

出國報告（出國類別：實習）

發電機組振動分析診斷技術研習

服務機關：台電電力修護處中部分處

姓名職稱：吳宏洲 / 工業工程師

派赴國家/地區：美國

出國期間：112年10月2日~10月15日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：發電機組振動分析診斷技術研習

頁數 33 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話 台灣電力公司/翁玉靜/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

吳宏洲/台灣電力公司/電力修護處中部分處/工業工程師/ (04)7363666 轉 326

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會 6 其他

出國期間：112年10月2日~112年10月15日

派赴國家/地區：美國

報告日期：

關鍵詞：振動測試、氣渦輪機

內容摘要：(二百至三百字)

台中電廠擴建複循環機組已在興建中，將採用奇異(GE)公司之設備，其機組設計先進、構件精密且複雜，為因應機組運轉振動正常的需求，故赴原廠對機組與其附屬設備之設計、製造原理、維護技術與振動研測技術實習。

本次實習透過美國奇異(GE)公司安排至格林威爾(Greenville)之氣渦輪機製造測試工廠(Gas turbine Manufacture & Test Factory)介紹氣渦輪機製造及測試技術，並透過振動設備製造商貝克休斯(Baker Hughes)公司安排至休士頓(Houston)之總部瞭解振動監測系統(Bently Nevada System 1 Performance Monitoring)和振動案例探討，瞭解其診斷分析方法，對於異常的振動診斷有更深入的瞭解。

本文電子檔已傳至公務出國報告資訊網 (<https://report.nat.gov.tw/reportwork>)

目錄

壹、 出國目的.....	1
貳、 出國過程.....	2
參、 實習內容.....	3
3-1 奇異(GE)格林威爾(Greenville)研習內容	4
3-2 貝克休斯(Baker Hughes)休斯頓(Houston)研習內容.....	18
肆、 實習心得與建議.....	31
4-1 心得.....	31
4-2 建議.....	31
伍、 參考文獻.....	32

壹、 出國目的

台中電廠擴建第 11 和 12 號複循環機組，目前已在興建中，將採用奇異(GE)公司之設備，依計畫時程首部機組將於 114 年併聯，其機組設計先進，構件精密且複雜，為因應機組運轉振動正常的需求，故赴原廠對機組與其附屬設備之設計、製造原理與振動研測技術實習。

本計畫透過與原廠的交流，增加對奇異發電機組之認識，學習機組精密結構與特殊工法，再透過振動設備製造商貝克休斯(Baker Hughes)分享其振動分析診斷技術，將此經驗用以未來機組的運轉需求，協助公司維持發電機組的運轉維護妥善率，精進本課振動診斷與測試分析。

本次受邀至美國奇異(GE)公司，透過格林威爾(Greenville)氣渦輪機製造測試工廠(Gas turbine Manufacture & Test Factory)介紹氣渦輪機製造及測試技術，再受邀至振動設備製造商貝克休斯(Baker Hughes)休士頓(Houston)總部介紹其振動監測系統(Bently Nevada System 1 Performance Monitoring)和振動案例分享，藉此機會瞭解其診斷分析方法，對於機組異常振動之診斷有更深入的瞭解。

貳、 出國過程

本次出國實習日期為 112 年 10 月 2 日至 112 年 10 月 15 日，共計 14 天，過程如表 2-1 所示。

起訖日期	參訪地點 / 機構名稱	工作概要
112.10.2(一)~112.10.3(二)		起程：台灣至美國格林威爾
112.10.4(三)~112.10.6(五)	格林威爾 (Greenville) / 氣渦輪機製造測試工廠 (Gas turbine Manufacture & Test Factory)	1. 氣渦輪機設計、製造與討論。 2. 參訪工廠
112.10.7(六)~112.10.8(日)		
112.10.9(一)~112.10.13(五)	休士頓(Houston) / 貝克休斯(Baker Hughes)總部	1. 振動監視系統介紹與 AI 的應用。 2. 振動案例分享與討論。
112.10.14(六)~112.10.15(日)		返程：美國休斯頓至台灣

參、 實習內容

本次實習前往南卡羅納州格林威爾 (Greenville , South Carolina)的奇異(GE)氣渦輪機工廠(Gas turbine Manufacture & Test Factory) , 如圖 3-1 所示, 該工廠主要項目為氣渦輪機的組裝、測試、各部件的設計、製造與維修、以及氣渦輪機相關的研究與測試。佔地面積約 575,000 平方英尺, 包含奇異訓練中心、燃燒器測試中心、氣渦輪機測試中心, 以及氣渦輪機組裝與維修中心。參訪完奇異(GE)公司的工廠, 接著前往德克薩斯州休斯頓(Houston, Texas)的貝克修斯(Baker Hughes)總部, 主要內容為振動監視系統、振動診斷、振動設備與振動案例等相關機組振動議題為主要研習之內容, 研習之內容會在下節進行敘述。



圖 3-1 奇異(GE)公司格林威爾(Greenville)氣渦輪機工廠

3-1 奇異(GE)格林威爾(Greenville)研習內容

奇異(GE)氣渦輪機工廠(Gas turbine Manufacture & Test Factory)包含奇異訓練中心、燃燒器測試中心、氣渦輪機測試中心，以及氣渦輪機組裝與維修中心，佔地面積約 575,000 平方英尺，主要項目為氣渦輪機的組裝、測試、各部件的設計、製造與維修以及氣渦輪機相關的研究與測試，透過與原廠交流瞭解最新一代 7HA.03 氣渦輪機的設計理念與構造。

3-1-1 奇異訓練中心

該訓練中心，如圖 3-2 所示，首先介紹奇異(GE)公司的氣渦輪機，從內容得知，奇異氣渦輪機 H 型機組之設計起源於 1992 年，1998 年完成第一台 9H 機組組裝及相關測試，並於 2003 年進行商轉；2000 年完成第一台 7H 機組組裝及相關測試，並於 2008 年進行商轉。此外，介紹奇異公司最新的 7HA 氣渦輪機，此型號擁有超過 1.4 百萬小時的運行經驗，如圖 3-3、3-4 所示，並提供三種型號分別為 7HA.01 功率為 290 MW、7HA.02 功率為 384MW，以及 7HA.03 功率為 430 MW。再加上複循環機組中，一組 1×1 7HA.03 電廠的額定功率為 640 MW，而 2×1 則為 1,282 MW，如圖 3-5、3-6、3-7 所示。而 7HA 氣渦輪機有以下優點:



圖 3-2 奇異(GE)公司格林威爾(Greenville)氣渦輪機工廠訓練中心

	7F.04		7F.05		7HA.01		7HA.02		7HA.03	
GT OUTPUT	198		243		290		384		430	
NOX/CO EMISSIONS (PPMVD)	GT 9/9	CC 2/2	GT 12/9	CC 2/2	GT 25/9	CC 2/2	GT 25/9	CC 2/2	GT 25/9	CC 2/2
GT MIN LOAD (EMISSIONS COMPLIANCE)	49% 97MW		43% 105 MW		25% 73MW		30% 115 MW		30% 129 MW	
COMPRESSOR	18 Stage		14 Stage		14 Stage		14 Stage		14 Stage	
COMBUSTOR	DLN 2.6		DLN 2.6+		DLN2.6+AFS		DLN2.6+AFS		DLN2.6e+AFS	
POWER TURBINE	3 Stage		3 Stage		4 Stage		4 Stage		4 Stage	
SIMPLE CYCLE START-UP (MINUTES)	11		11		10		10		10	
1X1 NET PLANT OUTPUT (MW)	305		376		438		573		640	
1X1 NET PLANT EFFICIENCY (%)	59.7%		60.4%		62.3%		63.4%		63.9%	
1X1 PLANT START-UP (MINUTES)**	<30		<30		<30		<30		<30	
1X1 PLANT RAMP RATE (MW/MINUTE)	30		40		55		60		75	

圖 3-3 奇異(GE)公司各氣渦輪機規格表

7HA Gas Turbine

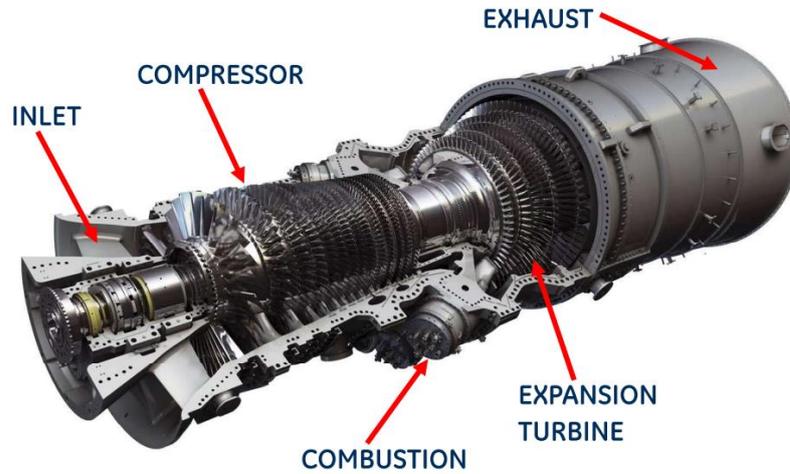


圖 3-4 奇異(GE)公司最新型之氣渦輪機

	7HA.01	7HA.02	7HA.03
Net output (MW)	290	384	430
Net heat rate (Btu/kWh, LHV)	8120	8009	7884
Net heat rate (kJ/kWh, LHV)	8567	8450	8318
Net efficiency (% , LHV)	42.0%	42.6%	43.3%
Ramp Rate (MW/minute)	55	60	75
Startup Time (RR Hot, Minutes)	21	21	21

圖 3-5 奇異(GE)公司 7HA 氣渦輪機規格表

	7HA.01	7HA.02	7HA.03
Net output (MW)	438	573	640
Net heat rate (Btu/kWh, LHV)	5481	5381	5342
Net heat rate (kJ/kWh, LHV)	5783	5677	5636
Net efficiency (% , LHV)	62.3%	63.4%	63.9%
Ramp Rate (MW/minute)	55	60	75
Startup Time (RR Hot, Minutes)	<30	<30	<30

圖 3-6 奇異(GE)公司 1x1 7HA 氣渦輪機規格表

	7HA.01	7HA.02	7HA.03
Net output (MW)	880	1148	1282
Net heat rate (Btu/kWh, LHV)	5453	5365	5331
Net heat rate (kJ/kWh, LHV)	5753	5660	5625
Net efficiency (% , LHV)	62.6%	63.6%	>64.0%
Ramp Rate (MW/minute)	110	120	150
Startup Time (RR Hot, Minutes)	<30	<30	<30

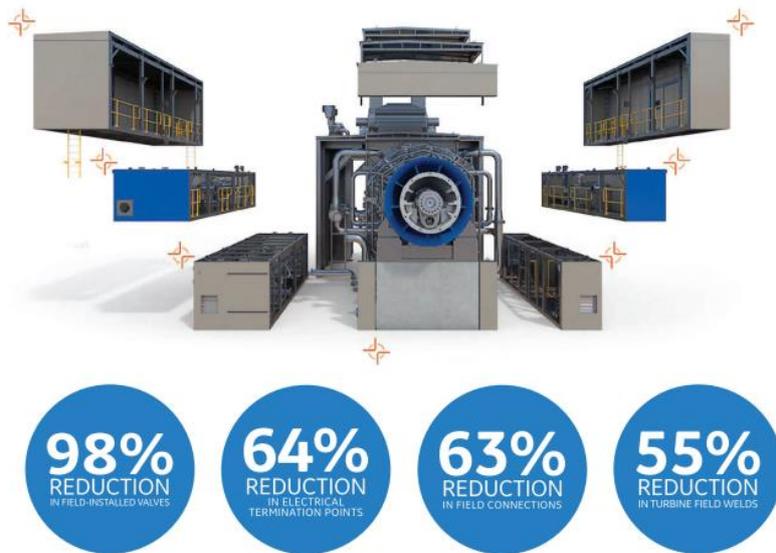
圖 3-7 奇異(GE)公司 1x2 7HA 氣渦輪機規格表

(1)透過提升效率進而達到節省(Savings through efficiency)

7HA燃氣渦輪機所創造的規模經濟，再加上其64%的複循環效率，使燃料轉換為電力成本效益最高，有助於電廠應對日益變化的電力需求。此外，7HA.03之60赫茲(Hz)氣渦輪機額定功率為430 MW，再加上複循環應用中的640 MW(1x1)和1,282 MW(2x1)的額定功率，比7HA.02(2x1)高134 MW，相當於多供應10萬5千個家庭提供電力。

(2)機組的操作靈活性(Operational Flexibility)

7HA系列燃氣渦輪機的靈活性提高了調度和附加收入，同時增強的燃料靈活性適應了廣泛的氣體燃料分別為頁岩氣(Shale Gas)、高乙烷(High Ethane)及氫氣(H₂)；液體燃料分別為二號柴油(#2 Diesel)及原油(Crude Oils)。7HA氣渦輪機可以在10分鐘內升至全負載，並具備簡化安裝和維護的新型配置，優化空間與天然氣管路，相較於F系列能夠提早進行機組起動點火程序，如圖 3-8、3-9、3-10、3-11所示。



The 7HA.03 Gas Turbine modular packaging configuration shortens the critical path installation cycle by eight weeks compared to F-Class products.

圖 3-8 奇異(GE)公司 7HA.03 安裝優點

[Simplified Accessibility]

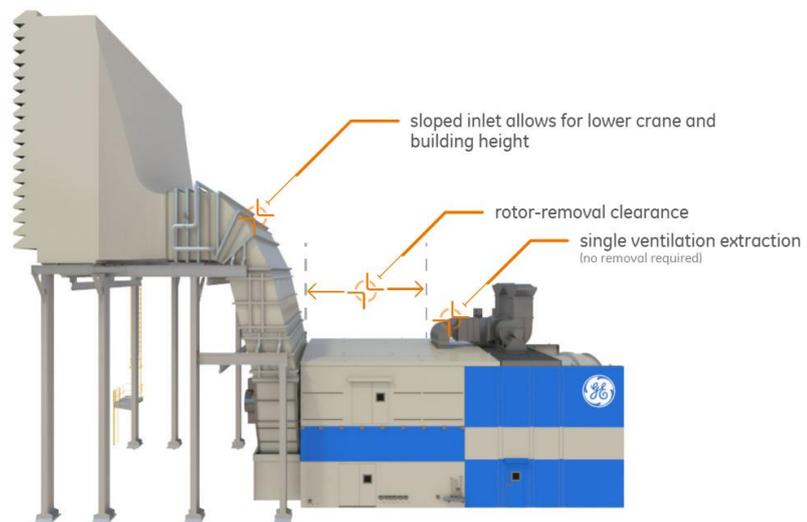


圖 3-9 機組簡化安裝

Greatly Simplified Liquid Fuel Piping

pipings eliminated as part of the new high-pressure system

32 quick-release flanges

modularized manifold into upper and lower sections

no threaded tubing connections

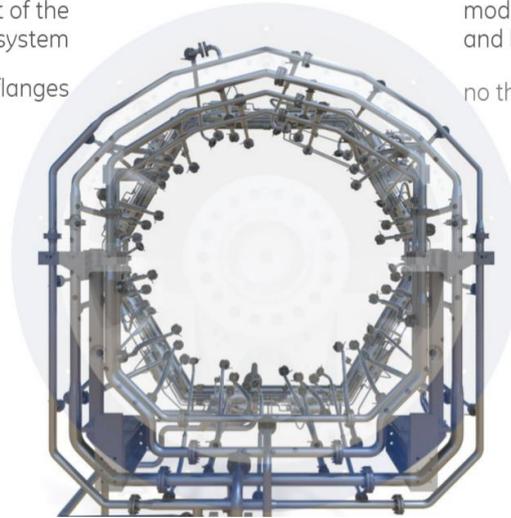


圖 3-10 簡化油管

Faster to First Fire



First Fire ready in 10,000 fewer hours
*compared to 7F enclosure



HA Enclosure

F Enclosure

圖 3-11 提早運轉點火

(3) 新一代燃燒筒的技術(Combustor Technology)

奇異公司的DLN系列 (DLN 2/2.6/2.6+/2.6e) 燃燒系統讓F系列和H系列氣渦輪機能夠降低氮氧化物 (NO_x) 排放。DLN 2.6e保留了許多DLN 2.6+燃燒系統的元素，且引入了先進的預混技術進而應用於7HA氣渦輪機燃燒筒。DLN-2.6燃燒筒 (Dry Low NO_x Combustor) 採用多噴嘴(Multi-nozzle)、徑向燃料分段(Radial Fuel Staged)、旋流器(Swirler)、5個燃料噴嘴(Fuel Nozzle)以

及1個導管噴嘴(Pilot Nozzle)之設計，搭配AFS系統(Axial Fuel Staging)，可於軸向分階段提供燃料，進而有效控制火燄溫度故能減少氮氧化物(NOx)，如圖 3-12、3-13、3-14所示。

此外，7HA 系列燃燒筒是使用空氣冷卻，空氣流動於燃燒室外的襯套，此襯套為奇異公司設計的雙層複合牆，將使空氣產生渦流達到冷卻效果後再引入燃燒室裡，進而控制氮氧化物(NOx)的生成。7HA.03氣渦輪機採用DLN2.6e燃燒筒，如圖3-15所示，除了保有7HA.02燃燒筒功能外，採用微混合器噴嘴能增進燃料與空氣的混合，能在低負載時保持較佳的氮氧化物(NOx)量，而且燃氣變動範圍增大為 $\pm 15\%$ ，對於機組燃料選用上更加彈性，如圖3-16所示。

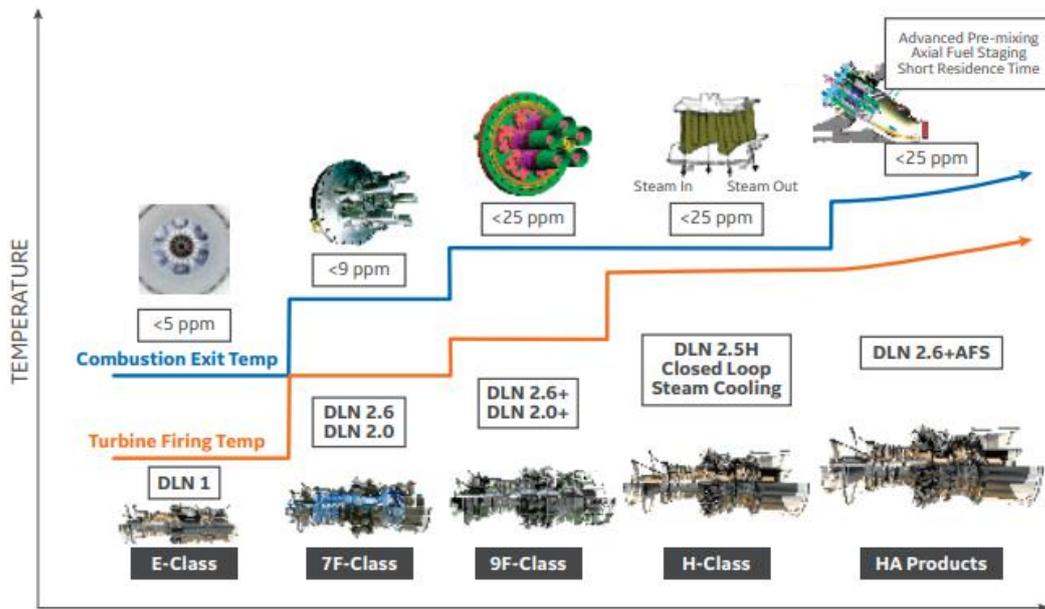


圖 3-12 氣渦輪機各型號之燃燒筒

Advantages

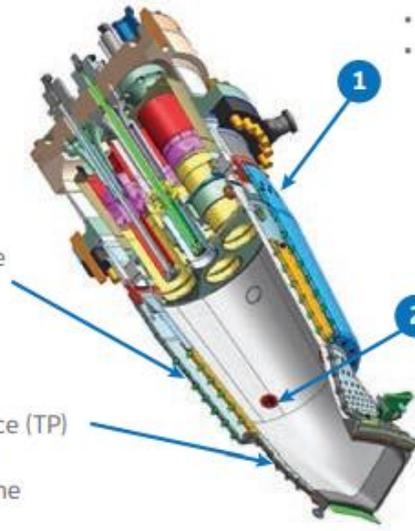
Faster Installation
Improved cooling
Lower turndown

Air shield

- AFS air distribution
- Protects AFS systems from handling damage

Unibody extended transition piece

- Shorter Transition Piece (TP) with enhanced shape
- Reduced residence time
- Tailored TP cooling



Advanced premixing

- Low NO_x at high T_{fire}
- Fuel Flex - LNG and MWI

Axial fuel staging

- Low NO_x at high T_{fire}
- Improved turndown

圖 3-13 最新型號燃燒筒之優點

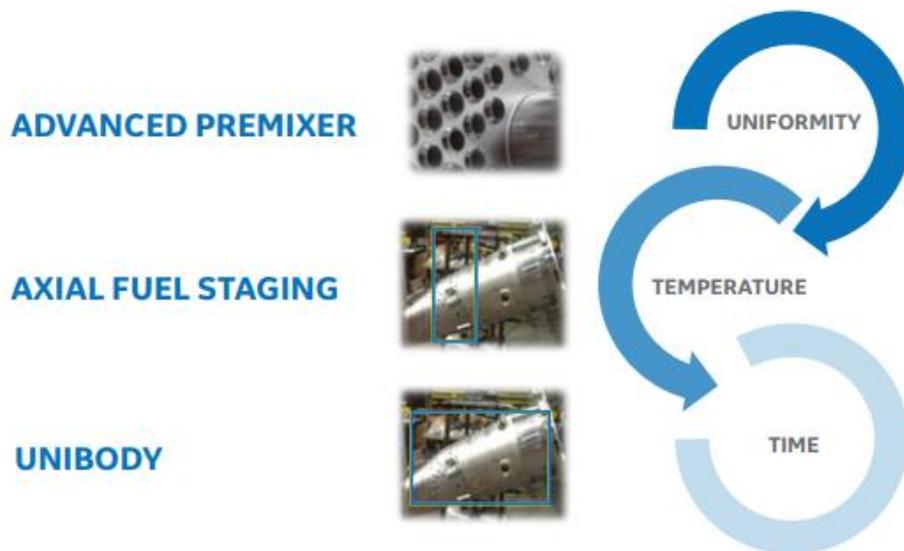


圖 3-14 最新型號之燃燒筒控制氮氧化物(NO_x)的生成

DLN2.6e Combustion technology overview

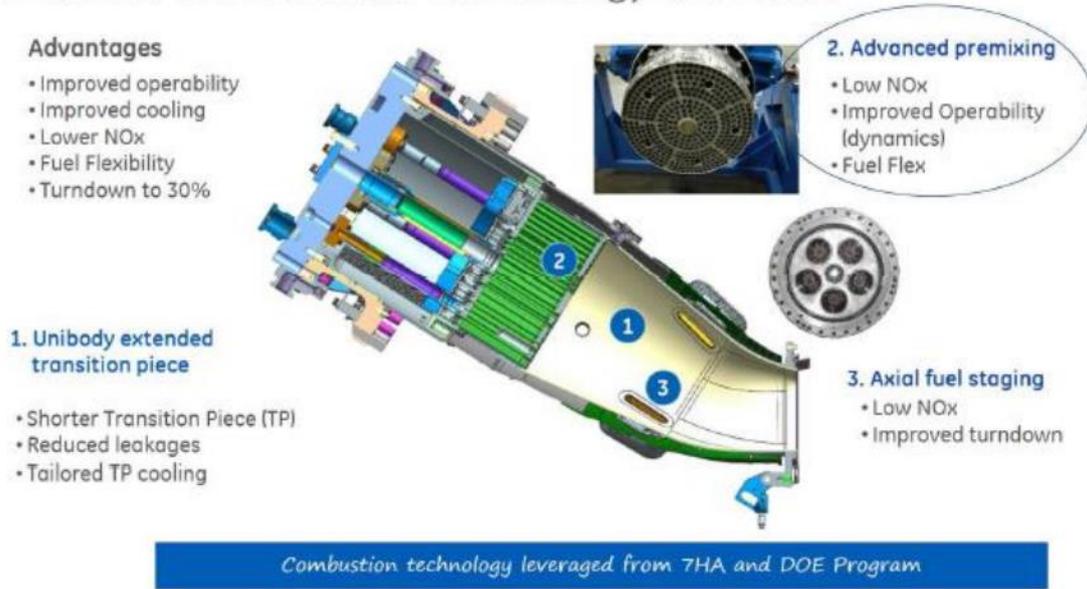


圖 3-15 DLN2.6e 燃燒筒的優點

DLN2.6e is more capable than 7HA DLN2.6+ combustor



圖 3-16 DLN2.6e 燃燒筒的特色

(4)簡化的配置和模組化系統(Simpler configuration and modular systems)

奇異公司的 7HA 氣渦輪機系列使安裝變得更加容易，與 F 系列氣渦輪機相比，節省了 1 萬個工時。此外，機組的模組化配置還有助於簡化維護，包含快速拆卸的氣渦輪機頂部、現場可更換的葉片，以及對所有葉片的內視鏡檢查，如圖 3-17、3-18 所示。

[Plug + Play]

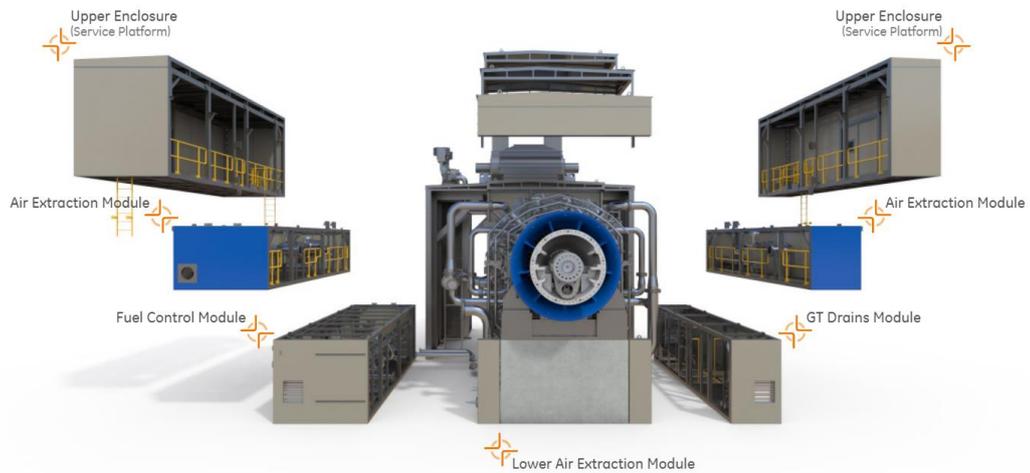


圖 3-17 機組模組化

[Greater Serviceability]

3-PANEL ROOF SYSTEM ENGINEERED FOR MAINTENANCE OUTAGES



圖 3-18 機組檢查位置

台灣的能源結構正在迅速改變，面臨越來越多的再生能源被納入電網。我們需要快速、靈活且安全的發電技術來滿足未來的需求，故需要新一代的氣渦輪機來滿足我們期望，如圖 3-19 所示。

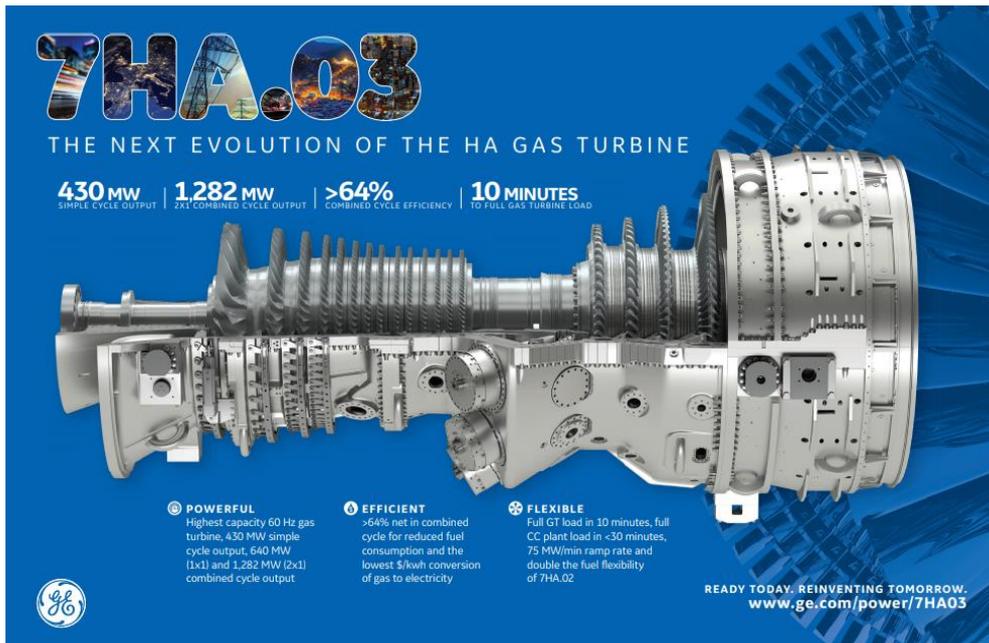
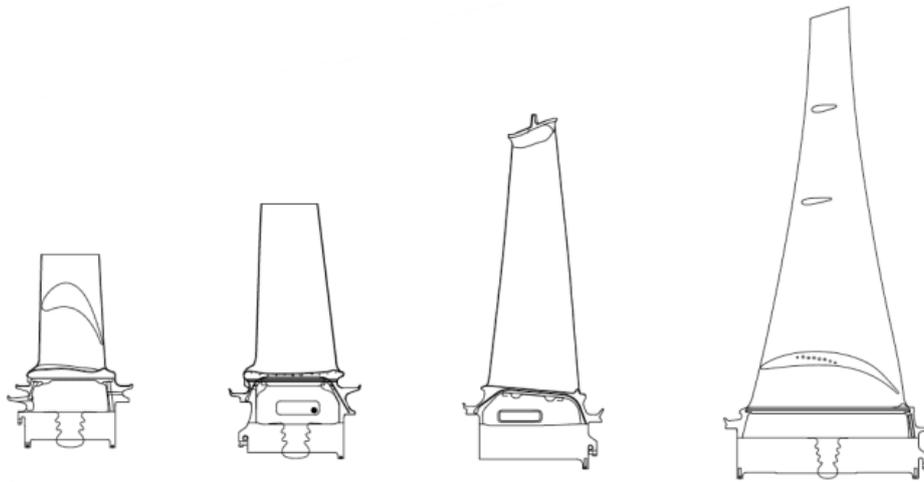


圖 3-19 7HA.03 氣渦輪機

除此之外，奇異訓練中心內有不同種類的 3D 列印產品，其材料可以依照各項需求如壓力、溫度與強度進行金屬或碳纖維的混料製作，如安裝在氣機段的葉片共有四級，每級葉片都不一樣，如圖 3-20所示，透過3D列印技術，可以清楚認識葉片內冷卻通道，如圖 3-21所示。此外，噴嘴和不規則形狀的部件也能使用 3D 列印的方式進行製作。除了金屬3D列印之外，奇異公司也提供塑料之3D列印，倘若工程師對於機組有新的設計概念，就能立刻以塑料 3D 列印成型，有助於工程師研發設計。



First, Second, Third and Fourth-Stage Turbine Blades

圖 3-20 氣渦輪機氣機葉片



圖 3-21 3D 列印之氣渦輪機氣機葉片

3-1-2 燃燒筒測試中心

該中心，如圖 3-22所示，能容納 10 個完整的單只燃燒筒測試台，包含控制室、數據監測中心與排放物測量中心。該測試台可選用多種燃料並瞭解其燃燒狀況，每個燃燒筒內部都設有攝影機，可於控制室盤面上觀察燃燒筒內部燃燒狀況、溫度及氮氧化物(NO_x)等數據。此外，在燃燒的過程中，能同步監測燃燒筒的振動狀況。



圖 3-22 燃燒筒測試中心

3-1-3 氣渦輪機測試中心(Test Stand 7)

奇異公司在格林維爾氣渦輪機製造工廠與測試中心擁有可變速、可變負載的氣渦輪機測試機構，如圖 3-23所示，其應用於50赫茲(Hz)和60赫茲(Hz)氣渦輪機系統。透過此項測試，加速了氣渦輪機的性能(Performance)、操作性(Operability)、可靠性(Reliability)和其產品之品質(Quality)。此測試機構(Test Stand 7)使氣渦輪機在不同溫度範圍內進行測試，範圍從攝氏零下37度到攝氏85度。

此外，使用多種燃料以及各種類的感測器(Sensor)量測氣渦輪機各段溫度、壓力、燃燒室溫度、排氣溫度、氮氧化物與機組振動值等數據。上述之數據都會顯示在控制室盤面，透過控制室的盤面監測各階段氣渦輪機之數值，倘若氣渦輪機在各階段測試有轉子質量不平衡(Rotor Unbalance)的問題時，將直接在機組上進行平衡配重。

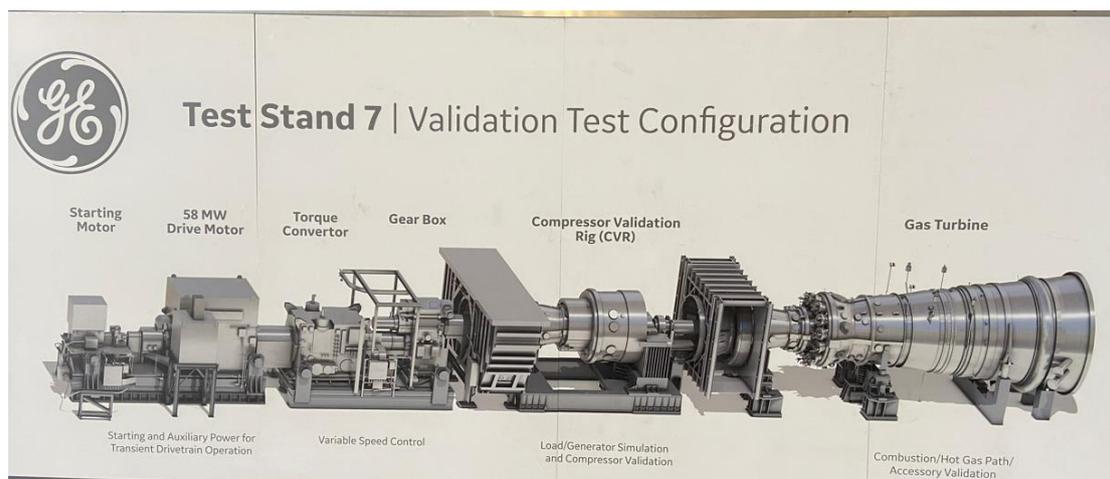


圖 3-23 氣渦輪機測試機構

3-1-4 氣渦輪機組裝與維修中心

該中心先介紹幾何模型，展示出動、靜件如何相搭配進而作功等介紹。有了初步的瞭解再接著進入廠房，該廠房內有各式種類的特殊工具，包含拆除動、靜葉片及輔助對心等工具，讓我們在拆除螺栓和葉片過程中更加省力。此外，廠房內包含氣機轉子、靜葉環等氣機段的部件；廠房二樓為氣機段組裝的樣貌，藉由此與原廠的交流得到很多寶貴的經驗。

3-2 貝克休斯(Baker Hughes)休斯頓(Houston)研習內容

貝克休斯(Baker Hughes)公司為振動設備製造商，主要服務內容為振動監視系統、振動診斷、振動設備與振動相關訓練，相關內容都圍繞在機組振動議題上，旗下之產品如振動監視系統(Bently Nevada 3500 Machinery Protection Systems)與位移型感測器(Proximity Probes)，其應用於台中電廠之機組。透過與原廠交流瞭解設備監控軟體(Bently Nevada System 1 Condition Monitoring software)和相關振動案例討論。

3-2-1 設備監控軟體(Bently Nevada System 1 Condition Monitoring software)

System 1 是一種條件監控(Condition Monitoring)，用於管理故障模式，進而確保設備執行其預期功能；System 1 振動分析平台，提供振動監測和診斷數據，確保設備能順利運行，避免計劃外停機、故障並減少維護成本，如圖 3-24 所示。

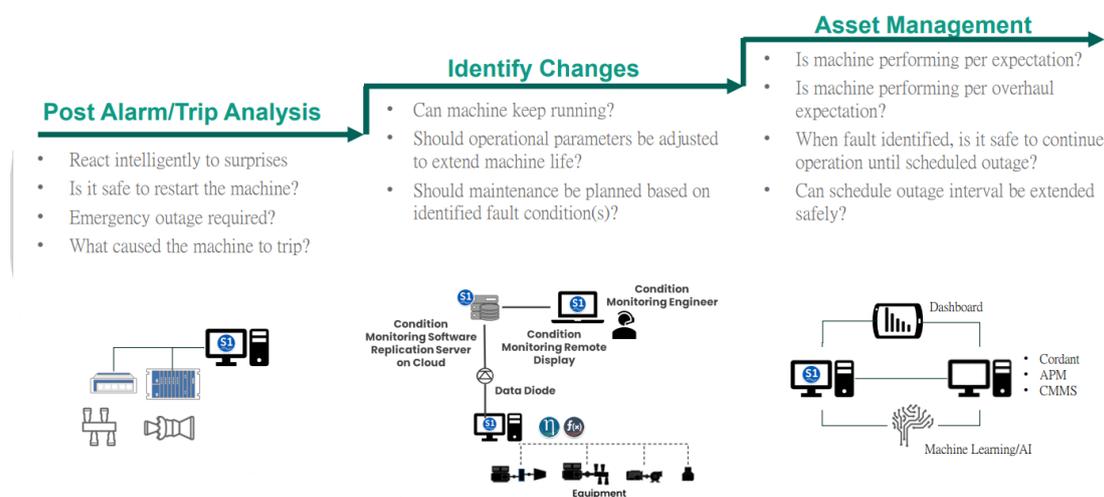


圖 3-24 Bently Nevada System 1 Condition Monitoring software

其中，這套軟體有以下之特色:

(1) 介面功能強化(Configuration Enhancements)

允許使用者在同一視窗中查看重要的設備狀態、振動時域波形 (Waveform)與頻譜(Spectrum)，且快速和輕鬆地進行設定，進而節省了時間，如圖 3-25 所示。

Machine	Point	Measurement	Property	Configured	Recommended	Status	Select
Recycle Compressor							
Gearbox > Shaft 2 > GBX S2 OB	GBHS S2 IB Vert	Disp Wf(500Hz)	Fmax	500 Hz	500 Hz	Green	<input type="checkbox"/>
Gearbox > Shaft 2 > GBX S2 OB	GBHS S2 IB Vert	Disp Wf(128X/16revs)	Sample Rate	128 X	256 X	Yellow	<input checked="" type="checkbox"/>
Gearbox > Shaft 2 > GBX S2 OB	GBHS S2 IB Horz	Disp Wf(500Hz)	Fmax	500 Hz	500 Hz	Green	<input type="checkbox"/>
Gearbox > Shaft 2 > GBX S2 OB	GBHS S2 IB Horz	Disp Wf(128X/16revs)	Sample Rate	128 X	256 X	Yellow	<input checked="" type="checkbox"/>
Gearbox > Shaft 2 > GBX S2 IB	GBHS S2 OB Vert	Disp Wf(5000Hz)	Fmax	5000 Hz	500 Hz	Yellow	<input checked="" type="checkbox"/>
Gearbox > Shaft 2 > GBX S2 IB	GBHS S2 OB Vert	Disp Wf(128X/16revs)	Sample Rate	128 X	256 X	Yellow	<input checked="" type="checkbox"/>
Gearbox > Shaft 2 > GBX S2 IB	GBHS S2 OB Horz	Disp Wf(5000Hz)	Fmax	5000 Hz	500 Hz	Yellow	<input checked="" type="checkbox"/>
Gearbox > Shaft 2 > GBX S2 IB	GBHS S2 OB Horz	Disp Wf(128X/16revs)	Sample Rate	128 X	256 X	Yellow	<input type="checkbox"/>
Gearbox > Shaft 1 > GBX S1 OB	GBLS S1 OB Vert	Disp Wf(1000Hz)	Fmax	1000 Hz	500 Hz	Yellow	<input type="checkbox"/>
Gearbox > Shaft 1 > GBX S1 OB	GBLS S1 OB Vert	Disp Wf(128X/16revs)	Sample Rate	128 X	256 X	Yellow	<input type="checkbox"/>
Gearbox > Shaft 1 > GBX S1 OB	GBLS S1 OB Horz	Disp Wf(1000Hz)	Fmax	1000 Hz	500 Hz	Yellow	<input type="checkbox"/>
Gearbox > Shaft 1 > GBX S1 OB	GBLS S1 OB Horz	Disp Wf(128X/16revs)	Sample Rate	128 X	256 X	Yellow	<input type="checkbox"/>
Gearbox > Shaft 1 > GBX Thrust	GBLS Thrust A	Disp Wf(2000Hz)	Fmax	2000 Hz	500 Hz	Yellow	<input type="checkbox"/>
Gearbox > Shaft 1 > GBX Thrust	GBLS Thrust A	Disp Wf(128X/16revs)	Sample Rate	128 X	256 X	Yellow	<input type="checkbox"/>
Gearbox > Shaft 1 > GBX Thrust	GBLS Thrust B	Disp Wf(2000Hz)	Fmax	2000 Hz	500 Hz	Yellow	<input type="checkbox"/>
Gearbox > Shaft 1 > GBX Thrust	GBLS Thrust B	Disp Wf(128X/16revs)	Sample Rate	128 X	256 X	Yellow	<input type="checkbox"/>
Gearbox > Shaft 1 > GBX S1 IB	GBLS S1 IB Vert	Disp Wf(1000Hz)	Fmax	1000 Hz	500 Hz	Yellow	<input type="checkbox"/>
Gearbox > Shaft 1 > GBX S1 IB	GBLS S1 IB Vert	Disp Wf(128X/16revs)	Sample Rate	128 X	256 X	Yellow	<input type="checkbox"/>

圖 3-25 Bently Nevada System 1 Waveform 設定之介面

允許使用者將設備狀態輸出到 Microsoft Excel 檔案，更新檔案中的內容，然後重新輸入到 System 1。此項功能能夠在離線狀態時設定設備狀態，如圖 3-26 所示。

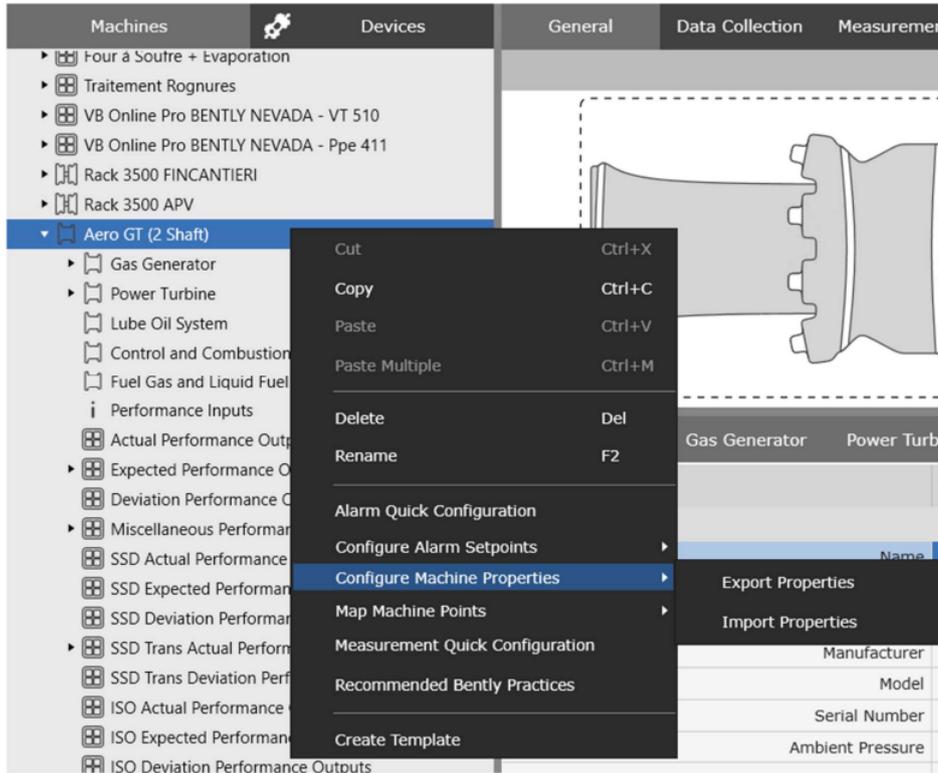


圖 3-26 Bently Nevada System 1 設備狀態輸出和輸入之介面

在現有設備設定下添加子系統，使得系統更加完整，如圖 3-27 所示。

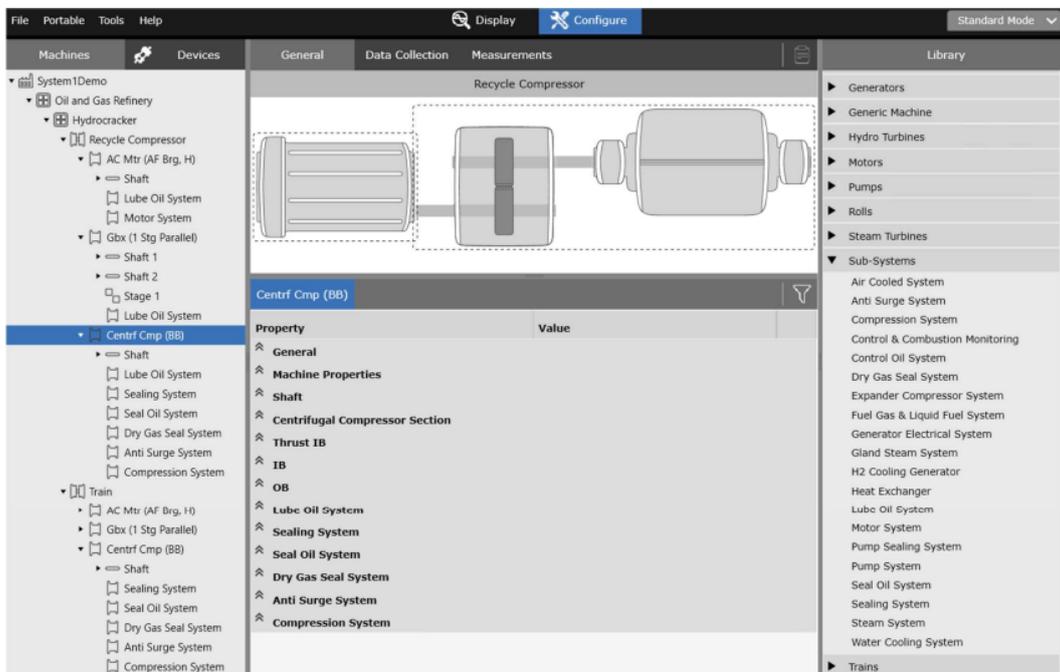


圖 3-27 Bently Nevada System 1 設備添加之介面

允許使用者將設備監測的點位輸出到 Microsoft Excel 檔案，更新檔中的監測點位之名稱，再將檔案重新輸入 System 1 後，該介面監測點位之名稱就會進行更新，如圖 3-28 所示。

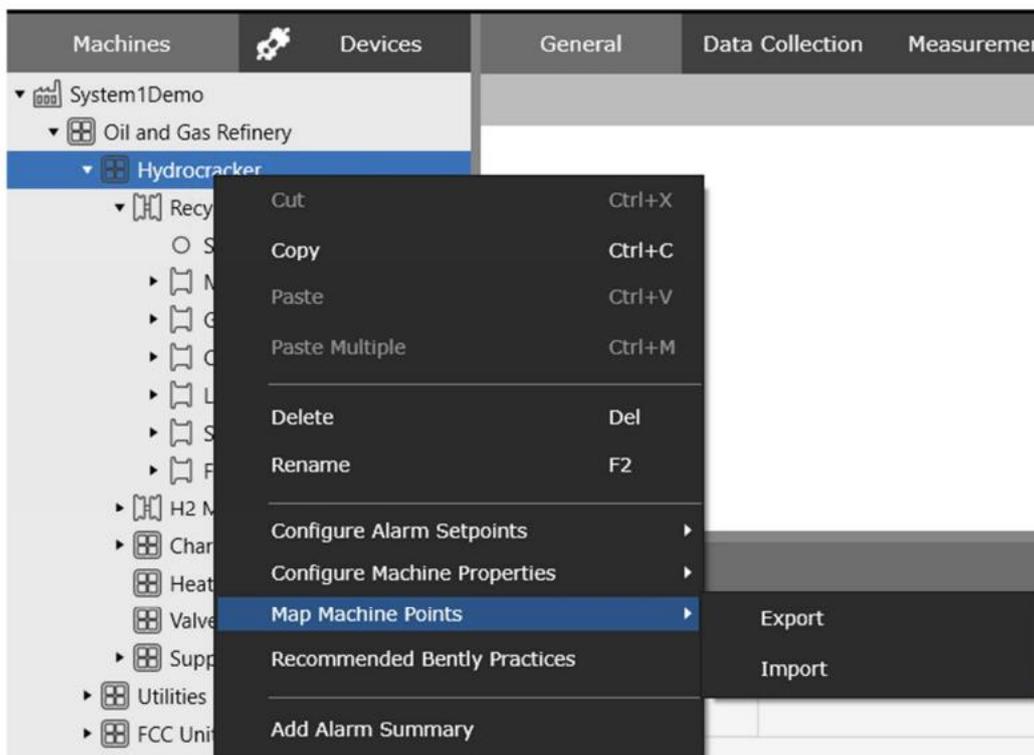


圖 3-28 Bently Nevada System 1 監測點位設定之介面

(2) 軟體的兼容性(Backwards Compatibility)

在一數據庫上運行的 System 1 能與前三種 System 1 版本的數據庫進行兼容，如 System 1 版本為 23.1 能與 System 1 版本之 22.2、22.1 和 21.2 的數據庫兼容，如圖 3-29 所示。

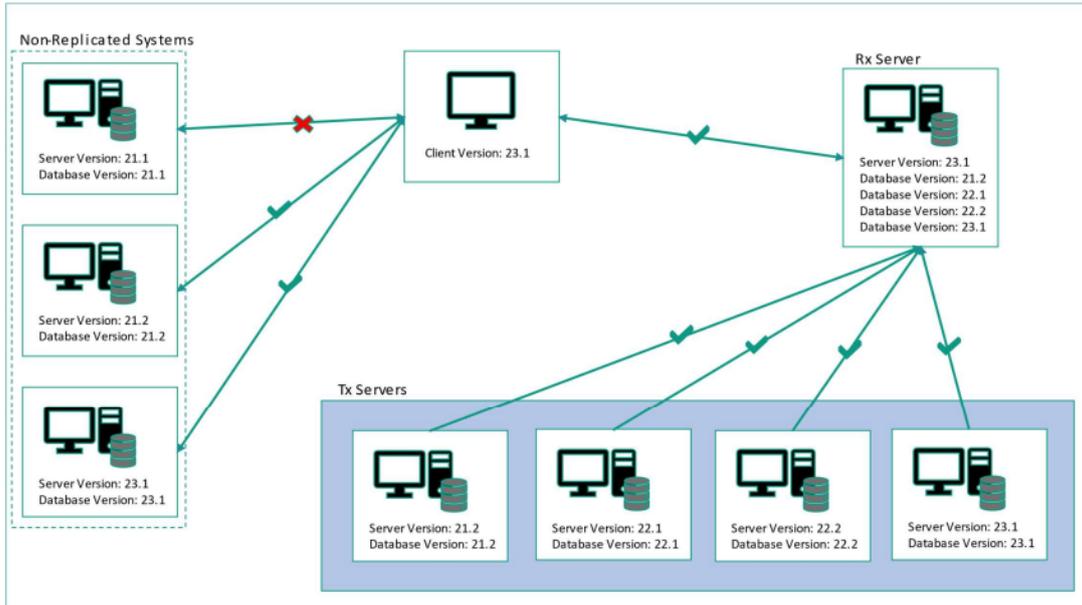


圖 3-29 Bently Nevada System 1 之版本相容性

(3) 預警功能強化(Alarm Quick Configuration Enhancements)

快速預警設定(Alarm Quick Configuration tool)使用一個常數 (C) 值在數據統計上。常數 C 已經添加到方程式的末尾，用於超過和低於設定點。這設定能夠進一步提早通知設備有無超過警戒值，如圖 3-30 所示。

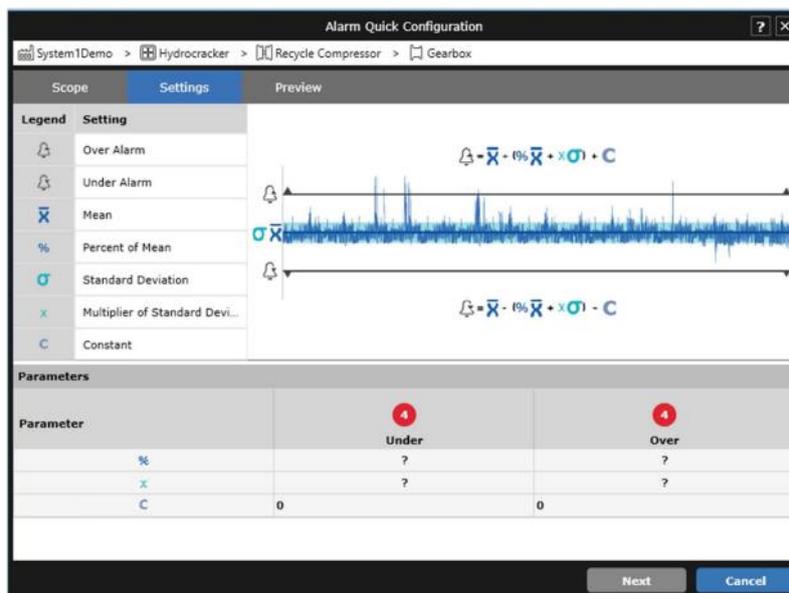


圖 3-30 Bently Nevada System 1 快速預警之介面

(4) 搭配其他系統(DEVICE CONNECTIVITY)

System 1 能夠搭配 Orbit 60 和 3500 監測系統(3500 Machinery Protection Systems)使得設備監控更加完整，如圖 3-31 所示。

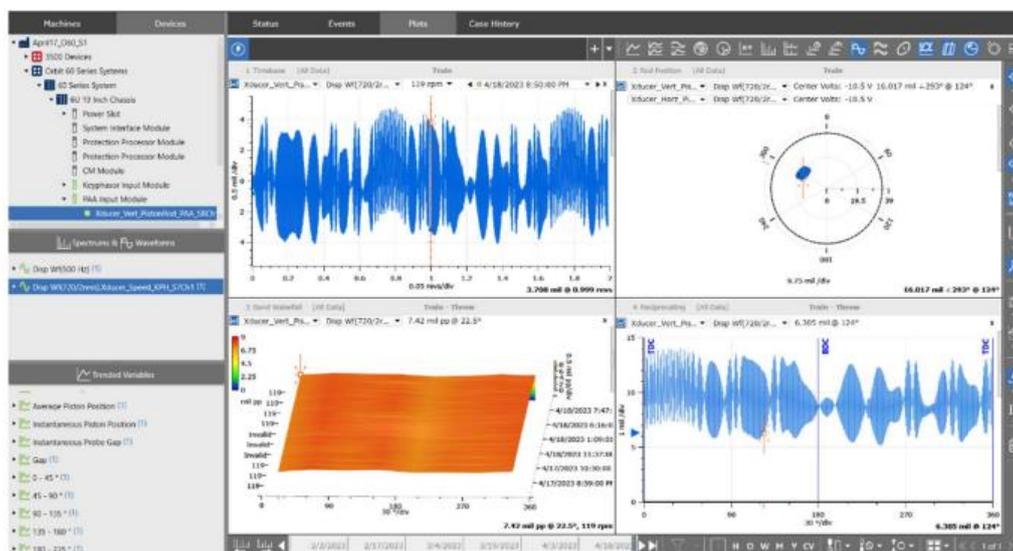


圖 3-31 Bently Nevada System 1 各項振動波型之介面

3-2-2 RK4 Model Rotor Kit

Rotor Kit 是一套模擬實際旋轉機械的設備，此設備包含馬達、轉子、二個平衡配重環、軸承和軸承座，如圖 3-32 所示。透過這套設備可以模擬轉子不平衡(Rotor Unbalance)、磨擦(Shaft Rub)和油漩(Oil Whip)等情況，再透過頻譜分析儀瞭解各項頻譜圖(Spectrum)、軌跡圖(Orbit)及時域波型(Timebase)等圖型。

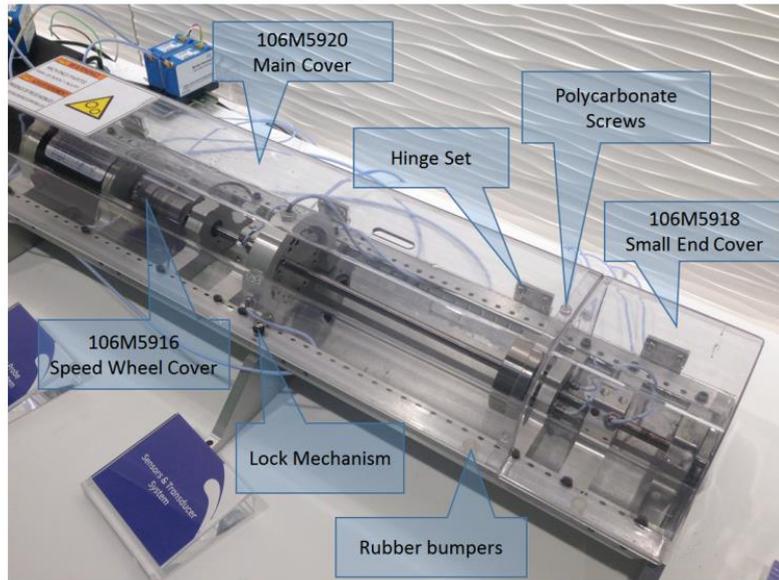


圖 3-32 RK4 Model Rotor Kit 之外觀

3-2-3 振動案例討論

(1) 軸承電腐蝕(ESD, Electrostatic Discharge)

貝克休斯公司分享軸承電腐蝕的案例，此案例的機組資訊如 3-33 所示。



圖 3-33 機組資訊圖

位移感測器安裝於汽輪機的軸承位置，分別為西側和東側；壓縮機西側和東側等四個量測點。根據趨勢圖(Trend)，如圖 3-34 所示。西側的振動數值逐漸穩定地上升；東側的振動數值保持穩定，幾乎沒有變化。

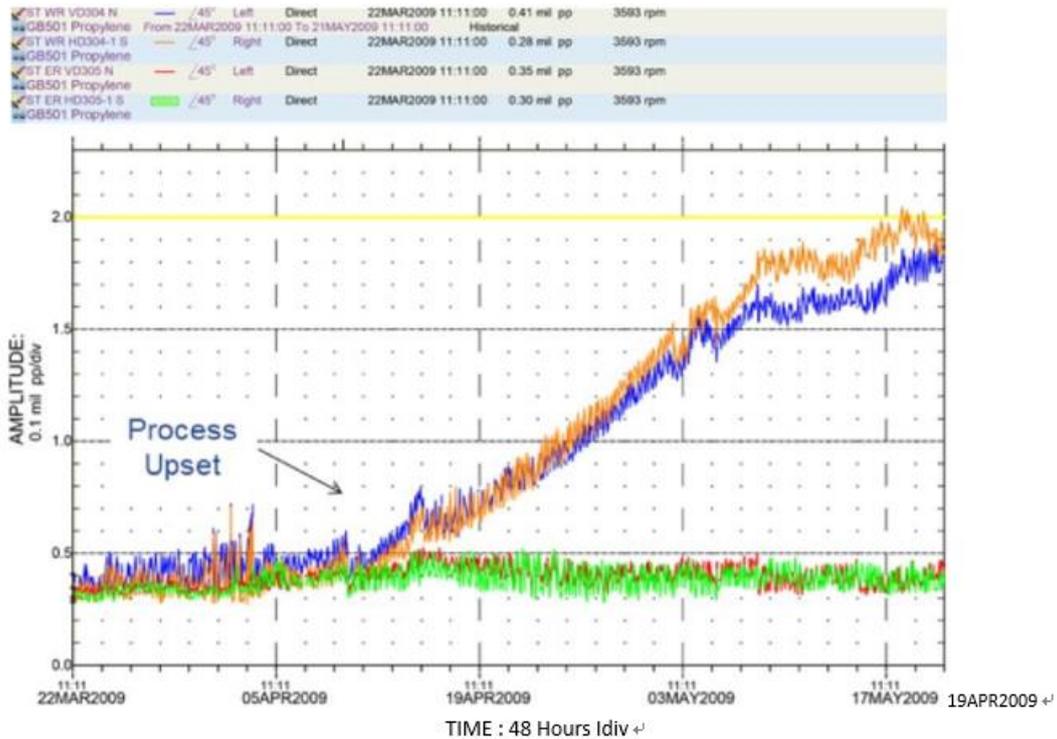


圖 3-34 趨勢圖

一開始運轉過程中有磨擦的現象產生，可能為轉子之熱點(Hot Spot)所引起的熱彎曲(Thermal Bow)，進而導致轉子和軸承有磨擦的情況，故調整高壓端的蒸汽流量至低壓端，藉此減緩上升之振動數值。改善完蒸汽流量，以及給予足夠時間之後，從趨勢圖(Trend)上發現振動數值繼續緩慢地上升，於是尋找其他機組問題，如圖 3-35 所示。

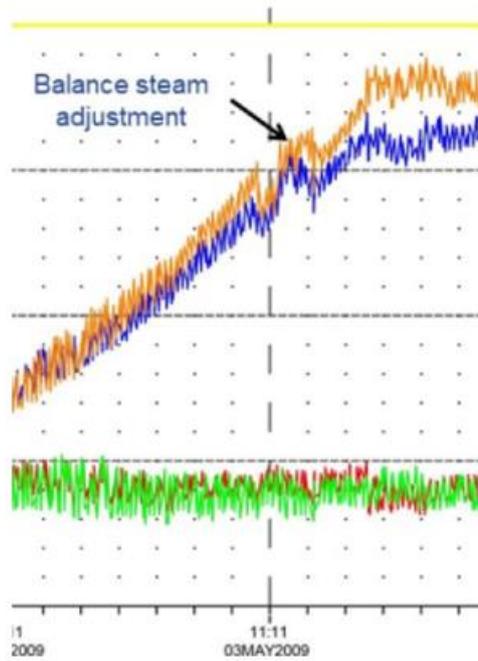


圖 3-35 趨勢圖

根據軸中心線圖(Shaft Centerline) ，如圖 3-36 所示，轉子已偏離正常位置，也朝右下角方向進行移動，故推測軸承可能損壞。

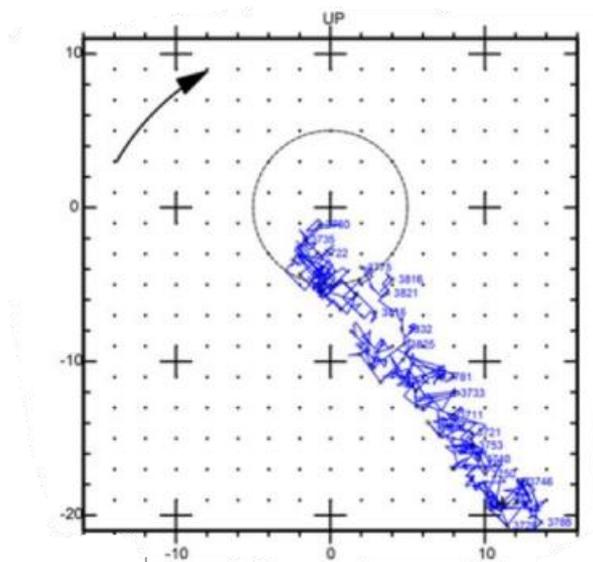


圖 3-36 軸中心線圖

於是調閱感測器的間隙電壓趨勢圖，可以發現間隙電壓(Gap)值有明顯的變化，如圖 3-37 所示。

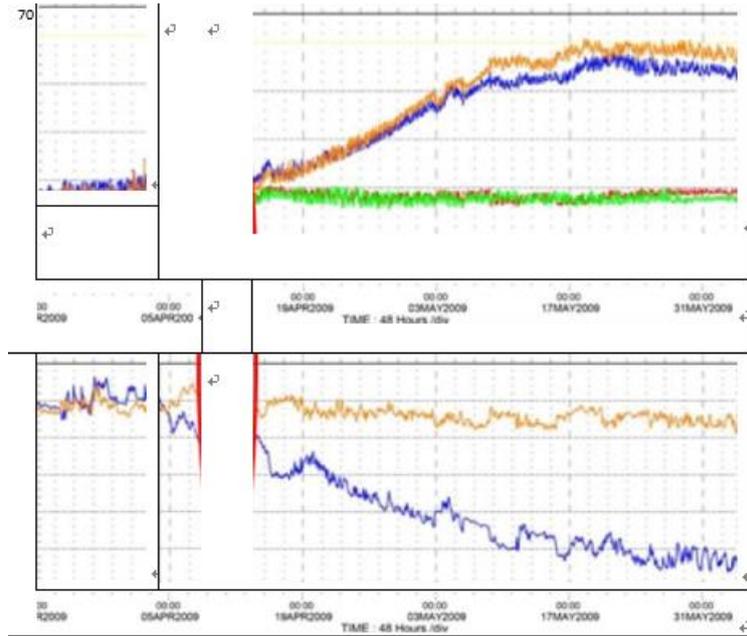


圖 3-37 間隙電壓趨勢圖

根據軌跡圖(Orbit)，發現有突波現象產生，不管是正方向還是負方向都有突波的產生，如圖 3-38 所示。

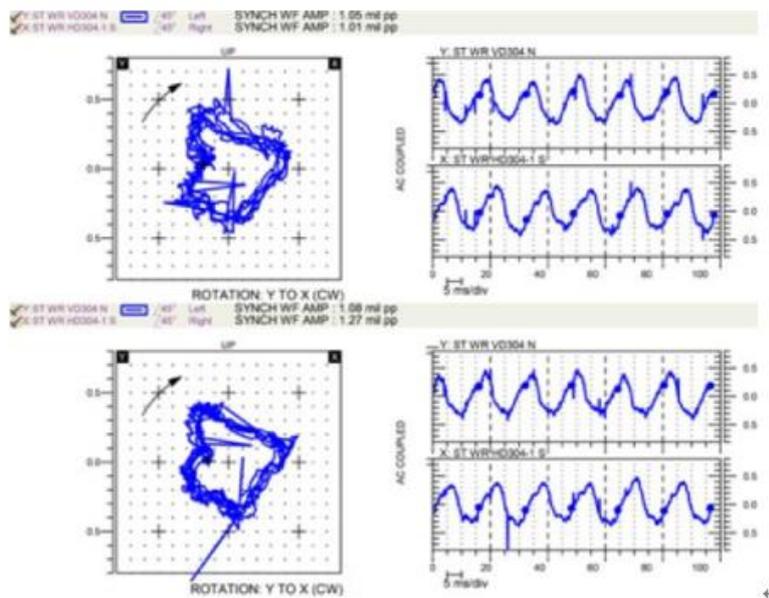


圖 3-38 軌跡圖與時域波型

分析以上特徵時，研判是電腐蝕(ESD, Electrostatic discharge)的現象，於是開蓋進行確認，如圖 3-39、3-40 所示。其中，發現部分軸承有

磨損的現象產生。此蒸汽渦輪機為冷凝式蒸汽渦輪機，推測轉子在運轉過程中可能產生過多的靜電進而造成軸承損壞，而此現象需要通過接地才能排除。

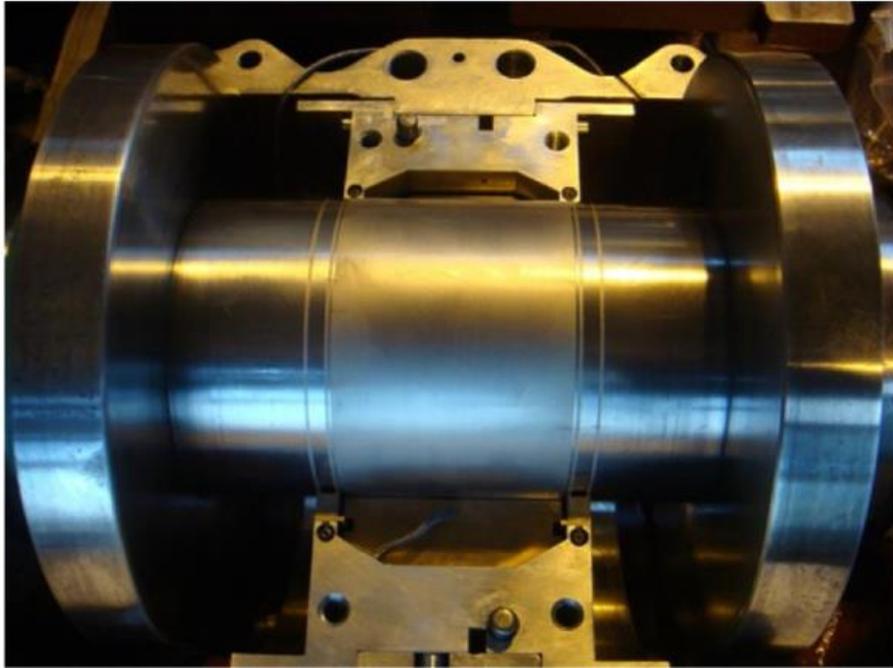


圖 3-39 軸頸圖

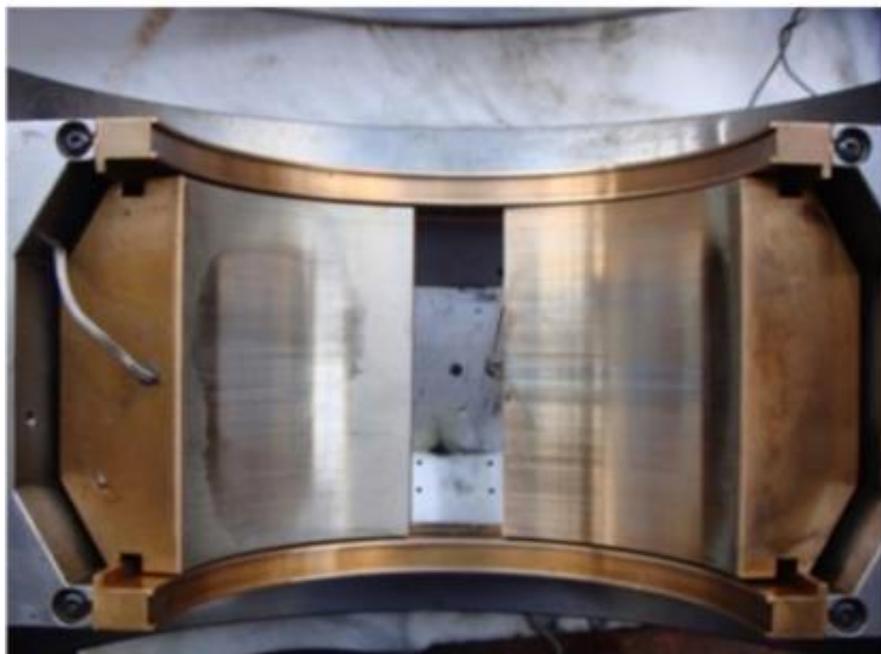


圖 3-40 電腐蝕軸承圖

(2) 刮痕(Scratch)

轉子表面上有瑕疵導致振動量測上有突波的現象，這現象稱之為 Glitch。在這種情況下，已經排除感測器的異常、噪音和電氣干擾等因素。其中，轉子表面的不平整(Surface Imperfection)像是轉子刮痕(Scratch)為此次探討的情況，如圖 3-41 所示。

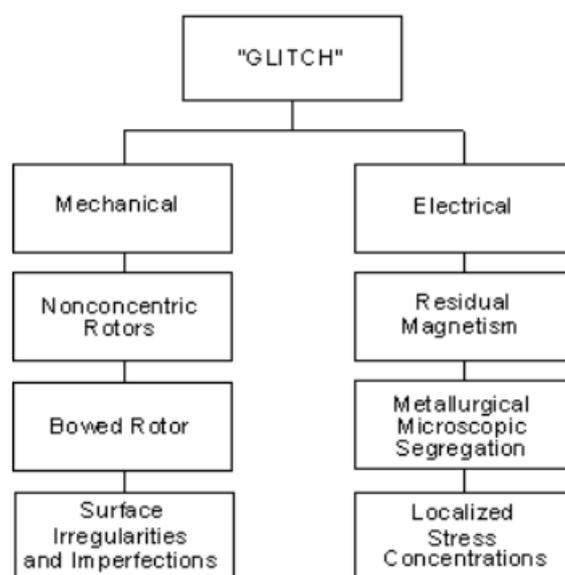


圖 3-41 Glitch 分類圖

根據軌跡圖(Orbit)，當機組轉速至 557 rpm 時，有明顯的突波產生；時域波型(Timebase)中，X 和 Y 之間的相位差為 90 度，如圖 3-42 所示。當機組轉速至 5067 rpm 時，可以從軌跡圖(Orbit)中得知突波的方向和 557 rpm 是相同方向，如圖 3-43 所示。其中，機組轉速至 1234 rpm 時，根據頻譜圖(Spectrum)可以得知高頻有諧波的產生，且軌跡圖(Orbit)上有明顯的突波產生，如圖 3-44 所示。

分析以上特徵時，研判此現象為轉子表面有刮痕，才有突波的現象產生。

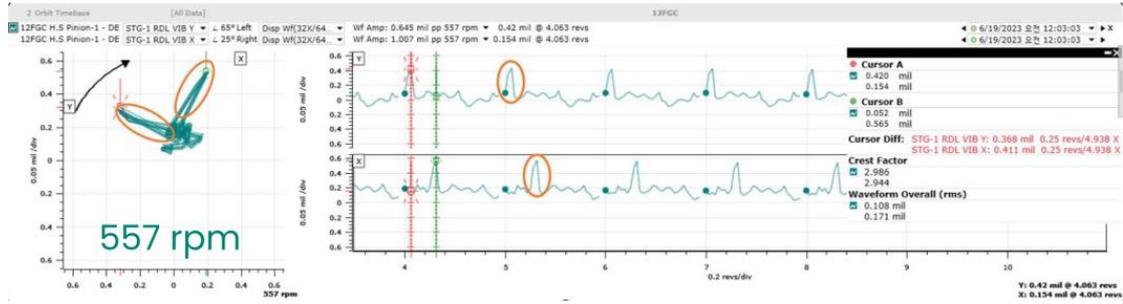


圖 3-42 557 rpm 之軌跡圖與時域波型

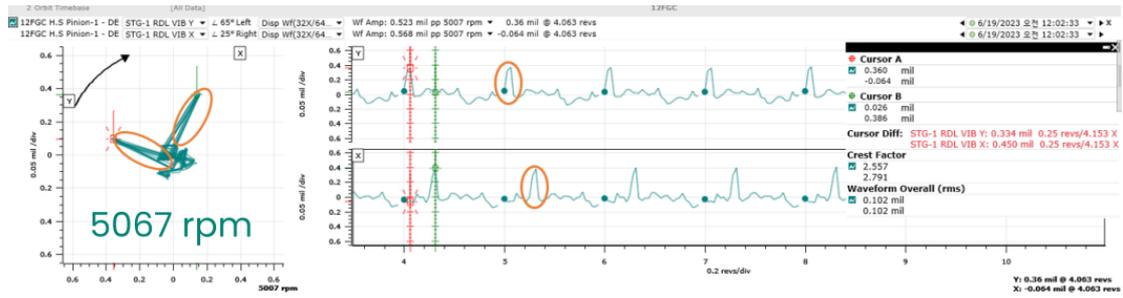


圖 3-43 5067 rpm 之軌跡圖與時域波型

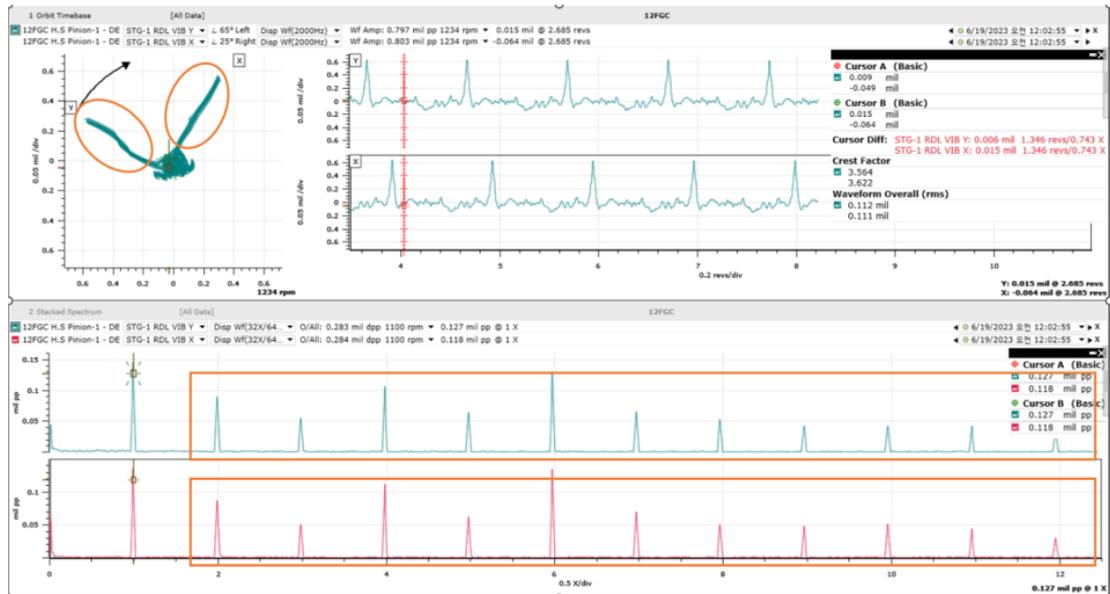


圖 3-44 1234 rpm 之軌跡圖、時域波型與頻譜圖

肆、 實習心得與建議

4-1 心得

台中電廠擴建第 11 和 12 號複循環機組，將採用奇異(GE)公司之 HA 機組，依計畫時程首部機組將於 114 年併聯。感謝各級長官與同仁的協助使職能參與本次的美國研習，透過與原廠的交流，增加對奇異 HA 發電機組之認識。其中，格林威爾氣渦輪機工廠從設計開發、製造、組裝及測試，都是一條龍的模式管理，廠內含有火車軌道，負責運輸氣渦輪機之轉子與部件，且動線標示清楚、環境整潔、手工具都有其特定工具櫃進行排列。從設計概念至測試階段，每個環節都實屬不易，都有其專門的中心負責研發與測試，研習的過程中讓我受益良多。

貝克休斯(Baker Hughes)公司分享其振動分析診斷技術，包含 System 1 以及 Rotor Kit 應用。其中，Rotor Kit 用來模擬機組實際的狀況，藉由不同的情境如轉子不平衡(Rotor Unbalance)等常見的振動狀況，以此訓練新進同仁。透過振動案例分享彼此的經驗，用以未來機組的運轉需求，協助公司維持發電機組的運轉維護妥善率，精進本課振動診斷與測試分析。

4-2 建議

- (1) 設置線上監測系統，且平行展開至其他電廠，使修護處能夠監測所有機組之運轉情況，當機組發生高振動相關問題時，掌握即時的機組振動數值，並改善機組的振動問題，減少人員奔波的時間，以及維持機組運轉發電的可靠度。

(2) 國內與國外都有相關振動訓練課程，定期聘用國內與國外專業講師，透過訓練課程，分享彼此的經驗，進而訓練新進人員，以及提升自身的診斷與測試分析能力。

伍、 參考文獻

- [1]奇異(GE)公司格林威爾氣渦輪機簡報資料。
- [2]奇異(GE)公司新機組訓練教材。
- [3]貝克休斯(Baker Hughes)公司 System 1 簡報資料。
- [4]貝克休斯(Baker Hughes)公司 Rk4 Model Rotor Kit 簡報資料。
- [5]貝克休斯(Baker Hughes)公司訓練教材
- [6] "New Techniques in overcoming Electrical Runout" by Dale W. Beebe, Turbodyne Corporation, Hydrocarbon Processing, August 1976.
- [7]"Electrical Runout and Eddy Current Displacement Proximity Transducers" by Biggs, David H., ASME Paper, September 1975.
- [8]貝克休斯(Baker Hughes)和巨路國際公司簡報資料。