

附錄 B 製作靜電產生器—動手做

目的：

親自動手製作靜電產生器，體驗製作過程中所應用的相關物理原理，瞭解靜電產生器運作機制，並設計創意有趣的靜電演示。

原理：

靜電無所不在，幾乎所有物質皆可能產生靜電。在冬天常見的尼龍衣吸附身體、梳頭髮劈啪聲、手摸門把感覺電擊、螢光幕易吸附灰塵、以及自然界之雷電皆屬於靜電現象。現代生活用品也有很多靜電的應用，如影印機、靜電除塵器、靜電噴漆等。此外，靜電一直是嚴重的工業問題，製程設備或產品摩擦皆會產生靜電，若靜電持續累積，即可能產生靜電放電，造成人員電擊或引燃周圍易燃物質，發生火災或爆炸事故。

靜電起源於一般物質原子中的電子，因機械、熱或化學等因素離開或進入原子，形成正負離子，進而導致物質帶電。常見的靜電產生方式為摩擦起電，即將兩種物質摩擦，會使物質表面一部分電子轉移至另一物質上，使物質形成靜電。然而，各種物質得失電子的傾向並不相同，從最容易失去電子材質到最容易獲得電子的排序，稱為摩擦帶電序列 (tribo-electric series)，表 1 為常見物質摩擦帶電序列，位於表中上方愈易帶正電，而位於下方者愈易帶負電。

表 1 常見物質帶電序列

容易帶正電的物質 (容易失去電子的物質)
空氣 (Air)
兔毛 (Rabbit fur)
玻璃 (Glass)
人髮 (Human hair)
尼龍 (Nylon)
羊毛 (Wool)
絲綢 (Silk)
紙 (Paper)
棉花 (作為參考物質)
木頭 (Wood)
氣球 (Rubber Balloon)
保麗龍 (Styrofoam)
壓克力 (Acrylic)
透明膠帶 (Cellophane Tape)
聚氯乙烯 (Polyvinylchloride)，即常見的 PVC
容易帶負電的物質 (容易獲得電子的物質)

(註：本表資料係摘錄自參考文獻 1)

至於我們製作的靜電產生器運作原理主要源自范氏起電器，而范氏起電器乃由美國物理學家羅伯特·傑米森·范德格拉夫(Robert Jemison Van de Graaff)發明。有些范氏起電器是直接利用直流高電壓裝置，將正、負電荷散佈在不能導電的皮

帶上，再拉動皮帶，將皮帶的電荷拖至金屬球殼上，持續增加金屬球殼上的電壓，致使其電壓不斷升高。也有些採用摩擦起電方式，產生靜電，而我們製作的靜電產生器即屬於此類，其基本結構如圖 1 所示。上下有兩支電刷，電刷尖而薄的構造具有尖端電荷聚集效應。上方電刷接鋁箔蓋，下方電刷則接地。電動馬達轉動下方滾輪帶動皮帶，而皮帶再使上方轉輪轉動。下方轉輪轉動時不斷與皮帶接觸摩擦，因兩者帶電序列不同，若皮帶易失去電子，則下方轉輪易獲得電子，於是，皮帶就會帶正電，下方轉輪則帶等量負電。有趣的是，皮帶與下方轉輪所帶電量相等，但皮帶正電分佈在整條皮帶上，而等量的負電則僅分佈於下方轉輪。因此，下方轉輪與其附近一小段皮帶，總和起來應帶負電。由於原本皮帶就容易失去電子，若再受到下方轉輪負電的排斥，經由接地的電刷，使皮帶更多電子經由電刷尖端導引，經接地電路流入地球巨大電容中，則容易失去電子的皮帶就帶有更多正電荷。當正電荷隨皮帶經上電刷導入鋁箔蓋時，若鋁箔蓋黏貼輕柔紙條，則因同性電排斥將呈現張開舞動，猶如水母舞動觸手，此即所謂的靜電水母現象。另外，亦可將紙條剪裁成其它創意造型，展現不同風貌的靜電舞動！

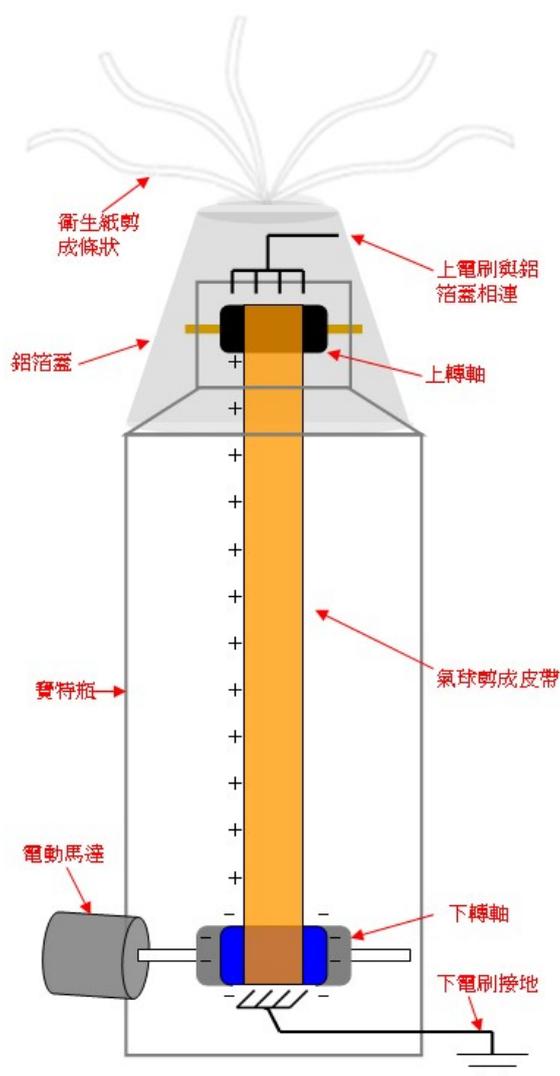


圖 1

實驗材料與工具：

電動馬達、寶特瓶、鋁箔蓋、皮帶(氣球剪成)、上轉軸(寬 2.4cm 布膠帶)、下轉軸(寬 3.6cm 布膠帶+1.8cm 電工膠帶)、電池組盒、鋁箔紙、剪刀、鋼尺、膠帶。

注意事項：

1. 寶特瓶的孔洞若太小，可用起子或剪刀尖端將洞口稍挖大一點，方便穿入電刷或支軸。
2. 本實驗製作成功關鍵在於皮帶長度，必須測試皮帶讓馬達確實能夠帶動上轉軸轉動。若上一班同學已完成測試，即可保留給下一班同學使用。
3. 鋁箔紙深暗亮灰色正面似有薄膜包住，靜電感應效果較差，請儘量使用淺灰白色背面，如圖 2 所示。
4. 靜電產生器製作完成之後，本實驗的主要元件必須拆解回復成原狀，如圖 3 所示，請清除鋁箔紙、衛生紙或膠帶。若未執行拆解步驟，則實驗不算完成。
5. 固定馬達的鬆緊帶可重複使用，請勿丟棄；若馬達轉速減慢，可向老師或助教更換電池。
6. 下轉軸的支軸請勿碰觸寶特瓶壁，否則，將會阻礙馬達之運轉。



圖 2

步驟：

(A)製作組裝過程

爲了增進靜電產生器的製作成功率，部分元件已初步組裝，主要元件如圖 3 所示，詳細製作步驟如下：

1. 先量取氣球長度約 26~27cm(可先取稍長一點，再進行調整修剪)，將多餘的首尾剪掉且剪開成皮帶，然後，利用雙面膠將皮帶首尾相黏重合約 0.5cm，形成封閉的皮帶環，長度約 12~13cm，如圖 4 所示，必須視上、下轉軸距離而定。原則上，皮帶環長度需調整至能夠拉緊上、下轉軸且能經由馬達帶動為止。(注意：如果皮帶環先前已剪裁黏妥，則可直接進行測試調整。)
2. 將上轉軸套入皮帶內，並將轉軸插入寶特瓶上方孔洞內，如圖 5 所示。
3. 下轉軸與馬達先大略插入寶特瓶下方大孔洞內，然後，設法將下轉軸伸入皮帶且拉緊(如圖 6 所示)，再將電池盒的連接線接上(注意：紅線接正極)。注意：手指先按住馬達，打開電池電源測試馬達能否帶動皮帶轉動？若能帶動，則再以鬆緊帶固定馬達(注意：可夾入木棒或原子筆輔助將鬆緊帶拉緊，並可有助於寶特瓶平穩！)。若不能帶動，則必須再調整皮帶長度。基本上，皮帶需儘量拉緊兩轉軸，但也不能太緊，否則馬達會轉不動。

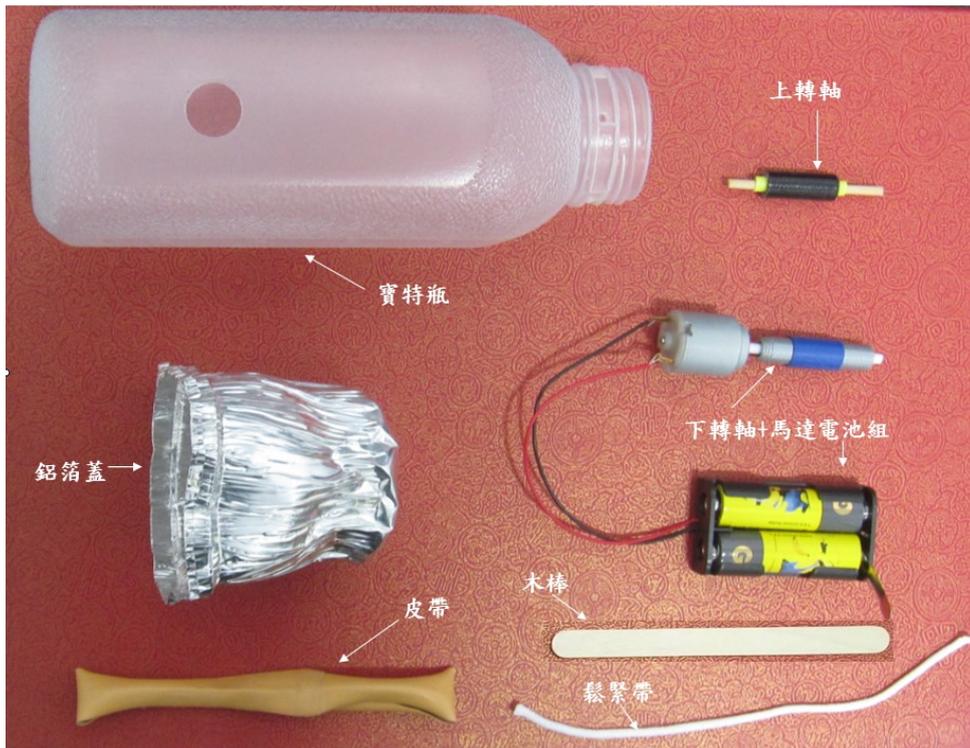


圖 3



圖 4



圖 5



圖 6

4. 利用鋁箔紙製成電刷，但鋁箔紙請盡量使用淺白灰色背面(請參閱注意事項 3)，裁減長 30cm×寬 8cm 的鋁箔紙，摺疊壓緊成為長 30cm×寬 1.5cm 的多層鋁箔紙，此鋁箔紙剪開分為 18cm 及 12cm，兩者前方保留約 3cm 且皆剪成鋸齒尖角狀，餘部捲成導線狀，如圖 7 所示。

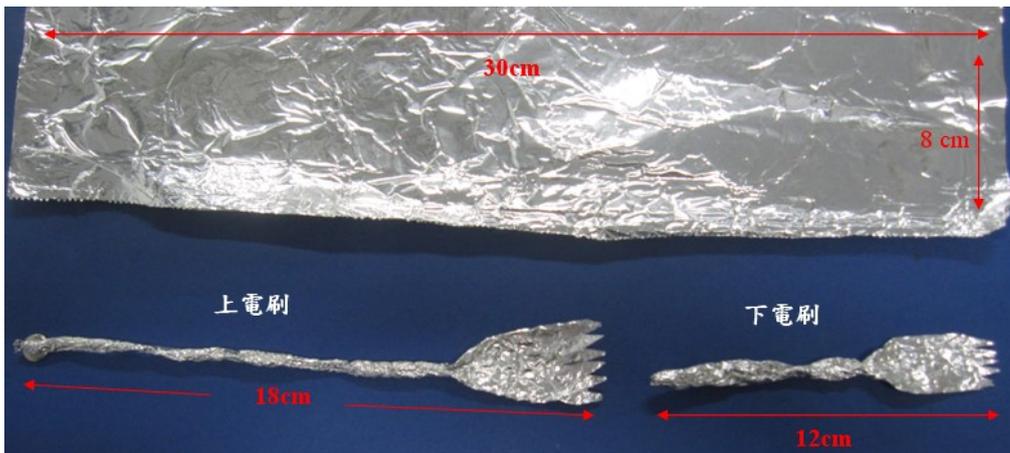


圖 7

5. 將上電刷導線狀部分由寶特瓶口內側穿出小孔，調整前方鋸齒狀鋁鉑沿上轉子的圓弧彎折使其儘量貼近，而導線狀鋁箔沿瓶口纏繞後以電工膠電固定，如圖 8 所示。
6. 將下電刷鋸齒狀鋁鉑穿進寶特瓶的橫向小孔，調整位置使其與皮帶正下方貼近，再將導線狀鋁箔彎折後以電工膠帶固定在瓶身，如圖 9 所示。
7. 將寶特瓶蓋上鋁箔蓋並壓緊，如圖 10 所示，其中鋁箔蓋必須與上電刷導線狀接觸，然後，再進行面紙的創意剪裁，將剪裁好的面紙一端以鋁箔包裹，利用電工膠帶黏貼於鋁箔蓋上，打開電池電源，即可欣賞靜電所形成的有趣景象。



圖 8

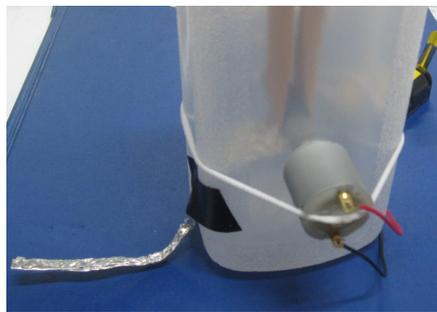


圖 9



圖 10

8. 這裡提供靜電水母的剪裁方法，將單層面紙長端對折，由折線處輕輕往上剪（頂端約保留 1cm 不捲也不剪開），以剪刀剪成寬約 3~5mm 細條狀，將對折處稍拉開後，手掌握住面紙長邊未剪開處，輕輕抖動向兩側拉開。將面紙兩端未剪開處捲起，完成後再將兩端捲緊。取鋁箔(8×8cm)將面紙的一端包覆捲起成條狀，再將另一端剪開，呈現分散長條狀，製作過程如圖 11 所示。（注意：衛生紙以單張剪裁紙條儘量細短，避免太厚重，重力太大，靜電力無法將紙條舉起舞動！）



圖 11

9.將鋁箔包裹一端以電工膠帶黏於鋁箔蓋上，然後，以手指壓住下電刷(代表接地)，打開電池電源，則紙條將因靜電斥力而張開舞動，如圖 12 所示，並實際利用手機拍攝之，作為實驗結果的記錄。

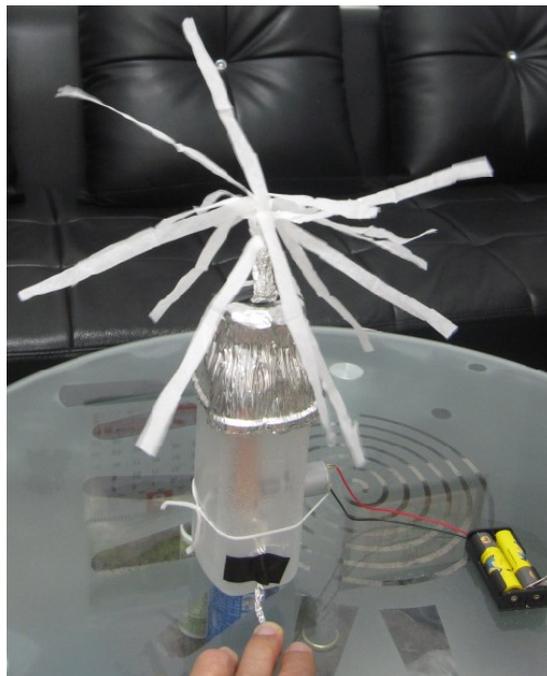


圖 12

(B) 拆解復原過程

爲了讓主要元件能重複使用，當靜電產生器製作完成，經照相攝影及老師檢視後，必須進行拆解復原過程，詳細拆解步驟如下：

- 1.先移除寶特瓶上黏貼的所有電工膠帶、鋁箔及面紙，然後，小心打開鋁箔蓋及鬆開束帶，拆解上、下電刷及轉軸，同時，取出皮帶圈。
- 2.電動馬達與電池組接線不必拆解，下轉軸與馬達的連接亦不需拔除，拆解

的主要元件及使用的剪刀、鋼尺、膠帶等工具請置放於方形塑膠盒內。然後，靜候助教或老師檢查。

記錄與問題：

- 1.黏貼手機拍攝的靜電產生器製作成果圖片，說明圖片的靜電現象，若靜電現象不明顯，則請討論其中原因或製作相關缺失。
- 2.若以手指碰觸鋁箔蓋或紙條，則可能會產生何種現象？並說明原因。
- 3.為何下電刷導線狀部份必須以手指壓住？若未如此做，則可能對實驗結果產生什麼影響？
- 4.為何電刷需剪成鋸齒尖角狀？若未如此做，則可能對實驗結果產生什麼影響？

討論：

參考文獻：

- 1.曾瑞蓮、黃仁偉、鍾賢、陳玫岑、許馨月、朱偉薺、洪偉清，靜電產生器設計製作與推廣，物理教育學刊第17卷第2期，75~86，2016。
- 2.周鑑恆、洪偉清、曾瑞蓮、黃仁偉、鍾賢，范得格拉夫起電器，科學月刊7月號，571，2017。