

出國報告（出國類別：實習/洽公）

# 核能、火力發電機組關鍵組件現場即時 加工修理與雷射量測設備性能規劃

服務機關：台灣電力公司電力修護處南部分處

台灣電力公司第三核能發電廠

姓名職稱：陳明裕 分隊長

劉文斌 汽機股長

派赴國家：德國

出國期間：95.07.18~95.07.31

報告日期：95.09.11



### 出國報告審核表

出國報告名稱：核能、火力發電機組關鍵組件現場即時加工修理與雷射量測設備性能規劃		
出國人姓名（2人以上，以1人為代表）	職稱	服務單位
陳明裕	第四分隊長	台電電力修護處南部分處
出國期間：95年07月18日至95年07月31日		報告繳交日期：95年09月09日
出國計畫主辦機關審核意見	<input checked="" type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 2.格式完整（本文必須具備「目的」、「過程」、「心得」、「建議事項」） <input checked="" type="checkbox"/> 3.內容充實完備 <input checked="" type="checkbox"/> 4.建議具參考價值 <input checked="" type="checkbox"/> 5.送本機關參考或研辦 <input checked="" type="checkbox"/> 6.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 7.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input checked="" type="checkbox"/> 8.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input checked="" type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會（說明會），與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input checked="" type="checkbox"/> 9.其他處理意見及方式： 1 陳分隊長出國研習對於汽機大修時雷射對心有深入探討，未來多軸式雷射對心設備技術成熟，可添購該設備，對於縮短汽機大修工期會有很大幫助 2.本處除現有現場檢修工作設備外，各類大型閥類的焊補研磨設備開發有其	
	層轉機關審核意見 1 必要性，未來新技術的開發，可委由外界技術服務後技術轉移本處（虎） <input type="checkbox"/> 2.退回補正，原因：_____ <input type="checkbox"/> 3.其他處理意見：	

說明：

- 一、出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。
- 二、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 三、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「出國報告資訊網」為原則。

報告人



單位  
主管



主管處  
主管



總經理  
副總經理：









## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

核能、火力發電機組關鍵組件現場即時加工修理與雷射量測設備性能規劃

頁數 28 頁含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/陳德隆/02-23651234-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

陳明裕/台灣電力公司/電力修護處南部分處/分隊長/07-2510195-511

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：95.07.18~95.07.31      出國地區：德國

報告日期：

分類號/目

關鍵詞：發電機組、現場即時加工修理、雷射量測設備

內容摘要：(二百至三百字)

台灣電力公司現有核能、火力發電機組大部份均已運轉數十年，部分關鍵組件如主汽機等已有劣化或運轉損傷等現象，且目前發電機機組大修工期日益縮減，為能建立本公司修護技術自主能力維持本公司現有機組順利運轉。利用主要出國實習機會參訪德國設備廠商，就核能、火力發電機組關鍵組件現場即時加工修理與雷射量測設備之技術發展進行研討，並實際操作各項機具設備。

俾能針對本公司機組設備維護需求進行各項設備性能規劃及作為往後機具設備及技術引進之參考。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.gsn.gov.tw>)

# 目 次

壹、出國目的：	1
貳、出國行程：	2
參、雷射量測技術探討：	3
一、雷射幾何量測原理介紹	3
(一)、組件介紹	4
二、雷射幾何量測系統的應用	10
(一)、水平/垂直轉軸對心	10
(二)、平面度/直度量測	12
(三)、基座軟腳量測	13
(四)、大型迴轉機械動靜件中心量測	13
(五)、汽機軸承高程量測	15
(六)、相對位置變化量測	16
肆、現場加工技術之探討：	18
一、本公司發電機組現況	18
二、現場加工修護工作內容：	19
(一)、汽機內外缸、格蘭水平接合面吹蝕損傷	19
(二)、汽機靜葉環蒸汽止漏面吹蝕損傷	19
(三)、汽機聯軸器螺栓卡死處理及螺栓孔加工	20
(四)、閘閥之閘盤或閘座擦傷	21
(五)、控制閘閘座摩擦損傷	21
(六)、閘體內部壓力封環吹蝕損傷	22
(七)、閘蓋與閘體密封墊嵌合處損傷	22
三、電力修護處之現場加工修護技術	23
伍、心得	24
一、雷射量測設備	24

(一)、多軸聯軸器同時對心 .....	24
(二)、汽機軸承高程核測 .....	25
二、現場即時加工修護 .....	25
(一)、調速閥閥座之現場車修技術 .....	25
(二)、開閥閥盤及閥座研磨加工技術 .....	26
三、電力修護處現場加工修護規劃之方向 .....	26
四、電力修護處雷射量測技術規劃方向 .....	27
五、參訪及實習感想 .....	27
陸、建議事項： .....	27

## 壹、出國目的：

台灣電力公司肩負為台灣經濟發展提供穩定而充裕電力之重責大任，唯本公司現有核能、火力發電機組大部份已運轉一、二十年，部分關鍵組件如主汽機、汽機閥類等已有劣化或運轉損傷等現象，加上近年來發電燃料成本高漲，使得本公司營運面臨前所未有的衝擊。為求降低本公司營運成本，唯有提高機組發電效益、有效縮減機組大修工期才能竟其功。遺憾的是，公營事業多年來在政府採遇缺不補之緊縮人事政策下，本公司從業人員平均年齡將近五十歲、可用人力逐年老化，使得本公司機組大修工作面臨修護工作增多、工期縮短、人力老化之挑戰。

在目前燃料價格持續高漲，發電成本節節攀升之際，本公司之營運更有賴於發電機組安全且平穩的運轉發電，而發電機組安全的運轉，必需仰賴於機組大修時針對運轉缺失及組件損傷進行必要的調整與修護。有鑑於機組關鍵組件損傷的修護工作牽涉整體機組的大修工期，進而影響供電系統的電力調度之彈性，因此有必要建立關鍵組件現場即時加工之技術，建立關鍵組件修護技術自主能力。另外為確保機組大修品質並於有限大修工期內完成關鍵尺寸的核測，有必要引進新式雷射量測設備與技術，以滿足有限大修工期下的關鍵尺寸核測，期能縮短機組大修工期，提高發電機組設備運轉率，使得本公司面對因燃料成本高漲所帶來的營運衝擊降至最低。

本次奉派出國主要赴德國 EFCO 公司針對發電機組關鍵組件之現場修護加工技術進行研討及實習，並赴德國 PRUFTECHNIK 公司針對雷射量測技術進行技術交流及實習。

## 貳、出國行程：

95年07月18日~95年07月19日

往程（高雄→台北→法蘭克福→慕尼黑）。

95年07月20日~95年07月22日

赴 Pruftechnik 公司參訪及雷射現場量測技術研討與實習。

95年07月23日~95年07月23日

德國慕尼黑至德國科隆。

95年07月24日~95年07月29日

赴 EFCO 公司參訪及現場組件加工技術研討及實習。

95年07月30日~95年07月31日

返程（科隆→法蘭克福→台北→高雄）。

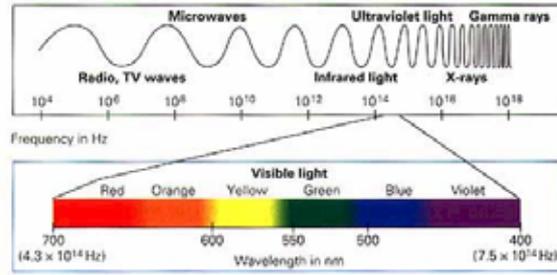
### 叁、雷射量測技術探討：

在機組例行性的機械設備維修過程中會使用相當多的量測機具，用以檢測設備的功能狀態，如動、靜件間隙量測、轉軸軸位的核測、軸系的對心等，目的在使設備在維修及回裝過程中，能符合原製造廠家的設計規範，確保機組順利安全運轉。隨著工作人員年齡的老化、大修工期的縮短以及大修工期重疊日益嚴重，使得機組大修過程中，上述尺寸、間隙量測與對心等工作，所耗費的時間、量測數據的正確性與量測品質愈形重要。

在早期的機組大修工作中，各項尺寸的量測大都使用游標卡尺、針盤指示量表、測微器等機械式量測機具，隨著時代進步各式電子化量測設備紛紛出籠，如 LVDT、Eddy Current Transducer、超音波量測等，但因儀器線路複雜、校正繁瑣等因素並未大量使用於機組現場大修中各項尺寸的量測。近年來半導體製程技術突飛猛進，使得半導體雷射幾何量測系統得以小型化，不僅具有構造簡單、可攜性高、量測精度高、量測品質穩定的優點外，更可提高量測效率，適合應用於機組大修現場精密尺寸的量測。

#### 一、雷射幾何量測原理介紹

雷射 Laser 一詞為 Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation 的簡稱，雷射光與一般光源最大的不同在於雷射光為同相位、同波長的單一光波。目前使用中的各種不同雷射光源的雷射光波介於  $100 \sim 10000 \times 10^{-9} \text{M}$  之間，如表一所示。以目前應用於現場量測的雷射量測系統而言，大都使用波長介於  $630 - 950 \text{ nm}$  間的由雷射二極體(Laser Diode)所發射出來的雷射光或稱為半導體雷射。半導體雷射發射器所發射的光波分為可見光及不可見光，可見光波長介於圖一光譜上的紅色部分，即可見光的半導體雷射發射器所發出的光為紅色，光波波長大於  $700 \text{ nm}$  時則屬於不可見光。半導體雷射的有效量測範圍可長達數十公尺，近年來隨著半導體製程技術的進步，使得半導體雷射的體積大幅縮小，可以應用在多樣的場合中，所以半導體雷射以其體積小、攜帶方便，量測精度高等特性，在需要量測精度高的場合已逐漸取代傳統的量測方式。



圖一、可見光於電磁波頻譜的位置。

雷射種類	波長(in nanometers)
Argon Fluoride	193
Xenon Chloride	308 and 459
Xenon Fluoride	353 and 459
Helium Cadmium	325 - 442
Copper Vapor	511 and 578
Argon	457 - 528
Frequency doubled Nd:YAG	532
Helium Neon	543, 594, 612, and 632.8
Krypton	337.5 - 799.3
Ruby	694.3
Laser Diodes	630 - 950
Ti:Sapphire	690 - 960
Nd:YAG	1064
Hydrogen Fluoride	2600 - 3000
Erbium:Glass	1540
Carbon Monoxide	5000 - 6000
Carbon Dioxide	10600

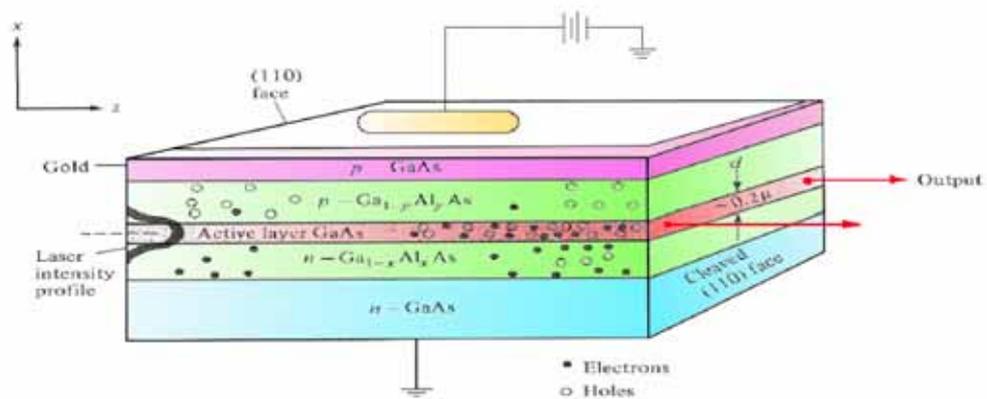
表一、不同介質所產生雷射光的波長。

### (一)、組件介紹

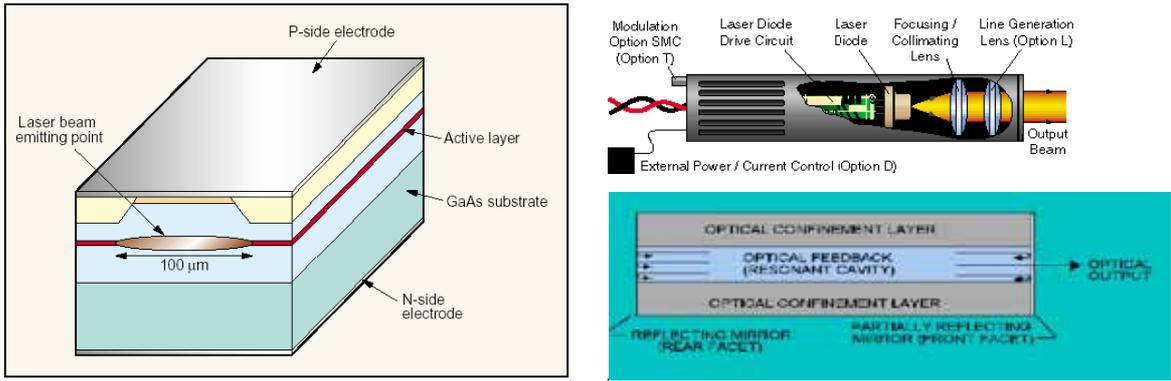
雷射幾何量測系統主要包含三個組件，半導體雷射發射器、位置感測器及訊號處理單元。雷射幾何量測主要是利用雷射發射器所發射出的雷射光束作為基準線，利用位置感測器偵測雷射光束與位置感測器間的變化，再利用幾何原理計算出測點在空間中的變化。以下對各組件的運作原理簡要說明。

## 1. 半導體雷射發射器

半導體雷射利用半導體材料原子核外圍電子能階改變所發射出來的光線作為雷射光源，其原理為當 P 型與 N 型半導體之間加上適當的順向偏壓時，P 型半導體的電洞與 N 型半導體的電子會在 P 型與 N 型半導體接合處(Junction)結合而輻射出電磁波，所發出電磁波波長由電洞與電子能階(Energy Level)或材料能帶(Energy Gap)的差異而決定，如圖二為一典型砷鎵鋁半導體雷射示意圖，上端為 P 型 GaAs 半導體基板，下端為 N 型 GaAs 半導體基板，P 型 GaAs 半導體基板的底部與 N 型 GaAs 半導體基板上層方摻雜有鋁元素，中間有一層  $0.2 \mu\text{m}$  的 GaAs 稱為主動區，當於兩個電極之間通上電流達到激發狀態時，於主動區會發射出光線，由於主動區的表面均塗以反射層，光線會在主動區內來回震盪達到同步化。因射出面的反射層為局部反射，當光線強度達到一臨界值時會從射出面射出，再經由光學鏡頭的聚焦調變後即成為可見雷射光線，如圖三所示。



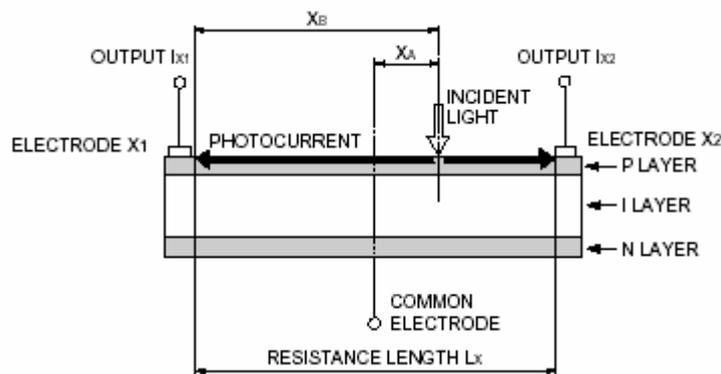
圖二、砷鎵鋁半導體雷射截面示意圖。



圖三、半導體雷射運作示意圖。

## 2. 雷射位置偵測器

半導體雷射偵測器一般使用簡稱為 PSD(Position Sensitive Detector)的位置感測器，主要用於偵測雷射光點位置的變化。目前市面上常見的位置感測器係以半導體材料(矽)製成，基本上是在半導體基板上沉積一層具有均勻電阻的材料，並具有一對電極以擷取電子訊號(電流訊號)，圖四為半導體位置感測器的截面示意圖。將 P 型的電阻層利用低壓化學沉積法(Low Pressure Chemical Vapor Deposit) 沉積於 N 型的基板上，這層 P 型的電阻層具有光電效應轉換能力，能將光能轉換成電子訊號，因此 P 型的電阻層又稱為主動區。



圖四、半導體位置感測器的截面示意圖。

當雷射光束打在位置感測器的主動區時，會在主動區的 P 型電阻層產生電荷，當電荷由光束位置移動至邊緣的電極時，即會在電極處產生電流訊號。假設原點在位置感測器中心時，光束位置與電流訊號的關係可由下列公式計算而得

$$I_{x1} = \frac{\frac{Lx}{2} - X_A}{Lx} \times I_o \quad (1)$$

$$I_{x2} = \frac{\frac{Lx}{2} + X_A}{Lx} \times I_o \quad (2)$$

$$\frac{I_{x2} - I_{x1}}{I_{x1} + I_{x2}} = \frac{2X_A}{Lx} \quad (3)$$

$$\frac{I_{x1}}{I_{x2}} = \frac{Lx - 2X_A}{Lx + 2X_A} \quad (4)$$

其中

$I_o$  : 總電流( $I_{x1} + I_{x2}$ )。

$I_{x1}$  : X1 電極的輸出電流。

$I_{x2}$  : X2 電極的輸出電流。

$Lx$  : 主動區長度。

$X_A$  : 射入光線與感測器中心點間的距離。

$X_B$  : 射入光線與感測與 X1 電極間的距離。

位置偵測器有許多種封裝型態，如圖五所示，依其位置偵測能力可分為一維(如圖五中長條型)及二維(如圖五中方型)位置偵測器。一般用於雷射量測系統的是二維位置感測器，此型具有量測平面上 X 軸與 Y 軸位置變化的能力，依電極的配置及構造又可分成三種類型：



圖五、各種不同類型的位置感測器。

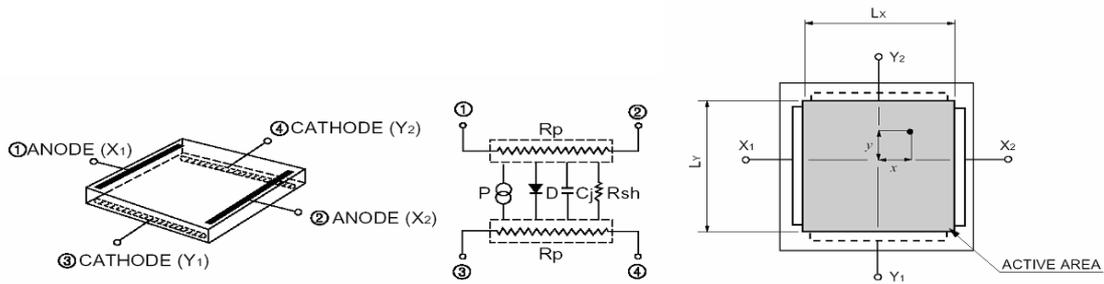
(1). Duo-Lateral :

其 X、Y 軸的電極配置方式及對應的電路如圖六所示，X 軸的位置訊號由上層電

阻層的電極取得，Y 軸的位置訊號由下層電阻層的電極取得，其光束位置與輸出電流的關係如示(5)及(6)

$$\frac{I_{X2} - I_{X1}}{I_{X1} + I_{X2}} = \frac{2x}{L_x} \quad (5)$$

$$\frac{I_{Y2} - I_{Y1}}{I_{Y1} + I_{Y2}} = \frac{2y}{L_y} \quad (6)$$



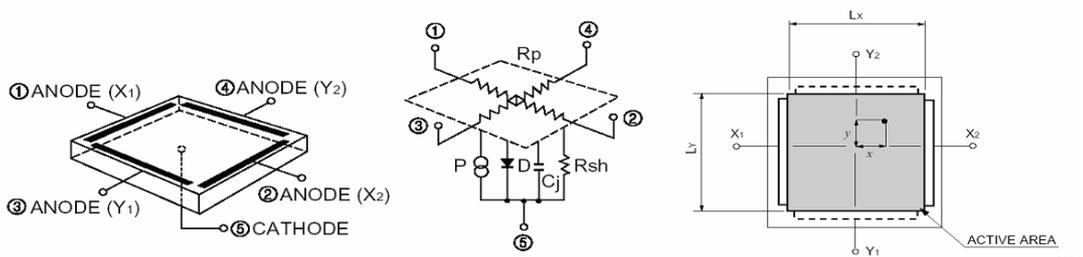
圖六、Duo-Lateral 位置感測器。

### (2). Tetra-Lateral

此型的構造簡圖及對應的電路如圖七所示，四個電極均位於上層電阻層的表面四個邊上，因此其光電效應產生電流由四個電極均分而計算其位置，其光束位置與輸出電流的關係如示(7)及示(8)

$$\frac{I_{X2} - I_{X1}}{I_{X1} + I_{X2}} = \frac{2x}{L_x} \quad (7)$$

$$\frac{I_{Y2} - I_{Y1}}{I_{Y1} + I_{Y2}} = \frac{2y}{L_y} \quad (8)$$



圖七、Tetra-Lateral 位置感測器。

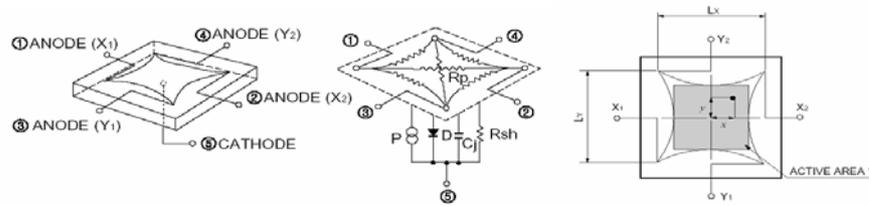
### (3). Pin-Cushion

此型的電阻層、電極配置及對應的電路如圖八所示，其輸出電流與光束位置的關

係如示(9)及示(10)

$$\frac{(I_{X2} + I_{Y1}) - (I_{X1} + I_{Y2})}{I_{X1} + I_{X2} + I_{Y1} + I_{Y2}} = \frac{2x}{L_x} \quad (9)$$

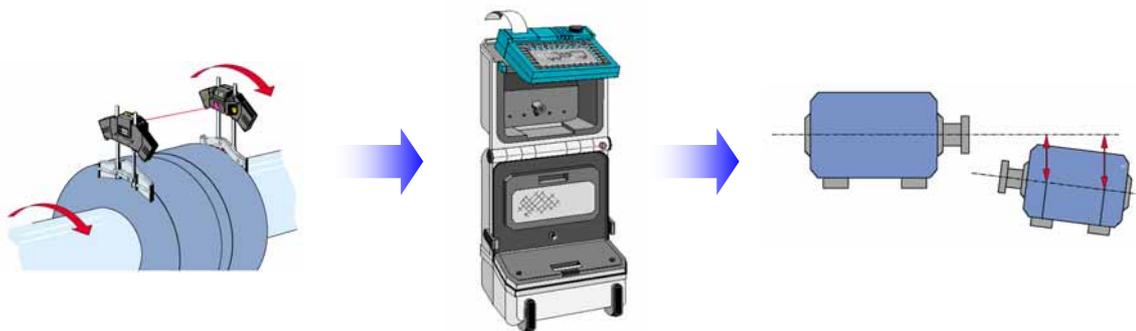
$$\frac{(I_{X2} + I_{Y2}) - (I_{X1} + I_{Y1})}{I_{X1} + I_{X2} + I_{Y1} + I_{Y2}} = \frac{2y}{L_y} \quad (10)$$



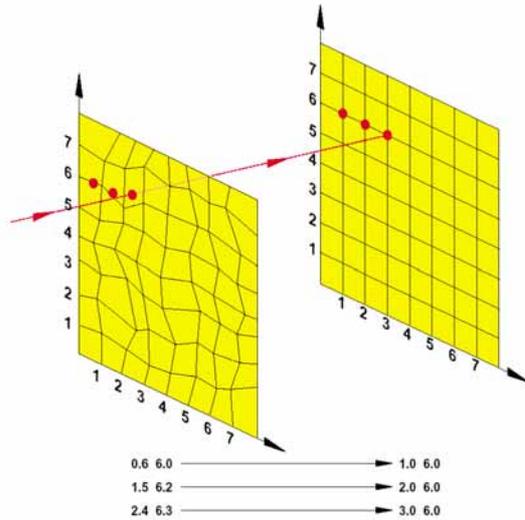
圖八、Pin-Cushion 位置感測器。

### 3. 訊號處理單元

訊號處理單元主要是電路所構成，用來將位置感測器的電流訊號經過適當的處理運算轉換成位置讀值，通常於訊號處理單元內建有運算程式可以進行特定用途的運算，如圖九所示。另外訊號處理單元還需有校正位置感測器訊號線性度的功能，如果未經校正，位置感測器輸出訊號與真正量測位置之間會有偏差如圖十所示，經過內部補償校正後其量測值才會是正確的，各個廠家有其獨特的校正補償方式，皆視為商業機密。



圖九、訊號處理單元運作流程。



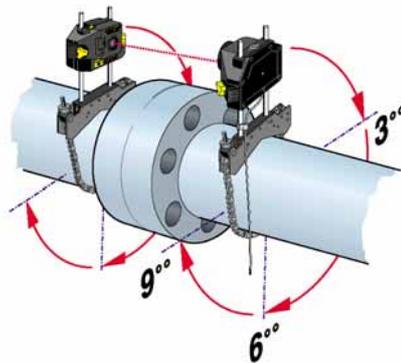
圖十、位置感測器訊號校正。

## 二、雷射幾何量測系統的應用

目前雷射幾何量測系統在各廠家積極開發下已有不少應用，在此僅就機組維修方面的應用作一說明。

### (一)、水平/垂直轉軸對心

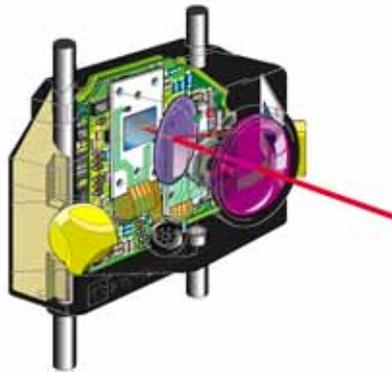
雷射對心在各製造廠家大力推廣下，已普遍應用於小型迴轉機械的對心工作上，雷射對心主要是利用雷射發射器與位置感測器取代傳統的針盤指示量錶，應用反向對心法(Reverse Method)原理，以三點、四點或連續方式，量測兩個轉軸在圓周方向的變化(如圖所示)，進而計算所需的調移量。



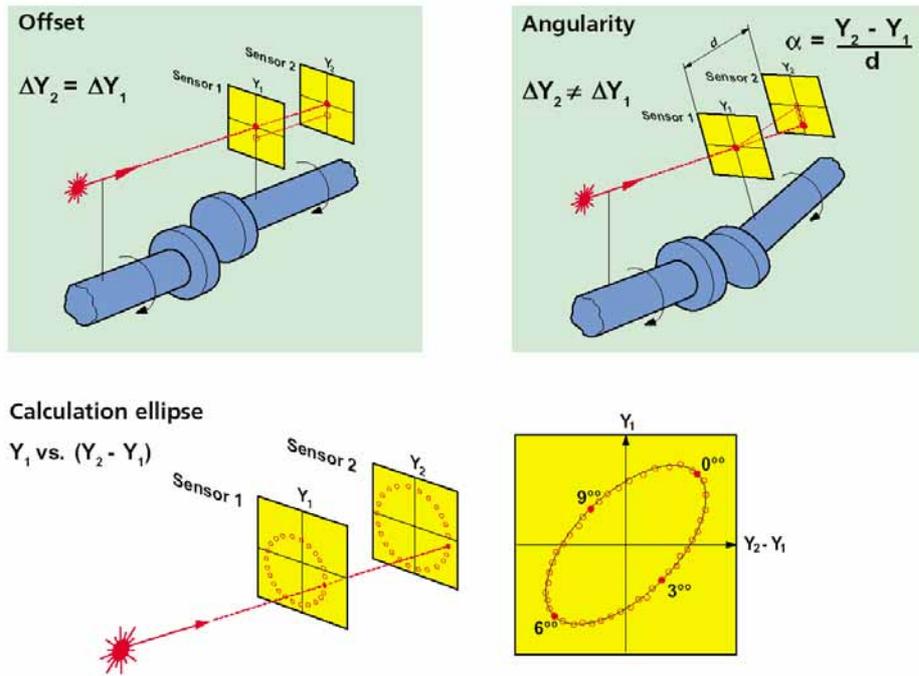
圖十一、反向對心量測法。

目前較為普及的雷射對心系統主要區分為兩類，一種使用雙雷射發射器、雙位置偵測器，另一種使用單雷射發射器、雙位置偵測器加上反射稜鏡。在實務上以雙雷射發射器、雙位置偵測器的精確度較高。雙雷射發射器、雙位置偵測器的系統於每個模組上各有一個雷射發射器及雙位置偵測器，彼此發射的雷射由另一個模組上的位置感測器所接收，其使用方法與計算方法跟同點反向對心法一樣。

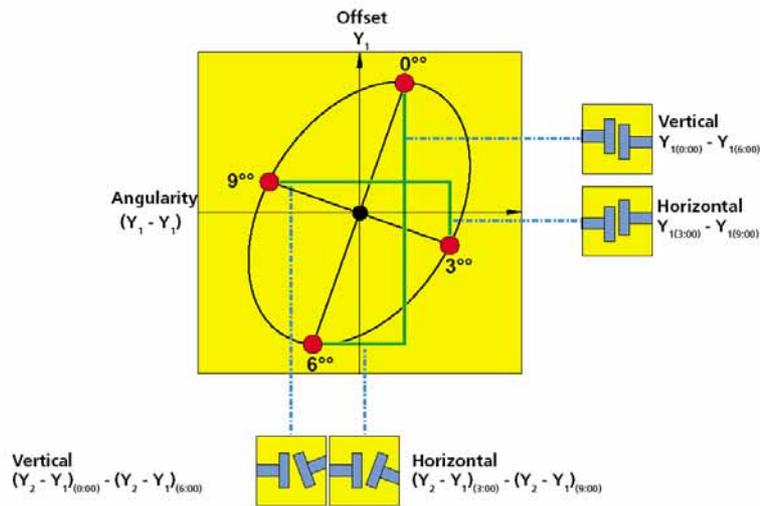
單雷射發射器、雙位置偵測器加上反射稜鏡的雷射對心系統，其雷射發射器與位置偵測器在同一模組中，如圖十二所示，因此需靠反射稜鏡來反射雷射光束，量測方式如圖十三所示。由反射稜鏡反射過來的雷射光束經由分光鏡將光束導至兩個位置偵測器上，平行偏差(Offset)的量測如圖十三左上圖所示，當 $\Delta Y1 = \Delta Y2$ 時， $\Delta Y1$ 即為其平行偏差量，當 $\Delta Y1 \neq \Delta Y2$ 時表示有角度偏差，其角度偏差量如圖十三右上圖所示。為求運算快速，因此將兩個位置偵測器量測值結合成新的座標系統，如圖十三下圖所示，其垂直面與水平面的平行偏差及角度偏差的計算如圖十四所示。



圖十二、單雷射發射器、雙位置感測器單一模組。



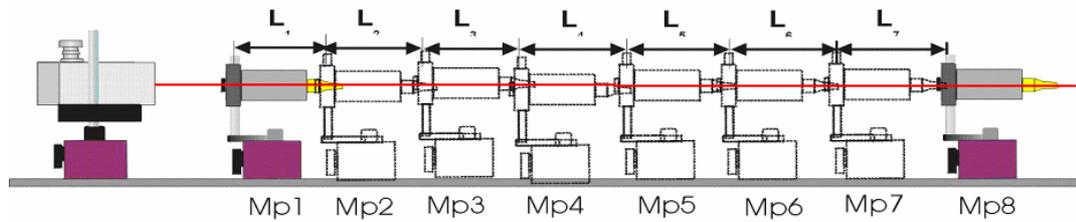
圖十三、單雷射發射器、雙位置感測器的量測原理。



圖十四、單雷射發射器、雙位置感測器的計算方式。

## (二)、平面度/直度量測

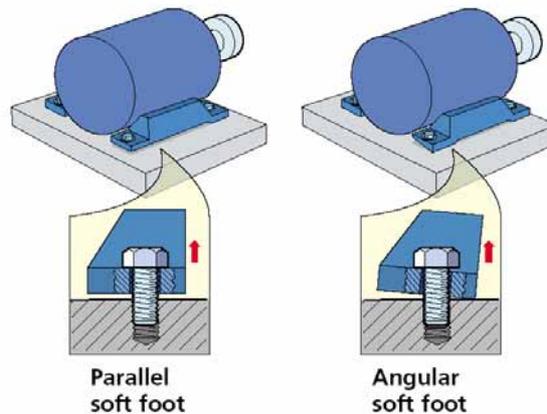
平面度/直度的量測主要是利用雷射發射器所發射出來的雷射光束作為基準線，使用位置感測器量測每一個量測點與雷射基準線的差異，進而比較得出平面度/直度的變化，如圖十五所示。



圖十五、平面度、直度量測。

### (三)、基座軟腳量測

小型迴轉機械的基座軟腳是對心耗時的主要原因，機組在長期的運轉下經歷升溫降溫的熱循環以及外部構件(如管路、吊架等)的作用，或多或少會產生一些變形，當有軟腳的現象而未察覺時，往往造成對心數據異常變化、調移不準確、對心耗時太久的問題。常見的基座軟腳大致可分為二種，分別是平行軟腳(Parallel Soft Foot)、角度軟腳(Angular Soft Foot)如圖十六所示。



圖十六、基座軟腳的類型

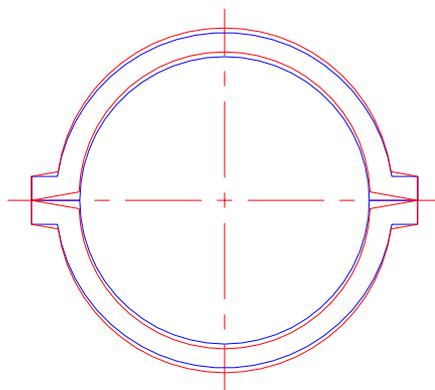
軟腳量測主要是利用雷射發射器與位置偵測器取代針盤指示量錶，然後逐一檢測每一個基座螺栓放鬆後再次鎖緊對轉軸影響的變化量，根據基座螺栓對轉軸影響的變化量評估是否有軟腳的現象，如有軟腳的現象必須先行修正以避免對心不準確且耗時。

### (四)、大型迴轉機械動靜件中心量測

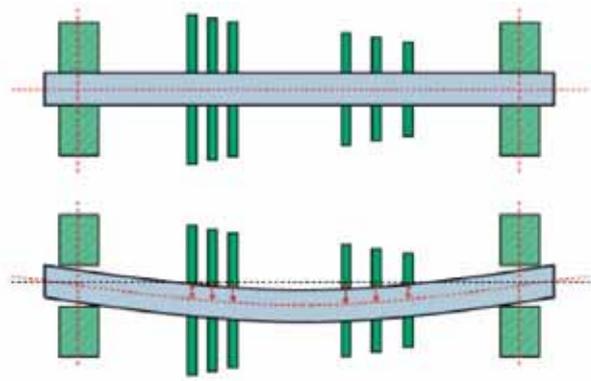
大型迴轉機械如汽機之動靜件中心量測，主要是為確保汽機於運轉狀態下其動靜

件能保持於汽機中心線的位置，以防止組件於運轉時中心位置偏離而發生碰磨的情形。由於汽機為一大型組件，當拆解外缸水平接合螺栓將外缸上半吊離後，外缸下半會因本身的重量而下垂變形，像高壓汽機長期在高溫下運轉，上下缸分解後缸體剛性降低，無法保持於真圓狀態，於水平結合面亦會產生變形(如圖十七所示)。另外汽機轉軸會因自重而下垂(如圖十八所示)，因此汽機靜件如靜葉環、格蘭汽封環等在汽機上的位置，於僅有內外缸下半(Top-Off)與運轉位置(Top-On)的狀態下並不相同。當汽機於大修中發現有嚴重的徑向動靜件碰磨現象時，必須重新調整汽機動靜件的相對位置，使汽機於理想的動靜件間隙下運轉，以保持汽機的效率與安全運轉。由於汽機靜葉環與格蘭汽封環的調整僅能在 Top-Off 的狀態下為之，因此動靜件中心定位必須先建立在 Top-Off 狀態下的基準線，再於 Top-On 狀態下量測各個靜件中心對此基準線的偏移量，再根據此一偏移量於 Top-Off 狀態下預調靜件中心位置，使靜件於 Top-On 狀態下其中心線與轉軸的中心線一致。

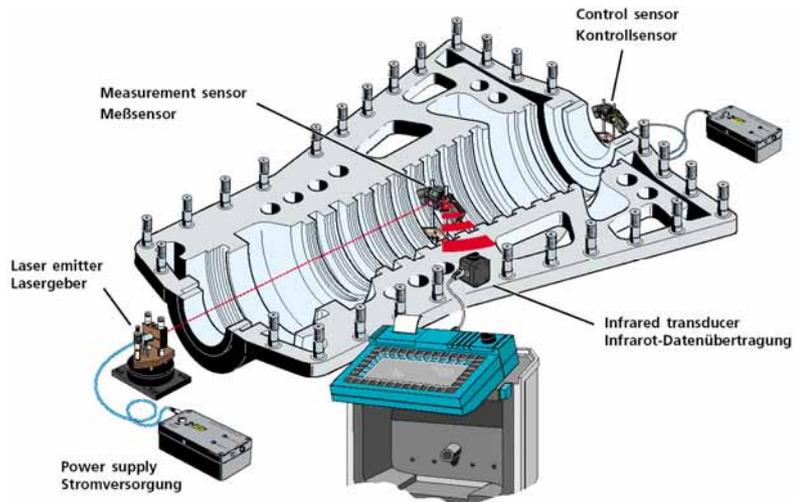
利用雷射幾何量測系統進行動、靜件中心量測，主要是以雷射發射器所射出的雷射光束為基準，以位置感測器於每一個靜葉環與格蘭汽封環進行中心點的量測，如圖十九所示。量測方式為使用位置感測器配合適當的腳架，於靜葉環或格蘭汽封環的加工面上進行量測，如圖二十所示。將加工面上測得的數據，經由程式計算所量測靜葉環或格蘭汽封環相對於雷射光速的中心位置，逐一量測每一個靜葉環或格蘭汽封環，即可測得所有靜件間的相對變化，進而計算出所有靜件相對於轉軸軸心線的偏差量，進行靜件中心的調整。



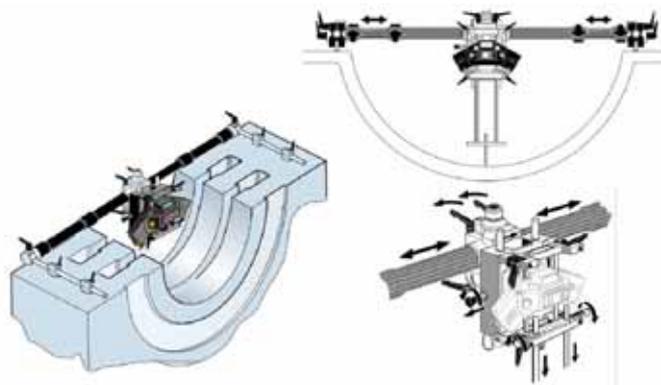
圖十七、缸體水平接合面鎖緊與未鎖緊的差異。



圖十八、轉軸在缸體內因自重下垂的情形。



圖十九、雷射動靜件中心量測方式。



圖二十、位置感測器配合腳架的量測方式。

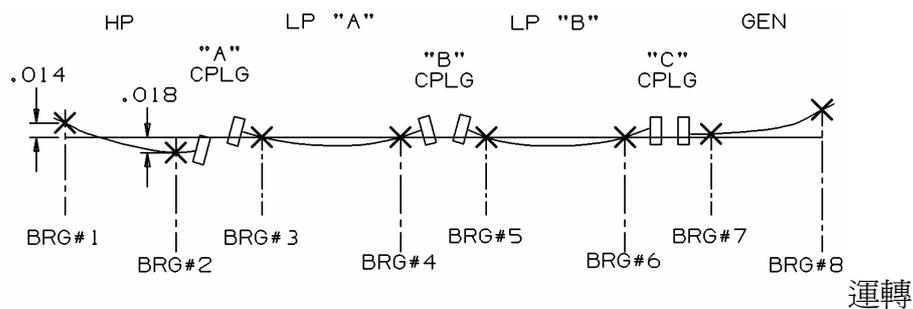
### (五)、汽機軸承高程量測

所謂軸承高程是指各軸承與一參考水平基準線的高度差，一般大型的汽輪發電機組於裝機時，均根據製造廠家提供的「轉軸對心曲線圖」(Shaft Alignment Curve 如圖

二十一所示)，設定軸承的高程，並依製造廠家提供各轉軸聯軸器的對心數據進行冷機對心工作。這些軸承高程的設定及冷機對心數據，主要是為確保軸系於正常的運轉條件下連結成一同心、連續、平順的轉軸，使轉軸與靜件的中心保持一致。

因機組地基基礎部分不均勻下陷、軸承墊或軸承環接觸不良、機件的變形、長期對心調移軸承後的累積變化量等因素，會導致軸承高程偏離原設計值，導致機組運轉時，發生令人困擾的振動問題。因此當機組振動問題無法以現場平衡配重方式解決時，可能需要考慮重新核測軸系的高程，是否偏離原設計過多。

傳統的軸承高程核測方法如假軸法、光學法、鋼琴線法等均耗時甚久，以雷射量測系統進行軸承高程的核測，可以克服此種問題，根據現有的資料顯示，最快可以在4小時完成，其量測方式與動靜件中心量測一樣，只是量測的位置改為軸承位置而已。



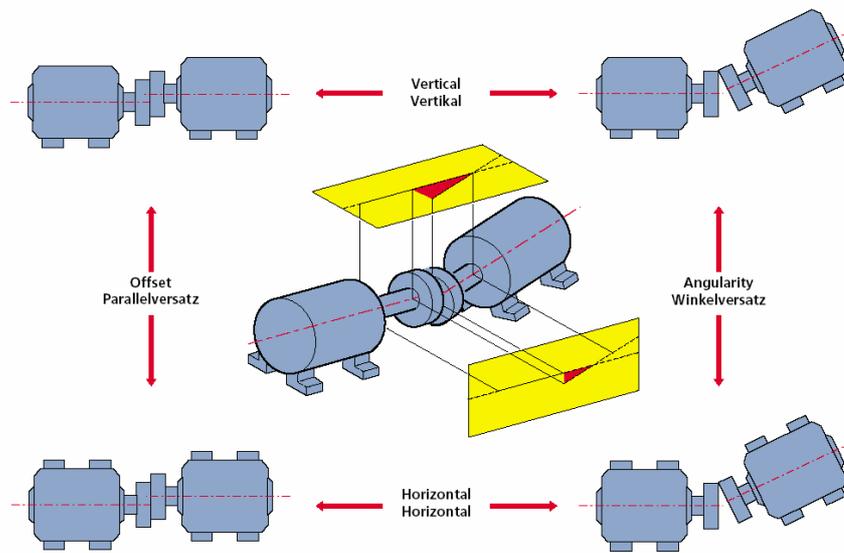
圖二十一、汽機冷機時轉軸對心曲線圖。

## (六)、相對位置變化量測

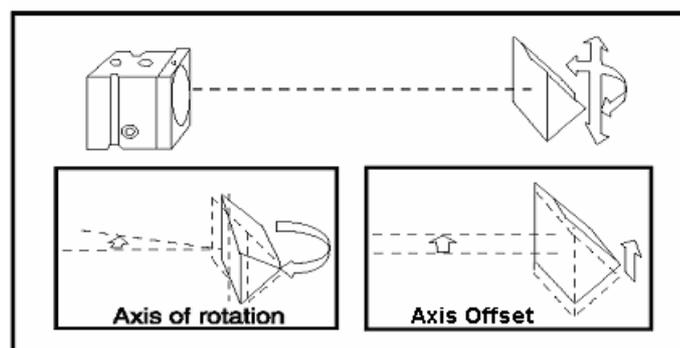
在機組大修過程中常會發生組件狀態的變化，亦改變組件相對於其他組件的位置，如低壓汽機外缸鎖緊後會提升低壓轉子的位置、低壓汽機開始抽真空後低壓轉子位置會下降、發電機轉子端蓋鎖緊與否會影響發電機轉子的位置、主飼水泵於不同的負載下運轉，其熱膨脹量會變化進而產生振動問題等，都是組件相對位置產生變化的問題。對於這些組件相對位置變化的量測，一直是相當棘手且困難的事，主要是由於空間上兩個點的位置變化，除了有平移(Offset)的變化外還有旋轉(Rotation)的變化，量測平移的變化不是難事，比較困難的是量測旋轉(Rotation)的變化。

目前雷射量測系統可以應用在這方面的量測，其主要原理是量測互相垂直的兩個平面上的變化，以決定空間中選定兩點間的位置變化(包含平移與旋轉的變化)，如圖

二十二所示。在兩個平面上都能量測出平移與旋轉的變化，主要是利用反射稜鏡的設計，此一反射稜鏡能反應出相對間平移與旋轉的變化，如圖二十三所示。當雷射發射器與稜鏡間有相對的平移時，雷射光進入稜鏡角度與反射出的角度一樣，位置感測器上的數值僅有單軸的數值有變化，當雷射發射器與稜鏡間有相對的轉動時，雷射光進入稜鏡角度與反射出的角度不一樣，位置感測器上的數值雙軸均有變化，將互相垂直的兩個平面的相對變化量測後加以結合運算，即可得出空間中相對兩點間的絕對位置變化(包含平移與旋轉的變化)。



圖二十二、互相垂直的兩個平面上平行與旋轉變化的量測。



圖二十三、稜鏡位置變化反射光束的影響。

## 肆、現場加工技術之探討：

### 一、本公司發電機組現況

本公司現有機組大多已運轉二、三十年、部分關鍵組件如汽輪機組件、大型閥類等，經過長時間運轉已有損傷現象，受限於關鍵組件之尺寸、重量、形狀以及修護時間等因素，部分損傷僅能於現場從事修護工作。

依關鍵組件發生損傷的肇因主要有下列幾種類型

1. 組件長時間暴露於高溫、高應力環境下所產生的潛變(Creep)變形。

此種類型最常發生於高壓汽機的主蒸汽及再熱蒸汽的進口處附近，常見的損傷如潛變引起高壓汽機外缸、內缸固定內部組件的軸向相對位置發生變化，導致汽輪機運轉時發生軸向碰磨現象，當發生軸向碰磨時，輕則機組跳機，嚴重時會導致機組嚴重損傷而無法運轉。

2. 組件長期運轉導致的機件塑性變形或不均勻變形。

機組的運轉過程包含起機、發電運轉、負載變化、停機等，整過過程中機組組件承受極大溫度變化(由室溫至 1000°F)，溫差所產生的熱應力與運轉的反覆高應力，引起部分組件產生塑性或不均勻變形，導致汽輪機運轉時發生碰磨現象，當發生碰磨時，輕則機組跳機，嚴重時會導致機組嚴重損傷而無法運轉。

3. 組件長期運轉互相碰磨導致磨耗損傷。

此種現象最常發生於控制蒸汽進入汽輪機的控制閥或關斷閥，閥盤與閥座因為長期運轉下啓閉動作而碰磨，導致閥盤與閥座的磨耗，嚴重時會造成閥盤與閥座無法正常密合，使得蒸汽無法關閉或正常調節蒸汽流量，造成機組運轉不穩，影響機組正常運轉。

4. 組件長期承受高溫、高壓、高流速蒸汽的吹蝕導致的損傷。

此種現象主要發生於必須承受蒸汽作用及保持蒸汽密合的組件表面上(如動、靜葉片及汽封面)，組件表面的材料會被高流速的蒸汽吹蝕而移除，或當

組件的蒸汽的密合面上有間隙產生，即會造成蒸汽的洩漏，長期的蒸汽洩漏造成密合表面的材料會被高流速的蒸汽吹蝕移除，造成嚴重的漏汽現象，影響機組安全運轉。

## 二、現場加工修護工作內容：

電力修護處多年來從事機組維護工作所遭遇之關鍵組件損傷需現場加工修護可歸納為以下幾種

### (一)、汽機內外缸、格蘭水平接合面吹蝕損傷

此種損傷主要是機組長期運轉下導致汽機內外缸、格蘭水平接合面變形無法密合，長期的蒸汽洩漏使得水平接合面的材料被蒸汽吹蝕移除，造成運轉蒸汽洩漏問題，如圖二十四所示。修護方式為對吹蝕部位進行焊補後以可攜式平面銑床進行現場加工，確保水平接合面得以完全密合。



圖二十四、汽機內缸水平接合面吹蝕情形。

### (二)、汽機靜葉環蒸汽止漏面吹蝕損傷

此種損傷主要是機組長期運轉下導致汽機靜葉環蒸汽止漏面變形無法密合，長期的蒸汽洩漏使得水平接合面的材料被蒸汽吹蝕移除造成蒸汽洩漏，如圖二十五所示，影響機組運轉效率。



圖二十五、汽機靜葉環蒸汽止漏面吹蝕情形。

### (三)、汽機聯軸器螺栓卡死處理及螺栓孔加工

此種損傷主要是汽機聯軸器螺栓於運轉中承受高應力或受力不均勻，造成聯軸器螺栓於拆解時無法順利取出，於螺孔表面產生擦傷，嚴重時甚至整支螺栓卡死無法取出。其修護方式是利用可攜式現場加工設備將卡死之螺栓予以鑽除(如圖所示二十六)，再利用現場加工設備車修螺孔表面(如圖所示二十七)，恢復其真圓度。另當汽機轉軸更新時，也必須重新加工聯軸器螺栓螺孔，使聯軸器螺孔之同心度一致。



圖二十六、汽機聯軸器螺栓卡死處理情形。



圖二十七、聯軸器螺栓螺孔車修機。

#### (四)、閘閥之閥盤或閥座擦傷

此種損傷主要是因閘閥於啓閉操作時，製程的雜物(如管路銹垢)堆積於閥座及閥盤之表面，使得閥盤及閥座相互作用時雜物被帶入，引起閥盤與閥座表面嚴重擦傷，如圖二十八所示，使得閘閥於關閉位置時無法正常止斷蒸汽。其修護方式是利用可攜式現場研磨設備，對擦傷之閥盤及閥座進行磨修，恢復其表面平坦度，確保閥盤及閥座之密合性。



圖二十八、閘閥閥座擦傷情形。

#### (五)、控制閥閥座摩擦損傷

此種損傷主要是因為機組運轉時，控制閥會隨著電力負載不停地調節蒸汽流量，長期閥盤與閥座碰磨造成閥座損傷，在蒸汽高速流動的作用下，使得損傷越來越嚴重，如圖二十九所示，導致機組運轉操作困難度增加。其修護方式是先對損傷的閥座

進行焊補，再利用可攜式現場加工設備車修閥座，恢復其原有形狀及尺寸。



圖二十九、控制閥閥座摩擦損傷情形。

#### (六)、閥體內部壓力封環吹蝕損傷

一般高壓用閥類常使用壓力封環作為閥體與閥蓋之密合止漏裝置，如圖三十所示，當壓力封環因製作不良或安裝不當時，蒸汽會由壓力封環與閥體間洩漏，導致閥體材料被高速蒸汽吹蝕，使得蒸汽洩漏情形越來越嚴重。其修護方式是先對損傷部位進行焊補，再利用可攜式現場加工設備車修閥體，恢復其原有尺寸及真圓度，確保壓力封環與閥體之密合性。



圖三十、閥體內部壓力封環吹蝕損傷情形。

#### (七)、閥蓋與閥體密封墊嵌合處損傷

一般高壓用閥類除了使用壓力封環作為閥體與閥蓋之密合止漏裝置外，另一種方式是於閥蓋與閥體間車製一密封墊置放用嵌合部，如圖三十一所示。有時因機組長期

運轉下不均勻的結垢或大修時對嵌合處的不當磨修，均會造成閥蓋與閥體間密封墊嵌合部無法維持其平整度，密合墊無法均勻受力，不能擋住高壓蒸汽而洩漏。其修護方式是利用可攜式現場加工設備車修閥蓋與閥體密封墊嵌合處，恢復其原有平整度，確保密封墊能均勻受力，保持密合性。



圖三十一、閥蓋與閥體密封墊嵌合處損傷情形。

### 三、電力修護處之現場加工修護技術

現場即時加工修理設備必須具備以下特性：

- 具備移動性高，可攜式的特性，以適應各式各樣的現場維修工作。
- 具備動力源，可為電動式、氣壓式、油壓式，用以帶動加工機具。
- 具備控制機構，可為機械式、電動式等，用以控制加工機具。
- 具備加工裝置，可為旋轉加工、往復加工等，用以加工損傷部位。
- 本身要有固定機構，可為機械式、電磁式等固定機構，用以固定加工機械。

電力修護處負責本公司機組關鍵設備的大修與維修工作，近年來針對本公司各機組常見的損傷，積極引進各式現場加工機具與設備，並與國內外設備廠商技術合作開發專用機具，建立電力設備專業維修技術自主能力，滿足本公司發電機組維護之所需，並協助國內汽電共生廠與民間獨立發電廠之設備維護工作。

已開發完成之現場加工修護技術及設備

- 汽機內、外缸及格蘭水平、平面銑磨

- 汽機內、外缸及格蘭蒸氣止漏面車修
- 汽機聯軸器螺孔鑽除、車修、搪磨
- 閥體車修加工
- 法蘭車修加工
- 調速閥閥座焊補、車修
- 閘閥閥盤及閥座磨修

## 伍、心得

### 一、雷射量測設備

本次赴德國 Pruftechnik 公司除參訪該公司雷射量測設備之組裝、校驗設備外，主要針對兩項議題進行研討及實作實習，分別是多軸聯軸器同時對心及汽機軸承高程核測。

#### (一)、多軸聯軸器同時對心

汽機聯軸器對心工作是機組大修工作中位於關鍵要徑的重要工作，在機組大修時程日益減縮下，如能有效縮短汽機聯軸器對心工作，將有助於機組大修工作順利完成。目前汽機聯軸器的對心工作是使用量錶，單一聯軸器逐步進行對心數據的核測，取得所有聯軸器的對心數據後再進行計算軸承調移量，通常汽機對心工作需耗時三個工作天。

以雷射量測設備進行多軸聯軸器同時對心可以減少人為讀取對心數據之誤差並能大幅縮減對心時程一至二天，目前歐美電廠也極力開發此一對心技術與設備。目前德國 Pruftechnik 公司的雷射對心設備已經可以用於進行多軸聯軸器同時對心工作，但此種對心技術目前僅能應用於轉軸連續轉動的狀況下使用，歐洲已有電廠使用此種對心方法，本公司目前大部份機組仍無法在此狀況下進行對心，主要差別在汽機軸系的油壓頂升系統。經與 Pruftechnik 公司分析與研討，建議該公司開發不需連續轉動轉軸下可以進行多軸聯軸器同時對心的雷射量測系統。

## (二)、汽機軸承高程核測

以目前的技術已能用雷射量測設備快速進行汽機軸承高程的核測，但所核測出來的汽機軸承高程，僅能比對各軸承高程的變化關係，無法取得每一個軸承高程與真正水平面之相對關係，以致無法將軸承高程逐步調整回原製造廠家設計值。針對此一問題，德國 Pruftechnik 公司建議，利用雷射量測設備搭配雷射水平儀來解決此一問題，並進行現場展示與實習。此作法是否可行，有待往後在現場機組驗證。

## 二、現場即時加工修護

本次赴德國 EFCO 公司除參訪該公司生產組裝設備及產品展示外，主要是針對核能廠關鍵閥類線上測試、調速閥閥座之現場車修技術、閘閥閥盤及閥座研磨加工技術進行問題研討及實習。

### (一)、調速閥閥座之現場車修技術

本公司現有之機組運轉迄今大都已有二十年以上之歷史，位於蒸汽流道上的汽機調速閥，無論是奇異、西屋或三菱公司設備，皆因長期蒸汽的沖蝕(Erosion)已有老化損傷之現象，調速閥常因閥座損傷，致使關閉時無法密合，喪失其應有之功能。當機組於分弧(Partial Arc)啓動或運轉、以及機組跳機調速閥全關時，因調速閥無法密合，以致蒸汽持續洩漏至相對之噴嘴塊(Nozzle Block)，使得相對之噴嘴塊的靜葉片承受較多的沖蝕損傷，造成蒸汽進入汽機的流場不均勻，嚴重時會引發蒸汽流場不均勻振動問題(Flow Induced Vibration)，造成機組運轉之困擾。西屋、三菱機組的調速閥與汽櫃一體成型，調速閥的閥座位於汽櫃內部，閥座現場工作空間狹小，人員、機具難以進入，因此於機組大修時需耗費相當的人力與工期進行損傷閥座的修護工作，對於嚴重損傷的閥座，修護工作牽涉到複雜的修護加工技術並會延長大修工期，因此嚴重損傷的閥座一直皆未能有效解決，機組運轉也持續存在此困擾。

修護處本著為電廠解決問題、提供更好的修護服務及建立自主技術的理念，於 85 年起持續進行調速閥閥座焊修更新相關技術的開發，與 EFCO 公司合作開發調速閥閥座車修加工專用機，已先後應用於協和電廠#2 機 GV 6、通宵電廠#3 機 MCV、

興達電廠#1、#2 機 GV 5 及大林電廠#5 機 GV2、GV5 的閥座焊修更新工作。

但該專用機於操作上仍有部份功能尚待改善，主要問題有(1)主軸延伸過長，造成加工穩定性及振動問題。(2)閥座車修加工專用機體積過於龐大，造成吊裝作業極為不便。(3)電腦主機遇有電壓不穩之狀況時容易當機。(4)電腦主機操作介面為英文，造成操作不便且操作技術無法普及。

針對上述問題與 EFCO 公司設計及技術人員研商解決之道，EFCO 公司意見為該型加工機之電腦主機是與 SIEMENS 公司合作，且目前已經停產，無法解決上述(2)及(3)之問題，至於(1)及(4)之問題，該公司目前新開發之 TD-2-T 稍加修改即可解決，且該新型 SIEMENS 電腦主機輕巧不易當機，並可擴充成中文操作介面，雖是為中國市場開發的簡體字，但仍比英文介面來得容易接受。至於主軸延伸過長之穩定性及振動問題，則受限於機具的原始設計能耐，目前得由維修人員發揮創新設法解決，EFCO 公司另會提供協助。經現場展示及實作了解該新型 TD-2-T 之各部性能。

## (二)、閘閥閥盤及閥座研磨加工技術

目前針對閘閥閥盤及閥座之擦傷處理，大都於現場使用閘閥研磨機進行研磨加工修護。其修護方式是利用氣動馬達帶動研磨盤，研磨盤上黏貼有砂紙，當研磨盤轉動時由砂紙對擦傷之閥面進行研磨，研磨作業時須對研磨盤施加壓力，使研磨盤與閥面密接方能有效研磨，當施加壓力過大易造成研磨過量或砂紙燒損，施加壓力過小則研磨效率差，因此研磨作業必須由有經驗之技術人員操作且相當耗時。

EFCO 公司針對此一問題開發出研磨盤上之各個研磨輪由行星齒輪獨立驅動之研磨裝置，進行研磨時不僅研磨盤轉動，各個研磨輪亦各自轉動，加速研磨作業，研磨效率較傳統式的研磨方式快上 5 倍以上，經現場實際操作，研磨效率驚人，值得引進該技術。

## 三、電力修護處現場加工修護規劃之方向

配合電廠專案執行計畫

- 高低壓汽機現代化更新所需機具。

- 關鍵組件修護或更新所需機具。

解決長期維護困擾問題

- 關鍵閥類修護技術。
- 大型汽機內、外缸及格蘭蒸汽止漏面車修。

建立關鍵核心技術

- Finger Type 葉片定位銷拆解技術。
- 內外缸水平接合面變形加工技術。

#### 四、電力修護處雷射量測技術規劃方向

配合電研所執行研究計畫

- 汽機運轉過程中軸承軸位及高程變化。

建立核心關鍵技術

- 汽機多軸同時雷射對心技術。
- 汽機雷射動靜件對心技術。
- 汽機軸承高程核測技術。

#### 五、參訪及實習感想

Pruftechnik 公司為世界上現場雷射量測設備與技術最頂尖之公司之一，EFCO 為各式閥類測試與修護設備及技術之最頂尖之公司之一，兩家公司的相同特點是員工人數不多，全部員工不過百來人，公司設備也不多，各式組件大多是採用外包的方式生產製造，公司則專注於關鍵技術的開發與研究，以維繫公司的核心競爭力。

本公司人才濟濟，如能有專人從事於電力設備維修技術的研究與開發，除能建立自主的機組維護技術能力外，並能將開發成果申請專利，將技術轉變為智慧財產，增加公司收益。

#### 陸、建議事項：

- 修護處已購置大型汽機靜件中心量測雷射儀器，於核三廠一號機 EOC - 15 實測時，無法達到令人滿意的成效。建議修護處以技術服務方式，與德國 Pruftechnik 公司人員共同在現場實作，以找出目前技術盲點，讓設備效能全

數發揮。

- 汽機軸承實際高程量測技術亦如同上述。
- 建議修護處研評使用「相對位置變化雷射量測技術」，實測核三廠高壓汽機外殼平面，以利掌握設備現況並研擬維修方法。
- 建議修護處建立大尺寸球弧型閥座閥仁鉚補車修設備與技術，以修護核電廠主蒸汽相關閥類。
- 建議修護處設置閥類維修機具貨櫃，於承作電廠大修工作時能一同運至電廠，如遇設備維修所須，雖非修護處承作項目，亦能就近提供協助，以讓機具發揮最大效益。
- 建議將牽涉複雜技術之關鍵修護技術開發案，先以技術服務或租用設備方式委由原廠家蒞廠工作後，經評估可行再編列預算引進，以改善關鍵修護技術引進方式。
- 建議結合修護處人力與國內廠商技術資源，以研究發展案之方式，開發建立關鍵技術。