

精密儀器之機械設計與加工實務

Mechanical Design and Manufacturing Practices for Instrumentation

陳峰志、林春堂、陳念祖、黃建堯、林進祥

Fong-Zhi Chen, Chun-Tang Lin, Lian-Tzue Chen, Chien-Yao Huang, Jin-shyang Lin

國科會精密儀器發展中心(以下簡稱精儀中心)肩負我國學術與研究所需精密儀器之雛型研製任務,所提供特殊儀器委製與設計服務,可滿足許多前瞻學術研究所需而市售儀器設備又無法提供的獨特實驗與物理現象觀測。機械是工業之母也是實現科技創意的根本,精儀中心所設機械工廠乃是扮演學術與研究創意具體化之輔助角色,透過機械設計與加工之工程技術,將各項創意與理論實體化,以實踐其前瞻學術研究,是我國科技發展之重要技術資源。本文將簡介精儀中心機械工廠支援研究計畫及其他學術研究機構之機能與發展,並介紹其機械設計與加工技術及實務,企盼提昇服務層面與技術層次,以迎合科技發展趨勢,支援我國學術研究與高科技產業發展。

In this paper, the mechanical design and manufacturing capabilities and the technical services of the machine shop of Precision Instrument Development Center (PIDC) are introduced. The instrumentation technology is related to many fields. It needs the original and innovative design concepts and the practical experiences. Mechanical design and manufacturing is an essential issue for the implementation of theoretics and the realization of advanced concepts. To support the academic researches and the industrial development, the machine shop of PIDC had established a series of design and manufacturing facilities. The machine shop is still strengthening its technical services and manufacturing capabilities. It aims to offer a better service process and play an important role in developing precision instruments in ROC.

一、概論

國科會精密儀器發展中心(以下簡稱精儀中心)設立之初即規劃成立機械工廠,運轉迄今已歷三十年,其目的在提供儀器工程技術支援,運用饒富經

驗的技術人力及精密機械加工設備,從事少量多樣化的機械元件加工與設計,期能符合精儀中心研究計畫與對外技術服務業務需求,以強化我國儀器研發之自主技術。該廠多年來已建構一系列的基本機械加工及部份非傳統加工設備資源與累積豐富的製

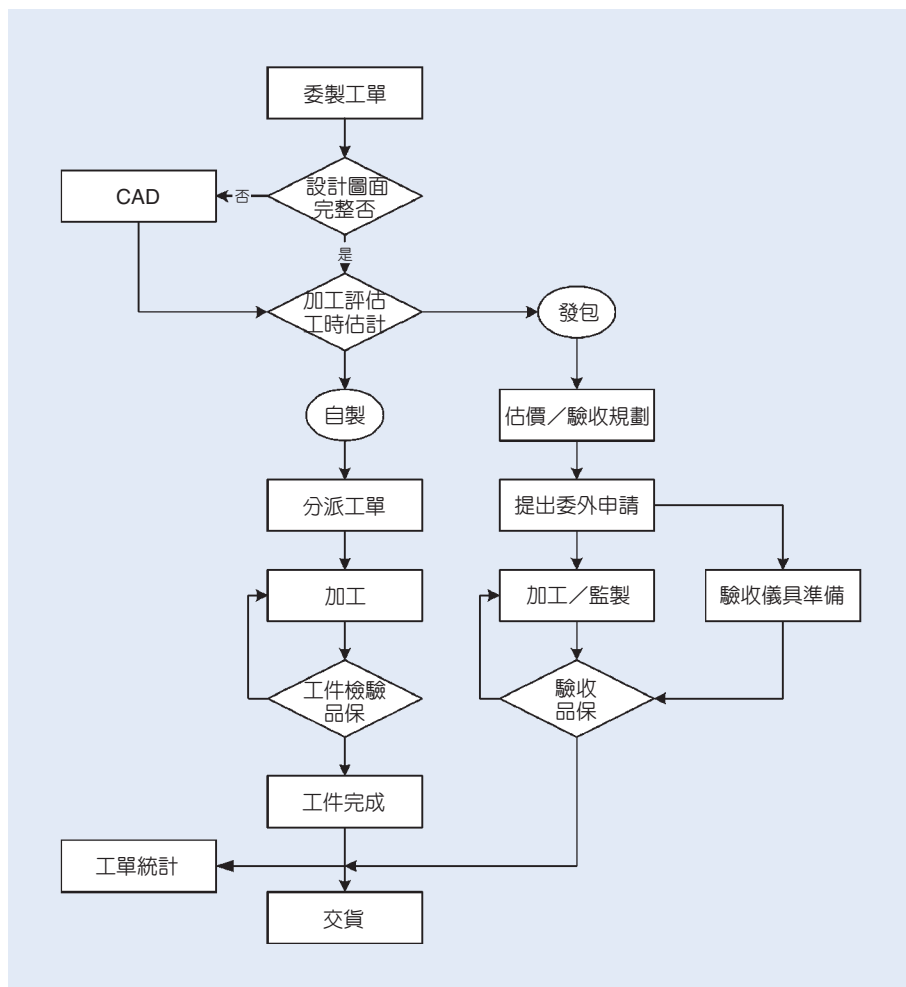


圖 1.
精密儀器發展中心機械元組件
製作與檢驗作業流程。

造技術經驗，已具備實驗工廠規模，所建立的技术能量與機械零組件製造服務，正是執行研究計畫、特殊零組件以及研究難型儀器開發，不可或缺的技术資源。為建立穩定的加工精度與服務品質，近年逐步推動機械元組件製造與檢測的標準作業流程，如圖 1 所示。對於學術研究人員而言，著重創見與邏輯的嚴謹，在工程實務上相對弱勢，若有一個技術團隊可以在儀器研製與特殊實驗所需器材提供實務上的支援，將對於實現其創意大有助益，而精儀中心機械工廠即扮演實務技術諮詢，協助進行儀器設備設計，並運用各式機械加工技術將其設計概念具體實現之重要角色。

本文旨在介紹精密儀器研製之相關實務技術概念，內容包含電腦輔助設計與製造、材料、加工實務、量測與品保，並介紹精儀中心在精密儀器相關之機械設計與製造能力。

二、CAD/CAM

機械設計與製圖是將研究創見轉化為與工程人員溝通的工具，在這共同溝通的「語言」上協調，以設計出符合創意提供者與施工人員及設備可以共同接受的施工規範。此外，所完成之機械設計製圖將可成為一技術傳遞的基準，使相關技術得以傳承與成長。1960 年代起，開始運用電腦科技進行電腦輔助機械設計 (computer aided design, CAD)，利用電腦大量儲存與計算的功能進行機械設計製圖，並進行電腦輔助工程分析 (computer aided engineering, CAE)，使得當代的航太、汽車、建築、化工等複雜度高之大型產品研發有突破性的進展。

隨著電腦科技的進步，原使用於大型電腦系統之電腦輔助設計製造軟體，已可在一般個人電腦上以 Windows 平台執行電腦輔助設計與製造系統，

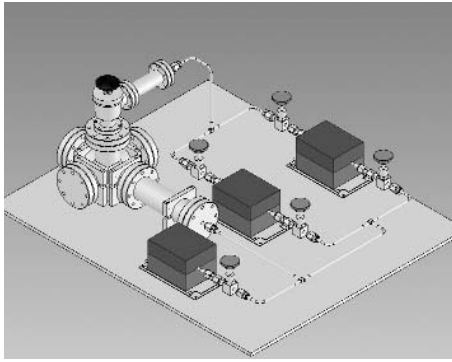


圖 2. 電腦輔助設計之 3D 實體模型組立圖—微流量產生器。

且其操作與計算效率日益提昇，因此也成為一般進行精密元件或儀器系統設計時不可或缺的工具。精儀中心機械工廠目前具有三維參數化實體模型 (solid model) 電腦輔助設計軟體 SolidWorks、Pro-Engineering 與二維平面設計軟體 AutoCAD，可以協助精儀中心研究計畫與學術界，進行儀器雛型或元組件設計，並提供 3D 實體模型元件和組立圖，利於委託單位進行設計確認。此外，92 年度起運用 3D 實體模型之動畫，可直接利用電子郵件傳遞動畫檔，提供委託單位以動畫審視確認其設計。如圖 2 為精儀中心協助工業技術研究院量測中心設計微流體產生器之電腦輔助設計組立圖。

經由電腦輔助設計所產生的圖檔除便於管理與提昇效率之外，其圖檔將可直接運用於電腦輔助機械製造 (computer aided manufacturing, CAM) 軟體進行製程規劃與模擬，使得工件在進行加工前，可經由電腦進行模擬並自動產生加工路徑，大幅提昇加

工的效率。精儀中心已引進電腦輔助製造軟體 Mastercam，進行製程規劃，如圖 3 為運用 Mastercam 進行精儀中心光學廠所需光學鏡片磨碗加工之電腦輔助製程規劃與模擬。

對於量產型工廠，在建置完善的 CAD/CAM 環境後，後續仍需逐步推動電腦整合製造 (computer integrated manufacturing, CIM) 與產品資料管理 (PDM)。CIM 是 1973 年由美國的 Horrington 博士所提出的概念⁽¹⁾，藉由電腦整合各式製造技術，1980 年代更納入同步工程的概念，使得從資訊蒐集、設計、製造、銷售與服務，均可藉於電腦所提供的快速運算與資料傳遞，提昇生產效率與獲益。PDM 是從管理 CAD/CAM 資料所衍生的電腦管理系統軟體，涉及到企業的產品設計、工藝、製造、經營和服務等部門的產品資訊，並對相關的市場需求、分析、設計與製造過程中的全部更改歷程、用戶使用說明及售後服務等資料進行統一有效的管理。由於精儀中心以儀器雛型研製為主，目前尚未建立 PDM 系統，但仍可使用現有 CAD 軟體所提供簡易功能進行設計圖檔追蹤與管理。

三、高科技工程材料—鈦與鈹

科技發展與材料技術是相輔相成且與時俱進，新穎的工程材料是激發科技進步的重要基礎，而新興的科技往往也是促進研發新材料的動力。精儀中心機械工廠所從事精密機械元組件加工，與精儀中心計畫走向及原專長的技术領域如真空與光機元組件等息息相關，因此絕大部分的工件材料為不鏽鋼

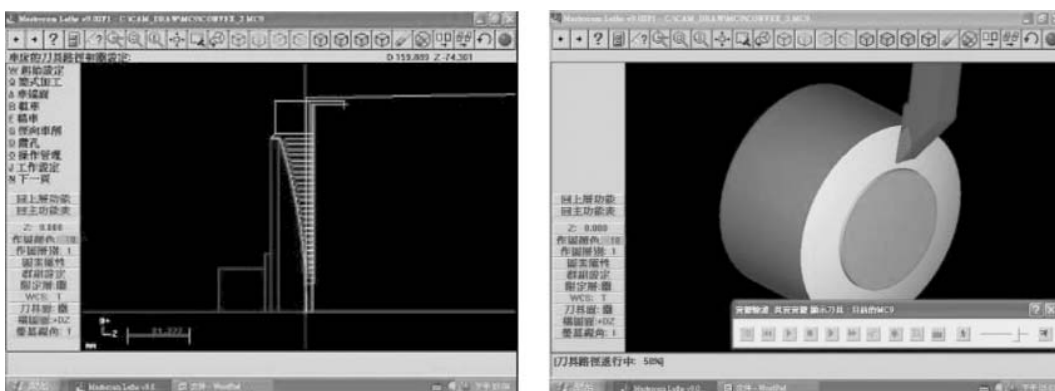
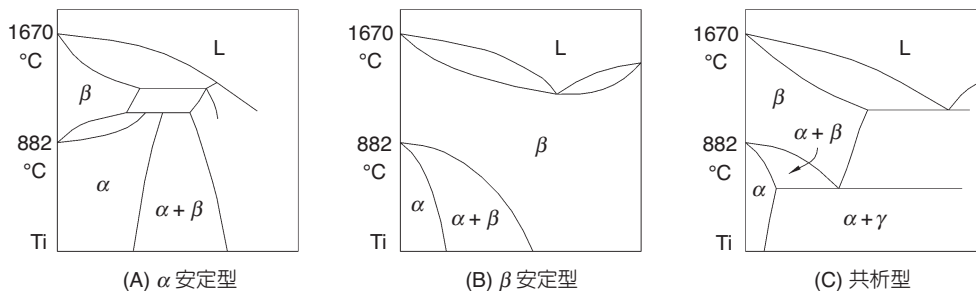


圖 3. 運用 Mastercam 進行光學鏡片磨碗加工製程規劃。

圖 4. 以鈦 (Ti) 為主成分的二元合金平衡圖。



與鋁合金等金屬材料。隨著產業發展的更迭，近年來精儀中心機械工廠也因應特殊材料加工的需求，從事如鈦、鋁、鈦…等特殊金屬材料、玻璃與陶瓷材料、高分子材料與複合材料等加工。受限於篇幅，無法一一列舉前述特殊材料之特性，謹節錄鈦與鋁二種材料進行介紹。

鈦的比重為 4.51，比鋁 (2.7) 重，但比鐵 (7.8) 輕，其機械強度比起其他大多數的純金屬元素都要高出許多，是一種非常優秀的金屬材料，常使用於航太結構件，以符合質輕與強度高的需求。鈦的耐蝕性優良，對於海水或高鹽分環境的耐蝕性甚至比 18-8 不銹鋼以及蒙納合金 (Monel metal) 都要優越。鈦在 882 °C 附近會產生 $\alpha\text{Ti} \leftrightarrow \beta\text{Ti}$ 的同素變態， αTi 的冷作加工性較差，而 βTi 的冷作加工性相對較佳。雖然純鈦的機械性質已經相當良好，若

在其內添加其他的合金元素，則更能進一步地提昇其機械性質。以鈦為主要成分的二元系合金平衡圖，大致上可以分為 A、B、C 三種型式⁽²⁻³⁾，如圖 4 所示，目前在實用上是以 αTi 、 βTi 兩種單相合金以及 $\alpha\text{Ti} + \beta\text{Ti}$ 之雙相合金做為主要的應用材料。

由表 1 可以看出， αTi 、 βTi 、 $\alpha\text{Ti} + \beta\text{Ti}$ 的機械強度都非常的優良，尤其是 σ_u/ρ 或 σ_y/ρ 值比超級杜拉鋁 (機械強度等級更優於鋁 6061) 更佳，並具有良好的高溫強度及疲勞強度，非常適合應用於航太工業。由於鈦合金耐蝕性優異，也常被應用於石化工業以及藥品工業。由表 1 可看出鈦及其合金的延展性稍差，再加上強度大，所以對其施以冷作並不容易。此外， $\alpha\text{Ti} + \beta\text{Ti}$ 合金由變態點急冷時，其機械性質會變得脆弱，因此熔接性不佳；反

表 1. 鈦合金與其他金屬材料之機械性質比較表。

| 組成 (%) | 熱處理程序 | 抗拉強度 σ_u (MPa) | 降伏強度 σ_y (MPa) | 伸長率 (%) | 比重 ρ | σ_u/ρ | σ_y/ρ |
|--|--|-----------------------|-----------------------|---------|-----------|-----------------|-----------------|
| 不鏽鋼 (13% Cr) | 退火 | 687 | 451 | 27 | 7.75 | 88 | 58 |
| 超級杜拉鋁 (2024) | 淬火 + 時效處理 | 470 | 284 | 23 | 2.80 | 168 | 102 |
| Ti-8Al-2Nb-1Ta (α 相) | 退火 (900 °C, 1 h 空冷) | 863 | 824 | 17 | 4.57 | 189 | 180 |
| Ti-8Al-1Mo-1V (α 相) | 980 °C, 5 min 空冷 → 590 °C, 8 h 空冷 | 1010 | 932 | 16 | 4.41 | 229 | 211 |
| Ti-5Al-2.7Cr-1.3Fe (α 相 + β 相) | 退火 | 1069 | 932 | 14 | 4.54 | 235 | 205 |
| | 800 °C, 6 min 水冷 → 480 °C, 5 h 空冷 | 1344 | 1138 | 6 | 4.54 | 296 | 251 |
| Ti-13V-11Cr-13Al (β 相) | 退火 | 912 | 893 | 21 | 4.61 | 198 | 194 |
| | 790 °C, 30 min 空冷 → 480 °C, 48 h 空冷 | 1442 | 1246 | 9 | 4.61 | 313 | 270 |

之， αTi 或 βTi 的熔接性則相當的不錯。含鋁的 αTi 具有優良的潛變特性及耐氧化性，但是以退火狀態而言， αTi 的延展性要比 βTi 更差一些。 βTi 雖然延展性較佳、高溫強度也大，但是其耐氧化性略遜於 αTi 。

鉬 (Mo) 具有高熔點、良好的高溫機械性質、高熱傳導性、導電性、低熱膨脹係數以及低的真空逸氣 (outgassing) 等特性，使鉬可以應用於許多特殊的場合，例如高溫環境、半導體設備等。特別是在最近 III-V 族半導體的製程上，需要使用鉬、鎢、鉍等作為基板載具 (substrate holder) 或是電漿產生器噴嘴等，其應用主要是同時考量高溫及高真空環境要求的零組件，包括分子束磊晶 (MBE)、有機金屬化學氣相薄膜沉積系統 (MO-CVD)、化學束磊晶系統 (CBE)……等等。此外，鉬也常被應用於航太零件、固體潤滑劑、反應容器、特殊電池、整流器、功率電晶體、閘流體等用途⁽⁴⁾。不過，鉬也有一些缺點，例如其延展性不佳，因此對其實施冷作是相當困難的。鉬的機械性質與物理性質如表 2 所示。

鉬的另外一種非常重要的用途就是常作為鋼的合金元素，在鋼中添加鉬，有下列兩種影響⁽⁵⁾：

1. 可以大幅度地提昇鋼對於回火軟化的抵抗性：能夠改善鋼之回火軟化現象的合金元素有 Si、Cr、Mo、V、W 等數種，但是其中以 Mo 的效果最

好，而且在某一特定的回火溫度 (對低碳鋼而言，大約為 500–600 °C 左右) 時，反而會使鋼產生回火硬化的現象。

2. 可以大幅度地提昇鋼的硬化能 (hardenability)：能夠改善鋼之硬化能的合金元素有 Mn、Mo、P、Cr、Si、Ni、Cu 及 B 等，以改善的幅度大小而言，Mo 排名第二而僅次於 Mn。

上述的兩種材料：鈦與鉬，其機械性質優異，應用面也相當的廣泛，精儀中心機械工廠也都有豐富加工經驗，但是誠如上文中所述，它們也存在著一些缺點，因此，如何對其截長補短，甚至將其缺點變為優點，以及如何對其作出更加適才適所的應用，將是材料科學領域的一大課題。

四、切削、焊接與放電加工實務

機械加工是藉由根據拉、壓、彎、剪、扭等力學基本原理，所延伸出車、銑、鉋、搪、磨，以及鍛、鑄……等各式器材機具，改變原始材料形狀與性質，以符合設計需求。隨著科技的進步，加工方法已從傳統的手工、半自動加工到自動化電腦數值控制 (CNC)，其加工能力也由原本的 2D 平面，到現在複雜的 3D 曲面。自動化機具結合 CAD/CAM 系統，可縮短設計與加工流程，利於製作更複雜的形狀，並大幅提昇加工精度和減少加工時間及避免人

| 性質 | 數值 | 備註 |
|----------------------------|---|-----------------------|
| Density | 10.22 g/cm ³ | |
| Hardness, Vickers | 230 | annealed |
| Tensile Strength, Ultimate | 324 MPa | annealed |
| Modulus of Elasticity | 330 GPa | 275 GPa at 1000 °C |
| Compressive Yield Strength | 400 MPa | 0.01% yield |
| Bulk Modulus | 272 GPa | |
| Shear Modulus | 120 GPa | |
| Electrical Resistivity | $5.7 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ | |
| Magnetic Susceptibility | $9.3 \times 10^{-7} \text{ cgs/g}$ | |
| Heat of Fusion | 293 J/g | |
| Heat Capacity | 0.255 J/g·°C | |
| Thermal Conductivity | 138 W/m·K | |
| Melting Point | 2617 °C | |

表 2.

鉬的機械性質與物理性質。

圖 5.
電腦數值控制車床與電腦數值控制銑床。



員輸入的錯誤。精儀中心所製作工件多為研究計畫與學術界所需少量多樣化的零組件，因此電腦數值控制切削加工與焊接為精儀中心機械加工之主力，以下將簡介精儀中心之電腦數值控制車床、電腦數值控制銑床、銲接與放電加工實務。

工件製作流程通常是由設計人員以 CAD 繪出工程設計圖，經過設計人員確任後，交予製造部門，加工人員依據藍圖決定加工的方法、工件的夾治具、切削的刀具、切削的路徑、加工的順序、切削的條件等，再以 CAM 進行製程模擬而產生加工程式，並傳輸至數值控制工具機。工具機經由指令控制，沿著預先設定的加工路徑，直到工件加工完成。圖 5 所示分別為精儀中心現有精密電腦數值控制車削以及銑削加工機，其加工最大的區別在於車削是刀具固定，藉工件迴轉以進行切削工作，刀具沿垂直或平行工件轉軸之方向連續進給。數值控制車削可加工：內外徑、圓弧、直線切削、內外螺紋車削、內外溝槽車削、端面車削、鑽孔、錐度車削、球面車削…等。而銑削正好相反，它是工件固定，藉刀具迴轉進行切削工作，工件作進給運動。數值控制銑削可加工：面銑、端銑、成型銑、搪削、鑽削、攻牙、鉸孔…等⁽⁶⁾。

當零件加工完成，需要進行配合和接合，使之成為半成品或成品。而金屬的最佳接合方法就是焊接。焊接是利用加熱或加壓或兩者同時使之連結的方法。軟焊與硬焊是兩熔接金屬間加入第三液態金屬，凝固後連結在一起。軟焊 (soldering) 溫度低於 425 °C，俗稱錫焊。硬焊 (brazing) 溫度高於 425 °C，俗稱銅焊，適用於不易熔接之金屬、不同的金屬及薄件等之焊接。而常用 TIG (tungsten inert gas) 焊法即非消耗性鎢極惰氣法，以氬氣、氬氣或混合氣作為保護氣體，以防止電極及金屬母材融熔之氧化，適用於不鏽鋼及鋁合金等相同的金屬之焊接⁽⁷⁻⁸⁾。精儀中心在真空零組件的焊接上擁有多年的實務經驗，在支援我國學術研究所需特製真空零組件製造上，獲得極高評價。

表 3 為精儀中心現有 CNC 車削、CNC 銑削與焊接技術能力，精儀中心以有限的人力與機具持續精進精密機械元件加工技術，且不斷開發最新加工技術，以支援精儀中心各研究計畫，與提供學術界及高科技產業開發超精密元組件之需求。

放電加工法 (electric discharge machining, EDM) 是利用電極與工件間產生火花放電作用，以高溫來熔化工件的表面層，將材料去除，所以又稱為火花

表 3.
精儀中心 CNC 車削、CNC 銑削及銲接設備。

| 設備 | 機型 | 加工能力 (mm) | 精度 (μm) |
|--------|--------------------------|---|---------------------------|
| CNC 車削 | HARDINGE, QUEST 10/65 SP | φ 200 × 500 | ± 5 |
| CNC 銑削 | HARDINGE, VMC-1000 II | L1020 × W510 × H510 | ± 10 |
| 銲接 | MILLER, SYNCROWAVE 351 | 氬焊 (漏氣率低於 1 × 10 ⁻¹⁰ std-cc/s) | < 1 × 10 ⁻⁸ Pa |

表 4.
精儀中心放電加工系統規格。

| 名稱 | 機型 | 加工能力 |
|---------------------|--|--|
| 細微放電加工機 (Micro-EDM) | EL-10、HO-10 (Charmilles Technologies) | 加工行程：X = 200 mm, Y = 50 mm, Z = 3 mm 最小加工孔徑：5 μm |
| 線切割放電加工機 (Wire-EDM) | ROBOFIL 2020 (Charmilles Technologies) | 加工行程：X = 290 mm, Y = 175 mm, Z = 90 mm 最佳表面粗度：Ra = 0.5 μm |
| 離磨放電加工機 (EDM) | CNC-M60 (三貴機械) | 加工行程：X = 400 mm, Y = 300 mm, Z = 300 mm 最佳表面粗度：Ra = 0.2 μm |

腐蝕 (spark erosion)，所以祇要可以導電的材料，不管材料的硬度如何，皆可進行加工⁽⁹⁾。由於放電加工時，電極與工件間並無接觸，所以電極可採用較軟且易於加工之材料，如黃銅、石墨等。

常見的放電加工法分為離模放電加工法與線切割放電加工法兩類。離模放電加工法一般多用於加工衝壓、鍛造、鑄造、射出成形的金屬模，以及其他高硬度之加工等。線切割放電加工法則適用於生產具有特殊外形、精密公差、高度重現性以及難加工之金屬零件⁽¹⁰⁾。此外，細微放電加工法可應用於十微米至數毫米尺寸等級之微小元件加工，例如：引擎噴嘴、非球面鏡片、光纖接頭、紡織紡口 (spinneret)、噴墨印表機噴嘴、IC 封裝導線架 (leadframe)、CPU 散熱微鱗片、IC/晶圓測試微探針、球狀微細探針等，以及各式微機械所需的微型元件，已被廣泛的使用於汽車、航空、精密量測、光學、醫療、生化及光電等相關產業⁽¹¹⁾。

目前學術界研究放電加工法的趨勢主要有幾個方向，包括微小零件的製作、複合加工 (與超音波振動加工複合、與類 LIGA 製程複合、與電化學加工複合...等)，或是改變放電加工液的種類、改變放電加工的機構等⁽¹²⁻¹⁶⁾。精儀中心於八十四年引進細微放電加工機，如圖 6，搭配原有之離模放電加

工機以及線切割放電加工機，構成一完整之放電加工整合系統，並成立一放電加工實驗室，目前以細微零組件以及精密零組件加工製造為主，同時支援國內學術界、業界所需之精密加工技術服務，並研究放電加工法的前瞻技術。精儀中心放電加工系統規格如表 4。

五、量測與品保

技術的發展和量測能力息息相關，隨著科技演進，檢測技術需求日增。為使不同產地所生產各式零件與產品擁有穩定的品質，必須使用相同的量測標準，透過精密的量測，以保證不同零件和產品的相容性，使得大量製造與國際分工仍保有原設計的要求。如圖 1 之作業流程，為確保精儀中心機械工廠所製成元件能符合設計精度，精密量測技術與品保之推行，亦屬業務發展重點。

量測過程中，不可能完全控制各種影響因素，使之成為常數，因此每一次重複量測之結果，都必然會有一些變異而導致誤差。描述此量測值分散程度之參數稱為量測不確定度，這也是校正或測試實驗室技術能力之指標。量測實驗室所遵循的標準為 ISO 17025 的規範，透過實驗室認證體系 (在台灣

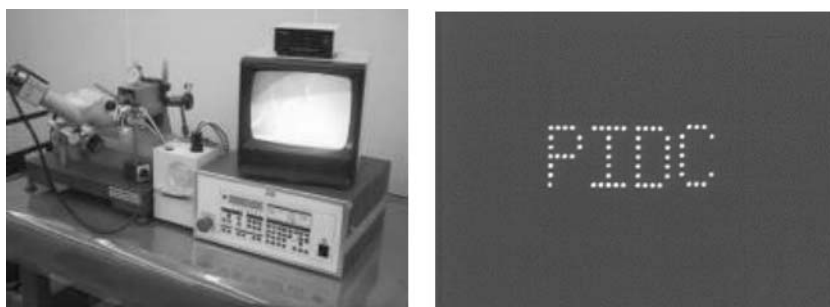
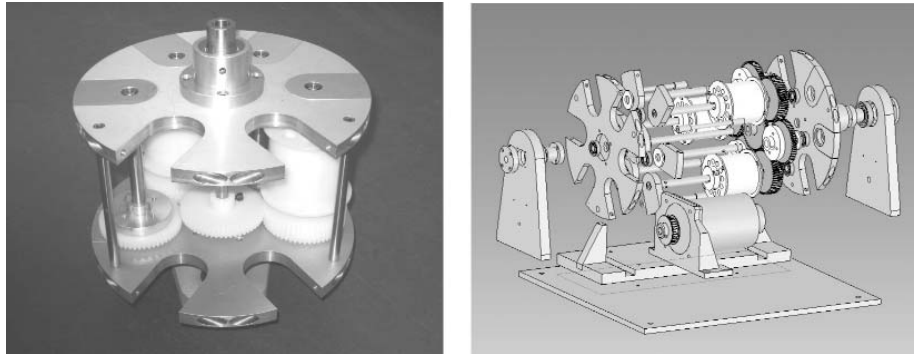


圖 6.
細微放電加工機與所製作之微孔陣列。

圖 7.

組裝中之逆向流層析儀實體外觀與 CAD 分解圖。



為 CNLA) 提昇實驗室之技術能力及服務品質⁽¹⁷⁾。

實際製造過程中，無法確保之尺寸為標稱尺寸，在設計時會給予適當的公差。透過品保品管的手段，使得所製造的產品尺寸均能落在設定的公差範圍內，以降低生產成本。目前在國際上通用品保品管規範為 ISO 9000⁽¹⁸⁾，該品質體系的特性是要求企業不斷改進內部品質審核體系，提昇設計企劃及管理的能力，定期校正量測設備，提昇操作人員的能力，以便減少內部錯誤，降低生產成本，提高企業的效益。在 1994 年所修訂公布的 ISO 9000 系列標準包括 ISO 9000、ISO 9001、ISO 9002 及 ISO 9003。其中 ISO 9000 為指導性標準，規定如何選擇及使用這標準，ISO 9001 是規範設計、開發、生產、安裝及服務之品質保證模式，ISO 9002 為生產、安裝及服務之品質保證模式，而 ISO 9003 則為最終檢驗與測試之品質保證模式。

如表 5 為精儀中心機械工廠現有重要量測儀器，精儀中心目前已建立精密量測實驗室、真空標準室、薄膜量測室等量測室，近期規劃成立國內第

一間通過認證之光學鏡片檢測室，近幾年精儀中心也陸續派遣同仁參加精密量測、校正實驗室負責人的研習課程，並取得相關證照，期望提昇精儀中心精密儀器設計與製造之服務品質。

六、近期儀器委製個案介紹

精儀中心機械工廠已建立相當基礎之加工能力與實務，目的在支援我國學術研究與高科技產業發展所需之儀器自主化技術，其服務層面廣泛，難以一一列舉，本文謹簡介三個近期完成之個案，以利讀者瞭解精儀中心機械工廠之設計與加工能力。

1. 逆向流層析儀

如圖 7 所示為精儀中心所承製逆向流層析儀之實體與 CAD 設計爆炸圖，本儀器由國立交通大學應用化學所委託製造，其主要功能為將溶液中的溶質分離出來。儀器之傳動系統為電動馬達經由皮帶輸出動力帶動行星齒輪系以及兩側之迴轉盤，每一

表 5.

機械工廠現有之量測儀器。

| 名稱 | 型號 | 範圍 |
|--------|-----------------------------------|---|
| 三次元量床 | Brown & Sharpe, Global Image 9128 | 範圍：900 × 1200 × 800 mm 精度：1.7 + 3L/1000μm。 |
| 真圓度測定儀 | Kosaka Laboratory, EC1400 | 最大量測直徑：φ 178 mm 精度：徑向 0.04 + 0.0012H μm， 軸向 0.04 μm |
| 表面粗度儀 | Kosaka Laboratory, SE1200 | 量測範圍：0~300 μm (多段量測) 解析度：0.01 μm—0.32 μm (依不同量測範圍) |
| 顯微量測系統 | 汎達, PSC 3000Pro | 解析度 1 μm |

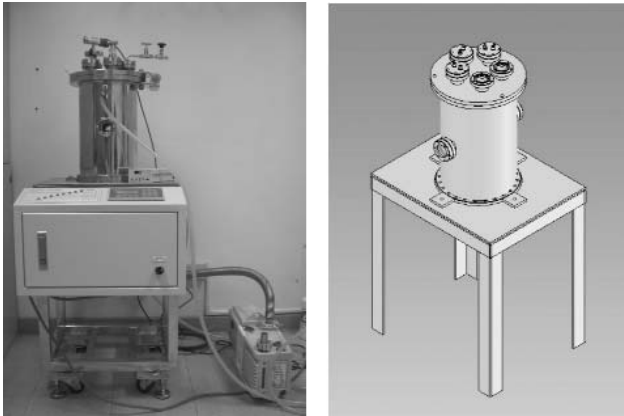


圖 8. CVD 腔體外觀與 CAD 圖。

行星齒輪軸上另套以套筒，以供細流管纏繞。行星齒輪系之齒數設計使得每當迴轉盤旋轉一圈，各行星齒輪便迴轉兩圈。對本儀器而言，細流管的纏繞穿越路徑是設計良窳的關鍵，如何能使行星齒輪系順利迴轉而又不致使各細流管發生打結現象是一個頗為有趣的課題。考慮到化學實驗室的环境可能具有相當高的腐蝕性，因此，結構主體材質均採用 6061 鋁合金，流管套筒採用 PVC，少數需要較高強度的零配件則使用 SUS 304 不鏽鋼。

2. 化學氣相沉積系統

如圖 8 所示為國立中正大學化工所委製之化學氣相沉積系統，該系統功能是進行奈米碳管生成研究，其特性是將高分子材料塗於氧化鋁基材上，於真空下通入 100 sccm 氮氣，壓力維持 100 Torr，加熱至 800 °C 維持數小時，使高分子裂解的碳原子鍍於氧化鋁基材上。精儀中心在真空腔體設計製造享有盛名，本案由委託單位提出概念與需求，由精儀中心進行機械設計，藉由 3D CAD 軟體建立腔體實體圖，並與委託單位討論確認腔體之設計。

由於需要在真空腔體內加溫至 800 °C 並維持數小時，腔體需要用水循環冷卻，以避免腔體過熱，而委託單位希望用雙層管壁之設計，以避免腔體過熱。然雙層管壁腔體在腔體焊接製作較為困難，且高溫加熱組件設計較複雜，精儀中心仍如期完成此腔體之製作組裝，工期約三個月，並派員將此真空腔體運送至中正大學化工所交機與現場測試。

3. 大口徑玻璃減重技術

應用於航太級之機械與光學元件，重量與強度是相當關鍵的因素，其中重量涉及航太載具之運輸成本，因此航太元件莫不將重量列為首要考量因素。精儀中心機械工廠為配合遙測計畫發展相關減重技術，91 年度已開發一般航太需求之一體成型薄片加工，92 年度與光學廠合作完成 $\phi 300$ mm 之大口徑 Zerodur 陶瓷玻璃非球面鏡之減重加工，以下將簡單介紹相關減重設計與加工。

首先依整體設計需求，利用 SolidWorks 3D 繪圖軟體完成減重設計，計算減重比，之後使用 Mastercam 軟體進行製程規劃並產生銑床加工程式，並使用自行設計之鑽石刀具搭配 CNC 銑床來對 Zerodur 零膨脹玻璃 (陶瓷玻璃，直徑 300 mm) 做減重加工，最後進行酸洗或是熱處理來降低殘留應力。如圖 9 為近期所完成之 $\phi 300$ mm Zerodur 材質減重之成品，目前分別完成減重比達 35% 以及 40% 之 $\phi 300$ mm Zerodur 陶瓷玻璃加工，提昇了我國航太級光學元件之加工層次，也讓精儀中心機械加工技術能力往前邁進一大步。

七、結論

精儀中心機械工廠已初具規模，擁有豐富實務經驗的資深技術人力進行精密機械加工，近年並引進博、碩士級研究人力加入技術陣容，提昇研發的能力。可提供機械設計、製圖、精密機械元件加工、組立與測試之服務，並兼具儀器研製的能力，

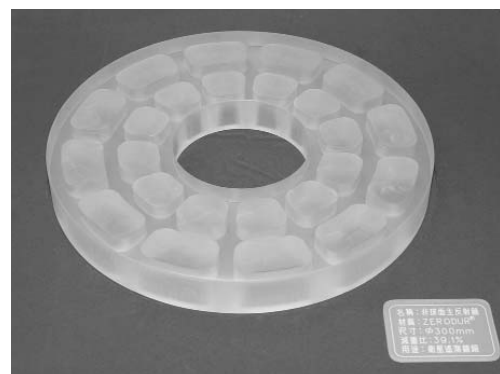


圖 9. 經減重加工後 Zerodur 零膨脹玻璃。

除做為精儀中心研究計畫之後援外，亦可服務產學研各界。

國科會工程處曾於數年前推動設計實作中心計畫，其目的乃是希望建立一個可以累積工程實務經驗並提供學術研究創見具體實現的支援，而精儀中心機械工廠恰扮演著支援精儀中心研究計畫與學術研究所需設計實作的角色，相當於機械設計實作中心之功能，未來亦將持續強化技術能力、服務機能與效率，與產學研各界共同合作，提昇我國精密儀器研發能力，落實技術的自主化。

參考文獻

1. J. Hornington, *Computer Integrated Manufacturing*, New York: R. E. Krieger Pub. Co. (1973).
 2. L. H. van Vlack, *Elements of Materials Science and Engineering*, 5th ed. Addison-Wesley Publishing Company (1985).
 3. 黃振賢, 金屬熱處理, 一版, 台北: 文京 (1985).
 4. 黃建堯, 陳峰志, 林春堂, 陳念祖, 第三屆精密機械製造研討會論文集, 556 (2003).
 5. 黃振賢, 機械材料, 二版, 台北: 文京 (1995).
 6. 胡金星, 數值控制工具機, 三版, 台北: 全華, 5 (1996).
 7. 龔康伯, 現代鐳接學 (上), 五版, 台北: 徐氏基金會, 1 (1978).
 8. 龔康伯, 現代鐳接學 (下), 五版, 台北: 徐氏基金會, 1 (1978).
 9. 倉藤尚雄, 放電加工, 初版, 台南: 復漢, 8 (1998).
 10. 余永平, 機械加工法 (下), 八版, 台北: 高立, 411 (1994).
 11. 微機電系統技術與應用, 初版, 新竹: 行政院國家科學委員會精密儀器發展中心, 254 (2003).
 12. C. T. Yang, S. S. Ho, and B. H. Yan, *Key Engineering Materials*, 196, 149 (2001).
 13. B. H. Yan, A. C. Wang, C. Y. Huang, and F. Y. Huang, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42, 1105 (2002).
 14. K. Takahata, N. Shibaike, and H. Guckel, *Microsystem Technologies*, 6, 175 (2000).
 15. K. Takahata and Y. B. Gianchandani, *Journal of Microelectromechanical System*, 11 (2), 102 (2002).
 16. 王阿成, 黃建堯, 顏炳華, 黃豐元, 中國機械工程學會第十九屆學術研討會論文集, 755 (2002).
 17. 中華民國實驗室認證體系實驗室認證共通規範, 三版 (2001).
 18. 品質管理與品質保證國際標準—ISO 9000 (1994).
- 陳峰志先生為國立成功大學機械工程博士，現任國科會精密儀器發展中心製造修護組副組長。
 - 林春堂先生畢業於明新科技大學機械工程系，現任國科會精密儀器發展中心助理工程師。
 - 陳念祖先生為國立成功大學機械工程碩士，現任國科會精密儀器發展中心助理工程師。
 - 黃建堯先生為國立中央大學機械工程碩士，現任國科會精密儀器發展中心助理研究員。
 - 林進祥先生畢業於國立虎尾技術學院機械設計工程系，現任國科會精密儀器發展中心助理工程師。
 - Fong-Zhi Chen received his Ph.D. in mechanical engineering at National Cheng-Kung University. He is currently the vice chief of Manufacturing and Maintenance Division at Precision Instrument Development Center, National Science Council.
 - Chun-Tang Lin received his B.S. in mechanical engineering at Ming Hsin University of Science Technology. He is currently an assistant engineer at Precision Instrument Development Center, National Science Council.
 - Lian-Tzue Chen received his M.S. in mechanical engineering at National Cheng-Kung University. He is currently an assistant engineer at Precision Instrument Development Center, National Science Council.
 - Chien-Yao Huang received his M.S. in mechanical engineering at National Central University. He is currently an assistant researcher at Precision Instrument Development Center, National Science Council.
 - Jin-shyang Lin received his B.S. in mechanical engineering at National Huwei Institute of Technology. He is currently an assistant engineer at Precision Instrument Development Center, National Science Council.