

2023 仰望盃全國科學 HomeRun 實作大賽

複賽作品說明書

隊伍名稱： 壓力山大 風子不怕

作品名稱： 壓力也可以測風速？

隊 員： 馬灝、洪容、李芷萱、李育寬

指導老師： 吳明德、許永昇

科學概念1： 壓力與風速之關係-白努利原理

白努利原理是流體力學中是一個最基本也重要的定律，其中的白努利方程 ($\Delta P = |P_x - P_0| = \frac{1}{2}\rho|(v_x^2 - v_0^2)|$)，可以推導出風速與壓力的關係，也就是當流體的速度越小，壓力也會越大。

運用這樣的定理就能使用壓力測量風速，並且提升精準度、穩定度及測量範圍，更重要的時能進行**單點測量**，進而解決現行實驗上的困難，並設計實驗法與其他實驗法比較優劣。。

科學概念2： 攻角與升力的關係

升力是流體力學中最常見的力，沒有升力機翼、葉片將都無法運行，而攻角是物體（機翼）與風向的夾角，攻角將會影響升力的接觸面積，進而影響升力的變化。

本作品使用秤重模組測量風流經機翼時，機翼減輕多少重量進而轉換為升力，並將此實驗法與其他實驗法比較優劣。

壹、發想動機

本研究創作者針對流體力學中的風能發電領域研究已一年有餘，參與大大小小的競賽及科展，也針對此領域中各項問題做了專案研究，其中最常碰到的問題就在於實驗數值的量化，現行測量飛機機翼、旋翼、螺旋槳或著風力渦輪機葉片等流體力學的實驗被稱為風洞實驗，而最常見使用的實驗測量方法分為兩種，分別是升力測試及煙流測試，各有其優缺點。

一、升力實驗：過去研究中為了測試不同機翼樣態，使用電子秤測量風流過機翼後機翼減輕的重量，進而推算其升力，其優點在於有量化之數據可處理分析，但缺點則是僅能呈現整體機翼的狀況，較無法針對機翼翼型的小範圍部分分析[1]。

二、煙流實驗：研究中為了觀察風流經機翼的過程，會使用煙等具微粒性質的流體，分析流場連續的變化及流場分佈情形，但其缺點在於無法量化數據[2]。

但實驗中若需分析流場中各點的數值，以目前的方法或儀器規格是無法做到的，因此本作品希望設計可**量測單點數據**的實驗方法及器材，以解決目前流體實驗上碰到的困難。

具體而言，量測單點的設備勢必需要測量風速，而現行最常見測量風速的方法是使用葉輪式風速計，然其測量的數值為一範圍的平均，因此本作品希望設計結合arduino對於、能透過**壓力的變化**測量風速的一款風速計，並嘗試量化機翼單點的數據[3][4]，如此在未來實驗中，就能針對機翼各個部分的型態進行調整，對於將來研究中須調整風力發電機的葉片進行實驗或嘗試最大化發電效率時，將有極大的幫助。

綜上所述，本作品大致上由三部分建構而成，分別是升力實驗、煙流實驗、壓力測風速實驗。

- (一) 利用自製電子秤測出機翼減少的重量測量升力。
- (二) 觀察煙流流經機翼時的風流變化並建構出流場的分布情形。
- (三) 利用氣壓感測模組測得機翼表面單點的壓力差並換算成單點風速。

本設計最重要的目的即為上述第三點，設計壓力風速計並測試其準確度等優勢，最後嘗試將其運用於實驗中實作。



圖1 升力實驗裝置

①風源(吸風) ②風向 ③機翼 ④測試點位版 ⑤電子秤

來源：本作品作者(2022)。風能發電-論風罩與仿生科技結合對發電效應的影響。

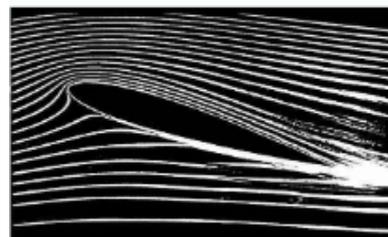


圖2 煙流實驗示意圖

來源：本作品作者(2023)。水平軸風力渦輪機的葉片分佈對發電效率之探究。

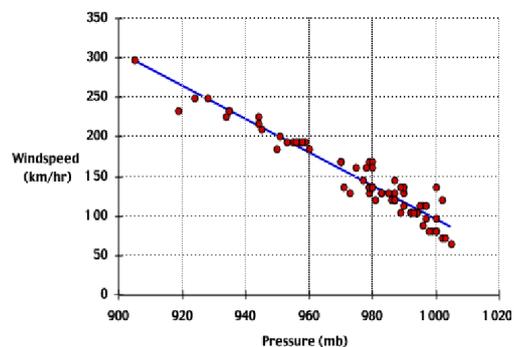


圖3 壓力與風速的函數關係

來源：William W. Vaughan (2011)。

Hurricane and oceanic properties relative to aerospace vehicle r&d and facilities

貳、硬體及電路架構圖

一、升力實驗實驗設備

本實驗設備利用arduino重量感測器及HX711晶片自製電子秤測量機翼升力，而後透過LCD1602螢幕輸出顯示數據。機翼透過檯座向外延伸出風洞後連接電子秤。

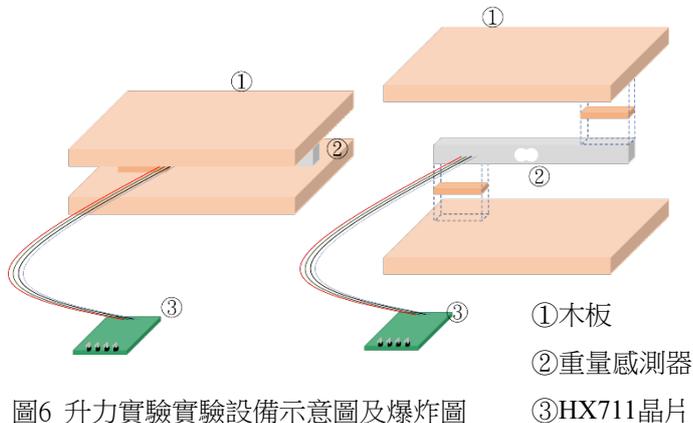


圖6 升力實驗實驗設備示意圖及爆炸圖

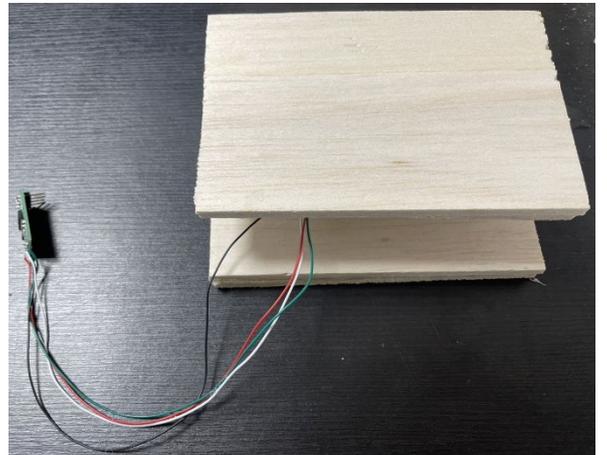


圖7 升力實驗設備照片

在電路連接的部分，自製電子秤的兩訊號口（HX711-DT及SCK）連接PIN角為數位引腳11及10，LCD1602螢幕訊號口（SCL、SDA）連接類比引腳A4及A5。由於繪製程式HX711模塊無建模，因此使用LED燈替代示意。

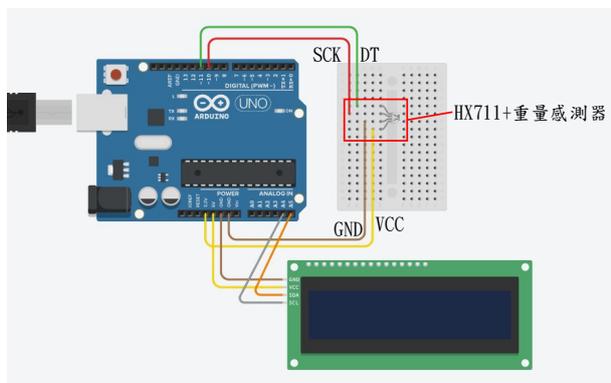


圖8 升力實驗電路圖

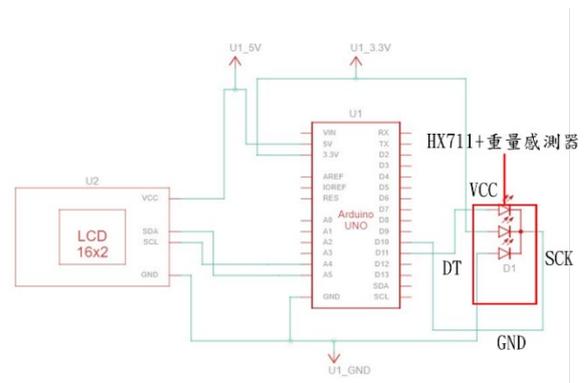


圖9 升力實驗線路圖

二、煙流實驗實驗設備

本實驗本預計使用Arduino霧化片（Seed Studio Grove Water Atomization 101020090），然煙流實驗所需氣體需濃而清楚，因此霧化片產生的霧（煙）較不合適，修正直接使用舞台噴煙裝置。

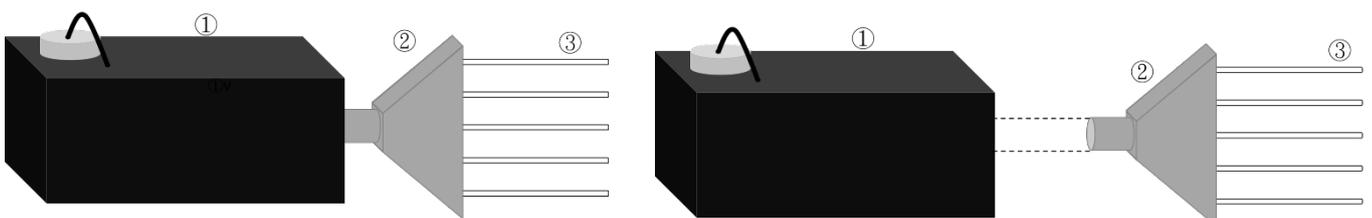


圖10 煙流實驗實驗設備示意圖及爆炸圖

①舞台噴煙器 ②連接口 ③整流段

三、壓力測風速實驗設備

本實驗使用三個氣壓感測模組0-40KPa搭配LCD1602螢幕使用，此三個感測模組頂面與機翼面貼齊。

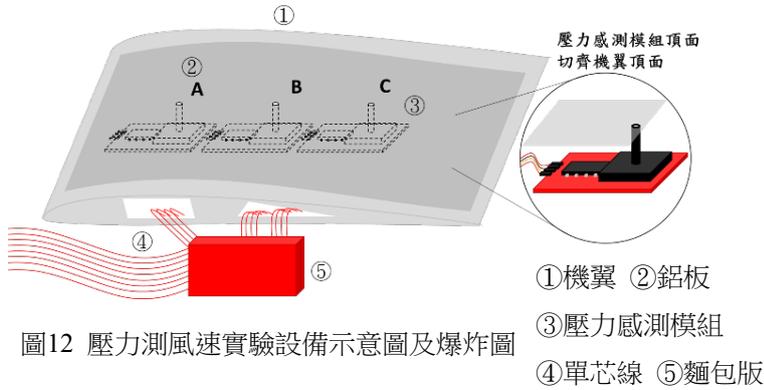


圖12 壓力測風速實驗設備示意圖及爆炸圖

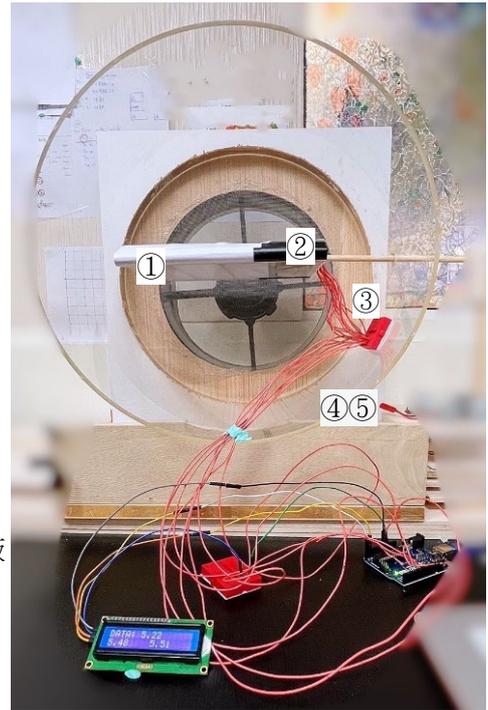


圖13 壓力測風速實驗設備照片

在電路連接的部分，三個氣壓感測模組的兩訊號口（OUT及SCK）連接PIN角為數位引腳2、3及4、5及7、6，LCD1602螢幕訊號口（SCL、SDA）連接類比引腳A4及A5。由於繪製程式HX711模塊無建模，因此使用LED燈替代示意。

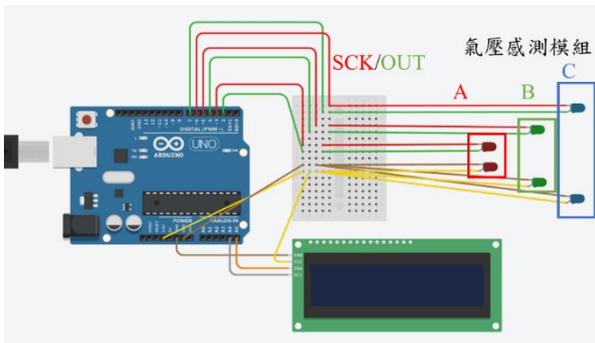


圖14 壓力測風速實驗電路圖

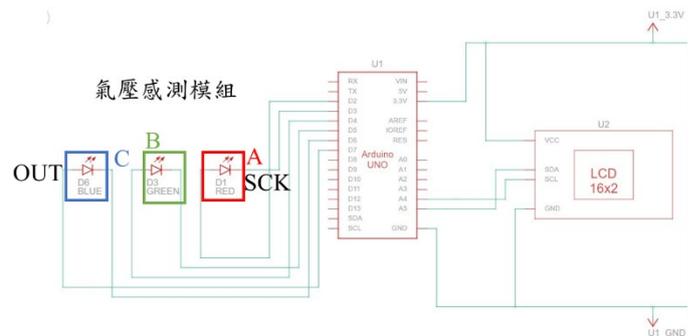


圖15 壓力測風速實驗線路圖

參、作品使用說明及應用

本作品如同動機中的目的部分所述，可分為三部分，分別製作風洞機翼升力實驗、煙流實驗及本研究最核心的設計-壓力測風速的實驗，以下依上述順序分別呈現。

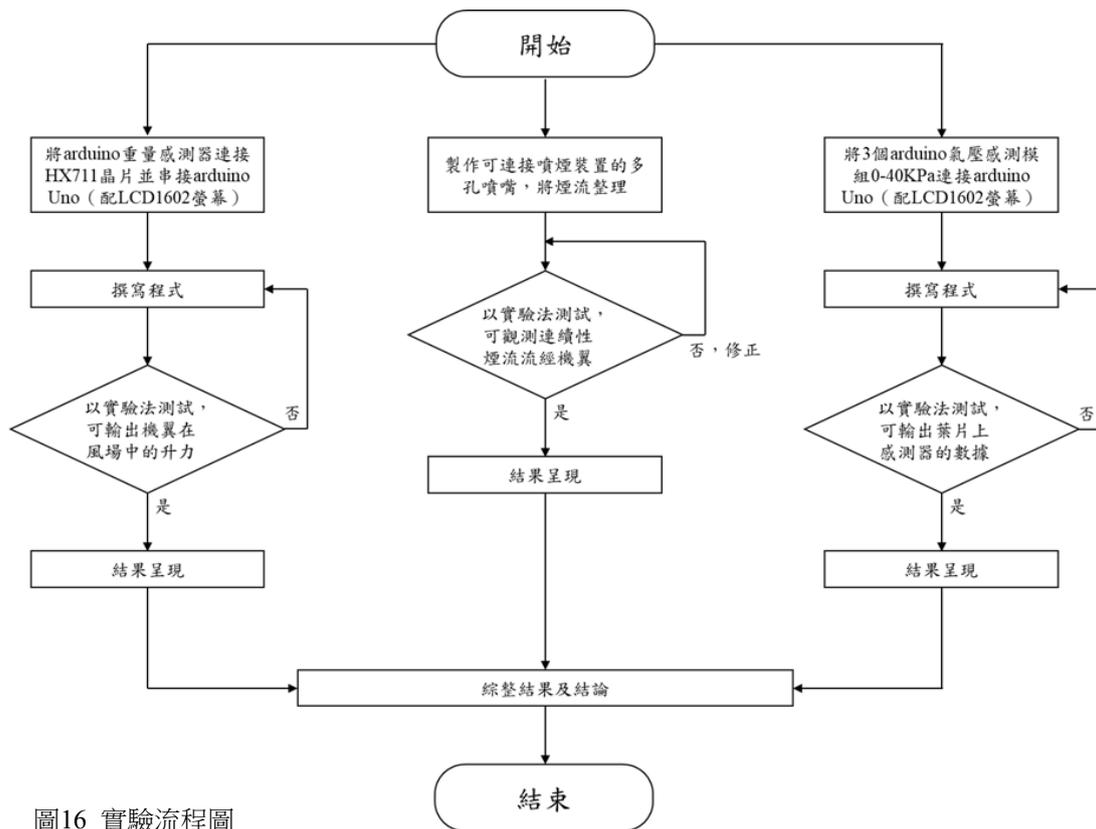


圖16 實驗流程圖

左列為升力實驗，中間為煙流實驗，右列為壓力測風速實驗

一、升力實驗

1. 相關原理

當板面垂直於風向時，板子有最大的受風面積，進而產生最大的阻力；當版面平行於風向時，板子有最小的受風面積，則有最小的阻力，阻力平行於風向。而升力則是當板子有一傾斜角時，產生垂直於風向的力，此角度就稱為機翼攻角（attack angle）。具有攻角的機翼升力與阻力將形成合力，進而帶動機翼升起。

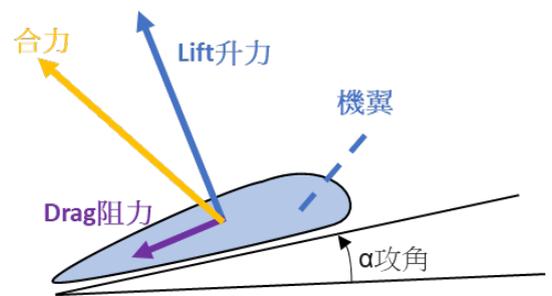


圖17 機翼升力阻力及合力示意圖

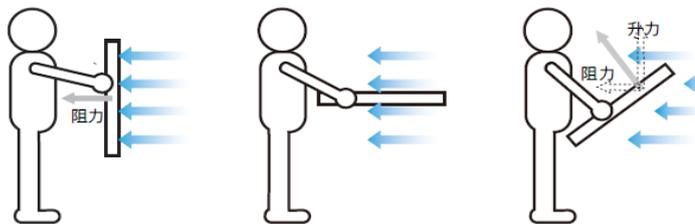


圖18 升力阻力成因示意圖

2. 製作方法

本實驗使用自製製電子秤來測量機翼升力變化，自製製電子秤製作使用壓力感測模組，包含重量感測器及HX711晶片，秤面、支撐部分及底座使用巴爾莎木製作。

3.arduino程式碼

```
#include <LiquidCrystal_PCF8574.h> //LCD Screen library
#include "HX711.h" //自製電子秤 library

const int DT_PIN = 11;
const int SCK_PIN = 10; //控制 PIN 腳
const int scale_factor = 258; //比例參數
HX711 scale;
LiquidCrystal_PCF8574 lcd(0x27);

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.setBacklight(255);
  scale.begin(DT_PIN, SCK_PIN);
  scale.set_scale(scale_factor); // 設定比例參數
  scale.tare(); // 電子秤歸零
  Serial.println(scale.get_units(5), 0);
  lcd.print("test starts");
  delay(1000);
}

void loop()
{
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Whight: ");
  float weight = scale.get_units(10); //數據平均 10 次，減少誤差
  lcd.setCursor(9, 0);
  lcd.print(weight);
  lcd.setCursor(15, 0);
  lcd.print("g"); //LCD 輸出顯示數據，實際測試時搭配使用 Serial Monitor 紀錄
  scale.power_down(); //電子秤進入睡眠模式
  delay(500);
  scale.power_up(); //電子秤結束睡眠模式
  delay(1000);
}
```

4.操作方法

將機翼及其檯座在不接觸風洞管壁的情況下架設於自製電子秤上，藉由調整機翼攻角改變機翼升力，當機翼重量變輕時，即可從自製電子秤測得升力數值，機翼攻角取0度-30度，每5度設一實驗點位，共七個點位。

5.結果分析

以下以機翼攻角與升力升力的關係圖表呈現結果，使用自製電子秤測量風流過機翼後機翼減輕的重量，進而推算其升力。

二、煙流實驗

1.製作方法

本實驗煙柱煙源使用400W小型舞台噴煙機，使用巴爾莎木及細吸管製作煙流噴嘴，並使用熱熔膠黏合以確保達到密封。

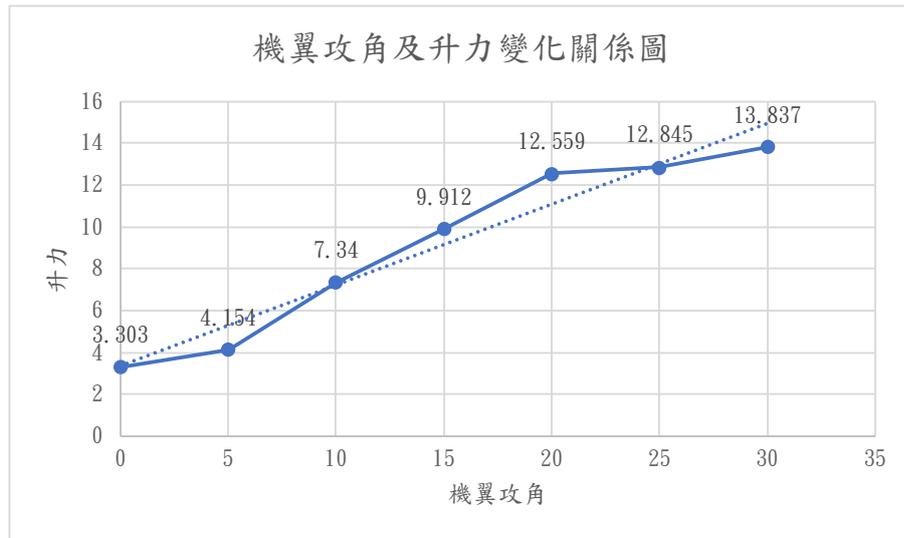


圖19 機翼攻角-關係圖

由此圖數據趨勢可知，機翼升力與攻角成正相關，且有效位數能測至小數點後三位，較許多市售電子秤（小數點後1至2位）精確度高。

2.操作方法

將噴煙機與自製煙流噴嘴組並架設於與機翼等高之位置，啟動噴煙機後觀察煙柱流經葉片時分析流場連續的變化及流場分佈情形，調整機翼攻角並比較不同攻角狀態下流場的變化。

3.結果分析

在噴煙的同時改變機翼攻角，觀察高攻角及低攻角狀態下的流場分布由高低攻角狀態下機翼煙流實驗對照後，根據白努力定律，風流經頂面的風速較快，因此可觀察到機翼後方的氣流呈現向下流的現象，而藉由觀察高攻角機翼流場分布情形得知，當機翼攻角過大時，由於流經機翼頂面的空氣脫離邊界層，形成紊流區。



圖20 低攻角機翼流場分布情形
溜經機翼後的氣流向下游



圖21 高攻角機翼流場分布情形
機翼頂面後出現紊流

三、壓力測風速實驗

1. 相關原理：白努利定律 (Bernoulli's principle)

公式為 $\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh + P = constant$ ， ρ 為空氣密度 (kg/m^3)、 v 為風速 (m/s)、 g 為重力加速度 ($9.8m/s^2$)、 h 為高度差、 P 為壓力、 $constant$ 為定值。

主要敘說風速與壓力的關係，當風速增大，壓力將減小，反之亦然。飛機在運行時，機翼上方氣流較快，壓力較小；下方氣流較慢，壓力較大，上下壓力差產生升力，即為白努利定律的實例之一。

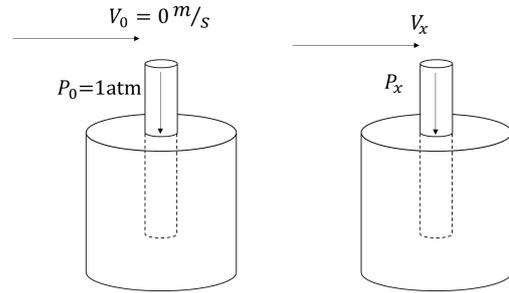


圖22 白努利定律示意圖

測定風速時，氣壓感測模組前後並無高低差，因此公式中的 h 代 0，可將公式簡化成 $\frac{1}{2}\rho v^2 + P = \text{定值}$ 。可在根據上圖將公式代換成 $\frac{1}{2}\rho v_0^2 + P_0 = \frac{1}{2}\rho v_x^2 + P_x$ ，最後推導成 $\Delta P = |P_x - P_0| = \frac{1}{2}\rho |(v_x^2 - v_0^2)|$ ，並由此公式計算壓力與風速的關係。（假設 $v_0 = 0$ 當時之壓力為 1 大氣壓力 (atm)，並透過風速改變所造成的壓力差代換成風速)

2. 製作方法

本實驗壓力測量部分使用氣壓感測模組，為了使氣壓感測模組能穩定的架設在基翼內且模組頂面需與機翼頂面切齊，將機翼頂面卡典西德去除並換成較堅硬的鋁片，在機翼內部架設三個氣壓感測模組並使用單芯線從機翼側邊連出至麵包板，再連至 Arduino UNO。

3. arduino 程式碼

```
#include <Q2HX711.h> //Pressure sensor library
#include <LiquidCrystal_PCF8574.h> //LCD Screen library
#include <Average.h>
const byte MPS_OUT_pin_A = 2, MPS_SCK_pin_A = 3; //Pressure sensor A Pin 腳
const byte MPS_OUT_pin_B = 4, MPS_SCK_pin_B = 5; //Pressure sensor B Pin 腳
const byte MPS_OUT_pin_C = 7, MPS_SCK_pin_C = 6; //Pressure sensor C Pin 腳
int avg_size = 10;
Q2HX711 MPS20N0040D_A(MPS_OUT_pin_A, MPS_SCK_pin_A);
Q2HX711 MPS20N0040D_B(MPS_OUT_pin_B, MPS_SCK_pin_B);
Q2HX711 MPS20N0040D_C(MPS_OUT_pin_C, MPS_SCK_pin_C);
Average<long> ave(avg_size); //平均所得數值
LiquidCrystal_PCF8574 lcd(0x27);

void setup()
{
```

```

    lcd.begin(16, 2);
    lcd.setBacklight(255);
    lcd.print("test starts.");
    delay(1000);
}
void loop()
{
    ave.push(MPS20N0040D_A.read());
    ave.push(MPS20N0040D_B.read());
    ave.push(MPS20N0040D_C.read());
    float v1=sqrt((((MPS20N0040D_A.read()/8319.554696)-1008.3)*2/1.189)*-1);
    //「8319.554696」為校正數值，使 Pressure sensor 輸出數值為氣壓(hPa) /8319.554696)-1008.3)*2/1.189
    float v2=sqrt((((MPS20N0040D_B.read()/8667.965883)-1008.3)*2/1.189)*-1);
    //白努利定律 $\Delta P=|P_x-P_0|=1/2\rho|v_x^2-v_0^2|$  風速為 0 時氣壓(P0)為 1008.3hPa /8667.965883)-1008.3)*2/1.189
    float v3=sqrt((((MPS20N0040D_C.read()/1145.701676)-1008.3)*2/1.189));
    //氣溫 24°C 空氣密度為 1.189kg/m3，整體計算式開根號 /1145.701676)-1008.3)*2/1.189
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("DATA:");
    lcd.setCursor(6,0);
    lcd.print(v1);
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(v2);
    lcd.setCursor(8,1);
    lcd.print(v3); //LCD 輸出顯示數據，實際測試時搭配使用 Serial Monitor 紀錄
    delay(1000);
}

```

4.操作方法

藉由將氣壓感測模組架設在機翼頂面及底面各四個點位，共八個點位，可測得風流過機翼時機翼上特定点位的壓力變化，藉此代算成風速，建構流場。

5.結果分析

(一) 校正

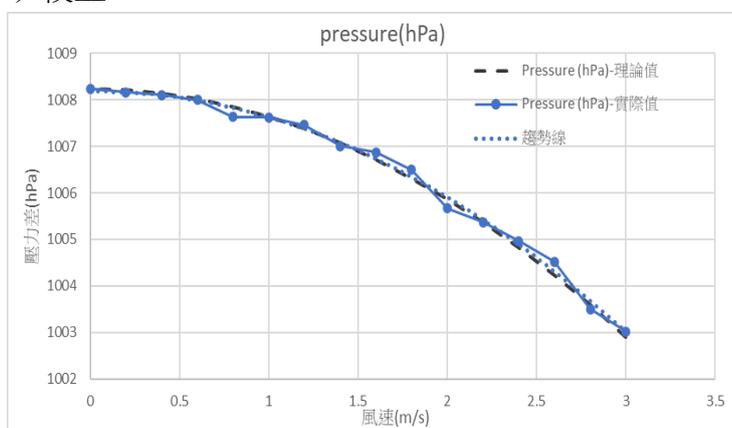


圖23 壓力-風速關係圖

先測量風速為零時的氣壓值作對照使用(v_0)，而後分別測試各風速對應的氣壓值，並與計算之理論值對應。歸納整理後，可發現透過氣壓感測模組測得的風速與壓力差呈函數關係，且繪製趨勢線後發現與理論值幾乎相符。風速為零時(v_0)對應到一壓力值(P_0)1008.3(hPa)，帶入公式 $|P_x - P_0| = \frac{1}{2}\rho|(v_x^2 - v_0^2)|$ 做理論值的計算，作為校正及比較的數據。

(二) 實驗測試

將實驗點位測量成風速後，繪製於機翼上相對位置，進而建構風場情形，下圖僅以8點測試點示意。

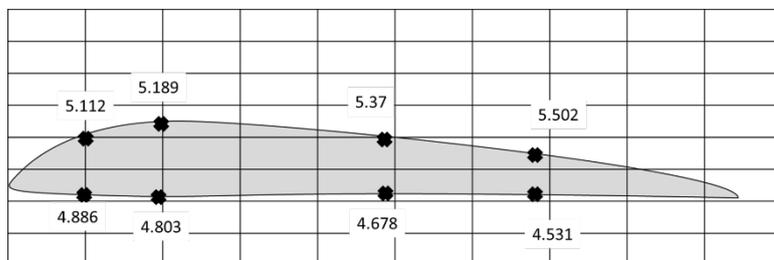


圖24 氣壓感測器點位分布圖

將各點位壓力換算成風速後，可明顯觀察到機翼頂面的點位分布，由前至後風速遞增；反之機翼底面的點位分布，由前至後風速遞減，

肆、作品創意性

本作品創意性可分成以下說明

一、壓力風速計的設計優勢

由上述結果分析推廣，壓力風速計具有較精準、測量範圍廣及穩定等優勢，最重要的是具備單點測量的功能，不同於葉輪式風速計僅能測量範圍內的平均風速，且有測量延時等缺點，在測量設備上有極高的優勢。

二、壓力風速計創建性

壓力風速計可以量化單點的風速，可以結合升力及煙流實驗的部分優點，建構具有風速數值的連續性風場，將來在設計實驗裝置及調整風洞狀況將有極大的便利性及大幅進展。

綜上所述，壓力風速計的設計對本隊而言，將來有設計風力發電機葉片的專題研究時，可透過此作品詳加調整葉片各位置的設計、探討流場狀況的影響，且此作品對一般教學演示及科學教具製作皆具有高度發展潛力。

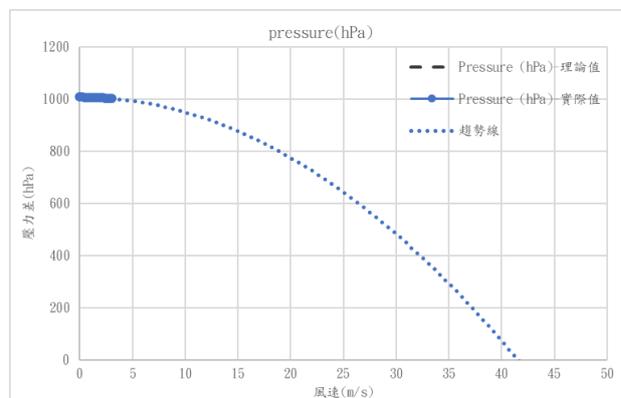


圖25 壓力-風速演繹圖

可知壓力風速計測量範圍廣且穩定精準。

伍、作品成果報告

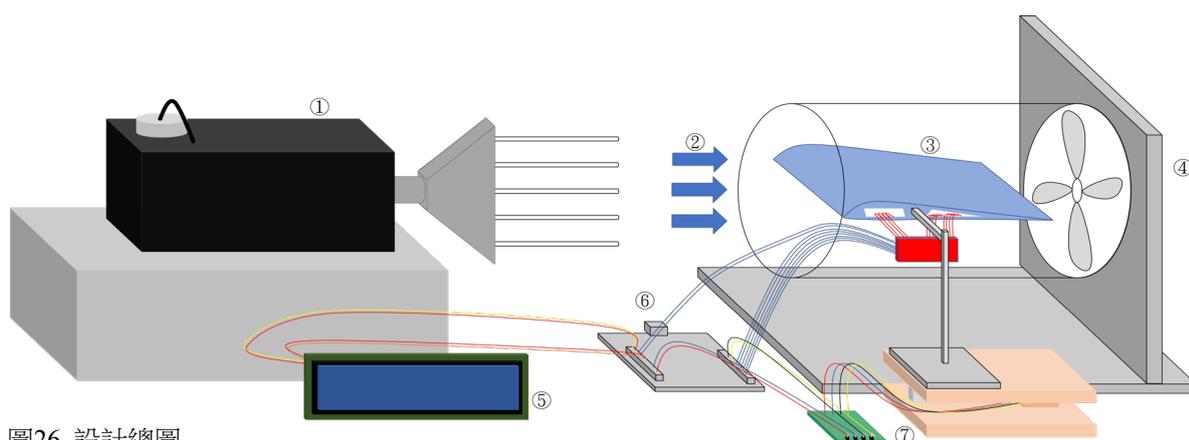


圖26 設計總圖

最右側為優流實驗噴煙裝置，右側下方為升力秤重裝置，葉片上為壓力測風速裝置。

①煙流裝置 ②風向 ③壓力測風速裝置 ④風洞(風源) ⑤LCD1602螢幕 ⑥arduino Uno ⑦升力

本作品設計之壓力風速計最重要在於可單點測量數據，可以針對實驗物體（如機翼、發電機葉片等）上進行小範圍測量，就能針對各細節進行修正，例如本隊風能發電實驗中，過往需針對葉片設計時，無法根據數據調整單一位置的設計，若能使用壓力風速計檢測通過葉片流場情況時，就能針對葉片各點作特殊設計，對於最大化發電效率的實驗將有極大的幫助。

在製作並操作本作品時，過程中運用、培養大量的能力可以契合 STEM 的概念，例如在過程中學習壓力與風速的關係及白努力定律等，符合科學（S, science）的元素；製作各項作品元件及操作則能學習技術（科技）（T, technology）；程式設計、撰寫及電路的連接屬於工程（E, engineering）能力；即在使用公式、處理數據及設計模具使用到的數學（M, mathematics）能力。

綜上所述，本作品設計重點在於「使用壓力測量風速」，並解決本隊過往在實驗上遇到的瓶頸，另外課綱中常常提到有關壓力或著風速的內容，這樣的東西不失為一個良好的教學演示工具（本隊過去利用手機軟體測量風速〔包含氣壓〕，參與教具、案設計競賽，獲全國設計獎[5]），可以將兩種課綱中的課題結合學習及觀察各種自然科學的現象。兼具解決及探討科學問題的功能。

陸、參考文獻

1. 本作品作者(2022)。風能發電-論風罩與仿生科技結合對發電效應的影響。臺北市中學生科學獎助計畫 佳作。
2. 本作品作者(2023)。水平軸風力渦輪機的葉片分佈對發電效率之探究。臺北市中小學科學展覽會。
3. 吳明德(2018)。用手機做氣體壓力實驗。物理教育學刊,第十九卷第二期,31-40。
4. 吳怡婷(2009)。壓力皮托管風速計設計製作與性能驗證。碩士論文中華技術學院-飛機系統工程研究所。
5. 本作品作者(2023)。手機也能測風速?。全國科學教具創意競賽高中職組 設計獎。