

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

佳作

030116

附壁氣流飛行器-探討機殼構型對飛行的影響

學校名稱：臺北市立天母國民中學

| | |
|-----------------------------------------------|-----------------------------|
| 作者： 國二 李眉軒 國一 彭麗禎 國一 楊閔凱 | 指導老師： 王禮章 羅文杰 |
|-----------------------------------------------|-----------------------------|

關鍵詞：康達效應、飛行器、氣流

摘要

去年根據附壁效應試驗出幽浮飛行器後了解氣流對飛行影響很大值得細探，於是今年更深入對外殼弧面、垂直導流板與水平移動板進行改造，發現：

- 1.機殼弧面改成低圓，不會降低氣流附壁升力又可減重
- 2.機身反扭矩力與螺旋槳長度與轉速成正比
- 3.小面積的垂直導流板修正反扭矩角度過大會耗損升力
- 4.水平移動板將向下氣流轉向水平側邊過多也會影響升力

根據機殼氣流附壁實驗發現，每一種變項都會相互影響下，以有限的升力調整出最佳平衡的構型，測試發現：機殼表面氣流的附壁吸力能有效提高升力 16.7%，且風力越強提升比例越高；載重可達 500g，且載重與續航時間成反比。沒想到只是簡單的幽浮外觀牽涉到的飛行氣流竟是如此的奧妙又有趣！

壹、研究動機

去年根據附壁效應試作出第一代的幽浮飛行器，過程中發現氣流對飛行器的影響很大，不光是只有機殼形狀而已，一旦外觀弧度調整後連帶的垂直導流板的尺寸，出風罩開口的高度都要跟著調整，加上少了像直升機尾翼，造成螺旋槳的長度與轉速都會影響反扭矩應力的大小，要如何透過垂直與水平導流板的控制，來解決反扭矩的應力及操控行進問題，這些都會相互影響，值得仔細探討。去年受限於時間與材料技術，機體無法完全解決飛行時的氣流問題，今年捲土重來，重新設計實驗與器材，希望能突破去年的困難。

貳、研究目的

- 一、探討影響氣流附壁效果的外觀變項及相互影響。
- 二、利用飛行變項相互影響的平衡點來提升機殼構形的效能。
- 三、設計與組裝飛行器內部的機電結構。
- 四、整合與測試幽浮飛行器的飛行效能。

參、研究設備及器材

一、氣流附壁效應實驗組







- (一)升力實驗機台：螺旋槳(3、5、7 吋飛機螺旋槳)、馬達轉螺旋槳接頭、12V 馬達、馬達固定座與固定環、機殼測試支撐架、電線、可變電阻、變壓器(AC 轉 DC、3~12V)
- (二)導流實驗機台：風扇(10 吋)、活動轉盤、軸承、機殼測試支撐架
- (三)受風機殼模型：吸音泡棉(1cm 寬、0.2cm 厚、長 30m)、厚紙板
- (四)測量儀器：電子秤(1.5kg 數字式)、轉速計(光學非接觸式)、風速計

二、幽浮飛行器：






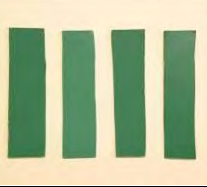
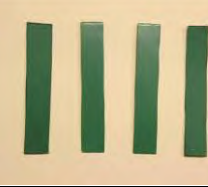
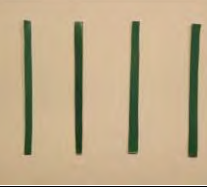
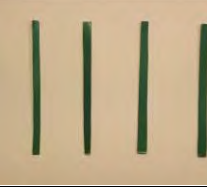
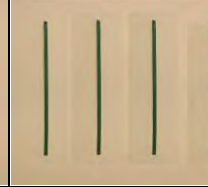
- (一)飛行器機殼：模型板(1cm 厚)、泡棉墊(0.2cm 厚)、碳纖維棒(0.2cm 粗)、保麗龍膠
- (二)機械控制模組：模型板(1cm 厚)、玻璃纖維棒(0.2cm 粗)，壓克力板(0.2cm 厚)
- (三)動力模組：轉鼓式無刷馬達、電池(11.1V、1850mA)、電子變速器
- (四)遙控模組：遙控器、接收器、陀螺儀、伺服器

三、實驗器材規格照片




(一)自製附壁實驗量測機台

| 名稱 | 照片與規格 | | | | |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 附壁 效應 機台 |  |  |  |  |  |
| | 實驗機台 | 動力馬達模組 | 螺旋槳 | 導流機台旋轉座 | 升力機台固定座 |
| 實驗 測量 設計 |  |  |  |  |  |
| | 升力量測設計 | 測試機殼模型 | 導流量測設計 | 測試機殼模型 | 機殼曲面定形板 |

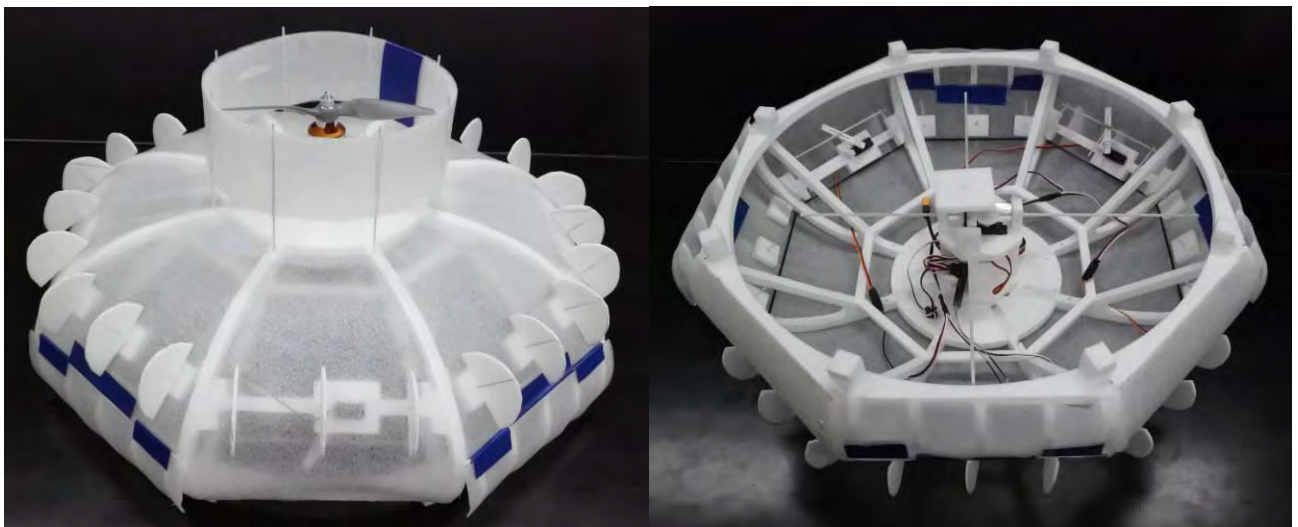
(二)附壁變項規格尺寸

| 項目 | 一 | 二 | 三 | 四 | 五 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------|-----|----|-----|----|-----|-----|------|-----|------|--|
| 實驗 附壁 變項 規格 | 形狀比例 | | 高：1 寬：1 | | 高：0.5 寬：1 | | 高：1.5 寬：1 | | 先凸後平 | | 先平後凸 | | | | | | | | | | |
| |  | |  | |  | |  | |  | | 半圓 | | 扁圓 | | 高圓 | | 上水滴 | | 下水滴 | | |
| 水平移動板 | |  | |  | |  | |  | |  | | 1:4 | | 1:6 | | 1:8 | | 1:12 | | 1:16 | |

四、自製幽浮飛行器(康達效應)

| 名稱 | 器材成品 | 組 件 名 稱 | | | | |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--|
| 康 達 幽 浮 飛 行 器 |  |  |  |  |  | |
| | 機殼架構 | 機體骨架版型 | 機體骨架 | 機身蒙皮 | 補強結構 | |
| |  |  |  |  |  | |
| | 機械控制設計 | 垂直導流控制 | 垂直導流板 | 水平移動控制 | 水平移動板 | |
| |  |  |  |  |  | |
| | 動力模組 | 馬達 | 螺旋槳 | 電池 | 電子變速器 | |
| |  |  |  |  |  | |
| 動力遙控模組 | 主遙控器 | 無線接收器 | 陀螺儀 | 伺服器 | | |

五、自製幽浮飛行器實驗器材



肆、研究過程與方法

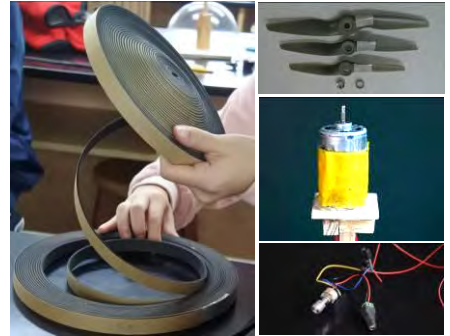
一、器材設計製作過程

(一)附壁效應機台設計與製作：

1.風力控制設計：為找出螺旋槳的風力範圍、強度與機殼三者間的相互影響，於是設計

(1)以「9V 馬達」做為動力，「可變電阻」可調整馬達轉速可控制風力強度，配合 3、5、7吋的「螺旋槳」，便能改變風力作用的範圍。

(2)為了避免換裝不同尺寸螺旋槳而改變馬達轉速，便以 8000、6000、4000(rpm)做為風力強度的基準。



2.附壁效應機殼設計與製作：為了解各機殼曲面的升力變化，又方便製作，於是設計

(1)將 1cm 寬、0.2cm 厚、長 30m 的吸音泡棉捲成直徑 26cm 的圓盤，套入定形板後，將圓盤面拉成實驗所需的凹凸曲面。

(2)放在實驗機台上的機殼測試支撐架，變可測試各種受風反應



3.附壁效應量測設計：

(1)升力量測：將實驗機台與受風機殼模型放在 1.5kg 數字式電子秤上，開啟螺旋槳後，從電子秤上的重量變化，變可測出各型式機殼的附壁升力效果。

(2)垂直導流效果量測：由於螺旋槳轉動時球面機殼會因反作用力而產生反扭現象，便需設計垂直導流板來抵銷反扭的力，於是設計可自由旋轉的半球面上，貼上各種形狀的導流板，從球受風轉動的轉速便可知道導流板的導流效果。

a.導流板形狀：測試同面積不同形狀(半圓、扁圓、高圓、水滴)導流板對轉速的影響。

b.導流板位置：測試同形狀不同球面緯度，導流板對轉速的影響。

c.導流板數量：測試同形狀與球面緯度，導流板數量與轉速增幅的關係。

(3)水平導流效果量測：由於球面機殼水平移動，於是水平導流板，將原本向下吹的氣流方向，改變為水平方向，以提供橫向移動的推力，於是設計可自由移動的半球面底邊緣，貼上各種形狀的導流板，從球受風移動的距離便可知道導流板的導流效果。

a.導流板形狀：測試同寬度不同長度，導流板與距離增幅的關係。

b.導流板弧度：試同形狀不同弧度(凸面、平面、凹面)，導流板與距離增幅的關係。

(4)為了看到氣流在測試機殼上的流動情形，但又要避免煙霧的人體的影響，於是採用水族箱常用的水霧式煙霧器，從煙霧流經機殼表面時所產生的聚合或擴散(亂流)形狀，來做為修正機殼曲面的參考。

(二)實驗機台設計與製作過程：



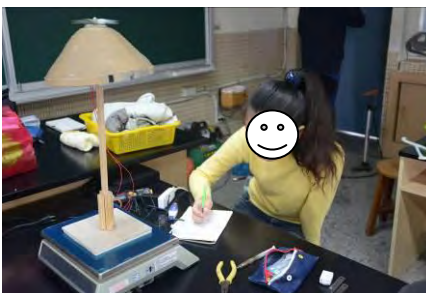
自製實驗機台



組裝實驗機台



測試調整實驗機台



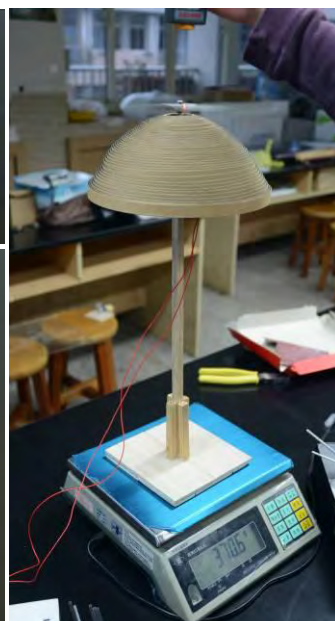
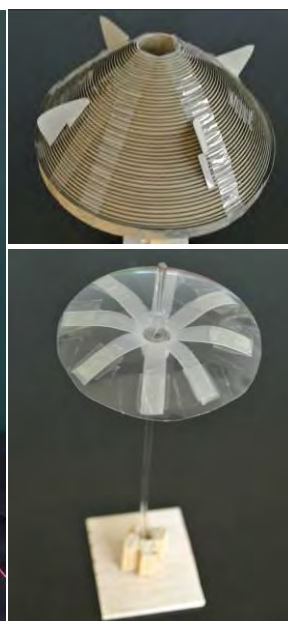
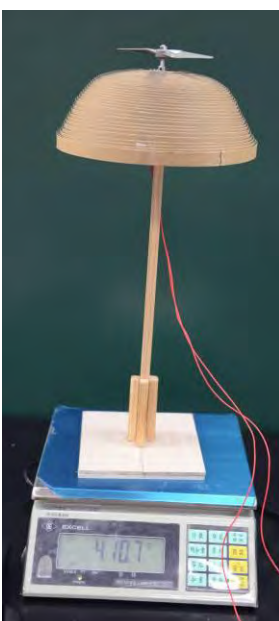
實驗記錄



氣流附壁升力實驗

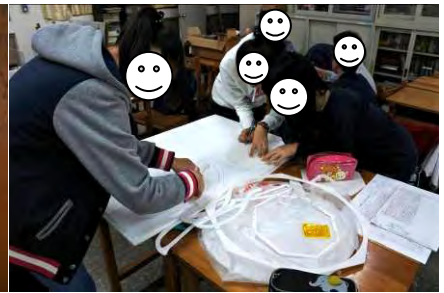


垂直導流板實驗



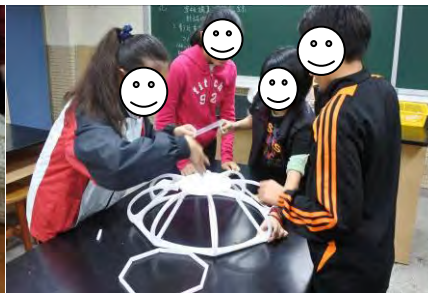
自製實驗機台與操作

(三)幽浮飛行器設計與製作過程：根據氣流附壁實驗發現優化飛行器外觀，切割模型板(骨架)和泡棉(蒙皮)做成機殼，內部再搭配馬達、電池與遙控模組，便完成自製幽浮飛行器



機殼結構打樣分解與試做調整

機殼骨架板形切割



骨架切割與打磨

組裝機殼骨架

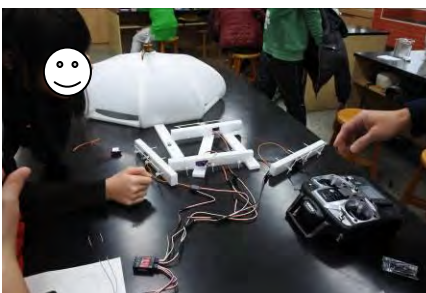
調整校正機殼骨架



安裝動力馬達與線路

黏貼機殼蒙皮

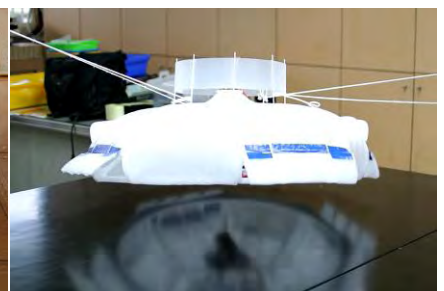
動力與飛行遙控線路模組



機電線路測試整合

機械控制連桿組裝

機殼附壁升力測試



調整機電與遙控線路控制

康達幽浮飛行器

水平位移板測試與修正

二、變項探討與實驗設計

為了找出最佳的機殼形狀與轉向、平移控制板，設計以升力測重、轉動測速、平移測距三種機台，將前一個實驗所得的優化結果做為後續實驗的控制變因的基礎，項目如下：

(一)機體表面弧度的高寬比對氣流附壁升力的影響

操作：將泡棉圈高寬比分別塑形 1:1、0.5:1、1.5:1、先凸後平、先平後凸等弧面，再用 3、5、7 吋螺旋槳以 8000、6000、4000rpm 的轉速吹

記錄：螺旋槳吹五種弧面時機台重量的變化



分析：由機台重量的變化(升力)，可分析弧面形狀、風力強度與範圍間的相互影響

(二)垂直導流板的形狀、位置與數量對機體旋轉控制的影響

1.導流板形狀實驗：以同面積，不同高寬比形狀的垂直導流板：半圓(1:2)、高圓(2:2)、扁圓(0.5:2)、上水滴(1:2、頂點在 1/3 直徑處)、下水滴(1:2、頂點在 2/3 直徑處)，以 30 度斜角固定在最佳化機殼的四周，並以風扇吹機殼頂端

2.導流板位置實驗：將四片最佳化導流板以 30 度斜角，分別固定在最佳化機殼四周的八個不同高度，並以風扇吹機殼頂端

3.導流板數量實驗：將 4、8、12、16、20、24、28、32 片的導流板以 30 度斜角，分別固定在機殼四周的最佳高度，並以風扇吹機殼頂端



(三)水平位移板的形狀對機體平移控制的影響

操作：將不同長寬比的水平位移板 1:16、1:12、1:8、1:6、1:4，以水平角度固定在機殼的底部，並以風扇吹機殼頂端

記錄：五種不同比例的水平位移板，對機殼產生的移動



伍、研究結果

實驗一：機體表面弧度的高寬比對氣流附壁升力的影響

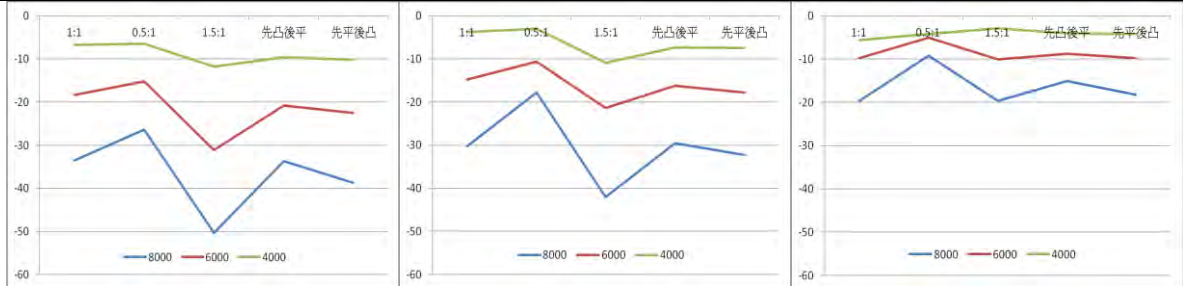
操作：比較五種高寬比的機殼弧面 1:1、0.5:1、1.5:1、先凸後平、先平後凸，利用 3、5、7 吋的螺旋槳分別以 8000、6000、4000rpm 三種轉速，從機殼頂端由上往下吹，記錄三種螺旋槳尺寸與風力強度組合，對五種機殼弧面所造成的氣流附壁升力。



表：機體表面弧度高寬比對氣流附壁升力影響比較

| 風力範圍 | | 大螺旋槳(7 吋) | | | | | 中螺旋槳(5 吋) | | | | | 小螺旋槳(3 吋) | | | | |
|------|------|-----------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| 機台 | 機殼形狀 | 1:1 | 0.5:1 | 1.5:1 | 先凸後平 | 先平後凸 | 1:1 | 0.5:1 | 1.5:1 | 先凸後平 | 先平後凸 | 1:1 | 0.5:1 | 1.5:1 | 先凸後平 | 先平後凸 |
| | 初重 | 405.8 | 406.8 | 408.6 | 409.8 | 409.2 | 405.3 | 403.3 | 407.8 | 404.2 | 405.1 | 407.1 | 404.4 | 406.3 | 403.8 | 404.7 |
| 風力 | 8000 | -33.5 | -26.3 | -50.2 | -33.7 | -38.6 | -30.3 | -17.7 | -42 | -29.5 | -32.2 | -19.7 | -9.2 | -19.7 | -15.1 | -18.2 |
| | 6000 | -18.3 | -15.1 | -31.1 | -20.7 | -22.5 | -14.7 | -10.6 | -21.4 | -16.2 | -17.8 | -9.7 | -5 | -10 | -8.8 | -9.8 |
| | 4000 | -6.7 | -6.4 | -11.7 | -9.6 | -10.2 | -3.7 | -3 | -10.9 | -7.3 | -7.4 | -5.6 | -4.1 | -2.9 | -4 | -4.2 |

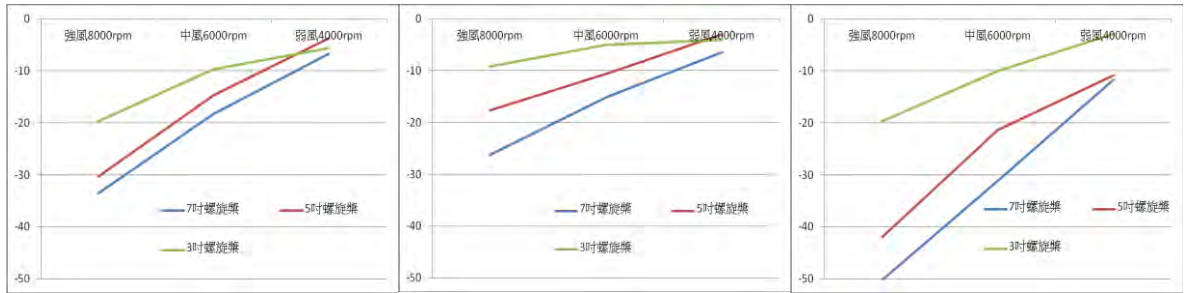
單位：
重量 g



發現：圖：大(左)、中(中)、小(右)螺旋槳在不同轉速風力下對機殼弧面的升力效果

- 1.機殼高寬比弧面升力：1.5:1 > 先平後凸 > 先凸後平 > 1:1 > 0.5:1
- 2.大螺旋槳(範圍)在高轉速(風力)時，對機殼所產生的升力差距比低轉速明顯。
- 3.小螺旋槳在高轉速(風力)時，對機殼所提升的升力有限。
- 4.螺旋槳的轉速對升力所造成的影響，比螺旋槳的尺寸大小要明顯。
- 5.大螺旋槳(7 吋)在無機殼的情形下，在高轉速(8000rpm)所產生的淨升力(-13.3g)，證明機殼弧面的長寬比確實能有效提高額外的升力，甚至比螺旋槳本身提供的還高。
- 6.高而圓的機殼所提供氣流附壁時的升力比寬而平的弧面要好。
- 7.以螺旋槳尺寸 3->5->7(吋)所提供的升力幅度 19.7->42->50.2(g)發現尺寸越大，在 8000 轉時所提供的升力幅度有下降的趨勢，推算螺旋槳長度與機殼直徑大約在 5 吋：30cm = 12.5cm：26cm = 1：2.08 以不超過機殼直徑的一半為原則

表：機殼形狀對不同強度與範圍的氣流附壁升力影響

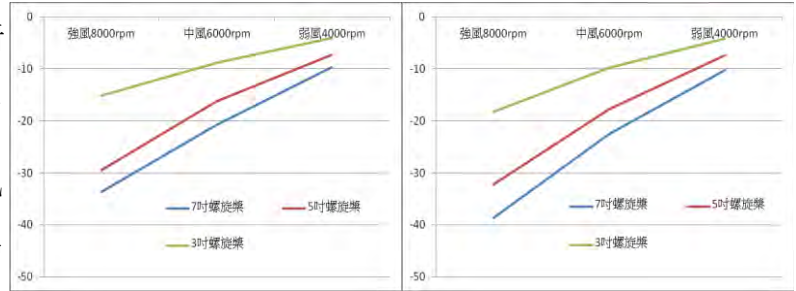


1:1 「半圓形」機殼升力

0.5:1 「寬扁形」機殼升力

1.5:1 「高圓形」機殼升力

8.從三種風速與範圍的組合，對五種形狀的機殼所產生的升力可看出：機殼弧面長寬比、風力範圍與強度三者間有明顯的相互影響



「先凸後平」機殼升力

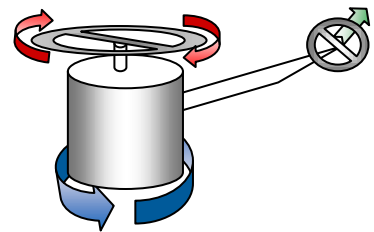
「先平後凸」機殼升力

- (1)高圓形+3 吋螺旋槳組合的升力，比寬扁形+5 吋螺旋槳要好，可看出弧面形狀所產生氣流附壁的升力，可彌補風力強度與範圍的不足。
- (2)「半圓形」與「寬扁形」，在 5 吋螺旋槳、4000rpm 轉速時，升力比 3 吋螺旋槳低，可看出螺旋槳最低轉速至少要達 6000rpm 以上，才能發揮氣流附壁的升力效能。
- (3)綜合「寬扁形」與「高圓形」，所產生的「先凸後平」與「先平後凸」，升力有明顯的差異，可看出氣流在表變流動時因弧度變化，在不同高度的空氣流速也會不同。

9.決定幽浮飛行器機殼外觀

- (1)高圓形的機殼升力較佳，但機殼截面較大，可能產生飛行的阻力。
- (2)寬扁形截面最小，但升力最差，無法發揮氣流的附壁升力。
- (3)所以機殼弧面決定採「先平後凸」的設計，並減少過多的截面，以降低飛行阻力。

思考：螺旋槳旋轉時雖然會產生升力，但同時也會產生反扭的現象，使機體不斷旋轉。而幽浮飛行器無法像直昇機在尾翼加裝抵銷反扭方向力量的螺旋槳，只能利用機身上垂直方向的導流板，以相反的傾角來抵銷反扭的力量。



所以設計最有效率(體積小、片數少)的導流板，對飛行器的穩定功能將會相當重要。

實驗二：垂直導流板的形狀對機體旋轉控制的影響

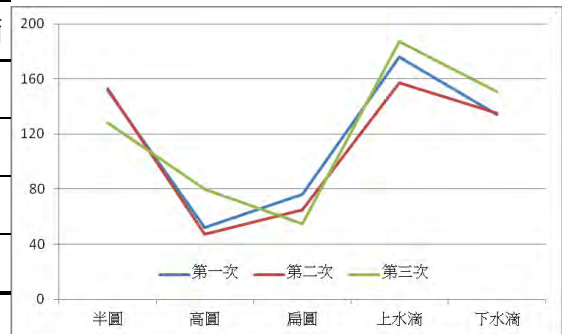
操作：比較同面積不同高寬比的半圓(1:2)、高圓(2:2)、扁圓(0.5:2)、上水滴(1:2、頂點在 1/3 直徑處)、下水滴(1:2、頂點在 2/3 直徑處)，以 30 度斜角固定在最佳化機殼四周，並以風扇由上往下吹機殼頂端，記錄導流板，對機殼轉速影響



表：垂直導流板形狀對機體旋轉控制的影響比較

| 導流板形狀 | 半圓 | 高圓 | 扁圓 | 上水滴 | 下水滴 |
|-------|-----|----|----|-----|-----|
| 第一次 | 152 | 52 | 76 | 176 | 134 |
| 第二次 | 153 | 47 | 65 | 157 | 135 |
| 第三次 | 128 | 80 | 55 | 187 | 151 |
| 平均 | 144 | 60 | 65 | 173 | 140 |

單位：轉速 rpm



發現：

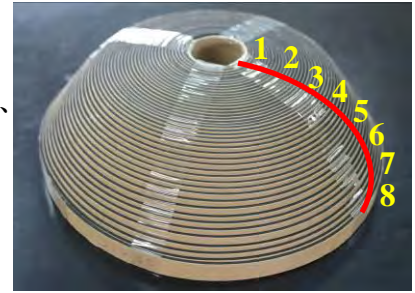
- 1.垂直導流板形狀對機體轉向控制：上水滴 > 半圓 > 下水滴 > 扁圓 > 高圓
- 2.半圓、上水滴與下水滴形狀接近，但對導流控制的效果依舊有明顯差距。
- 3.導流板形狀的最高點，若與弧面上最大氣流流速接近的話，導流的效果將會最好。
- 4.扁圓雖然底部長度最長，但因高度較低，氣流有效的作用面積反而變少，使得導流的效果反而不如預期。
- 5.高圓形導流板轉速最低，有可能是因為高度超過附壁氣流的高度，使得氣流經過導流板的面積相對變少，再加上高度過高，轉動時也會產生風阻。
- 6.根據實驗發現，決定以「上水滴」形狀，做為最佳化垂直導流板的形狀。

思考：

導流板形狀實驗是將導流板固定在機殼中間的高度，但實驗發現機殼弧面上，接近中央流速越快，但力矩反而小，而周圍流速較慢，但力矩大，再加上透過弧面所產生的附壁氣流又可提高流速。綜合以上發現，若能在機殼弧面上找出最佳的高度位置，就能充分利用氣流與力矩的作用，來提高導流板的操控效果。

實驗三：垂直導流板的位置對機體旋轉控制的影響

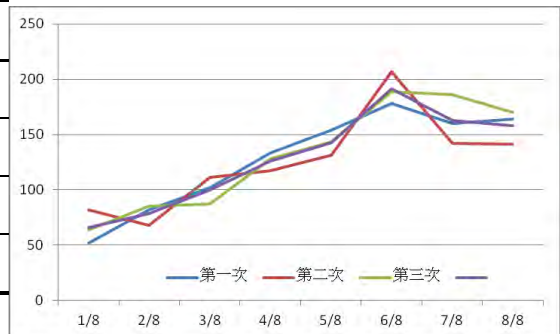
操作：比較將最佳化形狀的垂直導流板，以 30 度斜角分別固定在機殼四周八個不同高度：1/8、2/8、3/8、4/8、5/8、6/8、7/8、8/8，並以風扇由上往下吹機殼頂端，記錄導流板，對機殼轉速影響。



表：垂直導流板位置對機體旋轉控制的影響比較

| 導流板位置 | 1/8 | 2/8 | 3/8 | 4/8 | 5/8 | 6/8 | 7/8 | 8/8 |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 第一次 | 52 | 82 | 102 | 133 | 154 | 178 | 160 | 164 |
| 第二次 | 82 | 68 | 111 | 117 | 131 | 207 | 142 | 141 |
| 第三次 | 64 | 85 | 87 | 128 | 143 | 189 | 186 | 170 |
| 平均 | 66 | 78 | 100 | 126 | 143 | 191 | 163 | 158 |

單位：轉速 rpm



發現：

- 1.垂直導流板位置對機體轉向控制：6/8 > 7/8 > 8/8 > 5/8 > 4/8 > 3/8 > 2/8 > 1/8
- 2.由轉速的高低，可間接看出氣流的強度，但由於還有力矩的作用，所以垂直導流板所造成的轉速，是受到「附壁氣流強度」和「旋轉機身力矩」的雙重影響。
- 3.距離中心越遠氣流的強度就會降低，但透過氣流的附壁作用則可有效提高流速，同時也可提高力矩的作用力。
- 4.附壁氣流的強度和距離成反比，而旋轉機身的力矩則是和距離成正比。
- 5.適當的導流板位置，可以有效提高對機體旋轉控制的效果。
- 6.根據實驗發現，決定以「6/8」的機殼弧距離，做為最佳化垂直導流板的位置。

思考：

導流板的形狀與位置雖然能提高對機體旋轉的操控，但實驗發現氣流其實也受到上端螺旋槳的風速影響。在風力有限下，若要再提高導流板的操控性，只有增加導流板的面積，但增加單一導流板的面積，除了會造成風阻外，附壁的氣流也可能無法有效作用到，所以朝增加導流板片數來提高面積，便成為提高導流板操控性能的有效方法。

實驗四：垂直導流板的數量對機體旋轉控制的影響

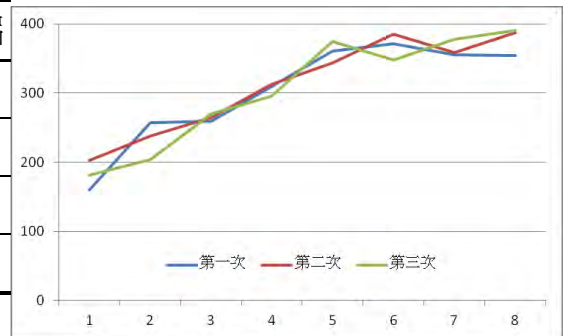
操作：將最佳化形狀的垂直導流板，以 30 度斜角固定在機殼最佳高度，分別插上 4、8、12、16、20、24、28、32(片)導流板，並以風扇由上往下吹機殼頂端，記錄導流板，對機殼轉速影響。



表：垂直導流板數量對機體旋轉控制的影響比較

| 導流板數量 | 4片 | 8片 | 12片 | 16片 | 20片 | 24片 | 28片 | 32片 |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 第一次 | 160 | 257 | 259 | 309 | 361 | 371 | 355 | 354 |
| 第二次 | 203 | 238 | 265 | 313 | 344 | 385 | 359 | 387 |
| 第三次 | 181 | 204 | 270 | 295 | 374 | 348 | 378 | 390 |
| 平均 | 181 | 233 | 265 | 306 | 360 | 368 | 364 | 377 |

單位：轉速 rpm

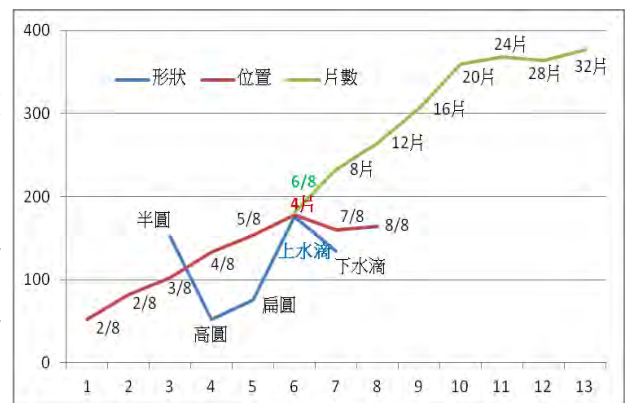


發現：

- 1.垂直導流板數量對機體轉向控制： $32 > 28 > 24 > 20 > 16 > 12 > 8 > 4$
- 2.由轉速的高低，可看出導流板的數量越多，轉速就會越快，所以利用增加導流板的數量，是可以在不增加風力的情況下，有效提高機體轉向的控制效果。
- 3.從轉速上升的幅度來看，導流板數量增加到 24 片之後，轉速的增幅明顯降低，導流板數量對附壁氣流的作用，反應有一個極限。
- 4.導流板的數量不足，無法充分利用附壁氣流所產生的推力，但數量過多則會對附壁氣流造成阻力，反而降低導流板的效果。
- 5.根據實驗發現，決定以「24 片」做為機殼裝置垂直導流板的理想數量。

思考：

從右圖中導流板變項發現，對機殼垂直操控效果：數量>形狀>位置。在上水滴形狀的基礎上(176rpm)，找到最佳的高度位置(6/8)，可增加 3.4 倍的效能(52-->178rpm)，最後透過提高數量(24 片)，又可多增加兩倍的效能(181-->377rpm)。以最小、最少的導流板，達到最佳的操控效果。



圖：導流板變項影響比較

實驗五：水平移動板的形狀對機體平移控制的影響

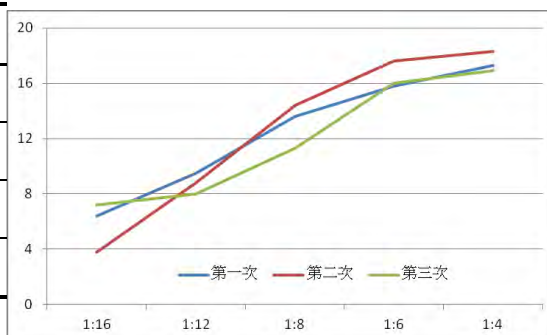
操作：將不同長寬比的水平位移板 1:16、1:12、1:8、1:6、1:4，以水平角度分別固定在最佳化機殼的單邊底部，並以風扇由上往下吹機殼頂端，記錄機殼在受風吹動時移動的距離。



表：水平移動板形狀對機體平移控制的影響比較

| 導流板數量 | 1:16 | 1:12 | 1:8 | 1:6 | 1:4 |
|-------|------|------|------|------|------|
| 第一次 | 6.4 | 9.5 | 13.6 | 15.8 | 17.3 |
| 第二次 | 3.8 | 8.8 | 14.4 | 17.6 | 18.3 |
| 第三次 | 7.2 | 8 | 11.3 | 16 | 16.9 |
| 平均 | 5.8 | 8.77 | 13.1 | 16.5 | 17.5 |

單位：距離 cm



發現：

- 1 水平移動板對機體平移控制：1:4 > 1:6 > 1:8 > 1:12 > 1:16
- 2.由機體移動的距離可看出水平移動版的面積越大，平移控制的效果就越好，所以利用調整水平移動版的角度(0°)與面積，是可以有效操控機體的平移效果。
- 3.從移動距離增加的幅度來看，水平移動板的面積增加到 1:6 之後，距離的增幅明顯降低，看出平移板對氣流轉向的作用，效果有一個極限。
- 4.平移板的面積不足，無法充分利用氣流轉向所產生的水平推力，但面積過多則會對機體平衡造成影響，反而降低平移板的效果。
- 5.根據實驗發現，決定以「1:6 面積長寬比」做為機殼裝置水平移動板的理想面積比。

思考：

水平移動板除了能利用長寬比的面積，來改變氣流的方向與強度，後來發現也能透過改變水平的角度(0°~90°)，來調整平移的效果，若再加上改變移動板的弧度(平面-->外凸)，配合機殼外觀的弧度，讓附壁的氣流連續，就能在不增加水平移動板面積的情況下，更有效提升平移的效果。

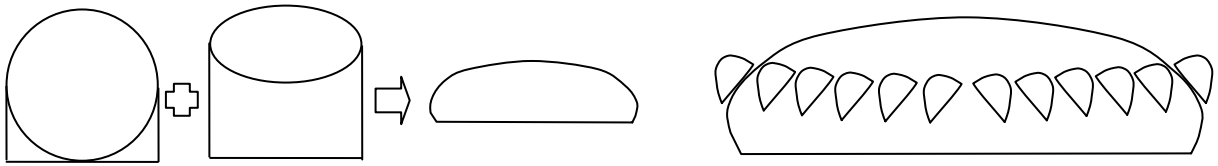
陸、討 論

討論一：分析機殼形狀、垂直導流板與水平位移板變項間的相互影響

一、幽浮飛行器飛行模式解析

(一)由實驗發現推估機殼外觀

- 1.根據實驗一結果，選擇機殼弧面「高圓」與「先平後凸」兩者的中間型，然後再把下端陡坡處移除，並將底部周圍內縮近來
- 2.由實驗二、三、四結果發現，推估最佳化的垂直導流板

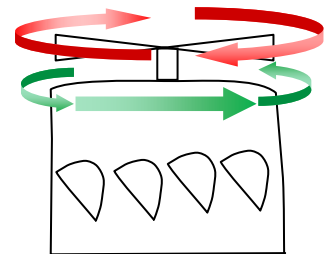
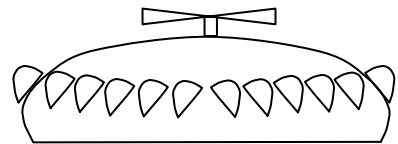


(二)由外觀與飛行模式推估升力與阻力來源

1.升力來源：

- (1)氣流附壁作用時的向上吸引的升力
- (2)氣流向下產生反作用力時的推力

- ##### 2.阻力來源：為了要抵抗螺旋槳旋轉(紅色箭頭)時所產生的反扭矩力(綠色箭頭)，因此必須透過調整垂直導流板的角度，讓原本往下吹的風(藍色箭頭)轉向右側吹出(紫色箭頭)，但如此一來便會降低氣流向下所產生反作用力的推力



所以有效率的垂直導流板，應該要以最少的偏轉角度，就能平衡螺旋槳反扭矩的力量。

考量附壁的氣流都只作用在表面上，以相同面積的垂直導流板來看，「小而多片」的效果應該會比「大而少片」的好

二、分析幽浮飛行器飛行變項間的交互影響

(一)參考白努力定律的公式

$$P + \rho gh + \frac{\rho \times v^2}{2} = c \quad (P=\text{壓力強度}; \rho =\text{流體密度}; v=\text{流體速度}; c=\text{常數})$$

由公式可看出影響流體流動時壓力差的因素有：壓力能(P)、位能(ρgh)和動能($\frac{\rho \times v^2}{2}$)

(二)對照公式分析幽浮飛行器的升力與氣流附壁變項間的相互影響

面積固定下，螺旋槳轉速(風速 V)與氣流附壁的升力(P_u)成正比

螺旋槳轉速固定(風速 V)下，機殼面積(A)與氣流附壁的升力(P_u)成反比

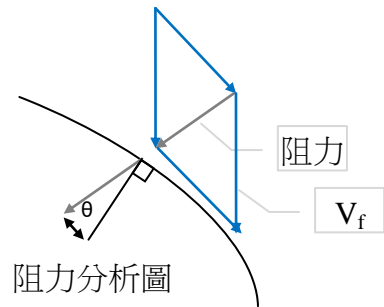
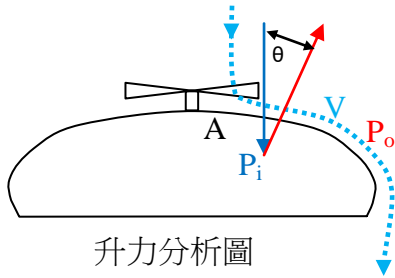
螺旋槳轉速(風速 V)與機身反扭的作用力(R)成正比

機身反扭的作用力(R)與垂直導流板的角度(I)成正比

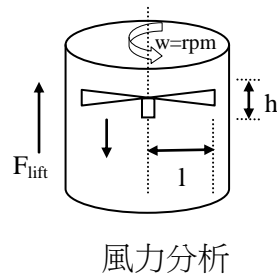
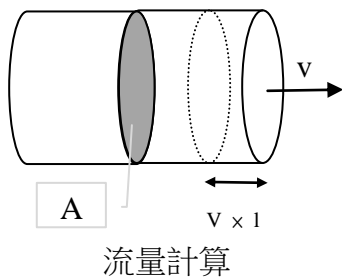
垂直導流板的角度(I)與氣流附壁的升力(P_u)成反比

整理出 升力 $F_{lift} = (p_i - p_o) \cdot A \cdot \cos\theta$ 經驗公式一

與 阻力 $F_{drag} = \rho \cdot v^2 \cdot \cos\theta$ 經驗公式二



其中 流速 $S = \rho \cdot A \cdot v$; 風力 $F = \rho \cdot A \cdot v^2$



計算流量 $S = \rho \cdot \pi l^2 \cdot h \cdot \omega = C_1 \cdot l^2 \cdot v$

換算升力 $F_{lift} = C_2 \cdot \rho \cdot \pi l^2 \cdot h \cdot \omega \cdot v = C_3 \cdot l^2 \cdot v^2$

換算阻力 $F_{drag} = S \cdot \Delta v \cdot \cos\theta = C_4 \cdot S \cdot v^2 = C^5 \cdot l^2 v^2$

(三)解析公式找出影響升力因素並設計調整：

- 1.機翼的面積：在螺旋槳所能提供機殼面積可及的風速下，決定機殼直徑與螺旋槳 2：1 的最佳比例
- 2.機翼形狀的升力係數：機殼弧度(水平方向)要讓氣流方向(垂直)產生較大的起伏差距，才能使空氣產生貼近表層的最大流速
- 3.提高空氣對機殼的流速：提高螺旋槳轉速或設計有效的集風功能的風罩，提高垂直導流板的效能，以最小反力矩的角度達到平衡反扭的作用力
- 4.空氣密度：速度固定流體的密度越大，所產生的壓力強度就越大，但在空氣的環境下，密度是固定的，所以增加流速便成為主要探討的方向

從公式解析可看出空氣相對於機殼的流速的影響最大，它直接影響到飛行器起飛時的升力取得，但飛機起飛可以透過高速或逆風滑行取得與空氣相對流速的提升，但幽浮飛行器只能透過螺旋槳對機殼氣流的平衡配比，與機殼弧面設計所產生氣流，因增速時相應所形成的附壁升力

討論二：根據實驗發現設計幽浮飛行器

一、機體外觀設計與製作

(一)先確定機殼外觀的高寬比由升力效果決定 1.5:1(高圓)和先平後凸的外觀比例但由於

- 1.兩者垂直的截面積較大，可能造成在水平方向飛行時的風阻
- 2.加上在對比 0.5:1(扁圓)和先凸後平的外觀後推測：造成外觀升力增加的原因，可能在於機殼頂部寬扁的形狀，有助於氣流轉折並快速朝橫向掃過頂部寬闊區域，造成附壁的向上吸力



厚紙板板型打樣



分析機體結構



試組裝調整結構設計

(二)決定機殼外觀的尺寸與材料規格

1.機殼形狀(底部直徑 50cm)

- (1)保留頂部寬闊區域提供附壁的向上吸力
- (2)去掉底部減少橫向截面的阻力
- (3)將底部內縮導引氣流向增加向下的反作用力

2.垂直導流板形狀位置與數量

- (1)形狀：以機殼曲面長度(39cm)分成八等分($4.875 \approx 5\text{cm}$)，做為垂直導流板(上水滴形)底部的基準長度
- (2)位置與數量：根據實驗三、四結果發現，以風力與半徑長度所形成最佳力矩的曲面位置 6/8 及最有效率的片數 24 片

3.水平移動板形狀位置與數量：水平移動板主要是提供前後或左右方向移動時所需的側向風力。但圓形機殼的周圍底部若只分成四片將不易維持圓弧形狀，若分成八等分，並取每等分的長度做為基準，再根據實驗五的結果，以機殼直徑(50cm)配合移動板長寬比(1:6)，換算約為 4cm：24cm 的最佳比例

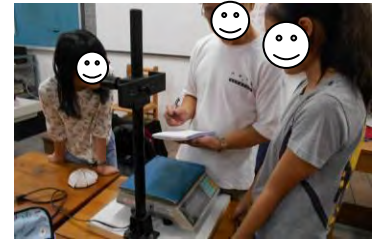
4.材料規格：為減輕重量又不降低結構強度，以模型板(1cm 厚)為骨架，並以泡棉墊(0.2cm 厚)為機殼蒙皮，加上碳纖維棒(0.2cm 粗)來強化骨架的結構



討論結構設計



測試材料工法



確定製作流程

(三)製作過程

- 1.根據機殼外觀弧線的剖面打版，在模型板上畫出骨架形狀，切割磨平後組裝拼貼
- 2.依骨架外觀描出蒙皮輪廓，剪裁後拼貼在骨架上
- 3.結構完成尺寸(高寬)重量：



板型打樣與切割



骨架切割打磨



完成骨架零件



組裝骨架



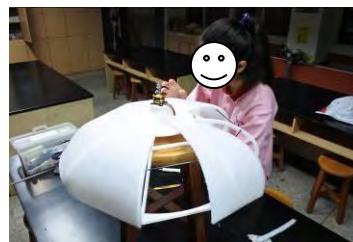
調整校正骨架結構



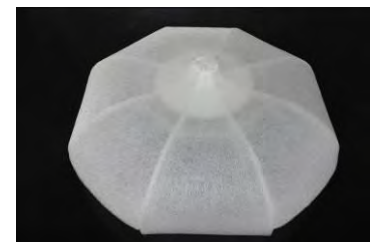
完成骨架



剪裁機身蒙皮



黏貼機身蒙皮

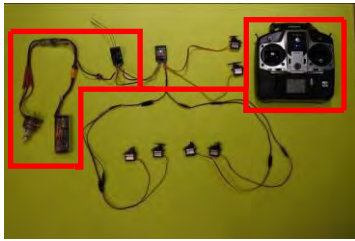


完成機身蒙皮

二、遙控模組設計與組裝

幽浮飛行器要能飛行，除了機體外要有能夠操控的動力，與飛行時能控制動作的系統，由於是首次嘗試自己設計飛行器，許多遙控的模組，就以現成的遙控直升機為藍本套用，並從遙控器模組、遙控發射主機、無線接收器的組裝與整合開始

- (一)動力控制設計：無刷三相馬達、電池，但由於電池只有正負兩極，必須透過電子變速器轉換，才能產生三相電流，接著再把電子變速器連接到無線接收器上，便能透過遙控主機來控制馬達轉速



動力遙控線路

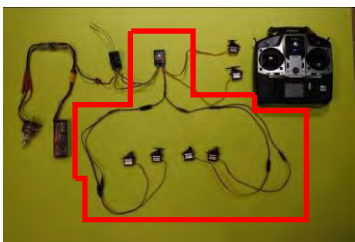


測試動力馬達操控

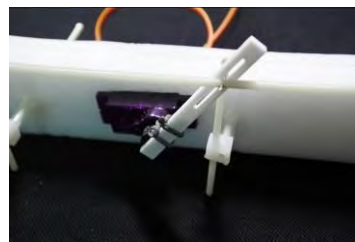


動力遙控組裝完成

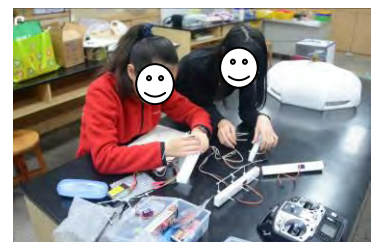
(二)垂直平衡設計：由於控制垂直平衡的舵面有四個方向，為了維持同步一致，只能從無線接收器的一組接頭，並聯出四組接頭，再分別連接到四個伺服器上，便可調控四面垂直導流板的傾斜角度



垂直平衡遙控線路

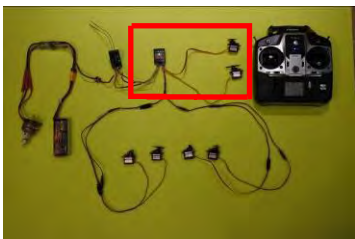


垂直平衡控制設計

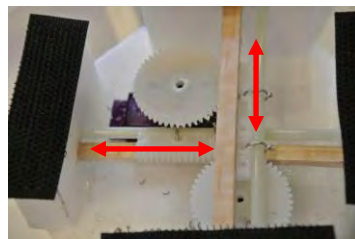


垂直平衡零件組裝

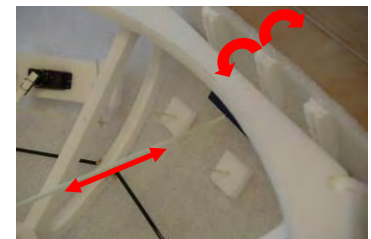
(三)平移控制設計：前進後退與左右移動的兩軸方向，由於是各自獨立運作，所以需要無線接收器的兩組接頭，再分別連接到兩個伺服器上，便可調控前後(兩片)與左右(兩片)水平位移板的傾斜角度



水平移動遙控線路

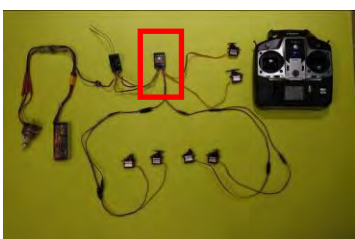


水平移動控制設計



水平移動零件組裝完成

(四)陀螺儀平衡控制：由於初次組裝時發現上方螺旋槳轉動時，機身反扭矩的力量會隨螺旋槳的轉速而改變，所以垂直平衡板的控制就會變得很困難，同樣的在水平方向，也會造成前後的晃動。經過請教專家後，建議最好加裝陀螺儀，可以及時反應並提供修正這些偏移，於是我們便在無線接收器與六個伺服器(垂直四顆、前後一顆、左右一顆)之間，加裝三軸的陀螺儀，在初步連接線路後發現，可以即時反應修正各種偏移與晃動



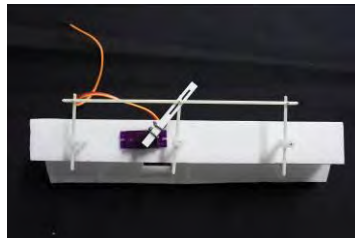
三、機體操控設計與製作

將遙控模組測試後組裝到幽浮飛行機殼內部後發現伺服器雖然能正確反應但垂直導流板與水平位移板必須透過有效的機械連動才能有效連結伺服器的運作

(一)垂直導流機械傳動設計：以自製玻璃纖維連桿的方式，來串聯三片垂直導流板的機械傳動，除了能保持同步外，同時利用可調式設計來調整連桿運動的行程與角度



垂直平衡機械連桿



垂直平衡機械模組設計

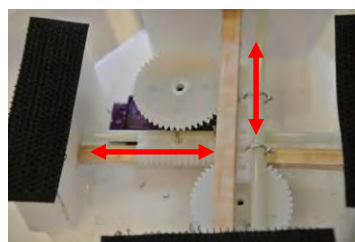


垂直平衡零件安裝完成

(二)水平移動機械傳動設計：在觀察兩側水平移動板的運作後發現，左右(或前後)不能同時收(或放)，而是當一邊展開時，對邊的另一側就要收起，不然會相互抵消，所以便把齒輪以塑鋼土黏在伺服器的動力推桿上，加上齒條也固定在移動板的推桿上，便可透過伺服器的齒輪連動推桿上的齒條，便能控制連趕來開關水平移動板



水平移動機械連桿



水平移動機械模組設計



水平移動零件安裝完成

(三)風罩集風設計：為了能讓風集中往下方，經測試後發現，必須在螺旋槳周圍加裝風罩以集中風力，而風罩高度比螺旋槳高 0.5cm、與螺旋槳距離 0.5cm、底部出風口高度 3.5cm



螺旋槳風罩設計



風罩與螺旋槳間距 0.5cm



風罩底部出風口高度 3.5cm

討論三：幽浮飛行器測試修正

一、升力測試

- (一)目的：測試幽浮機殼的附壁氣流最大升力。
- (二)方法：只留必要的機電結構，測試機殼最大的附壁升力。
- (三)發現與修正：升力大但反扭矩現象嚴重，若不修正反扭應力，會影響飛行時的操控。



二、風罩風壓測試

- (一)目的：測試風罩的風壓耐受度與最大出風量高度
- (二)方法：按住機殼用風速計在出風口測風速大小。
- (三)發現與修正：風罩太低，空氣擠在風罩上，使風罩膨脹；太高，空氣往下吹，使上方氣壓下降，造成風罩內縮，容易被螺旋槳打破。



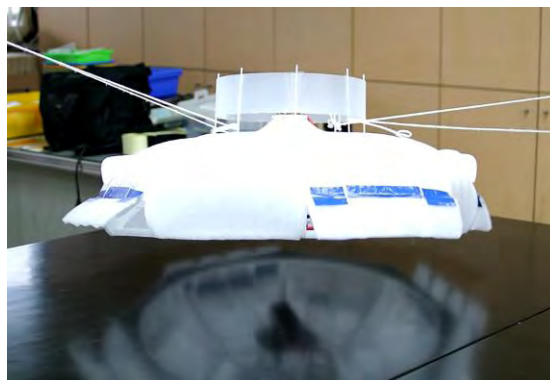
三、反扭應力修正測試

- (一)目的：測試垂直導流板修正反扭矩應力。
- (二)方法：紀錄修正反扭應力時垂直導流板的角度。
- (三)發現與修正：少而多片的導流板修正反扭的角度比大而少片的要大，使向下氣流的角度偏移而會影響飛行時的升力。



四、水平應力修正測試

- (一)目的：測試水平位移板修正平移控制。
- (二)方法：利用水平位移板升起時將向下的氣流轉向側邊使機體產生橫向的移動。
- (三)發現與修正：位移板升起角度過大，除產生橫移外還會使該側升力下降導致傾斜。

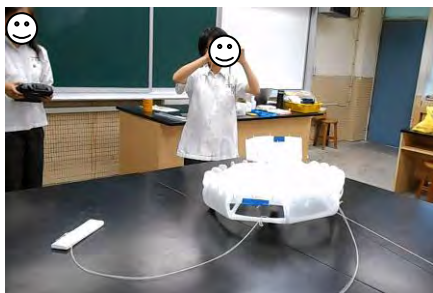


五、飛行器重心修正測試

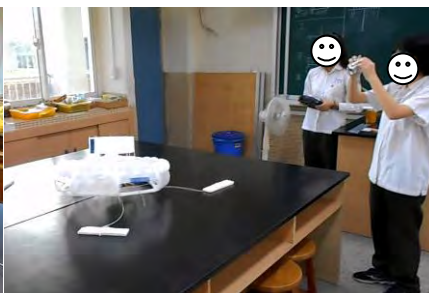
(一)目的：測試機殼飛行時重心偏移。

(二)方法：利用飛行器自由飛行時機殼傾斜情形。

(三)發現與修正：重心偏移會造成飛行時機體翻轉，此時需要調整機電零件的配重與平衡，並將重心降低。



反扭矩應力測試與調整一



反扭矩應力測試與調整二



風罩升力測試與修正



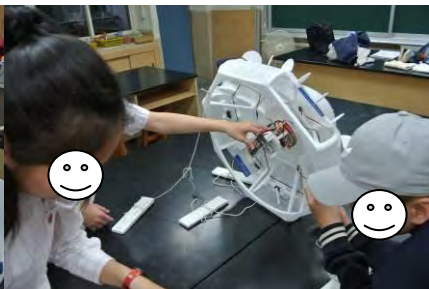
機體配重錯誤造成飛行時產生翻轉，使螺旋槳接觸地面，瞬間的反作用力造成機殼破裂



風罩出風口高度錯誤，產生風壓不平衡使風罩變形，一但接觸螺旋槳便會而爆裂



修理並修正風罩高度



調整機電重心配置一



調整機電重心配置二

討論四：幽浮飛行器測試飛行

一、測試幽浮飛行器

(一)目的：

- 1.測試幽浮機殼的附壁氣流對飛行升力的提升效果
- 2.測試幽浮飛行器的載重和續航能力之間的最佳配比

(二)附壁氣流提升效果與載重力測試：

1.測試方法：

- (1)馬達在三種電池的電力下，比較馬達在有無幽浮機殼時，最大載重量的差異
- (2)比較以三種電池，分別將螺旋槳調至極速後，在電池下方不斷加掛黏土，直到無法起飛為止，此時黏土的重量就是電池對飛行器的最大載重量

$$\text{最大載重量} = \text{飛行器重量} + \text{電池重量} + \text{黏土重量}$$

2.結果：

表：幽浮飛行器附壁升力與載重測試

| 電池種類 | 1300mA | 1850mA | 2250mA |
|--------|-------------|-------------|-------------|
| 電池重量 | 113g | 154g | 182g |
| 馬達推力 | 1078g | 1105g | 1121g |
| 機殼空重 | 563g | 563g | 563g |
| 機身總重 | 676g | 717g | 745g |
| 最大負載重量 | 567g | 560g | 563g |
| 機殼附壁升力 | 165g | 172g | 187g |

The graph displays four data series across three battery types (1, 2, 3). The Y-axis ranges from 0 to 800g. The series are: 電池重量 (Battery weight), 機身總重 (Total body weight), 最大負載重量 (Maximum load weight), and 機殼附壁升力 (Lift from the fuselage). The maximum load weight is consistently around 560g, while the total body weight increases from approximately 676g to 745g as battery capacity increases. The lift from the fuselage increases from 165g to 187g.

3.發現：

- (1)機殼弧面形狀可提供氣流附壁作用時的額外的升力，且風力越強升力提升效果越好
- (2)電池的電力容量(1300~2250mA)對馬達推力提升(1078~1121g)有限，但反而會因電池的重量過重(113~182g)，反而減少了所能負載的重量(567~563g)
- (3)提高升力因素：機殼附壁升力 > 電力容量
降低升力因素：機殼重量 > 電池重量 > 垂直導流板風力方向
- (4)機殼重量太重會抵消額外的升力，所以如何有效地將機殼的重量減輕將是有效提升附壁氣流效應的有效方法

(二)幽浮飛行器載重與續航配比測試：

1.測試方法：

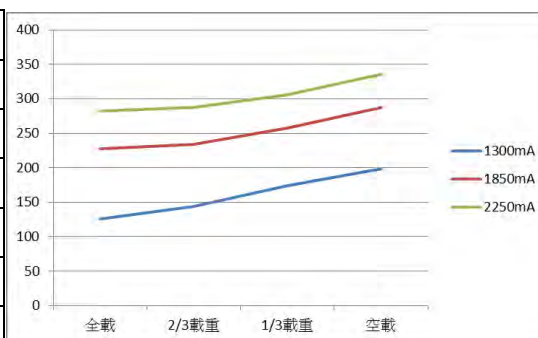
(1)馬達在三種電池的電力下，比較在不同載重的情況下，最大續航時間的差異

(2)比較以三種電池，分別將螺旋槳調至極速後，比較在電池下方分別掛 150g、300g、450g 的黏土，記錄不同載重時的續航時間

2.結果：

表：幽浮飛行器載重與續航配比測試

| 電池種類 | | 1300mA | 1850mA | 2250mA |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| 機身總重 | | 676g | 717g | 745g |
| 最大負載重量 | | 567g | 533g | 520g |
| 載重 | 全載 | 126 | 228 | 282 |
| 續航 時間 (秒) | 2/3 載重 | 144 | 234 | 288 |
| | 1/3 載重 | 174 | 258 | 306 |
| | 空載 | 198 | 288 | 336 |



3.發現：

(1)動力全開情況下，載重越重，續航時間越短

a.全載與 2/3 載重的續航時間差不多

b.1/3 載重的續航時間時間介於中間

(2)電池容量對飛行續航的增幅要比載重明顯

a.比較電池單位重量的電力(mA/g)，11.5：12：12.4 可看出 2250 mA > 1850 mA > 1300 mA

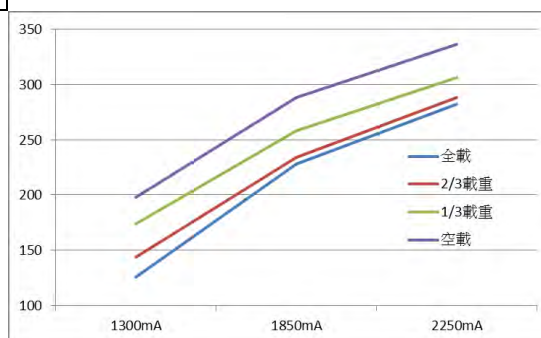
b.對比全載續航時間比值 2.24：1.8：1 比單位重量電力比值 1.73：1.4：1 高出許多

(3)載重、電池容量與飛行時間有一最佳配比值

a.最佳的負載重量約在 1/3~1/2 負載，換算約為 150~225g 之間

b.由續航時間與單位重量的電力比，可看出 2250 mA 的電池電能使用較有效率

(4)在能載重起飛的情況下，動力儘量減少全開，能有效延長飛行器續航時間



柒、結 論

一、利用自製的附壁效應實驗組，透過實驗，找出飛行器**機殼長寬比弧面**、**垂直導流板形狀**、**作用位置**、**水平移動板長寬比**等氣流附壁效應間的連動關係，並歸納出飛行變項的**最佳組合**，成為**飛行器**的設計基礎，以常用材料套件進行加工組裝，最後成功自製出具飛行能力的**幽浮飛行器**。

二、由外觀與飛行模式推估升力與阻力來源

(一)升力：氣流附壁作用時的向上吸引的升力，與氣流向下產生反作用力時的推力。

(二)阻力：當垂直導流板傾斜角度以平衡螺旋槳轉動時所產生的反扭矩作用力時，因改變風的下吹方向而減少推力。

三、幽浮飛行器飛行變項歸納

(一)機殼外觀：先高後凸的機殼弧面，能有效透過氣流附壁作用產生向上的吸力。

(二)螺旋槳：尺寸會影響機體的受風範圍與反扭矩的力量，實驗發現以高轉速(強風)與 1/2 機殼直徑的螺旋槳長度所形成的風場，對附壁氣流產生的升力最佳。

(三)垂直導流板

1.面積：「小而多」比「大而少」較能對附壁的氣流進行控制，但同時也會因改變氣流向下的角度而降低升力。

2.形狀、位置、數量：考量耗損最少升力與增加最大操控性，經實驗發現，垂直導流板以「上水滴形狀」、「6/8 機殼弧面位置」、「24 片」為最佳的平衡規格。

(四)水平移動板：根據實驗發現以 1:6 面積長寬比做為理想的面積比。

四、除必要的電子遙控與動力為現成之外，機殼、機械連桿與所有的測試工具全為自製，在組裝中發現優化的單一變項在相互整合時會產生相互影響，必須進行調控：

(一)附壁升力處要作用在頂部，於是將機殼弧面由低圓球面修飾成非球面的弧形曲線，並截掉下半段，如此既不會降低升力又可減重。

(二)機身反扭矩的力和螺旋槳長度、轉速成正比，若用於修正反扭矩的力過多的話，將會分掉有限的升力。

(三)若小而多片的垂直導流板修正反扭矩角度會比大而少片相同面積的要大，若修正的角度過大，也會分掉有限升力，但小而多片操控附壁氣流的效果又比大而少片有效。

(四)升起的水平移動板會將原本向下的氣流轉向水平側邊使機體產生平移，但也會造成升力不足而傾斜。

五、自製幽浮飛行器系統模組

(一)飛行載具機殼：以保麗龍板與泡棉，根據實驗所得，將優化的機殼長寬比與弧面形狀，搭配最佳化形狀、位置與數量的垂直導流板及水平移動板。

(二)機械操控模組：將碳纖維、塑膠棒與齒輪，加工製作機械連桿，以連接遙控伺服器，來控制垂直導流板對螺旋槳轉速進行同步的反扭矩修正，與水平位移板的開關動作。

(三)動力遙控模組：以直升機的遙控模組為藍本，根據幽浮飛行器的飛行需求組裝並整合馬達動力、機械調整飛行動作與陀螺儀平衡，最後透過遙控主機進行飛行控制。

六、幽浮飛行器試飛效果

(一)可有效增加氣流附壁作用時額外的升力 16.7%，且風力越強升力提升的比例就越高。

(二)最佳的負載重量約在 1/3~1/2 負載(全載 450g)，換算約為 150~225g 之間。

(三)由續航時間與電池單位重量的電力比，可看出 2250 mA 的電池比較有效率。

(四)在能載重起飛的情況下，動力儘量減少全開，能有效延長飛行器續航時間。

七、幽浮飛行器載具的設計主要在探討不同於四軸機的飛行型態

(一)單槳幽浮飛行器不同於四槳的四軸機和直升機，在開發新型態的飛行器上，相當具有探討的價值。

(二)雖然機殼較大且有重量，但若機殼外觀設計得宜，且所增加氣流附壁的升力能比機殼的重量要多，便能應用康達效應有效提高飛行器額外的升力，

八、研究的重要性

(一)首次對康達幽浮飛行器的飛行模式與實用性進行探討與試作，不同於四軸飛行器只有單一的反作用力氣流所提供的升力，還對氣流附壁所提供的額外升力進行實驗與應用

(二)針對探討附壁氣流的現象自製簡易精確的實驗，應用實驗發現，成功製作出我們能力所及的飛行載具

九、未來發展

(一)馬達、電池與遙控模組重量無法輕量化，只能從機體材料與機械傳動控制來減重，受限於能力與技術，機殼(563g)還有很大的輕量化空間，如此一來更能讓自製新型態的飛行載具更具實用性。

(二)將自製的飛行載具，結合無線攝影機與其他測量儀器進行滯空錄影及測量

十、心得感想

參加今年的科展和比賽，幾近半年的實驗、研究、磨練與學習，為我平凡的學生生活在新的一頁增添了許多色彩。

繼去年科展後，繼續延伸這「科展生活」的我，有了這個既有趣又好玩的題目。可以做幽浮、親眼看著它飛起這件事帶給我很大的成就感。雖說在完成它的過程中會遇到種種需要思考的時刻，但最終它還是完成了。

望它潔白的身軀，我滿心歡喜。跟著同組組員，在老師的指導下，辛苦做出的成果就在眼前。過程中我學到了不少，在我不斷前進的人生中畫上了許多知識與歡樂的色彩。

能有幸參與這過程，並加入製造、及討論，我很開心，這將會是我一生難忘的經驗。

捌、參考資料

楊憲東(2013)：假飛碟才是真科學。台北：紅螞蟻圖書有限公司。

康達效應飛碟(2012)。網址：<http://bbs.kechuang.org/read/48884>。

神奇的康達效應-帶你裝 X 帶你飛(2015)。網址：<http://news.mydrivers.com/1/444/444490.htm>。

The GFS-UAV model N-01A-A Coanda effect flying saucer(2006) 。網址：

<http://jlnlabs.online.fr/gfsuav/gfsuavn01a.htm>。

【評語】 030116

1. 研究主題有趣。
2. 有效數字取捨不一致。
3. 部分物理量無單位標示。
4. 實驗構件精巧。
5. 實驗結果豐碩。

作品海報

摘要

去年根據附壁效應試驗出幽浮飛行器了解氣流對飛行影響很大值得細探，今年更對外殼弧面、垂直導流板與水平移動板進行改造，發現

- 1.機殼弧面改成**低圓**，不會降低氣流附壁升力又可**減重**。
- 2.機身反扭矩力與**螺旋槳長度對轉速**成正比。
- 3.小面積的垂直導流板修正反扭矩角度過大會**耗損升力**。
- 4.水平移動板將向下氣流轉向水平側邊過多也會影響升力。

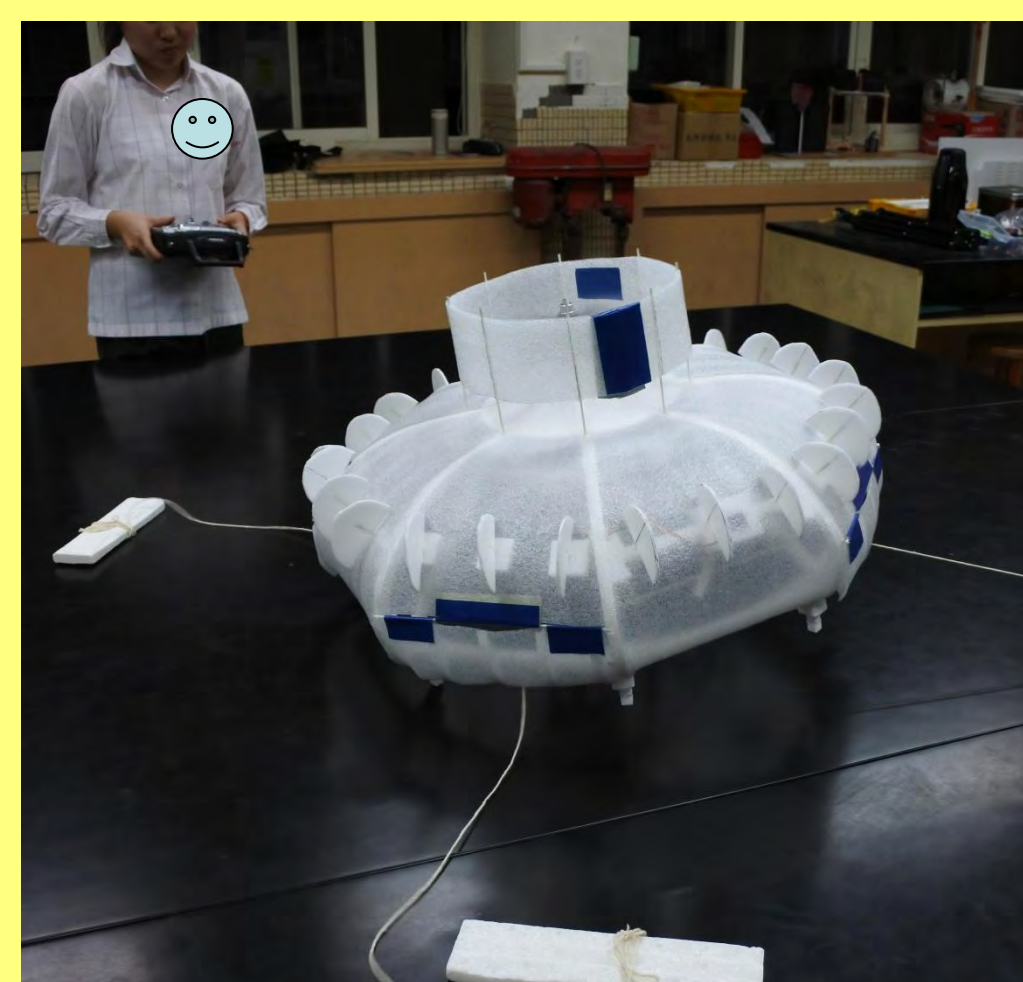
利用附壁實驗發現，成功自製**幽浮飛行器**，測試發現：機殼表面氣流附壁吸力有效提升**16.7%**；載重可達**500g**，且與續航時間成反比。



關鍵詞：康達效應、飛行器、氣流

壹、研究動機

去年根據附壁效應試作出第一代的幽浮飛行器，過程中發現氣流對飛行器的影響很大，一旦外觀弧度調整後連帶的垂直導流板的尺寸、出風罩開口的高度都要跟著調整，加上少了像直升機的尾翼，造成螺旋槳的長度與轉速都會影響反扭矩應力的大小，要如何透過垂直與水平導流板的控制，解決反扭矩應力及操控問題，值得仔細探討。去年受限時間與材料技術，機體無法完全解決飛行時的氣流問題，今年重新設計實驗與器材，希望突破去年的困難。

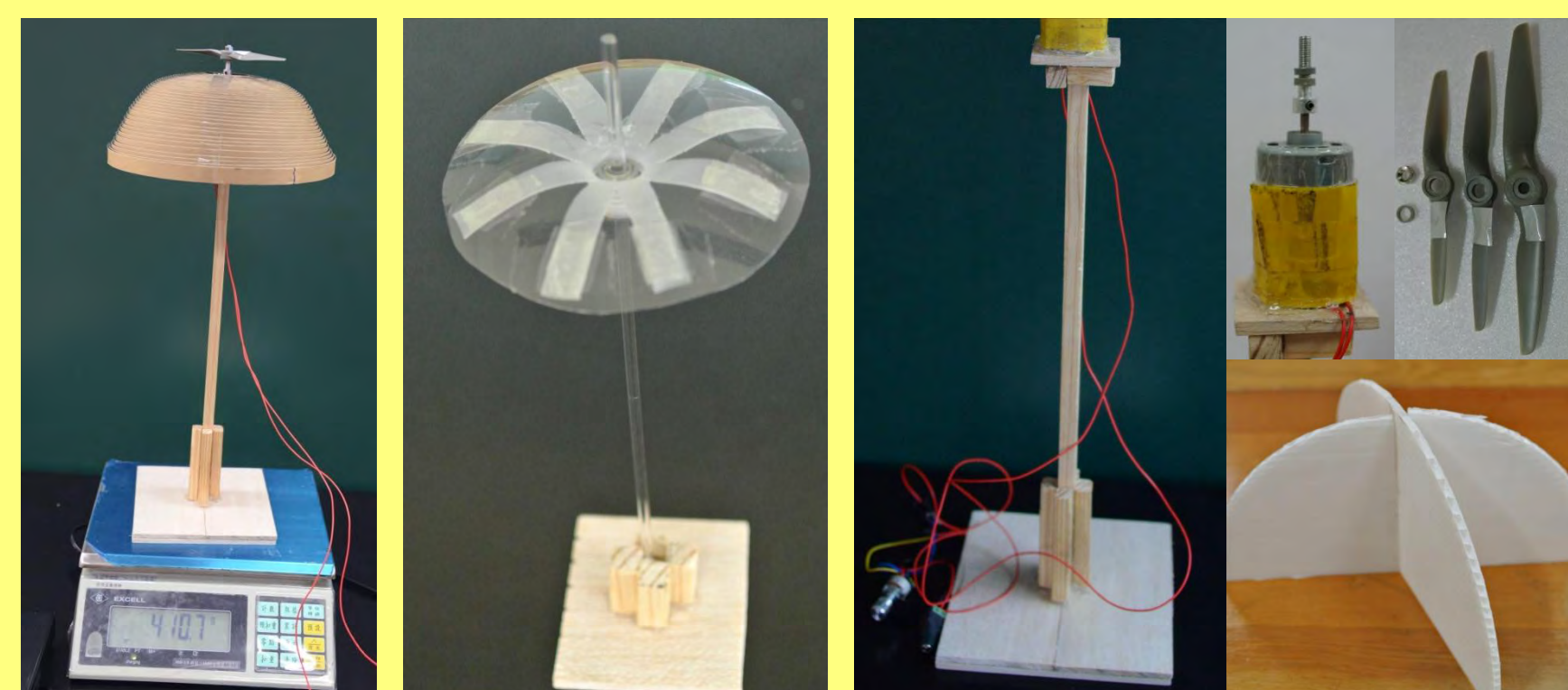


貳、研究目的

- 一、探討影響氣流附壁效果的外觀變項。
- 二、利用外觀變項提升幽浮飛行器的效能。
- 三、設計與組裝飛行器內部的機電結構。
- 四、整合與測試幽浮飛行器的飛行效能。

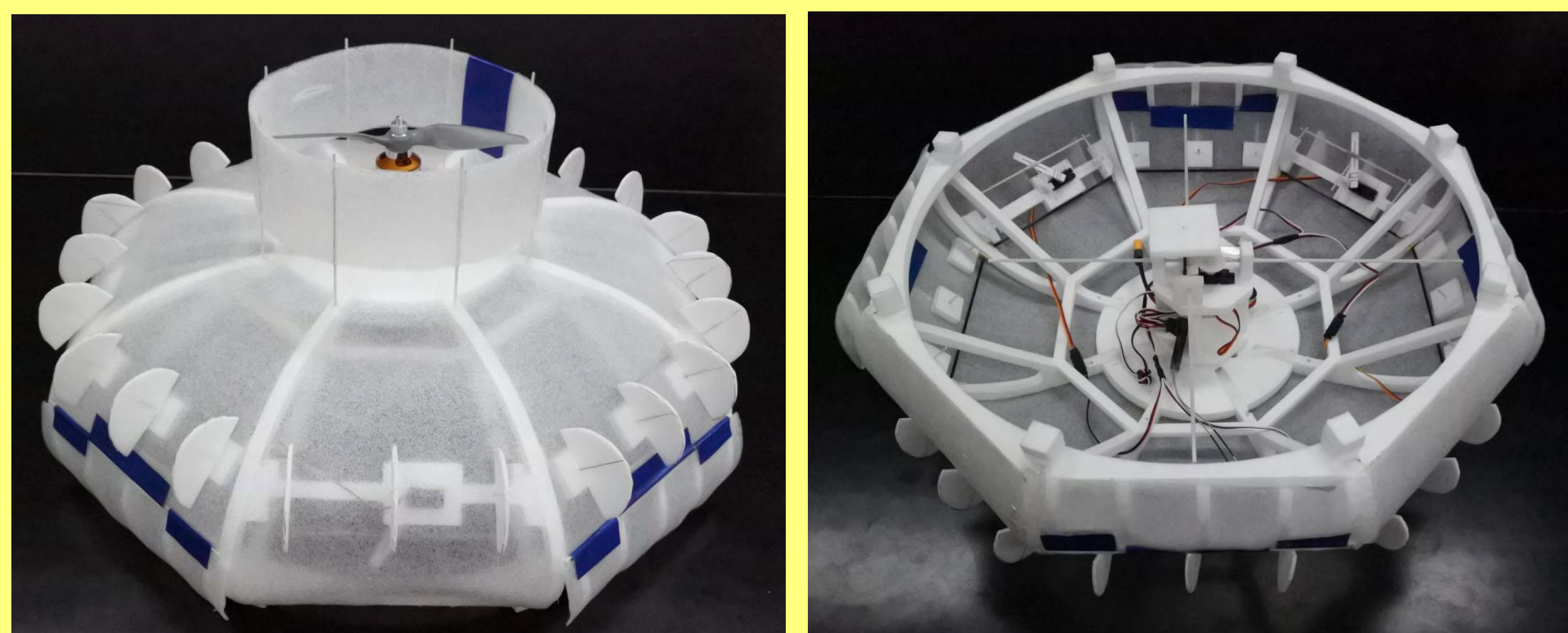
參、研究設備及器材

一、自製附壁效應實驗器材

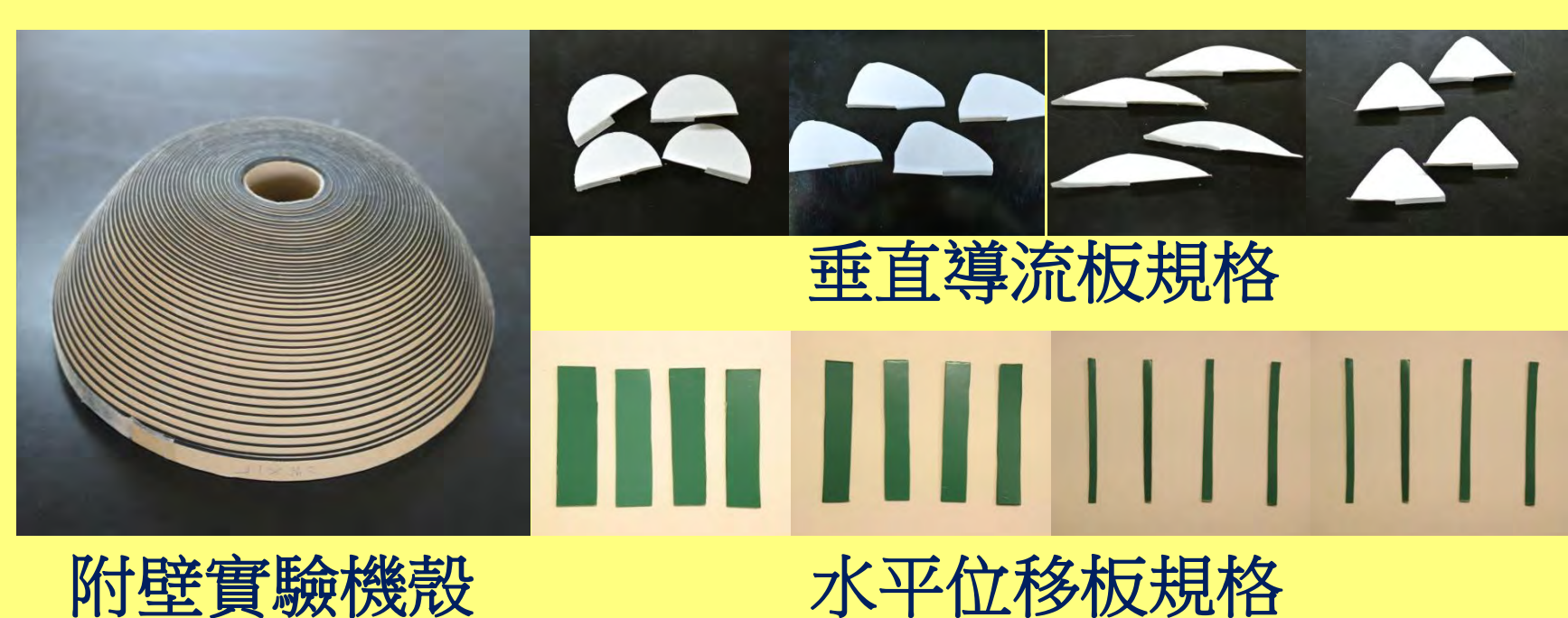


升力測試 垂直導流測試 動力控制機台模組

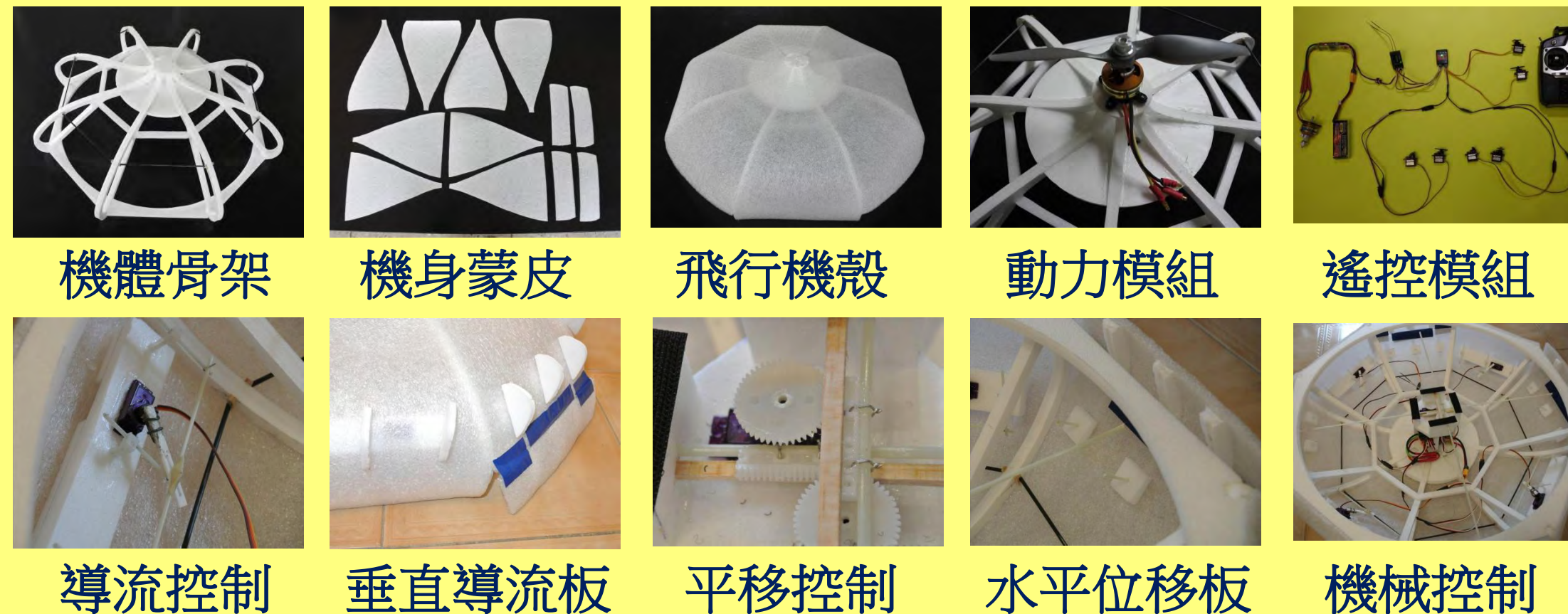
三、自製幽浮飛行器



二、附壁效應實驗變項器材



附壁實驗機殼 垂直導流板規格 水平位移板規格



機體骨架 機身蒙皮 飛行機殼 動力模組 遙控模組
導流控制 垂直導流板 平移控制 水平位移板 機械控制

肆、研究過程與方法

一、實驗變項設計

1.機殼形狀對氣流附壁升力的影響
方法：比較**1:1**、**0.5:1**、**1.5:1**、先凸後平、先平後凸形狀的升力。



2.導流板形狀對旋轉控制力的影響
方法：比較半圓、高圓、扁圓、上水滴、下水滴形狀的旋轉控制力。



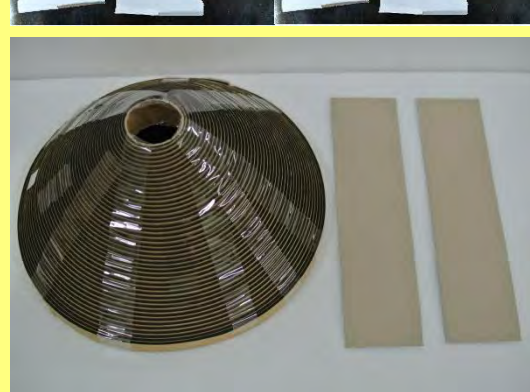
3.導流板位置對旋轉控制力的影響
方法：比較導流板在機殼**1/8~8/8**八個高度時對機殼的旋轉控制力。



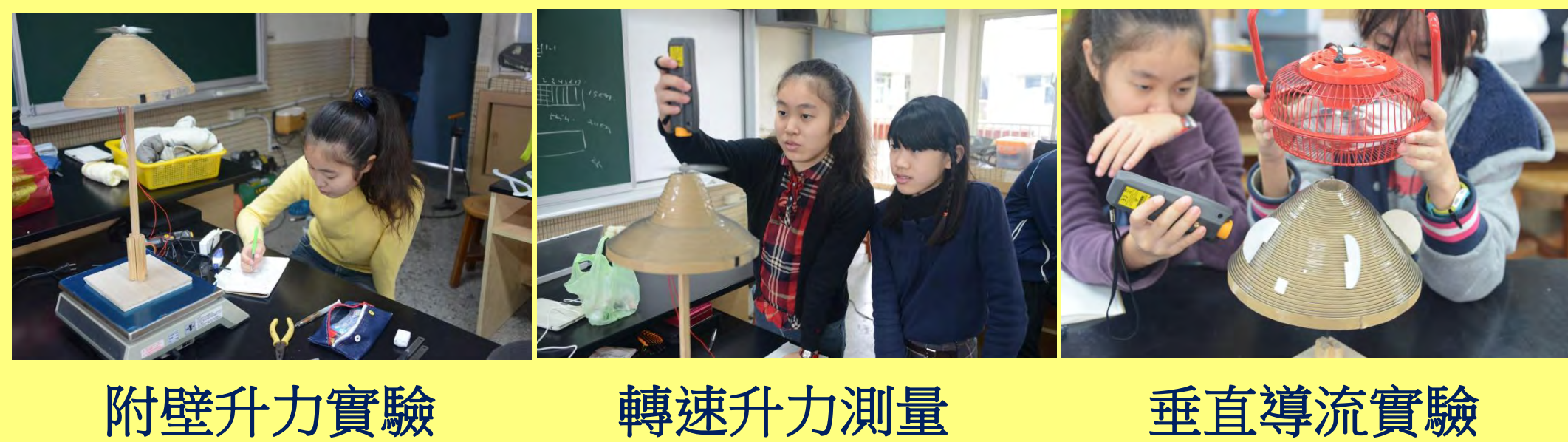
4.導流板數量對旋轉控制力的影響
方法：比較導流板數量**4~32**片時對機殼的旋轉控制力。



5.水平位移板比例對平移的影響
方法：比較**1/4~1/16**五種不同長寬比的位移板對機殼平移的控制力。

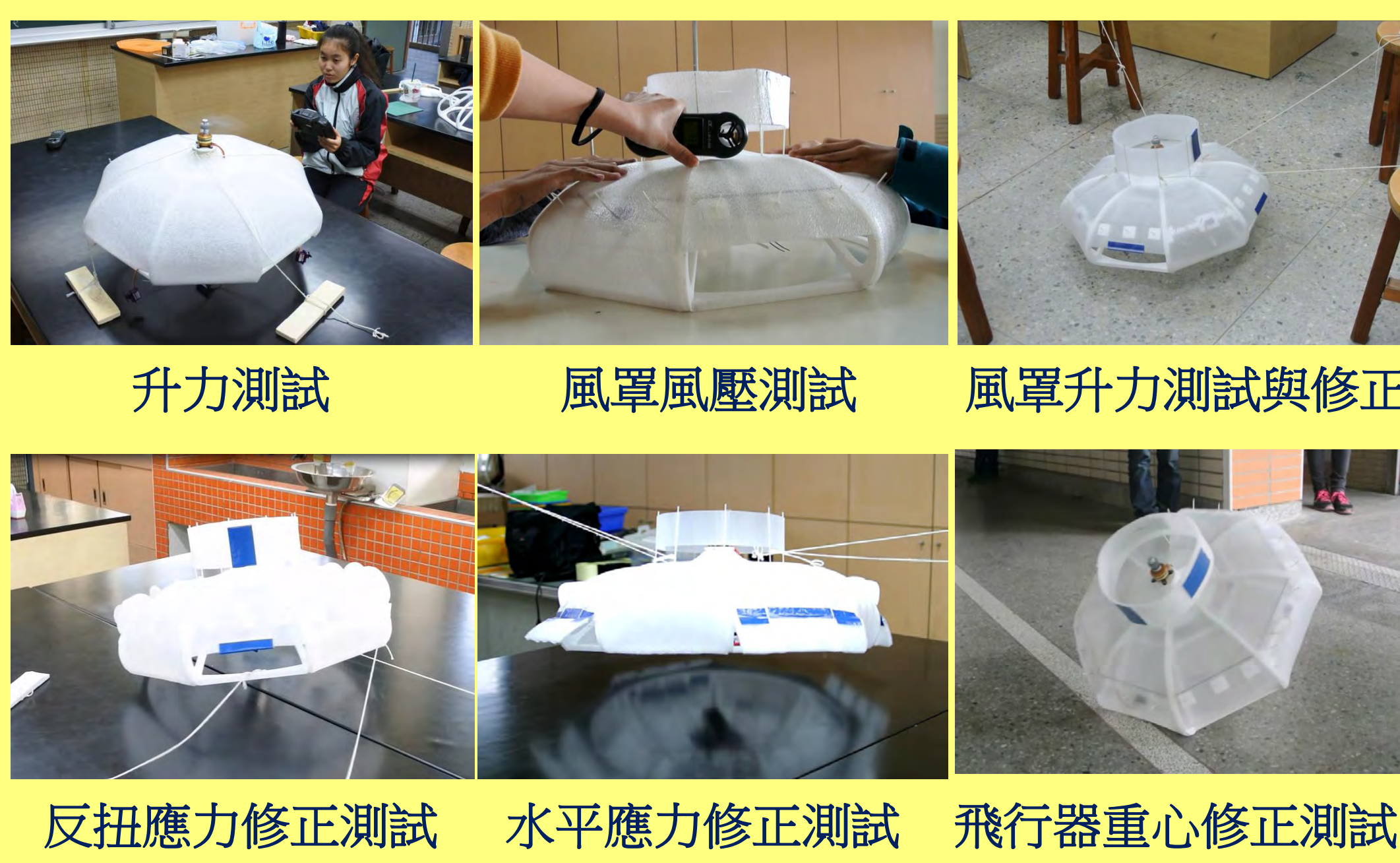


二、實驗操作過程



附壁升力實驗 轉速升力測量 垂直導流實驗

三、幽浮飛行器測試修正



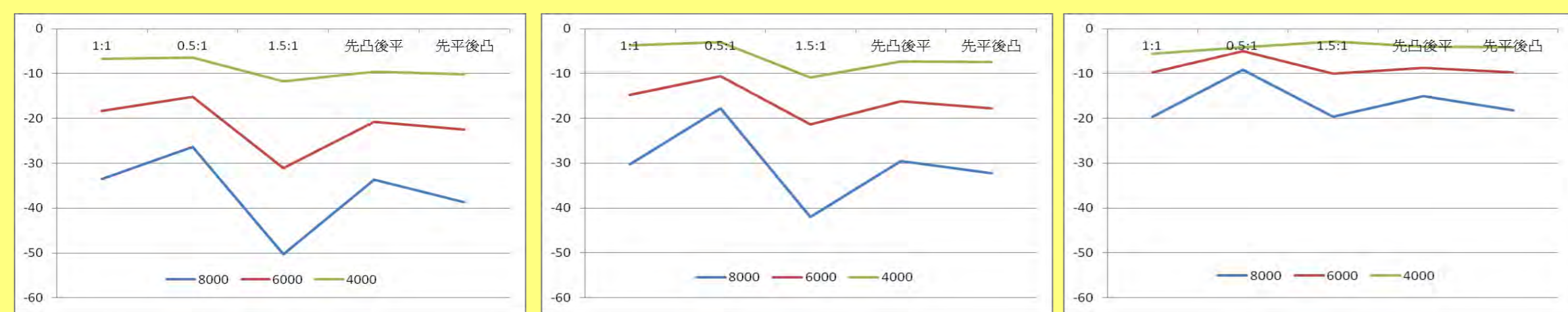
反扭應力修正測試 水平應力修正測試 飛行器重心修正測試

伍、研究結果

實驗一：機體表面弧度的高寬比對氣流附壁升力的影響

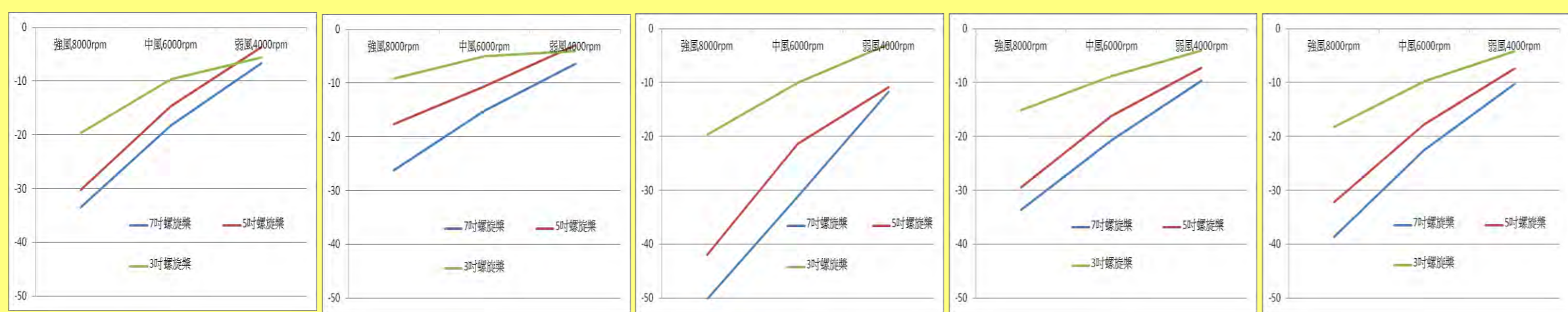
結果：

- 1.機殼形狀升力：高圓>先平後凸>先凸後平>半圓>扁圓
- 2.大螺旋槳高轉速對機殼所產生升力的差距比低轉速明顯
- 3.螺旋槳轉速對升力所的影響，比螺旋槳尺寸要明顯。
- 4.大螺旋槳在無機殼時，在8000rpm產生淨升力(-13.3g)，證明機殼形狀確實能比無機殼提高額外升力。
- 5.螺旋槳尺寸越大升力增幅會下降，推算螺旋槳長度與機殼直徑以不超過機殼直徑的一半為原則。



大(左)、中(中)、小(右)尺寸螺旋槳在強、中、弱的風力下對機殼弧面的升力效果

- 6.從風速與範圍，對不同形狀機殼的升力看出：機殼弧面長寬比、風力範圍與強度三者間有明顯的相互影響。
- (1)高圓+小螺旋槳組合，比寬扁+中螺旋槳的升力好，證明形狀的附壁升力可彌補風力強度與範圍不足。
- (2)半圓與寬扁在中螺旋槳、4000rpm，升力比小螺旋槳低，看出螺旋槳要6000rpm才能發揮氣流附壁升力效能。
- (3)綜合寬扁與高圓形產生的先凸後平與先平後凸，升力有明顯差異，看出氣流在不同弧面高度空氣流速會不同。
- 7.幽浮飛行器機殼外觀弧面決定採先平後凸的設計，並減少過多的截面，以降低飛行阻力。



機殼形狀(半圓、扁圓、高圓、先凸後平、先平後凸)對各強度範圍氣流的附壁升力

實驗二：垂直導流板的形狀對機體旋轉控制的影響

結果：

- 1.垂直導流板效果：上水滴>半圓>下水滴>扁圓>高圓
- 2.導流板最高點若與機殼最大氣流接近，導流效果會最好
- 3.扁圓雖然底部長度最長，但因高度較低，氣流有效的作用面積反而變少，使得導流的效果反而不如預期。
- 4.高圓轉速最低是因為高度超過附壁的氣流，使得有效導流面積變少，加上高度高，轉動也會產生風阻。
- 5.根據發現，決定以上水滴形，做為最佳化垂直導流板的形狀。

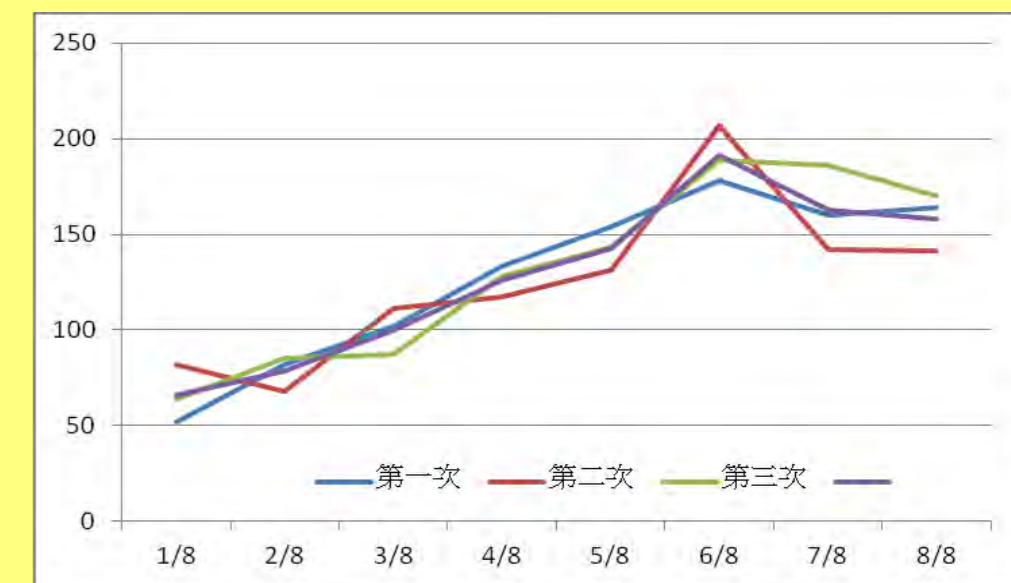


垂直板形狀對機體旋轉控制的影響

實驗三：垂直導流板的位置對機體旋轉控制的影響

結果：

- 1.導流板位置效果：6/8>7/8>8/8>5/8>4/8>3/8>2/8>1/8
- 2.導流板的轉動受到附壁氣流強度和旋轉機身力矩的影響
- 3.離中心遠氣流強度低但附壁作用可提高流速和力矩力
- 4.附壁氣流和距離成反比而旋轉機身力矩則和距離成正比
- 5.導流板適當位置，可提高對機體旋轉控制的效果。
- 6.根據發現，決定以6/8機殼距離做為最佳化導流板的位置。



垂直板位置對機體旋轉控制的影響

實驗四：垂直導流板的數量對機體旋轉控制的影響

結果：

- 1.導流板數量效果：32 > 28 > 24 > 20 > 16 > 12 > 8 > 4
- 2.增加導流板數量可在不增加風力下提高機體轉向控制
- 3.數量增到24片轉速增幅降低看出數量對轉向控制有極限
- 4.數量不足無法充分利用附壁氣流的推力，但數量過多則會對氣流造成阻力降低導流板效果
- 5.根據發現，決定以24片做為最佳化導流板的數量。

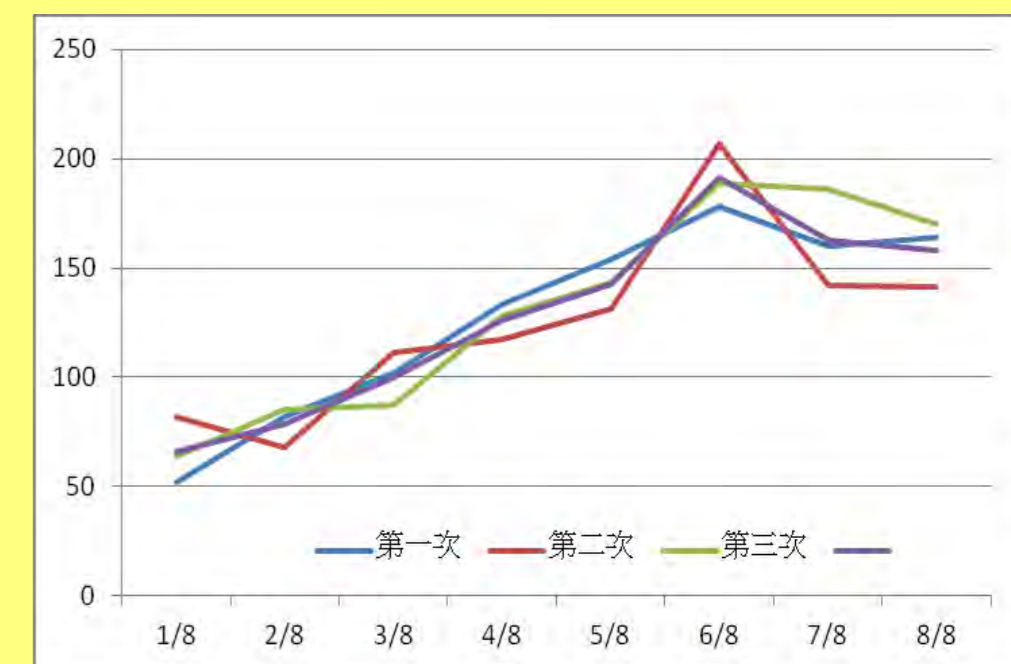


垂直板數量對機體旋轉控制的影響

實驗五：水平移動板的形狀對機體平移控制的影響

結果：

- 1.平移板效果：1:4 > 1:6 > 1:8 > 1:12 > 1:16
- 2.水平移動板的面積越大，平移控制的效果就越好
- 3.面積增到1:6平移增幅降低看出面積對平移控制有極限
- 4.面積不足無法充分利用壁氣流的推力，但面積過大則會對氣流造成阻力降低平移板的效果
- 5.根據發現，決定以1:6面積長寬比做為最佳化平移板的比例



水平板對機體平移控制的影響



陸、討論

討論一：分析機殼、導流板與位移板變項間的相互影響

一、分析幽浮飛行器飛行變項間的交互影響

1.參考白努力定律

$$P + \rho gh + \frac{\rho \times v^2}{2} = c$$

(P=壓力強度；ρ=流體密度；v=流體速度；c=常數)

2.對照公式分析飛行器升力與氣流附壁變項間的相互影響

- (1)面積(A)固定，風速(V)與氣流附壁升力(P_u)成正比
- (2)風速(V)固定，面積(A)與氣流附壁升力(P_u)成反比
- (3)螺旋槳轉速(風速V)與機身反扭的作用力(R)成正比
- (4)機身反扭的作用力(R)與垂直導流板的角度(I)成正比
- (5)垂直導流板的角度(I)與氣流附壁的升力(P_u)成反比

整理出

$$\text{升力 } F_{lift} = (p_i - p_o) \cdot A \cdot \cos\theta \quad \text{阻力 } F_{drag} = \rho \cdot v^2 \cdot \cos\theta$$

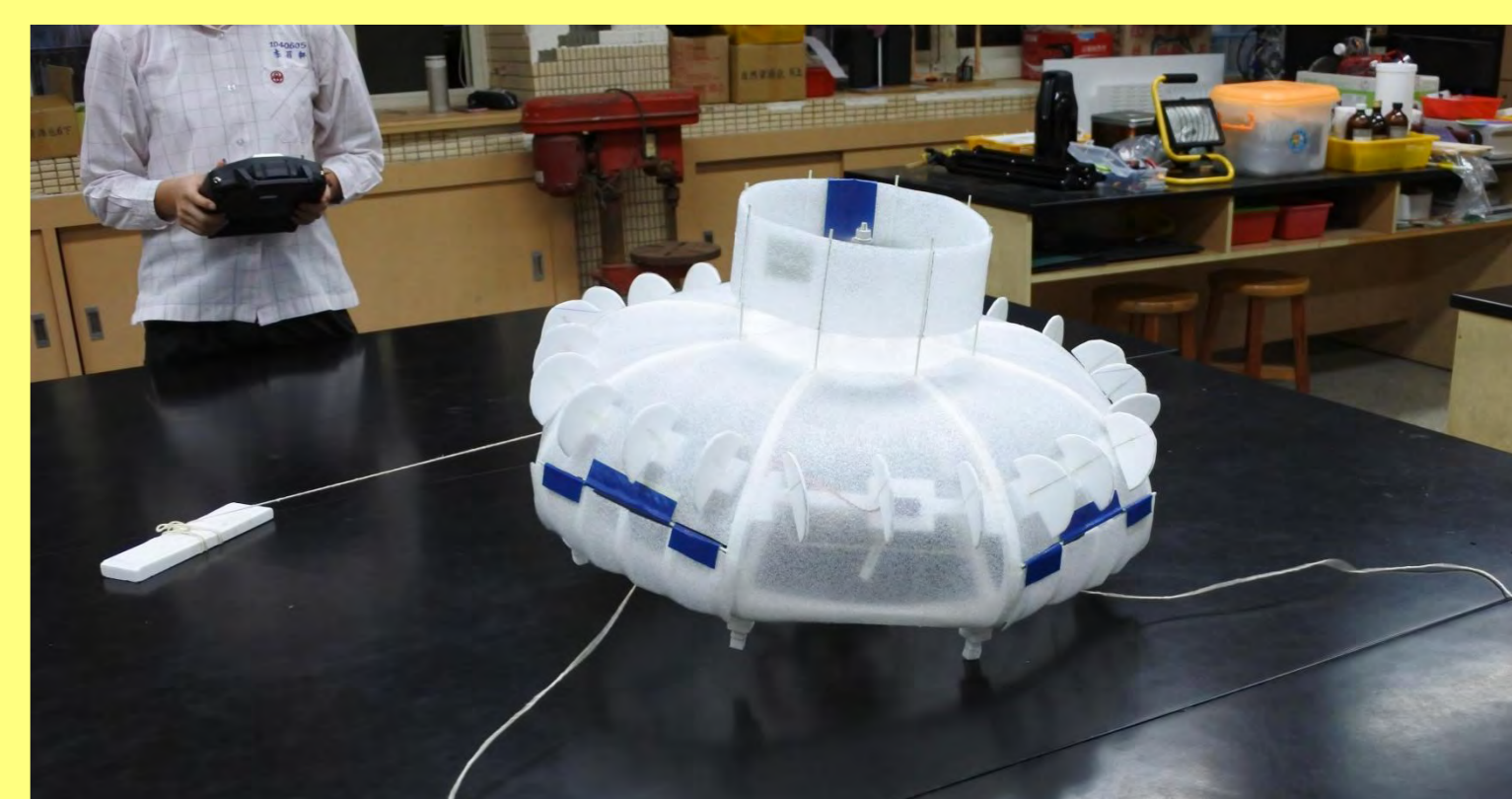
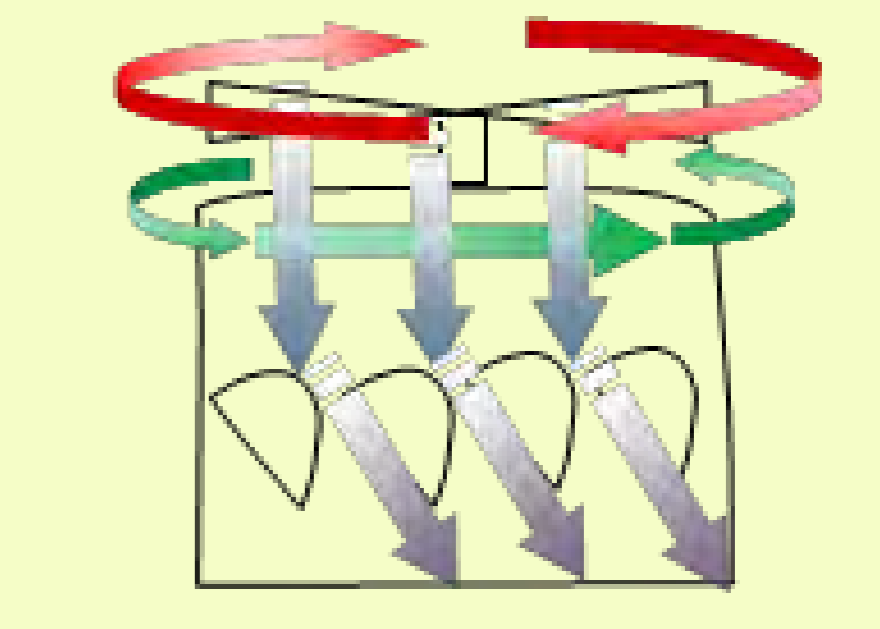
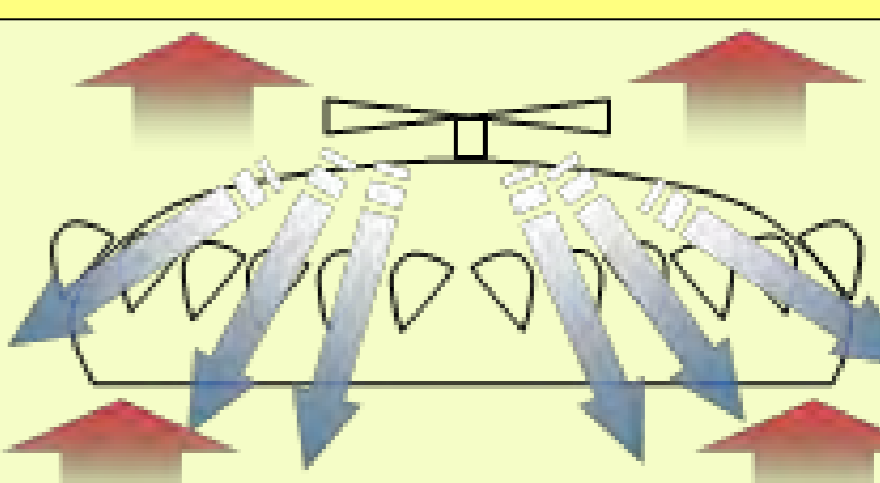
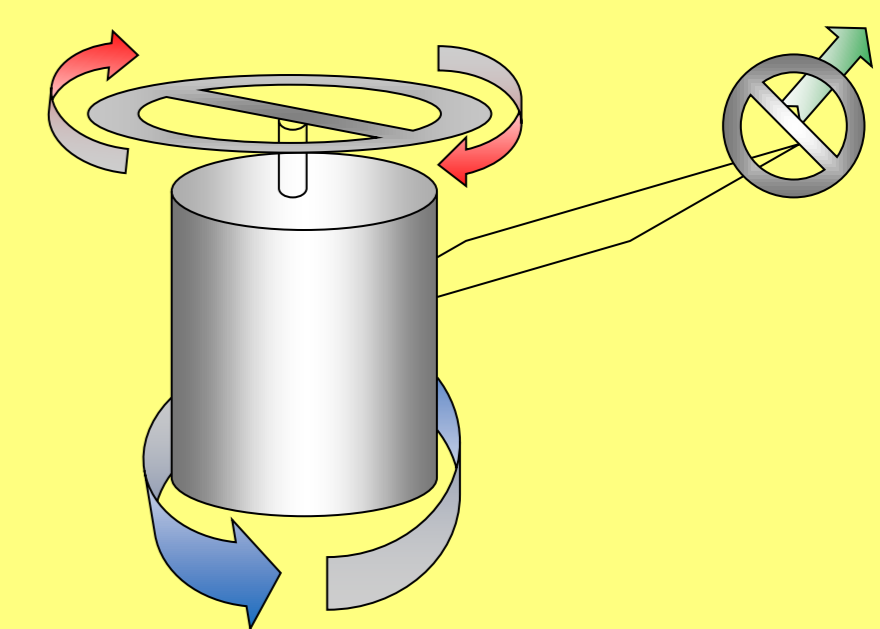


3.解析公式找出影響升力因素並設計調整

- (1)機翼面積：機殼直徑與螺旋槳保持2：1的最佳比例
- (2)機翼升力：弧度讓氣流產生差距，使空氣產生最大流速
- (3)提高機殼空氣流速：提高螺旋槳轉速、設計集風罩、提高垂直導流板的效能
- (4)空氣密度：由於空氣密度固定，便以增加流速為主

二、幽浮飛行器飛行模式解析

- 1.螺旋槳旋轉產生升力，同時也會因反扭使機體旋轉。幽浮飛行器無法像直昇機在尾翼加裝抵銷反扭力量的螺旋槳，只能利用機身上垂直導流板，以相反傾角抵銷反扭力量。
- 2.由實驗發現推估機殼外觀：高圓與先平後凸兩者的中間型，把下端陡坡處移除，並將底部周圍內縮進來
- 3.由外觀飛行模式推估升阻力來源
 - (1)升力：a.附壁氣流的向上吸力
b.氣流向下推力
 - (2)阻力：為抵銷螺旋槳的反扭矩力須調整垂直導流板角度讓下吹的風轉向右側吹出而降低向下推力
- 3.有效率的葉片最寬處要遠離軸心同時要避開葉片末端風阻
- 4.有效率導流板要以最小偏轉角度就能平衡反扭矩力量。以附壁氣流特性相同面積導流板小而多片比大而少片效果好



討論二：根據實驗發現重新設計改良幽浮飛行器



討論三：幽浮飛行器測試飛行

一、附壁升力與載重測試

- 1.機殼形狀可提供氣流附壁作用時的額外升力，且風力越強升力提升效果越好。
- 2.電池容量對馬達推力提升有限，會因電池重量過重反而減少所能負載的重量。
- 3.提高升力：機殼附壁升力 > 電力容量
降低升力：機殼重 > 電池重 > 反扭導流風向
- 4.機殼太重會抵銷額外升力，如何減輕機殼重量是提升附壁氣流效應的有效方法。

二、載重與續航配比測試

- 1.載重越重，續航時間越短。全載~2/3載重續航時間差不多，1/3載重則介於中間
- 2.電池容量對飛行續航增幅比載重明顯。
- 3.載重、電池容量與飛行時間有最佳配比
(1)1/3~1/2為最佳負載，約150~225g
(2)2250 mA的電池效率較佳
- 4.在能載重起飛的情況下，動力儘量減少全開，能有效延長飛行器續航時間



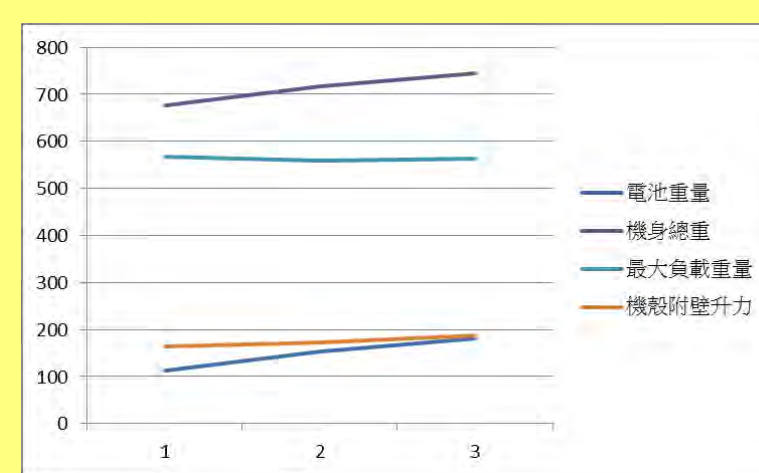
機體外觀與內部機電結構重新設計

表：幽浮飛行器附壁升力與載重測試

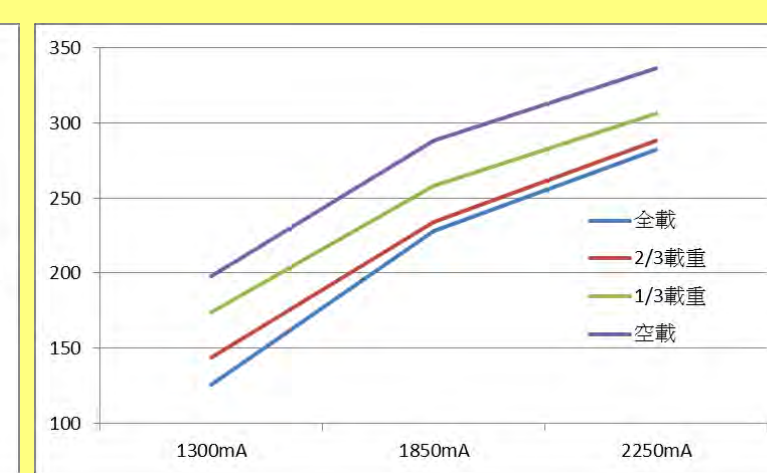
| 電池種類 | 1300mA | 1850mA | 2250mA |
|--------|--------|--------|--------|
| 電池重量 | 113g | 154g | 182g |
| 馬達推力 | 1078g | 1105g | 1121g |
| 機殼空重 | 563g | 563g | 563g |
| 機身總重 | 676g | 717g | 745g |
| 最大負載重量 | 567g | 560g | 563g |
| 機殼附壁升力 | 165g | 172g | 187g |

表：幽浮飛行器載重與續航配比測試

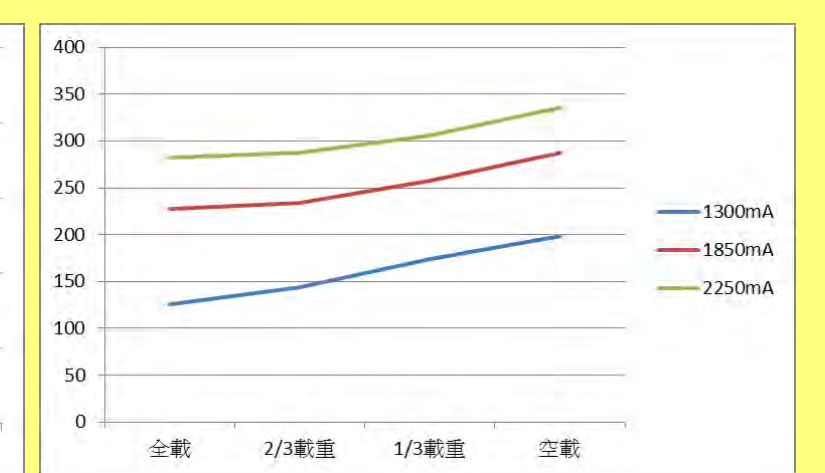
| 電池種類 | 1300mA | 1850mA | 2250mA | |
|--------|--------|--------|--------|-----|
| 機身總重 | 676g | 717g | 745g | |
| 最大負載重量 | 567g | 533g | 520g | |
| 載重 | 全載 | 126 | 228 | 282 |
| 續航時間 | 2/3載重 | 144 | 234 | 288 |
| | 1/3載重 | 174 | 258 | 306 |
| | 空載 | 198 | 288 | 336 |



附壁升力與載重測試



載重與續航配比測試一



載重與續航配比測試二

柒、結 論

- 一、利用自製器材透過實驗，找出飛行器機殼長寬比弧面、垂直導流板形狀、作用位置、水平移動板長寬比等變項間連動關係並歸納出最佳組合，成為飛行器的設計基礎，成功自製出幽浮飛行器。
- 二、由外觀與飛行模式推估升力與阻力來源
 - (一)升力：氣流附壁作用時的向上吸引的升力，與氣流向產生反作用力時的推力。
 - (二)阻力：垂直導流板傾斜角度以平衡螺旋槳轉動時所產生的反扭矩力，因而改變風下吹的推力。
- 三、幽浮飛行器飛行變項歸納
 - (一)機殼外觀：先高後凸的機殼弧面，能有效透過氣流附壁作用產生向上的吸力。
 - (二)螺旋槳：高轉速(強風)與1/2機殼直徑的螺旋槳長度所形成的風場，對附壁氣流產生的升力最佳。
 - (三)垂直導流板
 - 1.面積：小而多比大而少較能對附壁的氣流進行控制，但也會因改變氣流向角度而降低升力。
 - 2.形狀、位置、數量：上水滴形狀、6/8機殼弧面位置、24片為最佳的平衡規格。
 - (四)水平移動板：根據實驗發現以1:6面積長寬比做為理想的面積比。
- 四、自製幽浮飛行器系統模組
 - (一)飛行載具機殼：以保麗龍板與泡棉，根據實驗優化機殼長寬比與弧面，搭配最佳化形狀、位置與數量的垂直導流板及水平移動板。
 - (二)機械操控模組：將碳纖維、塑膠棒與齒輪，加工製作機械連桿，以連接遙控伺服器，來控制垂直導流板對螺旋槳轉速進行同步的反扭矩修正，與水平位移板的開關動作。
 - (三)動力遙控模組：以直升機的遙控模組為藍本，根據幽浮飛行器的飛行需求組裝並整合馬達動力、機械調整飛行動作與陀螺儀平衡，最後透過遙控主機進行飛行控制。
- 五、幽浮飛行器試飛效果
 - (一)可有效增加氣流附壁作用時額外的升力16.7%，且風力越強升力提升的比例就越高。
 - (二)最佳的負載重量約在1/3~1/2負載(全載450g)，換算約為150~225g之間。
 - (三)由續航時間與電池單位重量的電力比，可看出2250 mA的電池比較有效率。
 - (四)在能載重起飛的情況下，動力儘量減少全開，能有效延長飛行器續航時間。
- 六、幽浮飛行器載具的設計主要在探討不同於四軸機的飛行型態
 - (一)單槳幽浮飛行器不同於四槳的四軸機和直升機，在開發新型態的飛行器上，相當具有探討的價值。
 - (二)機殼雖較大且有重，但若設計得宜所增加氣流附壁升力比機殼重量要多，能有效提高額外升力。
- 七、研究的重要性
 - (一)首次對康達幽浮飛行器的飛行模式與實用性進行探討與試作，不同於四軸飛行器只有單一的反作用力氣流所提供的升力，還對氣流附壁所提供的額外升力進行實驗與應用。
 - (二)探討附壁氣流現象自製簡易精確的實驗，應用發現成功製作出我們能力所及的飛行載具，
- 八、未來發展
 - (一)受限於能力技術，機殼(563g)還有很大的輕量化空間，讓自製新型態的飛行載具更具實用性。
 - (二)將自製的飛行載具，結合無線攝影機與其他測量儀器進行滯空錄影及測量。

參考資料

- 楊憲東(2013)：假飛碟才是真科學。台北：紅螞蟻圖書有限公司。
康達效應飛碟(2012)。網址：<http://bbs.kechuang.org/read/48884>。
神奇的康達效應-帶你裝X帶你飛(2015)。網址：<http://news.mydrivers.com/1/444/444490.htm>。
The GFS-UAV model N-01A-A Coanda effect flying saucer(2006)。網址：<http://jlnlabs.online.fr/gfsuav/gfsuavn01a.htm>。