

翻轉水火箭教學--電土火箭

江建昌

臺中市立樂業國民小學

壹、前言

水火箭在台灣，甚至世界各地已經流行多年，但從上個世紀到現在一直停留在一種固定的使用型態，即透過打氣筒將空氣擠壓在裝有水的寶特瓶瓶身，並運用氣體的壓力將水迅速噴出，以作用力與反作用力的原理施放，如圖一。



圖一、傳統水火箭裝置

水火箭據說是日本人發明的，多年來在台灣一直停留在火箭體本身的教學 DIY 及牛頓第三運動定律身上，再加上受相關配件，尤其是噴嘴及發射架等特殊規格材料的限制，讓水火箭的教學內容與普及性顯得狹隘，同時也因其關鍵零組件的商業化、便利化，讓水火箭變成數十年如一日的庸俗化科學營道具，對台灣科教界而言，實在有必要重新思索翻轉的可能性。

貳、水火箭基本原理簡介(註 1)

一、動能

水火箭動量為箭體質量和其運動速度的乘積。動量守恆為一系統之總動量為此系統中各物體之動量和。因為保特瓶容納的空間有限，在噴氣嘴打開的瞬間，空氣壓力受到釋放迅速衝出，此時瓶內的水被空氣的壓力向外推，當水流高速向外衝出時，增加反作用力，也就能推動水火箭向上升空。

二、作用力與反作用力

牛頓第三運動定律：如果以一力推（拉）一物體時，該物體會以相等大小的力推（拉）施力者。單位面積中所受的空氣壓力 $P = F/A$ ， P ：壓力， F ：作用力， A ：面積。

三、壓力愈大，所產生的作用力也愈大

例如將氣球氣球充氣，把吹氣口鬆開，空氣就會從吹氣口咻的飛出去。氣球往後面噴出來的空氣力量，會把氣球往前面推進。氣球內的空氣越飽，其衝力越大，水火箭的動力也是利用這種反作用力產生的。

四、影響飛行的重力因素

地心引力會使物體落回到地面。兩物體間萬有引力大小取決於它們之間的距離，也取決於物體的重量。距離愈大，萬有引力就愈小。物體的重量愈大，重力就愈大。

五、其他影響因素

(一)發射仰角

發射角對水火箭的飛行距離甚為重要，如同跳遠一樣，一開始須以一仰角方向作用，但受到地心引力的影響，會呈一拋物線方式飛行。

(二)空氣阻力

物體移動穿過空氣時，空氣分子撞在物體上產生摩擦力，此種摩擦力稱之為空氣阻力，順風或逆方影響甚大。

(三)尾翼的作用

在於保持水火箭飛行的穩定性，以減少空氣對箭體的擾流。

參、傳統水火箭的優缺點

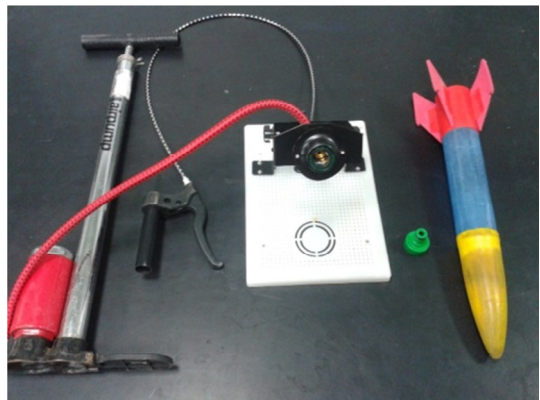
若要改造傳統的水火箭，就必須對其優缺點做一個全面性的檢視，才能有效達成變革的目標。

一、優點方面

1. 傳統式的水火箭已經有商業化的生產，方便民眾購買與操作。
2. 飛行品質穩定且耐用、安全，容易上手。
3. 配件齊全，並備有材料包及規格化的零組件，可以 DIY 及不同品牌通用。

二、缺點方面

1. 固定模式的操作方式缺乏創意、也限縮了教學及娛樂的用途。
2. 產品單價並不便宜，整套市價動則上千元，在推廣上仍有經費限制。
3. 關鍵的控制閥零件掌控了整套教材的運用，無法突破既有的學習框架。
4. 打氣筒打氣的方式不利於力量較小學童或嬌弱女性教師的操作。
5. 火箭體加上發射架及打氣筒體積龐大，既笨重又不利於攜帶和移動，如圖二。



圖二、傳統水火箭所需要的基本配備

6. 傳統水火箭施放過程中，因施放者或旁觀者距離箭體過近，起飛瞬間身體容易被水噴濕，夏季或可適合運用，但冬季就比較不適合。
7. 傳統水火箭若是國外傳入的，適當地加以本土化改造，應該更能具有在地教學及推廣的意義。

肆、電土火箭的創新緣起

傳統水火箭雖然名為水火箭，但其自

始至終都沒有火的成分，如何讓它成為名符其實的有水又有火的水火箭，是筆者一個最初的構想。後來在一場科教研習中，有講師示範電火炮(註 2)，藉由氣爆威力讓養樂多瓶飛出。其所使用的電土(如圖三)即是蕉農用來催熟香蕉的材料(註 3)。這種電土在台灣靠丘陵地帶種植香蕉的地區，在當地的五金行或雜貨店通常就有販賣，而且價格非常的便宜。農民通常也將這種材料放在竹筒中，在山區果園施放，以驅趕危害果園的獼猴。



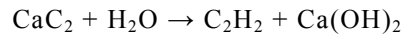
圖三、電土，即碳化鈣

因此，既然電土與水化合反應後產生的乙炔經火點燃後可產生氣爆，其瞬間壓力作用必然如同打氣筒將空氣打入水火箭內造成的壓力，而可以擠壓水火箭內的水產生相同的反作用力效果，而達成飛翔的動力。那麼將竹筒炮原理與水火箭兩者加以結合，就是一個可以嘗試的契機。

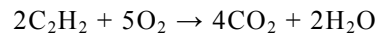
伍、創新的挑戰

電土又稱電石，其成分是碳化鈣(CaC₂)，民間竹筒炮燃放的原理就是利用

電土加水產生可燃物乙炔氣體，當達到燃點時，乙炔氣體會與助燃物氧氣混合燃燒，其化學反應式如下(註 4)：



(電土)(水) (乙炔氣)(氫氧化鈣)



(乙炔)(氧氣)(二氧化碳)(水蒸氣)

當竹筒內的乙炔有足夠的氧氣助燃，經點火後乙炔就能在瞬間完成燃燒，同時也瞬間產生二氧化碳氣體、水蒸氣及大量的熱量，使竹筒內的空氣急速熱膨脹，而產生類似鞭炮爆炸的聲響及能量釋放。因此如果將這種熱能反應運用在水火箭瓶內，運用其瞬間反應的壓力，應該足以產生如同傳統水火箭施放時所運用的空氣壓力原理一樣。

然而，要在水火箭體中製造乙炔並不困難，只要將適量電土放進裝水的箭體中，再將出水口封住，讓電土與水充分反應即可。關鍵是如何將箭體內的乙炔點燃，並以此製造氣爆作為水火箭動力的設計，以及隨之而來的止水閥開啟和發射架改造等問題。傳統竹筒炮是在竹筒下方開一個小洞點火，但這明顯不適用於水火箭，因為如果在箭體中另開一個小洞，氣爆時就無法產生單一方向的作用力，火箭大概也只能在地上亂滾而把旁觀者噴了一身溼了。

由於箭體內的空氣是在水的上方，所以無法直接在火箭底部點火，而必須設計一個可以在箭體內的空氣層中將含有乙炔成分的空氣點燃的設施，但這個設施又必

須在經過水層時，不會因為沾到水而無法啟動。其次，箭體內的水必須封住，避免下漏，但又須讓它在氣爆瞬間打開，才有辦法產生具方向性的作用力與反作用力。第三、還須克服發射架的問題。

傳統的水火箭必須要有一噴嘴，噴嘴裝置在箭體的最末端，其作用是水與空氣的出入口，並連接箭體與發射架，發射架設計於扣住箭體最末端的噴嘴口，因此在箭體起飛時不會卡到尾翼，影響水火箭的飛行。因此發射裝置在整組水火箭配備中變得至關重要，與箭體的重要性不分軒輊，若再加上打氣筒，其經費甚至遠比箭體還貴，而且完全無法 DIY。

陸、設計與實驗

要將氣爆設計運用在傳統水火箭中，就必須讓箭體起飛瞬間和氣爆時間一氣呵成，才能產生最大的推動能量，因此無法再以手動發射，當然也就不能再以傳統的發射架作為基座。因此，新的發射架就要設計成既能支撐箭體，還要能調整發射角度，還得能在起飛時不勾到尾翼，造成阻力。但最重要的是，新的設計要具備比舊式的設計要經濟實惠、功能多元、效果強、輕盈、方便攜帶、可以整套 DIY 等條件才會具有競爭優勢。

一、針對克服上述種種難題，電土火箭進行了以下三項設計：

(一) 在點火設計上：將市面上販售的電子點火器加以改裝，拆下原來的點火管，

將點火管與握把之間的電線加長為 5 公尺，如此，可以避免發射時操作人員被水噴濺到，同時也提升其安全性，如圖四。



圖四、點火設計

(二) 在防漏的部分：在點火管外加裝一個橡皮塞，橡皮塞大小須能塞住並固定寶特瓶火箭瓶口（例如 #6 橡皮塞），點火端的管子需比箭體內的水位高才能在含有乙炔的空氣層中點火。如圖五所示，並須將電線、點火管與橡皮塞三者加以固定，務使其不會相互脫離。



圖五、防漏及點火設計

(三)發射架的部分:尋找一截長度約 50 公分,直徑約 5 公分的竹子,將竹子剖半,其中一半長度再裁掉 1/3,兩片竹子的一端再削尖,如圖六所示。使用時將兩片竹片以適當距離插入土中,運用兩片竹片的高低差做為固定箭身及發射仰角之用。



圖六、發射架

二、DIY 材料及價格說明

1. 火箭機身(自製或借用)
2. 5 公尺電線
3. 3 號電池 1 顆
4. 電子點火器
5. 有孔橡膠塞 1 個
6. 直徑約 1 公分中空管,長度約 20 公分,材質不拘,但需耐熱。
7. 竹片 2 枚,做為發射架。
8. 固定料件用熱溶膠、膠帶、電土

從所需材料可以發現,總經費甚至可以壓縮在 200 元以內,同時也大大增加全 DIY 的可能性,價格僅舊式的 1/3,同時也大大減輕整套設備的體積與重量。

三、試飛實驗發現

1. 整體架構及發射裝置角度如圖七、圖八所示。



圖七、新式水火箭裝置



圖八、固定箭身設計

2. 電土用量每次約 1 顆綠豆的大小,過多容易造成燃燒不完全,無法產生瞬間的氣爆壓力。
3. 所加水量約占箭體總容量的 1/3。
4. 電土火箭射程較傳統射程有顯著的提升,因此施放空間需選擇直線距離至少 100 公尺的寬闊草地,箭體落下較不易損傷,也較易於安置發射架,施放時須注意場地人員管制。
5. 電土火箭施放時並不會如同竹筒砲般產生巨大的聲響,而是如同傳統加壓

打氣式水火箭一樣，僅有起飛瞬間水沖瀉而出的咻聲，可見氣爆產生的熱能完全轉化為箭體飛射的動能，因此不會影響他人上課，也不會驚嚇到附近民眾。

6. 每次使用前後都須檢視點火管的尖端放電裝置是否可以運作正常，若無法運作，試著更換電池，或將距離過遠的尖端放電裝置稍加調整即可。
7. 氣爆式水火箭亦有其需特別留意的地方，例如電土要小心管控，避免學生不當使用或過量使用，亦不可在手中有水時徒手拿取，以免灼傷。點火啟動裝置不用時須將電池取下，以策安全。此外，因學生缺乏打氣的操作機會，可能較無法滿足其參與感和成就感。

柒、電土火箭在教學上的運用

以乙炔氣爆作為動力的電土火箭因施放過程完全不費力，對教學者及較年幼的學童而言，較能節省時間和精力，教學者不再需要不斷地協助每一位學生充氣而分身乏術，而學生也不至於機械式的重複操作加水、充氣、施放、歡呼、衝去撿箭體的固定模式，而是可以將學習重心回歸到學習活動中，促進學生從活動中思考改變或增加操縱變因(例如水量、電土量、空氣量之間的函數關係)的可能性。

此外，運用純粹的化學變化，減少人為充氣的力量差異，讓電土火箭的射程穩定性大增，而整個施放的能量變化過程，

更強化了其教學運用的多元價值性。以目前小學自然與生活科技領域課程教學為例，其適用的教學單元包括三年級空氣單元中空氣佔有空間、空氣流動成風及空氣可以被擠壓等的特性。四年級能源與交通單元則可運用說明能源的多元性與能量轉換。而五年級燃燒 3 要素單元中，則可搭配氣爆時事教學，說明氣爆的產生與燃燒 3 要素之間的關係。其他如防災教育、消防防火宣導、航太科學、中小學科學營，科展活動、鄉土教學竹筒炮、蹦火船集魚法等等。而國中課程則有牛頓運動定律(作用力反作用力、慣性、地心引力)，甚至可以作為消防用拋繩槍運用，教學適用的範疇明顯比傳統水火箭來的更寬且廣。

捌、結語

氣爆式電土火箭有其值得推廣的利基，因為電土本來就是台灣傳統農漁業活動中存在的鄉土生計資材，在手電筒尚未普及的年代，電土燈更是夜間漁獵(抓青蛙、捕魚、打飛鼠)活動的重要工具，而竹筒炮目前則仍運用於山區果園驅趕獼猴，因此對許多人的記憶與文化認同而言，極具有鄉土教育意義。而將老電土搭配上具現代感的水火箭，更能創造出傳統與現代、鄉土與科學、爺爺與孫子等跨領域知識、跨世代記憶相互結合的再生意義，翻轉電土與水火箭的教學、農漁業與娛樂等之運用，因此從本土化、經濟化、多元化的角度來看，電土火箭都有其推廣的價值。

註釋

註 1：參考自 <http://www.aro.idv.tw/index-1.htm>。

註 2：以俗稱電土的碳化鈣澆水後，將產生的乙炔氣體收集在養樂多瓶中，再以打火機引爆，讓養樂多瓶飛出。

註 3：北部金山的橫港，當地漁船於夜間在海上以電土加水產生的乙炔點火，俗稱蹦火，以火光集魚撈捕。

註 4：參考自 <http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/44/c08/080119.pdf>。