

醇類火箭

周鑑恆

私立萬能科技大學 光電工程系

壹、前言

教科書中的文句應該避免誤導或語焉不詳。有些教科書上常說：火箭是牛頓第三運動定律的重要應用。然而細節是什麼呢？讓我們動手製作一具推進原理與真實火箭相差無幾的簡易火箭，仔細研究一下吧！

先在 600 mL 礦泉水瓶(PET 塑膠製汽水瓶或寶特瓶亦可)的蓋子中心鑽一個直徑 5 mm 的孔，清除瓶中的水，倒入約 5 ~ 8 mL 的乙醇(或甲醇)，用力搖晃瓶子約 30 秒，儘可能使酒精揮發，儘可能潤溼寶特瓶內壁，蓋好有孔的瓶蓋，倒立礦泉水瓶在發射架上，按下電擊器開關，引燃酒精蒸氣，瓶中可見藍光火焰，夾雜噴氣與爆鳴聲，礦泉水瓶火箭立即激射升空¹。

作者在一百五十多名中學教師學員參加的講堂中，實際操作這項實驗²和集思廣益之後，進一步發展出同時發射兩枚火箭、斜向發射火箭、使用甲醇³燃料、能將 1500 mL、2000 mL 礦泉水瓶發射升空、並以攝影方式增加實驗效果、且附帶思考題的完整教學方案。

整個實驗所需的材料可輕易取得，製程、準備及收拾善後遠比水火箭簡單，推進原理逼近真實火箭，又與利用酒精爆燃

炸飛養樂多瓶的常見實驗⁴相當不同，極適合在牛頓第三運動定律及火箭原理教學中應用。

貳、本實驗所須的材料

1. 女子防身用的小型電擊器（見圖一），約 8 萬伏特；也有中學老師²建議用點火槍加以改造。
2. 600 mL、1500 mL、2000 mL 的寶特瓶。
3. 免洗筷多雙；木板一塊。
4. 直徑約 0.8 mm 的鐵絲兩根。
5. 電線。

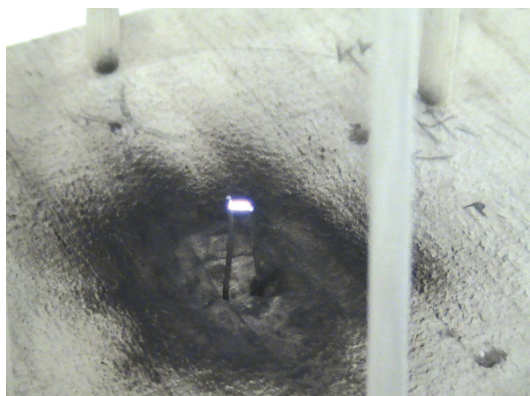


圖一：放電中的小型電擊器。

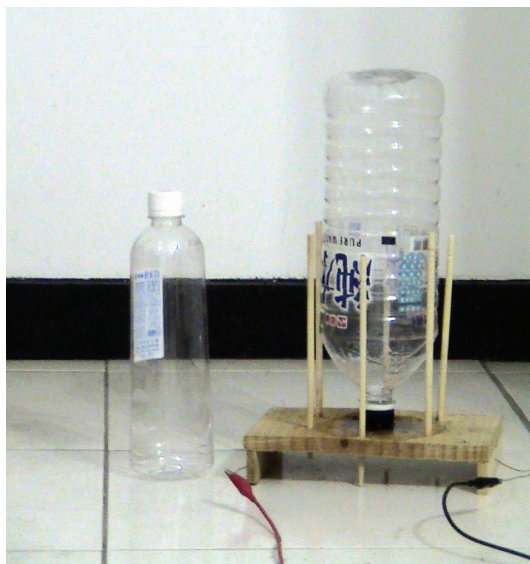
參、製程

1. 600mL、1500 mL、2000mL 寶特瓶火箭垂直發射之發射架：在木板上先鑽相距 5 mm 的兩小孔，兩鐵絲分別從

底下穿出木板，兩鐵絲底部相距約 5 mm，上方尖端處較近，相距約 3 mm，鐵絲並用 AB 膠黏妥，見圖二 a。根據寶特瓶大小，木板四周再鑽可容納 6 根免洗筷的孔，將免洗筷插入孔中。見圖二 b。

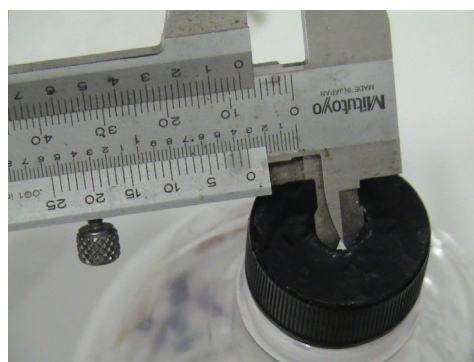


圖二 a：從底下穿出木板的兩鐵絲底部相距約 5 mm，上方尖端相距約 3mm，尖端現正在放電。



圖二 b：木板四周 6 根免洗筷扶住 2000 mL 寶特瓶。

2. 串聯兩具發射架，即成一具雙發齊射發射架，可以同時點燃兩具火箭，使它們一起升空。
3. 傾斜發射架，即可使火箭以一定仰角射出。
4. 尾翼製作：首先取一塊適當大小的厚紙(形狀和大小由讀者決定)，先在紙片繪出各位想要的尾翼形狀，設計適當的黏接部分，剪下之後。在火箭(寶特瓶)腰部以下預先設想的位置，用雙面膠或膠帶黏貼，即可完成。
5. 鼻錐製作：請大家自行設計，在紙片上劃出一適當大小的扇形面積，預留適當的黏接部分，用剪刀剪出扇形紙片，並以膠帶黏貼，最後將圓錐底部套於火箭前端(寶特瓶底部)位置，並用膠帶或雙面膠黏貼即可。
6. 寶特瓶瓶蓋正中心要鑽一圓孔，作為噴嘴。孔徑十分重要(直徑相差 1mm，推力即有明顯差別)，600 mL 寶特瓶瓶蓋之圓孔直徑 5 mm；1500 mL 寶特瓶瓶蓋之圓孔直徑 6.5 mm、2000 mL 寶特瓶瓶蓋之圓孔直徑 8 mm (見圖三)。



圖三：2000 mL 寶特瓶瓶蓋之圓孔直徑 8 mm。

肆、操作要領

將 5~8 mL 甲醇或乙醇裝入 600 mL 寶特瓶中，劇烈搖動寶特瓶約 60 秒，使燃料充分蒸發，並儘可能用燃料潤溼內壁(氣溫低於 25°C 時，先將裝有燃料的寶特瓶浸在熱水中 5-6 分鐘，再取出搖晃)；將 7~10 mL 甲醇或乙醇裝入 1500 mL 寶特瓶中；或將 8~12 mL 甲醇或乙醇裝入 2000 mL 寶特瓶中，如法炮製，劇烈搖動寶特瓶約 100~120 秒，儘可能用燃料潤溼內壁。

將寶特瓶瓶蓋朝下置於發射架上，發射架上的兩根鐵絲要伸入蓋中心的孔中，以便引燃寶特瓶中的甲醇或乙醇蒸氣。發射架上的兩根鐵絲，利用電線連接電擊器上兩個電極，按下電擊器開關，寶特瓶中火焰由瓶口向上竄燒，膨脹的燃燒廢氣由噴嘴噴出，發出氣體噴射的聲音，寶特瓶立即升空，飛行期間已能表現出火箭飛行的特徵：速度逐漸加快。

1500 mL 寶特瓶及 2000 mL 寶特瓶火箭均能升至三層樓的高度。既然 2000 mL 寶特瓶火箭不會燒壞，且可重複使用，更大型(組合多個寶特瓶)，飛得更高的寶特瓶火箭，也不難研製。

將兩個寶特瓶火箭填裝在雙發齊射發射架上，這兩個寶特瓶火箭可同時點火升空。將寶特瓶火箭填裝在斜向發射架上，寶特瓶火箭即成為橫飛的飛彈了。

伍、常出現的問題及排除方法

直覺上在這實驗中寶特瓶應該很容

易燒壞，其實不然。容易發生的問題，反而是燃燒不完全或不夠快速，推力不足，幾種可能的原因如下：(1) 寶特瓶發射過第一次後，內部氧氣被燃燒殆盡，導致瓶內缺氧無法第二次發射。此時必須使用噴球或吸塵器，將二氧化碳吹出，靜待一會兒，即可再次使用；(2) 瓶內酒精(或甲醇)不能發生快速燃燒的現象，在這情形下，可檢查酒精添加量是否足夠或不足、搖晃時間是否太短或太長(寧可長些)、氣溫是否太低，以致於酒精蒸發減緩，導致酒精蒸氣和空氣混合的比例不對…等。

陸、安全考慮

本實驗仍具一定危險性，基於安全考量，(甲)本實驗不用氣體燃料，原因是：A、氣體燃料用量不易控制。B、因氣體燃料不可見，現場若瀰漫氣體燃料(特別是在教室中進行此實驗時)，安全堪慮。C、氣體燃料填充時常不慎將瓶中空氣吹光，致使瓶中燃料濃度過大，反而不利燃燒。(乙)即便使用液態燃料，操作時務必遵守下列要求：A、本實驗操作發射時，務必大聲倒數，引人注意。B、火箭發射方向，絕不可瞄準人。C、發射架附近(半徑 2.5 公尺)淨空，所有酒精或甲醇嚴禁置放在發射架附近，以免發射時引燃。D、為防萬一，現場必備滅火器。

柒、建議

因火箭速度很快，不妨用手機或攝影機拍下，再放映出來欣賞。可以清楚看到

寶特瓶中酒精或木精燃燒的藍色火燄，和噴嘴噴出的巨大火燄，寶特瓶確實利用火箭的推進原理飛行，而非被爆炸的瞬間壓力推昇。用一片厚壓克力板遮臉龐及眼睛，整個升空過程雖快，但還是可以近距離看得一清二楚。

捌、思考題

這項實驗涉及的學問可不少，茲列出以下幾個思考題，有助於教師課堂演示時使用。

1. 以牛頓第三運動定律解釋寶特瓶火箭得以升空的原因。
2. 再次發射為何要吹氣入瓶？
3. 以甲醇作燃料效果較乙醇佳或劣？（此問題可作為中學生專題）
4. 液體燃料為何要儘可能潤溼寶特瓶內壁？
5. 用氣體燃料有何缺點？
6. 有無更好的方法製作鼻錐和尾翼？

以上問題適合大學一年級以下學生。

7. 噴嘴大小和形狀如何影響推力？為何噴嘴直徑如此敏感的影響推力？
8. 為何火箭加速升空時，火箭姿勢穩定，燃料耗盡後，火箭姿勢反而不穩定？
9. 鼻錐如何影響飛行？
10. 尾翼大小如何才適當？如何影響飛行？

玖、註釋

1. 參見周鑑恆(2010)，自製原始噴射引擎，科學月刊 2010 年 6 月，34 頁～36 頁。
2. 周鑑恆(2010)，酒火箭，2010 年中華民國物理教學及示範研討會工作坊，中央大學，2010 年 8 月 21～8 月 22 日。
3. 甲醇 (Methanol)，別名木醇、木精，化學式 CH_3OH ，密度 0.7918 g/cm^3 ，沸點 $64.7 \text{ }^\circ\text{C}$ (337.8 K)，與水完全互溶。乙醇 (Ethanol)，別名酒精、火酒，化學式 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ，密度 0.789 g/cm^3 ，沸點 $78.4 \text{ }^\circ\text{C}$ (351.6 K)，也能與水完全互溶。甲醇沸點較低，雜貨店都有售，方便購買，反而有利於此項實驗。
4. 以養樂多酒精火箭為關鍵字，上網可查出許多參考資料。