

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

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：吳鴻明 核能發電處 主管電器

李承勳 第二核能發電廠 主辦電器維護專員

派赴國家：美國

出國期間：自 105.06.18 至 105.06.27

報告日期：105.07.29

# 目 錄

壹、出國目的 .....	2
貳、行程 .....	3
參、工作紀要 .....	4
肆、心得 .....	18
伍、建議事項 .....	21

## 壹、出國目的

核二廠一號機主發電機在 EOC-24 大修期間發現定子線圈故障，雖已進行緊急處理，但未來運轉仍存有風險，為避免潛在老化問題衍生故障，造成公司重大損失，應致力提升設備可靠度。核二廠為全球績效卓越的核能電廠之一，理當要求低風險零故障運轉，確保核能安全，善盡穩定供電之社會責任。為此，本公司內部相關單位歷經數次會議研討，並取得一致共識與結論，將委託主發電機原廠家 Siemens 執行定子線圈重繞。本案於 105 年初與原廠家 Siemens 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，將分別於兩部機 EOC-25 大修執行，新製組件及設備則需於 105 年底及 106 年初完成交貨。

本案屬重大設備改善案，為確保廠家所提供之設備組件符合本公司需求，因此安排設計審查，並針對兩部機新製造之組件、設備執行製程檢驗。大型發電機之生命週期約在三十至四十年間，而影響其壽命最主要之關鍵即為定子線圈，本次任務選擇定子線圈製程作為工廠檢驗項目，同時執行設計審查，進以了解設備之設計餘裕，為製造品質進行把關，確保最終產品符合要求與期待，並在後續運轉及維護面上進行意見交流與經驗分享，俾確保線圈重繞後設備運轉可靠與穩定。

## 貳、行程

一、本次出國行程為期 10 天，表列如下：

日期	工作內容	地點
6/18-6/19	往程（桃園－舊金山－奧蘭多）	奧蘭多 （佛羅里達州）
6/20-6/21	赴美國 Siemens 公司執行核二廠主發電機定子線圈重繞之設計審查。	奧蘭多 （佛羅里達州）
6/22-6/24	赴 Siemens 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）
6/25-6/27	返程（佩恩堡－亞特蘭大－舊金山－桃園）	臺灣

二、行程摘要：

1. 美國 Siemens 公司執行設計審查，由 Mr. Young（General Project Manager）擔任會議主席，帶領 Mr. Lee（Operation Support Manager）、Mr. Graff（Project Manager）、Mr. Sharma（Engineering Manager）、Ms. Taylor（Engineering Engineer）、Ms. Backhaus（Quality Engineer）、Mr. Chan（Cooler Design Engineer）、Mr. Farl（FOVM Design Engineer）等相關人員共同進行，由 Siemens 說明定子線圈設計基準、氬氣冷卻路徑、線圈重繞之安裝結構、新冷卻器型式、附屬組件（含比流器、溫度監測儀器、封油系統、磁通量偵測器、光纖振動監視器）設計基準等項目，並針對相關內容進行討論與提問澄清。
2. Siemens 佩恩堡工廠執行定子線圈廠試及製程查核，在 Mr. Johnson（Project Manager）帶領下進行定子線圈每一階段之製程查核，調閱製造程序書、品保文件稽查，並抽測已完成之定子線圈成品，執行交流耐壓破壞試驗，以及電阻量測（tube-to-copper、tube-to-tube）、耗散因數測試（Dissipation Factor  $\tan \delta$ ）、交流耐壓測試（Hi-Pot）與最終尺寸確認。

### 參、工作紀要

#### 一、兩部機主發電機定子線圈重繞一般說明

核二廠兩部機主發電機為氫氣冷卻機組，三相四極，42 槽，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，分別從 70 年及 72 年開始商轉，截至目前已運轉超過 33 年。本次委託原廠家 Siemens 執行定子線圈重繞及附屬設備更新，發電機輸出能力可再提升 7%，額定輸出可達 1,171.8 MVA，額定功率可達 1,054 MW。

Description	Nameplate	Target Uprate
Apparent Power (MVA)	1095.1	1171.8
Power Factor	0.9	0.9
H2 Pressure (PSIG)	75	75
Nominal Voltage (kV)	22	22
Cold Gas (° C)	46	46
Frequency (Hz)	60	60

圖一 定子線圈重繞前後發電機參數比較

除定子線圈外，附屬設備更新項目包含線圈主引線、套管、比流器、高效能氫氣冷卻器、定子線圈支撐環、平行環、氣隙封環以及部分鐵心，並新增設線上監視之磁通量偵測器與光纖振動監視器。

#### 二、氫冷式定子線圈（Stator Coil）設計說明

- 新定子線圈型式與既有線圈不同，因製造技術的進步，每一半線圈在製程中已可在自身 Bar 內完成羅貝爾轉位，不需在線圈端部換位，頂部與底部線圈直接焊接。羅貝爾轉位主要作用係使線圈 Bar 內導體等長，各導體電位相等，降低循環電流，避免產生過大損失與熱點，亦可強化線圈機械強度。

圖二 定子線圈端部新舊設計比較

- 線圈安裝結構具高強度，可應付瞬間負載變動，針對溫度變化亦有足夠彈性應對，新定子線圈係由錐形環（Cone）支撐，而不是原先的框架與鐵心，另外還新增徑向夾板以增加支撐力。完整的定子線圈結構包含線圈、端部接續、錐形環及平行環，各部組件詳細說明如下圖示。

圖三 勵磁機側定子線圈端部結構說明

圖四 汽機側定子線圈端部結構說明

- 新定子線圈端部結構設計，在頂部與底部線圈之間裝設達克隆軟管，管內灌入樹脂，取代以往使用之間隔塊，強化整體結構，提升繞組端部逕向支撐力。錐形環取代原本的支撐環與綁紮帶，對於軸向熱膨脹和收縮有充足餘裕，設有內側和外側徑向螺栓，從線圈頂部及底部徑向夾緊，增加結構剛性鞏固繞組。

圖五 達克隆軟管

圖六 新線圈內部電暈保護設計

- 新設計之定子線圈橫斷面結構優化，冷卻效能更加，提高載流能力，而線圈末端之放電電阻器由內部電暈保護設計取代。
- 絕緣等級係以耐熱規格劃分，依照 IEC 60085 規定，新線圈設計之絕緣等級為 F ( )，使用在絕緣等級 B ( ) 之環境，在運轉面上有相當足夠餘裕。
- 上下定子線圈裝置於鐵心各槽內，由槽楔支撐，槽內間隙使用玻璃纖維板填滿，槽楔及上線圈間有波狀彈簧片迫緊，定子線圈重繞完成後，需以深度規量測槽楔上 7 個核測孔徑測，最大值最小值絕對差值應小於 0.02 英吋。
- 根據 Siemens PB3-16-0017-GN-EN-01 產品公報經驗回饋，國外機組曾發現定子線圈側邊填縫之玻璃纖維板因振動鬆弛造成滑動或位移，可能導致出線末端轉彎處絕緣破壞，在新設計上所有側邊填縫之玻璃纖維板均使用黏著劑固定，可有效避免上述狀況發生。
- 頂部與底部定子線圈端部接續處新設絕緣盒，隔開各相線圈。



圖七 新線圈末端相間絕緣盒及 RTD 配置

### 三、溫度偵測儀器設計說明

- 所有溫度監測儀器（Resistance Temperature Detector 及 Thermocouple）及兩側接線端版一併更新，包含 12 組定子線圈氫氣出口 Duplex RTDs、4 組冷氫 Duplex RTDs、4 組熱氫 Duplex RTDs、2 組冷氫 E Type Duplex TCs、2 組熱氫 E Type Duplex TCs 及 12 組槽嵌入式 Simplex RTDs。
- 本次更新將原先 RTD 的銅（Cu）型式改為白金（Pt），白金溫度範圍較廣，精確度與穩定性亦較銅佳。
- 定子線圈氫氣出口 Duplex RTDs 安裝在汽機側，焊接固定於主發電機框架，伸入氫氣導流罩內；熱氫冷氫 RTDs 及 TCs 配置於鼓風機進口及氫氣冷卻器出口；槽嵌入式 Simplex RTDs 埋設於定子線圈槽內。

### 四、端部鐵心（Core）改善說明

- 配合定子線圈重繞工作，端部鐵心、貫穿螺栓將一併更換，因應整體功率提升，重新評估滿載時功率領先時的端部鐵心溫升，並在步階鐵心增設冷卻風口提升冷卻能力。

圖八 新平行環結構圖示

#### 五、平行環（Parallel Ring）設計說明

- 平行環係為定子線圈引出線之接續，連接至相引線，新平行環為錐形環組件結構的一部分，且不再由框架支撐，亦可消除相引線所產生之機械疲勞，新設計有較好機械強度並可快速安裝。
- 平行環設計之絕緣等級為 F，使用在絕緣等級 B 環境，有足夠運轉餘裕，符合 IEEE C50.13 之要求。
- 配合新設平行環，現有通風管路必須修改，將新增伸縮軟管連接至平行環，將熱氫引導回冷卻器。

圖九 新平行環結構圖示

#### 六、磁通偵測器（Flux Probe）設計說明

- 磁通偵測器係在運轉中檢視主發電機轉子繞組有無短路現象，透過所測得之數據可分析出短路位置及故障程度，有助於訂定維護計畫及運轉測略。轉子繞組若發生短路視程度會對機組將造成不同影響，包含在磁場電流變化時造成轉子不平衡、不平衡磁場造成轉子或定子振動、相同負載下需較高的磁場電流並使運轉溫度升高，迫使機組限制負載運轉或需立即停機。

- 磁通偵測器僅能在機組運轉中執行監測，可讀取空氣間隙中徑向磁通與時間之變化率，當各轉子槽通過磁通偵測器時可測得其漏磁通，漏磁通雖不會跨越氣隙亦不會使定子產生感應，但其大小正比於各轉子槽的匝數與電流之積，在正常運轉下磁通偵測器所測得波形顯示出每個轉子槽的峰值，當發生繞組層間短路時，因安匝變小故所測波形峰值較低，借此評估短路程度以及故障位置。
- 本案未進行轉子線圈重繞，為嚴密監測轉子線圈狀況，將增設磁通偵測器並安裝於汽機側 14 英吋處第 16 及 30 槽定子線頂部槽楔上。



磁通偵測器

訊號線穿越主發電機框架可線上讀取

圖十 磁通偵測器裝設位置

#### 七、光纖振動偵測器（FOVM-4）設計說明

- FOVM-4（Fiber Optic Vibration Monitoring）係 Siemens 製第四代定子線圈末端振動監測儀器，共配置 12 只振動感測器，6 只裝設在汽機側頂部線圈末端，3 只裝設在勵磁機側頂部線圈末端，3 只裝設在平行環至各相引線間。主要組件尚包含 1 組分析儀器、2 組多工器、2 組穿越器，工作頻率範圍至 1000Hz，可作警報設定與輸出，以及數據儲存。
- 每一振動感測器使用單一的光纖，固定於定子線圈端部，透過分析儀器之光源與感測器上的光纖布拉格光柵（Fiber Bragg Grating, FBG）相互作用，FBG 將反射部分入射光部送回到分析器，在時域中進行反射光譜分析和處理，顯示振動的振幅。
- 多工器用來分離光源訊號，從每一控道分出 4 路徑到振動感測器，而 4 個感測器的反射光譜透過多工器重新組合送回分析器相應控道，每一多

工器最多可處理兩控道光源及配置 8 只振動感測器。

圖十一 FOVM-4 組件架構

- 分析儀觸屏可顯示每個傳感器位置、名稱、目前振動值、最大振動值及各級狀態，並可作趨勢分析，時間範圍可設定時、日、週及月，每個傳感器的光譜數據可執行快速傅立葉變換（FFT）獲得振動的頻率成分，響應頻寬可至 1000Hz。

圖十二 分析儀觸屏顯示

## 八、冷卻器設計說明

- 主發電機冷卻器使用至今未曾更換，內部冷卻水管路經年累月堆積水垢，其冷卻能力恐已下降，本次定子線圈重繞後約可增加 7%發電能力，因應容量提升規劃更換新高效能冷卻器。
- 新冷卻器係板式設計，使用薄銅片緊密堆疊增加氫氣熱交換之接觸面，每英寸長度內含有 10 片銅片，銅片間距為 2.0mm 上有管路穿孔，供冷卻水管路穿過構成一剛性結構，不會與轉子轉動產生共振。
- 冷卻水管為銅鎳合金一體成型，最低可容許 5%塞管率。

圖十三 高效能板式冷卻器外觀

- 新舊氫氣冷卻器特性比較如下

設計參數	目前使用冷卻器	新高效能冷卻器
冷卻水管數	264	548
熱交換接觸面積	18,300 ft <sup>2</sup>	40,580 ft <sup>2</sup>
主發電機輸出	1,095 MVA	1,200 MVA
總熱負載	13,555 kW	15,009 kW
冷卻水流量	4,960 gpm	2,939 gpm
計算冷氫溫度	49°C	46°C
計算熱氫溫度	77.8°C	77.8°C
冷卻水進口溫度	95°F	95°F
平均冷卻水出口溫度	113.9°F	130.0°F
管側壓降	13.5 PSI	12.3 PSI

## 九、定子線圈製造程序說明

項次	說明	示意圖
1	<p><b>線圈進料</b></p> <p>考慮機械強度及製程選用半硬銅導體，大型發電機繞組載電流大，使用斷面積過粗的導體，捲繞作業困難，渦流損亦較大，故使用分割後細導體並聯</p>	圖十四 線圈銅導體材料
2	<p><b>銅導體加工</b></p> <p>去除雜質，按設計尺寸塑型，並在導體表面加上聚酯化合物絕緣層</p>	圖十五 銅導體加工
3	<p><b>導體表面絕緣層製作</b></p> <p>利用綁紮機具在銅導體表面均勻纏繞玻璃纖維</p>	圖十六 銅導體表面纏繞玻璃纖維
4	<p><b>導體表面絕緣層成形</b></p> <p>浸入適當溫度之絕緣漆，在經加熱烘乾、冷卻後，玻璃纖維與銅導體合為一體，玻璃纖維導體具高耐磨性、並且抗熱、柔軟度佳與表面絕緣附著牢固</p>	圖十七 銅導體表面纏繞玻璃絲帶

5	<p><b>定子線圈導體成品</b> 完成製作後之玻璃纖維導體捲繞成網</p>	<p>圖十八 定子線圈導體成品</p>
6	<p><b>導體羅貝爾轉位</b> 使用換位機具利用 3D 技術彎曲導體交叉穿越，避免導體換位時摩擦造成絕緣破壞，</p>	<p>圖十九 玻璃纖維導體羅貝爾轉位</p>
7	<p><b>定子線圈組裝</b> 導體完成轉位後，使用玻璃絲帶與預製之通風管綁紮組合，排列方式為導體-通風管-導體-導體-通風管-導體。</p>	<p>圖二十 本廠頂部定子線圈綁紮組裝</p>
8	<p><b>定子線圈熱壓塑型</b> 將組裝完成後之定子線圈吊至熱壓模具，注入環氧樹脂使每一導體及通風管黏合固定，定子線圈端部由技師使用夾具依照設計尺寸手工彎曲。</p>	<p>圖二十一 定子線圈熱壓塑型</p>
9	<p><b>導體焊接</b></p>	<p>圖二十二 定子線圈導體焊接</p>

	<p>塑型完成之定子線圈先剝除端部導體絕緣漆，確認每根導體無斷股與絕緣良好後，將每根導體焊接，為避免高溫破壞導體絕緣，焊接處下方利用冷卻水冷卻防止溫度傳導</p>	
10	<p><b>雲母帶纏繞</b> 使用編帶機在固定張力下捲繞雲母帶，確保線圈整體包含轉彎處厚度均勻。雲母帶具卓越絕緣與隔熱特性，可提升線圈繞組的可靠性並延長壽命。</p>	<p>圖二十三 定子線圈雲母帶纏繞</p>
11	<p><b>VPI 真空壓力浸漬</b> 線圈在高壓爐中真空加熱，除去水分及空氣，提升絕緣性能，再注入低粘度樹脂浸透雲母帶，待樹脂完全固化，用模具整修控制成品的形狀和大小</p>	<p>圖二十四 定子線圈 VPI 加工</p>
12	<p><b>線圈模擬安裝與配置</b> 製造完成之定子線圈再表面塗裝導電、半導體、絕緣漆後送至組裝模擬室，將線圈外型掃描利用軟體模擬安裝狀況</p>	<p>圖二十五 電腦模擬線圈安裝</p>

## 十、定子線圈製程品保文件查核

- Siemens 工廠針對設備製造共有兩種程序書進行品質管控，包含設備製造程序書與品質保證程序書，其內容因涉及廠家商業機密不得拍照、複印，僅能在本報告中說明查核狀況。
- Siemens 工廠設備製造程序書  
此類程序書係屬逐步確認類，放置於每一工作站，由技師在製造過程中逐一填寫確認，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。現場查核部分，隨機選擇三處工作站觀察技師工作情況良好，核對程序書已如實填寫，並進行簡單訪談，作業技師對於工作熟練度高，具豐富專業知識及經驗，清楚作業重點與應注意事項。
- Siemens 工廠品質保證程序書  
此類程序書由工廠內 QA 人員負責每日執行，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。本次廠驗抽查品質保證程序書歷史資料，確認 QA 人員有確實依照規定填寫與進行查證。

## 十一、定子線圈工廠試驗

- 依照本案合約規定，本公司有權針對兩部機新製造之組件、設備進行製程檢驗，相關試驗按 Siemens QST (Quality Assurance/ Specification/ Turbogenerators) 程序書檢查項目執行，程序書內容因涉及廠家商業機密，僅能在本報告中說明試驗狀況，各項試驗過程與結果分述如下。
- Measurement of dissipation factor (tan delta) of stator coils
  - Siemens 測試程序書規定所有新製之定子線圈均要通過 AC 耗散因數  $\tan \delta$  測試，藉以評估絕緣電界質孔隙率及部分放電量，依據本廠系統電壓，測試加壓方式共分七階段，  
。
  - 本次廠驗隨機選擇頂部及底部定子線圈各一進行抽測，  
。

## 圖二十六 AC 耗散因數 $\tan \delta$ 測試

- High voltage test
  - Siemens 測試程序書規定所有新製之定子線圈均要通過 AC 耐壓測試，  
認洩漏電流穩定無劇烈變化，  
異狀，則測試通過。
  - 所選定之頂部及底部定子線圈再通過 AC 耗散因數  $\tan \delta$  測試後，  
接續執行 AC V 耐壓測試，  
異狀，符合標準。
- Short circuit test
  - 通過耐壓測試後需執行各線圈導體電阻值量測，所有導體阻值應相同或在  
以內。
  - 除 Short circuit test 外，還需進行通風管對通風管、通風管對導體、  
表面導體漆之阻值量測，以及模具外型確認，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 Siemens 程序書標準。

- AC Voltage Breakdown Test for 2 sample bars
  - 本廠一號機此批次新製之定子線圈將挑選部及底部定子線圈各一進行 AC 電壓破壞測試，依照 Siemens 設計線圈絕緣強度，  
。
  - 本次選擇頂部及底部定子線圈各一受測（與前述測試不同之線圈），頂部定子線圈加壓至 90 kV 時擊穿，底部定子線圈加壓至 95 kV 時擊穿，超過最低耐壓標準，符合設計要求。



加壓設備

圖二十七 AC 電壓破壞測試

圖二十八 頂部定子線圈絕緣擊穿

## 肆、心得

### 一、設計理念了解

圖二十九 Orlando 美國 Siemens 總公司

本次執行更新設備之設計資料審查工作，包含定子線圈、鐵心、冷卻器、溫度監測儀器、磁通監測器、光纖振動偵測器等，Siemens 設計團隊於會中邏輯性的說明設備特性以及選用原則，有助了解背後設計理念與意涵，並可將其轉換到維護面上應用。

以定子線圈為例，新製型式與既有線圈不同，不需在線圈端部換位，未來無法再從定子線圈末端量測各導線之電位差，本廠既有維護程序書內之轉位測試將被取消，由通風管電阻、通風管對導體電阻、線圈值流電阻等測試取代。此外，透過定子線圈及鐵心設計資料檢視，可得知絕緣設計等級、頂部及底部定子線圈熱點溫度及位置、平均銅導體溫度、平均線圈內氫氣溫度、鐵心溫度分布、繞組衝擊波強度等，有利於往後運轉調度與維護策略擬定，以及輔助設備格規之選用。而未來新增之磁通監測器與光纖振動偵測器在經 Siemens 說明後，已明瞭工作原理及能力，包含監測資料分析與研判，後續使用上將可作最有效利用並發揮其功能。有關新型板式冷卻器之材料、結構、效能分析、餘裕計算在會中亦有詳盡說明，冷卻器共有四冷卻層，若其中一層喪失功能，仍可維持主發電機 80%輸出，以目前發電量換算約為 85%。

最後，本次會議係產品使用者與設計者直接對談，會中充分反映電廠需求、關注事項以及對本改善案之期望，而承商亦無保留的呈現相關設計資料

並進行詳細解說，雙方透過意見交流相互理解，務使本案能順利完成，站在維護者的角度上，參與設計審查可更深入了解設備特性、運轉餘裕及潛藏風險，除了增加專業能力獲得經驗，對日後工作更是助益良多。

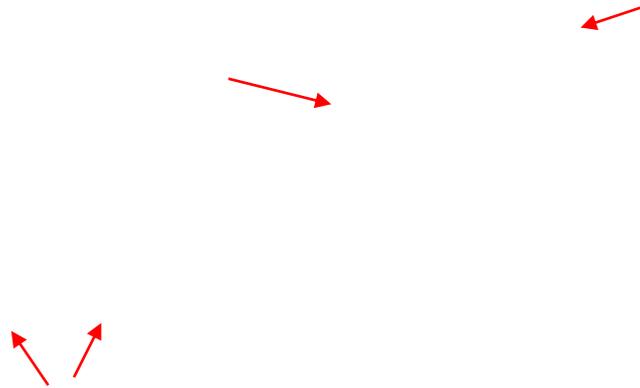
圖三十 與 Siemens 設計團隊合影

## 二、工廠管理與品質管控

圖三十一 Fort Payne 定子線圈製造工廠

Siemens 來自德國的跨國企業，活躍在能源、醫療、工業及建設四大業務領域，其電機及電子技術更是全球之指標，如此成功的巨型企業，在管理上必有卓越的理念與方法。本次赴 Fort Payne 工廠執行定子線圈工廠試驗與製程查核過程，就對其整齊、清潔、井然有序的作業場所留下深刻印象，在執行定子線圈耐壓測試時，對人員安全尤其講究，測試區域範圍除了拉設可目視之封鎖線外，在圍籬邊界還有紅外線感應，任何人若超過、踰越測試區範圍即會發出警報以中止測試，此外，工作室上設有跑馬燈明確顯示目前測試狀況，在加壓期間更有聲音與燈光提醒避免人員誤入，在安全管理機制上

確有可效仿之處。



圖三十二 耐壓測試時安全防護機制

在工廠管理上，廠房內光線充足，環境時常保持清潔狀態，各工作站依照製造流程設置，且獨立區隔且動線分明，相關用料均有數量管控。Siemens 的管理方式與日本各大企業廣泛推行 5S 現場管理辦法類似，所謂 5S 即是整理、整頓、清理、清潔及教養，將產品、工具、材料分類管理，將數量、存放位置標準化，保持工作場所乾淨與整潔，並使做法制度化、規範化，貫徹執行與維持結果，另外，透過培訓保持高效率團隊，除了技術提升外，亦會加強員工的自信與使命感。5S 管理係一種改善現場環境和員工的思維方法，使企業能有效地邁向全面質量管理，而電廠現行相關管理辦法已符合其精神。

圖三十三 各工作站分離獨立動線清楚

在設備製造上，Siemens 訂有設備製造及品質保證兩種程序書進行品質管控，前者放置在現場由各工作站，由負責技師依照程序書中製程步驟執行，並填寫重要數據，留存紀錄備查；後者由品保人員定期至各工作站查驗，僅有兩道查核手續，偏向人治，主要透過人員紮實的訓練，以及培育良好工作習性達成，每個人對應扮演的角色和責任範圍有足夠的認知。相較之下本廠現有程序書之品保制度則較完整，維護程序各步驟，除了執行者、複查者需確認外，視其重要性可能增訂平行查證者、QC 查證等查驗點，再加上 QA 稽查，以確保維護工作之品質。

## 伍、建議事項

### 一、設計審查之執行

設計審查係設計保證中的重要一環，集合群智針對設計規格進行客觀評估與檢討，及早發現缺陷或不足處，將既有設計程序以外的其他工程考慮帶給設計者，確保設技能量可滿足產品需求，俾使性能最佳化符合客戶預期。使用者與設計者透過直接溝通，檢視相關設計參數，掌握設計重點、理念構想，檢討設計之可行性，本案作法可供未來公司重大案件之參考。

### 二、高壓測試安全防護

本次執行設備廠驗之過程 Siemens Fort Payne 工廠試驗時之安全管理讓人留下深刻印象，設備測試區域拉設可目視之封鎖線，在圍籬邊界另裝設紅外線感應儀器，試驗執行時再輔以跑馬指示燈、警戒音效與示警燈光，杜絕工安意外發生之可能性，相關作法值得效仿。

### 三、強化現場管理

Siemens 良好的現場管理制度，利於成本管控、生產量提升、工安防護、程序標準化、並創造舒適的工作場所，本公司雖非一般製造工廠，但仍可將其精神作為借鏡，確保工作環境維持在整齊清潔狀態，管控工具、材料的數量及位置，並使其制度化甚至成為工作習性，必可提升工作效率，減少工安意外發生，確保維護作業之品質。