
仿真透明蒸汽機

周鑑恆

私立萬能科技大學 航空機電系

本文介紹一種由作者原創的蒸汽機教具。此蒸汽機教具通體透明，可以透視蒸汽機內外的所有活動零件，而且真的利用水蒸氣推動，連透明燒瓶中沸騰的水產生蒸氣的情形也一目了然。這項國際首見的作品，曾於 2013 年莫斯科國際發明展中獲得金牌獎。

壹、前言

蒸汽機的發明經過一段相當漫長的歲月，其中充滿著巧奪天工的靈感和堅毅不拔的奮鬥。蒸汽機衝破了人類受獸力、人力和簡單自然力量的局限，揭開了人類使用能源的序幕，引發了人類社會驚天動地的變革，在人類歷史仍至於物理學發展的進程上，影響深遠，其重要性無庸贅言。

早期的蒸汽機除了提供各種工廠，例如紡織廠或鋸木工廠所需的動力之外，蒸汽機還可作為輪船和火車的動力，又另外翻開了大眾交通運輸的新頁。現在世界各地蒸氣火車頭大多已經淘汰，但許多懷古的工程師們仍不時製作縮小比例的真實火車頭，其中蒸汽機通常是用金屬製的，無法透視蒸汽機內部零件之運作。

雖然往復式蒸汽機現在多已不再實用，但蒸氣渦輪機仍是世界各大火力、水

力發電廠和核能發電廠的主角，蒸汽機事實上仍與人們的生活息息相關。

蒸汽機之所以深受世界各地兒童和學生之青睞，原因之一就是蒸汽機不像內燃機，內燃機的連桿等結構都被包覆在引擎內，蒸汽機許多零件都暴露在外，運轉時各活動的組件協調作動，非常有趣，其中巧妙又古樸的設計尤其令人驚嘆。

作者曾研製一款透明蒸汽機教具，尺寸大小故意設計得與小朋友的身高相當，全機不用金屬，並且用家用吸塵器或實驗室常用的鼓風機驅動，大朋友和小朋友在操作之餘，都覺得趣味盎然，印象深刻。

為進一步逼近真實的蒸汽機，作者於是設計出通體透明，內部零件運動以及透明鍋爐中的沸水均歷歷在目，又能像真的蒸汽機一樣利用蒸氣驅動，而且製作過程相對簡單，成本也不高的蒸汽機。在課堂上備齊這一系列蒸汽機教具，娓娓道來蒸汽機的發展史、熱學原理、工業革命和能源開發的進程，既生濃厚的思古幽情，又有前瞻文明進程的雄心。

貳、首見的作品

國際上雖然有不少人成功製成鋼鐵袖珍蒸汽機，但價格昂貴和製程繁複，都

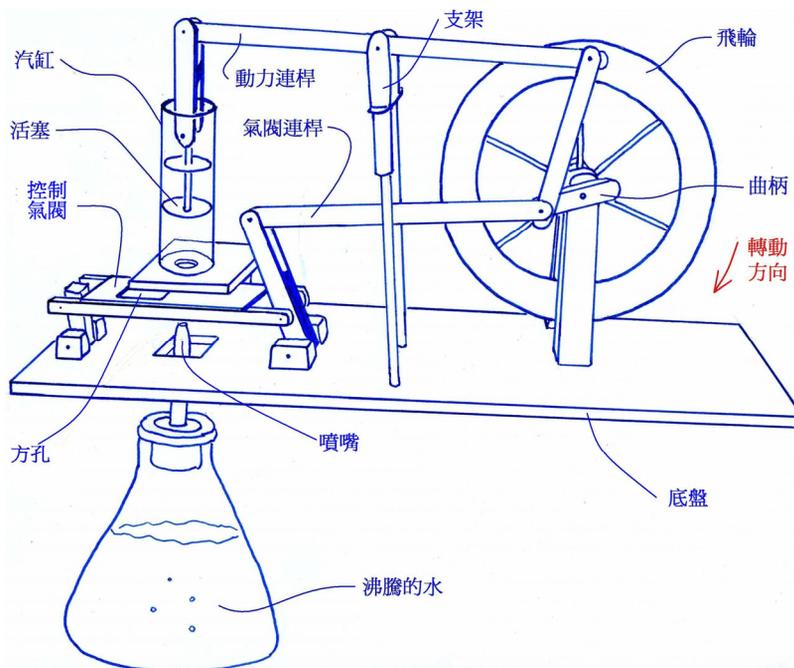
造成普及的困難；也有原原本本依照大型蒸汽機之設計、用玻璃製作的蒸汽機模型，但氣閥、活塞均要求氣密，而摩擦力不能太大，製作難度頗高，非得經驗老到的玻璃燒製高手不能完成，成品數量自然非常有限，無法作為科學教具。

國內也有車床高手，製作許多縮小版的蒸汽火車，這些手工打造的蒸汽火車真的用燃煤燒水，可以在小鐵軌上行駛，甚至還可以運載大小朋友。不過其作品的重點在於：保存台灣蒸汽火車發展的歷史，複製並收藏各時代蒸汽車頭的設計。所有的蒸汽火車均用鋼鐵製作，完全不能目視其內部結構。

這款仿真透明蒸汽機之設計理念雖然與真實蒸汽機相同，但為了降低製作過程及生產的難度，作者靈活運用縮小尺寸而衍生出可資變通的創作空間，而設計出這款蒸汽機。此蒸汽機教具實為國際上首見的原創作品。

參、藍圖與製程大要

圖一為仿真蒸汽機模型的立體圖。其運轉原理基本上與真的蒸汽機無異，但為了避免使用精密的零件，排除高壓蒸氣之危險，克服維持各活動零件氣密狀態的困難度，設計上有幾項巧思，使得此蒸汽機能夠順利運轉。



圖一：仿真透明蒸汽機教具的立體透視圖。由於此蒸汽機通體透明，實物也正如此透視圖，可以透視。

左側汽缸由透明玻璃管製成，汽缸以 AB 膠黏在一塊長方形玻璃上，在氣缸底部的位置，此長方形玻璃鑽有一個直徑約 8mm 的圓孔，玻璃管汽缸之內徑約 22mm。用剪刀剪出兩片鋁圓片，鋁圓片厚度約 0.5mm，此兩圓片中間均有一孔，一根直徑約 2.5mm 的木棒穿過兩圓片中間的孔，並以 AB 膠黏牢，製成的活塞。活塞置於汽缸中，木棒上端鑽有一小孔，可容一根直徑約 0.8mm 的短鋼棒穿過，藉此鋼棒，活塞與其上方的垂直連桿樞接在一起。

動力連桿則由三支連桿構成，中間那支連桿有如水平之槓桿。左側垂直的連桿樞接活塞，右側垂直的連桿則樞接飛輪的曲柄。

汽缸底下長方形玻璃片的一側黏在底盤上凸起的正立方體木塊上。玻璃片下方透明燒瓶中沸騰的水產生蒸氣，穿過玻璃片的圓孔而沖入汽缸，產生推力，驅動活塞。

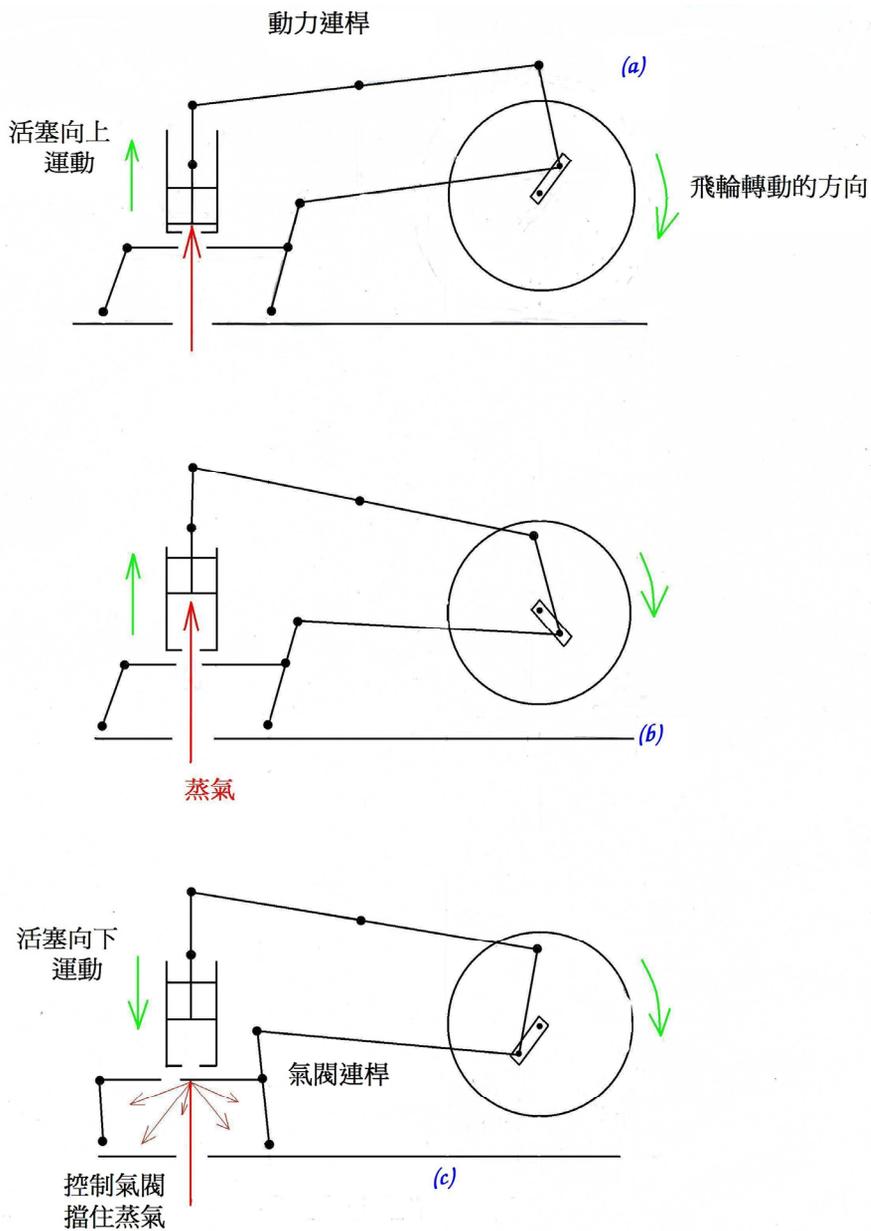
控制氣閥上則有一個方孔，曲柄樞接氣閥連桿，氣閥連桿牽動控制氣閥，於是整個控制氣閥可以在同一水平高度往復運動（參見圖二）。

由上端略縮小管徑的玻璃管製成噴嘴，燒瓶中之蒸氣經噴嘴向上快速噴出，清晰可見燒瓶中沸騰的水。見圖二，飛輪順時針轉動。在(a)的情形，控制氣閥方形開口的位置，恰巧在汽缸底

部圓孔的正下方，容許蒸氣通過控制氣閥的方孔、汽缸底部的圓孔，進而沖入汽缸，推動活塞向上，經動力連桿之連動，驅動曲柄，轉動飛輪。當飛輪轉至(b)的情形時，活塞幾乎已經被蒸氣推到最高點，飛輪繼續轉動，活塞即將向下運動，此時因為曲柄牽動氣閥連桿，氣閥連桿連動控制氣閥，控制氣閥於是會先向圖的左方運動（見圖二(c)），使得控制氣閥的開口不再位於汽缸下方圓孔的正下方，氣閥於是先擋住了向上噴出的蒸氣，以致於活塞緊接著下降時，蒸氣不會沖入汽缸而抵抗活塞下降，而對活塞作負功，減少飛輪的動能。

待活塞降到最低點，活塞又要開始向上運動之前，飛輪就又轉回到圖二(a)的位置，同時控制氣閥上的方孔又移到汽缸底部的正下方，讓蒸氣沖入汽缸，再次對活塞做正功，如此週而復始，此蒸汽機即持續轉動下去。

組裝時，先用 AB 膠將玻璃管汽缸黏在長方形玻璃上，長方形玻璃再黏在底盤的正立方體凸起上。其次，再完成活塞的部份，測量玻璃管汽缸之內徑，以圓規畫出圓鋁片之圓周，用剪刀剪成二片圓鋁片即可。再其次，安裝飛輪、支架和動力連桿。最後才裝設控制氣閥和氣閥連桿，燒瓶瓶口以塞子封住，塞子中間有一孔，噴嘴玻璃管插在孔中。用迷你瓦斯爐或酒精燈加熱燒瓶中的水。



圖二：此蒸汽機教具運轉的原理與實際蒸汽機雷同，只不過氣閥、蒸氣通道等零件不必保持氣密。

肆、此蒸汽機的特色

此蒸汽機初始設計目標就是：既要像真的蒸汽機那樣用蒸氣推動，又要玲瓏剔透，同時還要保留與真實蒸汽機雷同的工

作原理，以增加其趣味性及教學價值，因此，此蒸汽機教具具下列特色：

1. 由於模型尺寸不大，所以用低壓蒸氣即足以驅動蒸汽機，於是可用透明玻

璃燒瓶作為鍋爐，連其中沸水也能目視，操作時安全性高。

2. 整具蒸汽機所有零件和它們運動的情形，均清楚可見，趣味盎然。
3. 製作材料除玻璃管和玻璃板，須用較專業的工具作簡易加工之外，木材和鋁片均十分容易加工，製程簡易。厚 5mm 的玻璃板鑽一個直徑 8mm 的孔，工錢不到一百元臺幣。
4. 由於材料都非常便宜，造價低廉，巧妙的設計，已經克服了精度問題，製作的精度要求不高，引擎也能成功轉動。
5. 運轉的原理與真實蒸汽機相差無幾，可用於教學。

伍、設計的巧思

此項作品的構造簡單，成本低廉，製作精度要求相當低，卻能成功運轉，事實上背後是經過精心考量，是靈活運用相關物理原理的結果。茲列舉設計的巧思如下：

1. 在小型化之後，大型機器的許多必要條件都會發生改變，充分利用這些因為線量變化而衍生的創作空間。因為重量正比於體積，尺寸變小後，重量大幅下降，所有與重量有關的摩擦力都大幅減少。
2. 重新設計蒸氣產生壓力的機制。如果蒸氣通道以及可動氣閥的氣密(sealing)都能維持，當然就能將蒸氣壓力施加在活塞上。但如果為放寬製作的精度而放棄氣密的要求，另闢蹊

徑，利用白努力定律，先加速蒸氣，使蒸氣以高速噴入氣缸而非壓入氣缸的方式，進入汽缸，在汽缸中速度變慢，蒸氣也能產生推動活塞的壓力。

3. 蒸氣如果部份凝結成小水滴，肉眼看起來就像白霧，這些凝結成液體的小水滴，因為仍具有蒸氣的動量，在不封閉的情形下衝擊活塞，更能夠造成對活塞的壓力。
4. 熱機（包括蒸汽機）在沒有負載的情形下，動力源其實是不斷對渦輪或活塞作正功，不斷將能量傳輸給熱機。這情形有一點像共振現象，但共振時周期變化的外力必須與振動系統的頻率接近，才能始終對振動系統做正功。因此，只須克服摩擦力，引擎就必能輕易運轉。針對這具微型蒸汽機，作者很容易減少各種摩擦力造成的能量損失，例如：進一步減少飛輪、連桿等的質量（重量），就能減少各轉軸和樞接處的摩擦力；例如：採用直徑很小的轉軸或插銷，則所有摩擦力造成的力矩都很小，消耗的能量也會大減。
5. 由於成本的考慮，這仿真透明蒸汽機的汽缸用最便宜的玻璃管製作，所以活塞的製作就不容易兼顧氣密與降低摩擦，以兩片鋁片製成的活塞取代常見的環狀活塞，以取得下列優點：
 - (1) 汽缸的平行度和真圓度因此都不需要十分嚴格要求；
 - (2) 水蒸氣必然會在氣缸中凝結，恰好

可以用來加強活塞與汽缸之間氣密，同時還能作為潤滑劑；

- (3) 又因為活塞是由兩片薄薄鋁片構成的，鋁片接觸氣缸的面積極少，即使水也有黏滯性，因為接觸面積很小，水的黏滯性造成的拖曳力很小。

作者曾以此項蒸汽機作品搭配其他外燃引擎於 2013 年莫斯科阿基米德發明展中榮獲金牌（見圖三）。

致謝

感謝科技部 101-2511-S-238-001-號專題計畫經費支持。

參考文獻

周鑑恆，大型透明蒸汽機。2013 年 2 月。物理雙月刊，35 卷 1 期，26-31 頁。

<https://www.youtube.com/watch?v=ca3JqdbGNvI>
<https://www.youtube.com/watch?v=01QOsy2TNb8>

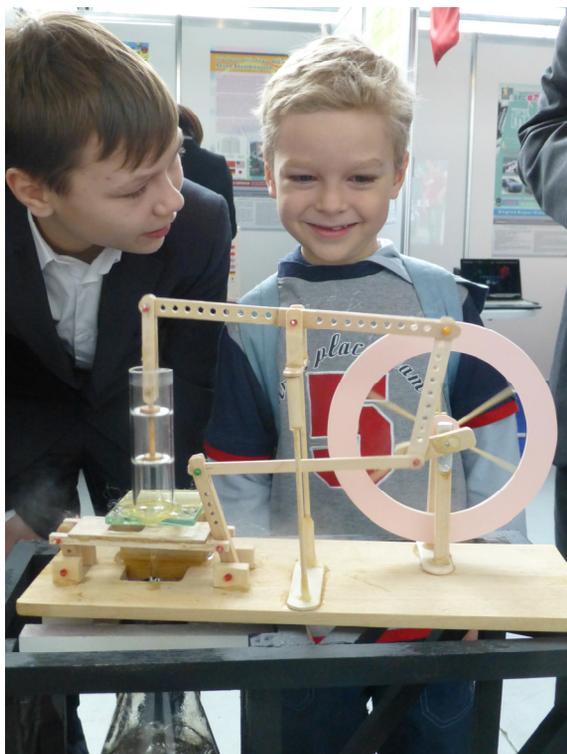
<https://www.youtube.com/watch?v=NqOO4oLyInY>

<https://www.youtube.com/watch?v=73txXT21aZU>

林松雄，一步一腳印 發現新台灣 鐵道迷的蒸氣火車，

<https://www.youtube.com/watch?v=UULD4e16rBs>

此項作品並被俄羅斯車臣地區中學教師購買，於車臣中學課堂作為科學教具。



圖三：蒸汽機教具的實物攝影。在蒸氣蒸騰之間蒸汽機毫不含糊地轉了起來。圖中的 2 位俄國小兄弟為作者於 2013 年莫斯科發明展中認識的小粉絲，他們非常享受的參與其中。