

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

團隊合作獎

080117

浮光流轉—走馬燈探究

學校名稱： 宜蘭縣羅東鎮公正國民小學

作者：	指導老師：
小六 林珏希	蔣銘俊
小五 陳恆安	
小五 張宇晴	
小五 黃靖凱	
小六 王子郡	
小五 彭依敏	

關鍵詞： 反作用力、蠟燭、熱氣上升

浮光流轉－走馬燈探究

摘要

透過一系列實驗研究走馬燈的設計與性能，探討不同因素對旋轉速度與穩定性的影響。實驗中，用紙杯與卡紙製作燈罩及燃料杯，並測試燈罩的長度、大小、開口方向，以及燃料種類與燃料杯設計對熱氣流的影響，希望能改善走馬燈的運轉效果。結果發現，當空氣受熱上升時，會驅動紙杯旋轉，而開口方向決定了旋轉方向，當開口朝左時，紙杯呈逆時針旋轉，當開口朝右時，則順時針旋轉。此外，我們測試了不同高度與大小的燈罩，變化開洞的數量、形狀與角度，並調整洞口在杯側的位置，以分析其對旋轉效果的影響。這些結果有助於理解熱對流、燃燒機制與機械運動的關係，也為改善走馬燈的設計提供了參考依據。

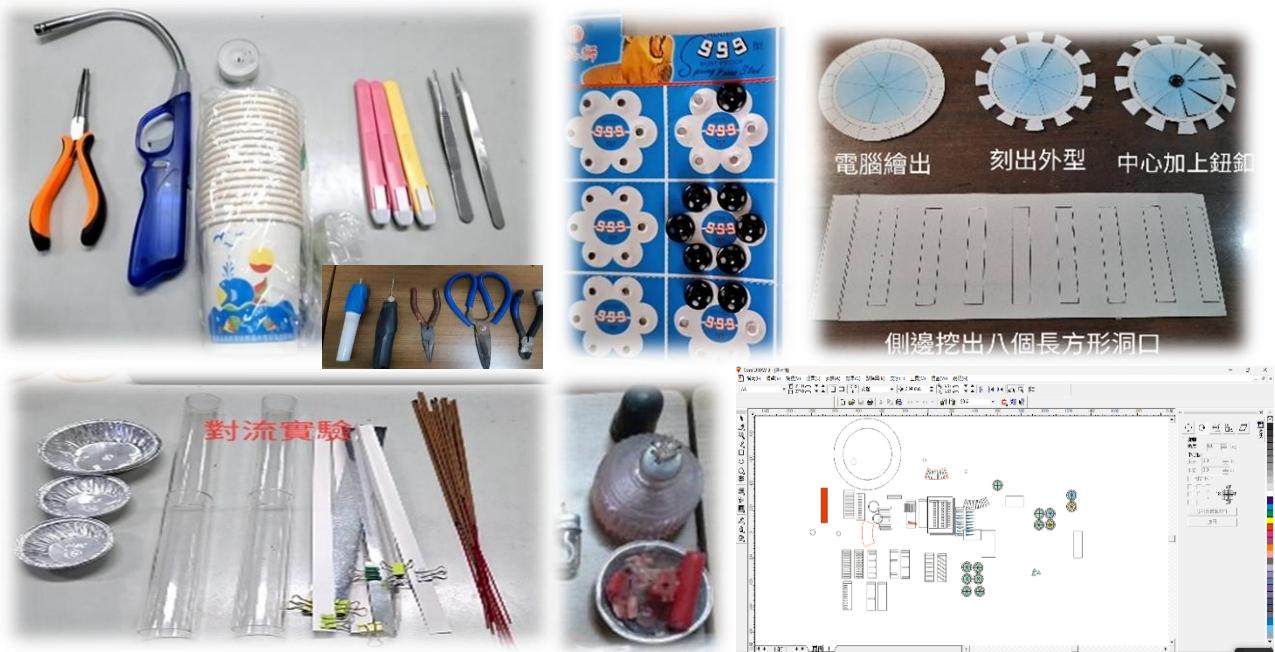
壹、研究動機

走馬燈是中國古代的發明，秦漢時期稱為「蟠螭燈」，唐朝稱為「仙音燭」或「轉鶯燈」，到了宋朝已經十分普及。時至今日，華夏民族仍在元宵、中秋等傳統節日中使用走馬燈，作為節慶裝飾與文化象徵。走馬燈因熱空氣上升而產生旋轉的現象，這種巧妙的設計一直讓我們感到驚奇。為什麼它能持續轉動？熱空氣如何驅動它？有哪些因素會影響旋轉速度？些問題引發了我們對熱對流與氣流運作的興趣，也讓我們思考如何改進走馬燈的設計，使其旋轉更穩定、更高效。因此，我們決定進行一系列實驗，探討熱對流與旋轉之間的關聯，並找出影響旋轉速度的關鍵因素。

貳、研究目的

- 一、探討紙杯轉動的原理。
- 二、探討紙杯上開洞的數量、形狀、大小、位置對紙杯旋轉圈數的影響。
- 三、探討的燃料杯大小開口數開口位置對紙杯旋轉圈數的影響。
- 四、探討不同動力推動對紙杯旋轉圈數的影響。
- 五、探討紙杯上洞口的方向對紙杯旋轉方向的影響。

參、研究設備及器材



(本頁照片由第三作者拍攝)

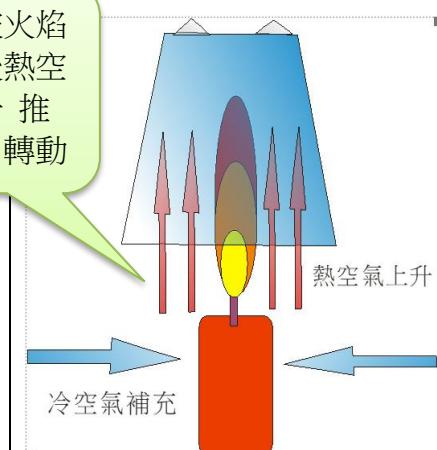
- 一、實驗器材:防風打火機、白膠、燈座、燈泡（2個20w、50W）、膠布（一捲）短刀剪刀、尖嘴鉗、蠟燭、熱熔膠槍、圓規、西卡紙數張、雙面膠、暗扣（數個-直徑8.5mm）、鐵絲。(圖片由作者自行拍攝)
- 二、軟體: Snow Motion FXAPP、coredraw。

肆、研究過程與結果:

一、理論研究與探討

1.走馬燈轉動的原理：

空氣被火焰
加熱後熱空
氣上升 推
動葉片轉動



本圖由第二作者自行繪製

走馬燈的轉動原理主要基於熱對流與牛頓第三定律。當蠟燭燃燒時，杯內空氣受熱膨脹並上升，形成氣流。這股氣流沿著葉片邊緣流出，根據牛頓第三定律，氣流的外流產生反作用力，推動葉片，使紙杯旋轉。

影響轉速的因素主要有以下幾點：

熱源強度：熱量越高，氣流速度越快，推動力越大，轉動速度也會提升。

葉片設計：片面積與數量：較大的葉片或較多的葉片能捕捉更多氣流，提高旋轉效率。

葉片角度：一般來說，45度角能提供最佳推動效果，不同角度（如30度或60度）也可能影響轉速。

材料選擇：使用較輕的材料（如薄紙或鋁箔）能減少慣性，提高旋轉靈敏度。

當熱氣流持續上升並流出時，紙杯會因反作用力而不斷轉動，轉速則取決於氣流的強度與葉片設計。透過調整葉片形狀、選擇不同熱源（如酒精燈或聚光燈）、或在不同環境條件下測試（如無風或氣流擾動），可以研究熱對流對物體運動的影響。

2. 热對流及燃燒、滅火研究:

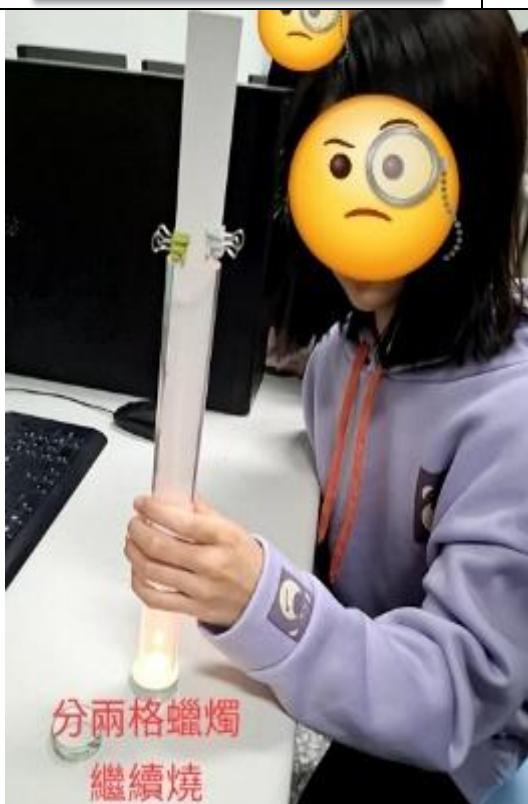
走馬燈的外形像桶子管狀，有必要對內部的氣流、火焰，燃燒的狀況，進行研究。我們使用壓克力管覆蓋在燃燒蠟燭上，研究其氣流流動的情況。



(照片由第三作者拍攝)

為何罩住蠟燭會熄滅？

1. 氧氣不足：燃燒消耗氧氣，若罩內無法補充新鮮空氣，蠟燭會因缺氧熄滅。
2. 二氧化碳累積：燃燒產生的 CO_2 無法排出，取代氧氣，使火焰熄滅。
3. 氣流受阻：罩子影響空氣流動，使燃燒條件惡化。
4. 熱量積聚：過熱可能改變燃燒環境，使火焰變得不穩定。
5. 內徑 5~8 公分的管子（類似紙筒）
6. 長度約 20~30 公分 才能顯著影響燃燒。



(照片由第三作者拍攝)



(照片由第三作者拍攝)

為何「分格」能影響燃燒？

- 兩格：促進氣流迴圈，確保氧氣補充、 CO_2 排出，使蠟燭持續燃燒。



(照片由第三作者拍攝)



(照片由第三作者拍攝)

- 三格：可能進一步改善進氣與排氣，提高燃燒穩定性。



(照片由第三作者拍攝)



(照片由第三作者拍攝)

- 四格反而熄滅：可能因為氣流受阻，氧氣無法有效補充，或CO₂囤積，影響燃燒。

通風管設計要能提高燃燒效率，應考慮避免封閉死角，確保氣流順暢，並選擇合適的隔數。兩格設計適合快速上升的熱氣流，雖然氣流不均勻；三格設計則能平衡對流速度和穩定性；四格設計則提供最穩定、最均勻的熱對流，總體而言，合理的隔數設計和通風系統配置，能有效提升燃燒效率和熱對流效果。如果在四格設計中火熄滅，可能是因為氣流過於均勻或過於穩定，導致氧氣供應不足，無法維持燃燒。四格設計雖然能提供最均勻的熱對流，但在某些情況下，氣流可能不夠強勁以保持火焰。可以考慮調整隔數或改變通風管的結構，例如縮小通風管的間隔或增強進氣流量，來改善氣流速度，避免氧氣供應不足導致火熄滅。

我們在使用吹風機的時候，發現吹風機的風管在內部也有隔層的設計，於是以下我們將進行探討它的功能。



吹風機的吹風管內部分四格

(照片由第三作者拍攝)

- 吹風機風管內為什麼要分成四個?三格或兩格不可以嗎?
- 吹風機風管內部的分隔設計主要是為了穩定氣流、提升風速與均勻性，以及減少噪音與渦流。如果要風速最大化但對均勻度要求不高可以設計成兩格。
- 如果要平衡風速與氣流穩定性可設計成三格
- 如果要氣流最穩定、風最均勻、噪音最低 → 四格 (最佳)
- 所以，市面上高端吹風機通常使用四格結構，而低價吹風機可能只用兩格或三格來節省成本。

煙囪效應

煙流動方向

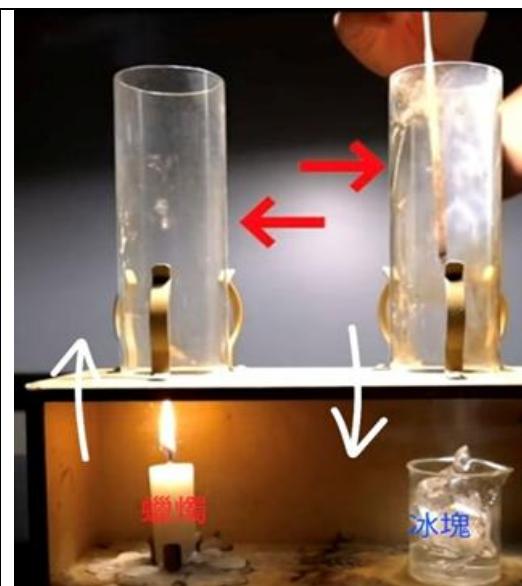


本圖由第二作者自行繪製

(照片由第三作者拍攝)

煙囪效應 (Stack Effect) 是指熱空氣因密度較低而上升，冷空氣則因密度較高而下沉，形成氣流迴圈。這一現象的強度受到溫差和建築高度的影響，溫差越大、建築越高，煙囪效應越強。

在應用上，煙囪效應可用於建築通風中，促進空氣流動，從而提升能效。然而，在火災中，煙囪效應可能導致火焰和煙霧迅速上升，增加火災蔓延的風險，特別是在高樓建築中。日常生活中的例子包括冬天開門時，熱空氣上升，冷空氣從下方進入，或走馬燈轉動時利用熱氣流推動葉片。雖然煙囪效應有助於改善通風，但在火災情況下需要適當控制，以避免火勢擴散。



煙囪效應 + 冷熱對流

在封閉空間內，若一邊放冰塊，另一邊有熱源，會形成明顯的溫差。熱源加熱一側空氣，使其密度降低，冷卻的空氣則密度較高，會下沉，形成冷熱對流。這樣的溫差對流可能會促使氣流產生穩定的循環，從而推動物體如葉片轉動。

熱空氣上升，冷空氣下沉，並在封閉空間內形成一個迴圈氣流，推動葉片或其他裝置轉動，達到通風效果。(照片取自:2015 新竹師院科學教師營)

3.氣流流動推動葉片及紙杯的研究



(照片由第三作者拍攝)



(照片由第三作者拍攝)



(照片由第三作者拍攝)

蠟燭動力不足，無法推動葉片。酒精燈的火力較強，使得壓克力管中的葉片高速轉動。同樣酒精燈的火力較強也使紙杯高速轉動。

4 箔碗切割做成的葉片，探討冷熱對流對其轉動的影響:



(照片由第三作者拍攝)

當熱水加熱周圍空氣時，空氣的密度變小，變輕的空氣和水蒸氣會上升，形成氣流。這些上升的氣流會帶動周圍的氣體和水蒸氣一起運動，產生上升的動能。如果鋁箔葉片輕巧且擺放在氣流路徑中，這些熱氣流或水蒸氣會對葉片施加推力，使其旋轉。這個原理類似於熱對流效應，並且在封閉或狹小的空間內，這種氣流效果會更加明顯，能有效地推動輕質物體旋轉。



使用熱水發生順時針轉動，鋁箔葉片受到熱水蒸氣推動，轉動的連續照片。

(照片由第三作者拍攝)



使用冰塊發生逆時針旋轉

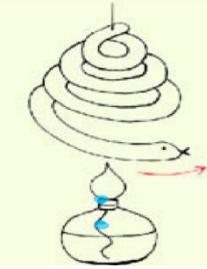
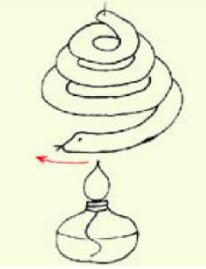
(照片由第三作者拍攝)

冰塊降溫後，冷空氣下沉，但其氣流動能較弱，因此推動鋁箔葉片旋轉很微弱，為了加強葉片轉動，可以提高氣流的動能。增加熱對流是關鍵，若在冰塊周圍設定熱源（如小型燈泡或加熱片），熱空氣上升會帶動冷空氣更快速下沉，從而增強推動力。此外，透過導流設計，如狹窄管道或特殊風道結構，可以集中並加速冷空氣流動，使其更有效地推動葉片。另一個方法是利用冷熱交替效應，若能在系統內部建立穩定的溫差，如冰塊降溫區與加熱區互動，則可能產生持續的循環氣流，類似於熱引擎的運作原理。最後，葉片本身的設計也影響轉動效果，若能減少阻力，使其更加輕盈或流線化，則能提高受風時的靈敏度與轉動效率。透過這些方式的綜合應用，或許能增強冷空氣下沉推動葉片的可行性。如上文所提將函效應 + 冷熱對流加以結合產生的效果。

5.另類的走馬燈—紙蛇

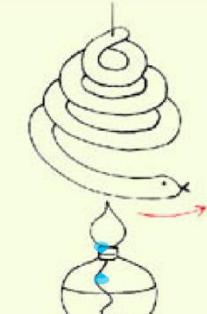
由於物質受熱會導致體積膨脹，因此當空氣受熱膨脹之後，密度會變得比冷空氣小，因而產生冷空氣下降，熱空氣上升的對流作用。利用這個氣流上升作用，就可以將紙蛇推動並旋轉起來。

(1) 不同紙蛇的製作方式，在同一個蠟燭上會怎樣旋轉呢？

順時針環繞的紙蛇	逆時針環繞的紙蛇
紙蛇模型的頭在下蛇頭往蛇尾影逆時針向上轉好像蚊香一樣。 	而與左邊做法正好顛倒，以做出來的紙蛇會變蛇頭往蛇尾以逆時針上旋轉的方式吊起來 酒精燈燃燒產生熱氣會讓紙蛇旋轉的速度變快。 
	

(本頁照片由第三作者拍攝、圖片取自紙蛇轉出大學問 高雄第四十屆科展)

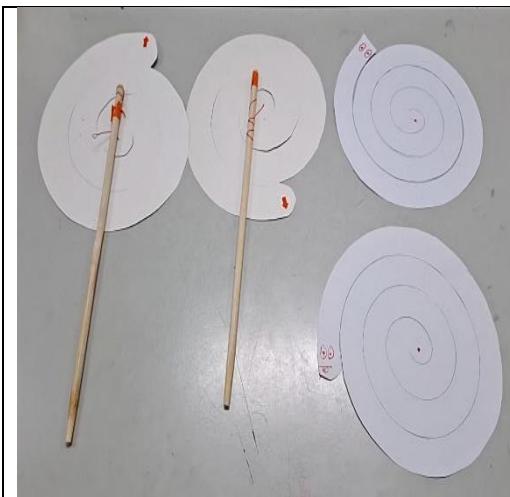
(2)用不同方向的風來吹同一個紙蛇，會有怎樣的旋轉方向呢？

空氣由下往上吹	冷空氣由上往下降
用順時針環繞的紙蛇當實驗對象利用蠟燭或酒精燈的火焰來作為熱的來源。因為熱空氣會往上升動，使的紙蛇逆時針轉動。 	因為冷空氣往下降所以我們利用冰塊的冷空氣來帶動紙蛇冷氣的流動是由蛇尾流向蛇頭使的紙蛇產生順時針轉動。 

結果當熱空氣由下往上升時，以順時針環繞製作的紙蛇則會呈現逆時針的旋轉；而逆時針環繞紙蛇則以順時針方向一直轉動不停；就算一開始繞錯了一兩圈，很快的又會回到應有的方向，而且速度會明顯的加快。(參閱: 紙蛇轉出大學問 高雄第四十屆科展)

(3)我們製作了順時針、逆時針：瘦的紙蛇寬 1.6 公分圈半徑 7.2 公分、胖的紙蛇寬 2.2

寬圈半徑 7.2 公分是類型紙蛇加以測試。



四種不同類型的紙蛇

(照片由第三作者拍攝)



不同圈數紙蛇測試的情形

(照片由第三作者拍攝)

種類 時間	逆時針寬的	逆時針細的	順時針寬的	順時針細的
第一次試驗	12.66	8.84	12.31	8.48
第二次試驗	12.59	8.12	12.41	8.51
第三次試驗	12.43	8.43	12.25	8.61
平均	12.56	8.46	12.32	8.53

(4)結論:

不論逆時針或順時針的紙蛇都以細的紙蛇轉動的速度較快，細的紙蛇螺旋圈數較，當你拉開後，它的彈性位能較容易被均勻釋放。

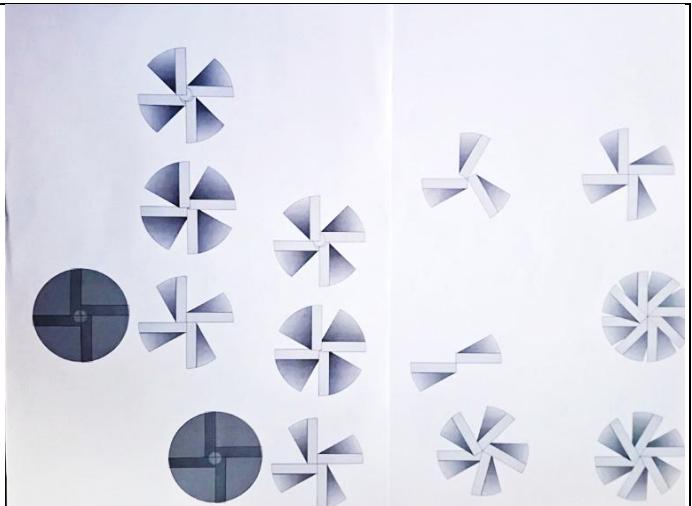
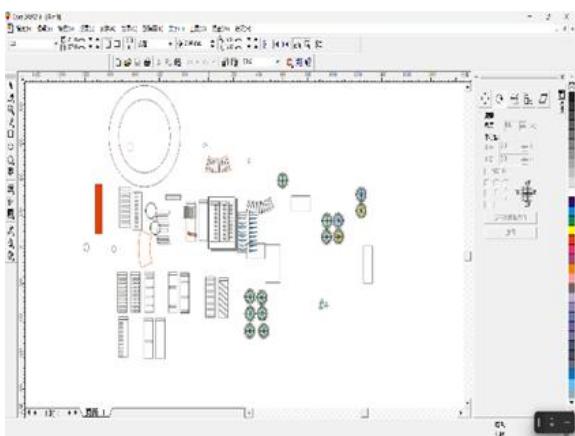
粗的紙蛇可能因為材質較硬、品質較重，導致回復力釋放得較慢或不均勻，所以轉得較慢。個影響與旋轉方向無關，所以不論順時針或逆時針，細的紙蛇都較快。

三、走馬燈燈罩及燃燒杯製作：

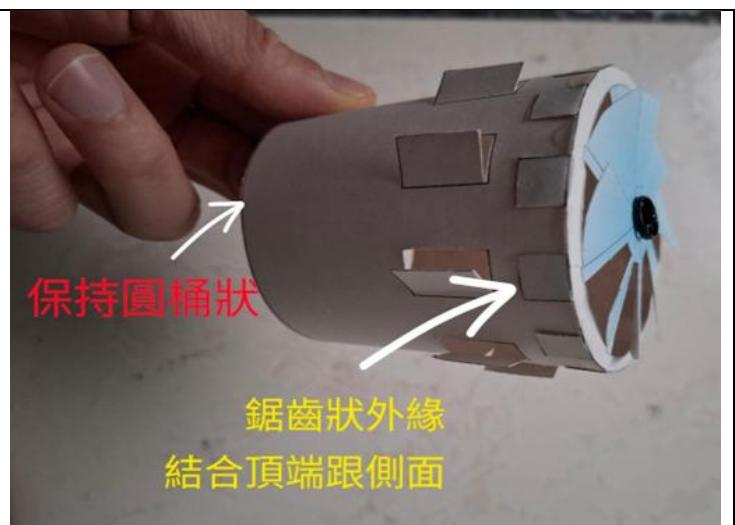
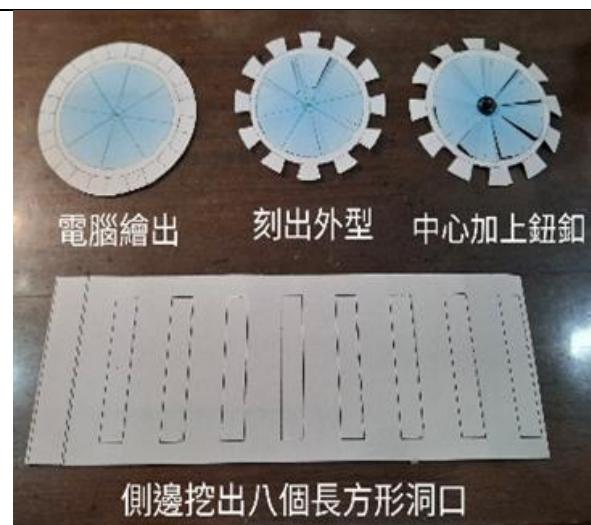
(一)在製作走馬燈之前，我們需要準備以下主要部件：燈罩、支撐鐵絲和燃燒杯。

以下各部分的簡要介紹：

1. 燈罩製作及鐵絲製作



1 使用電腦繪圖軟體 cordraw 畫出各種不同的燈罩外型、不同扇葉數目的燈罩頂部。



2. 在書面紙上繪製圓形燈罩頂部上面有不同的數量葉片 開口；側面長方形 使用剪刀、，美工刀剪出或刻出所要的形狀

3. 將底部跟側面連接成圓柱形的燈罩，圓筒形運動起來比較平衡不意晃動。



3. 用針（或筆尖）在燈蓋中心挖一個小洞
利用鐵鈕內扣當燈罩的圓心轉軸，減少
運動時的摩擦力。

燈罩內部構造

運動情形

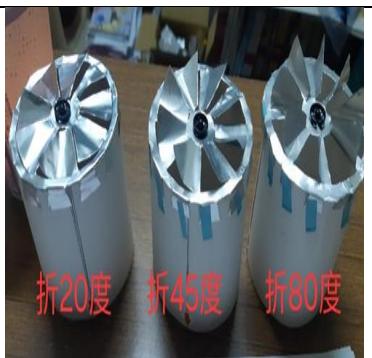
本頁七張(照片由第三作者拍攝)



利用紙杯當燈罩的側面
葉片張角三十度的各種不同數量葉片燈罩



利用紙杯當燈罩的側面
做出 4 個，同樣 4 片不
同葉片開口角度的燈罩

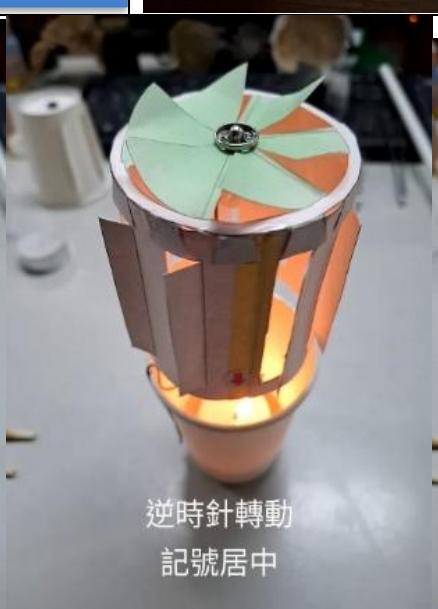


鋁箔片較易固定的特性
做成燈罩，容易折出葉
片想要彎著的角度。我
們分別製作了 20 度、60
度、80 度的角度。



支撐鐵絲用來固
定燈罩，使燈罩能
在熱氣流的帶動下
順利旋轉。
選用輕堅固的鐵
絲，彎曲成適合
支撐燈罩的形狀。
需要精確計算鐵
絲的長度與彎曲
角度，以確保燈
罩平衡且能順暢
轉動。

本頁九張(照片由
第三作者拍攝)





測試各種不同類型的燈罩，貼上箭頭貼紙看到箭頭通過鐵絲計算為一圈。

我們採運轉十圈，計時走馬燈費時多久。每種類型燈罩以及燃料杯都加以測試，每一類型試轉五次。

等到走馬燈運轉六圈後，旋轉較穩定後，此外也可以將燈罩內原本的冷空氣排出，開始計算運轉十圈花費的時間，去除兩次極端值取三次數值加以平均。



運用紙杯制作測試其效果

照片由
第三作者拍攝

2. 尋找合適燃燒杯

燃燒杯的主要功能是提供熱源，使燈罩能夠依靠熱對流旋轉。使用小型蠟燭、酒精燈或其他適合的燃料作為熱源。杯子的材質需耐高溫，並且確保擺放位置安全，不會影響燈罩的執行。

(1) 做法：

- ① 尋找不同大小燃料杯，依次有大的寬開口燃料杯、大的高燃料杯、中燃料杯、小燃料杯、小的寬開口燃料杯共五種。
- ② 放入圓形小蠟燭
- ③ 採用上六片葉片側邊九個開口之燈罩
- ④ 測試走馬燈旋轉 10 圈花費的時間



(照片由第三作者拍攝)



(照片由第三作者拍攝)



(照片由第三作者拍攝)

種類	大的寬開口燃料杯	大的高燃料杯	中燃料杯	小燃料杯	小的寬開口燃料杯
高度	12 公分	17 公分	9.5 公分	7 公分	6 公分
直徑寬	14 公分	8.5 公分	8 公分	7 公分	9 公分
種類 時間	大的寬開口燃料杯	大的高燃料杯	中燃料杯	小燃料杯	小的寬開口燃料杯
第一次試驗	20.14	20.12	17.71	17..98	17.31
第二次試驗	21.15	20.78	17.58	18.36	18.75
第三次試驗	20.03	20.54	18.25	18.74	18.54
平均	20.44	20.48	17.48	18.36	18.20

(2) 結果與討論:

- ① 大的寬開口燃料杯比起小的寬開口燃料，杯雖然可以聚集較多的熱氣。有可能太多的熱氣聚集反而會破壞對流的效用，或者是因為開口過大聚集的熱氣，也更易逸散掉所以效果跟大燃料杯小燃料杯效果差不多。
- ② 大燃料杯的杯子高度太高，造成空氣流通不佳，導致火焰過小燃燒效率不好。
- ③ 中型的燃料杯料杯的速度最快，往後的實驗都採用中燃料杯。

3. 尋找合適動力來源(不同熱源提供的動力影響轉速研究)

各種不同熱源對熱氣流的影響及優劣點:

- (1) 傳統燃料(蠟燭、燈油)：燃燒穩定，適合驅動走馬燈，但溫度受限，影響旋轉效果。
- (2) 現代燃料（酒精燈、瓦斯）：燃燒溫度較高，可產生更強的對流，但需注意安全與燃燒穩定性。
- (3) 電熱光源（燈泡+鹵素燈）：可控性高，適合長時間執行，但需額外設計氣流引導機構，而跟傳統走馬燈採用的燃料驅動方式大相同。

1. 作法

- (1) 採用瓦斯燈、酒精燈、蠟燭圓形蠟燭、不同瓦數的燈泡測試對走馬燈轉動的影響。

(2)利用自製燈罩 6 公分高，頂部半徑 5 公分，上方開口 6 片葉片，側面沒有開口的走馬燈燈罩。

(3)點燃瓦斯燈、酒精燈、蠟燭或開啟電源開關，把燈罩放在鐵絲的上端。

(4)維持燈罩頂距離熱源十五公分避免燒毀燈罩。

(5)測試轉動 10 圈花費的時間。

(6)本試驗主要測試熱源產生氣流大小及氣流集中的因素。

2.結果:

(1) 雖然酒精燈及瓦斯燈火力大及高溫，能夠造成高速的轉動。但是也容易讓燈罩著火，蠟燭雖然火力沒有那麼強，可是相對的危險性較低。我們也不採紅色長條形蠟燭，因為它有缺點會產生碳燈罩熏烤黑色的，而且蠟燭的高度會愈燒愈短。評估上面優缺點後。因此，後續實驗均採用圓形小蠟燭，火力集中不易晃動沒黑煙，沒有燃燒變短的問題等好處。



用鋁線在 20 瓦的燈泡上纏繞固定出支架
上端加上圖釘將燈罩放置於其上測試。

(照片由第三作者拍攝)

50 瓦的鹵素燈外圍設置一紙杯當做鐵絲的附著物
將燈罩放置於其上測試。

(照片由第三作者拍攝)



酒精燈跟瓦斯燈雖然火力較強，但也難以掌控
容易把燈罩

(上面三張照片及
左側兩張片由第三
作者拍攝)

種類 時間	蠟燭(小圓)	酒精燈	瓦斯燈	20w 燈泡	40w 燈泡
第一次試驗	17.71	11.92	9.94	13.54	12.85
第二次試驗	17.58	12.08	10.32	13.42	12.02
第三次試驗	18.25	12.09	10.40	13.06	12.75
平均	17.48	12.03	10.10	13.34	12.54

(2)燃料的選擇影響熱對流的強度與穩定性，與燈罩的設計兩者需協調，以提升走馬燈的運作效率。

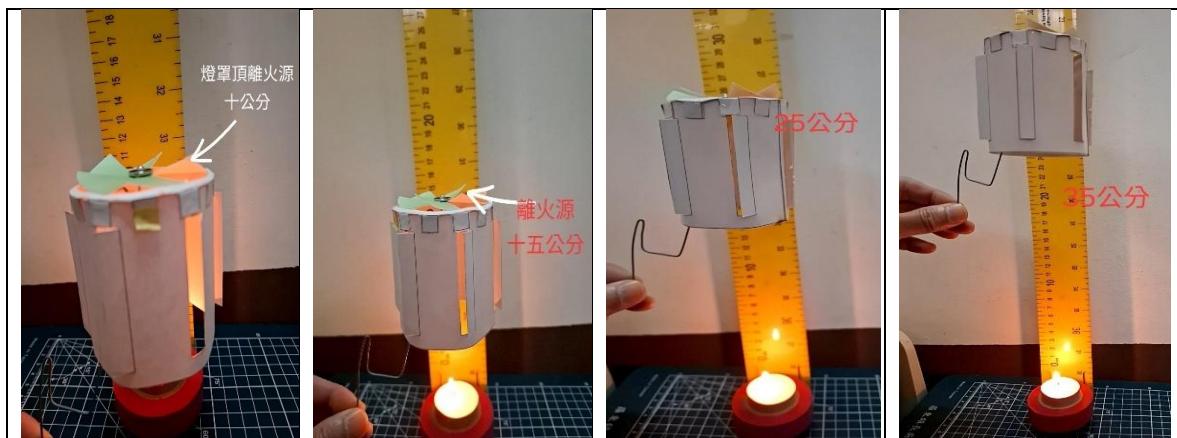
四、調整走馬燈燃料杯和距離熱源不同高度影響探討:

(一) 燈罩距離熱源不同高度

走馬燈的燈罩距離熱源較近時，熱氣流較強，能驅動轉動加快，但可能導致燈罩過變形或轉動不穩定；距離較遠時，雖然轉動較穩定且燈罩更耐用，但熱流較弱，可能無法順利轉動。最佳距離需根據熱源強度、燈罩材質和環境調整，一般約 10~20 公分較為適宜。。

1.作法

- (1)採用上六片葉片側邊 6 個開口之燈罩測試高度對走馬燈轉動的影響。
- (2)利用自製燈罩距離熱源不同高度，燈罩頂部距離熱源 10 公分 15 公分 25 公分 35 公分
- (3)測試轉動 10 圈花費的時間。
- (4)本試驗主要測試熱源產生氣流是否受到距離的因素而產生變化。



(本頁四張照片由第三作者拍攝)

2.結果與討論

種類 時間	10 公分	15 公分	25 公分	35 公分
第一次試驗	20.02	30.68	52.21	1 分 7.60
第二次試驗	20.60	32.91	52.33	1 分 8.00

第三次試驗	21.54	32.41	54.25	1 分 8.40
平均	20.72	32.00	52.93	1 分 8.00

(1) 距離越近燈罩轉動速度越快，推測跟燈罩收集較多熱氣有關。

(2) 距離愈遠熱氣透過與燈罩之間的間距溢散出來，減弱推動燈罩的動力。

(二)不同類型開口位置及不同開口數量的燃料杯對走馬燈轉動的影響研究：

燃料杯適當數量的開口能促進自然對流，使冷空氣順利進入並帶走燃燒產生的熱量，提高散熱效果，確保穩定燃燒。然而，若開口過多，雖然能進一步加強對流，使燃燒更加旺盛，但可能造成燃料杯結構強度下降，甚至因過度氣流影響燃燒穩定性。過多的開口也可能讓灰塵或雜質進入燃料杯，影響燃燒效率並增加清潔與維護的難度。

開口位置同樣對熱對流有顯著影響。上方開口可讓燃燒產生的熱空氣順利排出，促進內部氣流迴圈，減少熱氣滯留，提升燃燒效率。

若燃料杯僅有下方開口而無上方開口，冷空氣雖可進入，但熱空氣難以排出，可能導致內部熱聚集，降低對流效果，影響燃燒穩定性。因此，結合上下開口的設計最為理想，下方開口負責吸入冷空氣，上方開口則幫助排熱，形成自然對流，使燃料燃燒更均勻、更高效。



1..作法

(本頁照片由第三作者拍攝)

(1)採用上面 12 片葉片，側邊無開口之燈罩之燈罩測試對走馬燈轉動的影響。

(2)利用不同類型開口位置及不同開口數量的燃料杯。

(3)測試轉動 10 圈花費的時間。

(4)本試驗主要測試熱源產生氣流，是否受到開口位置及不同開口數量的因素的影響。

2.結果:

種類 時間	下方 1 個 開口	下方 2 個開口	下方 3 個開口	沒有 開口	上方一 個開口	上方 2 個開口	上方 3 個開口	上方跟下 方各一各 開口
第一次試驗	10.30	9.73	14.00	14.02	18.00	18.00	22.00	21.00
第二次試驗	10.78	9.14	12.55	14.10	16.00	21.00	20.37	18.98
第三次試驗	10.41	9.41	13.76	14.15	17.21	21.63	19.33	20.00

平均	10.54	9.33	13.77	14.09	17.07	20.21	20.56	19.99
----	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

- (1)燃料杯下方開口處以開 2 個最快 3 個最慢，都沒開是最慢的。
- (2)上方開口處數量越多速度越慢，推測可能是所產生的熱氣逸散或者是產生亂流。
- (3)上下各一速度亦不快。
- (4)燃料杯下方開口處以開 2 個時，新鮮空氣可以迅速補充，熱氣流集中灌向燈罩產生最大推力。

(三)將燃料杯以鋁箔分成數量不同的隔數：

燃燒杯的分隔設計會影響氣流分佈與燃燒效率。適當的分隔可引導對流、穩定燃燒、提高旋轉效果，但若分隔阻擋了空氣流動，可能導致缺氧、燃燒不完全或熱氣無法順利推動燈罩。設計時需確保進氣與排氣順暢，以達到最佳燃燒與旋轉效果。



以鋁箔分成數量不同的隔數

(本頁三張照片由第三作者拍攝)

優點	能有效地分開進氣與排氣區域，提高氣流迴圈，穩定燃燒與旋轉速度。	進一步控制氣流，能在中間區域創造更穩定的熱對流，提升燃燒穩定性和旋轉流暢度。	有更多區域來分配氣流，理論上可提供更穩定的熱對流，可能有利於提升燃燒效率。
缺點	如果設計不當，可能會有氣流不均的情況，影響熱對流和旋轉效率。	若中間格子無法有效排出熱空氣或導入新鮮氧氣，可能會造成氧氣不足或熱量積聚，影響燃燒。	過多的分隔可能會過度限制氣流，尤其是如果每格開口過小，可能會導致氧氣無法充分補充，甚至讓火焰熄滅或旋轉停止。

1 做法：

- (1)鋁箔紙配合杯子內部大小折成數量不一的隔板
- (2)折好的鋁箔紙隔板放入杯內點燃蠟燭進行測試
- (3)採用上面 12 片葉片，側邊無開口之燈罩之燈罩測試對走馬燈轉動的影響。

種類 時間	無分格	均分兩格	均分三格	均分四格
第一次試驗	25.42	16.15	20.15	22.25
第二次試驗	24.21	17.23	20.21	22.14
第三次試驗	23.33	17.42	20.32	20.86
平均	24.32	16.93	20.22	21.75

(2)結果:

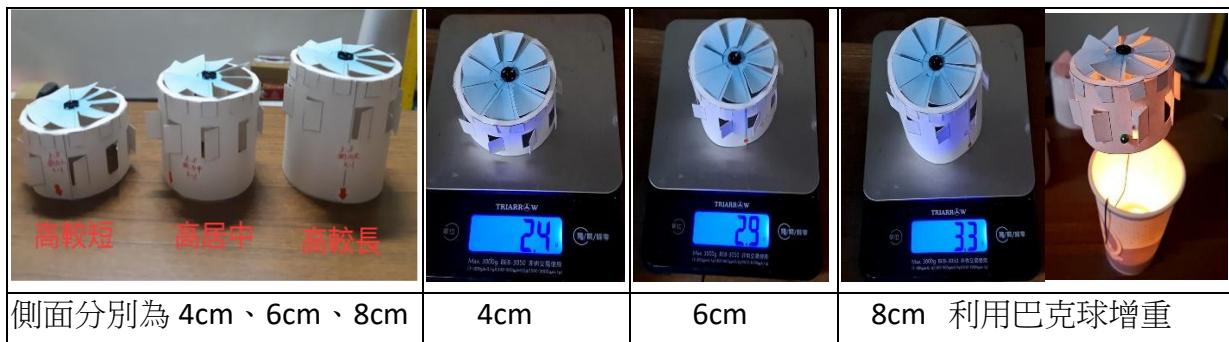
(1) 以分兩格的燃料杯所測出的跑馬燈最快速，推測有效分開進氣與排氣區域，提高氣流迴圈。

(2) 以分四格的燃料杯所測出的跑馬燈最慢，過多的分隔可能會過度限制氣流，尤其是如果每格開口過小，可能會導致氧氣無法充分補充。

五、改變燈罩因素(不同類型)對走馬燈轉動速率的影響

(一) 不同長度、大小燈罩頂會影響轉速嗎?

燈罩高度影響走馬燈的轉速與穩定性。較高的燈罩較重，轉動時需要更多熱氣推動，可能使轉速變慢。同時，燈罩越高，熱氣流動可能會變得不均勻，影響旋轉順暢度。此外，過高的燈罩會提高重心，若分佈不均，可能導致旋轉不穩或傾斜。



(本頁五張照片由第三作者拍攝)

1.做法:

(1)頂部採用相同開口數量六的燈罩。

(2)使用白膠將不同開口數量的頂部，黏於燈罩身長4公分、6公分、8公分的側面上。

(3)利用巴克球讓3個燈罩的重量趨於一致。

(4)每一類型試轉五次，轉六圈後待其旋轉穩定後，此外也可以將燈罩內原本的冷空氣排出，開始計運轉十圈花費時間，去除兩次極端值取三次數值加以平均。

2.結果:

種類 時間	上 8 側 10 小	上 8 側 10 中	上 8 側 10 大	上 8 側 10 小 增重	上 8 側 10 中 增重
第一次試驗	14.76	15.00	15.32	19.87	17.66
第二次試驗	16.04	14.30	16.71	19.54	18.14
第三次試驗	16.00	13.00	16.00	19.21	17.42
平均	15.60	14.10	16.01	19.54	17.74

- (1) 燈罩從小 → 中 → 大，轉速沒有單純地變快或變慢，而是中型燈罩轉速最快（時間最短），可能因為熱氣流與重量達到平衡。
- (2) 增重影響轉速：增重後，轉速變慢（時間變長），說明重量增加會降低旋轉速度，可能因為需要更強的熱氣流來驅動較重的燈罩。
- (3) 結論：中等大小的燈罩可能更適合轉速穩定，太大或太小都可能影響旋轉效率。增重會降低轉速，因此燈罩的重量需要適當控制，以確保最佳旋轉效果。

(二) 燈罩不同大小會影響轉速嗎？

跑馬燈的燈罩大小會影響其轉速。因為燈罩的大小會改變空氣阻力和轉動的慣性。當燈罩較大時，會增加空氣的阻力，使得轉動的速度變慢；而燈罩較小時，空氣阻力較小，轉速可能會較快。此外，燈罩的重量也會影響轉速，越重的燈罩會增加轉動的慣性，使得旋轉速度變慢。

1. 做法

- (1) 頂部採用相同開口數量六的燈罩。
- (2) 製作三種規格大小不同的燈罩直徑大 8.5cm 中 6.8cm 小 5.2cm。
- (3) 重量不同可能是影響轉動速度的因素。於是，我們將大中小燈罩拿去秤。

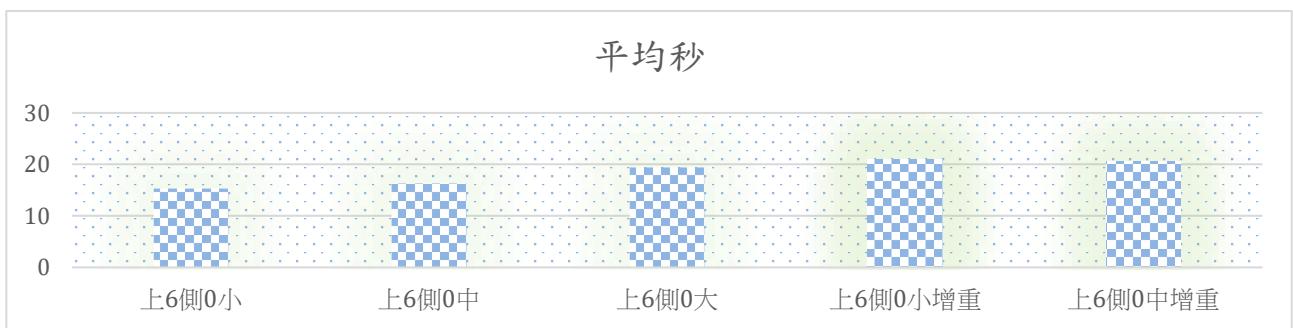
電子秤上面顯示的數據是 4.6 公克大燈罩中燈罩是 3.7 公克小燈罩是 2.8 公克。我們秤出一顆磁鐵是 0.4 公克，大中小之間的差距是 0.9 公克於是加上約莫兩顆的小磁鐵，讓它們的重量接近再重新測一次看動的情況，排除重量的因素，看大、中、小杯內的不同的熱氣量，推動上面葉片的情況。



2.結果

類型 時間	上 6 側 0 小	上 6 側 0 中	上 6 側 0 大	上 6 側 0 小增重	上 6 側 0 中增重
第一次	16.20	17.00	18.00	20.95	20.04
第二次	14.50	15.81	19.20	21.05	21.18
第三次	15.20	16.15	21.01	21.03	21.18
平均時間	15.30	16.32	19.40	21.01	20.47

- (1) 燈罩的大小和形狀會改變燭火的氧氣流動，可能會影響火焰的穩定性和大小。
- (2) 較大的燈罩：會讓燭火在燈罩內部的空間裡形成一個穩定的區域，這樣可以減少風吹動或外界氣流對火焰的影響。這樣的燈罩通常能保持燭火比較穩定。
- (3) 較小的燈罩：會限制火焰周圍的空氣流通，火焰可能因缺氧而熄滅或變小。小燈罩會使火焰的形狀受到更多限制。但是本次實驗，由於燈罩跟燃燒杯之間的距離夠大，足以補充新鮮空氣所以比較沒有這個問題。
- (4) 總結：選擇較小的燈罩可提高轉動速度，選擇較大或增重設計則會穩定但轉速較慢。



本統計圖由第六作者繪製

(三) 改變燈罩頂部上方開口的數目，檢測影響轉速的情形：

走馬燈的轉速主要受熱氣流的上升速度影響，而燈罩頂部開口的數目會影響熱氣流的

排出效率，從而影響轉速嗎？

本實驗分成自製燈罩跟使用紙杯製成的燈罩分別進行測試

1. 自己製作的燈罩頂端不同葉片數量會影響轉動速度嗎？

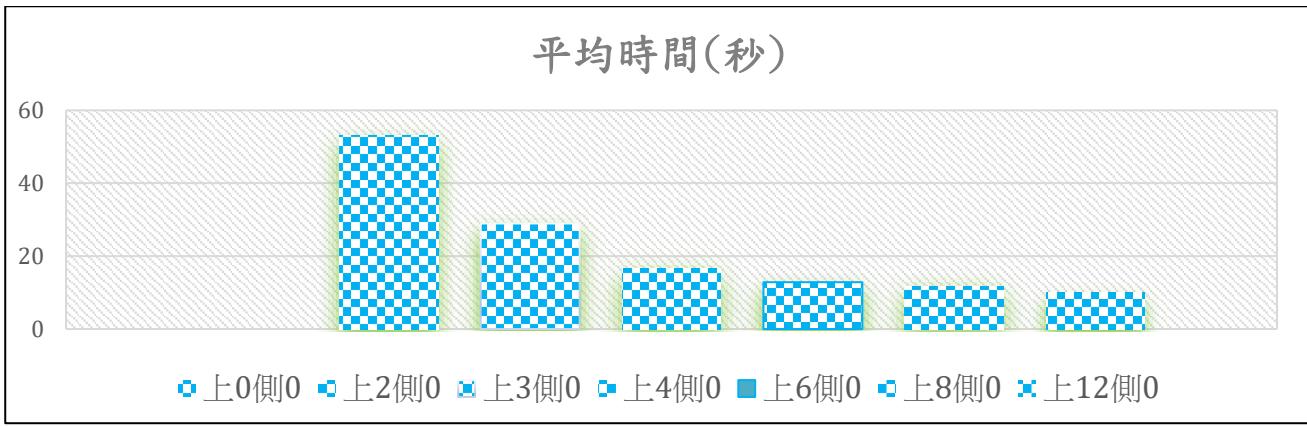
1-1 做法：

- ① 頂部採用不同開口數量的燈罩。
- ② 使用白膠將頂部不同開口數量的頂部黏於燈罩身長八公分的側面上。
- ③ 點燃燃燒杯中的蠟燭，將燈罩至於鐵絲上的針尖端。
- ④ 每一類型試轉五次，轉六圈後待其旋轉穩定後，此外也可以將燈罩內原本的冷空氣排出，開始計運轉十圈花費時間，去除兩次極端值取三次數值加以平均。



2-1 結果與討論：

種類 時間	上 0 側 0	上 2 側 0	上 3 側 0	上 4 側 0	上 6 側 0	上 8 側 0	上 12 側 0
第一次試驗	不會轉動	56.45	27.25	19.92	17.96	13.01	10.02
第二次試驗	不會轉動	52.13	29.41	18.59	18.56	11.02	10.10
第三次試驗	不會轉動	51.16	30.23	19.93	18.46	11.21	10.15
平均	不會轉動	53.24	28.96	19.48	18.32	11.74	10.09



本統計圖由第六作者繪製

- (1) 開口增加，熱氣流動更穩定—熱氣順暢排出，減少渦流與阻力，反而讓氣流驅動力增。
- (2) 氣流集中效應—若開口設計合適，排出的熱氣可能形成更強的上升氣流，提升轉速。
- (3) 原本認為開口過多會導致熱氣過快流失，使內部溫度降低，減少驅動力，但是我們得到的結果反而開口多時效果更佳。我們推測開口數越多，熱氣排放更順暢，提升上升氣流的穩定性與速度，使走馬燈轉速加快。

2.紙杯制作的燈罩頂端不同葉片數量會影響轉動速度嗎?

1-2 作法:



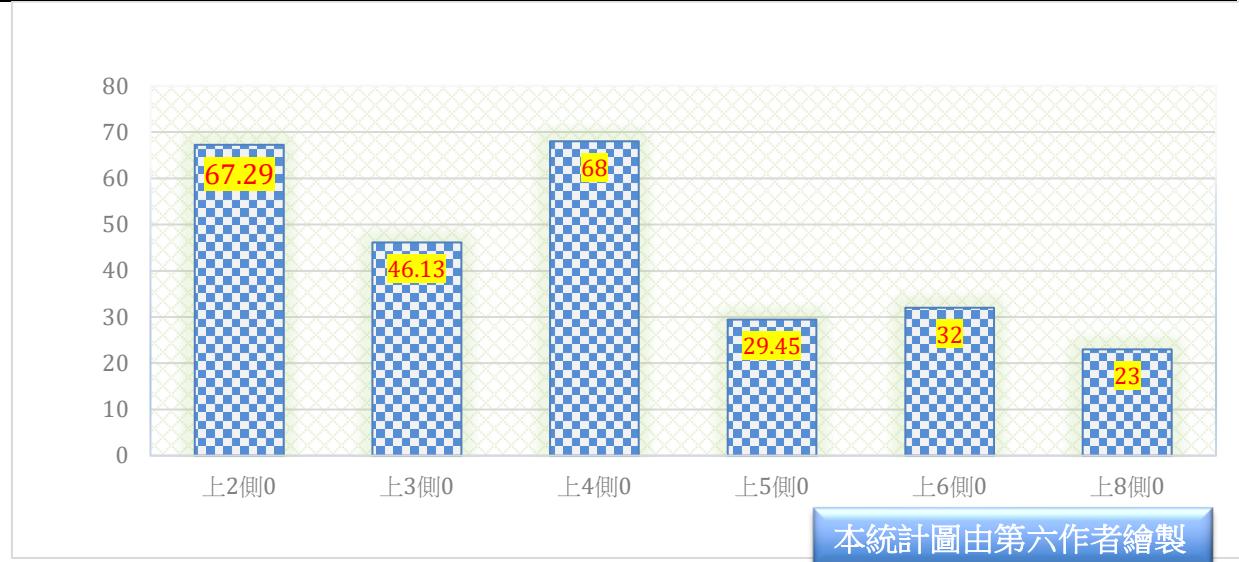
- (1) 紙杯頂端葉片開角 30 度不同開口數量
- (2) 頂部採用不同開口數量的燈罩。
- (3) 用白膠將頂部不同開口數量的頂部黏於紙杯的側面上。
- (4) 點燃燃燒杯中的蠟燭，將燈罩至於鐵絲上的針尖端。。
- (5) 每一類型試轉五次，轉六圈後待其旋轉穩定後，此外也可以將燈罩原本的冷空氣排出，開始計運轉十圈花費時間，去除兩次極端值取 三次數值加以平均。

(本頁-二張照片由第三作者拍攝)

2-2 結果:

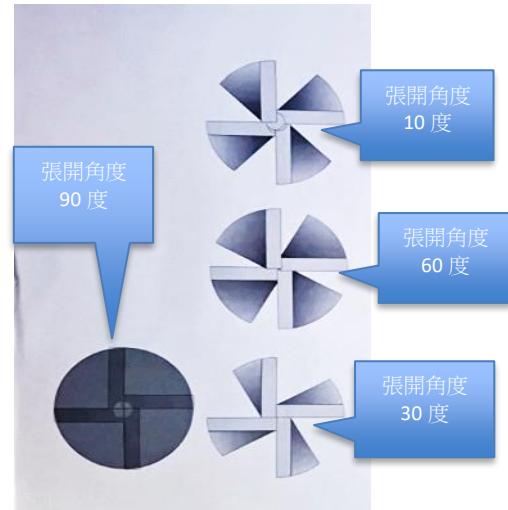
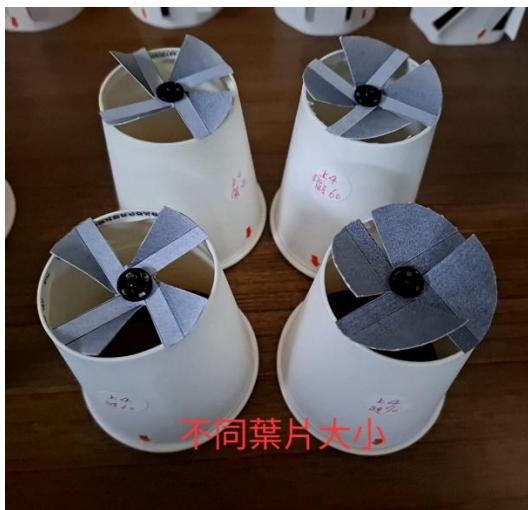
種類 時間	上 2 側 0	上 3 側 0	上 4 側 0	上 5 側 0	上 6 側 0	上 8 側 0
第一次試驗	1 分 7.19	46.06	1 分 8.40	29.00	30.32	24.24

第二次試驗	1分 7.43	47.12	1分 8.00	30.15	33.90	23.15
第三次試驗	1分 7.25	45.21	1分 7.60	29.20	32.41	22.96
平均	1分 7.29	46.13	1分 8.00	29.45	32.00	23.00



- (1)大體上結果與自製燈罩情況以致開口速越多燈罩的旋轉速度越快。
- (2)紙杯製的燈罩有一個特性，單數個的開口其旋轉速度優於偶數個開口。

(四)改變燈罩頂部上方葉片的張角，檢測影響轉速的情形:



(本頁-二張照片由第三作者拍攝)

本圖由第二作者自行繪製

從氣流動力的角度來看，葉片的張角對轉速的影響可以從風力、推力、風阻等物理現象來解釋。葉片的張角（即葉片與風向的角度）會影響其與氣流的互動，進而決定轉動的效率和穩定。

1.做法:與上雷同不再贅述

2. 結果討論:

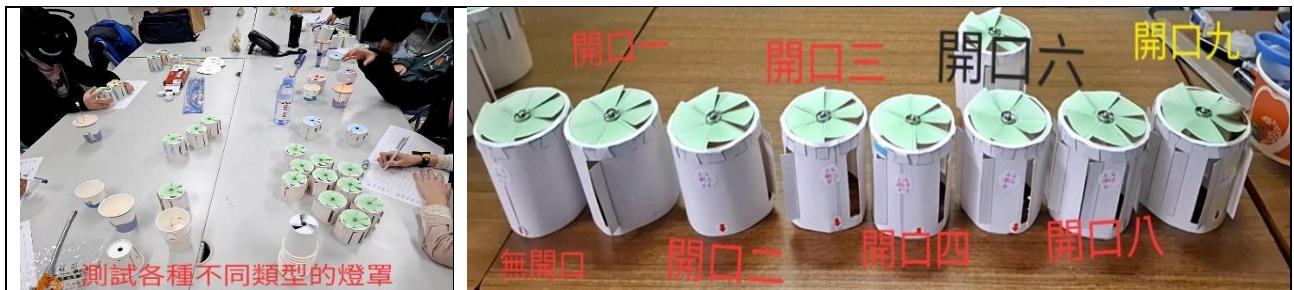
種類 時間	上 4 葉片 30 度	上 4 葉片 40 度	上 4 葉片 60 度	上 4 葉片 90 度
第一次試驗	1 分 32.92	44.54	22.27	21.74
第二次試驗	1 分 30.84	44.74	23.17	20.13
第三次試驗	1 分 31.70	41.28	22.45	19.75
平均	1 分 31.82	43.52	22.63	20.54

1. 我們查到的資料對流產生的風與扇葉角度之間的關係

- ① **低風速**：大張角（45° - 60°）有助於捕捉更多風力。
- ② **中等風速**：適中張角（30° - 45°）有最佳的推力與風阻平衡。
- ③ **高風速**：小張角（20° - 30°）能減少風阻，保持穩定的轉速。
- ④ **極高風速**：極小張角（10° - 20°）可減少風阻，防止葉片過快旋轉。

2. 燃燒蠟燭所產生的對流風速極為低，採用大張角可以捕捉更多的對流風增加推力。

(四) 燈罩側面的開口數量會影響轉速嗎？



(本頁-二張照片由第三作者拍攝)

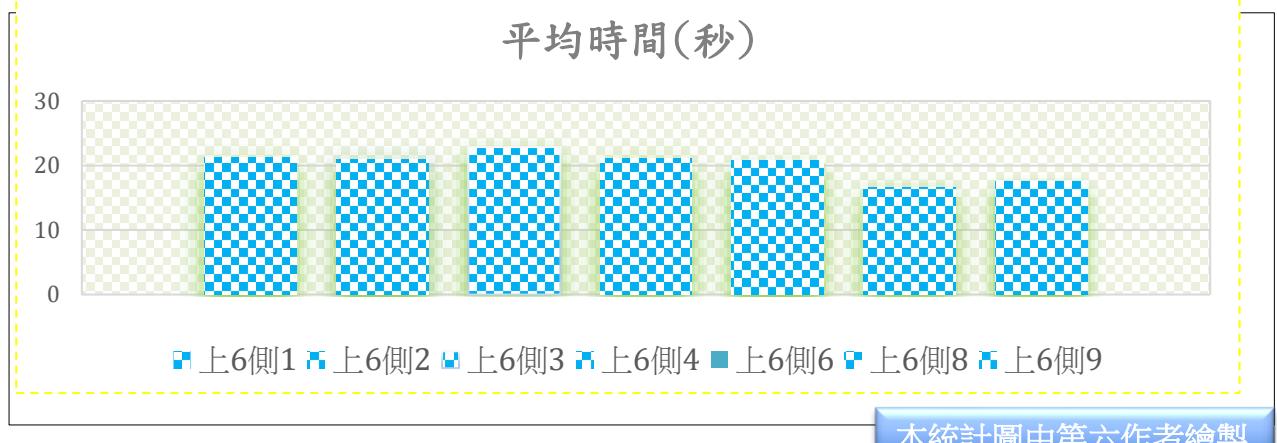
側面開口數量和外型對走馬燈的轉速影響很大。適量且均勻分佈的側面開口，可以有效提升氣流的穩定性和強度，從而提高轉速。而不均勻或過多的開口則可能導致亂流，降低穩定性，影響轉速表現。透過特別設計的開口數量、外型與分佈，可以達到最佳的轉速效果。

(1) 作法:

- ① 採用燈罩上方開數量六個。
- ② 使用白膠將不同開口數身長八公分的側面黏於燈罩上方。
- ③ 點燃燃燒杯中的蠟燭，將燈罩至於鐵絲上的針尖端。。
- ④ 每一類型試轉五次，轉六圈後待其旋轉穩定後此外也可以將燈罩內原本的冷空氣排出，開始計運轉十圈花費時間，去除兩次極端值取三次數值加以平均。

(2) 結果:

類型 時間	上 6 側 1	上 6 側 2	上 6 側 3	上 6 側 4	上 6 側 6	上 6 側 8	上 6 側 9
第一次試驗	21.15	21.32	22.49	21.04	20.02	16.01	17.71
第二次試驗	21.15	20.70	23.21	20.90	20.60	16.90	17.58
第三次試驗	21.19	20.80	22.82	21.09	21.54	17.10	18.25
平均	21.16	20.94	22.84	21.01	20.72	16.67	17.48



.討論：

本統計圖由第六作者繪製

- ①開口數雙數旋轉的時間花費較少，轉動比較快速但是似乎差異不是很明顯。
- ②開口數在八以上速度增加很多。單數開口數，可能是較不能平衡轉速拉慢。
- ③上 6 側 0 平均花費時間 12.85 秒，快很多。代表側面開口，熱氣可能喪失無法透過頂部排出。頂部推動產生的力矩可能較大。
- ④多個小開口優點可以使氣流分佈更均勻，避免局部風力集中，對旋轉的穩定性有幫助。可以使氣流分佈更均勻，避免局部風力集中，對旋轉的穩定性有幫助。但是如果小開口數量過多，可能會導致每個開口進入的氣流量變少，從而減少整體的推動力，影響旋轉速度

(五) 燈罩側面的開口外型會影響轉動嗎?

不同形狀的開口可能會影響氣流的方向、強度和穩定性，進而影響燈罩的轉動效果。

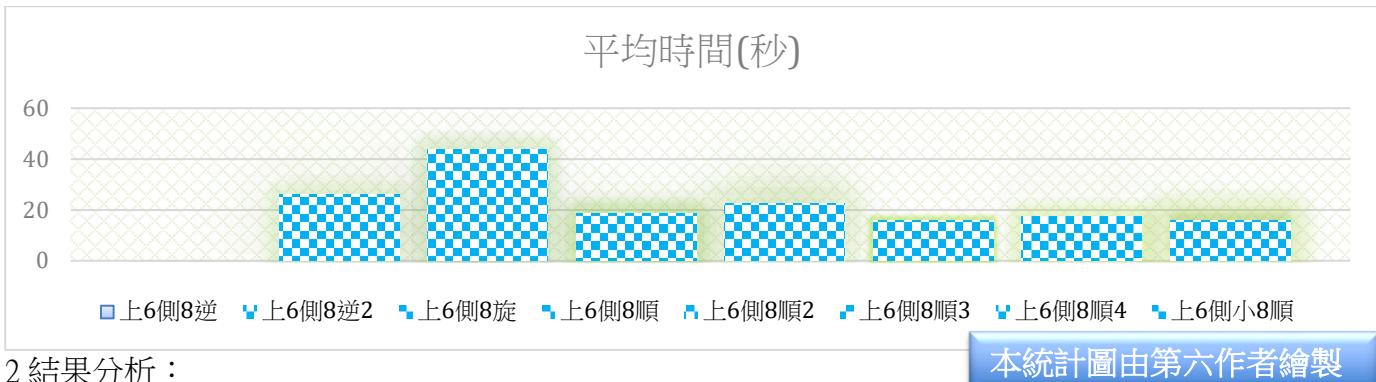


(1)作法:

- ①側面用不同造型的燈罩。
- ②使用白膠將部黏於燈罩身長八公分的側面上。
- ③點燃燃燒杯中的蠟燭，將燈罩至於鐵絲上的針尖端。。
- ④每一類型試轉五次，轉六圈後待其旋轉穩定後，此外也可以將燈罩內原本的冷空氣排出，開始計運轉十圈花費時間，去除兩次極端值取三次數值加以平均。

(2)結果:

種類 時間	上 6 側 8 逆	上 6 側 8 逆	上 6 側 8 旋	上 6 側 8 順				
第一次試驗	不會轉動	28.12	45.50	18.02	22.04	17.51	17.28	17.32
第二次試驗	不會轉動	24.13	42.00	18.21	22.15	17.54	14.21	14.12
第三次試驗	不會轉動	26.03	43.50	20.11	23.39	17.66	16.10	16.40
平均	不會轉動	26.09	43.66	18.78	22.52	17.57	15.86	15.90



2 結果分析：

本統計圖由第六作者繪製

- ① 最快轉速：「上 6 側 8 順 (15.86 秒)」圓形開口轉動速度相對較快且穩定。能最大化氣流推力，使燈罩旋轉最快。上 6 側小 8 順 (15.90 秒)」的轉速也接近，表示較小開口仍有良好氣流導向。
- ② 最慢轉速「上 6 側 8 旋 (43.66 秒)」旋轉時間最長，代表氣流分散，推力較弱，轉速最低。能適合穩定旋轉，但不適合高轉速需求。
- ③ 「上 6 側 8 逆」無法轉動能因為氣流方向錯誤，導致推力不足，無法驅動燈罩旋轉。可能的解決方案：調整開口方向，使氣流形成有效推力。
- ④ 長條形開口：轉速容易波動，可能會有快速的加速階段，但也可能因為氣流不均而變慢。
- ⑤ 矩形或尖角開口：增加湍流和阻力，通常會導致轉速較慢，並且轉速變化不穩定尖角或矩形開口會引起氣流的湍流，這會增加空氣阻力，使得轉馬燈的加速變慢。由於湍流增加了阻力，轉馬燈無法快速達到較高的轉速，並且轉速會相對較慢。。
- ⑥ 長條形開口能有效引導熱氣沿燈罩側面垂直上升，穩定氣流並提升風扇轉速。此外，長條形開口提供更多氣流進出空間，強化對流效應，使轉速更加穩定並加速。相較之下，橫向開口會讓熱氣向側面流出，破壞熱氣的上升氣流，從而減少風扇轉速。

(五) 燈罩側面開口位置會影響轉動速度嗎？

走馬燈罩側面開口的位置較高，熱空氣易迅速逸出，可能降低內部溫度，減少氣流推動力，使燈罩轉動變慢；開口較低則可讓熱氣聚集更久，增強上升氣流，使轉動加快。此外，開口的對稱性與數量也會影響轉速，分佈不均，可能導致氣流偏向某側，使轉動不穩定或變慢；而適量對稱的開口能讓氣流均勻，穩定轉動。調整開口的大小與位置，可改善走馬燈的轉動效果。

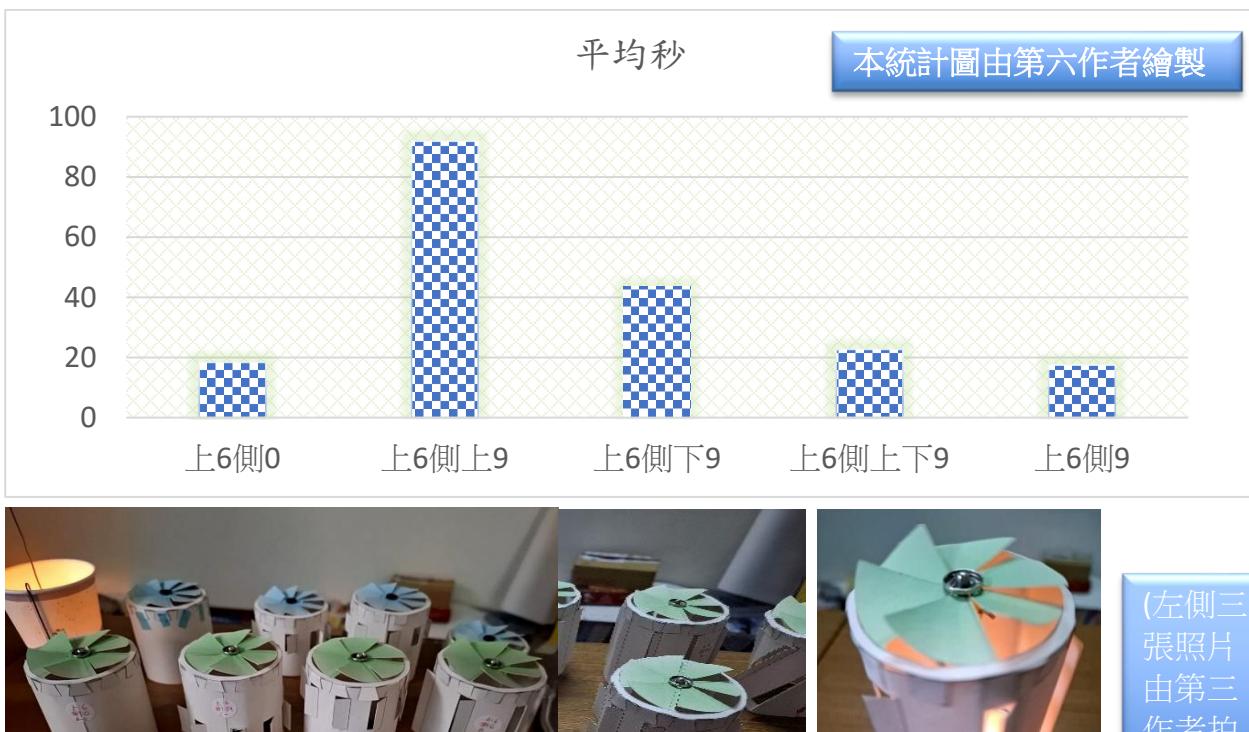
1.作法：

- ①頂部採用開口數量 6 的燈罩。
- ②使用白膠將頂部開口數量 6 的頂部黏於燈罩側面不同開口位置的側面上。
- ③點燃燃燒杯中的蠟燭，將燈罩至於鐵絲上的針尖端。。

④每一類型試轉五次，轉六圈後待其旋轉穩定後，此外也可以將燈罩內原本的冷空氣排出，開始計運轉十圈花費時間，去除兩次極端值取三次數值加以平均。

2.結果發現：

種類 時間	上 6 側 0	上 6 側上 9	上 6 側下 9	上 6 側上下 9	上 6 側 9
第一次試驗	17.96	1 分 32.92	44.54	22.27	17.71
第二次試驗	18.56	1 分 30.84	44.74	23.17	17.58
第三次試驗	18.46	1 分 31.70	41.28	22.45	18.25
平均	18.32	1 分 31.82	43.52	22.63	17.48



(1)側面開 9 的燈罩（側 9）轉速最快，顯示適當的側面開口可有效增強氣流推動力。

(2)側面開口較高（側上 9）導致轉速最慢，因為熱氣迅速逸出，無法有效推動燈罩。

(3)側面開口較低（側下 9）相比側上 9 快，但仍比側 9 慢，可能是熱氣雖然滯留較久，但排出方式仍影響氣流效率。

(4)側面沒開口與側上下 9 的表現接近，顯示均勻分佈開口對轉速有影響。

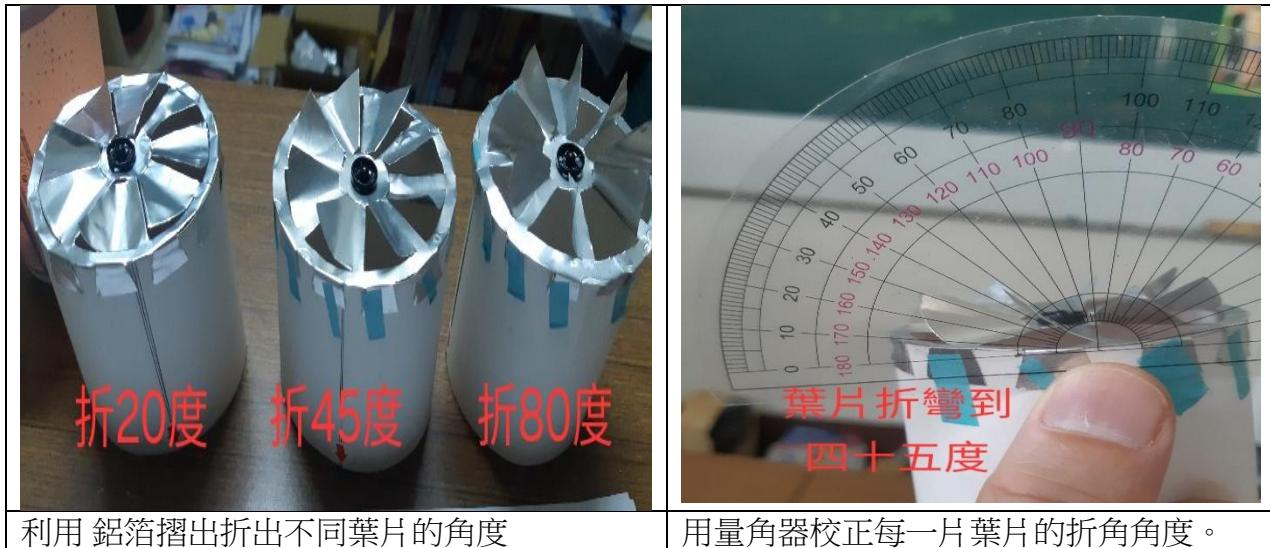
3.結論

(1)側面開口位置較低時（側下 9、側上下 9），轉速較快，可能是因為熱氣累積較久，產生較強的上升氣流。

(2)側面開口較高（側上 9）時，轉速變慢，因為熱氣容易迅速逸出，降低推動力。

(3)開口數量與分佈的對稱性影響穩定性，適當配置可讓氣流分佈均勻，提升旋轉效果。

(六)燈罩頂採不同折角對轉動速度的影響



(本頁兩張照片由第三作者拍攝)

走馬燈的葉片折角設計會直接影響氣流的推動力，進而改變燈罩的轉速。葉片的角度決定了熱氣上升時的受力方向與強度

1.做法:

- ①頂部採用折角的燈罩。
- ②使用白膠將頂部不同開口數量的頂部黏於燈罩身長八公分的側面上。
- ③點燃燃燒杯中的蠟燭，將燈罩至於鐵絲上的針尖端。
- ④每一類型試轉五次，轉六圈後待其旋轉穩定後，此外也可以將燈罩內原本的冷空氣排出，計運轉十圈花費時間，去除兩次極端值取三次數值加以平均。

2.結果:

種類 時間	上 8 側無 20 度折角	上 8 側無 45 度折角	上 8 側無 80 度折角
第一次試驗	14.12	14.51	52.21
第二次試驗	15.30	13.55	52.33
第三次試驗	14.41	13.41	54.25
平均(秒)	14.61	13.82	52.93

(1)20°折角 (平均 14.61 秒) :轉速較快，顯示小角度葉片能有效導引氣流，提高轉效率。

(2)45°折角 (平均 13.82 秒) :轉速最快，顯示此角度可能是最佳的推動氣流設計，平衡了氣流阻力與推進力。

(3)80°折角 (平均 52.93 秒) :轉速最慢，顯示過大折角會阻擋氣流，使推動力降低，導致旋轉速度大幅減少。

3.結論:

- (1)最佳折角為 45°，可讓燈罩轉動最快。
- (2)20°折角雖然也有不錯的轉速，但稍慢於 45°，可能是推動力較小。

(3) 80° 折角因為過大，導致氣流難以有效推動葉片，影響轉動速度。

這結果符合流體力學的預期：葉片折角約 $30^\circ \sim 45^\circ$ 通常是最佳的氣流導引角度，超過 60° 以上時推進效率會下降。

伍、結論

(一) 燃料杯下方開口處，以開 2 個時新鮮空氣可以迅速補充，熱氣流集中灌向燈罩產生

最大推力。

(二) 以分兩格的燃料杯所測出的跑馬燈最快速，推測有效分開進氣與排氣區域，提高氣流迴圈。

(三) 燈罩從小 \rightarrow 中 \rightarrow 大，轉速沒有單純地變快或變慢，而是中型燈罩轉速最快（時間最短），可能因為熱氣流與重量達到平衡。

(四) 選擇較小的燈罩可提高轉動速度，選擇較大或增重設計則會穩定但轉速較慢。

(五) 燈罩頂部開口數越多，熱氣排放更順暢，提升上升氣流的穩定性與速度，使走馬燈轉速加快。

(六) 燃燒蠟燭所產生的對流風速極為低，頂部扇葉採用大張角可以捕捉更多的對流風增加推力。

(七) 燈罩側面多個小開口，優點可以使氣流分佈更均勻，避免局部風力集中，對旋轉的穩定性有幫助。可以使氣流分佈更均勻，避免局部風力集中，對旋轉的穩定性有幫助。但是如果小開口數量過多，可能會導致每個開口進出的氣流量變少，從而減少整體的推動力，影響旋轉速度。

(八) 側面圓形開口轉動速度相對較快且穩定。能最大化氣流推力，使燈罩旋轉最快。

尖角開口：增加湍流和阻力，通常會導致轉速較慢，並且轉速變化不穩定，增加空氣阻力，使得轉馬燈的加速變慢。

(九) 側面開口數量與分佈的對稱性也影響穩定性，適當配置可讓氣流分佈均勻，提升旋轉效果。。

(十) 燈罩頂部扇葉最佳折角為 45° ，可讓燈罩轉動最快。

六、參考資料

一、紙蛇轉出大學問 高雄第四十屆科展。

二、蕭次融、施建輝、羅芳晁、謝迺岳、吳原旭、房漢彬（民 91）。動手玩科學 2。

臺北市：遠哲科學教育基金會。

三、「生活裡的科學—熱升冷降大搜查」。<https://www.youtube.com/watch?v=jdkXYFxYcKQ>

四、熱力四射--熱力旋轉杯的探討

【評語】080117

該作品的主題是探討空氣的熱對流現象。對流現象所驅動的物體運動，常常會帶來許多令人驚異的物理現象，這也是作者探討該問題的動機。透過控制熱對流的管道：包括開口導流板方向等等的機制。作者系統性的探討了如何改進熱對流現象所驅動的物體運動。作者的創造力也表現在他們除了運用傳統的加熱方式引發熱對流之外，也利用了冰塊的降溫來引發反向的熱對流。該作品在創意與完整性兩方面的表現上都非常優秀。

作品海報

浮光流轉— 走馬燈探究



摘要

透過一系列實驗研究走馬燈的設計與性能，探討不同因素對旋轉速度與穩定性的影響。實驗中，用紙杯與卡紙製作燈罩及燃料杯，並測試燈罩的長度、大小、開口方向，以及燃料種類與燃料杯設計對熱氣流的影響，希望能改善走馬燈的運轉效果。結果發現，當空氣受熱上升時，會驅動紙杯旋轉，而開口方向決定了旋轉方向。我們測試了不同高度與大小的燈罩，變化開洞的數量、形狀與角度，並調整洞口在杯側的位置，以分析其對旋轉效果的影響。

一、研究動機

走馬燈是中國古代的發明，時至今日，華夏民族仍在元宵、中秋等傳統節日中使用走馬燈，作為節慶裝飾與文化象徵。走馬燈因熱空氣上升而產生旋轉的現象，這種巧妙的設計一直讓我們感到驚奇。為什麼它能持續轉動？熱空氣如何驅動它？有哪些因素會影響旋轉速度？些問題引發了我們對熱對流與氣流運作的興趣，也讓我們思考如何改進走馬燈的設計，使其旋轉更穩定、更高效。

二、研究目的

1. 探討紙杯轉動的原理。
2. 探討紙杯上開洞的數量、形狀、大小、位置燃料杯大小開口數開口位置對紙杯旋轉圈數的影響。
3. 探討不同動力推動對紙杯旋轉圈數的影響。
4. 探討紙杯上洞口的方向對紙杯旋轉方向的影響。

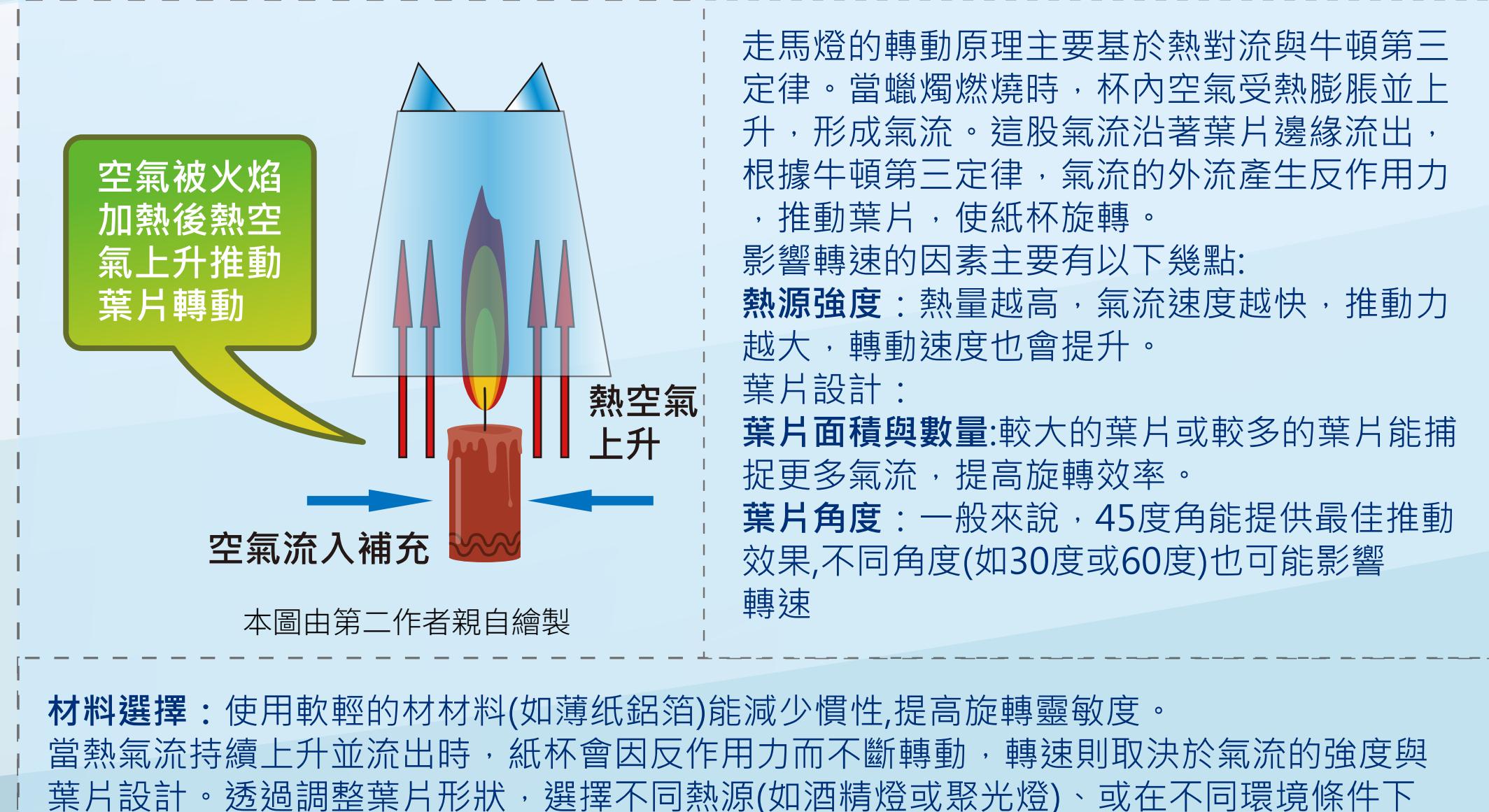
三、研究器材

一、實驗器材：防風打火機、白膠、燈座、燈泡（2個20W、50W）、膠布（一捲）、短刃剪刀、尖嘴鉗、蠟燭、熱熔膠槍、圓規、西卡紙數張、雙面膠、暗扣（數個-直徑8.5mm）。

二、軟體：coredraw

四、研究過程與結果

1. 走馬燈轉動的原理



2. 热對流及燃燒、滅火研究

走馬燈的外形像桶子管狀，有必要對內部的氣流、火焰，燃燒的狀況，進行研究。我們使用壓克力管覆蓋在燃燒蠟燭上，研究其氣流流動的情況。



本照片由第二作者親自繪製

為何罩住蠟燭會熄滅？

1. 氧氣不足：燃燒消耗氧氣，若罩內無法補充新鮮空氣，蠟燭會因缺氧熄滅。
2. 二氧化碳累積：燃燒產生的 CO₂ 無法排出，取代氧氣，使火焰熄滅。
3. 氣流受阻：罩子影響空氣流動，使燃燒條件惡化。
4. 熱量積聚：過熱可能改變燃燒環境，使火焰變得不穩定。
5. 內徑 5~8 公分的管子（類似紙筒）
6. 長度約 20~30 公分 才能顯著影響燃燒。



本照片由第二作者親自繪製

為什麼「分格」能影響燃燒？

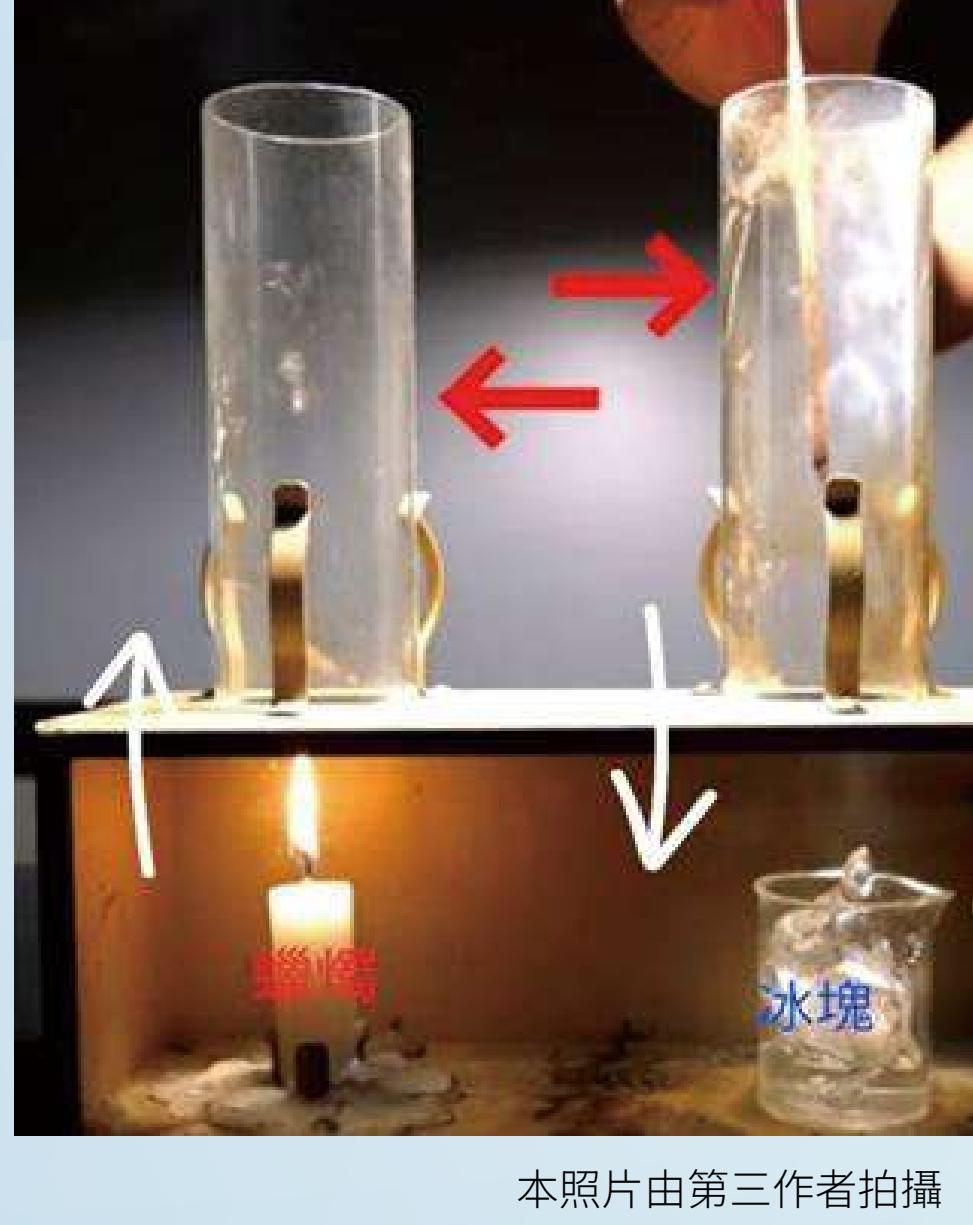
- 兩格：促進氣流迴圈，確保氧氣補充、CO₂ 排出，使蠟燭持續燃燒。



本照片由第二作者親自繪製

- 四格反而熄滅：可能因為氣流受阻，氧氣無法有效補充，或CO₂ 囂積，影響燃燒。

本照片由第二作者親自繪製



本照片由第三作者拍攝

烟囱效应 + 冷熱對流

在封閉空間內，若一邊放冰塊，另一邊有熱源，會形成明顯的溫差。熱源加熱一側空氣，使其密度降低，冷卻的空氣則密度較高，會下沉，形成冷熱對流。這樣的溫差對流可能會促使氣流產生穩定的循環，從而推動物體如葉片轉動。熱空氣上升，冷空氣下沉，並在封閉空間內形成一個迴圈氣流，推動葉片或其他裝置轉動，達到通風效果。

酒精燈的火力較強，使得壓克力管中的葉片高速轉動。同樣，酒精燈的火力較強也使紙杯高速轉動。

4. 鋁碗切割做成的葉片，探討冷熱對流對其轉動的影響



本照片由第三作者拍攝

使用熱水發生順時針旋轉

本照片由第三作者拍攝



本照片由第三作者拍攝

5. 另類的走馬燈 - 紙蛇

本照片由第三作者拍攝

由於物質受熱會導致體積膨脹，因此當空氣受熱膨脹之後，密度會變得比冷空氣小，因而產生冷空氣下降，熱空氣上升的對流作用。利用這個氣流上升作用，就可以將紙蛇推動並旋轉起來。



本照片由第三作者拍攝

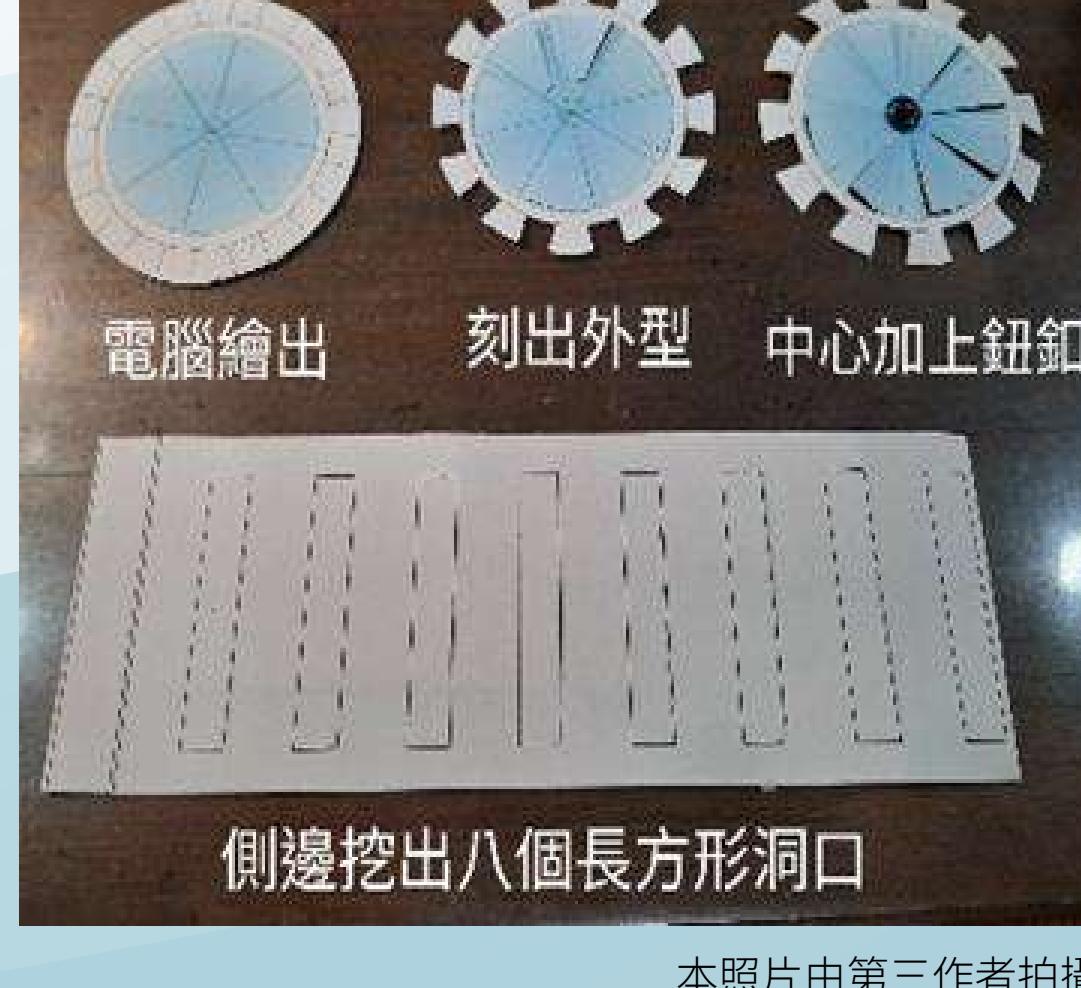


本照片由第三作者拍攝

不論逆時針或順時針的紙蛇都以細的紙蛇轉動的速度較快，細的紙蛇螺旋圈數較多，當你拉開後，它的彈性位能較容易被均勻釋放。粗的紙蛇可能因為材質較硬、品質較重，導致回復力釋放得較慢或不均勻，所以轉得較慢。所以不論順時針或逆時針，細的紙蛇都較快。

三、走馬燈燈罩及燃燒杯製作：

1. 燈罩製作及鐵絲製作



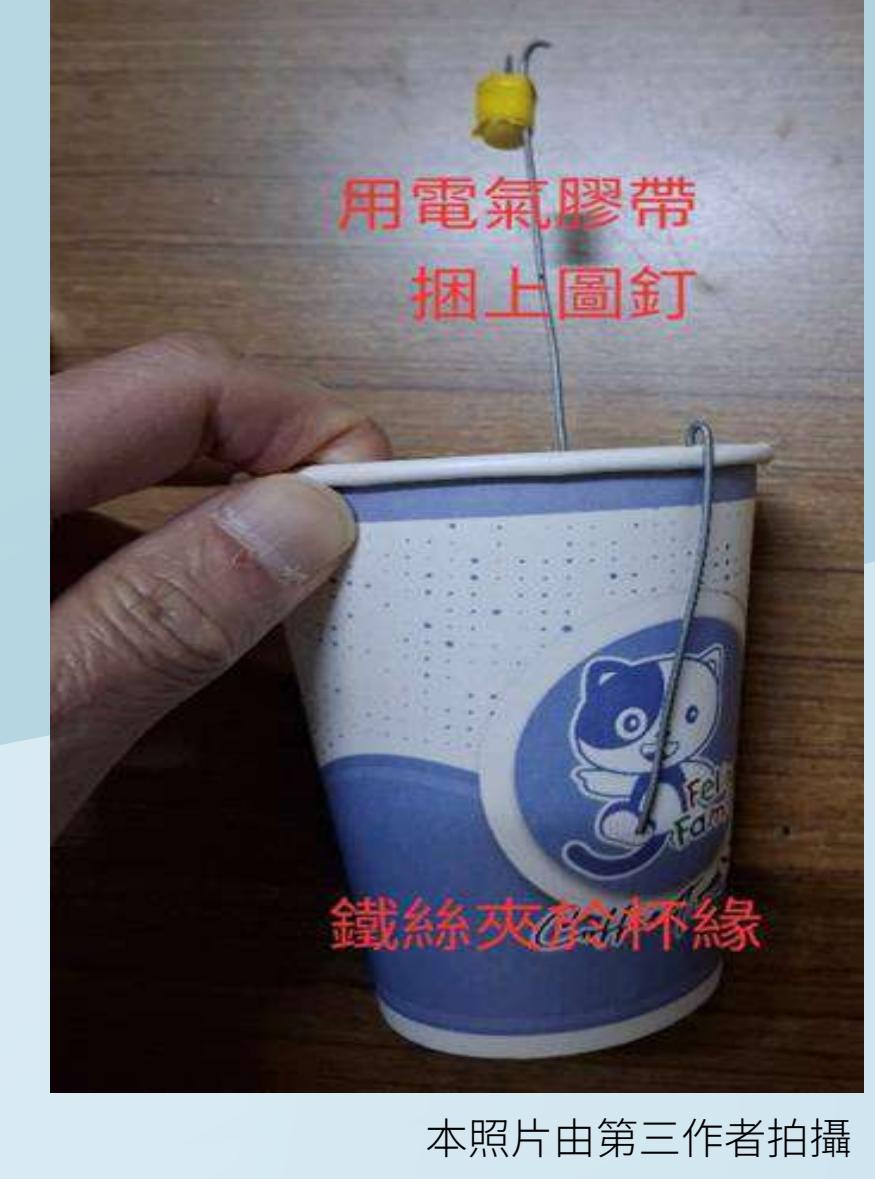
本照片由第三作者拍攝



本照片由第三作者拍攝



本照片由第三作者拍攝



本照片由第三作者拍攝



本照片由第三作者拍攝

測試各種不同類型的燈罩，貼上箭頭貼紙看到箭頭通過鐵絲計算為一圈。

我們採運轉十圈，計時走馬燈費時多久。每種類型燈罩以及燃料杯都加以測試，每一類型試轉五次。

等到走馬燈運轉六圈後，旋轉較穩定後，此外也可以將燈罩內原本的冷空氣排出，開始計算運轉十圈花費的時間，去除兩次極端值取三次數值加以平均。

2. 尋找合適燃燒杯

燃燒杯的主要功能是提供熱源，使燈罩能夠依靠熱對流旋轉。使用小型蠟燭、酒精燈或其他適合的燃料作為熱源。杯子的材質需耐高溫，並且確保擺放位置安全，不會影響燈罩的轉動。



本照片由第三作者拍攝



本照片由第三作者拍攝

- ① 大的寬開口燃料杯比起小的寬開口燃料杯，雖然可以聚集較多的熱氣，有可能太多的熱氣聚集反而會破壞對流的效用，或者因為開口過大聚集的熱氣，也更易逸散掉，所以效果跟大燃料杯、小燃料杯效果差不多。
- ② 大燃料杯的杯子高度太高，造成一個缺點空氣流通不佳，導致火焰過小，燃燒效率不好。
- ③ 中型的燃料杯速度最快，往後的實驗都採用中燃料杯。

3. 尋找合適動力來源(不同熱源提供的動力影響轉速研究)：

各種不同熱源對熱氣流的影響及優劣點：

傳統燃料（蠟燭、燈油）：燃燒穩定，適合驅動走馬燈，但溫度受限，影響旋轉效果。

現代燃料（酒精燈、瓦斯）：燃燒溫度較高，可產生更強的對流，但需注意安全與燃燒穩定性。

電熱光源（燈泡+鹵素燈）：可控性高，適合長時間執行，但需額外設計氣流引導機構，而跟傳統走馬燈採用的燃料驅動方式大相同。



雖然酒精燈及瓦斯燈火力大及高溫，能夠造成高速的轉動。但是也容易讓燈罩著火，蠟燭雖然火力沒有那麼強，可是相對的危險性較低。我們也不採紅色長條形蠟燭，因為它有缺點會產生碳燈罩熏烤黑色的，而且蠟燭的高度會愈燒愈短。評估上面優缺點後。因此，後續實驗均採用圓形小蠟燭，火力集中不易晃動沒黑煙，沒有燃燒變短的問題等好處。

四、調整走馬燈燃料杯和距離熱源不同高度影響探討：

(一)走馬燈的燈罩距離熱源較近時，熱氣流較強，能驅動轉動加快，但可能導致燈罩過變形或轉動不穩定；距離較遠時，雖然轉動較穩定且燈罩更耐用，但熱流較弱，可能無法順利轉動。

種類 時間	10公分	15公分	25公分	35公分
第一次試驗	20.02	30.68	52.21	1分7.60
第二次試驗	20.60	32.91	52.33	1分8.00
第三次試驗	21.54	32.41	54.25	1分8.40
平均	20.72	32.00	52.93	1分8.00

本圖表由第一作者繪製

(1)距離越近燈罩轉動速度越快，推測跟燈罩收集熱氣有關。

(2)距離愈遠熱氣透過與燈罩之間的間隙溢散出來，減弱推動燈罩的動力。

(二)不同類型開口位置及不同開口數量的燃料杯對走馬燈轉動的影響研究：



本圖表由第三作者拍攝

種類 時間	下方1個開口	下方2個開口	下方3個開口	沒有開口	上方一個開口	上方2個開口	上方3個開口	上方跟下方各一各開口
第一次試驗	10.30	9.73	14.00	14.02	18.00	18.00	22.00	21.00
第二次試驗	10.78	9.14	12.55	14.10	16.00	21.00	20.37	18.98
第三次試驗	10.41	9.41	13.76	14.15	17.21	21.63	19.33	20.00
平均	10.54	9.33	13.77	14.09	17.07	20.21	20.56	19.99

本圖表由第一作者繪製

(1)燃料杯下方開口處以開2個最快，3個最慢，都沒開是最慢的。
(2)上方開口處數量越多速度越慢，推測可能是所產生的熱氣逸散或者是產生亂流。
(3)上下各一速度亦不快。
(4)燃料杯下方開口處，以開2個時新鮮空氣可以迅速補充，熱氣流集中灌向燈罩產生最大推力。

(三)將燃料杯以鋁箔分成數量不同的隔數：

燃燒杯的分隔設計會影響氣流分佈與燃燒效率。適當的分隔可引導對流、穩定燃燒、提高旋轉效果，但若分隔阻擋了空氣流動，可能導致缺氧、燃燒不完全或熱氣無法順利推動燈罩。



本圖表由第三作者拍攝

種類 時間	無分格	均分兩格	均分三格	均分四格
第一次試驗	25.42	16.15	20.15	22.25
第二次試驗	24.21	17.23	20.21	22.14
第三次試驗	23.33	17.42	20.32	20.86
平均	24.32	16.93	20.22	21.75

本圖表由第一作者繪製

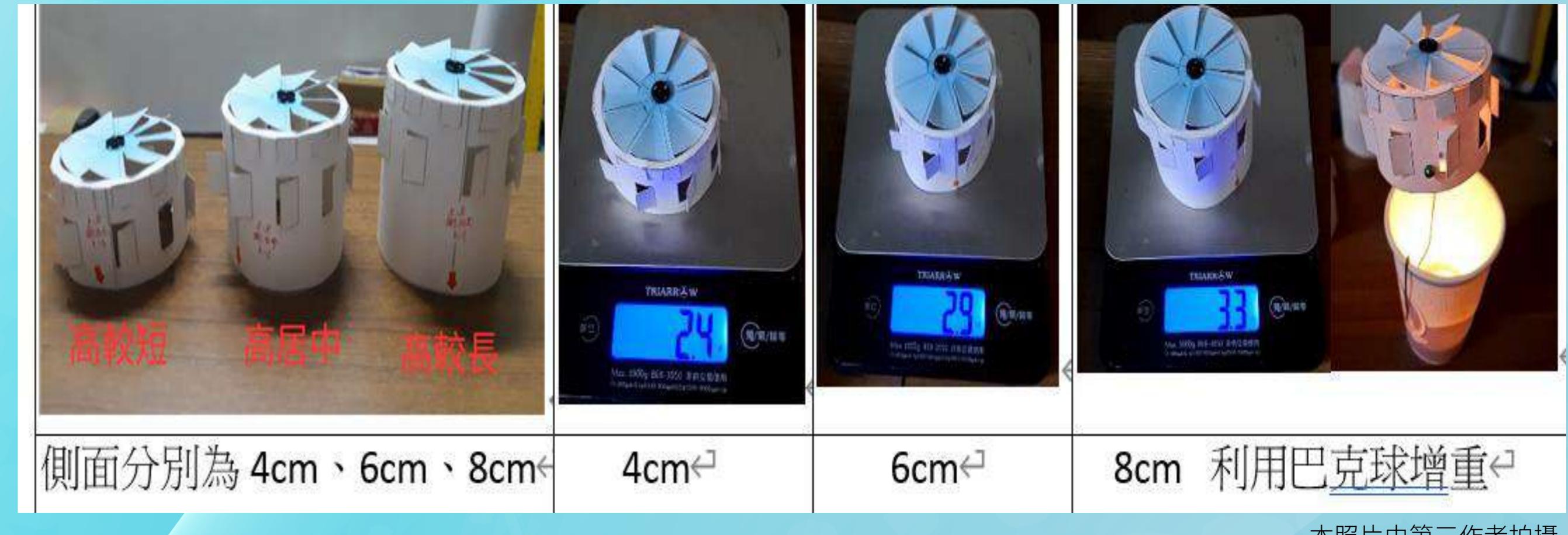
(2)結果：

- 以分兩格的燃料杯所測出的跑馬燈最快速，推測有效分開進氣與排氣區域，提高氣流迴圈。
- 以分四格的燃料杯所測出的跑馬燈最慢，過多的分隔可能會過度限制氣流，尤其是如果每格開口過小，可能會導致氧氣無法充分補充。

五、改變燈罩因素(不同類型)對走馬燈轉動速率的影響

(一)不同長度大小燈罩頂會影響轉速嗎？

燈罩高度影響走馬燈的轉速與穩定性。較高的燈罩較重，轉動時需要更多熱氣推動，可能使轉速變慢。同時，燈罩越高，熱氣流動可能會變得不均勻，影響旋轉順暢度。



本照片由第三作者拍攝

種類 時間	上8側10小	上8側10中	上8側10大	上8側10小增重	上8側10中增重
第一次試驗	14.76	15.00	15.32	19.87	17.66
第二次試驗	16.04	14.30	16.71	19.54	18.14
第三次試驗	16.00	13.00	16.00	19.21	17.42
平均	15.60	14.10	16.01	19.54	17.74

本圖表由第一作者繪製

- 燈罩從小→ 中→ 大，轉速沒有單純地變快或變慢，而是中型燈罩轉速最快（時間最短），可能因為熱氣流與重量達到平衡。
- 增重影響轉速：增重後，轉速變慢（時間變長），說明重量增加會降低旋轉速度，可能因為需要更強的熱氣流來驅動較重的燈罩。
- 結論：中等大小的燈罩可能更適合轉速穩定，太大或太小都可能影響旋轉效率。增重會降低轉速，因此燈罩的重量需要適當控制，以確保最佳旋轉效果。

(二)燈罩不同大小會影響轉速嗎？

跑馬燈的燈罩大小會影響其轉速。因為燈罩的大小會改變空氣阻力和轉動的慣性。



本照片由第三作者拍攝

類型 時間	上6側0小	上6側0中	上6側0大	上6側0小增重	上6側0中增重
第一次	16.20	17.00	18.00	20.95	20.04
第二次	14.50	15.81	19.20	21.05	21.18
第三次	15.20	6.15	21.01	21.03	21.18
平均時間	15.30	16.32	19.40	21.01	20.47

本圖表由第一作者繪製

- 燈罩的大小和形狀會改變燭火的氧氣流動，可能會影響火焰的穩定性和大小。
- 較大的燈罩：會讓燭火在燈罩內部的空間裡形成一個穩定的區域，這樣可以減少風吹動或外界氣流對火焰的影響。這樣的燈罩通常能保持燭火比較穩定。
- 較小的燈罩：會限制火焰周圍的空氣流通，火焰可能因缺氧而熄滅或變小。小燈罩會使火焰的形狀受到更多限制。但是本次實驗，由於燈罩跟燃燒杯之間的距離夠大，足以補充新鮮空氣所以比較沒有這個問題。

(4)總結：選擇較小的燈罩可提高轉動速度，選擇較大或增重設計則會穩定但轉速較慢。

(三)改變燈罩頂部上方開口的數目，檢測影響轉速的情形：



本照片由第三作者拍攝

種類 時間	上0側0	上2側0	上3側0	上4側0	上6側0	上8側0	上12側0
第一次試驗	不會轉動	56.45	27.25	19.92	17.96	13.01	10.02
第二次試驗	不會轉動	52.13	29.41	18.59	18.56	11.02	10.10
第三次試驗	不會轉動	51.16	30.23	19.93	18.46	11.21	10.15
平均	不會轉動	53.24	28.96	19.48	18.32	11.74	10.09

本圖表由第一作者繪製

- 開口增加時，熱氣流動更穩定 - 熱氣順暢排出，減少渦流與阻力，反而讓氣流驅動力增。
- 氣流集中效應 - 若開口設計合適，排出的熱氣可能形成更強的上升氣流，提升轉速。
- 原本認為開口過多會導致熱氣過快流失，使內部溫度降低，減少驅動力，但是我們的結果反而開口多時效果更佳。
- 開口數越多，熱氣排放更順暢，提升上升氣流的穩定性與速度，使走馬燈轉速加快。

(四) 改變燈罩頂部上方葉片的張角，檢測影響轉速的情形：



本照片由第三作者拍攝

葉片的張角（即葉片與風向的角度）會影響其與氣流的互動，進而決定轉動的效率和穩定。

種類 時間	上4 葉片30度	上4 葉片40度	上4 葉片60度	上4 葉片90度
第一次試驗	1分32.92	44.54	22.27	21.74
第二次試驗	1分30.84	44.74	23.17	20.13
第三次試驗	1分31.70	41.28	22.45	19.75
平均	1分31.82	43.52	22.63	20.54

1.我們查到的資料對流產生的風與扇葉角度之間的關係

本圖表由第一作者繪製

- 低風速：大張角（45°–60°）有助於捕捉更多風力。
- 中等風速：適中張角（30°–45°）有最佳的推力與風阻平衡。
- 高風速：小張角（20°–30°）能減少風阻，保持穩定的轉速。
- 極高風速：極小張角（10°–20°）可減少風阻，防止葉片過快旋轉。

2.燃燒蠟燭所產生的對流風速極為低，採用大張角可以捕捉更多的對流風增加推力。

(四) 燈罩側面的開口數量會影響轉速嗎？



本照片由第三作者拍攝

側面開口數量和外型對走馬燈的轉速影響很大。適量且均勻分佈的側面開口，可以有效提升氣流的穩定性和強度，從而提高轉速。

類型 時間	上6側1	上6側2	上6側3	上6側4	上6側6	上6側8	上6側9
第一次試驗	21.15	21.32	22.49	21.04	20.02	16.01	17.71
第二次試驗	21.15	20.70	23.21	20.90	20.60	16.90	17.58
第三次試驗	21.19	20.80	22.82	21.09	21.54	17.10	18.25
平均	21.16	20.94	22.84	21.01	20.72	16.67	17.48

本圖表由第一作者繪製

- 開口數雙數旋轉的時間花費較少，轉動比較快速但是似乎差異不是很明顯。
- 開口數在八以上速度增加很多。單數開口數，可能是較不能平衡轉速拉慢。
- 上6側0平均花費時間12.85秒，快很多。代表側面開口熱氣可能喪失無法透過頂部排出。頂部推動產生的力矩可能較大。

(五) 燈罩側面的開口外型會影響轉動嗎？



本照片由第三作者拍攝

本照片由第三作者拍攝

種類 時間	上6側8 逆	上6側8 逆	上6側8 旋	上6側8 順	上6側8 順	上6側8 順	上6側8 順	上6側8 順
第一次試驗	不會轉動	28.12	45.50	18.02	22.04	17.51	17.28	17.32
第二次試驗	不會轉動	24.13	42.00	18.21	22.15	17.54	14.21	14.12
第三次試驗	不會轉動	26.03	43.50	20.11	23.39	17.66	16.10	16.40
平均	不會轉動	26.09	43.66	18.78	22.52	17.57	15.86	15.90

平均時間(秒)

本圖表由第一作者繪製



本圖表由第一作者繪製

- 最快轉速：「上6側8順（15.86秒）」圓形開口轉動速度相對較快且穩定。能最大化氣流推力，使燈罩旋轉最快。上6側小8順（15.90秒）」的轉速也接近，表示較小開口仍有良好氣流導向。
- 最慢轉速「上6側8旋（43.66秒）」旋轉時間最長，代表氣流分散，推力較弱，轉速最低。能適合穩定旋轉，但不適合高轉速需求。
- 「上6側8逆」無法轉動能因為氣流方向錯誤，導致推力不足，無法驅動燈罩旋轉。
- 長條形開口：轉速容易波動，可能會有快速的加速階段，但也可能因為氣流不均而變慢。
- 矩形或尖角開口：增加湍流和阻力，通常會導致轉速較慢，並且轉速變化不穩定。矩形開口會引起氣流的湍流，這會增加空氣阻力，使得轉馬燈的加速變慢。由於湍流增加了阻力，轉馬燈無法快速達到較高的轉速，並且轉速會相對較慢。
- 長條形開口能有效引導熱氣沿燈罩側面垂直上升，穩定氣流並提升風扇轉速。此外，長條形開口提供更多氣流進出空間，強化對流效應，使轉速更加穩定並加速。相較之下，橫向開口會讓熱氣向側面流出，破壞熱氣的上升氣流，從而減少風扇轉速。

(五) 燈罩側面開口位置會影響轉動速度嗎？

走馬燈罩側面開口的位置較高，熱空氣易迅速逸出，可能降低內部溫度，減少氣流推動力，使燈罩轉動變慢；開口較低則可讓熱氣聚集更久，增強上升氣流，使轉動加快。



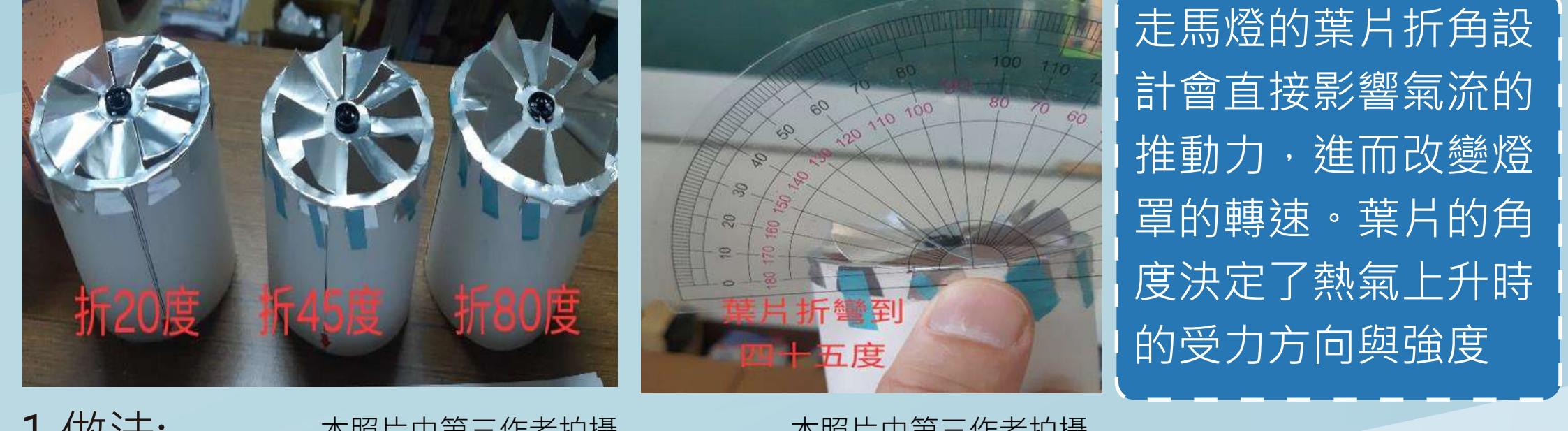
本照片由第三作者拍攝

種類 時間	上6側0	上6側上9	上6側下9	上6側上下9	上6側9
第一次試驗	17.96	1分32.92	44.54	22.27	17.71
第二次試驗	18.56	1分30.84	44.74	23.17	17.58
第三次試驗	18.46	1分31.70	41.28	22.45	18.25
平均	18.32	1分31.82	43.52	22.63	17.48

本圖表由第六作者繪製

- 側面開口位置較低時（側下9、側上下9），轉速較快，可能是因為熱氣累積較久，產生較強的上升氣流。
- 側面開口較高（側上9）時，轉速變慢，因為熱氣容易迅速逸出，降低推動力。
- 開口數量與分佈的對稱性也影響穩定性，適當配置可讓氣流分佈均勻，提升旋轉效果。

(六) 燈罩頂採不同折角對轉動速度的影響



走馬燈的葉片折角設計會直接影響氣流的推動力，進而改變燈罩的轉速。葉片的角度決定了熱氣上升時的受力方向與強度

1.做法：

本照片由第三作者拍攝

本照片由第三作者拍攝

- 頂部採用折角的燈罩。
- 使用白膠將頂部不同開口數量的頂部黏於燈罩身長八公分的側面上。
- 點燃燃燒杯中的蠟燭，將燈罩至於鐵絲上的針尖端。
- 每一類型試轉五次，轉六圈後待其旋轉穩定後，此外也可以將燈罩內原本的冷空氣排出，計運轉十圈花費時間，去除兩次極端值取三次數值加以平均。

種類 時間	上8側無20度折角	上8側無45度折角	上8側無80度折角
第一次試驗	14.12	14.51	52.21
第二次試驗	15.30	13.55	52.33
第三次試驗	14.41	13.41	54.25
平均(秒)	14.61	13.82	52.93

本圖表由第一作者繪製

- 最佳折角為45°，可讓燈罩轉動最快。
- 20°折角雖然也有不錯的轉速，但稍慢於45°，可能是推動力較小。
- 80°折角因為過大，導致氣流難以有效推動葉片，影響轉動速度。

五、結論

- 燃料杯下方開口處，以開2個時新鮮空氣可以迅速補充，熱氣流集中灌向燈罩產生最大推動力。
- 以分兩格的燃料杯所測出的跑馬燈最快速，推測有效分開進氣與排氣區域，提高氣流迴圈。
- 燈罩從小→中→大，轉速沒有單純地變快或變慢，而是中型燈罩轉速最快（時間最短），可能因為熱氣流與重量達到平衡。
- 選擇較小的燈罩可提高轉動速度，選擇較大或增重設計則會穩定但轉速較慢。
- 燈罩頂部開口數越多，熱氣排放更順暢，提升上升氣流的穩定性與速度，使走馬燈轉速加快。
- 燃燒蠟燭所產生的對流風速極為低，頂部扇葉採用大張角可以捕捉更多的對流風增加推動力。
- 燈罩側面多個小開口，優點可以使氣流分佈更均勻，避免局部風力集中，對旋轉的穩定性有幫助。可以使氣流分佈更均勻，避免局部風力集中，對旋轉的穩定性有幫助。但是如果小開口數量過多，可能會導致每個開口進出的氣流量變少，從而減少整體的推動力，影響旋轉速度。
- 側面圓形開口轉動速度相對較快且穩定。能最大化氣流推動力，使燈罩旋轉最快。尖角開口：增加湍流和阻力，通常會導致轉速較慢，並且轉速變化不穩定，增加空氣阻力，使得轉馬燈的加速變慢。
- 側面開口數量與分佈的對稱性也影響穩定性，適當配置可讓氣流分佈均勻，提升旋轉效果。