 電容器



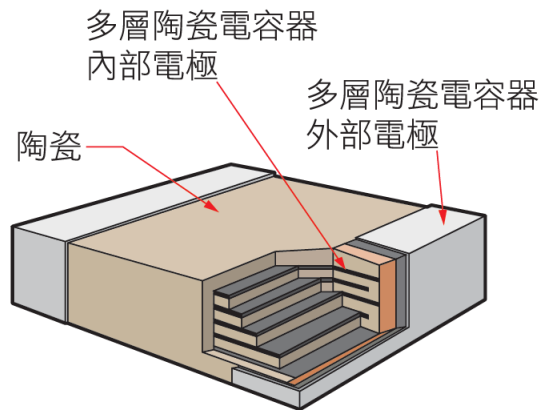
(a) 紙質電容器

以浸油牛皮紙或石臘紙為介質，以帶狀鋁箔為電極，捲成圓筒後固封而成；常用於單相感應電動機的運轉用電容器。



(b) 陶瓷電容器

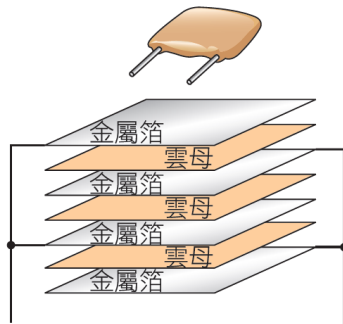
以陶瓷 (ceramic) 為介質，鍍以銀膜為電極；具有體積小、耐高電壓特性；常用於高頻電路、表面黏著印刷電路板。



(c) 多層陶瓷電容器 (MLCC)

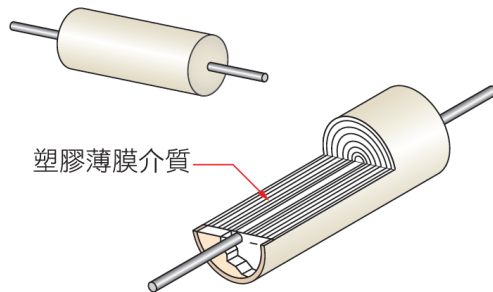
為了增加電容量、縮減體積，將陶瓷電容製成多層陶瓷電容。

5-1 電容器



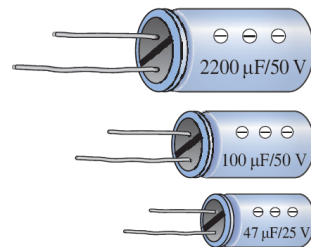
(d) 雲母電容器

以雲母（mica）為介質，以金屬箔為電極；具有良好的穩定性、準確度高；常用於精密儀器、通訊器材。



(e) 塑膠薄片電容器

以塑膠薄膜為介質，以金屬箔為電極；具有較佳的電容穩定度、較高的絕緣阻抗；常用於交流電動機之啟動。依塑膠薄膜的不同又分為聚乙酯（Mylar）電容，聚丙稀（PP）電容，聚苯乙烯（PS）電容。



(f) 電解質電容器

以極薄氧化層為介質，依電極板材質不同又分為鋁質電解質電容器及鉭質電解質電容器兩種；具有正負極性固定、不可以反接、電容量大（可高達數十萬 μF ）、成本低的特點；用於大容量直流電容器、低頻用電容器。

5-1 電容器

- 2. 可變值電容器
- 可變值電容器是由一組固定的極板及另一組可轉動極板組合而成，藉由調整極板間的有效交疊面積來改變其電容值，可用於收音機選台調諧電路中。可變值電容器介質材料有空氣、雲母、陶瓷及塑料等，外形如圖5-4 所示。

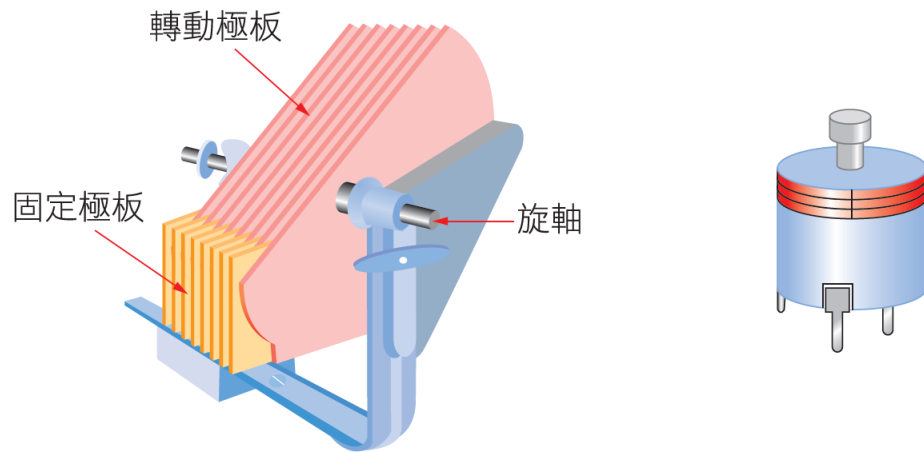


圖 5-4 可變值電容器

5-1 電容器

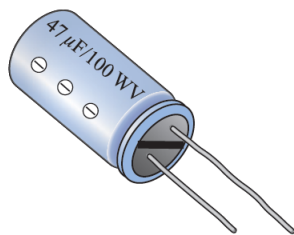
- **5-1.2 電容器的規格及標示法**
- 電容器的規格通常包括下列幾項：
- **1.電容量（capacitance）**：以法拉（Farad，F）為單位，電容量愈大，可以儲存的電荷愈多。法拉是一個非常大的電容量單位，因此在實用上通常以微法拉（ μF ）或披法拉（pF）為單位，關係如下：
$$1\ \mu\text{F}=10^{-6}\ \text{F},\ 1\ \text{pF}=10^{-12}\ \text{F}=10^{-6}\ \mu\text{F}$$
- **2.工作電壓（working voltage，WV）**：電容器能正常工作，不會被燒毀的容許電壓。另外還有突波電壓（SV）、峰值電壓（PV）的規格。

5-1 電容器

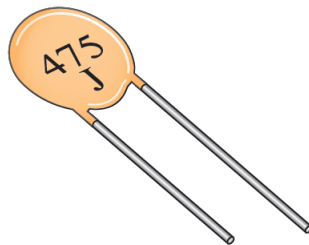
- **3.工作溫度**：電容器正常工作所容許的溫度，以 $^{\circ}\text{C}$ 表示之。
- **4.絕緣電阻**：以直流電錶測試之電阻值，通常達數千 $\text{M}\Omega$ ；絕緣電阻愈高，其洩漏電流愈小。
- **5.虛功率（ kVAR ，仟乏爾）**：表示電力電容器的最大儲存功率，有關於 kVAR 的運算與說明，將於下冊第10章詳述之。
- **6.極性**：電解質電容器的接腳有+、- 極性之分，不可接錯；長腳表示正極、短腳表示負極；或在外殼有標示「-」者為負極，另一腳則為正極。

5-1 電容器

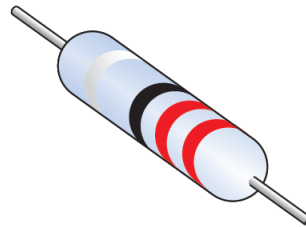
- 電容量的標示方式，有直接、數碼及色碼三種，如圖5-5 所示。



(a) 直接標示法



(b) 數碼標示法



(c) 色碼標示法

圖 5-5 電容量的標示方式

- 1.直接標示法：**常用於體積較大的紙質、電解質電容器。
例如標示： $47\mu\text{F}/100\text{ V}$ ，表示電容量 $47\mu\text{F}$ ，工作電壓 100 V 。

5-1 電容器

- **2.數碼標示法：**常用於體積較小的陶瓷、塑膠電容器。其格式是三個數字及一個英文字母，例如「**475J**」；其中第一位數及第二位數為數值，第三位數為**10**的乘幂數，單位為**pF**，字母則表示其誤差值，如表**5-1**所示。

◆ 表 5-1 電容器誤差值

符號	B	C	D	F	G	J	K	M	N
誤差	± 0.1%	± 0.25%	± 0.5%	± 1%	± 2%	± 5%	± 10%	± 20%	± 30%

- **3.色碼標示法：**以色環來表示電容值及誤差，常用於雲母電容器。

5-1 電容器

- 例題 **5-1** 電容量標示判讀
- 有一電容器標示為「**475J**」，試問該標示含意為何？
- 解

「**475J**」表示其電容量為 47×10^5 pF，誤差為5%。

$$47 \times 10^5 \text{ pF} = 47 \times 10^5 \times 10^{-6} \times 10^{-6} = 4.7 \text{ } \mu\text{F}$$

- 練習
- 1. 電容器上標示 **224M**，則此電容器之電容量為何？
(A) $0.22 \pm 20\%$ pF (B) $0.22 \pm 20\%$ μF
(C) $22.4 \pm 20\%$ pF (D) $22.4 \pm 20\%$ nF。

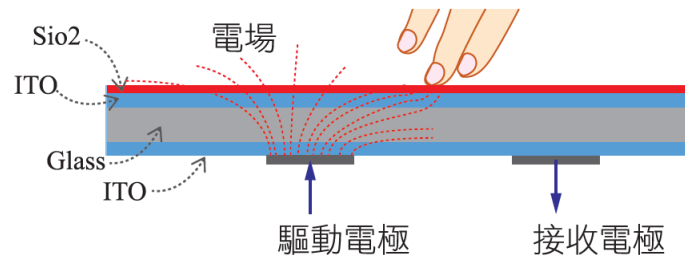
5-1 電容器



延伸知識

觸控面板的「投射式電容」技術

投射式電容是觸控螢幕常用的技術，它是利用觸控面板上 ITO（銻錫氧化物半導體）透明電極與人體手指或導電物體間，因接觸而形成的電容感應，透過控制 IC 的運算之後，轉為可供作業系統判讀的座標資料。

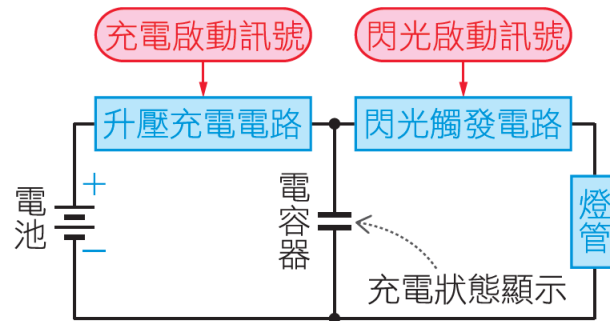


5-1 電容器

閃光燈能夠瞬間閃光的原理

閃光燈可以配合照相機快門在瞬間發出強光，補足自然光線的不足，增加拍照效果；一般閃光燈的結構是由一組電池、一個將電池電壓轉換成數百伏特的升壓器、一個能夠儲存大量電荷的電容器、一個能控制閃光的電子電路以及一個充滿惰性氣體（例如：氬、氪、氙氣）的燈管所組成，如右圖所示。如果增加一個可以控制閃光燈發光量的控制器，以及一個能偵測被攝物所需光量的感應器，則可組成自動閃光燈。

當按下相機快門按鈕時，同步啟動閃光燈電路，此時儲存在閃光燈電容器內的大量電荷，會在瞬間對充滿氙氣（Xe）的燈管放電，產生強烈的閃光。

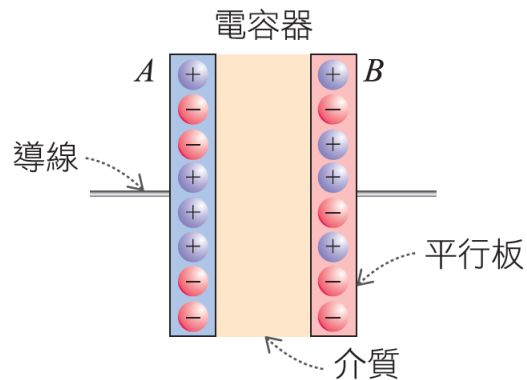


5-2 電容量

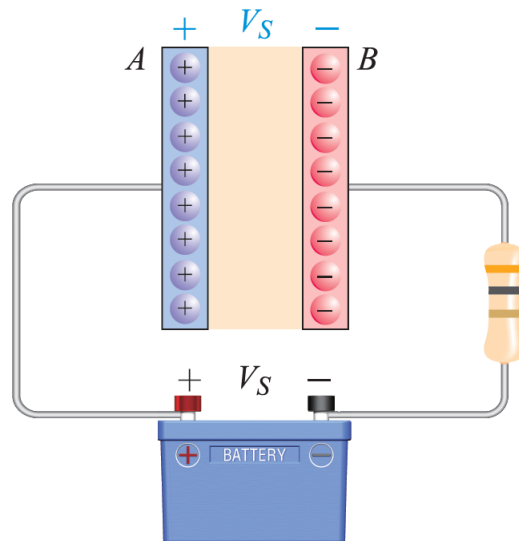
- **5-2.1 電容量的定義**
- 電容器在未充電之前，極板正負電荷不規則擺置，如圖5-6(a)所示，但正負電荷數相等呈現中性不帶電，靜電量為零。電容器通電後，接電池正端的極板電子會受吸引離開極板，經過導體移動至右側的極板，直到電容器兩端電壓等於電池（電源）電壓為止，這種現象稱為充電。充電完畢後，電容器的一端帶有正電荷，另一端則帶相同數量的負電荷，如圖5-6(b)所示，即使電源移除，電荷還是會繼續存在極板上，這表示電容器具有儲存電荷的能力。

註 有關電容器充電及放電，更詳細的內容及運算式，將於本書下冊 7-1 節「RC 暫態電路」中詳述。

5-2 電容量



(a) 充電前（極板電荷不規則擺置）



(b) 充電後（正負極板分別聚集電荷）

圖 5-6 電容器充電

5-2 電容量

- 實驗發現：電容器儲存的電荷量（ Q ）和外加電壓（ V ）成正比，其比值以電容量（ C ）表示；亦即：電容量為外加電壓所能儲存電荷（電量）的能力，以數學式表示如下：

$$C（電容量） = \frac{Q（電量）}{V（電壓）}$$

公式
5-1

表 5-2 單位對照表

名稱	電容量（ C ）	電量（ Q ）	電壓（ V ）
單位	法拉（F）	庫倫（C）	伏特（V）

5-2 電容量

- 例題 **5-2** 電容量的定義
- 有一電容器，當加上**100** 伏特電壓時，產生**0.006** 庫侖電荷，試求該電容器的電容量為何？
- 解 應用（**5-1**）公式

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{0.006}{100} = (6 \times 10^{-3}) \times (10^{-2}) = 60 \mu\text{F}$$

- 練習
- 2. 假設兩個電容器儲存之電荷量均相同，當測得甲電容器的電壓為乙電容器電壓的**2** 倍，則甲電容量為乙的幾倍？
(A) $\frac{1}{4}$ 倍 (B) $\frac{1}{2}$ 倍 (C) 2 倍 (D) 4 倍。

5-2 電容量

- 電容器儲存電容量的多寡，除了和外加電壓有關以外，還和電容器實體結構有關，經實驗結果得知：平行板電容器的電容量與介質的介電係數、極板面積成正比，與極板間距離成反比，以數學式表示如下：

$$C (\text{電容量}) = \varepsilon (\text{介電係數}) \times \frac{A (\text{截面積})}{d (\text{距離})} \quad (\text{法拉, F})$$

公式
5-2

- A ：極板面積，單位為 m^2 （平方公尺），參考圖5-7。
- d ：極板間距離，單位為 m （公尺）。
- ε ：絕緣介質的介電係數（**dielectric constant**），為一希臘字母，讀作**epsilon**，單位為 F/m （法拉／公尺）。

5-2 電容量

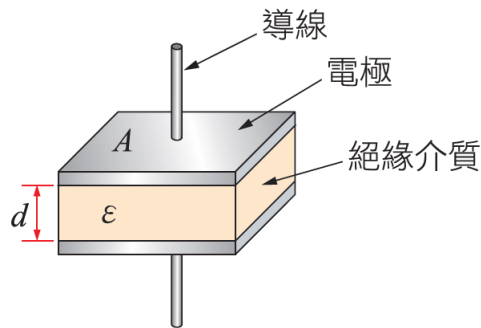


圖 5-7 影響電容量大小的因數

- 其中，介電係數 $\epsilon = \epsilon_o \times \epsilon_r$ ， ϵ_o 稱為空氣（或真空）的介電係數（或常數）， ϵ_r 稱為相對介電係數，各種絕緣介質的相對介電係數如表5-3 所示。

空氣（或真空）的介電係數

$$\epsilon_o = \frac{1}{36\pi \times 10^9} = 8.85 \times 10^{-12} \quad (\text{法拉 / 公尺, F/m})$$

公式
5-3

5-2 電容量

$$\text{相對介電係數 } \epsilon_r = \frac{\text{任一物質的介電係數}}{\text{空氣的介電係數}} = \frac{\epsilon}{\epsilon_o}$$

公式
5-4

表 5-3 常見物質的「相對介電係數 ϵ_r 」

介質名稱	空氣	蠟紙	塑膠	絕緣油	雲母	陶瓷	電木	玻璃
相對介電係數 ϵ_r	1	2.5	3.5	4	5	6	7	7.5

5-2 電容量

- 例題 **5-3** 電容量結構公式
- 有一平行板電容器，其兩極板間距離為0.1 mm，極板面積100 m²，試求介質為空氣時之電容量為多少μF？

- 解 $d=0.1 \text{ mm}=1 \times 10^{-4} \text{ m}$ ， $A=100 \text{ m}^2$ ，根據（5-2）式：

$$C=\varepsilon \times \frac{A}{d}=\varepsilon_o \times \varepsilon_r \times \frac{A}{d}=(8.85 \times 10^{-12}) \times 1 \times \frac{100}{1 \times 10^{-4}}=8.85 \text{ } \mu\text{F}$$

- 練習
- 3. 有一平行板電容器，當介質為空氣時之電容量為8 μF，如果將其介質換成 $\varepsilon_r=5$ 的雲母，試問電容量變為多少μF？
(A) 1.6 (B) 8 (C) 16 (D) 40。

5-2 電容量

- 例題 **5-4** 不同距離及面積的電容量
- 有一電容器之電容量為 $8.85 \mu\text{F}$ ，若將該電容器之極板間距離減半，極板面積加倍，則電容量為多少 μF ？

- 解 $d_2 = \frac{1}{2} \times d_1$ ， $A_2 = 2 \times A_1$  C_1 為原來的電容量。

$$C_2 = \varepsilon \times \frac{A_2}{d_2} = \varepsilon \times \frac{2A_1}{\frac{1}{2}d_1} = 4 \times C_1 = 4 \times 8.85 \mu\text{F} = 35.4 \mu\text{F}$$

- 練習
- 4. 若將電容器的極板面積及極板間距離同時加倍，則其電容量為原來的幾倍？
(A) 不變 (B) 2 倍 (C) 4 倍 (D) 8.85 倍。

5-2 電容量

- **5-2.3 電容器的並聯**
- 電容器可以有各種不同的組合方式，例如並聯、串聯及串並聯等。以下將從並聯開始，討論其電容量、電量及電壓的關係。
- 圖5-8 為電容器並聯情形，其中 C_1 、 C_2 、 C_3 同側相連接，可視為有效面積的擴大，總面積為各獨立極板面積之總和，因此，並聯後總電容等於各獨立電容之總和；並聯特性如下：

註 以三個為例，其餘類推， $Q=It$ ，在電容電路中， Q 相當於電阻電路中的 I 。

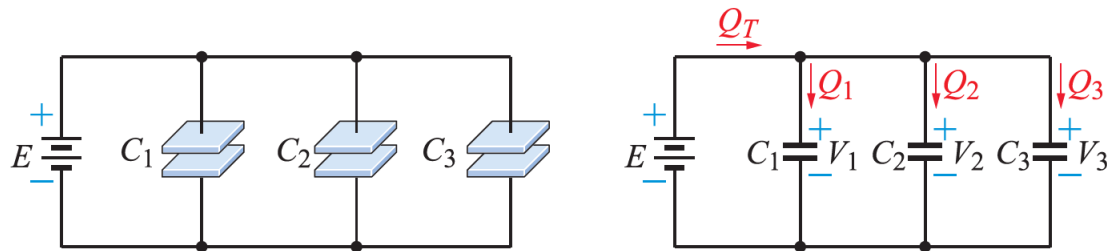


圖 5-8 電容器的並聯

5-2 電容量

- **1.電壓：**各並聯電容器的端電壓都相同，而且等於電源電壓。

$$E = V_1 = V_2 = V_3 \quad (\text{伏特, V})$$

公式
5-5

- **2.總電量：**並聯總電量等於各電容器的電量之和。

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (\text{庫倫, C})$$

公式
5-6

5-2 電容量

- **3.總電容量：**並聯總電容量等於各電容器電容量之和。

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 \quad (\text{法拉, F})$$

公式
5-7

證明如下：

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 = C_1 \times E + C_2 \times E + C_3 \times E = (C_1 + C_2 + C_3) \times E$$

又 $Q_T = C_T E$ ，比較二式，故得證。

5-2 電容量

- 4. 並聯電容電路電量分配原理：兩個電容器並聯電路，如圖5-9 所示。

$$E = \frac{Q_T}{C_T} = \frac{Q_T}{C_1 + C_2}$$

$$Q_1 = C_1 V_1 = C_1 E = C_1 \times \frac{Q_T}{C_1 + C_2}$$

$$Q_2 = C_2 V_2 = C_2 E = C_2 \times \frac{Q_T}{C_1 + C_2}$$

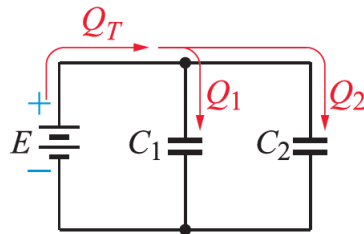


圖 5-9 電容器電荷分配

5-2 電容量

- 經整理後可得「電容器電量分配原理」如下：

兩個電容並聯

$$Q_1 = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \times Q_T$$

$$Q_2 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} \times Q_T$$

公式
5-8

5-2 電容量

- 表示：在兩個電容並聯電路中，「某一電容的分路電量」等於「該電容與兩個電容和之比值」乘以「總電量」。

n 個電容並聯

$$Q_1 = \frac{C_1}{C_T} \times Q_T$$

$$Q_2 = \frac{C_2}{C_T} \times Q_T$$

$$Q_n = \frac{C_n}{C_T} \times Q_T$$

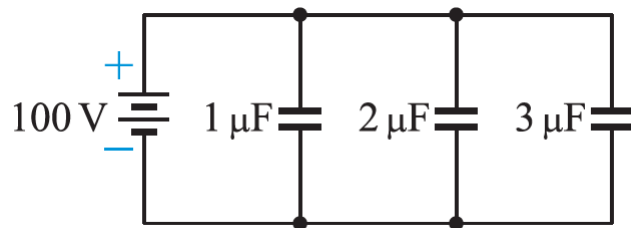
註 $C_T = C_1 + C_2 + \cdots + C_n$ 。

公式
5-9

- 表示：在 n 個電容並聯電路中，「某一電容的分路電量」等於「該電容與總電容之比值」乘以「總電量」。
- 發現：並聯電容電路中，電容量 C 愈大者，所分配到的電量 Q 愈大。其算式相當於串聯電阻電路的「分壓原理」。

5-2 電容量

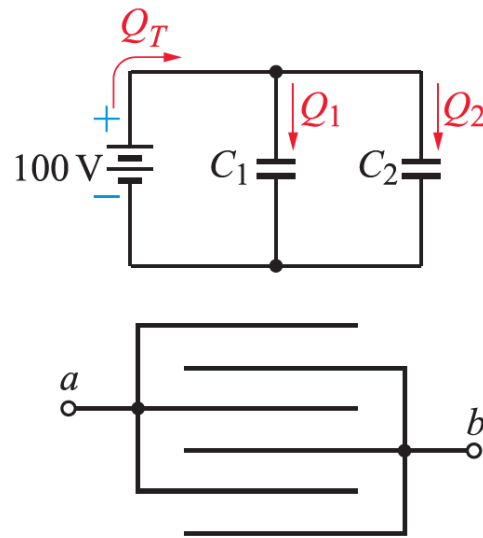
- 例題 **5-5** 電容並聯的基本運算
- 如右圖所示之電路，試求
 - (1) 總電容量 C_T
 - (2) 各電容之充電電量 Q_1 、 Q_2 、 Q_3
 - (3) 總電量 Q_T 。



- 解
 - (1) $C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 1\ \mu + 2\ \mu + 3\ \mu = 6\ \mu\text{F}$
 - (2) $Q_1 = C_1 \times V_1 = 1\ \mu \times 100 = 100\ \mu\text{C}$ (微庫侖)
 $Q_2 = C_2 \times V_2 = 2\ \mu \times 100 = 200\ \mu\text{C}$ (微庫侖)
 $Q_3 = C_3 \times V_3 = 3\ \mu \times 100 = 300\ \mu\text{C}$ (微庫侖)
 - (3) $Q_T = 100\ \mu + 200\ \mu + 300\ \mu = 600\ \mu\text{C}$ (微庫侖)

5-2 電容量

- 練習
- 5. 如右圖所示電路， $Q_T=900\ \mu\text{C}$ ， $C_1=6\ \mu\text{F}$ ， $Q_2=300\ \mu\text{C}$ ，則 C_T 為多少 μF ？
(A) 3 (B) 6 (C) 9 (D) 18。
- 6. 有一多層式電容器如圖所示，設各極板面積均為 $200\ \text{cm}^2$ ，每極板間距離為 $5\ \text{mm}$ ，介質為空氣，求 C_{ab} 等於多少 pF ？
(A) 8.85 (B) 35.4 (C) 177 (D) 354。



5-2 電容量

- 例題 **5-6** 電容器並聯的耐壓計算
- 有兩個電容器規格分別為 $30\ \mu\text{F}/100\ \text{V}$ 、 $60\ \mu\text{F}/200\ \text{V}$ ，若將其並聯連接，則其總電容量及總耐壓分別為何？

- 解

總電容量： $C_T = C_1 + C_2 = 30\ \mu\text{F} + 60\ \mu\text{F} = 90\ \mu\text{F}$

總耐壓：並聯之各電容器端電壓相同，但是應選兩者較小者為耐壓標準，否則較小耐壓者將會燒毀，故此處總耐壓應為 $100\ \text{V}$ 。

5-2 電容量

- 練習
- 7. 將兩個規格不同的電容器並聯連接，其外加電壓應依據下列何者為宜？
(A) 電容量較小者的工作電壓 (B) 電容量較大者的工作電壓
(C) 工作電壓較小者的電壓 (D) 工作電壓較大者的電壓。

5-2 電容量

- **5-2.4 電容器的串聯**
- 圖5-10 為電容器串聯情形，其特性說明如下：

註 以三個為例，其餘類推。

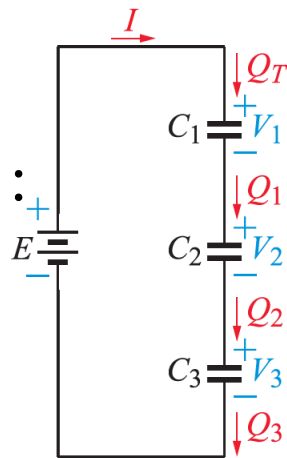


圖 5-10 電容器的串聯

- **1.電量：**串聯電路流過各元件的電流均相同，再依據 $Q=I \times t$ ，得知：各串聯電容的電量也都相同，而且等於總電量。

$$\text{即 } Q_T = Q_1 = Q_2 = Q_3 \quad (\text{庫侖, C})$$

公式
5-10

5-2 電容量

- **2.總電壓：**依據克希荷夫電壓定律（KVL），總電壓等於各元件電壓之和。

$$E = V_1 + V_2 + V_3 \quad (\text{伏特, V})$$

公式
5-11

- **3.總電容量：**總電容為各電容倒數和、再倒數。

註 串聯總電容的計算，相當於並聯總電阻的算法。

$$\text{即 } \frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (1/\text{法拉}, 1/\text{F})$$

公式
5-12

5-2 電容量

$$\text{或 } C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}} \quad (\text{法拉, F})$$

公式
5-13

證明如下：

$$\because V = \frac{Q}{C}, \text{ 代入 (5-11) 式, 得: } \frac{Q_T}{C_T} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \frac{Q_3}{C_3}$$

又 $Q_T = Q_1 = Q_2 = Q_3$ ，將上式等號左右各除以 Q_T ，即可得證。

$$\text{當只有兩個電容串聯時，則總電容為: } C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

5-2 電容量

- 4.串聯電容電路電壓分配原理：兩個電容的串聯電路，如圖5-11所示：

$$Q_T = C_T E = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} E$$

$$V_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{Q_T}{C_1} = \frac{1}{C_1} \times \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} E$$

$$V_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{Q_T}{C_2} = \frac{1}{C_2} \times \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} E$$

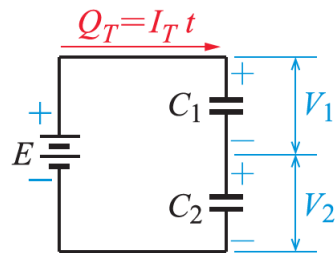


圖 5-11 電容電壓分配

5-2 電容量

- 經整理後可得「電容器電壓分配原理」如下：

$$\text{兩個電容串聯 } V_1 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} \times E, V_2 = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \times E$$

公式
5-14

$$n \text{ 個電容串聯 } V_1 = \frac{C_T}{C_1} \times E, V_2 = \frac{C_T}{C_2} \times E, V_n = \frac{C_T}{C_n} \times E$$

公式
5-15

- 表示：串聯電容電路中，「某一電容器的端電壓」等於「串聯總電容與該電容的比值」乘以「總電壓」。
- 發現：串聯電容電路中，電容量愈大，分配到的端電壓愈小。其計算式相當於並聯電阻電路的「分流原理」。

5-2 電容量

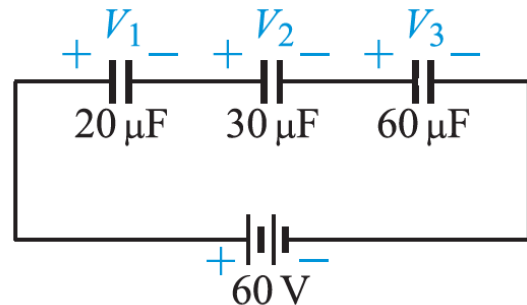
- 例題 **5-7** 串聯電容的基本運算
- 如圖所示之電路，試求：

(1) 總電容量 C_T

(2) 總電量 Q_T

(3) 各電容之電量 Q_1 、 Q_2 、 Q_3

(4) 各電容之充電電壓 V_1 、 V_2 、 V_3 ？



5-2 電容量

$$(1) C_T = \frac{1}{\frac{1}{20\ \mu} + \frac{1}{30\ \mu} + \frac{1}{60\ \mu}} = 10\ \mu\text{F}$$

$$(2) Q_T = C_T \times E = 10\ \mu \times 60 = 600\ \mu\text{C} \text{ (微庫侖)}$$

$$(3) Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_T = 600\ \mu\text{C} \text{ (微庫侖)}$$

$$(4) V_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{600\ \mu}{20\ \mu} = 30\ \text{V}, V_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{600\ \mu}{30\ \mu} = 20\ \text{V}, V_3 = \frac{Q_3}{C_3} = \frac{600\ \mu}{60\ \mu} = 10\ \text{V}$$

5-2 電容量

- 練習
- 8. 串聯電容電路中，電容量越大者，其充電電壓？
(A) 越小 (B) 越大 (C) 相同 (D) 忽大忽小。
- 9. 串聯電容電路中，再新增串聯一個 $10\ \mu\text{F}$ 電容，則下列何者正確？
(A) 總電容變大 (B) 總電量變大
(C) 各電容充電電壓變大 (D) 總電壓不變。
- 10. 兩個電容 C_1 及 C_2 ，其中 $C_1 > C_2$ ，若 C_T 為兩者的等效串聯電容，則大小為何？
(A) $C_T > C_1 > C_2$ (B) $C_1 > C_T > C_2$ (C) $C_1 > C_2 > C_T$ (D) $C_T = C_1 = C_2$ 。

5-2 電容量

- 例題 **5-8** 串聯電容的分壓定則

- 如圖所示之電路，試求

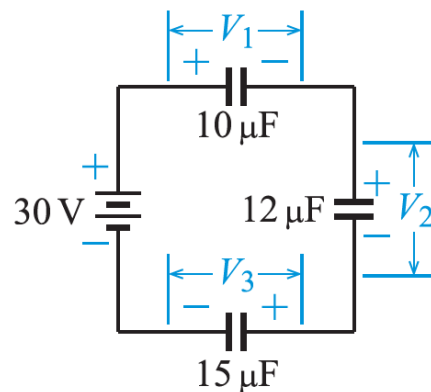
(1) 總電容量 C_T (2) 各電容之充電電壓 V_1 、 V_2 、 V_3 ?

解 (1) $C_T = \frac{1}{\frac{1}{10\ \mu} + \frac{1}{12\ \mu} + \frac{1}{15\ \mu}} = 4\ \mu\text{F}$

(2) $V_1 = \frac{C_T}{C_1} \times E = \frac{4\ \mu}{10\ \mu} \times 30 = 12\ \text{V}$

$V_2 = \frac{C_T}{C_2} \times E = \frac{4\ \mu}{12\ \mu} \times 30 = 10\ \text{V}$

$V_3 = \frac{C_T}{C_3} \times E = \frac{4\ \mu}{15\ \mu} \times 30 = 8\ \text{V}$



5-2 電容量

- 練習
- 11. 將電容器 $C_1=2\ \mu\text{F}$ ， $C_2=4\ \mu\text{F}$ 串聯後，接於 $120\ \text{V}$ 電源時，試問在 C_1 兩端的電壓為何？
(A) $120\ \text{V}$ (B) $80\ \text{V}$ (C) $60\ \text{V}$ (D) $40\ \text{V}$ 。

5-2 電容量

- 例題 **5-9** 電容器串聯的耐壓計算
- 有兩個電容器規格分別為 $30\ \mu\text{F}/100\ \text{V}$ 、 $60\ \mu\text{F}/200\ \text{V}$ ，若將其串聯連接，則其總電容量及總耐壓分別為何？
- 解 總電容量：
$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{30\ \mu \times 60\ \mu}{30\ \mu + 60\ \mu} = 20\ \mu\text{F}$$

總耐壓：依規格求各電容之電量，以最小者為共同電量，再據以求串聯後電壓，即為最大耐壓。

$$Q_1 = C_1 \times V_1 = 30\ \mu \times 100 = 3000\ \mu\text{C} \text{ (微庫侖)}$$

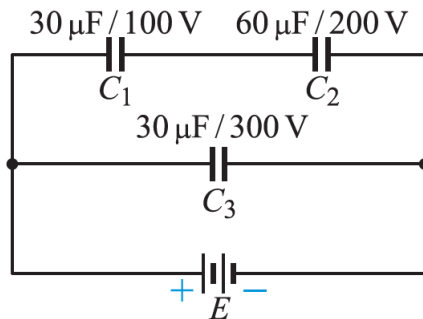
$$Q_2 = C_2 \times V_2 = 60\ \mu \times 200 = 12000\ \mu\text{C} \text{ (微庫侖)}$$

串聯時 Q_T 應選 Q_1 和 Q_2 的較小者，故 Q_T 應為 $3000\ \mu\text{C}$ (微庫侖)

$$\text{總耐壓} \Rightarrow \frac{Q_T}{C_T} = \frac{3000\ \mu}{20\ \mu} = 150\ \text{V}$$

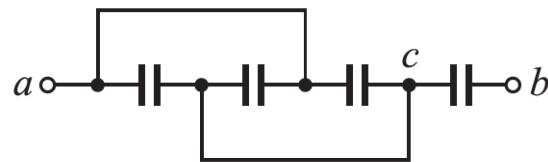
5-2 電容量

- 練習
- 12. 如右圖所示之串並聯電路，則電路中 E 可加之最大電壓為何？
(A) 100 V (B) 150 V (C) 200 V (D) 300 V。



5-2 電容量

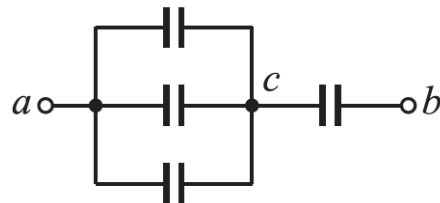
- 例題 **5-10** 電容器串並聯(一)
- 如右圖所示，若各電容之電容量均為 $4\ \mu\text{F}$ ，則 a 、 b 兩端之等效電容為何？



$$C_T = (4\ \mu + 4\ \mu + 4\ \mu) \text{ 串一個 } 4\ \mu$$

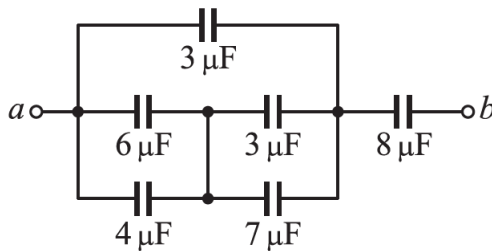
$$\text{解} \quad = \frac{12\ \mu \times 4\ \mu}{12\ \mu + 4\ \mu} = 3\ \mu\text{F}$$

經過電路重畫，發現左邊三個電容器為並聯連接如右圖所示。



5-2 電容量

- 練習
- 13. 如圖所示，電路 a 、 b 間之等值電容量為何？
(A) $4\ \mu\text{F}$ (B) $5\ \mu\text{F}$ (C) $6\ \mu\text{F}$ (D) $7\ \mu\text{F}$ 。



5-2 電容量

- 例題 **5-11** 電容器串並聯(二)
- 如圖(a) 所示之電路，試求：
 - (1) 總電容量
 - (2) 總電量
 - (3) 各電容之電量。

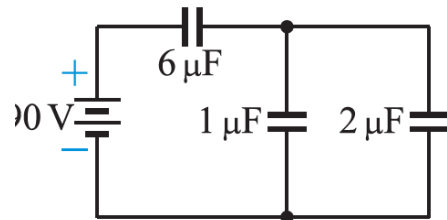


圖 (a)

5-2 電容量

(1) $1\ \mu\text{F}$ 和 $2\ \mu\text{F}$ 並聯得 $3\ \mu\text{F}$

$3\ \mu\text{F}$ 和 $6\ \mu\text{F}$ 串聯得總電容量： $C_T = \frac{3\ \mu \times 6\ \mu}{3\ \mu + 6\ \mu} = 2\ \mu\text{F}$

(2) $Q_T = C_T \times E = 2\ \mu \times 90 = 180\ \mu\text{C}$ (微庫侖)

(3) $6\ \mu\text{F}$ 之電量 $Q_6 = Q_T = 180\ \mu\text{C}$ (微庫侖)

$1\ \mu\text{F}$ 之電量 $Q_1 = Q_T \times \frac{C_1}{C_1 + C_2} = 180\ \mu \times \frac{1\ \mu}{1\ \mu + 2\ \mu} = 60\ \mu\text{C}$ (微庫侖)

$2\ \mu\text{F}$ 之電荷 $Q_2 = Q_T \times \frac{C_2}{C_1 + C_2} = 180\ \mu \times \frac{2\ \mu}{1\ \mu + 2\ \mu} = 120\ \mu\text{C}$ (微庫侖)

5-2 電容量

- 練習
- 14. 如圖(b) 所示之電路中，電容 C 之值為何？
 (A) $12\ \mu\text{F}$ (B) $20\ \mu\text{F}$
 (C) $18\ \mu\text{F}$ (D) $36\ \mu\text{F}$ 。
- 15. 如圖(c) 所示，當電路已達穩定狀態，則下列敘述何者正確？
 (A) 電容器 C_1 的電壓為 $12\ \text{V}$
 (B) 電容器 C_2 的電壓為 $16\ \text{V}$
 (C) 儲存於電容器 C_1 的電量為 $144\ \mu\text{C}$
 (D) 儲存於電容器 C_2 的電量為 $216\ \mu\text{C}$ 。

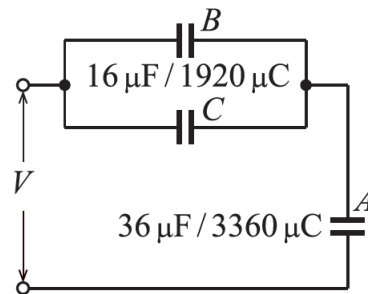


圖 (b)

註 電路達穩態狀態表示 $V_R = 0$

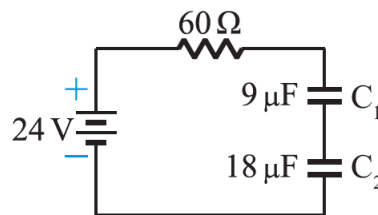


圖 (c)

5-2 電容量

- **5-2.5** 電容器的儲存能量
- 在5-1 節「電容器」中，我們知道電容器有充放電效應，電容器充電以後，即使將電源移開，其內仍然存有能量，此時如果將電容器接到電燈，電容器將會對電燈放電，使電燈亮起來，直到放電完畢，電壓降至零為止。
- 電容器在充電過程中，兩電極板間的電位差（ V ）由零逐漸增加至電源電壓，儲存的電量（ Q ）亦由零逐漸增加，兩者呈現線性關係，如圖5-12 所示，該直線的斜率 $m = \frac{Q}{V_c}$ ，即等於 C 。充電過程中的平均電壓 $V_{av} = \frac{1}{2} (0 + V_c) = \frac{1}{2} V_c$ ，根據（1-3）式 $W = Q \times V_c$ ，以及（5-1）式 $Q = C \times V$ ，故電容器儲存能量的計算式為：

5-2 電容量

$$W \text{ (能量)} = \frac{1}{2} \times Q \times V_c = \frac{1}{2} \times C \times V_c^2 = \frac{1}{2} \times \frac{Q^2}{C} \quad (\text{焦耳, J})$$

公式
5-16

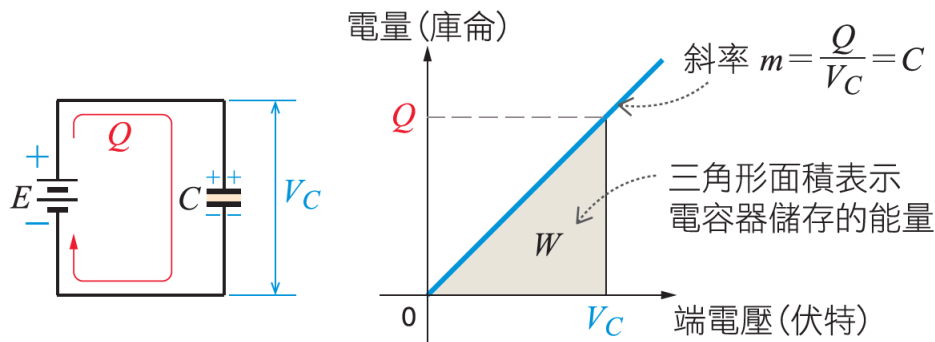


圖 5-12 電容器充電及其能量儲存

5-2 電容量

- 例題 **5-12** 電容器儲能運算
- 某一電容器施加**200** 伏特之電壓，產生**4** 焦耳之電能，則此電容器之電容量為多少 μF ？儲存的電量為何？

- 解 (1) 應用 (5-16) 公式 $W = \frac{1}{2} \times C \times V_c^2$

$$C = \frac{2 \times W}{V_c^2} = \frac{2 \times 4}{200^2} = 2 \times 10^{-4} \text{ F} = 200 \mu\text{F}$$

$$(2) Q = CV_c = 200 \times 10^{-6} \times 200 = 0.04 \text{ C (庫侖)}$$

5-2 電容量

- 練習
- 16. 有一 $10\ \Omega$ 電阻串聯一個 $50\ \mu\text{F}$ 電容後接上 $100\ \text{V}$ 的直流電壓，試求電路穩態時，電容器儲存的能量及電量分別為何？ (A) $0.25\ \text{J}$ 、 $0.05\ \text{C}$ (B) $0.25\ \text{J}$ 、 $0.005\ \text{C}$ (C) $2.5\ \text{J}$ 、 $0.05\ \text{C}$ (D) $2.5\ \text{J}$ 、 $0.025\ \text{C}$ 。

5-3 電場及電位

- **5-3.1 電場及電力線**
- 根據法拉第電場的觀念，要判斷空間中某一點是否有電場存在，只要將一試驗用正電荷置於該處，視其是否受到作用力，即可判定，如圖5-13 所示。

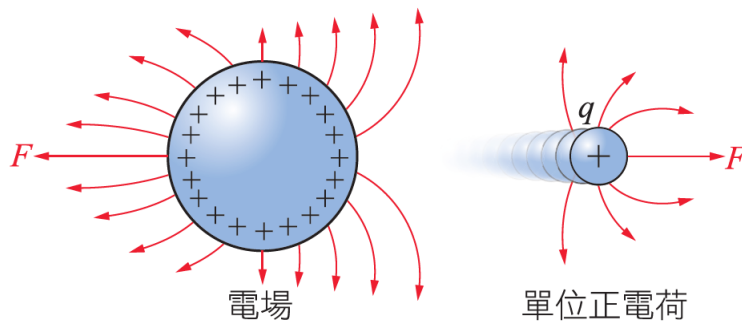


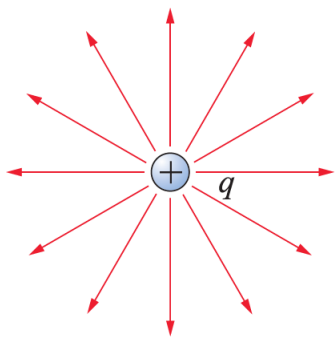
圖 5-13 電場的觀念

5-3 電場及電位

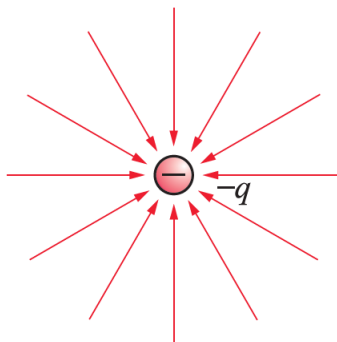
- 電場（**electric field**）的特性，敘述如下：
- **1.**電場是一種力場，存在於帶電體周圍的區域中。
- **2.**凡是電力線所到達的區域，就稱為電場。
- **3.**帶電荷物體四周，凡靜電作用力 F 所到之處稱為靜電場，簡稱電場。
- **4.**電場是一種向量，有大小也有方向。
- **5.**電力線上任一點的切線方向，表示該點電場的方向。
- **6.**單位電荷電力線的分布情形為：正電荷上電力線垂直於球體表面向外呈現放射狀，如圖5-14(a)所示；負電荷上電力線則垂直向內，如圖5-14(b)所示。

5-3 電場及電位

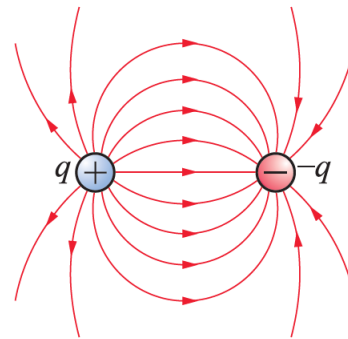
- **7.**兩相反電荷的電力線，由正電荷出發而終止於負電荷，如圖5-14(c) 所示。
- **8.**兩相同電荷的電力線，形成互相排斥、永不相交的情形，如圖5-14(d) 所示。
- **9.**平行板電容器之電場分布情形，如圖5-14(e) 所示。



(a) 單一正電荷之電場



(b) 單一負電荷之電場

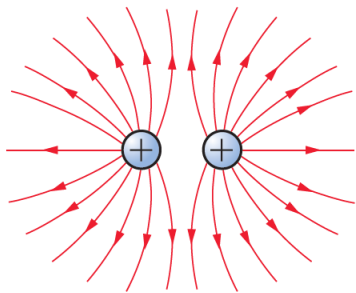


(c) 兩相異電荷之電場

特性：垂直於球體表面、呈放射狀

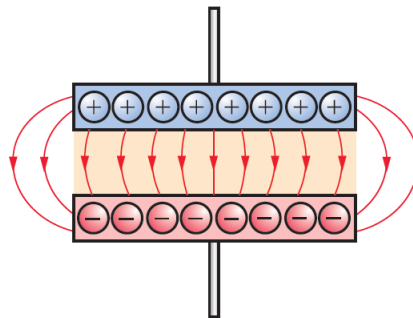
特性：由正電荷出發、終止於負電荷

5-3 電場及電位



(d) 兩相同電荷之電場

特性：互相排斥、永不相交



(e) 平行板電容器之電場

特性：由正電荷出發、終止於負電荷

圖 5-14 電力線之特性

5-3 電場及電位

- **5-3.2 庫侖靜電力定律**
- 兩電荷之間具有相互吸引或排斥的作用力，其稱為靜電力，如圖5-15 所示；法國科學家庫侖於西元1784 年對電荷間相互作用力進行實驗，發現：「兩電荷間靜電力（ F ）的大小，與兩電荷帶電量（ Q_1 、 Q_2 ）的乘積成正比，和其距離的平方（ d^2 ）成反比」，稱為庫侖靜電力定律（Coulomb's law），以數學式表示為：

$$\vec{F} \text{ (靜電力)} = K \text{ (常數)} \times \frac{Q_1 \text{ (電量 1)} \times Q_2 \text{ (電量 2)}}{d^2 \text{ (距離平方)}} \quad (\text{牛頓, N})$$

公式
5-17

5-3 電場及電位

註 此處 $\vec{F}$ 表示靜電力為向量，其方向是指 Q_1 和 Q_2 兩電荷相吸或相斥力的方向。

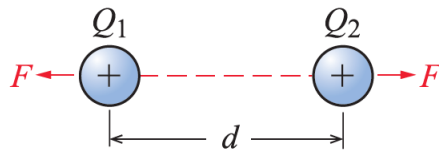


圖 5-15 兩個正電荷間的靜電力

公式中 K 為一常數， $K = \frac{1}{4\pi\epsilon}$ ，根據公式 (5-4) 介電係數 $\epsilon = \epsilon_o\epsilon_r$ ，空氣（或真空）

中 $\epsilon_r = 1$ ， $\epsilon_o = \frac{1}{36\pi \times 10^9}$ 法拉／公尺（F/m）；故

5-3 電場及電位

$$\begin{aligned}\text{空氣中，常數 } K &= \frac{1}{4\pi\epsilon} = \frac{1}{4\pi \times \frac{1}{36\pi \times 10^9}} \\ &= 9 \times 10^9\end{aligned}$$

(公尺／法拉，m/F)

公式
5-18

代入（5-17）公式，得空氣中靜電力為：

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \times \frac{Q_1 \times Q_2}{d^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{Q_1 \times Q_2}{d^2} \quad (\text{牛頓，N})$$

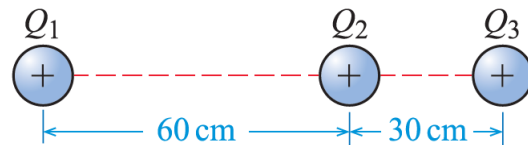
公式
5-19

5-3 電場及電位

- 例題 **5-13** 兩點電荷的靜電力計算
- 在空氣中有兩個點電荷 Q_1 及 Q_2 相距3公尺，若 Q_1 為 9×10^{-4} 庫侖， Q_2 為 1×10^{-5} 庫侖，則兩者之間的靜電力為何？
- 解 $\vec{F} = 9 \times 10^9 \times \frac{Q_1 \times Q_2}{d^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{(9 \times 10^{-4}) \times (1 \times 10^{-5})}{3^2} = 9 \text{ N (牛頓)}$
- 練習
- 17. 距離為1公尺之兩帶電體，其間存在一個24 N的靜電力，若將此兩帶電體拉遠至2公尺，其間存在之靜電力為何？
(A) 6 N (B) 12 N (C) 48 N (D) 96 N。

5-3 電場及電位

- 例題 **5-14** 三點電荷的靜電力計算
- 在真空中有三個點電荷如右圖所示， $Q_1=+90$ 微庫侖、 $Q_2=+60$ 微庫侖、 $Q_3=+30$ 微庫侖，試求 Q_2 所受的靜電力為多少牛頓？



- 解

Q_2 分別受 Q_1 、 Q_3 兩個斥力

$$\vec{F}_{12} = 9 \times 10^9 \times \frac{(90 \times 10^{-6}) \times (60 \times 10^{-6})}{(60 \times 10^{-2})^2} = 135 \text{ N (牛頓) 方向向右}$$

$$\vec{F}_{23} = 9 \times 10^9 \times \frac{(60 \times 10^{-6}) \times (30 \times 10^{-6})}{(30 \times 10^{-2})^2} = 180 \text{ N (牛頓) 方向向左}$$

$$\vec{F} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{23} = 180 - 135 = 45 \text{ N (牛頓) 方向向左}$$

5-3 電場及電位

- 練習
- 18. 例題5-14 中，哪一個電荷受力最大？
(A) Q_1 (B) Q_2 (C) Q_3 (D) 都一樣大。

5-3 電場及電位

• 5-3.3 電場強度

- 由前述內容得知：當電荷在空間中感受到作用力時，表示該空間有電場的存在；而定義這個作用力的大小就稱為電場強度（**electric field intensity**），換言之：單位正電荷（ q ）在電場中某一點所受到的靜電力（ $\vec{F}$ ），稱為該點的電場強度，其符號以 $\vec{E}$ 表示，即圖5-16 之電場強度的公式為：

$$\vec{E} \text{ (電場強度)} = \frac{\vec{F} \text{ (靜電力)}}{q \text{ (電量)}}$$

公式
5-20

5-3 電場及電位

- 電場強度的單位為牛頓／庫侖，因為作用力為向量，故電場強度也是向量，其方向為該正電荷受力的方向；另外，再將作用力 F 以（5-19）公式代入（5-20）公式，可得：

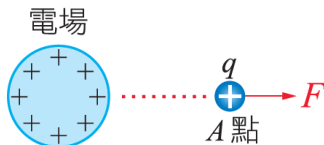


圖 5-16 正電荷的電場強度

q 和電荷 Q 相距 d 處的電場強度（圖 5-17）

公式
5-21

$$\begin{aligned}\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} &= \frac{\frac{1}{4\pi\epsilon} \times \frac{Q \times q}{d^2}}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \times \frac{Q}{d^2} \\ &= 9 \times 10^9 \times \frac{Q}{d^2} \quad (\text{牛頓／庫倫, N/C}) \quad \text{空氣中 } \epsilon_r = 1\end{aligned}$$

5-3 電場及電位

- (5-21) 式表示：電場強度和該電荷的電量 (Q) 成正比，和其距離的平方 (d^2) 成反比，如圖5-17 所示。
- 接著，我們將再探討平行板電容器內電場強度的計算，圖5-18 為一平行板電容器，假設在介質中有一測試正電荷 q ，施以一功 W ，使其從負極板移動到正極板；根據公式 $W=F \times d$ ，故

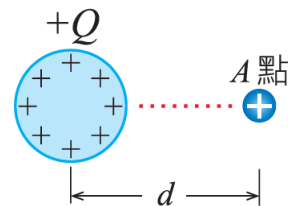


圖 5-17 A 點的電場強度

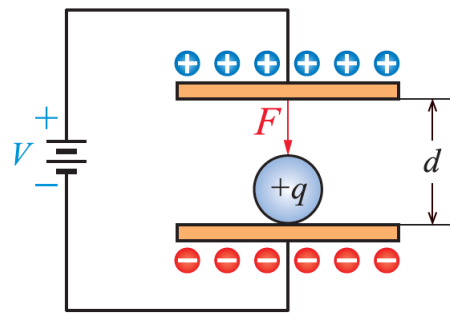


圖 5-18 平行板的電場強度

5-3 電場及電位

$$F = \frac{W}{d}$$

代入 (5-20) 公式，得： $E = \frac{F}{q} = \frac{W}{q \times d}$

根據 (1-1) 公式 $V = \frac{W}{q}$ ，代入上式，得：

平行板電容器內的電場強度 (圖 5-18)

公式
5-22

$$E \text{ (電場強度)} = \frac{V \text{ (電壓)}}{d \text{ (距離)}} \text{ (伏特/公尺, V/m)}$$

- 由 (5-22) 公式發現：在平行板電容器內部，電場強度與所加電壓 (V) 成正比，與兩極板間距離 (d) 成反比；而電場強度的單位除了「牛頓／庫侖」之外，也可以是「伏特／公尺」。

5-3 電場及電位

- 例題 **5-15** 電場強度運算公式（一）
- 在電場中**A** 點有一電荷之電量為**2** 庫侖，受有**16** 牛頓之靜電力，試求**A** 點的電場強度為何？

- 解 運用（5-20）公式，
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = \frac{16}{2} = 8 \text{ N/C (牛頓／庫侖)}$$

- 練習
- 19. 真空中，有一**3** 庫侖的電荷，在**0.6** 牛頓／庫侖的電場中，試求電荷所受的力為多少牛頓？

(A) 0.3 (B) 1.8 (C) 16.2 (D) 50。

5-3 電場及電位

- 例題 **5-16** 電場強度運算公式（二）
- 空氣中，電荷 Q 在3公尺處的電場強度為100牛頓／庫侖，試求該電荷的電量為多少庫侖？
- 解 運用（5-21）公式

$$\vec{E} = 9 \times 10^9 \times \frac{Q}{d^2} \text{ N/C (牛頓／庫侖)}$$

$$100 = 9 \times 10^9 \times \frac{Q}{3^2} \quad \therefore Q = 1 \times 10^{-7} \text{ C (庫侖)}$$

- 練習
- 20. 有一點電荷帶有 10^{-9} 庫侖之電荷量，試求距此點電荷3公尺處之電場強度為多少牛頓／庫侖？ (A) 1 (B) 3 (C) 6 (D) 9。

5-3 電場及電位

- 例題 **5-17** 電場強度運算公式（三）
- 有一平行板電容器，其兩極板間距離為5 mm，通以10 伏特電壓，試求兩極板間之電場強度為何？

- 解 依據（5-22）公式

$$E = \frac{V}{d} = \frac{10}{5 \times 10^{-3}} = 2000 \text{ V/m (伏特 / 公尺)}$$

- 練習
- 21. 有一單位名稱「牛頓／庫侖」，請問這是下列何者的單位？
(A) 介電系數 (B) 電場密度 (C) 電場強度 (D) 磁場密度。

5-3 電場及電位

- **5-3.4 電通密度及介電係數**
- **1.電通量（electric flux）**：電場中電力線通過的數量，以符號 Ψ （讀作psi）表示；根據高斯電通量定理（Gauss's flux theorem）：「任何帶電質點所進出的電力線總數（ Ψ ），恆等於其所帶之電量（ Q ）」，即： $\Psi=Q$ （庫侖）。
- **2.電通密度（electric flux density， D ）**：電場中，單位面積電力線通過的總數；即

$$D \text{（電通密度）} = \frac{\Psi \text{（電通量）}}{A \text{（截面積）}} \quad \left(\text{庫侖} / \text{平方公尺}, \text{C/m}^2 \right)$$

公式
5-23

5-3 電場及電位

其中 A 為球形面積，設其半徑為 d ，則 $A=4\pi d^2$ ，代入上式得：

$$D = \frac{\Psi}{A} = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{4\pi d^2} \quad (\text{庫侖 / 平方公尺, C/m}^2)$$

公式
5-24

比較 (5-21) 式「電場強度 $E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \times \frac{Q}{d^2}$ 」，故：

$$D = \epsilon \times E \quad (\text{庫侖 / 平方公尺, C/m}^2)$$

公式
5-25

- 發現：電通密度和電場強度成正比，電場強度愈強的地方，其電通密度愈高。

5-3 電場及電位

- **3.介電係數**：表示電通密度和電場強度的比值，即：

$$\epsilon \text{ (介電係數)} = \frac{D \text{ (電通密度)}}{E \text{ (電場強度)}} \quad (\text{法拉} / \text{公尺}, \text{F/m})$$

公式

5-26

5-3 電場及電位

- 例題 **5-18** 電場強度與電通密度綜合運算
- 空氣中某一點電荷 $Q=2\times 10^{-6}$ 庫侖，試求距離該點 3 m 處之電場強度及電通密度分別為何？

- 解 應用 (5-21) 公式

$$E = 9 \times 10^9 \times \frac{Q}{d^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-6}}{3^2} = 2 \times 10^3 \text{ N/C (牛頓 / 庫侖)}$$

應用 (5-25) 公式

$$\begin{aligned} D &= \varepsilon \times E \\ &= (8.85 \times 10^{-12}) \times (2 \times 10^3) = 1.77 \times 10^{-8} \text{ C/m}^2 \text{ (庫侖 / 平方公尺)} \end{aligned}$$

5-3 電場及電位

- 練習
- 22. 空氣中某一點的電場強度為 $\frac{1}{8.85} \times 10^6 \text{ V/m}$ ，則該點的電通密度為多少庫侖／平方公尺？
(A) 10^{-3} (B) 10^{-6} (C) 103 (D) 106。

5-3 電場及電位

- **5-3.5 介質強度及電位梯度**
- 介於兩個帶電物體之間的絕緣物質稱為介質，常見的介質有空氣、紙、雲母及陶瓷等；介質在不發生絕緣破壞的情形下，每單位厚度（ d ）所能承受的最大電壓（ V ）稱為介質強度（**dielectric strength**），單位為仟伏特／公分（**kV/cm**）；介質強度的值愈高表示該介質的絕緣能力愈好，表5-4 為常用介質材料的介質強度。介質強度的強弱通常以電位梯度（**potential gradient**，簡稱 g ）表示；即

$$g \text{ (電位梯度)} = \frac{V \text{ (電壓)}}{d \text{ (厚度)}} \quad (\text{伏特／公尺, V/m})$$

公式
5-27

5-3 電場及電位

- 上式和 (5-22) 式電場強度 $E = \frac{V}{d}$ 相比，發現：電場強度 (E) 和電位梯度 (g) 的公式是一樣的，兩者的大小關係所代表的涵義說明如下：
 - 1. $g > E$** ：表示介質強度大於所在位置的電場強度，介質呈現絕緣狀態。
 - 2. $g < E$** ：表示介質強度小於所在位置的電場強度，介質的絕緣會遭受破壞，導致兩帶電體產生電弧放電現象。

◆ 表 5-4 常用介質及其介質強度

材料種類	介質強度 (kV/cm)
空氣	30
陶瓷	40
玻璃	80 ~ 100
電木	130
樹脂	150
紙	140 ~ 210
雲母	200 ~ 1600

5-3 電場及電位

- 例題 **5-19** 介質強度的運算
- 空氣之介質強度為 30 kV/cm ，空氣中 a 、 b 兩點相距 1 公尺，則兩點間不會導致絕緣破壞的最高電壓不得超過多少 kV ？

 註 請注意單位要一致。

- 解
- $30 \text{ kV/cm} \times 100 \text{ cm} = 3000 \text{ kV}$

表示兩點間不會導致絕緣破壞的最高電壓為：不得超過 3000 kV 。

5-3 電場及電位

- 練習
- 23. 輸電線路中所稱超高壓為345 kV，表示在空氣中不致發生絕緣破壞的最小距離為多少公分？
(A) 5.5 (B) 11.5 (C) 23 (D) 34.5。
- 24. 兩電極板相距3 mm，其間的介質為空氣，介質強度為30 kV/cm，則兩電極板間不會導致絕緣破壞的最高電壓不得超過多少kV？
(A) 12 (B) 11 (C) 10 (D) 9。

5-3 電場及電位

- **5-3.6 電 位**
- 電位的定義可以從1-5 節「電壓」中得知：
- **1.電位**：將單位電荷從無窮遠處移動至該點所做的功，即 $V = \frac{W}{Q}$ 。
註 反之，從 A 點移到 B 點，則電位差表示為 V_{BA} 。
- **2.電位差**：將單位正電荷（ Q ）從 B 點移到 A 點，其位能由 W_B 變為 W_A ，則兩點的電位差 V_{AB} 為：

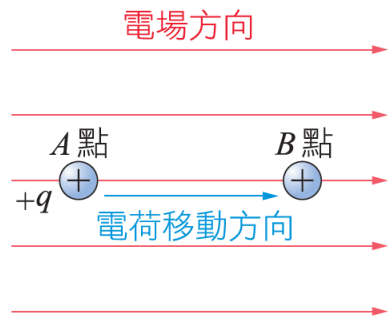
$$V_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} = \frac{W_A - W_B}{Q} = V_A - V_B \quad (\text{伏特, V})$$

公式
5-28

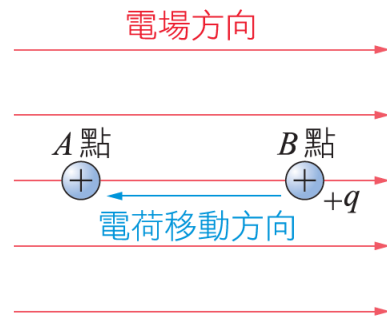
5-3 電場及電位

- 在電場中，電荷移動的方向會影響其電位能及電位的變化，說明如下：
 - (1) 當「正電荷」順著電場方向移動時：電荷將會做功而釋放能量，致使其電位能減少、電位下降，如圖5-19(a) 所示。
 - (2) 當「正電荷」逆著電場方向移動時：電荷將會吸收外部能量，致使其電位能增加、電位上升，如圖5-19(b) 所示。

5-3 電場及電位



(a) 電荷順著電場方向移動：電位下降
(能量減少、電位下降， V_{AB} 為負值)



(b) 電荷逆著電場方向移動：電位上升
(能量增加、電位上升， V_{AB} 為正值)

圖 5-19 電位降與電位升

- 其他有關電位的特性包括：電位為一純量，只有大小，沒有方向性；如果有數個點電荷同時作用於空間中某一點，則該點之電位為各電荷分別作用時的電位之總和，即

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots + V_n。$$

5-3 電場及電位

- 例題 **5-20** 求移動電荷所做的功
- 將0.05 庫侖之電荷，從電場中的**A** 點移至**B** 點，已知**A** 點電位1500 V，**B** 點電位300 V，試求做功多少焦耳？

- 解

$$W_{BA} = Q \times (V_B - V_A) = 0.05 \times (300 - 1500) = -60 \text{ J (焦耳)}$$

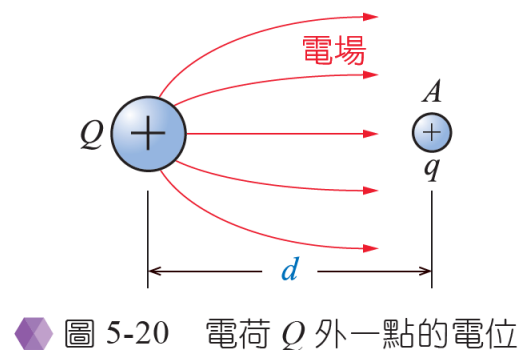
說明：高電位移至低電位，電位下降，故電位能也是下降，表示做負功。

5-3 電場及電位

- 練習
- 25. 將 4×10^{-3} 庫侖電荷從***B*** 點移至***A*** 點，其能量從2 焦耳升高至6 焦耳，則兩點間的電位差 V_{AB} 為何？
(A)-1000 V (B) 1000 V (C) 2000 V
(D) 4000 V 。

5-3 電場及電位

- 如圖5-20 所示，在電荷 Q 所產生的電場中，將單位正電荷（ $+q$ ）從無窮遠處移至距離 d 處的 Q 電荷，所作的功為 $W=F \times d$ ，再依據（5-17）式得：



$$W = F \times d = \left(K \times \frac{Q \times q}{d^2} \right) \times d = K \times \frac{Q \times q}{d} \quad (\text{焦耳, J})$$

公式
5-29

5-3 電場及電位

- 將 (5-29) 式代入 (1-1) 式，即可求得在 Q 電荷距離 d 處的 A 點電位為：

註 空氣中 $K=9 \times 10^9$ 。

$$V(\text{電位}) = \frac{W}{q} = \frac{K \times \frac{Q \times q}{d}}{q} = 9 \times 10^9 \times \frac{Q(\text{電量})}{d(\text{距離})} \quad (\text{伏特, V})$$

公式
5-30

上式和 (5-21) 電場強度 $E = 9 \times 10^9 \frac{Q}{d^2}$ 比較，發現：電場強度和電位的關係為

$E = \frac{V}{d}$ ，和公式 (5-22) 平行板電容器者相同。

5-3 電場及電位

- 例題 **5-21** 帶電體周圍某點的電位計算
- 有一具有 6×10^{-9} 庫侖電量的帶電體，求：
 - (1) 距離該帶電體 2 公尺及 3 公尺處的電位分別為何？
 - (2) 兩者的電位差為何？

(1) 2 公尺處的電位：
$$V_A = 9 \times 10^9 \times \frac{6 \times 10^{-9}}{2} = 27 \text{ V}$$

- 解 3 公尺處的電位：
$$V_B = 9 \times 10^9 \times \frac{6 \times 10^{-9}}{3} = 18 \text{ V}$$

(2) 兩者電位差：
$$V_{AB} = V_A - V_B = 27 - 18 = 9 \text{ V}$$

5-3 電場及電位

- 練習
- 26. 空氣中有一半徑為1.5 公尺的金屬球體，帶有 $0.04 \mu\text{C}$ 的電量，造成球體外某處電位為144 V，則該處距離球心為多少公尺？
(A) 0.9 (B) 1.7 (C) 2.5 (D) 3.4 。

5-3 電場及電位

- 假設有一金屬球形導體，其半徑為 a ，帶有電量 Q 且均勻分布於球體表面，則在距離 d 公尺處之電場強度（ E ）及電位（ V ）大小，根據（5-21）式及（5-30）式，列示如表5-5 及圖5-21 所示。

5-3 電場及電位

表 5-5 帶電金屬球形導體之電場強度 (E) 及電位 (V)

位置		公式	說明
1	球體內部 $d < a$	$E = 0$	因為球體內部沒有電荷，故球內電場強度為 0
		$V = K \times \frac{Q}{a}$	球內電位為定值
2	球體表面 $d = a$	$E = K \times \frac{Q}{a^2}$	球面電場強度最大
		$V = K \times \frac{Q}{a}$	$V_{\text{表面}} = V_{\text{內部}} = \text{定值}$
3	球體外部 $d > a$	$E = K \times \frac{Q}{d^2}$	$E_{\text{表面}} > E_{\text{外部}} > E_{\text{內部}}$ ，愈往外面，電場強度愈小
		$V = K \times \frac{Q}{d}$	$V_{\text{外部}} < V_{\text{表面}}$ ，愈往外面，電位愈小

註 a 為球體半徑， d 為距球心任一點的距離；空氣中 $K = 9 \times 10^9$ 。

5-3 電場及電位

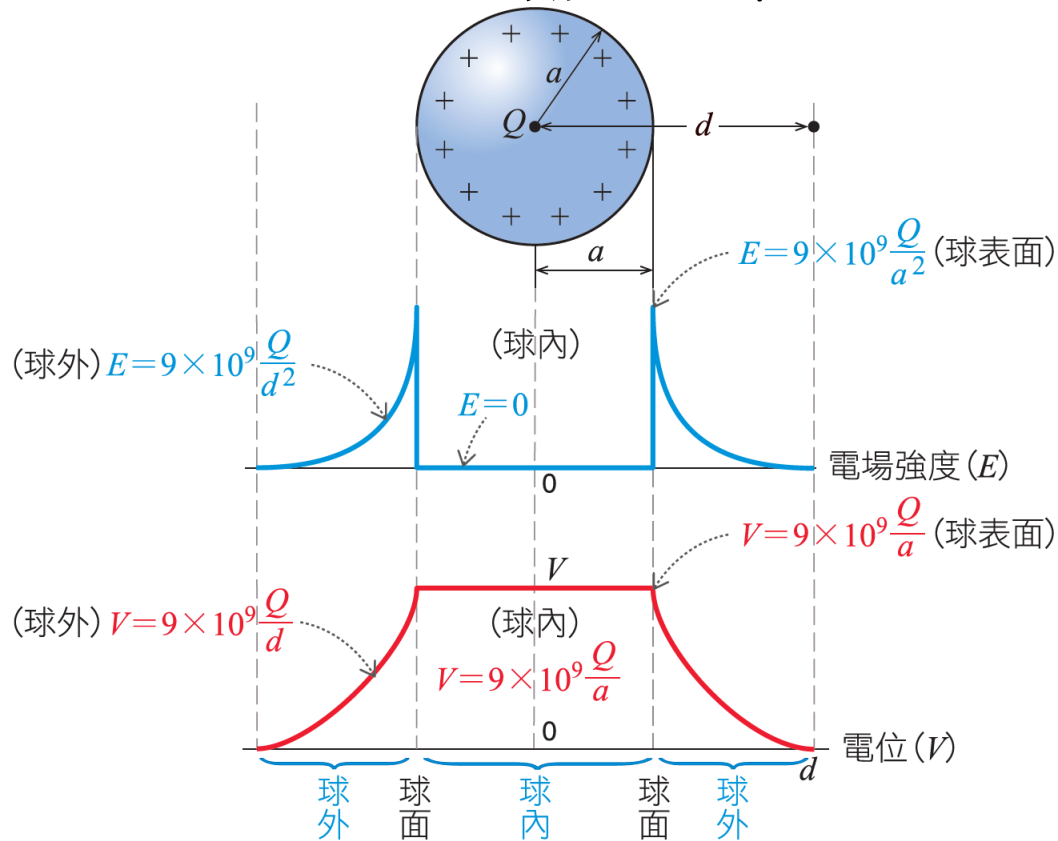


圖 5-21 帶電球體電場及電位之分布 (空氣中)

5-3 電場及電位

- 例題 **5-22** 求金屬球導體的電場強度及電位
- 空氣中有一半徑為**2** 公尺的金屬球體，帶電量為**0.06** 微庫侖，試求距離該球球心**3** 公尺處的電場強度及電位各為何？
- 解 半徑為**2**公尺，因此，距球心**3** 公尺是在球體外部，故

$$(1) E = K \times \frac{Q}{d^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{0.06 \times 10^{-6}}{3^2} = 60 \text{ N/C (牛頓/庫侖)}$$

$$(2) V = K \times \frac{Q}{d} = 9 \times 10^9 \times \frac{0.06 \times 10^{-6}}{3} = 180 \text{ V}$$

5-3 電場及電位

- 練習
- 27. 真空中一孤立的帶正電金屬球，則其何處之電場強度最強？
(A) 球面 (B) 球體內部 (C) 球心 (D) 無窮遠處。
- 28. 若將金屬球型導體所帶的電量 Q 增加時，則導體內部電場強度 E 和電位 V 的變化為
(A) E 和 V 都變小 (B) E 和 V 都變大
(C) E 不變， V 變大 (D) E 變大， V 不變。