

出國報告（出國類別：其他）

2015 亞洲核電廠水化學與腐蝕研討會議

服務機關：台灣電力公司核三廠

姓名職稱：陳孟仁 環境保護課長

派赴國家：印度

出國期間：104 年 9 月 1 日～104 年 9 月 5 日

報告日期：104 年 10 月 14 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：2015 亞洲核電廠水化學與腐蝕研討會議

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/陳德隆/ (02) 23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

陳孟仁/台電公司/核三廠環保化學組/環境保護課長/08-8893470~2830

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：104.9.1~104.9.5

出國地區：印度

報告日期：104 年 10 月 14 日

分類號/目

關鍵詞：水化學 蒸汽產生器 汽水騰帶率

內容摘要：

「2015 年亞洲核電廠水化學與腐蝕研討會議」每兩年召開一次，本研討會首次在印度舉行，內容為核電廠水化學及相關核能技術之運轉經驗與新研發技術之發表，參與者除亞洲各核能國家與電廠水化學深具運轉經驗者外，主要是印度國內各研究機構與電廠人員經驗交流來參加本次會議，相關內容對於目前國際核能電廠水化學營運趨勢及相關問題的解決有很大的助益。於本次會議作者也發表一篇有關核三廠清洗蒸汽產生器氣鼓區來抑低汽水騰帶率的論文，並與相關與會人員討論。另外本次舉辦國印度現有電廠共 7 個電廠 21 座反應器，也是核能積極發展國家之一，本次於參加上述會議後依大會安排參訪 Madras NPS（重水式電廠），在參訪行程中瞭解印度在核能工業之技術水準與態度，以期提升自我之能力。

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

目 次

	<u>頁數</u>
一、出國目的	3
二、出國過程	4
三、出國心得	4
(一)前言	4
(二)會議沿革	6
(三)相關論文摘要	6
(四)Madras 電廠參訪心得	11
四、結論與建議	12

一、出國目的：

- (一)、本次以公差身份赴印度清奈參加由印度原子能學會（BARC）主辦的「2015年亞洲核電廠水化學與腐蝕研討會議」目的在於瞭解目前亞洲各國核反應器水化學發展、改善與研發方面的經驗，使促進本國在核能發電之水化學實務上的經驗提升。該研討會為國際性會議，本研討會的前身為「台日水化學會議」，因為在水化學領域有其代表性，遂邀請南韓、中國與印度等亞洲核能國家加入，變成「亞洲核反應器水化學會議」，本次會議是首度在印度舉行。會議論文內容主要為印度核反應器水化學方面的研究，同時亞洲其他參與國家也提供相關論文與會。參與本次會議對於相關資訊的取得並獲取目前先進國家核能電廠水化學運轉經驗與最新資訊，可做為台電公司核電廠水化學營運最適化技術之回饋，對於未來工作與研究的方向具有相當的幫助。在本次會議過程中並與與會人員充份交換實際運轉經驗與研發成果心得，對於未來可能遭遇問題的解決有很大的助益。
- (二) 因應本次會議個人發表一篇有關核三廠蒸汽產生器使用化學清洗氣鼓區來降低汽水騰帶率（**Improve steam generator moisture carryover rate by cleaning steam drum internal sludge**），本篇論文述及核三廠因為發現蒸汽產生器氣鼓區受到大量的淤泥堵塞乾燥器，導致乾燥器功能降低、汽水騰帶率過高，並且由核三廠本身研發清洗程序，來提升蒸汽產生器的熱效率，是一件非常成功的案例，會中有多位參與會議人員對這個題目與結果相當有興趣，也多有討論本議題。核三廠在蒸汽產生器的管理方面績效良好，長期整體電廠的努力可以看到成果，透過發表本篇報告對於提升本公司技術形象相當具有正面性。
- (三) 印度為第三世界的核能發展國家，目前有 21 部核能機組營運中，

雖然營運的核能機組跟我們台灣的不同，但是透過本次參與會議可以瞭解目前印度對核能工業的重視。同時也透過現場實地的參訪，瞭解印度核電站的現況，本次透過大會安排在會議後參訪 Mardas NPS，經由參訪瞭解該電廠環境與現況可作為將來學習與改進目標。

二、出國過程

- 104 年 9 月 1 日 往程及會議報到(桃園→印度新德里→印度清奈)
- 9 月 2、3 日 於 Anupuram 印度核能研究所所在地參加 2015 年
亞洲核電廠水化學與腐蝕研討會議
- 9 月 4 日 參訪 Mardas 電廠
- 9 月 5 日 返程(印度清奈→新加坡→桃園)

出國行程部分，雖然印度清奈還是印度第四大城，但沒有台灣直航的班機，只能去程由首都新德里轉機，回程由新加坡轉機回台灣。所花在搭機與轉機的時間非常久，本次任務僅 5 天，其中有兩整天都是在飛機的路程上。印度機場還算普通，但是在機場外就是一團混亂，大小車爭道導致交通堵塞、沒有禮讓或規則可言，路上到處可見人或牛在散步，就跟旅遊節目敘述的一樣，我們真的很難想像，但還是亂中有序。本次會議大會安排在該研究機構的小鎮舉行，研究中心牆裡牆外差距非常大，在大會期間都停留在小範圍區域內，牆外是比較混亂的主辦單位也不建議自行到外頭活動，不過參加會議的人員都非常友善，也盡可能的跟我們交談，互相瞭解相互的風土民情，整體而言這是個友善的國家。

三、學習心得

(一)、前言：

「亞洲核電廠水化學與腐蝕研討會議」為目前亞洲核能研究組織中一步步達成之研究交流組織，原本該會議為台灣與日本間水化學領域的聯

繫管道，自 1993 年起每 2 年分別在台灣與日本舉行，在 2005 年起加入亞洲國家參與而擴大為亞洲區域會議，其中最主要的是韓國、中國大陸與印度的加入。參與者除各國核能電廠水化學專家外，各國核能技術研發單位與知名之核能技術公司均積極參與該次會議。職 曾於 1999 年赴日本參加本大會，當時在一次側水質控制與輻防管制、二次側水質控制與蒸汽產生器積垢清洗經驗的學習上都吸收不少其他電廠的現場經驗與研發單位的研究成果，也在會議結束隨後在核三廠我們開始發展蒸汽產生器積垢清洗程序與高級胺類（乙醇胺）的添加等，均成功使用於現場，而且符合預期效果並順利解決問題，這都是提升本身的技術能力的印證，所以在參加本次會議前的確令人期待。

本次會議職 發表一篇有關核三廠蒸汽產生器使用化學清洗氣鼓區來降低汽水騰帶率（**Improve steam generator moisture carryover rate by cleaning steam drum internal sludge**），核三廠自從在 2004 年蒸汽產生器歷經支撐管板堵塞四頁孔流徑造成水位晃動問題，嚴重到需要降載運轉來維持水位的穩定。經過自行的研發與近 10 年的努力，在蒸汽產生器的維護技術已經成熟，但是卻又發現氣鼓區的汽水騰帶率過高的問題，也經過技術小組的努力，成功發展新技術來解決這個問題，所以本篇論文的發表也展現本公司核三廠的技術能力。這對提升台電公司的國際形象與技術能力是有正面的助益。

由於台灣是這個組織的原始成員，本次首次在印度舉行，參與亞洲國家的人員均不多（相較前幾次在台灣、日本、南韓舉行會議參與的人員）為了維持台灣對於本會議的重視，職與工材所陳博士代表台灣參加本次大會，也算是我國對於核電廠水化學研究議題的重視。印度對我而言是個神秘國家，印度電廠的環境也讓我非常好奇，藉由大會安排在會議結

東後參訪鄰近的 Mardas 電廠，希望能看看他人的工作環境與工作態度，並學習如何在崗位上為核能安全與績效，追求最大的效益。

(二)、會議沿革

本次2015國際核反應器水化學會議由隸屬印度政府的原子能學會(BARC)舉辦，於9月2日至9月4日間在印度清奈旁的小鎮Anupuram舉行（該位置為BARC研究中心所在地），與會人員與論文發表如下表與附件。

參加國家	日本	台灣	韓國	德國	印度
人數	5	2	5	2	約100

本次會議為一傳統的國際性會議，自1993年在台灣首次與日的台日水化學會議起，每隔2年交換在台灣與日本間舉行。一直到2005年韓國加入並更名為亞洲水化學會議。以本次論文發表的方向來看，日本自福島事件後目前核能發展受到限制，本次日本發表一篇論文有關「福島事件後水化學研究方向」另一篇則是BWR電廠IGSCC的相關研究，另外韓國部分則是由研究機構參加發表的論文與核燃料棒次冷狀態的研究，中國大陸沒有人參加但是提供一篇論文，有關中國目前水化學研究方向，特別的是中國為下一屆的亞洲水化學會議主辦國卻沒有與會，僅以錄音檔案方式在現場播出，參與本次會議人員也都不是電廠相關人員，還是研究機關人員頗為神秘，甚為特別。我國參加人員是工材所陳博士與本人與會。

(三)、相關論文摘要

以本次發表論文內容來看，主要還是印度當地的研究與運轉經驗，與

本廠或友廠（核一、二廠）相關甚少，另外多數內容較傾向於基礎研究，相對電廠實務經驗的分享較少，個人印象較為深刻且與核三廠營運較為相關的論文整理如下共4篇。

(1) 建立蒸汽產生器（SG）的維護管理策略：

歐洲Areva公司一直在核工業中有相當的研究，本次會議職務為亞洲區經理的 Christoph Stiepani先生發表一篇有關蒸汽產生器的維護策略。本篇內容比較像是推銷他們在維護蒸汽產生器整體上的能力。

對於SG維護的策略分成三個部分：第一是控制量測，透過長期水質的分析、SG內部檢查的結果、評估SG熱效率後綜合計算出SG內熱交換管的積垢指數（Fouling index），可用量化積垢指數並評估如何進行矯正措施。第二部分是矯正量測，意思是當積垢指數不佳時該公司可以透過機械的（水柱沖洗）或化學的（Deposit Minimization treatment）方法來移除熱交換管上的積垢物。該公司使用在化學上的清洗是草酸與本廠目前使用的EDTA不同，據作者論述，草酸使用在蒸汽產生器的清洗方面有以下的優點：

- 對碳鋼腐蝕率低
- 對S.S、Inconel無腐蝕性
- 未使用具微毒性的化學物質(N₂H₄)
- 沒有氨的釋出
- 廢水容易分解

第三個部分則是預防性的處理，使用CHEMBAL程式來計算最佳化的酸鹼控制，另一較特別的技術是Film-forming Amine（FFA）添加該

物質可以讓積垢物不易停留在支撐管板上。這是一個新的作法值得我們繼續瞭解。

附註：由論文內容我瞭解國外對於SG重視的程度不是單一方面，而是需要全方面的考量，整體SG的狀況如何瞭解，當SG狀況不佳時如何處理，當處理後恢復應有的效率後，就需要預防再發生，非常全面化的考量，在這個議題部分讓我瞭解我們的不足。對於該公司的清洗技術或是新開發的FFA技術都值得我們持續追蹤瞭解，如此我們持續精進。

(2) 高溫環境對不鏽鋼系列表面的除污研究

對於印度電廠與西方世界設計不同而多為重水式反應器，所以使用的材料一般都為鐵基的不鏽鋼系列，這篇論文敘述了對一般碳鋼的表面除污很容易達成，但是對於不鏽鋼材質因為有添加鉻金屬使在表面形成穩定的鉻氧化物（這是不鏽鋼的抗蝕原理），故而對於不鏽鋼材表面欲進行除污時反而有其困難。該研究指出使用5mN NTA+10mN N_2H_4 在 160 °C 能有效移除表面鐵氧化物，而且NTA比起EDTA在高溫下更為穩定。

附註：我們常會在系統中遇到不同的材質，又需要進行表面的除污才能降低污染使其可以送修、改善現場環境等等。有很多種不同的配方針對不同的材質、溫度、水質環境而改變，這篇論文讓我們加了一個選項，如果有需要的話，這個配方可以試試。（註：NTA：Nitrilotriacetic acid $N(CH_2CO_2H)_3$ 氨三乙酸）

(3) 中國核工業化學現況

中國目前共有23座反應爐運轉中，也有26座反應爐興建中，目前非常積極在核工業的建設中。這一篇論文的作者並未出席本會議，而是

由錄音檔播出發表內容，還蠻特別的。

論文的重點是目前中國水化學方面的研究重點，概述如下：

1. 加鋅水化學的研究：在一次側爐水中加鋅已經證實可以降低整體的輻射劑量，但是對於燃料的影響仍然需要進一步的研究。
2. B^{10}/Li 的控制：以前的經驗都是針對一般天然硼(B)與鋰(Li)間的濃度比例來調整pH值，目前研究使用高豐度 B^{10} 來取代天然硼作為中子吸收劑，所以 B^{10}/Li 的控制也需要研究是否有變動的可能性。
3. 乙醇胺的研究：在二次側系統高pH值證實可以有效抑低FAC的問題，但是單純的添加聯胺或是使用氨水來調整pH值是無法在液相中達成上述目標的，目前使用最多的乙醇胺可以改善pH值的控制狀況，也是目前的研究重點。

附註：上述中國大陸的研究重點，看似重要其實大部分在多年前國際間就有相當多的研究在進行了。鋅或是乙醇胺的添加至少15年，目前核三廠早在10年前就開始添加乙醇胺而且效果良好，加鋅的部分也有大量的文獻報告支持，雖然有其他的疑慮（燃料部分），這方面的研究也非常齊全，再者 B^{10}/Li 比例控制部分也不困難，很難想像上述三個重點是目前中國在水化學方面研究的重點，或許是發表人單純的想法吧。

(4) Kudankulam電廠(VVER)水化學經驗

在相對西方世界的PWR電廠，在蘇聯俄羅斯的發展下幾乎概念相同的為VVER式的電廠。該電廠一號機2013年才正式商轉，二號機則是預定2016年商轉所以相關的水化學經驗並不豐富，但我們可以參考一下。在一次側方面在運轉初期添加KOH來調整pH值，在爐心功率運轉

下硼會和中子反應形成Li和氦核，這個Li就可以自己來調整pH值了，其他都類似PWR電廠有溶氧、溶氫的控制，但是雜質成分相當高達到（Cl⁻:5ppb SO₄²⁻:2ppb）這種狀況可能是剛商轉還沒經驗，否則實在不是很好的水質環境。

在二次側部分使用聯胺約20ppb來除氧，再由氨水（NH₃）控制pH:9.4~9.6，現有水質環境飼水鐵:3.5ppb，CPD DO:5~10ppb。但是曾有發生有樹脂侵入系統造成硫酸根偏高的現象最曾達160ppb，目前經過淨化後維持在10~15ppb。整體來說在二次側雜質離子仍偏高如下圖所示，實在不很好。

Parameters	Specified Limit	Observed Values
Chloride (µg/kg)	<50	34
Sulphate (µg/kg)	<50	10
Sodium (µg/kg)	<100	13

Tab.-3: SG Blow down Water Chemistry Parameters

back to the steam generators. SG purification systems were kept in service throughout full power operation of the unit and chemistry parameters such as Cl⁻, SO₄²⁻, Na⁺ etc were well maintained. [Fig.-6]

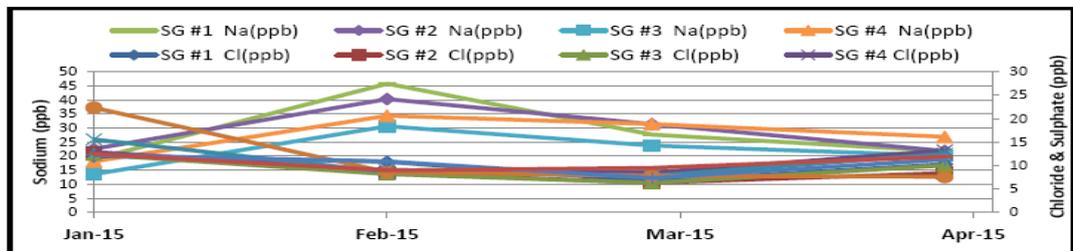


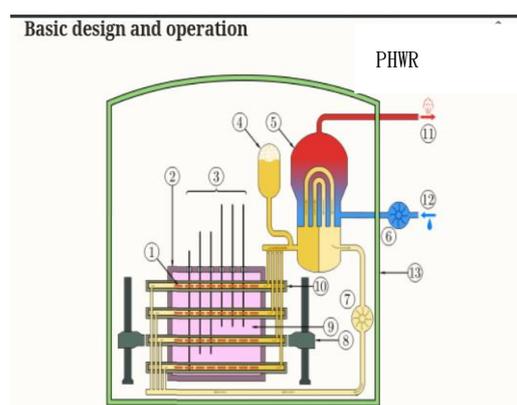
Fig.-6: Cl⁻, SO₄²⁻ & Na⁺ Vrs. Time in SG water

附註：VVER電廠相當類似PWR電廠的設計，但是我們沒有這方面的經驗，在比較兩者間的水質控制程度，應該說這是個新的電廠，但是還沒有發揮應該有的水準，在水質控制這一部份距離還很遙遠。本次會議大部分都是印度當地的研究人員或電廠的發表，參考性質居多。

(四)、Mardas電廠參訪心得

本次大會安排於會後參訪鄰近會議區域的Mardas電廠(因為研究中心設於此地)，該電廠是印度第一座核電廠是壓水式重水反應爐(PHWR)，共有兩部機，發電量設計為220MWe，目前因為部分設備故障兩部機均只有發電量177MWe。該電廠位於鄰近，路程只要20分鐘，可以瞭解因為是第一座核電廠所以相關的研究中心也設在附近。

進入該電廠管理非常嚴格（應該也是印度電廠的標準），在進入之前領隊就多次告訴我們（尤其是國外訪客）禁止帶通信設備與攝影器材，果真進入第一道門就有非常嚴格的搜身檢查，與查對護照，有一位韓國人因為以觀光護照進入印度（我們其他人都是以會議簽證進入印度），所以就禁止進入該電廠。電廠一道門距離主警衛室相當的遠，主警衛室門口有駐軍（或警察）設有機槍堡壘相當森嚴，因為如此我無法取得相關電廠的實際照片。



進入核島區後先安排訓練中心的簡介與參觀「電力展示館」內有該反應器的介紹原理與組件可觀賞。帶領的人員非常熱心盡可能的解答我們對於該反應器的問題。原本我瞭解重水式的反應爐是屬於加拿大

發展（重水的緣故），原來印度大部分的電廠都是這個類型，可惜的是發電量太小兩部機的發電量僅有核三廠一部機1/3的能力。

接下來帶領我們參觀進水口，特別的是該進水口設置在離海500公尺處，由地下隧道連通海水進入電廠，泵室設置在汽機廠房旁。這樣的設計可能是當時擔心海水造成泵室的損壞（註：該電廠位置在印度東南方，南亞海嘯時也曾造成淹水傷害，但是對於爐心的安全卻無損傷。）接下來是汽機廠房與連通的控制室，汽機廠房非常簡單發電機與汽機的尺寸都很小，比較特別的是控制室是一個空間兩部機在一起。

最後是生水系統，該電廠使用逆滲透方式由海水製造生水來使用。整體來說電廠很小，但是經過詢問整個電廠有大約800名員工，人多的國家一般都會有這種現象，每個工作的進行都有很多人，可是效率可能差一點，不過這就是民族性，我們應該身以為戒，做有效率的事。

該電廠是個老電廠(1983年商轉)，在原始設計的情況下要做大的改變有先天的限制，廠房有保持一定的清潔水準，工作人員也有紀律的進行作業，其餘更細節的作業情形在短時間內無法瞭解，整體而言還算有起碼的水準。

四、結論與建議：

在論文發表會場中，論文當然是重頭戲，在眾多的論文中大部份都是印度電廠與研究機構的經驗，由於與台灣或亞洲其他國家的不同，論文本身有參考性但較無直接關連性。參加會議的各國成員為維持本會議的延續性，均派員或發表相關論文，可以理解的本會議輪流在各國舉行，同時也可以鼓勵該國家的人員來參與、瞭解其他國家的現況，這是個資訊方便取得的時代，但是人與人面對面的接觸，留下聯繫方式更是能提升整個研究、經驗分享的效率。

印度是個核能發展中的國家，研究單位作的雖然是基礎性的研究，但是從事的人眾多，年輕人有活力、熱情分享，政府的態度積極支持。或許管理還需要加強、研發還需要深入、整體而言是個上昇發展的核能環境。

此次是本人進公司的第六次公差出國，比較前幾次的日本、韓國與法國，深刻感覺到整個國家對核能發電的重視性，日本的核能發電在福島事件後受到限制，近年來類似會議日本的研究發展也看到萎縮。韓國近年積極繼續核能政策，也對外輸出，在會議中的文獻報告漸漸增加。目前在電廠營運方面我們仍具競爭力但成長緩慢，反觀韓國、中國機組設備更新、人員向心力高，蓬勃發展的氣氛一方面令人值得學習，另一方面也令人擔心本國核能工業與世界的脫節。個人整理建議如下：

建議一、積極參加國際性會議

對於台灣的核能工業而言研發還是在追隨外國經驗，本次會議的舉行我個人深感獲益匪淺，當然我們努力與成長的空間仍很大，面對核能界日益受到質疑的同時，我們更應積極的對於促進核能安全的努力的研究發展作努力，國際性的會議是一個吸收資訊的好地方，第一手的資料及各電廠的經驗談，比起由期刊報告來得更詳細與正確。

建議二、積極與審慎的進行技術提昇

在開會的過程中可以收集大量的文獻，依據文獻內容有相當多的作法可作為日後我們控制與處理模式，但是不盡然全都是可用在電廠中，有些技術是實驗室級，並未考量電廠的實際狀況，但大部分發表的文獻如各電廠的經驗或實用於電廠的控制模式，是值得學習的。一般來說，台灣目前的技術仍落後先進國家有段差距，藉著國際性會議內容，積極與審慎的態度來進行評估與執行，是正確且需要立刻進行的。

建議三、廠房管理與環境規劃

為了機組的延壽計畫，日本、韓國電廠已充分更新設備，雖然有30年運轉經驗的電廠，但環境規劃仍具相當水準，個人覺得日本、韓國

電廠的廠房整潔度都有一定的水準，這是目前本廠可藉鑑的地方。乾淨且標示明確的工作場所令人可以放心的投入工作，這對工作的品質是間接的關係但是卻是重要的。

建議四、妥善運用及規劃人力

在參訪過程中認識一些參與會議人員，感覺上他們的工作專業性很高，自信與謙虛是我們學習的地方，如何讓員工對於自己的工作項目認同且感覺自己的重要性，是讓整體工作品質提升的動力，比較其學經歷其實本國工程師與技術員的素質並不比他們差，如果能透過小組合作與交叉討論更能提升營運績效。