

行政院及所屬各機關出國報告  
(出國類別：進修)

## 對滾動元件軸承之監測與與診斷之新技術

服務機關：國防大學中正理工學院  
出國人職稱：少校講師  
姓名：劉朝士  
出國地區：美國  
出國間間：85. 09. 30.至 89. 12. 29.  
報告日期：90. 02.

## 摘 要

本報告係奉派赴美國進修之心得紀要，報告內容包含進修目的、研修過程、研究成果、心得檢討與結論等。本次博士進修學門為「武器系統同步工程應用」，自民國八十五年九月起於美國西雅圖華盛頓大學機械工程進行研修，歷時四年三個月返國，目前正進行論文寫作的最後階段。博士論文題目為「對滾動元件軸承之監測與與診斷之新技術」。系統的維修是系統同步工程中重要的一環，完善的維修計劃與設計可以確保系統的維護度，並可增進系統的可靠度，其方法是將由設備上量測之訊號加以分析量化，並監測其變化情形，來判定系統之健康狀況。採用此種維護策略的關鍵技術在於訊號的分析方法，本文利用二種先進的訊號處理方式，來增進系統診斷能力。

進修期間，曾參與該校開辦的一門大學部基礎課程 - 「工程設計導論」，此課程由工學部各系共同參與設計，其旨在使大一學生由實作與競賽中，激發工程所需之創新能力，並可讓學生了解各系發展方向，而供選系之參考。此是我國傳統教育上只重讀書，不重實作所最欠缺的。

# 目 錄

1. 進	修	目
的.....		4
2. 研	修	過
程.....		5
2.1 申請國外進修院校系所.....		5
2.2 研究主題.....		6
2.3 研究方法.....		7
3. 研究成果.....		8
4. 心得.....		9
5. 建議.....		9

## 1 進修目的

本次國外進修，係奉國防部民國八十五年七月十五日（85）易旭字第一二八六號令：以八十五年度國軍官兵進修員額赴美國進修博士四年（自民國八十五年九月卅日至民國八十九年九月廿九日止），後因研究設備受損，奉准延長研修期限三個月至八十九年十二月廿九日止。原提報並奉核定之進修學門為「武器系統同步工程應用」，此因近年來，同步工程為產業昇級的重要技術，為增加本國競爭力，同步工程亦為我國重點發展科技之一，對我國軍而言，此技術更是加快武器系統研發改良的要素。同步工程是一個概念，其目的是要求產品研發之初，便將產品自發展至汰除所需之各項設計因素，全部列入考量與進行，以加快產品之發展，而維護度與可靠度便是其中需列入之設計項目之一。

維護度與可靠度是息息相關的，完善的維護策略將可大幅提昇可靠度。最早的維護方式是壞了再修，此法不但易造成不預警的停機，更可因此造成對環境之破壞及人員安全之威脅。目前最先進之維護策略是採監測診斷的方法，利用各種先進之量測設備，量取機械或系統運轉情形，加上準確的分析技術來診斷系統之運轉狀況，予以適時及適當之維護。此一技術對國軍武器系統而言更是重要，完善的維護設計，除可提高武器系統之備戰能力外，並可增進使用人員之安全。

## 2 研修過程

### 2.1 申請國外進修院校系所

本次國外進修地點選擇美國西雅圖華盛頓大學 (University of Washington) 機械工程系，主要考慮因素有三，第一是該校位於華盛頓洲，是航太第一大公司 - 波音 (Boeing) 公司所在地，波音公司一向重視先進技術之發展且常與華盛頓大學有合作之研究計劃，其二是美國海軍在該洲亦有軍港，並有許多合作之研究機構鄰近，故易就近瞭解軍事新技術之發展。第三是華盛頓大學是美國西北區最大亦是最知名的學府，各學院在美國大學評鑑均名列前茅。該校機械工程系 (Department of Mechanical Engineering) 設備先進，師資優良，且有多位教授從事同步工程應用之相關研究，故選擇至該校進修。

### 2.2 研究主題

本次進修之主題依奉核定為「武器系統同步工程應用」，經參酌指導教授 Prof. Per Reinhall 之意見，並考量華盛頓大學機械系現有設備、資源，定為「對滾動元件軸承之監測與與診斷之新技術」。維修的工作是要確保設備能夠安全及可靠地發揮其效能。早期機件的維護是採取被動的「壞了再修」的哲學，這種維修方法對以往簡易的機件已足夠，但對目前複雜的系統，此種維修方式不但費用高，且常造成不預警的機件損壞，除對系統本身產生極大破壞，更對人員的安全造成威脅。近年來，維修的方式已改取主動的方式來減少此不預警的危害，最常用的主動維修方式是依經驗來對不同機件進行定期的維護或更換，進而避免不預警之破壞，此法稱之為「預防維修」。預防維修仍有其缺點，例如常有機件仍然正常卻因維護或汰換時限已到而需拆修更換，這種不必要的維護，不但耗費，更常因拆裝再組裝之誤差而對機件產生二度傷害，因此，最佳之保修策略是以監測與診斷為基礎的「預測維修」。

預測維修是採監測設備操作之狀況來依需要給予適時的維護。通常是將感測器裝於重要的機件上，量取操作所產生的訊號來進行分析，以預測機件仍可使用之期限並進而診斷機件損害之部位及原因。此種方法明顯地可省下更多的維護經費，更可以提高機件使用率及可靠度。因於此法可預測維護之時限，此維修方法還可結合料件採買及歲修計劃，可謂是最有效的維護策略。對國軍而言，此法更是確保戰力之不二法門。

## 2.3 研究方法

本次進修首先研讀歷年有關文獻，並檢討現有方法之缺失，據以發展新方法以突破舊法之限制。預測維修之效能取決於是否能有效的分析量測之訊號及正確地判斷機件之健康情形。傳統分析方法是以前統計方法分析訊號之趨勢及以傅利轉換分析頻域之頻譜，此種方法對於一般機件損害原因可做出有效的判斷，但對大部份機件損害的初期所產生的訊號往往無法偵測，導致延誤了維護之先機，為解決此問題，本論文採取二種更有效及敏感的方法來偵測此類訊號之變化。此二種方法分別為「小波轉換法」及「非線性濾波偵測系統」。

「小波轉換」為目前最熱門的訊號處理技術，此法運算快速且對區域性快速變化的訊號有極佳的偵測功能。許多文獻中表示，機件中之軸承破壞初期有脈衝式的區域性訊號產生，故採此方法分析機件訊號將可有效地偵測早期機件損害情形。

第二種方法乃是架構一組對訊號些微變化敏感的偵測器。非線性系統的跳躍現象是為科學家熟知的特性之一，少許的變化通過一個非線性系統可能產生極大的差異反應。若假設機件損壞造成訊號變化極小，將其通過所設計之非線性感測器，將可輕易地發現其變化，此法同樣可提昇預測維修之效能。

為能驗證此二種方法之效能及實用性，本論文設計一簡易機件並量測軸承之振動訊號來進行分析，實驗是將正常之軸承上施以不平衡之承載，以加速其損壞之速率，並用前述二種方式進行分析，並於偵測損害發生後，拆解軸承並以顯微鏡分析其損害情形以驗證本論文方法是否能正確檢測，

### 3 研究成果

博士論文將以「對滾動元件軸承之監測與與診斷之新技術」為題，目前正在進行編寫整理之工作，博士論文分七章，第一章略述機械監測與診斷之概況，並說明論文研究之目的與方向。第二章專注於滾動元件軸承之介紹，並說明其破壞過程及其與產生之振動訊號變化之關係。第三章回顧目前監測診斷之分析技術，引入本次研修之主要研究方向，旨在增進舊法之分析準確度，並驗證新方法之可用性。第四章開始詳述小波轉換法應用於軸承振動分析之技術，並使用不同之評量函數，比較各評量函數之優缺點。第五章則以非線性偵測器之設計為重心，利用非線性系統之特性，設計對訊號變化敏感的偵測器，以應用於有雜訊情形之系統監測診斷，以改良監測準確性。第六章則將上述二種方法應用於設計之軸承設備以驗證其結果，最後提出結論與未來研究方向於第七章中。

### 4 心得

綜觀目前國外軍民間對監測診斷之先進維護策略，已實施多年。反見國內，除少數大型企業及少部份軍事設備，使用此方式維護外，大部份仍以傳統方式，不但費時金錢與人力，更可能因不預警之破壞造成人員傷亡，深入其主因是企業之短視而不願投資此技術。對我國軍而言，此技術影響更甚，未善加維護之武器系統，不但無法提供戰力，更易造成意外發生，在現今軍事經費與人力日漸減少的狀況下，決策單位實應體認此法之影響，儘早投入與推行。



## 5 建議

除建議我國軍方民間能多重視適當投資於維修的技術外，我對學校的課程設計也有一項建議。研修期間，有幸參與該校工學院開設「工程設計導論」一門課，此課程是屬工學院大一之基礎課程，目的是使初入工學院之學生瞭解各系之學習方向何在，以為其未來選系之參考。課程實施以實作的方式，設計與各系相關的主題，以實際的例子來突顯各系特色。如割草機引擎拆裝，不但使學生具有基本機械知識，並由拆裝過程中，讓學生理解引擎設計之過程及運轉原理，非常實用且吸引學生學習興趣，是值得本校效法實施的。