

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高中組 物理科

040103

轟！火龍出沒！

學校名稱：國立新竹高級中學

作者： 高二 楊炫儒 高二 李冠廷 高二 蕭敦輔	指導老師： 魏伯安
---	------------------

關鍵詞：燃燒、白努利定律

摘要

本實驗中，火龍捲現象之產生是由於旋轉中的鐵網引起鐵網內空氣的渦流，加上火焰燃燒時的上升對流，使火焰以螺旋狀上升，形成螺旋狀火焰，稱為火龍捲。本研究使用圓柱型鐵網與轉盤、直流馬達、並以乙醇做為燃料進行實驗，研究不同變因下火龍捲之特性。研究指出：一、火龍捲的生成過程可分為四階段。二、火龍捲之高度與燃料損耗速率皆會隨著鐵網轉速增加而提升，但存在一極限值，而此極限值隨著燃料截面積增加而提升。三、火龍捲之高度和燃料損耗速率隨著燃料截面積增加而上升。四、鐵網轉速較快時，火龍捲會產生公轉現象，而公轉角速率約等於鐵網轉速。另外，火龍捲亦能有效提升火焰燃燒效益。

壹、研究動機

在一次清大的參訪活動中，教授利用了日常生活中的材料演示了火龍捲的現象。利用平凡的材料，便製造出了絢麗的火龍捲，不禁讓我們想要有更深度的探討。回到實驗室，我們設計了一系列實驗，期望能對火龍捲的性質做進一步的研究。

貳、研究目的

- 一、研究火龍捲進氣方向
- 二、研究火龍捲之生成過程
- 三、研究不同鐵網轉速下的火焰高度、燃料損耗速率
- 四、研究不同盛裝燃料容器之截面積的火焰高度、燃料損耗速率
- 五、探討火龍捲的公轉情形
- 六、探討火龍捲應用於加熱裝置之可行性

參、研究設備及器材

- 一、硬體設備
 - (一) 直徑 20cm 高 1m 圓柱型鐵網
 - (二) 160~400rpm 直流減速馬達
 - (三) Canon IXUS 500 HS 錄影機、Apple 手機 (錄影裝置)

(四) 力桌：轉盤(直徑 25cm)+軸承(直徑 6mm 鋼珠)

(五) 95%乙醇

(六) 0~50V 電源供應器



(七) 鋼杯(直徑：6cm 7cm 8cm)

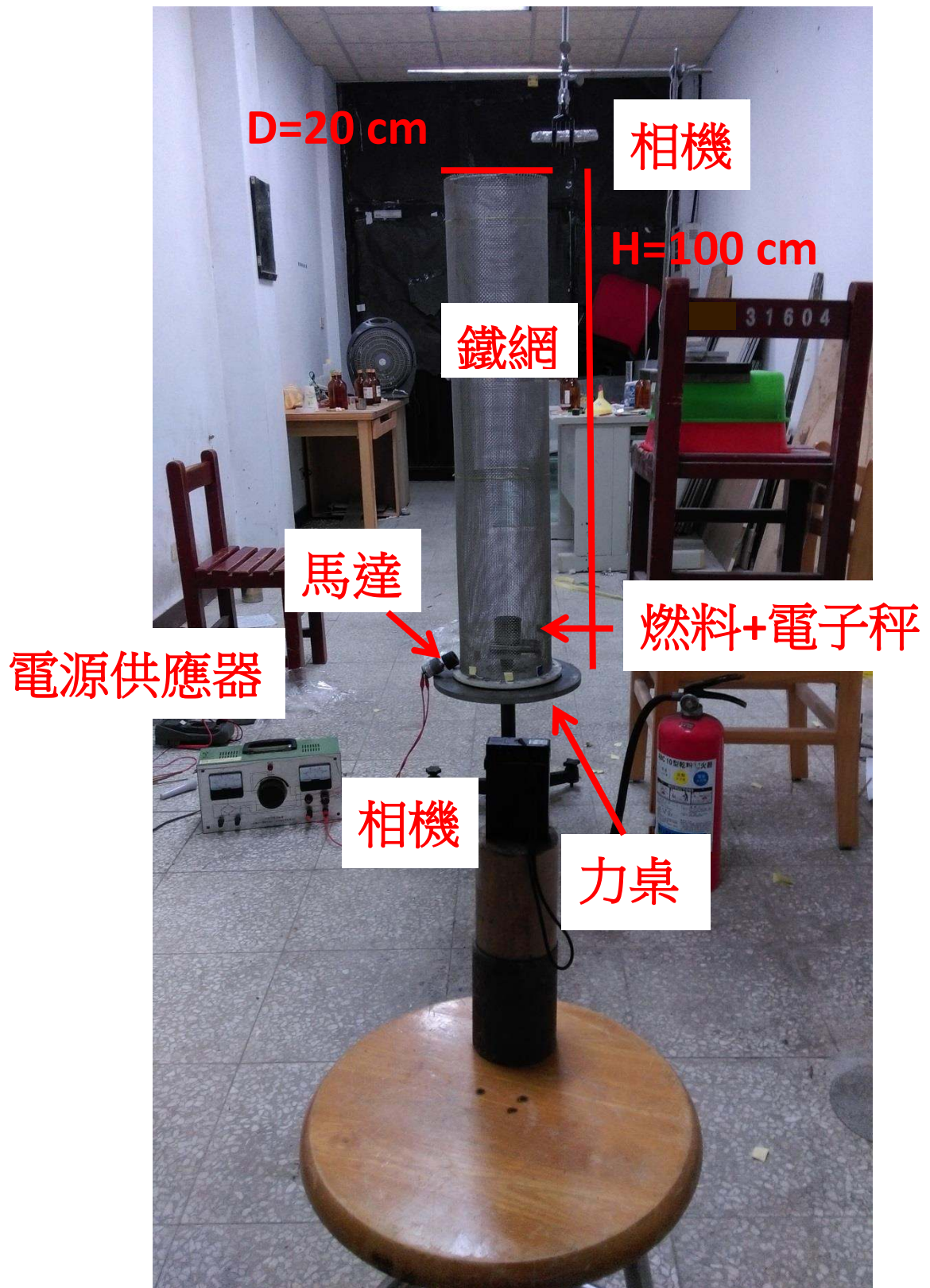
(八) 500g/0.01g 電子秤

二、軟體設備

(一) Vernier Logger Pro 影像數據分析軟體

三、設備裝置圖

10 目 直徑 20cm 高 1m 圓柱型鐵網	力桌：轉盤(直徑 25cm)+軸承(直徑 6mm 鋼珠)
	
燃料(乙醇)和電子秤(不隨轉盤轉動)	160~400rpm 直流減速馬達
	
0~50V 電源供應器	馬達驅動轉盤
	



(圖一) 實驗設備圖

肆、研究過程或方法

一、實驗原理：

- (一) 火龍捲：當火焰周遭的空氣存在旋轉流場，則火焰的運動會出現旋轉，即可見火焰呈現螺旋狀，稱為火龍捲。(參見下圖)



(圖二)火龍捲

- (二) 角動量守恆定律：角動量守恆定律是指系統所受合外力矩為零時系統的角動量保持不變。表達形式：

$mvr = \text{定值}$ ，其中 $m = \text{物體質量}$ ， $r = \text{質點到鐵網中心距離}$ ， $v = \text{物體運動速度}$

- (三) 白努利原理：在流體動力學中，白努利原理指出，無粘流的流體的速度增加時，流體的壓力能與位能總和將減少。

原表達形式： $P + \rho gh + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{定值}$ ，

其中 $P = \text{流體所受的壓力強度}$

$\rho = \text{流體質量密度}$

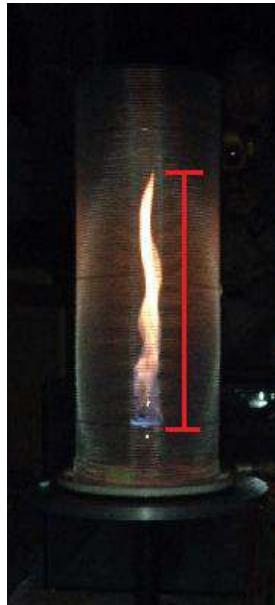
$g = \text{地表的重力加速度(地球)}$

$h = \text{流體處於的高度(從某參考點計)}$

$v = \text{流體速度}$

二、名詞定義

(一) 火焰高度：由杯頂至火焰可視之最高點的距離



(圖三)火焰高度示意圖

(二) 公轉角速率：火龍捲本身會繞著鋼杯中心進行類似公轉的圓周運動，而其圓周運動之角速率即定義為公轉角速率



(圖四)火焰公轉示意圖

三、實驗步驟

(一) 現象觀察實驗： 探討火龍捲進氣位置

1. 步驟：

- (1) 在容器中注入酒精至距離杯頂 1.2 公分處，並點燃火焰
- (2) 裝上鐵網並將其固定
- (3) 將馬達連接電源供應器，並用馬達控制轉盤的轉速
- (4) 觀察是否有火龍捲產生
- (5) 以保鮮膜包覆鐵網之側面，並重複步驟(1)到(3)
- (6) 以保鮮膜包覆鐵網之上方，並重複步驟(1)到(3)
- (7) 以保鮮膜包覆鐵網側面及上方，並重複步驟(1)到(3)

(二) 實驗一： 研究火龍捲的生成過程

1. 步驟：

- (1) 架設實驗裝置，將錄影機架設於距火源 1.5 公尺處
- (2) 在容器中注入酒精至距離杯頂 1.2 公分處，並點燃火焰
- (3) 裝上鐵網並將其固定
- (4) 將馬達連接電源供應器，並用馬達控制轉盤的轉速
- (5) 利用 Logger Pro 分析軟體觀察生成過程中之高度變化

(三) 實驗二： 探討鐵網轉速與火龍捲之高度的關係

1. 變因：

- (1) 操縱變因：鐵網轉速
- (2) 應變變因：火龍捲之高度
- (3) 控制變因：盛裝燃料之容器的截面積(容器半徑分別為：3cm、3.5cm、4cm 共三種)、鐵網高度 1m

2. 步驟：

- (1) 同實驗一步驟(1)~(4)
- (2) 帶火龍捲達到成熟期後，記錄火焰高度，並計算平均火焰高度
- (3) 改變馬達轉速，重複步驟(1)~(5)

(四) 實驗三： 探討鐵網轉速與燃料損耗速率的關係

1. 變因：

- (1) 操縱變因：鐵網轉速
- (2) 應變變因：火龍捲之燃料損耗速率
- (3) 控制變因：盛裝燃料之容器的截面積(容器半徑分別為：3cm、3.5cm、4cm 共三種)、鐵網高度 1m

2. 步驟：

- (1) 同實驗一步驟(1)~(4)，僅將錄影機改為架設於鐵網頂端 15 公分處
- (2) 利用錄影機記錄燃料質量，並計算出燃料損耗速率
- (3) 改變馬達轉速，重複步驟(1)~(5)

(五) 實驗四：探討盛裝燃料之容器的截面積與火龍捲之高度的關係

1. 變因：

- (1) 操縱變因：裝燃料之容器的截面積
- (2) 應變變因：火龍捲之高度
- (3) 控制變因：鐵網轉速 (實驗設定：25、40、80 rpm)、鐵網高度 1m

2. 步驟：

- (1) 同實驗二步驟(1)~(2)
- (2) 改變裝燃料之容器的截面積，重複步驟(1)

(六) 實驗五：探討盛裝燃料之容器的截面積與燃料損耗速率的關係

1. 變因：

- (1) 操縱變因：裝燃料之容器的截面積
- (2) 應變變因：火龍捲之燃料損耗速率
- (3) 控制變因：鐵網轉速 (實驗設定：25、40、80 rpm)、鐵網高度 1m

2. 步驟：

- (1) 同實驗三步驟(1)~(2)
- (2) 改變裝燃料之容器的截面積，重複步驟(1)

(七) 實驗六：探討火龍捲的公轉情形

1. 變因：

- (1) 操縱變因：鐵網轉速
- (2) 應變變因：火龍捲之公轉角速率
- (3) 控制變因：盛裝燃料之容器的截面積(容器半徑分別為：3cm、3.5cm、4cm 共三種)、鐵網高度 1m

2. 步驟：

- (1) 同實驗二步驟(1)
- (2) 記錄火焰頂端位置，並以分析軟體擬合出一正弦函數，得到其公轉角速率
- (3) 改變馬達轉速，重複步驟(1)~(2)

(八) 實驗七：探討火龍捲應用於加熱裝置的可行性

1. 變因：

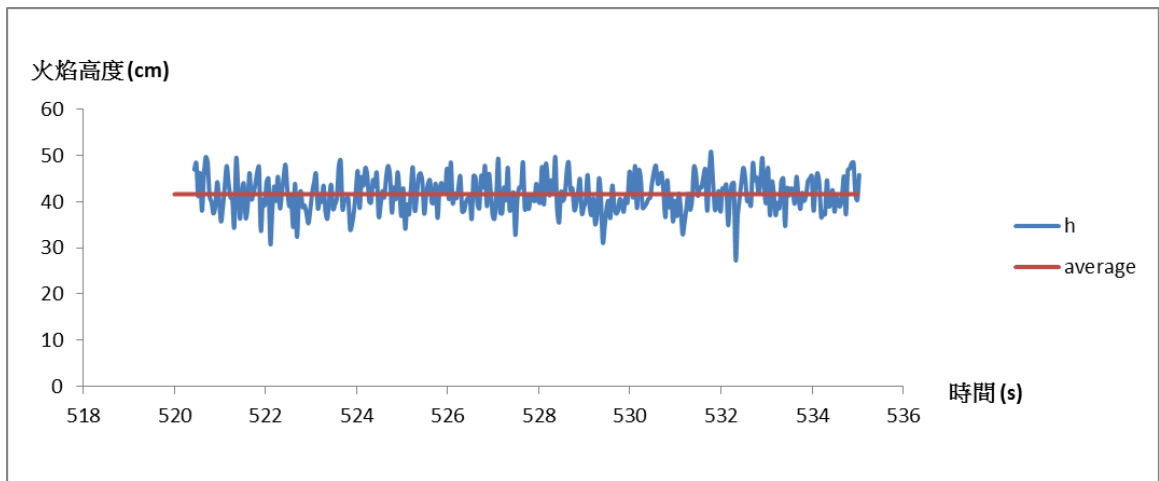
- (1) 操縱變因：鐵網轉速
- (2) 應變變因：水溫改變量
- (3) 控制變因：乙醇質量 10g、水的質量 300g

2. 步驟：

- (1) 將水倒入燒杯中，並將乙醇倒入容器中
- (2) 將裝水的燒杯懸掛於火源上方 8cm 處
- (3) 放置高 20cm 之網子於轉盤上
- (4) 將馬達連接電源供應器，並用馬達控制轉盤的轉速
- (5) 點燃火焰，將溫度計插入水中，每 15 秒紀錄一次水溫，直到乙醇燒完
- (6) 改變馬達轉速，並重複步驟(1)~(5)

(九) 平均火焰高度計算方法

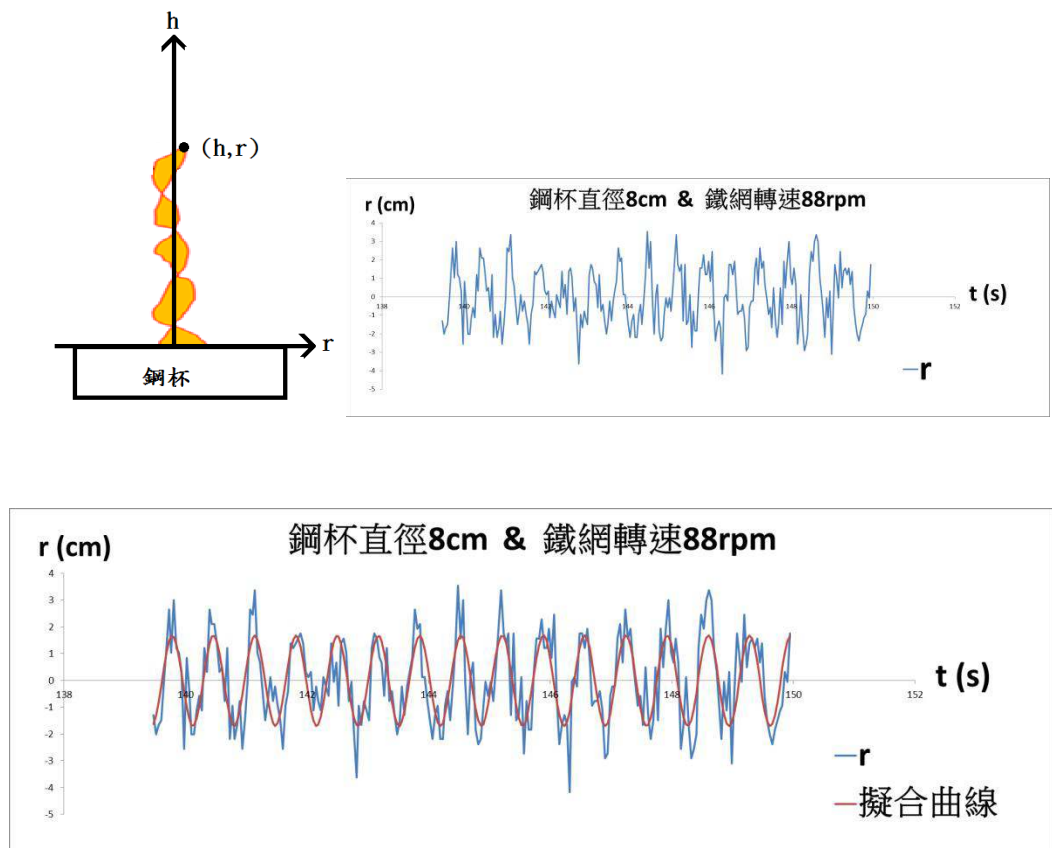
利用 Logger Pro 影像數據分析軟體記錄火焰高度，每 1/24 秒記錄一次火焰高度，取最後十五秒之各高度做平均，即為平均火焰高度



(圖五)火焰高度計算方式

(十) 公轉角速率計算方法

記錄火焰頂點在影片中之座標，將得一週期性圖形。將此圖形進行正弦函數之曲線擬合，即得到其公轉角速率。



(圖六) 公轉角速率計算方式

簡諧運動方程式： $x(t) = A\cos(\omega t + \varphi)$

A : 振幅 ω : 角速率 φ : 相位

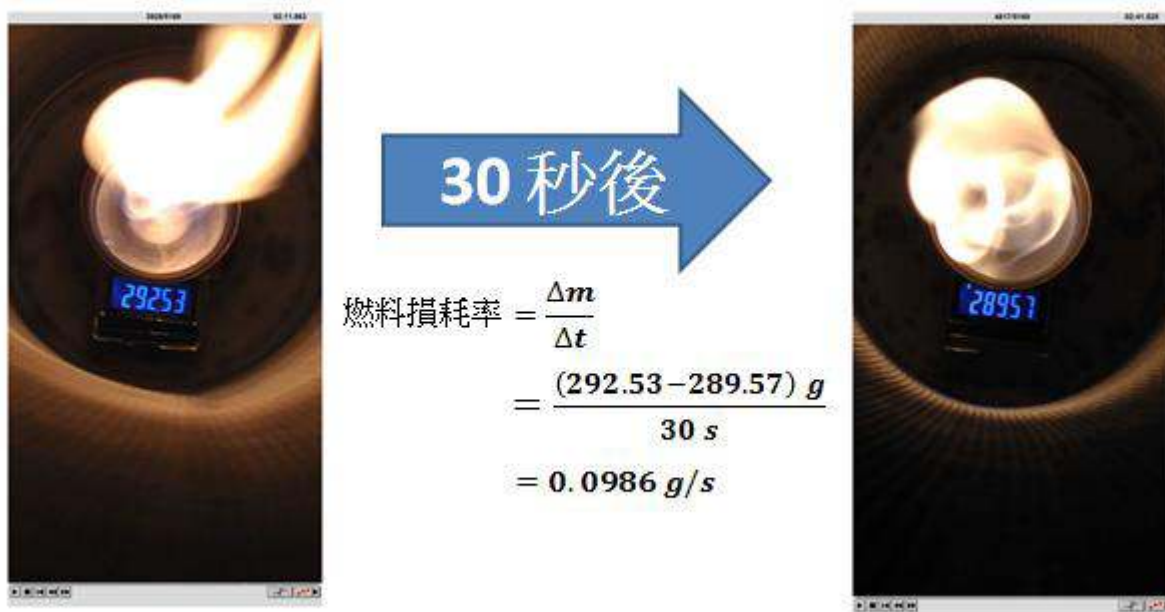
$$r = 1.692\sin(\underline{9.262t} + 1.271) - 0.01931$$

角速率 $\omega(\text{rad})$

$$\frac{60 \times \omega(\text{rad})}{2\pi} = \omega(\text{rpm})$$

(十一) 燃料損耗速率計算方法

記錄火焰最後三十秒之燃料質量變化，得到燃料損耗速率



(圖七) 燃料損耗速率計算方法

伍、研究結果

一、現象觀察實驗：觀察火龍捲進氣方向

保鮮膜包覆位置	是否產生火龍捲
未包覆	是
只包覆側面	否
只包覆上方	是
包覆側面及上方	否

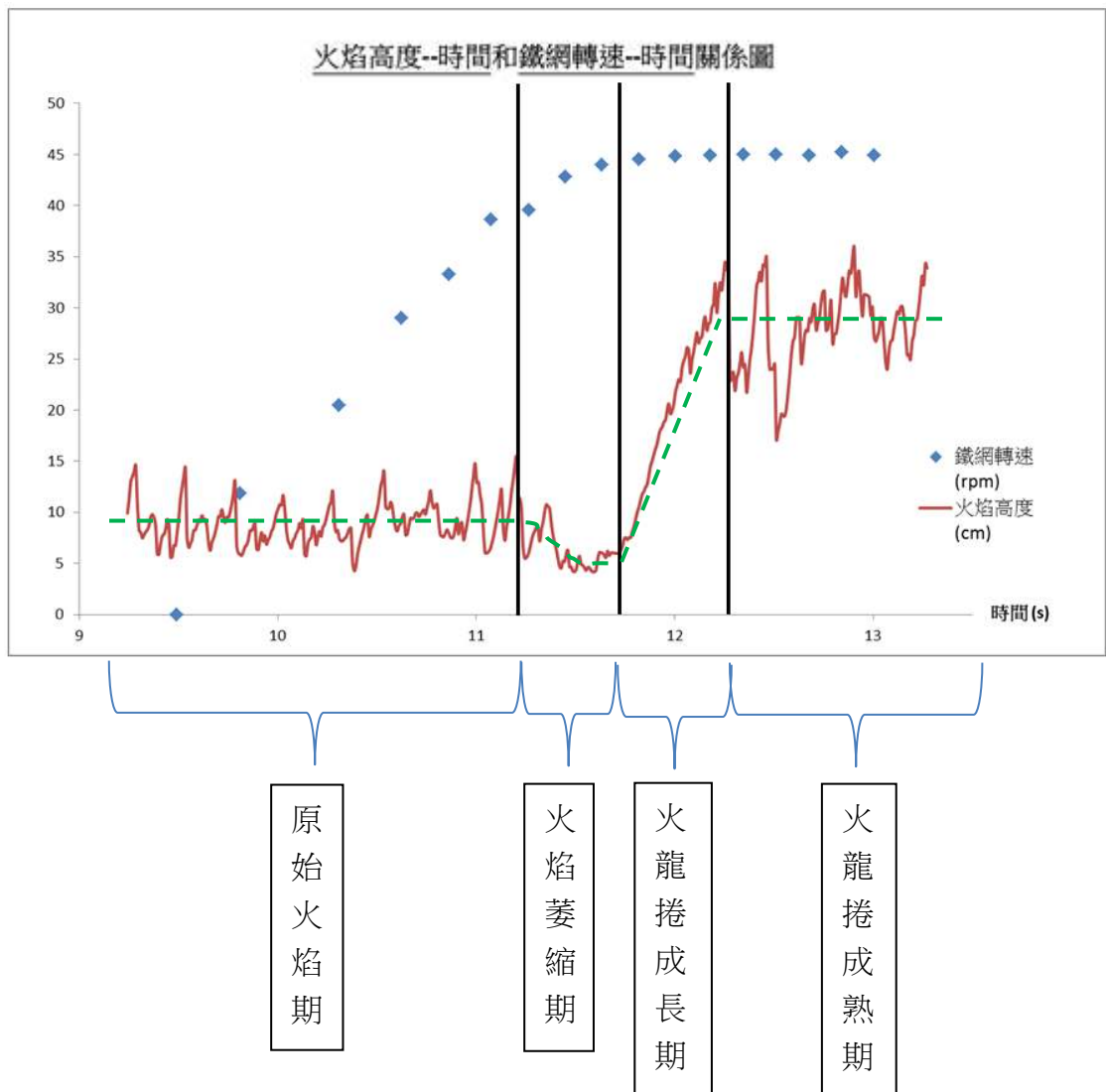
(表一) 現象觀察實驗

小結：

由實驗結果可知，若空氣無法由側面補充，則無法產生火龍捲

二、實驗一：觀察火龍捲的生成過程

我們將火焰高度與轉速對時間作圖：結果如圖八所示

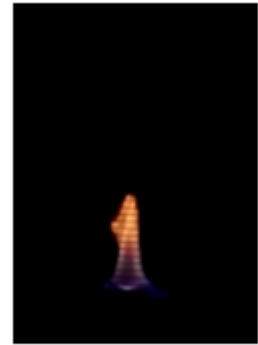


(圖八) 火龍捲生成過程之高度變化(鐵網轉速 45rpm 容器直徑 7 公分)

火龍捲的生成可分為四階段：

1. 原始火焰期(圖九)：

原本尚未操作鐵網旋轉的初始火焰高度；火焰向上，外型沒有扭曲，整體亦無旋轉。



(圖九) 原始火焰期

2. 火焰萎縮期(圖十)：

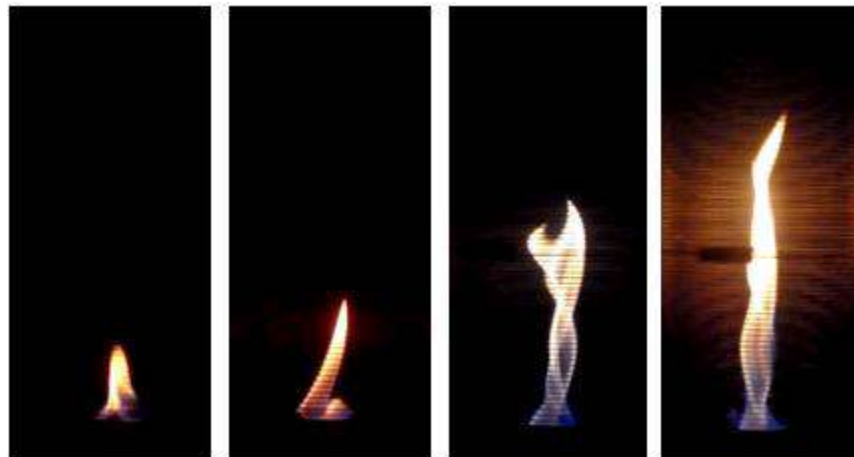
開始轉動鐵網的前 2~3 秒以內可觀察火焰大小及高度明顯變小(約原始火焰之 0.5 倍)；火焰微小的扭曲，並以極慢的速度旋轉著。



(圖十) 火焰萎縮期

3. 火龍捲成長期(圖十一)：

火焰變小後隨即迅速竄燒上升，高度迅速增高；火焰形成螺旋狀，明顯可見螺旋多圈向上，並快速的旋轉著。



(圖十一) 火焰成長期

4. 火龍捲成熟期(圖十二)：

火焰高度大致維持在成長期最終高度，最後的高度量值會有波動，但明顯比原始火焰還高數倍(約 3~4 倍)；火焰形成螺旋狀，明顯可見螺旋多圈向上，並快速的旋轉。

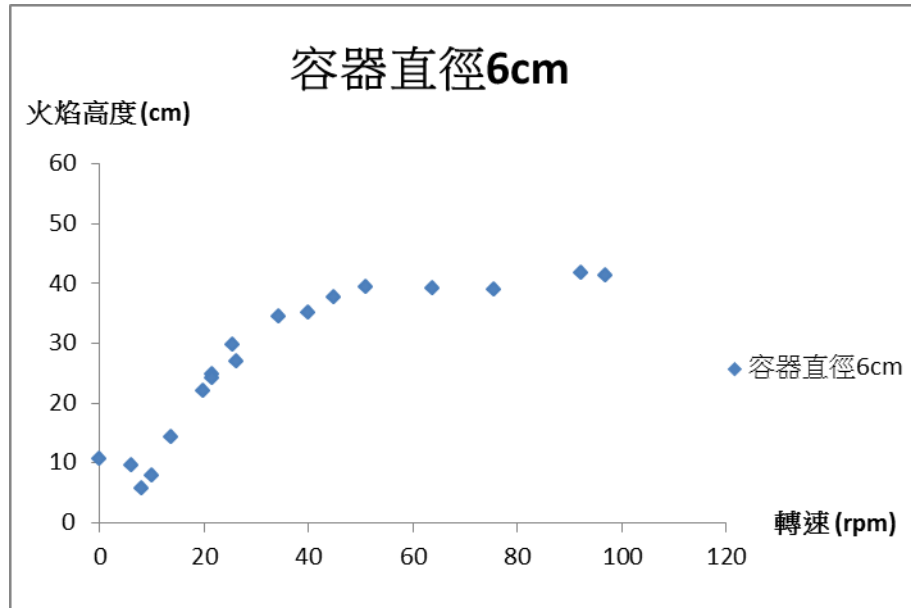


(圖十二) 火焰成熟期

三、實驗二： 探討鐵網轉速與火龍捲之高度的關係

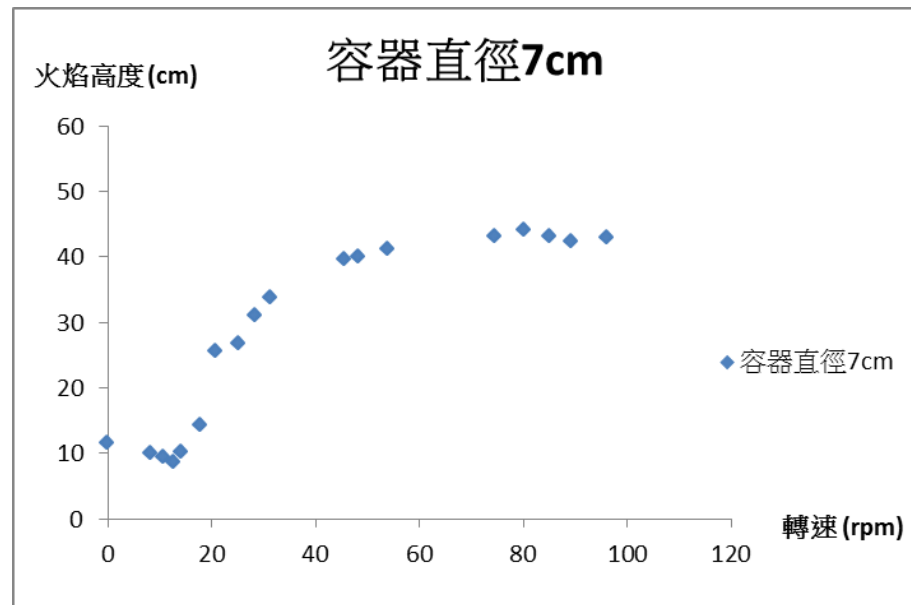
鐵網轉速與火龍捲之高度關係圖：圖十三至圖十五

1. 容器直徑為 6 公分



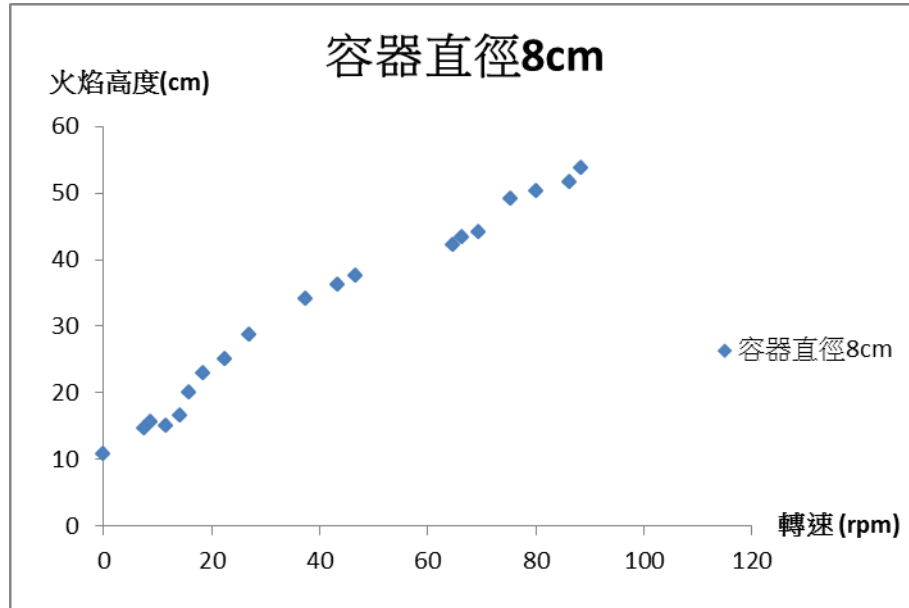
(圖十三)

2. 容器直徑為 7 公分



(圖十四)

3. 容器直徑為 8 公分



(圖十五)

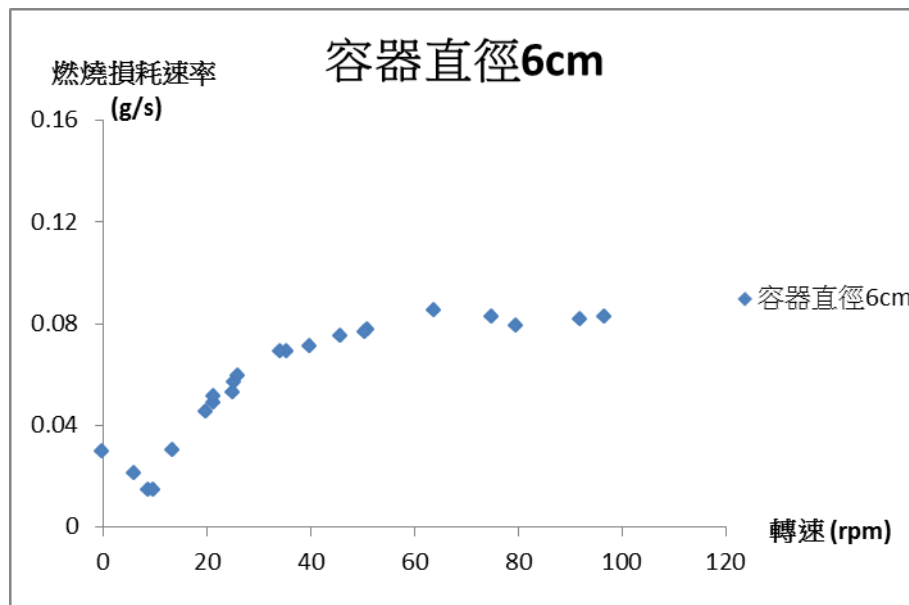
小結：

直徑 6 公分及 7 公分的容器，當鐵網轉速維持 10rpm 附近時，火焰高度會較遠本高度低；當鐵網轉速在 20~60rpm 間，火焰高度隨著轉速增加而增高；當鐵網轉速增加至某臨界轉速後，高度即不再有明顯變化。

四、實驗三：探討鐵網轉速與火龍捲之燃料損耗速率的關係

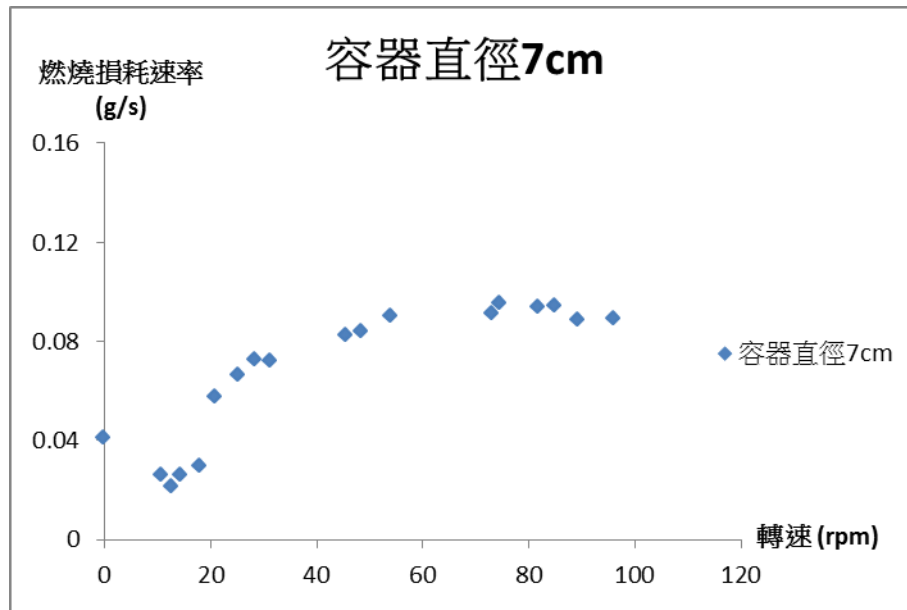
鐵網轉速與燃料損耗速率關係圖：圖十六至圖十八

1. 容器直徑為 6 公分



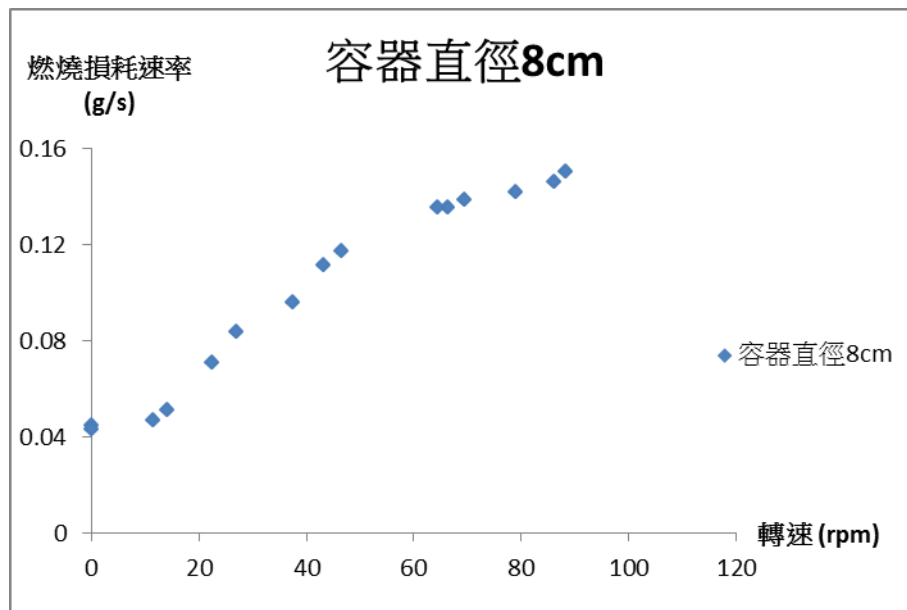
(圖十六)

2. 容器直徑為 7 公分



(圖十七)

3. 容器直徑為 8 公分



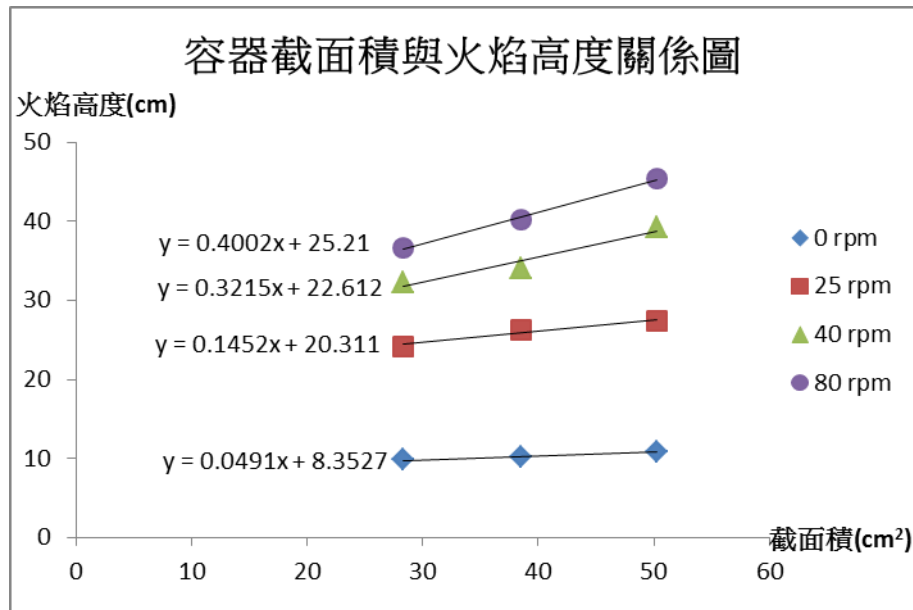
(圖十八)

小結：

直徑 6 公分及 7 公分的容器，當鐵網轉速維持 10rpm 附近時，燃料損耗速率會較原本損耗速率低；當鐵網轉速在 20~60rpm 間，燃料損耗速率隨著轉速增加而增高；當鐵網轉速增加至某臨界轉速後，燃料損耗速率不再有明顯變化。

實驗四： 探討容器截面積與火焰高度的關係

盛裝燃料之容器的截面積與火龍捲之高度關係圖：如圖十九所示



(圖十九)

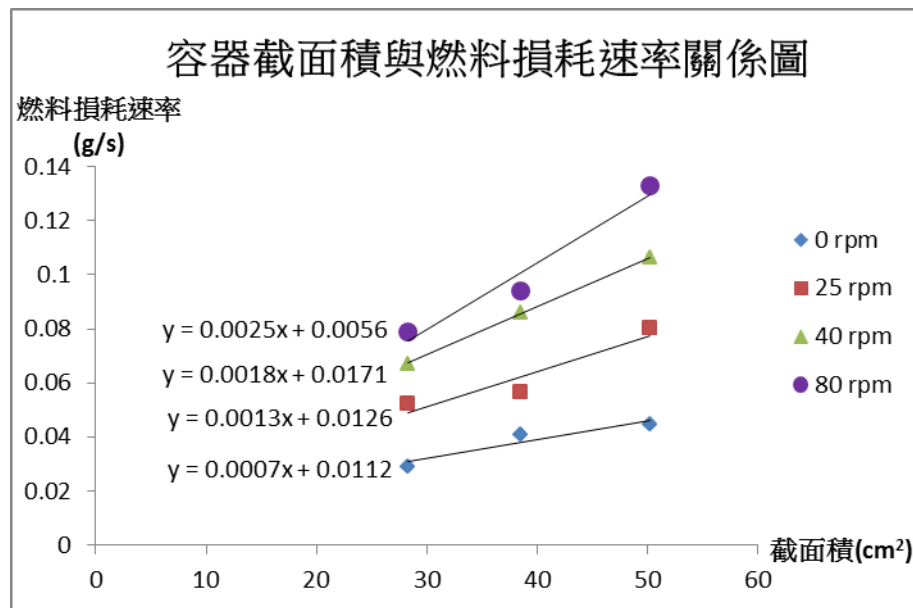
小結：

無論何種轉速下，皆可觀察到火焰高度隨容器截面積提高而上升的現象。

而在高轉速下，火焰高度隨著容器截面積增加的趨勢較為明顯。

五、實驗五： 探討盛裝燃料之容器的截面積與火龍捲之燃料損耗速率的關係

盛裝燃料之容器截面積與火龍捲之燃料損耗速率關係圖：如圖二十所示

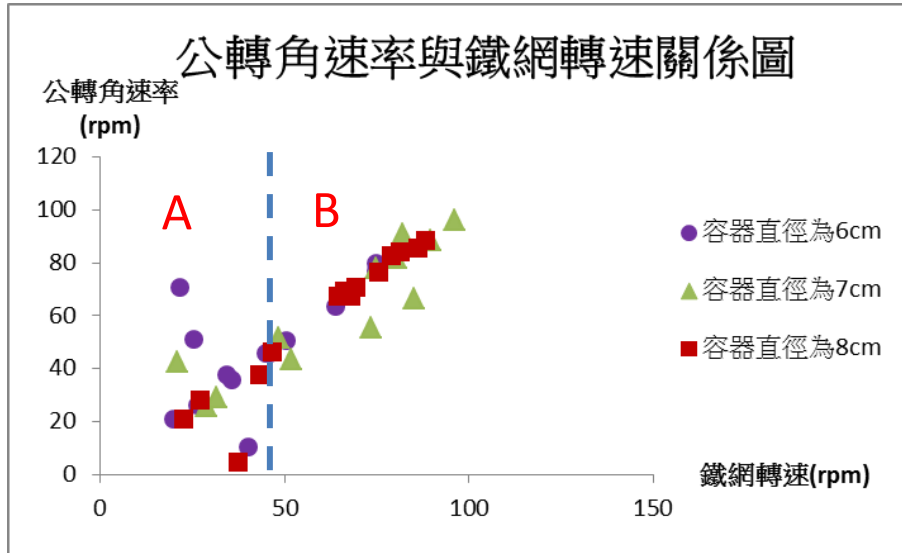


(圖二十)

小結：

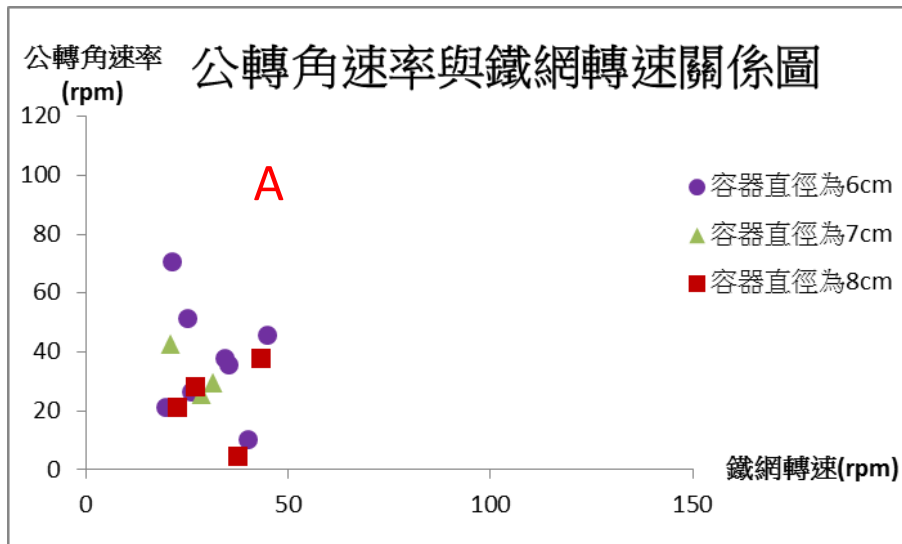
無論何種轉速下，皆可觀察到火龍捲之燃料損耗速率隨容器截面積提高而上升的現象。

六、實驗六：探討火龍捲的公轉情形

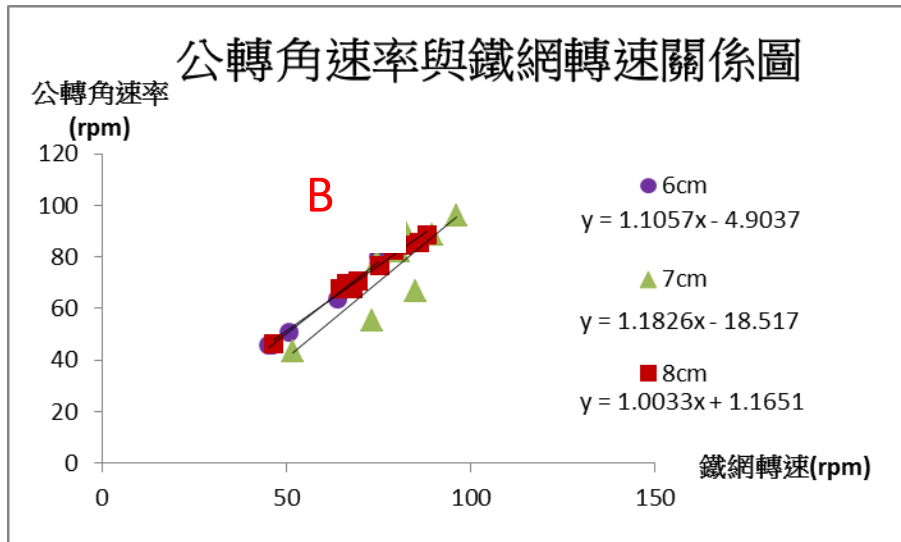


(圖二十一) 火龍捲的公轉情形

我們將此圖分為兩部分：鐵網轉速小於 45rpm(圖二十二)以及鐵網轉速大於 45rpm(圖二十三)



(圖二十二) 鐵網轉速小於 45rpm



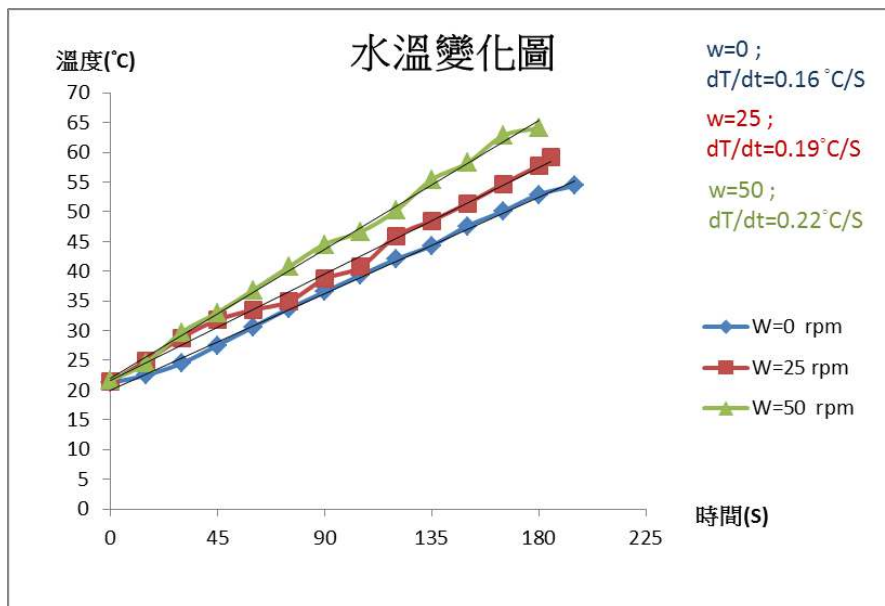
(圖二十三) 鐵網轉速大於 45rpm

小結：

鐵網轉速較低時，火龍捲之公轉角速率較不規則；而較高轉速時，火龍捲之公轉角速率約略等於鐵網轉速。

七、實驗七：探討火龍捲應用於加熱裝置的可行性

不同轉速火龍捲燒水，水溫之變化如圖二十四所示：



(圖二十四)

小結：

由圖可見，火龍捲可提升燃燒效益，使水溫變化較大也較快。

陸、討論

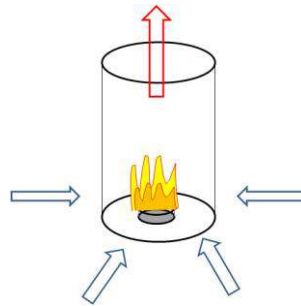
一、現象觀察實驗：觀察火龍捲進氣方向

實驗結果顯示，若空氣無法由側面補充，則無法產生火龍捲。因此我們推論，火龍捲產生時空氣主要由鐵網側面流入，而非由鐵網上方進入。

二、實驗一：火龍捲之生成過程

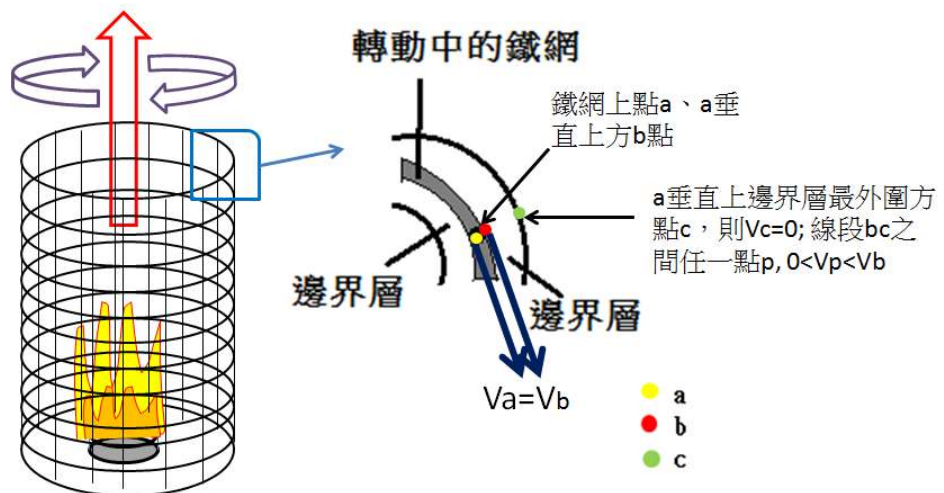
(一) 火龍捲性質：

1. 火焰燃燒釋出熱能，氣體受熱上升，由現象觀察實驗的結果知，新鮮空氣由外向圓心內補充。



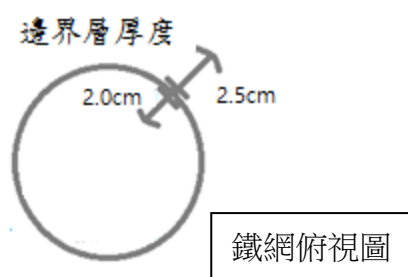
(圖二十五)

2. 圓柱鐵網旋轉時由於摩擦力，在鐵網表面存在一層極薄的邊界層，最接近鐵網表面的氣體以與鐵網相同的速度運動(即鐵網表面的氣體與鐵網的相對速度為零)，愈遠離表面速度愈小，直到邊界層最外部的運動速度為零。



(圖二十六)

3. 空氣邊界層的厚度相對於物體的尺度極小。我們進行簡易測試：將線香靠近旋轉中的鐵網，以手電筒照射可見線香的流動。我們發現在高轉速(50rpm)時離鐵網外側 2.5cm、內側 2.0cm 處線香不受鐵網旋轉影響；低轉速(25rpm)時離鐵網外側 2.0cm、內側 1.8cm 處線香不受影響，故我們認為本實驗中，邊界層的厚度小於 2.5cm。



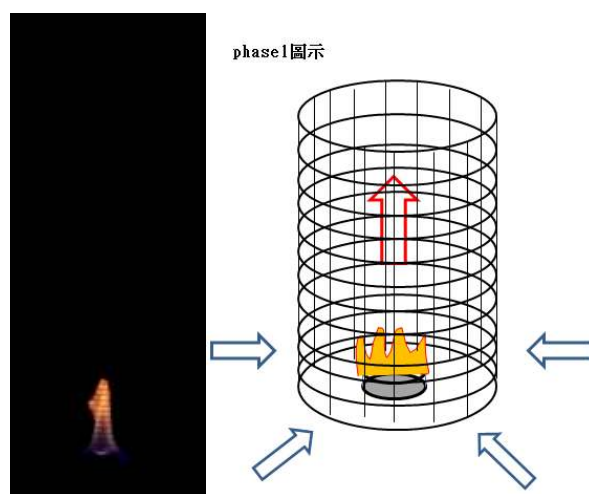
(圖二十七) 邊界層示意圖

4. 即使空氣不是理想流體，且因火焰燃燒，本系統力學能也不守恆，但我們仍猜測空氣的速度與其壓力呈負相關。類似白努利定律的結果。
5. 本實驗由鋼杯盛裝乙醇做為燃料，假設單位時間內蒸發的乙醇量固定。
6. 圓柱鐵網內除了邊界層以外的氣體，空氣之間的黏滯力極微弱，故內部氣體在圓形切線方向上不受力，氣體對圓心角動量近似守恆。

(二) 火龍捲生成的四個階段：

1. 原始火焰期：

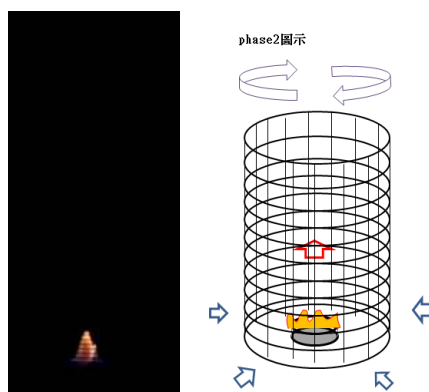
起初存在對流使得新鮮空氣由外流入系統內。



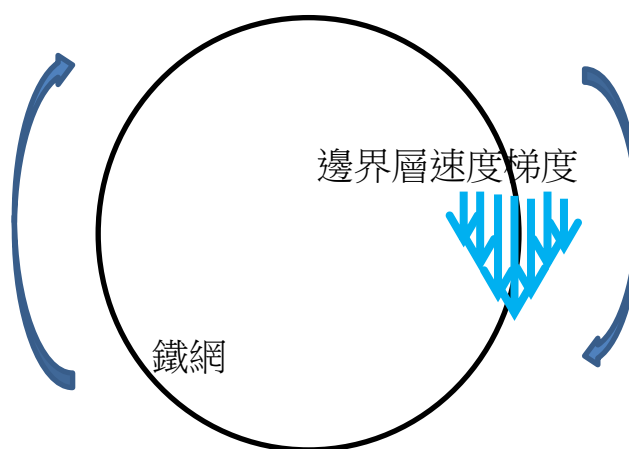
(圖二十八) 原始火焰期示意圖

2. 火焰萎縮期：

當鐵網轉動時，邊界層存在一個速度梯度，即鐵網附近的空氣速度會大於較內部的空氣速度，根據白努利定律，邊界層的氣體壓力變小，內部空氣與邊界層壓力差減少，導致中央圓心處燃燒中的火焰的空氣補給變慢。此時氣體整體而言仍是流入圓心補充火源新鮮空氣的，但對流效果衰退，故火焰萎縮但不至於熄滅，此為火焰萎縮期。



(圖二十九) 火焰萎縮期示意圖



(圖三十) 邊界層速度梯度示意圖

同時，氣體不斷自外補充到圓柱鐵網內部，氣體經過邊界層時會被鐵網給予繞圓心旋轉的角動量，方向與圓柱鐵網角動量同。故經過一段時間後，整個圓柱鐵網內部會存在繞圓心旋轉並向內移動的流場。因此自圓柱鐵網開始旋轉後經過一小段時間，已有部分氣體自邊界層流向內並抵達圓心處，使得中央處產生微弱旋轉流場，這時可見火焰仍然微弱但已有螺旋形狀產生。關於螺旋狀的進一步描述是由於燃料所處的空間有

受到氣體流動，乙醇分子被帶動跟著繞圓心旋轉並與氧氣反應產生火焰，螺旋偏向的方向表示空間中那一點的速度方向。火焰旋轉得極慢是由於火焰所在空間的氣體繞圓心旋轉運動速度極慢所致。



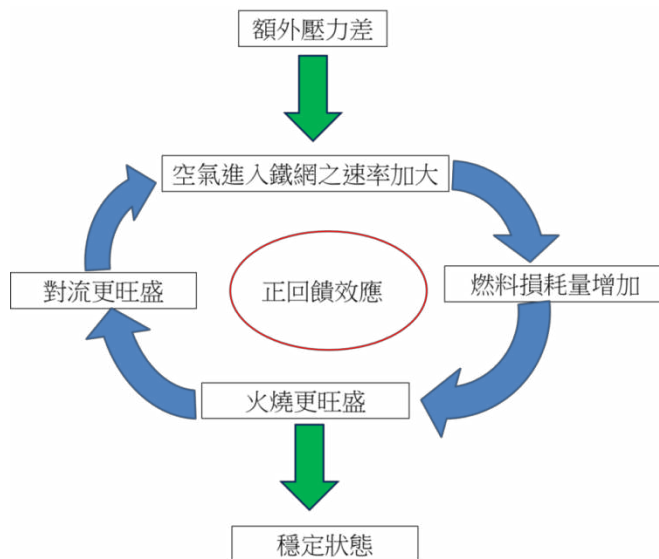
(圖三十一) 火焰速度方向示意圖

3. 火龍捲成長期：

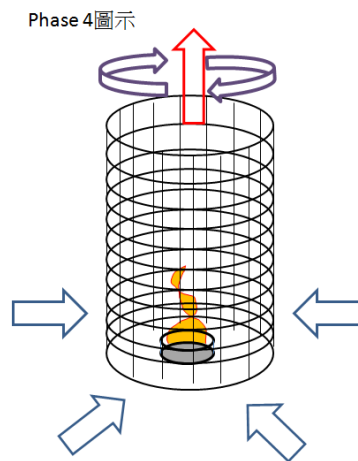
火焰萎縮期通常只存在一小段時間，由於具有圓周速率的小氣團已補充至火源處，而根據角動量守恆

$$mvr = \text{定值} \quad (m \text{ 為質量}, v \text{ 為圓周速率}, r \text{ 為與圓心距離})$$

可知空氣的圓周速率與運動軌道半徑成反比，因此鐵網中的內圈空氣流動速率大於外圈，根據白努利定律，鐵網中的內圈空氣的壓力小於外部，產生一壓力差，更適合氣體向內補充，使單位時間內氣體從外部向內部流入的量增加，因此燃料燃燒速率也跟著上升，火焰燃燒也更加劇烈，進而導致對流的增強，又使得單位時間內氣體從外部向內部流入的量再度增加，……。以上是燃燒與對流的正回饋機制，而對流正是火焰上升的重要條件，因為乙醇蒸氣(燃料)會順著對流往上升，若對流愈強，則燃料愈有機會在單位時間內到達更高的地方並與氧氣反應產生火焰。



(圖三十二) 火龍捲成長原因



(圖三十三) 火龍捲成長期示意圖

4. 火龍捲成熟期

當上述對流與燃燒的正回饋機制達到極限，使火焰達到一穩定狀態時，即為火龍捲成熟期。若將此時火龍捲的形狀與原始火焰比較，如圖三十四、圖三十五。



(圖三十四) 原始火焰



(圖三十五)火龍捲成熟期

圖中可以看到火龍捲達到**成熟期**後，相較於普通火焰具有更大的高度直徑比，而有火焰的地方即是進行燃燒反應之處，也就是乙醇分子與氧氣發生化和反應的地方，我們將從兩種面向去解釋。

1.對流

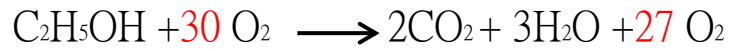
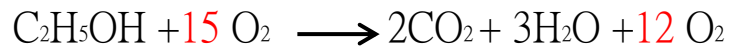
對流情形與火龍捲成長期相似，即對流愈強，則乙醇蒸氣愈有機會在單位時間內到達更高的地方並與氧氣反應產生火焰。

2.外界空氣的補進

火龍捲的對流旺盛使得外界空氣補進速率增加，由於補充進來的氣體提供更多向內的動量，導致乙醇蒸氣更向內集中，使得火焰變細，也就是任一截面(不考慮火焰最尖端)中的反應空間縮小、燃料濃度增加，但氧氣有限，所以有更多的燃料有機會在不被反應掉的情況下因為自然對流的緣故被帶到更高的位置並與氧氣反應產生火焰。

三、實驗二、實驗三：鐵網轉速與火龍捲之高度和燃料損耗速率的關係

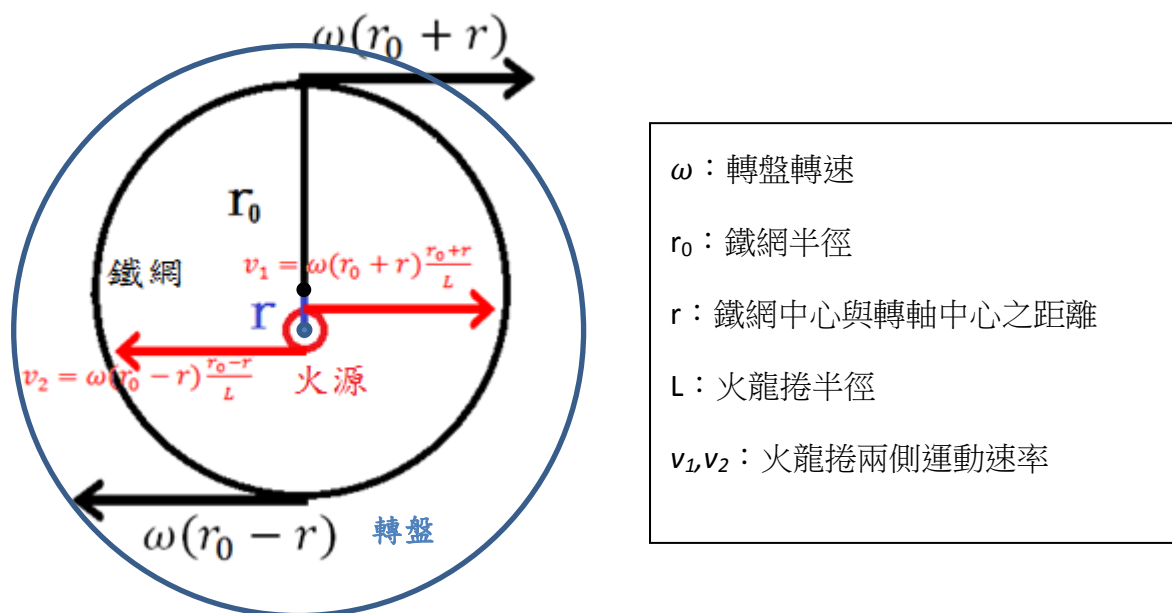
由實驗二、三可以發現，容器直徑為 6cm,7cm 的火龍捲之高度和燃料損耗速率在超過某一轉速後便不再有明顯變化。此最大值的產生代表火源燃燒效率達到最大，即火源的攝氧量達到了最大值。一個液體火源單位時間可提供的燃料分子數與其截面積有關(也就是從液體中蒸發出來的氣體)，在一固定截面積的液體火源下，其單位時間內提供的燃料分子數為定值。因此，單位時間可參與燃燒反應的氧氣分子數也會有最大值。如下方反應式：



因此，儘管更高的的鐵網轉速可以提升單位時間內空氣補入鐵網的量，也無法使更多的燃料分子發生反應，使燃料損耗速率與高度無法繼續提升。這同時也說明了為什麼在實驗結果中容器直徑為 8cm 時並不會發生此現象：由於當容器直徑為 8cm 時液面截面積較大，可在單位時間內提供更多燃料分子，因此需要更高的鐵網轉速才可使其燃料分子完全反應，由於目前的實驗器材尚無法提供更高的轉速，我們會在改良實驗器材後進行更深入的探討

四、實驗六：火龍捲的公轉情形

由於公轉角速率相當接近鐵網的角速率，我們猜測公轉現象是由於鐵網的微小偏離所引起，於是我們在未考慮溫度影響下使用白努利定律及角動量守恆進行理論模型的推導，如下



(圖三十六)火源俯視圖

根據白努利方程式 $P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 = \text{定值}$

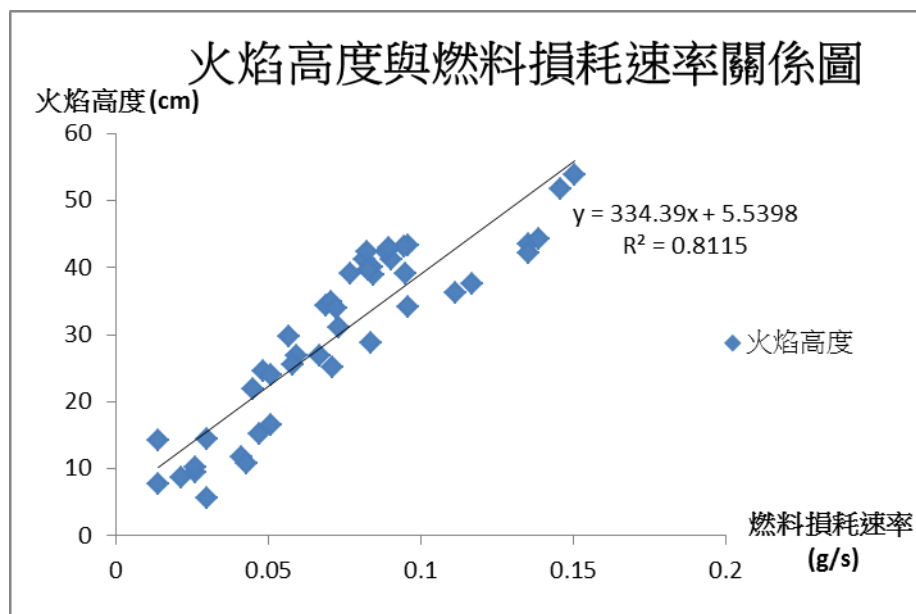
$$\begin{aligned} \Delta P &= P_2 - P_1 = \frac{1}{2}\rho(v_1^2 - v_2^2) \\ &= \frac{1}{2}\rho \frac{\omega^2}{L^2} [(r_0 + r)^4 - (r_0 - r)^4] \\ &= \frac{1}{2}\rho \frac{\omega^2}{L^2} (8r_0^3 r + 4r_0 r^3) \\ &= \rho \frac{\omega^2}{L^2} r_0 r (4r_0^2 + 2r^2) \end{aligned}$$

得到： $\Delta P \propto \omega^2$

我們可以發現當鐵網中心與轉盤中心有偏離時，會導致一額外壓力差使火焰偏向鐵網中心，由於鐵網中心繞轉盤中心公轉，使火龍捲產生了所謂的公轉現象，而此壓力差大小與轉速呈現正相關，正對應了實驗數據中，低鐵網轉速時的公轉現象不明顯(壓力差不夠大)，而高鐵網轉速下的火龍捲公轉情形較為明顯的情形

五、 火焰高度與燃料損耗速率的關係

有火焰的區域即是發生燃燒反應所發光發熱的區域，當燃料損耗速率越大時，單位時間參與燃燒反應的分子數便上升了，因此火焰燒得更加強烈，使得熱對流增強，而熱對流的增強可以將乙醇分子送到更高處才與氧氣發生燃燒反應，所以火焰高度會因此增加。



(圖三十七)火焰高度與燃料損耗速率關係圖

柒、結論

- 一、火龍捲產生時空氣主要由鐵網側面流入
- 二、火龍捲之生成可分為四階段：
 - (一) 原始火焰期
 - (二) 火焰萎縮期
 - (三) 火龍捲成長期
 - (四) 火龍捲成熟期
- 三、火龍捲之高度與燃料損耗速率皆會隨著鐵網轉速增加而提升，但存在一極限值，而此極限值隨著燃料截面積增加而提升
- 四、火龍捲之高度和燃料損耗速率隨著燃料截面積增加而上升
- 五、鐵網轉速較快時，火龍捲之公轉角速率約略等於鐵網轉速
- 六、火龍捲可有效提升火焰之燃燒效益

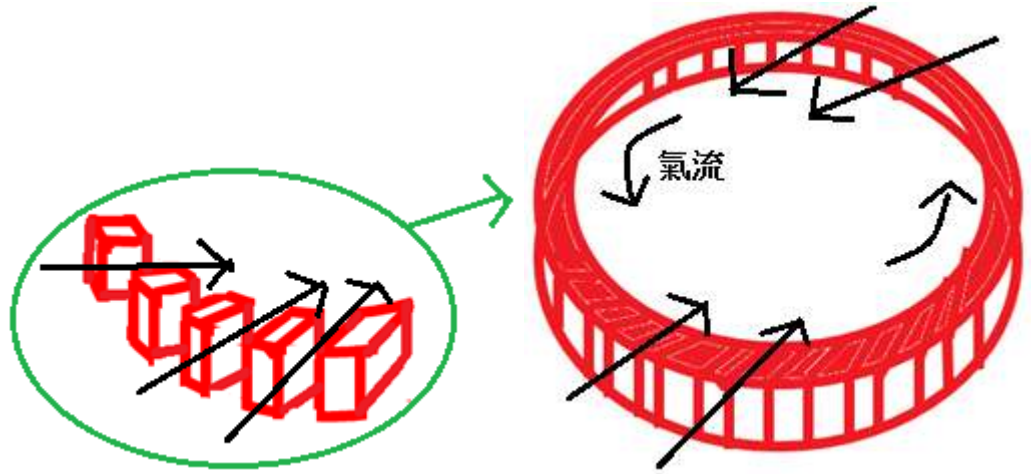
捌、參考資料及其他

- 一、未來展望
 - (一) 研究火龍捲溫度的軸向和徑向分布
 - (二) 研究氣體流場，以對理論模型做進一步的驗證
 - (三) 研究不同半徑鐵網之火龍捲特性
 - (四) 本研究著重在以鐵網旋轉來產生以乙醇做為燃料的火龍捲，上述已經討論了本實驗火龍捲的生成原理，我們查詢諸多不同條件下火龍捲的資料與影片，我們推論若火焰周遭空間存在漩渦狀的空氣流場，且容許對流增加，即使火焰呈現螺旋上升狀，成為火龍捲。例如：森林大火中的火龍捲、利用風洞產生的火龍捲。
 - (五) 實驗七：火龍捲應用於加熱裝置的可行性

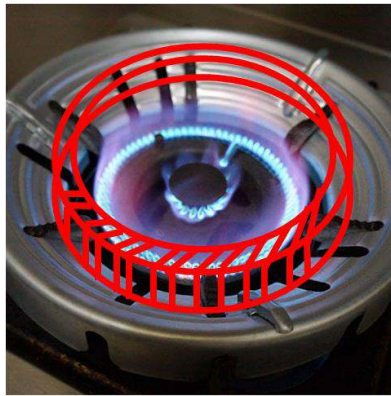
由實驗七我們發現火龍捲能夠增加單位質量燃料的燃燒效益，因而想到可以將火龍捲應用於生活中燒煮食物、開水。

構想一：在瓦斯爐或火鍋爐上裝置設計過的小鐵片的排列作為風洞(如下圖

三十八、圖三十九)，使得補充至火苗處的空氣產生渦流，進而製造微型火龍捲，增加燃燒效益。

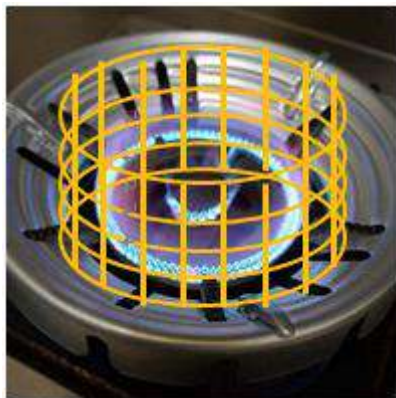


(圖三十八)固定角度排列的小鐵片



(圖三十九) 小鐵片組成的風洞構造示意圖

構想二：在瓦斯爐或火鍋爐上裝置可旋轉小鐵網來產生微小火龍捲(如圖四十)，增加燃燒效益。



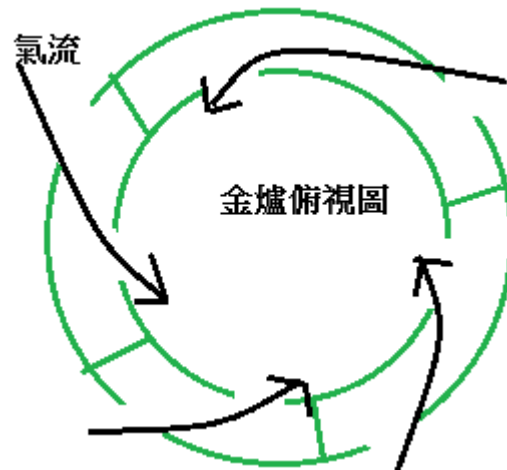
(圖四十) 微小火龍捲示意圖

(六) 由實驗三及七我們發現操作火龍捲有助於燃料的燃燒，在台灣的風俗中燒金紙十分常見，然而燒紙錢容易因為燃燒不完全產生黑煙，裡面含有有毒氣體及粉塵，因此我們想將火龍捲應用於一般家庭的小型金紙爐上(如圖四十一)，幫助紙錢燃燒完全，讓燒紙錢的傳統也可以很科學。

構想：將金紙爐設計為雙層(如圖四十二)，使的空氣能夠以一定量值的切角流入金爐內，產生渦流，產生火龍捲，幫助完全燃燒。



(圖四十一) 小型金紙爐



(圖四十二)雙層金爐設計圖

(七)

二、參考資料

(一) 中文部分

1. 陳長坤(2012)•燃燒學•北京：機械工業出版社。
2. 李福寶、李勤(2010)•流體力學•北京：冶金工業出版社。

(二) 英文部分

1. Anderson, J.D.(2010)•Fundamentals of Aerodynamics•北京：航空工業出版社。

【評語】 040103

作品題材利用自製器材重現火龍捲的物理現象，表現出動手做的精神，不論在量測數據與資料呈現方面皆相當完備，充分展現科展的精神，惟作品呈現以觀察結果為主，有關邊界層級空氣隨轉速的路徑變化並無實驗證據佐證，也無法給予物理模型分析、計算，進而進行實驗預測與應用推廣，實屬作品中較為可惜之處。