



電容與靜電

在前面的章節中，我們將焦點放在電阻電路的網路分析上，但除了電阻外，電路的主要構成元件還有電容與電感等基本元件。在本章中，我們將介紹電路中的電容特性，其不同於電阻電路的是：電容可以將電源供應的能量儲存，也可以將能量釋放回電路，這是電容的充電與放電特性。另外，本章也將介紹靜電的電學特性及相關知識。

學習目標

- ▶ 認識電容器的構造與功能
- ▶ 瞭解電容器充電與放電的特性
- ▶ 學習電容器的串聯與並聯電路
- ▶ 學習電位與電場的基本觀念
- ▶ 學習靜電的電學特性與相關知識



本章目錄

5-1	電容器	192
5-2	電容量	196
5-3	電場與電位	209

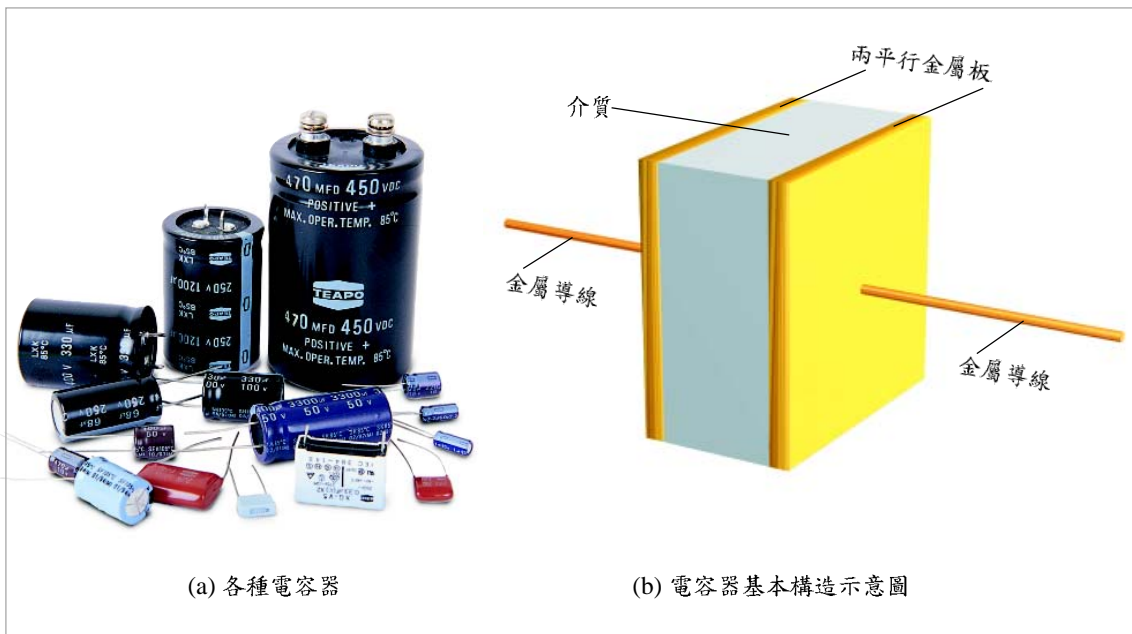


5-1 電容器

電容（capacitance）是指電路或電子裝置儲存電荷的能力，而專門用來儲存電荷的電子裝置或元件便稱為電容器（capacitor）。任何存在兩個導體間具有儲存電荷能力的裝置，就可以稱為電容器。

5-1.1 電容器的構造

圖 5-1(a)顯示各種不同電容器的實體外觀，而圖 5-1(b)是電容器的基本構造。電容器的構造很簡單，有兩條金屬導線連結至兩個平行的金屬板，而金屬板間利用不導電的物質隔開，這個不導電的物質稱為介電質（dielectric），簡稱為介質。介質的材料可以是紙張、空氣、玻璃、雲母、或其它的絕緣物質。

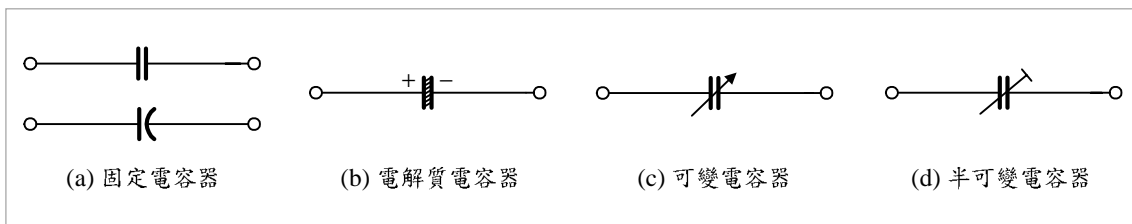


▲ 圖 5-1 電容器實體與電容器基本構造 電容器基本上是由兩片平行極板中間隔著不導電的介質所組成。

5-1.2 電容器的符號與規格

電容器的符號

一般電容器通常由兩片極板所組成，其符號如圖 5-2 所示。



▲ 圖 5-2 電容器的符號

電容器的規格

在使用電容器之前，必須先瞭解其標示的規格，以免在電路中誤用不適當的電容器。電容器的規格包含以下幾項：

- **電容量**：電容器儲存電荷的能力，以法拉（Farad，簡記 F）為單位。法拉的單位太大，實際的電容器一般是以微法拉（ μF ）、或微微法拉（pF）為單位；即 $1\text{F} = 10^6\mu\text{F} = 10^{12}\text{pF}$ 。
- **容許誤差**：以百分比（%）表示誤差範圍。
- **工作電壓（WV）**：電容器操作時的電壓限制，有時也標示突波電壓（SV）或峰值電壓（PV）的限制。
- **溫度限制**：電容器操作時的溫度範圍，以 $^{\circ}\text{C}$ 表示。
- **漏電流**：任何的介質都不是完美的絕緣體，因此電容器多少都會存在有漏電流。
- **絕緣電阻值**：通常在數千 $\text{M}\Omega$ 以上。
- **介質材料**：有紙張、空氣、玻璃、雲母、或其它的絕緣物質等。



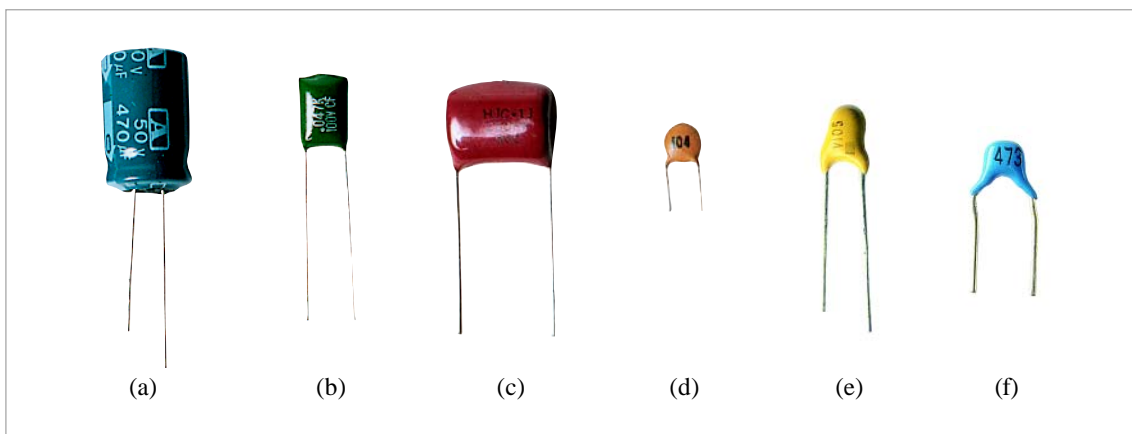
5-1.3 電容器的種類

電容器除了依兩金屬板間介質材料的不同作分類外，也可依電容量的值是否可以改變而區分為固定電容器與可變電容器兩大類。

固定電容器

固定電容器（fixed-value capacitor）是一種不能改變電容量大小的電容器，它的電容量大小永遠保持定值，其內部的構造原理都是利用兩片金屬板以不同的介質分隔。依介質的材料不同，又可將固定電容器細分為：

- 電解質電容器（electrolytic capacitor）；如圖 5-3(a)所示。
- 塑膠膜電容器（plastic-film capacitor）；如圖 5-3(b)、(c)所示。
- 陶瓷電容器（ceramic capacitor）；如圖 5-3(d)所示。
- 紙質電容器（paper capacitor）。
- 雲母電容器（mica capacitor）。
- 鉭質電解電容器（tantalum electrolytic capacitor）；如圖 5-3(e)所示。
- 積層電容器（multilayer capacitor）；如圖 5-3(f)所示。

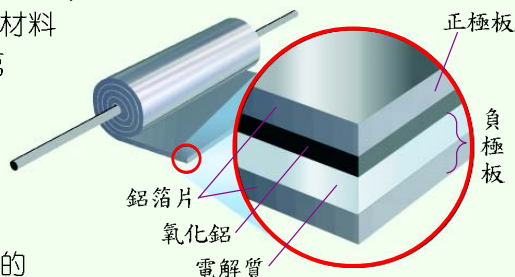


▲ 圖 5-3 常見的固定電容器 (a)為電解質電容器；(b)、(c)為塑膠膜電容器；(d)為陶瓷電容器；(e)為鉭質電解電容器；(f)為積層電容器。



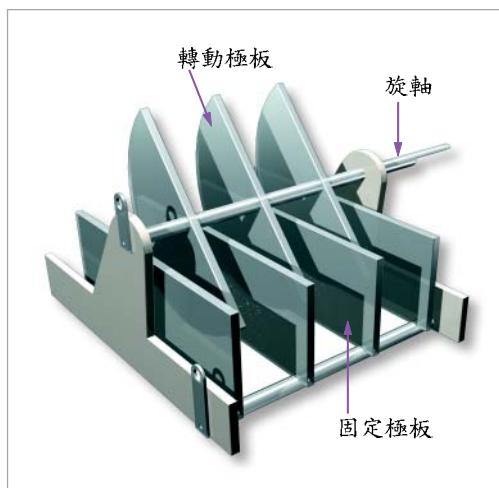
知識充電

電解質電容器可以有較大的電容量（可達數十萬 μF 以上），其結構為：兩片金屬極板（常用的材料為鋁箔片）間夾一層可導電的電解質，當第一次通上直流電源時，會在其中一層的鋁箔片上形成一層氧化物，此氧化鋁層即為電容器的介質。因此電解質電容器有正負極之分，若是將正負極反接，則氧化鋁層會變薄而導致電容器崩潰短路。另一種常用的金屬極板為鈹箔片，此種鈹質電解電容器有較高的電容量、較長的壽命、較寬的溫度範圍、及對溫度的穩定性較佳等優點。



可變電容器

可變電容器（variable-value capacitor）是一種可以改變電容值大小的電容器。一般而言，可變電容器的內部結構是由一個可轉動或是移動的金屬板和一個固定的金屬板組成，如圖 5-4 所示，金屬板間以介電質分隔，當改變金屬板間的有效面積或是距離時，電容值也隨著改變。我們依介質的材料不同，可將可變電容器再細分為以下四大類：



- 空氣可變電容器（air variable capacitor）。

▲ 圖 5-4 可變電容器示意圖 此為空氣型的可變電容器，轉動旋軸來改變轉動極板與固定極板間的有效面積，即可改變電容值的大小。

- 雲母修正電容器（mica trimmer capacitor）。

- 陶瓷修正電容器（ceramic trimmer capacitor）。

- 塑料修正電容器（plastic trimmer capacitor）。



單元評量



1. 電容器是兩個平行的金屬板被 _____ 所隔開的兩端元件。
2. 電容器依容量是否可以改變，而區分成 _____ 及 _____ 兩大類。
3. 畫出固定電容器的符號：_____，及可變電容器的符號：_____。

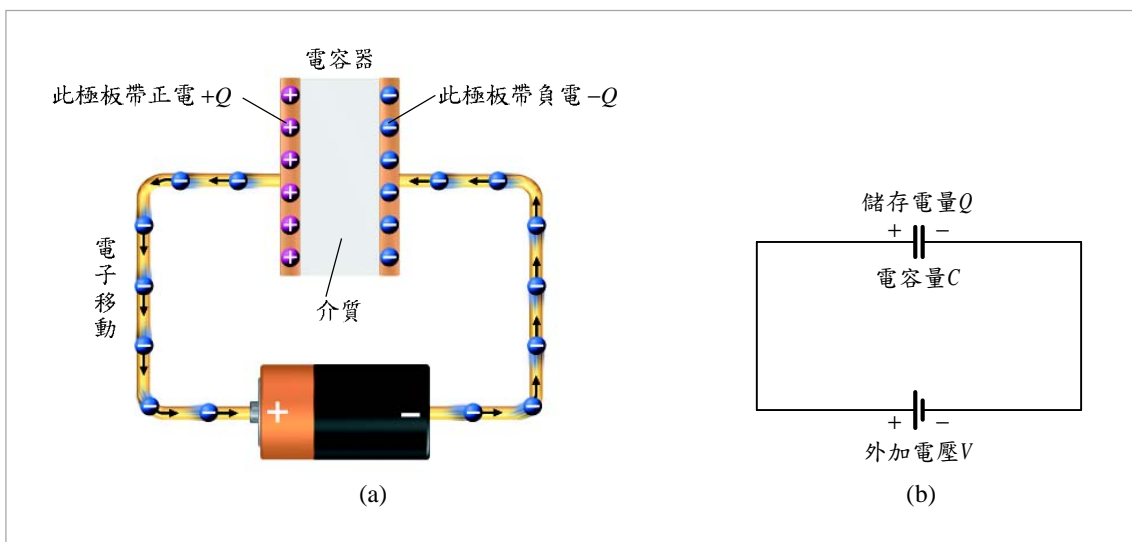
5-2 電容量

電容量是測量電容器儲存電能的標準，所使用的單位是法拉（**Farad**，簡記 **F**），這是為紀念英國科學家法拉第（**Michael Faraday**, 1791~1867）對電學研究的貢獻而命名。在本節中，我們將由電容量的觀點來看電容器的各種特性，並由基本的電容元件至電容器組合的電路，深入探討電容的各種基本性質。

5-2.1 電容量的單位與大小

電容量的單位

如圖 5-5 所示，一開始電容器的淨電荷為零，當電容器接上一電源時，左側金屬板中的電子會受到電源正極的吸引而離開極板，電子透過電源之電動勢的驅使，將移動至右側的金屬極板，直到電容器與電源兩端的電壓相等時，電子才停止移動。最後電容器左側極板上便帶有正電荷 $+Q$ ，而右側極板帶有負電荷 $-Q$ ，兩側極板所帶電量相等，只是正負不同，所以總淨電荷還是為零。當電源移除後，正負電荷還是會保留在電容器的極板中，因此電容器具有儲存電荷的能力。



▲ 圖 5-5 電容器儲存電荷的示意圖 電容器左側極板上的電子受電池的驅動移到右側極板，兩側極板之帶電量相等、正負不同，故淨電荷依然為零。

當電容器外加不同的電壓時，所儲存的電荷量也會不同，我們發現其儲存的電量與外加電壓成正比。因此我們可以定義一個電容器的電容量 C 為：單位電壓下所儲存的電量。以數學式表示為：

Σ 重要公式

$$C = \frac{Q}{V} \quad [\text{F, 法拉}] \quad (5-2-1)$$

其中， C 為電容量的大小，單位為法拉（F）； Q 為儲存電量的大小，單位為庫倫（C）； V 為外加電壓的大小，單位為伏特（V）。

1 法拉（F）相當於電容器在 1 伏特（V）電壓源的電路中，儲存有 1 庫倫（C）的電量。對於一般電路而言，1F 的電容單位過大，在實際電路中並不實用，而較常用的電容值是介於 $10^{-6} \sim 10^{-12}$ F 之間，即較實用的單位是 μF 或 pF ，如表 5-1 所列。

▼ 表 5-1 電容器常用單位

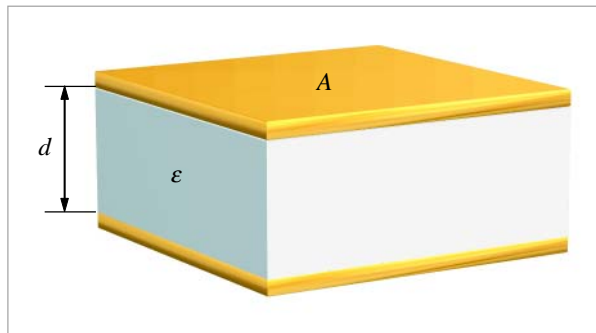
單位符號	中文名稱	數值大小
F	法拉	1F
μF 或 MFD	微法拉	$1\mu\text{F} = 10^{-6}\text{F}$
nF	奈法拉、毫微法拉	$1\text{nF} = 10^{-9}\text{F}$
pF 或 $\mu\mu\text{F}$	微微法拉	$1\text{pF} = 10^{-12}\text{F}$



電容量的大小

經研究顯示，決定一個電容器之電容量大小的因素有三項（如圖 5-6 所示）：

1. 電容器金屬極板的表面積（ A ，單位： m^2 ）。
2. 電容器兩平行極板間的距離（ d ，單位： m ）。
3. 電容器中所使用的介質（ ϵ ，單位： F/m ）。



▲ 圖 5-6 決定兩平行極板間電容量的因素 A 為金屬極板的表面積； d 為兩平行極板間的距離； ϵ 為兩平板間介質的介電係數。

上述中電容器所使用的介質，將會影響兩平行極板間所形成的電場大小（將在 5-3 節對電場有較詳細的說明），不同的介質會產生不同大小的電場，造成不同大小的電容量。

根據實驗的結果可知：電容量 C 與極板表面積 A 成正比，與平行極板間的距離 d 成反比，且與介質的介電係數（permittivity，或稱電容率）有關。以數學式表示為：

Σ 重要公式

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \quad [\text{F, 法拉}] \quad (5-2-2)$$

其中，介電係數 $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$ ， ϵ_0 為真空的介電係數（單位： F/m ）， $\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$ 為任一介質的介電係數與真空的介電係數之比值（無單位），稱為介電常數（dielectric constant）或相對電容率（relative permittivity）。

在 MKS 制的單位下，真空的介電係數 $\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \times 10^9} = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ 。
所以(5-2-2)式可改寫為：

Σ 重要公式

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} = 8.85 \times 10^{-12} \epsilon_r \frac{A}{d} \quad [\text{F, 法拉}] \quad (5-2-3)$$

表 5-2 列出各種不同介質的介電常數。

▼ 表 5-2 不同介質與真空比較的介電常數

物質	真空	空氣	紙	琥珀	雲母	陶瓷	玻璃	水
介電常數 ϵ_r	1.0	1.0006	2.5	2.65	5.0	6.0	7.5	78.0



範例 5-1

某一電容器所儲存的最大電量為 $20 \times 10^{-3} \text{C}$ ，其端電壓為 500V ，則電容量為多少？

【解】 $C = \frac{Q}{V} = \frac{20 \times 10^{-3} \text{C}}{500 \text{V}} = 0.04 \times 10^{-3} \text{F} = 40 \mu\text{F}$ (微法拉)

馬上練習 有一電容器為 $6 \mu\text{F}$ ，其端電壓為 120V ，則其所儲存之最大電量為多少？

【答】 $Q = 720 \mu\text{C}$ 。



範例 5-2

有一個電容器利用紙質當成介質，電容器中的極板表面積為 0.02m^2 ，兩平行板相距 0.001m ，試求此電容器的電容量為多少？

【解】由(5-2-3)式及表 5-2，得電容器的電容量為：

$$\begin{aligned} C &= 8.85 \times 10^{-12} \epsilon_r \frac{A}{d} = (8.85 \times 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}})(2.5)(\frac{0.02 \text{m}^2}{0.001 \text{m}}) \\ &= 442.5 \times 10^{-12} \text{F} = 442.5 \text{ pF} \end{aligned}$$

馬上練習 有一物質，已知其介電係數 $\epsilon = 17.7 \times 10^{-12} \text{F/m}$ ，試求此物質之介電常數 ϵ_r 為多少？

【答】 $\epsilon_r = 2$ 。



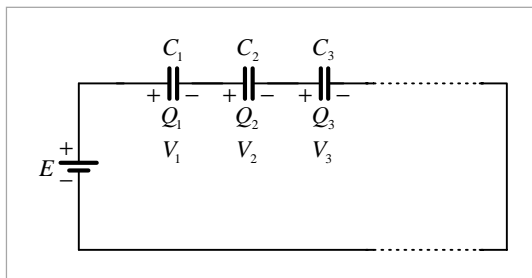
5-2.2 電容器的串並聯

電容器的串聯

圖 5-7 為電容器串聯電路，其各項電路特性分析如下。

電量

串聯電路中流過各元件的電流均相同，且根據 $Q = I \cdot t$ 的關係式，可知串聯電路中各電容器的電量均相等，即：



▲ 圖 5-7 電容器串聯電路

Σ 重要公式

$$Q_T = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots \quad (5-2-4)$$

電壓

串聯電路的總電壓降等於各電容器電壓降的和，即：

Σ 重要公式

$$E = V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots \quad (5-2-5)$$

電容

由電容的定義（ $V = \frac{Q}{C}$ ），可將(5-2-5)式改寫成：

$$\frac{Q_T}{C_T} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \frac{Q_3}{C_3} + \dots = \frac{Q_T}{C_1} + \frac{Q_T}{C_2} + \frac{Q_T}{C_3} + \dots$$

將上式等號兩邊的 Q_T 消去，可得串聯電路的總電容量倒數等於各電容器電容量倒數的和，即：

Σ 重要公式

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots \quad (5-2-6)$$

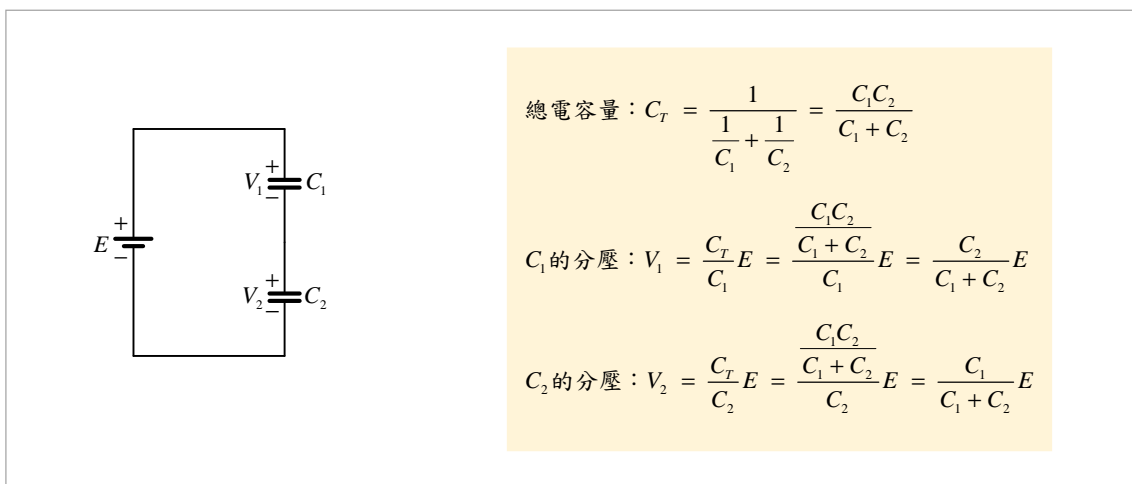
各電容器的電壓分配

串聯電路中各電容器的電壓分配為：

Σ 重要公式

$$V_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{Q_T}{C_1} = \frac{C_T E}{C_1}, V_2 = \frac{C_T E}{C_2}, V_3 = \frac{C_T E}{C_3}, \dots \quad (5-2-7)$$

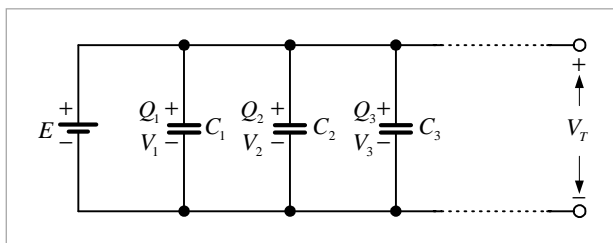
以兩電容器串聯電路為例，如圖 5-8 所示。



▲ 圖 5-8 兩電容器串聯電路 串聯時，各電容器的分壓與其電容量成反比。

電容器的並聯

圖 5-9 為電容器並聯電路，其各項電路特性分析如下。



▲ 圖 5-9 電容器並聯電路



電量

並聯電路的總電流等於各分路電流的和，且根據 $Q = I \cdot t$ 的關係式，可知並聯電路的總電量等於各電容器電量的和，即：

Σ 重要公式

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \cdots \quad (5-2-8)$$

電壓

並聯電路中各電容器的電壓降均相等，即：

Σ 重要公式

$$E = V_T = V_1 = V_2 = V_3 = \cdots \quad (5-2-9)$$

電容

由電容的定義（ $Q = CV$ ），可將(5-2-8)式改寫成：

$$C_T V_T = C_1 V_1 + C_2 V_2 + C_3 V_3 + \cdots = C_1 V_T + C_2 V_T + C_3 V_T + \cdots$$

將上式等號兩邊的 V_T 消去，可得並聯電路的總電容量等於各電容器電容量的和，即：

Σ 重要公式

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots \quad (5-2-10)$$

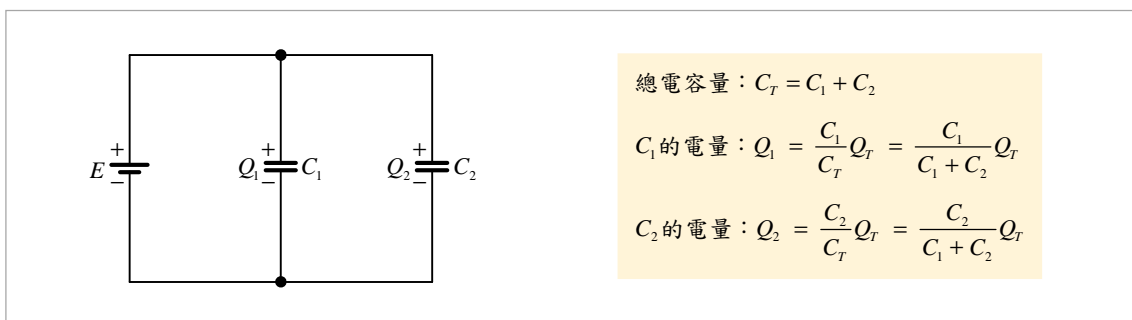
各電容器的電荷分配

並聯電路中各電容器的電荷分配為：

Σ 重要公式

$$Q_1 = C_1 V_1 = C_1 V_T = C_1 \frac{Q_T}{C_T}, Q_2 = C_2 \frac{Q_T}{C_T}, Q_3 = C_3 \frac{Q_T}{C_T}, \cdots \quad (5-2-11)$$

以兩電容器並聯電路為例，如圖 5-10 所示。



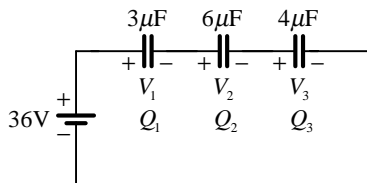
▲ 圖 5-10 兩電容器並聯電路 並聯時，各電容器所帶的電量與其電容量成正比。



範例 5-3

如右圖所示電路，試求：

- (1) 總電容量 C_T
- (2) 總電量 Q_T
- (3) 每個電容器之電量
- (4) 每個電容器之端電壓 為多少？



【解】(1) $\frac{1}{C_T} = \frac{1}{3\mu\text{F}} + \frac{1}{6\mu\text{F}} + \frac{1}{4\mu\text{F}} = \frac{9}{12\mu\text{F}} \quad \therefore C_T = \frac{12\mu\text{F}}{9} = \frac{4}{3} \mu\text{F}$

(2) $Q_T = C_T E = (\frac{4}{3} \mu\text{F})(36\text{V}) = 48 \mu\text{C}$

(3) $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_T = 48 \mu\text{C}$

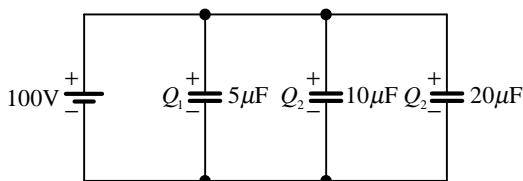
(4) $V_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{48\mu\text{C}}{3\mu\text{F}} = 16 \text{ V} \quad V_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{48\mu\text{C}}{6\mu\text{F}} = 8 \text{ V}$

$V_3 = \frac{Q_3}{C_3} = \frac{48\mu\text{C}}{4\mu\text{F}} = 12 \text{ V}$

馬上練習

如右圖所示電路，試求：

- (1) 總電容量 C_T
- (2) 總電量 Q_T
- (3) 每個電容器之電量 為多少？



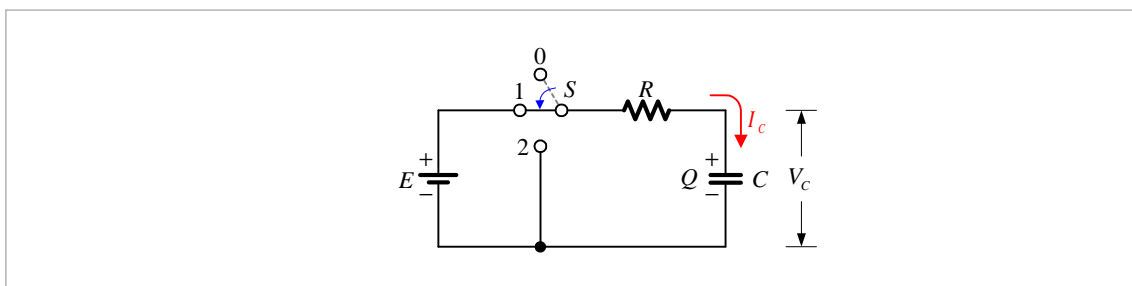
- 【答】(1) $C_T = 35 \mu\text{F}$
- (2) $Q_T = 3500 \mu\text{C}$
- (3) $Q_1 = 500 \mu\text{C}$, $Q_2 = 1000 \mu\text{C}$, $Q_3 = 2000 \mu\text{C}$ 。



5-2.3 電容器的充電與放電

電容器的充電

電容器接上電源後，電動勢驅使正極板上的電子移動到負極板上，使電容器兩端極板分別帶有正負電荷，此過程稱為**充電（charging）**。其充電時電荷、電壓、電流變化的過程說明如下（如圖 5-11 所示電路）：

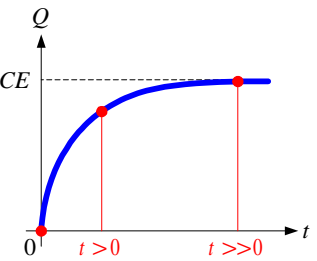
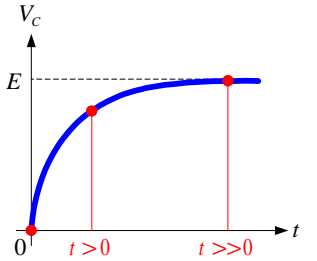
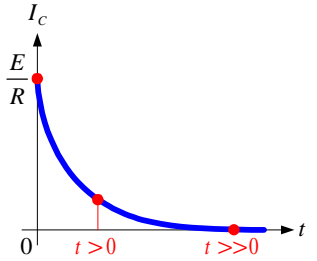


▲ 圖 5-11 電容器的充電過程 在充電的過程中，電荷 Q 逐漸增加；電壓 V_C 逐漸增加；電流 I_C 逐漸減小。

1. 一開始開關 S 在 0 的位置，電容器中沒有電荷（ $Q=0$ ），電壓為零（ $V_C=0$ ），電路為斷路，充電電流為零（ $I_C=0$ ）。
2. 當開關 S 切換到 1 的位置瞬間，電路導通，電容器開始充電，則電荷準備由 0 開始增加（ $Q=0$ ），此時電容器兩端視為短路（ $V_C=0$ ），充電的電流最大（ $I_C = \frac{E}{R}$ ）。
3. 經過短暫時間後，電容器的電荷增加（ $Q \neq 0$ ），兩端的電壓也增加（ $V_C \neq 0$ ），此時充電電流逐漸減小（ $I_C = \frac{E - V_C}{R}$ ）。
4. 經過一段時間後，電容器充電飽和（ $Q = CV_C = CE$ ），兩端的電壓與電源一致（ $V_C = E$ ），此時充電電流停止（ $I_C = 0$ ）。

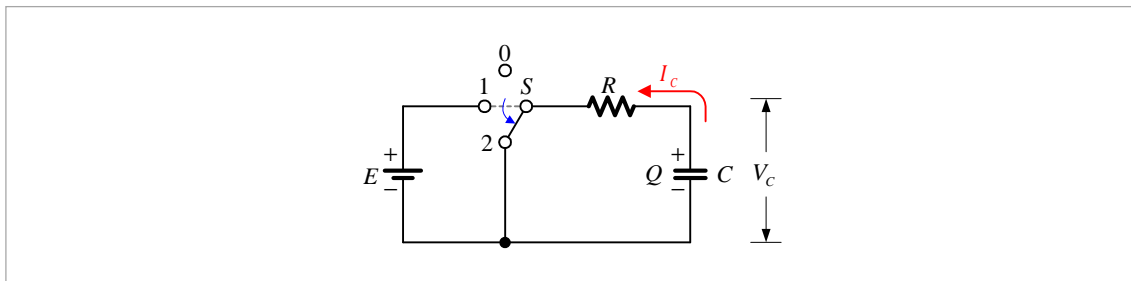
我們將整個充電過程中電荷、電壓、電流的變化整理如表 5-3 所示。

▼ 表 5-3 電容器的充電過程

電容器充電時， Q 、 V_C 、 I_C 的變化情形		
		
$t = 0$ (S 由 $0 \rightarrow 1$ 瞬間)	$t > 0$ (短暫時間後)	$t \gg 0$ (一段時間後)
$Q = 0$ $V_C = 0$ $I_C = \frac{E}{R}$ (最大)	Q 增加 V_C 增加 I_C 減小	$Q = CE$ (飽和) $V_C = E$ (最大) $I_C = 0$

電容器的放電

電容器充滿電荷後將電源移除，則正負電荷會保存在電容器上。此時若將電容器兩端極板以導線連接，則負極板上的電子會沿導線流回正極板而中和電性，此過程稱為放電（discharging）。其放電時電荷、電壓、電流變化的過程說明如下（如圖 5-12 所示電路）：



▲ 圖 5-12 電容器的放電過程 在放電的過程中，電荷 Q 逐漸減少；電壓 V_C 逐漸減小；電流 I_C 逐漸減小（反方向）。



1. 一開始開關 S 在 1 的位置，電容器充滿電荷（ $Q = CV_c = CE$ ），電壓最大（ $V_c = E$ ），電流為零（ $I_c = 0$ ）。
2. 當開關 S 切換到 2 的位置瞬間，電容器開始放電，電荷準備開始減少（ $Q < CE$ ），此時電容器兩端電壓不變（ $V_c = E$ ），放電的電流最大（ $I_c = -\frac{E}{R}$ ，負號表示與充電電流方向相反）。
3. 經過短暫時間後，電容器的電荷增減少（ $Q < CE$ ），兩端的電壓也減小（ $V_c < E$ ），此時放電電流逐漸減小（ $I_c = -\frac{V_c}{R}$ ）。
4. 經過一段時間後，電容器放電完畢，電荷為零（ $Q = 0$ ），電壓為零（ $V_c = 0$ ），此時放電電流停止（ $I_c = 0$ ）。

我們將整個放電過程中電荷、電壓、電流的變化整理如表 5-4 所示。

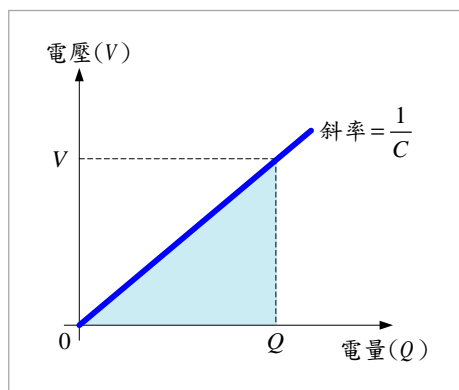
▼ 表 5-4 電容器的放電過程

電容器放電時， Q 、 V_c 、 I_c 的變化情形		
$t = 0$ (S 由 1 \rightarrow 2 瞬間)	$t > 0$ (短暫時間後)	$t \gg 0$ (一段時間後)
$Q = CE$ (飽和)	Q 減少	$Q = 0$
$V_c = E$ (最大)	V_c 減小	$V_c = 0$
$I_c = -\frac{E}{R}$ (反方向最大)	I_c 減小 (反方向)	$I_c = 0$

電容器儲存能量

電容器充電的過程中，電源做功移動電容器中的電荷，使電容器的兩端具有電位差，而電源所作的功便以電能的形式儲存在電容器中。當充電的電容器接上一電阻器（或其它電子裝置），電容器便會在放電的過程中將能量釋放出來，使電流流過電阻器，讓能量以熱能的形式由電阻器耗散出去。

根據電能的公式： $W = QV$ ，可知能量是與電荷（電量）及所加的電壓有關；又由(5-2-1)式： $C = \frac{Q}{V} \Rightarrow V = \frac{1}{C}Q$ ，可知一電容器儲存的電荷量與兩端所加的電壓成正比關係，其曲線圖如圖 5-13 所示。因為電容器在充電過程中，電量與電壓都是由零開始累積增加，所以電容器儲存的能量為圖 5-13 中電壓 - 電量關係曲線上涵蓋的三角形面積，以數學式表示為：



▲ 圖 5-13 電容器儲存的能量 電容器中儲存的電荷量與兩端所加的電壓成正比。

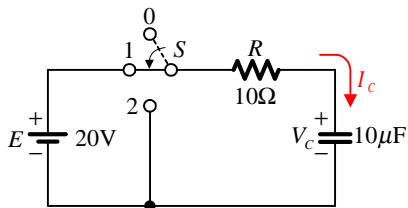
Σ 重要公式

$$W_c = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} \quad [\text{J, 焦耳}] \quad (5-2-12)$$



範例 5-4

如右圖所示電路，將開關 S 切換到位置 1，試求：(1) 瞬間 $t=0$ (2) $t \gg 0$ 時之電容器電量 Q 、端電壓 V_c 及充電電流 I_c 為多少？



【解】(1) $t=0$ 時

$$Q = I_c t = 0$$

$$V_c = \frac{Q}{C} = 0$$

$$I_c = \frac{E}{R} = \frac{20\text{V}}{10\Omega} = 2\text{A}$$

(2) $t \gg 0$ 時

$$Q = CE = (10\mu\text{F})(20\text{V}) = 200\mu\text{C}$$

$$V_c = E = 20\text{V}$$

$$I_c = \frac{E - V_c}{R} = 0$$



馬上練習 承上題，一段時間後，將開關 S 由 1 切換至 2，試求瞬間 $t=0$ 時之電容器電量 Q 、端電壓 V_C 及充電電流 I_C 為多少？

【答】 $Q = 200 \mu\text{C}$ ， $V_C = 20 \text{ V}$ ， $I_C = -2 \text{ A}$ 。



範例 5-5

有一 $100 \mu\text{F}$ 的電容器，試求接上 300 V 的電壓時，其儲存之能量及電量為多少？

【解】(1) $W_C = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} (100 \times 10^{-6} \text{ F})(300 \text{ V})^2 = 4.5 \text{ J}$

(2) $Q = CV = (100 \times 10^{-6} \text{ F})(300 \text{ V}) = 0.03 \text{ C}$

馬上練習 有一 $100 \mu\text{F}$ 的電容器，若其儲存有 2 焦耳的能量，試求電容器上儲存的電量為多少？

【答】 $Q = 0.02 \text{ C}$ 。



單元評量



1. 影響電容器之電容值的三個因素為 _____、_____、_____。
2. 平行極板間的電容量與 _____ 成正比，與 _____ 成反比。
3. 一電容器以空氣為介質時為 $5 \mu\text{F}$ ，若改以雲母為介質時（ $\epsilon_r = 5$ ）其電容量為 _____ μF 。
4. 電容量為 $20 \mu\text{F}$ 之電容器，接於 100 V 的電源，其儲存的電荷量為 _____ C 。
5. 將 $2 \mu\text{F}$ 、 $4 \mu\text{F}$ 、 $8 \mu\text{F}$ 、 $16 \mu\text{F}$ 四個電容器串聯，則總電容量為 _____ μF 。
6. 電容器的平行極板間以空氣為介質，極板表面積為 0.4 平方公分，若兩極板間的距離為 0.02 公分，則其電容量為 _____ pF 。
7. A、B 兩電容器，充以相同的電荷後，測得 A 電壓為 B 電壓的 5 倍，則 A 的電容量為 B 電容量的 _____ 倍。
8. 1 pF 的電容值等於 _____ nF 。
9. 由兩平行極板組成的電容器，若將兩平行極板的各邊長變為二倍，兩極板間的距離變為原來的一半，則電容量變為原來的 _____ 倍。
10. 若電容器的極板面積變為原來的 2 倍，兩極板間的距離也變為原來的 2 倍，則電容量變為原來的 _____ 倍。

5-3 電場與電位

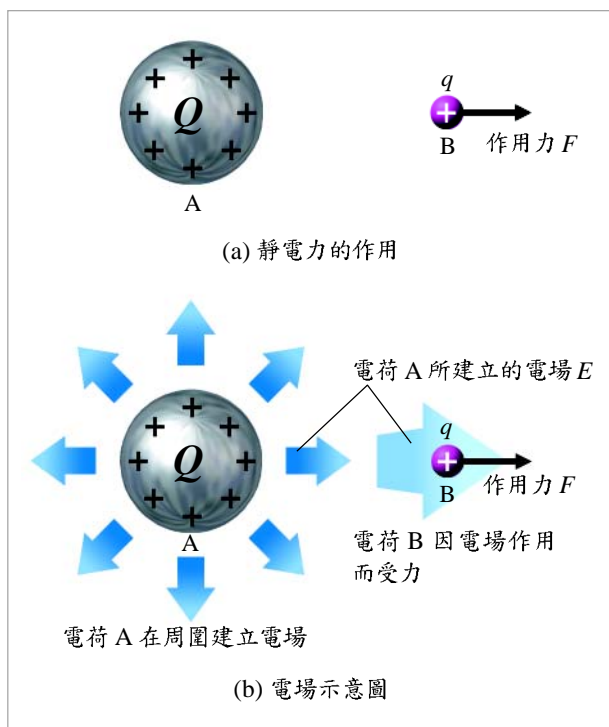
只要有帶電粒子的存在，就會在空間中產生電場（electric field）；如前面所介紹的電容器在充電後，其內部便會形成電場，藉以儲存能量，而電容器的兩端也會有電位差。以下我們將對電場與電位做更進一步的討論。

5-3.1 電場與電力線

電場的建立

我們在第一章時便介紹過靜電荷具有同性相斥、異性相吸之力的作用特性，且兩電荷間的作用力可用庫侖定律來描述。那麼如何解釋電荷間的作用力呢？科學家們為了方便描述靜電力的效應，便引進電場的概念來說明電荷間的交互作用。

圖 5-14 中有兩個帶電體 A、B，圖(a)中顯示電荷 B 因為電荷 A 的存在而受到一個力的作用，若是沒有電荷 A 則電荷 B 不會受力（同理，電荷 A 也因電荷 B 的存在而受力）；所以我們可以說電荷 A 改變了附近空間的性質，使得只要有帶電體（電荷 B 或其它電荷）靠近，就會使帶電體受力。在此狀態中，我們說電荷 A 在其周圍“建立”了一個電場（簡記為 E ），電荷 B 則是因為此電場的作用而受力，如圖(b)所示。

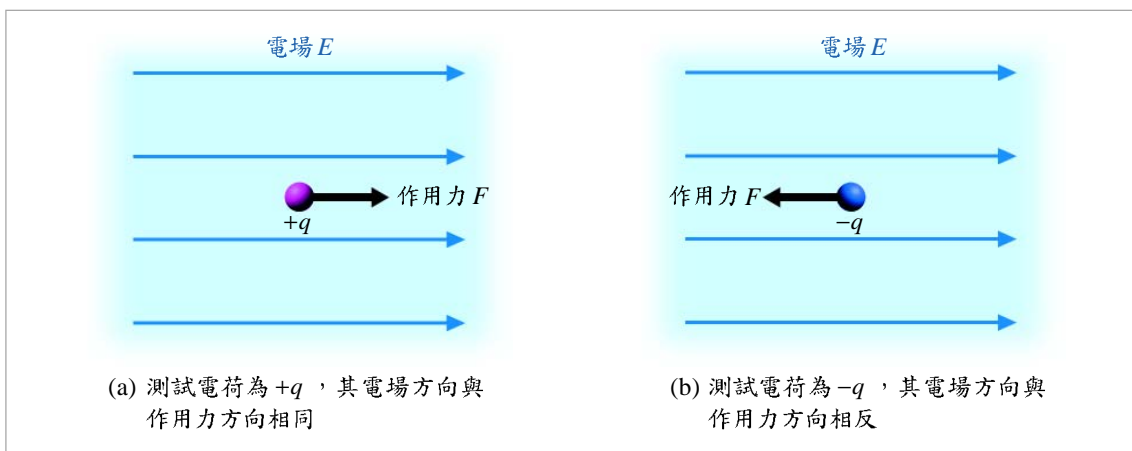


▲ 圖 5-14 電場的建立示意圖



電場定義

經由上述的說明，我們可以對電場下一個定義：**帶電體所建立的電場為其電力作用所及的空間**。要如何確認空間中有電場的存在？只要拿一個測試電荷放入空間中，若是有受到力的作用，則表示空間中有電場的存在。通常我們會希望測試電荷所帶的電量很小，以避免影響受測電場的空間分佈（測試電荷會影響到建立電場之帶電體的電荷分佈）。電場具有**方向性**，因為它是代表電荷的受力情形，如圖 5-15 所示。



▲ 圖 5-15 電場的檢驗 將測試電荷放入空間中，若有受到力的作用，則表示此處有電場的存在。

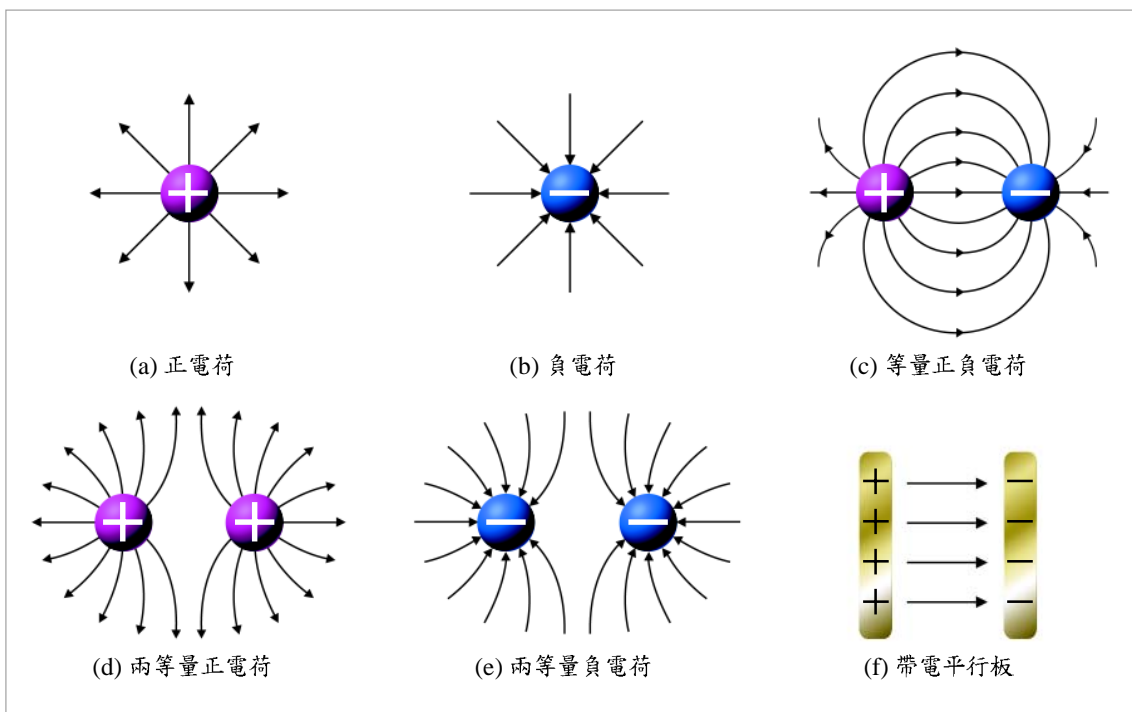
電力線定義

空間中的電場肉眼看不見，我們可以引進法拉第提出的**電力線**（electric line of force）概念來描述電場。電力線並非實際的物理量，它只是將電場以實際的線條繪出，用來描述電場在空間的分佈情形。其特性歸納如下：

1. 電力線是用來描述電場存在的方向與強度，電力線的切線方向就是電場（電荷受力）的方向。
2. 電力線起始於正電荷而終止於負電荷，即其方向由正電荷指向負電荷。
3. 電力線與電力線間永遠不相交。
4. 電場的強度與單位面積內的電力線成正比，所以電力線較密的區域表示電場的強度較強。

5. 當電荷分佈達到平衡狀態時，每條電力線都垂直於導體表面，但導體內部電場為零，不存在電力線。

我們將幾種常見電場分佈的電力線描繪圖出來，如圖 5-16 所示。



▲ 圖 5-16 電力線的概念示意圖 電力線起始於正電荷而終止於負電荷，且電力線間永不相交。

5-3.2 電場強度與電通密度

電場強度

由上述可知，電場與電荷所受的靜電作用力有關，所以我們定義空間中某點的電場強度（electric intensity）為：一單位電荷在該點所受到的靜電作用力。以數學式表示為：

Σ 重要公式

$$E = \frac{F}{q} \quad [\text{N/C, 牛頓／庫侖}] \quad (5-3-1)$$

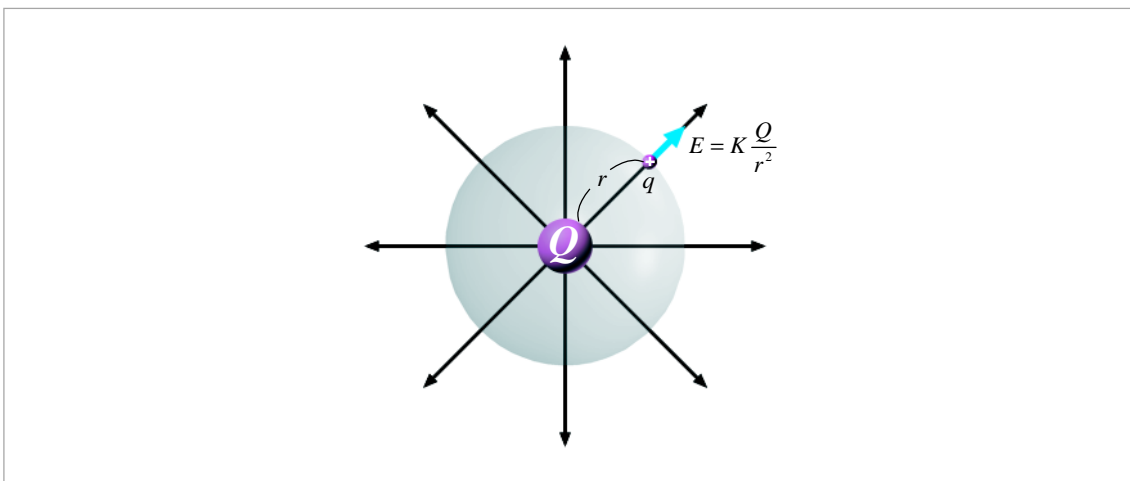


其中 E 為電場強度（或簡稱電場），單位為牛頓／庫侖。若以一點電荷 Q 為例，根據庫侖定律，其所建立的電場強度（如圖 5-17 所示）為：

Σ 重要公式

$$E = \frac{F}{q} = \frac{K \frac{Qq}{r^2}}{q} = K \frac{Q}{r^2} \quad [\text{N/C, 牛頓／庫侖}] \quad (5-3-2)$$

其中 $K = \frac{1}{4\pi\epsilon} = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ （真空中）。



▲ 圖 5-17 電荷 Q 的電場強度 定義為單位電荷在該點所受到的靜電力。

綜合上述，將電場強度整理如表 5-5。

▼ 表 5-5 電場強度的大小

單位制	公式	單位	真空中（空氣中）
MKS 制	$E = \frac{F}{q} = K \frac{Q}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q}{r^2} = 9 \times 10^9 \frac{1}{\epsilon_r} \frac{Q}{r^2}$ $(\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r)$	E ：牛頓／庫侖 F ：牛頓 Q ：庫侖 r ：公尺	$E = 9 \times 10^9 \frac{Q}{r^2}$ $(\epsilon_r = 1)$
CGS 制	$E = \frac{F}{q} = K \frac{Q}{r^2} = \frac{1}{\epsilon} \frac{Q}{r^2} = \frac{1}{\epsilon_r} \frac{Q}{r^2}$ $(\epsilon_0 = 1 \Rightarrow \epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r = \epsilon_r)$	E ：達因／靜庫 F ：達因 Q ：靜電庫侖 r ：公分	$E = \frac{Q}{r^2}$ $(\epsilon_r = 1)$

電通密度

電力線代表的是某電荷所建立的電場，電場中通過的電力線總數稱為**電通量**（electric flux，簡記為 ψ ）。當電荷所帶的電量愈大時，其建立的電場也愈強，因此電場中電力線的多寡與電荷帶電量成正比。在 MKS 制中，定義**電荷產生的電力線總數等於其所帶電量**，即電通量為：

Σ 重要公式

$$\psi = Q \quad [C, \text{庫侖}] \quad (5-3-3)$$

當某處電力線的密度愈高時，表示該處電場強度愈強。我們定義**電通密度**（electric flux density，簡記為 D ）為單位面積所通過的電力線總數（電通量），即：

Σ 重要公式

$$D = \frac{\psi}{A} \quad [C/m^2, \text{庫侖/平方公尺}] \quad (5-3-4)$$

則電通密度與電場強度成正比關係，以數學式表示為：

Σ 重要公式

$$D = \epsilon E \quad [C/m^2, \text{庫侖/平方公尺}] \quad (5-3-5)$$

其中的比例常數 ϵ 即為介質的介電係數。表 5-6 列出在不同單位下的電通量與電通密度。

▼ 表 5-6 電通量與電通密度

單位制	公式	單位
MKS 制	$\psi = Q$ $D = \frac{\psi}{A} = \frac{Q}{A}$	ψ ：庫侖 A ：平方公尺 D ：庫侖/平方公尺
CGS 制	$\psi = 4\pi Q$ $D = \frac{\psi}{A} = \frac{4\pi Q}{A}$	ψ ：線 A ：平方公分 D ：線/平方公分

**範例 5-6**

將一只 $+5 \times 10^{-6}$ 庫侖之電荷置於電場中，若此電荷受力 2×10^{-3} 牛頓，試求此電荷所在位置的電場強度為多少？

【解】 $E = \frac{F}{q} = \frac{2 \times 10^{-3} \text{ N}}{5 \times 10^{-6} \text{ C}} = 4 \times 10^2 \text{ N/C (牛頓/庫侖)}$

馬上練習

某空間電場強度為 5 牛頓/庫侖，若在其中放置一只帶 $+5 \times 10^{-3}$ 庫侖之電荷，試求此電荷受力多少？

【答】 $F = 0.025$ 牛頓。

**範例 5-7**

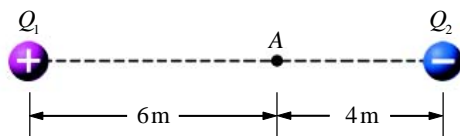
有一只電荷帶有 2×10^{-9} 庫侖之電量於空氣中，試求距離此電荷 6 公尺處之電場強度為多少？

【解】於空氣中， $\epsilon_r \cong 1$

$$E = 9 \times 10^9 \frac{Q}{\epsilon_r r^2} = (9 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}) \frac{2 \times 10^{-9} \text{ C}}{(1)(6\text{m})^2} = 0.5 \text{ N/C (牛頓/庫侖)}$$

馬上練習

如右圖所示， $Q_1 = +36 \times 10^{-9}$ 庫侖， $Q_2 = -32 \times 10^{-9}$ 庫侖，兩電荷相距 10 公尺，試求 A 點的電場強度為多少？



【答】 $E = 27$ 牛頓/庫侖。

**範例 5-8**

在空間中，空氣為介質，若某點之電場強度為 2×10^6 牛頓/庫侖，試求該點之電通密度為多少？

【解】 $D = \epsilon E = (\epsilon_0 \epsilon_r) E = (8.85 \times 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \times 1) (2 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{C}})$
 $= 1.77 \times 10^{-5} \text{ C/m}^2 \text{ (庫侖/平方公尺)}$

馬上練習

承上題，若將介質改為雲母 ($\epsilon_r = 5$)，則該點之電通密度變為多少？

【答】 $D = 8.85 \times 10^{-5}$ 庫侖/平方公尺。

5-3.3 電位與電位梯度

電位

在第一章中曾提過，電荷在空間中因受靜電力的作用而具有電位，而空間中某點的電位即為一單位正電荷在該點所具有的電位能，亦即將單位正電荷由無窮遠處（不受電力作用、電場為零、電位能為零）移至該點所作的功。數學式為：

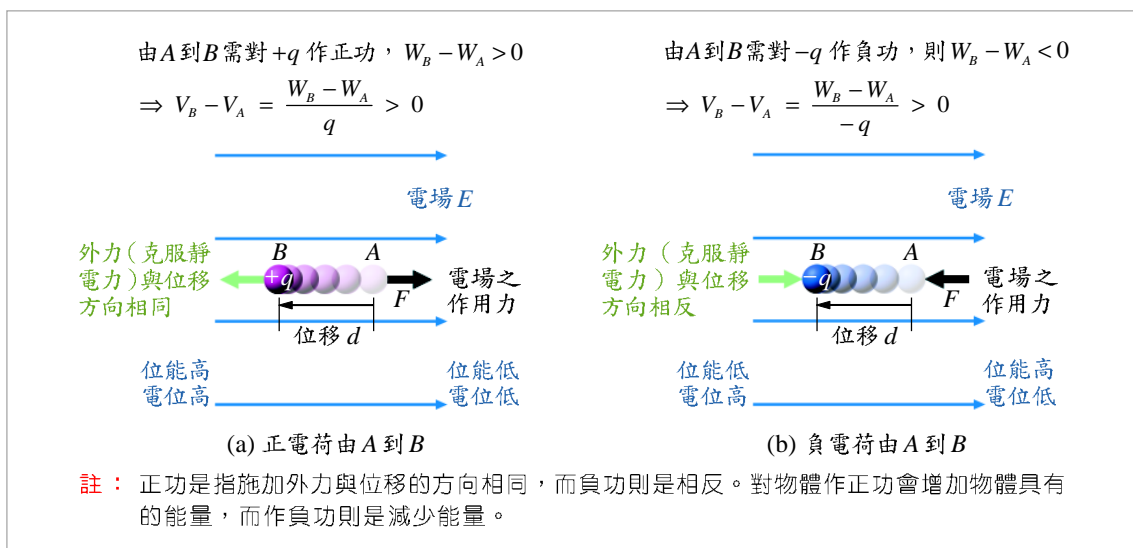
$$V_x = \frac{W_x}{Q} \quad [\text{V, 伏特}]$$

因此，將一電荷 q 由空間中的 A 點移至 B 點，其兩點間的電位差為：

Σ 重要公式

$$V_B - V_A = \frac{W_B - W_A}{q} = V_{BA} \quad [\text{V, 伏特}] \quad (5-3-6)$$

若有一電荷在電場中，則其電位高低與電場方向的關係如圖 5-18 所示，由圖中可知電位是沿電場方向降低。



▲ 圖 5-18 電場方向與電位高低 在電場中，電位大小沿電場方向降低。



考慮一點電荷 Q ，其所建立的電場強度如(5-3-2)式所示。欲求距離電荷 Q 為 r 時的電位大小，可將一單位正電荷 q 由無窮遠處移至 r 的位置，其所需作的功為：

Σ 重要公式

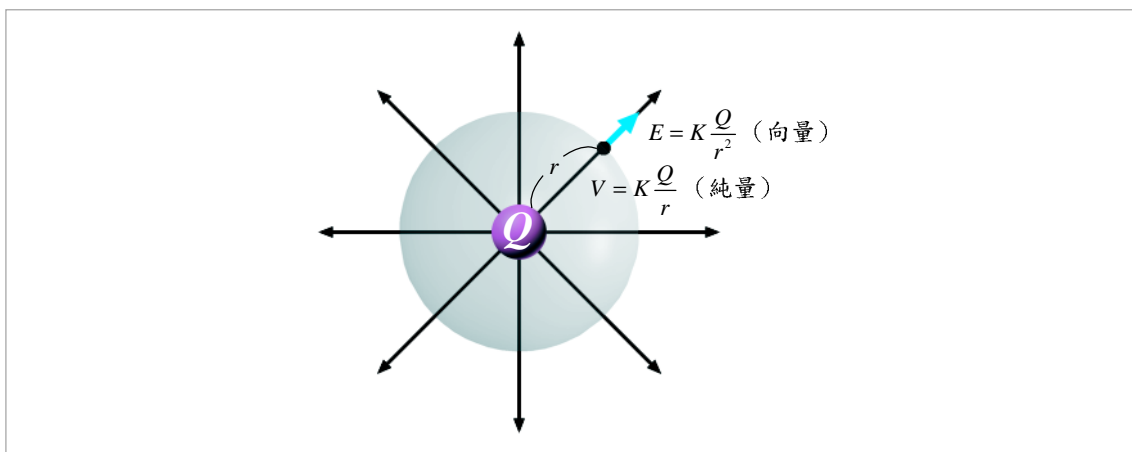
$$W_r = K \frac{Qq}{r} \quad [\text{J, 焦耳}] \quad (5-3-7)$$

根據電位的定義可得：

Σ 重要公式

$$V_r = \frac{W_r}{q} = \frac{K \frac{Qq}{r}}{q} = K \frac{Q}{r} \quad [\text{V, 伏特}] \quad (5-3-8)$$

上式中 V_r 為距離電荷 Q 為 r 時的電位大小，其值為純量，如圖 5-19 所示。



▲ 圖 5-19 電荷 Q 的電位大小 電荷 Q 的電位 V 與距離 r 成反比，電場 E 與距離 r 成平方反比。



知識充電

將一單位正電荷 q 由無窮遠處移至距離電荷 Q 為 r 的位置，在計算這過程所作的功時，須用到微積分的技巧：

$$W_r = \int_r^\infty F dr = \int_r^\infty K \frac{Qq}{r^2} dr = K \frac{Qq}{r}$$

在此我們並不詳加解釋計算過程，同學們只要有初步的概念即可。

電位梯度

在一電場中，電位的大小會隨著不同的位置而有所變化。考慮兩點間的電位關係隨著位置而變化，我們定義**電位梯度**（potential gradient，簡記為 g ）為任意兩點間每單位長度的電位差。若兩點間的距離為 d ，電位差為 V ，則：

Σ 重要公式

$$g = \frac{V}{d} \quad [\text{V/m, 伏特/公尺}] \quad (5-3-9)$$

以平行電極板所建立的電場為例，由圖 5-20 可看出電力線的密度並不隨著位置改變，即平行電極板建立的電場為一均勻電場。兩電極板間的電位梯度可由(5-3-9)式求得。

若在平行電極板間放入一電荷 q ，欲將電荷 q 由負極板移至正極板處，須作功： $W = Fd = qEd$ ，根據(5-3-6)式，可得兩電極板間的電位差為：

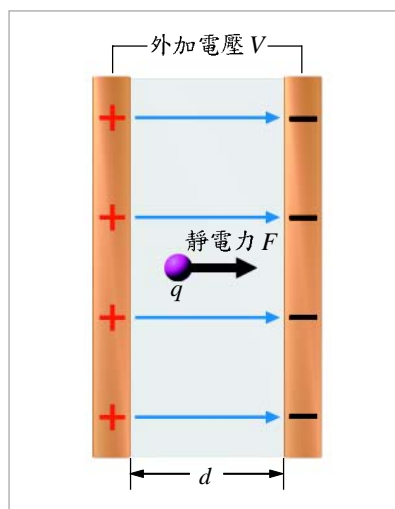
$$V = \frac{W}{q} = \frac{qEd}{q} = Ed \quad [\text{V, 伏特}] \quad (5-3-10)$$

上式重新整理後可得：

Σ 重要公式

$$E = \frac{V}{d} \quad [\text{V/m, 伏特/公尺；N/C, 牛頓/庫侖}] \quad (5-3-11)$$

由上式可看出：平行帶電極板的電場強度等於其電位梯度。其實，在任一空間或介質中，某位置的電位梯度大小即是代表該點的電場強度大小。



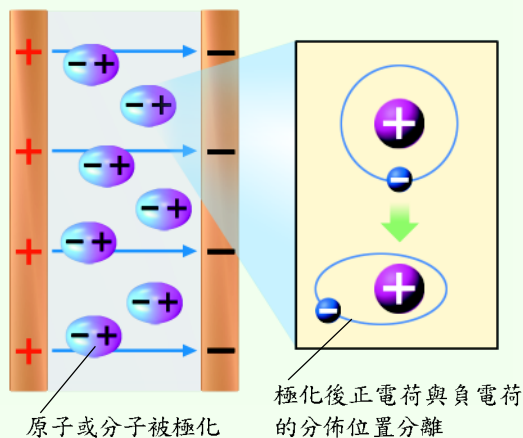
▲ 圖 5-20 平行帶電極板的電場與電位梯度 平行帶電極板中的電場強度大小等於電位梯度。



知識充電

在電容器中，兩平行電極板間的介質是用來絕緣，當電容器外加一電壓時，平行極板中的介質會產生極化（polarization）的現象。若是外加的電壓過高，介質中的電場太強，將使得極化的原子或分子崩潰，產生可導電的自由電子或游離離子，而造成電容器短路。因此每種介質材料的絕緣強度也是有其限制，我們定義絕緣體的介質強度（dielectric strength）為單位厚度所能承受的最大電壓，即介質強度是以電位梯度來表示，常用的單位為 kV/cm 。下表列出常見幾種介質的介質強度。

介質材料	介質強度 (kV/cm)
空氣	30
油	150
樹脂	150
陶瓷	390
蠟紙	470
雲母	590
玻璃	780



範例 5-9

將一只 $+5 \times 10^{-2}$ 庫侖之電荷自 B 點移至 A 點，若 B 點之能量為 10 焦耳， A 點之能量為 30 焦耳，試求兩點之電位差 V_{AB} 為多少？

$$\begin{aligned}
 \text{【解】 } V_{AB} &= V_A - V_B = \frac{W_A - W_B}{q} \\
 &= \frac{30\text{J} - 10\text{J}}{5 \times 10^{-2}\text{C}} = 400\text{V}
 \end{aligned}$$

馬上練習

已知電場中有 A 、 B 兩點， $V_A = 200\text{V}$ ， $V_B = 500\text{V}$ ，若將一只 $+5 \times 10^{-3}\text{C}$ 之電荷自 A 點移至 B 點，試求需作功多少？

【答】 $W = 1.5\text{J}$ 。

**範例 5-10**

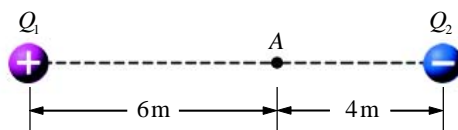
有一隻電荷帶有 6×10^{-9} 庫侖之電量於空氣中，試求距離此電荷 3 公尺處之電位為多少？

【解】於空氣中， $\epsilon_r \cong 1$

$$V = 9 \times 10^9 \frac{1}{\epsilon_r} \frac{Q}{r} = (9 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}) (\frac{1}{1}) (\frac{6 \times 10^{-9} \text{C}}{3\text{m}}) = 18 \text{ V}$$

馬上練習

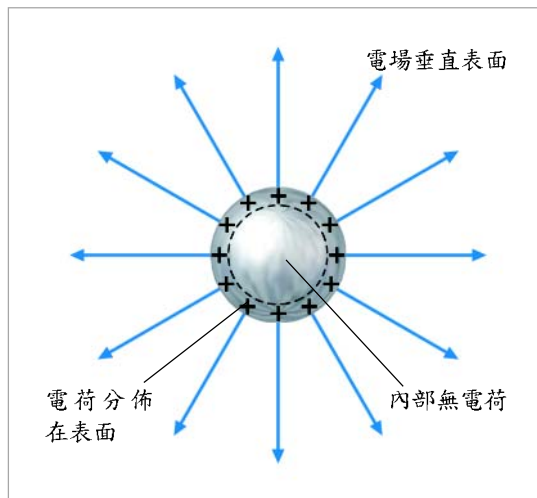
如右圖所示， $Q_1 = +36 \times 10^{-9}$ 庫侖， $Q_2 = -32 \times 10^{-9}$ 庫侖，兩電荷相距 10 公尺，試求 A 點的電位為多少？



【答】 $V = -18 \text{ V}$ 。

5-3.4 帶電金屬球體

在討論帶電金屬球體的靜電特性之前，我們先介紹高斯定律（Gauss's law）：在一封閉的曲面內，其發出的電力線總數等於該曲面內所包含的電荷數。所以當一個帶電金屬球體處於平衡狀態時，導體金屬球的內部不會有電荷，原因是若有電荷存在時，金屬球內部會產生電場迫使電子移動，最後達到平衡狀態，即電場為零（無電力線）。根據高斯定理，我們在金屬球內部選取一封閉曲面，若無電力線即表示其內無電荷。因此帶電金屬球體的電荷會均勻分佈在球體表面，且電場（電力線）方向與表面垂直，如圖 5-21 所示。



▲ 圖 5-21 帶電金屬球的電荷分佈 在帶電金屬球中，電荷會均勻分佈在球體表面。



如果金屬球體的半徑為 r_0 ，則在空間中距離球心 r 處的電場與電位分佈可以分為下列三種情況：

1. 球體外部，即 $r > r_0$ 時：由於電荷均勻分佈在球體表面，我們可以將其視為一個置於球心的點電荷，則電場強度與電位分別為：

$$E_{r>r_0} = K \frac{Q}{r^2} \quad V_{r>r_0} = K \frac{Q}{r}$$

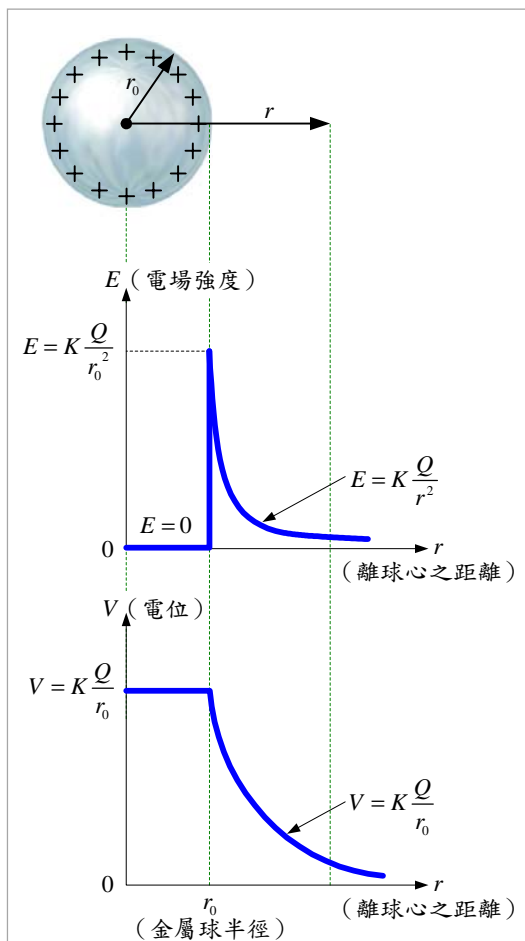
2. 球體表面，即 $r = r_0$ 時：也將電荷視為置於球心，則電場強度與電位分別為：

$$E_{r=r_0} = K \frac{Q}{r_0^2} \quad V_{r=r_0} = K \frac{Q}{r_0}$$

3. 球體內部，即 $r < r_0$ 時：由於球體內部沒有電荷分佈，所以電場強度為零，也就表示電位梯度為零（任兩點間無電位差），因此電位與球體表面一致，即：

$$E_{r<r_0} = 0 \quad V_{r<r_0} = K \frac{Q}{r_0}$$

我們將上述的分析結果，繪製如圖 5-22 所示。



名稱 \ 距離	球內部 $r < r_0$	球表面 $r = r_0$	球外部 $r > r_0$
電場強度	$E = 0$	$E = K \frac{Q}{r_0^2}$	$E = K \frac{Q}{r^2}$
電位	$V = K \frac{Q}{r_0}$	$V = K \frac{Q}{r_0}$	$V = K \frac{Q}{r}$

註： $K = \frac{1}{4\pi\epsilon}$ ，在空氣或真空中 $K = 9 \times 10^9$ 。

▲ 圖 5-22 帶電金屬球體的電場與電位分佈



範例 5-11

某一半徑為 2 公尺之金屬球體，其帶有 4×10^{-9} 庫侖的電量，試求距離球心 3 公尺處之電場強度與電位為多少？（設介質為空氣）

【解】位置在球體外部，所以

$$E = 9 \times 10^9 \frac{Q}{r^2} = (9 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}) \frac{4 \times 10^{-9} \text{C}}{(3\text{m})^2} = 4 \text{ N/C (牛頓/庫侖)}$$

$$V = 9 \times 10^9 \frac{Q}{r} = (9 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}) \frac{4 \times 10^{-9} \text{C}}{3\text{m}} = 12 \text{ V (伏特)}$$

馬上練習 承上題，試求距離球心 1 公尺處之電場強度與電位為多少？

【答】 $E = 0 \text{ N/C}$, $V = 18 \text{ V}$ 。



單元評量



1. 在 MKS 制中，電通量的單位為 _____，電通密度的單位為 _____，電場強度的單位為 _____。
2. 真空（空氣）中的介電係數 $\epsilon_0 =$ _____ 法拉/公尺。
3. 將 6 庫侖的電荷置於電場中的 A 點，若其受力為 30 牛頓，則 A 點之電場強度為 _____ 牛頓/庫侖。
4. 將 2 庫侖的電荷由 B 點移至 A 點，需作 100 焦耳的功，則 A、B 兩點間的電位差為 _____ 伏特，若 A 點為 90 伏特，則 B 點之電位為 _____ 伏特。
5. 在離點電荷 3 公尺處的電場強度為 2×10^6 牛頓/庫侖，則點電荷的帶電量為 _____ 庫侖。
6. 在真空中，有一點電荷的帶電量為 6×10^{-8} 庫侖，則距離點電荷 2 公尺處的電場強度為 _____ 牛頓/庫侖。
7. 有一半徑為 0.5 公尺的金屬導體球，其帶電量為 10^{-8} 庫侖，則金屬球中心處的電場強度為 _____ 牛頓/庫侖，電位為 _____ 伏特。
8. 兩平行極板相距 0.1mm，若帶電量 200 微庫侖的電荷置於其中，且產生 4 牛頓的作用力，則兩平行極板間的電位差為 _____ 伏特。



重點摘要

1. 電容是指電路或電子裝置儲存電荷的能力，而專門設計用來儲存電荷的電子裝置或元件便稱為電容器。

2. 電容器的種類可依兩金屬極板間介質材料的不同作分類，而又依電容量的值是否可以改變而區分為固定電容器與可變電容器兩大類。

3. 電容量的定義：

單位電壓下所儲存的電量。以數學式表示為：

$$C = \frac{Q}{V} \quad [\text{F, 法拉}]$$

4. 法拉（以英文字母 F 表示）是電容量的單位，1 法拉（F）相當於在 1 伏特（V）電壓源的電路中，有儲存 1 庫侖（C）電量能力的電容器。較實用的單位是 μF 或 pF 。

5. 平行電極板間的電容量：

與平行電極板表面積、兩電極板間的距離及介質材料有關，即：

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} = 8.85 \times 10^{-12} \epsilon_r \frac{A}{d} \quad [\text{F, 法拉}]$$

6. 電容器的充電與放電特性：

充電時，電動勢驅使正極板上的電子移動到負極板上，使電容器兩端極板分別帶有正負電荷；放電時，負極板上的電子會沿導線流回正極板而中和電性。

7. 電容器儲存的能量：

$$W_C = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \quad [\text{J, 焦耳}]$$

8. 串聯電容器電路的總電容量：

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \cdots$$

9. 並聯電容器電路的總電容量：

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots$$

10. 電場定義：帶電體所建立的電場為其電力作用所及的空間。



11. 電場強度：

一單位電荷在該點所受到的靜電作用力。即：

$$E = \frac{F}{q} \quad [\text{N/C, 牛頓/庫侖}]$$

12. 電通密度：

電場中通過的電力線總數稱為電通量（ ψ ），而電通密度（ D ）為單位面積所通過的電力線總數（電通量 ψ ），且與電場強度成正比。即：

$$D = \frac{\psi}{A} = \epsilon E \quad [\text{C/m}^2, \text{庫侖/平方公尺}]$$

13. 電位梯度：

任意兩點間每單位長度的電位差。即：

$$g = \frac{V}{d} \quad [\text{V/m, 伏特/公尺}]$$

14. 點電荷建立的電場強度與電位大小：

$$E = K \frac{Q}{r^2} \quad [\text{N/C, 牛頓/庫侖}] \quad V = K \frac{Q}{r} \quad [\text{V, 伏特}]$$

15. 帶電金屬球建立的電場強度與電位大小：

(1) 球體內部（ $r < r_0$ ）：

$$E = 0 \quad [\text{N/C, 牛頓/庫侖}] \quad V = K \frac{Q}{r_0} \quad [\text{V, 伏特}]$$

(2) 球體表面（ $r = r_0$ ）：

$$E = K \frac{Q}{r_0^2} \quad [\text{N/C, 牛頓/庫侖}] \quad V = K \frac{Q}{r_0} \quad [\text{V, 伏特}]$$

(3) 球體外部（ $r > r_0$ ）：

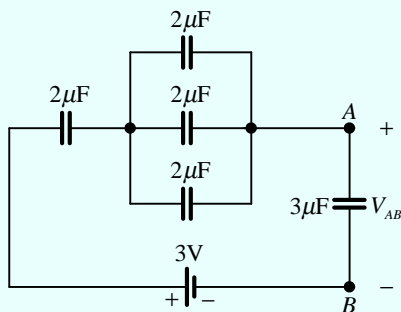
$$E = K \frac{Q}{r^2} \quad [\text{N/C, 牛頓/庫侖}] \quad V = K \frac{Q}{r} \quad [\text{V, 伏特}]$$



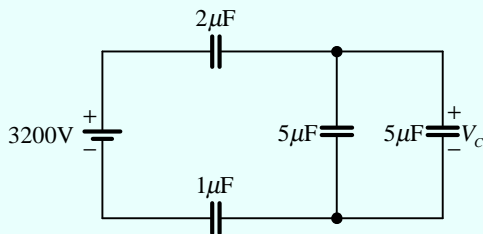
學後評量

一、選擇題

- () 1. 電容量均為 2F 的三個電容器，先將其中兩個串聯後，再與第三個並聯，則電路的總電容量為 (A) 1F (B) 3F (C) 5F (D) 2F
- () 2. 如圖(1)所示電路， $3\mu\text{F}$ 電容器兩端電壓降 V_{AB} 為 (A) $\frac{3}{17}\text{V}$ (B) $\frac{27}{17}\text{V}$ (C) 1V (D) 2V

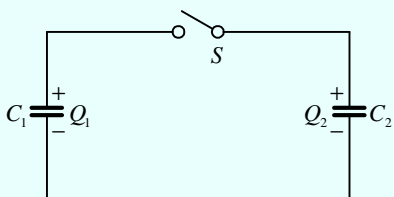


圖(1)

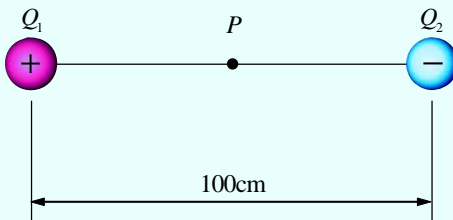


圖(2)

- () 3. 如圖(2)所示電路，電容器電壓 V_C 的值為 (A) 100V (B) 200V (C) 300V (D) 400V
- () 4. 有一充電後的電容器，其電容量為 $10\mu\text{F}$ 、電壓為 100V ，則電容器所儲存的能量為 (A) 500J (B) 0.05J (C) 50J (D) 0.5J
- () 5. 如圖(3)所示電路，設 $Q_1 = 3\mu\text{C}$ 、 $Q_2 = 2\mu\text{C}$ 、 $C_1 = 0.03\mu\text{F}$ 、 $C_2 = 0.02\mu\text{F}$ ；則開關閉合時 (A) 電流無窮大 (B) 電流由大变小 (C) 電流不定 (D) 電流為零



圖(3)



圖(4)

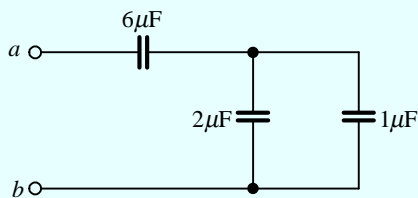
- () 6. 如圖(4)所示，兩電荷相距 100cm ，電荷的帶電量分別為 $Q_1 = +1.2 \times 10^{-9}\text{C}$ 、 $Q_2 = -1.0 \times 10^{-9}\text{C}$ ，則兩電荷連線的中點 P 的電場強度為 (A) 0 (B) 7.2 N/C (C) 39.2 N/C (D) 79.2 N/C



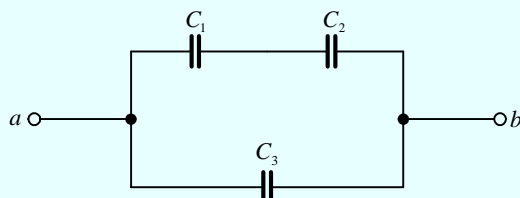
- () 7. 在離點電荷 3 公尺處的電場強度為 $2 \times 10^6 \text{ N/C}$ ，則點電荷的帶電量為 (A) $2 \times 10^{-3} \text{ C}$ (B) $6.67 \times 10^8 \text{ C}$ (C) $2 \times 10^6 \text{ C}$ (D) $6.67 \times 10^6 \text{ C}$
- () 8. 兩平行電極板間有一靜電場，其電場強度為 10^4 N/C ，若將一電子置於此靜電場中，則該電子所受靜電力的大小為 (A) $1.602 \times 10^{19} \text{ N}$ (B) $1.602 \times 10^{-19} \text{ N}$ (C) $1.602 \times 10^{-15} \text{ N}$ (D) $1.602 \times 10^{15} \text{ N}$
- () 9. 承上題，該電子所受靜電力的方向 (A)與電場方向相同 (B)與電場方向相反 (C)與電場方向成垂直且向上 (D)與電場方向成垂直且向下
- () 10. 電場中電力線跨越等電位面時，其相交的角度應為 (A) 30° (B) 45° (C) 60° (D) 90°

二、計算題

- 有三個電容器，其電容量分別為 $C_1 = 24 \mu\text{F}$ 、 $C_2 = 24 \mu\text{F}$ 、 $C_3 = 12 \mu\text{F}$ ，先將電容器 C_1 、 C_2 串聯後，再與電容 C_3 並聯，則電路的等效總電容量為多少？
- 試求如圖(5)電路中 a 、 b 兩點間的總電容 C_{ab} 為多少？
- 如圖(6)電路中，有三個完全相同的電容器，其電容量皆為 $60 \mu\text{F}$ ，試求 a 、 b 兩點間的等效電容量為多少？

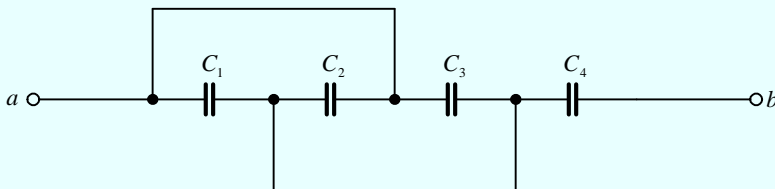


圖(5)



圖(6)

- 如圖(7)電路中，有四個完全相同的電容器，其電容量皆為 $4 \mu\text{F}$ ，試求 a 、 b 兩點間的等效電容 C_{ab} 為多少？

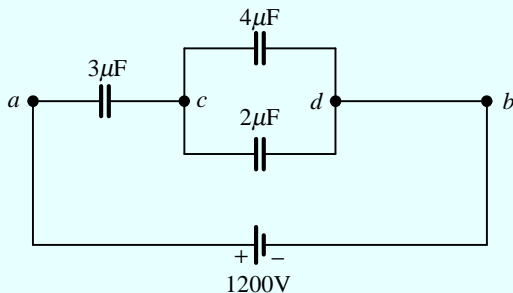


圖(7)



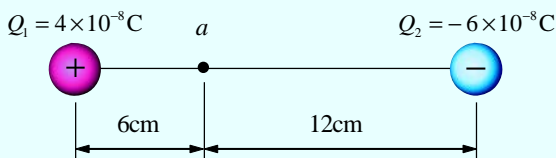


5. 如圖(8)電路，已知 a 、 b 兩點間的電壓為 1200 V ，試求 c 、 b 兩點間的電壓為多少？



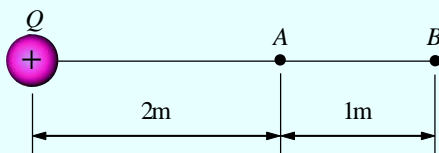
圖(8)

6. 如圖(9)所示，兩點電荷相距 18 公分，試求兩電荷間的 a 點電位為多少？



圖(9)

7. 有兩個點電荷帶電量均為 Q ，但電性相反，且兩電荷相距為 $2r$ ，試求在兩電荷連線中點處的電場強度與電位各為多少？
8. 如圖(10)所示，點電荷帶電量 $Q = 6 \times 10^{-9}\text{ C}$ ，試求空間中兩點 A 與 B 電位各為多少？



圖(10)

9. 在空間中，距一帶電球體球心 10 cm 處的電場強度為 $2.7 \times 10^{10}\text{ N/C}$ ，電場方向指向球心，試求球體表面的帶電量為多少？
10. 如果將 5 庫侖的負電荷由空間中的 a 點移動到 b 點，電荷獲得 200 焦耳的能量。已知 b 點的電位為 20 V ，試求 a 點的電位為多少？