

出國報告（出國類別：洽公）

核二廠汽水分離再熱器及高壓汽機 維護技術精進

服務機關：台灣電力公司第二核能發電廠

姓名職稱：陳聰德 汽機課長

派赴國家：美國

出國期間：101.08.02~101.08.15

報告日期：101.09.28

QP-08-00 F04

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：核二廠汽水分離再熱器及高壓汽機維護技術精進

頁數_____ 含附件：☐是☒否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司人事處/陳德隆/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

陳聰德/台灣電力公司/核二廠/汽機課長/(02)2498-5990

出國類別：☐1 考察☐2 進修☐3 研究☐4 實習☒5 其他(洽公)

出國期間：101.08.2~101.08.15

出國地區：美國

報告日期：101.08.27

分類號/目

關鍵詞：TURBINE，MSR

內容摘要：(二百至三百字)

- 一、 本廠汽水分離再熱器(MSR)設備已運轉逾 30 年，其維護成效直接影響機組發電效率，其中又以除水效率(chevron vans 是否完整緊實無鬆動破漏)及內部旁通洩漏程度影響最為大，本廠 chevron vans 狀況良好，另 MSR 原始設計間隙與設備變形間隙，因涉及設備結構設計改善，建議由設備廠商維護為宜。本次參訪之 TEI 公司有豐富更換電廠 MSR 並提升機組出力之經驗，本廠可邀請 TEI 公司派員於大修期間來廠進行 MSR 內檢，評估是否須改善及有無增加機組出力之空間。

二、 本廠高壓汽機汽封系統洩漏量略大，本次取得西門子公司汽封片大修安裝間隙(Butt gap clearances)改善建議，可於大修期間改善，應可明顯改善本廠汽封洩漏量略大問題。另 TV seat、Triple pins 等將評估檢修需求，以提升高壓汽機設備可靠度，確保機組未來長期穩定運轉。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://open.nat.gov.tw/reportwork>)

目 次

內 容	頁 次
壹、 出國目的	1
貳、 出國行程	1
參、 汽水分離再熱器維護技術精進	1
肆、 高壓汽機維護技術精進	5
伍、 心得及建議事項	7

本文

壹、出國目的：

汽水分離再熱器維護成效直接關係到機組發電效率，本廠汽水分離再熱器設備已運轉逾 30 年，近年來常有設備老化問題發生，本次規畫赴美國與相關設備原廠 TEI (Thermal Engineering International) 公司工程人員研討本廠相關設備現況，並參考其他相同設備使用電廠維護改善經驗，檢討未來可能改善方向，以作為本廠相關設備未來維護改善之參考，確保相關設備未來能長期可靠運轉。

本廠高壓汽機運轉已逾 30 年，近年來常發生汽封蒸汽洩漏量偏高等問題，本次赴美除前往 TEI 公司外，並前往本廠高壓汽機設備原廠 SIEMENS 公司(原西屋公司)，與該公司相關工程人員研討高壓汽機汽封問題改善及相關汽機檢修與改善議題，以提升汽機未來運轉可靠性。

貳、出國行程：

含往、返程共計 14 天，行程如下：

101.08.02	往程 台北→洛杉磯
101.08.03 ~ 101.08.08	參訪 TEI 公司
101.08.09	中間行程 洛杉磯→奧蘭多
101.08.10 ~ 101.08.12	參訪西門子公司
101.08.13 ~ 101.08.15	返程 奧蘭多→洛杉磯→台北

參、汽水分離再熱器維護技術精進：

2012.08.03、08.06~08.08 拜會 Los Angeles TEI 公司，TEI 公司 President Mr. Abraham L. Yarden，Director Mr. Jay Wu，Field Project Manager Mr. Yoram Katz 及 I&C Engineer Mr. Peter S Chang 針對本廠汽水分離再熱器之維護重點與未來改善方向進行共同研討，相關重點摘要如下：

一、運轉中電廠除了爐心功率提升(Core up rate)外有三種方式可提昇發電出

力。

1. 最佳化調整(Optimization)。
2. 設備改善(Equipment modernization)。
3. 預防保養(Preventive maintenance)。

二、 MSR 主要功能藉由乾燥(汽水分離)及再加熱高壓汽機排汽，以提供過熱蒸汽(Superheated)至低壓汽機作功，Superheated Steam 可提昇出力並延長低壓汽機葉片壽命。

三、 MSR 內部缺陷會造成發電量降低及較嚴重的葉片沖蝕，而缺陷常來自於設備結構與熱流的老化/退化。

四、 大部份的案例，老化/退化一開始並不明顯，但如未能及早檢查及改善的話，將產生嚴重且不可逆的損害，先是降低效率及產生機械結構上的損害，而後造成蒸汽旁通(Bypass)原有路徑、superheated 溫度下降及 MSR 效率下降等。

五、 MSR 需特別關注的區域有那些：

1. 主蒸汽進口噴嘴(Main steam inlet nozzle)及其周圍。
2. 汽水分離區結構及檔水片(Chevron vanes)等。
3. MSR 槽體及內部壓力邊界(pressure boundary)壁厚。
4. 再熱器管束區域(reheated tube bundles)。
5. 管側噴嘴(nozzle)及管束周圍區域。
6. 人孔及手孔區域。

六、 MSR 應檢查確認那些老化現象？

1. 因老化、振動、抖動或熱壓力引起結構、設備之鬆動現象。
2. 沖蝕或流動加速腐蝕(FAC)等造成局部金屬表面不平整。
3. 熱應力產生之焊道龜裂或結構變形。
4. MSR 內部表面及 tube 因水分騰帶(Carryover)或溼蒸汽旁通造成局部痕跡。
5. 有無原始設計瑕疵。
6. 因長時間運轉造成結構鬆弛、沖蝕、或過度製造公差造成內部旁通洩漏。
7. 因磨耗、損傷造成法蘭等密封面密封效果劣化。
8. 目視檢查壓力邊界、異材、及結構等焊道是否於多年運轉後，焊道依然保持良好。

9. 檢查 chevron vanes 是否因抖動、未緊固而鬆動，鬆散。

10. tube 是否因熱膨脹不均勻而造成卡死現象。

七、影響 MSR 效率最主要的因素包括除水效率(chevron vans 是否完整緊實無鬆動破漏)及內部旁通洩漏程度。

八、Chevron vanes 效能如果不好將造成汽水分離效果不彰，連帶造成其下游水份升高，進而沖蝕下游再熱組件、管路及低壓汽機葉片等設備，並將額外消耗再熱蒸汽造成整體功率下降。

九、與機組效率有關之 MSR 相關參數：

1. 汽水分離效率(Moisture separation efficiency)－影響蒸汽殘留水份多寡(愈乾愈好)。
2. 加熱端與被加熱端出口溫度差(TTD, Terminal Temperature Difference)－影響進入低壓汽機蒸汽過熱程度(TTD 愈低愈好)。
3. 殼側壓力降(shell side pressure drop)－影響高壓汽機排汽(愈低愈好)。

十、MSR 對機組效率影響程度(以 1000MWe 機組為基準)：

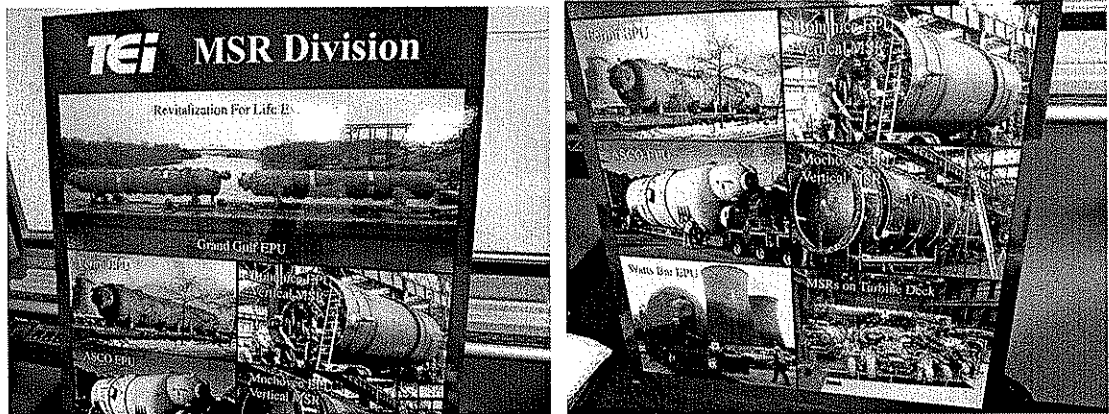
1. 每降低 1%殘留水份(即增加 1%乾度)可增加機組出力約 3.5MWe。
2. 每提高過熱蒸汽溫度 5°F可增加機組出力約 0.85MWe。
3. MSR 殼側壓力降如果每降低 1psi 可增加機組出力約 0.75MWe。

十一、MSR 管束普遍存在內部旁通洩漏問題，大部分廠家其管子與端板並無密封設計，加上原設計存在之間隙及設備變形產生之間隙，都將使 MSR 內部旁通洩漏問題日趨嚴重，依 TEI 公司維護經驗顯示在有很多的電廠其 MSR 內部旁通洩漏量高達其總流量之 15%。如果 MSR 有效蒸汽流量降低(即內部旁通洩漏量增加)則 MSR 整體過熱效果將下降，且如果旁通洩漏的是未完全汽水分離之溼蒸汽的話，它將與下游過熱蒸汽混合，並吸收過熱蒸汽的熱焓以蒸發其殘留水份，將會迫使 MSR 過熱蒸汽效能再下降。

十二、一般皆藉由密封管束(tube bundle)與外殼結構之出廠間隙，以及於管排與端板支撐結構間安裝密封設施(sealing strips)來改善 MSR 內部旁通洩漏問題。另如果 MSR 壓力降增加則內部旁通洩漏量將變大，反之則內部旁通洩漏量將變小。目前廠家已有 MSR 相關檢查設備，可計算不同運轉情況下 MSR 之效能，包括殼側與管側之熱交換效率與壓力降等，並可記錄所有加熱及循

環蒸汽之進出口溫度、壓力及流量等。如果相關參數經計算後發現有旁通內漏跡象，則可目視檢查相關區域以確認洩漏位置及間隙大小。

十三、依 TEI 公司相關維護歷史紀錄顯示，如果有 5%乾蒸汽於管束處旁通洩漏，則 TTD 將下降約 7°F，機組出力將損失約 1MWe，如果旁通洩漏的是溼蒸汽的話，機組出力損失將更嚴重。故如能將旁通洩漏通道隔絕，則可避免機組出力損失；依 TEI 公司以往維護經驗，降低旁通洩漏是提升效率最有效的作法。



TEI 公司更換相關電廠 MSR 照片，包括：Grand Gulf、Fermi、Bohunice、ASCO、Mochovce、Watts Bar 等電廠。



筆者於參訪 TEI 公司時與該公司 President Mr. Abraham L. Yarden 及 Director Mr. Jay Wu 合影。

肆、高壓汽機維護技術精進

2012.08.10 拜會 Orlando Siemens 公司(原西屋公司), 與 Siemens 公司 Director Mr. Frank Mackell, Project Manager Mr. David T Lee, Flow Engineer Mr. Lewis Gray 及 Principal Engineer Ms. Vivian C. Buquoi 針對本廠高壓汽機之維護重點與未來改善方向進行共同研討, 相關重點摘要如下:

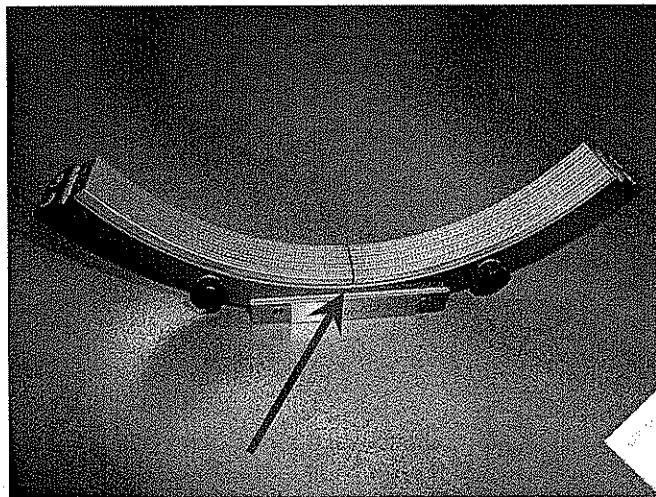
一、 汽封系統檢討及建議:

1. 本廠汽機汽封系統由原西屋公司設計, 為其全世界僅有之兩個以汽封蒸汽蒸發器提供汽封汽源的電廠之一(註: 其餘電廠皆利用主蒸汽作為汽封蒸汽之汽源), 而另一個同樣汽封汽源設計之電廠其汽機配置為 1 個高壓汽機搭配 3 個低壓汽機, 其高壓汽機排汽壓力遠較本廠為低, 故全世界並無任一電廠與本廠有完全相同設計之汽封系統。
2. 本廠汽封系統經 DCR 改善相關管路及更換低壓汽機轉子後雖有改善, 但仍有洩漏量略大的問題。西門子公司針對本廠問題提出最新汽封片安裝技術, 因汽機運轉後溫度上升, 汽封片比汽封座(Gland housing)膨脹量大, 故於大修安裝高壓汽機內外汽封環(inner & outer gland seal rings)時, 汽封片(segment)間須保留適當間隙(Butt gap clearances), 可避免汽封片受熱膨脹相對伸長後, 因未預留膨脹伸長空間而互相擠壓, 使得汽封片組合之汽封環直徑變大, 其與汽機轉軸之間隙亦變大, 造成汽封洩漏量增加等問題。依西門子公司估算, 如 Butt gap clearances 太緊的話, 可能增加高達 50% 的洩漏量。本次研討後已取得本廠 Butt gap clearances 相關數據, 並已提 PCN 申請納入本廠相關程序書中, 未來據以執行, 應可大幅減少汽封洩漏量, 提升汽封系統運轉裕度。Butt gap clearances 相關數據如下: The recommended butt clearance for the Kuosheng 1 and 2, for the inner glands is 0.093 inches minimum and 0.108 inches maximum. For the outer glands, the recommended butt gap clearance is 0.045 inches minimum and 0.060 inches maximum.
3. 本廠汽封系統高壓汽機汽封通往冷凝器(Spillover→Condenser)之管路及控制閥設計容量以西門子公司最新之評估計算略顯不足, 未來如

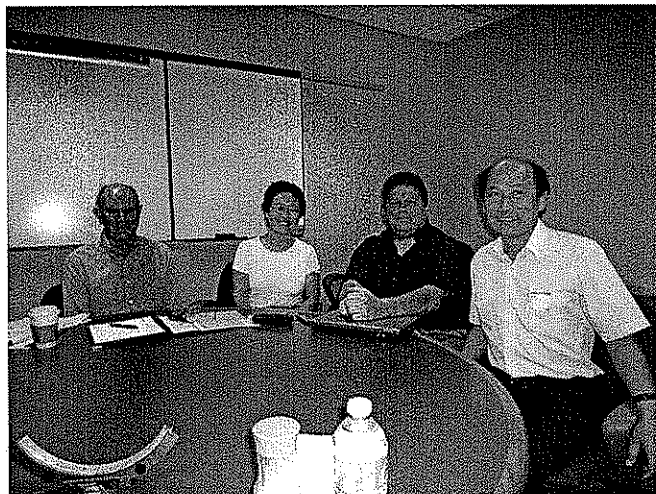
Butt gap clearances 改善後汽封系統仍有改善需求，則可考慮將上述管閥加大。惟 Spillover 管閥加大作業必須於降低汽封洩漏量後(如 Butt gap clearances 改善)方可進行，否則將降低汽封蒸汽與高壓汽機排汽之差壓，嚴重時將造成汽機蒸汽外洩，故須配合洩漏量改善或加大汽封蒸汽來源後方可進行。

二、高壓汽機維護項目討論：

1. 本廠兩部機高壓汽機進汽節流閥於大修時檢查發現各有 1 閥座(TV seat)有瑕疵顯示，已安排於後續大修進行檢修，與西門子公司人員討論檢修重點及注意事項如下：
 - A. 配合 TV seat 安裝，汽櫃外表 TV seat 區域需加熱，故須拆除汽櫃 (steam chest)外表之保溫材料，已便安裝加熱器材，換裝工作完成後，須重新恢復保溫。
 - B. 配合上述加熱作業，作業現場所有相關器材需能耐溫 600°F，特別是汽櫃內器材。
 - C. 須安裝銑床，銑切閥座大部份材料後移出原閥座，檢查閥座配合位置，如有需要須做進一步加工。
 - D. 新閥座須依閥座配合位置之尺寸加工，而後置入乾冰盒中予以冷縮。
 - E. 以加熱器加熱汽櫃至溫度穩定於約 550~600°F。
 - F. 當新閥座冷縮至配合尺寸，且汽櫃閥座配合位置已熱脹至配合需求尺寸後，將新閥座裝入汽櫃閥座位置並予以固定。
 - G. 工作人員於汽櫃內外配合作業，須特別注意高溫作業工作安全。
2. 本廠兩部機高壓汽機運轉已逾 30 年，西門子公司依其國外相關電廠維護經驗建議本廠應利用大修時機，適時檢查轉子第 1 級動葉片固定梢 (Triple pins)及轉子軸孔，以提升機組未來運轉可靠性。以本公司協和電廠為例，兩年前依西門子公司建議執行高壓汽機轉子第 1 級動葉片 Triple pins 檢查，檢查後發現確有 5 支 pins 有瑕疵顯示，而後並予以更換，避免未來瑕疵擴大，而影響機組可靠性。惟如欲執行相關檢查必須搭配完整應變措施，對檢查結果西門子公司必須於大修時程內完成評估及必要之檢修作業(含材料、機具及人力等)，以確保大修時程不受影響，此點已當場告知西門子公司人員。



汽封片安裝時須保留 Butt gap clearances



筆者於參訪 Siemens 公司時與該公司 Flow Engineer Mr. Lewis Gray(左起)、Principal Engineer Ms. Vivian C. Buquoi 及 Director Mr. Frank Mackell 合影。

伍、心得及建議事項

- 一、汽水分離再熱器維護成效直接影響機組發電效率，其中又以 MSR 除水效率 (chevron vans 是否完整緊實無鬆動破漏) 及內部旁通洩漏程度影響最為嚴重，本廠 chevron vans 早年曾因大量損傷而更換為不鏽鋼材質，近年來設備狀況良好，大修檢查時並無明顯損傷情形。惟有關內部旁通洩漏情形，先前維護重點偏重於設備相關人孔、手孔及內部壓力邊界隔板內漏等檢查與維

護作業，對原始設計間隙與設備變形間隙，因涉及設備結構設計改善，建議由設備廠商維護為宜。TEI 公司有豐富更換電廠 MSR 並提升機組出力之經驗，如更換西班牙 ASCO 核電廠 MSR 後機組增加出力約 18MWe。因本廠如增加出力可大幅節省本公司替代發電量燃油燃料成本，相關投資應可在 1~2 年內回收，建議可邀請 TEI 公司派員於大修期間來廠，針對 MSR 進行內檢，並提出檢查報告與評估建議。如評估改善後確可增加相當出力，則可比照本廠更換低壓汽機轉子模式，訂定保證增加出力契約條款，於換裝後以效率試驗驗證，預期可提升機組出力亦可確保電廠權益。

二、本廠汽封系統洩漏量略大，雖不影響系統正常運轉與安全，對機組效率仍有其影響，本次取得 Butt gap clearances 改善建議，無須額外花費，可於大修期間請修護處配合改善，依西門子公司評估與維護經驗，此項改善應可明顯改善本廠汽封洩漏量略大問題。另本廠已要求西門子公司提送有關 TV seat 檢修等 Proposal，供本廠評估未來大修執行參考。相關高壓汽機維護作業對機組效率提升雖影響不大，但卻可大幅提升高壓汽機設備可靠度，確保機組未來長期穩定運轉。

三、本廠機組運轉已逾 30 年，部份設備、系統已有更高效率之設計，抑或依全世界其他電廠維護經驗而有新的檢查機制，本次參訪兩家設備原廠，取得相當實用的維護資訊供廠內參考應用，對機組未來安全穩定有效率運轉，應有相當助益。