

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：研習)

## 次世代精密工具機之技術與應用

服務機關：經濟部標準檢驗局

出國人職稱：技士

姓名：陳正崑

出國地區：德國

出國期間：96年7月11日至96年8月14日

報告日期：94年9月29日

## 摘要

本次參加 96 年度台德技術合作計畫，赴德國研習「次世代精密工具機之技術與應用」。除研習相關知識及技術外，並參訪 2 所大學及多個極富盛名的研究機構。研習期間自 96 年 7 月 11 日至 96 年 8 月 14 日止，除研習該等技術發展外，並廣泛的了解一些德國學術、研究機構目前精密工具機的發展狀況。

「精密工具機」產業是政府在新世紀第二期國家發展計畫中其已列為重要之推動項目，預計於 2008 年，期使我國成為世界工具機第四大生產國、第四大出口國，進而達成總產值新台幣 1,100 億元的目標。世界各國如德國、日本等國家，均於已積極投入大量人力及經費進行研發多軸複合化工具機、精密量測及綠色工具機、微潤切削技術等關鍵技術之研發，本次除瞭解精密工具機相關技術的研究及發展現況外，另國家標準及專利之引用，也是本次研習參訪的重要目的之一，目前我國工具機之產品多以三軸之工具機為出口主力機種，較高階的產品如四軸或五軸之工具機產品，因涉及極高之加工定位技術及配合精度等技術，需較高之技術及經驗也是我國廠商極力想跨入的高階的工具機市場。

本次參訪的單位包含 TÜV Rheinland、Deutsches Institut für Normung e. V. DIN、Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB、Ilmenau Technical University、RWTH Aachen、Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken。

## 目 次

壹、目的-----	3
貳、過程-----	4
參、心得-----	15
肆、建議-----	24
伍、附錄-----	26

壹、目的：

工具機為我國機械產業極為重要的出口機械產品，我國工具機出口表現在 2006 年不因為全球經濟的成長趨緩，而有另一番出色的出口成長，我國在 2006 年 1~12 月份工具機出口仍然持續暢旺，外銷金額高金額達 29 億 6,418 萬美元，較去年同時期成長約 11.5%。而出口產值成長較具代表性之產品為 CNC 車床與綜合加工機，較去年成長約 15-20% 左右。但出口區域仍以大陸市場為主要市場的首位，佔我國機械類全部出口值之 37.5%，出口額約 11 億 1,512 萬美元，較去年有 2.18% 的成長，而美國仍為我國第 2 大出口國，較上年成長 23.8%。但是土耳其躍升為我國的第 3 大出口國，約佔總出口金額之 5.1%，較去年（2005）成長約 4.1%。其他主要出口國家，出口金額之成長率依序分別為印度、荷蘭、新加坡、日本、德國、泰國、義大利、韓國、馬來西亞。總計我國前 9 大出口市場，合計佔全部我國工具機出口金額百分之八十以上。

此次研習除見證德國關於工具機科技之製造與量測技術，以及了解德國學術單位、研究機構及標準機構之發展現況，並試圖尋找德國工具機產業相關機構之各項長處於與本局各項業務間之關連性，藉此精進本局如標準之制修訂、精密量測等之各項經驗及能力。

## 貳、過程：

本次研習於 7 月 11 日由桃園機場搭機出發至德國的首都柏林，並在 7 月 12 日順利抵達法蘭克福機場，隨即轉機搭乘國內線班機前往德國首都柏林 (Berlin)、布朗修瓦格 (Braunschweig)、伊爾梅瑙 (Ilmenau)、亞琛 (Aachen)、科隆 (Köln)、法蘭克福 (Frankfurt) 等城市展開為期 35 天之研習及訪問之旅。其主要行程如下：

一、本次參訪的第一個城市為柏林，柏林為德國的首都，由我國前往柏林不外乎在法蘭克福、慕尼黑、維也納、曼谷、香港或巴黎等城市轉機，本次行程由法蘭克福轉機前往，由法蘭克福機場起飛後約需 60 分鐘方可抵達柏林，但也可搭乘德國聞名的高速鐵路 ICE 前往柏林，但須費時約 4 小時後可抵達柏林市中心的中央車站。

1. 本次在柏林研習的第一個機構為 TÜV Rheinland 德國萊茵公司，其為國際間享有盛名並集檢驗、認證、驗證多項技術領域的一個跨國性的公司，其公司發展的歷史如下：

在 1872 年德國成立了鍋爐監督協會 (簡稱 DÜV)，其檢測員針對蒸汽鍋爐和壓力容器進行定期監測，希望在事故發生前負責檢測出最小的瑕疵和不正常因素。他們的工作取得了極大的成效：經由他們的專業的檢測，在往後的 20 年中，蒸汽鍋爐和壓力容器的使用率成倍數的增長，但相對著發生爆炸事件卻呈現出下降趨勢。

在 19 世紀末，使用蒸汽鍋爐和壓力容器的動力已成為經濟發展中非常重要的一環。因為當時缺乏完善的維修及安全監督服務，故導致發生許多次嚴重的爆炸事件，造成人員及財產的巨大損失。

在此種發展歷史背景下，其他的鍋爐監督協會也競相繼成立，並依照其所在的邦聯區域進行命名，1872 年所成立的德國鍋爐監督協會就是德國萊茵 (TÜV Rheinland) 的前身。

各個鍋爐監督協會協助共同負責著政府的安全監督職責。直到 20 世紀初，才另擴展至進行監測升降機、車輛以及其他技術設備。在 1936 年該公司正式更名為德國萊茵集團。隨著德國萊茵集團的成立及迅速發展，終於在 1962 年該公司成為德國官方授權的政府監督組織。因此德國萊也同時開啓多樣化的服務領域項目，

逐漸涉及重要的機械設備及整廠設備，例如起重機的檢驗評估到電力整廠設備均提供服務。

德國萊因根據德國及歐洲的安全健康標準為電氣、電子和機器產品提供測試和認證服務。此外，德國萊因也針對不同領域核發一些專屬測試標誌（如 EMC 標誌等）。

2. 本次在柏林研習的第二個機構為 DIN（DIN Deutsches Institut für Normung e. V）德國標準協會，其為德國極為重要的標準機構，其所制定的標準領域包括：

- 常規用途的機械系統和元件
- 環境、健康保護與安全
- 流體系統和元件
- 計量、測量、測試、能源和圖像技術
- 標準化、術語和質量文件
- 自然科學和衛生保健技術
- 機械工具，自動化
- 焊接，表面處理
- 電子產品
- 電機工程
- 電信
- 資訊技術，辦公設備
- 汽車工程，材料處理
- 飛機工程
- 包裝、紡織品、皮革和服裝
- 農業、食品技術
- 化學工程、採礦業和塗漆工作
- 造紙業、陶業和玻璃業
- 冶金材料工程

德國標準協會是德國的標準主管機關，成立於 1917 年，總部設在柏林。從 1975 年起，德國政府就把 DIN 視為國家標準體系的一環，DIN 的技術組織會員是由製造業、消費者、商業界、貿易業、服務行業、科學界、技術審查員和政府代表們

所組成的委員會。各界代表們在此研討和制定、修訂各種相關領域的標準，最終並成爲德國標準，供各界參考使用。

德國標準協會所進行的標準化工作的最終目的，是希望整個國家社會獲得最大利益，此項工作對一般民間企業或是國家的經濟發展，都產生了極爲顯著的貢獻及效益。德國標準協會所制定的 DIN 標準已逐漸成爲工業界、學術界、政府和民衆之間的交流發展的重要依據及規範。

目前大多數德國標準協會的標準都是爲德國市場所制定屬國家層級的標準，但該標準也在歐共體國家中廣泛被接受及採用，以及被需進、出口貨物至德國和歐盟各國的出口廠商廣爲使用。並且由於德國標準協會的標準其嚴格規範和謹慎廣泛涵蓋內容，也成爲在學校教學和產品研發中被全球相關人員廣爲應用與參考。德國標準協會目前共有 77 個標準委員會，並擁有各領域的外部專家、學者達 27,100 多人，其各委員會負責各種領域的標準起草、審查等工作。每個領域之標準委員會負責其領域內的所有的標準化活動，並積極在國際各標準組織或機構、歐洲各國協調、整合相關其他標準。

目前 DIN 的標準超過 14,500 種，其涵括機械、安全、汽車工程、材料學等領域。且大多數的德國 DIN 標準除德文外，並有英文的翻譯版本可提供英語系國家人員使用。DIN 德國標準協會其也代表德國參與歐盟標準（EN）之制定，並代表該國出席世界性的標準組織會議如 ISO 國際標準組織（International Organization for Standardization）等，發表該國對相關標準內容之意見，並爲該國相關的產業爭取最大的利益及權益，DIN 德國標準協會因與本人所服務單位有相當的關連性，因此特別感謝我國駐外單位的協調本次參訪才得以成行，並希望藉此機會吸取該機構有關於國家標準制定過程中與相關產業互動所遭遇的困難、協調經驗及作法，以供我國在相關國家標準制定時的參考。其標準技術委員會區分如下之分類：

- NA 001 Acoustics, Noise Control and Vibration Engineering Standards Committee  
in DIN and VDI
- NA 002 Coatings and Coating Materials Standards Committee
- NA 003 Valves Standards Committee
- NA 005 Building and Civil Engineering Standards Committee
- NA 008 Mining Standards Committee
- NA 009 Information and Documentation Standards Committee

- NA 012 Process Engineering Standards Committee
- NA 014 Dentistry Standards Committee
- NA 016 Pressurized Gas Installations Standards Committee
- NA 017 Printing and Graphic Technology Standards Committee
- NA 020 Hardware, Tinware and Metal Products Standards Committee
- NA 021 Iron and Steel Standards Committee
- NA 022 German Commission for Electrical, Electronic and Information Technologies of DIN and VDE
- NA 023 Ergonomics Standards Committee
- NA 025 Colour Standards Committee
- NA 027 Optics and Precision Mechanics Standards Committee
- NA 031 Firefighting and Fire Protection Standards Committee
- NA 032 Gas Technology Standards Committee
- NA 036 Foundry Practice Standards Committee
- NA 039 Performance Capability and Services Standards Committee
- NA 040 Heating and Cooking Equipment Standards Committee
- NA 041 Heating and Ventilation Technology Standards Committee
- NA 042 Timber and Furniture Standards Committee
- NA 043 Information Technology and selected IT Applications Standards Committee
- NA 044 Refrigeration Technology Standards Committee
- NA 045 Rubber Technology Standards Committee
- NA 049 Cinematography and Photography Standards Committee
- NA 051 Municipal Services Standards Committee
- NA 052 Road Vehicle Engineering Standards Committee
- NA 053 Rescue Services and Hospital Standards Committee
- NA 054 Plastics Standards Committee
- NA 055 Laboratory Devices and Installations Standards Committee
- NA 057 Food and Agricultural Products Standards Committee
- NA 058 Lighting Technology Standards Committee
- NA 060 Mechanical Engineering Standards Committee

- NA 062 Materials Testing Standards Committee
- NA 063 Medical Standards Committee
- NA 066 Nonferrous Metals Standards Committee
- NA 067 Fasteners Standards Committee
- NA 074 Paper and Board Standards Committee
- NA 075 Personal Protective Equipment Standards Committee
- NA 078 Pigments and Extenders Standards Committee
- NA 080 Radiology Standards Committee
- NA 082 Piping and Boiler Plant Standards Committee
- NA 085 Round Steel Link Chains Standards Committee
- NA 087 Railway standardisation committee
- NA 092 Welding Standards Committee
- NA 095 Safety Design Principles Standards Committee
- NA 099 Steel Wire and Wire Products Standards Committee
- NA 104 Tank Installations Standards Committee
- NA 105 Terminology Standards Committee
- NA 106 Textiles and Textile Machinery Standards Committee (Textilnorm)
- NA 107 Entertainment Technology - Stage, Lighting and Sound Standards  
Committee
- NA 109 Petroleum and Natural Gas Industries Standards Committee
- NA 112 Sports Equipment Standards Committee
- NA 115 Packaging Standards Committee
- NA 118 Rolling Bearings and Plain Bearings Standards Committee
- NA 119 Water Practice Standards Committee
- NA 121 Tools and Clamping Devices Standards Committee
- NA 122 Machine Tools Standards Committee
- NA 128 Product Property Standards Committee
- NA 131 Aerospace Standards Committee
- NA 134 Commission on Air Pollution Prevention of VDI and DIN - Standards  
Committee

- NA 145 Technology of Materials Standards Committee
- NA 147 Quality Management, Statistics and Certification Standards Committee
- NA 152 Fundamental Technical Standards Committee
- NA 168 Data and Goods Exchange in the Consumer Goods Industry Standards Committee
- NA 172 Principles of Environmental Protection Standards Committee
- NA 132 Shipbuilding and Marine Technology Standards Committee
- NA 140 Electrical Engineering Standards Committee
- A 026 Springs
- A 143 Standardization Principles Standards Committee
- A 155 Standardization Committee for the Drafting of Standards

3. 本次研習的第三個機構為 PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) 德國聯邦物理技術研究院，其位於柏林約一個小時車程的布朗修瓦格 (Braunschweig) 其創立於 1887 年，目前共有職員約有 1750 人，其中博士和專案研究人員約有 810 多人，並隸屬於德國聯邦經濟勞工部。是世界知名專業的計量和量測、測試研究機構。

德國聯邦物理技術研究院 (PTB) 其主要工作是計量學基礎研究和量測應用技術的開發 (包括建立和保存德國國家計量單位基準、研究創新計量量測原理和測試方法、及計量器具型式認證)、並代表聯邦政府與國外機構或國際相關組織推動計量領域的合作。

目前設有精密工程、力學和聲學、電學、物理化學和防爆、光學、電離輻射、溫度、醫學物理等技術處，並在首都柏林設有分部，本次為研習的單位為精密工程技術處其位於柏林約一個小時車程的布朗修瓦格 (Braunschweig)。下圖為進入精密實驗室之無塵室之參觀留影。



德國聯邦物理技術研究院（PTB）之無塵室

4.本次研習的第四個機構為伊爾梅瑙科技大學（Ilmenau Technical University）其位於德國的中部，其與該邦的首府愛福特（Erfurt）約 1 小時 20 分的車程，若由柏林出發約需 4 個小時並需經歷 3 次的車輛轉換才可抵達，本次本人由柏林出發約 1 小時 20 分地達第一個轉車站萊比錫（Leipzig），再由該站搭車前往愛福特（Erfurt）約需 1 個小時 10 分，後再經由該邦的首府愛福特搭車前往伊爾梅瑙（Ilmenau）約需 1 小時 20 分便可抵達本次研習的第四個單位伊爾梅瑙科技大學（Ilmenau Technical University），該校在德國定位為一個發展新科技技術的研究大學，其研究領域包含：

- 機械工程
- 電子工程
- 資訊工程
- 物理技術
- 資訊
- 應用多媒體工程
- 多媒體技術
- 數學
- 技術教師訓練

- 資訊及商業研究
- 奈米量測技術

其該校為一個充滿學術氣息的學府,該校並有國際學生交換計畫所以在校園中常可見許多外籍的學生穿梭在其中,整個學校充滿朝氣及活力,並在聯邦政府的支持下設立了奈米技術產學研究合作中心,該中心提供相當完備的產學合作的輔導及技術移轉。

5.本次研習的第五個機構為阿亨科技大學（RWTH Aachen）其位於德國的西部的大學城亞琛市(Aachen)，該市為德國的古城，且位於與荷蘭及比利時兩國的交界處，該城市盛產羊毛及巧克力其總產量與佔全德國的 65%，本次因由德國的首都柏林出發至該城市，搭乘高速鐵火車 ICE 約需 4.5 小時方可抵達該市,但因該校距離市中心尚有約 14.5 公里，因此搭乘大眾交通運輸工具約需 30 分鐘方可抵達該校。阿亨科技大學目前由 213 個教學與研究領域所組成，共有 260 個教授與研究機構。

阿亨科技大學之新的學院架構約可分為以下的專業領域

- 1.數學系，計算機系，物理系，自然科學系
- 2.機械學系
- 3.土木學系
- 4.醫學系
- 5.地球資源與材料技術學系
- 6.經濟科學系
- 7.哲學系
- 8.電子工程與計算機工程學系
- 9.建築學系
- 10.教育學系。

目前約有 31000 個學生，有 16%為外籍學生，外國學生大多來自於台灣，土耳其，印度，波蘭，保加利亞，喀麥隆等。每年大約有兩千個學生完成畢業，並有約 800 多人獲得博士學位。

阿亨科技大學並沒有所謂的校園，依建築物分為三個主要的中心區，最主要的部分在阿亨的西北方，介於市中心與西車站之間。這些部分包含了系館與學生餐廳等。

6.本次研習的第六個機構為位於科隆 (Köln) 的 TÜV Rheinland 德國萊茵公司，為國際間享有盛名並集檢驗、認證、驗證多項技術領域的一個跨國性的公司，其總公司設於科隆，其因為科隆附近為德國各邦中工廠較多且各種工、商產業較為蓬勃發展，因此需進行檢測、驗證、認證等服務之需求較為頻繁，因此考量到公司整體性的服務及各項資源整合與應用，於是將德國萊茵公司的企業總部設於科隆，且其總公司的大樓可自科隆大橋來往的車輛及火車上便可清晰的看到該公司的企業識別標誌 TÜV，具有十分醒目的宣傳效果。

7.本次研習的第七個機構為位於法蘭克福的德國工具機製造協會 (Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken) 簡稱 VDW，其為德國工具機產業界所共同組成的重要協會，該協會並非僅為一般我國較常見的公會型態，僅設有部分的行政人員進行會議的運作，而是除前述之一般行政人員之外，另設有技術研究及技術發展部門等工具機之專業協會，其並匯整工具機業界所面臨的技術盲點或重要關鍵技的瓶頸，向政府、學術界等各界尋求檢立各種產業界、學術界技術研發合作或研究人員專業訓練等各種合作的管道，來協助德國工具機業界的各種困難。

德國工具機製造協會其更為德國工具機業的代表，協助德國標準協會 (DIN) 有關工具機相關標準的訂定，組織下也設有一個工具機專屬的技術委員會，負責協助 DIN 制定德國工具機相關標準及協同表德國標準協會 (DIN) 之代表出席各種工具機相關的國際會議如 ISO 會議，為德國工具機的業界爭取最大的權益及利益。

本次主要的研習行程如下：

訓練進修日期及時間	訓練進修地點	擬訓練進修機構及訪談對象	訓練進修目的及討論主題
7/11	Taipei -Berlin	往程	

2007	台北-柏林		
7/12-7/23	Berlin 柏林	TÜV Rheinland 德國萊因公司 Mr.Ingber Zimmermann  Deutsches Institut für Normung e. V.DIN 德國標準協會	1.精密零組件之檢測。 2.工具機機械安全之檢測。 3.綠色切削技術之標準發展。 4.德國政府對精密工具機科技之教育、訓練與標準之推廣方式。
7/24	Braunschweig 布朗修瓦格	Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB 德國聯邦物理技術研究院 Dr. Gao-Liang Dai	定位量測技術
7/25-7/26	Ilmenau 伊爾梅瑙	Ilmenau Technical University 伊爾梅瑙科技大學 Prof. Gerd Jaeger	奈米切削及奈米進給之檢測
7/27-7/31	Berlin 柏林	TÜV Rheinland 德國萊因公司 Mr.Ingber Zimmermann	三次元測定儀之量測與應用
8/1-8/2	Aachen 亞琛	RWTH Aachen 阿亨科技大學 Prof. H. Murrenhof.	動力系統設計與系統整合技術與應用。
8/3-8/8	Koln 科隆	TÜV Rheinland 德國萊因公司 Mr. Dieter Krobger	長行程切削定位系統之檢測。
8/9-8/14	Frankfurt	Verein Deutscher	1 德國有關精密工具機及綠色工

	法蘭克福	Werkzeugmaschinenfabriken 德國工具機製造協會 Dr. Timo Würz	具機之現況及未來發展。 2.精密工具機結構分析與設計、線性馬達主軸系統。 3.德國對精密工具機科技政策、策略之規劃。
8/15	Frankfurt-Taipei 法蘭克福-台北	返程	

## 參、心得

本次赴德參訪 2 所大學及多間研究機構，均為德國重要或著名之學術研究、檢測單位。在此科技領域德國政府、學界、民間公司及研究機構，對於精密工具機均投入相當多的經費及人力，而精密工具機所涉及的技術相當複雜不但包含動力系統、數值控制系統、進給機構、量測檢驗系統、光機電整合系統等，是一種複雜且精密的數值控制機械產品，而且產、官、學、研彼此之更有密切的合作技術合作計畫或經費的支援，甚至有跨國性的合作或專利技術互惠協議，且已有相當的結果與成就。所以德國工具機產品在世界的工具機的市場中，已屬於較高技術層級的工具機，是我國工具機業者不斷的嘗試想要跨入的另一個工具機市場，不過從此次研習中發現，除需投入大量的人力資源及財力外，其研發或產品精度檢測過程中所需之儀器設備均非常之昂貴，因工具機所以不論是操作空間、儀器設施、及所須場地面積及相關之維護保養，都要一筆龐大的金額去維護，且部分研究成果並非短期間可以有立竿見影之效，再加上須長期培養、及訓練專業人員等因素，以目前台灣工具機產業之規模一般都屬於中小型企業而言，實在是一筆沈重且不得不投入的負擔，在國際工具機市場中，我國現今不斷的面臨韓國工具機產品在全球中階工具機市場上的競爭及挑戰，另有中國大陸工具機產品的在全球低階工具機市場的低價競爭，所以在投資與產銷成本兩者之間如何取得平衡，是值得我們去考量及思索的一個重要議題，以下將就德國工具機的國家標準、技術發展及檢測方法加以介紹：

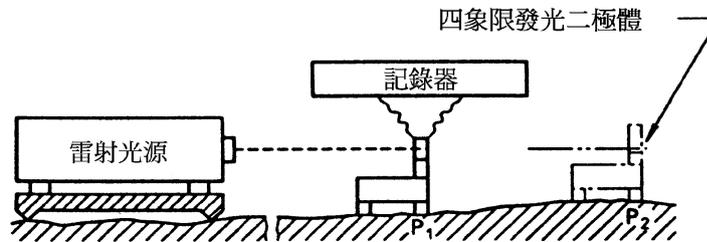
一般而言在測試前工具機的狀況及某些零件的拆卸原則上，測試是對整台完整的工具機來進行的，所以只有在特殊的情形下，得將某些零件依照製造廠的說明書來拆卸（例如為了檢驗滑軌，將工作台拆卸等）。測試之目的乃在儘可能在與正常操作相近之情況下，並顧及潤滑與變熱，進行機器精度之評估。在進行幾何與實際測試時，對於如主軸等易受熱而變位與變形之構件，應比照使用狀況與製造廠之說明書令機器作空轉而使此等構件達到正確溫度。對於高精確度的機器或某些會因溫度變化對其精度有顯著影響的數值控制工具機可另引用特殊檢測條件。

一、工具機基本運轉幾何精度之檢測約可分為以下的幾種檢測：

## 1. 工具機真直度檢測法

### 1.1 雷射對準法

以一個雷射光束即作為量測基準，將一個四象限光電二極體偵測器沿雷射光束之軸線移動，雷射光束即在此器處被導引。偵測器中心點相對於光束之水平與



直立偏差即可被偵測出來而傳送至記錄器進而可讀取讀數（如下圖），並藉以判斷期待測物件之真直度。

### 1.2 角度偏差量測方法

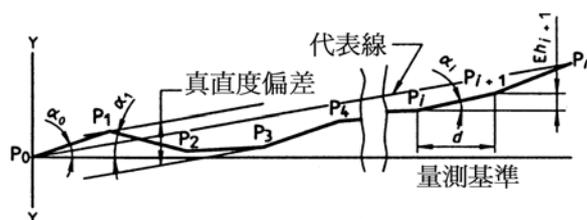
此種方法是使用一個運動元件與所欲檢驗的直線相接觸於 P 與 Q 兩點，此兩點間距為  $d$ 。移動此元件時，在相續兩個位置  $P_0Q_0$  和  $P_1Q_1$ ，令  $P_1$  和  $Q_0$  重合。利用一個與含有欲檢驗直線的平面相垂直的儀器，就可以量測到此運動元件對於一個基準的相對角度  $\alpha_0$  與  $\alpha_1$ 。

所得結果以下列方式處理之，以下參數以適當比例尺用線圖表示之：

- 橫坐標，兩點距離  $d$  相當於被檢驗之直線長度。
- 縱坐標，相對高度差即相對於量測基準之高度。相對高度差之計算如下：

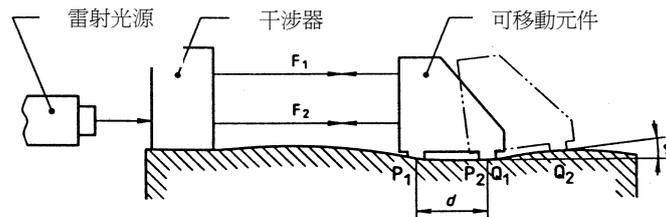
$$E h_{i+1} = d \tan \alpha_i$$

欲檢驗線上各點  $P_0, P_1, P_2 \dots P_i \dots P_n$  可用任意比例尺放大畫出。代表線即由線之本身定義之，例如由  $P_0P_1$  兩端點定之。各接觸於所得曲線之最高點與最低點，真直度偏差即是沿 YY 軸線方向的兩平行線間之距離。



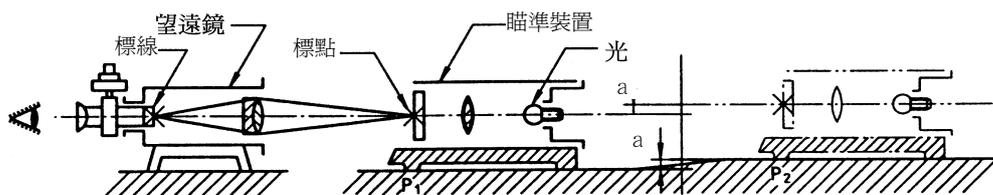
### 1.3 雷射干涉法

使用干涉器時應固接於在欲檢驗直線運動上的元件上。此法特別適用於高難度的量測，因為它較少受到空氣折射指數變化之影響。本量測基準由自干涉器射出的兩平行光束 F1 與 F2 所構成（如下圖）。



### 1.4 望遠鏡瞄準法

使用本法望遠鏡的光軸即為量測的基準。旋轉全部望遠鏡與標點，即可檢驗任何平面上一直線之真直度。標點之支架應安放在含有欲檢驗直線之平面上若干點處。此等點數應夠多，以確保其穩定與導引。標點支撐點之一的 P 點應放在欲檢驗的線上。標點應與含在欲檢驗直線的平面在 P 點正交。運動件之移動應儘量保持直線且與望遠鏡之光軸平行，如果長度較長，空氣之折射指數之變化會影響光束之偏差，因而影響讀數之精度。



## 2、工具機定位精度之量測法

本量測法是直接量測工具機上的各獨立軸，其中包括直線運動與旋轉運動，但不適用於多數個軸同時檢驗。試驗之前必須有一段暖機的操作程序，該暖機操作程序必須由製造商指定或由廠商與買方共同協議。若沒有指定的操作條件，則試驗前動作必須限於必要之量測儀器之設定動作。

目標位置的選定，目標位置的值可被自由的選定，其一般形式如下

$$P = (N+r)p$$

其中  $N$  是整數， $r$  是隨機的十進位小數， $p$  是所測試之軸的最大週期節距，又  $r$  在不同的目標位置取不同的值， $N$  的選定必須使沿著或環繞軸的目標位置均勻的間距。如此可確保適當的位置誤差取樣。

對每個目標位置  $P_j$  由每個方向的 5 次趨近中，計算

a) 位置偏差

$$x_{ij} = P_{ij} - P_j$$

b) 位置平均偏差

$$\overline{x_j \uparrow} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 x_{ij \uparrow}$$

和

$$\overline{x_j \downarrow} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 x_{ij \downarrow}$$

c) 逆向值

$$B_j = \overline{x_j \uparrow} - \overline{x_j \downarrow}$$

c) 標準偏差估測值

$$s_j \uparrow = \sqrt{\frac{1}{4} \sum_{i=1}^5 (x_{ij \uparrow} - \overline{x_j \uparrow})^2}$$

和

$$s_j \downarrow = \sqrt{\frac{1}{4} \sum_{i=1}^5 (x_{ij \downarrow} - \overline{x_j \downarrow})^2}$$

或

$$s_j \uparrow = |x_{ij \uparrow \max} - x_{ij \uparrow \min}| \times \frac{1}{2.326}$$

和

$$s_j \downarrow = |x_{ij \downarrow \max} - x_{ij \downarrow \min}| \times \frac{1}{2.326}$$

d) 範圍極限

$$\bar{x}_j \uparrow +3s_j \uparrow \text{ 和 } \bar{x}_j \uparrow -3s_j \uparrow$$

和

$$\bar{x}_j \downarrow +3s_j \downarrow \text{ 和 } \bar{x}_j \downarrow -3s_j \downarrow$$

$$\bar{x}_j \uparrow +3s_j \uparrow \text{ 和 } \bar{x}_j \uparrow -3s_j \uparrow$$

和

$$\bar{x}_j \downarrow +3s_j \downarrow \text{ 和 } \bar{x}_j \downarrow -3s_j \downarrow$$

對於 2 公尺以內的主軸每公尺至少必須選取 5 個目標位置，且全長至少應有 5 個目標位置均勻分布於軸上。對每個目標位置，量測進行的方式必須採用線性循環或採用迴步循環，每個目標位置必須由每個方向趨近至少 5 次。

## 二、三次元量床(Coordinate Measuring Machine, CMM)的應用

三次元量測在德國已廣泛受到重視與使用，三次元量床(Coordinate Measuring Machine, CMM)又可稱為三次元測定儀等名稱，其可迅速的在 X、Y、Z 三軸同時進行量測，並具有三度空間的量測功能，基本上三次元量床可區分為接觸式與非接觸式兩大類型，接觸性主要以探針式測頭為主，非接觸式則是利用光學式測頭與影像處理技術為主。以本次參訪的德國聯邦物理技術研究院

(Physikalisch-Technische Bundesanstalt) PTB 及 TUV 公司，都已具有上述兩種型式的三次元量床，但本次參訪具帶狀多點雷射掃描器之三次元量床，而 PTB 其更應用結合了自動化的相關軟體的如與電腦輔助設計系統(CAD)的緊密配合，使得三次元量測的靈活度和精度可以充份的發揮及應用。但帶狀多點雷射掃描器之三次元量床也並非毫無缺點及限制，其缺點如銷售及維護價格偏高，且需較為潔淨量測環境，又其易受光線陰影所影響而誤判讀數，因此常需在量測表面作白色不反光之噴漆處理，以減少光學陰影所造成誤差。但其量測速度快、準確性高且為非接觸式因此也不受限於量測物件材料總類的優點，反觀接觸式之 CMM 量床，雖然仍有不錯的量測精度，但是也有量測材質之限制，及量測死角等問題。目前尤其是面對表面複雜的量測物件，更是現在德國在精密量測中不可或缺的重要量測設備。

CMM 系統目前在德國已被廣泛的結合及應用在各種製造業之 CAD/CAM 電腦輔助設計與製造之結合、品管之檢測 QC、醫學之立體定位等，其所應用的領域更是包含眾多，其現今德國更將此量測儀器應用到逆向工程（Reverse engineering）中，設計者現在可以修改或建立在製造過程中變更設計模型或模具，以模具製造業為例，原始的設計模具在模具製程中就常常被修改，然而這些幾何外型的改變，卻往往未曾即時的反應在原始的 CAD 模型上，現在有 CMM 系統的協助後，目前已完全改變了以往的作法，變的更有效率、更迅速、更能降低成本。CMM 系統能在逆向工程的功能和在設計製造間扮演畫龍點睛的演角色。

### 三、綠色工具機的發展

一般而言工具機本身為一個龐大且複雜的機器，工具機為產品生產設備之源頭，建立綠色技術可以從源頭根絕或大量減少能量的消耗及環境污染，目前德國發展的較為出色的是微潤切削俗稱乾式切削或綠色切削，其是將冷卻液改為採用霧狀的噴射冷卻加工方式來降低冷卻，並減少冷卻液所衍生的環保問題，綠色切削技術(Green Cutting Technology)，其可視為是一種能量和材料與生產零件間的轉換，在原來工具機一般的加工過程中，由於加工速度及加工主軸的轉速不斷的提升，相對著為減少工件及主軸的熱效應，以往一般都常會使用冷卻劑來降低工作時之切削溫度，但使用冷卻劑除冷卻工件外，另有延長及確保刀具的壽命和協助順利工件排除切屑，但是使用冷卻劑卻也帶來了使用冷卻劑的成本增加，其長時間使用對自然及工作環境及工作者卻易產生相關的不良影響，如何減少及降低切削液的使用及延長切削液的循環使用壽命，乾式切削（Dry Cutting）技術的運用及工具機運動零組件使用固體潤滑等應用技術，都是一個極具挑戰的新課題。但是德國在面臨這些困難時，不單只是機器製造者所面臨的問題，而是切削材料、刀具、冷卻液等製造者，一起相互研究配合，在不降低工件表面粗度之條件下，不斷的尋求解決的方法，目前已可獲得切削每分鐘 40 公尺的乾式切削加工的成果，但均僅侷限於部分材質，目前並無法通用於一般材料。

目前綠色切削技術在各先進工具機大廠均屬未來主要產品，隨著產業及環保意識需求不斷的提升，移動件輕量化、工具機機體輕量化、綠色切削技術將於未來其將成為市場主流產品，因此本項關鍵新技術的研發，必可使我國工具機產業於下一代的產品競爭中處於有利的地位，並兼具環保性的指標意義，並擺脫與韓

國、大陸、東南亞等國的削價競爭的困境。

#### 四、DIN 德國標準中專利之引用原則及標準化的經濟效益

目前世界各國標準隨著科技的發展，也逐漸陷入一些難題，當然德國也面臨了這一個難關，以德國標準協會為例其標準不僅只侷限於一般的工業產品，而越來越多的 3C 電子、科技資訊產品標準也不斷的醞釀及討論中，但是隨著各種新產品的研發，越來越多的新產品因其公司投入了大量的人力及物力來研創此產品，因此為維護公司的應有權益及利益，各項產品只要涉及新技術或新制程等技術，都會涉及相關的專利權的使用的問題，要如何的研擬標準草案又不因侵犯或涉及專利權的種種問題，確實有逐漸增多的趨勢，但是 DIN 德國標準協會國際合作處的 Mr.Kasier 表示德國標準協會目前處理標準若涉及專利權時，因儘可能的避免各種專利權的引用，除非是本項專利技術是目前短時間內無法以其他種方式或法則所取代，且該項標準是具緊急性或急迫性的必需標準，且經該相關領域之技術委員會委員與各界代表討論後達成一致性的決議後，德國標準協會將會盡力協調該項專利所有權人以最優惠的權利金提供給標準使用者使用，但直至目前為止仍未有任何一項標準因涉及專利所有權時是由 DIN 德國標準協會出面協調權利金等事宜，DIN 德國標準協會國際合作處的 Mr.Kasier 表示並非每一項專利都是具不可取代性，且專利並不是一定就適合各種需大量標準化的產品，因此該會的標準制定手冊中才會明列出應盡可能的避免專利的引用，以免陷入漫長專利權利金的協議中。

標準化的經濟效益是一個需長時間調查，且須要各界配合提供各種數據、資料來加以統計及整併，據本次接待的 DIN 國際合作處的 Mr.Kasier 表示，DIN 標準協會曾利用使用者在下載 DIN 標準時，請求使用者在 6 個月內提供該公司使用標準後，其產品製造成本是否降低、生產流程效益是否提高、產品標準化後其規格統一後是否可提高競爭力、該公司節省之成本或提高之獲利之金額等問題，請標準使用者提供相關資料，必加以考量各種因素，加以統計及評估，而推算出來，但因標準的領域眾多，且使用者回覆相關資料是否確實等因素也會影響到整個效益的推算結果。

## 五、精密工具機加工主軸之發展趨勢

德國目前正面臨了與我國十分相似的問題，早期工具機加工製造的產品主要是供應工業用途之零組件，講求的是耐用性、精密度及生產速度等要求經濟層面的考量，隨著現今消費者的需求及意識型態的改變，市面上各項產品的功能日新月異，因此對於使用工具機來加工的產品，其因為產品需呈現出輕、薄、短、小或特殊的外型或特性，連帶產品的生命週期也一併縮短，不斷的推陳出新來迎合消費市場，其所使用的加工材料也逐漸的和以往早期的鋼鐵材料逐漸的替換成合金、輕金屬、脆硬材料、中空材料等，零組件規則的外型也變成複雜、不規則的多曲面外型，因此工具機的加工主軸的設計也必須因加工零組件的特性及外型而改變，為配合此種現況目前發展的趨勢為：

1. 高精度及高速度化：其主要的以發展內藏式高速主軸等技術為主，內藏式高速主軸因目前改採用滾動軸承(Hybrid bearing)其藉由氮化合金鋼與陶瓷之結合油氣滑潤之潤滑技術，較傳統的軸承以可延長並提升約 10 倍的使用壽命，並可以提高滾動軸承所能承受之轉速較傳統的軸承約可提高 60-70%，目前已克服部分因加工轉速之提升而主軸軸承易燒毀等維修不易等缺點。
2. 智能化：切削主軸與各種感測器的應用，更是目前德國精密工具機產業發展的重要技術，並逐步成為不可或缺的一部份，各式感測器可應用在工具機各項切削性能的檢測，工具機的應用領域多偏於性能的檢測，如雷射感測器可用於定位精度之檢測、位移感知器可用於監控主軸與進給軸溫升熱變形、加速度規感測器更可用以檢測主軸切削時所產生振動量測等，這些感知器所檢測出之數值，更可以提供數值控制器對於各種切削加工時之數值補償，以達到工具機整體的加工之精度。
3. 複合化：工具機複合化是德國及我國目前及未來發展的一個主要趨勢，因為單一功能的機器，因侷限於體積及實用性及價格，已無法滿足目前多樣化的加工需求，取而代之的是五軸以上的工具機，其德國目前已有家公司已發展出車、銑複合等五軸工具機及附加雷射加工頭的工作軸之主機，雷射頭可應用於零組件之銲接及工件表面熱處理，目前五軸工具機德國已發展出兩軸旋轉之主軸頭、旋轉工作台及主旋轉軸、兩旋轉工作台等工具機。

4. 節能化等趨勢：目前德國已發展出線性馬達來驅動工具機主軸並取代傳統的馬達、齒輪、皮帶之動力傳動模式、線性式滑軌取代部分之傳統之導螺桿、微潤冷卻切削系統取代傳統之冷卻液切削系統、來降低傳統工具機所帶來的耗能、噪音及震動及環保等缺點。

## 肆、建議

本次參加 96 年度台德技術合作計畫，赴德國研習「次世代精密工具機之技術與應用」之專業知識並收集相關技術資料，個人覺得獲益良多，就此研習過程中之所見及其自身的經歷，提出 3 點建議供作參考：

### 一、應加強與德國及歐盟之技術交流

工具機為我國在世界上居於前五大國的生產國，而德國更是排名世界第二大的生產國，我國更應借重他山之石可以攻錯，精密工具機之技術與應用其所涉及的技術相當的廣泛，更是未來具有相當潛力之研究領域，就以德國而言，其政府、民間機構、公司及大學等均對精密工具機投入相當多的研發經費及人力，各項的研究成果也逐漸的開花結果，但各項的技術研究開發並不是一蹴可及，因此需累積各項的研究成果及經驗，並從經驗中不斷的發現出各種問題及缺失加以改進或突破困難，但是在過程中需要不斷的投入大量的經費及設備來協助各項研究及開發，故德國在工具機所累積的經驗技術及做法，更有很多值得我們學習的地方，如落實工具機各項專業技能的訓練，充裕之量測設備及檢校技術人員的培訓都是不可或缺的一環。以我國的電子、資訊產業具相當的研發基礎及實力，相信只要加以整合及合作，一定可以為我國工具機暨相關零組件開創另一項輝煌的奇蹟。

唯長久以來政府與歐洲間之技術交流似乎仍不夠，面對瞬息萬變的世界村，且歐盟逐漸成為世界一大經濟體，其經濟實力不容忽視，故建議加強政府及政府人員、相關產業界與歐洲國家間之技術交流。我國更應加強對德、對歐各國各項技術交流與產業合作。

### 二、協助業界研發關鍵性的重要技術

次世代精密工具機其發展目前可預見的領域為，為精密鐘錶零組件及生醫技術設備等而發展的工具機微小化及精密化、為提縮短加工時程、提昇至程效率及降低產品成本的主軸高速化及複合化功能，及降低人力資源及整合製程資訊化、至程透明化管理的 IT 遠端控制整合系統，這些技術是我國目前應加速研發相關的關鍵技術及領域，但我國工具機的製造商多為中小型企業要長時間的投入研發和不斷的購置相關設備，實在是不可不投資且相當沈重的負擔，建議政府應投入更多的技術輔導措施及經費或稅賦優惠的方式來協助我國工具機相關業者，並協助

及整合業界開發上述技術所需之關鍵性零組件，在未來的國際市場競爭中取得領先的契機。

### 三、出國經費問題

目前歐元為世界強勢的貨幣，統合後的歐洲各國大多數的國家均使用的貨幣為歐元，歐元是現今世界最主要的貨幣之一，目前我國的赴歐研習經費核算方式仍以美元計算，且需自行兌換歐元無形中已損失了第二次匯差。另外一項規定為出國參訪時程若超出 14 天以上，其日支費依減半補助之原則，在德國大部分地區，若依規定之日支費來支付住宿、膳食及大眾交通費用等會有捉襟見肘之情形。故建議赴德國或歐陸地區之經費報銷，可以歐元核算並適度調整日支費。

伍、附錄

VDW live technology , DIN DITR Information Services Products 等資料。