
玻璃史特林引擎

周鑑恆

水火箭、浮沈偶都是國內科學教育活動中經常舉辦的項目，前者演示牛頓第二運動定律，後者說明物體所受浮力和物體體積的關係。由於這兩項活動寓教於樂的效果非常好，現場氣氛熱烈，參與者興緻高昂，十分受到歡迎。然而，更新的類似科教項目，卻似乎不常添加，實為美中不足之處。史特林引擎製作是一項非常有趣的熱學教材，其趣味性和豐富內容，可媲美水火箭、浮沈偶，必更能豐富國內科普教育的內容。

前幾年還曾流行過以吸管或報紙保護雞蛋，比賽雞蛋由樓上墜下時，何者不破。乍見之下，這項涉及多項力學原理的競賽，似乎有些突兀，還有糟踏食物之嫌。其實不然，其背後有嚴肅的目的。美國太空總署花費天文數字的經費進行的火星探測，考慮火星重力較小，長程宇航後各項裝備的可靠性，最後關鍵的著陸多以減速墜落的方式完成。墜落雞蛋的實驗，顯然有突破專家盲點，向年輕學生尋求創意的深遠用心。自製史特林引擎亦復如此，國際上史特林引擎之研發方興未艾，創作改良正有極大的發展空間，自製史特林引擎不僅是熱學的科普教材，更向年輕學生提出一項前程似錦的科研題目，學生不僅吸收新知，日後更有可能會回饋有極具價值的創意。

本文介紹的史特林引擎，經作者改良，很容易製作成功。只組合小玻璃試管、木材、和吉他的鋼弦就能自製一具；用到最精密的工具也不過是高中工藝教室裏就能找到的小型車床。

所需的材料如下：

- 1.直徑約 0.35 mm (0.016 號) 的吉他鋼弦一根 (樂器行有售，挑一根完全沒有生鏽的)；
- 2.外徑 5.8 mm，內徑約 0.4 mm 的玻璃毛細管一支 (學校實驗室應該找得到，以能容納吉他鋼弦從中穿過為原則)；
- 3.直徑 0.6 mm 的玻璃纖維桿一支 (釣具店有售，日本進口的最好，價錢合理)；
- 4.直徑約 1.5 cm 的鋁棒 (在台北市太原路可貨比三家)；
- 5.內徑約 18.6mm 的玻璃試管一支 (化學實驗室或玻璃儀器行都一定有玻璃試管和玻璃管，價格約二、三十元台幣)；
- 6.外徑約 17.8 mm 的玻璃試管一支 (要能置於內徑 18.6 mm 的玻璃試管中滑動)；
- 7.內徑 10 mm、8 mm、1.2 mm 的玻璃管各一支；
- 8.直徑 1.0 mm 的鋼棒二根 (鋼棒可向賣鑽頭的廠商買，事實上就是尚未車製出螺紋的鑽頭，鋼棒用作轉軸，內徑 1.2 mm 的玻璃管用作軸承，當然，同樣粗細的碳纖維

桿也可作為轉軸)；

9.木條和木板 (B&Q 特立屋貨色齊全)；

10.內徑 2.2 mm，外徑約 3.5 mm，長約 20 cm 的橡皮管；製作試管塞子的 PE 棒一根(台北市太原路塑膠材料行內均可見)；

11.製作飛輪的珍珠板和銅片。

用到的工具包括有：小型車床和鑽床、鑽石輪鋸(五金工具行有售，售價僅台幣數百元)；美工刀、砂紙；AB 膠等。

製作過程：

封底圖 A 為本引擎的全貌，以 95 度藥用酒精為燃料。

用鑽石輪鋸，將外徑 1.2 cm，內徑 1.0 cm 玻璃圓管，鋸成約 6 cm 長，作為汽缸。並且使用小型車床，將直徑約 1.5 cm 的鋁棒，車成恰可在汽缸中滑動的活塞，活塞長約 2.6 cm。用鑽頭將此活塞中心掏出一個直徑約 0.6 cm 的圓穴，使此活塞成為圓杯狀，並在杯底鑽一小孔，塞入直徑 0.6 mm 的玻璃纖維桿，用 AB 膠黏合，此玻璃纖維桿再與白楊木製成的動力連桿黏合。以 PE 棒製成的塞子塞住汽缸底部，PE 棒軸心鑽一個直徑 3.5 mm 的孔，此孔恰容外徑約 3.5 mm 的橡皮管塞入，使橡皮管可連通汽缸(見封底圖 B)。

其次，將外徑 17.8 mm 玻璃試管的長度裁短成 6 cm，並將管口以 PE 棒車成的塞子塞住，此塞子中心鑽一小孔，塞入吉他鋼弦，吉他鋼弦牽動這個較小試管作成的移氣胴體；內徑約 18.6 mm 的較大玻璃試管作為溫差氣室，將較小試管置於其中，

大試管管口也用 PE 棒製成的塞子塞住，此塞子一端塞住大試管管口，另一端較細，直徑略小於 8 mm，塞子軸心鑽一恰容玻璃毛細管(內徑 0.4 mm，外徑 5.8 mm)的孔，將玻璃毛細管塞入，塞子較細一端再套上一截內徑 8 mm 的玻璃管(長約 3.8 cm)。塞子另外鑽一恰容外徑 3.5 mm 的橡皮管塞入的小孔。牽動小試管的吉他鋼弦由玻璃毛細管穿出，並以 AB 膠與白楊木製的移氣連桿(長 15 cm)牢牢黏好，小試管被移氣連桿牽動，在大試管中至少要能夠往復移動 14 mm。白楊木連桿與吉他鋼弦連接處彫刻成一金針菇形的膨大結構，金針菇形的膨大結構於往復運動時均在內徑 8 mm 的玻璃管中，以確保吉他鋼弦順利伸入內徑 0.4 mm 玻璃毛細管(見封底圖 C)。

如封底圖 D 所示，內徑 1.2 mm，鋸成 4 cm 長的玻璃管作為軸承，直徑 1 mm 的鋼棒恰可於其中輕易轉動，作為轉軸。鋼棒轉軸一端裝有白楊木製的動力曲柄，動力曲柄上設有另一根較短的(直徑也是 1 mm)鋼棒，作為動力曲軸。動力曲軸和轉軸的垂直距離約 5 mm；鋼棒轉軸另一端裝有飛輪，飛輪用珍珠板製成，飛輪黏在鋼棒轉軸上由 PE 棒製成的圓盤，飛輪外緣黏上銅片增加其轉動慣量(rotational inertia)。PE 棒製成的圓盤也當作移氣曲柄，移氣曲柄上設有另一根較短的(直徑也是 1 mm)鋼棒，作為移氣曲軸。移氣曲軸和轉軸的垂直距離約 6.5 mm。轉軸、移氣曲軸、動力曲軸雖不在同一直線上，但應力求平行；轉軸到移氣曲軸的垂直連線垂直轉軸

到動力曲軸的垂直連線^(註)。

組裝時，鏤空一木質支架，支架上方鑽一孔，孔中插入玻璃軸承，鋼棒轉軸、飛輪、曲柄、曲軸均安裝妥當，這個軸承支架先固定在木質底座上，軸承距木質底座的高度約 7.5 cm。另外再用木條製作氣室支架，用 AB 膠將試管製成的溫差氣室直接黏在支架上，具有膨大結構之移氣連桿另一端的小孔先套在移氣曲軸上，用手撥動轉軸，調整氣室支架位置，使較小試管製成的移氣腔體在溫差氣室中被牽動而往復運動時，不會撞到較大試管的底部，也不會撞到試管管口的塞子，由此確定這氣室支架的位置之後，將其用 AB 膠黏在底座上。汽缸則固定於另一支架上（參見封底圖 A），活塞置於其中，動力連桿一端的小孔套在動力曲軸上，試著轉動轉軸，看看活塞往復運動時不會撞到汽缸底部或超出汽缸管口，再用 AB 膠固定此支架在木質底座。最後用外徑 3.5 mm 的橡皮管連通汽缸和溫差氣室，引擎即告完成。

發動引擎：

點著酒精燈，用火焰直接加熱試管底部，約 30~40 秒後，播動飛輪，這具手工製作的引擎隨即靜靜地加速運轉，轉速可以快到每分鐘 400 轉以上（參見封底圖 E）。這具經筆者簡化的引擎，零件只有寥寥幾樣；組裝容許較大誤差，頂多用上直尺作參考，目測一下，看看該垂直的地方是否大概垂直，該平行的地方是否大概平行而已，根本無須精密工具，所花的時間多用在等待每一步驟的 AB 膠完全硬化（約半小時）；連軸承甚至都用現成的玻璃管，各項零件之製程簡單，唯一要求精度的地方是活塞要與汽缸維持一定的氣密，但車製圓柱是車床最原始也是最基本的功能，這精度幾乎任何廉價車床都可以辦到。

註釋

1. 參見周鑑恆，教學用史特林引擎之自製，36-40 頁，科學教育月刊，民國九十二年七月出版。