

# 電力研究簡訊

## Power Research Newsletter

98年第三季 (9807 No.73)

台電綜合研究所 **TPRI**

地址：(10091)台北市羅斯福路4段198號 電話：(02)2360-1084 傳真：(02)2364-9611

### 台灣電力公司

使命：滿足用戶多元化的電力需求、促進國家競爭力的提升、維護股東及員工的合理權益。  
願景：成為具有卓越聲望的世界級電力事業集團。  
經營理念：誠信、關懷、創新、服務。

## 研究計畫成果

### 一、七美設置太陽能光電系統之暫態穩定度研究

(電力研究室：林群峰、楊金石)

#### (一) 研究背景：

本公司目前積極建置再生能源發電設施，以離島而言，預計於七美原風力發電試驗場舊址興建300kWp 太陽能光電系統，預估使用4,500平方公尺面積。考量建置太陽光電系統發電系統是否對原系統造成衝擊，該建置案需符合「再生能源發電系統併聯技術要點」及「電壓閃爍」等規定，評估光電系統併接後對系統之衝擊影響。

#### (二) 研究目的與方法：

澎湖七美為小型獨立電力系統，電壓最高層級為3.3kV，柴油發電機組與配電等級之系統電壓為其主要特性，七美電廠中有5部柴油發電機組，裝置容量為4500kW，其中包含4部各1000kW與1部500kW的柴油發電機組。發電機升壓變壓器將480V發電端電壓升至3.3kV後，經主要三條主饋線配送電力至全島。本研究內容為太陽光電併網之系統模擬，利用Matlab/Simulink數學分析軟體以澎湖七美資料建立系統模型，分析太陽光電與系統併聯時之穩態現象，並以匯流排發生故障時太陽光電系統的暫態行為及系統穩定度分析。

#### (三) 研究原理及架構：

太陽能供電方式可分為獨立供電與併聯市電供電兩類，前者是由太陽能發電直接供給負載用電，後者則是把太陽能與市電作併聯連接，再依負載需求提供電力。將數個由P-N接面半導體組成的太陽能電池以串並聯的方式排列成矩陣形式太陽能模組，利用Eduardo Lorenzo提出之數學方程式如

下：

$$I_{(m)} = I_{SC(m)} \left[ 1 - \exp \left( \frac{V_{(m)} - V_{OC(m)} + R_{S(m)} I_{(m)}}{N_{S(m)} V_{T(c)}} \right) \right]$$

此處， $I_{(m)}$ 為太陽能模組之電流， $I_{SC(m)}$ 為太陽能模組之短路電流， $V_{(m)}$ 為太陽能模組之輸出端電壓， $V_{OC(m)}$ 為太陽能模組之開路電壓， $R_{S(m)}$ 為太陽能模組之等效串聯電阻， $N_{S(m)}$ 為太陽能模組之串聯數量， $V_{T(c)}$ 為單一太陽能光電池之熱電壓。以此數學式，建立太陽光電模組(PV Module)與換流器(Inverter)等模擬控制元件與七美電力系統整體的架構(圖1、圖2)。

#### (四) 研究結果：

本研究利用數學式建立模組，完成以不同容量(300kWp、200kWp與100kWp)太陽光電系統進行系統暫態分析，瞭解系統遭受事故時柴油發電機組與太陽光電系統輸出功率、頻率、電壓、電流間的反應特性。光電系統發電效率與日照時間、日照強度與光電板的擺放仰角有其關係，因此光電廠整體發電效率受到天候影響，在供電比例的分配上若光電廠所占的發電量比例越高相對對電網影響也越大。

本案經模擬結果，於不同光電系統容量下進行故障穩定度分析，300kWp光電系統端短路故障時，頻率最低約58.69Hz；在光電系統解聯及照度變化分析下，越接近光電系統(300kWp)側之電壓變動越大，電壓變動百分比最大值分別為3.33%及

1.84%，仍符合再生能源 22.8kV 以下系統之電壓變動±5%規定；太陽光電容量 200kWp 及 100kWp 之衝擊較 300kWp 為小，200kWp 故障時頻率最低約

58.74Hz，100kWp 故障時頻率最低約 58.76Hz，均較第一段卸載頻率 57.6Hz 高。

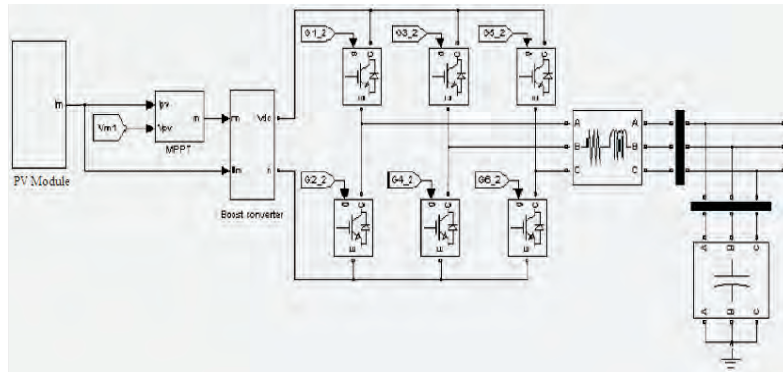


圖 1 太陽光電系統模型

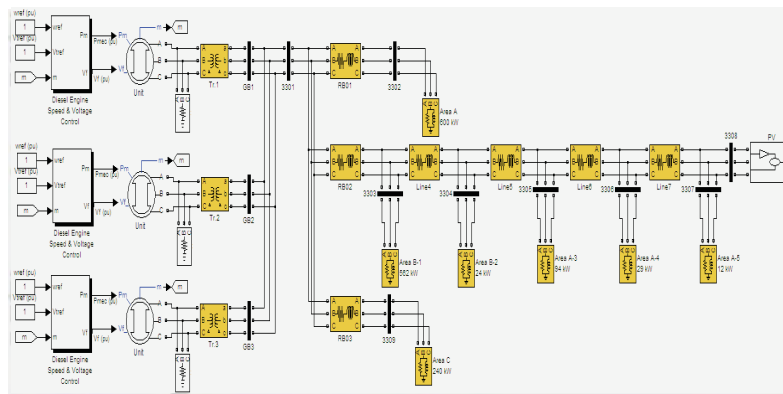


圖 2 七美電力系統模擬圖

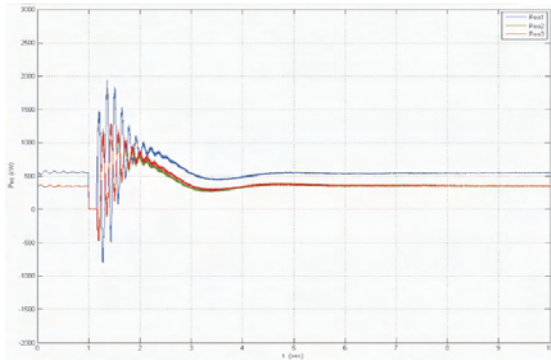


圖 3 柴油發電機之輸出功率

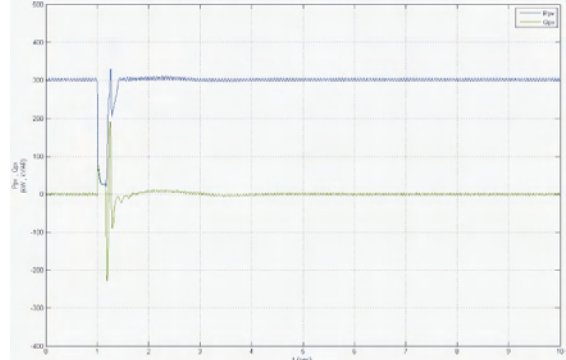


圖 5 太陽光電端之輸出功率

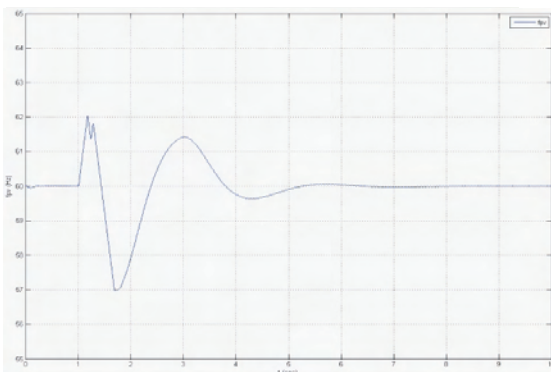


圖 4 系統頻率

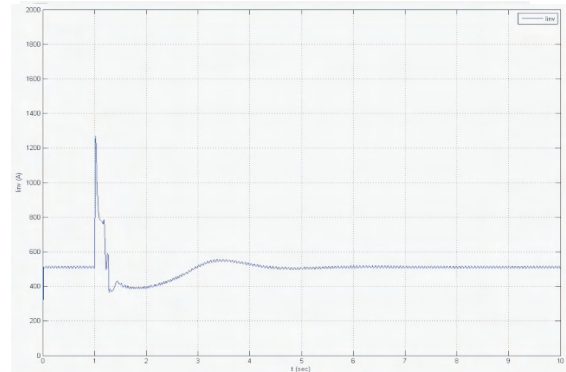


圖 6 換流器端之電流

## 二、台中電廠 9、10 號機廠用冷卻水系統腐蝕研究與監測技術提昇

(化學與環境研究室：田安庭、楊明偉、邱善得)

### (一) 研究背景：

台中電廠 9、10 號機廠用冷卻水管路自安裝運轉後陸續發現腐蝕現象，相關設備上亦發現腐蝕情況，使得運轉與維護週期縮短並需更換相關管路與設備。台中電廠委託本所於廠用冷卻水管路設置合適的腐蝕監測設備，即時監測管路腐蝕現狀，適時擬定合適的腐蝕抑制對策，避免進一步腐蝕造成廠用冷卻水系統失效，而危及機組之正常運轉。

本所考量現場長期監控管路腐蝕狀況之需要，發展全自動之腐蝕速度計。腐蝕速度計包含軟體、硬體二部分，藉由軟體監控試驗之電化學訊息（腐蝕電位（ $E_c$ ）、極化阻抗（ $R_p$ ）與零電阻電流（ZRA）），我們可以判斷試片的腐蝕情形。

### (二) 研究方法：

本研究則利用腐蝕速度計建立新機組運轉資料，包含腐蝕電位（ $E_c$ ）、極化阻抗（ $R_p$ ）、零電阻電流（ZRA）等長時運轉數據，作為將來擬定防蝕對策之依據，並對現有腐蝕現象之原因進行調查研究並尋求合適之防制建議。

### (三) 成果及建議：

1. 在碳鋼防蝕現場監測試驗中，我們發現腐蝕電位在 -0.1 伏特以上、含氧量正常的狀況下，碳鋼試片不易腐蝕。
2. 在碳鋼防蝕現場監測試驗中，我們發現極化阻抗在 2000 歐姆以上、含氧量正常的狀況下，碳鋼試片不易腐蝕。
3. 在碳鋼防蝕現場監測試驗中，我們發現零電阻電流在  $3 \times 10^{-7}$  安培以下、含氧量正常的狀況下，碳鋼試片不易腐蝕。
4. 上述所得數值，可以記錄在腐蝕速度計中，作為腐蝕速度計判斷廠用冷卻水管路是否發生腐蝕現象的依據，並提供給予現場人員在進行運轉、維修時之參考。



圖 2 現場之腐蝕速度計外觀

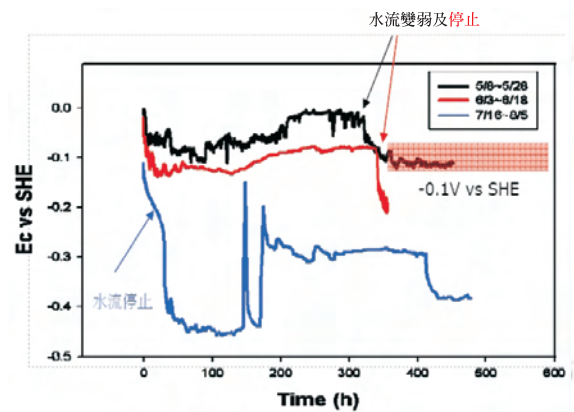


圖 3 現場量測之  $E_c$  值

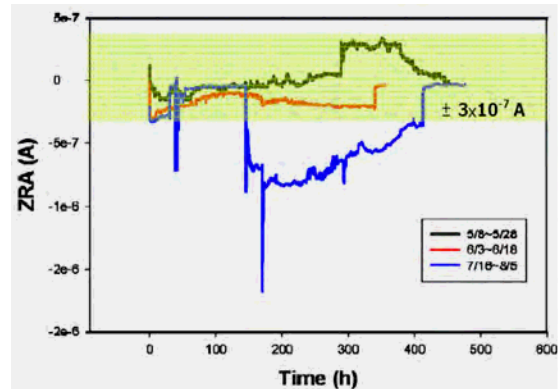


圖 4 現場量測之 ZRA 值

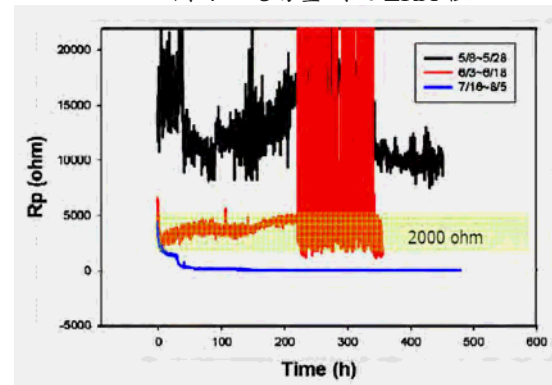


圖 5 現場量測之  $R_p$  值



圖 1 腐蝕速度計之軟體介面

#### (一) 研究背景、目的、方法：

半導電釉礙子裝設於本公司輸電線路 5~6 年後，陸續發現礙子劣化或損壞，經探討原因多係嚴重污損時在礙子銷 (Pin) 及礙子頭 (Cap) 與瓷器之介面發生長時間放電，造成局部半導電釉層薄化或熱應力集中，因而發生劣化或損壞。原製造廠除提供點檢及維護方法外建議在礙子銷及礙子頭介面塗抹導電性矽油膏加以改善，供電處為探討長期效果和對維護上之影響，委託本所進行研究。本案除對導電性矽油膏進行實驗室之絕緣特性及材料特性分析外，另建立彰濱長期加壓測試場長期加壓試驗了解其特性變化，並選擇代表性之中火及核三出口線路鐵塔，實際塗抹導電性矽油膏，定期追蹤拆試，綜合研判其使用效果、長期特性變化以及對維護上之影響。

#### (二) 半導電釉礙子發生熱破壞之機制：

一般而言半導電釉礙子之半導電層及其瓷體的電阻均為負溫度係數，亦即溫度愈高則其電阻愈低，半導電釉礙子洩漏電流流入其半導電釉層時所產生的焦耳熱，首先將使半導電釉層發熱。隨著半導電釉層溫度之上升，其電阻值勢必降低，同時半導電釉層之溫度也將傳導至瓷體，瓷體的電阻也連帶同時降低。由於此兩者的電阻均降低，使得礙子的洩漏電流更形加大，因此發熱及溫升反覆進行。此種狀態若在礙子發熱與散熱達成平衡的潔淨或一般污損狀態下，尚無產生問題之顧慮，但若在污損條件極為嚴酷，使此種熱穩定性喪失時，瓷器本身將會因反覆發生發熱及溫升之積熱，最終使礙子發生破壞，此種由於礙子喪失熱穩定性而發生之破壞通稱為熱破壞 (Thermal run-away)，熱破壞常導致葉片破損，嚴重者在礙子頭 (Cap) 內部瓷體發生龜裂，導致內部絕緣喪失。

#### (三) 長期加壓測試場觀察分析：

導電性矽油膏基本上係以絕緣矽油膏為基材，再添加導電性填充物混合而成。安裝於彰濱長期加壓測試場的試樣礙子，主要係使用 94 年度高屏供電區處委託本所技術服務案之試樣，其共同特徵係有許多礙子半導電釉層均在礙子銷附近發生薄化之現象。對長期加壓後之 B-66、B-25、B-46 礙子做電性試驗，測試結果顯示，無論是懸垂連或拉線連，塗抹導電性矽油膏後，污損物附著乾燥狀態下，交流閃絡電壓值反而降低，亦即絕緣特性變差，探究其原因應係礙子銷周圍塗抹導電矽油膏後污損物附著於表面，而此類矽油膏與絕緣矽油膏不同，短期間內即發生硬化現象而不具包覆污損物之阿米巴作用，污損物積存於導電矽油膏表面反使有效絕緣洩漏距離降低，且在塗佈與未塗佈之介面因電極延伸

作用產生較強電場，容易在該部位發生放電現象。

#### (四) 實際線路吊掛狀況：

345kV 中火中港南線 011 號塔、345kV 核三龍崎線 005 號塔、027 號塔裝掛塗抹導電性矽油膏之礙子連進行不定期紫外光放電觀察之結果，於塗抹導電矽油膏前各礙子連均有放電現象，塗抹導電矽油膏初期，放電現象均消失，但於塗膏後約半年進入鹽霧季時再進行觀測，仍出現部分礙子之放電現象，至 12 月以後嚴重鹽霧季期間放電轉趨激烈，特別是鹽害為特重度地區之中火中港南線 011 號塔放電更為劇烈，經過拆撤試驗，其絕緣特性亦顯示與長期加壓測試場之試樣情況類似，顯示塗抹後改善效果不大。

#### (五) 結論：

本研究計畫之成果為經由實驗室測試、長期加壓測試場及實際線路試用觀測及拆試，綜合研判「導電性矽油膏」使用於改善半導電釉礙子特性時，對礙子釉層薄化之現象並無法完全防止而僅轉移部位，對嚴重污損時持續電弧造成內部熱龜裂絕緣劣化之本質並無法改變，且塗佈施工方式增加現場工作人員維護上之負擔，建議不加以使用，此項結論可供供電處維護上參考。



圖 1 345kV 線路塗膏 11 個月紫外光放電觀測



圖 2 彰濱 161kV 長期加壓測試場吊掛試樣

# 技術服務

## 一、環保型防腐木橫擔之可行性研究

(化學檢驗組：李正綱、陳明得)

### (一) 前言

木材為一生物性有機材料，其主要成分纖維素、半纖維素及木質素，易受生物性因子(如真菌、蟲蟻等)與非生物性環境因子(如降雨、風沙等)的影響而產生劣化。針對不同樹種使用在某些特定環境下時，為防止木材的劣化，有必要對木材進行防腐處理，延長木製品的生命週期。

鉻化砷酸銅(Chromated Copper Arsenate CCA)為水溶性複合型防腐劑，主要成分為氧化銅(CuO)、三氧化鉻(CrO<sub>3</sub>)與五氧化二砷(As<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)，當CCA防腐劑注入到木材內，能很快地互相作用，生成不溶於水的化合物，如鉻酸銅(CuCrO<sub>4</sub>·2CuO)、砷酸銅[Cu<sub>3</sub>(AsO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>]、砷酸鉻(CrAsO<sub>4</sub>)和鉻酸鉻[Cr<sub>2</sub>(CrO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>]等穩定錯化合物，能固著在木材纖維上，不易受雨水或土壤中水分等環境因子影響而流失，故CCA處理後之木材能有效地防止黴菌、腐朽菌、白蟻、海蟲等之危害。但考量CCA處理之木製品使用後的再利用或廢棄時對環境的衝擊及CCA的毒性對人體健康的威脅等問題，環保署自1999年5月起將CCA列為需以毒物管理之化學藥品，更於96年1月30日(環署毒字第0940105517號)公告自96年4月1日起限制CCA處理木材的用途，除特定需求與使用環境及CCA處理材暫時無法被取代的用途外，所有需使用經防腐處理木材的場合，皆不得使用CCA，為因應此趨勢變化，新型環保型木材防腐藥劑將是全球木材保存處理的主流。

本研究目的評估較環保的木材防腐藥劑銅烷基銨化合物系防腐劑(ACQ-D)、銅硼唑化合物系防腐劑(CA-B)及微米化銅烷基銨化合物系防腐劑(Micronized Copper Quat; MCQ)等三種環保型防腐藥劑取代CCA的可行性。以目前市場供應量穩定、價格較適當之Apitong(油脂木)、花旗松、美國西部鐵杉、紐西蘭放射松及美國南方松等5種樹種所製成木橫擔，經ACQ-D、CA-B、MCQ及CCA等4種防腐藥劑處理後，從木材的材質、機械強度及藥劑滲透深度、滲透面積及吸收量等防腐處理材品質的重要指標，以判斷各藥劑與樹種組合是否適於木橫擔使用。

### (二) 材料與方法

#### 1. 試驗材料

##### (1) 橫擔木

選用油脂木(Apitong, Dipterocarpus spp.)、花旗松(Pseudotsuga menziesii)、美國西部鐵杉(Tsuga heterophylla)、紐西蘭放射松(Pinus radiata)、及美國南方松(Pinus spp.)共5個樹種作為試驗材料。木橫擔樣本之材質符合台灣電力公司材料標準編號E048防腐木橫擔相關規定。

#### (2) 防腐藥劑

依美國木材保護者協會(AWPA P5-04)規範，配合台灣地區環保要求及環保型藥劑使用現況，使用ACQ-D、CA-B、CCA與MCQ共4種作為木橫擔防腐處理藥劑。每個樹種、每種防腐劑處理樣本數為5個。

### 2. 試驗方法

#### (1) 防腐處理方法

各樹種之橫擔木試材首先乾燥至含水率30%以下，並依台電規範位置鑽孔後，置入加壓防腐槽內進行充細胞法防腐處理。防腐處理程序為前真空(-600mmHg, 30mins)、加壓注入(壓力14kgf/cm<sup>2</sup>, 2hrs)、後真空(-600mmHg, 30mins)。每批次同一種藥劑處理25支(5個樹種，每個樹種5支)，ACQ-D、CCA及MCQ藥劑濃度為2%，CA-B濃度為1%。每支試材於處理前及處理後均秤重，以計算藥劑注入量及有效成分平均吸收量。

#### (2) 藥劑吸收量測定

木橫擔試材於處理前及處理後皆分別秤重，以求取處理試材之藥劑估計吸收量(kg/m<sup>3</sup>)。另於離端部350mm處，切取由材面起向內至20mm深度之試材適量，經磨粉、消化、感應耦合漿原子放射光譜儀(ICP)分析後，搭配試材比重資料，計算藥劑實測吸收量(kg/m<sup>3</sup>)。每支試材由兩端起各取一個分析樣本，每支試材計有二個藥劑實測吸收量值。

#### (3) 藥劑處理效果評估指標

每支木橫擔依照防腐藥劑滲透深度、滲透面積與吸收量評估不同藥劑在不

同木材之處理效果，分為合格、具潛力、不適用等三類。

### (三) 結果與討論

本研究從防腐處理後木橫擔之藥劑注入量、滲透深度、滲透面積及吸收量等防腐處理難易性、機械強度大小、木材價格及防腐處理成本等因素評估環保型防腐藥劑是否適用於 Apitong、花旗松、南方松、放射松及西部鐵杉所製成之防腐木橫擔的處理。主要得到下列結果：(一) 就藥劑滲透情形及吸收量綜合評估防腐藥劑處理性質，本次試驗的樹種中，以南方松最佳，放射松次之，西部鐵杉再次之，花旗松及油脂木(Apitong)較不適當。以藥劑來看，CCA 最佳，ACQ 及 CA 次之，MCQ 較差。(二) 就台電公司所規範之木橫擔材料密度、彎曲強度及荷重標準與試驗結果比較後各防腐木橫擔合格率放

射松、南方松、西部鐵杉、花旗松與油脂木的合格率分別為 20%、60%、70%、85%及 100%，故從防腐木橫擔要求之機械性質來看，放射松並不適宜。(三) 由實大尺寸防腐木橫擔與無缺點小試材靜曲性質比較結果，台電公司材料標準規定為生節在橫擔近中央 1/3 材長部分不得超過 18mm；近兩端處 1/3 各材長部分不得超過 27mm 的規定不須要修訂。(四) 台電公司現行防腐木橫擔規範之藥劑滲透深度與滲透面積規定，已可達防腐品質要求的目的。但為避免因木橫擔材質不均造成取樣點檢測結果與實際情形有所差異，並引入 CNS 保護層概念。建議以橫向藥劑滲透深度、保護層中藥劑滲透面積百分比、保護層藥劑吸收量為檢測依據，並適量增加取樣點與取樣位置。

## 二、T91 與 TP347H 爐管異種金屬銲道破損肇因分析

(能源研究室:謝運華、高全盛、周儷芬)

### (一) 前言

國內某電廠之鍋爐運轉 7 年餘，其中高溫過熱器管係由 TP347H 與 T91 異種金屬銲接製成，民國 97 年 6 月於 T91 側之銲道發生爆管，為瞭解爆管發生原因進行損壞肇因分析，該爐管之外徑均為 44.5 mm，T91 之厚度為 5.08mm，TP347H 之厚度為 5.59mm。圖 1 為爐管破損情形。



圖 1 破損爐管外觀



圖 2 T91 與 TP347H 損壞爐管組合後之銲道與圓周裂縫外觀，顯示圓周銲冠寬度不一

### (二) 外觀觀察

將破斷之兩側爐管組合後如圖 2 所示，其中上圖顯示銲道寬度約 22mm，下圖為另一面之銲道寬度約 10mm。兩者圓周銲道寬度不一，可能是銲接時兩邊對銲之爐管端面不平或管夾對齊作業失誤所致；圖 3 為銲道截斷面形貌，從內壁銲道過度凸起與銲道截斷面所呈現寬度不一之形貌，顯示銲接品質極為不良。

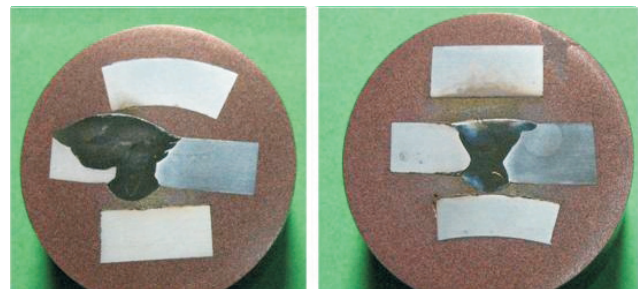


圖 3 銲道之截斷面全貌

### (三) 硬度量測

火力電廠鍋爐爐管除了必須具備適度強度以抗高溫潛變外，亦須兼顧有適當韌性，因此適度之硬度指標就極為重要。硬度太高將影響韌性而不利於使用，這對於麻田散鐵組織之 T91 材料尤其重要，因此為迎合正常使用，銲接之後實施熱處理以改善顯微結構、降低硬度（降低銲接敏感性）為必要之步驟程序。根據文獻，T91 材料銲後熱處理之適當條件為 750-760°C x 2Hrs，若熱處理溫度太低、回火不足，會造成細晶區之硬度比粗晶區或銲道低，而增高潛變破壞的敏感度，反之，銲後熱處

理溫度太高，增大析出物體積，使得差排快速回復，造成硬度和潛變強度下降，以上之結果均會在熱影響區之細晶區發生龜裂，即一般所稱 Type IV cracking。T91 新材料經過正常之  $750^{\circ}\text{C}\times 2\text{Hrs}$  熱處理後其硬度約 HV220-HV260。圖 4 為文獻上 T91 材料經過  $600^{\circ}\text{C}\times 147\text{MPa}$  長達 2801 小時潛變破斷試驗後發生 Type IV 破裂之硬度比較。圖 5 為此次破損管件之硬度分佈情形，其中 TP347H（含熱影響區）之硬度 HV185-HV210，符合 ASTM 規範之不超過 HV220 規定。鉚道硬度 HV225-HV245，T91 母材硬度界於 HV220-HV230，均符合 ASTM 規範，但熱影響區內之硬度分佈愈靠近鉚道硬度愈

高，尤其鉚道邊界之熔融線硬度高達 HV330，遠超過 ASTM 規範之 HV265Max 規定；靠近細晶區之硬度最低約 HV208，顯示該處材質強度較低，此一現象符合文獻對 T91 鉚道熱影響區之細晶區，因硬度較低、強度較弱，容易發生 Type IV 破壞說法，但仔細觀察本案之破損發生位置，並非發生在熱影響區之細晶區，而是在熔融線或粗晶區，也就是在最高硬度位置，因此破壞原因應與硬度太高有關。圖 6 為破壞之試樣經過  $750^{\circ}\text{C}\times 2\text{Hr}$  熱處理後之截面硬度分佈，明顯可見熔融線之硬度由 HV330 降至 HV238，符合 ASTM 規範之 HV265Max 規定。

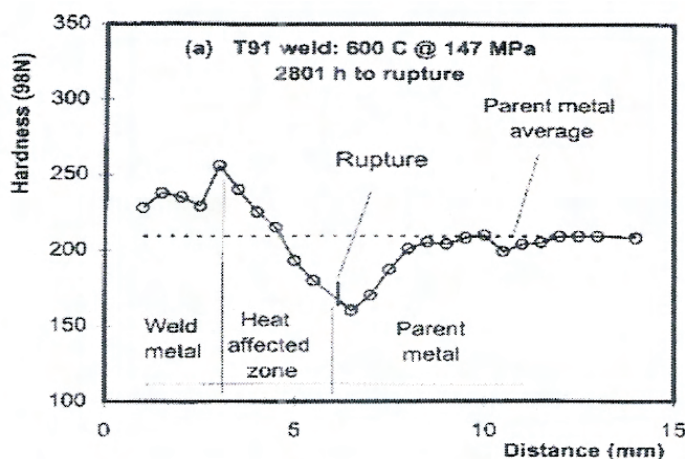


圖 4 T91 鉚道熱影響區 Type IV 破裂位置、母材及鉚道之硬度比較

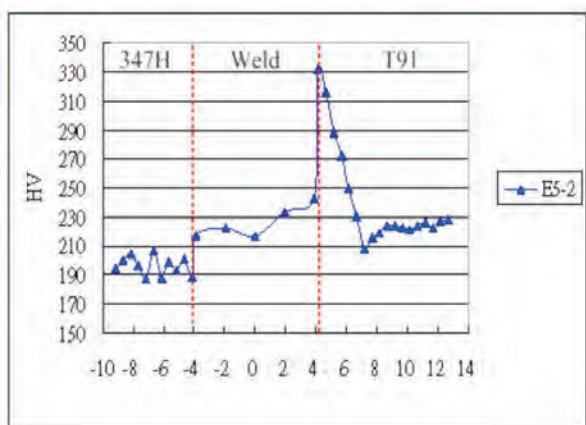


圖 5 破損爐管之截面硬度分佈

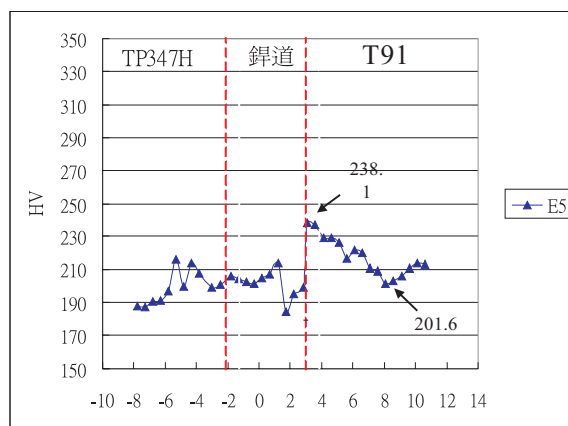


圖 6 破損爐管經過  $750^{\circ}\text{C}\times 2\text{Hr}$  熱處理後之截面硬度分佈

#### (四) 結論

1. 鉚道- T91 熱影響區之硬度太高，尤其鉚道邊緣之熔融線附近硬度高達 HV330，超過 ASTM 規定之 HV265max 甚多。由於硬度高、材料脆性增加，而且殘留應力愈高愈容易腐蝕，此一現象從鉚道與母材邊緣產生之 V 型凹槽可獲證實。
2. 由於 T91 與 TP347H 及鉚道之熱膨脹係數不同，所引發內部應力增加，以及機組起停產

生熱應力等因素，又內、外壁之腐蝕凹槽所形成應力集中效應等疊加效應，是導致爐管破損發生主要原因。次要原因與鉚接品質不良有關：例如鉚道之寬度不一，內壁鉚道過度熔透突出，內、外壁鉚蝕過大等情形。

3. 為避免 T91 材料鉚道熱影響區之硬度過高，建議確實做好鉚後之熱處理，適當熱處理條件為  $750^{\circ}\text{C}\times 2\text{Hrs}$ 。熱處理適當否可由 HAZ 之硬度予以確認。

# 研發與試驗活動

## 一、98 年度節約能源觀摩會

(負載管理研究室：楊新全)

台電公司於每年夏季尖峰負載來臨前舉辦之節約能源觀摩會，其目的在宣導有關節約能源正確觀念及展出台電公司在推行節約能源之成果。

今(98)年度節約能源觀摩會於5月22日至5月27日假屏東區營業處圓滿舉行完成。本次節約能源觀摩會除展示多項節能主題外，亦舉辦節約能源論文發表會，探討主題為「負載管理與節約能源」、「能源應用與建築省能」兩大主題。「負載管理與節約能源」主要探討我國汰換白熾燈泡之推動措施、學校照明改善設計、考慮舒適度之經濟型高壓用戶電能管理系統研製與節能應用等議題；另外，「能源應用與建築省能」主要探討誘導式建築

節能效益、公部門耗能與節能執行成效、風力機組風速與發電量預測模式與資訊平台建立等議題。

本次展示內容包含成果展示、開發能源、節約用電、負載管理、環境保護、研究發展、電磁場體驗等主題，各主題區除展示內容豐富的燈片、燈箱，並設有12種生動活潑的互動式遊戲，參觀民眾可藉由現場解說員詳盡的說明及有趣的互動遊戲操作，可以輕鬆學習節能減碳相關知識。其中研究發展區有本所提供之太陽光發電資訊平台、市售省電器的功能剖析、家用電器普及網路查詢系統、變壓器-用戶關聯查詢結合電力線載波技術、以及結合RFID技術於變電巡檢系統。



研究發展區展示 1



研究發展區展示 2



李副總經理參觀研究發展區



學生參觀太陽光發電資訊平台