

## 出國報告審核表

出國報告名稱：參加 WANO-TC 「設備可靠度專題討論會」		
出國人姓名 <small>(2人以上，以1人為代表)</small>	職稱	服務單位
關伯陽	主辦變電專員	核能發電處
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input checked="" type="checkbox"/> 開會 <input type="checkbox"/> 其他_____ (請依出國任務填列，例如業務接洽、海外承攬、駐外等)	
出國期間：107年12月12日 至 107年12月15日		報告繳交日期：108年2月12日
出國人員 自我檢核	計畫主辦 機關審核	審核項目
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.依限繳交出國報告
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得及建議事項」)
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3.無抄襲相關資料
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4.內容充實完備
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5.建議具參考價值
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6.送本機關參考或研辦
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7.送上級機關參考
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8.退回補正，原因：
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 不符原核定出國計畫
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(4) 抄襲相關資料之全部或部分內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(5) 引用相關資料未註明資料來源
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(6) 電子檔案未依格式辦理
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9.本報告除上傳至公務出國報告資訊網外，將採行之公開發表：
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同仁進行知識分享
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 於本機關業務會報提出報告
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 其他 _____
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10.其他處理意見及方式：

報告人：  
(2人以上，  
得以1人代表)

單位  
主管：

主管處  
主管：

總經理  
副總經理：

**說明：**

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「公務出國報告資訊網」為原則。

# 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加 WANO-TC 「設備可靠度專題討論會」

頁數 16 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/陳德隆/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

詹明錦/台灣電力公司/第二核能發電廠/反應器儀控課長/(02) 2498-5990

關伯陽/台灣電力公司/核能發電處/主辦變電專員/(02) 2366-7065

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：107 年 12 月 12 日至 107 年 12 月 15 日

派赴國家/地區：日本 / 東京

報告日期：108 年 2 月 12 日

關鍵詞：設備可靠度 預防保養 壽期管理 關鍵組件

內容摘要：

奉派參加世界核能運轉協會東京中心(World Association of Nuclear Operation-Tokyo Centre, WANO-TC)所舉辦之「設備可靠度專題討論會」，本次討論會提供電廠營運及設計部門有關設備可靠度相關資訊，並分享會員同業間之弱點，提升電廠安全度及可靠度，其主題分列如下：

- 1.預防保養之實施(Preventive Maintenance Implementation)
- 2.長期計劃及壽期管理(Long Planning & Life Cycle Management)
- 3.關鍵組件弱點分析(Single Point Vulnerability)

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

出國報告（出國類別：開會）

## 參加 WANO-TC「設備可靠度專題討論會」

服務機關：台灣電力公司 第二核能發電廠

台灣電力公司 核能發電處

姓名職稱：詹明錦 / 反應器儀控課長

關伯陽 / 主辦變電專員

派赴國家/地區：日本 / 東京

出國期間：107 年 12 月 12 日至 107 年 12 月 15 日

報告日期：108 年 2 月 12 日

# 目 錄

壹、出國目的 .....	1
貳、任務過程 .....	2
一、設備可靠度專題討論會 .....	2
(1) 設備可靠度.....	2
(2) 關鍵組件弱點分析.....	9
(3) 長期計劃及壽期管理.....	11
(4) 預防保養之實施.....	13
參、心得及建議 .....	15

## 壹、出國目的

參加由世界核能運轉協會東京中心(World Association of Nuclear Operation-Tokyo Centre, WANO-TC)所舉辦之設備可靠度專題討論會，出國期間自107年12月12日至107年12月15日，共計4天。

WANO-TC 所舉辦之設備可靠度專題討論會，本次會議規劃由WANO-TC及會員電力公司進行簡報，藉由討論會之形式，提供電廠營運及設計部門有關設備可靠度相關資訊，並分享會員同業間之弱點，提升電廠安全度及可靠度，其主題分列如下：

- 1.設備可靠度(Equipment Reliability)
- 2.關鍵組件弱點分析(Single Point Vulnerability)
- 3.長期計劃及壽期管理(Long Planning & Life Cycle Management)
- 4.預防保養之實施(Preventive Maintenance Implementation)

## 貳、任務過程

奉派至日本東京(WANO-TC)，參加「設備可靠度專題討論會」，為期4天，詳細過程及工作內容如下表：

起始日	迄止日	地點	工作內容
1071212	1071212		往程(台北-東京)
1071213	1071214	東京	設備可靠度專題討論會(WANO-TC)
1071215	1071215		返程(東京-台北)

### 一、設備可靠度專題討論會

設備可靠度專題討論會為期2天，從12月12日至12月13日；本次討論會提供電廠營運及設計部門有關設備可靠度相關資訊，並分享會員同業間之弱點，以提升電廠安全度及可靠度。在逐項深入分析後，歸納4項較為重大且共通的議題，做為本次討論會之主題，總計10篇簡報，分由WANO、INPO、及WANO-TC各會員電力公司進行簡報。本討論會期許各會員能聚焦在這些共同議題上去做評估及改善，而WANO-TC會提供必要的協助與支援。

本次討論會由WANO-TC主辦，其餘與會者有日本各電力公司及其他相關單位、韓電KHNP、中國核電CNNP、印度核電NPCIL、巴基斯坦原能會PAEC、美國核能運轉協會INPO及本公司，總計25名代表與會。以下針對此次討論會4項主題之內容及感想，簡要說明如下：

#### 1. 設備可靠度(Equipment Reliability)

針對本項主題，本次討論會共有4篇簡報，分別由1.WANO-TC Director Mr. Newman介紹「設備可靠度」；2. WANO-TC Mr. Kameyama介紹「設備可靠度相關之AFIs及OEs」；3. WANO-TC Hong Kong Office Mr. Yonehara介紹「由試運轉前同業評估(PSUR)經驗探討設備可靠度之目標」及4.PAEC Mr. Farid介紹「設備可靠度管理」。

- (1) 在WANO-TC Director Mr. Newman的會前簡報中(設備可靠度)，針對本討論會之背景及目標進行闡述。本設備可靠度討論會舉辦之緣由，是為了共同解決設備可靠度相關之議題；另為幫助各會員精進設備可靠性標準(INPO AP-913,WANO GL 2018-02)。本討論會提供與會者一個絕佳的機會，來了解如何以系統性之方式來持續提升機組之可靠度。設備可靠度之提升需仰賴各部門通力合作，其中包含工程及設計部門，另除了已商轉之機組外，設計中及興建中之電廠亦須重視設備可靠度相關議題並落實執行。
- (2) 在WANO-TC Mr. Kameyama的簡報中(設備可靠度相關之AFIs及OEs)，藉由歷次同業評估所開立之AFIs(Area for Improvement)及各會員編寫之WERs(WANO Event Reports)探討設備可靠度相關之共通弱點。

WANO編訂之績效目標與準則(Performance Objectives and Criteria, PO&C)，包含績效目標與支持準則二部分，績效目標係描述經過有效計畫和作為後之預期結果，而支持準則提供每一目標之廣度和深度，本份文件提供同業評估任務，各領域評估員之評估標準及依據，其中有關設備可靠度之章節可分為以下4點：

A. 設備績效(Equipment Performance, ER.1)

機組有關或支持核能安全、機組穩定性、及緊急措施之設備能維持高可靠度。

B. 設備故障預防(Equipment Failure Prevention, ER.2)

預防/預知型保養及設備監測計畫被採用，用以提升機組有關或支持核能安全、機組穩定性、及緊急措施之設備能維持高可靠度。

C. 長程設備可靠度(Long-Term Equipment Reliability, ER.3)

設備之運轉及保養策略已將長程之設備可靠度納入考量。

D. 材料/備品可靠度(Materials Reliability, ER.4)

設備維護所需之材料及組件已被妥善保存，用以支持機組長期之

高可靠運轉能力。

以過去4年之同業評估結果進行分析，WANO-TC共開立419項AFIs，而在這419項AFIs中，重要AFIs(Executive AFIs)計有139項；而於419項AFI中，有25件可歸類於設備可靠度，其中設備可靠度相關之重要AFI共計15項，約佔全部重要AFI之10%。

進一步分析全部25件設備可靠度相關之AFIs，其中設備績效(ER.1)計有6件，其中5件屬重要AFIs；設備故障預防(ER.2)計有12件，其中8件屬重要AFIs；材料/備品可靠度(ER.4)計有7件，其中2件屬重要AFIs。

主要的設備可靠度相關AFI發生於設備故障預防(ER.2)領域，產生AFI機組之主要落差(Gap)，在於欠缺適當的監控及趨勢分析計劃(含系統健康度及系統監測計畫)及對於重複發生的故障未能找到真實肇因及採取適合的改正行動；AFI相關的原因及貢獻因子，亦包含1. 欠缺標準學習及自我評估，2. 設立偏低的接受標準及期望目標，3. 對於故障之高容忍度，4. 未能找出故障之確實肇因，及5. 未從業界已有之運轉/維護經驗中學習教訓，並應用於維持機組穩定運轉。

另分析近四年之WERs(WANO Event Reports)，可發現若將所有事件報告依肇因分析結果區分為1. 人員相關、2. 設備相關、及3. 管理相關三大面項，可發現設備相關占比為最大宗，其次為人員相關，而管理相關則影響最輕；而由趨勢分析角度進行分析，則未能發現WERs有明顯增加或減少之趨勢。

在近四年共807件WERs中，超過一半以上之報告係由設備可靠度所貢獻(479件)，其中屬於重要(Significant)類別即佔8件(全部為15

件)，其後果主要係造成機組暫態或設備受損。

另由各會員提供之WERs進行分析及排比，可發現不同會員之肇因類別各有其特性，以原始設計不適宜(Original Design Inadequate)類別為例，CNNP占比最高、其次為KHNP、TPC則再其次、而PAEC及NPCIL無此類別之WER；以組件老化管理為例(Aging of Components)，KHNP則佔比超過8成，可見組件老化管理為KHNP現階段應注意之議題之一。

- (3) 在WANO-TC Mr. Yonehara之簡報中(由試運轉前同業評估(PSUR)經驗探討設備可靠度之目標)，嘗試以試運轉前同業評估之角度探討設備可靠度。在福島事件後WANO對於尚未初次臨界之新電廠均舉辦試運轉前同業評估(Pre-Startup Peer Review, PSUR)，用以提升電廠商轉後之可靠度，自2012年迄今已舉行過40次之PSURs，而PSUR CPOs(Pre-Startup Peer Review Crew Performance Observations, PSUR CPOs)則自2013年迄今舉行過52次。

PSUR之目標，在於確定會員之新機組團隊(特別指運轉員)，已從電廠建造階段之運轉心態(mind-set)，轉換至以核能安全為最優先之運轉心態。同時確定電廠以設立之運轉/維護/品保組織體系能符合商轉電廠之核能業界高標準期待。PSUR所關注的項目，在於觀察電廠各安全相關系統是否已備便運轉，且電廠組織是否將核能安全置於最優先考量。PSUR舉行之時機在第一次燃料裝填之1~2個月前，所有發現之AFIs須於燃料裝填前或初次臨界前改善完畢。

在新機組所發現關於設備可靠度之事件，簡要整理如下：

- A. 數位控制系統故障，導致控制棒異常移動(2014)
- B. 數位控制系統故障，導致蒸汽釋壓閥於滿載功率時異常開啟

(2014)

C. 數位系統調整控制異常，導致鄰近機組於進行SI試驗時異常跳脫

(2018)

D. 未經認證之鎖緊材料導致安全相關設備不可用(2014~2018)

在歷次PSURs所發現關於設備可靠度之案例，簡要整理如下：

- A. 管路安裝使用不正確之工具，導致緊要海水系統管路破管，類似的工法亦同時應用於其它機組。
- B. 施工瑕疵導致安全匯流排喪失功能(Feb. 2018)。
- C. 機組於起動階段，因額外的管路振動導致一條旁通注水管路裂開，壓力容器水位由預期之5.1m下降至4m(Oct. 2017)。
- D. 硼液系統管路焊接瑕疵，導致蓄壓器處發生明顯硼液滲漏。
- E. 於2013~2017年期間，23個新運轉機組中有14個機組於第一個燃料週期發生燃料破損事件，其原因為異物入侵一次側系統(FMI Event)。
- F. 新建機組於進行設備可用性判定及設備異常肇因分析時，考量未盡周全(如未找到異常真因)，導致部分安全注水及發電可靠相關閥不可用。

有關於PSURs經驗探討設備可靠度之總結說明如下：

- A. 於計畫成立初期，包含施工/試運轉階段，電廠單位即應積極參與或關注各項工地活動，而非於系統交接後才開始注意各項細節(Develop Ownership at Very Early Stage)。
- B. 在施工及試運轉階段要求施工單位對於安全相關設備進行額外的實體保護，以避免設備受損。
- C. 要求運轉員及維護部門於施工及試運轉階段參與各項測試及施工作業，藉由實際參與或觀察作業，以學習寶貴的經驗。

- D. 於系統進行正式移交前辦理系統/廠務巡查，以期於正式移交前找到潛在的施工瑕疵。
- E. 訓練一組專責獨立評估安全設備可用性及風險評估之人員，當安全設備故障時，能迅速正確地進行評估及風險掌握。
- F. 訓練一組專責獨立的工程師，用於評估設備故障肇因，及進行設備狀況評估。該組人員能正確解決設備故障後面存在的問題，而非只處理設備異常表面的徵狀。
- G. 數位系統於製造階段須於製造商處進行完整的測試，於現場驗收測試階段時亦須包含完整的設定控制測試。
- H. 數位系統在電廠正式商轉前，應有足夠的燒機(Burn-In)時間。
- I. 運轉員應有能力於喪失DCS系統支援時，利用後備系統完成系統控制。
- J. 在電廠試運轉及商轉初期，應備有一快速反應小組，其成員除運轉員外，亦應包含維護及工程部門成員。
- K. FME部分：
  - a. 當燃料已運抵電廠後，即應建立一有效之防止異物入侵計畫並執行。
  - b. 確保系統管路沖洗已移除所有於施工階段殘存之異物，特別在RCS管路，留意所有的洗出物，並藉以判定是否需要額外的管路沖洗作業。
  - c. 確保燃料所在之廠房，從天花板至燃料池底部均已清潔完畢。
  - d. 確認燃料製造廠家嚴格遵守防止異物入侵計畫。
  - e. 於接收燃料或進行燃料移動時，完整的檢查燃料，並嚴格遵守防止異物入侵計畫。
- L. 設備可靠度計畫於新建電廠計畫開始時即應隨之啟動。
- M. 不適宜或有瑕疵的施工階段，將導致未來機組的不穩定(有時會延遲到數十年後才出現效應)

N. 儘速確定機組的關鍵性組件清單(SPV List)並即早預備因應措施。

a. 在正常運轉時: 監測SPV組件(預測性保養)

b. 於大修期間: 更換關鍵組件並進行功能試驗(預防性保養)

c. 設計變更時: 變更設計, 利用增加重複性設計減少SPV組件數目。

(4) 在PAEC Mr. Farid之簡報中(設備可靠度管理), 提及PAEC對於設備可靠度對應之設備清單係架構於一網路資料庫, 管理者可利用網頁進行組件管理。組件分類原則大致可分為四大項: 1. 單一故障關鍵組件(SPV)、2. 關鍵組件(Critical Component)、3. 非關鍵組件(Non-Critical Component)、及4. RTM組件(Run-To-Maintenance Component), 另由PAEC所示之網頁截圖可以發現, 該資料庫亦整合EQ組件於其資料庫內。有關設備運轉及環境之資料亦一併整合於該資料庫內, 例如設備運轉之Duty Cycle為高或低之判定條件; 以及運轉條件(Service Condition)為不良或一般之判定條件亦列入其中。可以發現PAEC所建立之資料庫與EPRI推行之PM Database分類有類似之處, 系統工程師可藉由事前進行設備分類, 進而對所在位置或運轉條件不同之同類設備訂定不同的維護策略, 避免發生過度維護之狀況。

PAEC對於單一故障關鍵組件(SPV)之定義為: 1. 單一組件故障會導致反應器或汽機跳機, 或2. 單一組件故障會導致機組必須強制停機; 而關鍵組件(Critical Component)之定義則為1. 機組非預期降低功率輸出大於5%, 或功率變化暫態大於5%, 2. 組件故障會導致機組非預期進入須於72小時內離開之LCO狀況, 3. 機組喪失緊要安全功能, 4. 啟動ESAF, 5. 進入半急停狀態, 及6. 其它需電廠管理階層依個案進行決策之狀況。

PAEC並已建立安全或運轉可靠系統之系統健康度季報，現已有15項重要系統開始產出對應之季報，作為管理階層之決策工具。系統工程師藉由維護工作班所提供之資訊進行設備問題分析，並藉由各項改正行動提升整體系統之健康度。

除上述之重要系統外，其餘系統(計有31項系統)亦每月進行系統健康度指標計分，重要的熱效率參數並以每週監測追蹤的方式確保相關系統之運作性能。

PAEC對於預防性保養之實施，主要基於原製造商說明書所建議之維護方法，姊妹廠的運轉經驗，以及管制機關的要求等。有關PM工作排程係由電廠廠內網路自動提醒執行，目前已建立之維護排程，已超過9000項次。另外PAEC的PM除採固定週期執行外，另可依照使用現況，設備運轉經驗，監測計畫結果，以及健康度指標靈活決定適時延長或縮短各PM週期。當電廠執行關鍵工作時，已知友廠之相關運轉/維護經驗將會於工作前蒐集完全，並於工作前被提出討論。

PAEC對於工作管理及監督每日以下列四項會議進行管控：

- A. 每日策略會議:每日由值班經理負責簡報電廠現況，關注議題，及重要測試。每日之風險管控亦列入簡報，並將各機組之風險評估結果進行平行比對。
- B. 每日人員績效改進會議
- C. 每日工作管理篩選會議
- D. 每日機組請修單篩選會議

## 2. 關鍵組件弱點分析(Single Point Vulnerability)

針對本項主題，本次討論會共有2篇簡報，分別由1.CNNP Mr. Jiang 介紹「關鍵組件管理」；及2. INPO-AC Mr. Dubois介紹「關鍵組件弱點管理方案」。

- (1) 在CNNP Mr. Jiang之簡報中(關鍵組件管理)，提及CNNP將單一故障關鍵組件篩選原則區分為下列4項:1.反應器或汽機跳機，2.功率減少超過10%，3.產生未預期之LCO，且不能及時修復之項目，及4.無法線上維修，需要在下次大修前停機處理者。

CNNP對於所有設及SPV之工作均有特別管制，例如每日工作排程有關SPV之項目(PMs、ISI/IST、CMs...)均會於工作名稱前特別加註[SPV]記號。所有適用SPV維護之程序書，工作套件，工作指令等，亦以浮水印於封面打上[SPV]記號，以利工作人員辨識。每日晨會亦會針對當日所有設及SPV之工作進行報告，並討論維護/運轉對策，以抑低運轉風險。SPV相關之設備並貼有醒目紅色標誌，倉庫有關SPV之備品亦貼有對應之SPV專用條碼及標籤。

為了確認各電廠SPV管理是否已上軌道，而非徒有形式，CNNP已於2017年由CNNP總部領軍對於旗下三門、秦山、田灣、福清、海南等電廠進行各電廠初次的SPV成熟度評鑑，評鑑項目包含10大項，並針對各電廠不足之處提出改進對策。

CNNP對於旗下各電廠之設備可靠度管理，自2013年起採用一套自行研發之套裝軟體，稱為設備可靠度管理系統(Equipment Reliability Management System, ERDB)。該系統係採跨廠聯網設計，可同時呈現所有運轉中電廠之運轉參數，除可呈現各電廠之P&ID流程參數圖外，重要設備如直立式高壓馬達，亦採剖面結構圖呈現，可有助系統工程師了解設備目前運轉狀況。該系統亦可連接許多模組，例如

庫存管理、PM、SPV模組等，於進行系統監測之同時，亦可同時了解設備相關備品之庫存狀況。

- (2) 在Mr. Dubois之簡報中(關鍵組件弱點管理方案)，說明了電廠對於單一故障關鍵組件(SPVs)應採取之策略。當電廠已完成SPV之篩選後，對於這一份SPV清單，電廠應確認其完整性，常見之錯誤是未將被動組件列入清單，例如管路及電纜等，而僅將主動性組件，如開關、電路板、電驛等列入考量。

而在確認SPV清單完整後，最優先之工作應為儘量消除SPV組件，藉由變更設計等方式，使該SPV組件於故障時不會導致機組跳機，藉由減少SPV之數量增進機組之穩定性；其次，若無法移除SPV組件，則應思考對策，例如定期更換組件，加強監視等方式，減少組件故障之可能性，該降低風險之策略應持續進行，直到對應之SPV組件可移出SPV清單為止。

### 3. 長期計劃及壽期管理(Long Planning & Life Cycle Management)

針對本項主題，本次討論會共有3篇簡報，分別由1. KHNP Mr. Hwang 介紹「老化管理方案」及2. INPO Mr. Dubois介紹「預防保養與壽期管理」及3. TPC Mr. Kan介紹「由設備及組件維護經驗探討壽期管理之實施」。

- (1) 在KHNP Mr. Hwang之簡報中(老化管理方案)，以KHNP之PWR電廠為例，說明PWR電廠計有40項老化管理方案。KHNP之老化管理方案係奠基於美國NRC所發行之NUREG-1801, "The Generic Aging Lessons Learned (GALL) Report", 與本公司所採用之原則相同；其較不同之點在於KHNP旗下運轉中電廠達25部機組，各電廠間之暨有之程序書在對應新增之老化管理方案時須予以交叉比對，並藉此機會將各電

廠之程序書統一化，避免同一老化機制有多份程序書重複管理，徒增管理之複雜性。

(2) 在INPO Mr. Dubois之簡報中(預防保養與壽期管理)，Mr. Dubois利用圖表簡介設備可靠度流程中6個重要的元素，包含：

- A. Scoping and Identification of Critical Components
- B. Performance Monitoring
- C. Correction Action
- D. Continuing Equipment Reliability Improvement
- E. Long-Term Planning and Life Cycle Management
- F. PM Implementation

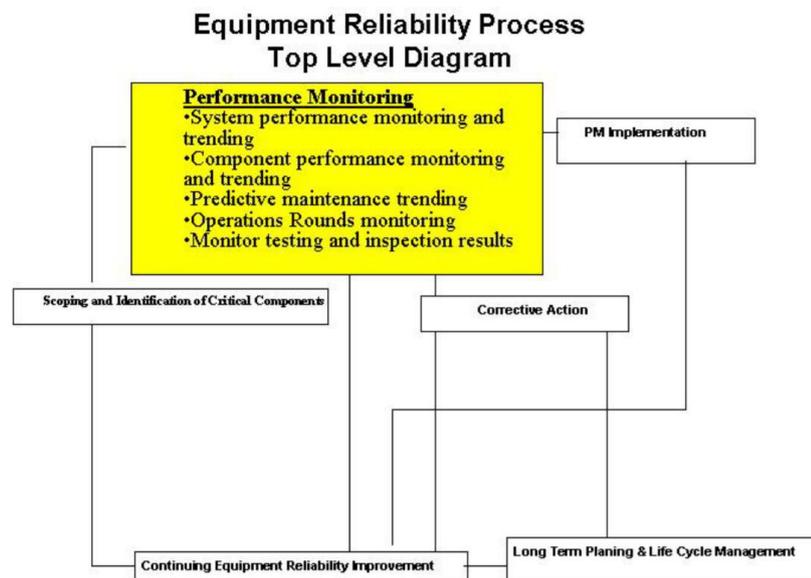


Fig.1 Equipment Reliability Process

其中壽期管理方案(Life Cycle Management, LCM)是一種用來評估電廠主要組件(如主汽機、主發電機、反應器冷卻水泵馬達、緊急柴油發電機等設備)預估壽命之流程，其評估過程包含技術分析、投資及預算分析。

成功的壽期管理方案，應能點出設備維護主要開銷之所在，例如內檢、花費時間成本，以利管理階層藉此評估設備更新與否，及對應

商業及投資獲益之可行性。

- (3) 本公司於本次設備可靠度討論會負責之簡報內容為「由設備及組件維護經驗探討壽期管理之實施」。簡報前段簡介本公司各電廠利用各種線上監測技術，來進行重要設備狀況監測之方法。例如主發電機利用部分放電分析儀，監測線圈絕緣層之劣化現象、光纖振動監視儀用於監测定子線圈之振動頻率及振動量、轉子磁通監視儀用於監測發電機轉部是否發生層間短路之現象；利用極低頻Tan Delta技術，離線對中壓電纜之絕緣狀況進行監測；利用熱像儀對於開關場各連接夾板進行溫度監控，確保傳輸線與各端子之連接狀況良好。

簡報中段部分，則介紹本公司5部機組完成主發電機定子線圈重繞之歷程。簡報詳述各機組如何偵測出設備異常，及管理階層如何利用已有之技術資訊，分析繼續運轉之風險，計算投資獲益之可行性，最後作成決策及後續運轉之狀況。簡報過程並對與會來賓說明本公司於各次線圈重繞過程所遇到之困難點，及最終克服之方法。

簡報最終則以電廠棒位指示系統(Rod Control and Information System, RC&IS)維護所遇之挑戰作為結尾，RC&IS系統由於電子卡片面臨原廠家停產之狀況，電廠維護部門利用有限之庫存品進行卡片維修工作，確保RC&IS系統維持運轉之高可靠性。

#### 4. 預防保養之實施(Preventive Maintenance Implementation)

針對本項主題，本次討論會共有1篇簡報，由NPCIL Mr. Mishra介紹「預防保養之實施」。

NPCIL Mr. Mishra於簡報中對於NPCIL旗下各電廠進行概要介紹，目前NPCIL運轉中電廠計有22部機組(6680 MWe)，其中BWR有2部機，PHWR有17部機組，VVER則有2部機；興建中機組計有4部機，均為PHWR(700 MWe)，並規畫於

2031年之核能總發電量達到22,480 MWe。

有關預防保養之實施，Mr. Mishra在他的簡報中說明週期性的重新檢視現行PM之執行成效是必須的。這樣的定期檢視可藉由對設備運轉參數進行趨勢分析，而得知當初訂定PM計劃時，何處有缺失或未周延。

另外簡報中也多次提到系統健康度及系統監測計畫，一個可靠的預防保養計劃，應善用前述兩項工具，適時對原表定之週期進行調整，若設備一直維持穩定運轉也無組件劣化之跡象，則應考量延長維護週期；反之亦然，若設備頻繁故障或有許多故障前之領先指標已產生，則應檢討這個預防保養是否未能對應所有之故障機制，並重新檢討其維護週期是否過長。

## 參、心得及建議

### 一、心得

此次參與WANO-TC設備可靠度討論會，與WANO-TC各會員電力公司所派代表及WANO-TC、INPO專家共同分享討論，獲益匪淺。與會之各會員電力公司背景均有所不同，以PAEC為例，Chashma C-1於2000年商轉，目前進入第13次燃料週期；C-4則於2017年商轉，目前仍在其第1個燃料週期，預備於2019年3月進行第1次大修，而另兩部機組K-2/K-3則預於2019年3月開始試運轉，相較其它會員電力公司，PAEC所負責的機組均非常年輕，所面臨的挑戰也自然不同。日本各電力公司，KHNP與本公司同樣面臨機組除役及能源政策之挑戰；CNNP及NPCIL則有較大規模之未來規畫。雖然各會員電力公司所使用之設備或有不同，機組年齡與國情也相差很大，但單就設備可靠度此一角度觀察，可以發現各會員電力公司均有持續的努力與改進。過去的預防性/週期性保養(PM)觀念，已逐漸被現今的Condition Based Maintenance(CBM)及Performance Based Maintenance(PBM)觀念所取代，維護週期不再是固定的，而是可調整的。系統健康度指標(System Health)及系統監測計劃(System Condition Monitoring Plan)也已成爲維護部門/系統工程師評估現行維護保養策略是否合宜的工具。大量的運轉參數都已經上網，甚而進行自動化的大數據資料分析及預測，未來的電力公司，將能與旗下電廠有更緊密的連結，也能調整維護策略，使其能適合電廠運轉現況，達成最佳化的目標。

### 二、建議

1. WANO-TC於其設備可靠度簡報曾多次提及，未能找到設備重複故障的真正肇因，而僅對故障表象進行故障排除，將對電廠之設備可靠度造成嚴重衝擊。建議電廠及總管理處在審查電廠相關檢修報告時，應確定真正肇因已被找出，並採取對應肇因之合適改正行動，避免同類型故障重複發生。

2. 此次本公司進行監測技術及壽期管理專題簡報時，Q&A時台下各會員代表發問頗為踴躍，其中NPCIL及PAEC對於本公司發表內容最感興趣，多次問到

發電機定子線圈診斷技術及線圈重繞相關問題，會後並表示本次本公司簡報資料對其幫助極大。由此可見本公司從無到有累積多年之維護經驗及核安文化，實為一寶庫，可做為未來公司轉型之軟實力靠山。建議公司對於具有豐富經驗之專家員工，應妥善辦理傳承，將相關知識經驗轉入電腦或以影片呈現，使本公司累積迄今之知識實力能代代相傳。