

國立臺灣大學生物資源暨農學院

生物產業機電工程學系

碩士論文

Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering


College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

桿式噴藥機行走速度與變率噴量之研究

Investigation of Boom Sprayer Travelling Velocity and
Variable Spraying Rate



利佳蓉

Chia-Jung Li

指導教授：葉仲基 博士

Advisor: Dr.-Ing. Chung-Kee Yeh

中華民國 101 年 6 月

June, 2012

致謝

我能順利完成碩士論文，首先要感謝指導教授 葉仲基教授多年的指導與照顧，不只盡心教導與指引學業上的方向，在待人處事與人生方向上也給予協助，使學生在這段時間獲益良多，在未來的職場與人生將謹記老師多年的教誨；同時要特別感謝口試委員張森富教授與吳剛智教授對於論文的不吝指正與建議，也給予學生很多啟發與關懷。

感謝系上技士李進發先生與王友俊先生等人對於研究與學習上的協助，特別是何萬中先生多年的協助與幫忙，使研究得以順利。感謝弘彥學長對於學業上的指導與平日的照顧，也感謝元隆、振岳、敏港、暘杰學長的指導，以及彥博、宇承、光益與鈞彥學弟的協助，還有嫻如、家瑩、世忠、子韻、咨慧、玫文、力行、明宏與治綱等人的幫忙，使論文能夠順利完成。

最後要感謝我的家人以及朋友，謝謝你們這段時間陪伴在我的身邊，給予我心靈上的支持與鼓勵，也希望未來的人生路上還能有你們的陪伴。另外也感謝上天，賜給我這麼多的貴人，在我迷惘時指引方向、在我受挫時出現另一扇窗，協助我能夠順利完成學業，我只有由衷的感謝。

摘要

傳統的農耕方式，將農田視為相同性質，給予相同的作業方式或劑量，造成許多農地不當使用、產量顯著降低、肥料與農藥不當施用、資源浪費、毒害氣體釋放或滲漏、有毒物質長期殘留及作物生長環境劣化等問題。為改善以上問題，發展出精準農業技術，能隨著不同的空間與時間，採取不同的作業方法或施用量。本研究設計電路模組，並利用 LabVIEW 程式軟體作為系統控制中心，偵測以一台模型車模擬自走式桿式噴藥機的行走速度以及控制不同速度下的電路作動，間接改變比例閥的開度，以改變噴藥機的噴霧率。實驗中比例閥開度以前人論文之建議為準則，並進行不同的噴霧壓力與比例閥開度的流量實驗；以 LabVIEW 的波形圖記錄所讀取的轉速，並改變程式中的參數觀察轉速範圍，並與數位式轉速計量測的實際轉速誤差比較其誤差。實驗結果顯示：幫浦的噴霧壓力越大，噴藥機的流量越高；幫浦的送水量過小會導致噴藥機的流量不符合理論結果，例如比例閥在 20% 開度的噴霧率與全開開度的噴霧率幾近相同；使用軟體 LabVIEW 程式中的時序功能計算每一迴圈的脈衝數，再換算成轉速值。實驗中改變間隔時間為 0.05 秒、0.1 秒與 0.5 秒，發現設定的間隔時間值會影響所讀取轉速值，例如間隔時間為 0.05 秒時，會讀取到瞬間的極大轉速值，產生極大的轉速偏差，此情形會造成比例閥不正常的作動，例如應該要保持在特定開度時，比例閥卻會被調整到不正確的開度，這樣則將達不到準確控制噴霧量的目的。研究結果顯示：間隔時間為 0.5 秒時，程式所讀取到的轉速較接近實際轉速，且轉速偏差值較低，不會造成比例閥不正常作動的情形。

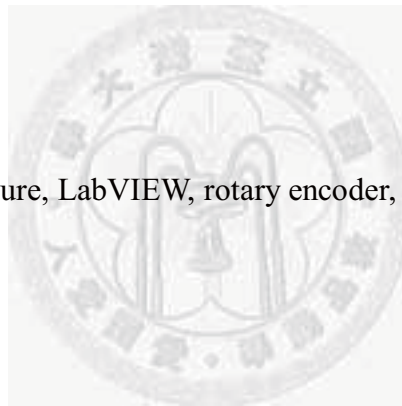
關鍵字：精準農業、LabVIEW、旋轉編碼器、流量比例控制閥

Abstract

The crop production and quality are based on the accurate application rate of chemicals in order to prevent the damage from the pest and disease. The pest will be out of control if the application of pesticide is unsuitable, while it will damage crop, increase cost and cause the environmental pollution. The objective of this research was to develop an automatic sprayer control system. It used a proportional flow control valve to change the flow rate with the speed calibrated by the LabVIEW program. The opening of a proportional flow control valve was to choose to be 20, 34 and 65% with the suggesting values in the previous literature. The flow rate was dependent on the variable operating pressure of a pump and the opening of a proportional flow control valve. The speed showed by the program with the waveform chart in LabVIEW could be analyzed. The variation of the speed with different parameters in program could be found and the speed read from the program could be compared with the actual speed.

The results showed that the application rate would be changed proportional with the operating pressure, but the outlet flow rate controlled by a proportional flow control valve was not satisfied as expected because of the smaller capacity of pump. For example, the flow rate of 20% opening of a proportional flow control valve was close to the flow rate of 100% opening. The value of cycle time in the LabVIEW

program was used to count the speed, and it would affect the speed measured by this program, and cause the proportional flow control valve running wrong. For example, the speed read from computer program would be an instantaneously extreme value when the value of cycle was 0.05 second, and the opening of the proportional flow control valve may be 40% not 65% as expected. The speed read from computer program was closer to the actual speed when the value of cycle time was 0.5 second, and it won't produce the extreme value to affect the running of the proportional flow control valve.



Keyword: precision agriculture, LabVIEW, rotary encoder, proportional flow control valve

目錄

致謝.....	i
摘要.....	ii
Abstract	iii
圖目錄.....	vii
表目錄.....	xi
第一章 前言與研究目的.....	1
第二章 文獻探討.....	3
2.1 霧化.....	3
2.2 噴嘴種類.....	4
2.3 振動的影響.....	8
2.4 精準農業.....	8
2.5 變速流量控制.....	10
2.6 高架式寬跨距農業機械.....	12
第三章 實驗設備與研究方法.....	18
3.1 實驗設備.....	18
3.2 實驗方法.....	20
第四章 結果與討論.....	34
4.1 噴嘴流量實驗.....	34
4.2 實際車輪轉速實驗.....	36
4.3 比例閥開度實驗.....	36
第五章 結論與建議.....	59
5.1 結論.....	59
5.2 建議.....	60

參考文獻.....	61
附錄.....	65



圖目錄

圖 2-1 液體的霧化過程.....	13
圖 2-2 三種常見霧化型態.....	14
圖 2-3 噴嘴的噴角與覆蓋範圍.....	14
圖 2-4 單孔噴嘴.....	14
圖 2-5 扇形噴嘴.....	15
圖 2-6 壓力漩渦式噴嘴內部結構之幾何與形成的空氣室.....	15
圖 2-7 含兩旋渦室的壓力漩渦式噴嘴.....	15
圖 2-8 圓錐形噴嘴.....	16
圖 2-9 氣輔式噴嘴用於農業噴霧.....	16
圖 2-10 旋轉型霧化器設計.....	17
圖 2-11 扇型噴嘴間距與距作物高度.....	17
圖 2-12 噴藥機振動.....	17
圖 3-1 實驗架構.....	24
圖 3-2 噴霧實驗流程.....	24
圖 3-3 轉速實驗流程.....	25
圖 3-4 比例閥開度實驗流程.....	26
圖 3-5 旋轉編碼器.....	26
圖 3-6 編碼器訊號直接由 DAQ 讀取之電壓.....	27
圖 3-7 經過計數器處理的編碼器訊號電壓.....	27
圖 3-8 讀取轉速並控制比例閥開關之程式.....	28
圖 3-9 控制比例閥開度之電路.....	29
圖 3-10 自製控制電路板.....	29
圖 3-11 轉速與比例閥開度關係.....	30

圖 3-12 修改後之電路.....	30
圖 3-13 修改後之電路與模組.....	31
圖 3-14 修改後之 LabVIEW 程式.....	31
圖 3-15 噴霧實驗設備.....	32
圖 3-16 實驗中的模型車.....	32
圖 3-17 旋轉編碼器與模型車輪之連接.....	32
圖 3-18 軟體中的 Test Panels 介面，下方開關由右至左為 P1.0~P1.3.....	33
圖 4-1 單一噴嘴流量實驗結果.....	39
圖 4-2 實驗用之雙噴嘴.....	39
圖 4-3 雙噴嘴流量實驗結果.....	40
圖 4-4 廖（2001）實驗使用之噴桿.....	40
圖 4-5 實驗用扇形噴嘴.....	41
圖 4-6 廖（2001）實驗使用的螺旋水流型噴嘴.....	41
圖 4-7 間隔時間 0.05 秒之電壓與轉速關係.....	42
圖 4-8 間隔時間 0.1 之電壓與轉速關係.....	42
圖 4-9 間隔時間 0.5 秒之電壓與轉速關係.....	43
圖 4-10 間隔時間為 0.05 秒的轉速.....	43
圖 4-11 程式讀取到的轉速與實際轉速之誤差值.....	44
圖 4-12 比例閥正常作動，開度由 0 上升至 20%.....	44
圖 4-13 比例閥正常作動，開度由 0 上升至 34%.....	45
圖 4-14 比例閥正常作動，開度由 0 上升至 65%.....	45
圖 4-15 比例閥正常作動，開度由 20 下降至 0%.....	45
圖 4-16 比例閥正常作動，開度由 34 下降至 0%.....	46
圖 4-17 比例閥正常作動，開度由 65 下降至 0%.....	46
圖 4-18 開度 20%，關閉 port0 1 秒後再開啟 port0.....	46

圖 4- 19	開度 20%，關閉 port0 1.5 秒後再開啟 port0	47
圖 4- 20	開度 20%，關閉 port0 3 秒後再開啟 port0	47
圖 4- 21	開度 34%，關閉 port1 1 秒後再開啟 port1	47
圖 4- 22	開度 34%，關閉 port1 2 秒後再開啟 port1	48
圖 4- 23	開度 34%，關閉 port1 5 秒後再開啟 port1	48
圖 4- 24	開度 65%，關閉 port2 1 秒後再開啟 port2	48
圖 4- 25	開度 65%，關閉 port2 2 秒後再開啟 port2	49
圖 4- 26	開度 65%，關閉 port2 4.5 秒後再開啟 port2	49
圖 4- 27	開度 0%，開啟 port0 1 秒後再關閉 port0	49
圖 4- 28	開度 0%，開啟 port0 1.5 秒後再關閉 port0	50
圖 4- 29	開度 0%，開啟 port1 1.5 秒後再關閉 port1	50
圖 4- 30	開度 0%，開啟 port1 2.5 秒後再關閉 port1	50
圖 4- 31	開度 0%，開啟 port2 1 秒後再關閉 port2	51
圖 4- 32	開度 0%，開啟 port2 1 秒後再關閉 port2	51
圖 4- 33	間隔時間 0.05 秒，馬達電壓由 0 上升至 3.5 V	51
圖 4- 34	間隔時間 0.05 秒，馬達電壓由 0 上升至 4.0 V	52
圖 4- 35	間隔時間 0.05 秒，馬達電壓由 0 上升至 5.0 V	52
圖 4- 36	間隔時間 0.1 秒，馬達電壓由 0 上升至 3.5 V	52
圖 4- 37	間隔時間 0.1 秒，馬達電壓由 0 上升至 4.0 V	53
圖 4- 38	間隔時間 0.1 秒，馬達電壓由 0 上升至 5.0 V	53
圖 4- 39	間隔時間 0.5 秒，馬達電壓由 0 上升至 3.5 V	53
圖 4- 40	間隔時間 0.5 秒，馬達電壓由 0 上升至 4.0 V	54
圖 4- 41	間隔時間 0.5 秒，馬達電壓由 0 上升至 5.0 V	54
圖 4- 42	間隔時間 0.05 秒，馬達電壓由 5.0 V 下降至 4.0 V	54
圖 4- 43	間隔時間 0.05 秒，馬達電壓由 4.0 V 下降至 3.5 V	55

圖 4-44	間隔時間 0.05 秒，馬達電壓由 3.5 V 下降至 0 V	55
圖 4-45	間隔時間 0.1 秒，馬達電壓由 5.0 V 下降至 4.0 V	55
圖 4-46	間隔時間 0.1 秒，馬達電壓由 4.0 V 下降至 3.5 V	56
圖 4-47	間隔時間 0.1 秒，馬達電壓由 3.5 V 下降至 0 V	56
圖 4-48	間隔時間 0.5 秒，馬達電壓由 5.0 V 下降至 4.0 V	56
圖 4-49	間隔時間 0.5 秒，馬達電壓由 4.0 V 下降至 3.5 V	57
圖 4-50	間隔時間 0.5 秒，馬達電壓由 3.5 V 下降至 0 V	57



表目錄

表 4-1 實驗設備與方法比較.....	58
表 4-2 轉速與比例閥開度關係.....	58



第一章 前言與研究目的

臺灣地稠人擠、地理位置被環海所孤立，但糧食自給率卻每年下降，例如民國 99 年糧食自給率僅 31.7%，其中的糖及蜂蜜自給率於民國 99 年只有 12%。為了增加作物產量、增進品質與去除植株週圍雜草，常會施噴農藥、肥料等化學藥劑於作物上，根據世界糧農組織估計，如果不使用這些化學藥劑，全球總糧食的產量將減少 35%（行政院農業委員會，2001）。農藥與肥料對國內的農業而言也非常重要，民國 99 年國內的農藥產量為 7,881 公噸，其中 5,571 公噸為國內的使用量；化學肥料產量為 135 萬公噸，其中國內使用量將近 100 萬公噸（行政院農業委員會，2010）。

一般農業機具進行田間作業時，龐大的重量會於行走路徑上產生土壤壓實現象並且改變土壤結構，進而影響作物的生長。此外對高莖作物如水稻、甘蔗、玉米與高粱等進行施肥與噴灑作業時，農業機具的車身需高於作物的高度，使農業機具不會壓傷作物。為了以上的需求，發展出高架寬跨具農業機具。此類型農業機具專門用在高莖作物的田間作業，並且能有效減少土壤壓實現象，使作物產量增加。

在農業上，化學藥劑噴灑最重要的是得到良好的平均噴灑分佈，噴灑不均或產生飄移沉積現象，除了會造成多餘的農藥使用、成本增加，還可能因無法控制的沉澱造成土地污染、空氣污染等問題。影響均勻分佈的因素有：噴嘴類型的選擇、流動風向與風速、噴藥機行走速度之快慢與噴藥機機體之振動等。

傳統農業是將環境視為同樣的性質，例如土壤成份與性質、天氣、風速、機械行走速度與病害蟲程度等。而在實際作業上皆使用相同的作業方式與施用程度，這可能造成土壤的不當使用、過量或不足施灑化學藥劑等問題，進而可能造成土壤或環境汙染、成本增加與降低產量或產值等影響。

為了減少資材損耗、降低環境污染、增加品質及產量等，發展出精準農業技術，能隨著空間與時間改變而採取不同的作業方法或施用量。本研究將針對高架式噴藥機行走速度快慢，改變噴藥機的單位時間噴霧量，使噴藥機達到單位面積的定量噴灑。

本研究目的包括：

1. 將比例式流量控制閥裝置於噴藥系統，利用不同的開度值以改變噴嘴流量。
2. 設計電路與程式系統，以偵測車輪轉速並依照轉速範圍改變比例式流量控制閥的開度，並觀察不同的間隔時間是否對比例閥作動有所影響，此外利用光電式轉速計找到程式中較佳の間隔時間，以貼近實際轉速。



第二章 文獻探討

2.1 霧化

工業、農業與日常生活中，常需要施噴液體至目標物上，例如乾燥、清洗等作業，此時如能接觸液體與目標物的接觸面積，便能使效率提升。而將液體變成較小的液滴的過程稱之為霧化 (spray 或 atomize)，並能霧化的機構則稱為霧化器 (atomizer) 或是噴嘴 (nozzle)。

霧化的關鍵在於：被霧化的液體與環境需有一個較高的相對速度，使液體破裂為微小液滴。其對於工業、農業、生物與化學等皆有貢獻，而霧化的特性在不同目的時，有不同的重要性；對農業應用而言，最重要的為噴霧的涵蓋範圍。

霧化過程中，液體隨壓力增加而改變其型態，最後霧化成近似球體的液體分子，為作業用需要的霧化結果。而中間狀態則為纖維條狀液體 (ligament)，隨著壓力增加，又可分成洋蔥型態與鬱金香型態等 (圖 2-1)。在農業中，定義微小粒子、形狀近似球體的液體稱作霧粒 (droplet)，例如直徑小於 500 μm 的水滴；而當直徑小於 100 μm 時，此時霧粒具高度飄移沉積 (drift) 的移動能力。霧化形態 (patterning 或 pattern) 為噴霧邊界形狀與邊界內霧粒分佈的形狀，為三種較常見的霧化型態，分別是實心錐形 (或稱水平圓盤形)、空心錐形 (或稱中空圓盤形) 與扇形噴霧 (Nasr *et al.*, 2002)。圖 2-2 為系統噴霧有限公司 (臺灣) 介紹霧化型態的示意圖。噴角 (spray angle) 為噴嘴出口的兩邊噴霧邊界切線的夾角，由噴角的角度與距離作物的高度可計算出噴嘴的理論覆蓋範圍，圖 2-3 為 Nozzle Network Co., Ltd. 介紹噴角與覆蓋範圍 (spray width 或 coverage) 的示意圖。

影響霧粒飄移沉積與效力的參數有：粒徑分佈、平均粒徑、霧化型態、霧粒速度、噴嘴結構、貫穿距離與空氣特性等噴霧物理特徵，其中因為霧粒的外部直徑很難嚴格計算，故以表面積為基礎的平均粒徑 (Sauter Mean Diameter, SMD)

表示，而平均粒徑為粒子總體積對總表面積的比值，其值為： $SMD = \frac{\sum nD^3}{\sum nD^2}$ ，其中 n 表示粒子數量， D 則為粒子直徑。貫穿距離則是液滴噴出後，能達到最遠的距離。液體一旦形成霧粒，則飄移沉積現象除了蒸發與因密度微小改變，與液體性質無太大影響。但液體性質可能與噴霧形成過程與霧粒至目標的表面行為有關 (Miller and Ellis, 2000)。

農業中的噴嘴可裝載於農業機械上、使用曳引機拖曳與置於手持式噴桿上。機械裝載的形式中，數個噴嘴安裝在長及數公尺的噴藥桿 (spray boom) 上，可以水平噴灑一般農田作物，或是垂直噴灑樹叢類型作物；類似機械裝載的噴桿也可安裝在飛機或直升機上，用來噴灑範圍廣大的農田；手持式噴藥機通常只有一個噴嘴裝於噴桿上 (Nasr *et al.*, 2002)。



2.2 噴嘴種類

Nasr 等人 (2002) 提到噴嘴可依動力來源分成以下類型：

A. 壓力式噴嘴 (pressure atomizer)

利用高壓使液體自噴嘴噴出，故壓力為此類型的重要參數之一，但此類型之粒徑較大。依其設計或用途，又可分成以下型式：

1. 單孔噴嘴

單孔噴嘴常用在燃燒噴射的引擎，其特點為噴口小 (直徑小於 0.3 mm)、高壓與微小霧粒 (直徑小於 20 μm)，如圖 2-4 所示。

2. 扇形噴嘴 (fan nozzle 或 flat spray)

扇形噴嘴 (圖 2-5) 為單孔霧化器的變形，其噴角隨壓力增加而增加，當噴

角到達極限時，則此時霧化形態趨近於纖維形態，其噴角通常在 90 度至 120 度。

3. 壓力漩渦式噴嘴 (pressure swirl nozzle)

壓力漩渦式噴嘴為最常用的類型，也是最有效利用受壓液體的霧化方法。在同樣條件下，其壓力所需最小，可在直徑 0.5 mm 的噴口與 0.5 MPa 的壓力下霧化。但中間會產生空氣室 (air core)，進而產生渦流效應 (圖 2-6)，此空氣室的大小將影響排出流體的有效面積，進而影響排出體積的係數。空氣室的直徑越大，則係數越低、排出流體的有效面積越少。判斷流體是否會產生空氣室現象，以在噴嘴進口處的雷諾數大小為指標，若雷諾數低於一定值，也有不會產生空氣室的情況 (Halder *et al.*, 2002)。

Mao 和 Pack (1992) 所改良的壓力旋渦式噴嘴如圖 2-7，則多增加一個漩渦室 (swirl chamber)。當液體進入第一個漩渦室後，在此時形成漩渦而創造中心低壓區域，此低壓區域吸取外部空氣進入第二漩渦室，形成由液體包覆的空氣渦流 (vortex)。最後液體自噴口噴出時，中心的空氣渦流和液體交互作用，產生由大量小滴液體組成的液體噴霧，此時噴霧效果較壓力單孔噴嘴為佳。

4. 圓錐形噴嘴 (solid cone pressure nozzle)

與壓力漩渦式噴嘴類似，但較不常見，且噴嘴內會產生漩渦與紊流之綜合現象。其噴霧範圍廣泛且能均勻覆蓋於目標上 (圖 2-8)。

5. 衝擊型壓力噴嘴 (impact-type pressure nozzle)

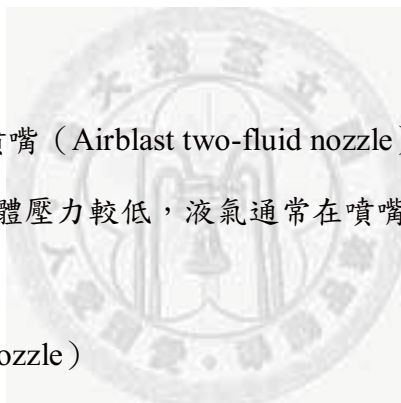
產生扇形的霧化形態，若噴口較小時會妨礙霧粒噴出。用途為：冷卻、噴水與移除氣體等。

B. 雙流體型噴嘴 (two-fluid nozzle)

雙流體的其中一種流體通常為氣體，此類型的噴嘴藉由高壓氣體輔助液體霧化。霧粒分佈較壓力式噴嘴廣泛，但平均粒徑較細。對此噴嘴而言，氣體與液體的質量比為重要參數。可依照液氣混合處或是液氣質量比而分類，前者分為內部混合與外部混合。後者常用於氣體渦輪機，又可分成：

1. 氣輔式雙流體型噴嘴 (Air-Assist two-fluid nozzle)

氣液質量比較低 (小於 1.0)，氣體壓力相對於氣爆式高出 0.2 MPa，因混合時處在高密度、高速的液體環境，故較能產生較好的噴霧。此類型不限定液體、氣體是在噴嘴的內部或外部混合。圖 2-9 為此種噴嘴用於農業用途，其氣體管路極為龐大。



2. 氣爆式雙流體型噴嘴 (Airblast two-fluid nozzle)

氣液質量比較高，氣體壓力較低，液氣通常在噴嘴外部混合。

C. 旋轉型噴嘴 (rotary nozzle)

圖 2-10 為旋轉型噴嘴，乃利用機械旋轉裝置產生離心力而使液體霧化，其霧化形態為 360 度的碟形形狀。優點為相對低速時，能產生尺寸差異極小的霧粒分佈，且不依賴噴口決定其噴霧特性，旋轉速度約為 10,000~50,000 rpm。

D. 超音波噴嘴 (ultrasonic nozzle)

為雙流體型噴嘴的改良。在雙流體型噴嘴的噴口尖端處，裝置超音波產生器，當霧粒撞擊此超音波產生器時，產生高頻聲波震動與超音波，而使粒徑更加微小。此噴嘴適合較低的流量 (小於 0.2 L/min) 與低動能，通常用於加濕器、藥液霧化等。

E. 靜電式噴嘴 (electrostatic nozzle)

利用液體的帶電表面上的靜電作用力，使液體分散而霧化。其優點為可改變電荷數使霧粒大小改變，或是避免產生相同極性的霧粒以及防止霧粒分布範圍狹窄。目前應用於噴墨印表機以及作物噴灑等。

在農業用噴嘴的使用上，Nasr 等人 (2002) 提到，農業用噴嘴可分為壓力式噴嘴、旋轉型噴嘴與雙流體型噴嘴，其中壓力式噴嘴為最常用的類型。壓力式噴嘴中，以扇形和固體圓錐型噴嘴為主，前者特點為偏斜 (deflector) 噴嘴，其最佳分布為橢圓曲線分佈；後者多用在樹叢作物。雙流體型噴嘴則以氣輔式主。這三種類型中，旋轉型噴嘴雖能產生尺寸差異極小的霧粒，但因不能平均分佈，故其市場很小；氣輔式噴嘴能使霧粒不易被自然風吹送而偏移目標作物，但需要體積龐大的氣體通道。

圖 2-11 為噴嘴間距與噴霧分佈示意，其中 S 代表噴嘴之間的距離，通常為 500 mm，H 為噴嘴距離作物的高度，此距離依作物的高度和噴桿的垂直移動而決定，通常為 400~900 mm。適合的高度可使噴霧液體均勻分布並防止霧粒飄移沉積至非農田的區域。Nasr 等人並指出霧粒尺寸應依流體層厚度 (與噴嘴噴口大小有關) 和霧化壓力決定，較大壓力與較小噴口能產生良好霧化，但這伴隨霧粒飄浮沉積的增加。故為了防止飄積，應加大噴嘴尺寸並減少霧化壓力。

而陳 (1996) 提到灑水噴嘴的霧化型態若為水平圓盤狀，噴嘴間會產生噴霧重疊或缺噴的區域，故此噴頭除用來噴水外，不適合噴藥或施肥之用途，以防止藥傷情形發生。

Vanella 等人 (2011) 則提出噴藥量與噴嘴流速量測相關，而影響噴嘴流速的因子包括：噴嘴的設計、泵浦系統、溶劑的物理性質、混合液的流變性質等。流速的變化可能影響覆蓋率與噴藥效果。並且提出實驗結果為流速的增加與噴嘴種類有關，而與噴嘴尺寸無關。

2.3 振動的影響

農作噴藥最重要的需求之一為產生均勻分佈的噴藥劑量，通常以霧粒型態量測其劑量。實驗結果指出：對承載型噴藥機而言，拖曳型噴藥機的噴藥桿頂端霧粒分布，相較於承載型噴藥機有良好的噴灑分佈品質，其差異與噴藥機受噴藥桿移動而引發的噴藥桿振動強度有關 (Herbst and Wolf, 2001)。

Jan 等人 (2006) 指出噴藥機上的噴藥桿的振動，會造成不均勻的噴霧分佈，若 100% 為最佳分布指標，其不均勻的分佈誤差範圍為 0~800%。除了噴藥桿的振動，噴嘴離地距離也會對噴霧錐狀大小有影響。當噴嘴越靠近地面，噴霧錐狀會越小，不能達到理想的霧粒沉澱。

而 Jan 等人 (2005) 論文提到由於高架式噴藥桿較大的寬度，其微小變形的結構將在噴藥桿頂端引起相當大的變形，但噴藥桿寬度和噴藥桿振動沒有明確的關聯。而噴藥桿平衡強烈影響霧粒的分佈，圖 2-12 為最影響噴藥分佈的振動分別為垂直平面震動的滾動 (rolling)、水平振動的反對稱搖擺 (yawing) 與對稱搖擺 (jolting)。該篇論文也深入討論振動對噴藥的影響，以及改良機構中阻尼器的最佳安裝位置。

2.4 精準農業

過去傳統的農耕方式，忽略環境因素的變化，將農田視為相同性質，給予相同的作業方式或劑量，此種方式長期累積造成許多問題，包括農地不當使用、產量顯著降低、肥料與農藥不當施用、資源浪費、毒害氣體釋放或滲漏、有毒物質長期殘留及作物生長環境劣化。為解決這些問題，發展出精準農業 (precision agriculture) 技術，精準農業以資訊與技術為基礎，依照土壤與植物性質等不同環境因素，施與不同的作業方式或劑量，使產量增加、減少肥料與農藥

的施用量，能在環境保護與經濟效益取得平衡（劉，2000）。

精準農業融合科學技術、人文思想與實務操作，除了使農業邁向高科技化以及高效能化，更追求農業的永續經營。精準農業發展初期，主要考量為維護生產環境並降低生產成本，以農場的大面積栽培的穀類、糧食與纖維等作物為主要目標，著重於農作物耕作及土壤肥力的管理，並且研發出變異率作業機具執行如變異率噴藥機具、施肥機具與噴施機具等。之後的精準農業作業之作物朝果樹、蔬菜與花卉等研究發展；經營管理的項目也大為擴充，包含土壤肥力、作物營養狀態、病蟲害防治、水分管理、災害評估及物種辨識等；栽培地點由田間擴充至室內，包含溫室、網室或簡易設施內實施對農作物的精準管理（楊與林，2003）。

精準農業建立在技術與資訊之基礎上。在資訊方面，包含農耕資料庫、土壤資料庫以及地理資訊系統，提供關於作物栽培、土壤性質變異以及地理與地形等資料。在技術方面，包含全球定位系統（GPS）、遙感探測技術、可變率技術以及自動化操作系統等，能定時得知田區的生長環境因素，進而調控作業變量。

在實際應用上主要有三大技術：

1. 描繪變異性

精準農業首先取得特定地點的變異性，變異性分為空間性、時間性與預測性的變異三種。利用全球定位系統（Global Positioning System, GPS），能取得田區之空間變異性。時間變異性可透過地理資訊系統（Geographic Information System, GIS）描述特定空間在時間的變化。預測性變異則是最難得知但也最重要的一種，能提供風險管理或農耕操作排程。

2. 可變率控制

為配合田區特定地點的不同施作量，乃結合全球定位系統與變異資訊，應用於施作機械，實行可變率機械施作。其中由全球定位系統獲得實際的田

區位置，並利用資料庫的田區變異圖或即時感測器提供特定位置的變異資訊。

3. 決策支援系統

決策支援系統能在作物產量與環保問題找到最佳作業模式（賴等人，2003）。

2.5 變速流量控制

目前精準農業在變速流量控制分成兩大變因控制，一個是依照不同農地中的地形、土壤種類與害蟲猖獗程度等特定點特性調整流量，另一個則是按照噴藥機行走速度之快慢調整流量。

Gebhardt 等人（1974）提到噴藥機實際行走速度會造成理論施噴量的誤差，改善的方法有兩種：一是在噴藥機上安裝速度控制器，使之以固定速度行走；二是發展能隨著噴藥機行走速度改變噴嘴流量的裝置，在實際情況下，第二種方法較能實踐。該篇論文利用電壓改變比例閥開度，進而控制噴嘴流量滿足噴藥量估

算公式：

$$\text{gpa} = \frac{5940 \times \text{gpm}}{w \times \text{mph}}$$

其中 gpa (gallons per acre) 為噴藥機在每英畝面積的噴灑量，gpm (gallons per minute) 為單一噴嘴每分鐘的噴灑量，w 為噴嘴覆蓋範圍(單位為英吋)，mph (miles per hour) 為噴藥機行走的地面速度。該篇論文以 40 psi 壓力下可噴灑 0.2 gpm、覆蓋範圍為 20 英吋的噴嘴作實驗，目標為在行走速度 3 mph 及噴灑壓力 40 psi 達到化學藥劑常用的噴灑量——20 gpa，並與未控制流量之噴灑作比較。結果顯示控制流量組的噴灑量在車速為 2~4 mph 時，能有穩定的噴灑量 (17.8±1 gpa)，未控制流量組的噴灑量則隨著車速漸增而減少。

廖（2001）利用全球定位系統定位儀獲取噴藥機在田區的空間座標，並做變

率施噴實驗。結果得出，比例閥的有效控制約在開度為 0~60%，開度大於 60%則流量趨於穩定，失去控制流量的意義，故建議田間施噴範圍在比例閥開度為 0~60%較佳。而田間的變率噴施可視田地所需量而定，例如分成三級：微量噴灑(0~20%)、中量噴灑(21~40%)與大量噴灑(41~60%)。此外發現流量不穩定與突然性的變化，研判原因為管路中流量計設置於比例閥之後，當比例閥閥口改變會造成不連續的液體流，不同大小的液體使流量計轉子室處在非填滿的狀態，轉子在此時容易產生感測的不穩定。改善的方法可將比例閥與流量計位置互調，並將比例閥出口處的管路提高 1 公尺，使流量計的轉子室保持充滿液體的狀態。

林(1995)使用步進馬達模擬機具在田間行走之速度，接著利用旋轉編碼器讀取訊號，依訊號大小控制流量控制閥之開度。實驗中，取三次每 20 秒排出水的重量之平均值做為流量，並換算成每秒之流量。實驗中，回流量與閥開度的關係為：

$$Q_p = NQ_n + Q_r$$

其中 Q_p 為幫浦流量(由幫浦轉速決定)， NQ_n 為總噴嘴的噴霧量， Q_r 為管路回流量。其中回流端由流量控制閥調整流量，利用 Bernoulli 方程式與流體不可壓縮性，可得到回流量與控制閥開度關係為： $Q_r = f(F_t) \sqrt{P_1 - P_2}$ ，其中 P_1 為控制閥前流體壓力， P_2 為流經控制閥後流體壓力， F_t 為控制訊號的大小；幫浦流量與幫浦轉速關係為： $Q_p = KV_p(1 - \eta_p P_1)$ ，其中 K 為無負荷下幫浦每轉之流體輸出量；總噴嘴噴霧量與機具行走速度關係為： $NQ_n = NWGV_c$ ，其中 N 為噴嘴數目， W 為噴嘴覆蓋範圍， G 為單位面積覆蓋量， V_c 為噴藥機車速。

將上述公式帶入，可得到控制訊號公式：

$$f(F_t) = \frac{Q_r}{\sqrt{P_1 - P_2}} = \frac{Q_p - NWGV_c}{\sqrt{P_1 - P_2}}$$

本篇論文的噴霧量不如以往研究僅依靠噴頭壓力、車行速度與控制訊號三個因子決定，而是改用單位面積噴霧量、車行速度、噴頭數目等算出噴霧量，再以

幫浦轉速算出幫浦輸出量，最後依據控制閥前後的壓力差控制回流量的大小，即幫浦輸出量與噴霧量之差。此方法不會因噴頭類型不同而影響回流效率。

實驗與研究結果顯示：流量與壓力差的平方根成正比，可直接以壓力差的平方根為回饋控制的基準，並且發現：步進馬達轉速為零時（即模擬機具停止行走時），仍有噴霧現象。

洪（2003）使用 GPS 接收器接收噴藥機的速度值，將之傳送至 GPS 速度控制器轉換成電壓訊號，以控制流量比例閥開度，調整液體出口流量。實驗發現 GPS 速度控制器輸出電流過小，故比例閥接收的電壓值會下降 2~3 伏特，造成比例閥只有全開與全閉的兩段控制。但之後利用電晶體與可變電阻設計的穩流器，使輸出訊號不會因負載而下降，使比例閥開度可隨速度變化而改變。

在商業應用上，Ozkan（1987）發展微電腦程式（microcomputer program）——SPRAYCAL，用來測定噴藥機的噴霧量是否符合預測，以及計算超過預測量的成本。其測定方法選擇較簡單且所需參數較少的噴嘴輸出方法（Nozzle Output Method）。此方法需要一些參數，例如以噴嘴噴霧範圍（nozzle spacing）為基礎的行走路徑與距離、每個噴嘴的輸出量以及量測時間等。SPRAYCAL 測定時，噴藥機只需在原地以正常噴霧壓力進行噴霧，實驗中以盎司為單位的平均噴嘴輸出值等於實際噴積藥在每畝面積的施噴量（單位：加侖），此值可與 SPRAYCAL 預估的施噴量比較得應用誤差（application error）。若應用誤差大於預估值值的 5%，則建議調整噴藥壓力、噴藥機行走速度、噴嘴尺寸或更換個別噴嘴。

2.6 高架式寬跨距農業機械

對高莖作物而言，傳統農業機械因缺少足夠的距地間隙（clearance），無法達到作業之最佳化；此外傳統農業機械其隨機的路徑（尤其是多用途的曳引機），將會使土壤過度壓實，不只減少作物產量，其所需要深耕的動力也隨之增加（Hood

et al., 1990)。

Gebhardt 等人(1982)設計並建造高架寬跨距曳引機(high wide tractor, HIWIT)做為雜草控制研究，此設計包含改良阿克曼(Ackerman)轉向梯形鍵結的設計，以減少輪胎在轉彎產生的滑行。

除了應用於玉米、高粱和甘蔗等高莖作物外，此類型的機械也可應用於其他敏感、易受機械傷害的作物上。例如 Laguë 等人(1997)論文中，將寬跨距機具運送機(Wide-Span Implement Carrier, WSIC)應用於生長於沼澤的蔓越莓，其可作為收穫、修剪及施肥之用途。1995年秋季以 WSIC 收穫高達 60 公頃(150 英畝)的蔓越莓面積，可證實此機械能妥善應用於蔓越莓。

Beasley 等人(1983)論文中，使用可再回收和再循環的高架式噴藥機，噴灑藍莓灌木叢。在 690 到 2,758 kPa 的壓力與每小時 4.22 公里的地面速度下，以 306 公升/公頃標稱施噴率以噴嘴送出時，約 40%的噴嘴輸出能再循環，故藉空氣散播的飄積現象實質降低。用管路圍圍的噴藥，其噴藥範圍能覆蓋一般大小與形狀的樹叢，能減少脫逃藥劑的害蟲數，更將作物區域縮小，達到飽和噴藥的方法。

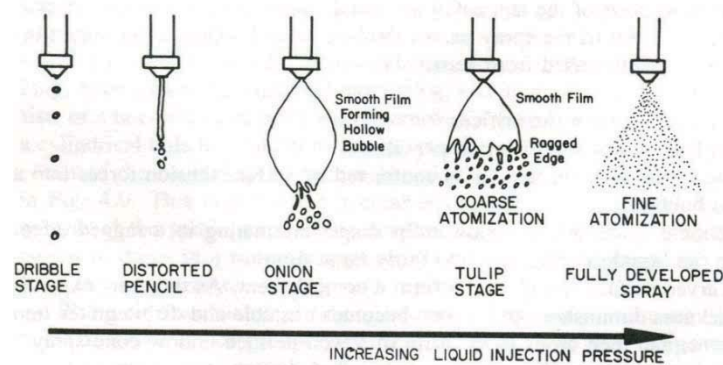


圖 2-1 液體的霧化過程 (Nasr *et al.*, 2002)

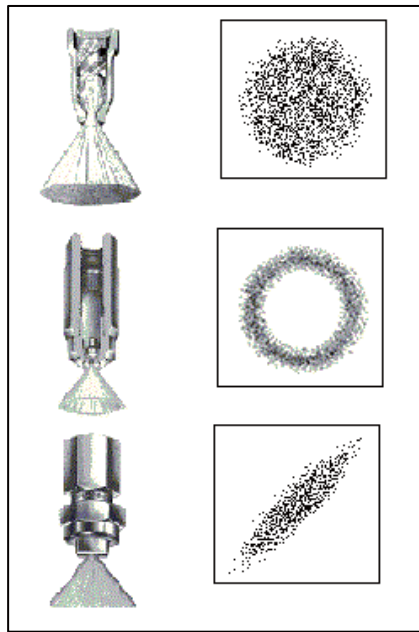


圖 2-2 三種常見霧化型態（噴霧系統有限公司）

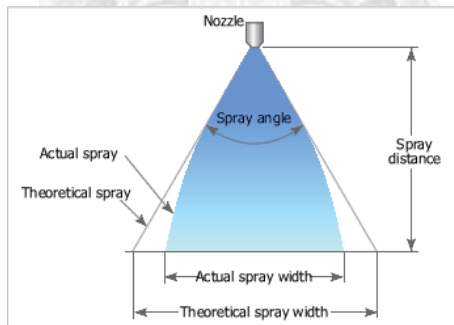


圖 2-3 噴嘴的噴角與覆蓋範圍（Nozzle Network Co., Ltd.）



圖 2-4 單孔噴嘴（Lefebvre, 1989）

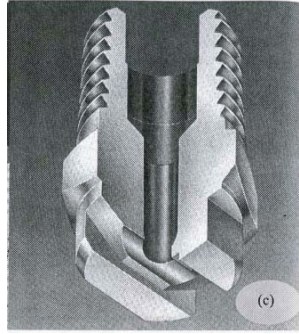


圖 2-5 扇形噴嘴 (Nasr *et al.*, 2002)

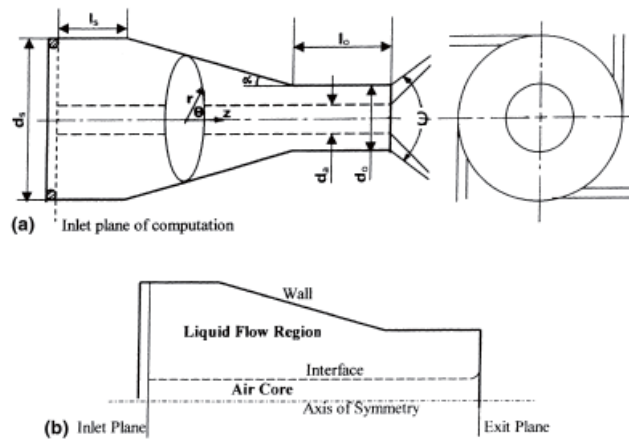


圖 2-6 壓力漩渦式噴嘴內部結構之幾何與形成的空氣室 (Halder *et al.*, 2002)

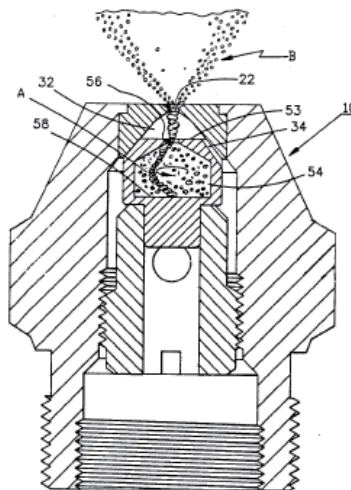


圖 2-7 含兩旋渦室的壓力漩渦式噴嘴 (Mao and Pack, 1992)

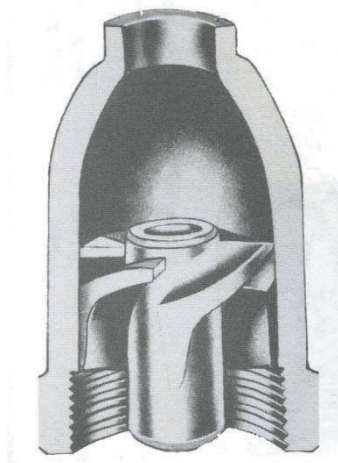


圖 2-8 圓錐形噴嘴 (Lefebvre, 1989)



圖 2-9 氣輔式噴嘴用於農業噴霧 (Nasr *et al.*, 2002)

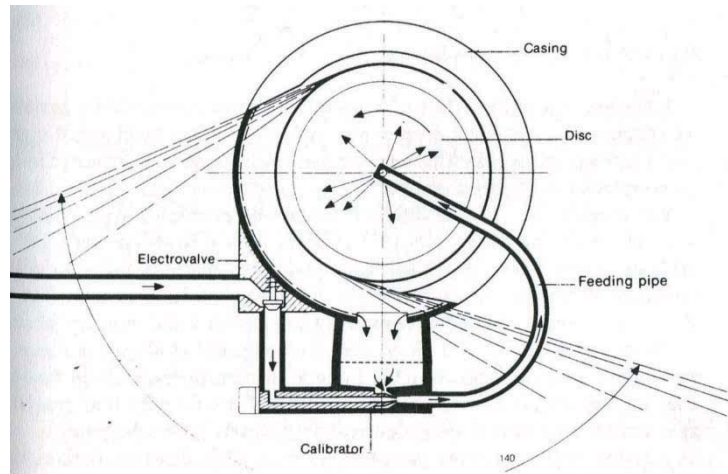


圖 2-10 旋轉型霧化器設計 (Nasr *et al.*, 2002)

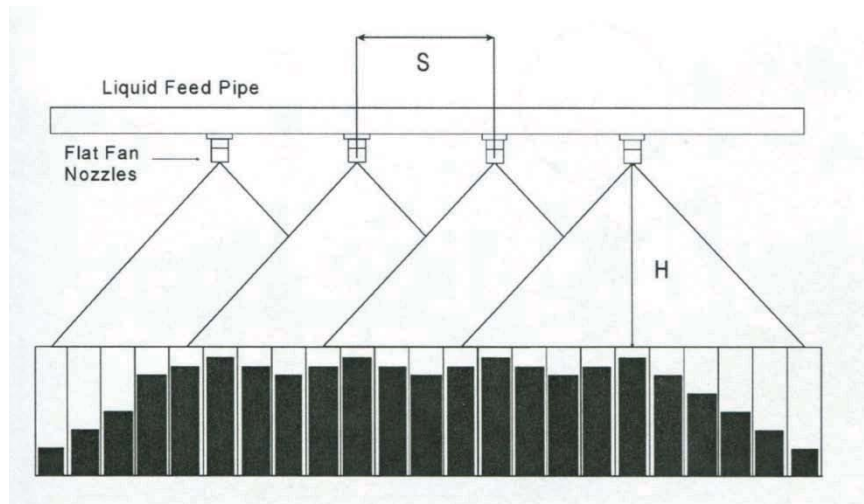


圖 2-11 扇型噴嘴間距與距作物高度 (Nasr *et al.*, 2002)

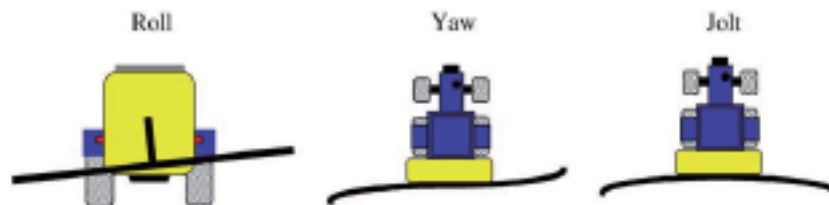


圖 2-12 噴藥機振動 (Jan *et al.*, 2005)

第三章 實驗設備與研究方法

為了達到噴嘴噴霧量能隨著不同轉速而改變，設計電路與程式系統使整體實驗架構如圖 3-1 所示。接著針對幫浦噴霧量與壓力、比例閥做噴霧實驗，以 TeeJet 量桶量測幫浦在噴霧壓力 5、10、15、20 與 25 kgf/cm² 且開度在 20%、34%、65% 與全開開度情況下的噴嘴流量，噴霧實驗流程如圖 3-2 所示。

之後調整程式中的間隔時間設定值，觀察其對控制比例閥開度是否會產生不正常的現象。在此實驗中，先調整間隔時間為 0.05、0.1 與 0.5 秒，以 LabVIEW 內建的波形圖記錄程式讀取到的轉速值，觀察不同間隔時間是否會有不同的轉速平均值以及範圍。由於過小的間隔時間會有極大的偏差值，為了瞭解這種瞬間的極大偏差值是否會造成比例閥不正常作動，故先以 LabVIEW 內建的波形圖記錄比例閥的訊號電壓波形，分別使比例閥正常作動以及不正常作動，觀察訊號電壓在兩者情況下的變化。最後調整間隔時間為 0.05、0.1 與 0.5 秒，觀察在這三個間隔時間下，程式與電路系統控制比例閥的情況，其中比例閥是否正常作動的判斷除了以目視當下比例閥的作動情形，並與先前單獨使比例閥產生正常與不正常作動的訊號電壓圖比較。轉速實驗流程與比例閥開度實驗流程分別為圖 3-3 與圖 3-4 所示。

3.1 實驗設備

1. 動力馬達

三菱 SUPER LINE 中的 SF 系列，提供額定馬力 0.75 kW 來驅動高壓幫浦。

2. 壓力幫浦

物理牌 W-25A 的高壓動力噴霧機，規格詳見附錄一。

3. 比例控制器暨電動馬達驅動器

輸入電源與訊號於驅動器，驅動器依訊號大小隨時調節控制器閥門之開度，可控制流體的流量、壓力與溫度。文中後述皆簡稱作比例閥，做為控制幫浦出水管路上的噴嘴流量，其規格詳見附錄二。

4. 旋轉編碼器 (rotary encoder)

將旋轉位置或旋轉量轉換成類比或數位訊號的機電設備，可分成絕對型編碼器與增量型編碼器兩種，前者可輸出旋轉軸的位置，可做角度之量測；後者可將旋轉軸運動經由其它設備或電路轉換成轉速或位置等資訊。實驗使用增量型旋轉編碼器，偵測模型車之車輪轉速值，為歐姆龍 (OMRON) 的 E6C2-CWZ6C 型號 (圖 3-5)，其規格詳見附錄三。

5. 程式使用軟體——LabVIEW 系統設計軟體

本研究使用的程式軟體為 LabVIEW，全名為 Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench，是一種圖形化程式語言 (又稱為 G 語言)，能利用直覺性的圖形化接線與圖式建構出流程圖，完成量測與控制系統，進而能做資料分析與呈現。本研究利用 LabVIEW 讀取旋轉編碼器訊號，並控制比例閥的開度。

6. 資料擷取 (DAQ) 硬體

可與 LabVIEW 程式搭配，能讀取或傳送外界資料的硬體，本實驗使用 National Instruments 的 USB-6210，使用一個數位輸入通道以讀取編碼器訊號，並利用三個數位輸出通道間接控制比例閥的開度，而在讀取比例閥訊號電壓則使用一個類比輸入通道，其規格詳見附錄四。

7. 電源供應器

為自製電路板提供 12 V 電壓，間接控制比例閥開度與作動；提供模型車馬達 0~6V 電壓，使模型車的車輪轉動。

8. 模型車

以馬達為動力驅動車輪轉動，實驗中以旋轉編碼器與車輪軸心連接，使讀取

到的轉速值即為車輪轉速值。

9. 數位式轉速計

使用泰仕電子的 RM-1501 型號的轉速計，量測真實車輪轉速，並與 LabVIEW 讀取到的轉速比較。

10. TeeJet 量桶

每 20 秒量測噴嘴流量。

3.2 實驗方法

實驗分成三階段，第一階段為設計控制電路與程式，第二階段為噴霧實驗，第三階段為實體車速與噴霧實驗。

1. 設計電路與撰寫程式

第一階段又可分成兩部分，第一部分是 LabVIEW 利用 DAQ 硬體偵測旋轉編碼器訊號，並轉換成轉速值，第二部分是對不同轉速值控制不同的數位輸出通道，進而改變比例閥開度大小。

第一部分由於旋轉編碼器輸出的電壓不穩定且較小，故訊號經由計數器 (counter) LS74191 處理才可被 DAQ 硬體偵測到，圖 3-6 為使用 DAQ 的類比輸入通道 (AI1) 直接讀取旋轉編碼器的輸出訊號之電壓圖，圖 3-7 則將旋轉編碼器輸出訊號經過計數器處理，再由類比輸入通道讀取之電壓圖。而計算轉速值的程式則利用 LabVIEW 內建的計數器中的邊緣計數 (Edge Count) 模式，此模式計算數位輸入通道 (P0.0) 的脈衝訊號數。

接著在 LabVIEW 撰寫程式，利用 while 迴圈並設定時序做為每迴圈的間隔時間，使脈衝數轉換成轉速，並能隨著轉速快慢控制 DAQ 卡的數位輸出開關。程式中在判斷轉速大小選用較簡單的函數——大於函數 (greater function)，故圖 3-

8 設定為轉速大於 30、60 與 90 rpm 時，P1.0、P1.1 與 P1.2 依序由關轉為開，例如 90 rpm 時，三個數位輸出通道皆為開通（High）狀態。

而在控制比例閥開度方面，則利用不同的壓降大小改變比例閥開度，在此利用放大器（LM324）將 DAQ 輸出的訊號放大以控制繼電器（RY12W-K），使其電路中的總電阻值依轉速值而改變，進而改變比例閥接收到的電壓以控制其開度大小。

為了搭配程式中輸出通道是隨著轉速增加而依序開通，電路系統使用串聯電阻，但電阻由繼電器控制是否被通過。圖 3-9 為控制比例閥開度的電路，DAQ 輸出通道 P1.0、P1.1 與 P1.2 依序輸出電壓時，經由放大器放大電壓以致於能作動繼電器，使個別繼電器的電流由電阻轉向無電阻的電路，總電阻即能隨著轉速越大而越小，而比例閥訊號的電壓隨電阻越小而增大，故比例閥開度漸增。例如 30 rpm 時，總電阻為 3 k Ω ，而加快至 90 rpm 時，總電阻為 1 k Ω 。另外為了在車速較小甚至靜止時，比例閥開度為零（不進行噴霧），故第一個繼電器的電阻遠大於後面的電阻，使轉速有一定下限值，此噴霧系統才會作動。

利用電阻與繼電器等電路將比例閥設定四種開度，分別是 0、23%、44%與 70%，其電路選用的電子元件分別是 LM324、150 Ω （R1）、100 Ω （R2）、1 k Ω （R3）、10 k Ω （R4）與 RY12W-K（繼電器）。

圖 3-10 為將所有電路焊上電路板的情形，包含電源供應器提供的電壓、編碼器電壓與訊號、比例閥開關與訊號的電壓、上述控制開度的電路以及 DAQ 輸入/輸出皆在之上。由上述的程式與電路系統所設定的轉速與開度關係如圖 3-11 所示。

但電路在麵包板佈置測試時，DAQ 輸出電壓能從 4.8 V 放大至 10 V，且 3 個輸出電壓彼此不會互相影響放大後的電壓。而電路焊在電路板後，最大只能放大至 6.4 V，且 3 個輸出通道為開通時會影響另兩個的放大電壓，使本來能放大至 6.4 V 變 6 V 甚至 5 V，造成繼電器無法正常作動，間接影響比例閥不能達到正常

的開度。例如轉速大於 30、60 rpm 時，比例閥可能開度還維持 0；轉速大於 90 rpm，比例閥開度可能變 70%，也可能是 44%。故改用市售的繼電器模組，模組本身即有電路使 DAQ 的輸出電壓不需放大即可使繼電器模組作動；為防止輸出通道互相干擾繼電器的作動，電阻部分的電路由串聯改為並聯，三個電路彼此不互通，並修改部分程式，由原本的大於函數改為比較函數（compare function），此函數可設定在某一範圍內或大於特定值才作動，使三個數位輸出通道不會同時開通。

修改後的電路圖、電路板與程式則分別如圖 3-12、圖 3-13 與圖 3-14 所示，其中 R5、R6 與 R7 分別為 3.3 k Ω 、2.2 k Ω 與 1 k Ω ，使開度分別為 20%、34% 與 65%，而三個 DAQ 輸出通道皆不輸出時，比例閥開度為 0%。

2. 噴霧實驗

第二階段噴霧實驗中，高壓幫浦出口直接接至單一噴嘴，由幫浦上的流量計顯示噴霧壓力，改變壓力由 5 至 25 kg/cm² 與不同比例閥開度的噴霧試驗，用 TeeJet 量桶量測每 20 秒的施噴量。其中開度因廖（2001）文獻之建議，故選擇 20%、34% 與 65%。初次實驗結果發現比例閥開度對流量的影響較壓力小，假定是因幫浦只接一只噴嘴的關係，故再進行多個噴嘴的噴霧實驗。

在噴霧實驗中，由於幫浦出口是否為閉合會影響壓力值，故記錄噴霧壓力時以水管路全開為準。圖 3-15 為噴霧實驗設備，下方幫浦的三條管路由上至下分別為：迴水管路、入水管路以及出水管路，其中出水管路由一只開關閥控制出水管路，當記錄幫浦上方壓力計顯示之壓力時，將此開關閥轉至全開之位置，如圖所示。

3. 實體車速與噴霧實驗

第三階段則將旋轉編碼器實際接在實體車輪上以偵測其轉速，模型車靠電動馬達帶動齒輪箱，間接驅動車輪旋轉，因提供的動能過小，在低電壓（0~6 V）時

無法在地面上行走，具有馬達的一側車輪不會帶動另一側無馬達的車輪，故旋轉編碼器利用聯軸器與具有馬達該側的模型車的車輪相連接。又因模型車在低電壓時，動能不足在地面上無法行走，故實驗時將模型車架空使之空轉，編碼器偵測的轉速即為空轉的轉速。圖 3-16 為進行轉速實驗時的情形，圖 3-17 為旋轉編碼器連接至車輪上的情形。

實驗時以電源供應器供電給模型車上的馬達，並利用 LabVIEW 與電路組於電腦上觀察並紀錄轉速值。記錄方法則利用 LabVIEW 內建的波形圖 (Waveform Chart) 隨機存取 15 秒的轉速值，並分析這段時間的轉速區間與極值轉速 (包含極大轉速與極小轉速)，最後以平均轉速與最大偏差值呈現結果。之後以數位式轉速計量測車輪轉速，並與程式量測結果比較。

4. 比例閥開度實驗

之後程式使用三個不同的間隔時間，並且搭配電路推動比例閥作動，同時將 DAQ 其中一個的類比輸入通道與比例閥的訊號電源線連接，使 LabVIEW 以波形圖記錄比例閥的訊號電壓趨勢。為了瞭解比例閥正常作動與不正常作動情形，一開始先以 LabVIEW 中的 Measurement & Automation Explorer 的 Test Panels 直接控制 DAQ 的輸出通道的開關，圖 3-18 中的 port0~2 開關分別控制比例閥的開度，當按下開關後，比例閥開度分別會由 0 上升至 20、30 與 65%。欲使比例閥正常作動時，則按下其中一個開關後，比例閥作動完全前不做任何動作；反之欲使比例閥出現不正常作動情形，則在按下 port0~2 中任一個開關，不等比例閥作動完全，在數秒時間內將開關反向操作。例如欲得到開度 65% 的正常作動，則在按下 port2 開關後，約等 10 秒時間使比例閥由開度 0% 升至 65%；欲得到不正常作動，則在按下開關後的 10 秒內將 port2 關閉，使比例閥開度最後回至 0%。

收集比例閥正常作動與不正常作動的訊號電壓圖後，接著改變間隔時間，除了觀察比例閥訊號電壓圖與上述兩者比較，另外可直接觀察比例閥的作動情形，

例如比例閥作動時的聲音與閥口的開度等，判斷選擇不同間隔時間是否會使比例閥出現不正常作動的情形。

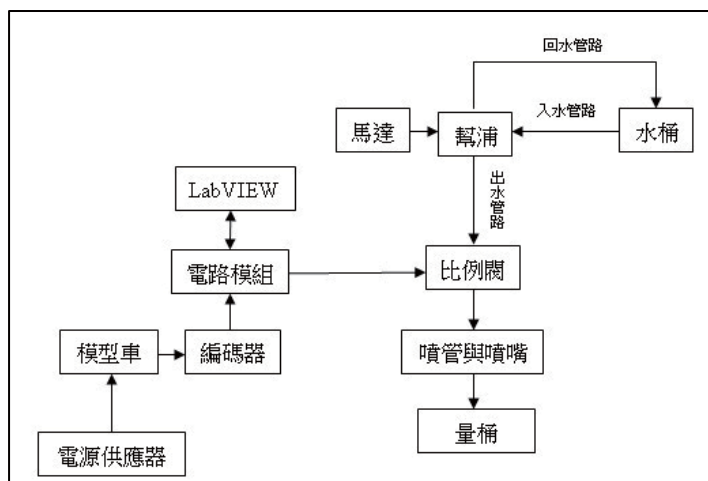


圖 3-1 實驗架構

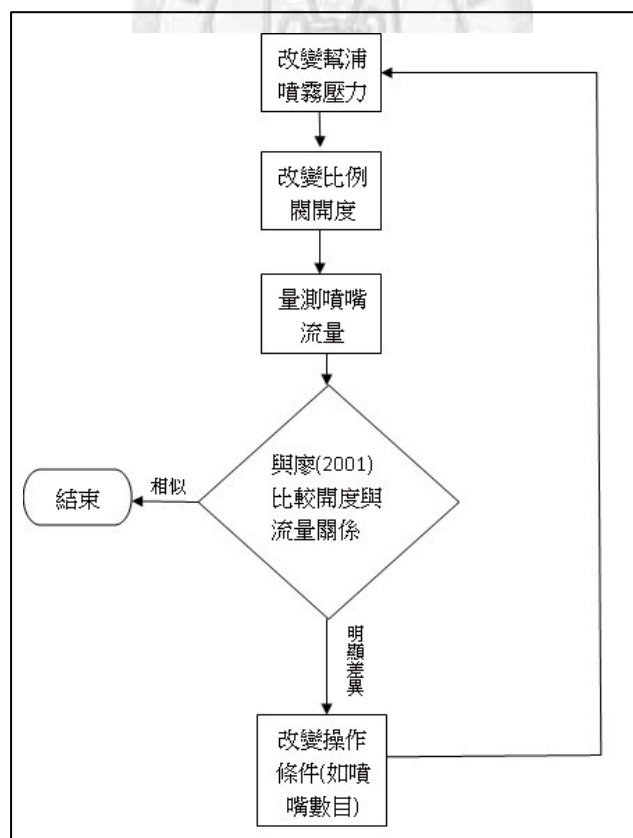


圖 3-2 噴霧實驗流程

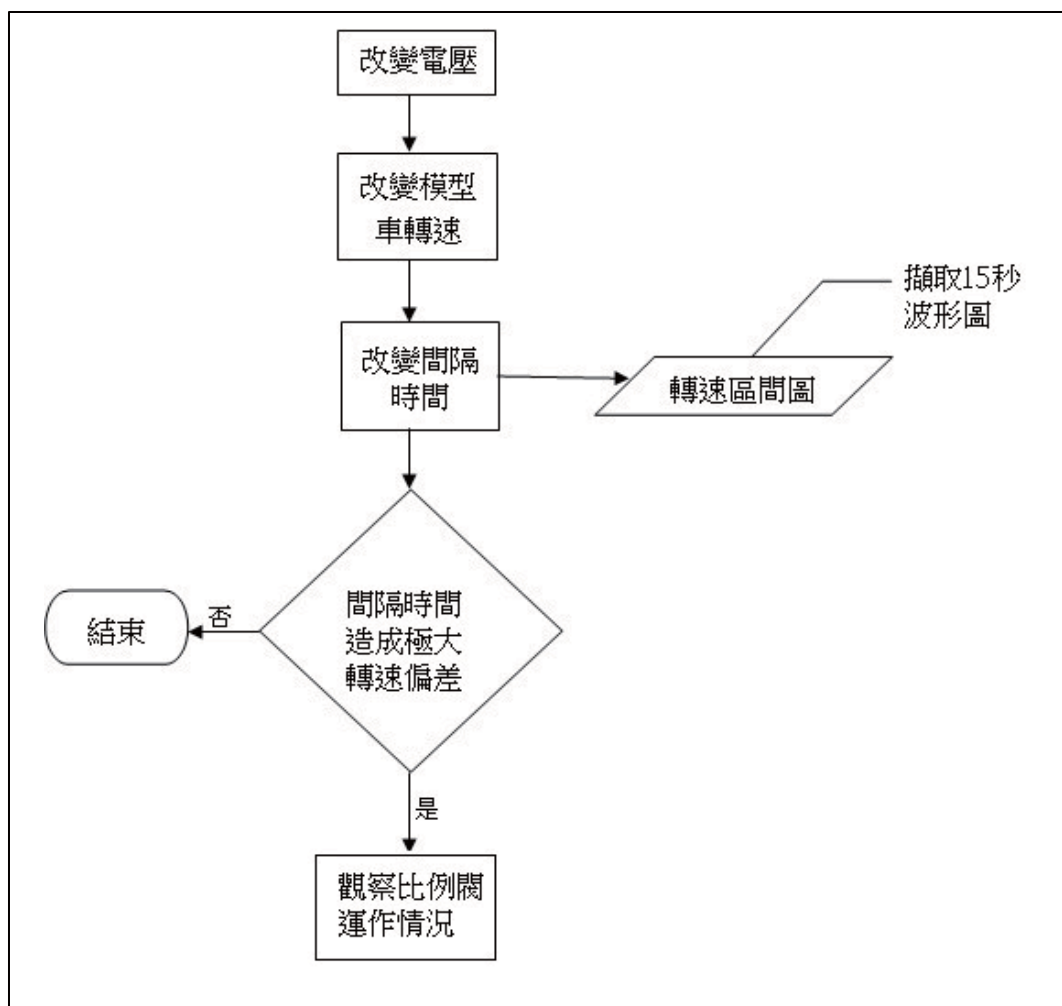


圖 3-3 轉速實驗流程

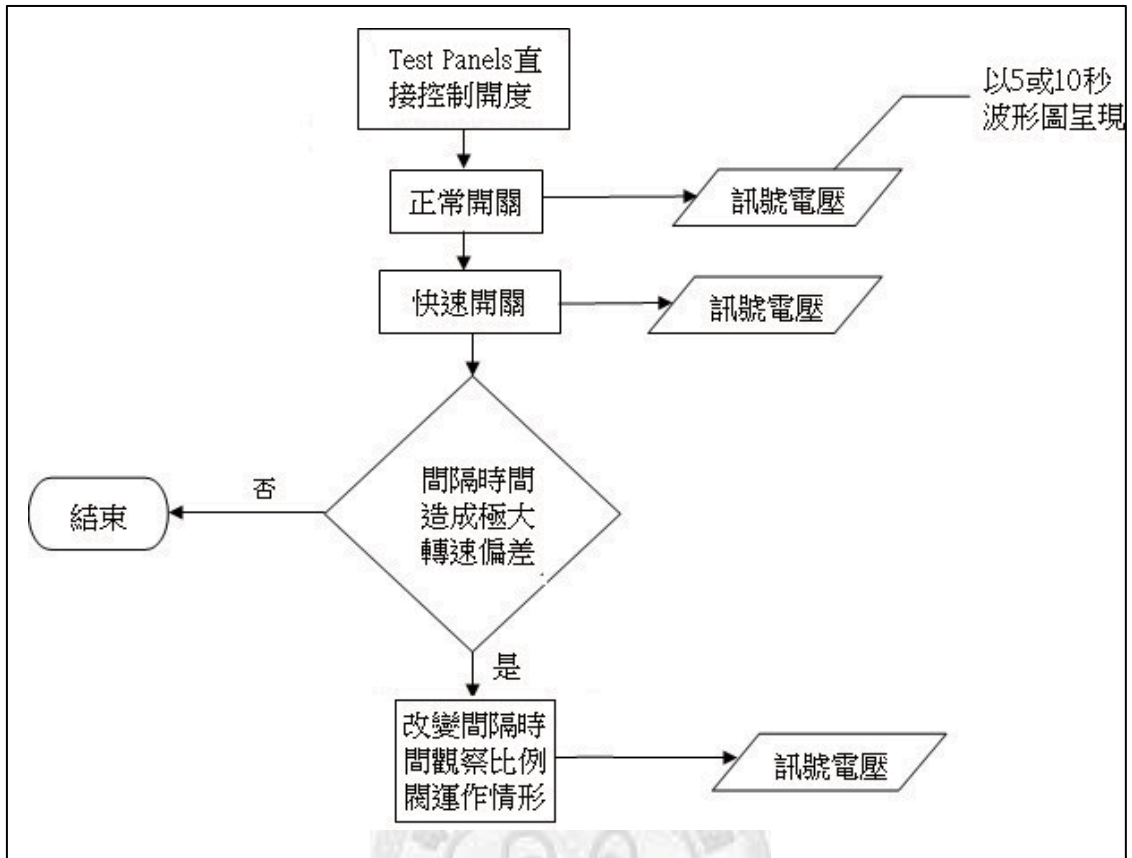


圖 3-4 比例閥開度實驗流程



圖 3-5 旋轉編碼器

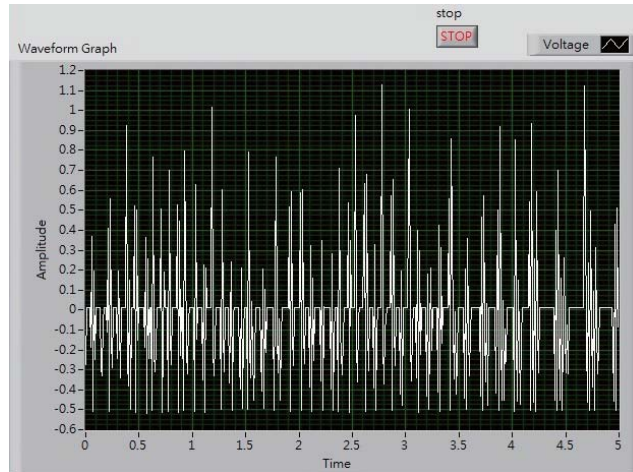


圖 3-6 編碼器訊號直接由 DAQ 讀取之電壓

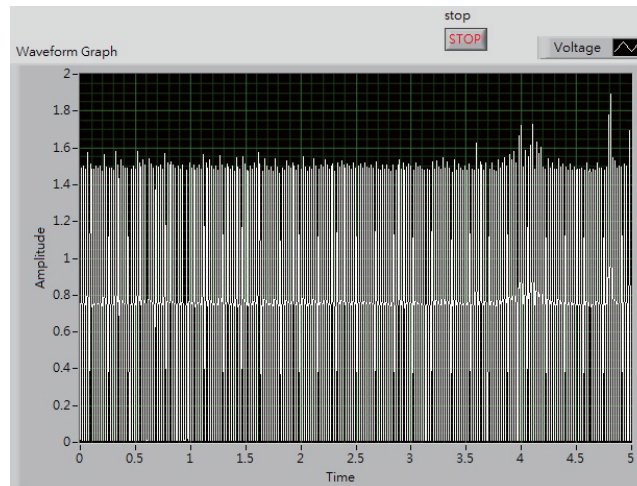


圖 3-7 經過計數器處理的編碼器訊號電壓

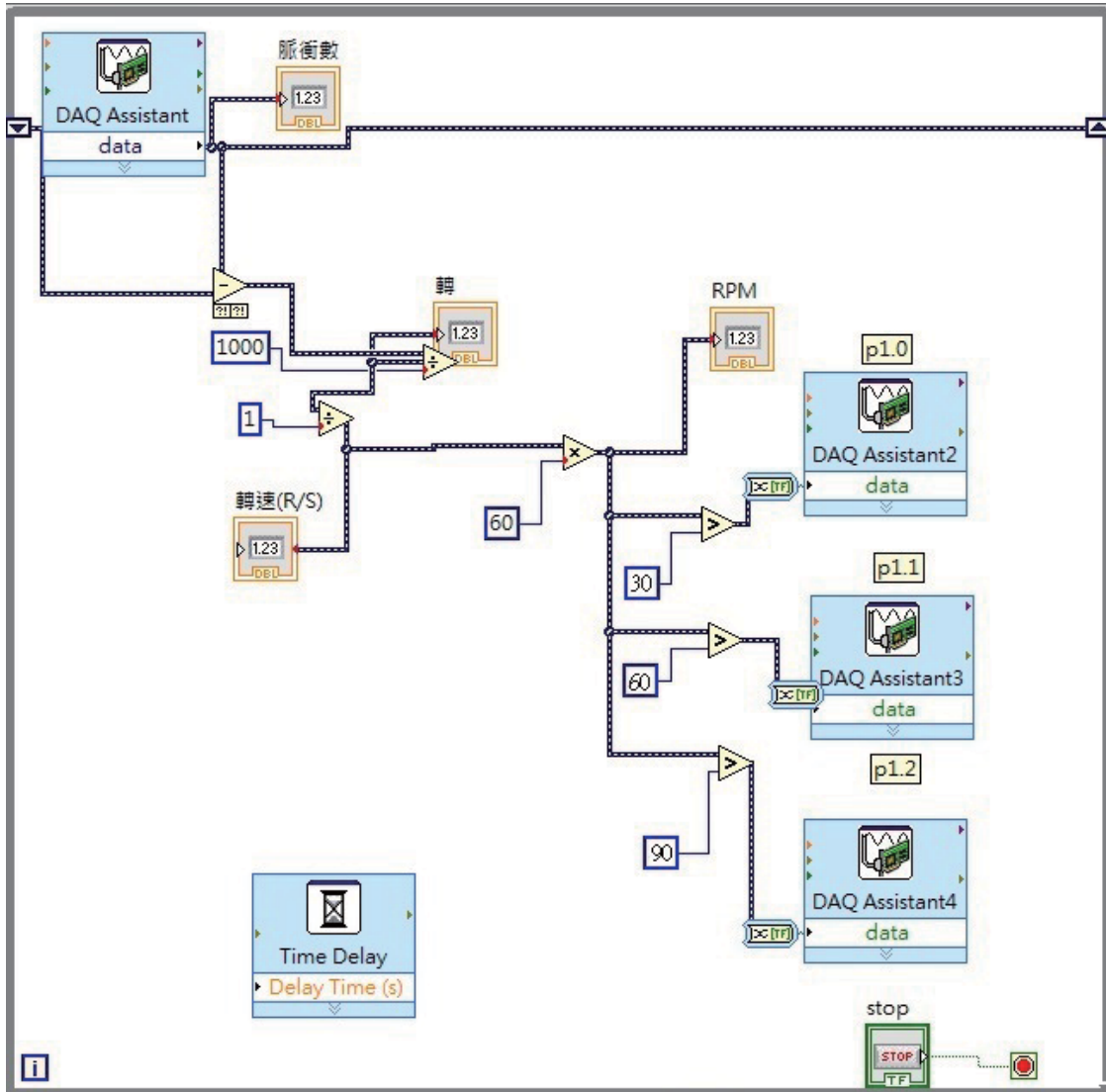


圖 3-8 讀取轉速並控制比例閥開關之程式

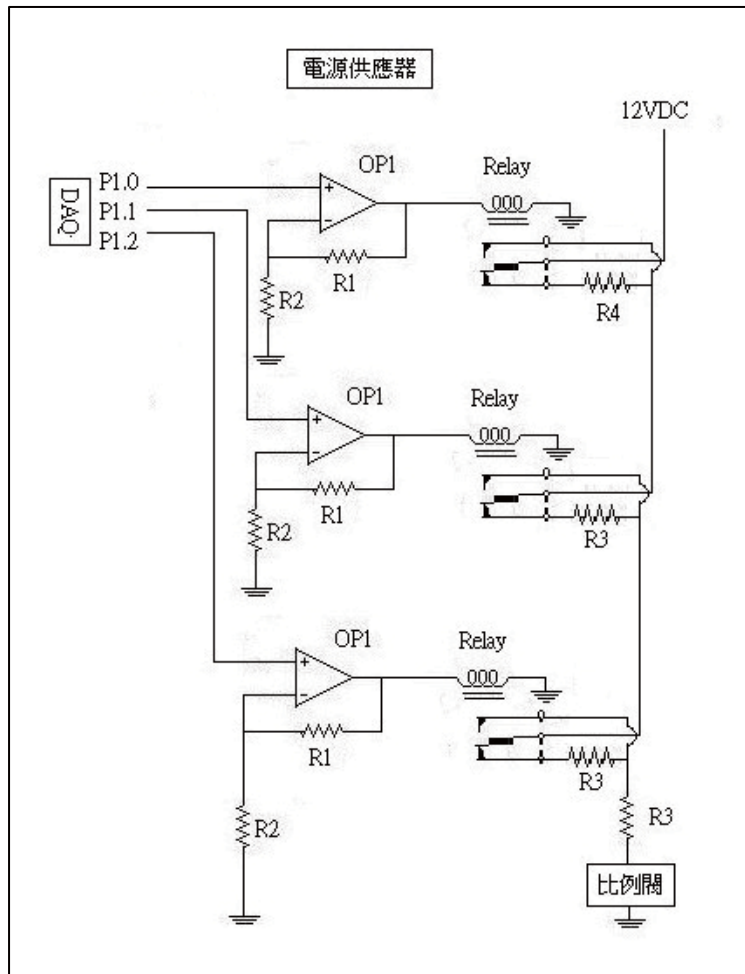


圖 3-9 控制比例閥開度之電路

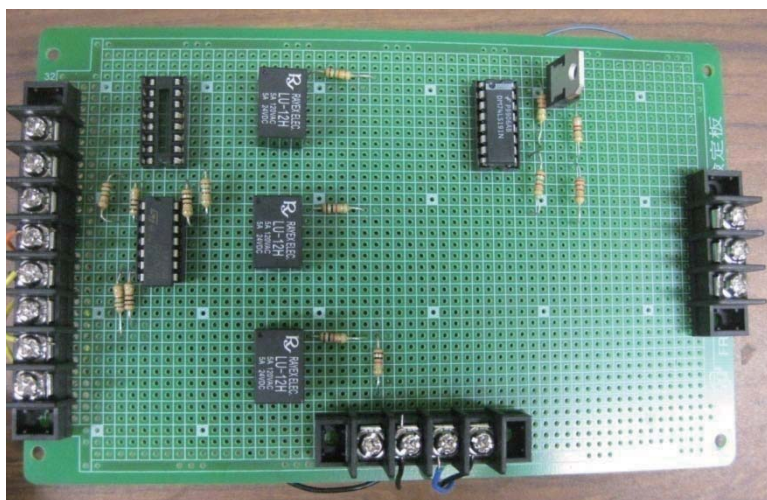


圖 3-10 自製控制電路板

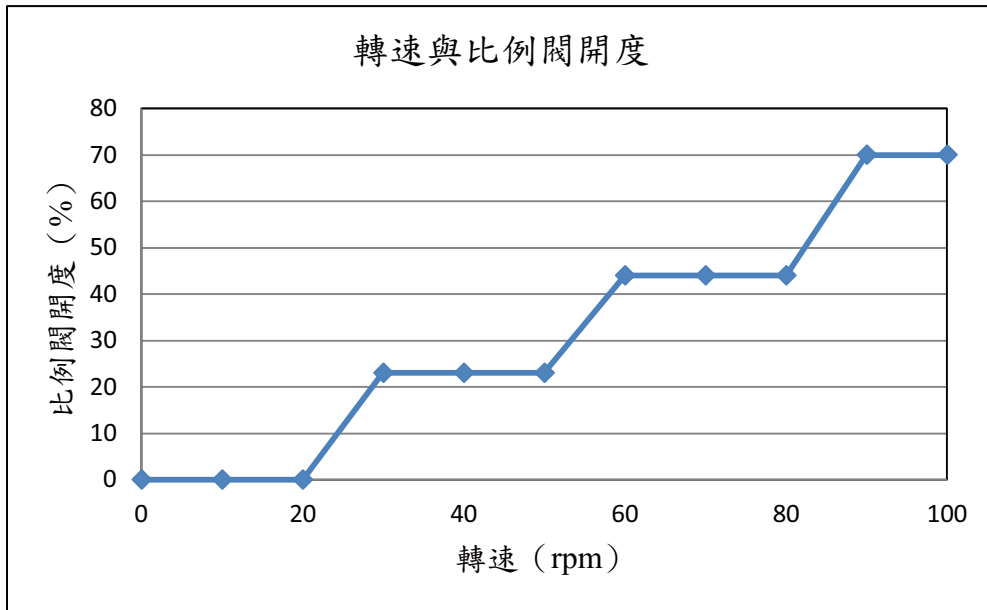


圖 3-11 轉速與比例閥開度關係

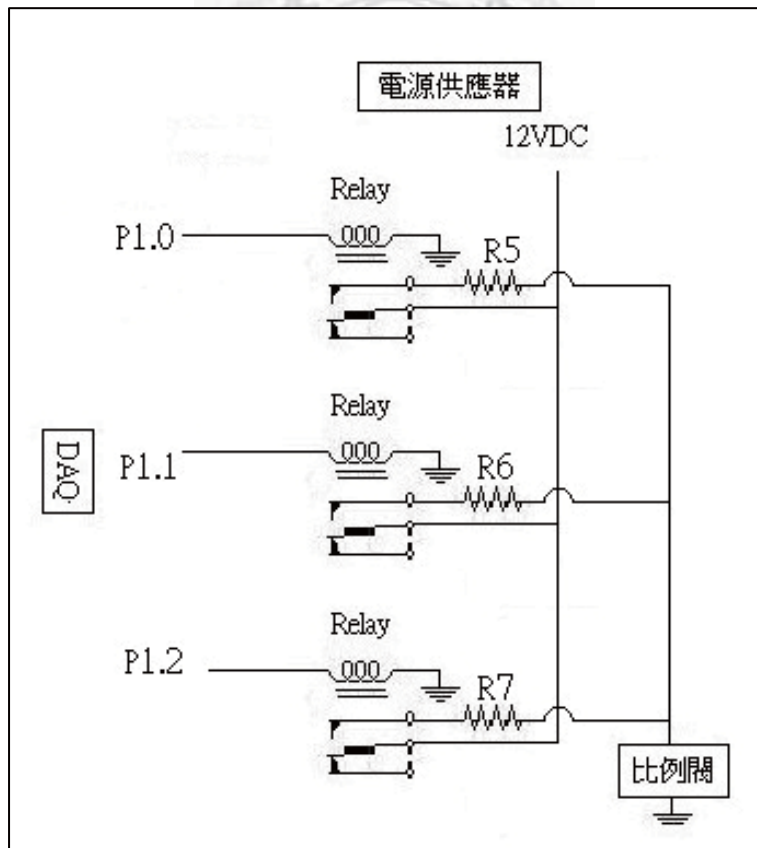


圖 3-12 修改後之電路



圖 3-13 修改後之電路與模組

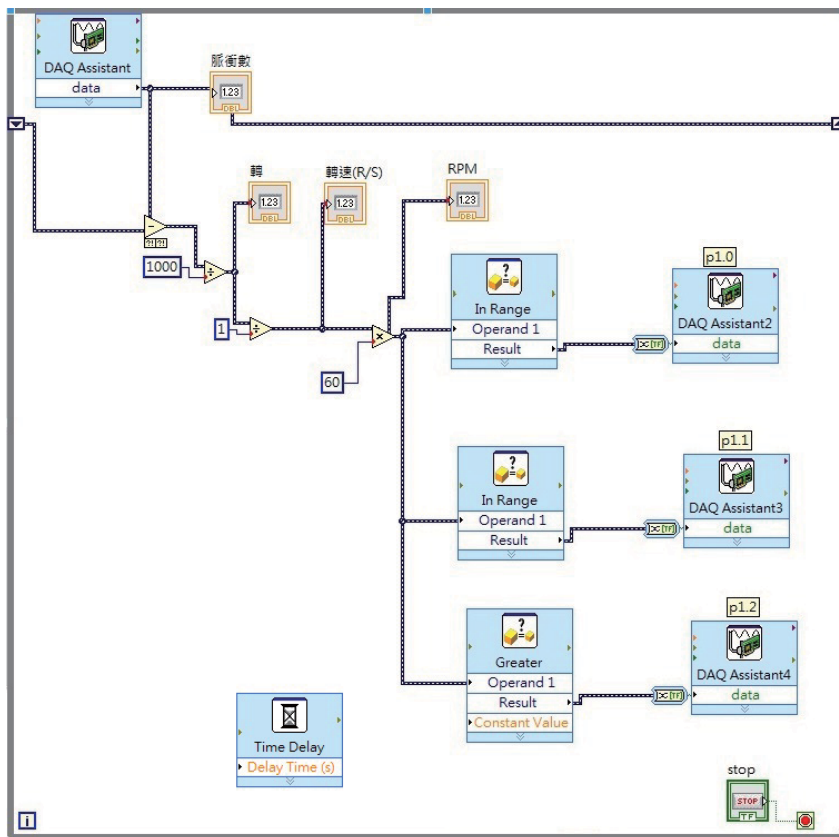


圖 3-14 修改後之 LabVIEW 程式



圖 3-15 噴霧實驗設備

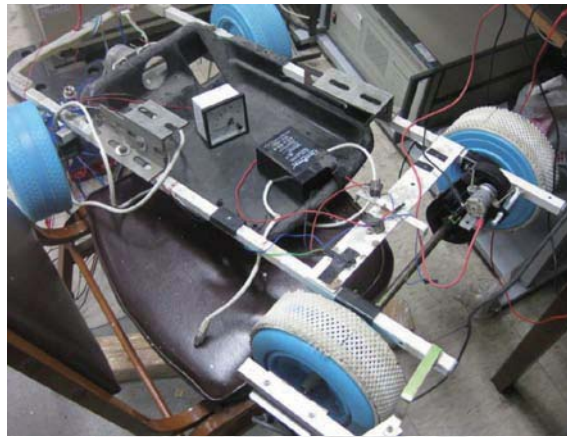


圖 3-16 實驗中的模型車



圖 3-17 旋轉編碼器與模型車輪之連接

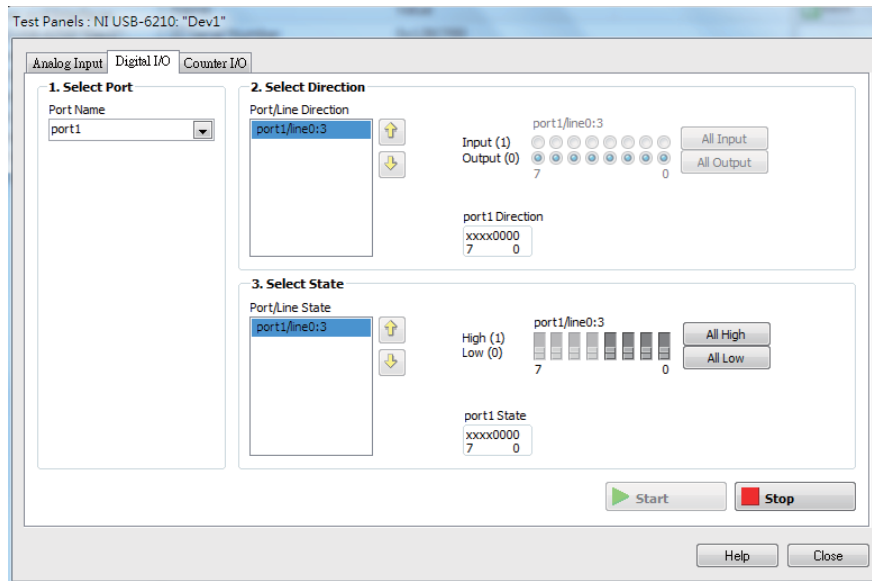


圖 3-18 軟體中的 Test Panels 介面，下方開關由右至左為 P1.0~P1.3



第四章 結果與討論

4.1 噴嘴流量實驗

先以單一噴嘴進行噴霧實驗，噴嘴流量與比例閥開度、壓力的關係如所圖 4-1 示。結果顯示噴嘴流量隨壓力增加而增加，但流量在不同的比例閥開度較沒有明顯的差別。為找出原因，在此先假設較小開度的流量過多是因為幫浦出口只與一只噴嘴相接、噴管管路也較短（1.2 公尺），所以噴霧壓力過大造成流量激增。

為證明此假設是否正確，以相同的軟管做多個噴嘴之噴霧實驗，為了有較明顯的流量差別，只做全開開度與開度 20% 的不同壓力流量實驗。一開始以多接出一個噴嘴（圖 4-2）做實驗，結果發現比例閥開度為 20% 的流量仍與開度為全開的流量相近（圖 4-3）。

由於之前廖之論文（2001）曾使用同廠牌型號之比例閥做過噴霧實驗，其流量在比例閥開度為 20% 與全開開度有極明顯的差別（全開開度流量約 3~4 倍的 20% 開度流量），且為了屏除原因出在噴嘴或噴管選用塑膠軟管等因素，使用廖（2001）當年使用過的噴桿（圖 4-4，共有三段噴桿，一段噴桿長 1.5 公尺，上有 5 個螺旋水流型噴嘴；另兩段噴桿各長 3 公尺，上各有 10 個噴嘴）重複以上實驗。實驗發現：幫浦所能提供的最高壓力隨著噴桿長/噴嘴數目遞減，甚至在 3 公尺長噴桿與幫浦出口全開的情況下，噴霧壓力在壓力計顯示幾近於零；而 1.5 公尺長的噴桿在同樣條件下，幫浦提供的最高壓力則有 20 kgf/cm^2 。故在為了證明較多的噴嘴數目能改善比例閥開度小卻流量無明顯減少的情形下，只能選擇 5 個噴嘴、1.5 公尺長的噴桿作實驗。實驗結果仍顯示出 20% 開度與全開開度的流量近乎相同（壓力 10 kgf/cm^2 時，量測一只噴嘴，全開開度流量為 1.16 L/min ，20% 開度流量為 1.02 L/min ）。

比較廖（2001）實驗設備與方法與本論文不同點且有可能影響因素如表 4-1 所示。依照實驗結果分析，造成較小開度卻有全開開度的流量的因素可能有以下幾點：

1. 噴嘴類型或有無損害：

前兩次實驗使用扇形噴嘴（圖 4-5），其噴霧效果或常用作業壓力與螺旋水流型噴嘴（圖 4-6）不同，且管路材質也不相同。後面實驗使用廖（2001）的噴桿與噴嘴，很有可能因放置年久而有所損害或堵塞。

2. 比例閥有無損害：

兩個實驗的比例閥於同年購置，很有可能因久未使用而有所問題，但以肉眼觀看比例閥的作動為正常運作。

3. 設定壓力的方式：

廖（2001）未於論文中詳述其壓力設定方式，但幫浦出水管路全開與全關約莫相差 5 kgf/cm^2 ，故廖就算是以出水管路全關來調整幫浦噴霧壓力，其造成的影響應較小。

4. 幫浦規格：

兩種幫浦在送水量相差達四倍，這可能是廖（2001）實驗用的噴桿與噴嘴數目都較長、較多，但仍能調高壓力的原因。

5. 量測流量位置：

廖（2001）量測流量位置在迴水管路上，其流量是遠大於單一噴嘴的流量（噴霧壓力 10 kgf/cm^2 時，24%開度流量為 6 L/min ），而本研究之實驗不論是單一噴嘴或是多噴嘴都是以量測一只噴嘴的流量，而一般噴嘴的標稱流量約在 $1\sim 2 \text{ L/min}$ 左右，故幫浦的送水量就遠大於噴嘴標稱流量，可能使送水量的多寡反而相較於壓力更影響噴嘴的流量。

4.2 實際車輪轉速實驗

由於 LabVIEW 程式使用時序功能偵測編碼器訊號並換算成轉速，而不同大小的間隔時間可能會造成換算出的轉速範圍不同，甚至可能會有瞬間的極值轉速，這將會使程式在判斷轉速中判斷錯誤，導致比例閥開度出現不正常的運作情況。

故之後實驗將找出適合的間隔時間大小，使程式設定的轉速範圍貼近實際轉速，並能減少極值轉速或最大偏差的情形。實驗分別以 0.05、0.1 與 0.5 秒做實驗，數據以不同電壓在任意 15 秒內的轉速值為收集目標，其結果分別如圖 4-7、圖 4-8 與圖 4-9 所示。

實驗結果發現：間隔時間越大者，程式讀取到的轉速最大偏差值越小，較不容易出現極值轉速的情形。圖 4-10 為 LabVIEW 程式中的間隔時間為 0.05 秒，馬達電壓為 5.5 V 時出現的極值轉速，圖中轉速最大值達到 130 rpm，比馬達電壓為 6 V 的平均轉速（85.8 rpm）還高，這可能會導致比例閥作動異常。例如程式的低轉速、中轉速與高轉速的下限值分別設定為 40、60 與 80 rpm，則馬達電壓為 5.5 V 且間隔時間為 0.05 秒的瞬間轉速，將會使程式誤判進入高轉速範圍，使比例閥開度達到 65% 而非實際轉速應搭配的 34%，可能會在實際噴霧中造成單位面積過量噴灑的情形。

之後使用數位式轉速計量測車輪轉速作為實際轉速值，並與程式使用三個間隔時間所讀取到的轉速作比較（圖 4-11），可發現間隔時間為 0.5 秒時，程式讀取到的轉速值與實驗轉速誤差最小。

4.3 比例閥開度實驗

比例閥正常作動時，由電壓波形圖可發現比例閥的訊號電壓穩定且上下震盪

情形不明顯。圖 4-12、圖 4-13 與圖 4-14 分別為控制開度由 0 分別上升至 20、34 與 65% 之電壓波形圖。圖 4-15、圖 4-16 與圖 4-17 則是分別使開度由 20、34 與 65% 下降至 0% 的電壓波形圖。

而比例閥不正常作動情形時，由電壓波形圖可發現電壓急遽地上下震盪，此時比例閥本身可能出現錯誤的開度變化。例如一開始開度為 65%，關閉 port2 開關使比例閥將下降至 0%，但在下降至 50% 時，再開啟 port2 開關，使比例閥理論上應再上升至 65%，但實際上比例閥會由 50 至 40% 時震盪並發出吵雜聲，約過數秒後會先繼續下降至 40% 才往上升至 65%。

圖 4-18、圖 4-19 與圖 4-20 為起始開度 20% 的不正常作動實驗，實驗時先關閉 port0 開關，並分別在不同時間內再度開啟開關。可發現短暫地開關時間在 1 秒時，震盪現象最不明顯，而 1.5 秒開關時間的震盪現象又比 3 秒的開關時間更加嚴重。

圖 4-21、圖 4-22 與圖 4-23 改為起始開度 34% 的不正常作動實驗，實驗方法同起始開度為 20%，同樣發現短暫地開關時間在 1 秒時，震盪現象最不明顯，而 2 秒開關時間的震盪現象又比 5 秒的開關時間嚴重。

圖 4-24、圖 4-25 與圖 4-26 改為起始開度 65% 的不正常作動實驗，實驗方法同上，一樣發現短暫地開關時間在 1 秒時，震盪現象最不明顯，而 2 秒開關時間的震盪現象又比 4.5 秒的開關時間來得嚴重。

由以上電壓波形圖可發現：大於 0% 的開度，在一個短暫時間內經歷一個開關循環後，比例閥訊號電壓會產生急遽地上下震盪，這可能會造成比例閥不正常的作動，造成不正確的開度變化，進而影響噴霧流量。但此短暫時間若小於 1 秒以內，則震盪現象極短，故不會影響比例閥的作動。

接著將起始開度設定為 0% 時，分別打開開關上升至 20、34 與 65%，並在一個短暫時間內再關閉開關。實驗結果分別為圖 4-27、圖 4-28、圖 4-29、圖 4-30、圖 4-31 與圖 4-32。由電壓波形圖可發現當起始開度為 0%，在一個短暫時

間內經歷一個開關循環後，其訊號電壓的震盪較小且時間範圍短，並不會讓比例閥產生不正常的作動情形。

之後則使用設計的程式與電路，調整模型車馬達的電壓，觀察不同間隔時間的比例閥作動情形。根據 Gebhardt 等人 (1974) 提到的公式，若欲在不同行走速度下仍有定量的噴霧量（噴灑量/單位面積），則噴藥機的車速與噴嘴流量（噴灑量/單位時間）成正比，其中噴藥機的車速以 Gebhardt 等人實驗的 2~4 mph（約 3.22~6.44 km/h）為欲控制行走速度的範圍。將車速換算成轉速，需要輪胎的直徑數值，實驗目的主要以高架式噴藥機為控制噴霧的目標，其輪胎高度為 1.16 公尺，故將上述車速換算成轉速約 43.1~86.2 rpm。故將程式中的三個轉速區間設為 43.8、51.1 與 65.7 rpm，並與模型車馬達電壓搭配如表 4-2 所示。

實驗時，首先將模型車馬達電壓由 0 分別上升至 3.5、4.0 與 5.0 V，記錄比例閥訊號電壓與不同間隔時間搭配的波形圖並觀察其作動情形，結果如圖 4-33 至圖 4-41 所示。可發現間隔時間越短，則訊號電壓震盪情形較明顯，但在三個間隔時間設定的程式下，馬達電壓漸增（即車速漸增，故比例閥開度漸增）時，比例閥皆為正常作動。

之後將模型車馬達電壓由 5.0 V 漸漸下降至 0 V，記錄比例閥訊號電壓與不同間隔時間搭配的波形圖並觀察其作動情形，結果如圖 4-42 至圖 4-50 所示。也可以發現間隔時間越短，則訊號電壓震盪情形較明顯，其中在間隔時間為 0.05 秒時，比例閥容易出現不正常的作動，特別是在開度由 37% 下降至 20% 時，有較長時間的震盪現象，也是在此時比例閥的作動最不正常。

由控制模型車馬達電壓並改變間隔時間之轉速實驗，可發現程式中的間隔時間之設定值對於讀取到的轉速值偏差越大，則將影響比例閥的作動，造成噴霧量的誤差。考量與實際轉速之誤差、程式的穩定性與硬體的正常運作，間隔時間為 0.5 秒為較好的設定值。

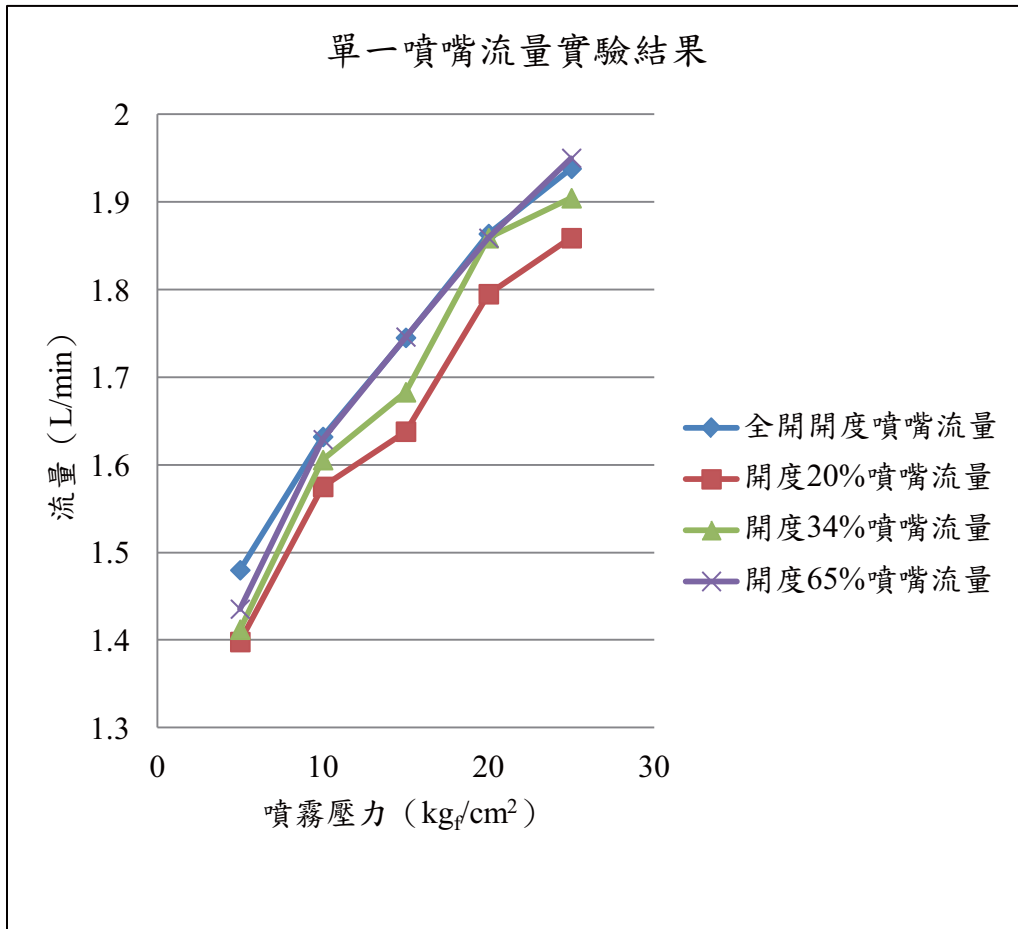


圖 4-1 單一噴嘴流量實驗結果



圖 4-2 實驗用之雙噴嘴

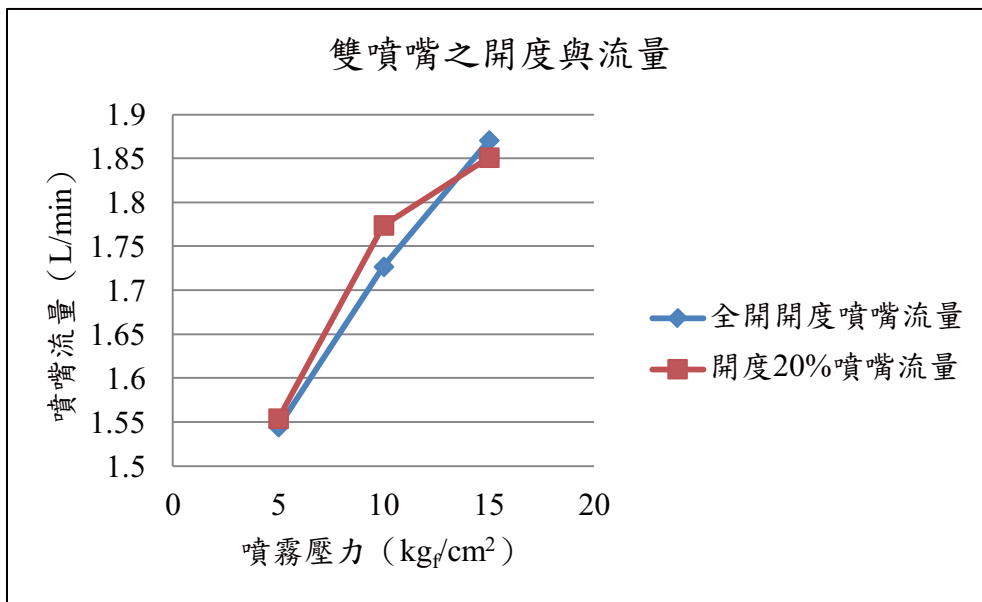


圖 4-3 雙噴嘴流量實驗結果



圖 4-4 廖 (2001) 實驗使用之噴桿



圖 4-5 實驗用扇形噴嘴



圖 4-6 廖 (2001) 實驗使用的螺旋水流型噴嘴

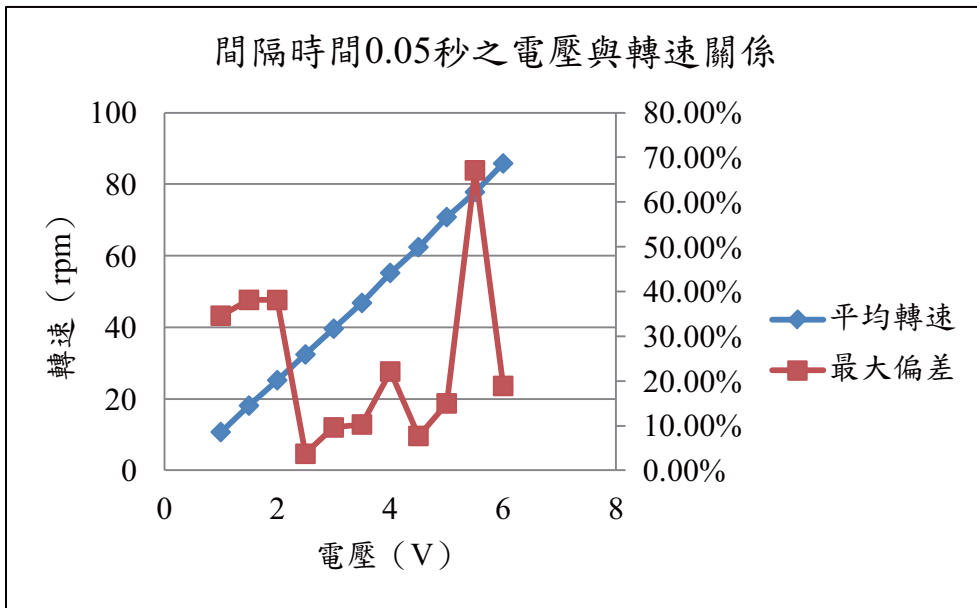


圖 4-7 間隔時間 0.05 秒之電壓與轉速關係

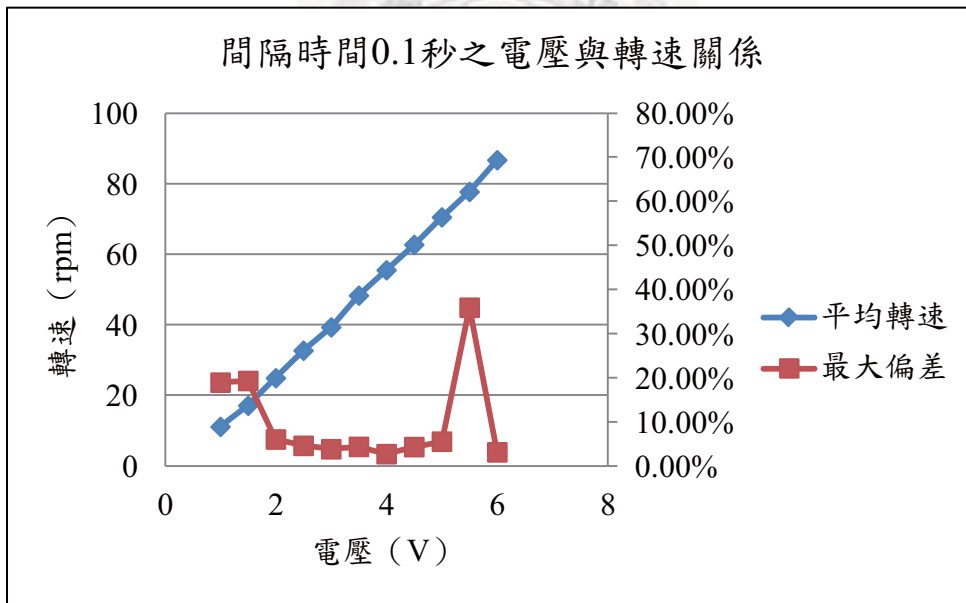


圖 4-8 間隔時間 0.1 之電壓與轉速關係

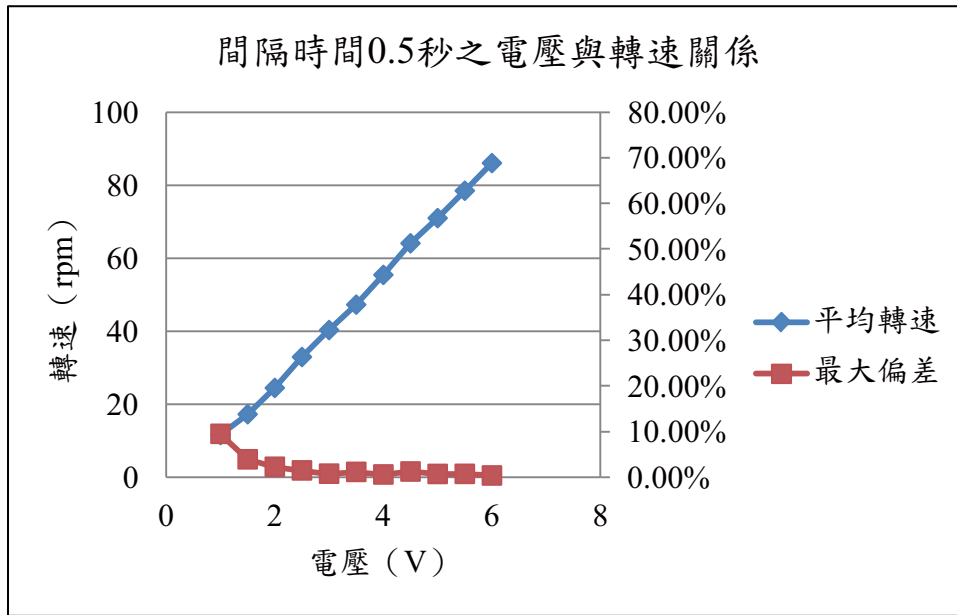


圖 4-9 間隔時間 0.5 秒之電壓與轉速關係

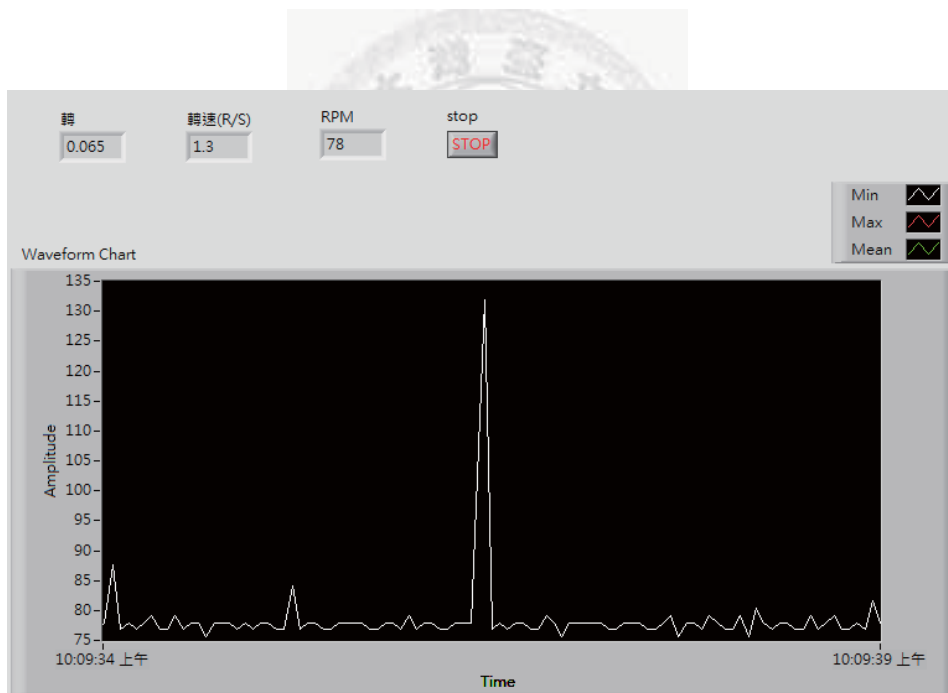


圖 4-10 間隔時間為 0.05 秒的轉速

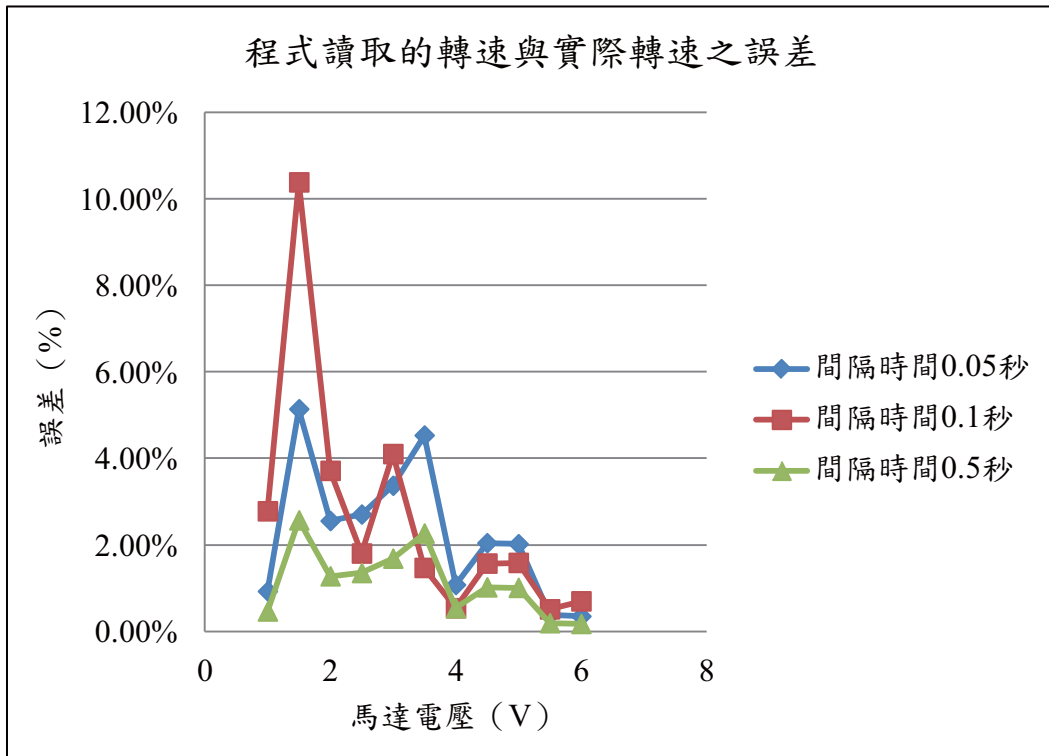


圖 4-11 程式讀取到的轉速與實際轉速之誤差值

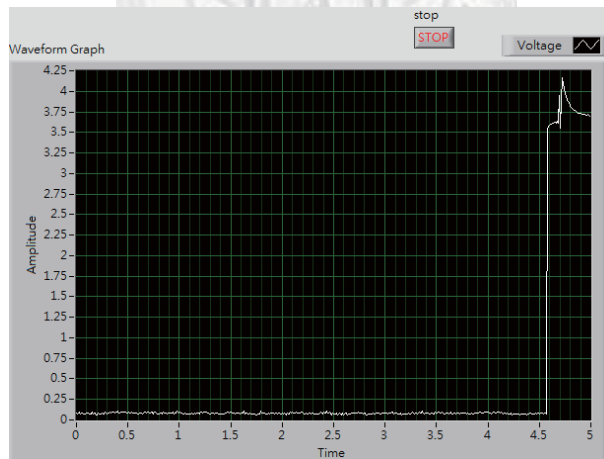


圖 4-12 比例閥正常作動，開度由 0 上升至 20%

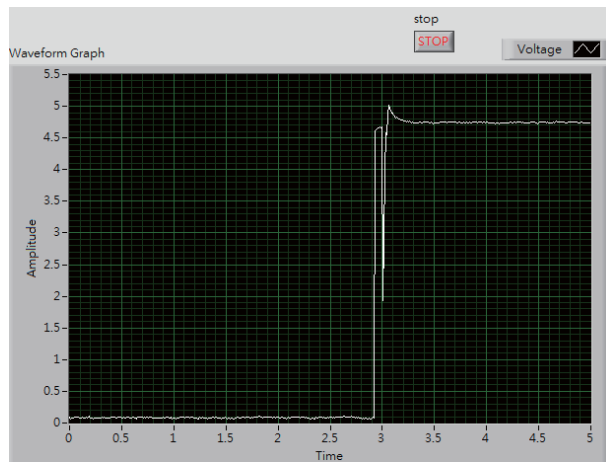


圖 4-13 比例閥正常作動，開度由 0 上升至 34%

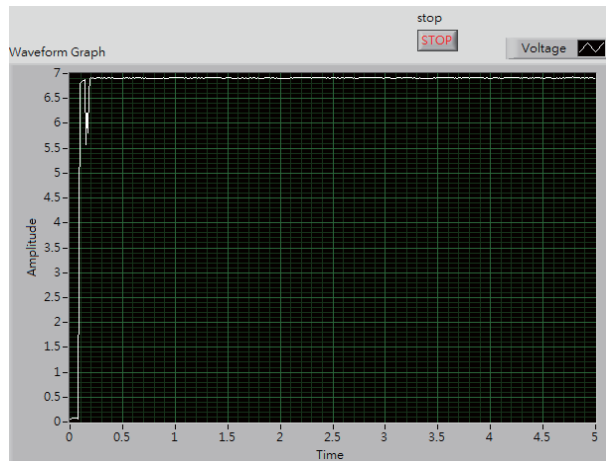


圖 4-14 比例閥正常作動，開度由 0 上升至 65%

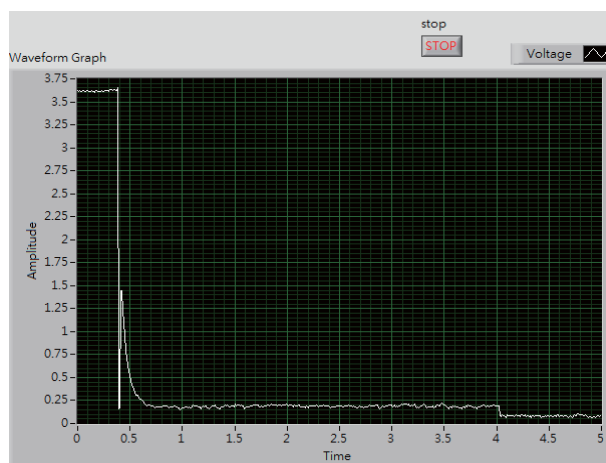


圖 4-15 比例閥正常作動，開度由 20 下降至 0%

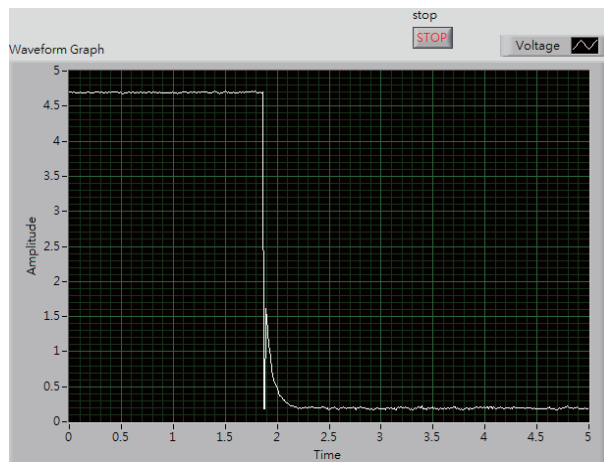


圖 4-16 比例閥正常作動，開度由 34 下降至 0%

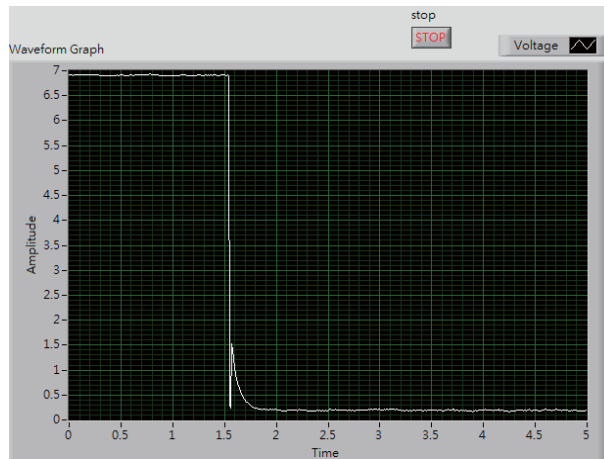


圖 4-17 比例閥正常作動，開度由 65 下降至 0%

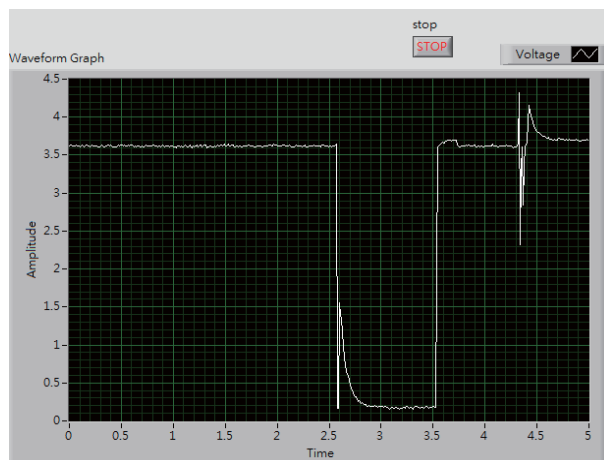


圖 4-18 開度 20%，關閉 port0 1 秒後再開啟 port0

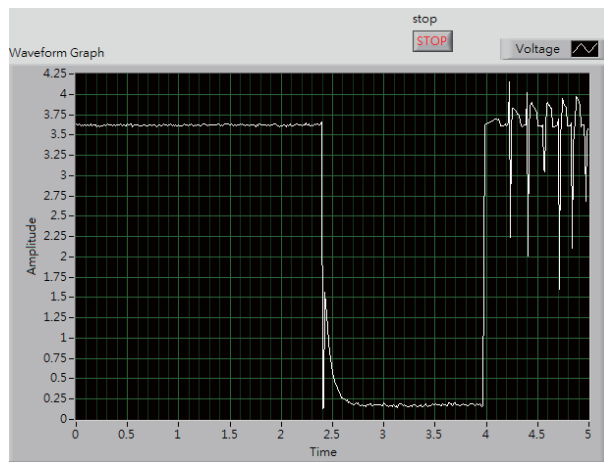


圖 4- 19 開度 20%，關閉 port0 1.5 秒後再開啟 port0

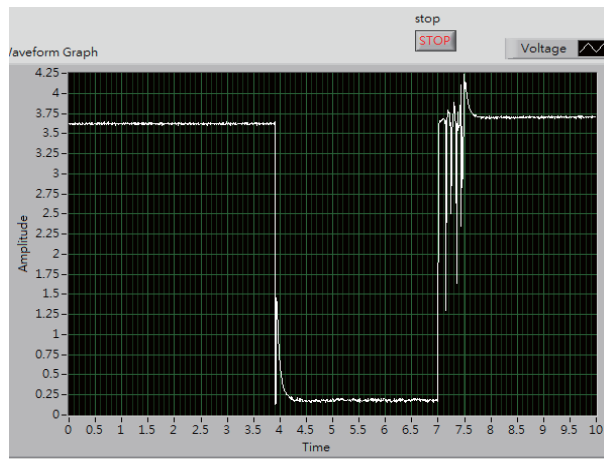


圖 4- 20 開度 20%，關閉 port0 3 秒後再開啟 port0

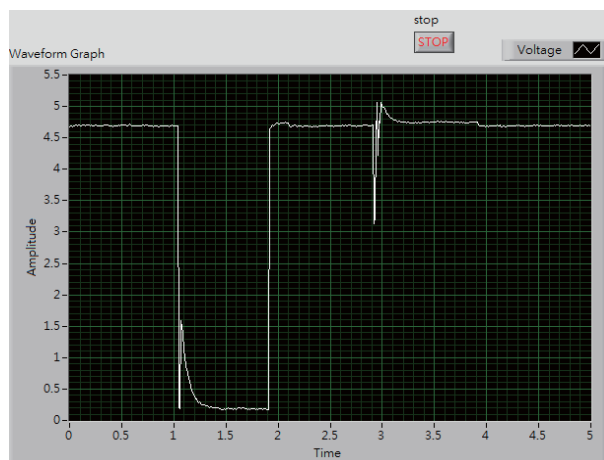


圖 4- 21 開度 34%，關閉 port1 1 秒後再開啟 port1

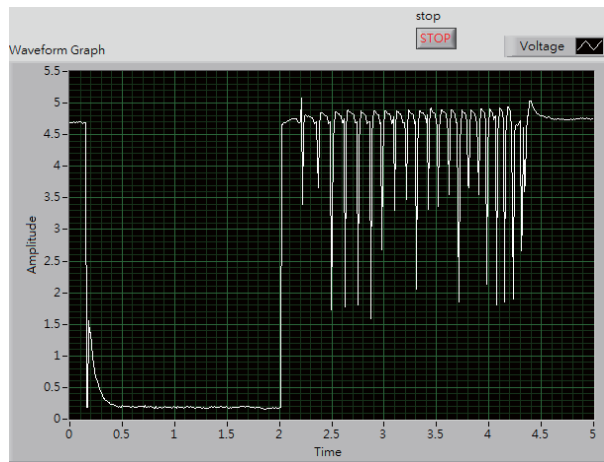


圖 4-22 開度 34%，關閉 port1 2 秒後再開啟 port1

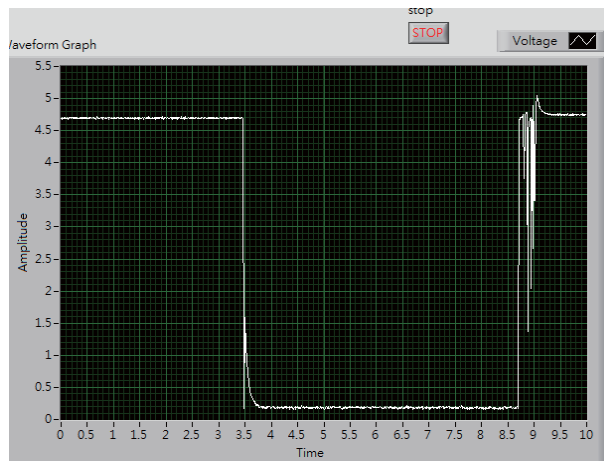


圖 4-23 開度 34%，關閉 port1 5 秒後再開啟 port1

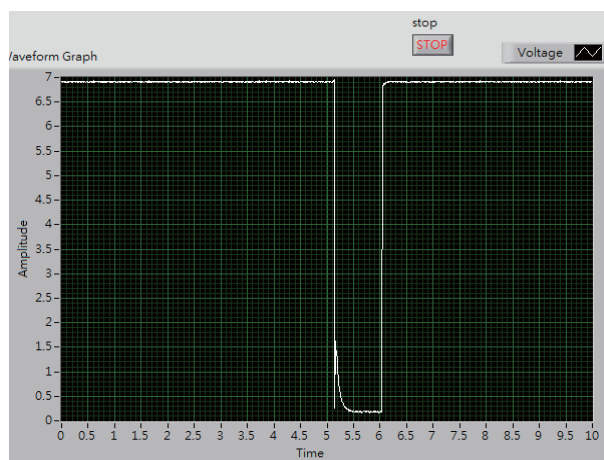


圖 4-24 開度 65%，關閉 port2 1 秒後再開啟 port2

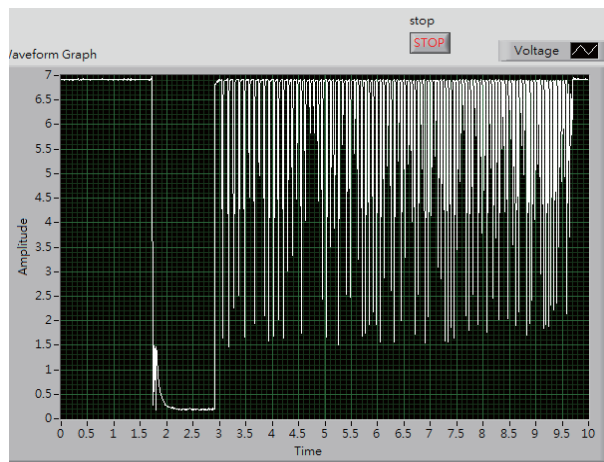


圖 4-25 開度 65%，關閉 port2 2 秒後再開啟 port2

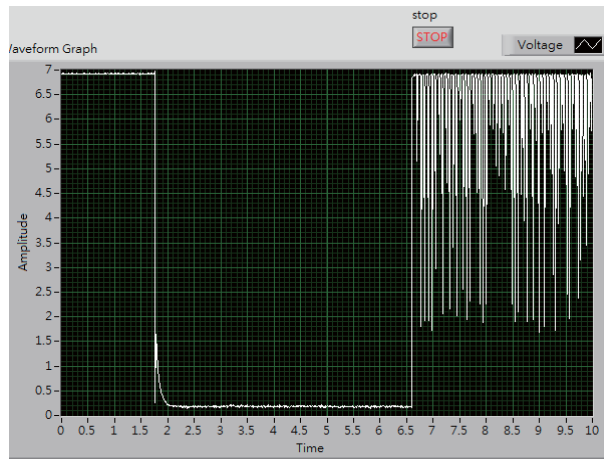


圖 4-26 開度 65%，關閉 port2 4.5 秒後再開啟 port2

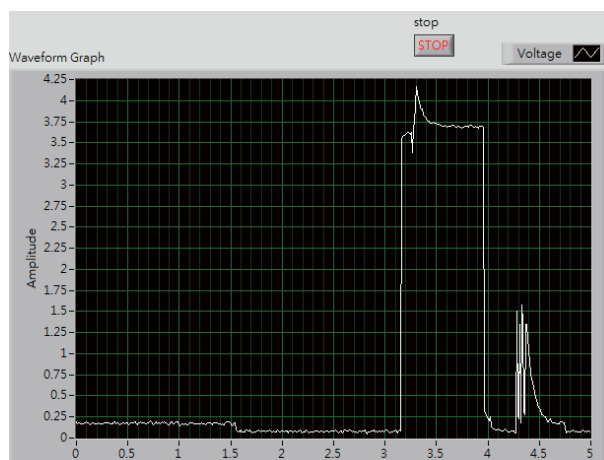


圖 4-27 開度 0%，開啟 port0 1 秒後再關閉 port0

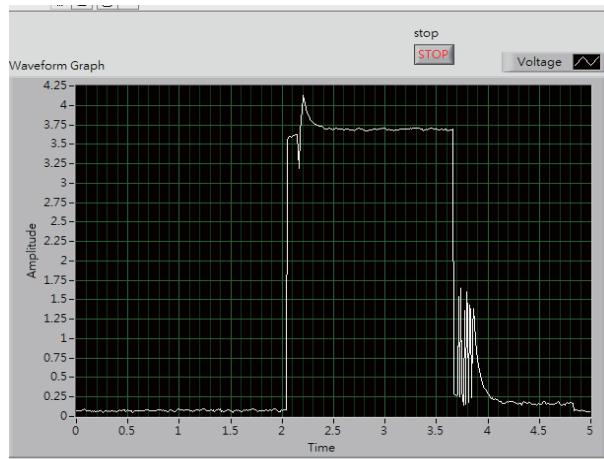


圖 4-28 開度 0%，開啟 port0 1.5 秒後再關閉 port0

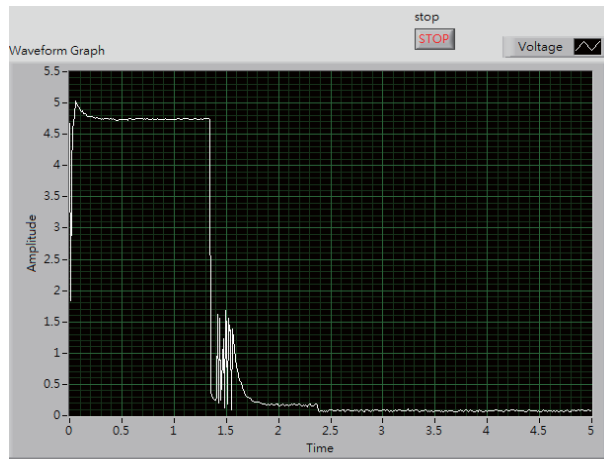


圖 4-29 開度 0%，開啟 port1 1.5 秒後再關閉 port1

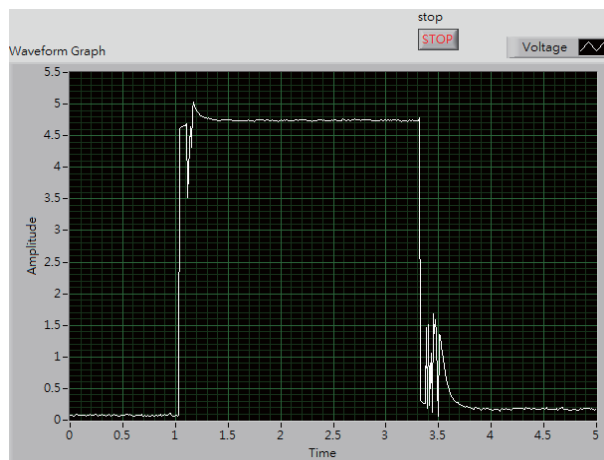


圖 4-30 開度 0%，開啟 port1 2.5 秒後再關閉 port1

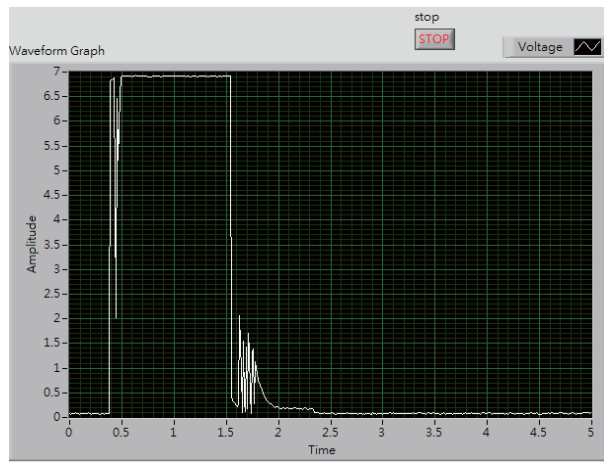


圖 4-31 開度 0%，開啟 port2 1 秒後再關閉 port2

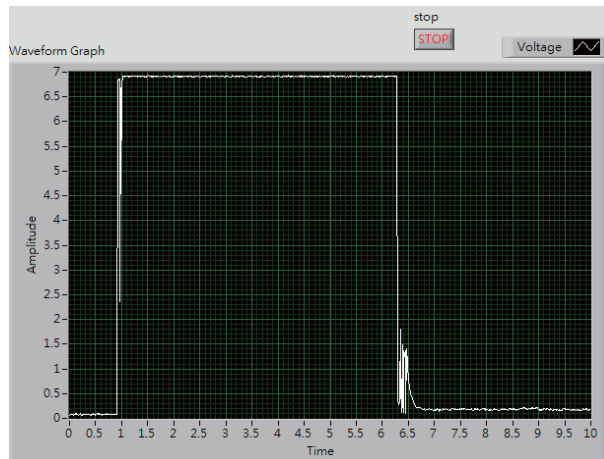


圖 4-32 開度 0%，開啟 port2 1 秒後再關閉 port2

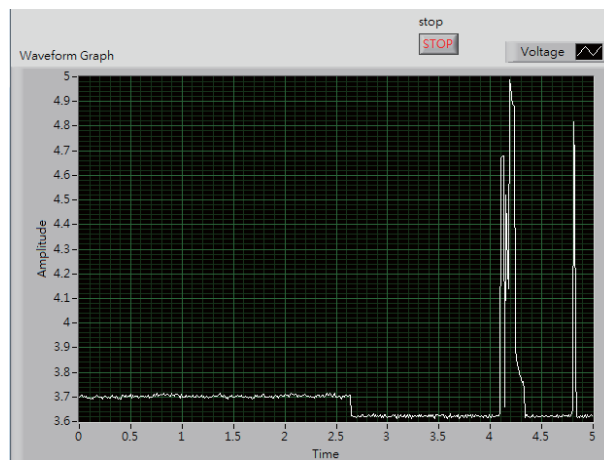


圖 4-33 間隔時間 0.05 秒，馬達電壓由 0 上升至 3.5 V

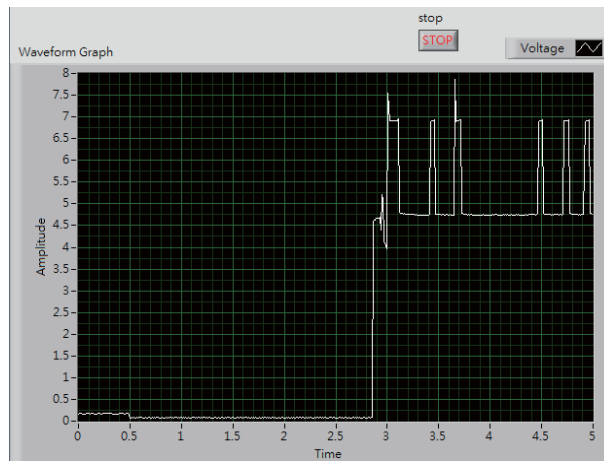


圖 4-34 間隔時間 0.05 秒，馬達電壓由 0 上升至 4.0 V

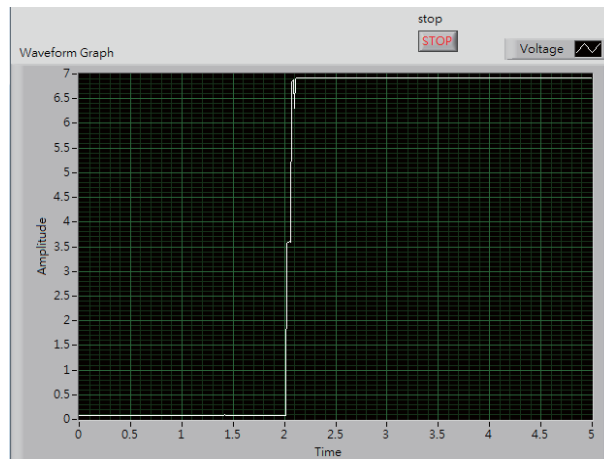


圖 4-35 間隔時間 0.05 秒，馬達電壓由 0 上升至 5.0 V

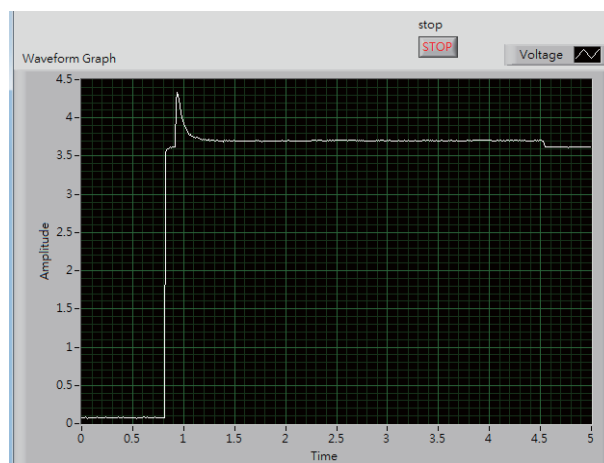


圖 4-36 間隔時間 0.1 秒，馬達電壓由 0 上升至 3.5 V

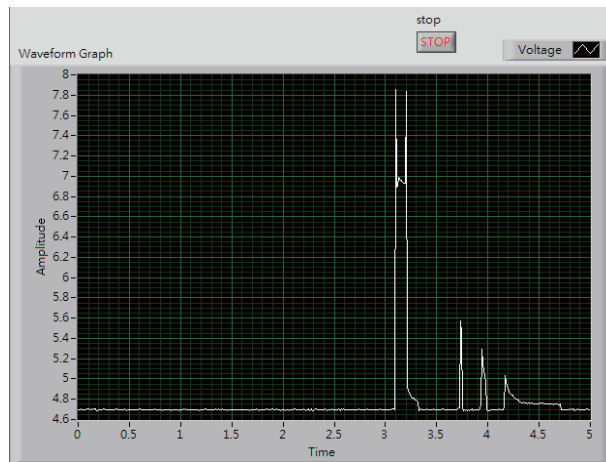


圖 4-37 間隔時間 0.1 秒，馬達電壓由 0 上升至 4.0 V

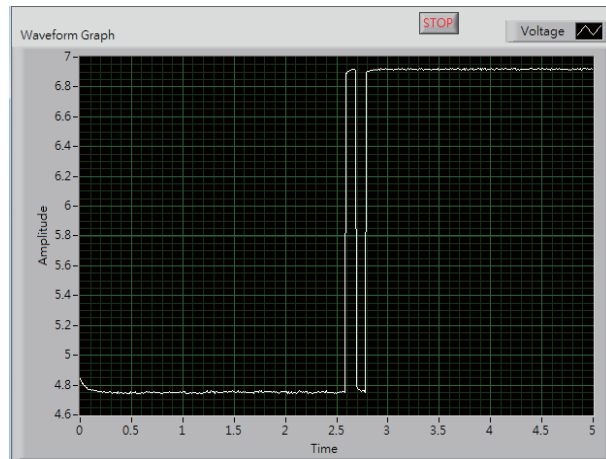


圖 4-38 間隔時間 0.1 秒，馬達電壓由 0 上升至 5.0 V

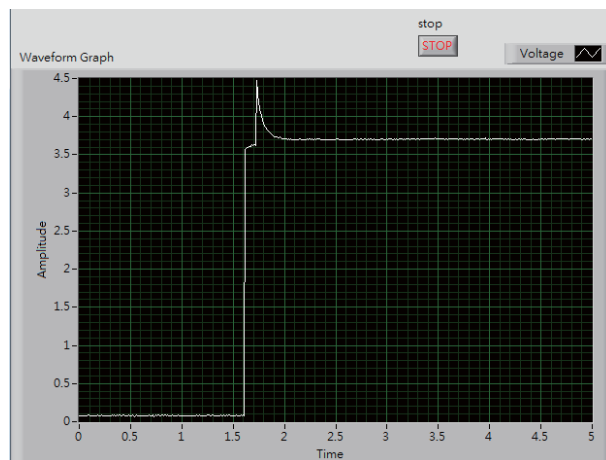


圖 4-39 間隔時間 0.5 秒，馬達電壓由 0 上升至 3.5 V

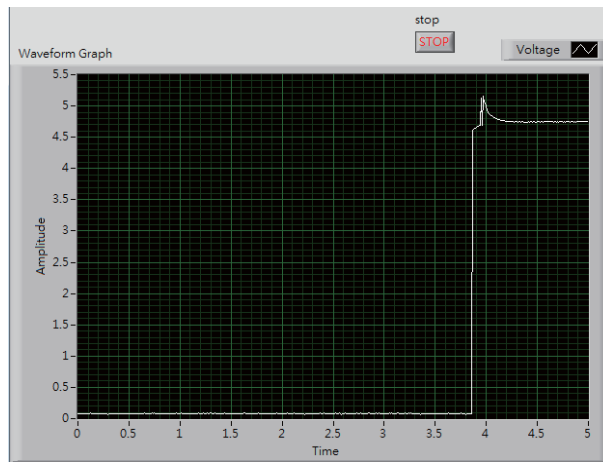


圖 4-40 間隔時間 0.5 秒，馬達電壓由 0 上升至 4.0 V

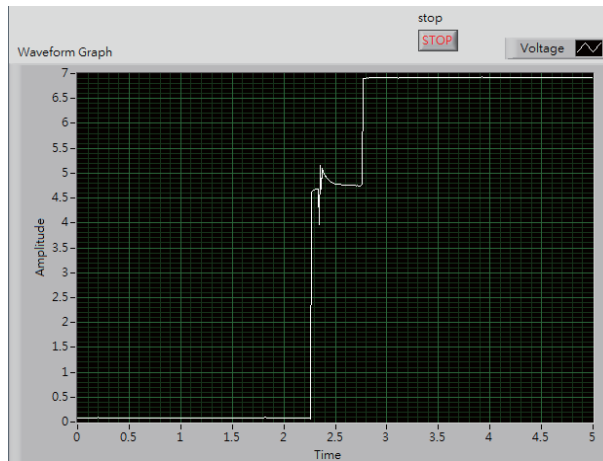


圖 4-41 間隔時間 0.5 秒，馬達電壓由 0 上升至 5.0 V



圖 4-42 間隔時間 0.05 秒，馬達電壓由 5.0 V 下降至 4.0 V

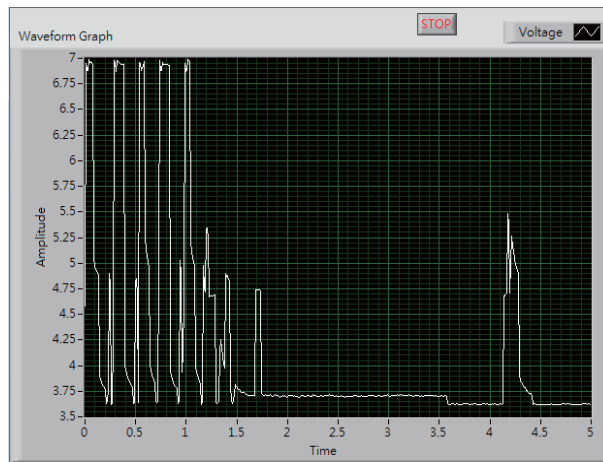


圖 4-43 間隔時間 0.05 秒，馬達電壓由 4.0 V 下降至 3.5 V

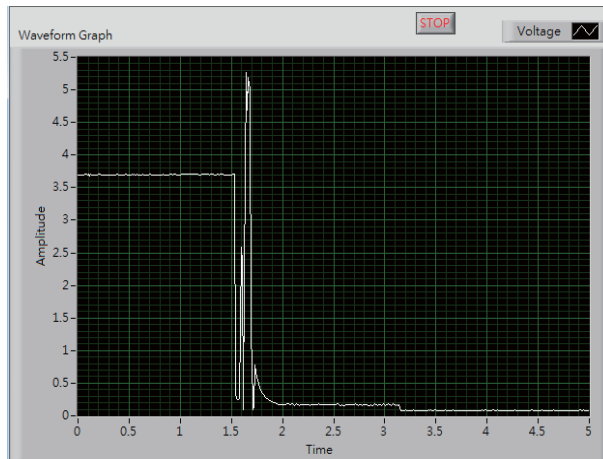


圖 4-44 間隔時間 0.05 秒，馬達電壓由 3.5 V 下降至 0 V

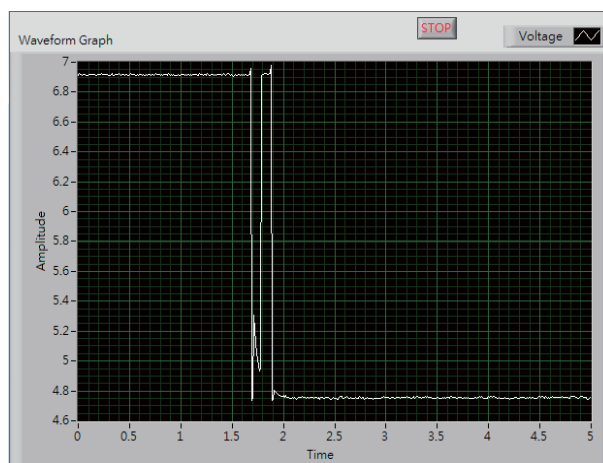


圖 4-45 間隔時間 0.1 秒，馬達電壓由 5.0 V 下降至 4.0 V

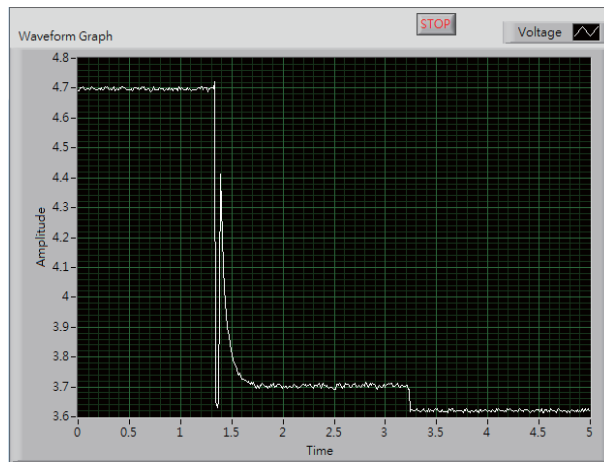


圖 4-46 間隔時間 0.1 秒，馬達電壓由 4.0 V 下降至 3.5 V

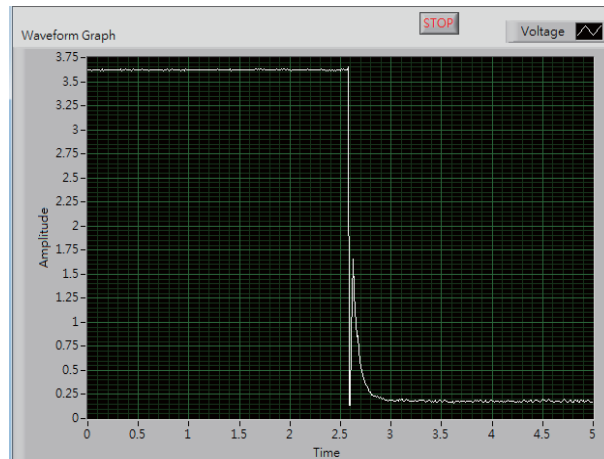


圖 4-47 間隔時間 0.1 秒，馬達電壓由 3.5 V 下降至 0 V

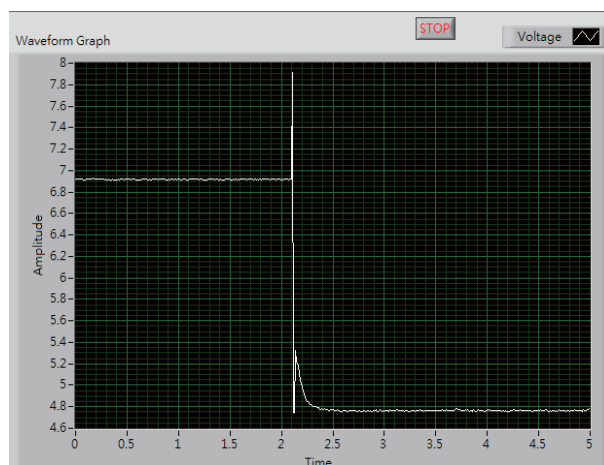


圖 4-48 間隔時間 0.5 秒，馬達電壓由 5.0 V 下降至 4.0 V

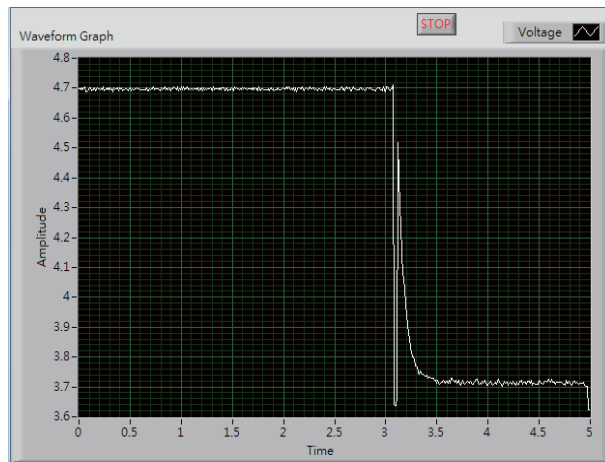


圖 4-49 間隔時間 0.5 秒，馬達電壓由 4.0 V 下降至 3.5 V

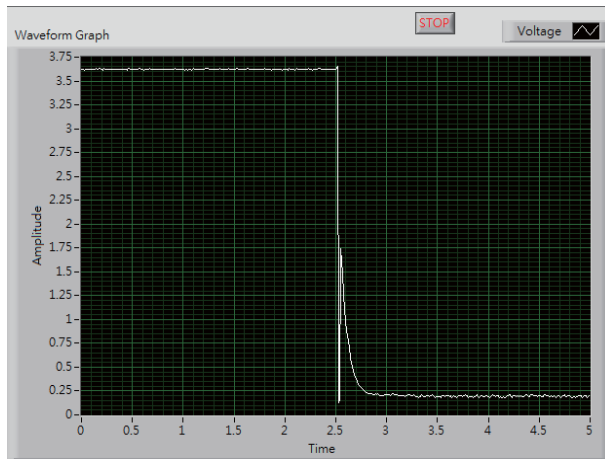


圖 4-50 間隔時間 0.5 秒，馬達電壓由 3.5 V 下降至 0 V

表 4-1 實驗設備與方法比較

	廖 (2001)	自身
幫浦型號	TS-80 大農鑽石牌	物理牌 W-25A
幫浦吸水量 (噴霧)	54 L/min	7~10.5 L/min
幫浦吸水量 (送水)	75 L/min	10.5~14 L/min
幫浦壓力 (噴霧)	21~35 kg _f /cm ²	21~35 kg _f /cm ²
幫浦壓力 (送水)	10 kg _f /cm ²	10 kg _f /cm ²
噴桿	左右段 3 公尺，中段 1.5 公尺	單一噴嘴：1.2 公尺 雙噴嘴：1.8 公尺
噴嘴	螺旋水流型 1.2 mm，間距 30 cm，共 25 噴嘴	扇形，間距 0.6 公尺
流量量測位置	迴水管路，比例閥之前	噴嘴出口
設定壓力方式	未詳細說明	出口迴路全開下調整

表 4-2 轉速與比例閥開度關係

轉速 (rpm)	DAQ 輸出通道	比例閥 (%)	模型車馬達電壓 (V)
<43.8		0	0
43.8~51.1	Port0 輸出電壓	20	3.5
51.1~65.7	Port1 輸出電壓	34	4.0
>65.7	Port2 輸出電壓	65	5.0

第五章 結論與建議

5.1 結論

本研究所設計的電路與程式系統，改良林（1995）在車速為零時仍有噴霧現象之情形，並依循廖（2001）與洪（2003）兩人之建議與其設計，將比例閥四種開度 0、20%、37%與 65%分別適用於噴藥機械靜止、低轉速、中轉速與高轉速四種情形，其結果相當穩定。

由軟體 LabVIEW 撰寫的程式中設定時序做為程式中每一個迴圈的間隔時間，藉此將讀取的脈衝訊號數換算成平均轉速。理論上隨著間隔時間越小，所得到的平均轉速應越接近實際的瞬間轉速，但實驗結果發現間隔時間小於一定值，則平均轉速與實際轉速的誤差將會增加，並且 LabVIEW 所讀取到的轉速偏差值將變大，進而影響比例閥的作動情形，造成不正確的噴霧量。實驗中選擇間隔時間分別為 0.05、0.1 與 0.5 秒做此部分測試，發現間隔時間為 0.05 秒所量測到的平均轉速其誤差與偏差皆大於 0.1 與 0.5 秒，並且比例閥訊號電壓也是有最大的震盪情形發生，尤其是在中轉速下降至低轉速時，比例閥出現不正常的作動，其開度將在 20%與 37%間擺動，這可能會造成實際噴霧量達不到控制的效果。故在考量訊號的穩定性和與實際轉速的誤差值之下，選擇間隔時間為 0.5 秒做轉速實驗。

影響噴嘴噴霧量的因子有噴霧壓力、噴嘴類型與噴嘴尺寸等因素，但本篇研究發現幫浦的送水量大小、比例閥與量測噴霧量的位置、噴桿長度與噴嘴數目都有可能影響噴霧量，但要確定是何因素影響最大，未來仍需做更多的實驗以驗證。此外在調整噴霧壓力時，幫浦的出口管路全開或全閉會影響流量計顯示的壓力值。

5.2 建議

研究中使用編碼器其訊號輸出電壓較小且不穩定，無法直接由 DAQ 偵測訊號，故未來實驗可以選擇訊號輸出電壓較大、可直接由 DAQ 偵測的旋轉編碼器，以避免計數器可能產生時間延遲的問題。

研究使用的幫浦送水量偏小，可能導致無法準確量測流量的問題，未來宜選用送水量較大的幫浦再次以本套程式與電路系統進行實驗，以找出造成不符理想流量的實際原因是噴藥機的問題，抑或是量測位置的問題。

現行在控制噴藥機噴霧量的論文中，多使用模擬轉速進行控制噴霧量實驗，尚無使用編碼器等感測器直接偵測車輪於行走時的轉速，並加以控制噴霧量。模擬轉速中的轉速多為定值輸出，與實際噴藥機行走速度有所落差，故建議未來可進行實體噴藥機行走速度與噴灑量之實驗，並與理論控制噴霧量結果進行比較。

參考文獻

1. 林愷聲。1995。微處理機控制系統應用於動力噴霧機噴霧量控制之研究。碩士論文。台北：國立台灣大學農業機械工程學研究所。
2. 洪景祥。2003。速度控制器與變量比例閥應用於變率施噴系統之基礎研究。碩士論文。台北：國立台灣大學生物產業機電工程研究所。
3. 陳令錫。1996。單一懸吊唇槽鋼軌道自走式噴霧裝置開發。臺中區農業改良場研究彙報 53：25-34。
4. 楊純明、林純義。2003。水稻農業精準體系之研究。農政與農情 92：42。
5. 廖盈達。2001。GPS/GIS 應用於桿式噴藥車變率施噴系統之基礎研究。碩士論文。台北：國立台灣大學生物產業機電工程研究所。
6. 劉天成。2000。我國精準農業的發展方向與策略。農政與農情 91：33。
7. 賴吉雄、楊清祥、陳邦華、陳志昇、劉嘉仁、吳惠卿、吳錫家、陳列夫。2003。精準農業之原則與實務管理——以農業試驗所水稻農場為例。水稻精準農業體系：239-250。
8. 行政院農業委員會。2010。99 年農業統計年報。台北：農業委員會。網址：<http://www.tactri.gov.tw>。上網日期：2010-10-05。
9. 行政院農業委員會。2001。電子圖書：農藥與生活。台北：農業委員會。網址：<http://www.tactri.gov.tw>。上網日期：2010-09-20。
10. 系統噴霧有限公司。噴霧基本形狀。網址：<http://www.spraytwn.com.tw/html/proindc.htm>。上網日期：2012-07-05。
11. Beasley, E. O., R. P. Rohrbach, C. M. Mainland, and J. R. Meyer. 1983. Saturation Spraying of Blueberries with Partial Spray Recovery. Transactions of the ASAE

26(3): 732-736.

12. Gebhardt, M. R., C. L. Day, C. E. Goering, and L. E. Bode. 1974. Automatic Sprayer Control System. Transactions of the ASAE 17(6) : 1043-1047.
13. Gebhardt, M. R., C. E. Goering, J. T. Holstun, Jr., and A. R. Klethermes. 1982. A High Wide Tractor for Controlled Traffic Research. Transactions of the ASAE 25(1) : 77-80.
14. Halder, M. R., S.K. Dash, and S. K. Som. 2002. Initiation of Air Core in a Simplex Nozzle and the Effects of Operating and Geometrical Parameters on its Shape and Size. Experimental Thermal and Fluid Science 26: 871-878.
15. Herbst, A., and P. Wolf. 2001. Spray Deposit Distribution from Agricultural Boom Sprayers in Dynamic Conditions. ASAE Paper No. 01-1054. Sacramento, California: ASAE.
16. Hideo, W., T. Matsuyama, and H. Yamamoto. 2003. Experimental Study on Electrostatic Atomization of Highly Viscous Liquids. Journal of Electrostatics 57: 183-197.
17. Hood, C.E., Y. Alper, and R. E. Williamson. 1990. Multi-Purpose, Vegetable Production Machine Investigation. Transactions of the ASAE 6(6): 691-696.
18. Jan, A., J. Audenaert, and H. Ramon. 2005. Design Optimisation for the Vertical

- Suspension of a Crop Sprayer Boom. *Biosystems Engineering* 90(2): 153-160.
19. Jan, A., J. De Baerdemaeker, and H. Ramon. 2006. Application Technique for Crop Protection. In 'GIGR Handbook of Agricultural Engineering Volume VI information Technology', ed. Axel Munack, 289-294. St. Joseph: CICR Co.
 20. Laguë, C., P.-M. Roy, and P. Savard. 1997. Wide-Span Implement Carrier (WSIC) for Cranberry Production. *Transactions of the ASAE* 13(3): 309-317.
 21. Lefebvre, A. H., 1989. *Atomization and Sprays*. Hemisphere Publishing Corporation.
 22. Mao, Ch-P, C, and Roy E. Pack, Jr., 1992. Aspiration Simplex Spray Nozzle. U. S. Patent No. 5152463.
 23. Miller, P. C. H., and Ellis. M. C. Butler. 2000. Effect of Formulation on Spray Nozzle Performance for Applications from Ground-based Boom Sprayers. *Crop Protection* 19: 609-615.
 24. Nasr, G. G., A. J. Yule, and L. Bendig. 2002. *Industrial Sprays and Atomization*. London. Springer-Verlag.
 25. Ozkan, H. E., 1987. *Sprayer Performance Evaluation with Microcomputers*. *Transactions of the ASAE* 3(1): 36-41.
 26. Vanella, G., M. Salyani, and P. Balsari. 2011. Effect of the Nozzle Adaptor of

Sprayer Calibrator on Flow Rate Measurements. Crop Protection 30: 1043-1047.

27. Nozzle Network Co., Ltd. The World of Nozzles: Practical Edition: Six Required

Specifications. Available at: <http://www.nozzle-network.com/index.html>. Accessed

5 July 2012.



附錄

一、幫浦規格

尺寸	長×寬×高 (mm)	370×265×290			
	重量 (kg)	12			
噴霧部分	所需馬力 (HP)	馬達 1/2~1		引擎 3~5	
	使用壓力 (kg/cm ²)	噴霧	21~35	灌 水	10
	迴轉數 (rpm)		400~600		600~800
	出水量 (L/min)		7~10.5		10.5~14



二、比例控制器暨電動馬達控制器規格

廠牌型式	OM-1 山野電機 (SUN YEH)
重量	2 kg
電源	12 VDC
功率	10 W
轉矩	350 kg _r -cm
輸入信號 (使用 PIN SWITCH 切換)	2~10 VDC
	1~5 VDC
	4~20 mA
比例閥口尺寸	3/8 inch
全開-全閉 (90°) 總時間	12 s
工作溫度	-10~60°C

三、旋轉編碼器規格

電源電壓	5~24 VDC
消耗電流	70 mA 以下
輸出型式	集極開路式輸出 (NPN 輸出)
輸出相	A、B、Z 相
解析度(脈衝/迴轉)	1,000
輸出容量	導入電壓：30 VDC 以下
	吸收電流：35 mA 以下
	殘流電壓：0.4 V 以下 (吸收電流為 35 mA 時)
最高應答頻率	100 kHz
輸出相位角	A 相、B 相之相位差 $90^{\circ} \pm 45^{\circ}$
輸出上升/下降時間	1 μ s 以下
啟動扭力	10 mN · m 以下
慣性動作	1×10^{-6} kg · m ² 以下
軸容許力 (徑向)	50 N
軸容許力 (推力)	30 N
容許最高迴轉數	6,000 rpm
保護回路	負載短路保護、電源反向連接保護
環境溫度範圍	動作時：-10~70°C
	保存時：-25~85°C (不可結冰)
環境濕度範圍	動作時、保存時：各為 35~85%RH (不可結露)

絕緣阻抗	20 MΩ 以上
耐電壓	AC 500 V、50/60 Hz，1 min
振動（耐久性）	10~500 Hz 複振幅 2 mm
衝擊（耐久性）	1,000 m/s ² X、Y、Z 各方向 3 次
保護構造	IEC 規格
連接方式	纜線引出型



四、軟體輔助之硬體 DAQ 規格

一般問題	
產品類型	多功能 DAQ
外觀尺寸	USB
產品序號	779675-01
作業系統	Linux、Mac OS、Windows
DAQ 系列產品	M 系列
量測類型	伏特
符合 ROHS 規範	是
數位 I/O	
雙向通道	0
僅輸入用通道	4
僅輸出用通道	4
通道數量	4, 0
時脈	軟體
邏輯準位	TTL
輸入電流	汲極
輸出電流	源極
可程式化輸入濾波器	否
支援可程式化的起動狀態?	是
單通道電流驅動	16 mA
全通道電流驅動	50 mA
監視計時器	否
支援訊號交換 I/O?	否

支援圖形 I/O ?	否
最大輸入範圍	0 V , 5.25 V
最大輸出範圍	0 V , 3.8 V
計數器/計時器	
計數器/計時器數量	2
緩衝作業	是
彈跳/突波移除	是
GPS 同步化	否
最大範圍	0~5.25 V
最大源極頻率	80 MHz
脈衝產生	是
解析度	32 bits
時基穩定度	50 ppm
邏輯準位	TTL
類比輸入	
通道數	16 , 8
單端點通道	16
差動通道	8
解析度	16 bits
取樣速率	250 kS/s
最大類比輸入電壓	10 V
最大電壓範圍	-10 V , 10 V
最大電壓範圍的精確度	2.69 mV
最大電壓範圍的敏感度	91.6 μ V

最小電壓範圍	-200 mV , 200 mV
最小電壓範圍的精確度	0.088 mV
最小電壓範圍的敏感度	4.8 μ V
輸入範圍數量	4
同步取樣	否
內建記憶體	4,095 樣本
實際規格	
長度	16.9 cm
寬度	9.4 cm
高度	3.1 cm
I/O 接頭	螺絲固定端點
時序/觸發/同步化	
觸發	數位

五、單一噴嘴流量試驗

1. 比例閥開度全開，壓力由 5~25 kg/cm²，每 20 秒量測噴嘴出口流量（單位：L），共量測十次。

壓力 (kg/cm ²)	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
5	0.481	0.48	0.481	0.5	0.5	0.5	0.497	0.5	0.497	0.497
10	0.54	0.54	0.542	0.54	0.55	0.557	0.543	0.542	0.542	0.544
15	0.577	0.58	0.58	0.58	0.582	0.581	0.58	0.58	0.597	0.58
20	0.62	0.62	0.62	0.622	0.62	0.62	0.62	0.62	0.63	0.62
25	0.64	0.663	0.62	0.66	0.64	0.64	0.66	0.64	0.64	0.657

2. 利用電路控制比例閥開度，固定噴霧壓力為 5 kg/cm²，每 20 秒量測噴嘴出口流量（單位：L），共量測十次。

開度	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
65%	0.47	0.479	0.48	0.477	0.479	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
34%	0.47	0.477	0.47	0.47	0.46	0.48	0.47	0.47	0.47	0.47
20%	0.47	0.46	0.47	0.46	0.46	0.47	0.47	0.46	0.47	0.47

3. 利用電路控制比例閥開度，固定噴霧壓力為 10 kg/cm²，每 20 秒量測噴嘴出口流量（單位：L），共量測十次。

開度	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
65%	0.55	0.55	0.55	0.54	0.55	0.5	0.55	0.55	0.55	0.54
34%	0.54	0.53	0.53	0.525	0.537	0.53	0.54	0.54	0.54	0.54

20%	0.53	0.53	0.52	0.52	0.53	0.52	0.52	0.52	0.53	0.53
-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

4. 利用電路控制比例閥開度，固定噴霧壓力為 15 kg/cm^2 ，每 20 秒量測噴嘴出口流量（單位：L），共量測十次。

開度	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
65%	0.59	0.57	0.58	0.58	0.58	0.58	0.59	0.58	0.58	0.59
34%	0.57	0.56	0.56	0.55	0.56	0.57	0.56	0.56	0.56	0.56
20%	0.54	0.56	0.55	0.55	0.54	0.54	0.55	0.55	0.54	0.54

5. 利用電路控制比例閥開度，固定噴霧壓力為 20 kg/cm^2 ，每 20 秒量測噴嘴出口流量（單位：L），共量測十次。

開度	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
65%	0.62	0.62	0.61	0.62	0.61	0.63	0.62	0.616	0.63	0.62
34%	0.61	0.62	0.62	0.618	0.61	0.62	0.62	0.618	0.63	0.63
20%	0.6	0.6	0.6	0.61	0.6	0.595	0.59	0.598	0.59	0.6

6. 利用電路控制比例閥開度，固定噴霧壓力為 25 kg/cm^2 ，每 20 秒量測噴嘴出口流量（單位：L），共量測十次。

開度	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
65%	0.65	0.66	0.65	0.64	0.65	0.65	0.66	0.65	0.65	0.64
34%	0.638	0.63	0.64	0.64	0.63	0.63	0.64	0.64	0.64	0.62
20%	0.618	0.63	0.618	0.61	0.62	0.62	0.62	0.63	0.62	0.61

六、多個噴嘴實驗：以相同軟管連接出第二個噴嘴進行噴霧實驗。

1. 噴霧壓力為 5 kgf/cm^2 ，每 20 秒量測其中一只噴嘴流量（單位：L），共量測十次。

開度	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
全開	0.54	0.54	0.52	0.5	0.5	0.5	0.5	0.54	0.54	0.5
20%	0.52	0.53	0.53	0.51	0.51	0.52	0.5	0.54	0.52	0.5

2. 噴霧壓力為 10 kgf/cm^2 ，每 20 秒量測其中一只噴嘴流量（單位：L），共量測十次。

開度	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
全開	0.57	0.58	0.56	0.57	0.568	0.58	0.58	0.583	0.577	0.588
20%	0.57	0.56	0.58	0.56	0.563	0.55	0.58	0.57	0.58	0.8

3. 噴霧壓力為 15 kgf/cm^2 ，每 20 秒量測其中一只噴嘴流量（單位：L），共量測十次。

開度	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
全開	0.6	0.63	0.63	0.64	0.62	0.64	0.6	0.62	0.625	0.63
20%	0.62	0.6	0.61	0.65	0.6	0.63	0.62	0.62	0.62	0.6

七、廖 (2001) 流量測試數據 (單位: L/min)

開度 (%) \ 壓力	8 kgf/cm ²	10 kgf/cm ²	13 kgf/cm ²	15 kgf/cm ²	18 kgf/cm ²	20 kgf/cm ²
11	0	0	0	0	0	0
17	1.3	2.1	2.9	1.9	1.3	1.7
24	6.7	6.0	7.7	8.4	9.7	8.0
31	10.5	11.2	12.9	13.4	15.3	13.5
37	12.3	14.2	16.7	16.8	17.9	16.8
44	14.1	16.7	18.7	20.3	19.8	19.0
51	15.2	18.4	19.6	23.6	20.4	20.7
57	16.0	19.0	20.9	24.3	20.5	20.7
64	16.7	19.7	20.9	25.4	22.1	21.3
71	16.9	20.7	21.0	23.3	23.0	22.0
77	17.5	20.8	20.3	23.4	25.1	21.5
84	17.1	21.5	21.9	23.5	21.9	21.4

八、LabVIEW 間隔時間與偵測轉速實驗

間隔時間為 0.05 秒，不同電壓下所偵測到的轉速值（單位：rpm）：

電壓 (V)	最高轉速	最低轉速	轉速常見 範圍	中位數 值	最高轉速 之偏差	最低轉速 之偏差
1	14.4	8.4	9.4~12	10.7	34.58%	21.50%
1.5	25	15.6	16.8~19.4	18.1	38.12%	13.81%
2	34.8	24	24~26.4	25.2	38.10%	4.76%
2.5	33.6	31.2	31.2~33.6	32.4	3.70%	3.70%
3	43.4	37.2	38.4~40.8	39.6	9.60%	6.06%
3.5	51.6	45.6	45.6~48	46.8	10.26%	2.56%
4	67.4	52.8	54~56.4	55.2	22.10%	4.35%
4.5	67.2	61.2	61.2~63.6	62.4	7.69%	1.92%
5	81.4	69.6	69.6~72	70.8	14.97%	1.69%
5.5	130	75.6	76.6~79	77.8	67.10%	2.83%
6	102	84	84~87.6	85.8	18.88%	2.10%

間隔時間為 0.1 秒，不同電壓下所偵測到的轉速值（單位：rpm）：

電壓 (V)	最高轉速	最低轉速	轉速常見 範圍	中位數 值	最高轉速 之偏差	最低轉速 之偏差
1	13.2	9.6	10.2~12	11.1	18.92%	13.51%
1.5	20.4	16.2	16.2~18	17.1	19.30%	5.26%
2	26.4	23.4	24~25.8	24.9	6.02%	6.02%
2.5	34.2	31.8	31.8~33.6	32.7	4.59%	2.75%

3	40.8	38.4	38.4~40.2	39.3	3.82%	2.29%
3.5	50.4	47.4	47.4~49.2	48.3	4.35%	1.86%
4	57	54	54.6~56.4	55.5	2.70%	2.70%
4.5	65.4	61.8	61.8~63.6	62.7	4.31%	1.44%
5	74.4	68.4	69.6~71.4	70.5	5.53%	2.98%
5.5	105.6	76.2	76.8~78.6	77.7	35.91%	1.93%
6	89.4	85.2	85.8~87.6	86.7	3.11%	1.73%

間隔時間為 0.5 秒，不同電壓下所偵測到的轉速值（單位：rpm）：

電壓 (V)	最高轉速	最低轉速	平均	偏差
1	12.6	10.42	11.51	9.47%
1.5	17.88	16.54	17.21	3.89%
2	24.96	23.86	24.41	2.25%
2.5	33.36	32.4	32.88	1.46%
3	40.56	39.96	40.26	0.75%
3.5	47.75	46.68	47.215	1.13%
4	55.68	55.05	55.365	0.57%
4.5	64.8	63.24	64.02	1.22%
5	71.4	70.43	70.915	0.68%
5.5	78.96	77.86	78.41	0.70%
6	86.28	85.68	85.98	0.35%