

出國報告（出國類別：考察）

# 德國 MTU 公司考察 LM2500 燃氣渦輪主機 大修及 GTRR 檢驗能量

服務機關：海軍保修指揮部

姓名職稱：少校輪機官林志豪

派赴國家：德國

出國期間：107 年 3 月 25 日至 4 月 1 日

報告日期：107 年 5 月 7 日

## 摘要：

- 一、 本次赴「德國 MTU 公司考察 LM2500 燃氣渦輪機大修及 GTRR 檢驗能量」案，於 107 年 3 月 26 日至 3 月 30 日，由保指部指揮官周燕龍少將率本軍吳啓興上校、吳立文中校、曾少谷中校、林志豪少校、權海石士官長及海巡署吳金河組長一行共 7 員至德國 MTU 布蘭登邦路德維希費爾德廠區，由商務開發經理暨服務中心主任史密德·漢斯(Hans Smid)先生(駐地泰國)陪同檢視 LM2500 燃氣渦輪機大修能量及其廠房設施，並與德國 MTU 母廠總公司銷售主任 Joerg R. Witaseck 及客務服務經理 Gerard Lee 一同研討議題及服務簡報。
- 二、 本次會議就我國政府採購法規定下進行合作、國內建置廠房及 GTRR 訓能、MTU 修能證明、LM2500 大修維修期程、MTU 維修服務項目、商規與軍規構型統整及 LM2500 軍規與商規差異性等議題進行討論，並至維修與測試廠區勘查德國 MTU 公司四級能量廠房維修能量。

## 目次

壹、會議行程摘要.....	4
貳、目的.....	4
參、過程.....	7
肆、心得及建議.....	8
伍、結語.....	9

## 壹、會議行程摘要：

- 一、 時間：107 年 3 月 26 日(星期一)至 3 月 30 日(星期五)，共計 5 天。
- 二、 地點：德國柏林，德國 MTU 布蘭登邦路德維希費爾德廠區(MTU Maintenance Berlin-Brandenburg)。
- 三、 與會代表：駐歐採購組、德國 MTU 總公司銷售主任及客服經理、德國曼谷二級廠商務開發經理暨服務中心主任，共計 12 員(如附件 1)。
- 四、 行程摘要：
  - (一) 3 月 26 日(星期一)：抵德國後由駐歐組接送前往飯店並由領隊召集考察小組及駐歐組進行行程提示，並針對廠區考察會議議題研討內容及行政庶務等事項再次確認。
  - (二) 3 月 27 日(星期二)：
    1. 拜會德國MTU總公司銷售主任及客服經理，MTU公司執行簡報，區分「MTU引擎總介紹」、「MTU航空引擎商業規模」、「全球維修保養組織連絡網」、「設計&LM料件原製造商之生產」、「產品運用範圍」、「廠級服務」、「廠內維修能量」、「現場/廠所服務」及「客製化服務」等面向，並與我方研討需求及交換意見，參與會議人員計德國MTU總公司銷售主任及客服經理、駐歐採購組及德國曼谷二級廠商務開發經理暨服務中心主任等代表。
    2. 研討本軍LM2500維修需求以及技術合作可行性，相關議題計有「合約需符合政府採購法規定」、「國內建置廠房及GTRR訓能」、「MTU於臺灣設廠條件」、「MTU修能證明」、「商規及軍規構型統整」、「LM2500大修維修期程」、「MTU銷售服務」及「LM2500軍規與商規差異性」。
  - (三) 3 月 28 日(星期三)：
    1. 持續研討本軍 LM2500 維修需求以及相關技術與合作議題。
    2. 考察 MTU LM2500 維保廠房維修流程、動線、總成拆解後檢驗方法及翻修後品管方式。
  - (四) 3 月 29 日(星期四)：前往 MTU LM2500 維保廠房，勘察 LM2500 測試平臺及工廠設備與技術人員檢測流程，並就各項議題及技協工程實施技術意見交流，雙方就成功級、派里級及基隆級艦裝備維修經驗交換意見，共同研討解決裝備構改與修護窒礙之方案。
  - (五) 3 月 30 日(星期五)：完成資料蒐整及會議總結。
  - (六) 3 月 31 日、4 月 1 日(星期六/日)：小組成員於 3 月 31 日由德國柏林塔吉爾國際機場搭機返臺，並於 4 月 1 日晚間抵達高雄小港機場。

## 貳、目的：

- 一、 考察德國 MTU 公司 LM2500 燃氣渦輪機大修及 GTRR 檢驗能量，其目的係成功級、派里級及基隆級艦主推進方式為 LM2500 燃氣渦輪主機 (以下稱 LM2500)，成功級及基隆級主機運轉時數達 2 萬小時以上，分別於 106 年 3 月份成功艦及基隆艦發生故障，影響妥善，爰就 LM2500 本軍修能均依賴軍售管道回送美海軍維修，惟維修時程冗長(平均耗時 2~3 年)影響戰備任務及艦艇妥善率。前於 105 年高雄海事展期間，國內廠商艾特優公司向本軍表達與德國 MTU 公司合作且具有高度承修 LM2500 意願並透過德國 MTU 公司商業事務經理史密德·漢斯(Hans Smid)先生(駐地泰國)邀請海軍保指部至德國廠區考察，由史密德·漢斯先生陪同檢視 LM2500 大修能量及其廠房設施。
  - (一) 德國 MTU 總公司執行保養、維修及大修簡報(中、英文簡報如附件 2)，摘述如后：
    1. MTU 空用引擎總覽：為領先德國引擎製造業且為 OEM(原製造商)的主要夥伴，對於軍事及商用引擎年營收達 47 億歐元且員工人數達 9,000 人。
    2. MTU 航空引擎商業規模引擎維保及銷售比例，商用佔 90%、軍用佔 10%。
    3. 全球維修保養組織：涵蓋引擎維保、料件及附屬配件翻修與技術支援等服務，且除德國總部具四級能量外，全世界各地計有 5 個二級能量廠區。

4. 設計&LM 料件原製造商之生產：具有 LM2500、LM2500+、LM5000 及 LM6000 零附件生產能量。
  5. 產品運用範圍：運用於飛機、工業及海用燃氣渦輪主機(GE LM 系列)，並具保養、維修及大修能量，此外，可提供後勤技術支援、引擎測試、人員訓練、引擎趨勢分析及監控等服務。
  6. 廠級服務：使用多種方式及設備進行調查、金屬檢驗及測試(不採取破壞性檢驗)，具備完整的四級授權能量可執行引擎模組分解及依照原廠要求進行料件與元件的清潔、檢查及特殊測試後進行翻修作業，並依客戶需求提供客製化工作內容。
  7. 廠內維修能量：為 GE LM 系列燃氣渦輪機是最大的獨立服務供應商且具備 GE 認證核可之廠級能量，可進行鉗工、金屬表面顯微鏡檢查、轉(定)子研磨、人工焊接及噴砂、塗裝、熱試驗並協助顧客執行預估成本檢視。
  8. 現場/廠所服務：可現場協助執行一、二級能量之維保及完整 GTRR(燃氣渦輪機物資檢驗)服務，可執行整部機器與次系統元件維修(更換) 保養、感測器與儀器調校及控制系統整合性構改。
  9. 全套升級：可執行控制系統檢查、故障排除、次要軟體修改(如有可編輯式軟體)及提升後料件及次要構改料件供應。
  10. 全套維保服務：燃氣渦輪機/減速齒輪箱/發電機模組&輔裝備、控制與震動系統之維保、校中與電腦模組構型繪圖。
  11. 技術諮詢熱線：提供全年無休技術熱線避免艦艇因裝備故障造成冗長之停擺期，並劃分全球各地區域提供全天候服務且即時調派各區域駐點技師支援。
  12. 客戶訓練：依客戶需求提供客製化課程使操作人員能自行識別並解決次要問題，以增進燃氣渦輪機運轉效率並降低維修時間成本。
  13. 租賃服務：提供完整的引擎及模組式裝備租賃。
- (二) 研討本軍 LM2500 維修及技術合作需求，相關議題研討如后：
1. 「合約需符合政府採購法規定」：MTU 公司提議本軍可否提供裝備最終使用者證明文件，讓該公司申請裝備輸出許可證，本軍回覆依據採購法規，僅能於投標商得標後始可提供相關文件，亦請 MTU 公司應將裝備輸出許可申請作業時間納入裝備維修交運期程考量。
  2. 「MTU 於臺灣設廠條件」、「國內建置廠房及 GTRR 訓能」：MTU 公司表示囿於 GE 授權及投資成本考量，除德國總部廠房具四級能量外，其餘各地區服務廠僅建置二級能量(可執行冷、熱端維修且無需執行測試之工項)，後續將視本軍燃氣渦輪機可委修之數量及意願才會進行廠房建置評估同時尋找臺灣當地優質廠商共同合作。另外，MTU 公司具有 GE 認證核可之 GTRR 小組團隊於全球各地執行物資檢驗及修正性保養，可依本軍需求提供客製化訓練課程並建議我方派員至德國總部受訓，藉由完整的實體裝備、檢測裝置及設施進行實物教學。
  3. 「MTU 修能證明」(中、英文授權文件如附件 3)：GE Distributed Power 授權特定之服務供應商(ASP' s)在特定的地點及規劃方案下進行四級能量引擎維修。ASP' s 享有 GE 所提供的技術支援、引擎手冊及維護、維修、大修測試的文檔，並依據 GE 所發佈的維修手冊使用經 GE 認可、核可之檢修程序及原廠料件。ASP' s 對於 GE 提供的相關維修建議所衍伸出來的運用包括技術、品質及保固擔負全責，並且如提供不符合 GE 所建議之維修程序或料件時應主動告知客戶。
  4. 「商規及軍規構型統整」：因商用與軍規之 LM2500 主要差異在於定葉片區分為單柄及雙柄式且該兩型料件非屬消失性商源，不建議本軍執行構改徒增維修成本。
  5. 「LM2500 大修維修期程」：當裝備運抵德國 MTU 四級廠房後即啟動大修管制期程，可於 90 天內完成維修、測試及品管檢驗。
  6. 「MTU 銷售服務」：具備廠級修能、本軍廠方或艦艇現場支援、全套裝備相關升級與維保服務、全年無休的電話技術協助、客製化訓練及裝備租賃服務。
- (三) 考察 MTU LM2500 維保廠房：

1. 德國總部廠房同時具備引擎保養、維修及大修之四級能量，以及引擎料件翻修服務(如附件 4)。
2. 測臺能量：具備超過 25 年的實物經驗且為 GE 公司 LM-series™燃氣渦輪機(可測試 LM2500/2500+、LM5000 及 LM6000 機型)最大的獨立服務廠房。燃氣渦輪機於完成大修後進入測試廠房實施動態測試，使用 55MW 發電機於實際負載狀況下(機械軸負載)測試並透過數位化即時蒐整紀錄裝備各項參數，並由技術人員進行振動及平衡分析後進行最終缺改調校作業。



大修後組裝區



維修廠房



裝備測臺區



中央控制室及數據彙整中心

- 二、 德國 MTU 公司已具備服務多國海軍 LM2500 實物經驗  
該公司實際服務並將多國海軍 LM2500 回送總部廠房進行大修作業、現場換裝及構改工程，計有：德國、美國、土耳其、阿爾及利亞、葡萄牙、沙烏地阿拉伯、埃及、義大利、南非、法國及丹麥等 11 國海軍。





燃氣渦輪機現場換裝工程



MTU 技術人員現場支援



燃氣渦輪機回裝作業



更換下之燃氣渦輪機

## 參、過程：

- 一、 MTU Maintenance Berlin-Brandenburg 為全世界商/軍用 LM-series™燃氣渦輪引擎 MRO(保養、維修、大修)的維保總部。藉由全球連絡網組織，負責指導、協助及支援各地區維修中心並輔導各地區維修中心建立標準化維修作業流程。
- 二、 該公司建立 15 人 GTRR(燃氣渦輪機物資檢驗)團隊，區分 5 個小組於全世界各地協助客戶執行物資檢驗與現場技術支援執行故障排除。針對本軍 LM2500 及艾立森燃氣渦輪發電機(基隆級艦)制訂物資檢驗工作表(如附件 5)，並可依本軍實際需求增加或刪減工作項目。
- 三、 LM2500 回送德國 MTU 總部廠區進行大修工程，裝備於完成分解檢驗後即出具修前檢驗報告並與客戶確認維修項目後即進行維修作業，大修期間客戶可隨時電詢維修進度或至廠房實施監工，並於維修組裝完成後再次聯繫客戶安排測臺測試日期，考量客戶時間及交通成本該公司亦可安排視訊方式同步進行裝備修後性能測試。完成測試數據蒐整分析後進行缺改並評估是否需執行測臺測試(如有需要會再次聯繫客戶安排測試日期)。最終，出具修後報告做為該公司與客戶裝備史略資料(以挪威海軍為例之修前檢驗及修後分析報告，如附件 6)。
- 四、 德國 MTU 公司(MTU Maintenance Berlin-Brandenburg)為原製造商(OEM)代工廠且具備 MRO 能量與豐富的實物經驗提供全球服務網絡和設計、開發、生產及維(翻)修方面的專業知識，並結合 OEM 和獨立 MRO 能量之優勢，將 LM2500 分解後將各料件及次總成透過精密檢驗後執行料件翻修或換新，採取“修復而非換新”之維修觀念取代傳統式大修料件全部更換方式。此外，該公司為 FAA(航空聯盟協會)認證會員，因此料件取得價格為原價三分之二，可有效降低客戶維修成本同時維

持裝備妥善率，並提供修後 1 年保固效期。

- 五、 囿於本軍成功級與派里級主機操控臺(PCC)多數電路板已屬消失性商源，可協助構改提升為數位式操控臺(MK-9 mode)。
- 六、 技術交流及 GTRR 能量建立，MTU 公司十分重視與客戶間的長期合作關係，依客戶需求提供客製化方案採取透明公開方式協助技術能量建立、轉移及人員訓練，並歡迎本軍如將燃氣渦輪機回送德國大修時可派技術人員前往廠房進行技術交流與履驗督導。

## 肆、心得及建議：

遵國防部海軍司令部 107 年 3 月 23 日國海整後字第 1070001198 號令，前於 107 年 3 月 8 日 GE 公司臺灣代表至司令部提供 LM2500 維保服務說明(如附件 7)，並請本部研析 LM2500 燃氣渦輪主機維修、零附件整補及人員訓練提升等對本軍最佳方案，以利執行 LM2500 維保作業，建議事項分述如后。

### 一、 維修管道：

#### (一) 本軍現行維修方式：

1. 服勤期間：依美方技術手冊(S9086-HC-STM-010)採現況維修，由艦方依主機使用小時數與 MR 卡所列保養項目，執行限工程保養及零附件更換作業。
2. 廠修期間：針對燃氣產生器(GG)及動力渦輪機(PT)，如遇無法修復，現階段均以總成換裝方式執行並納列可修件回運美方實施檢修(工期達 2 年以上)，近 10 年交修歷程及修費如附件 8。

#### (二) 經由商售管道協助解決維修窒礙及時效：

1. 透過公開招標方式，將本軍軍規及商規之 LM2500 由 GE 或 MTU 公司承修，惟前述兩家公司(現有意願承修)須取得美方同意及裝備輸出許可證明。MTU 公司表示已與美軍商議且美軍囿於西南及北島維修站維修負荷量已飽和超載，同意該公司承修本軍 LM2500，且 MTU 公司一旦獲得政府裝備輸出許可證明文件後可保證於 90 天內完修，將大幅縮減工期以提高裝備妥善率及修護品質。
2. 美軍近期修復之 LM2500 之 GG 端(序號 GGA814)於 106 年 10 月回運本軍(修復歷程 41 個月)，且無提供相關維修歷程及測試報告等資料，無法將故障肇因列入預防作為。依據 GE 及 MTU 公司簡報說明，於修前檢驗及修後測試均可提供完整報告並依客戶需求進行維修作業，大幅降低維修成本。
3. 為達國防自主政策及扶植國內產業拓展 LM2500 維修管道，以目前海軍現役燃氣渦輪主機共計 36 部及週轉件 GG(燃氣產生器)端計 6EA、PT(動力渦輪)端計 4EA 為誘因，並於考察德國 MTU 公司期間請該公司考量於國內尋找優質廠商建置 LM2500 燃氣渦輪機國內二級修能廠房 (如 MTU 泰國曼谷二級廠房)，以增進效益後勤實效提高艦艇裝備妥善率，有效支援戰備任務。
4. 比對 GE 公司臺灣代表與德國 MTU 公司提供之 GE Distributed Power 授權特定之服務供應商可執行四級能量維修表列清單有所出入(同附件 3、7)。
  - (1) GE 公司臺灣代表文件所列，可執行全球軍事海用 LM2500 燃氣渦輪主機計有：德國 MTU、南韓三星及西班牙渦輪推進等三家廠房。
  - (2) 德國 MTU 公司文件所列，可執行全球軍事海用 LM2500 燃氣渦輪主機計有：德國 MTU、南韓三星及紐西蘭航空等三家廠房。
  - (3) 綜上，若 GE 公司臺灣代表合作廠房為德國 MTU 且僅為經銷商角色，考量維修成本(經銷服務費)建議直接交由德國 MTU 公司承修為佳；如合作廠房為南韓三星，考量地緣交運期程建議透過 GE 公司臺灣代表交修。

### 二、 零附件整補：

現有 12 個軍售發價書足以協助籌補本軍燃氣渦輪主機所需料件，惟可修件及非可修件(美軍定義)料件對於 MTU 公司維修觀點均屬可翻修料件，且該公司收購全球報廢之燃氣渦輪主機與附屬料件(如第一級動葉片、轉子、可變定葉片、定葉片等…)



進行分解、檢驗、翻修及品管後作為備料，使料件發揮最大效益進而降低維修成本同時兼顧維修品質。建議本軍燃氣渦輪主機如回送德國廠區大修時可將廢品料件一併回運檢整，作為維修備料使用以降低維修費用。

### 三、 人員訓練提升：

1. 英國學者沃汀頓曾對美軍 B-24 轟炸機維保頻次與故障率進行研究後提出「沃汀頓效應」(如附件 9)，也就是增加定期維修並不一定有利(More maintenance isn't necessarily better)，因此對於 LM2500 維保概念，美軍著重於 GTRR 而非定期的料件更換，惟本軍艦艇執行 GTRR 均需配合美技協人員期程，常影響作戰任務兵力運用。而 GE 公司臺灣代表與德國 MTU 公司均可依本軍需求提供客製化服務協助本軍建立 GTRR 檢測能量，進而縮短 GTRR 期程及增加裝備可靠度。
2. 因應各後支部人員縮減與工場合併在人力有限情形下將影響 LM2500 恢復妥善時效，若能藉由商售管道協助支部建立維修團隊及 GTRR 小組，平時在各支部工場執行修艦任務彈性運用，遇突發狀況時，則依司令通報 012 號「修能整合、人力互相支援、物料互相供補」指導，由保指部整合維修人力及互相支援以縮短裝備維修時限，戮力達成修艦任務，俾各項戰演訓任務順遂。

## 伍、結語：

- 一、 囿於本軍 LM2500 燃氣渦輪主機及燃氣渦輪發電機維修長期依賴美軍售維修之唯一管道，若可透過商售管道提供技協、維修能量及客製化服務，對本軍艦艇修護、維保及支部技術能量提升，具有正面效益，協助艦隊解決各項窒礙，以利持續推動後勤支援事宜，充分支援作戰任務執行。
- 二、 本部現已公告招標循廠商進行 LM2500 主機 GG 端(序號 GG657)維修工程，藉以驗證廠商修能(需具備 GE Distributed Power 授權)，如經由商售管道維修能大幅縮短交修期程，將符合「後勤政策指導」及本軍「可修件作業管理規定」循商方式辦理交修，並扶植國防產業發展提升整體後勤支援能力及時效。

## 附件

附件 1：與會人員名冊

附件 2 至附件 7 係由德國 MTU 公司及 GE 公司臺灣代表所提供之文件，依著作權法第 37 條：「非專屬授權之被授權人非經著作財產權人同意，不得將其被授與之權利再授權第三人利用」，不予公告

附件 8：本軍近 10 年交修歷程及修費統計表

附件 9：沃汀頓效應

## 與會人員名冊

項次	單位/人員	備考
1	海軍保修指揮部/周燕龍少將 ROCN/Chou Yen-Long	
2	海巡署/吳金河 CG/Wu Chin-Ho	
3	左營後勤支援指揮部/吳啓興上校 ROCN/Wu Chih-Sing	
4	馬公後勤支援指揮部/曾少谷中校 ROCN/Tseng Shao-Ku	
5	海軍保修指揮部/吳立文中校 ROCN/ Wu Li-Wen	
6	海軍保修指揮部/林志豪少校 ROCN/ Lin Chih-Hao	
7	二五六戰隊/權海石士官長 ROCN/Chuan Hai-Shih	
8	駐歐採購組/許朝棟上校 BRTEF/ST/ Hsu Chao-Tung	
9	駐歐採購組/張雲峰中校 BRTEF/ST/ Chang Yun-Feng	
10	德國 MTU 公司/ Business Development Manager / Mr. Hans Smid	
11	德國 MTU 公司/ 銷售主任 / Mr. Joerg R. Witaseck	
12	德國 MTU 公司/ 客務服務經理 / Mr. Gerard Lee	

## 本軍 LM2500 主機 GG、PT 端近 10 年交修歷程及修費

項次	裝備名稱	適用艦型	序號	交運時間	修復時間	修復歷程(月)	維修金額(新臺幣)	備考	
1	GG 端	成功級艦	GGA623	102/10/23	106/3/13	41	42,900,000		
2	PT 端	成功級艦	為商規囿於暫編料號，尚無法辦理美軍售交修						
3	GG 端	基隆、派里級艦	GGA814	103/5/12	106/10/17	41	51,891,159		
4	GG 端	基隆、派里級艦	GGA-126	103/6/4	預 107/08	50	81,333,097		
合計							176,124,256		

# 改變維護策略的先驅 - 沃丁頓效應

英國生物學家  
康拉德·哈爾·沃丁頓

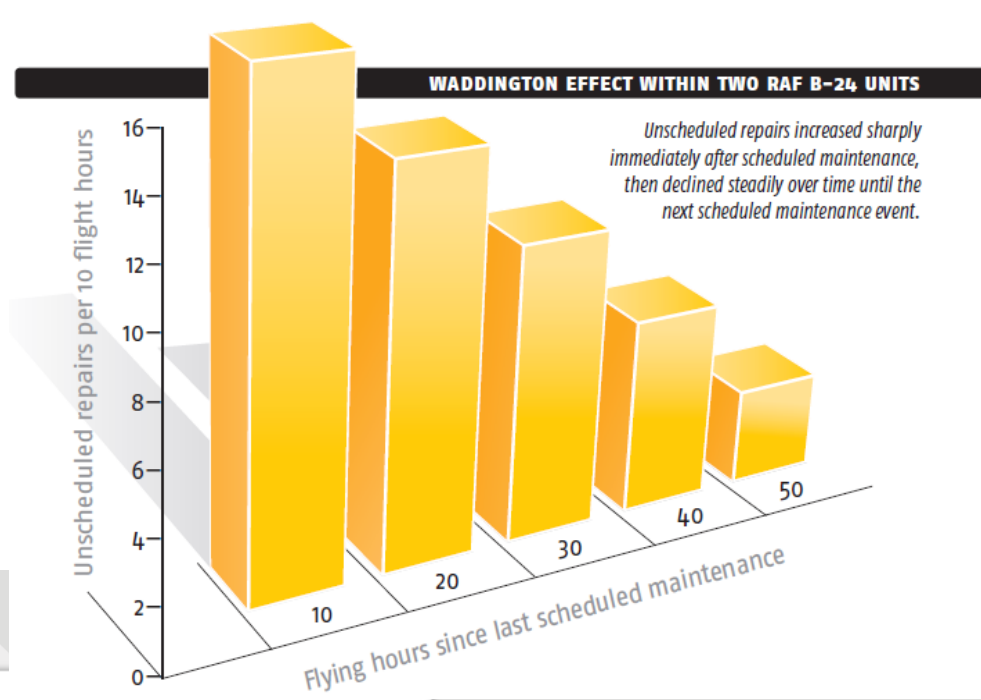
## The Waddington Effect



biologist Conrad Hal (C.H.) Waddington med groundbreaking research on aircraft enance during World War II.



Waddington found that Britain's Consolidated B-24 Liberator bombers were spending half their time in the shop ...and figured out why.



沃丁頓效應指出：  
定期維修提高了B-24的  
失效率，出現早夭期。

增加定期維修並不一定有利 (More maintenance isn't necessarily better)



# 聯合航空與美海軍的失效統計

設備主要失效並非老化(11%)而是使用初期(72%)

## 設備故障六大類型

