

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

## 軸向流壓縮機控制系統之研發 子計畫（二）量測與控制介面研製

The Development of Measurement Instrument for Wind Flow  
in the Compressor and the Associated Control Interface

計畫類別： 個別型計畫      C 整合型計畫

計畫編號：NSC 89 - 2212 - E - 009 - 044

NSC 89 - 2612 - E - 009 - 005

執行期間： 88 年 8 月 1 日至 90 年 7 月 31 日

計畫主持人：梁耀文 副教授

共同主持人：

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立交通大學電機與控制工程學系

中 華 民 國 90 年 10 月 31 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 軸向流壓縮機控制系統之研發

### 子計畫（二）量測與控制介面研製

## The Development of Measurement Instrument for Wind Flow in the Compressor and the Associated Control Interface

計畫編號：NSC 89-2212-E-009-044

NSC 89-2612-E-009-005

執行期限：88年8月1日至90年7月31日

主持人：梁耀文副教授 交通大學電機與控制工程系

### 一、中文摘要

本計畫旨在研製一套引擎壓縮機電子控制系統，好讓引擎集氣室在高壓下工作仍不會發生 surge 和 stall 等問題。如此便可提高引擎燃燒的工作效率。而這系統包括有(1) 風速測量器，(2) 在壓縮機橫剖面上空間頻譜分佈的風場計算器，(3) Throttle 及壓縮機轉速的伺服器，(4) 穩定風場用的 Throttle 及壓縮機轉速 Actuators 驅動控制器。

我們在第二年計畫中完成風場空間分佈頻譜分析器，其內包含有8個用 Hot Wire 原理所做成的風速計，以及兩個壓力計、一套高速資料擷取器、一組可做頻率分析器的 DSP 計算器。它對於我們所實驗的引擎能做即時的測量工作。第三年我們完成 Throttle 及壓縮機轉速的伺服系統，並分析出它們的動態特性。這特性函數以及風場量測的資料，可提供為子計畫三、四、五做風場穩定用的控制器設計。接著我們把這穩定控制器設計到我們的計算器內。另外，我們也把系統的診斷、監測的功能再補強到我們的設計內，這使本系統除了有可靠性的工作外，尚能提供足夠的資訊，以使不正確工作的狀況發生時，系統能記錄不正確資訊的信息，以助使用者做診斷參考用，但最重要的是讓引擎集氣室在控制器控制下，能除去壓縮機內 surge 和 stall 的氣流。

關鍵詞：引擎壓縮機、集氣室、surge、stall、

空間頻譜、Throttle、壓縮機轉速、伺服器、資料擷取器、控制器。

### Abstract

This project is to develop an electronic controller of the compressor of jet engine such that the plenum can operate in high pressure. Our objective is to promote the work efficiency of the engine. The proposed system contains the functions of (1) measuring the wind velocity, (2) measuring the spatial spectrum of wind flow distributed around the cross section of the compressor, (3) the servo systems of throttle and compressor velocity, and (4) computation and the control of throttle and compressor velocity.

We designed and fabricated the wind flow analyzer in the second year. This instrument contains eight hot-wires, two pressure gauges, high speed data acquisition device, and spatial frequency analyzer. It can measure and generate the wind flow data of the engine compressor in the laboratory provided by the sub-project one in real time. In the third year, we have accomplished the servo systems for the throttle and compressor velocity actuators. The analysis of the corresponding dynamic characteristics provide important data for the sub-project three and four to design the associated controllers. Next, we also built up system diagnostic and supervising functions to

enforce the reliability for the designed compression system. The most important work of this project is to assure that the engine plenum can operate in higher pressure by properly suppressing the surge and stall events .

**Keywords:** the compressor of jet engine, plenum, surge, stall, spatial, spectrum, throttle, compressor velocity, servo system, data acquisition, control

## 二、計畫緣由與目的

改善噴射引擎效率是航太工業極其先端的研究，例如利用操控軸向流壓縮系統(axial flow compressor system)來提升集氣室(plenum)的壓力，便是一種改善噴射引擎燃燒效率的方法。但是當壓縮機運轉至其內壓力提升到某一位準時，壓力系統將因壓力高過穩定點，而產生 surge 或 stall 等氣流流場不穩定現象，並可能造成失壓的危險。因此，國內外有許多學者，花費極多的人力探討並研究 surge 和 stall 如何形成以及如何藉外在的調整 以去除不穩定氣流泡的形成。

在國內，國立交通大學的廖德誠教授在引擎穩定控制上研究已有一段時日。因此，我們和對引擎已有多年實務研究經驗的台大胡文聰教授合力研發一套系統與相關技術以提昇引擎工作效率，使引擎控制技術能更上一層樓。整合計畫之主要目標為藉由控制方式消除造成失壓的不穩定因素，以使壓力系統有更大穩定之工作範圍。為達此項目標，在本子計畫中，我們在壓縮機系統後端安裝一系列可檢測風速的檢知器。在空氣入口處也安裝一氣壓檢知器，以為估算平均空氣的氣流量。這些量測出來的資料可估算出空間氣流場的分佈，然後送至子計畫一，做氣流穩定控制

運算用。

## 三、結果與討論

第二年計畫的主要目標是和子計畫一規劃內容配合，完成流場量測器。因為這是硬體的工作，因而我們以下列方式進行本計畫：

- (1) 評估流場量測所有相關的周邊系統，以及詳確定義各項必要的規格，例如最大風速、頻寬、資料種類和數目、可能性的運算。
- (2) 再收集各項流場測量原理、硬體設計、以及流場運算所需的各項參考文獻。
- (3) 依據第一項所定義的各參數，完成整個系統的概念性設計，並和其它子計畫會商檢討並修正設計。
- (4) 依據概念性設計的系統，設計流場量測器，以及監控用的主機介面電路。
- (5) 主機監控軟體、人機介面雛形軟體的設計、撰寫。
- (6) 流場運算器的軟、硬體設計以及主機的介面設計。
- (7) 加裝感測器、失效偵測電路。
- (8) 完成上述各項設計下的系統，並使用它做流場量測、實驗。

由上述的方法，第二年完成的項目有：

- (1) 流速計的研製，包括快速資料擷取電路。
- (2) 流場頻譜分析及計算器電路的製作。
- (3) 連接流場計算器、流速計至 PC 電腦，並完成其所需的軟體撰寫。
- (4) 主機監控軟體及初步的人機介面軟體。

第三年工作儘可能的提供必要資料給其它的子計畫，以協助他們能進行較接近實際的引擎控制器的設計，因而本子計畫進行的方式為：

- (1) 為子計畫五所安裝的控制器製作伺服器的電子電路和撰寫軟體。

- (2) 加裝伺服器失效偵測電路。
- (3) 分析 Sensors、Transducers 的動態和誤差分析以及協助子計畫五進行制動器的動態和誤差分析。
- (4) 協助子計畫三、四、五做必要的引擎壓縮機特性量測，並藉合作發掘不完全或不當的設計而修正量測器。
- (5) 為控制器所有必要運算需要，研製一即時運算器雛形，並將之加入流場量測系統內。
- (6) 補足所有人機介面不足之軟、硬體設計，例如加裝監控與診斷軟硬體以利外部電腦監控診斷用。
- (7) 系統工作可靠性分析及實驗。
- (8) 即時系統工作可靠性分析及實驗。
- (9) 援助其他子計畫做整合引擎量測控制器的實驗。

由上述的研究方式，我們第三年完成的項目有：

- (1) 完成控制用制動器的伺服器硬體及驅動控制軟體。
- (2) 分析出 Sensors 及 Transducers 的動態分析。
- (3) 完成人機介面必要的功能。
- (4) 系統工作的可靠性分析。

在人機介面之設計及成果茲說明如下：

整套系統是架構在 PC 上，壓縮機系統硬體與 PC 之間主要是以 AD/DA 卡和 RS232 來做溝通；其人機介面和控制法則是以程式語言 C++ 和 LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) 來實現。

### 3.1 發展人機介面與控制法則的軟體介紹

C++ 語言是技術人員較熟悉慣用的發展資料擷取與分析軟體的語言；C++ 語言的發展環境其優點為普及率高、執行速度快且外部程式庫資源多，而目前在 windows

下又發展出可快速建立 GUI 圖形化介面的環境，如 Borland C++ Build 和 Visual C++，這都有利於人機介面的開發。

而 LabVIEW 為一圖繪型程式語言，在發展 GUI 的人機介面上，使用的人口也愈來愈多，應用的層面亦愈來愈廣泛；視覺發展語言的特點為縮短用 C 語言的開發時間、現成人機介面設計工具、自動產生程式功能、現成儀器驅動程式、和交談式的 C 語言開發環境。

人機介面控制主要工作是處理人與機器間的命令溝通，使系統能有量測、監視與控制的工能，而 LabVIEW 軟體所提供的設計環境即能達到上述三個要件，避免複雜的人機介面設計細節與控制系統規劃流程，可讓系統開發人員在短時間內設計及實現其架構。其主體是採用虛擬儀表來達成儀測系統的設計。

傳統的儀測系統	虛擬儀表
儀測內容無法自行定義	儀測內容可由使用者自行定義
具有特定功能，但需獨立使用	可整合各種不同的量測功能
以硬體線路實現	以軟體程式實現
價格昂貴	價格低廉
開發和維修成本高	開發和維修成本低
封閉式裝置	開式裝置

表 3.1 傳統與虛擬儀表的差異性

### 3.2 人機介面的成果

目前我們在本系統的人機介面是架構在 PC 上的 LabVIEW 軟體，其 GUI 的介面如圖 3.1 所示。

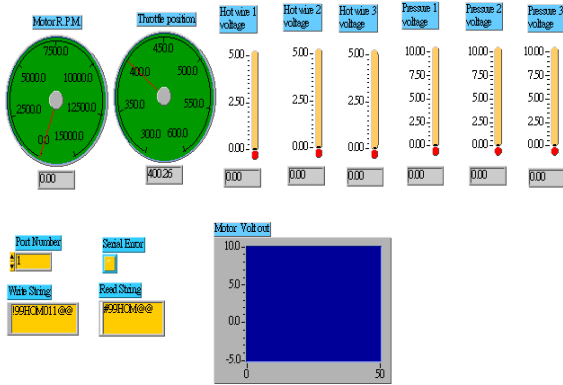


圖 3.1 以 LabVIEW 實作出的人機介面

在實作 LabVIEW 的人機介面上，主要可分成以下四大部份：

A/D converter：如圖 3.2 所示，在本 Compressor 系統中，會從 Flow Transducer、Pressure Transducer 藉由 AD/DA 卡（本系統是採用 ADVANTECH 公司所生產 AD/DA 卡，編號為 PCL 818H）讀取電壓值，以求得系統的狀態。

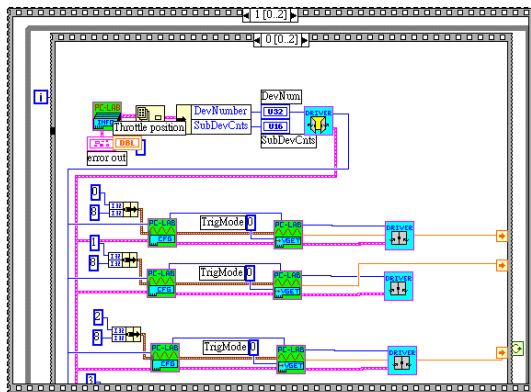


圖 3.2 以 LabVIEW 實作 A/D Converter 的程式

D/A converter：在求得系統狀態後，可藉由控制法則運算後，再由 D/A converter 輸出控制訊號，控制 Motor Speed，如圖 3.3。

RS 232 通訊：在本系統中，是藉由 RS232 來和 Throttle 平台做通訊；從 RS232 讀取 Throttle 的位置，再配合 Flow Transducer、Pressure Transducer 和

Photo Encoder 所讀取的值，作為控制法則的輸入，經由控制法則的運算後，可再由 RS232 送出訊號，以控制 Throttle 的位置，Labview 程式如圖 3.4。

GUI 介面：如圖 3.1 所示，將所量測的各種訊號，顯示在操作者的螢幕上，可使操作者對目前的系統狀態一目了然。

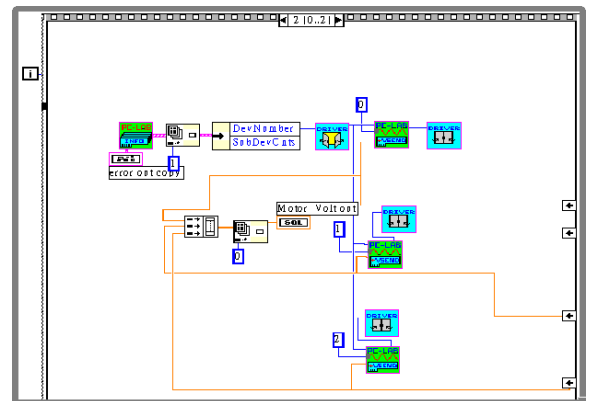


圖 3.3 以 LabVIEW 實作 D/A Converter 的程式碼

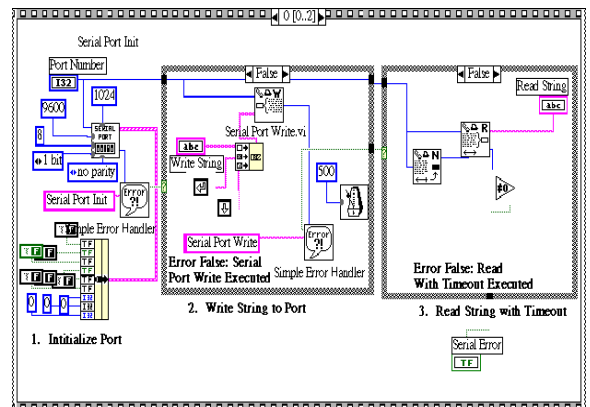


圖 3.4 以 LabVIEW 實作 RS232 通訊介面的程式碼

我們已完成了以上所提的四個部份，部份系統的訊號已可順利的讀取和送出，且亦可控制週邊硬體，並在 PC 上以 GUI 的圖形化介面(圖 3.1 所示)顯示在操作者的螢幕上。只要再將控制法則的 Function，整合到此 LabVIEW 的程式中，則人機化的控制介面即可大致完成。

如前所述，我們在這兩年裡除了對壓縮機系統的流場完成評估，定義所需要的量測器材之規格，也已經完成主要量測儀器的建構，分別安裝在量測點上。此外，也完成壓力計與流速計的初步校正及調整工作。在考慮研究時程及與其他子計畫的配合，雖然介面電路暫時為採購，但電路的研製雛形也已完成。

軟體撰寫部份，在人機介面軟體、主機監控軟體都已初步完成，可以運作。已完成的軟體均以程式語言 C++ 撰寫。此外數據處理的軟體已經有相當的功能，可以處理目前的實驗數據，並計算出所需的數值。

本計畫這兩年所完成的具體進度有：

- (1) 評估流場量測有關的周邊系統，並定義各項必要的規格。
- (2) 收集流場量測相關的文獻資料。
- (3) 完成基本的流場量測系統。
- (4) 完成主機監控軟體及人機介面設計。
- (5) 完成初步之流場計算軟體。
- (6) 協助完成測試實驗。

相關研究成果已有多篇期刊與研討會論文發表，詳見參考文獻。

#### 四、計畫成果自評

實驗的目的在於驗證控制法則及理論的可行性，在理論上，我們已經有不錯的成果，因此，我們自己建構了一套小型壓縮機系統來驗證我們的控制法則之可行性，雖然我們已有上述的成果，但由控制的觀點來看，目前的量測元件所得之訊號誤差與雜訊過大，如將此訊號應用於控制上可能會有些失真現象出現，因此，需要由硬體或軟體方面來改進量測元件的性能，以增加控制的可行性與準確性，此外，我們想利用統計資料收集與分析的方法，來增加量測元件的準確性，使量測的數據更準確、更能反映真實系統。而目前調氣

閥的反應速度與旋轉失速的頻率仍有差距，故我們也要改進調氣閥的反應速度，以達到控制的目的。因現有軸向流壓縮系統的量測與制動器(actuator)尚有以上的缺點，並不符合本研究計畫預期目標之需求。因此，在未來研究中，我們將現有壓縮機系統的性能改良與量測訊號處理列為首要工作項目。

#### 五、參考文獻

- [1] D. -C. Liaw, Y. W. Liang and T. C. Lee, "Reliable control of nonlinear systems," IEEE Trans. Automatic Control, Vol. 45, No.4, 2000, pp. 706-710.
- [2] Y. -W. Liang and D. -C. Liaw, "Detection of surge and stall in compression systems: an example study," IEEE Trans. Automatic Control, accepted for publication Feb. 2001.
- [3] 廖德誠, "軸向流壓縮機控制系統之研發(2/3)" 工程科技通訊, 第 55 期, 第 147-148 頁, 西元 2001 年四月。
- [4] Y.-W. Liang, D. -C. Liaw, Y.-C. Wu and W.-Y. Huang, "On detection of surge and stall in compression systems," Proc. 2000 National Symposium on Automatic Control, Hsinchu, Taiwan, R.O.C., March 9-10, 2000, pp.102-107.
- [5] Y.-W. Liang and D. -C. Liaw, "Application of FIDF to the detection of instability behavior in compression systems", Proc. 39th IEEE Conf. on Decision and Control, at Sidney, Australia, 2000.
- [6] D. -C. Liaw, "噴射引擎控制之展望," 89 年國科會工程處航太學門產業研討會論文集, 淡水, Taiwan, R.O.C., December 16,2000, pp172-174.
- [7] D. -C. Liaw, W. -C. Lee, S. -M. Ren, and Y. -Y. Tsay, "A parametric study of axial flow compressor dynamics," PICAST 4, Tainan, Taiwan, R.O.C., May 21-23, 2001.
- [8] Y. -C. Wu, K. -S. Kou, D. -C. Liaw and Y. -W. Liang, "Using subspace method to identify the compression system parameters," PICAST 4, Tainan, Taiwan, R.O.C., May 21-23, 2001.
- [9] Y. -W. Liang, D. -C. Liaw and Y. -C. Wu, "Detection of instability behaviors in compression systems," PICAST 4, Tainan, Taiwan, R.O.C., May 21-23, 2001.
- [10] Andrew M. Wo, W. -Y. Huang, W. -C. Chung, J. -M. Liao, Y. -W. Liang and D. -C. Liaw, " A test-bed for experimental study of axial flow compressor," PICAST 4, Tainan, Taiwan, R.O.C., May 21-23, 2001.