

迷你范德格拉夫起電器

周鑑恆

萬能科技大學 光電系

壹、前言

1929 年荷蘭裔的美國物理學家羅伯特·傑米森·范德格拉夫(Robert J. Van de Graaff)發明一種產生高電壓的裝置，早期曾用來加速離子。這高電壓的裝置後人稱之為范德格拉夫起電器，簡稱范氏起電器。

因為它能相當安全地產生非常高的電壓，范氏起電器成了世界各地科學博物館與科學教室中的明星，經常演示許多令人瞠目結舌的靜電實驗。其中最著名的實驗，就是讓與地面絕緣的長髮女生怒髮衝冠，頭髮全部豎立起來（見圖一）。此外，范氏起電器還可以用來進行富蘭克林輪、靜電風車、富蘭克林鐘、尖端放電等膾炙人口的實驗，教學價值頗高。



圖一：膾炙人口的實驗。這位女生站在絕緣的物體上

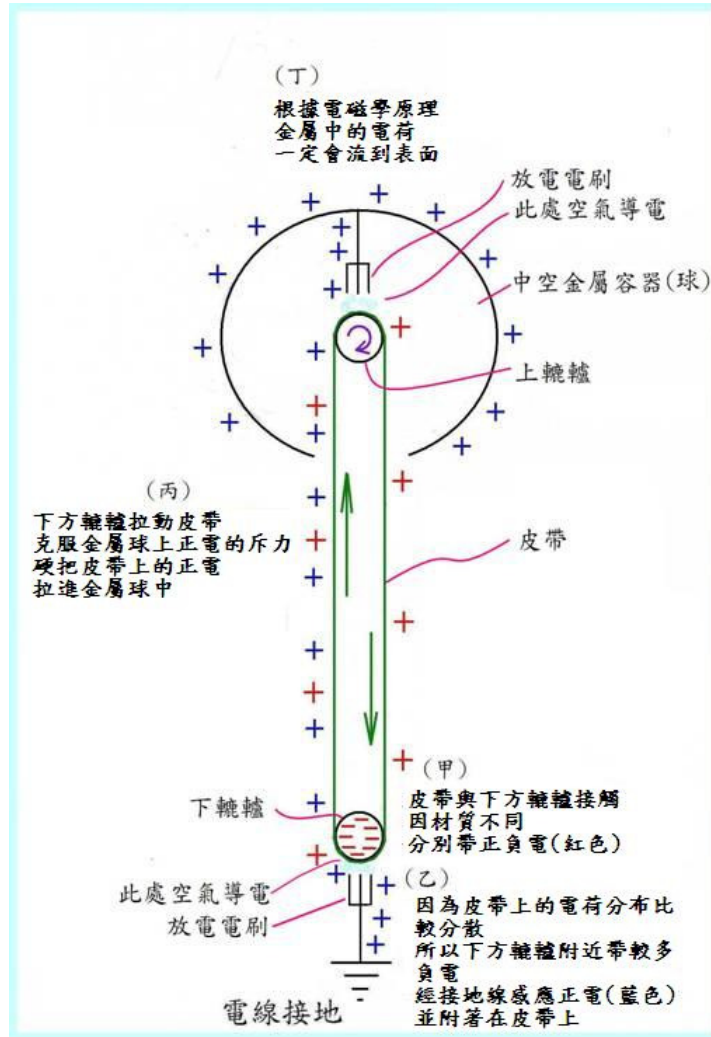
<http://www.tritonprinting.com/346405-van-de-graaff-generator-for-kids-quick-shopping>

貳、構造與原理

范氏起電器有各種不同的設計，不過原理都殊途同歸。例如：除了簡單利用摩擦起電的辦法之外，也可直接利用直流高電壓裝置，將正電或負電散布在皮帶上，讓皮帶帶電，再拉動皮帶，將電荷拖到金屬球殼中，而使金屬球殼所帶的電量以及具有的電壓不斷升高。

圖二所示，則是范氏起電器最簡單的構造，其重要的零件包括：

1. 用來累積電荷的中空金屬容器。容器外表面盡可能光滑以避免發生放電，所以常製成球形。
2. 上、下轆轤和皮帶。皮帶和下方轆轤的材質必須適當搭配，如果下方轆轤選用的材質容易失去電子，那麼皮帶就必須選用容易抓住電子的材質製作。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)，皮帶和下方轆轤材質的摩擦帶電序列要差距大些。
3. 兩放電電刷。電刷上有若干增強尖端放電效果的針狀構造，因此，電刷的針狀構造，可以使原本是絕緣體的空氣變成不良導體。下方電刷則要接地。



圖二：最簡單的范氏起電器之構造與原理。

4. 絕緣支架和底座。使得整具范氏起電器，只有下方電刷接地，其餘的零組件都盡可能不漏電。
5. 用手轉動或利用馬達轉動下方之軛轆，使皮帶運動，傳動上方軛轆。

當下方軛轆轉動時，因為皮帶和下方軛轆的摩擦帶電序列不同，假設皮帶因此帶有正電，下方軛轆就會帶有等量的負電。但皮帶的正電分布在整條皮帶上，而等量

的負電則只分布在小小的下方軛轆上，因此下方軛轆與其附近的那一小段皮帶，總和起來是帶負電。此時，經由接地的電刷，使更多的正電受到吸引，經由電刷的尖端放電，而附著在皮帶上。

皮帶是絕緣體，電荷在皮帶上不能流動，於是電荷隨著皮帶被硬生生地帶到中空金屬容器中。因為根據電磁學原理（高斯定律），實心金屬或中空金屬中的電荷，

都會跑到該金屬的表面。相反的，無論金屬容器的電壓多麼高，該金屬容器表面的電荷，卻絕對不會回頭反向流到內部或其內部的皮帶上。

當然，皮帶繼續轉動，就源源不斷地把正電帶到金屬容器內部，正電又自然而然地不斷跑到容器表面，使金屬容器帶的正電持續增加。皮帶上正電受到金屬容器的正電斥力，當然也越來越大，但皮帶不能導電，皮帶上的靜電在皮帶上不能流動，靠轉動的轆轤，用機械的力量（機械的力量通常可輕易大於電荷之間的作用力），還是硬生生地繼續把皮帶上的正電地帶入金屬容器內部，又不斷跑到金屬容器表面。於是金屬容器表面的電荷愈來愈多，電壓也愈來愈大。向空氣放電的現象會逐漸變得明顯。累積在中空金屬容器的電荷量就難以再增加，電壓也就無法再升高，而達到上限。

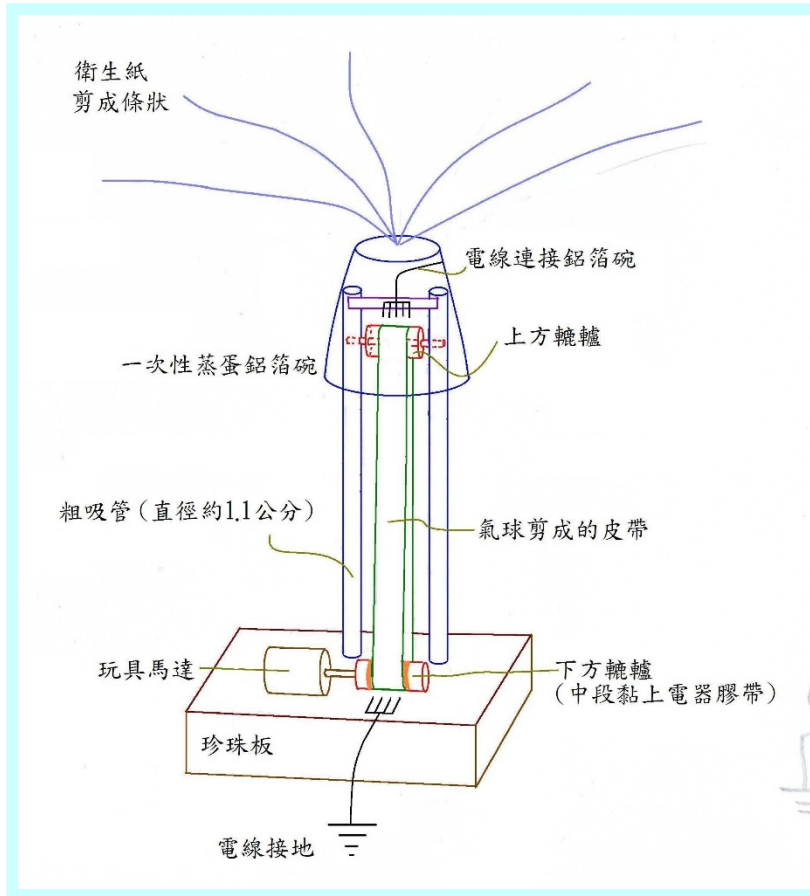
如果竭盡所能地阻止金屬容器向空氣放電，一般的做法是，在范氏起電器周圍填充六氟化硫氣體（SF₆），防止上方高壓電的金屬容器向外界放電（六氟化硫是一種密度很大、無毒的氣體，但是價格非常昂貴，將六氟化硫氣體倒入玻璃缸中，用鋁箔製成小船，小船可以浮在看不見的六氟化硫氣體的上層。吸入六氟化硫氣體，與吸入氦氣相反，會使人聲音變得古怪的低沉。六氟化硫與空氣不同，極不容易電離，於是尖端放電在六氟化硫的氣體中非常不容易發生，至今發電廠的高電壓裝置為防止高壓電引起電弧，仍然使用六氟化

硫），范氏起電器上方的金屬容器之電壓，就可能升高到不可思議的一千萬伏特以上。

參、簡易套件

陸軍軍官學校洪偉清教授為了推廣范氏起電器的科學教育，用一次性蒸蛋鋁箔碗製作中空金屬容器；把氣球剪成條狀，兩端用雙面膠黏接，製成皮帶。下方塑膠轆轤表面則黏上電器絕緣膠帶；剝掉一般電線兩端的塑膠皮，散開各裸露的十幾根細銅絲，作為電刷；用一個塑膠瓶作為絕緣支架；用玩具小馬達轉動下方之轆轤，設計出極簡的迷你范氏起電器自製套件，可以讓參與者在短時間內成功組裝一具微型范氏起電器，十分有趣。洪教授並將此已具有國際水準的作品，於台澎金馬各地大量推廣，引起熱烈迴響，掀起台灣中小學製作范氏起電器的風潮。

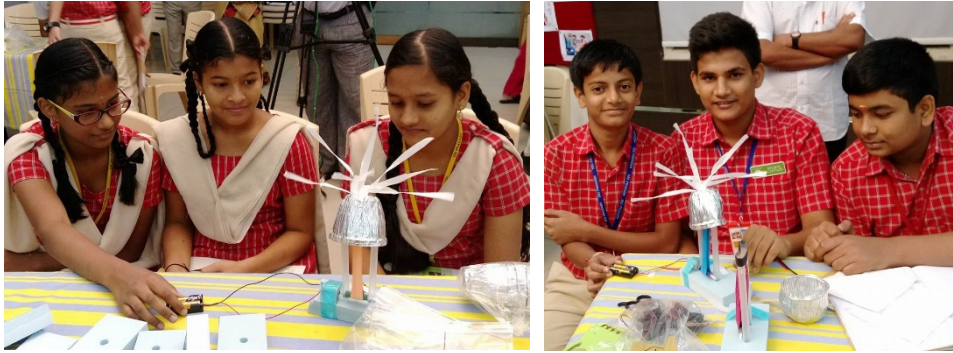
作者為了降低語言障礙，讓國外的朋友也能體會其中的樂趣，只好再作簡化（見圖三）。主要的改變是以兩根吸管和一塊珍珠板，取代原有塑膠瓶，先將厚約 2-3 公分的珍珠板上鑽兩個直徑約 1.1 公分的孔。在兩根直徑約 1.1 公分的粗吸管一端鑽孔，這兩根吸管緊緊插入孔中，上方轆轤的轉軸即插入粗吸管上端的孔中。吸管上方用厚紙以及雙面膠加以固定，使間距不變，並加強強度。用珍珠板與粗吸管作為絕緣支架的設計，減少材料準備的工作，製作教學時也可少費唇舌，很容易成功製作。即使外國孩童也相當喜愛（見圖四、圖五）。



圖三：作者以珍珠板與粗吸管製作絕緣支架。



圖四：拉托維亞(Latvia)首都里加(Riga)舉行第六屆國際發明展(6th International Invention and Innovation Exhibition MINOX 2016)，改良的范得格拉夫起電器，在會中受到當地小朋友青睞。



圖五：在印度 Sri Prakash 學校，讓學生組裝簡易范氏起電器，學生們都能成功完成。

肆、結語

簡化范氏起電器，縮小其尺寸，如此製成的范氏起電器所產生的電壓，當然不致於高達數百萬伏特，但其所產生的電壓，經電荷累積的作用，卻已經比只用摩擦起電的方式所產生的電壓更大。因此，利用這具簡化的袖珍范氏起電器，可進行許多教室中常見的靜電實驗，例如靜電風車、富蘭克林輪、尖端放電、以及其他有趣的靜電實驗，演示作者過去開發的創新靜電風車和改良的富蘭克林輪，也更為方便。中華民國物理教育學會將經常舉辦迷你范氏起電器製作營隊，有興趣者歡迎報名參加，一起來動手學科學。

參考文獻

- 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 2016, 第十七卷第二期, 75-86 頁。
- 周鑑恆，另類電離轉輪，科學月刊，2002 年 10 月號，872-875 頁。
- 周鑑恆，富蘭克林鐘與富蘭克林輪，科學月刊，2003 年 1 月號，70-73 頁。
- <http://philschatz.com/physics-book/contents/m42329.html>
- <http://savannagese.blogspot.tw/2012/03/triboelectric-series.html>
- <https://www.youtube.com/watch?v=XjCmwuGKR6g>
- <https://www.youtube.com/watch?v=A4hUNOpyeFY>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfur_hexafluoride