

雙缸史特林引擎發電

周鑑恆

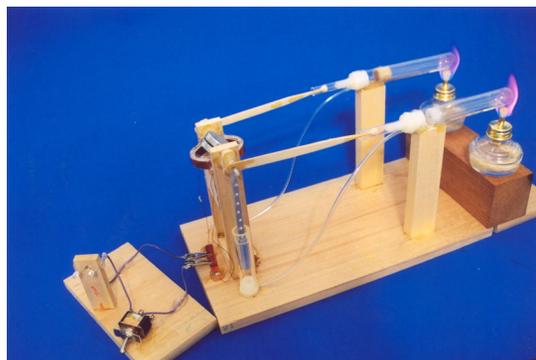
國立蘭陽技術學院

在偏遠地區，收聽廣播可能是唯一的娛樂，也是與文明世界溝通的管道，但偏遠地區無常電力供應，甚至連電池都難以取得。雖收音機本身輕巧耐用，因缺乏適當的電力，收聽廣播變十分麻煩，於是有人就想到利用發條經變速齒輪驅動微型發電機，提供收音機所需微不足道的電力。史特林引擎在某些場合也具有類似的功能，儘管至今為止小型輕巧的史特林引擎之輸出功率，仍無法與尺寸相仿的內燃機匹敵（極其微小的史特林引擎與同尺寸內燃機之比較，又另當別論），就收音機或小型照明設備而言，史特林引擎之輸出功率卻恰到好處，並且具有燃料多元化，安靜，污染少，構造簡單耐用，保養方便等優點。

玻璃製的透明史特林引擎作為教具，固然可以寓教於樂，令學生印象深刻，但如果能進一步利用史特林引擎作為動力，製作相關的動力機械，例如，裝配一輛汽車模型（註一），或驅動發電機發電，並以此電力驅動小功率電器，除了完整介紹引擎之原理、構造、和用途，更能演示熱學原理、能量守恆原理、發電機負載原理，使史特林引擎教具不但在高中、大學之物理學教學有用，也能應用在技職課程之教學和科普教育。

本文介紹這一部雙缸水平併臥透明

試管引擎發電設備，由兩具特別設計的史特林引擎（註二）組合而成，其內部構造和運轉情形一目了然。儘管乍見其外觀（圖一），構造似乎有些複雜，裝配過程好像頗棘手，但其獨特的設計已降低了精度的要求，不難成功自製，正適合有興趣的讀者可大顯身手。



圖一、試管引擎的實物照片，攝於 2004 年 4 月 14 日。

一、自製這款引擎所需的材料：

1. 外徑 1.85 cm，內徑 1.7 cm 的試管二個，和外徑 1.63 cm，內徑 1.45 cm 的試管二個（化學實驗室或玻璃儀器行一定有，價格各約二、三十元台幣）；
2. 粗約 0.4 mm（0.016 號）的吉他鋼弦（樂器行有售，35 元一條）；
3. 長約 16 cm，橫截面 $2 \times 3 \text{ mm}^2$ 的鋁桿二支
4. 玻璃毛細管（外徑 5.8 mm，內徑 0.45 mm，學校實驗室找得到）；

- 5.直徑 1.5 mm，長 10 cm 的鋼棒兩根（就是尚未攻牙的鑽頭，鑽頭工廠有賣）；
- 6.內徑 1.3 cm，長約 7cm 的玻璃管二個；
- 7.內徑 8 mm 的玻璃管；
- 8.內徑 2.2 mm，長約 20 cm 的橡皮管；
- 9.內徑 15 mm，長約 20 cm 的鋁棒一根；
- 10.直徑 20 mm，長約 20 cm 的 PE 棒（以上五項，台北市太原路都找得到）；
- 11.白楊木條若干（五金行有售）。

二、自製附屬發電機所需的材料：

- 1.直徑 0.3 mm 的漆包線 80 m；
- 2.直徑 3 cm，厚 6 mm 的鈹鐵硼稀土磁鐵（俗稱強力磁鐵）兩塊。
- 3.雙面膠。

三、所需的工具：

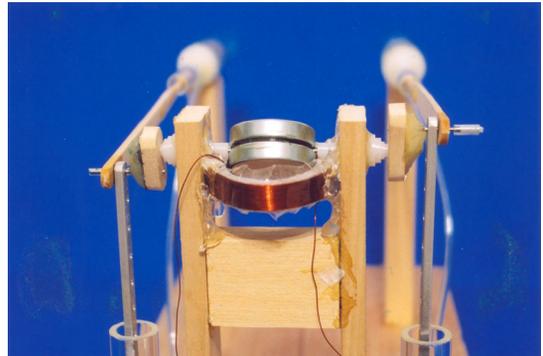
小型車床和鑽床、鑽石輪鋸（五金工具有行有售，售價僅台幣數百元）；美工刀、砂紙；AB 膠、熱熔膠等。

四、純手工裝配的製程：

圖一為本車的全貌，雙缸水平併臥，以 95 度藥用酒精為燃料。利用具有彈性的吉他琴鋼弦，經內徑很細（約 0.4 mm）的玻璃毛細管伸入試管製成的溫差氣室中，牽移其中以較小試管製成的移氣胴體，藉著空氣的黏滯性達到很好的氣密效果。汽缸為內徑 1.3 cm，長 7 cm 的玻璃管，活塞以鋁棒車製；吉他鋼弦連接白楊木製移氣連桿的部位，又受一內徑 8 mm 的玻璃管局限，俾能確保高轉速時引擎之正常運轉。裝配時，車體大致可分為五大部分：

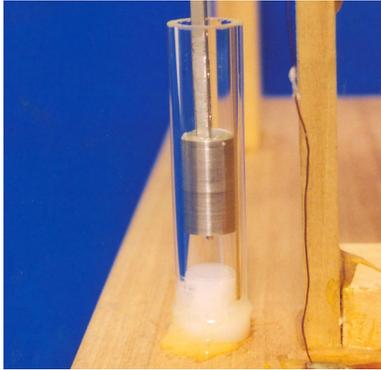
（一）鋁製活塞和玻璃管構成的汽缸；（二）套合大小兩試管構成的溫差氣室；（三）曲軸和軸承組件；（四）發電機；（五）發光二極體負載。

首先，用白楊木製成 H 型支架，支架上方有兩 PE 棒車成的軸承，兩塊直徑 3 cm，厚 6mm 的鈹鐵硼稀土磁鐵，夾在直徑 1.5 mm，長 10 cm 的鋼棒中段，此稀土磁鐵兼有發電機轉子和飛輪的功能，鋼棒作為轉軸置於軸承中，轉軸兩端分別裝上由白楊木製成的曲柄，兩曲柄的相對角度可以隨意，把另一根直徑 1.5mm 的鋼棒鋸成兩截，各長 2.5 cm，作為曲軸，曲軸裝在曲柄上。整個 H 型支架安裝在木板底座上（圖二）。



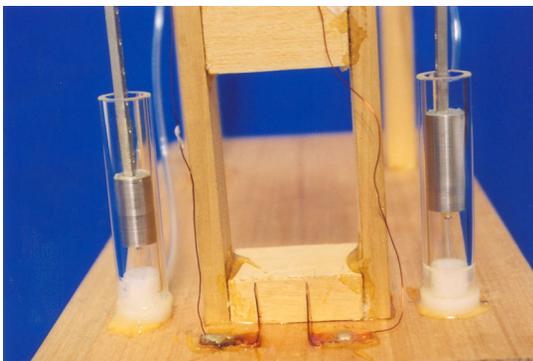
圖二、白楊木製成 H 型支架，支架上方有兩 PE 棒車成的軸承，轉軸兩端分別裝有白楊木製成的曲柄和鋼棒曲軸。

選用兩支內徑 1.3 cm，長約 7.0 cm 的玻璃圓管，作為汽缸。再將直徑約 1.5 cm 的鋁棒，車成恰可在汽缸中滑動的活塞，活塞長 2.5 至 4.0 cm。用鑽頭將此活塞中心掏出一個直徑約 0.9 cm 的圓穴，使此活塞成為圓柱形杯狀物（圖三）。



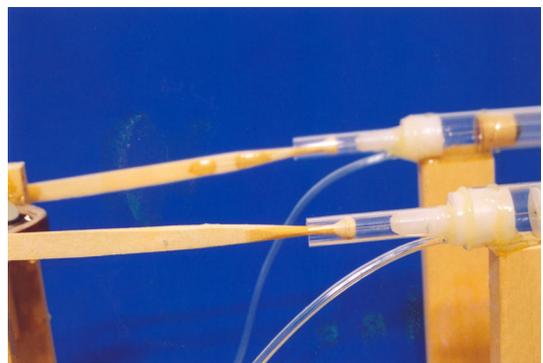
圖三、鋁製活塞、玻璃汽缸和鋁製動力連桿的特寫鏡頭，活塞和動力連桿以習用方式連接。

在圓穴中塞入一支 PE 製成的小圓管，此小圓管橫向穿有一小截直徑 1.0 mm 的鋼棒，作為活塞插銷，將其穿過鋁製動力連桿一端的小孔。動力連桿長約 8 cm，橫截面 $2 \times 3 \text{ mm}^2$ ，被充分鏤空，一方面保留其強度和剛性，另一方面減輕其重量，動力連桿另一端的小孔套在曲軸上。兩個汽缸下方都以適當大小的 PE 棒製成的杯狀物塞住，此 PE 杯狀物杯口朝向汽缸，側面鑽一小孔恰容內徑 2.2 mm 的橡皮管塞入，兩個汽缸都位於轉軸兩端之曲柄下方，用 AB 膠垂直黏在木板底座上(圖四)。



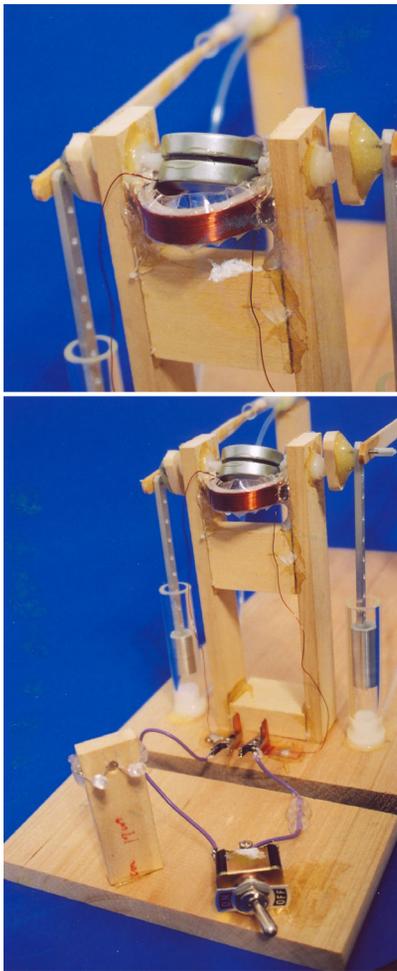
圖四、兩個汽缸都位於轉軸兩端曲柄下方，用 AB 膠垂直黏在木板底座上。

其次，取內徑 1.7 cm 和外徑 1.63 cm 的試管各一個，將較小試管的長度裁短成 12 cm，並將管口以 PE 棒車成的塞子塞住。此塞子中心鑽一小孔，小孔中插入吉他鋼弦，以這個較小的試管作為移氣胴體。被鋸成長 14.2cm 的較大試管作為溫差氣室，將移氣胴體置於其中，較大試管管口也用 PE 棒製成的塞子塞住，但此塞子中心鑽一恰容玻璃毛細管(外徑 5.8 mm，內徑 0.4 mm)的孔，將玻璃毛細管塞入，自然密封其間隙。同時另外鑽一恰容內徑 2.2 mm 的橡皮管塞入的小孔，將內徑 2.2 mm，適當長度的橡皮管，分別塞入該小孔和汽缸底部杯狀物的小孔，以連通汽缸和溫差氣室。玻璃毛細管再套上一截內徑 8 mm 的玻璃管，牽動小試管的吉他鋼弦由玻璃毛細管穿出，並以 AB 膠將吉他鋼弦與白楊木製長 20 cm 的移氣連桿牢牢黏好。白楊木製移氣連桿與吉他鋼弦連接處製成膨大的金針菇形，此金針菇頭的部分局限在內徑 8 mm 的玻璃管中往復運動(圖五)，白楊木製移氣連桿另一端有一小孔套在曲軸上。兩溫差氣室完成後，分別以適當高度的支架水平安裝妥當。



圖五、白楊木製移氣連桿與吉他鋼弦連接處製成膨大的金針菇形，此金針菇頭的部分局限在內徑 8mm 的玻璃管中往復運動。

再則，將漆包線纏繞在直徑 4 cm 的圓柱體，漆包線再覆上一層雙面膠，雙面膠上再纏繞一層漆包線，即以一層雙面膠一層漆包線的方式纏繞約三百匝，之後把直徑 4 cm 的圓柱體取出，即製成線圈，並以熱熔膠黏在儘可能靠近稀土磁鐵的地方，使稀土磁鐵轉動時線圈的磁通量變化愈大愈好。最後，線圈連接發光二極體，即大功告成（圖六）。

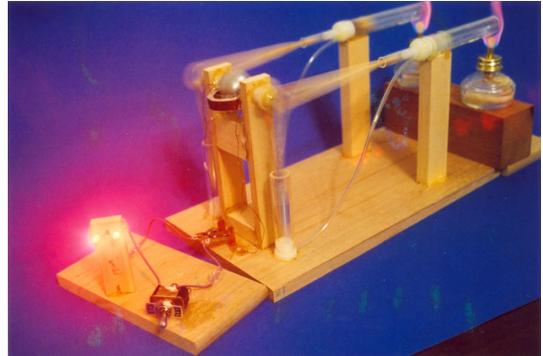


圖六、發電機線圈和發光二極體特寫。

五、運轉發電：

以酒精燈火焰直接加熱試管底部約 30 秒，試管被燒燙之後，試管內壁會達到

適當溫度，用手推動磁鐵，引擎啟動，至高速時打開發電機開關，發電機發電後可點亮發光二極體（圖七）。



圖七、引擎運轉，驅動發電機發電，電力供給發光二極體發光。

六、改進的空間：

此引擎設備具有兩項特點：(1) 引擎為雙缸，功率較大；(2) 以簡易發電機發電，成功驅動小功率電器。當然，此原型機仍有改進空間，例如：(a) 為降低成本，此原型機使用極廉價的試管，高速運轉時有震破之虞。若要長時間運轉，宜再縮小試管尺寸，減輕其重量，以降低各種運動狀況時之受力，或選用較堅韌的試管。(b) 此原型機高速運轉時，雖力量不小，但可加裝散熱裝置和飛輪，使引擎運轉更為順利。(c) 因為引擎最佳功率輸出發生在高轉速時（引擎空轉時轉速可高 800 rpm），發電機負載的大小可更進一步最佳化。

註釋：

1. 參見 2003 年 7 月號科學月刊 (403 期)，590-593 頁「透明引擎敞篷跑車」。
2. 每具史特林引擎之原始構造圖，參見周鑑恆，輕鬆學物理的第一本書—31 個有趣的物理實驗，第二章，如何出版社有限公司，2005 年 3 月。