

出國報告（出國類別：實習）

風力發電機組運轉與維護技術

服務機關： 台灣電力股份有限公司
姓名職稱： 邱土添經理、陳明傳課長
派赴國家： 比利時、德國、荷蘭
出國期間： 101.06.09～101.06.22
報告日期： 101.08.06

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：風力發電機組運轉與維護技術

頁數 24 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)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

邱土添/台灣電力公司/電力修護處/經理/(02)27853199 轉 350

陳明傳/台灣電力公司/電力修護處中部分處/課長/(04)7363666 轉 361

出國類別：☐1 考察 ☐2 進修 ☐3 研究 ☒4 實習 ☐5 其他

出國期間：101 年 06 月 09 日至 101 年 06 月 22 日

出國地區：比利時、德國、荷蘭

報告日期：101 年 8 月 6 日

分類號/目

關鍵詞：WTG(Wind Turbine Generator)、Gearbox

內容摘要：（二百至三百字）

在整個風力發電系統中，齒輪箱為重要之關鍵組件之一，如何確保齒輪箱運轉的經久耐用與安全可靠，以提高風力機組運轉的可用率，已成為風場經營者與風機製造廠商最關心的議題。齒輪箱一旦故障，由於齒輪箱交貨期長，價格昂貴，且吊裝受

天候影響，造成風機停機之發電量損失。若能規劃齒輪箱檢修流程，建立齒輪箱檢修工廠，將吊換下來之故障齒輪箱進行修復，並逐步建立齒輪箱檢修能量及齒輪箱備品交換池，將有助於減少停機時間、提升運轉效率，不必受限於採購前置及招標作業所造成的延誤，及國外齒輪箱供應商的交貨排程，則可減少待料時間，並節省齒輪箱購置費用。

目 錄

	頁次
壹、目的及緣起	1
貳、出國行程	2
參、實習紀要	2
肆、心得及建議	23

壹、目的及緣起

風力發電目前已成為全球最熱門與最快速成長之再生能源產業，亦是我國政府除太陽光電之外，大力推動之綠色能源產業項目之一。在整個風力發電系統中，齒輪箱為重要之關鍵組件之一，如何確保齒輪箱運轉的經久耐用與安全可靠，以提高風力機組運轉的可用率，已成為風場經營者與風機製造廠商最關心的議題。

由於風力發電機組之齒輪箱結構及零組件大型化，齒輪箱外殼及傳動軸均有可能會變形，此現象對齒輪箱軸承及軸的對心有不良影響，同時若風力發電機齒輪箱與機艙底座的安裝介面結構不良，亦會有結構變形的負面效應，將會因過大振動而造成齒輪箱種種的故障情況。

風機故障的原因，其中因齒輪箱故障而造成的停機時間甚久(如圖 1-1)，每次齒輪箱故障檢修更換的成本高達約 30 萬美元，故齒輪箱能夠正常運轉，對風機營運效益有極大的影響。

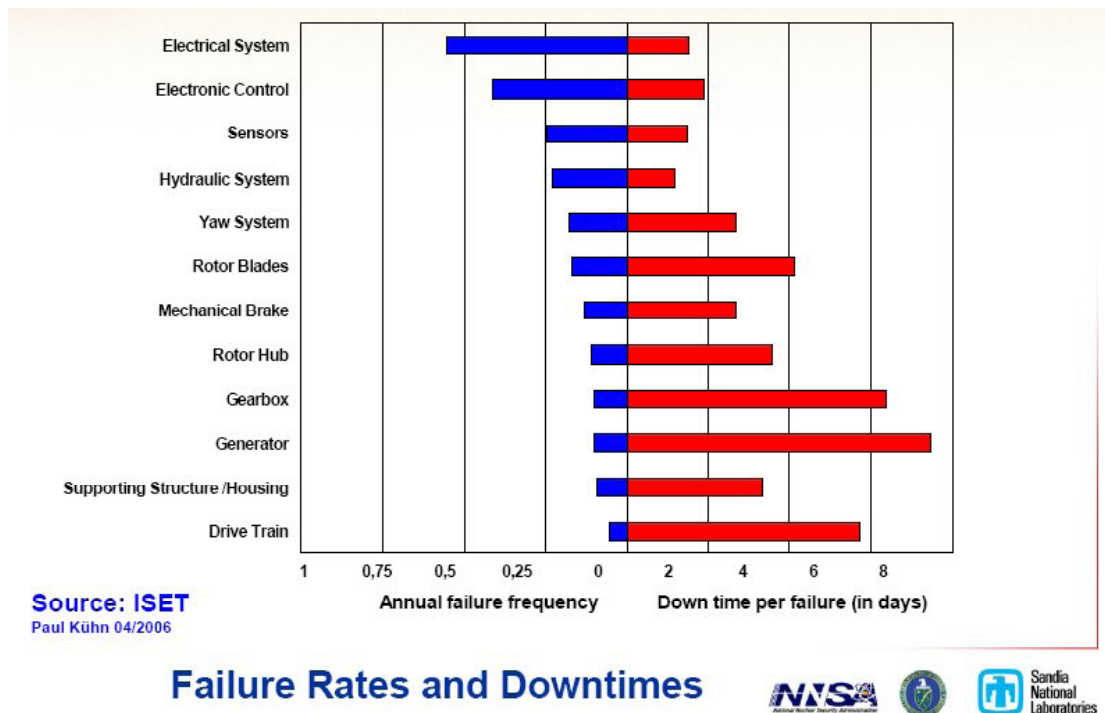


圖 1-1 風機零組件失效頻率與停機時間

電力修護處中部分處接管 78 台風機，其中有 68 台為 Vestas V80-2000KW 機種，分別為彰工風場 × 31 台、雲麥風場 × 23 台、四湖風場 ×

14 台，各風場於保固期間即發生齒輪箱故障情況，即至保固期結束，亦陸續發生齒輪箱故障情況，由於齒輪箱交貨期長（約 3 個月），價格昂貴（約一仟萬元），且吊裝受天候影響，造成風機停機之發電量損失。若能將吊換下來之故障齒輪箱進行修復，逐步建立齒輪箱檢修能量及齒輪箱備品交換池，將有助於減少停機時間、提升運轉效率，不必受限於採購前置及招標作業所造成的延誤，及國外齒輪箱供應商的交貨排程，則可減少待料時間，並節省齒輪箱購置費用。

本次出國目的為參訪齒輪箱製造及維護廠家，瞭解國外齒輪箱檢修及測試方式，作為未來電力修護處檢修齒輪箱或進一步成立齒輪箱檢修工廠之規劃參考。

貳、出國行程

本次出國實習行程，分別前往比利時、德國及荷蘭等三個國家，自 101 年 06 月 09 日至 101 年 06 月 22 日，共計 14 日，如表 2-1 所示。

表 2-1 出國行程表

項次	起始日	迄止日	前往機構	所在國家 城市	工作內容
1	101/6/09	101/6/09			往程(台北-阿姆斯特丹)
2	101/6/10	101/6/14	ZF-Hansen	比利時 Lommel	風機齒輪箱製造與檢修技術
3	101/6/15	101/6/18	Multigear	德國 Mendig	風機齒輪箱檢修與測試技術
4	101/6/19	101/6/20	Bettink/BGS	荷蘭 Barneveld	風機齒輪箱檢修技術
5	101/6/21	101/6/22			返程(阿姆斯特丹-台北)

參、實習紀要

本次出國實習，前往三家齒輪箱公司，將實習紀要分述如下：

1. ZF-Hansen 公司：

1.1 德國 ZF 集團介紹

德國 ZF 集團的動力傳動系統和底盤技術為全球第一的汽車組件供應商。ZF 在全球 26 個國家擁有 117 家製造公司和 8 個主要研發中心，除此之外還擁有 34 個銷售及服務中心，650 個服務據點，員工人數有 72,000 人，該公司的重要紀事如下：

- 1915 成立。
- 1961 研發出自動變速箱，於 1969 年開始由 BENZ 及 BMW 等大廠所採用。
- 1999 研發出六速自動變速箱，於 2001 年首先由 BMW7 系列所採用。
- 2007 研發出八速自動變速箱，於 2011 年首先由 Chrysler 所採用。
- 2011 研發出九速自動變速箱。
- 2011 併購 Hansen Transmission International。

德國 ZF 集團有五大技術部門，如圖 3-1 所示，分別為：

- 動力傳送技術
- 底盤技術
- 商用車技術
- 工業技術（含風力技術）
- 轉向系統

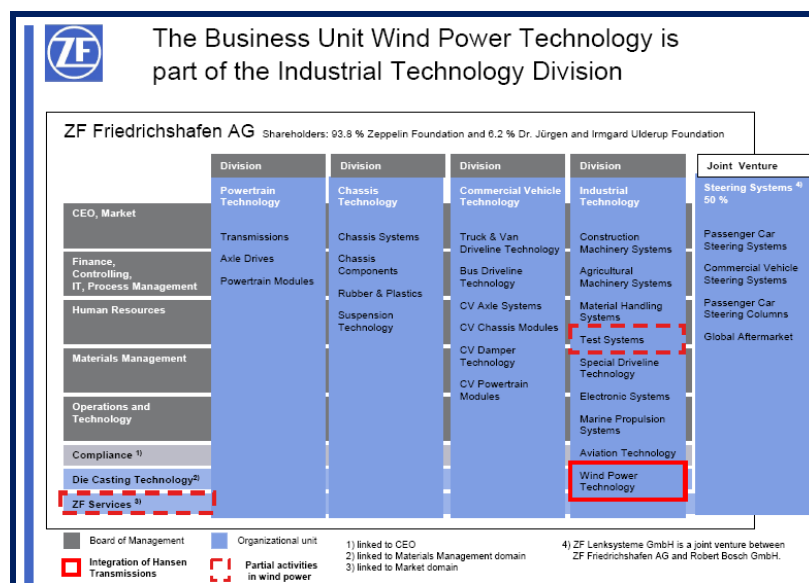


圖 3-1 ZF 公司五大技術部門

整個集團大部份是產製汽車傳動與底盤組件，而且市佔率皆為全球數一數二，其中與風力發電有關的部門是測試部門（Test System）、風機齒輪箱製造部門（Wind Power Technology），以及市場銷售部門（ZF Service）。以 ZF 公司超過 90 年的變速箱生產經驗加上 Hansen 超過 30 年的風力發電經驗，希望能製造出可靠度更高的齒輪箱。

ZF 公司在比利時 Lommel 的齒輪箱製造廠，成立於 2001 年，佔地 110,000 平方公尺，員工 820 人，每年可生產 6,000MW 的齒輪箱。另外在印度、美國及中國大陸亦有齒輪箱工廠，集團總產量每年可達 12,500MW，以供應全球 Vestas、Gamesa、Siemens、Suzlon、Repower 及 Sinovel 等六大風機製造廠超過一半的齒輪箱需求，廠牌 ZF 集團併購 Hansen 後，其可生產的齒輪箱容量為 0.85MW 至 6MW，齒輪箱發展的歷程如下，如圖 3-2 所示：

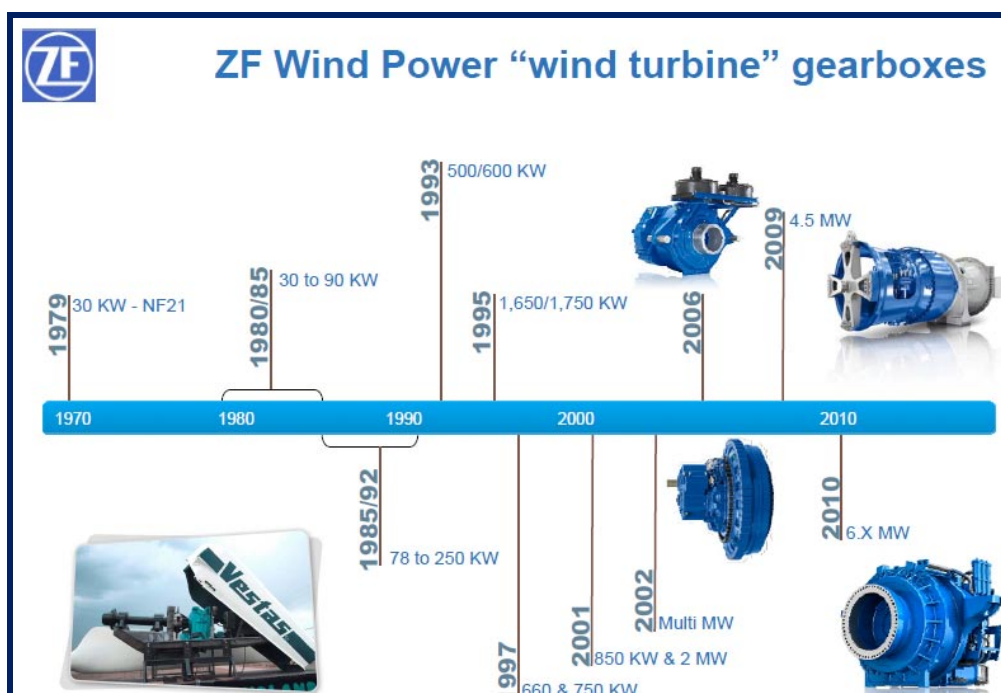


圖 3-2 齒輪箱發展歷程

1.2 齒輪箱的組成

齒輪箱的組成可分五大部份，如圖 3-3 所示，即行星齒輪系、平行齒輪系、機殼、潤滑系統及其他附件，在機殼部份，包括固定於齒輪

箱兩側的扭力臂，藉著扭力臂將齒輪箱固定於機艙底座，並作為緩衝，可吸收因齒輪箱晃動傳到底座的衝擊，在潤滑系統方面則包括齒輪油的冷卻系統。

齒輪箱的齒輪系統，如圖 3-4 所示，包括行星輪系（太陽齒輪、行星齒輪、環齒輪）、低速軸齒輪、中間軸（大齒輪、小齒輪），以及高速軸齒輪。各軸心所使用的軸承在轉子側為滾柱軸承，為活動端，在發電機側為斜錐滾柱軸承，為固定端，並用以承受軸向的負荷，如圖 3-5 所示。

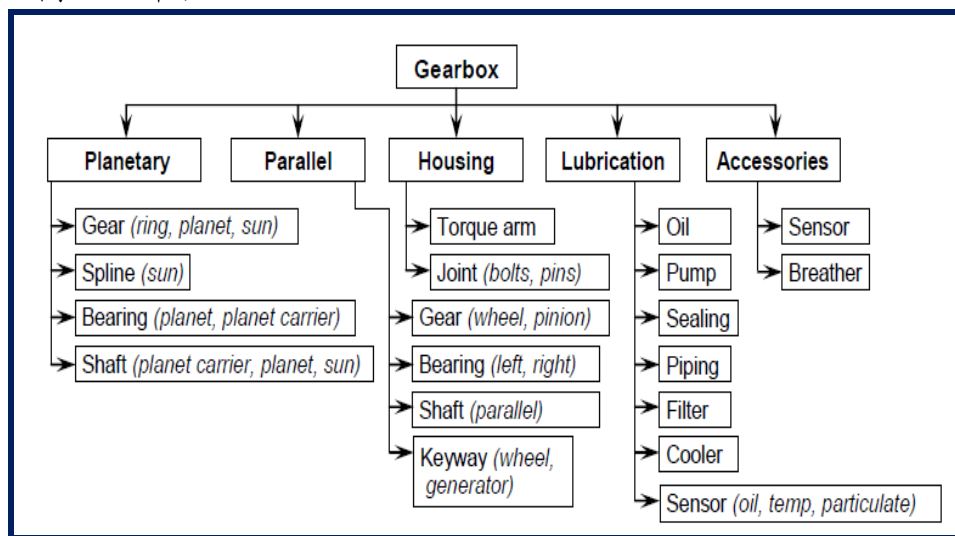


圖 3-3 齒輪箱的五大組成

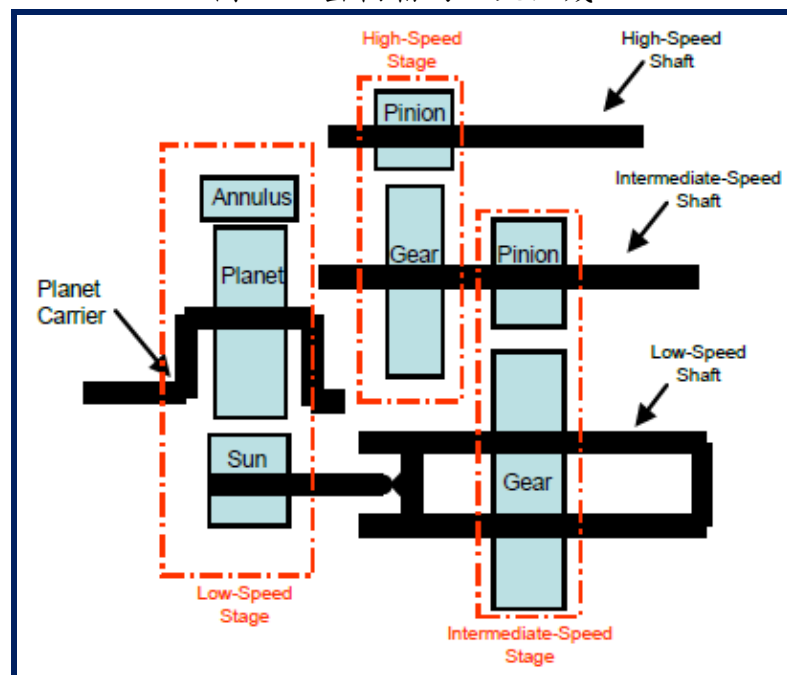


圖 3-4 齒輪箱輪系構造圖

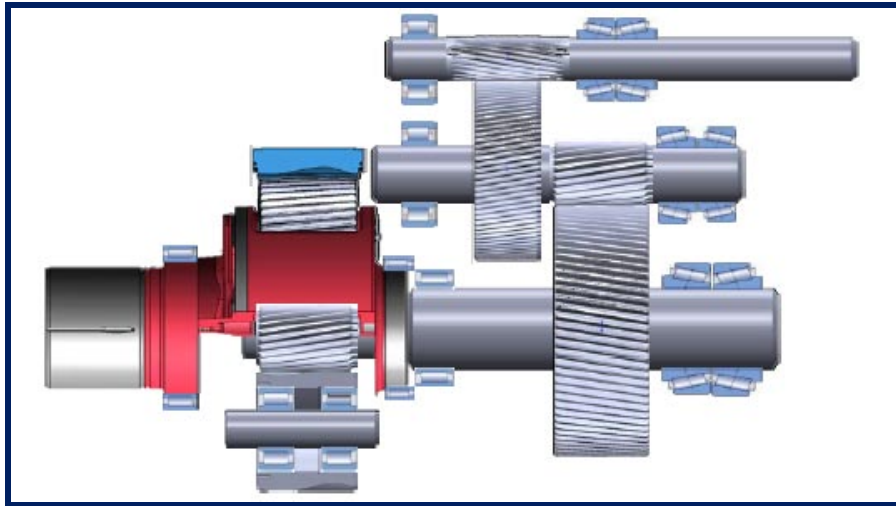


圖 3-5 齒輪箱軸承的選用

1.3 齒輪箱的製造

有關於齒輪箱的製造，包括齒輪箱外殼的製造、齒輪的製造以及軸的製造，其程序步驟分述如下：

1.3.1 齒輪箱外殼製造：

1.3.1.1 齒輪箱外殼鑄造

1.3.1.2 鑄造焊接

1.3.1.3 熱處理

1.3.1.4 平面加工

1.3.1.5 螺絲孔加工

1.3.1.6 軸承座加工

1.3.2 齒輪製造：

1.3.2.1 取料

1.3.2.2 車床加工

1.3.2.3 滾齒

1.3.2.4 內鍵加工

1.3.2.5 熱處理

1.3.2.6 內孔研磨

1.3.2.7 齒面研磨

1.3.3 軸製造

1.3.3.1 取料

1.3.3.2 車床加工

1.3.3.3 軸鍵加工

1.3.3.4 熱處理

1.3.3.5 軸研磨

1.4 齒輪箱的檢修

齒輪箱的故障除相關的附屬設備，如油泵、冷卻風扇、外部過濾器等可於現場直接檢修排除故障，若是齒輪本身或是軸承損壞，就不一定可於現場檢修，Vestas V80 齒輪箱可於現場檢修的部份如表 3-1 所示，其餘齒輪或軸承故障則必須將齒輪箱拆解下來，送到工廠檢修。

表 3-1 V80 齒輪箱可在機艙現場檢修的部份

HSS Full	高速軸更換
HSS NRS Bearing	高速軸 發電機側軸承更換
HSS RS Bearing	高速軸 轉子側軸承更換
HSS NRS Leakage	高速軸 發電機側漏油
IMS NRS Bearing	中間軸 發電機側軸承更換
LSS NRS Leakage	低速軸 發電機側漏油

齒輪箱故障，若向原廠家採購，可以採購全新品，亦可以採購修復品，齒輪製造廠家提供的採購模式如圖 3-6 所示，若購買新品或將故障齒輪箱送修，交貨期約在 12-26 週，若購買修復品，交貨期約在 2 週以內。若將故障齒輪箱賣回廠商，同時購買修復品，交貨期約在 2 週以內，若與齒輪廠商簽訂可用率合約，同樣以故障品更換購買修復品，交貨期可在 2 天以內。另公司簡報情形如圖 3-7 所示。

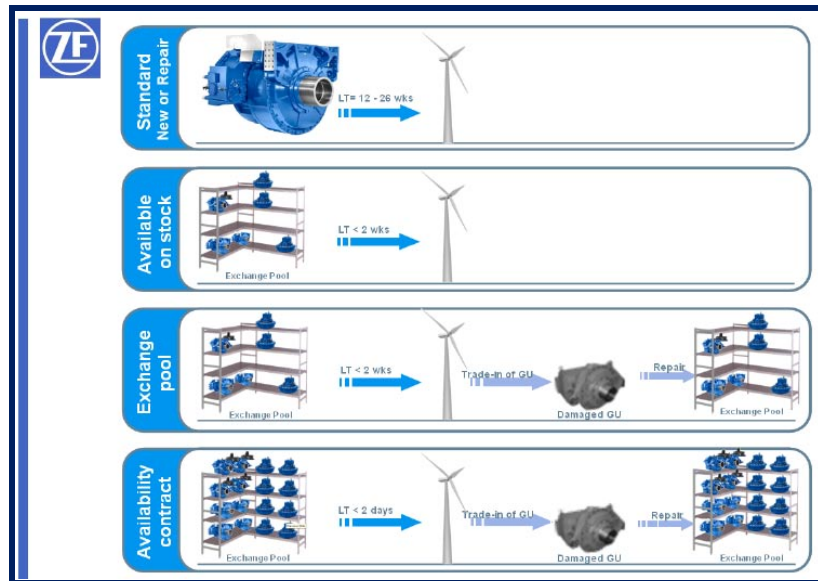


圖 3-6 齒輪箱的採購模式



圖 3-7 ZF-Hansen 公司簡報情形

2. Multigear 公司：

2.1 Multigear 公司介紹

Multigear 公司為一家專業齒輪箱維修公司，其服務範圍主要為故障齒輪箱的檢修，也接受風機現場的齒輪箱維護工作，以及齒輪箱的買賣，其服務範圍如表 3-2 所示，其工廠約 1,500 平方公尺，如圖 3-8 所示，設有 32.5 噸的吊車，另有規劃 500 平方公尺的倉庫，如圖 3-9 所示，以存放齒輪、軸承等備品。另公司簡報情形如圖 3-10 所示。

表 3-2 公司服務範圍

現場檢修服務	工廠檢修服務	新舊齒輪箱買賣
檢查與內視鏡檢查	分解、清洗、損壞紀錄	Nordex 風機
振動量測	損壞分析	Bonus 風機
損壞紀錄與分析	齒輪設計與計算	Vestas 風機
創新的檢修方式	大修與升級	NegMicom 風機
保固結束檢查	組合與塗裝	GE 風機
對心	測試	NTK 風機
對客戶的承諾： 24 小時到達全歐洲， 48 小時到達全世界。		DeWind 風機



圖 3-8 齒輪箱檢修工廠



圖 3-9 齒輪箱檢修備品倉庫

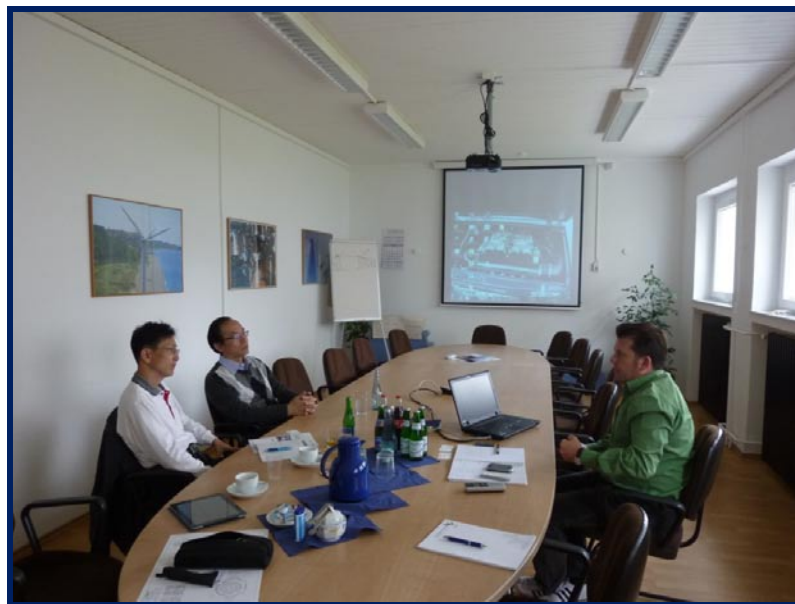


圖 3-10 Multigear 簡報情形

2.2 齒輪箱的維修趨勢

風力發電機齒輪箱故障，可能的原因有：未確保潤滑油合理過濾功能、未定期更換潤滑油、運轉環境惡劣、未移除潤滑油中金屬雜物、未定期潤滑油抽樣檢查、無適當齒輪箱冷卻功能、未更換已氧化潤滑油、未適當控制合理負載、未排除齒輪箱漏油、未監控齒輪箱噪音品質與無異常追蹤改善處理等。風力發電機齒輪箱故障，其故障原因複雜，可能不會只有單一原因，而齒輪箱運轉狀況，應可

由潤滑油質、潤滑油及軸承溫度、轉速、振動及噪音與現場目視齒輪齒印、外觀等監控系統，以及維修體系所掌控，並據以分析故障原因。

風力發電機齒輪箱最先發生初期失故障的狀況通常是潤滑油質與軸承，然後再逐步影響齒輪損壞而最終導致齒輪箱故障。依據統計，風力機齒輪箱在新機安裝後 5 年內，超過 15% 軸承將會出現失效，失效主要發生在高速軸軸承、行星齒輪軸承表面瑕疵、與中間軸定位軸承安裝失效，較不會發生失效的軸承為行星托架軸承、空心軸軸承與非定位軸承。而在齒輪失效方面，失效主要發生在齒面折斷、齒輪點蝕損壞、齒輪蔓延性磨損等。有關齒輪製造上的瑕疵，則主要為齒輪研磨回火、材質熱處理與其他施工品質缺失等。

風力發電機可用率必須由減少故障及改善運轉與維護來達成，風力發電機齒輪箱維修亦須依此方向來推展。改善運轉與維護方面，則著重於維修設計、建置 O&M 資料庫、監控、全載測試、可靠度分析等，預防監控維修成為未來全球風力發電機齒輪箱維修最重要的趨勢。風機齒輪箱損壞可分為健康期(潛伏期)與破壞期，如圖

3-11。於破壞初始侵入期時，為監控階段；當損壞仍繼續擴大但仍仍在健康期可接受範圍時，需進入準備檢修階段；如不理睬，損壞將繼續擴大達；如再不理睬，損壞將繼續擴大造成破壞性失效。

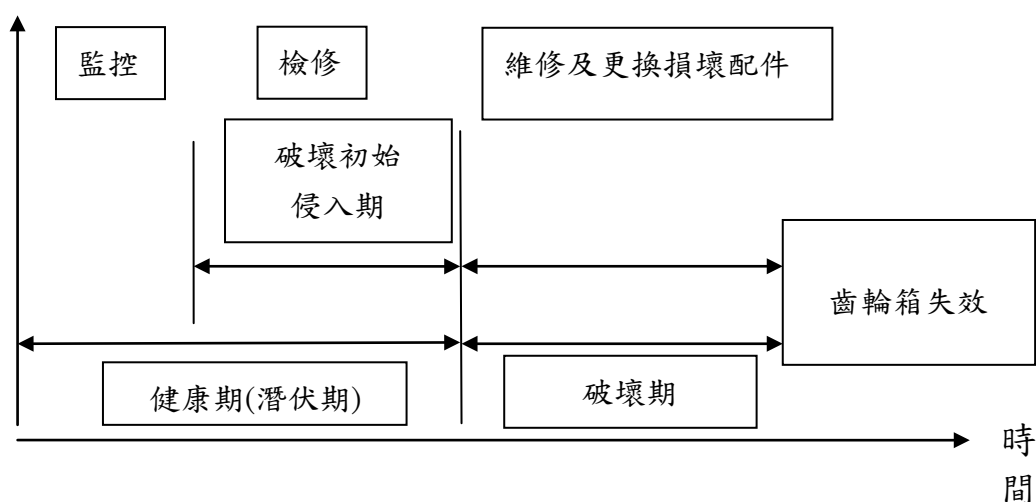


圖3-11 風機齒輪箱潛伏與破壞失效示意圖

3. Bettink/BGS

3.1 Bettink 團隊介紹

Bettink 為一風機維修團隊，其服務內容包括齒輪箱與發電機的檢修，風機的檢查，葉片的修補，備品的提供及風機的教育訓練課程，該公司之事業群如圖 3-12 所示，在荷蘭的市占率約為荷蘭所有風機的 25%，這相當於為 350MW，該公司年營業額約為 12,500,000 歐元，平均可用率 98%以上。該公司的歷史為：

- 1996 年成立
- 2001 開始在荷蘭建造百萬瓦級風場
- 2002 承接 Lagerwey 風機所有維修業務
- 2004 開發 Bettink 所謂的”保證合約”
- 2005 開始百萬瓦級機風機的維修業務
- 2007 成為西門子在荷比盧的優先供應商
- 2010 風機主要零件的修理工廠開始營運
- 2011 第 250 台 Vestas 風機洽簽”保證合約”



圖 3-12 Bettink 集團五事業群

3.2 Bettink 主要業務：

- 定期保養（ Preventive Maintenance）
- 故障檢修（ Corrective Maintenance）
- 葉片檢修（ Blade maintenance）
- 設備改善（ Modification）
- 油品更換（ Change Oil）
- 統包作業（ Turnkey）

3.3 Bettink 合約的分類：

傳統的運維合約，風機若發生重大故障，因權責不同，風機擁有者可能必需與風機維護廠商、零件製造廠商，以及保險公司接洽檢修與賠償事宜，如圖 3-13 所示，而 Bettink 所開發的 Garant Contract，若風機發生重大故障，則只需與風機維護廠商，也就是只需與 Bettink 公司接洽，Bettink 公司會負責與零件製造廠商，以及保險公司洽商，故風機擁有者只要針對單一窗口即可完成故障報修事宜，如圖 3-14 所示。

3.3.1 基本潤滑合約

- 定期保養的人員交通、住宿及工資
- 所需材料

3.3.2 潤滑合約可加選項目

- 健康及安全設備檢查
- 葉片維修
- 油品更換
- 監控（含月報表）

3.3.3 Bettink Garant Contract

- 定期保養的人工及材料
- 故障檢修的人工及材料
- 健康及安全設備檢查
- 葉片維修
- 停機超過 48 小時，對發電損失的補償，最多補償至 26 週

- 火災與竊盜保險

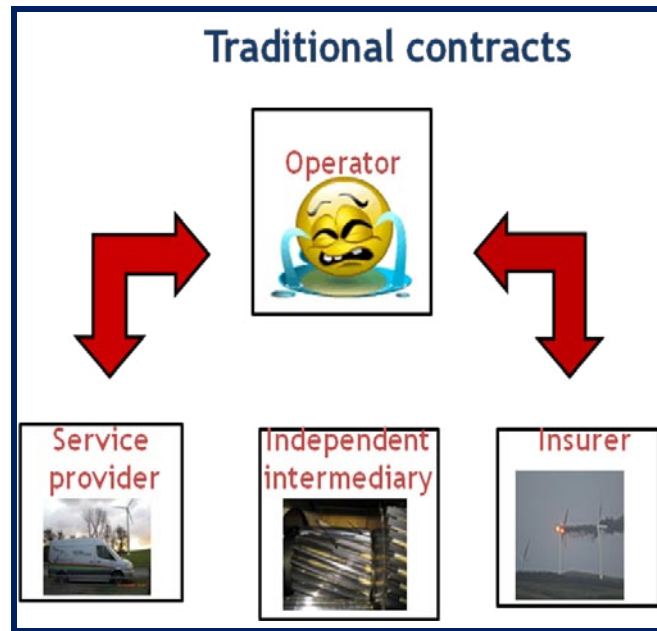


圖 3-13 傳統的合約方式

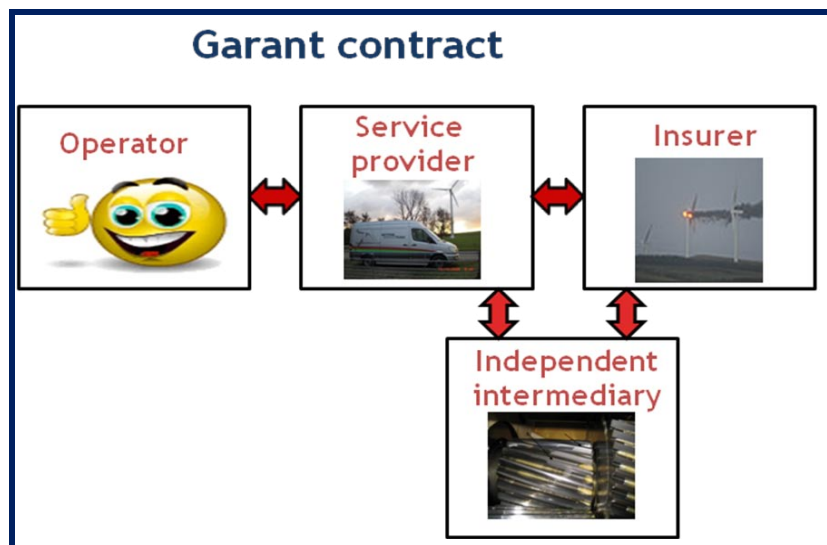


圖 3-14 Bettink 的合約方式

3.4 Bettink 的備品供應：

Bettink 集團下的備品銷售公司 Windturbinespareparts.com，2010 年成立，主要是提供客戶各項風機資訊、Know-how 及備品，該公司是 Vestas、NegMicon、Lagerwey and Siemens 的備品銷售商，亦為 Third party 的備品供應商，握有有充足的備品庫存，可快速回應客戶需

求，以減少停機時間，該公司可 24 小時配送，且該公司具風機維修經驗，有助故障排除，其備品庫存金額約 6,500,000 歐元，從螺絲螺帽、保險絲、電驛到 2MW 的發電機及齒輪箱都有庫存，可滿足客戶的需求，該公司之備品及油品庫存如圖 3-15 及 3-16 所示。



圖 3-15 風機備品倉庫

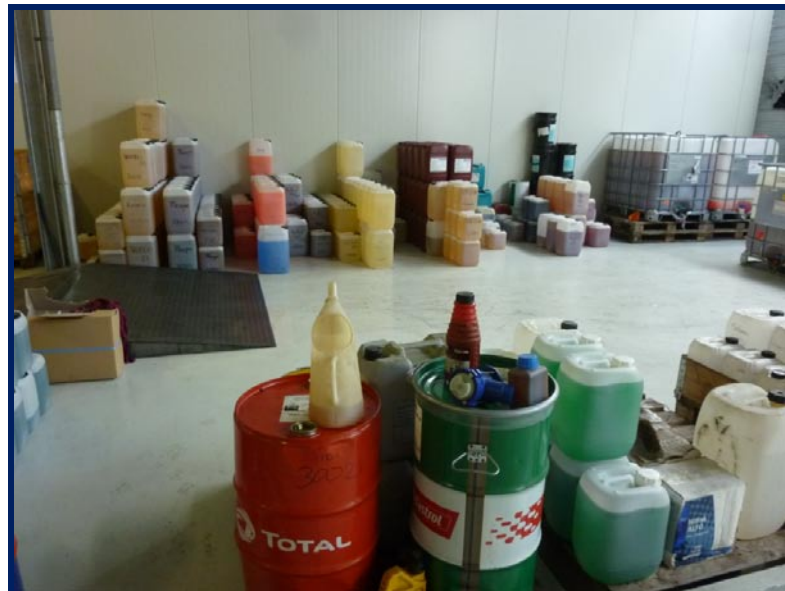


圖 3-16 油品存放倉庫

3.5 Bettink/BGS：

Bettink 集團下的 BGS 公司，為一齒輪箱檢修公司，主要為提供與

Bettink 集團簽定風機維護合約之客戶的齒輪箱檢修工作，檢修後之齒輪箱並作為備品，以維持風場之可用率，齒輪箱檢修工場及備品存放如圖 3-17 及 3-18 所示。



圖 3-17 齒輪箱檢修工廠



圖 3-18 齒輪箱備品庫存

3.6 油品的更換：

現有 Vestas V80 齒輪箱廠牌為 Hansen、Rexroth 以及 Winergy，各家廠牌齒輪箱使用之油品不同，如 Mobilgear SHC XMP 320 及 Caltex

Meropa 320，其 ISO Viscosity Grade 皆為 320，通常油品使用經過一段時間就會劣化，或清淨度超過標準就必需更換，Bettink 自行設計一套自動換油設備圖 3-19 所示，利用電動抽油泵將舊油抽到廢油桶，將新油抽到齒輪箱或液壓油箱，油管可利用機艙的吊車拉到機艙，不需雇用其他吊車，可以省去人力分裝油品及搬運油品的麻煩，省力又有效率。另公司簡報情形如圖 3-20 所示。



圖 3-19 油品更換設備

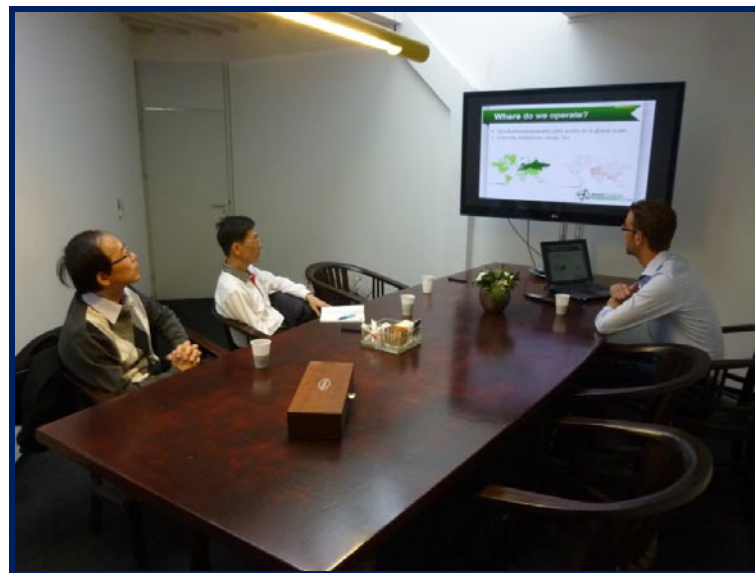


圖 3-20 Bettink 簡報情形

4. 齒輪箱的檢修流程

本次參訪的三家維修公司中，比利時 ZF-Hansen 為齒輪箱製造及維修公司，公司規模龐大，廠區內採物料電腦倉儲管理，物料以無人搬運車運送，廠區內分清潔區及一般區，除了熱處理工作區及維修品拆解區為一

般區外，其餘均為清潔區（含齒輪箱各配件加工區），員工 820 人，工廠 24 小時分 3 班工作，為一制度及規模相當完整的公司。

德國 Multigear 及荷蘭 Bettink 兩家公司為風機齒輪箱專業維修公司，非製造廠家，提供多廠牌的齒輪箱檢修服務，在歐洲地區都有穩定的客戶，風機維修在歐洲發展時間較久，因此有關風機的各項檢修是屬於成熟的產業，各項技術支援、備品來源、及升級工作等，都有相當的穩定度與可靠度。

德國 Multigear 及荷蘭 Bettink 兩家公司，其可提供的服務也和比利時 ZF-Hansen 類似，三家公司均表示可提供保證運轉時數及發電量合約，本項合約主要為依靠向保險公司投保以分攤風險。

有關齒輪箱檢修，綜合上述三廠商之資料，將其檢修流程以流程圖表示，如圖 3-21：

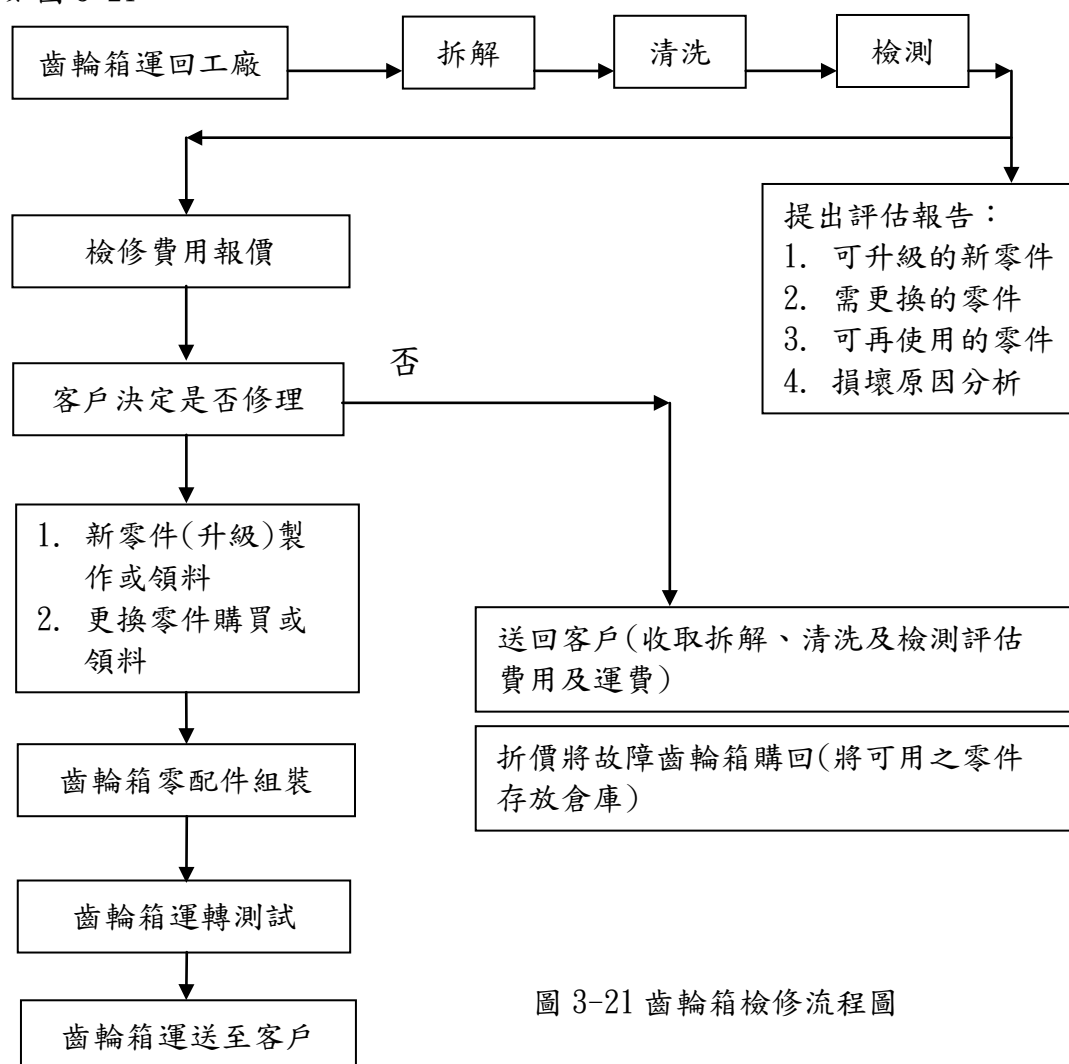


圖 3-21 齒輪箱檢修流程圖

5. 齒輪箱的場地規劃

在檢修場地及基本機具方面如下：

1. 20 噸以上之吊車、吊具及堆高機
2. 拆裝齒輪箱所需之各項手工具、治具及放置之工具箱
3. 相關非破壞檢測及尺寸量測量具
4. 清潔區地面需塗環氧樹脂
5. 小型地面清洗車
6. 高壓清洗機及污水回收設備
7. 備品及待修品物料架

依檢修流程設置 8 個工作區：

1. 收料區
2. 拆解區
3. 清洗區
4. 待料區(清潔區)
5. 備品區(清潔區)
6. 組裝區(清潔區)
7. 檢驗及測試區(清潔區)
8. 成品區

5.1 收料區

客戶檢修品收料放置區域。

5.2 拆解區

應用各項治具及工具將齒輪箱各零配件拆解工作區，拆解之零配件需統一收存，以便配合日後回裝取用，如圖 3-22 所示。



圖 3-22 齒輪箱拆解區

5.3 清洗區

拆解之零配件需進行非破壞、尺寸及相關檢驗，因零配件表面有油脂等污物，因此需於獨立之清洗區以高壓水清洗，清洗後之污水需處理後再排放，也可使用小型清洗機，如圖 3-23 所示。



圖 3-23 齒輪箱清洗區

5.4 待料區(清潔區)

齒輪箱拆解後之各部零配件經相關檢測後，有部份零件需更新，如無庫存備品或需重新製作或購買時，需待全部零件到齊後才可進行回裝作業。因此需將拆解後之各項組件統一放置並掛標示牌，以防遺失或誤用，如圖 3-24 所示。



圖 3-24 齒輪箱待料區

5.5 備品區(清潔區)

用以放置各項必而更換之備品的區域，設計置物架來放置這些備品可減少佔用地面面積，如圖 3-25 所示。



圖 3-25 齒輪箱備品區

5.6 組裝區(清潔區)

本區域為將各項零組件回裝之工作區，為避免灰塵及砂石等異物於回裝過程中掉入齒輪箱內，工作區需保持地面、工作台及相關工具之清潔度，清潔區地面需以清洗車清洗，如圖 3-26 所示。



圖 3-26 齒輪箱組裝區

5.7 檢驗及測試區(清潔區)

負載測試記錄與檢查項目：1. 扭力、2. 轉速、3. 振動(ISO 8579)、4. 聲功率(ISO 9614)、5. 溫度(ISO 81400)、6. 油清潔度(ISO 4406)、7. 油壓、8. 齒根應變、9. 漏油、10. 異音、11. 共振。

無載測試項目：1. 振動、2. 噪音、3 溫度、4. 機械組件配合狀況。

風機系統必須經過國際規範認證，獲得證書後，確認符合安全運轉需求，才能取得銀行貸款、保險及承接業務機會。因此齒輪箱製造廠家均配備有負載測試設備，但因此設備投資成本高，所以一般維修廠家均未進行負載測試而改採用無載測試，如圖 3-27 所示，另外有關機械式背對背負載測試系統及電子式背對背負載測試系統如圖 3-28 及 3-29 所示。



圖 3-27 齒輪箱檢驗與測試區

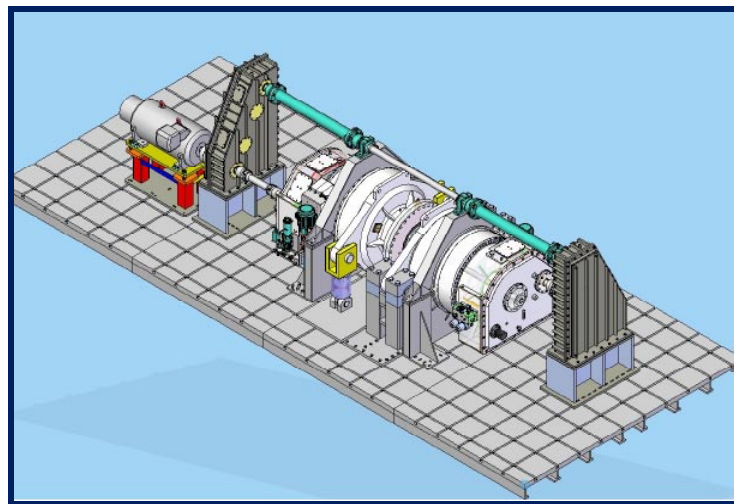


圖 3-28 機械式背對背負載測試系統

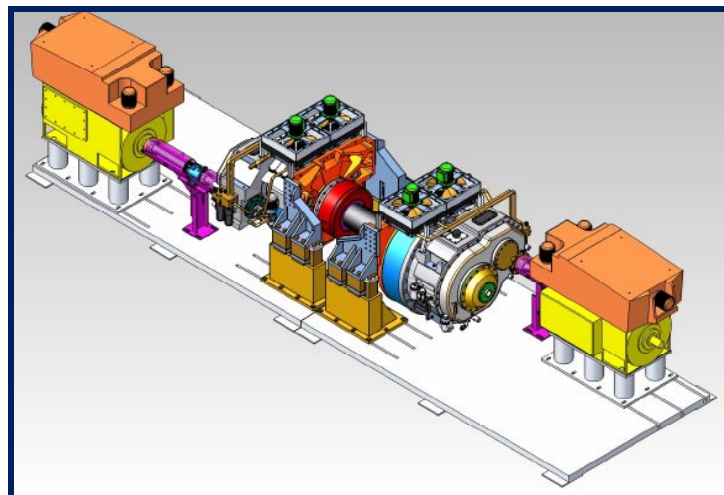


圖 3-29 電子式背對背負載測試系統

5.8 成品區

檢修及測試完成的齒輪箱存放於成品區，便於管控及運交客戶，如圖 3-30

所示。



圖 3-30 齒輪箱成品區

肆、結論及建議

1. ZF 為德國汽車齒輪箱專業製造商，併購風機齒輪箱製造商 Hansen Transmission International，成為供應全球六大風機廠牌齒輪箱一半以上之專業齒輪箱製造廠，Multigear 是一家專業的齒輪箱維修廠，Bettink Team 是一個風機運維團隊，成立 BGS 公司後，亦從事齒輪箱維修工作。
2. ZF-Hansen 擁有大規模的齒輪箱製造及測試設備，齒輪箱檢修後進行全載測試，Multigear 及 Bettink/BGS，齒輪箱檢修後進行無載運轉，則僅測量溫度及噪音。
3. 依據統計，風機齒輪箱在新機安裝後5年內，超過15%軸承將會出現失效，本處經管之風機數量已具經濟規模，建議規劃建構齒輪箱檢修工廠，逐步建立齒輪箱檢修能量及齒輪箱備品交換池，將有助於減少停機時間、提升運轉效率，並提本處供所經管風機彈性且即時的檢修服務，不必受限於採購前置及招標作業所造成的延誤，及國外齒輪箱供應商的交貨排程。
4. 齒輪箱檢修工廠建議利用現有場地規劃建構，以節省成本及充份利用資源，並建立齒輪箱備品交換池，提供穩定可靠的齒輪箱備品，利用學習曲線效益，節省成本提升維修品質。
5. 如欲建立齒輪箱全載負荷測試設備，以 2MW 風機齒輪箱為例，至少須要 200 萬歐元，建議齒輪箱完成檢修後，仿照齒輪箱維修公司，採無載方式進行負載測試，並以溫度及噪音為主要測試項目。
6. 規劃之齒輪箱檢修場廠房所使用之的吊車至少要 20 噸以上。

7. 建議安排齒輪箱維修課程，聘請國外講師來台授課，第一階段為齒輪箱檢修基本課程，教導齒輪箱檢修之基本理論及技術，第二階段則可視實際需求，彈性安排更深入之課程。
8. 建議風機現場齒輪油或液壓油之更換，可購置電動換油設備，利用電動抽油泵換油，省去人力分裝及吊運油桶上下風機之時間與人力。