

自動化均壓設備性能提升與系統研發

The Performance Promotion and System Development of Automatic Isostatic-Press Equipments

胡明森¹ 江支汶² 吳文君³ 鄭宇森⁴

Ming-Sen Hu, Cin-Yong Jian, Jr-Wen Jiang, Yu-Sen Cheng

¹ 航空電子工程科副教授 ^{2,3} 航空電子工程科講師 ⁴ 航空電子工程科助教

空軍航空技術學院

Department of Aviation Electronics Engineering, Air Force Institute of Technology

摘要

因應我國產業發展形態已進入精密工業階段，各種工業材料之製程設備皆強調高精密度之品質需求；本研究開發完成一個應用於精密材料製程之高壓均壓設備實驗系統，其對現有均壓設備進行以下四方面之性能提昇和改良：（一）自製電動注射泵為均壓機之加壓源，以改善目前採用氣動高壓泵或油壓增壓器為壓力源時，會因產生壓脈衝而降低精密材料製造品質之缺點。（二）以單密合圈插梢固定方式製作加壓腔，以改善目前國內生產之加壓腔易因金屬壓力不均勻而變形、故障且密合圈難維修等問題。（三）將均壓設備密合部份之耐壓圈壓力極限從 10000 psig（目前國內生產設備）提升至 30000 psig。（四）供使用者在電腦上透過簡易的圖表編輯方式完成壓力條件曲線之設定，並進行長效且高精密度之自動化均壓控制工作。

關鍵字：精密材料製造、均壓機、壓脈衝、密合圈、壓力極限

Abstract

In order to meet the needs of the precise domestic industry, the manufacture process equipment for industrial materials emphasizes the quality of high precision. In this research, we develop an experimental system of isostatic press equipment which is used in the manufactures of precise materials. This development focuses on the followings: (1) The pneumatic activating high pressure pump, which is used generally, is replaced by the self-manufactured electronic activating syringe pump as the press source of the isostatic press equipment. When the press source of the pneumatic activating high pressure pump performs increasing pressure actions in pressure liquid saturation state, each throw generates big pressure pulses. These pressure pulses decrease the material quality. The use of self-manufactured electronic activating syringe pump will compensate the deficiency. (2) The design of each high pressure tank of current isostatic press equipment is single piston double packing without upper & lower covers. It is very difficult to maintain the equipment because it is uneasy to update its piston packing, and its shape of the

open part may be transformed easily under pressure. A design of single packing clamper is provided in this project to overcome the deficiencies. (3) The pressure limit of the packing of the current isostatic press equipment is only 10000 psig. This research promotes the packing pressure limit to 30000 psig. (4) The pressure condition curves may be setup in computer through chart editing, and the isostatic process can be performed by curve tracking with persistent effect and high precision.

Key Words: manufactures of precise materials, isostatic press machine, pressure pulse, piston packing, pressure limit

一、前言

我國自進入精密工業的經濟型態後，精密材料之製造已成為重要的新興產業[1,2,3]，在材料的領域中，大致可以分成三個部份，即金屬、高分子、與陶瓷。以陶瓷為例，由於材料在工程應用上的條件日趨嚴苛，且隨著科技的突飛猛進，許多具有特殊功能的陶瓷產品陸續誕生，使得原以傳統工藝與藝術為主的傳統陶瓷漸漸演進成了今日科學且高科技的『精密陶瓷』(Fine Ceramics)。精密陶瓷是採精製的高純度無機材料為原料，利用各種化學或物理方法精確控制組成及均勻度，再以乾式壓製、鑄漿、或射出成形等方法成形後，經過精確的反應及燒結步驟，使其顯微結構與物性、化性達到一定標準，再經過加工製成具有卓越機能的成品。它具有堅硬、耐磨、耐壓、耐高溫、耐酸、耐鹼等持久的特性，並具有相當優異的光、電磁、熱功能以及生物相容性。依據運用的範圍可將精密陶瓷分成三大類：(1)電子陶瓷，(2)結構陶瓷，(3)生醫陶瓷。電子陶瓷是指具有電學、光學、磁性等特性的陶瓷；結構陶瓷主要應用其優良的機械特性，可用在汽車引擎、噴嘴、石油鑽頭等用途上；生醫陶瓷則可以應用在人工骨骼、人工齒等用途上。

在各種精密材料製造過程中，均壓機(isostatic press machine)是為主要的一種製程設備[12,13,14]。均壓機可對材料的初級成品在各方向均勻地施予高壓，達到移除空

隙、提高密度、增加強度或混合不同材質產生新材料之目標，它可廣泛地應用在各種金屬和精密陶瓷材料之製作上。為提昇精密材料產業在國際上之競爭力，各種精密材料對於製作品質之要求愈來愈加重要，然目前國內所製造之均壓設備大都因循國外舊有製程[4,5,6]，仍有誤差大、維修困難、操作條件受限、及過分仰賴外來貨源等問題。本研究因應於此，將改良國外進口及國內製造有關均壓機之缺點，使之更精準、更人性化，且於密合圈之設計及高壓活塞的製作方面，尋找創新與突破，希冀在此一工作機的製作技術上，作一較完善的提昇，得以與世界技術先進國家相競爭[15,16,17]。

本研究之目的主要是針對國內精密材料製造上所需之冷/熱均壓設備，進行以下四方面之性能提昇和系統改良：

1. 現有均壓設備均以氣動高壓泵或油壓增壓器為壓力源，此種壓力源在加壓液飽合狀態下作增壓動作時，每一衝程均會造成很大的壓脈衝，此種壓脈衝易使包覆陶瓷料之軟性材料破裂，而使製程失敗，導致材料與人力之浪費；本研究以自製電動注射泵為加壓源來改善此一缺點。
2. 目前國內生產均壓設備之加壓腔並無上下蓋，採單活塞雙密合圈設計，此種設計之缺點是維修不易，因密合圈不易更換，且在開口部份因壓力而變形的機會較大；本研究以單密合圈插梢方式設計，其優點為(1)節省材料、(2)受力均勻且密合圈易設計、(3)適合自動化驅動之控制。

- 3.現有國產均壓設備密合部份耐壓圈之壓力極限為 10000 psig，並無法滿足目前精密材料產業之要求；本研究使用耐壓圈為五層之 V 型 packing，計算之耐壓為 3000 大氣壓（約 44000 psig），俾得以便於使用者運用於產品設計，提升產業競爭力。
- 4.為進行長效且高精密度之均壓控制工作，壓力條件曲線之設定與操控均需耗費大量人力，我們運用自動控制[18,19]技術，採用電腦來自動化均壓程序之控制工作，讓使用者能藉著圖表編輯（chart editing）方式來定義及調整壓力與排氣之設定條件，以降低人力操作成本。

在本研究中，我們研製一套具備上述改良功能的高壓均壓設備實驗系統；在硬體部分，我們自製電動高壓注射泵與加壓腔等關鍵組件，並依規劃之架構完成硬體系統之製造；在軟體部分，我們以 LabVIEW 語言[9,10]完成圖表編輯系統和自動化均壓控制系統等軟體程式之設計和撰寫，前者可供使用者簡易地進行壓力工作曲線和排氣時序之設定，而後者可依所設定之壓力曲線及排氣要求，進行均壓作業程序之自動化控制工作；最後我們進行軟、硬體系統之整合與測試，進而完成整體系統之開發。

二、系統架構與工作原理

本研究藉由構建一套電腦化控制之小型均壓機實驗系統，來驗證本研究所提出之方法對於此種設備性能之改良成效。此實驗系統之系統架構如圖 1 所示，其中各組成單元之功能分述如下：

- 1.排氣控制閥(Vent Control Valve)：用於系統初期排氣。
- 2.高壓腔(High Pressure Tank)T-01：用於作均壓產生之環境。
- 3.壓力傳送器(Pressure Transducer)：用於偵測壓力。
- 4.儲水槽(Water Tank)T-02：用於加壓水之儲存。
- 5.高壓注射泵(High Pressure Pump-01)P-01

：用於壓縮系統容積產生高壓。

- 6.高壓注射泵(High Pressure Pump-02)P-02：用於補充第一級泵之壓力不足。
- 7.高壓腔密合驅動器(Tank Sealing Actuator)：用於自動高壓密合夾套或插梢之驅動。
- 8.驅動器極限開關(Actuator Limit Switch)：用於限制驅動器位移及保護驅動器油壓或電動元件。
- 9.位置極限開關(Piston Limit Switch-01)：用於偵測注射泵 P-01 之上下限位置。
- 10.位置極限開關(Piston Limit Switch-02)：用於偵測注射泵 P-02 之上下限位置。
- 11.控制箱(Control Box)：用於作手動控制或微動控制。
- 12.類比/數位轉換卡(A/D Card)：作為資料擷取與控制之用。
- 13.個人電腦(PC)：作為資料擷取與控制之本體，在個人電腦中執行均壓控制軟體，可供使用者隨意設定均壓控制程序，再進行曲線追蹤之自動控制。

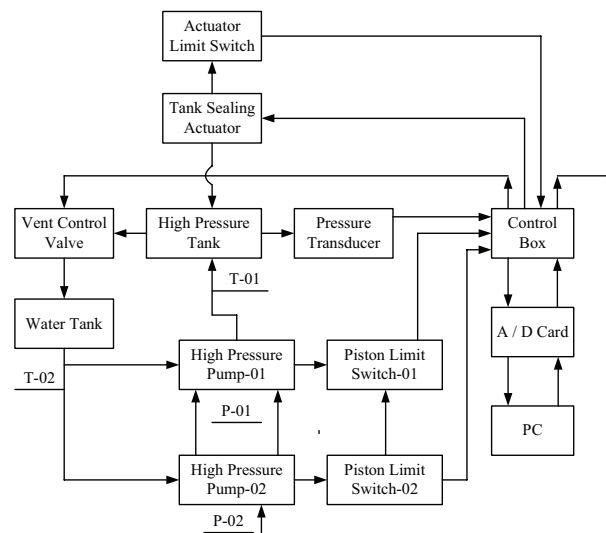


圖 1. 系統架構圖

本實驗系統之 P&ID 如圖 2 所示，其中 T-01 為高壓腔耐壓 30000psig 無轉程設計材質 ss316，T-02 為防銹水儲槽、材質 ss316，PCV-01 為高壓排氣及關斷控制閥

、耐壓 45000 psig，FS-01 為流量開關，RD-01 為爆破片、壓力設定為 40000 psig，PT-01 為壓力傳送器、壓力範圍為 0-30000 psig，P-01、P-02 為 30000psig 級之高壓增壓泵，M-01、M-02、M-03 為電腦控制正逆轉馬達，LSH-01、LSH-02、LSH-03 為活塞位置開關(Hi)，LSL-01、LSL-02、LSL-03 為活塞位置開關(Lo)。

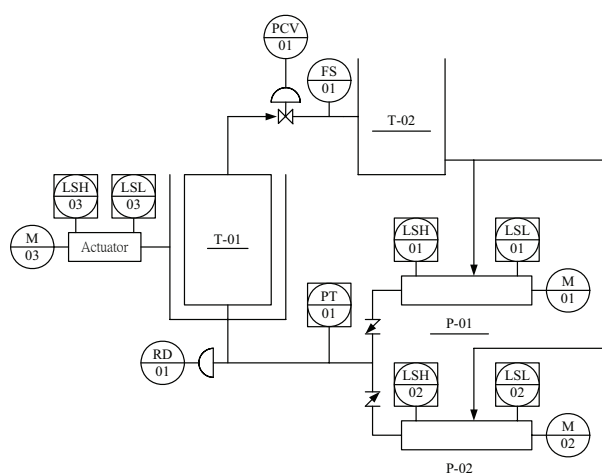


圖 2. 高壓均壓機 P&ID

系統工作原理如下：

- (1) P-01 及 P-02 作充壓動作前先後退至觸動 LSL-01 及 LSL-02 為止，將 T-02 中之加壓吸入 Pump 活塞中。
- (2) 初級成品置入 T-01 中並驅動 M-03 至 LSL-03 位置以達密閉功能。
- (3) 由控制單元先驅動 P-01，作加壓至第一級壓力(100~200kg/cm²)，並持續一設定時間以作排氣用。
- (4) 啟動 PCV-01 作排氣直至水排出，FS-01 動作時關閉 PCV-01。
- (5) 控制單元繼續依工作曲線執行加壓動作，如 P-01 之活塞位置已觸動 LSH-01，則改驅動 P-02，繼續加壓，直至完成所有工作曲線。
- (6) 工作曲線完成後控制單元再次驅動 PCV-01，將 T-01 中之壓力洩至 T-02 儲桶中，直至 PT-01 所測值為零為止。
- (7) 驅動 M-03 逆轉至活塞位置 LSH-03，

並打開 T-01 取出均壓製成品，動作完成。

本研究以精密陶瓷材料初級成品進行均壓作業，整個均壓作業之控制程序規劃如圖 3 所示。圖 3 中高壓腔 T-01 之壓力曲線即為所規劃之均壓作業工作曲線，在 T1 時段，P-01 開始加壓且 PCV-01 開啟排氣約 3 分鐘關閉，以建立最初壓力；經過 T2 時段第一次的加壓後，在 T3 時段關閉 P-01 讓壓力第一次持平，且在 T3 初期進行第二次排氣，排除高壓腔中剩餘之空氣；之後在 T4 時段 P-01 繼續加壓，而當 P-01 到頂以致觸發活塞位置開關 LSH-01，則關閉 P-01，改由 P-02 接手繼續加壓，直到高壓腔 T-01 之壓力到達所設定之最大值(30000psig)，然後進入 T5 時段，壓力為第二次持平；接著分別在 T6、T8 及 T10 等時段進行三個階段之洩壓，此時 P-01 與 P-02 同時逆轉洩壓，而在 T7 與 T9 兩時段壓力維持第三次和第四次之持平。最後在完成 T10 時段之洩壓後，PCV-01 再度開啟排氣，高壓腔之壓力回復至零，完成整個均壓作業程序。

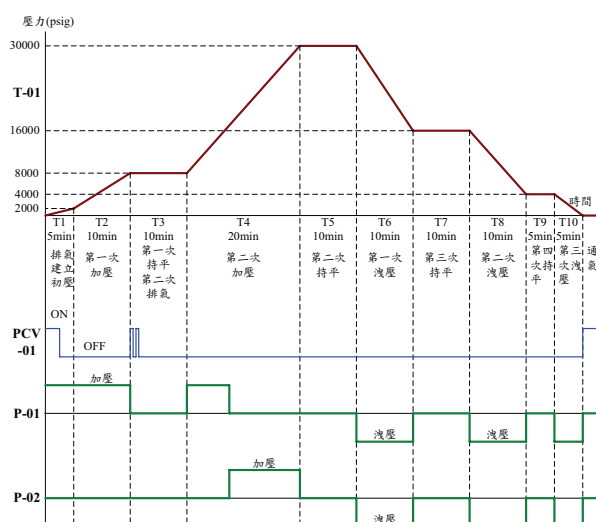


圖 3. 均壓作業時序圖

三、硬體系統設計

在本研究中我們自製電動高壓注射泵作為均壓設備之加壓源，首先依據材料之抗拉強度及使用壓力，計算出泵本體之厚度，本體厚度 t 之計算參照壓力容器構造規格之端板/管板厚度公式[11]如下：

$$\sqrt{\frac{P \cdot d}{2 \cdot \delta \cdot X}} \quad \dots\dots(1)$$

各參數之定義如下：

d ：為接合面最小跨距（無縫無焊接）內直徑 = 50mm。

Z ：為常數，由平板型狀而定，本研究採圓形平板其值為 1。

C ：為依平板固定方法所決定之常數，採無縫無焊接時其值為 0.25。

P ：為最高工作壓力，定義為 $30000\text{psig} = 2109\text{kg/cm}^2$ 。

δ ：為材料之抗拉強度，ss316 鋼材之抗拉強度為 52kg/mm^2 。

X ：為容許拉應力對抗拉強度之比率，其值為 0.25。

α ：為腐蝕裕度，其值為 1 mm 以上。

根據以上參數之定義，計算高壓注射泵本體之最小厚度如下：

$$\sqrt{\frac{P \cdot d}{2 \cdot \delta \cdot X}}$$

本研究中，取高壓注射泵內直徑 = 50mm，依經驗值取腐蝕裕度 α 值為 7.3mm，故本體之實際厚度為

$$t_{\text{高壓注射泵}} = 12.7\text{mm} + 7.3\text{mm} = 20\text{mm}$$

高壓注射泵之製作是以實心棒作深孔加工及內拋光處理，活塞體部分由馬達及螺旋變相裝置，將圓周運動改變成直線運動，此高壓注射泵之實體如圖 4 所示。



圖 4. 高壓注射泵實體照片

再者，我們以單密合圈夾套方式製作加壓腔，首先依據材料抗拉強度及使用壓力來計算出腔體厚度，腔體厚度 t 之計算仍參照壓力容器構造規格之端板/管板厚度公式(1)進行，各項參數之定義與前述相同，唯無縫無焊接之接合面最小跨距 d 定義為 50mm，則計算加壓腔本體之最小厚度如下：

$$\sqrt{\frac{P \cdot d}{2 \cdot \delta \cdot X}}$$

依經驗值取腐蝕裕度 α 值為 8.2mm，故高壓注射泵本體之實際厚度為

$$t_{\text{加壓腔}} = 31.8\text{mm} + 8.2\text{mm} = 40\text{mm}$$

加壓腔之製作亦以實心棒材作深孔加工製作，驅動裝置及腔體蓋板、支架等，以油壓驅動元件採購組裝完成，其實體如圖 5 所示。

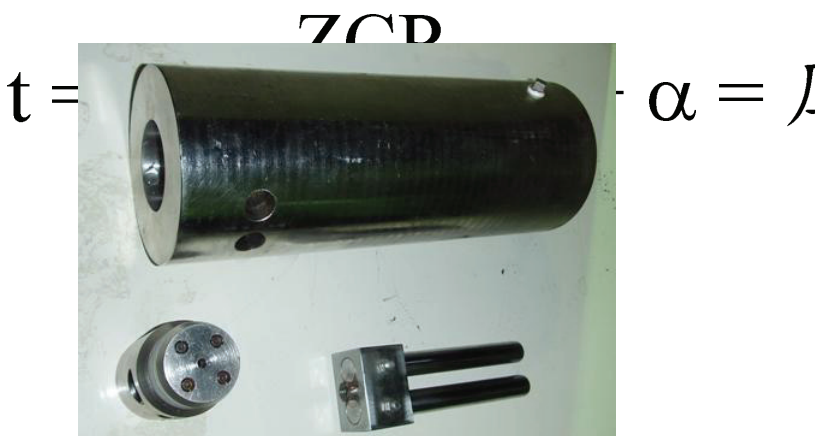


圖 5. 完成之加壓腔實體照片

在完成高壓注射泵與加壓腔這兩項關鍵元件的製作之後，我們接著進行整體高壓均壓設備之設計、組裝與製作，高壓均壓設備製作結構之示意圖如圖 6 所示。根據圖 6 之結構示意圖所開發完成之高壓均壓機實驗系統如圖 7 所示。

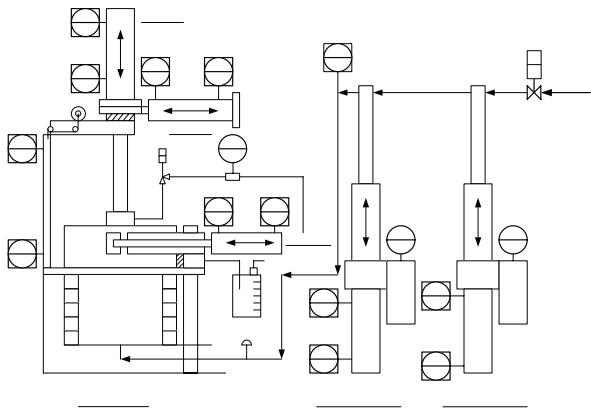


圖 6. 高壓均壓設備示意圖

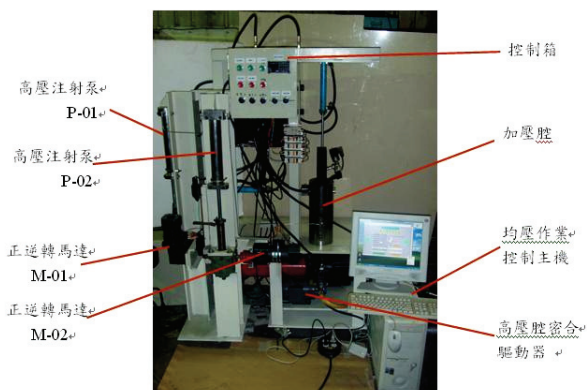


圖 7. 高壓均壓機實體照片

四、均壓控制軟體設計

本實驗系統的控制軟體是以 LabVIEW 語言開發而成，軟體的功能包括工作條件之設定及均壓程序之自動控制。在工作條件設定方面，我們主要提供使用者設定 T-01^{LSH} 壓力條件曲線及 PCV-01 之排氣電壓條件曲線，這兩種條件曲線之設定皆可透過軟體直接在壓力/排氣之控制圖(control chart)和順序表(order table)中完成。控制圖是一個以⁰⁶壓力或電壓為縱軸、以時間為橫軸的二維曲

線圖，可用來定義壓力或電壓在各時段之目標值，使用者可藉著指定橫軸與縱軸的單位和範圍來自動產生一張具二維格子的空白控制圖，再以滑鼠點選的方式直接在該二維格子圖上定義出某一段時間中壓力或電壓目標值的變化曲線。

例如，圖 8 是定義 T-01 前半部份壓力條件曲線之壓力控制圖，圖中壓力的定義範圍可自 0 到 32000psig，時間軸每一格的單位為 1 分鐘，控制圖上方顯示該圖之存檔路徑。圖 9 則是定義 PCV-01 排氣開關變化曲線之第一張排氣控制圖，圖中電壓的定義範圍自 0 到 10V，時間軸每一格的單位為 30 秒，控制圖上方同樣顯示該圖之存檔路徑。

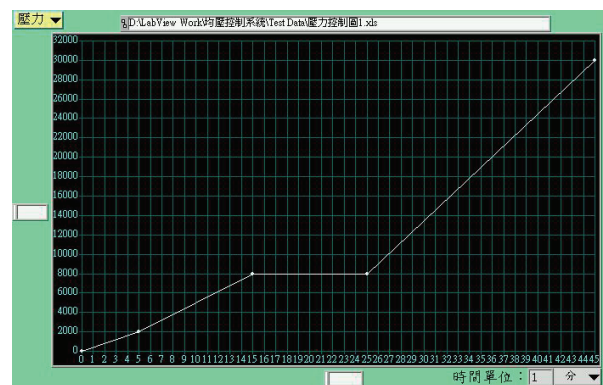


圖 8. 壓力控制圖

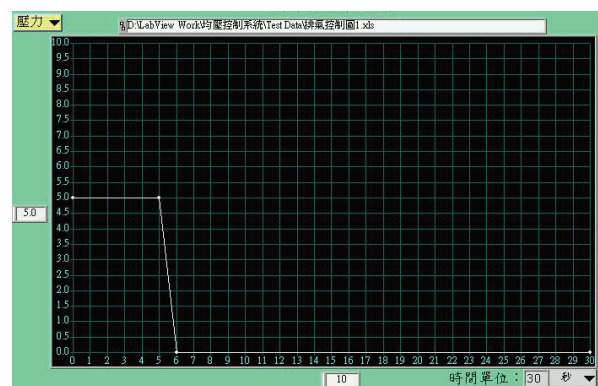


圖 9. 排氣控制圖
cylinder 1

隨著不同均壓作業程序之需要，使用者可定義出許多不同規格和不同曲線變化之控制圖。而壓力順序表是由一組壓力控制圖之存取路徑與引用順序所組成的二維圖表，使用者可在每一張順序表中指定壓力在進行曲

PIS
01

線追蹤控制時所要引用到的所有壓力控制圖，以及這些控制圖之引用順序。例如圖 10 為記錄三張壓力控制圖之存檔路徑的壓力順序表。



圖 10. 壓力順序表

在均壓程序之自動控制方面，我們改進原分時分點每點均做調整的控制模式[7,8]，使其同時適用於類比式控制和數位式控制。在此種改良的控制模式中，系統對於壓力之控制屬於一種類比式控制，主要是依壓力順序表所指定之次序逐一讀取壓力控制圖，並根據控制圖中壓力曲線之定義，依時序先後對曲線中的每一點做比例調變，再以調變後之輸出驅動所配合之控制器（正逆轉馬達），進行加壓或洩壓之控制工作；然後將每一次控制結果回授於壓力控制圖中與曲線之設定值做比較，以達到追蹤壓力曲線之目的。而對於排氣開關之控制則是一種數位式控制，系統可依排氣順序表所指定之次序逐一讀取排氣控制圖，並擷取控制圖中每一點的電壓值進行判斷，若電壓值高於 2V，則開啟排氣作業（PCV-01 為 ON）；若電壓值低於 2V，則關閉排氣(PCV-01 為 OFF)。

整個均壓控制軟體主要是由通用控制圖編輯器及自動控制驅動系統所組成，其軟體架構如圖 11 所示，各子系統之功能分述如下：

1.通用控制圖編輯器：可提供使用者編輯壓力和排氣之控制圖和順序表。控制圖的編

輯方式是由使用者先指定某一物理量（壓力或電壓）和時間的單位與範圍，以自動產生一張具二維格子的空白控制圖，再以滑鼠點選的方式直接在該二維格子圖上定義出該物理量的目標值變化曲線。使用者可依其需要定義出許多不同單位和不同範圍之控制圖。順序表的編輯方式亦是由使用者先建立一張空白順序表，然後在其中指定所有需用到的控制圖及其引用順序。

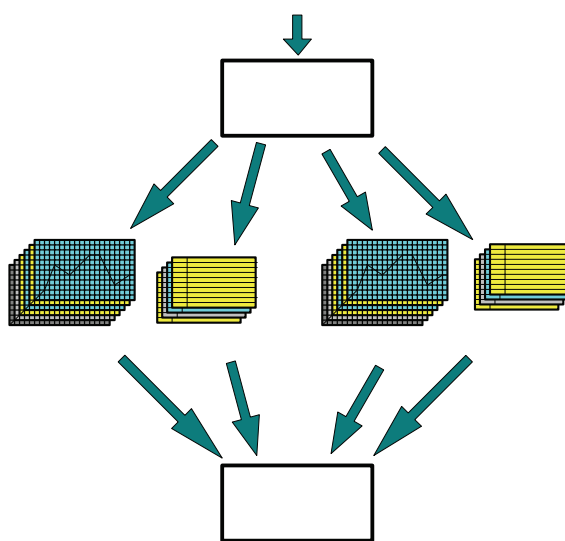


圖 11. 軟體架構圖

2. 自動控制驅動系統：可接受使用者在通用控制圖編輯器中所編輯的壓力控制圖和壓力順序表，以及排氣控制圖和排氣順序表，藉此來提供壓力和排氣電壓條件曲線之定義。此自動控制驅動系統可先提供使用者設定各種控制參數，如取樣頻率、存檔頻率、存檔路徑、誤差範圍（比例帶）、…等；接著據此執行條件曲線追蹤之自動控制工作，主要的控制動作如下：

(1)分別從壓力和排氣控制圖曲線之定義
中計算壓力與電壓之目標值。

(2)依據取樣頻率進行壓力資料（實際值）之擷取，並在螢幕畫面上顯示其實際值與目標值之變化情形。

(3)在壓力部份，將所擷取的壓力實際值與目標值進行比較，並根據使用者設

定之比例帶，來決定是否要啟動或關閉加壓及洩壓等控制裝置；在排氣部份，若電壓之目標值大於等於 2V，則開啟排氣開關，若小於 2V 則關閉排氣開關。

(4) 依據存檔頻率和存檔路徑來儲存壓力之特性資料。

反覆執行上述(1)至(4)之步驟，直到所有壓力控制圖或所有排氣控制圖引用完畢。

五、自動化均壓控制程序

高壓均壓控制系統執行的主畫面如圖 12 所示，此系統包含兩項主要功能，一是控制圖與順序表之編輯，二是均壓作業程序之控制。要編輯控制圖與順序表，可點選畫面中的『編輯圖表』按鈕，系統將進入通用控制圖編輯器，供使用者進行圖表編輯工作。

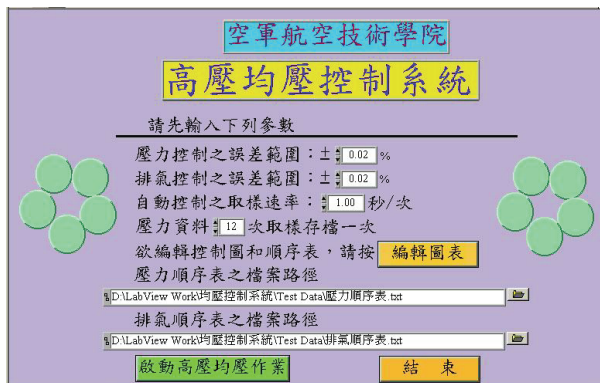


圖 12. 系統主畫面

待完成控制圖與順序表的編輯之後，使用者可先在圖 12 的主畫面中設定執行均壓作業之相關參數，例如目前設定之可容許誤差範圍為 $\pm 0.02\%$ 、取樣速率為每秒 1 次、存檔頻率為每 12 次取樣存檔一次、以及壓力順序表和排氣順序表之檔案路徑等，接著點選『啟動高壓均壓作業』按鈕，系統即進入高壓均壓作業之控制畫面，如圖 13 所示。

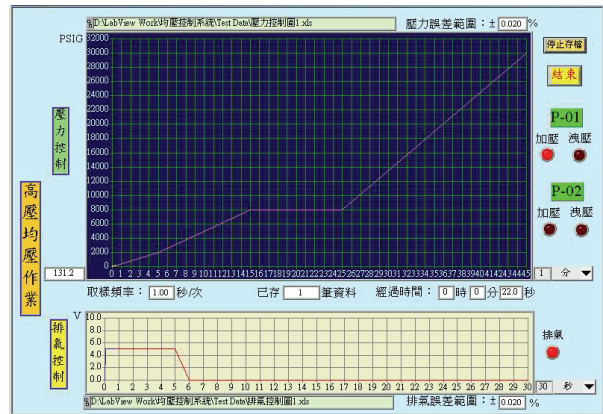


圖 13. 高壓均壓作業控制畫面

在執行高壓均壓作業之前，系統會先根據主畫面中檔案路徑之設定，分別讀取所需之壓力順序表和排氣順序表，然後從壓力順序表中取出各壓力控制圖存檔路徑，而從排氣順序表中取出各排氣控制圖存檔路徑，再依序讀取各控制圖供均壓作業控制之用。在圖 13 的畫面中顯示已分別讀取第一張的壓力控制圖（畫面上方）和第一張的排氣控制圖（畫面下方）進來，並開始根據控制圖中設定之壓力值與排氣電壓值，進行壓力和排氣之自動控制工作。

在壓力之控制部分，系統依據取樣速率每秒擷取實際壓力值 1 次，並與壓力控制圖中設定之目標值進行比較，當兩者之差距超過可容許之誤差範圍時，若實際值小於目標值且 P-01 尚未到頂，則由 P-01 注射泵進行加壓（只有 P-01 加壓燈號會亮），若 P-01 已到頂，則改由 P-02 注射泵加壓（改為 P-02 加壓燈號會亮）；而若實際值高於目標值，則 P-01 與 P-02 同時洩壓（P-01 與 P-02 洩壓燈號皆亮）；當兩者之差距在可容許之誤差範圍內時，P-01 與 P-02 皆不動作（所有燈號皆不亮）。

在排氣之控制部分，系統亦依取樣速率每秒從排氣控制圖中擷取電壓值作為控制依據，若該電壓值大於等於 2V，則啟動排氣作業（排氣燈號會亮），而若該電壓值小於 2V，則關閉排氣作業（排氣燈號會暗）。

壓力與排氣之控制工作同時進行，必須

當所有壓力控制圖或所有排氣控制圖全部處理完畢，才會結束整個均壓作業程序。另一方面，系統會依據主畫面中設定之存檔頻率，每經過 12 次取樣（間隔 12 秒）後便將當時之壓力值存入預設之檔案中一次，作為整個均壓作業壓力變化資料之記錄。

六、執行結果分析

本系統之測試是以精密陶瓷材料初級成品進行高壓均壓作業，並依圖 3 所定之時序圖，分別定義三張壓力控制圖（檔案路徑記錄在圖 10 之壓力順序表中）及五張排氣控制圖。均壓作業的控制參數如圖 12 主畫面之定義，整個作業歷時 97 分鐘，系統所記錄的壓力變化資料包括「歷時」與「壓力值」兩個欄位，每次記錄的時間間隔為 0.2min（12 秒），共記錄 486 筆資料，壓力變化資料檔之格式如下表 1 所示。

表 1. 壓力變化資料檔案格式

歷時(min)	壓力值(psig)
0	0
0.2	73.3
0.4	153.6
0.6	234.2
:	:

依據所紀錄之壓力變化資料繪製壓力 vs. 時間之圖表如圖 14 所示。

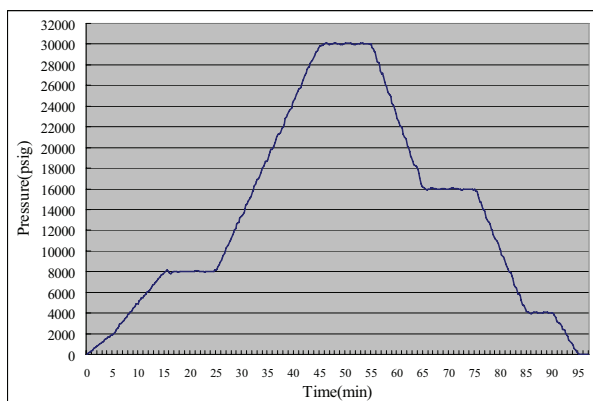


圖 14. 均壓作業之壓力變化圖

從圖 14 的壓力變化情形，顯示本次實驗可獲得以下結果：

1. 自製之加壓腔與高壓注射泵皆能正常運作，且加壓腔的壓力變化最高可達 30000psig，符合本研究預定之目標。
2. 壓力變化曲線與圖 3 預定之時序圖相吻合，符合均壓作業要求。

系統可依順序表與控制圖所定義之規格進行均壓控制工作，達成自動化之目標。

七、謝誌

本研究感謝國科會 NSC 94-2622-E-344-001-CC3 提供專題計畫之補助，使自動化均壓實驗系統得以開發完成。

八、參考文獻

1. 民國八十三年全國材料科技會議-邁向廿一世紀產業發展之材料科技策略，行政院材料科技發展推動小組，1994 年 6 月 17 日。
2. 汪建民、許祿寶，我國電子材料產業發展策略，工業材料第 92 期，1994 年 8 月，頁 41-51。
3. 汪建民、張克敏、陳中屏、吳覺宇、林唯貞、謝茂城、林益成、溫宏遠、李秉傑，我國工業材料產業科技發展中長程規劃計畫執行報告，工業技術研究院，1995 年 3 月。
4. 宏棋精密科技股份有限公司，<http://www.honqchi.com.tw>
5. 綺灝國際有限公司，www.chiefup.com.tw
6. 肯昇有限公司 [代理產品]，www.khuco.com/import_c.htm
7. 胡明森，應用於測試用工具機械之條件曲線追蹤的控制模式，國科會補助提升產業技術及人才培育研究計畫期末報告，NSC 91-2622-E-344-001-CC3。
8. 胡明森，用於條件曲線設定和追蹤的萬用自動控制軟體之設計，空軍航空技術學院學報，第二卷，第一期，九十二年八月一

日。

- 9.蕭子健、儲昭偉、王智昱 (2004) ,
LabVIEW 基礎篇, 第三版, 高立圖書。
- 10.蕭子健、儲昭偉、王智昱 (2004) ,
LabVIEW 進階篇, 第三版, 高立圖書。
- 11.標準機械設計圖表便覽, 改新增補二版
, 82 年 7 月 2 日, 台隆書店。
- 12.C.-J. Liu and H. Yamauchi, 1995,
"Thermoelectric power and resistivity
of $\text{La}_{1.8}\text{Sr}_{0.2}\text{CaCu}_2\text{O}_{10}$ and the effects of
 O_2 hot-isostatic- press annealing",
Phys. Rev. B. vol. 51, 11826-11829.
(SCI)
- 13.Clark, H.K.,1988, Nuclear criticality
safety analysis of isostatic press,
Technical Report DPST-87-723, Du
Pont de Nemours (E.I.) and Co., Aiken,
SC (USA). Savannah River Lab.
- 14.C Baumgarten et al 1997, A low cost
isostatic powder press operating at over
100 Mpa, Meas. Sci. Technol. 8 189-
191.
- 15.EPSI Isostatic Pressing: [http://www.
epsi-highpressure.com/isos
tatic/pressing.htm](http://www.epsi-highpressure.com/isostatic/pressing.htm)
- 16.Pressure Technology, Inc. Hot isostatic
Pressing: [http://www.pressuretechnolo
gy.com/](http://www.pressuretechnology.com/)
- 17.Argonne National Laboratory Hot
Isostatic Pressing: [http://anl.gov/Lab
DB/Current/Ext/H498-text.003.html](http://anl.gov/LabDB/Current/Ext/H498-text.003.html)
- 18.Thaler, G. J. (1990), "Automatic
Control Systems" , West Publishing St.
Paul, Minn.
- 19.Wolovich, W. A. (1994), "Automatic
Control Systems" , Saunders College
Publishing.