

出國報告(出國類別：開會)

參加世界核能發電協會東京中心(WANO-TC)  
設備可靠度工作坊(Equipment  
Reliability Workshop)實體會議

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：陳聰德 核二廠維護副廠長/張益維 核三廠修配組經理

派赴國家：日本

出國期間：112年6月19日至112年6月22日

報告日期：112年7月31日

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：參加世界核能發電協會東京中心(WANO-TC)設備可靠度工作坊  
(Equipment Reliability Workshop)實體會議

頁數 14 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司/翁玉靜/02-23667685

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/核能二廠/維護副廠長/02-24985990-2601

張益維/台灣電力公司/核能三廠/修配經理/08-8893470-2500

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：112年6月19日至112年6月22日

派赴國家/地區：日本

報告日期：112年7月31日

關鍵詞：世界核能發電協會東京中心(WANO-TC)、設備可靠度、Equipment Reliability (ER)、單一故障關鍵性組件、Single Point Vulnerability (SPV)、同業評估。待改進事項、AFI、預防保養、Preventive Maintenance(PM)

內容摘要：(二百至三百字)

台電公司核二廠副廠長陳聰德及核三廠修配經理張益維，奉派參加在世界核能發電協會東京中心(WANO-TC)舉辦之設備可靠度工作坊實體會議。

研討會參加成員包括台灣、日本、南韓、印度、巴基斯坦代表，另外中國核能電力公司、WANO巴黎中心(WANO-PC)、WANO設備可靠度工作小組(WANO I-ERWG)及阿根廷核電公司也派員以視訊方式參與，研討內容包括「設備可靠度相關 AFI 及 OE 分析」、「單一故障關鍵性組件管理」、「設備可靠度執行經驗」等多項議題，一共發表十篇簡報，並舉行 2 次分組討論。會議中，台電公司也發表一篇簡報，主題是核三廠蒸汽產生器性能及可靠度精進(INPO AP-913 之應用)，以本公司經驗與各國核能業界代表相互交流，藉此學習提升設備可靠度之精進作法。

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

# 目 次

	(頁碼)
一、目的 . . . . .	1
二、過程 . . . . .	1
三、心得及建議 . . . . .	1
四、附件：台電公司發表簡報內容：「核三廠蒸汽產生器 性能及可靠度精進(INPO AP-913 之應用) . . .	11

## 一、目的：

- (一) 近年來向世界核能發電協會東京中心(World Association of Nuclear Operators - Tokyo Centre，以下簡稱 WANO-TC)報告的事件中，有 175 件是與設備可靠度相關，這些事件導致了機組急停、停機、進入限制運轉條件(Limiting Conditions of Operations, LCO)、降載、設備洩漏等。而 WANO-TC 同業評估(Peer Review)這幾年來也開立了 25 張與設備可靠度相關的待改進事項(Area for Improvement, AFI)，代表在設備可靠度這個領域，還有許多可以精進的空間。
- (二) 參加這次研討會，可以了解在 WANO-TC 地區之電廠，造成設備可靠度事件(Equipment Reliability Events)的發生原因及趨勢，並分享提高設備可靠度的優良做法。而藉著研討會提供的機會，可以讓所有參與者交流經驗和分享學習成果。透過分享資訊與實際執行經驗，每個參與者都能從中獲得精進做法，將此收穫帶回自己的單位中，將有助於單位內設備可靠度的提升。

## 二、過程：

112 年 06 月 19 日~06 月 19 日 行程（台北—日本東京）

06 月 20 日~06 月 21 日 參加世界核能發電協會東京中心(WANO-TC)  
設備可靠度工作坊(Equipment Reliability  
Workshop)實體會議

06 月 22 日~06 月 22 日 返程（日本東京—台北）

## 三、心得及建議：

- (一) 設備可靠度領域包含許多子項目，諸如設備可靠度程序(INPO AP-913)、系統健康報告(System Health Report)、國際設備可靠度指標(International Equipment Reliability Index, I-ERI)、預防保養與預測保養(Preventive & Predictive Maintenance)、單一故障關鍵性組件(Single Point Vulnerability, SPV，以下簡稱 SPV)、老化與壽期管理(Aging & Life Cycle Management)、維護法規、設備性能監測…等多種項目，本次研討會只有短短二天，無法充分討論各種子項目，故

研討的項目僅能著重少數議題，偏重在 SPV、電廠設備可靠度執行經驗，以下就此二項內容做簡要說明。

#### 1. SPV：

這次研討會提出 SPV 相關報告的有(1) Single Point Vulnerability Management by WANO-TC。(2) Brief of CNNP Equipment Reliability Management (SPV Management) by CNNP(中國核能電力公司)。(3) Single Point Vulnerability (SPV) and Aging Management models by NPCIL(印度核電公司)，加上第一天的分組討論也是以 SPV Management 為討論議題，SPV 的討論佔了此次研討會約三分之一的比重，由此可知業界對 SPV 管理方案的重視。

SPV 的定義是單一零組件故障會立即造成反應器或發電機跳機(An SPV is a single component whose failure will lead to an immediate automatic or manual reactor or turbine trip.)，種類可分成三種：(1)Active SPV：主動式組件，如控制閥、電力開關、泵、馬達……。(2) Passive SPV：被動式設備，如管路 pipe/tubing、熔絲 fuse、桶槽……。(3) Situational SPV：條件式的 SPV，指三選二邏輯，或者四選二邏輯中的一個跳脫信號已經成立，則其於跳脫信號有關設備就變成了 SPV。

由於 SPV 故障產生的後果都相當嚴重，所以核能電廠對 SPV 的管理都不遺餘力。SPV 管理方案第一步就是要找出哪些零組件具最高的風險，排出優先順序以便做風險減緩或消除 (The first step of the SPV program is to identify and prioritize those SPVs of highest failure risk so that these can be targeted for risk mitigation/elimination.)，有四種建議方向可以找出 SPV：

- (1). 研讀以前的跳機報告。
- (2). 審閱同型姊妹廠經驗。

(3). 各重要系統逐一審查，找出關鍵脆弱組件。

(4). 讀業界的跳機分析報告。

通常來說，二次側系統會有較多的 SPV 組件，諸如飼水系統、汽機/發電機系統、EHC 系統、循環水系統、冷凝水系統等等。

篩選出 SPV 組件後，第二步要對 SPV 組件做標示(Labelling)，盡量讓電廠人員很容易的就可以清楚識別哪些是 SPV，如此在設計端、現場工作、備品準備、維護保養週期訂定、性能監測等各種行動都能依 SPV 的規格來對待，以避免 SPV 失效對電廠產生危害。標示的方式有三種：

(1). 現場設備做實體標記 (Physical tags)。

(2). 資料庫做屬性分類 (Database on systems)。

(3). 文件做標記(Document tags)。

第三步是好好照顧 SPV 組件，對 SPV 組件擬定健全的預防保養及維護方案，定期執行性能監測，驗證組件可維持正常運轉，藉由監測並記錄系統性能及重要參數，維持 SPV 組件功能。

第四步是 SPV 組件風險消除(Elimination)及減緩(Mitigation)。因為 SPV 組件的數量是越少越好，所以當識別出 SPV 組件後，可以藉由工程設計、運轉、維護、工作管理、備品庫存管理的方式，來消除或減緩 SPV 組件的風險。例如原先只有一串傳送器，一旦失效就會造成機組跳機，所以該傳送器就被歸類為 SPV 組件。如果可以再增設一串傳送器，則一串傳送器失效還有另外一串傳送器可以作動，那該串傳送器就不會被歸類為 SPV 組件了，這是消除 SPV 組件的一種樣態。

總括來說，SPV 管理方案有四個步驟：篩選→標示→保養/維護/監測→減緩/消除。在這次的會議中，得知日本電廠並未執行 SPV 管理計畫，這點倒是令人出乎意料，因為日本核能發電產業相當成熟，自然很容易讓人產生

應該已執行 SPV 管理計畫的想法。經過互相討論後，了解日本電廠其實也有在執行跟 SPV 管理計畫類似的行動，只是並沒有一套專門的 SPV 管理計畫。台電公司核二廠及核三廠則在民國 90 年代就開始執行 SPV 管理計畫，並發展出一套完整的程序書作為依據，但不能因此自滿，經過這次的學習研討，還是有可以更好的空間。

## 2. 電廠設備可靠度執行經驗：

這次研討會提出設備可靠度執行經驗的有(1) Brief of CNNP Equipment Reliability Management (SPV Management) by CNNP(中國核能電力公司)。(2) KHNP Preventive Maintenance, Equipment Reliability Index, AI Monitoring & Diagnosis center by KHNP(韓國水電與核電公司)。(3) Equipment Reliability Key Actions/Deliverables by PAEC(巴基斯坦原子能公司)，簡述如下：

### (1). Brief of CNNP Equipment Reliability Management (SPV Management) by CNNP(中國核能電力公司)

中國核能電力公司目前有 25 座運轉中機組，11 座機組建造中，此次發表簡報的代表是服務於隸屬中國核能電力公司轄下的核能運轉研究院(Nuclear Power Operations Research Institute, NPRI)，該研究院執行目前中國核能電力公司 25 座運轉中機組之設備可靠度管理工作。

中國核能電力公司個別員工方面，設備工程師和系統工程師合作組成核心團隊成員，加上運轉人員、維護人員、環化人員、技術支援人員及設計改善人員共同互動，一起處理設備可靠度管理工作。另外中國核能電力公司設有設備可靠度委員會，該委員會每月開會一次，著重在中長期設備可靠度議題，其議題種類包含基礎議題(如 SPV 管理、設定

點管理、數位 I&C 管理等)、性能監測議題(如系統監測與健康評估管理、週期測試管理、維護法規執行等)、維護策略議題(如預防保養管理、預防保養資料庫管理等)、長期議題(如老化管理、壽期管理等)、檢測與材料管理議題(如營運中檢測管理、防腐蝕管理等)、備品議題及維護品管議題。

中國核能電力公司發展了一套設備可靠度系統(Equipment Reliability Management system, ERMs)，該系統收集中國核能電力公司 25 座運轉中機組之大量數據，執行 1533 個系統、1577 主要設備線上監測與評估，可應用在設備分類、性能監測、矯正維護、設備可靠度持續改善、預防保養執行及壽期管理。

(2). KHNP Preventive Maintenance, Equipment Reliability Index, AI Monitoring & Diagnosis center by KHNP(韓國水電與核電公司)

韓國水電與核電公司此次的內容涵蓋三項：a. 預防保養。b. 設備可靠度指標。c. 人工智慧監測與診斷中心。

a. 韓電的預防保養計畫包含線上維修、大修、預測保養(Predictive Maintenance, PdM)、營運測試(Surveillance Test, ST)、性能測試(Performance Test, PT)。預防保養計畫執行包含：

(a). 使用 FID(Functional Importance Determination)將設備分類，可依重要度分為 Critical A、Critical B、Minor、No Impact。依 Duty Cycle 分為 High、Low。依 Service Condition 分為 Severe、Mild。再依 PMT(Preventive Maintenance Template)將設備分型式(types)，該 PMT 是



韓電於 2006 年參考 EPRI PMBD 而建立的，電廠工作者會依 PMT 計畫執行 PM 工作，PMT 計畫涵蓋設備維修內容、維修週期、所需備品等。

- (b). PM 計畫回饋(PM Program Feedback)：維護工作完成後，需要紀錄維護前狀況(as found condition)做為調整 PM 週期、PM 範圍、工作程序可否改進等的參考，以健全 PMT 資料庫。
  - (c). PM 計畫評量(PM Program Measures)：依每季 PM 工作執行結果，評估 PMT 成效，例如看看是否有工作超出維護週期 25%才完成，或者是將一些不需要技術評估的工作項目刪除等。
  - (d). PM 計畫也可以被拿來當作預測工作需要的備品數量及何時該採買備品的依據。
- b. 設備可靠度指標：INPO 及 WANO 都各有其設備可靠度指標，INPO (Institute of Nuclear Power Operations, U.S.)的設備可靠度指標適用美國核能電廠，由 ERWG (Equipment Reliability Working Group)修訂，共 17 個指標，包含 7 個落後指標，10 個領先指標。WANO 的設備可靠度指標適用全球各種型式的核能電廠，由 I-ERWG(International Equipment Reliability Working Group)修訂，共 11 個指標，包含 4 個落後指標，7 個領先指標。韓電參考 INPO 及 WANO 的設備可靠度指標，發展了自己的設備可靠度指標，共 13 個指標，其中 5 個指標是韓電獨有。
- c. 人工智慧監測與診斷中心：從 2013 年後，韓電開始發展人工智

慧監測與診斷中心，對於旗下營運中核能電廠重要設備執行遙控監測與診斷。

(3). Equipment Reliability Key Actions/Deliverables by PAEC(巴基斯坦原子能公司)：

巴基斯坦目前有卡拉奇核電廠(Karachi Nuclear Power Generating Station, KNPGS) 及恰希瑪核電廠 (Chashma Nuclear Power Generating Station, CNPGS)，卡拉奇 1 號機組於 2021 年 8 月 1 日，經過 50 年的運轉，已經除役。卡拉奇 2 號機(K-2)、3 號機(K-3) 分別於 2021/2022 年開始商轉。恰希瑪核電廠 1 號機組 (C-1) 、 2 號機組 (C-2) 、 3 號機組 (C-3) 和 4 號機組 (C-4) 分別於 2000/2011/2016/2017 年開始商轉。

巴基斯坦的機組因為比較年輕，在設備可靠度的掌握上還有很多進步的空間，近二年因為設備可靠度的因素曾經造成機組停機及緊急柴油機的不可用性，所以巴基斯坦代表的簡報著重於該公司在設備可靠度領域所欲達成的目標與期望。

巴基斯坦核電廠執行狀況：

- a. 設備可靠度指標：2021 年第 2 季開始採用，恰希瑪核電廠(C-1/C-2/C-3/C-4)機組平均分數落於綠燈區域( $\geq 90$ )，卡拉奇核電廠(K-2/K-3)機組平均分數落於黃燈區域。
- b. SPV 管理：組成 SPV 工作小組、改善找出 SPV 的方式、執行 SPV 組件消除及減緩。
- c. 預防保養：恰希瑪核電廠：2019 年開始執行 PM；從排程、計畫、監測方面做好 PM 最佳化；發展類似設備與系統(similar equipment and system))的 PM 計畫。卡拉奇核電廠：剛開始執

行 PM；已經發展約 8500 項 PM 樣板；從恰希瑪核電廠引用 PM 計畫。

(二) 此次研討會 WANO 方面也有提出報告，在 WANO 績效目標與準則 (Performance Objectives and Criteria, PO&C)2019-1 中，設備可靠度領域分為 4 項：設備績效(Equipment Performance, ER.1)、設備故障之預防 (Equipment Failure Prevention, ER.2) 、長期設備可靠度 (Long-Term Equipment Reliability, ER.3)及材料可靠度 (Materials Reliability, ER.4)。從 2019 年到 2023 年 WANO-TC 設備可靠度相關的 WER(WANO Event Report)中，ER.1 有 414 件；ER.2 有 242 件；ER.3 有 111 件；ER.4 有 6 件。若以肇因來做分類，與設備相關的 WER 件數大於與人為績效(Human Performance)相關、與管理(Management)相關的件數；若以系統(System)及組件(Component)來做分類，閥、閥驅動器、控制器、風門(Dampers)、密封件(Seal)產生的 WER 件數最多；若以 SOER/SER 來做分類，與 SOER 2007-2(Intake Cooling Water Blockage) 相關的 WER 件數最多，與 SER 2005-2 (Weaknesses in Operator Fundamentals)、SOER 2011-1 Rev.1(Large Power Transformer Reliability)相關的 WER 件數次之。從這些數據來看，設備績效領域 (ER.1)產生的事件最多，電廠需要在這方面再精進。

(三) 從 2014 年到 2022 年 WANO-TC 同業評估中所開立的待改進事項(Area for Improvement, AFI)，ER.1/ER.2 分別被開立 11 件 AFI，ER.4 被開立 2 件 AFI，以類別來分，ER.1/ER.2 被開立 AFI 的件數居所有類別裡面的第 7 名，屬前半段，所以必須加強。WANO-TC 有指出一些基本共通的問題(Fundamental Overall Problem, FOP)：

1. ER.1：

- (1).許多反應爐急停、汽機/發電機跳機、降載、進入限制運轉條件(LCO)、重複的事件及設備故障仍然發生，這已經影響了電廠的可靠度，並且會增加核能安全的風險。
- (2).一些未解決的技術議題導致許多安全相關組件的故障，造成機組進入限制運轉條件(LCO)，一些進入限制運轉條件降低了安全系統績

效指標。

(3). 在一些重要的事例中，異常狀況跟指示可能會挑戰電廠安全跟可靠度，但這些異常狀況跟指示並沒有使用嚴格的態度來適當評估或解決。

## 2. ER.2：

(1). 可預防設備故障之系統健康監測及預防保養行動沒有被嚴格執行。

(2). 在長期停機狀態下，老化管理計畫存在缺點，這些缺點會導致安全相關系統故障或不安全運轉。

(3). 對於安全及可靠度有關的重要設備，仍然存在無法預防重複故障的缺點。

(4). 從一些案例顯示，沒有執行重要設備故障的肇因分析，沒有採用適當的矯正措施，導致設備可靠度並未改善。

(四) 在設備可靠度(ER)這個領域，核二、三廠長期在總管理處的監督治理協助下，加上電廠領導階層的管理與基層人員的努力，使得 WANO-TC 在 2018 年 8 月對核二廠、2022 年 8 月對核三廠分別執行同業評估(Peer Review)的結論，二個電廠在 ER 領域均沒有被 WANO-TC 開立待改進事項 (Area for Improvement, AFI)，代表核二、三廠用心提升設備可靠度，盡力維持機組安全穩定運轉的努力獲得肯定。

(五) 台電公司現今核一廠、核二廠都已經進入除役階段，只有核三廠 2 座機組還在營運發電，所以不像中國核電公司(25 座運轉中機組)、韓國水電與核電公司(21 座運轉中機組)及印度核電公司(22 座運轉中機組)將設備可靠度項目特別分離出來管理。中國核電公司、韓國水電與核電公司都有專門負責設備可靠度的單位，印度核電公司電廠內則有設備可靠度團隊(Equipment Reliability Working Team, ERWT)，成員包含運轉、

維護、技術(Technical)、稽核、QA、計畫(Planning)。目前台電公司核能發電事業部並沒有將設備可靠度項目獨立出來管理，所以沒有專人專門處理設備可靠度各項行動。不過如果將設備可靠度的子項目一一攤開來看，台電核能電廠都有在執行設備可靠度類似的項目，例如 SPV、系統健康度指標、增強績效監督指標(Enhanced Performance Monitoring, ePM)、預防保養與預測保養(Preventive & Predictive Maintenance)、老化與壽期管理(Aging & Life Cycle Management)、維護法規、設備性能監測、趨勢分析、營運測試、關鍵組件分類、肇因分析等，所以台灣核能電廠仍能與世界同步，其運轉績效與世界其他核能電廠相比毫不遜色。

(六) 此次會議，巴基斯坦的代表於簡報中提到，WANO 曾派設備可靠度專家到巴基斯坦的 WANO MSM 活動，給予巴基斯坦原子能公司旗下核電廠許多具體的協助，將來台電公司若有此機會，建議也可考慮將設備可靠度議題列為 WANO MSM 的主題選項之一。

(七) 赴國外開會可增廣見聞，加強自身對專業技術涉入的深度及廣度，不但對個人職場生涯增添一番歷練，藉著出國前後行程規劃及食宿的安排，加上開會時與國外人士的互動，可讓開會人員在公務上及待人接物方面都成長不少。本次感謝各級長官給我們這個機會出國參加設備可靠度工作坊(Equipment Reliability Workshop)實體會議，承蒙公司內人資處、核發處及國外機構協助配合，在出國這段期間一切平安順利。本次所獲得之相關資料及經驗，將有助於電廠持續提升設備可靠度，使機組朝安全穩定方向前進。

## 四、附件：台電公司發表簡報內容：「核三廠蒸汽產生器性能及可靠度精進(INPO AP-913 之應用)」



台灣電力公司

TAIWAN POWER  
COMPANY

# Enhancement on Steam Generator Performance and Reliability

I-Wei Chang  
Maanshan Nuclear Power Station  
Taiwan Power Company  
June 21, 2023

## Outline

- About Us
- Steam Generator Operation and Maintenance Issues
- Strategies on Steam Generator Performance and Reliability
- Conclusion



以下簡報略