

出國報告（出國類別：洽公）

核二廠主發電機定子線圈重繞廠驗
（#2 機部分）

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：林子翔 第二核能發電廠 電機維護專員

派赴國家：美國

出國期間：自 105.09.06 至 105.09.15

報告日期：105.10.12

目 錄

壹、出國目的	2
貳、行程	2
參、工作紀要	3
肆、心得與建議	6

壹、出國目的

本廠兩部發電機已商轉 30 年之久，經本公司內部相關單位數次會議研討並取得一致共識與結論，將委託主發電機原廠家西門子(Siemens)公司執行定子線圈重繞工作。本案於 105 年初與西門子公司正式簽約，規劃兩部主發電機進行定子線圈重繞及附屬設備更新，將各自分別於兩部機的 EOC-25 大修執行，新製組件及設備則須於 105 年 11 月底前及 106 年初完成交貨。

本次任務選擇最重要的定子線圈製程作為檢驗項目，同時研討一號機重繞工作相關事宜，以確保重繞工作無礙，亦為製造品質進行把關，俾確保線圈重繞後設備可靠運轉與穩定發電。

貳、行程

一、本次出國行程為期 10 天如下所示：

日期	工作內容	地點
9/06-9/07	往程（桃園－舊金山－亞特蘭大－佩恩堡）	佩恩堡 （阿拉巴馬州）
9/08-9/10	赴西門子佩恩堡工廠執行定子線圈相關測試及製程查核。	佩恩堡 （阿拉巴馬州）
9/11-9/12	赴美國西門子公司執行核二廠主發電機定子線圈重繞工作研討。	奧蘭多 （佛羅里達州）
9/13-9/15	返程（奧蘭多－亞特蘭大－舊金山---台北）	臺灣

二、行程摘要：

1. 美國西門子佩恩堡工廠查核二號機定子線圈每一階段製造過程，由工廠 PM, Mr. Johnson 統籌管理線圈製造、測試、運輸等工作。現場稽查包含線圈製造、測試程序書、品保文件、抽測定子線圈成品，執行耐壓破壞試驗、查驗定子線圈尺吋、電阻量測、耗散因數試驗及耐壓試驗。

2. 美國西門子奧蘭多公司針對重繞工作相關內容進行討論並研討大修工作排程(含氫氣冷卻器與比流器工作排程)。由 Mr. Lee、Mr. Young、Mr. Chang、Ms. Beasley、Mr. Fumero 等人員通話進行會議討論。

叁、工作紀要

一、主發電機簡介

核二廠兩部機主發電機為氫氣冷卻機組，三相四極，轉速 1800 RPM，功率因數為 0.9，額定輸出為 1,095.1 MVA，額定功率為 985 MW。一、二號機分別從 70 年及 72 年開始商轉，目前運轉超過 30 年。為確保機組持續運轉供電，兩部機由西門子執行線圈重繞及相關附屬設備更新，額定輸出可達 1,171.8 MVA，額定功率可達 1,054 MW。

二、主發電機定子線圈製造過程

1. 粗銅加工：

大型發電機定子線圈因承載高電流，須使用細銅導體繞製，而粗銅原料必須先經過機器加工後，去除雜質後，依設計尺寸塑型，並捲繞成網。

2. 導體表面絕緣層製作：

因玻璃纖維具高耐磨性、柔軟度佳為適合發電機線圈使用，粗銅經加工後，將其表面繞上此絕緣材料，由機器烘乾並經冷卻後，玻璃纖維與銅導體合為一體，使其表面絕緣牢固並捲繞成網。

3. 線圈導體羅貝爾轉位：

使用換位機具將導體彎曲交叉穿越，避免導體換位時摩擦造成絕緣破壞同時彎曲導體每一層之間必須再加絕緣物隔離並綁紮牢固，以確保內部不會短路，定子線圈直部換位可達 540 度。在 540 角度下循環電流幾乎為零。

4. 定子線圈成型與塑型：

導體經轉位完成後，使用設計之通風管與絕緣材料一起綁紮，綁紮後一共六層為別導體-通風管-導體-導體-通風管-導體，導體間則相互絕緣。將綁紮完成後之線圈放至模具上，注入樹脂使導體及通風管黏接固定，線圈端部使用機械夾具依照設計尺寸由工作人員手工彎曲角度。

5. 導體端部焊接：

線圈與通風管結合後，必須先以軟性材質塞入通風管內，檢查有無異物後，才能進行導體端部焊接。焊接前確認導體無斷股與無絕緣不良，並用冷卻水冷卻焊接處下方，避免高溫破壞端部以下的絕緣。

6. 絕緣包紮與真空含浸

包紮機在固定張力下纏繞雲母帶，確保線圈直部與端部的絕緣厚度均勻。雲母帶的優點為卓越絕緣特性與良好隔熱特性，可提升線圈的耐壓程度與可靠度。包紮完成的線圈送至真空含浸室，在爐中真空加熱，除去水分及空氣，提升絕緣強度，再注入絕緣材料浸透雲母帶，待完全固化，並將多餘的絕緣材料用模具整修並控制成品的尺寸。

7. 線圈模擬安裝與配置

真空含浸後之定子線圈再塗上導電、半導體等絕緣漆並乾燥後，送至 3D 模擬室，使用儀器掃描線圈，並利用軟體模擬線圈安裝至各槽位置狀況，以防範尺寸有任何製造上的瑕疵。

三、品保文件查核

1. 設備製造程序書

本次廠驗抽查已完成之製造程序書資料，確認內容填寫完整，數據正確符合工廠內標準並隨機選擇二處工作站觀察技師工作情況良好，核對程序書已如實填寫，並對技師進行簡單訪談，受訪者皆清楚工作重點與注意事項。

2. 品質保證程序書

本次廠驗抽查品質保證程序書歷史資料，程序書查驗項目涵蓋設備製造、工作站、作業人員、工作環境等部分，皆有確實依照規定填寫。

四、定子線圈試驗

依本案合約規定，本公司有權針對定子線圈之製造作檢驗，相關試驗按西門子 QST (Quality Assurance/ Specification/ Turbo generators) 程序書檢查項目執行，各項試驗過程與結果分述如下。

1. Breakdown Test For Sample Bars

挑選頂部及底部各一線圈進行交流電壓破壞測試，依照西門子設計的絕緣強度(Based On Insulation Double Wall Thickness)，從 40kV 開始往上加壓，每次增加 5kV 維持 1 分鐘，其最低耐壓為 63.2kV，最高耐壓為 86.8 kV，頂部與底部定子線圈加壓至 90 kV 時擊穿，皆超過最低耐壓標準，符合設計要求。

2. 耗散因數測試 ($\tan \delta$)

所有新製之定子線圈均要通過耗散因數測試，以評估絕緣材質的氣孔率及部分放電量，依據測試加壓方式共分七階段，首先加 26.4kV 維持 5 分鐘，再從 4.4kV、8.8kV、13.2kV、17.6kV、22kV、26.4kV 依序往上加壓，耗散因數變化之 Tip-Up 值須小於 0.02。

本次廠驗隨機選擇頂部及底部定子線圈各一進行抽測，測試結果頂部線圈 Tip-Up 值為 0.0031；底部線圈 Tip-Up 值為 0.0035 均符合標準。

3. 耐壓測試

新製之定子線圈均要通過耐壓測試，從 40kV 開始往上加壓，加壓至 58.5kV 維持 1 分鐘如無任何異狀，則通過測試。

所選定之頂部及底部定子線圈通過 $\tan \delta$ 測試後，接續執行耐壓測試，頂部和底部線圈各加壓至 58.5kV 維持 1 分鐘，洩露電流各為 641mA、559mA 皆無任何異狀，符合標準。

4. Short Circuit Test

通過耐壓測試後須執行通風管對通風管、通風管對導體、表面導體漆之阻值量測及用模具外型確認，確保定子線圈未因耐壓測試受損。本次受測之頂部及底部定子線圈通過以上測試項目，測試結果符合西門子程序書標準。

五、一號機大修重繞工作研討

一號機重繞時間已訂定在今年 11 月，此次工期約為 70 天，而線圈重繞工作約佔 42 天，此次相關研討事項包含新製線圈與相關材料入庫時程、重繞工作流程討論、試驗結果交付、及核二廠廠房內工作站之安排。

1. 新製線圈與相關材料運送時程：定子線圈製造完成後，即在工廠進行包裝

後，由貨運公司載至港口，一號機線圈材料離港時間從 8 月直到核二廠時間為 10 月。

2. 定子線圈和相關設備出貨時，相關試驗報告由西門子統一整理並寄出，包含：定子線圈耐壓試驗、線圈材質證明、比流器試驗…等相關試驗數據。
3. 進行發電機線圈重繞工作時，必須就近取得重繞材料與特殊工具，因此必須事先在廠區內安排每一只貨櫃的擺放位置和配置相關臨時電源。
4. 一號重繞工作流程討論

工作流程目前已研討，在時程安排上前期工作包含發電機洩除潤滑油、洩除冷卻水、搭架…等先由電廠與相關單位負責執行，待發電機轉子抽出後，交由西門子進行定子線圈重繞工作；氫氣冷卻器與比流器更換則一併進行作業。

肆、心得與建議

西門子公司在電氣領域已活躍全球業界百年之久，以創新科技與專業知識，其電機、電子技術已是全球之指標，透過跨事業部門專業能力的整合，針對不同的客戶需求提供整體性的解決方案，其經營理念與方法必定與眾不同。本次在佩恩堡工廠查驗線圈試驗與製程過程時，令人讚嘆的是其工廠內部作業場所整齊乾淨、條理分明，地上有明確標示路線且通暢無阻，並提供個人安全防護具給受訪者，同時宣導現場相關規定，例如吊車行走時，下方須淨空和無人員走動，各工作站依照工廠的生產流程進行佈置，每一區塊作業獨立，工作人員皆按照廠內標準進行工作。而西門子公司特別注重人員安全，所有加壓測試的設備，都必須等待工作人員操作結束後才能查驗，尤其是在測試區域有紅外線感應，任何人若跨越測試範圍即會發出警報並中止測試，此項確實可效仿。另外，西門子工廠對客戶資料相當重視，當在參訪時本想多收集工廠內部情形之照片，但因工廠當時有其它商家的訂單產品，因此被制止，讓我感受西門子絕不會輕易洩漏客戶之訂單產品。

在奧蘭多西門子公司進行會議研討時，主持人不斷與各部門溝通電廠需求，

並反應問題癥結點，透過跨部門合作，讓西門子公司與核二廠對問題有所共識，不但使電廠工作者能夠更了解重繞工作內容，更重要的是透過此次會議能將本案工作順利完成。

最後非常感謝公司及各位長官，給予本人這次機會到國外，最重要的是可以跟西門子的工作人員互相交流，讓我在此線圈重繞案能有更進一步的熟習，將此經驗運用在工作上，期望對重繞工作有所幫助，俾使重繞工作順利完成，為公司盡微薄之力。