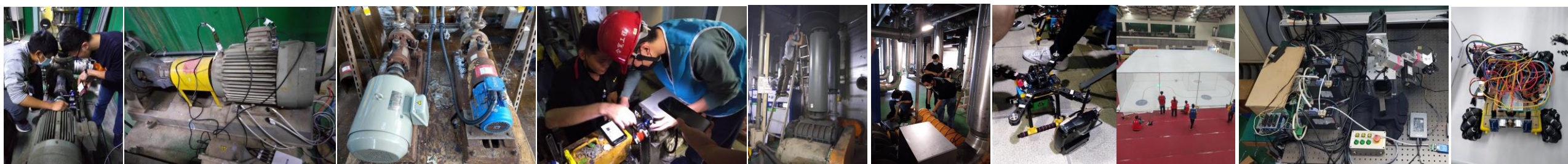


電機機械原理與智慧監測 Electromechanical Principles and Intelligent Monitoring

國立臺灣科技大學機械工程系

助理教授：藍振洋



量測驗證基本概念

能耗回歸模型的參數選擇

- 透過設備的物理模型可以探討影響耗能的參數，並將這些參數定義為選項 A 中的關鍵參數。
- 風機在單位時間內所能供給的有效能量稱為理論功率或絕熱變化(L)，單位為[kW]。當壓力比小於 1.03 時，理論靜壓空氣功率(L_s)為

$$L_s = \frac{QP_s}{6120} = \frac{Q}{6120} (P_{s2} - P_{s1}) - P_{d1}$$

- 其中， Q 是風量[cmm]， p_s 是靜壓[mmAq]， P_{s1} 是入口處的靜壓， P_{s2} 是出口處的靜壓， P_{d1} 是入口處的動壓。
- 而動壓又可表示為

$$P_d = v^2 \gamma / 2g$$

- 上式中， v 為流速， γ 為比重量， g 為重力加速度。
- 根據上式可以得知，風量(Q)、出入口靜壓差($\Delta P = P_{s2} - P_{s1}$)、比重量(γ)為影響風機功率之關鍵因素。

量測驗證基本概念

能耗回歸模型的參數選擇

- 其中，氣體的比重量(γ)為氣體單位體積內的重量，可由氣體密度(ρ)乘以重力加速度求得。比重量與溫度、溼度及壓力有關，其關係如下式所示：

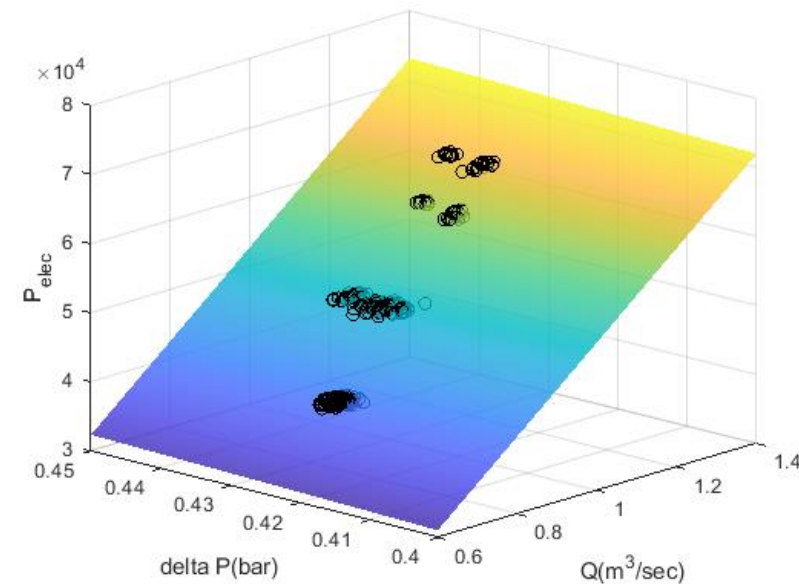
$$\gamma = 0.465 \frac{P - 0.3784\phi P_{sat}}{T}$$

- 其中， P 為空氣的絕對壓力[mmHg]， ϕ 為相對溼度[%]， P_{sat} 為飽和蒸汽壓[mmHg]， T 則是絕對溫度[K]。
- 若量測是在短時間內，溫度、濕度、飽和蒸汽壓、絕對壓力幾乎為定值。以其作為回歸模型的基底並不會有太大的效果。根據選項 A 中所提及，對能耗模型無高相關性的參數可以合理的假設或忽略，因此將這些參數作為此次量測驗證中的約定條件。
- 因此，將風量與壓差的組合作為能耗模型，進行迴歸分析，如壓差(ΔP)與風量(Q)對能耗(P_{elec})的回歸模型為

$$P_{elec} = C_0 + C_1 Q + C_2 \Delta P$$

量測驗證基本概念

- IPMVP建立模型
- IPMVP節能量公式：
Energy Savings
= Baseline Energy – Reporting Period Energy
± Adjustments
- 基準線耗能量+常規調整量(Baseline Energy + Routine adjustment) 可以透過基線數據使用各種技巧建模。
- 建立模型是為了協助推估若節能改善措施尚未施作的情況下，原本會有的能源使用量。
- 可以觀察到能源使用量和生產率變化之間的關係。
- 此關係可推測出一個由生產狀況變化導出能源使用的經驗模型。

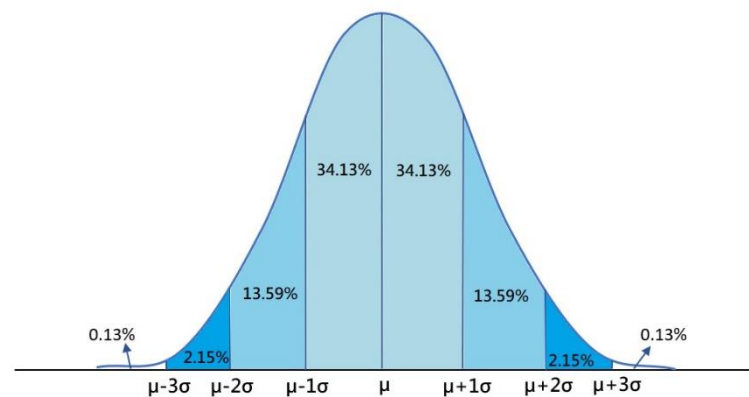
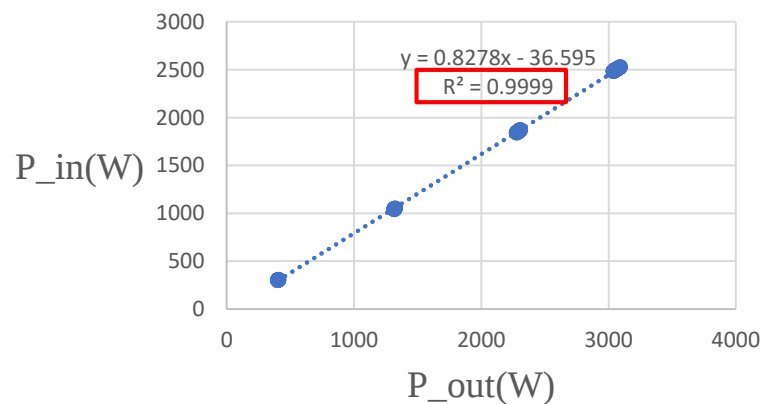


$$\begin{aligned} \text{Power} &= C_0 + C_1 Q + C_2 \Delta P \\ C_0 &= -10268.8703 \quad C_1 = 51109.2442 \\ C_2 &= 26599.3727 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NRMSE} &= 3.7437 \% \\ \text{Cv(RMSE)} &= 1.9606 \% \\ R^2 &= 0.9872 \end{aligned}$$

量測驗證基本概念

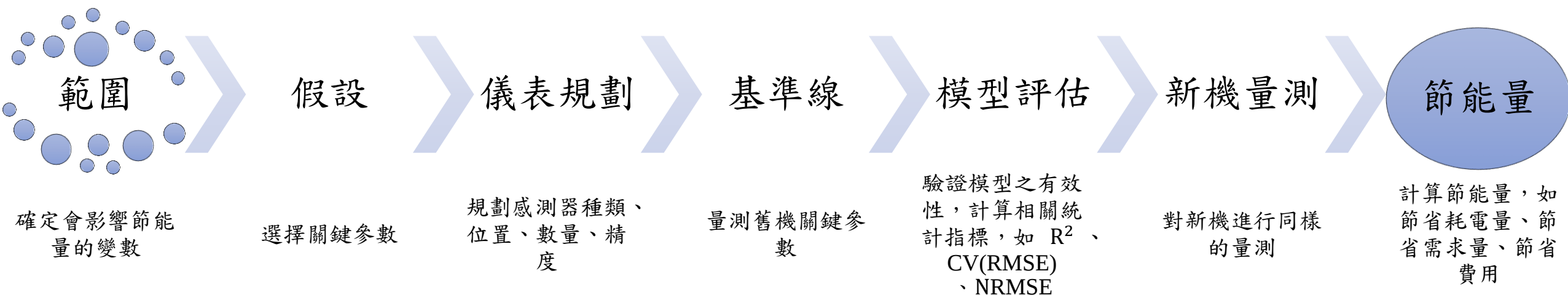
- 在一般情況下，量測的不確定性是由許多原因組成。通常會考慮到：
 - 回歸模型的不確定性(model uncertainty)
 - 取樣的不確定性(sampling uncertainty)
 - 儀錶量測的不確定性(metering uncertainty)



感測器 種類	壓力計	風速計	擷取卡
	 PM20S	 FTS35-2011-0WMD	
精度	$\pm 0.5\% F.S.$	$\pm 2\% F.S.$	$\pm 50(ppm)$

量測驗證基本概念

- IPMVP流程一覽(Option A)



量測驗證基本概念

模型驗證準則與指標

Data type	Index	FEMP	ASHRAE Guideline 14	IPMVP
Monthly criteria %	<i>NMBE</i>	±5	±5	±20
	<i>CV(RMSE)</i>	15	15	-
Hour criteria %	<i>NMBE</i>	±10	±10	±5
	<i>CV(RMSE)</i>	30	30	20
Model				
	R^2	-	> 0.75	> 0.75

$$NMBE \text{ (Normalized Mean Bias Error)} = \frac{1}{\bar{m}} \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - s_i)}{n - p} \times 100(\%)$$

It is not recommended to be used as a criterion for judgment alone, because the positive deviation and the negative deviation will offset each other in the calculation process.

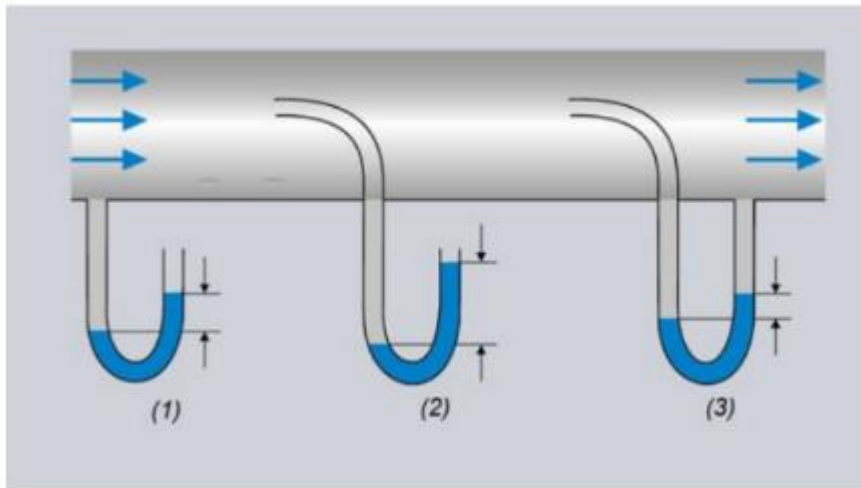
$$CV(RMSE) \text{ (Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error)} = \frac{1}{\bar{m}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - s_i)^2}{n - p}} \times 100(\%)$$

$$NRMSE \text{ (Normalize Root Mean Square Error)} = \frac{1}{m_{max} - m_{min}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - s_i)^2}{n - p}} \times 100(\%) \longrightarrow \text{currently used method}$$

m is the measure value, s is the simulated value, n is the number of measured data points and p is the number of adjustable model parameters.

[4] Ruiz, Germán Ramos, and Carlos Fernández Bandera. "Validation of calibrated energy models: Common errors." Energies 10.10 (2017): 1587.

壓力量測



- (1) Pressure probe for measuring the static pressure
- (2) Pitot tube for measuring the total pressure
- (3) Prandtl's pitot tube for measuring the dynamic pressure

水泵節能與績效驗證案例

水泵節能與績效驗證案例

本提案計畫之目的

- 對於 Sludge pump 及其他相似之機械皮帶傳動運轉設備，為達節能措施與測試驗證效益，擬定本節能改善措施與其量測驗證實驗測試計畫。
- 節能措施：將舊有的感應馬達與機械皮帶傳動系統設備，更換為新
型永磁節能馬達，並以直驅式取代機械與皮帶傳動之機械傳動機構。
- 本節能改善措施及其測試結果將用以評估後續相關類似設備之節能改善措施效益與其應用推展。

水泵節能與績效驗證案例

節能改善標的物設備

1. 廢水廠Pump A與Pump B設備。
2. 原系統建置於2004年，其驅動原動機為一5.5kW、4極、60Hz定頻之感應馬達。感應馬達設備透過皮帶與皮帶輪之機械機構降低轉速推動葉輪對流體做功。



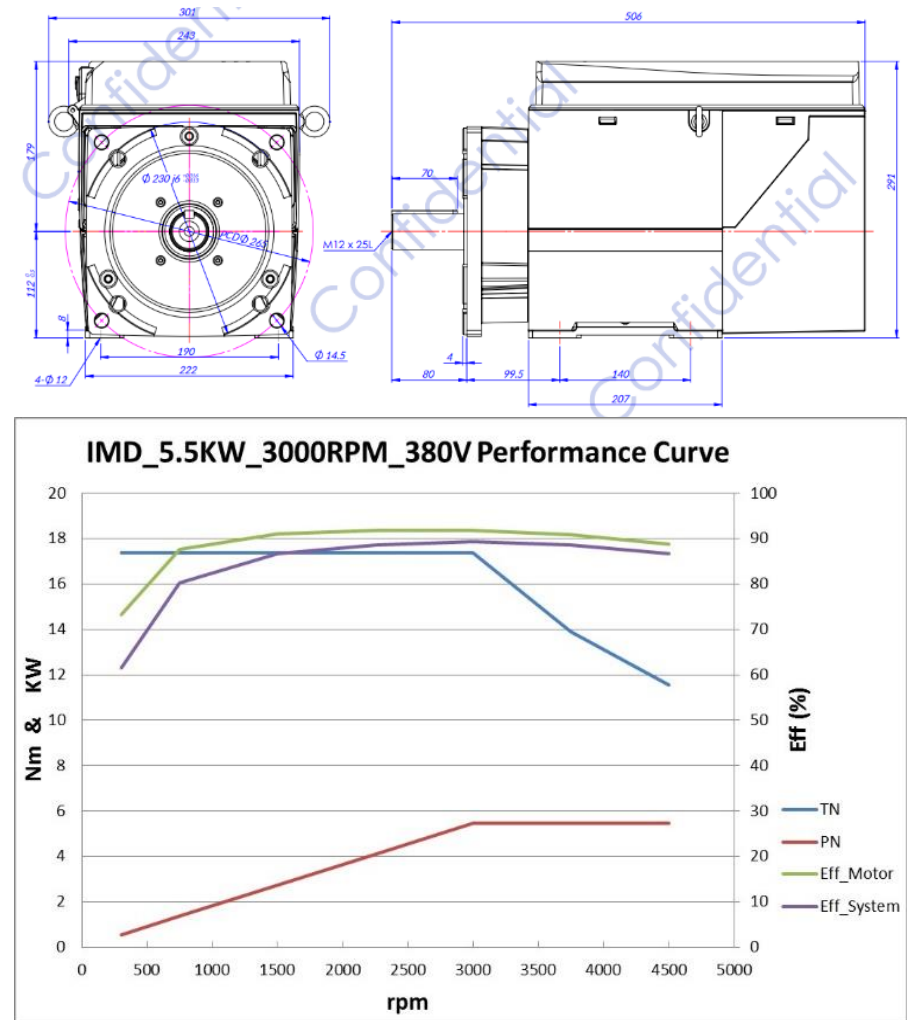
節能改善措施說明與評估

1. 原設備系統以5.5kW感應馬達透過皮帶系統驅動泵浦葉輪，其皮帶輪之直徑比例為181:291(馬達端mm：葉輪端mm)。
2. 系統於負載設計值操作時的出力需求為在2855rpm時軸功3.2kW。
3. 利用公式 $P = \tau\omega$ 換算其於設計操作點時之軸扭力需求為10.71Nm。此扭力需求為25m揚程，液體比重為1時之扭力需求。
4. 但因設備運轉揚程需求小於額定之25米，故為一保守估計值。

水泵節能與績效驗證案例

節能改善措施說明與評估

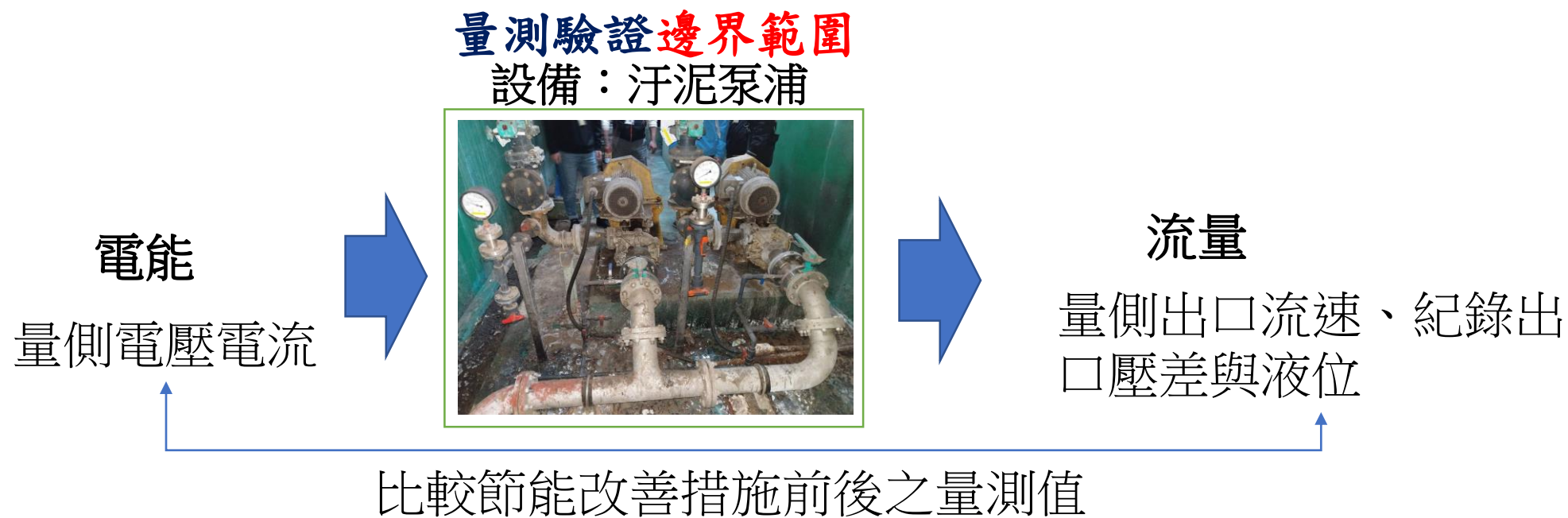
5. 本計畫案預計使用某牌5.5kW永磁馬達直驅泵浦葉輪。
6. 於3000rpm以下，馬達軸扭力輸出均可達到17Nm，遠高於所訂之軸扭力需求。
7. 在馬達設備操作區間，其廠商測試效率值均大於90%。



水泵節能與績效驗證案例

能耗簡易量測與推估計算

1. 量測驗證將預設此泵浦循環系統為之工作流體比重約略維持1，且其負載相對固定。
2. 預期使用選項A，進行量測驗證。其系統能源輸入為三相電能，系統輸出為加壓後之流體。邊界如下圖所示。



水泵節能與績效驗證案例

能耗簡易量測與推估計算

3. 於能量輸入端將量測三相電壓電流，紀錄每分鐘之平均功率。對能量輸出將於負載端紀錄運轉時的錶壓與液位推估壓差，並量測出口側流速計算流量。
4. 使用舊設備之輸入與輸出能量功率，建立舊設備之能耗基線模型。
5. 於舊設備基線建立完成後，進行節能改善工程。
6. 待新設備完工驗收後，進行新設備之運轉能耗量測，在相同量測點位，量輸入端三項相壓電流，紀錄每分鐘之平均功率。於負載端紀錄運轉時的錶壓與液位推估壓差，並量測出口側流速計算流量。
7. 以所測得之新設備運轉輸出壓差與流量條件，代入舊設備基線模型，比較新舊設備於相同負載輸出時之能耗差異，驗證節能措施之節能效果。

水泵節能與績效驗證案例

量測設備與取樣

- ✓ 供電盤處：
電力量測記錄(電壓電流感測器與擷取系統)
- ✓ 管路流量：
超音波流速計配合管內徑截面積計算之
- ✓ 管路壓力：
利用現有之液位記錄與出口壓力錶紀錄之

- ✓ 取樣率與週期：
每分鐘一筆量測值，各機運轉連續半小時量測。



水泵節能與績效驗證案例

水泵運轉時經常電流約7安培，如下圖所示，設備為24小時運轉之交替運轉系統。

運轉電流



改善前舊機量測結果

回歸模型概述說明

- Q Model : $P_{elec} = C_0 + C_1 Q$
- Q and dp Model : $P_{elec} = C_0 + C_1 Q + C_2 \Delta P$
- Q and dp interaction Model : $P_{elec} = C_0 + C_1 Q + C_2 \Delta P + C_3 Q \Delta P$

這次採用3種回歸模型主要是因為污泥泵浦中 ΔP 大多時候為定壓，因此Q為主要參數，以這三種模型交叉比對找出最適合最簡單的回歸模型。

水泵節能與績效驗證案例

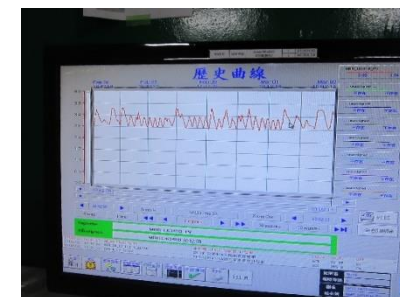
改善前舊機量測結果

壓差、流量、電功率計算與量測說明

量測發現錶壓力大多時候為固定的，使用每分鐘登記一次的方式，也紀錄入口水管的壓力，也就是蓄水池的高度換算成壓力兩個相減得出壓差。

$$dp = P_g - P_{inlet}$$

壓差紀錄



水泵節能與績效驗證案例

改善前舊機量測結果

流量計算與量測說明

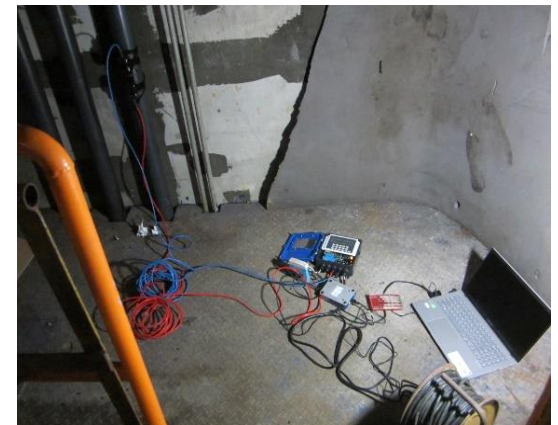
這次量測使用HJS流量計，精確度為 $\pm 1\%$ 和 $\pm 0.01\text{m/s}$ ，流量計以電流值輸出 $4\sim 20\text{mA}$ ，感測器對應的流量值單位為 (m^3/h) ，需要經過換算得出每分體積流量 (m^3/min) ，流量計的sample rate:1000/s，sample time:20s(檔案讀取的時間) duration time:30s(一筆檔案生成時間)。

Pipe outer diameter:88.9mm=0.0889m
Pipe wall thickness:7.62mm=0.00762m
Pipe inner diameter:73.66mm=0.07366m

$$\text{Watt} = \Delta P \times (\text{flow rate})$$

$$\text{flow rate} = (\text{flow velocity}) \times (\text{pipe inner diameter})^2 \times \frac{\pi}{4}$$

出口側超音波流速量測



水泵節能與績效驗證案例

改善前舊機量測結果

電功率計算與量測說明

在3/25和5/13這兩天是使用CTM來量測電壓電流值的，CT 是10:5，VT 是460:5，而7/9和8/5是使用NI來量測電壓電流值的，CT 是30:5但線圈繞3圈來達到10:5的效果，VT 是460:5，量測出來的值都經過RMS處理後的三相電壓電流，再用積分公式算出電功率。

$$X_{RMS} = \sqrt{1/n(x_1^2 + x_2^2 + \dots x_n^2)}$$

$$P = \frac{1}{T} \int V(t) * I(t) dt$$

電壓電流

sample rate:10000/s

sample time:20s

(檔案讀取的時間)

duration time:60s

(一筆檔案生成時間)

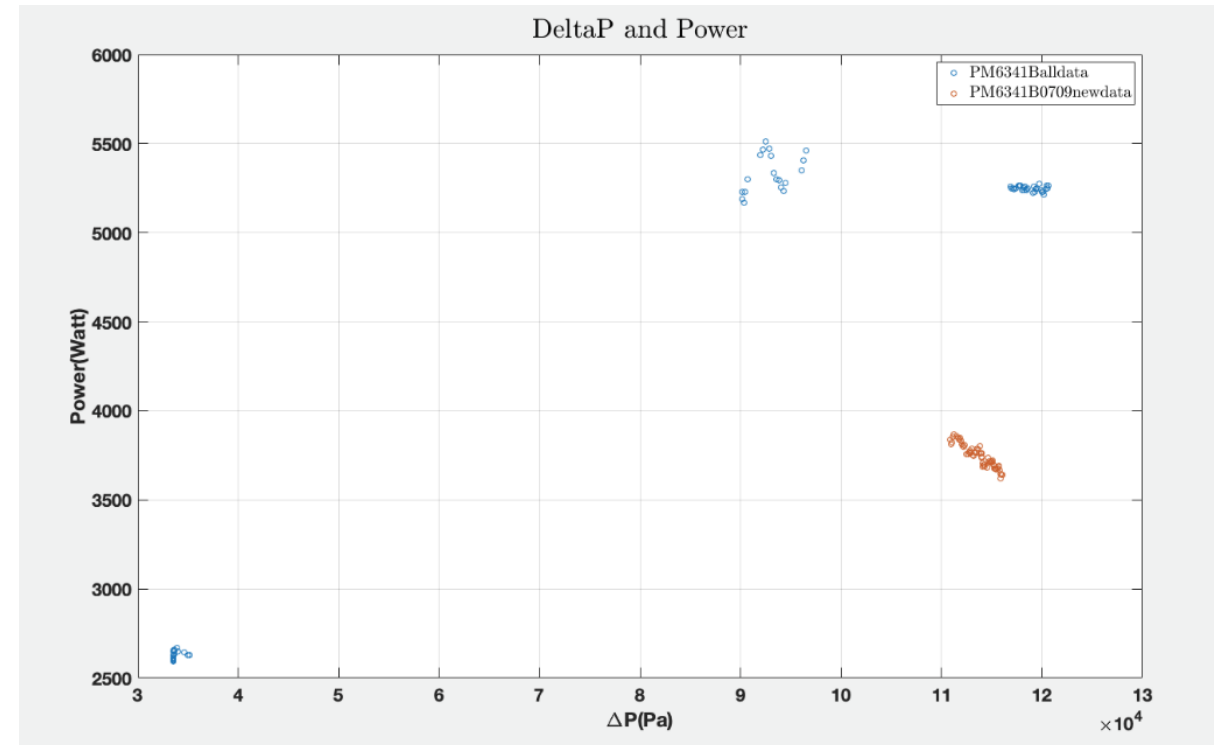
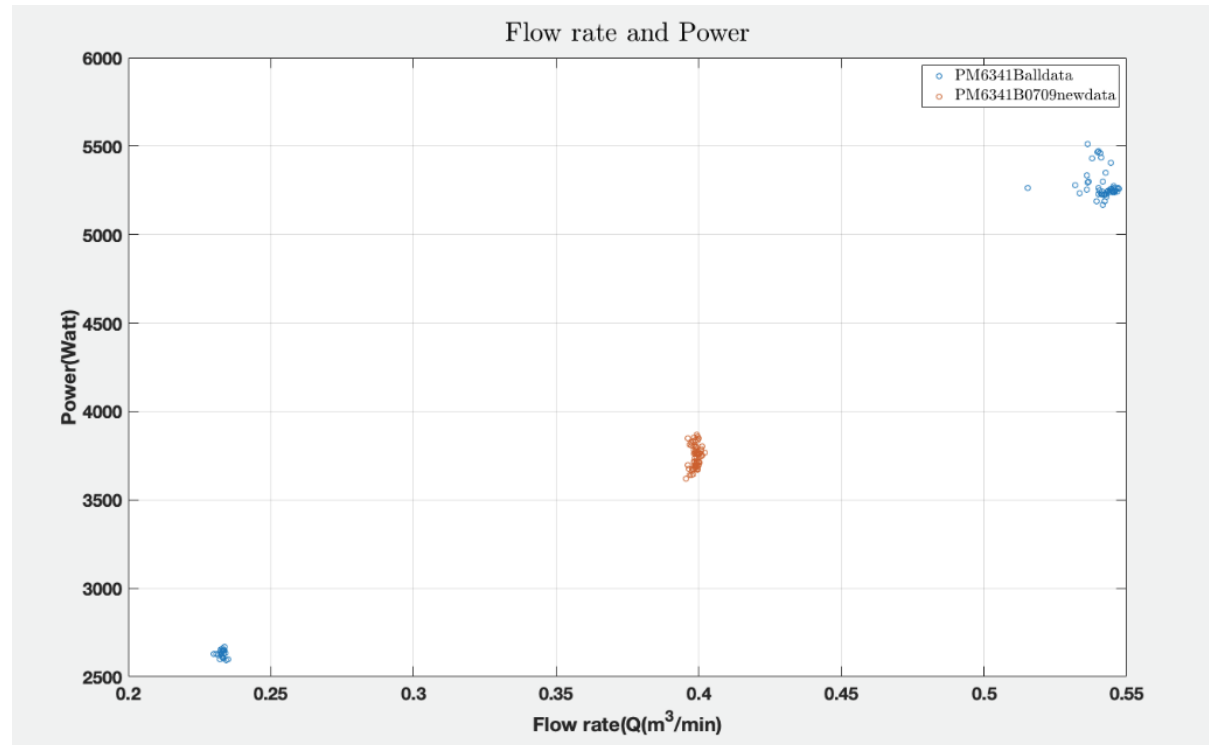
電力量測



水泵節能與績效驗證案例

Pump B馬達量測結果

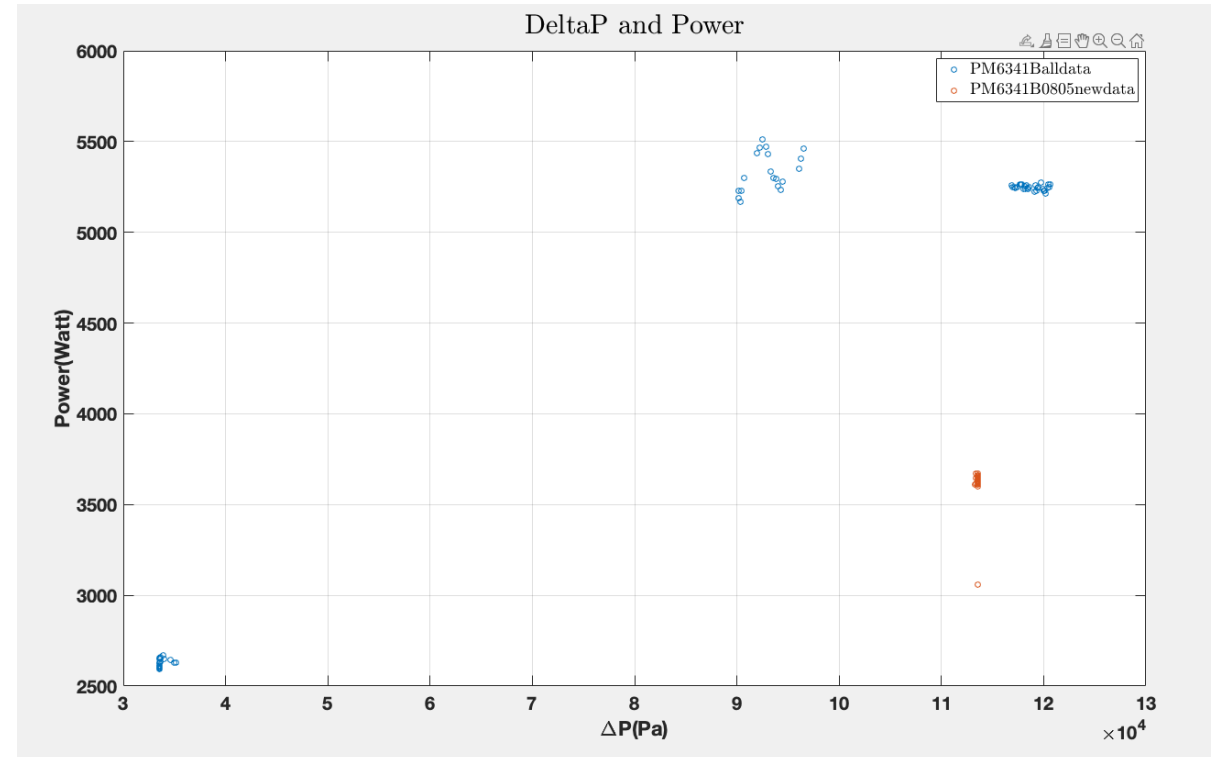
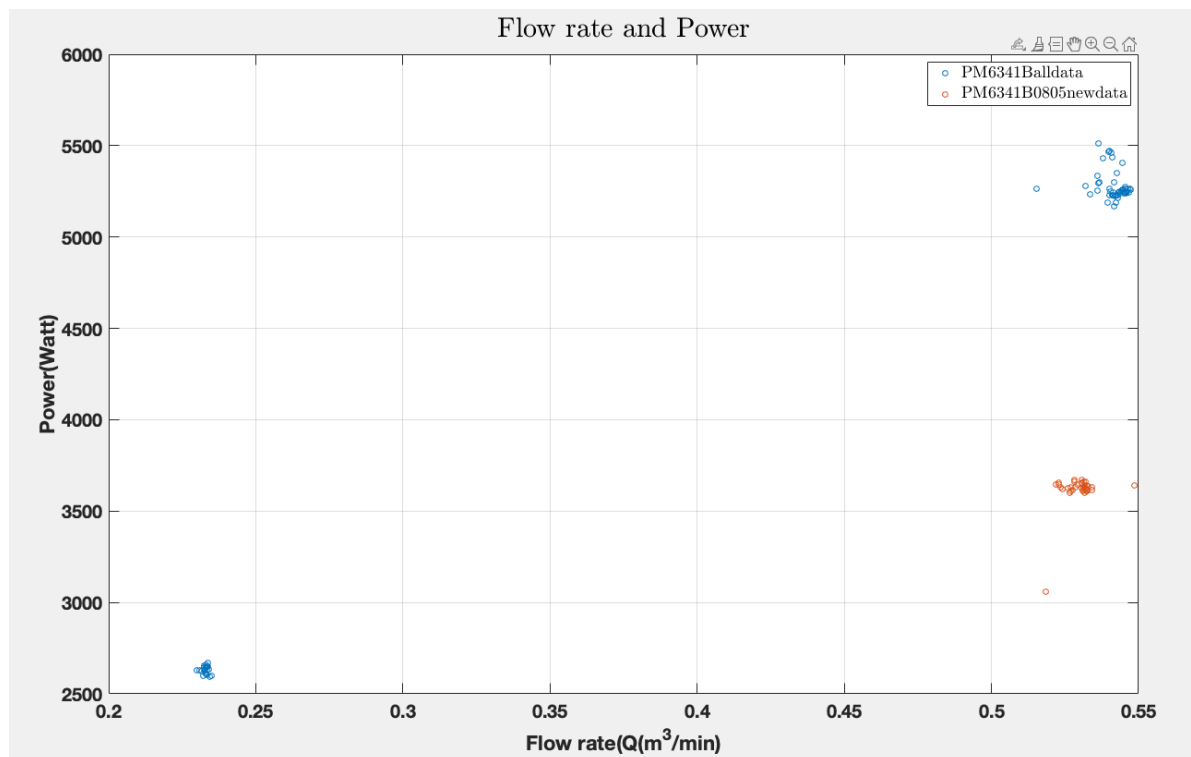
Pump B新馬達7/9量測結果和舊B的3/25、5/13兩天的數據範圍圖



水泵節能與績效驗證案例

Pump B馬達量測結果

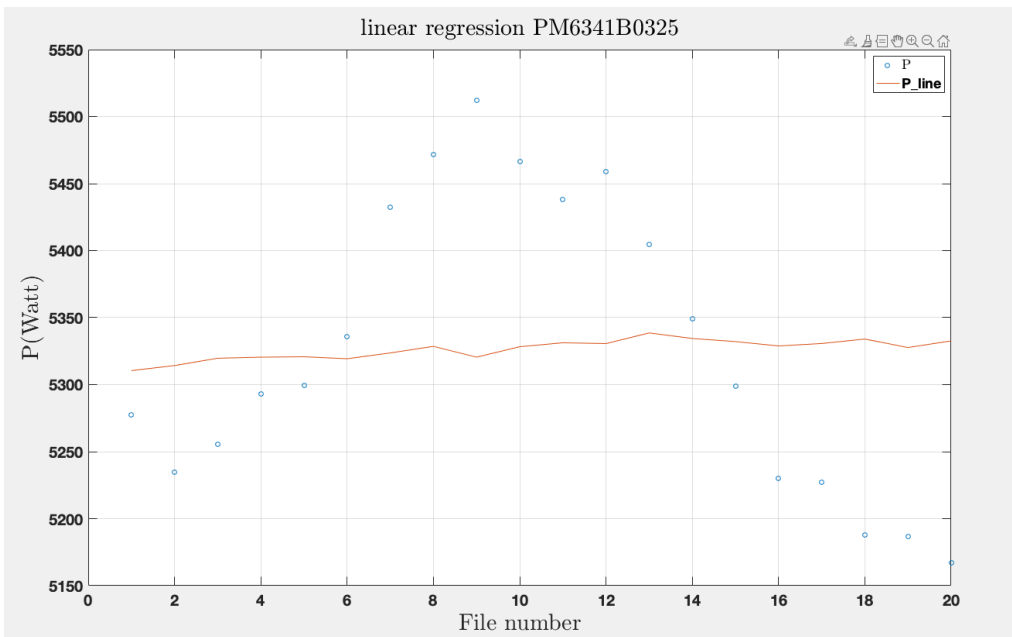
Pump B新馬達8/5量測結果和舊B的3/25、5/13兩天的數據範圍圖



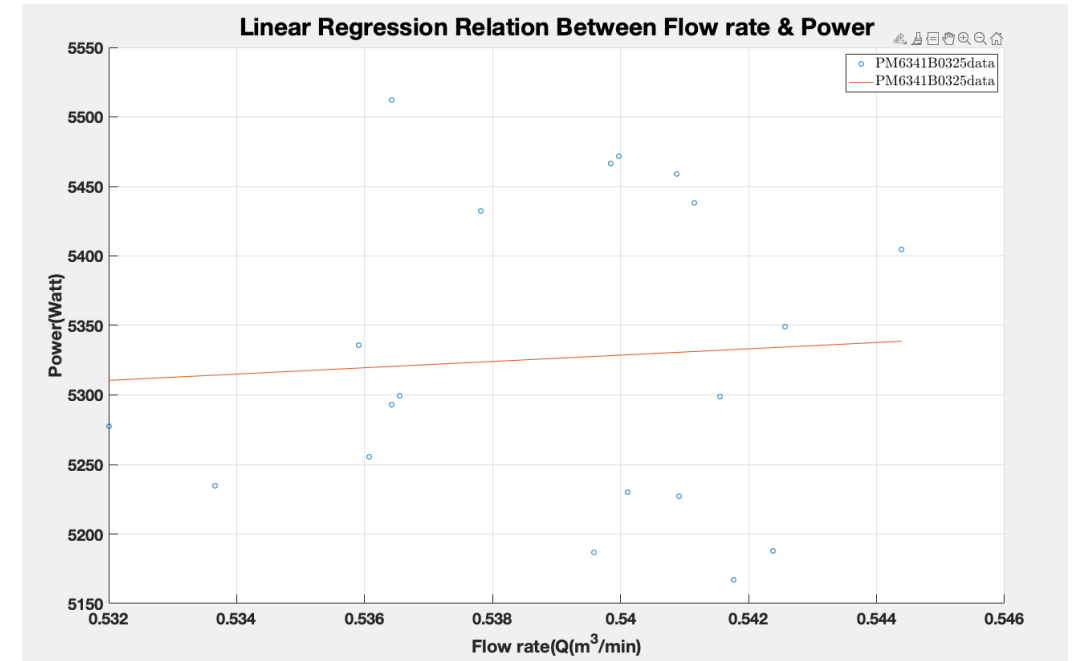
水泵節能與績效驗證案例

Pump B舊馬達模型建立 使用3/25資料

- Pump B舊馬達3/25量測結果
- 模型建立(使用Q model)



$$P = 4102.8 + 2270.1Q$$



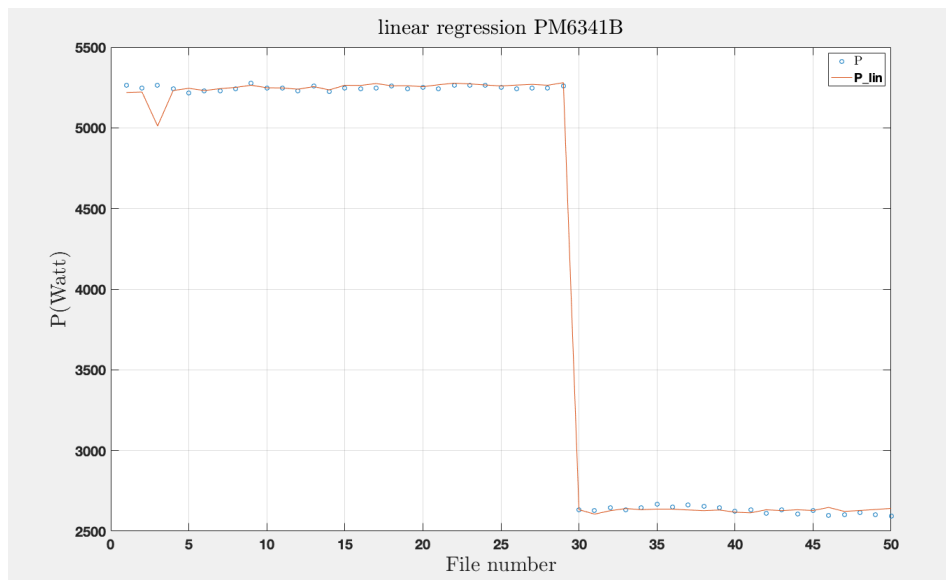
殘差 = 30.67%

$$R^2 = -5.07\%$$

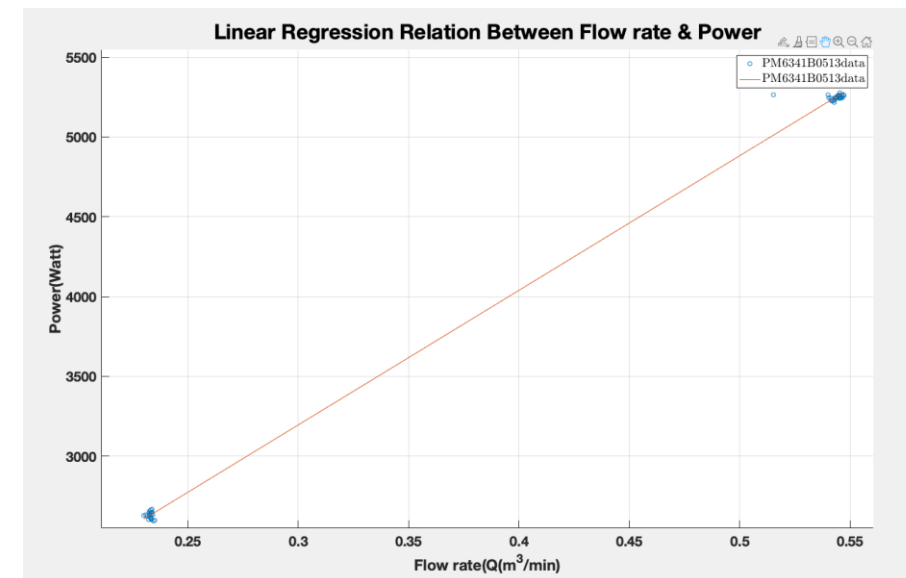
水泵節能與績效驗證案例

Pump B舊馬達模型建立 使用5/13資料

- Pump B舊馬達5/13量測結果
- 模型建立(使用Q model)



$$P = 666.2660 + 8430.6Q$$



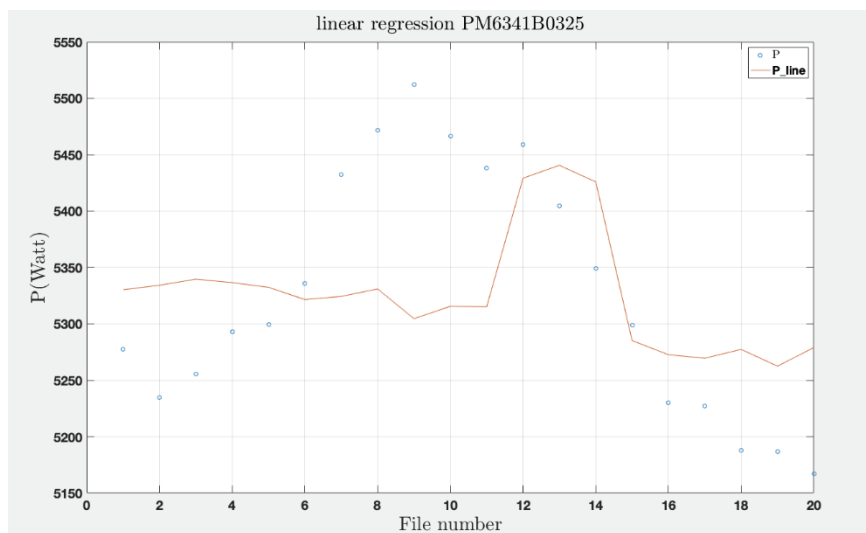
殘差 = 1.53%

$$R^2 = 99.90\%$$

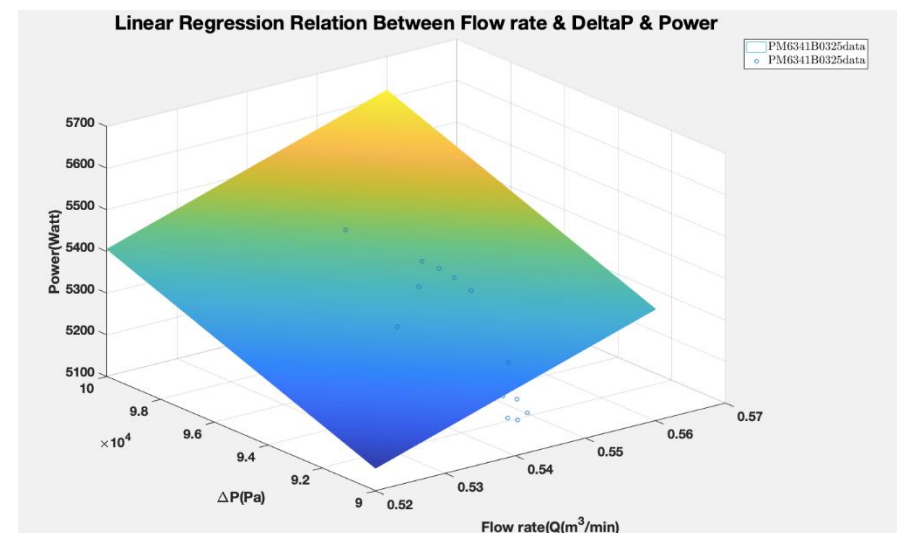
水泵節能與績效驗證案例

Pump B舊馬達模型建立 使用3/25資料

- Pump B舊馬達3/25量測結果
- 模型建立(使用dp and Q model)



$$P = 123.4726 + 5331Q + 0.0251\Delta P$$



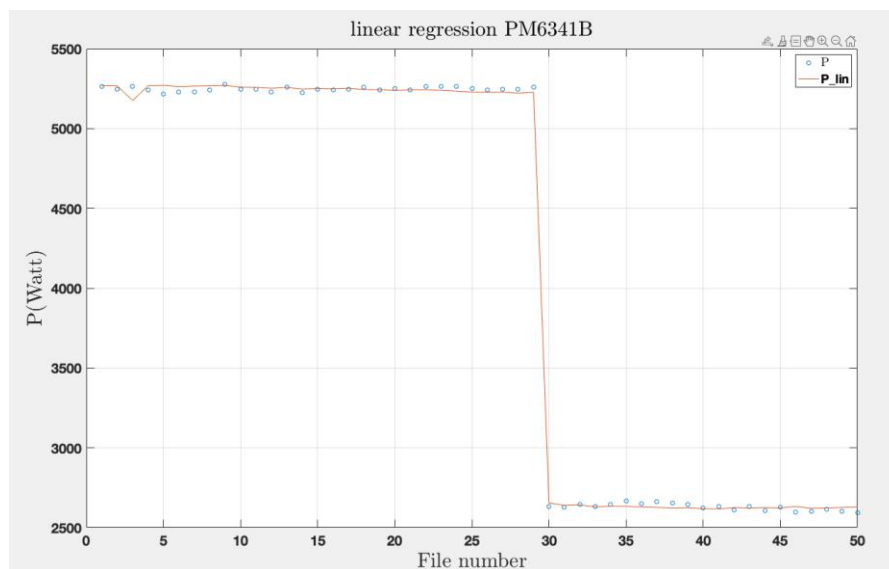
殘差 = 27.01%

$$R^2 = 13.73\%$$

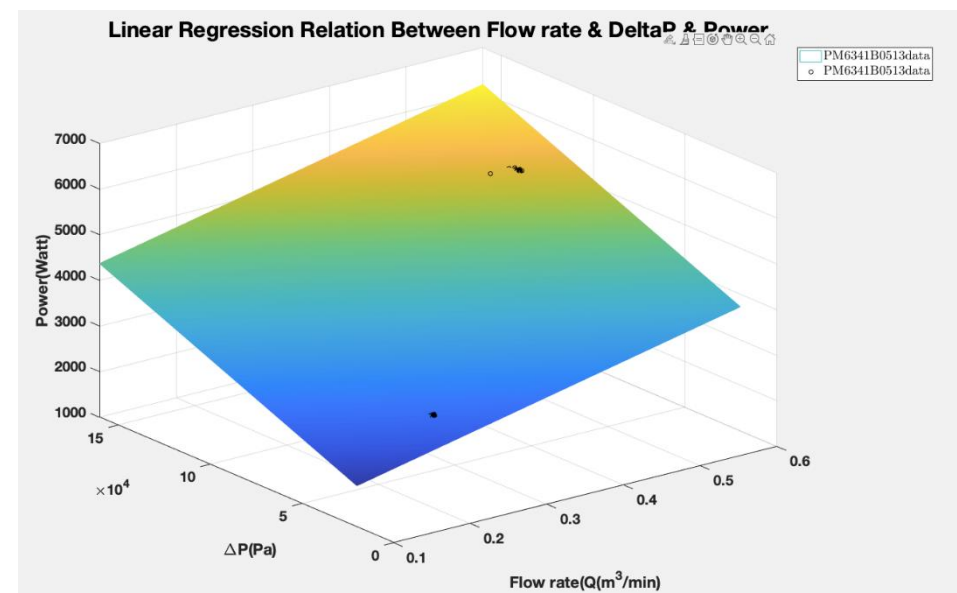
水泵節能與績效驗證案例

Pump B舊馬達模型建立 使用5/13資料

- Pump B舊馬達5/13量測結果
- 模型建立(使用dp and Q model)



$$P = 1191.6 + 3623.7Q + 0.0176\Delta P$$



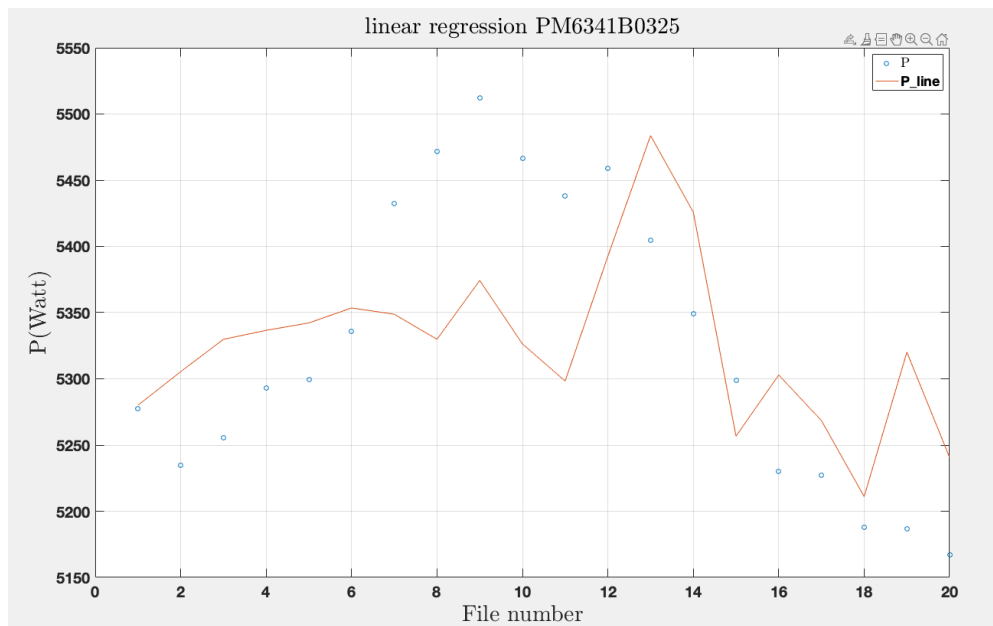
殘差 = 0.93%

$R^2 = 99.96\%$

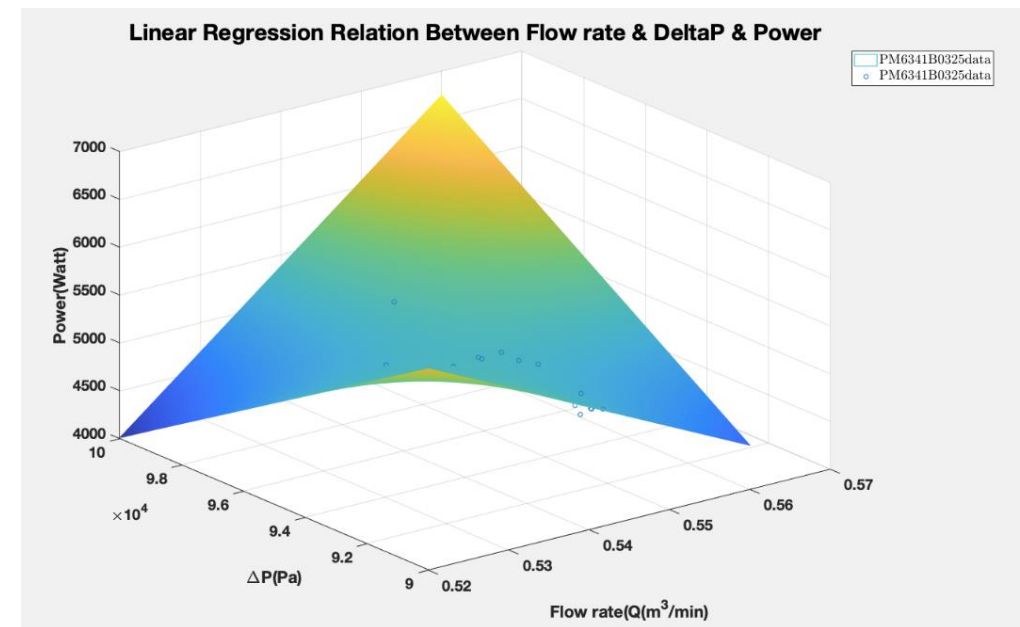
水泵節能與績效驗證案例

Pump B舊馬達模型建立 使用3/25資料

- Pump B舊馬達3/25量測結果
- 模型建立(使用dp and Q interaction model)



$$P = 558830 - 1026700Q - 5.9037\Delta P + 6570431Q\Delta P$$



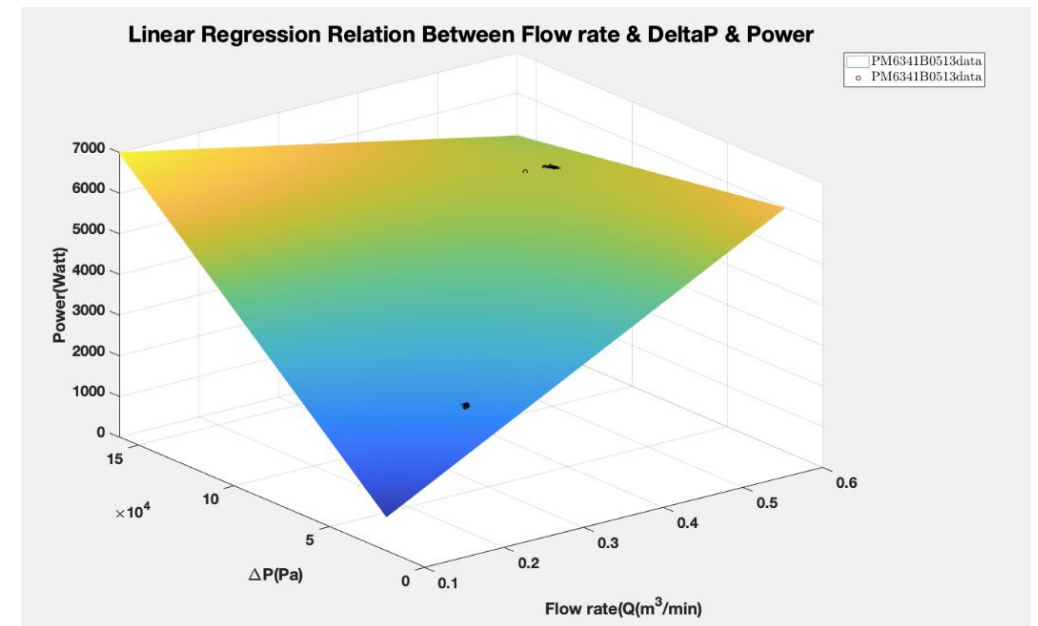
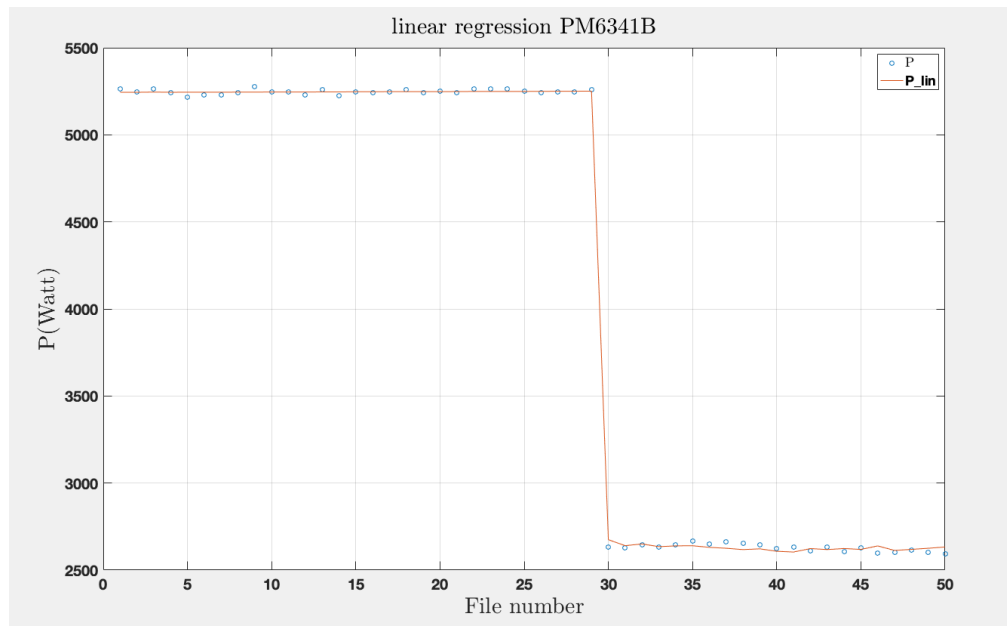
殘差 = 25.03%

$R^2 = 21.31\%$

水泵節能與績效驗證案例

Pump B舊馬達模型建立 使用5/13資料

- Pump B舊馬達5/13量測結果
- 模型建立(使用dp and Q interaction model)



$$P = -1264.6 + 12318Q + 0.0542\Delta P - 6.1567Q\Delta P$$

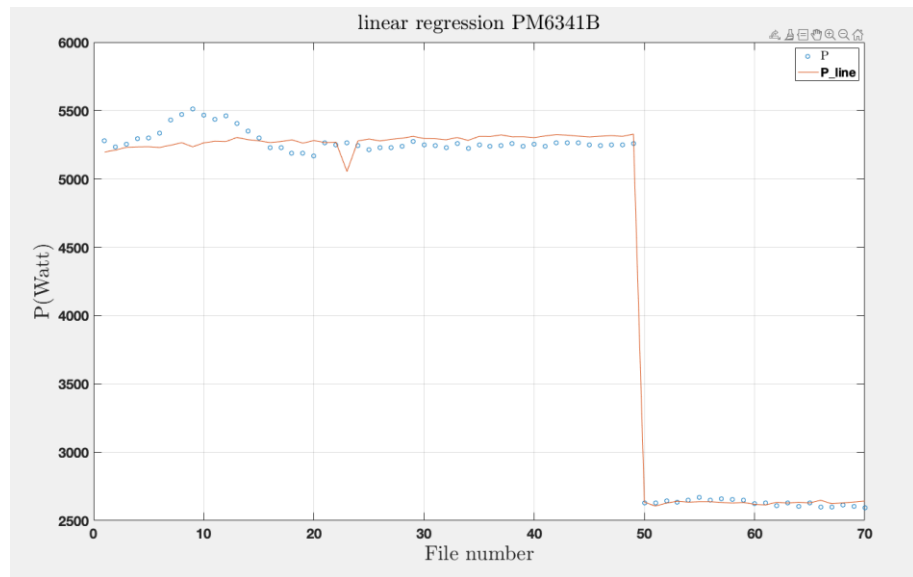
殘差 = 0.69%

$$R^2 = 99.98\%$$

水泵節能與績效驗證案例

Pump B舊馬達模型建立 使用3/25與5/13資料

- Pump B舊馬達3/25和5/13量測結果
- 模型建立(使用Q model)



$$P = 632.8662 + 8578.8Q$$



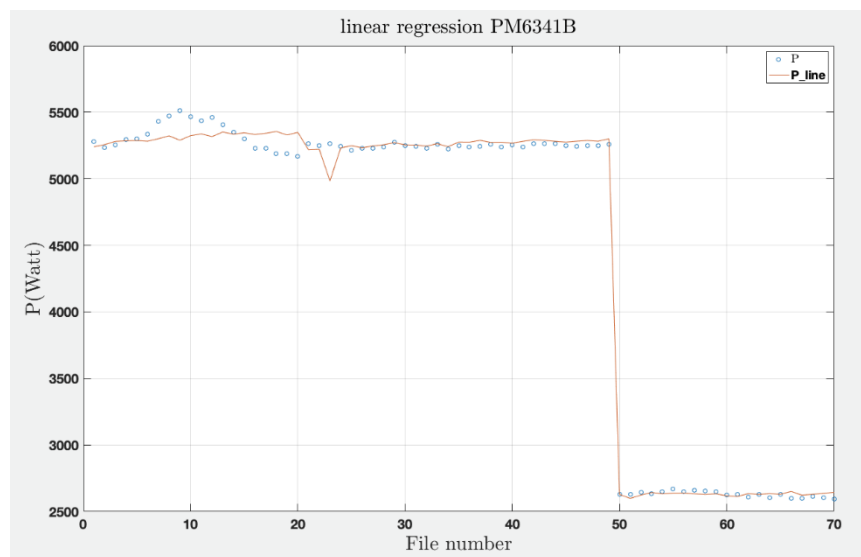
殘差 = 2.83%

$$R^2 = 99.53\%$$

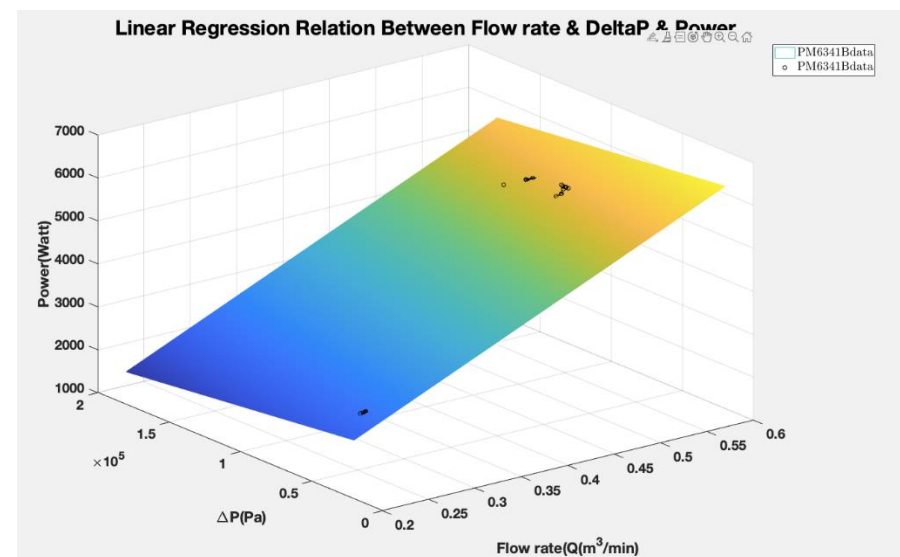
水泵節能與績效驗證案例

Pump B舊馬達模型建立 使用3/25與5/13資料

- Pump B舊馬達3/25和5/13量測結果
- 模型建立(使用dp and Q model)



$$P = 546.7263 + 9497.4Q - 0.0038\Delta P$$



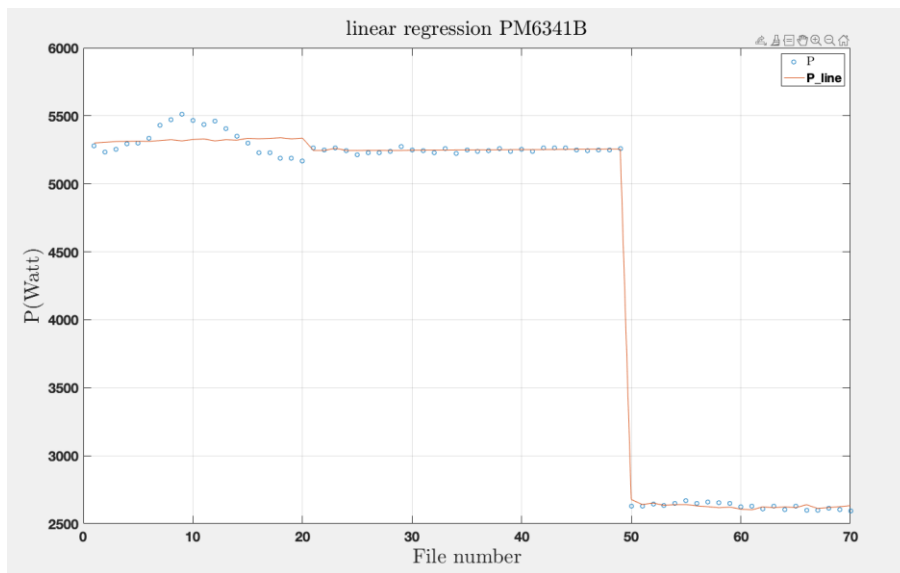
殘差 = 2.48%

$$R^2 = 99.64\%$$

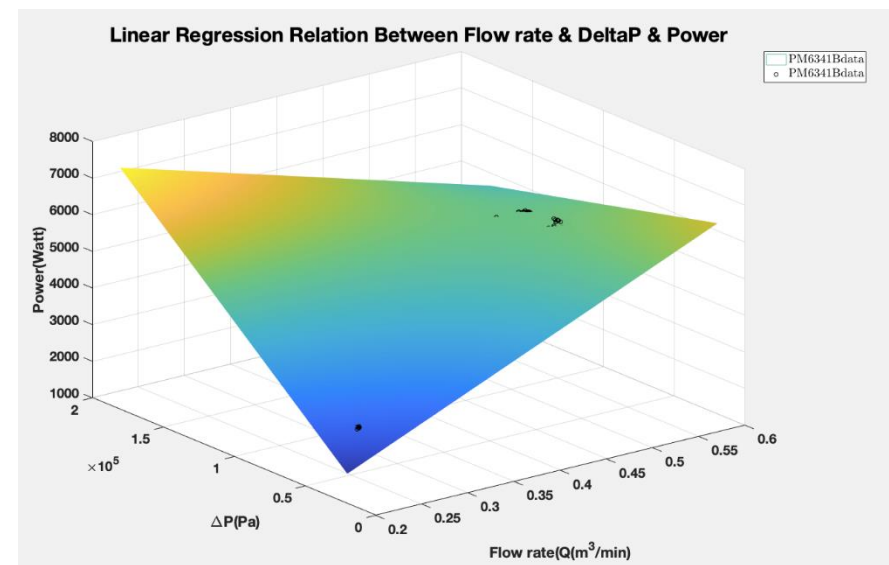
水泵節能與績效驗證案例

Pump B舊馬達模型建立 使用3/25與5/13資料

- Pump B舊馬達3/25和5/13量測結果
- 模型建立(使用dp and Q interaction model)



$$P = -1530.5 + 13180Q + 0.0589\Delta P - 6.8539Q\Delta P$$

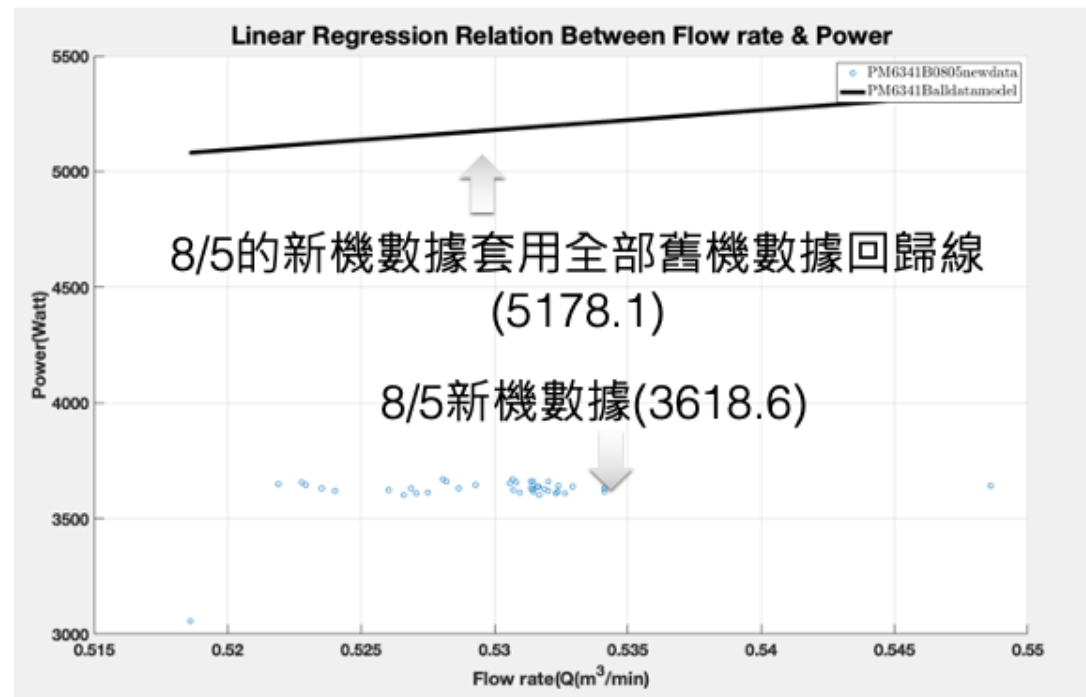


殘差 = 2.07%

$R^2 = 99.74\%$

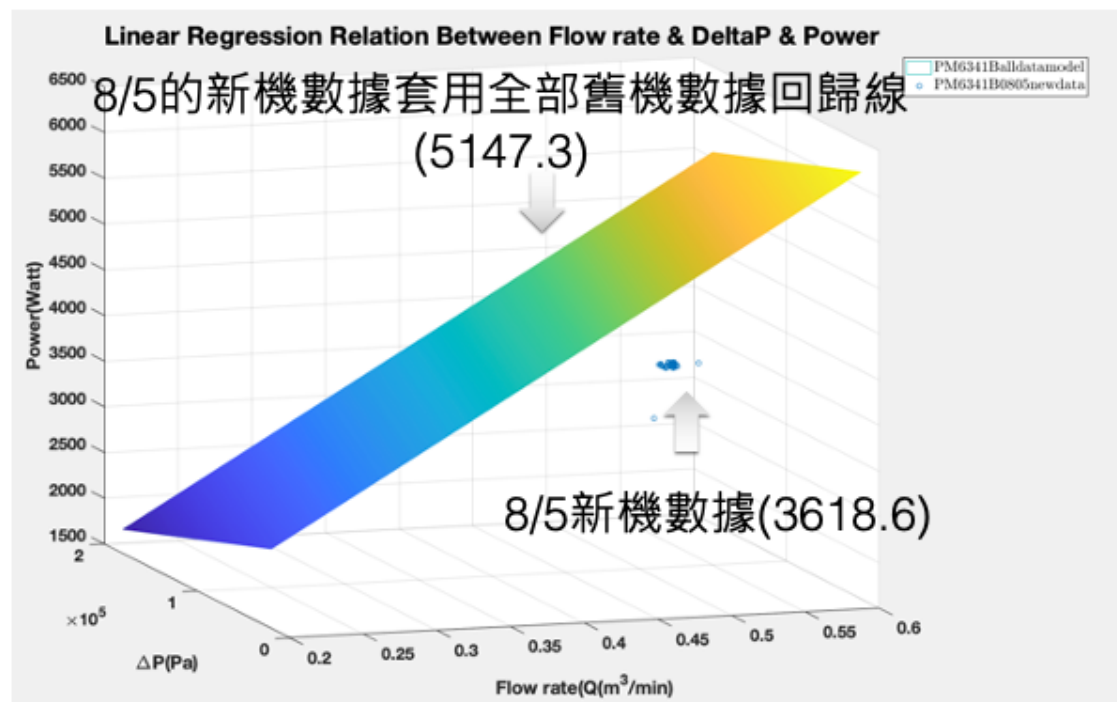
水泵節能與績效驗證案例

- Pump B新馬達8/5量測結果，並採用舊B的3/25和5/13量測模型(使用Q model)。
- 當天量測設備全程都處於滿載的情形，這次的流量和以往的數據差不多，可以把此次結果當作能耗量測結果。



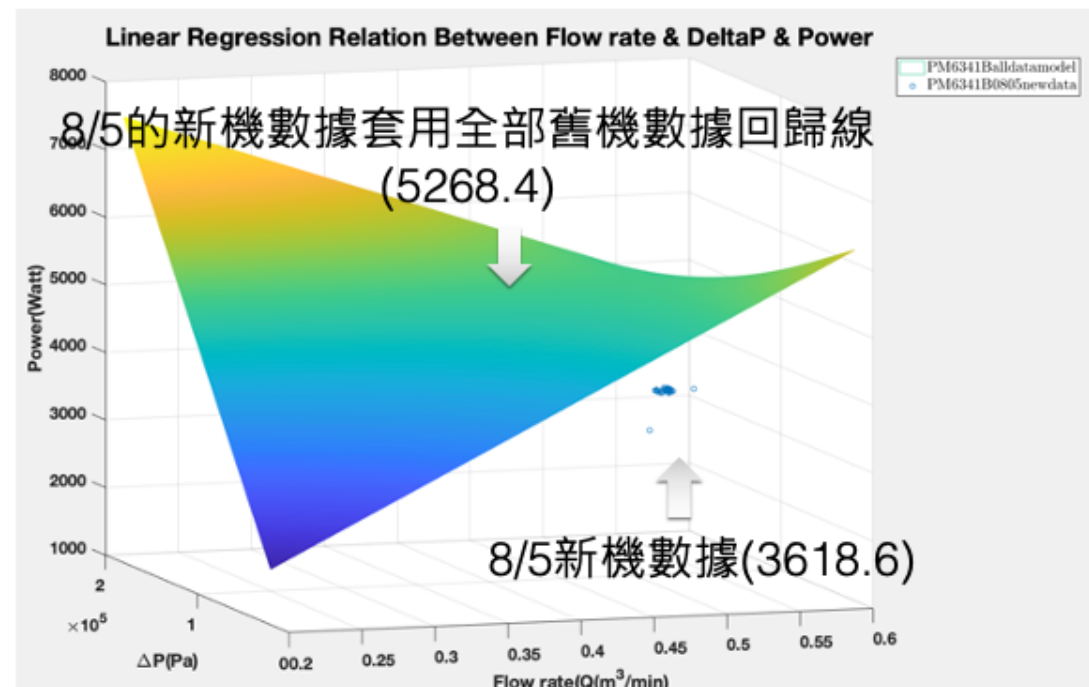
水泵節能與績效驗證案例

- Pump B新馬達8/5量測結果，並採用3/25舊B的和5/13量測模型(使用dp and Q model)。
- 當天量測設備全程都處於滿載的情形，這次的流量和以往的數據差不多，可以把此次結果當作能耗量測結果。



水泵節能與績效驗證案例

- Pump B新馬達8/5量測結果，並採用3/25舊B的和5/13量測模型(使用dp and Q interaction model)。
- 當天量測設備全程都處於滿載的情形，這次的流量和以往的數據差不多，可以把此次結果當作能耗量測結果。



水泵節能與績效驗證案例

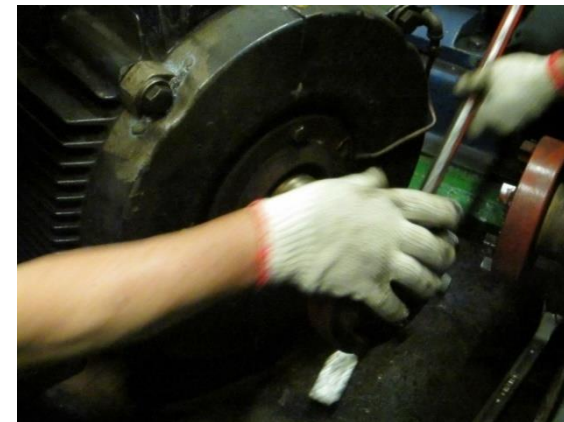
➤ Pump B新馬達各量測結果與Pump B舊馬達模型能耗之比較討論

	Q model		Q and Δp model		Q and Δp and $Q\Delta p$ model	
	R2	殘差	R2	殘差	R2	殘差
	99.53%	2.83%	99.64%	2.48%	99.74%	2.07%
7/9新機data	7.6173%		4.0414%		28.4245%	
8/5新機data	29.2076%		28.7042%		31.2913%	

以這兩天的新機測量數據來套用以前的Pump B的所有量測模型，來計算節能量為多少，但之後處理資料發現7/9當天當天量測到的流量都比以往量測的值還要小，可能是造成這天數據不穩定的成因，因此我們在8/5重新量測也符合以往的流量，8/5的實驗結果是可以當作能耗量測驗證的節能結果。

水泵節能與績效驗證案例

- 感應馬達構造簡單、可靠且成本低廉，所以被廣泛應用於許多產業。感應馬達所消耗的電能，在工業中總用電量中的占比率幾乎達到70%¹，在全國總用電量占比率約達到40%。
- 設備初期故障的排除，可降低異常所導致的額外能耗，提升操作維護效率，預估可節能約5%~20%（美國能源局操作與維護最佳實施）²。
- 傳動皮帶的異常最高可導致5%的效率損失。
- 100匹馬力的馬達，在轉速1800RPM及50%負載下，2.5%供電電壓的不平衡將導致約2%的馬達效率損失。（美國能源部門所公佈的馬達節能秘方）²



送風機案例 之一

送風機案例

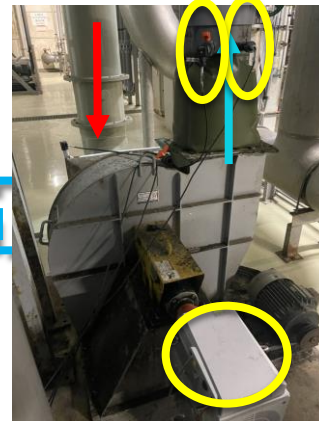


Measure:

inlet pressure
outlet pressure
outlet air speed
motor power



Blower inlet



Blower outlet



Aeration tank

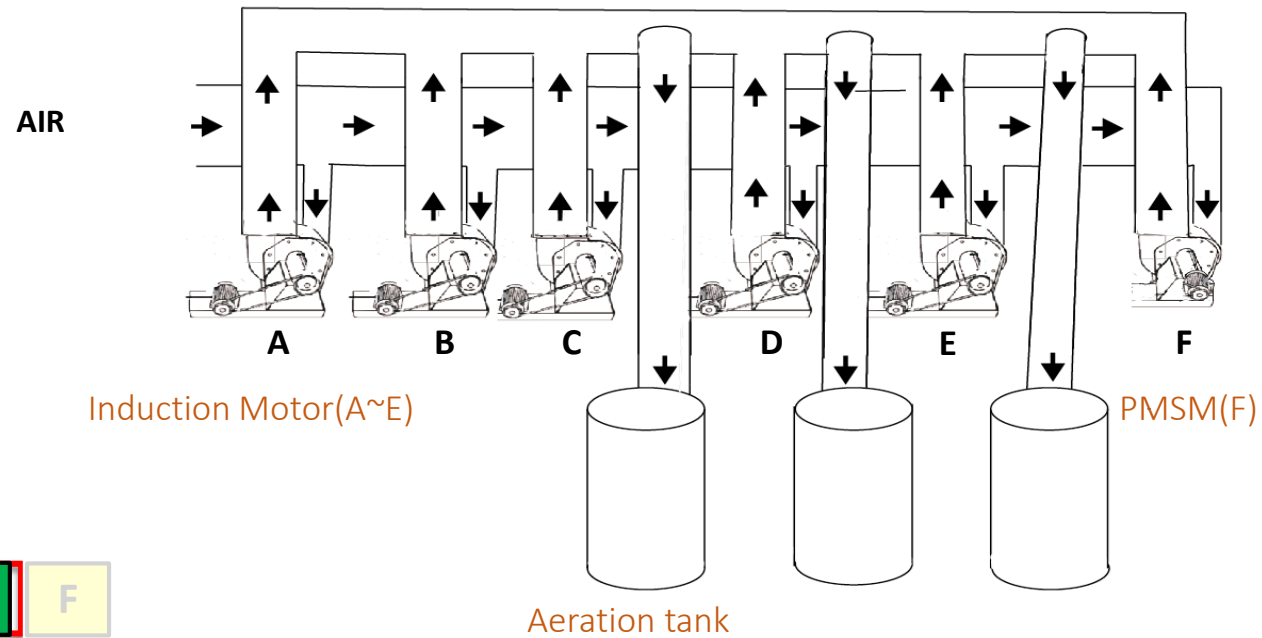
送風機案例

Sensors introduction

- Pressure sensor and Anemometer
- Sampling rate : 1000Hz
- Sampling time : 55 seconds per minute
- Measurement time : 1~2 hours

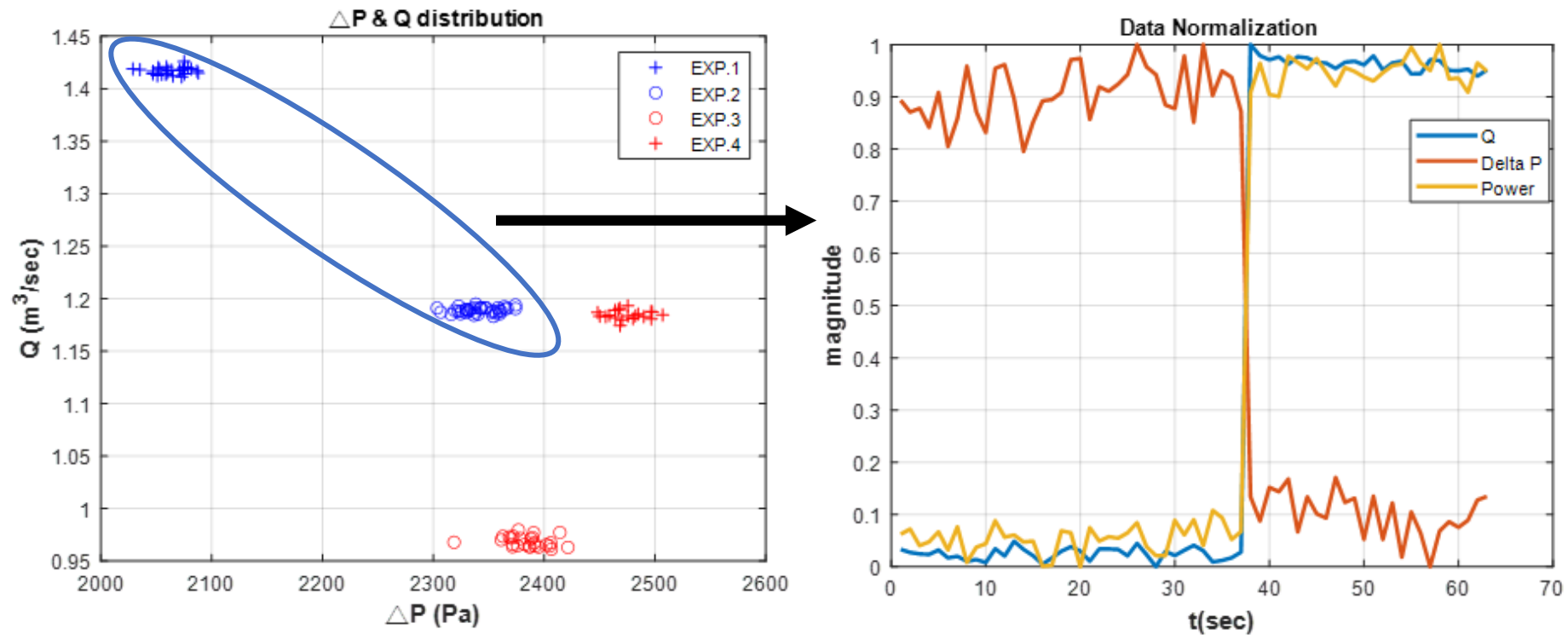
Sensors type	Pressure	Air velocity	Air velocity
	 PM20S	 FTS35-2011-0WMD	 FTM85-4011-0WMD
Input range	0-2(bar)	0-20(m/s)	0-40(m/s)
Output range	4-20(mA)	4-20(mA)	4-20(mA)
Scales	125	1250	2500
Precision	±0.5% F.S.	±2% F.S.	±1.5% F.S.

送風機案例



Experiment number	Running	Measure
EXP.1	ABCDE	E(1735rpm)
EXP.2	BCDEF	E(1735rpm)
EXP.3	BCDEF	F(1735rpm)
EXP.4	BCDEF	F(1860rpm)

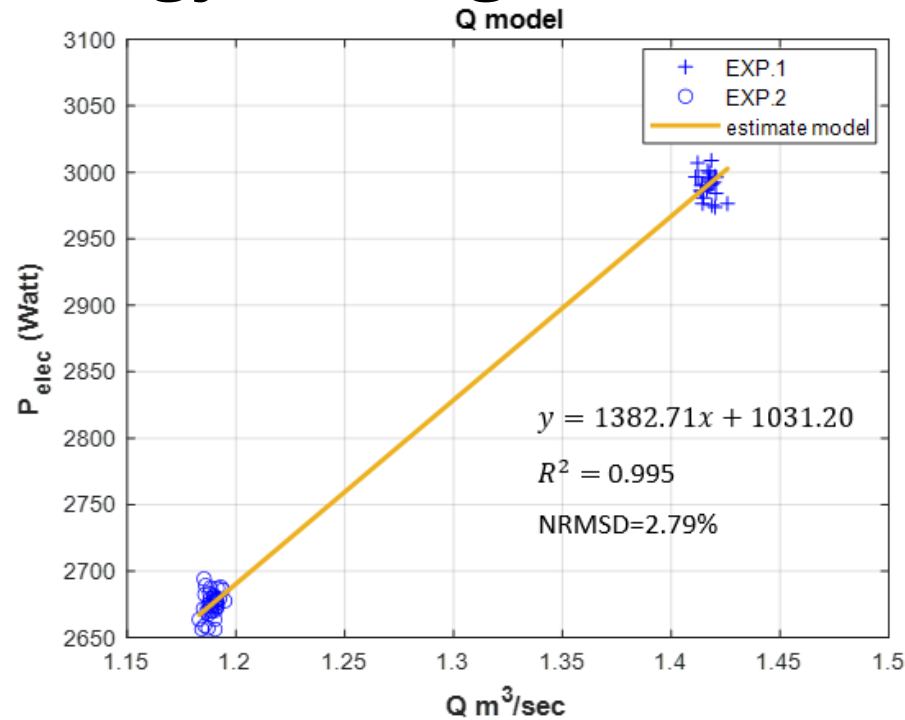
送風機案例



Both **Q** and **DeltaP** affect **Power**

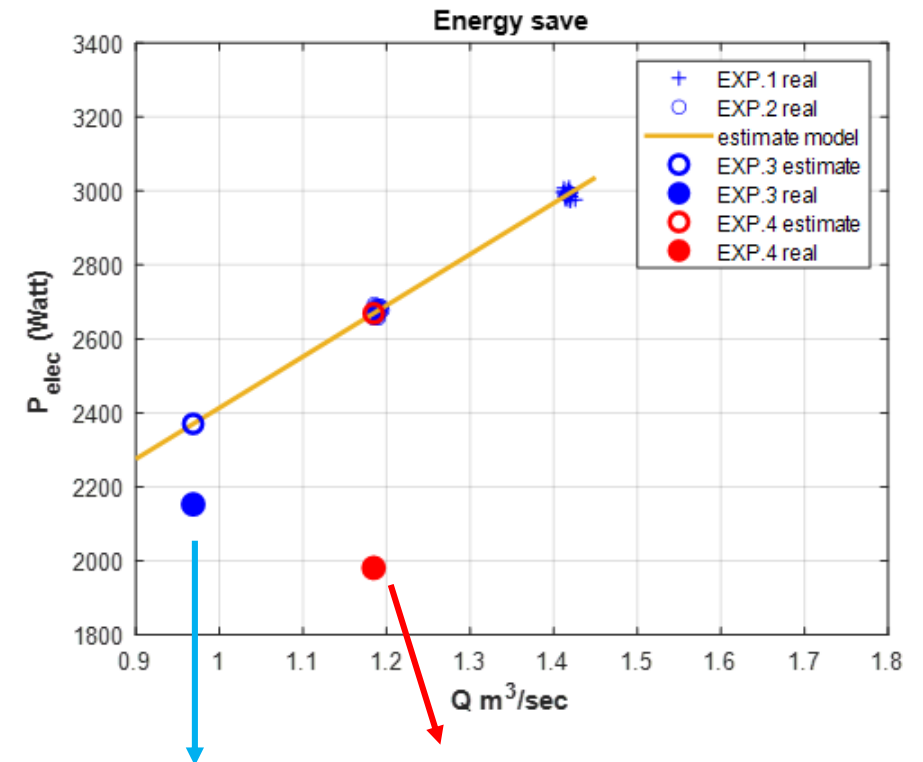
送風機案例

Q Model Energy Saving



average flow rate : 0.97 m³/sec
○ Estimate : 2370.51 Watt
● Real : 2152.95 Watt

Energy saving rate: 9.18%

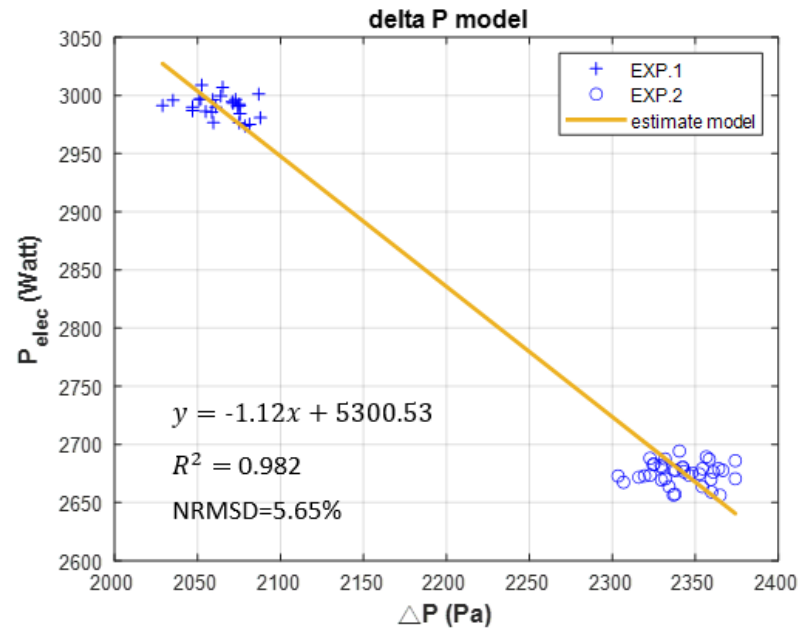


average flow rate : 1.18 m³/sec
○ Estimate : 2669.11 Watt
● Real : 1981.14 Watt

Energy saving rate: 25.78%

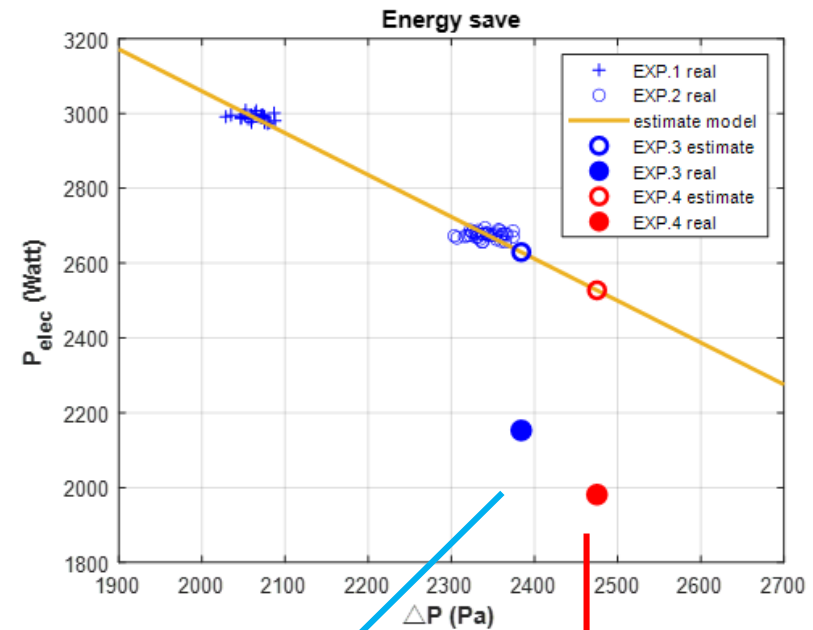
送風機案例

Delta P Model Energy Saving



average delta P : 2384.02 Pa
○ Estimate : 2629.46 Watt
● Real : 2152.95 Watt

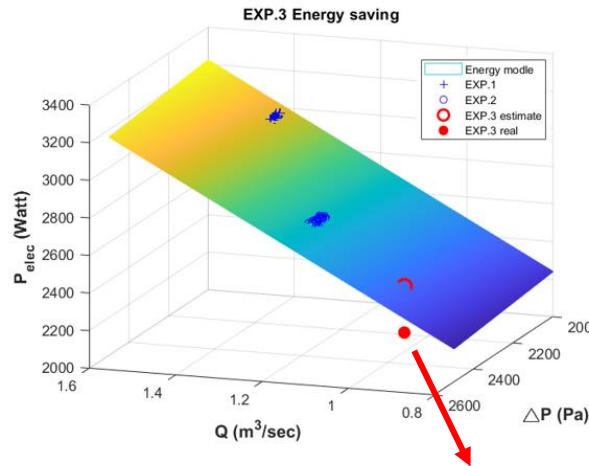
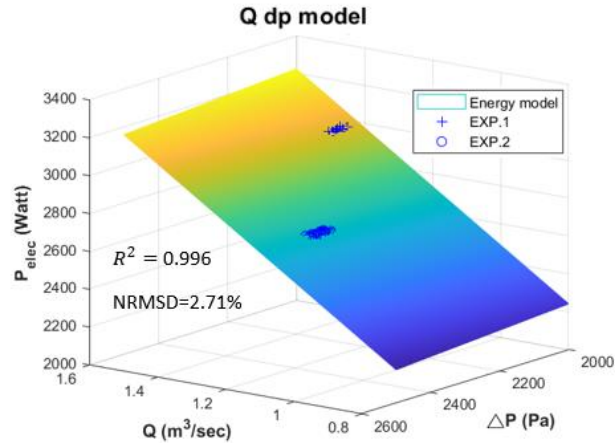
Energy saving rate: 18.12%



average delta P : 2475.07 Pa
○ Estimate : 2527.44 Watt
● Real : 1981.14 Watt

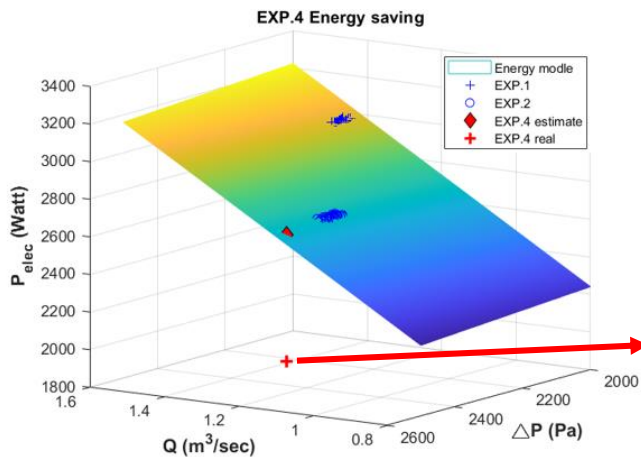
Energy saving rate: 21.61%

送風機案例



average delta P : 2384.02 Pa
 average flow rate : 0.97 m³/sec
 ○ Estimate : 2399.15 Watt
 ● Real : 2152.95 Watt

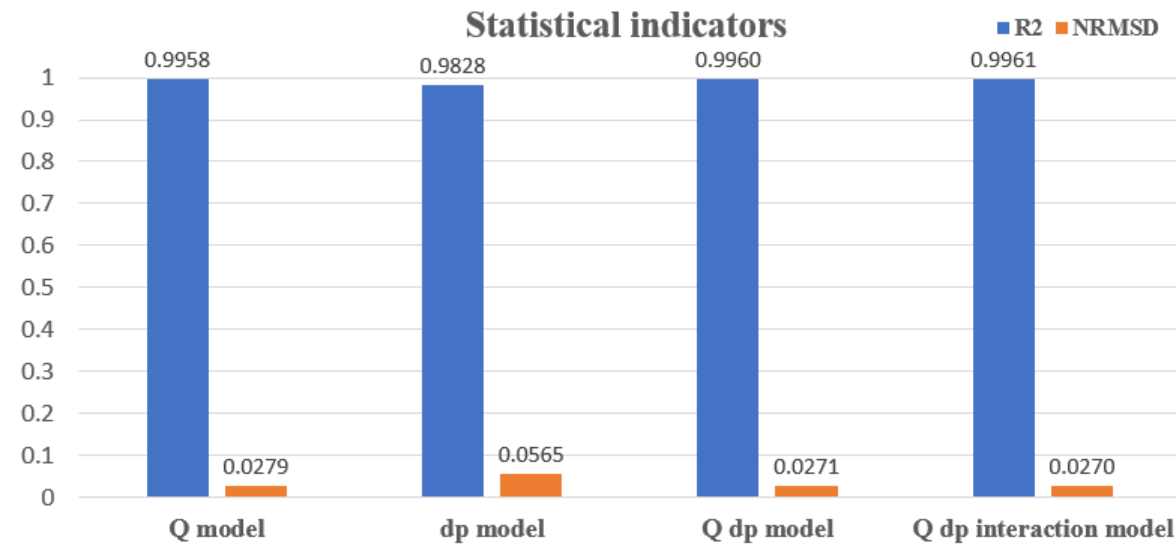
Energy saving rate: 10.26%



average delta P : 2475.07 Pa
 average flow rate : 1.18 m³/sec
 ◆ Estimate : 2652.84 Watt
 + Real : 1981.14 Watt

Energy saving rate: 25.32%

Result

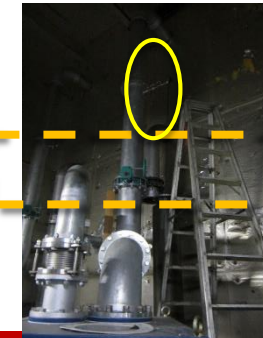
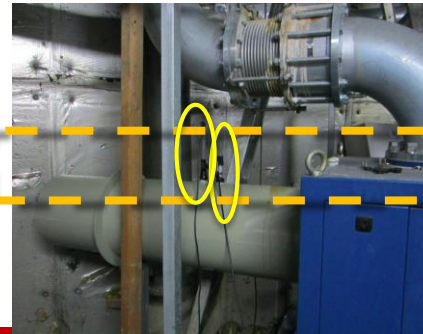
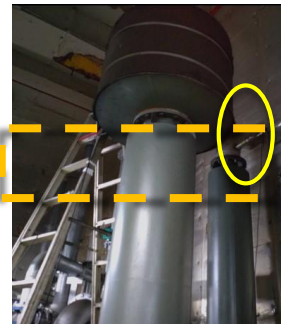
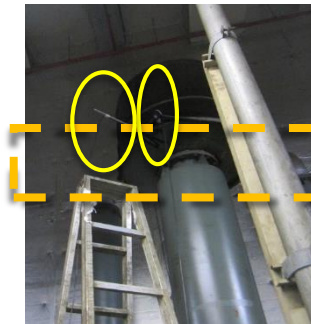
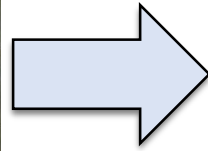


	Q model		dp model		Q dp model		Q dp interaction model	
	R2	NRMSD	R2	NRMSD	R2	NRMSD	R2	NRMSD
	99.5%	2.79%	98.2%	5.65%	99.6%	2.71%	99.61%	2.70%
EXP.3	9.18%		18.12%		10.26%		N/A	
EXP.4	25.78%		12.61%		25.32%		N/A	

送風機案例 之二

送風機案例

Equipment Replacement



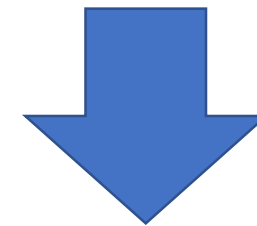
Measure:

inlet pressure
outlet pressure
inlet air speed
Motor power

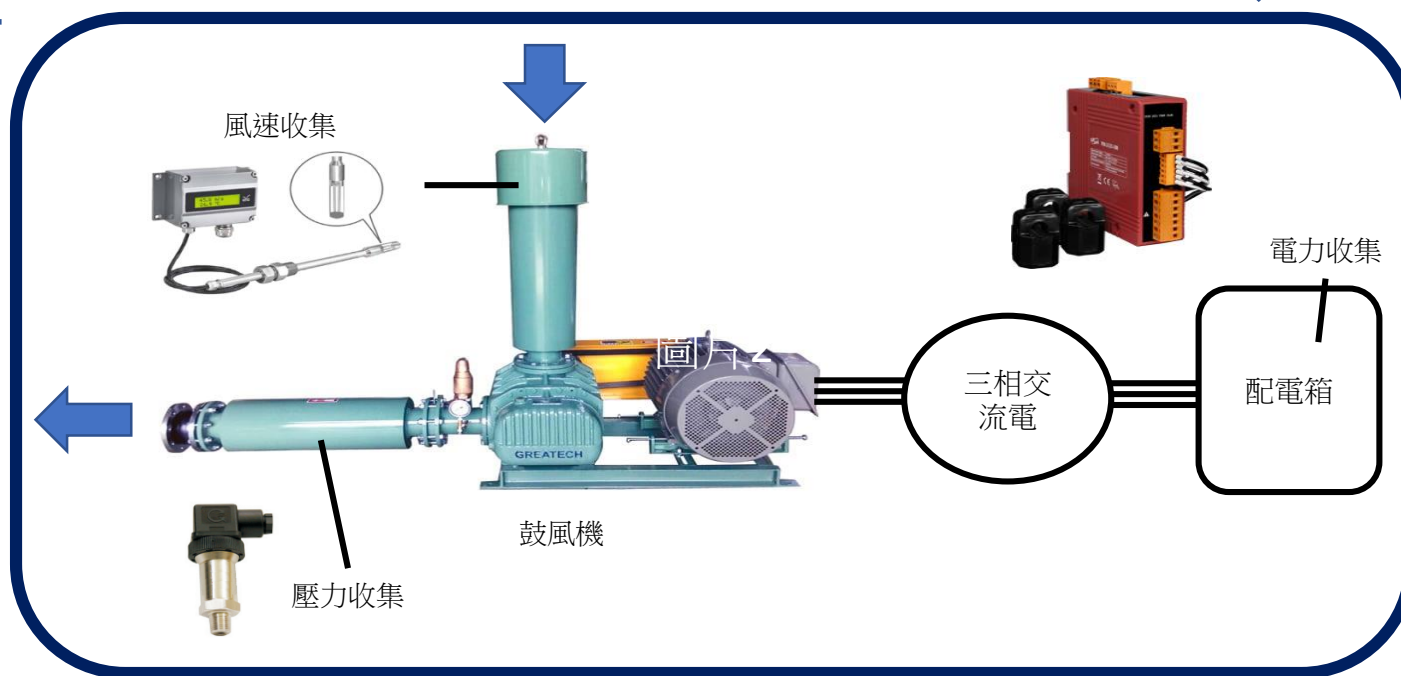
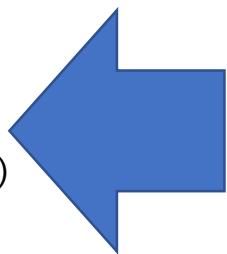
送風機案例

- 計畫之目的
- 節能改善標的物設備
- 節能改善措施說明與評估
- 能耗簡易量測與推估計算

能量輸入：馬達電能(電功率)



能量輸出：
空氣輸出(壓差、流量)



送風機案例

• 量測設備與取樣

- ✓ 供電盤處：
電力量測記錄(電壓電流感測器與擷取系統)
- ✓ 管路流量：
風速計配合管內徑截面積計算之
- ✓ 管路壓力：
出入口壓力感測器紀錄之
- ✓ 取樣率與週期：
每分鐘一筆量測值，各機運轉連續
一小時量測。

- Pressure sensor and Anemometer
- Sampling rate : 1000Hz
- Sampling time : 55 seconds per minute
- Measurement time : 1~2 hours

Sensors type	Pressure	Air velocity	Air velocity
	 PM20S	 FTS35-2011-0WMD	 FTM85-4011-0WMD
Input range	0-2(bar)	0-20(m/s)	0-40(m/s)
Output range	4-20(mA)	4-20(mA)	4-20(mA)
Scales	125	1250	2500
Precision	±0.5% F.S.	±2% F.S.	±1.5% F.S.

送風機案例

➤ 風量

固定以鼓風機入口管道中心點為量測點位，以風速計量測後計算風量。

$$Q = VA \times 60$$

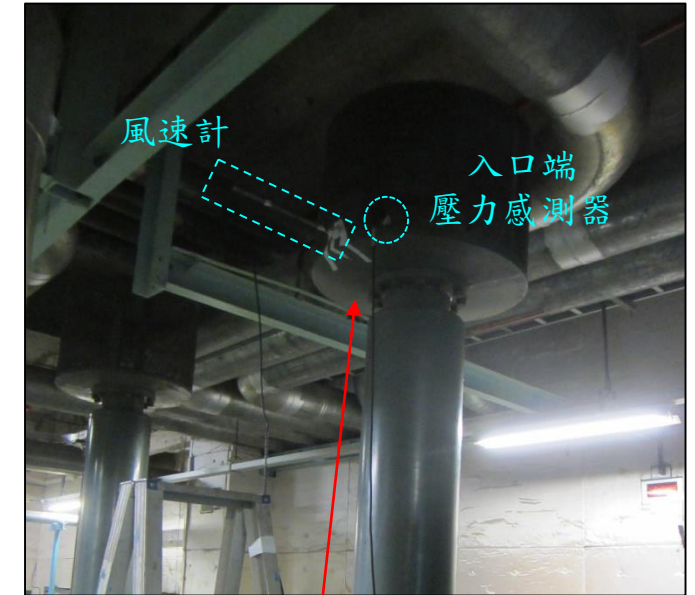
Q : 流量(m^3/min)
 V : 風速(m/s)
 A : 面積(m^2)

➤ 壓力差

利用兩個壓力感測器分別量測鼓風機的入口與出口處，即可得知壓差。

$$\Delta P = P_{out} - P_{in}$$

ΔP : 壓差(bar)
 P_{in} : 入口壓力(bar)
 P_{out} : 出口壓力(bar)



送風機案例

使用之數學模型

回歸模型概述說明



➤ Following the International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP), **option A** (Key parameter measurement) and **option B** (All Parameter measurement), the **least square** method is used to build four kinds of regression models. The specific weight was neglected, which imply that option A is used.

- **Model 1** : Q is the key parameter

$$P_{elec} = C_0 + C_1 Q$$

- **Model 2** : ΔP is the key parameter

$$P_{elec} = C_0 + C_1 \Delta P$$

- **Model 3** : Q and ΔP are the key parameters

$$P_{elec} = C_0 + C_1 Q + C_2 \Delta P$$

- **Model 4** : Q and ΔP are the key parameters and add coupling term

$$P_{elec} = C_0 + C_1 Q + C_2 \Delta P + C_3 Q \Delta P$$

P_{elec} is the electrical power, ΔP is the differential pressure and Q is the air volume flow rate.

送風機案例

數學模型(續)

- 風量與流量

1. 風量(volume flow rate): 風機在單位時間內所通過的氣體體積，常用單位為[cmm]，亦即[m^3/min]。
2. 流量(mass flow rate): 風機在單位時間內所通過的氣體質量，可由風量乘以空氣比重量求得。當壓力比大於1.03時，空氣密度會有所變化，此時流量雖然還是守恆的，但風量將不再守恆。

- 比重公式

$$\gamma = 0.465 \frac{P - 0.3784\phi P_{sat}}{T}$$

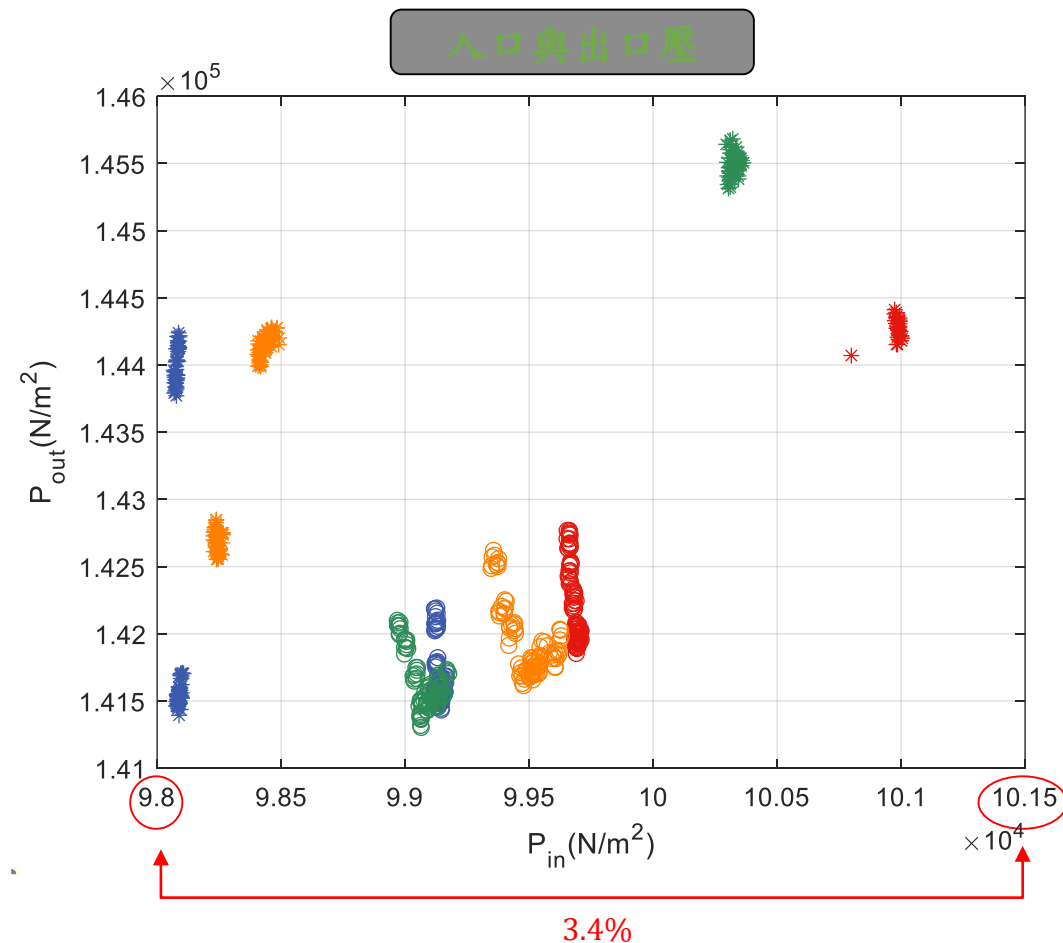
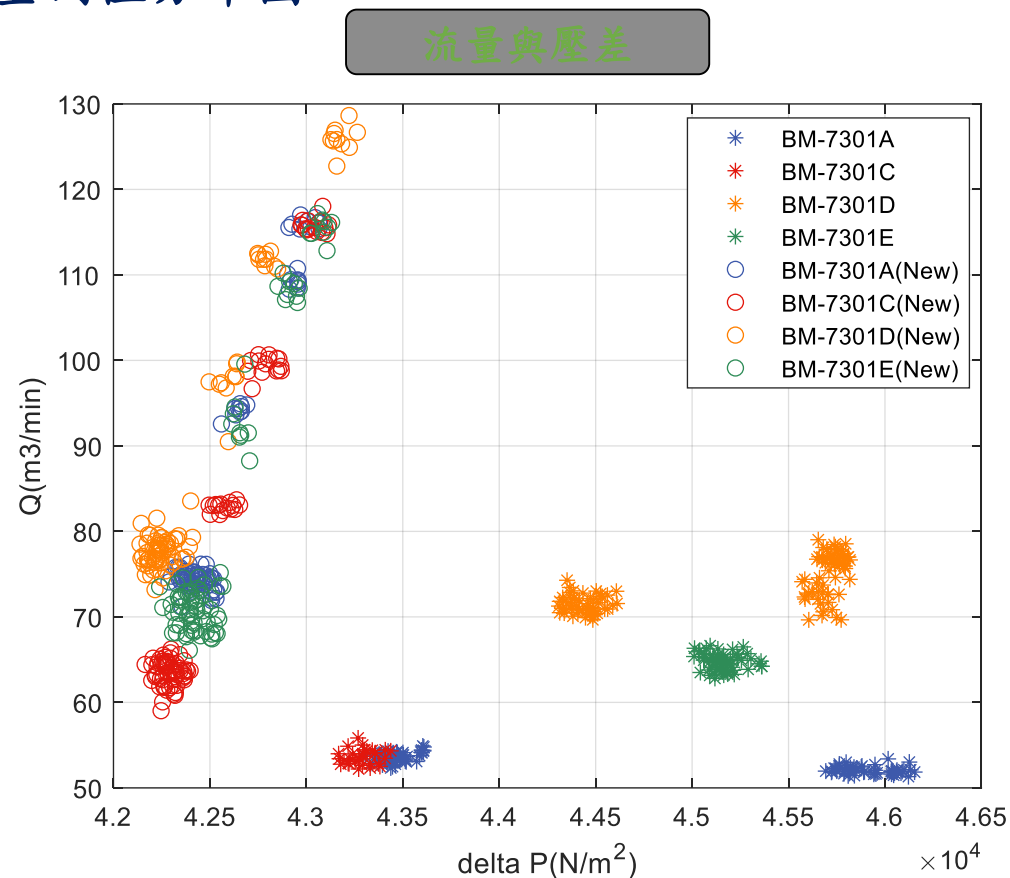
在短時間的量測時，溫度、濕度、飽和蒸汽壓幾乎都為定值，若是作為回歸的基底並不會有太大的效果，但卻是重要的初始條件。

其中， P 為空氣的絕對壓力[$mmHg$]， ϕ 為相對溼度[%]， P_{sat} 為飽和蒸汽壓[$mmHg$]， T 則是絕對溫度[K]。

送風機案例

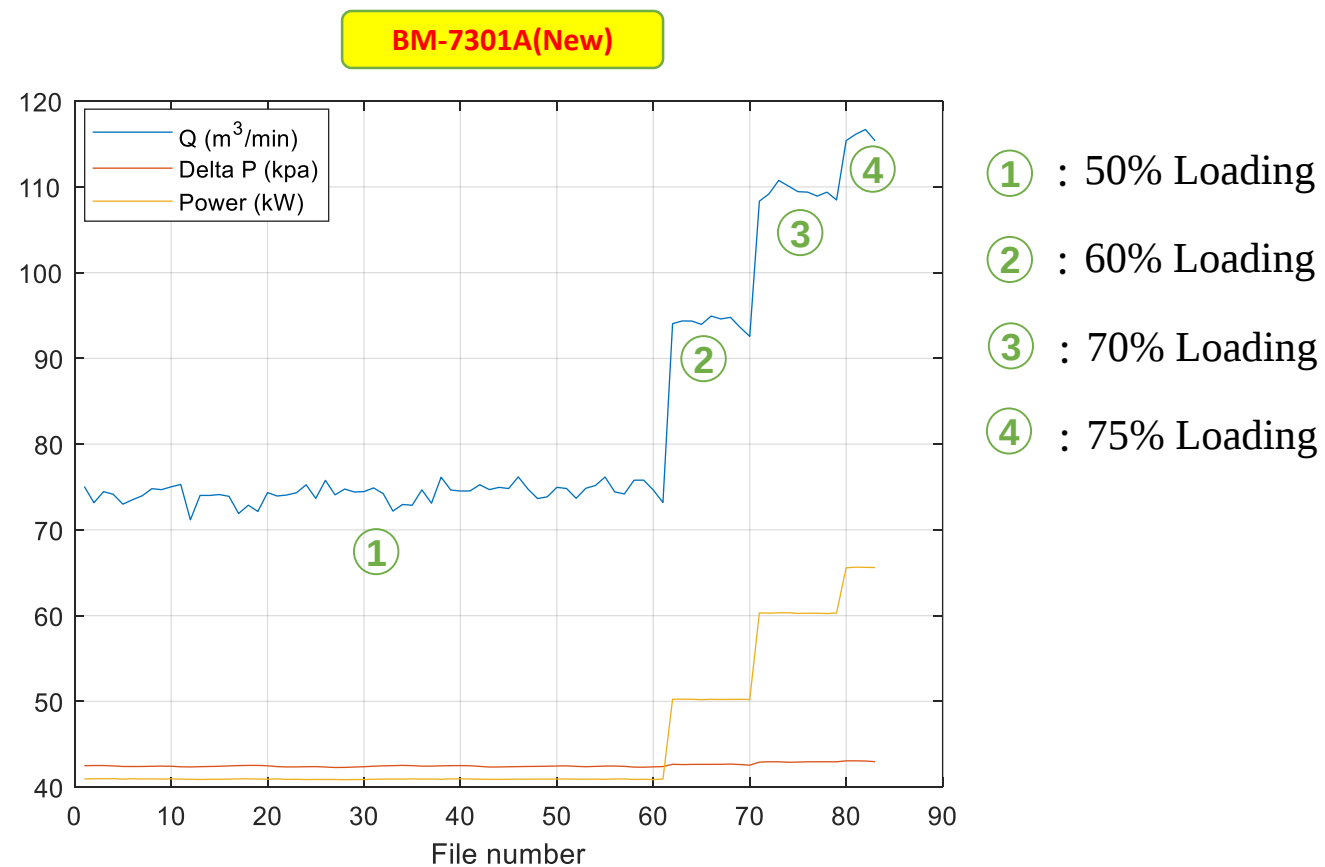
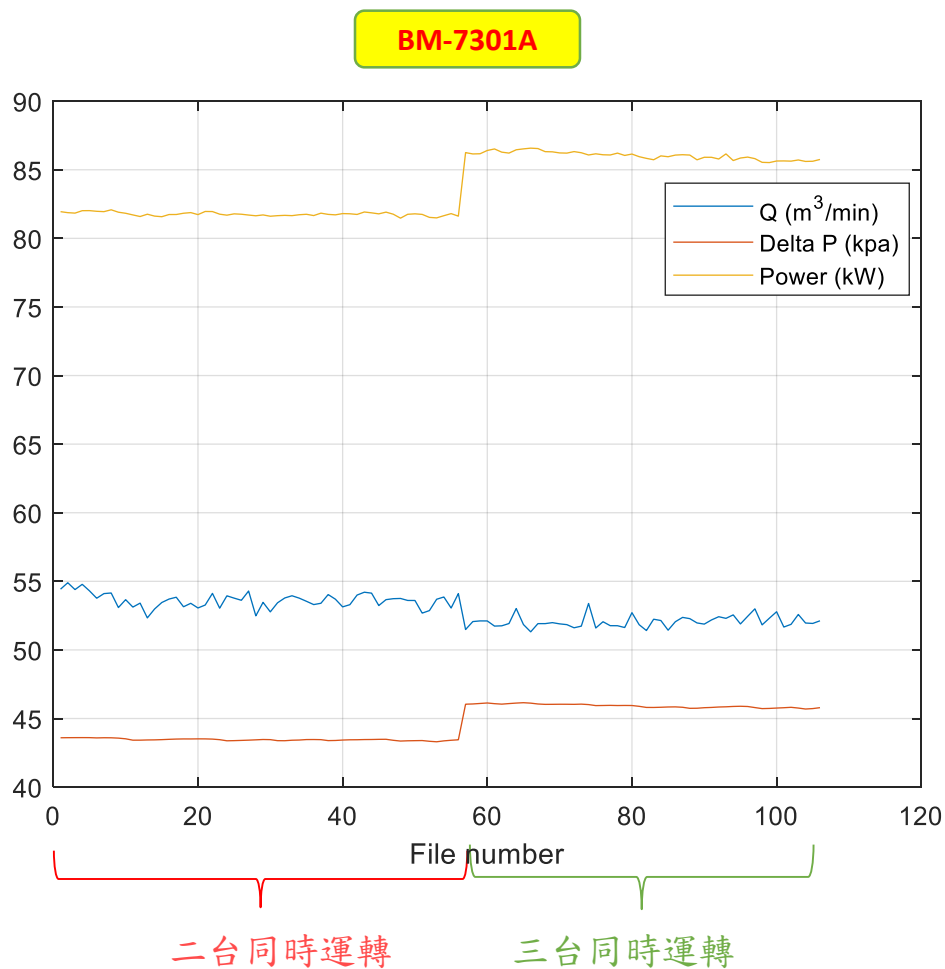
- 改善前舊機量測結果

量測值分布圖



送風機案例

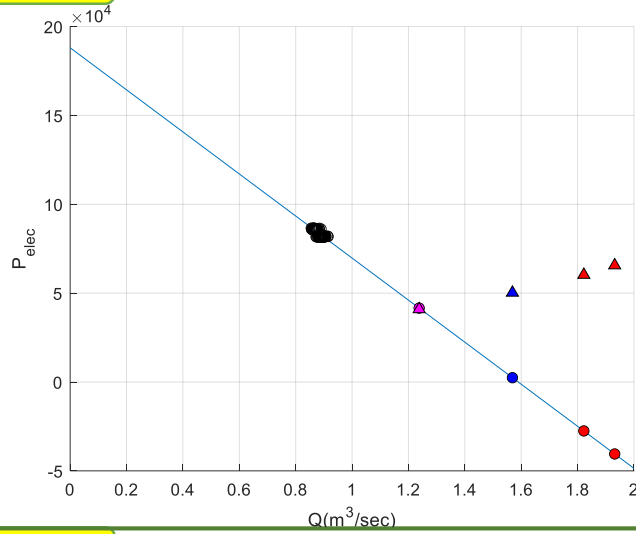
A設備時域圖



送風機案例

A 設備模型

Model 1



$$P_{elec} = C_0 + C_1 Q$$

$$C_0 = 188046.1326$$

$$C_1 = -118307.5047$$

- Power equation
- Old blower data
- Estimate power (50%)
- ▲ Actual power (50%)
- Estimate power (60%)
- ▲ Actual power (60%)
- Estimate power (70%)
- ▲ Actual power (70%)
- Estimate power (75%)
- ▲ Actual power (75%)

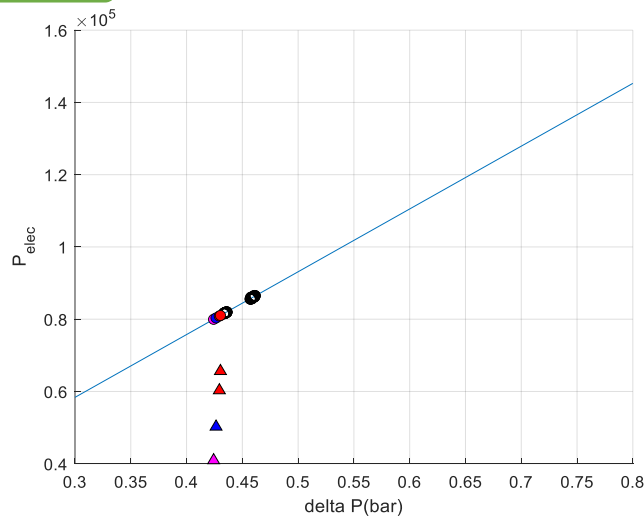
$$NMBE = -0.00 \%$$

$$NRMSE = 22.47\%$$

$$Cv(RMSE) = 1.37\%$$

$$R^2 = 0.7130$$

Model 2



$$P_{elec} = C_0 + C_1 \Delta P$$

$$C_0 = 6223.3912$$

$$C_1 = 173813.6148$$

- Power equation
- Old blower data
- Estimate power (50%)
- ▲ Actual power (50%)
- Estimate power (60%)
- ▲ Actual power (60%)
- Estimate power (70%)
- ▲ Actual power (70%)
- Estimate power (75%)
- ▲ Actual power (75%)

$$NMBE = -0.00 \%$$

$$NRMSE = 2.20\%$$

$$Cv(RMSE) = 0.13\%$$

$$R^2 = 0.9973$$

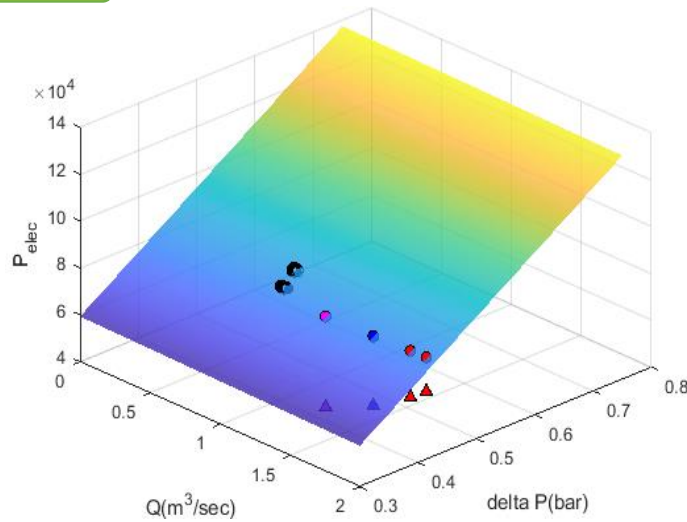
$$\text{Energy saving rate} = \frac{\text{Estimated} - \text{Actual}}{\text{Estimated}}$$

New blower Loading	Estimated energy consumption	Actual energy consumption	Energy-saving rate
%	Watt	Watt	%
50	41577.74	40930.82	1.56 %
60	2422.49	50236.11	-1973.74 %
70	-27539.35	60295.78	318.94 %
75	-40494.83	65618.25	262.04 %

New blower Loading	Estimated energy consumption	Actual energy consumption	Energy-saving rate
%	Watt	Watt	%
50	79965.07	40930.82	48.81 %
60	80345.96	50236.11	37.48 %
70	80860.56	60295.78	25.43 %
75	81025.84	65618.25	19.02 %

送風機案例

Model 3



$$P_{elec} = C_0 + C_1 Q + C_2 \Delta P$$

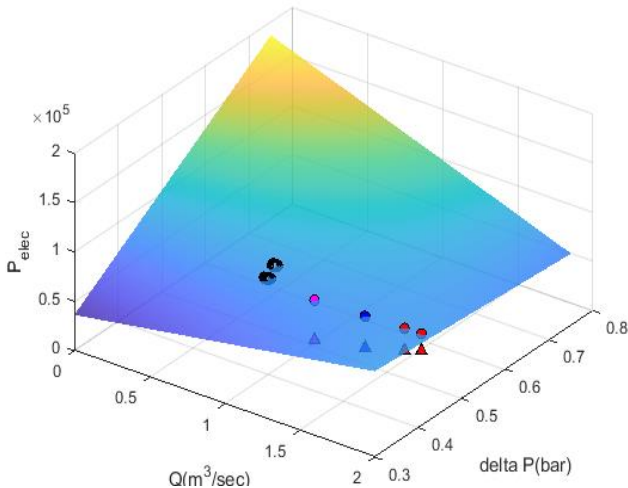
$$C_0 = 7430.9568 \quad C_1 = -895.1678$$

$$C_2 = 172875.3903$$

- Power equation
- Old blower data
- Estimate power (50%)
- ▲ Actual power (50%)
- Estimate power (60%)
- ▲ Actual power (60%)
- Estimate power (70%)
- ▲ Actual power (70%)
- Estimate power (75%)
- ▲ Actual power (75%)

NMBE = 0.00 %
 NRMSE = 2.19%
 $Cv(RMSE) = 0.13\%$
 $R^2 = 0.9973$

Model 4



$$P_{elec} = C_0 + C_1 Q + C_2 \Delta P + C_3 Q \Delta P$$

$$C_0 = -63490.4759 \quad C_1 = 79937.1829$$

$$C_2 = 332589.1679 \quad C_3 = -182102.4420$$

- Power equation
- Old blower data
- Estimate power (50%)
- ▲ Actual power (50%)
- Estimate power (60%)
- ▲ Actual power (60%)
- Estimate power (70%)
- ▲ Actual power (70%)
- Estimate power (75%)
- ▲ Actual power (75%)

NMBE = -0.00 %
 NRMSE = 2.16%
 $Cv(RMSE) = 0.13\%$
 $R^2 = 0.9973$

A 設備模型

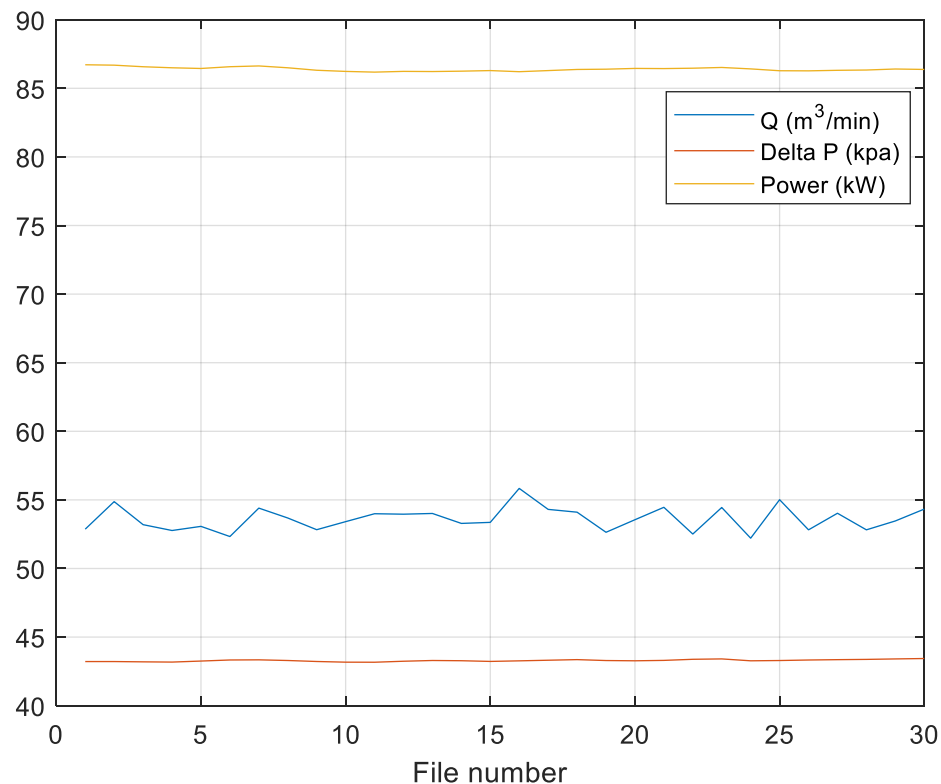
New blower Loading	Estimated energy consumption	Actual energy consumption	Energy-saving rate
%	Watt	Watt	%
50	79666.35	40930.82	48.62 %
60	79748.91	50236.11	37.01 %
70	80034.02	60295.78	24.66 %
75	80100.39	65618.25	18.08 %

New blower Loading	Estimated energy consumption	Actual energy consumption	Energy-saving rate
%	Watt	Watt	%
50	80930.07	40930.82	49.42 %
60	81918.17	50236.11	38.68 %
70	82498.40	60295.78	26.91 %
75	82670.49	65618.25	20.63 %

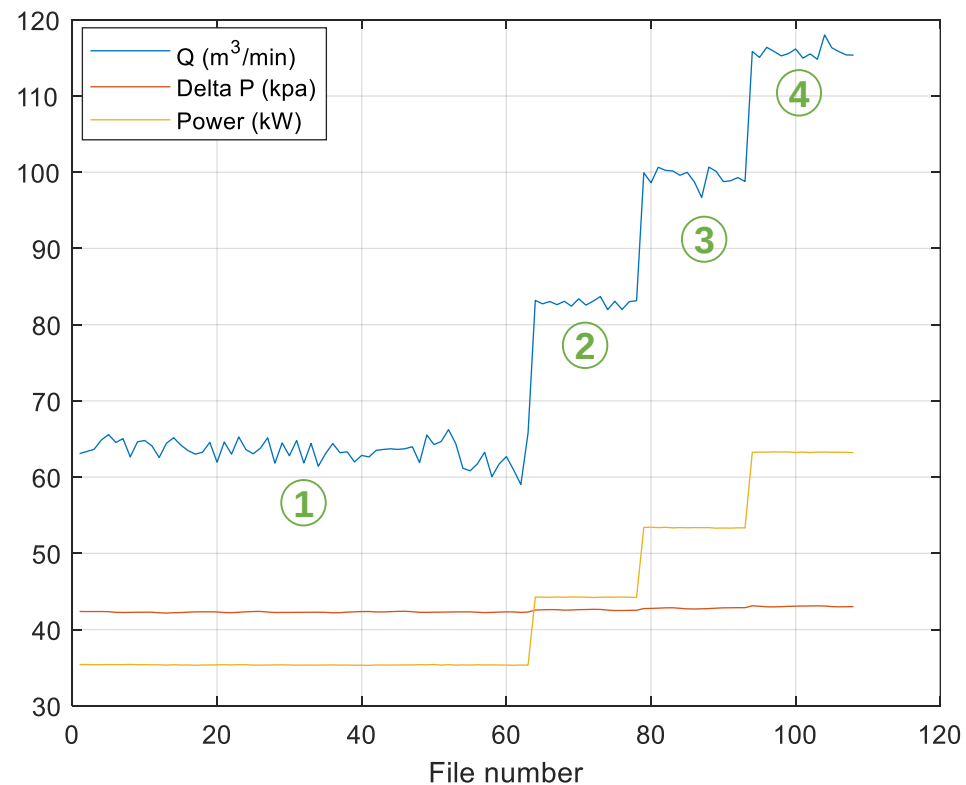
送風機案例

C設備時域圖

BM-7301C



BM-7301C(New)



① : 45% Loading

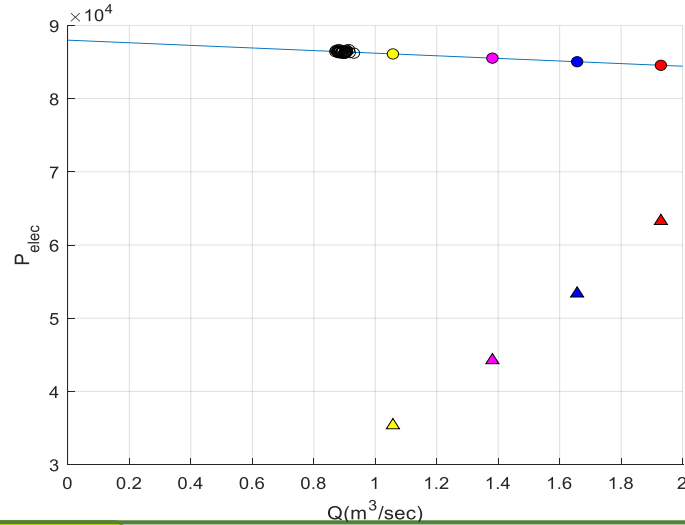
② : 55% Loading

③ : 65% Loading

④ : 75% Loading

送風機案例

Model 1



$$P_{elec} = C_0 + C_1 Q$$

$$C_0 = 87987.0212$$

$$C_1 = -1779.6519$$

- Power equation
- Old blower data
- Estimated power (45%)
- ▲ Actual power (45%)
- Estimated power (55%)
- ▲ Actual power (55%)
- Estimated power (65%)
- ▲ Actual power (65%)
- Estimated power (75%)
- ▲ Actual power (75%)

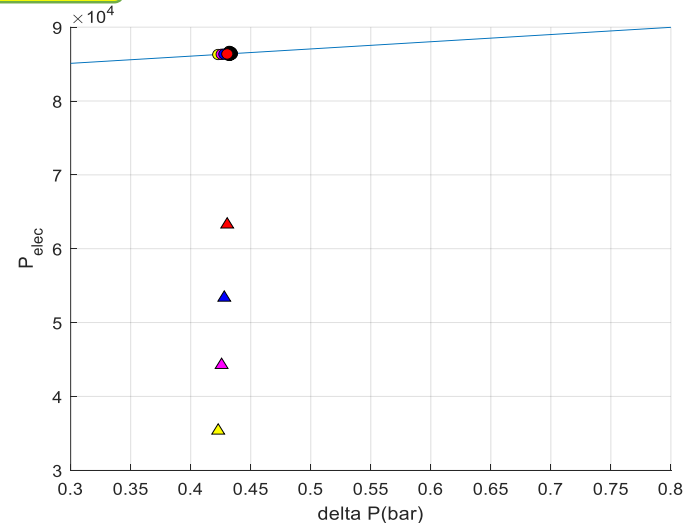
$$NMBE = -0.00 \%$$

$$NRMSE = 26.12 \%$$

$$Cv(RMSE) = 0.16 \%$$

$$R^2 = 0.0319$$

Model 2



$$P_{elec} = C_0 + C_1 \Delta P$$

$$C_0 = 82175.2046$$

$$C_1 = 9751.6179$$

- Power equation
- Old blower data
- Estimated power (45%)
- ▲ Actual power (45%)
- Estimated power (55%)
- ▲ Actual power (55%)
- Estimated power (65%)
- ▲ Actual power (65%)
- Estimated power (75%)
- ▲ Actual power (75%)

$$NMBE = 0.00 \%$$

$$NRMSE = 26.52 \%$$

$$Cv(RMSE) = 0.17 \%$$

$$R^2 = 0.0024$$

C 設備模型

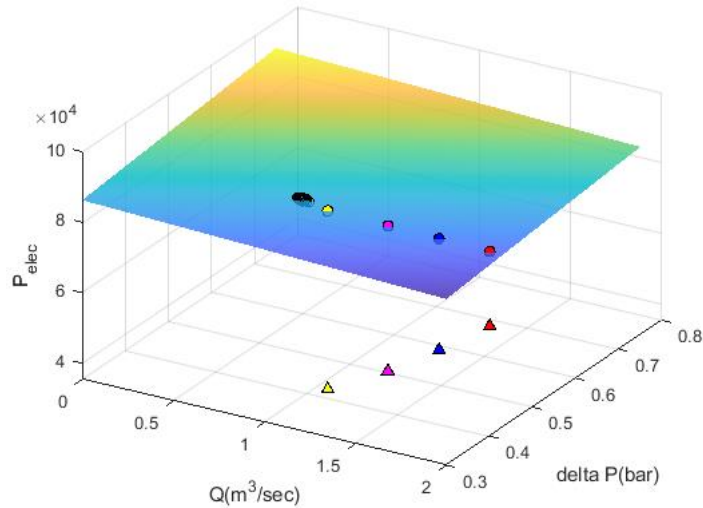
$$\text{Energy saving rate} = \frac{\text{Estimated} - \text{Actual}}{\text{Estimated}}$$

New blower Loading	Estimated energy consumption	Actual energy consumption	Energy-saving rate
%	Watt	Watt	%
45	86105.19	35359.30	58.93 %
55	85529.07	44249.07	48.26 %
65	85038.41	53360.67	37.25 %
75	84553.49	63267.53	25.17 %

New blower Loading	Estimated energy consumption	Actual energy consumption	Energy-saving rate
%	Watt	Watt	%
45	86299.11	35359.30	59.03 %
55	86326.85	44249.07	48.74 %
65	86348.54	53360.67	38.20 %
75	86372.29	63267.53	26.75 %

送風機案例

Model 3



$$P_{elec} = C_0 + C_1 Q + C_2 \Delta P$$

$$C_0 = 82149.026 \quad C_1 = -1852.5437$$

$$C_2 = 13636.4053$$

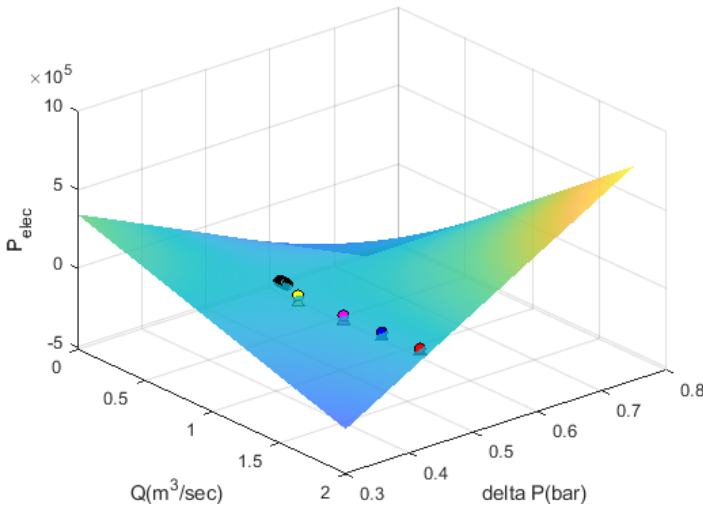
- Power equation
- Old blower data
- Estimated power (45%)
- ▲ Actual power (45%)
- Estimated power (55%)
- ▲ Actual power (55%)
- Estimated power (65%)
- ▲ Actual power (65%)
- Estimated power (75%)
- ▲ Actual power (75%)

NMBE = 0.00 %
 NRMSE = 26.06%
 $Cv(RMSE) = 0.16\%$
 $R^2 = 0.0366$

C 設備模型

New blower Loading	Estimated energy consumption	Actual energy consumption	Energy-saving rate
%	Watt	Watt	%
45	85956.88	35359.30	58.86 %
55	85395.94	44249.07	48.18 %
65	84915.52	53360.67	37.16 %
75	84443.96	63267.53	25.08 %

Model 4



$$P_{elec} = C_0 + C_1 Q + C_2 \Delta P + C_3 Q \Delta P$$

$$C_0 = 915351.4691 \quad C_1 = -934208.224$$

$$C_2 = -1911037.5591 \quad C_3 = 2153708.9482$$

- Power equation
- Old blower data
- Estimated power (45%)
- ▲ Actual power (45%)
- Estimated power (55%)
- ▲ Actual power (55%)
- Estimated power (65%)
- ▲ Actual power (65%)
- Estimated power (75%)
- ▲ Actual power (75%)

NMBE = -0.00 %
 NRMSE = 25.85%
 $Cv(RMSE) = 0.17\%$
 $R^2 = 0.0522$

New blower Loading	Estimated energy consumption	Actual energy consumption	Energy-saving rate
%	Watt	Watt	%
45	82422.52	35359.30	57.10 %
55	77870.14	44249.07	43.18 %
65	76791.40	53360.67	30.51 %
75	78847.56	63267.53	19.76 %

送風機案例

- 資料統整與節能率計算

	Model 1			Model 2			Model 3			Model 4		
	residual	R^2	節能率	residual	R^2	節能率	residual	R^2	節能率	residual	R^2	節能率
BM-7301A	22.47%	0.71	1.56%	2.20%	0.99	48.81%	2.19%	0.99	48.62%	2.16%	0.99	49.42%
BM-7301C	26.12%	0.03	58.93%	26.52%	0.00	59.03%	26.06%	0.04	58.86%	25.85%	0.05	57.10%
BM-7301D	28.12%	0.48	52.83%	3.23%	0.99	48.37%	3.15%	0.99	48.47%	3.13%	0.99	48.30%
BM-7301E	22.80%	0.00	54.36%	11.43%	0.75	51.99%	10.53%	0.79	52.02%	10.42%	0.79	50.66%

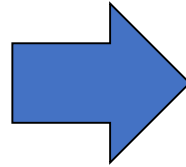
- 此部分皆是以新鼓風機45或50%的負載下進行節能比較，因為舊機的Model無法準確地預測到較高流量時的耗能，所以只能降低新機的負載至與舊機流量差不多的狀態。
- 只有單一負載資料造成回歸的擬和狀況不佳，節能率不確定性高。

洗滌風扇案例

洗滌風扇案例



感應馬達與皮帶傳動



節能改善措施



永磁馬達直驅

洗滌風扇案例

感應馬達

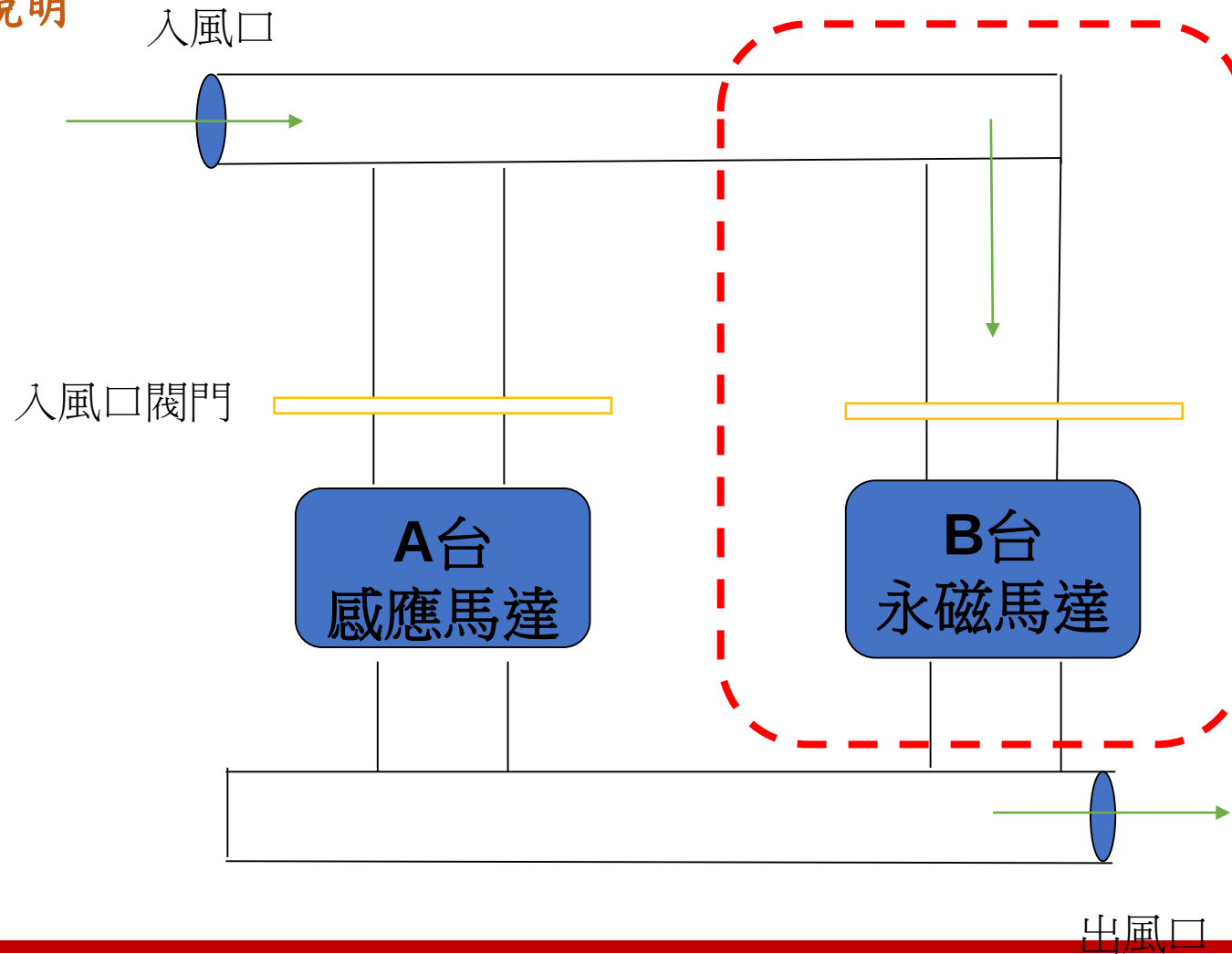
感應馬達規格	數值
額定功率	55 kW
額定轉速	1770 rpm
額定電壓	240/480 V
額定電流	163/81.5 A
電源頻率	60 Hz
極數	4
效率	94.5 %

永磁馬達

永磁馬達規格	數值
額定功率	55 kW
額定轉速	1500 rpm
額定扭力	350.2 Nm
額定電壓	380 V
額定電流	96.3 A
電源頻率	100 Hz
極數	8
效率	95.7 %

洗滌風扇案例

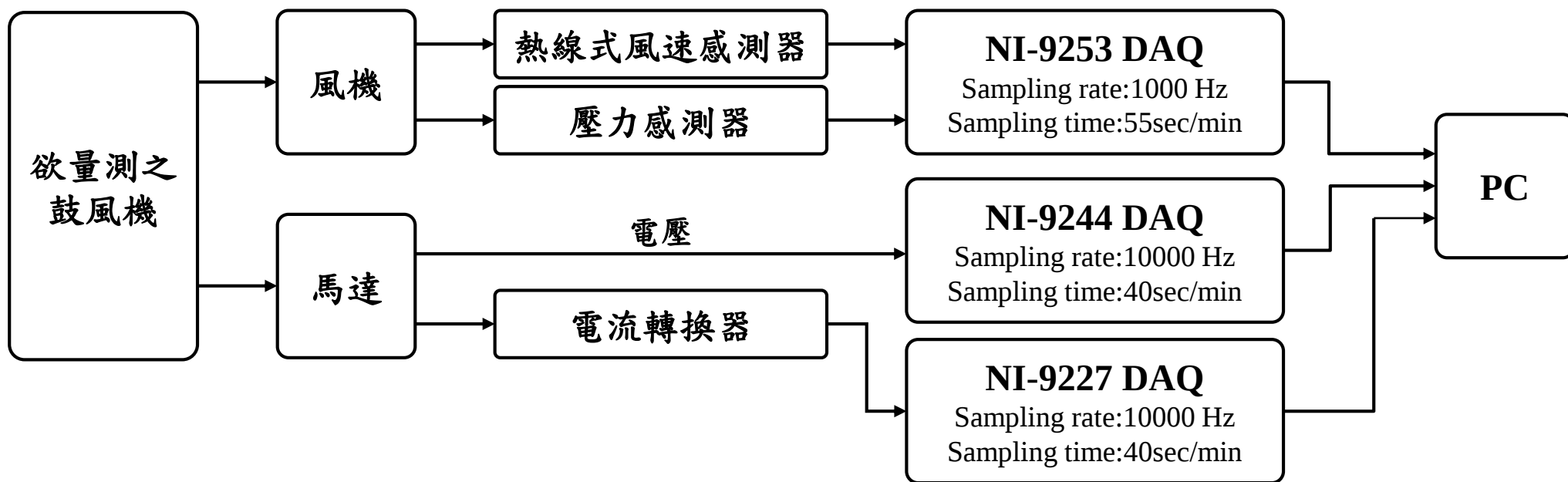
量測邊界說明



洗滌風扇案例

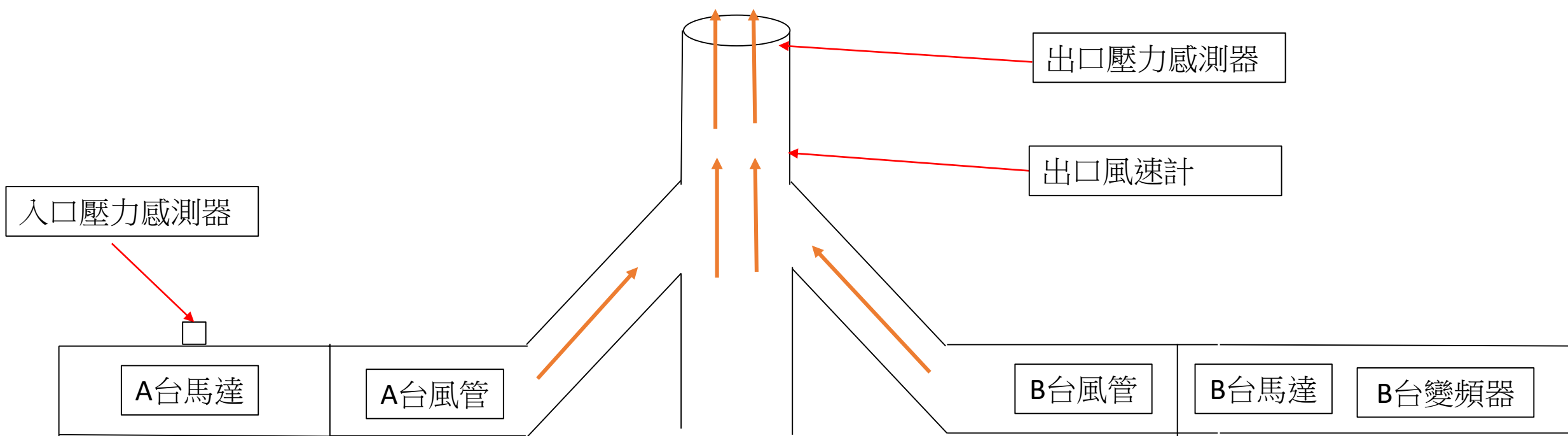
➤ 洗滌器風扇的量測將會分為兩個部分

1. 風機: 量測出口風速、出入口壓力
2. 馬達: 量測電壓、電流



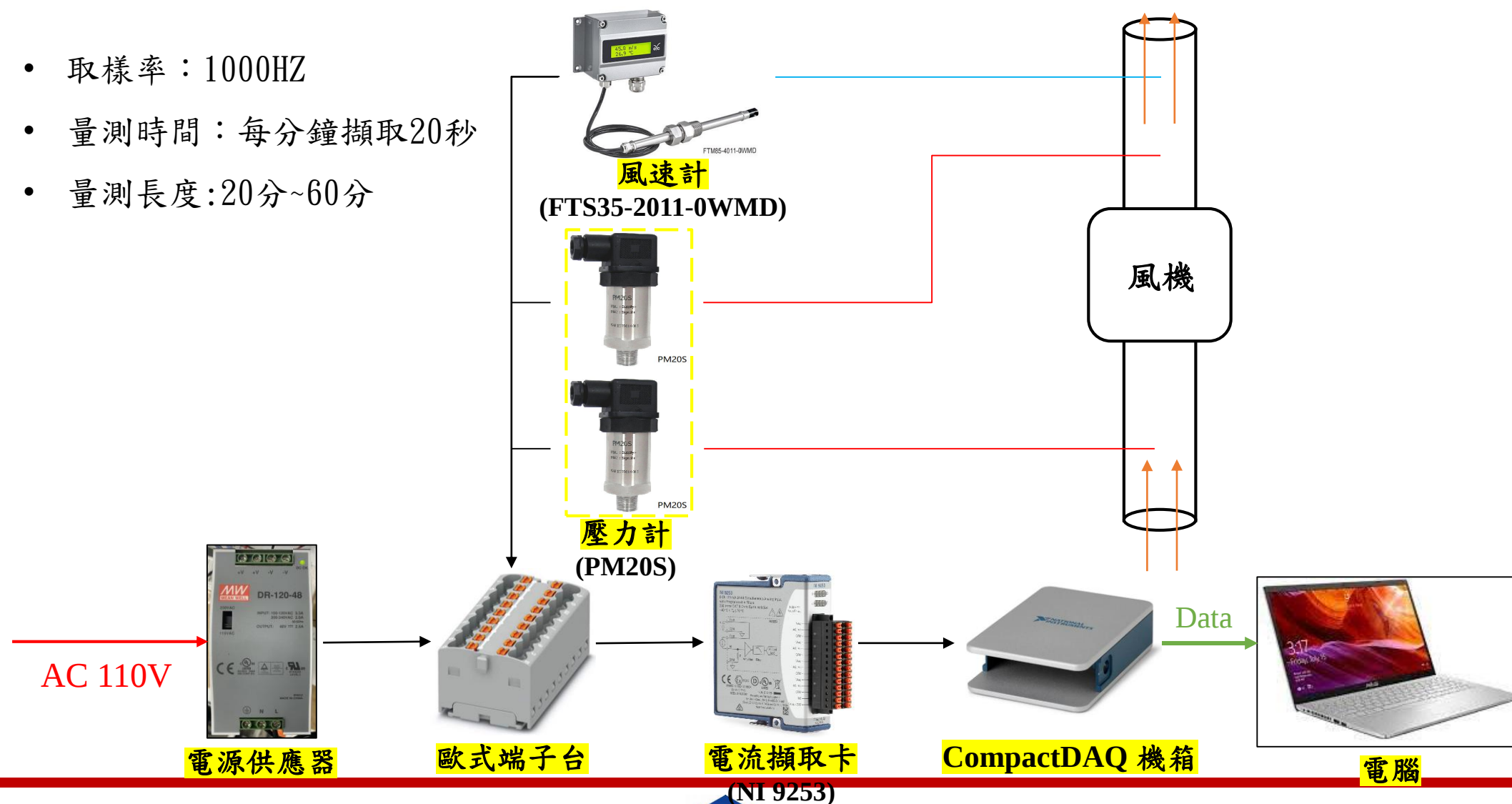
洗滌風扇案例

感測架設位置



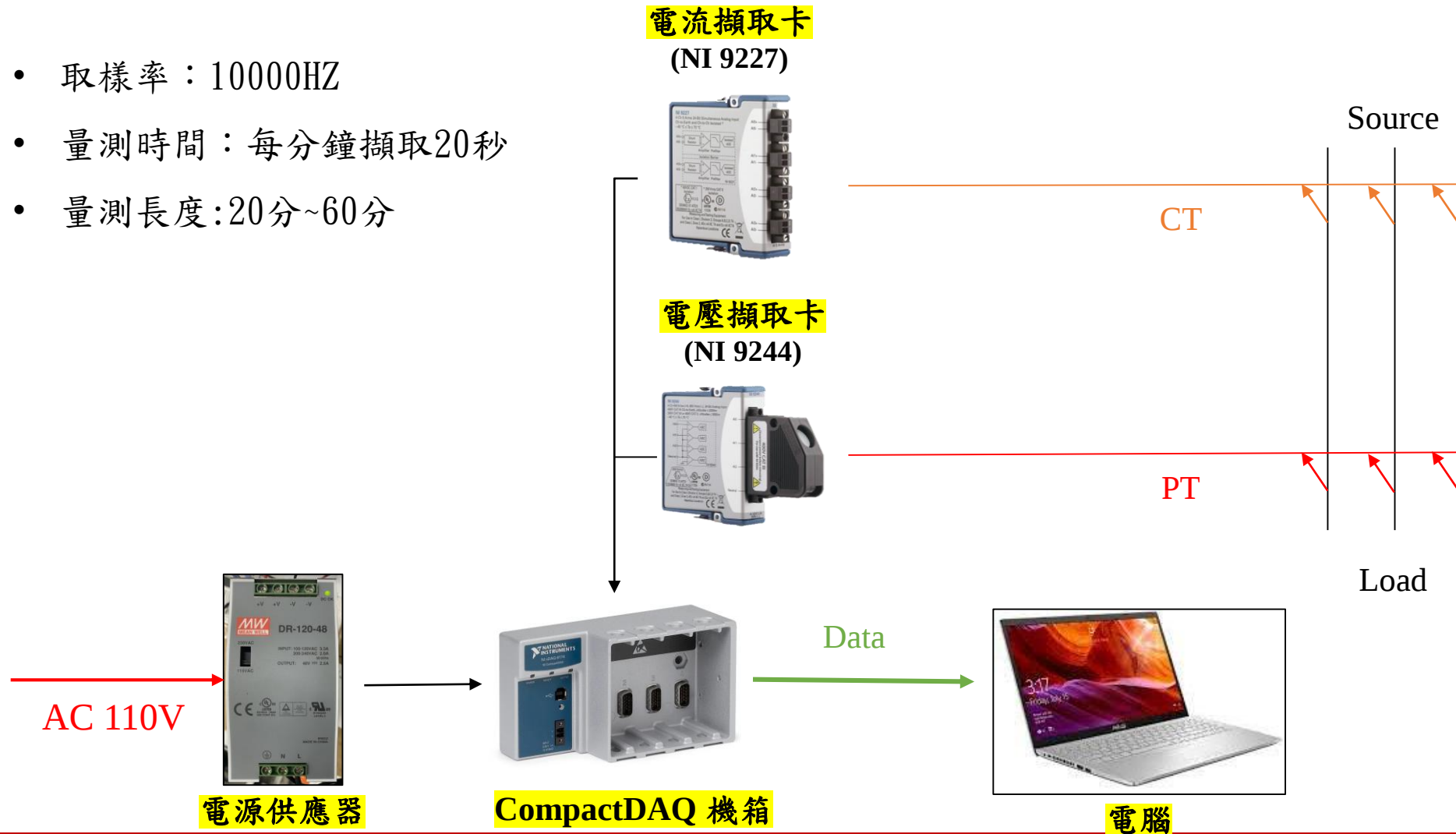
洗滌風扇案例

- 取樣率：1000HZ
- 量測時間：每分鐘擷取20秒
- 量測長度：20分~60分



洗滌風扇案例

- 取樣率：10000HZ
- 量測時間：每分鐘擷取20秒
- 量測長度：20分~60分



洗滌風扇案例

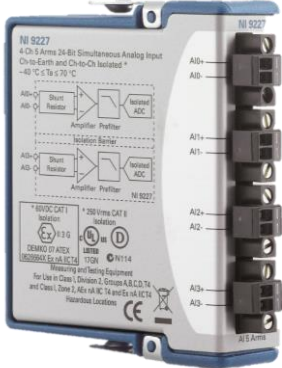
感測器與擷取設備

感測器種類	壓力感測器	風速計		擷取卡
	 PM20S	 FTS35-2011-0WMD	 FTM85-4011-0WMD	 NI-9253
輸入範圍	0~2(bar)	0~20(m/s)	0~40(m/s)	±20(mA)
輸出範圍	4~20(mA)	4~20(mA)	4~20(mA)	
比例	125	1250	2500	
精度	±0.5% F.S.	±2% F.S.	±1.5% F.S.	±50(ppm)



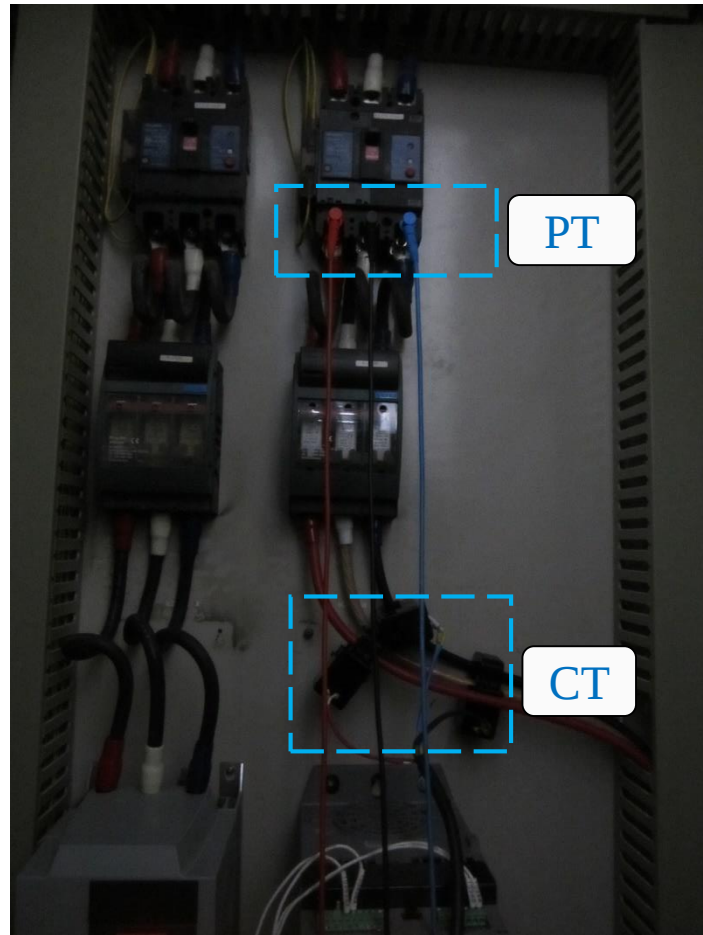
洗滌風扇案例

感測器與擷取設備

擷取卡名稱	電壓卡NI9244	電流卡NI9227	感測器名稱	比流計	感測器名稱	加速計
						
	解析度[bit]	24	24	開口式	靈敏度	100 mV/g
	電壓量測範圍[Vac]	690	-	1T	頻率響應(±5%)	3 – 5000 Hz
	電流量測範圍[A]	-	5	100A	加速度範圍	80 g peak
濾波器	有	有	二次測量測	5A	頻寬(2.5Hz-25kHz)	700 μg

洗滌風扇案例

感測器架設



洗滌風扇案例

節能改善前後之振動改善

洗滌風扇案例

節能改善前後與機台支架調整前、後圖

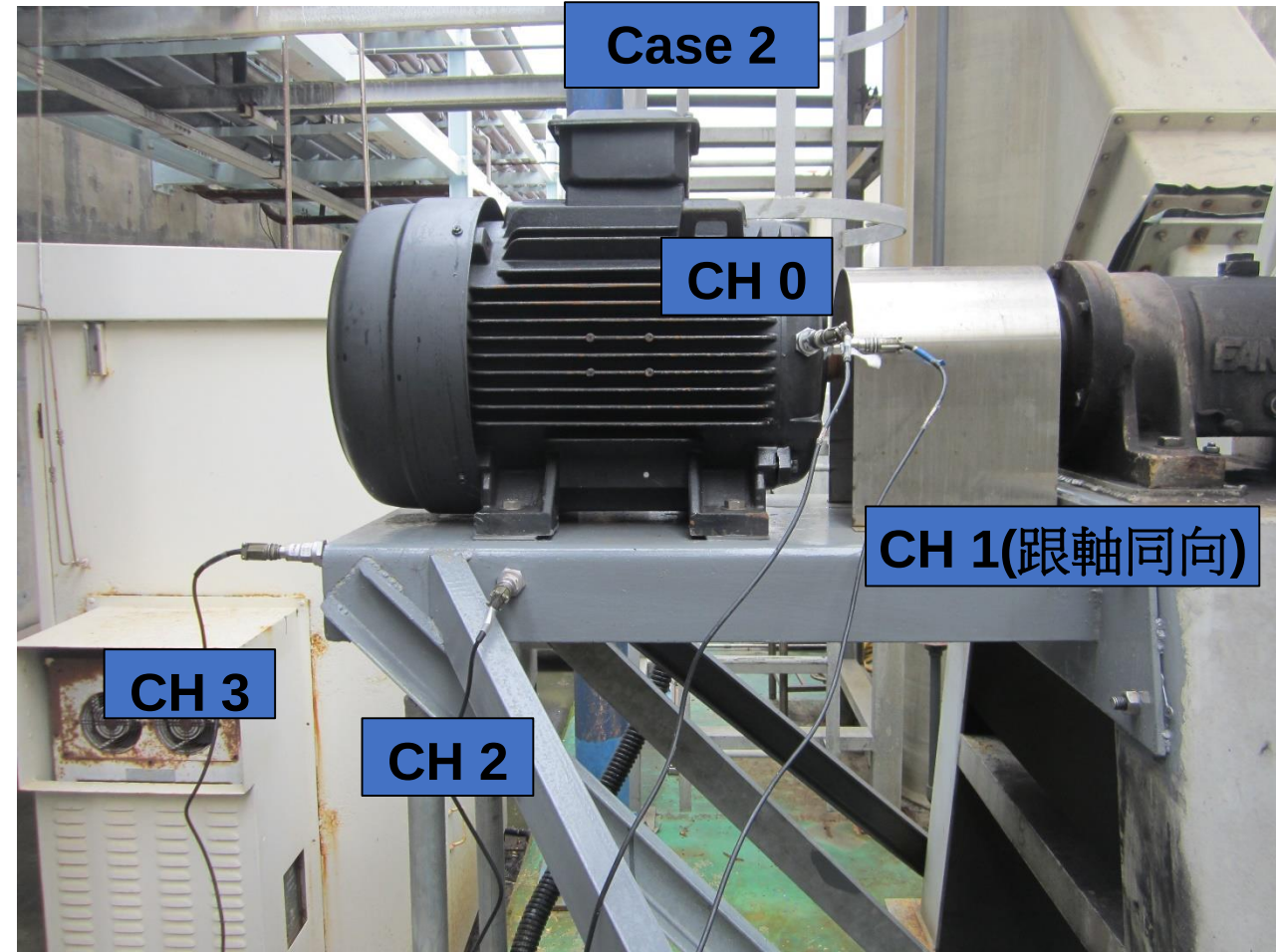
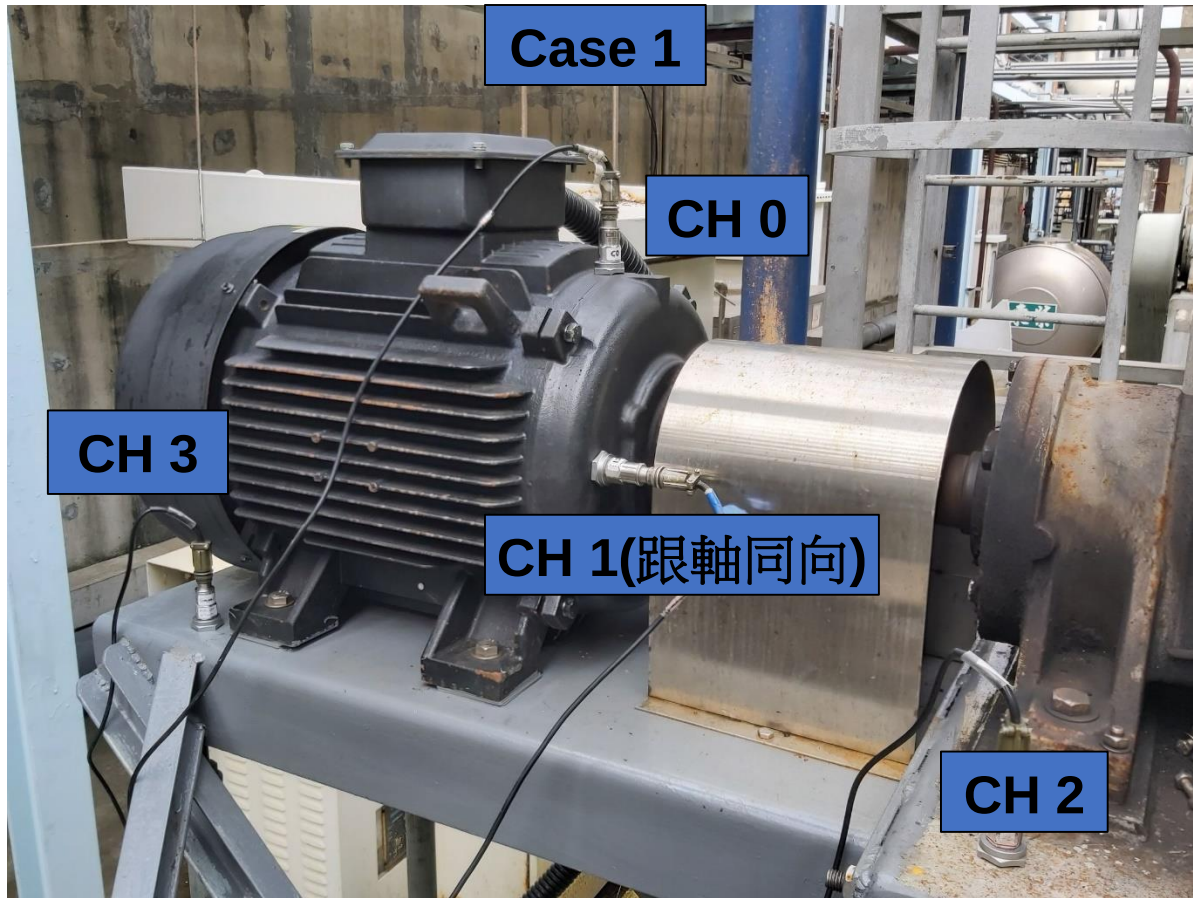
調整前 (1/12)



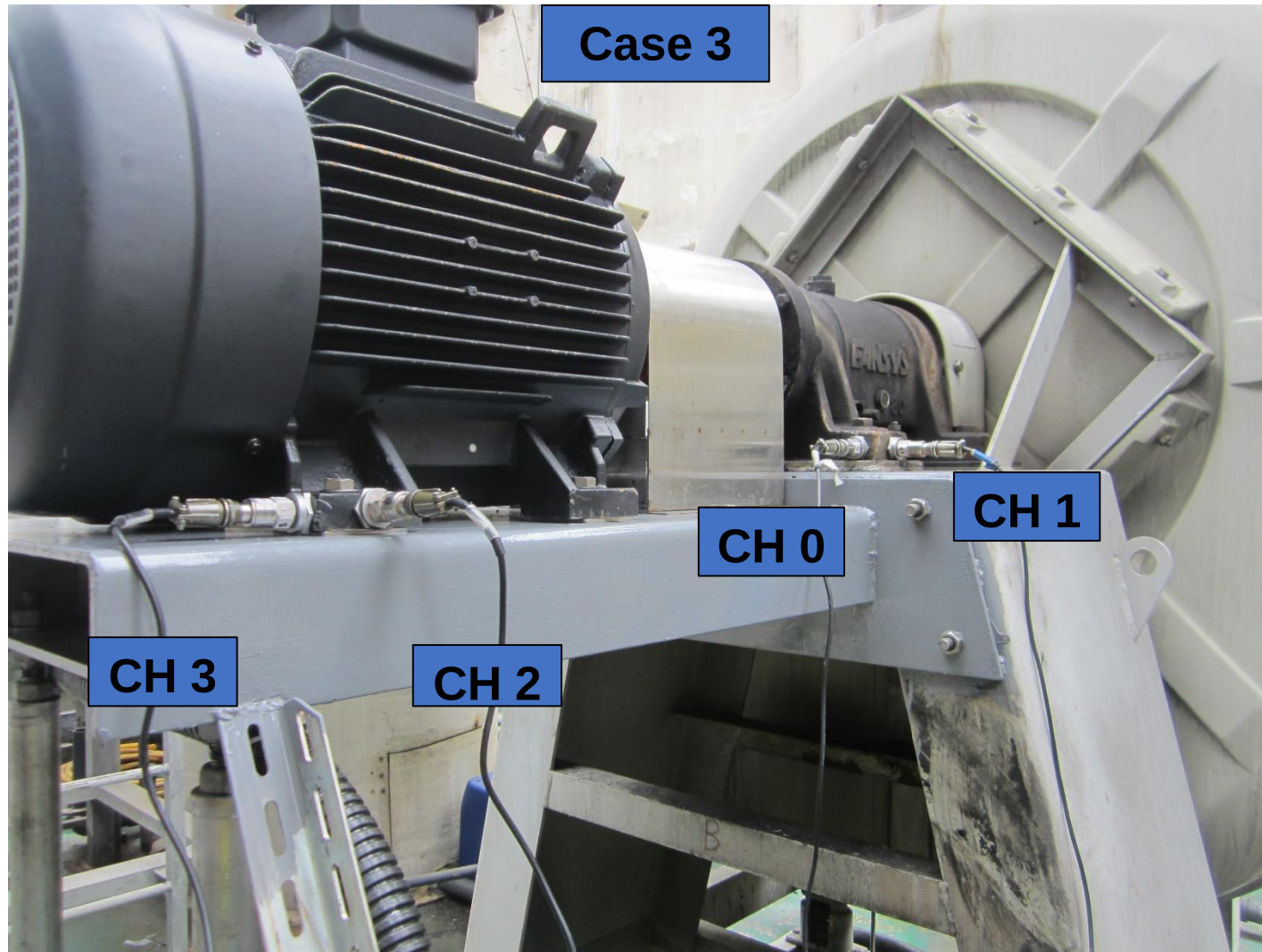
調整後 (2/10)



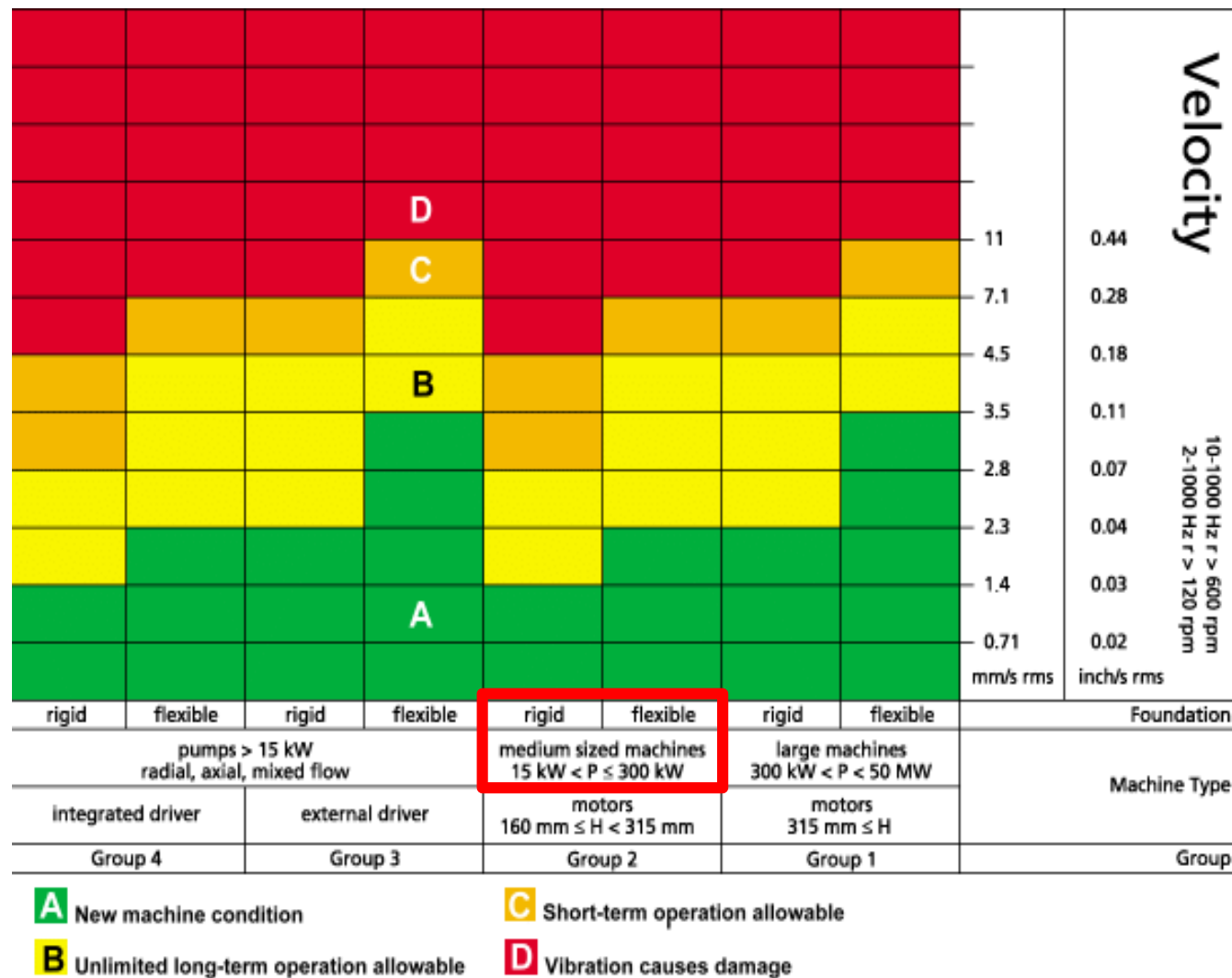
洗滌風扇與保養效益案例



洗滌風扇案例



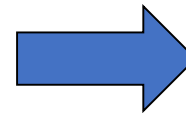
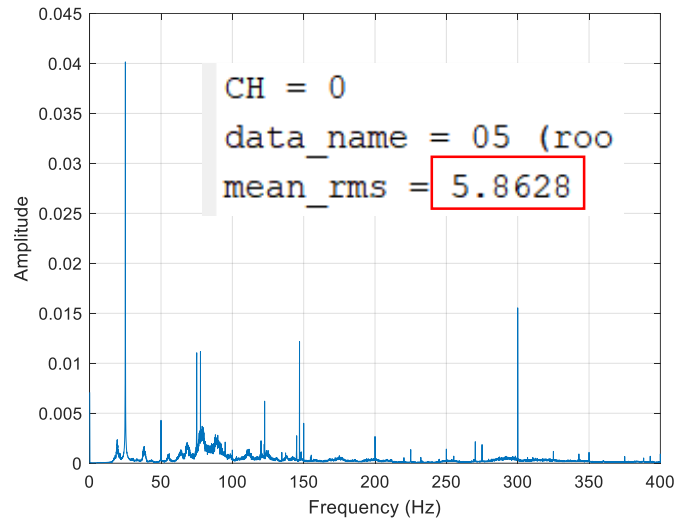
洗滌風扇案例



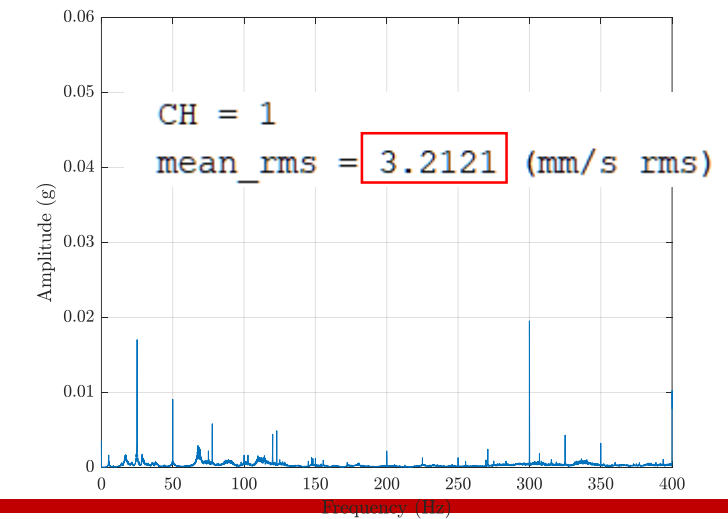
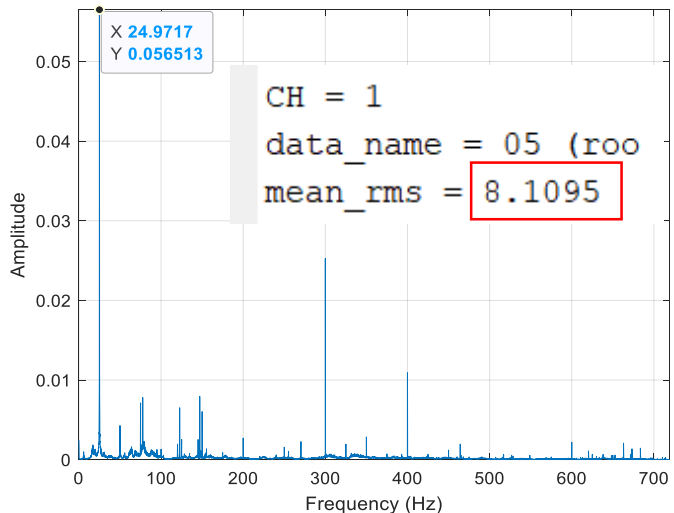
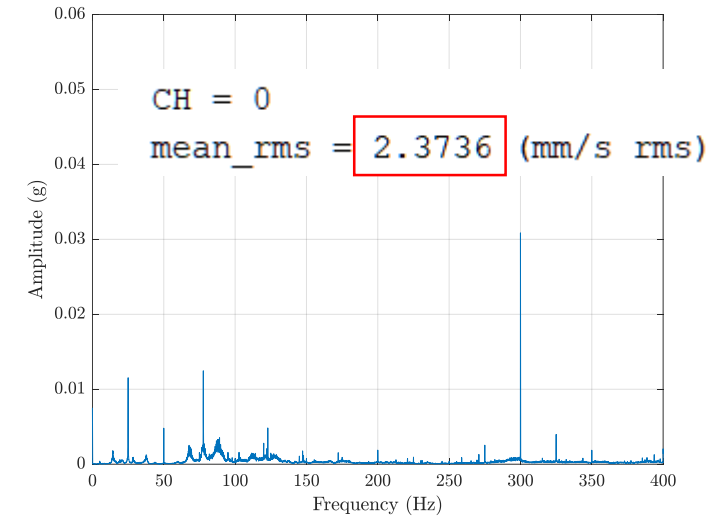
洗滌風扇案例

Case 1 振動分析結果

支架不穩



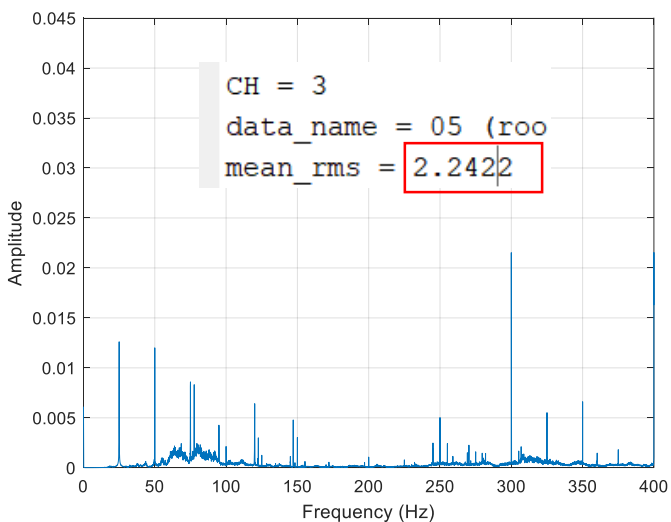
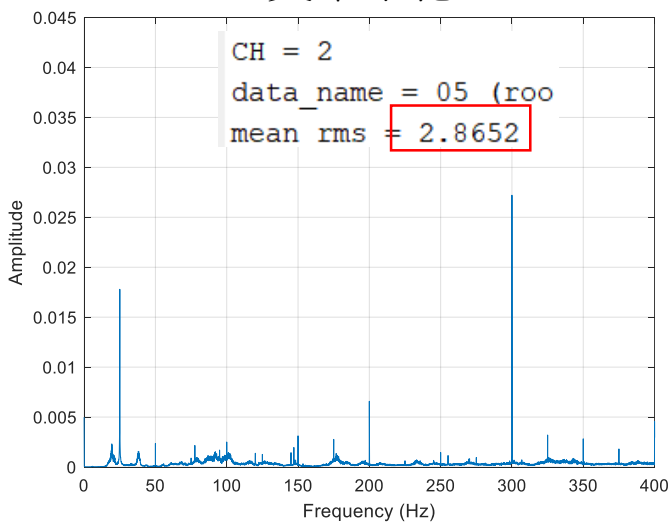
支架穩定



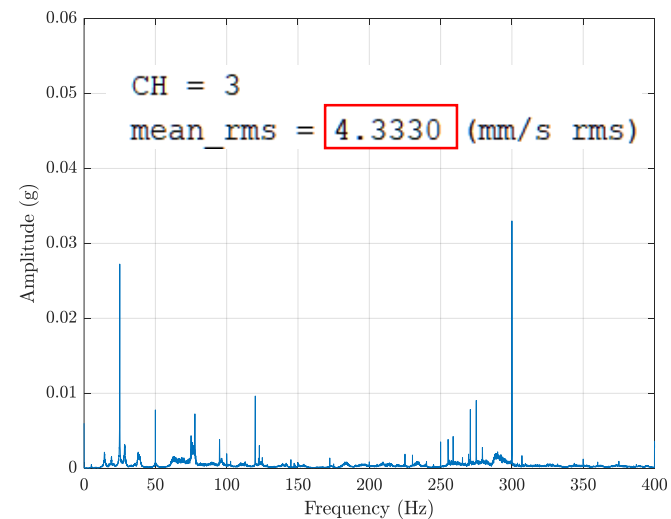
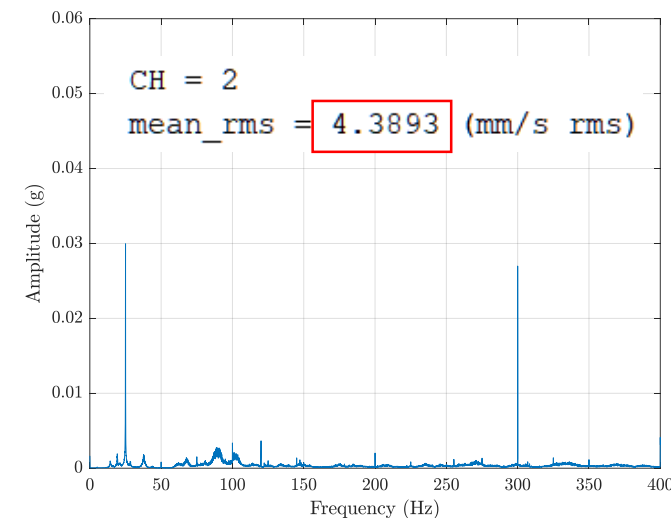
洗滌風扇案例

Case 1 振動分析結果

支架不穩



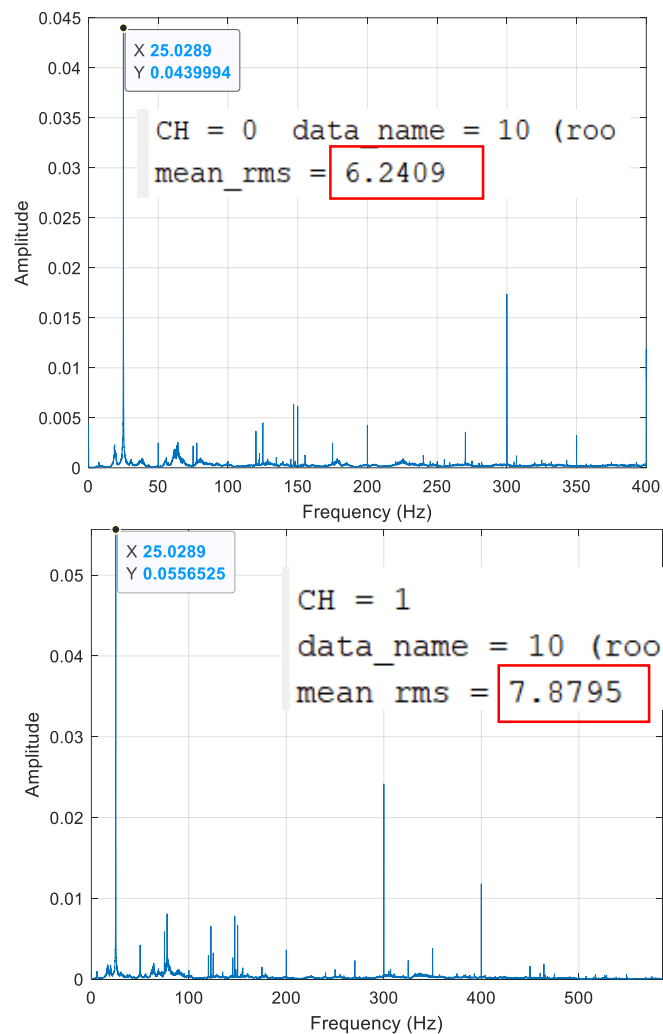
支架穩定



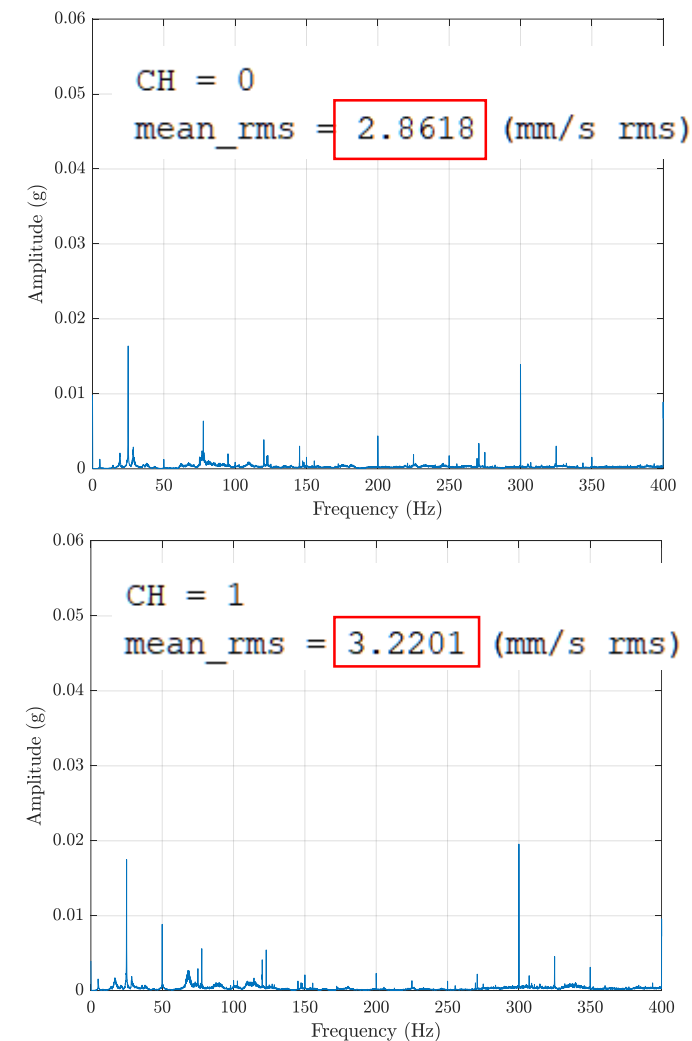
洗滌風扇案例

Case 2 振動分析結果

支架不穩



支架穩定



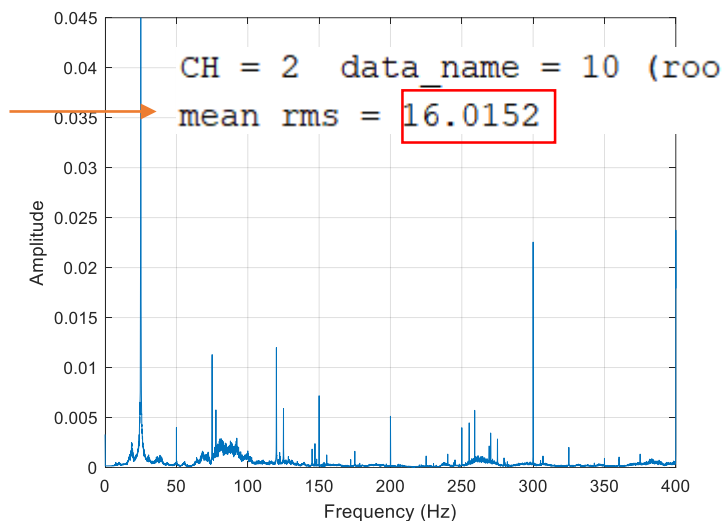
洗滌風扇案例

Case 2 振動分析結果

X:25.02

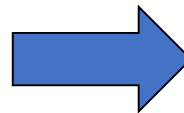
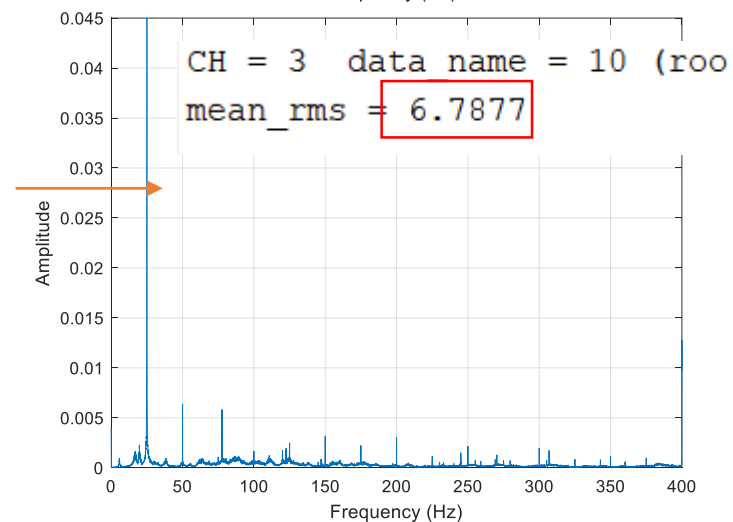
Y:0.11

支架不穩

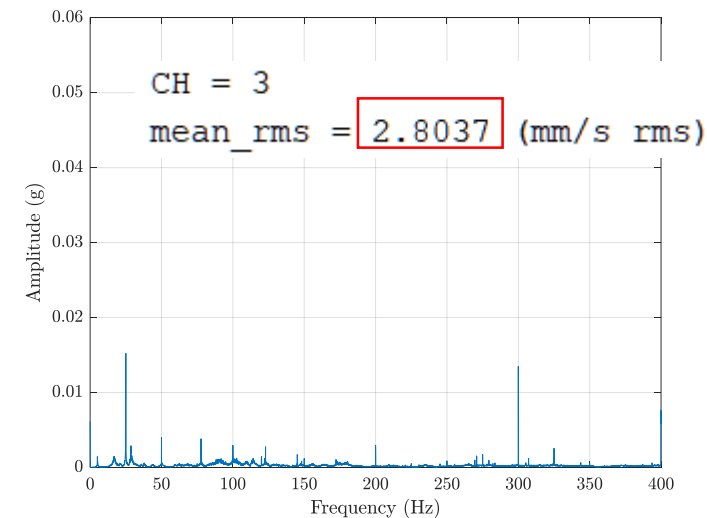
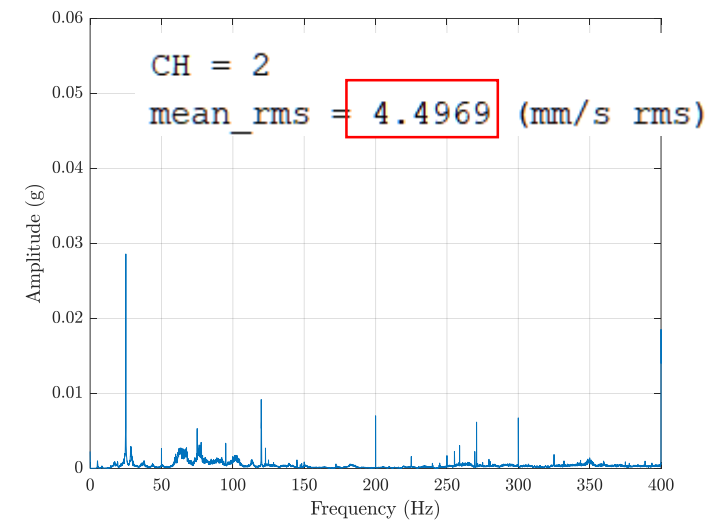


X:25.02

Y:0.047



支架穩定

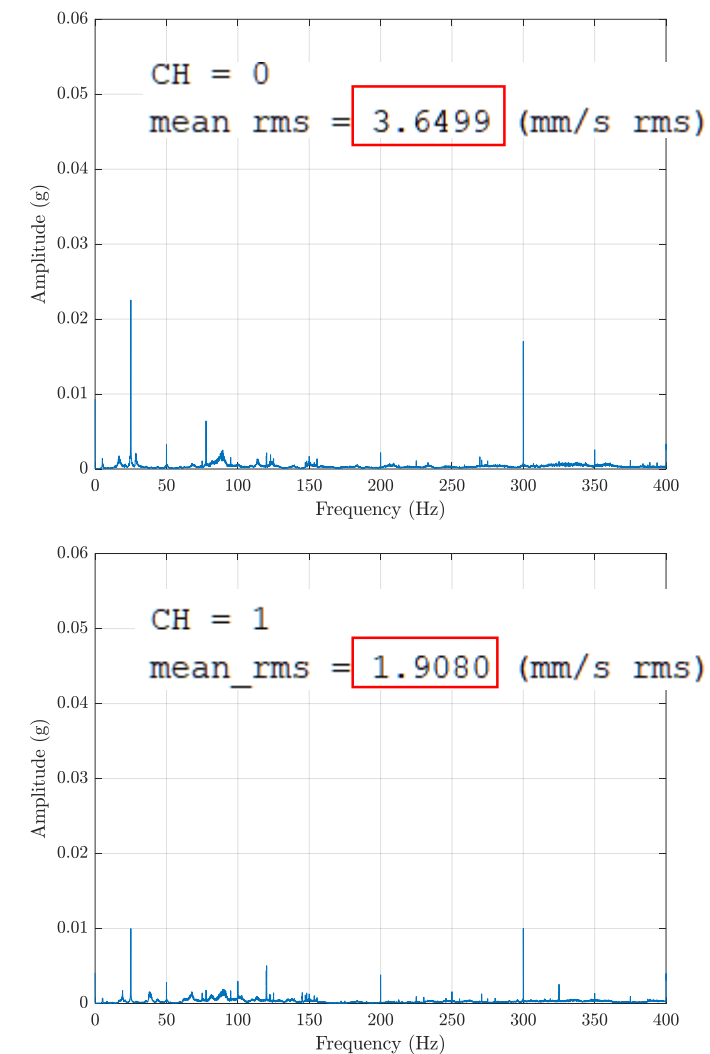
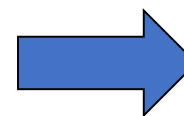
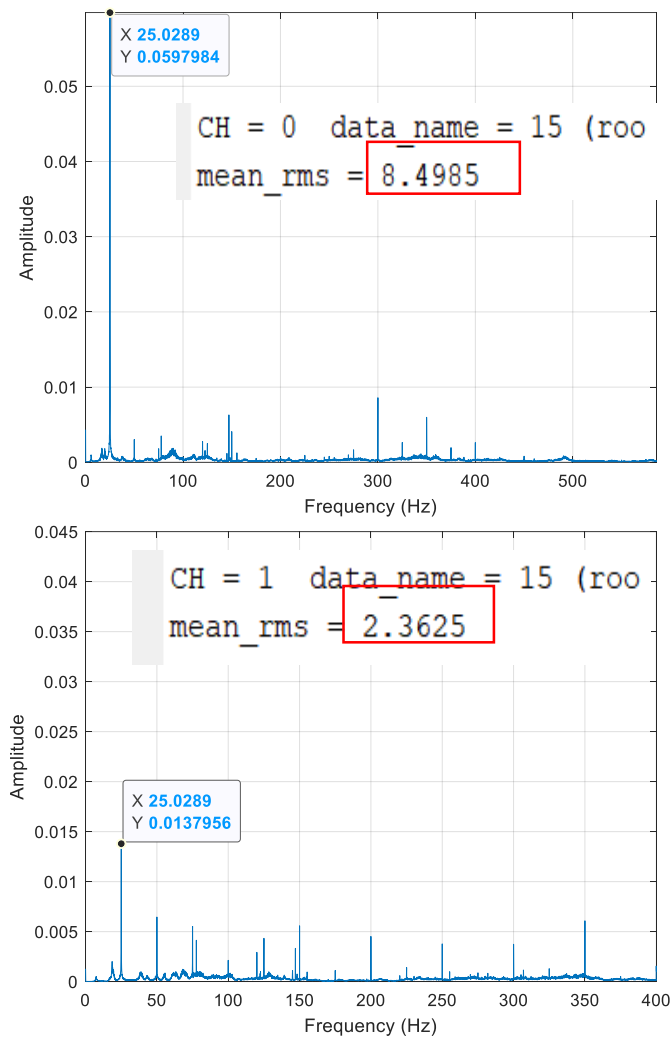


洗滌風扇案例

支架不穩

支架穩定

Case 3 振動分析結果

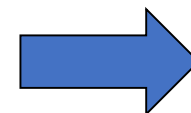
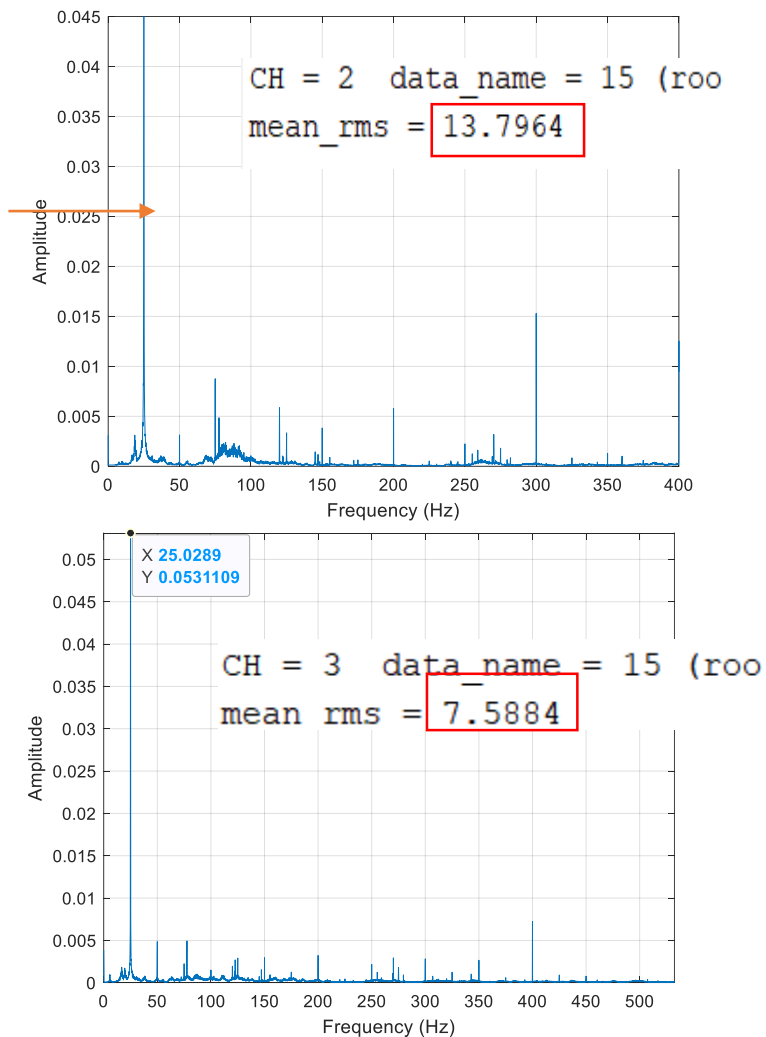


洗滌風扇案例

Case 3 振動分析結果

X:25.02
Y:0.099

支架不穩



支架穩定

