

# 氣壓式史都華平台之可程式控制系統設計

林柳絮<sup>1</sup> 簡志宏<sup>2</sup> 黃澤世<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> 德霖技術學院機械工程系講師

<sup>2</sup> 黎明技術學院工業工程與管理系講師

## 摘要

相較於傳統液壓或馬達驅動之史都華平台，本研究設計並製作一氣壓致動之史都華平台，為具有 64 種位置變化之控制系統。首先選擇合適的機構及相關零件並加工完成此一氣壓致動之史都華平台，接著進行機構分析，其中包括機構順/逆運動學探討，機構空間分析，運動規劃等。最後，設計控制法則並採用可程式控制器對此一氣壓致動史都華平台進行運動控制，測試其性能。

關鍵詞：可程式控制器，氣壓，史都華平台

## PLC Based Control System Design for a Pneumatically Driven Stewart Platform

Liu-Hsu Lin<sup>1</sup>, Chih-Hung Chien<sup>2</sup>, and Tse-Shih Huang<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Instructor, Department of Mechanical Engineering De Lin Institute of Technology

<sup>2</sup> Instructor, Department of Industrial Engineering & Management Lee-Ming Institute of Technology

## Abstract

Comparing with the conventional Stewart platform driven by hydraulic power and electric motor. The purpose of this research is to develop a pneumatically driven Stewart platform. First of all, we have to choose adaptive mechanism and correlation components and make them into a pneumatically driven Stewart platform. Then we process the analysis of the mechanism, including deriving the forward / inverse kinematics, workspace, and motion-planning etc. Finally we use a programmable logic controller and design its control law to control the Stewart platform and test its performance.

Keywords: PLC, Pneumatic, Stewart platform

## 壹、研究動機與研究目的

### 一、並聯式平台的優勢

隨著高速加工的不斷發展，傳統串聯式機構構造平台的結構剛性與移動台高速化逐漸成為技術發展的瓶頸，而並聯式平台便成為最佳的候選對象，而相對於串聯式工具機來說，並聯式工作平台具有下列的特性：

- 1.其封閉性的結構 (closed-loop structure) 使其具有高剛性和高速化的優點，其結構負荷流線短，而負荷由多隻連桿同時以拉伸和壓縮承受，以材料力學的觀點來說，在外力一定時，懸臂量的應力與變形都最大，兩端插入(build-in)次之，再來是兩端簡支撐(simply-supported)，其次是受壓的二力結構，應力與變形都最小的是受張力的二力結構，故其擁有高剛性。
- 2.如果結構所承受的力會改變方向，(介於張力與壓力之間)，兩力構件將會是最節省材料的結構，而它的移動件重量減至最低且同時由多個致動器驅動，因此機器很容易高速化，且擁有低慣性。
- 3.其擁有熱對稱性結構設計，因此熱變形較小；運動軸位置感測和實際位置之 Abbe Offset 較小，故受機器幾何誤差影響較小；由於並聯結構之故，各項幾何誤差不僅不會有累積和放大的現象，甚至還有平均化效果(averaging effect)，故它具有高精度的優點。
- 4.具有多個自由度，適合於 3D 複雜曲面的場合。
5. 並聯式平台由支架組成，構造簡單，機械零組件數目較串聯構造平台大幅減少，製造和庫存成本較低，容易組裝和搬運。
- 6.並聯式平台適合於模組化生產，對於不同的機器加工範圍，只需改變連桿長度和接點位置，維護也容易，無須進行機件的再製和調整，只需將新的機構參數輸入。

### 二、氣壓系統的優點

相較於油壓與電動機之動力系統，氣壓系統具有下列之優點：

- 1.可輕易達成自動化：各型工廠使用氣壓系統可達到低成本的自動化或半自動化。
- 2.於危險環境：在高溫、高濕、易燃或有爆炸性、腐蝕性的惡劣環境下，氣壓設備沒有爆炸著火或超負荷損壞的危險。
- 3.空氣來源不虞匱乏。
- 4.調節性佳：氣壓驅動器之出力大小、作功速度、作功方向均甚易調節與控制。
- 5.可得到高速動作：氣壓系統相較於電動機或油壓系統，氣壓系統可獲得教高的操作速度。
- 6.元件構造簡單：氣壓元件體積小，構造簡單堅固易於維修。
- 7.可直接產生直線運動：不像使用電動機只能產生迴轉運動，氣壓缸可直接產生直線運動。
- 8.可產生衝擊式運動：由於氣壓系統可產生高速直線動作，所以可產生近似於衝擊式運動。
- 9.可承受瞬間衝擊式之外力：由於氣體的可壓縮性，使氣壓系統構成之設備可承受較大之外力衝擊。

### 三、研究目的

傳統工業上所用到的致動器，主要為電動機，油壓致動器，氣壓致動器三大項，在選用上依其功能與特性而有所不同，三者各有其擅長之處。倘若以伺服定位而言，則以電動機、油壓致動器為主；若以出力大小為要求，則以氣、油壓致動器為主；若以體積小、操作輕便與安全性為訴求，則以氣壓致動器為上選。

1999 年，我國發生 921 大地震時，世界各地之救難隊紛紛帶著先進之救難設備參予救援工作，相較於我國救難隊所用之笨重電動機、油壓動力為主之救難設備，國外救難隊所使用之氣壓式救難設備，其優異表現令人印象深刻。

基於上述之分析與理由，本研究擬結合“並聯式機構”與“氣壓設備”之優點，進行下列研究與製作：

- 1.嘗試製作一“氣壓式史都華運動平台”。
- 2.分析比較並聯式機構平台，使用氣壓控制和馬達控制的不同點。
- 3.開發“氣壓式史都華運動平台”監控系統。
- 4.使用可程式控制器控制此一“氣壓式史都華運動平台”產生不同之運動位置。
- 5.研究氣壓式並聯機構平台於其他方面應用之可能性。

## 貳、文獻探討

### 一、史都華平台沿革

最早的史都華平臺機構可能是由 McGough 所提出，用來做為輪胎測試平臺。1965 年史都華氏發表並聯式六軸機械人的設計，並用來製作飛行模擬器後，史都華平台逐漸成為飛行模擬器之標準機構。



圖 1 飛行模擬器

1979 年 MacCallion 根據史都華平臺機構設計出第一架作為機械手臂的並聯式機械人，將其應用在自動化裝配上。從此以後史都華平臺機構又稱並聯式機械人。1983 年 Hunt 提出另一類型的並聯式六軸機械人，並首度對並聯式機械人展開系統性的機構學分析。此後，從實用觀點著眼的研究人員，利用美國的太空計畫與尖端醫療技術研究的經費，為這型機構在 90 年代急速地開發出相當廣泛的應用領域：車輛模擬定位平台，主動式防振平台、自動組裝、精密定位/指向、手術機械人、自動塗裝等。

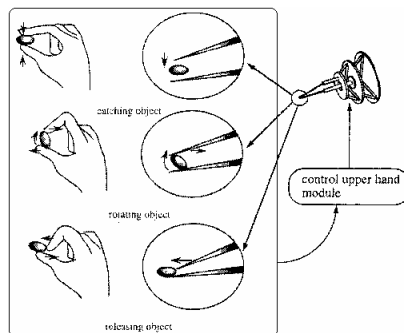


圖 2 手術機械人

但是，由於該機構為具有六個自由度的空間機構，分析困難，因此機構學界對該機構的研究進展一直相當有限。直到法國國家科學院的 J. P. Merlet 博士從 1985 年引入幾何學分析法後，奇異行為、工作空間與順向運動學等研究才開始順利展開。不過，1985-1994 年間，學界(以 J. P. Merlet 博士為主)對該平臺機構的興趣主要在於特殊用途的平行式機械人。1994 年英國 Geodetic 公司在芝加哥工具機展展出 HEXAPOD 五軸加工機(由史都華平臺機構提供三個平移自由度，外加五軸頭提供兩個旋轉自由度)，美國 Giddings & Lewis 公司也同時展出 Variax 三軸工具機。於是史都華平臺機構一實在工具機業聲名大噪，次年(1995 年)Machinery 雜誌元月號兩篇專文介紹 HAXEPOD 工具機，標題是「Machines for the 21st century」。



圖 3 三軸切削中心

由於史都華平臺機構不僅可以用在五軸加工機，還可以廣泛用在各種需要高剛性、低慣性、構造簡單的量測平臺、運動平臺、精密組裝等場所，所以，從 1995 年到現在短短的幾年間，不但 Ingersoll 公司積極投入開發出數種不同用途的特殊加工機和量測設備，而且在工業界需求的強力主導下，歐陸各國也積極整合國家財源及企業界的資金，全力投入相關研發。歐陸各國也積極整合國家財源及企業界的資金，全力投入相關研發。根據以上資訊綜合研判，Hexapod 工具機未來的工業前景雖然上不明確，但是相關工業國家以在工業界主導下吸引大量學術界及國家級研究機構的人力與資金投入，其潛力絕不容忽視。而國外目前研究上屬釐清方向、整合人力的階段，而且機構學界與工具機界的整合仍普遍不良，因此我國若趁此時積極投入，仍大有可以發揮的空間。

## 參、研究方法與原理

### 一、座標系統之選定

由於史都華運動平台是由上平台、基底平台和六支致動腳軸所組成之一個複雜的多連桿機構，為能方便地分析史都華平台，我們將定義三個座標系統，分別為

1. 固定於基底平台的座標  $O_bXYZ$ 。
2. 固定於上平台的座標  $O_pXYZ$ 。
3. 固定於各致動腳軸的座標  $O_iXYZ$ 。

三座標系，如圖所示，三座標系可經由轉移矩陣來達成向量在不同座標系統間之轉換，例如座標  $O_pXYZ$  與座標  $O_bXYZ$  間之轉移矩陣：

$$T_p = \begin{bmatrix} R & d \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

其中， $d = [x \ y \ z]^T$  代表座標  $O_pXYZ$  相對於座標  $O_bXYZ$  的三個平移自由度，

$R = R_\alpha R_\beta R_\gamma$  代表座標  $O_pXYZ$  相對於座標  $O_bXYZ$  的三個旋轉自由度。

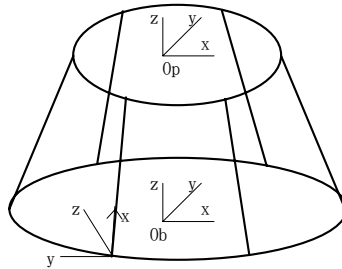


圖 4 史都華平台座標系統

## 二、逆向運動學

逆向運動學(Inverse Kinematics)在傳統的串聯式操作器(Serial Manipulator)中是指給定機器手臂末端的位置，而決定出個關節軸所必須旋轉之角度。相似地，對於史都華平台而言，逆向運動學是指給定上平台的姿態，而決定出六支致動腳所對應之腳長，逆向運動學是史都華平台運動控制(Kinematic Control)之基礎，我們可藉由逆向運動學將原本的姿態控制轉換為致動腳之腳長控制。

## 三、順向運動學

順向運動學(Forward Kinematics)為逆向運動學之相反，其意義為給定一組致動腳之腳長，以決定出上平台的姿態。然而上平台的姿態向量與一組致動腳之腳長的數學關係並非線性方程組，而且姿態向量為致動腳之腳長的隱函數，因此我們無法得到一解析解，我們必須利用數值分析的方法來處理此問題。

## 四、史都華平台之動態模型之簡化

本研究製作之『氣壓式史都華運動平台』並不以複雜伺服定位為目的，而是著眼於操控性之簡易方便與發揮氣壓系統之優點，所以採用開迴路順序控制法(0/1 數位控制法則)來設計控制器。如此一來致動腳之腳長不再是任意腳長，而是分段腳長。例如，若氣壓缸使用 5/2 電磁閥進行控制，則為兩段定位，即致動腳之腳長之伸長量不是為零，便是最大伸長量。如此史都華運動平台，其上平台的姿態位置變化僅能產生 2 的 6 次方 64 種不同之位置，此時無論使用逆向運動學或順向運動

學皆可很輕易推出致動腳之腳長與上平台的姿態之關係。

## 五、控制器之設計

本研究製作之『氣壓式史都華運動平台』，使用 6 組之雙邊電磁作動之電磁閥來驅動雙動氣壓缸(致動腳)，所以於控制器選用上，便選擇被工業界廣泛使用且性能穩定之“可程式控制器”(Programmable Logic Controller)來作為控制器，採用開迴路順序控制法配合 PLC 專用之步梯指令來設計控制器，控制氣壓式史都華運動平台之致動腳作動，令史都華平台在空間中產生 X、Y、Z 三方向之平移運動及滾轉 (roll)、俯仰 (pitch)、偏向 (yaw) 等三方位之轉動，六個自由度的空間運動。

## 肆、實驗驗證與結果

### 一、系統設備

本『氣壓式史都華運動平台監控系統』主要包含:1.氣壓式史都華運動平台本體 2. PC & PLC 監控系統兩大部分。分述如下：

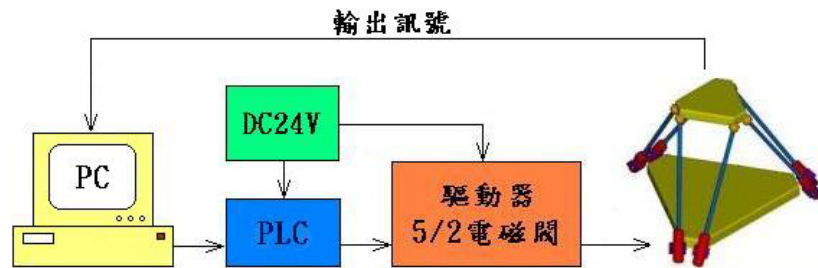


圖 5 氣壓式史都華運動平台監控系統示意圖

#### 1.氣壓式史都華運動平台本體

- (1).平板：使用板厚 8.0 mm 壓克力板，製作兩塊圓形平板，作為此運動平台上可動板及下固定底板之用。
- (2).萬向接頭：一端於兩側之小孔以 M4x0.7 攻內螺紋使其可以固定於氣壓缸缸桿上，另一端則使用 M8x1.25 攻內螺紋，以便固定於上可動板上。
- (3).氣壓缸：6 支  $\Phi 10\text{mm}$ ，行程 10cm，雙動氣壓缸作為平台之致動器。
- (4).滾珠承座：用以連接氣壓缸與平台下固定底板。



圖 6 氣壓式史都華運動平台實體

## 2.PC & PLC 監控系統

- (1).586 個人電腦一台，其主要工作為可程式控制器程式撰寫下載與系統監視控制用。
- (2).永宏 PLC 一台，為本『氣壓式史都華運動平台監控系統』之控制器。
- (3).WinProladder PLC 程式編寫軟體：使用這套軟體來編寫 PLC 程式與輸入至 PLC 中，進行系統運動控制。
- (4).SoftPanel 人機介面：為本『氣壓式史都華運動平台監控系統』之人機介面。

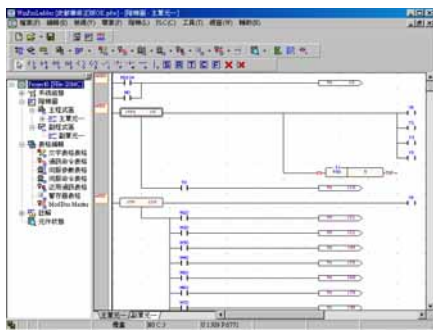


圖 7 程式編譯畫面



圖 8 ADP3 製作畫面



圖 9 電腦監控畫面主頁



圖 10 電腦監控畫面

## 二、測試結果

使用步梯指令來設計『氣壓式史都華運動平台監控系統』之程式，包括有：氣壓缸單動控制、速度校正測試、上下運動、左右、前後傾斜、平面旋轉、旋轉運動及綜合運動.....等多種運動模式。經多次測試，證實本『氣壓式史都華運動平台監控系統』確實可行，可產生六個自由度的空間運動，其結果如圖所示



圖 11 測試結果一



圖 12 測試結果二

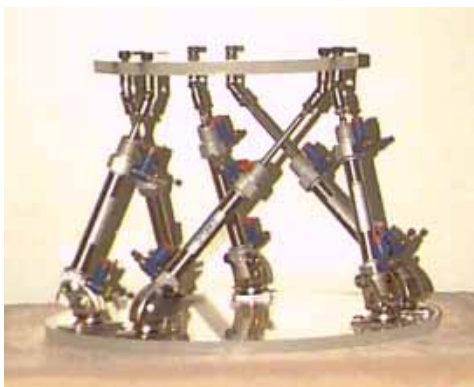




圖 13 測試結果三



圖 15 測試結果五



圖 17 測試結果七

圖 14 測試結果四



圖 16 測試結果六

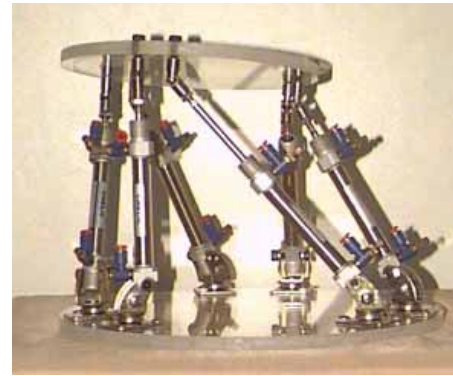


圖 18 測試結果八

## 伍、結論

本研究應用開迴路順序控制方法，發展出一套『氣壓式史都華運動平台』之監控程式、針對本研究設計建構之『氣壓式史都華運動平台』進行運動監控，經實際測試，證實本『氣壓式史都華運動平台監控系統』確實可行，可產生六個自由度的空間運動。同時相較於電動機或油壓驅動之史都華運動平台，具備有體積小、操作輕便、安全性、出力大、耐衝擊、速度快與成本低等之優點，但目前因為採用開迴路順序控制方法，其位置變化僅能產生 2 的 6 次方 64 種不同之位置。

故未來擬朝向下列方向，改進本『氣壓式史都華運動平台監控系統』：

- 1.於氣壓系統上，使用 5/3 電磁閥取代目前的 5/2 閥，以達到多段定位控制。
- 2.採用廉價的高速電磁閥並結合脈寬調變法進行閉迴路控制。
- 3.目前使用 PC & PLC 為控制器，將來可採用數位處理器 DSP 為控制器。
- 4.研究其他智慧型控制方法。

## 參考文獻

- 1.宓哲民、顏見明、劉春山，"人機介面圖形監控"，全華科技股份有限公司。
- 2.吳文誌、陳聰敏，"可程式控制器原理與應用"，全華科技股份有限公司。
- 3.林宗賢 編著、簡守謙 校訂，氣壓工程學，大揚出版社。
- 4."永宏可程式控制器"，傑程科技。
- 5.清華大學動力機械研究所，精密定位系統與控制實驗室網頁。
- 6.黃仁祥，"主動式控制氣壓減振平台之研究"國立成功大學/機械工程學系/88/碩士論文。
- 7.羅年良，"氣壓缸位置與壓力伺服控制系統之研究"，國立成功大學/機械工程學系/87/碩士論文。
- 8.許智欽，"液壓驅動史都華平台之模型建構與動態分析"，國立台灣大學/電機工程學系/87/碩士論文。
- 9.王俊智，"史都沃平台姿態強韌控制器設計"，國立台灣大學/機械工程學系/87/碩士論文。
- 10.楊清源，三軸 Ko 壓密試驗自動化之研究，國立中興大學/土木工程研究所/77/碩士論文。
- 11.葉東龍，一種簡化六軸關節型機械人的設計研究逢甲大學/自動控制工程研究所/71/碩士論文。