

走馬天燈

撰文 周鑑恆

本文提出一種很簡單但有效的設計，巧妙利用熱空氣上升的原理，製作出既可像天燈一樣騰空，又能如走馬燈那般旋轉的『走馬天燈』。

一、蛇年新氣象：走馬天燈

相傳天燈是三國時代諸葛孔明發明的。諸葛先生當時為了要傳遞軍情，利用熱空氣密度較小的特性，以開口朝下的輕質大紙袋，兜住大紙袋下方燃料燃燒所產生的熱空氣，使整個紙袋與其中的熱空氣受到大於其重量的空氣浮力，於是就能使紙袋在漆黑的夜空中冉冉升空，彷彿高掛蒼穹的燈籠。稱之為天燈，真恰如其景。天燈因助蜀軍一臂之力而廣為人知，所以又稱為孔明燈。自 1990 年代開始，臺灣平溪元宵節放天燈逐漸成為家喻戶曉的觀光盛宴，天燈功能則從傳遞消息轉變成祈福許願。曾經飛越太平洋及大西洋、飛行高度可達三十公里的熱氣球，可謂現代版的孔明燈。

走馬燈也是中國古代的發明，秦漢時稱蟠螭燈，唐朝時稱仙音燭、轉鸞燈、到了宋朝走馬燈已經非常普遍，時至今日華夏民族仍常將走馬燈用於元宵、

中秋等節慶活動。

走馬燈與天燈都利用熱對流原理，也都在元宵、中秋等傳統節日亮相，今年農曆新年前作者索性將兩者合而為一，創作出一種兼具天燈升空之驚奇以及走馬燈旋轉之趣味的花燈，且將此御空懸停室內的應景花燈，命名為「走馬天燈」。

二、簡單的最好

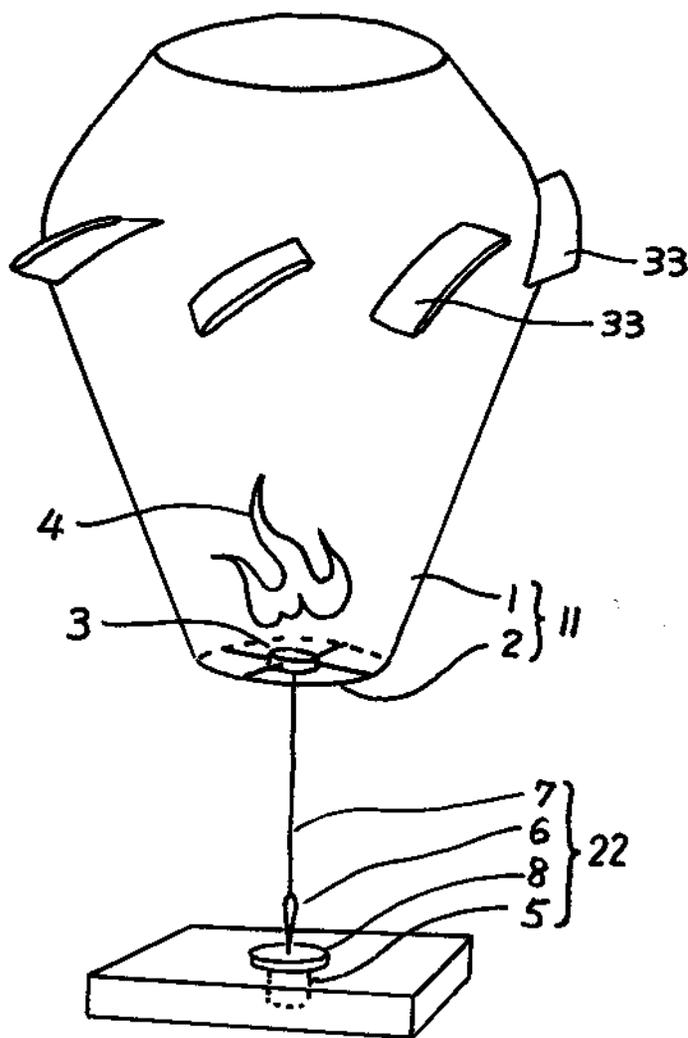
作者最初的直覺構想，不約而同地也是：以天燈四周的對稱處開口作為排氣孔，利用排氣孔沿天燈表面水平切線方向排氣，產生以對稱軸為轉軸的力矩，使天燈轉動^[1,2]。為了有效應用天燈內外側空氣的壓力差，作者還進一步將開口處用薄紙製成導管，以增加力矩。

然而實驗發現：這樣的設計，除了轉動力矩較小之外，還有以下的缺點：（1）天燈四周的開口破壞

天燈的結構，洩漏其中的熱空氣，會減少浮力；(2) 為了使天燈獲得必要的浮力，天燈的尺寸不易縮小，天燈的火燄也不能減弱；(3) 四周的開口若位於天燈的上半部，會洩漏太多天燈中的熱空氣，明顯減少浮力，所以開口通常都限制在天燈腰部以下某一水平高度處；(4) 四周開口不能太多，否則天燈會大幅喪失浮力；(5) 在同一水平高度處的四周開口，不宜同時有上下多層；(6) 天燈開口製作難度較大，過程稍複雜，且需仔細調整尺寸與角度。

然而，實驗時作者無意間發現：天燈外側表面相當熱，高溫的外側表面引起相當明顯的熱對流，於是構想直接用此對流來轉動天燈。

眾所周知，熱傳遞的方式有三種：輻射、傳導與對流。天燈底部熊熊火焰產生大量的熱，如果無法散熱，空氣與薄紙的比熱都很低，都很容易因持續加熱而不斷升溫，天燈必定會在很短時間內達到燃點而燃燒起來。但天燈本身通常不會著火，所以一定是透過某種散熱機制迅速散熱，才不會超過高溫的上限。溫度不到 150°C 的天燈，其輻射散熱想必很有限，天燈在空氣中最終要靠外側表面引起的對流散熱。因此，天燈外側的熱對流必然相當旺盛。細節則是：火燄直接產生的熱對流一方面上升，導引天燈下方的空氣湧入天燈，一方面混合周圍空氣而降溫，同時直衝天燈頂端，繼而沿著天燈內側下降，同時經傳導將熱空氣的熱傳出薄薄的天燈油紙（油紙熱傳導率很低，但很薄，是故熱流量其實並不小），使天燈內側的熱空氣降溫並向下對流，在天燈外側表面則引起熱對流，天燈內側的熱空氣對流到天燈底部後，因其溫度必然仍較四周空氣的溫度高，有相當一部分必逸出天燈下方開口（逸出的部分決定於火燄大小），沿天燈外側表面上升，使天燈外側表面匯集的熱氣流更為明顯。即便幾經轉換，從能量的角度來分析，天燈外側總的熱對流的散熱效果，一定與天燈底部



圖一、走馬天燈之各部名稱：油紙袋(1)與底部開口(2)、燃料(3)與火燄(4)、旋翼(33)、懸絲(7)可為細釣魚線、尖鐵錐(6)可用鐵鉤製成、磁鐵(5)與可斟酌取捨的玻璃片(8)。

熊熊火燄直接產生的熱對流相當。

作者於是簡單在天燈外側加裝數片與水平方向夾角 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 的旋翼（實務上以半張 A4 的紙黏貼在天燈外側表面，即能製成），利用天燈外側熱對流驅動旋翼，即能使天燈旋轉；為了使天燈懸浮於室內，天燈下方以一極細的縫衣線或釣魚線拴住，縫衣線或釣魚線下端連接一鐵釘或鐵鉤，以一固定的磁鐵吸住鐵釘或鐵鉤的尖端，使鐵釘或鐵鉤的尖端可於磁鐵上自由旋轉，天燈旋轉時便不會擰緊縫衣線或釣魚線，而能於書桌或餐桌桌面無拘無束地不停旋轉，營造出科幻般的視覺效果。（見圖一）

三、材料隨處可得

1. 全開 (1091mm×786mm) 油紙五張，美術社有售，相當普遍。
2. 膠水。
3. 截面大約 8 mm × 8 mm 的巴沙木條若干支。
4. AB 膠。
5. 從牙膏盒剪下的厚紙 (其他厚紙亦可)。
6. 廚房用的鋁箔。
7. A4 紙若干張。
8. 強力膠。
9. 縫衣線。
10. 鐵鉤、磁鐵、厚木板一塊。
11. 酒精、衛生紙、打火機。
12. 直尺、彩色筆、剪刀或美工刀。

四、小孩到大人都會做

(一) 先製作一個開口朝下的大紙袋。利用如圖二所示形狀的四張全開油紙作為紙袋四周，一張適當大小的正方形油紙作為紙袋的頂部，以膠水黏成一個紙袋的形狀。這

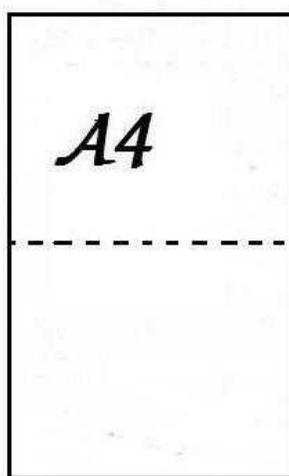


圖二 製作天燈紙袋所需的五張油紙。

件事非常簡單，讀者可用任何自己喜歡的方式完成，只要不漏氣即可。但天燈終究是傳統民俗技藝，憑藉先民智慧，已發展出巧妙黏製紙袋的簡易方法，立體的天燈紙袋完全可以在平面的桌上乾脆俐落地黏成^[3]，很值得參考。

(二) 把 A4 紙張對半裁成兩張，每張再摺成如圖三所示形狀，強力膠塗在寬約 3cm 的區域，天燈紙袋外側表面對應處也塗些強力膠，稍待一會兒，將兩者黏合。總共黏 8 張，使每張半頁 A4 紙張與水平方向夾角 30° ~ 45°，而且傾斜的方向都相同。

(三) 此時打開天燈紙袋的底部開口，用手撐開成正方形，大致量測出對角線的長度，把兩支截面大約 8 mm × 8 mm 的巴沙木條截斷成對角線的長度，再用 AB 膠將兩巴沙木條黏成 X 形。每支巴沙木條的端點也用 AB 膠黏一段摺成 L 形的厚紙 (牙膏盒剪下的厚紙)。此四端點均有 L 形的厚紙 X 形巴沙木條，於是可撐開天燈紙袋的底



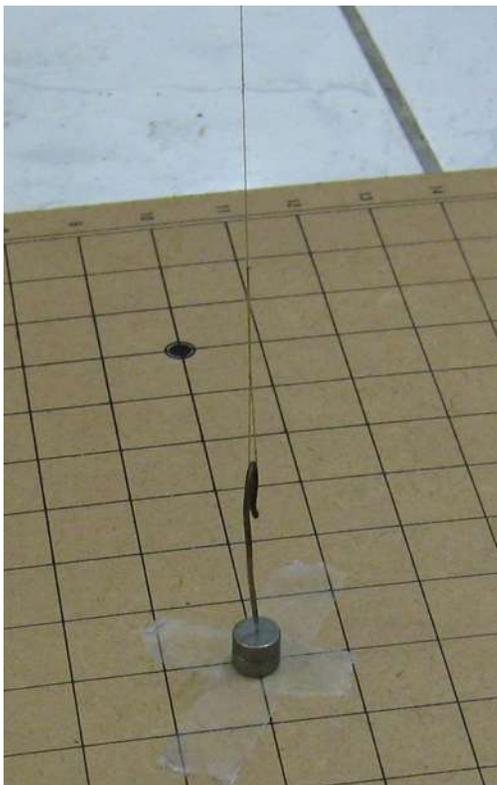
圖三：半頁 A4 紙張製成的旋翼，虛線處為塗強力膠的區域。



圖四 端點均有 L 形厚紙的 X 形巴沙木條，撐開天燈紙袋的底部開口（左），L 形的厚紙外側黏住紙袋開口內側，避免應力集中（右）。

部開口，L 形的厚紙外側以強力膠黏住紙袋底部開口的內側（見圖四）。L 形的厚紙可避免應力集中，增加天燈的耐用性。

（四）縫衣線上端繫於 X 形巴沙木條交叉中點，



圖五 縫衣線下端的鐵鉤尖端被一塊磁鐵吸住。



縫衣線下端綁住一鐵鉤，鐵鉤尖端被一塊黏在木板上的磁鐵吸住（見圖五）。

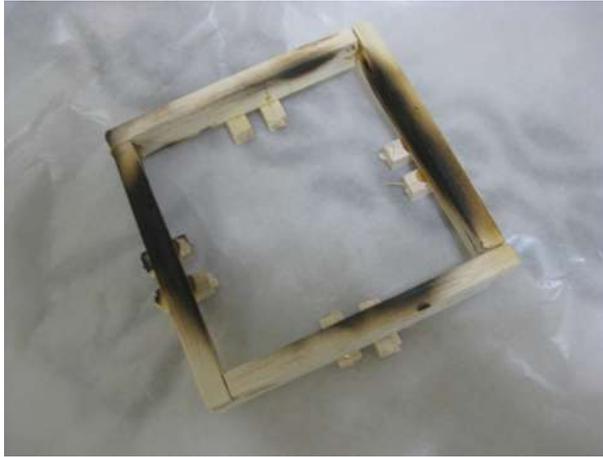
（五）兩巴沙木條用 AB 膠黏成一方形燃料槽（約 18 公分 × 18 公分），燃料槽邊緣高約兩公分，燃料槽底部用 AB 膠黏上巴沙木條製成的卡榫，以便安放在 X 形巴沙木條上。將廚房用的鋁箔，依巴沙木燃料槽的尺寸與形狀，大致摺出以巴沙木為骨幹的鋁箔凹槽（見圖六）。

（六）放幾張衛生紙在鋁箔凹槽中，澆上酒精，讓衛生紙吸飽酒精，先別點火，盡快將燃料槽安放在天燈開口中的 X 形巴沙木條上。

（七）填充酒精之後，即箭在弦上，因酒精揮發易導致點火瞬間閃燃之危險，要立刻準備升空。

五、實驗時請膽大心細

實驗時須考慮用火安全，應選在沒有裝潢天花板的室內進行，以策安全。裝有剩餘酒精的酒精瓶先移往他處。請他人拎起天燈上半部，用打火機點燃燃料槽中的酒精，霎時火光衝入天燈（見圖七），



圖六 巴沙木條製成的燃料槽骨幹，底部卡榫可穩固安放在 X 形巴沙木條上（左）。鋁箔包覆巴沙木骨幹，形成以巴沙木為骨幹的鋁箔燃料槽。

稍待約十秒，熱氣充滿天燈，天燈隨即騰空，但受縫衣線羈絆難以升天，於是只能懸空漂浮，並且憑虛轉動了起來。因縫衣線幾不可見，在頭頂不遠處靜靜旋轉的天燈，氣氛相當詭異（見圖八）。

六、雅俗共賞，寓教於樂

一般人無須事先仔細研究旋翼的角度、大小，首次嘗試製作，即能輕鬆完成走馬天燈。也因走馬天燈的構造、製程特別簡單，極易在中小學推廣，引起學生好奇與興趣，頗具科學教育、鄉土教學的價值；配合民俗、觀光活動，商業應用也有一定的可行性。



圖七 走馬天燈的動力來源。



圖八 走馬天燈就在頭頂靜靜懸浮旋轉（攝於蛇年新年）。

七、未來展望：可應用於專題或科展

當然，學無止境，精益求精。走馬天燈在以下各方面值得進一步最佳化：（一）選用或調製更為安全、重量更小，燃燒時間更長，能量密度更高，火燄溫度不太高，火燄亮度更高的燃料。（二）輕量化燃料槽，以較鋁箔稍厚的鋁片製作更容易散熱、或以燃料冷卻的耐用燃料槽。（三）從理論和實驗上改良旋翼的大小、形狀、材質等，調整旋翼的數目、位置、角度等，以加大驅動旋轉的力矩，提高走馬天燈的轉速。（四）縮小走馬天燈的尺寸，一方面增加其安全性、一方面使其更近似走馬燈；改變其形狀，減少其轉動慣量與阻力。（五）尋找替

代油紙的材料，以較不易燃、更透明、更輕的材質製作天燈本體。（六）雖本文中以縫衣線作為繫留走馬天燈的懸絲，但為增加懸浮的視覺效果，也可用更細的透明釣魚線（釣具行有售）繫住走馬天燈，較高價的透明釣魚線直徑小於 0.2 mm，幾乎不可見，憑直覺也確認釣魚線不可能支撐走馬天燈，突顯走馬天燈飄浮在空中的事實；此外 B&Q 特立屋有賣迷你塑膠鍊，質量不大，懸絲之中段可接一段塑膠鍊，據日常生活經驗可知，塑膠鍊不可能提供支撐力，只能提供張力，也有助於營造走馬天燈浮在空中的驚奇。這些改進的方向，都可以作為專題或科展課程的內容，也可以當成科普競賽的主題。



作者

周鑑恆
萬能科技大學光電系
E-mail: chou0717@gmail.com

參考資料

- [1] 林源堂，陀螺天燈轉速控制之探討（國科會 NSC89-2515-S-035-003 計畫補助），物理雙月刊（廿二卷一期）2000 年 2 月。
- [2] <https://www.youtube.com/watch?v=eZx5IU5iCWI>，2010 逢甲大學畢業典禮。
- [3] <http://www.youtube.com/watch?v=3kFFZSPu-hg>。