
連發酒精火箭

周鑑恆

萬能科技大學 航空暨工程學院航空光機電系

壹、前言

火箭是太空探險唯一的運載工具，各種火箭的設計各異其趣，巧奪天工。疾如星火的火箭飛行總能吸引眾人目光，而火箭原理更是凸顯牛頓第三運動定律的絕佳範例，相關的計算也饒具科教意義。

火箭也常用於軍事，洲際飛彈真可謂動於九天之上的戰略震懾武器，但火箭與火炮原理不同，在飛行中火箭甚至可以加速，也可以長時間在空中飛行。

在科教活動中，有時可見以養樂多瓶子製成類似火炮的教具，以打火機引燃與空氣混合的燃料氣體，引起爆炸，以爆炸的方式使養樂多瓶子飛出去。另一方面，在國外也有人用寶特瓶盛裝少量可燃氣體，然後用火焰引燃瓶中可燃氣體，使瓶內空氣溫度急遽升高，於是高溫氣體從寶特瓶瓶蓋中的圓孔噴出而產生推力。

作者在台灣首先用酒精作為燃料，將 10 CC 左右的酒精倒入 1500 CC 的寶特瓶中，使酒精在瓶中揮發，並倒掉多餘的液態酒精，再以從瓶蓋圓孔中伸入瓶中的兩條金屬絲尖端的電弧(兩條金屬絲接通 10000 V 高壓電)，引燃瓶中之氣態酒精，迅速升高瓶內空氣的溫度，高溫空氣從瓶

蓋上的圓孔噴出，產生推力使火箭升空。

作者近年來在國內外說明引擎原理時，常演示這項火箭教具，四年前應邀參加金門科學日活動開幕式，為熱絡開幕式的氣氛(見圖一)，當時即設計了此款連發多管火箭，但苦於因故未及測試，以致於未能大顯身手。近日於台北科教館活動中首次測試成功，效果相當不錯，可見這款連發多管火箭用於各種科教活動開閉幕式中的潛力。

貳、原理與設計

在空氣中兩電極之間有間隙時，如果電極之間的電位差夠大，大約 1 公分之空氣間隙，電位差超過 10000 伏特，則空氣會被游離而瞬間成為導體，於是產生電弧。日常生活的瓦斯爐，汽油引擎中的火星塞，都利用這種電弧點火。作者也以這樣的電弧引燃酒精火箭(寶特瓶)中的酒精蒸氣。

用這種方式發射酒精火箭，比用明火引燃寶特瓶中的酒精蒸氣，更為方便和精準，因為可以精確控制發射的時間點，又不用擔心室內或室外無可避免的風所造成的影響，干擾點火。更重要的是，用電弧



圖一、四年前在金門科學嘉年華的開幕式中，作者應邀表演開幕式的科學節目，其中就有酒精火箭升空，當時已經設計的多連發火箭來不及測試，埋沒多時。

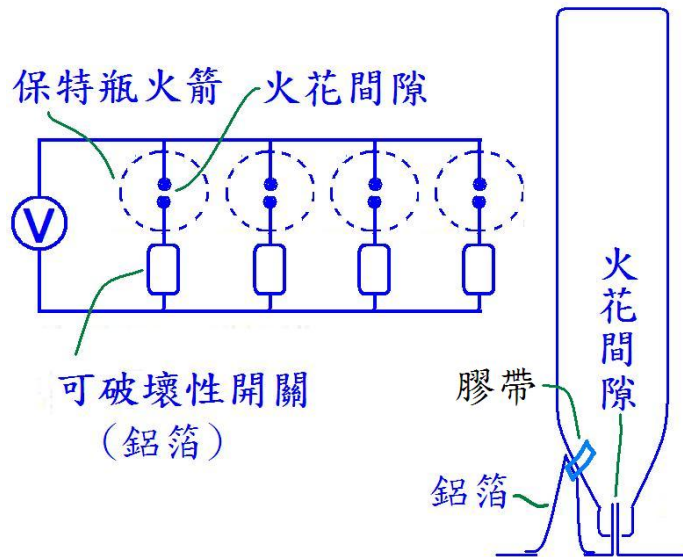
引燃酒精火箭，就有可能利用適當的電路設計，一次連續或一次全部發射多個寶特瓶火箭，而形成火箭集體升空的景象，使第三定律或火箭推進原理的科學教育活動，平添驚奇熱鬧的節慶氣氛。

但是，用電弧點火時，如果將所有的火花間隙串聯，就必須要使用相對較高的電位差來產生電弧，勢必動用有相當高電壓的電源，例如：要同時引燃 10 個火箭，電源的電壓必須高達 8 萬伏特以上，才能比較可靠、萬無一失地同時點燃 10 個火箭，相關器材更危險且昂貴。如果有一火花間隙不能導通，則全部火花間隙不能導通。

如果火花間隙並聯，則非常不容易使所有火花間隙都同時或分別產生電弧。因

為，只要在所有並聯火花間隙中，有一個間隙產生電弧而導通，則其他間隙之電位差，都會因為這個產生電弧的間隙而無法升高到足以產生電弧。這是並聯點火電路的問題。

但是，為了降低點火電壓到一萬伏特左右，以並聯火花間隙的方式點火，的確是可行性較高的選項。於是作者創作了一種電路，可以隨機地逐一讓酒精火箭點火升空。見圖二所示，所有的火花間隙都並聯，當一萬伏特的電壓加在火花間隙兩側時，總是會有一個火花間隙，因間隙較小（以及其他原因），率先導通產生電弧，於是點燃火箭迅即升空。如果在此情形下，不做任何處理，則此火花間隙因電弧導通，就形成了唯一且始終導通的間隙。



圖二、左方為連續發射多管火箭的點火電路圖，其中火花間隙就是金屬絲尖端的間隙，所有的火花間隙都並聯，可破壞性開關則是由鋁箔構成；右側為火花間隙深入寶特瓶中的情形，其中值得注意的是，鋁箔以膠帶黏在寶特瓶火箭上，所以火箭發射的時候會撕掉鋁箔。

因此，作者設計了破壞性開關，當某一個火花間隙導通而發射出火箭的同時，利用升空的火箭摧毀這個火花間隙的開關，破壞這個火花間隙（或可視為拆除這個火花間隙）。於是這個火花間隙就不再存在，也不會再因這個火花間隙導通而降低其他火花間隙的電壓。於是另一個火花間隙又會導通產生電弧，發射火箭，又再破壞這個開關，拆除這個火花間隙。其他所有火花間隙的電壓又再度升高到電源的電壓，再有另一個火花間隙導通，再發射火箭，如此這般，於是所有火箭都一一升空。

創作的電路圖如圖二所示，於 2019 年 10 月首次再台北科學教育館一樓大廳成功試射連發火箭，見圖三。

參、材料與製程

製作這組科學教/玩具所需的材料如下：①木板（大約 20cm 寬，50cm 長）幾塊。②裸銅線（直徑約 1.0 mm~1.2 mm）、銅片（厚約 0.5mm）。③竹籤（烤肉用，直徑約 4 mm）。④電線。⑤ 110 伏特輸入，輸出 10000 伏特、10~20 毫安輸出的電源（變壓器）。⑥廚房用鋁箔。⑦膠帶。⑧若干個 1500 cc 寶特瓶。⑨ 500 cc 濃度 95% 以上的酒精。



圖三、從左上到右下依序是：第一個火箭、第二個火箭(第二個火箭正點火)、第三個火箭(第三個火箭正點火)、第四個火箭發射的連續照片。從照片中可以看出第一個火箭發射之後第二個火箭才被引燃，第二個火箭引燃之後，第三個火箭才再被引燃，依序把四個火箭通通發射成功。

首先製作四火箭之發射器，用木板作為基座，木板上有四組火箭發射裝置，每個裝置中央鑽兩小孔，二裸銅線從木板底下從這兩個孔中伸出，垂直向上，裸銅線上方尖端相距最近，以確保電弧在尖端發生，此兩裸銅線從寶特瓶蓋中心直徑 7 mm

的圓孔伸入寶特瓶，以可靠地點燃其中的酒精蒸氣。每個裝置以中央穿出裸銅線的兩小孔連線的中點為圓心，畫一圓，直徑略大於寶特瓶直徑，在圓上鑽等距的 6 孔（直徑約 4 mm），插入直徑約 4 mm 的竹籤，以使用竹籤扶正垂直立於木板上的寶

特瓶。

兩小孔中的裸銅絲有一條裸銅絲連接同一電線（或銅絲）。另一條裸銅絲連接另一電線（或銅絲），但這條裸銅絲與另一電線之間，有一段導線由鋁箔構成，此鋁箔用膠帶貼在寶特瓶上（見圖四）。兩條電線分別接在一萬伏特的變壓器。

至於火箭之製作，只需將 1500cc 的寶特瓶蓋的正中心鑽一直徑 7 mm 的小孔即成。

肆、操作要領與實驗

實驗時將 10cc 酒精注入 1500 cc 的寶特瓶，蓋好瓶蓋，並搖動寶特瓶約 2 分鐘之後，瓶蓋朝下，讓多餘的液態酒精流出，再將寶特瓶一一置於 6 根竹籤構成的支架之中，讓垂直向上的兩裸銅絲都伸入下方瓶蓋的圓孔中。

把連接裸銅線與電線的鋁箔之中間部分，用膠帶小心黏在寶特瓶上。鋁箔兩端，則用膠帶分別黏在裸銅絲端點的銅片與電源線的銅片上，以使電源線能與裸銅線導通（見圖四），另一條電源線能與另一裸銅線導通。

此時，再將變壓器 10000 伏特的兩輸出電極分別連接兩電源線，變壓器通電之後，在連發發射架上的酒精火箭（寶特瓶）就會一一升空。

操作時，要確認寶特瓶中的酒精不超過 10 cc，剩餘的酒精一定要事先放置在遠方。因為寶特瓶中的氣態酒精不可能長久燃燒，但剩餘的酒精量較多，若意外引燃之後，較不易控制火勢。變壓器最後才裝上，以確定他人不會在安裝酒精火箭時就意外發射火箭；並經倒數程序，提醒大家注意與小心防護。



圖四、作者正將鋁箔撕成長條狀作為可破壞性開關（左）。紅色的膠帶將鋁箔黏在寶特瓶上，鋁箔兩端分別接通電源線與裸銅絲。

伍、結語

火箭其實也是引擎的一種，火箭引擎在原理上涉及牛頓第三定律，在設計實務上則須仔細考慮功與能的原理。分析燃料的化學能如何轉換成火箭的動能和尾氣的能量，是設計火箭的重點之一。火箭本身又是一項動魄驚心的教具。

比起水火箭，酒精火箭的細節更像真實的火箭，在操作實驗上更為簡易便利，實驗後也容易復原場地，而且酒精火箭在室內或室外都可以實驗。

許多科教活動都在室內進行，水火箭幾無用武之地。酒精火箭卻特別適於天花板無易燃物質、地面也沒有地毯的大型室內。在室內操作時若能略為控制連發酒精火箭的數目在 4~5 個以下，實驗即十分安全。因為根據作者無數次不同狀況下操作酒精火箭的經驗，有極少極少的可能性，當火箭發射升空之後再落到地面上時，仍有少量殘留酒精在火箭中燃燒，這種情形極為罕見，但在非常多次的實驗當中還是會有一、兩次這種情形，雖然它發生的機率非常非常低，但是操作者仍然必須警覺這樣造成危險的極小機率。酒精火箭的數目超過 4~5 個，就不方便掌握每個火箭落地後是否繼續燃燒。

在實驗時要特別注意到兩件事：第一是酒精濃度越高越好，因為市售的酒精有些濃度只有 75%，也有的是 95%，根據實際的經驗可知，95%的酒精會使酒精火箭的表現較佳，75%酒精的表現就較差，濃度再低就不適合進行這項實驗。當然，如果

有極高濃度(例如有 99%濃度)的酒精，整個酒精火箭的表現會變得非常好。

此外，在發射前要一一仔細檢查所有的火花間隙必要留有間隙，如果有一個火花間隙在發射前兩個金屬絲就已經接觸，如此一來，就不會再產生電弧使火箭升空，於是所有的火箭都無法升空。因為任何一個短路的現象，都會使所有的火花間隙無法點火，在發射前都必須仔細檢查，每一個火花間隙的金屬絲都沒有互相接觸(見圖五)。



圖五、箭頭所指處就是火花間隙。

這款連發火箭涉及電路學原理，巧妙利用並聯時只有一個火花間隙會產生電弧的現象，再利用被引燃升空的火箭拆除整

個火花間隙，使另一個火花間隙接著產生電弧，從而依序發射火箭。實驗連發火箭時，同時也實驗了電路學原理。

雖然連發點火電路之設計相當巧妙，但實際之構造仍有改善的空間，以便使裝填多個酒精火箭的過程更為方便省時，更為可靠，更進一步提高實驗的成功率。

近年來許多中大型的科教活動在台灣蓬勃發展，有如雨後春筍，在開幕或閉幕時，這款兼具聲光效果、洋溢歡樂氣氛，而又深具科學內涵的連發火箭秀，相信會受到歡迎，蔚為流行。

誌謝

感謝台北科學教育館佟冠誼行政專員以及王若憶行政專員的熱心協助與拍攝，也感謝助理羅鈺婷小姐仔細校稿與打字。

參考文獻

- 周鑑恆 (2010): 醇類火箭。科學教育月刊 335, 36-39。中華民國九十九年十二月。
- D. Halliday, R. Resnick and J. Walker, (2005), *Fundamentals of physics*, 7ed., Ch.27, John Wiley & Sons, Inc.
- Nancy Hall (2015 May 5). Rocket Propulsion. Retrieved from <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/rocket.html>