

桃園創新技術學院教師專題研究計畫
成果報告

車輛胎壓調整控制系統管路最佳化研究

計畫編號：教專研 103P-002

計畫類別：個別型計畫

執行年度：103 年度

執行期間：103 年 1 月 1 日至 103 年 12 月 31 日

計畫主持人：王士榮

執行單位：機械工程系

中華民國 103 年 12 月 31 日

車輛胎壓調整控制系統管路最佳化研究

王士榮

機械系

摘要

現今汽車工業不僅著重汽車外觀的設計，也強調和 ECU 微電腦控制結合、節能、省油等趨勢發展。現今汽車胎壓偵測系統只有數據的判別功能，駕駛雖然可以即時了解胎壓值卻無法調整實際胎壓，所以本研究針對胎壓調整問題，設計並製作一套控制調整胎壓系統，當車輛長途行駛間胎壓劇變，輪胎大量洩氣胎壓不足，系統可以偵測胎壓並且可控制調整胎壓進行補氣動作，能夠使車輛維持行駛至維修；並利用田口實驗法分析出胎壓調整控制系統最佳化設計參數。

1.前言

基於環保立場以及節約能源訴求，全球各國政府重視節能與減碳所帶來的經濟與節能效益，隨著高科技產業的快速發展，高科技產品趨向體積小與高功率，所需的效能愈來愈高。目前汽車業界不僅著重於車輛外觀之設計，尤其強調智慧電子化之配合、環保及安全等科技發展趨勢。本研究設計之系統係針對胎壓高低做偵測，因胎壓的不足與過剩都會影響行車安全。且現今車廠的胎壓監測系統僅僅只有數據的判別功能，雖然能讓駕駛即時了解胎壓數值但卻無法即時的改變實際胎壓值。如遇高速行駛間胎壓劇變，大量洩氣時或長途行駛間胎壓不足急需維修時，將束手無策。而胎壓與能源效率亦有極大關係，當車輛行駛中輪胎表面和路面接觸為連續剝落分離，然而每一表面（輪胎表面和路面）實際上均稍有變形，輪子轉動就費力。此效應產生了滾動阻力。依照橡膠製造協會報告，當輪胎胎壓降低 1psi 時，輪胎滾動阻力增加 1.1%，而因滾動阻力降低了性能 5-8%時，相當於降低大約 1%燃油效率[1]。此相似於 schuring 和 Futamura 所提出降低 10%滾動阻力係時，可提升燃油效率以都市路面為 1.5 至 2.5%，而高速公路則為 0.9 至 2.1%[2]。與其他自動商業化安全設備相似，Wal-Mart Auto Centers 主要是提供車輛胎壓檢測服務。胎壓檢測主要目的是伴隨油量改變時，輪胎應具有對應之正確胎壓值。如按照製造商推薦胎壓來充氣，每部汽車每年將可減少 4 至 4.5 加侖汽油，即節省消費者每年 11.63 至 15.58 美金，且減少 78 至 105 磅 CO₂ 之排放[3]。研究中亦指出，在加速條件下，四項噪音來源中以（輪胎/道路）噪音是除了引擎噪音外，具有最大噪音百分比值。因此降低（輪胎/道路）噪音是一項非常重要問題。而在 German Umweltbundesamt 報告結果指出；降低 30%輪胎轉動阻力可降低汽車燃料消耗 2%至 6%（視駕駛條件及相關因素）[4]低胎壓不僅降低燃料經濟，並且產生許多意外傷害。特別是在乾或濕滑路面上，在充足胎壓下可增加車輛煞車距離，預防事故發生。以現代汽車技術而言，特別需針對胎壓的監控加以重視，電子機械系統之相關運用已有逐漸增加之趨勢；例如[5]提出懸吊系統與液壓煞車系統偵測，可增進對汽車整體信賴度、安全性和經濟性。而一些先進國

家如美國也已立法規定，在 2000TREAD[6]法案中提出符合新車的規範，即是求要汽車製造商逐步地針對新車提供胎壓監測系統，TREAD 法案的提出將可降低能源使用，因此未來政府將要求製造商在自動車上設置胎壓監測系統 (TPMS) [7]。由此可見，胎壓監控的重要性。因此本研究設計之智慧型行車胎壓調整控制系統，可有效解決目前單一監測模式中，無法實際控制壓力的缺點。胎壓的即時控制雖然重要，但不同的速度也須不同的胎壓，不同的行駛路面也須不同的胎壓，甚至不同的車重負載(人員.物品)也須不同的胎壓。而其創新技術開發之研究在於將傳統之有線行車胎壓調整之控制系統所無法達到之迅速及精確性的要求及操作組裝之方便性等問題，可藉由無線式電動行車胎壓控制系統之開發研究功能設計暨整合技術之研發，來達到騎乘穩定舒適及科技人性化的產品目的。針對以上所述之情況，本研究之智慧型行車胎壓調整控制系統將設計一個全自動的系統，不單單只有監測作用，更具有調整控制之功能，且無須額外的電力。

2.研究動機與方法

由於目前市面上車輛只做到胎壓偵測系統而無法控制調整胎壓的缺點，而當車輛行駛時間胎壓劇變，大量洩氣時或長途行駛間胎壓不足，往往造成行車的安全。本研究為了彌補胎壓偵測系統之不足而有了創新的構想，利用打氣機配合壓力感應開關，藉此來控制輪胎胎壓，壓力感應開關感應到胎壓低過設定值時，藉由壓力感應開關來啟動打氣機作動，來當胎壓到達規範值取消打氣機作動。

2-1 多因子實驗設計步驟

2-2-1 田口式直交表因子水準設立

本文旨在探討影響空氣流量出速時間的數值，對於空氣流量出速時間要求是越小越好，因此，選擇望小特性為品質的計量法。再依據以及其他文獻的實驗結果，整理出較具影響力的四個因子，將其定義為本論文實驗分析的控制因子。分別為氣壓電磁閥(A)、氣壓壓力調壓閥(B)、空壓管尺寸(C)、彎管角度(D)等四項設定為控制因子，其每個控制因子各取了三個水準，如表 1 所示。

2-2-2 直交表選取

一般直交表以 $La(bc)$ 來表示，其中 L：為直交表的代號；a：代表實驗總次數，在直交表中以列數表示實驗的次數；b：水準數，表示設計參數有 b 個不同的值，在設計水準數之前，需視設計參數的數量而定，以最少的實驗次數分析出各個設計參數對目標函數之影響程度；c：設計參數或因子，當製作表格時，以行表示設計參數。直交表的目的是在於減少實驗次數，而且獲得沒有偏差的數據。

本實驗是以田口 $L9(3^4)$ 如表 2 來進行胎壓空氣流量出速實驗。在不考慮因子間交互作用下，田口 $L9(3^4)$ 直交表是三水準中非常有效率的直交表。實驗編號由 1~9 故實驗次數共為 9 次，實驗按直交表順序逐步完成。表 2 編號 ABCD 分別表示控制因子(Control factor)，分別為氣壓電磁閥、氣壓壓力調壓閥、空壓管尺寸、及彎管角度。對因子取三水準。田口 $L9$ 直交表共有 9 列，提供因子或交互作用之配置，直交表有四個主要因子為主效果，雖然彼此之間會有些微的交互作用，但因本實驗考量實驗規模忽略 ABCD 因子交

互作用的存在，只要進行9次實驗，即直交表填滿控制因子的飽和直交表。

3.胎壓調整控制系統設計與製作

3-1 胎壓調整控制系統設計原理如圖1為本研究胎壓調整控制系統設計魚骨圖

由於目前的車廠只做到胎壓監測而無法實際控制壓力之缺點，本研究將設計胎壓控制方式加裝打氣機配合壓力開關，藉此來控制輪胎之胎壓，當車輛因高速行駛間胎壓劇變，大量洩氣時或長途行駛間胎壓不足急需維修時，此時壓力開關感應壓差低於設定值；一般而言，最佳理想胎壓值為最大胎壓(MAX psi)的百分之80即可(各廠牌、型號、尺寸的輪胎皆不同，並非固定值)，本文將理想胎壓值設定為32 psi，當胎壓降至26 psi時，藉由胎壓調整系統來啟動打氣機作動，當胎壓到達規範值時，則取消打氣機作動。過程中在時間的考量下需要較短的時間，且為了延長各部零件使用壽命，須搭配田口實驗法，將其各部位零件調整至最佳狀態，以達到整體最佳之效益。

3-2 胎壓系統機構創新設計

在設計過程中發現了一些困難，車輛在行駛中輪胎不停的轉動而要是氣壓管與氣嘴連接時，會因輪胎不停轉動而氣壓管造成被傳動軸纏住，為了克服這項技術問題，在傳動機構上再作了創新的嘗試及設計，在傳動軸中心軸鑽一個洞，也在輪胎附近的傳動軸鑽一個洞使用接頭與氣嘴連接(如圖2紅圈所示)，這樣才能使氣壓管與輪胎同步運轉，這樣設計才得以克服氣壓管路被傳動軸纏繞住這項技術瓶頸。系統機構設計步驟如圖1為胎壓調整控制系統製作流程圖

3-3 機構組合

如圖4利用3D繪圖軟體Pro/Engineer Wildfire 4.0設計系統機構形狀，【圖5】為此設計系統的組合圖(不含氣壓零組件)，目前市場上有關車輛的傳動系統與懸吊系統有許多種型式。本研究的設計系統在機構方面也必須配合不同的傳動系統與懸吊系統而有所修改。以機構系統作動為例做說明：利用車輛行駛時傳動軸的旋轉力【如圖5A】來帶動時規皮帶輪【設計於圖4-2B機構中】配合電磁離合器【設計於圖4-2B機構中】，驅動螺旋式壓縮機【圖5B】，將空氣加壓儲存於蓄壓瓶【圖5C】，蓄壓瓶的壓力限制須配合氣壓元件與ECU的控制以引導電磁離合器達成停止加壓的動作。經壓縮後的空氣經由蓄壓瓶流出氣孔並進入進氣座【圖5D】後流入傳動軸【圖4-2D】再流入鋁圈【圖5F】，最後就可加壓至輪胎內。此時輪胎內的感測器將壓力值傳遞至ECU，若達到所設定的模式胎壓值，則停止機構做動。待行駛中ECU再度判斷出另一模式時，才可再度作動。

使用電腦配備：

- 1.System: Windows XP Professional
- 2.CPU: Intel Core i5-460M
- 3.RAM: 4GB DDR
- 4.VGA: ATI Radeon HD5470 with 1GB DDR3 VRAM

3-3-1 增壓機件

此機構之設計主要是將時規皮帶輪、時規皮帶、離合器、螺旋式壓縮機等加以整合

為單一機構而設計，如圖6 所示。現因螺旋式壓縮機在市場上已相當普及，因此本研究即將螺旋式壓縮機用於所設計之增壓機件所搭配型式中。

3-3-2 進氣座

如圖7所設計之進氣座係固定於傳動軸上，圖中之兩面硬鉻電鍍處必須配合傳動軸轉動，而介於電鍍中之溝槽也須貼和傳動軸的進氣溝槽以形成一環進氣孔。而給油孔主要之用處為潤滑培林（軸承）以隔絕空氣，而培林（軸承）之另一處則必須加裝油封。

3-3-3 傳動軸

圖8為傳動軸前段部份的顯示圖，圖中進氣溝槽處與進氣座之電鍍兩側中間的溝槽接續形成一迴圈，氣體進入進氣孔後再流入進氣孔A經由下方剖視圖所示流入輪圈(鋁圈)中（進氣溝槽與進氣座搭配處必需在萬向接頭內側）。

3-3-4 輪圈（鋁圈）

如圖9所示進氣孔A(輪圈中心處)與傳動軸的出氣孔相接合，而氣體主要是經由剖面視圖所指引之路徑進入後，最後再從進氣孔B流進輪胎中。

3-4 氣壓零組件

3-4-1 胎壓控制胎壓系統如圖10所示

運用連接110V的電源，因充氣裝置為利用裝潢用的空壓機以及使用輪殼馬達來帶動傳動軸。其作動方式是以AC110V經過電源開關，一條接電壓轉換器DC100V供給輪殼馬達，一條接空壓機經過壓力開關在經過電磁閥經過汽缸，由於空壓機有儲氣筒因此必須加電磁閥開關，以控制隨時充氣進入輪胎形成迴路。

4. 結果與討論

4-1 重要參數之效應

本研究目的主要在探討影響空氣流量出速時間的數值，對於空氣流量出速時間要求是越小越好。為了讓我們更容易觀察出各控制因子的效應，可以由表 3 及圖 11 計算得到 S/N 比數據資料製作成反應圖與反應表，反應圖表可以很直接的比較出各因子的重要性排序。由圖 11 S/N 比反應圖可以更容易找本研究的最佳組合。

因子效應的計算方式為取該因子所有水準下的 S/N 比平均值，以下舉因子 A、B 為例：

$$\eta_{A1} = \frac{1}{3}(\eta_1 + \eta_2 + \eta_3) = 1.917(\text{dB})$$

$$\eta_{A2} = \frac{1}{3}(\eta_4 + \eta_5 + \eta_6) = -0.75(\text{dB})$$

$$\eta_{A3} = \frac{1}{3}(\eta_7 + \eta_8 + \eta_9) = 0.674(\text{dB})$$

$$\eta_{B1} = \frac{1}{3}(\eta_1 + \eta_4 + \eta_7) = 2.355(\text{dB})$$

$$\eta_{B2} = \frac{1}{3}(\eta_2 + \eta_5 + \eta_8) = -0.349(\text{dB})$$

$$\eta_{B3} = \frac{1}{3}(\eta_3 + \eta_6 + \eta_9) = -0.166(\text{dB})$$

4-2 最佳化參數組合

本實驗在經過田口實驗法分析後，由直交表的9組數據中，可知最小的空氣流量出速時間出現在L1當中，其值為0.55sec，但藉由望小特性公式所計算出S/N比的最佳參數組合(如表4-4)並沒有在這直交表9組當中，所以必須再以最佳參數組合的數據做一次實驗和L1來做比較驗證。而使用氣壓電磁閥A1(0.5kgf/cm²)、氣壓壓力調壓閥B1(35psi)、空壓管尺寸C2(6.5X10mm)、彎管角度D1(30°)，此組參數組合(A1B1C2D1)再進行實驗分析結果，其空氣流量出速時間為0.51 sec，的確優於在L9直交表中的任何一個參數組合，因此此組參數(A1B1C2D1) 如表5所示，

即為本次實驗的最佳化參數值。胎壓空氣流量出速時間的數值重要因子排序如表4所列，各因子的效應由大至小分別是空壓管尺寸(C)、氣壓壓力調壓閥(B)、氣壓電磁閥(A)、彎管角度(D)。

本文在有限的因素中，挑選出四個因素當控制因子，在各參數數據下，利用田口法只需進行少量實驗或模擬，所需的時間最短，即可達到滿意的最佳化之效果，但水準值固定是其缺點，所獲得的最佳化結果仍有改善的空間。

4-3 最佳化參數之最大洩漏測試

利用最佳控制參數組合(A1B1C2D1)調整胎壓控制系統來觀察此系統能夠負荷最大的洩壓空氣流量，由圖12及表6可知最大的洩壓空氣流量9.2(L/min)，超過9.2(L/min)輪胎就無法充飽。

5. 結論

為了克服輪胎轉動造成氣壓管被傳動軸纏住的技術問題，在傳動機構上作了創新的嘗試及設計，在傳動軸中心軸鑽一個洞，也在輪胎附近的傳動軸鑽一個洞使用接頭與氣嘴連接，才能使氣壓管與輪胎同步運轉，得以克服氣壓管路被傳動軸纏繞住這項技術瓶頸。

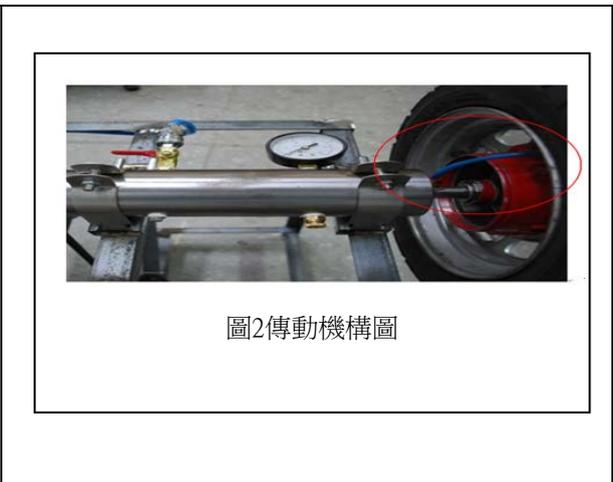
各參數因子的效應由大至小分別是空壓管尺寸(C) > 氣壓壓力調壓閥(B) > 氣壓電磁閥(A) > 彎管角度(D)。經過田口實驗方法分析後，得知胎壓調整控制系統最佳控制參數組合為氣壓電磁閥A1(0.5 kgf/cm²)、氣壓壓力調壓閥B1(35psi)、空壓管尺C2(6.5X10mm)、彎管角度D1(30°)；利用此組最佳參數進行洩壓實驗來觀察胎壓調整控制系統能夠負荷最大的洩壓空氣流量，由實驗可知最大的洩壓空氣流量為9.2(L/min)，如果超過9.2(L/min)輪胎就無法充飽。

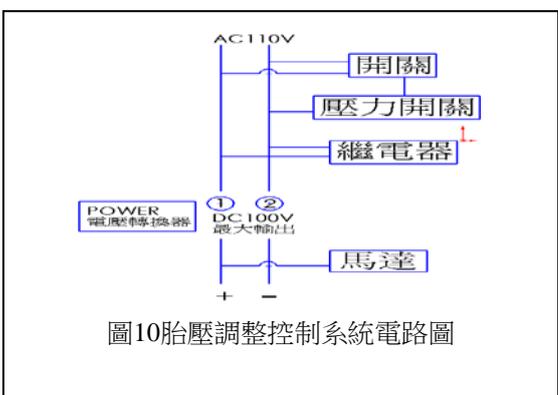
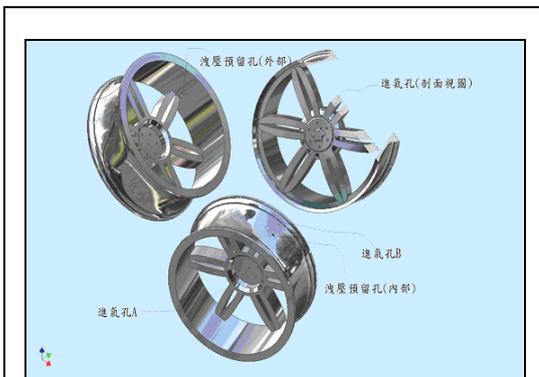
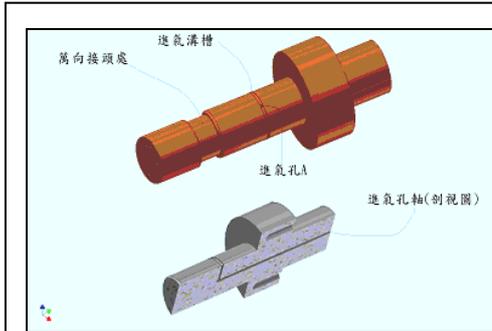
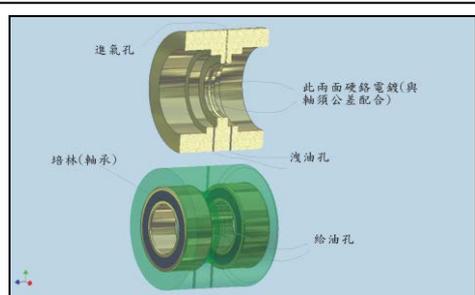
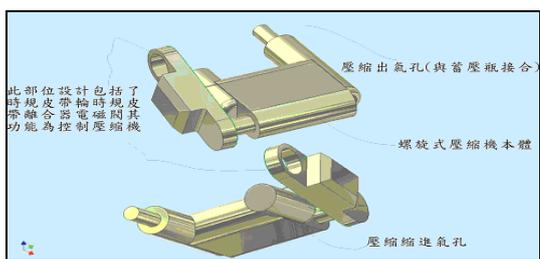
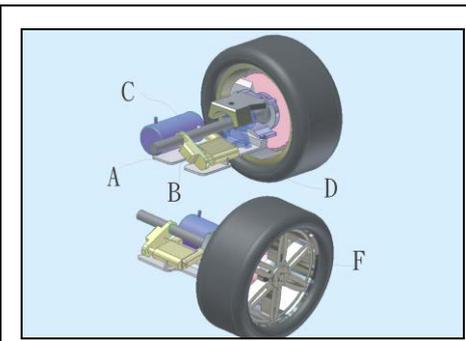
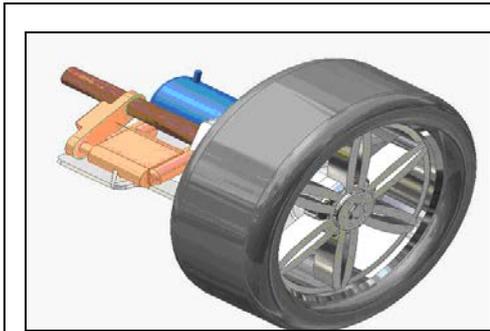
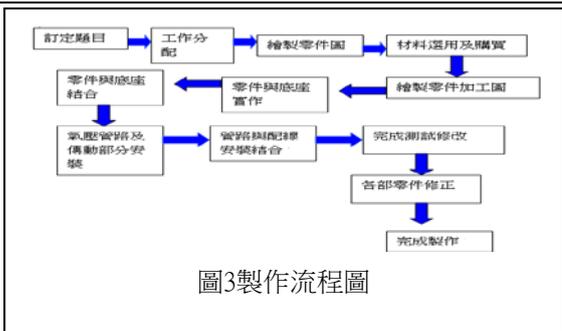
目前胎壓調整控制系統還是屬於開發初步雛型的階段，本研究所得之數據可以作為

未來改良胎壓調整控制系統的參考資料。

參考文獻

1. Calwell, C., Ton, M., Gordon, D., Reeder, T., Olson, M., Foster, S.,(2003) . California State FuelEfficient Tire Report, vol. II. California Energy Commission,600-03-001CR,/http://www.energy.ca.gov/reports/2003-01-31_600-03-001C RVOL2.PDFS.
2. Schuring, D.J., Futamura, S., (1990) . Rolling loss of pneumatic high-way tire in the eighties. RubberChemistry and Technology 63 (3), 315–367.
3. Joshua M. Pearce, Jason T., (2007) .Energy conservation from systematic tire pressure regulation. Energy Policy 35 2673–2677.
4. Friedrich,A., (2002) .Fuel saving potential from low rolling-resistance tires. Presentation for theUmweltbundesamt at the September 2002,CEC TiresWorkshop in Sacramento.
5. Marcus, B., Harald, S., & Thomas, W. (2002) Model based fault detection of vehicle suspension and hydraulic brake system, Mechatrnics 12 (pp999-1010)
6. US 106th Congress. (2000) .Transportation Recall Enhancement, Accountability and Documentation (TREAD) Act. Public Law 106-414, November 1.
7. Keijiro, I., Inchiro, Y., (1996) .A Study on the mechanism of tire/road noise,JSAE Review17pp.139-144.
8. 王士榮，無線式電動行車胎壓控制系統之開發研究，南亞技術學院國科會計劃案，民國 100 年 10 月。





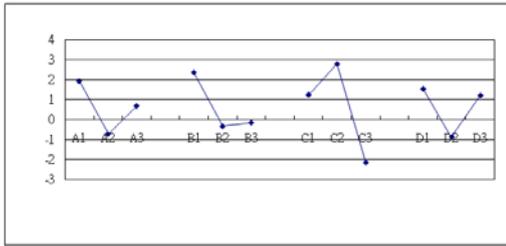


圖 11 S/N 比反應圖

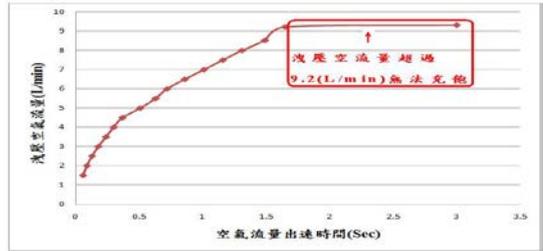


圖 12 洩壓/空氣流量出速時間對比圖

EXP.	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

表 2 $L_9(3^4)$ 直交表

EXP.	A	B	C	D	空氣流量出速時間(Sec)	MSD	SN比 (dB)
1	1	1	1	1	0.55	0.303	5.193
2	1	2	2	2	0.83	0.689	1.618
3	1	3	3	3	1.13	1.277	-1.06
4	2	1	2	3	0.65	0.423	3.742
5	2	2	3	1	1.51	2.28	-3.58
6	2	3	1	2	1.32	1.742	-2.41
7	3	1	3	2	1.24	1.538	-1.87
8	3	2	1	3	0.9	0.81	0.915
9	3	3	2	1	0.71	0.504	2.975

表 3 $L_9(3^4)$ 直交表實驗數據

	氣壓電磁閥(A)	氣壓壓力調壓閥(B)	空壓管尺寸(C)	彎管角度(D)
Level 1	1.917	2.355	1.232	1.529
Level 2	-0.75	-0.349	2.778	-0.887
Level 3	0.674	-0.166	-2.17	1.198
Effect	2.667	2.704	4.948	2.416
Rank	3	2	1	4

表 4 S/N 比反應表

氣壓電磁閥(A)	氣壓壓力調壓閥(B)	空壓管尺寸(C)	彎管角度(D)	空氣流量出速時間(Sec)
0.5 kgf/cm ²	35psi	6.5X10mm	30°	0.51

表 5 最佳參數組合

洩壓空氣流量(L/min)	空氣流量出速時間(Sec)
1.5	0.06
2	0.09
2.5	0.13
3	0.18
3.5	0.24
4	0.3
4.5	0.37
5	0.51
5.5	0.63
6	0.72
6.5	0.86
7	1.01
7.5	1.16
8	1.31
8.5	1.49
9.2	1.65
9.3	3 無法充飽

表 6 洩壓/空氣流量出速時間表