

出國報告（出國類別：實習）

**赴美國 ASME SEC III & XI
及
渦電流檢測查核訓練**

服務機關：行政院原子能委員會核能研究所
姓名職稱：陳國英、林東威、胡弘昌/副研究
員、助理工程師、助理工程師
派赴國家：美國
出國期間：97年9月7日至97年9月21日
報告日期：97年10月21日

摘 要

AREVA NP Inc.為國際間商用核能設施設計、製造業領導公司之一，其位於美國林奇堡（Lynchburg）之訓練中心，專責提供該公司員工及國際核能業界 ASME 法規相關核能組件檢測、修理、及維修之訓練課程。本次赴美國進行課程研習，內容主要包括 ASME SEC III & XI 訓練課程、SG Eddy Current Inspection QA Surveillance 及參觀 AREVA 之檢測設備與模擬訓練或驗證用組件試塊。另於受訓期間與講師溝通美國核能界行之有年的人員考訓制度，此部份制度為評估檢測不確定度重要的一環，且國內不易取得相關資訊。在訓練期間不但能接觸先進的儀器設備，並與相關領域專家共同討論運轉中電廠管制經驗與人員資格認證制度等議題，對增進本所監查員之本職學能，及提昇本所支援原能會之管制能力皆有實質幫助。

目次

一、目的	4
二、過程	5
三、心得	13
四、建議	14

一、目的

此行至美國參加 AREVA NP Inc.舉辦之訓練課程 (Proposal ONS08-2183.0)，受訓目的說明如下：

1. 核能研究所為國內唯一經原子能委員會依據「核子反應器設施監查工作範圍及監查機構認可辦法」核發認可證書，參照美國 American Society for Mechanical Engineering (ASME) 法規執行核能電廠興建及運轉期間第三者獨立監查作業之監查機構，依規定監查機構之監查員必須持續接受再訓練以提昇監查作業品質。本所除所內訓練外，亦不定期指派監查員出國訓練以吸收最新管制資訊。
2. 近年來國內沸水式機組(核一、二廠)反應爐管嘴異材金屬銲道陸續檢測出應力腐蝕龜裂，壓水式機組(核三廠)調壓槽管嘴異材金屬銲道亦有潛在之龜裂問題，相關之核能級異材金屬管路銲道覆銲及預覆銲技術對國內仍屬於較新技術，亟需了解國外製造及管制經驗。
3. 核三廠於近幾次大修執行渦電流檢測時，已發現蒸汽產生器管端瑕疵有增加之趨勢，為避免影響機組之運轉，核三廠已開始執行蒸汽產生器修理/更換作業之評估。由於蒸汽產生器渦電流之檢測品質及依法規覆銲修理/更換作業，皆須參照 ASME 法規之規定由監查機構指派監查員全程監查並簽署法定資料報告(NIS-1/2, Data Report)，監查員對國外相關管制技術需進一步了解。

面對未來更形複雜之電廠大型組件修理/更換作業，本所一方面充實技能以支援原能會做好管制工作，另一方面以再訓練持續提昇監查工作重點技術能力。本次訓練課程即為 AREVA NP Inc.應本所要求將原有 ASME 訓練課程 ASME-300 及 ASME-301 加入 SG Eddy Current Inspection QA Surveillance 相關訓練濃縮而成。

二、過程

- 97年09月07日~09月07日 去程（台北—洛杉磯—夏洛特—林奇堡）
- 09月08日~09月19日 於林奇堡參加 AREVA NP Inc 舉辦之 ASME and SG Eddy Current Inspection QA Surveillance 訓練課程（13日至14日週末資料整理）
- 09月20日~09月21日 回程（林奇堡—夏洛特—拉斯維加斯—洛杉磯—台北）

本次 ASME 課程部份由 John W. Langdon(現任 AREVA 公司 Principal Specialist RT Level III) 擔任講師，由於受訓人員皆為本所合格監查員，且已在運轉中電廠實際執行監查工作，本次訓練課程定位為合格監查員之再訓練，對於 ASME Code 條文部份僅說明整體架構並複習核能一級組件 NB 相關章節，課程安排主要偏重於實務應用、法規解釋及執行經驗分享。SG Eddy Current Inspection QA Surveillance 課程由 Wanda E. Brooks-Crocker（現任 AREVA 公司 NDE Certification Administrator）擔任講師，課程內容除複習渦電流檢測基本原理外，最重要的是說明實務上查證工作的重點。

除了原定訓練內容外，於訓練期間另與講師溝通增加 American Society for Nondestructive Testing (ASNT) CP-189 及 SNT-TC-1A、Performance Demonstration Initiative (PDI) 及 Qualified Data Analyst (QDA) 制度簡介等議題。

1 ASME Boiler & Pressure Vessel Code SEC III & XI 訓練課程

講師首先從核能產業界建廠需求切入 ASME SEC III 之應用說明，在完成製造階段工作後之營運前檢測及測試即開始適用 ASME SEC XI 管制規定，而在營運期間組件修理更換管制則需同時考慮 SEC III & XI 規定（但由 SEC XI 主導）。在說明完應用需求及快速複習 ASME Code SEC III 及 XI 重要規定後，講師以實例練習帶領學員練習 Code 應用，藉由實際動手翻查及應用不同年版 Code 條文，使學員熟悉應用之重點。而在課程結束前，講師以”TMI Steam Generator Hot Leg Replacement”修理更換工作完整實例作為串連 ASME Code SEC III & XI 實際應用總結，說明 Code 工作之考慮

如下：

- 設計需求包括
 - 使用原始建造法規（Original Construction Code）或其他法規（需要做 Design Reconciliation）
 - 識別出需處理的次要組件（如彎管段、直管組件、支管及銲道位置）
 - SEC II（材料）之 NDE 檢測
 - SEC III 之材料要求、設計要求及銲道檢測要求
 - 不同年版的 SEC II 與 SEC III 要求之核對調解（Reconciliation）
 - SEC XI 要求（如 PSI 及 ISI 之檢測要求）
 - 設計是否已考慮（accessibility）要求，10CFR 要求 100%銲道或組件需可執行檢測工作
- ASME SEC II 材料需求
 - 使用原始設計材料或新材料（一般都使用 A690 取代 A600 材料，且用 Inconel 52 取代 Inconel 82/182）
 - 每塊材料皆需分別符合 SEC II 要求
 - 合約是否有額外要求
- ASME SEC III 製造需求
 - NB-2530 – Examination and Repair of Plate used for piping, pumping, and valves
 - NB-2550 – Examination and Repair of Seamless and Welded (without filler metal) Tubular Products and Fittings
 - NB-2540- Forgings 要求
- ASME SEC III 安裝需求
 - NB-4250- Welding End Transitions
 - NB-4424.2 – Preservice Examination
 - NB-4450 – Repair of Weld Metal Defects
- 檢測需求
 - NB-5130- Examination of Weld Edge Preps

- NB-5210 – Longitudinal welds shall be volumetrically and surface examined
- NB-5222 –Piping Weld Joints shall be volumetrically and surface examined
- NB-5242 – Full penetration butt welds in nozzles, branch, and piping connections shall be RT and surface
- NB-5272 – Weld metal cladding shall be PT examined
- NB-5280 – Preservice Examinations
- NB-5300 – Acceptance Criteria
- NDE Personnel Certification Requirements
- NB-6000, Testing

上述架構提供一 Code 組件修理更換案之一般性考量，可部份修改再應用至各種不同之 Code 組件修理更換情形，值得國內核能業界參考。

2 參觀模擬訓練或驗證用設備或組件試塊

AREVA 公司提供核能業界組件設計、製造及檢測服務，以 mockup 確認工作的可行性對其相當重要，通常業主也會要求展示其設計之可行性，因此在其訓練中心可看到許多驗證用組件試塊或 mockup，講師帶領學員參觀各式組件 mockup 並分別說明其特點，現場情形如下：



講師以厚鑄件管材說明 ASME 材料要求



講師以異材銲接管材說明表面處理及檢測要求



各型燃料束 mockup 用來練習不同電廠
燃料束吊換工作



PWR 反應爐頂蓋 mockup 用以驗證 Control
Rod Drive Mechanism (CRDM) 檢測技術

除此之外，受訓期間也參觀了 AREVA 公司渦電流檢測服務專用拖車及 Phased Array UT CRDM 檢測技術（非正式技術名稱），渦電流檢測服務專用拖車由大型拖車改裝，內部空間相當寬敞舒適，其電腦設施應可供應超過 14 人同時進行訊號分析工作，透過網路服務全世界客戶；Phased Array UT CRDM 檢測技術為測試中之檢測技術，研究人員展示了測試中的校準訊號及部份檢測訊號，並與本所學員交流訊號分析心得。

3 SG Eddy Current Inspection QA Surveillance

課程主要內容包括下列：

- Typical Eddy Current QA Surveillance Checklist

以 AREVA 自訂之 QA Surveillance Checklist 說明 QA 工作查核重點考量，由於 AREVA 公司是美國許多運轉中電廠的渦電流檢測服務供應商，自我查核太偏重檢測技術細節設定，因而要求加快此部份課程，並另請講師增加 EPRI

Qualified Data Analyst 計畫（簡稱 QDA）說明。

- **U.S. Industry Requirements**
包括 ASME Code 要求、American Society for Nondestructive Testing Guidelines (CP-189, SNT-TC-1A) 及 Pressurized Water Reactor (PWR) Steam Generator Examination Guidelines。
- **AREVA Written Practice for Personnel Qualification in Eddy Current Examination**
詳細說明 AREVA 公司渦電流檢測人員考訓制度，包括各級檢測員訓練要求、經驗要求、檢定要求、檢測員責任及證照管理。
- **AREVA Procedure for Multi-Frequency Eddy Current Examination of Tubing**
詳細說明 AREVA 公司 Tubing 多頻渦電流檢測程序。
- **Typical Examination Technique Specification Sheets (ETSS)**
ETSS 為統一的參數設定資料表，EPRI 為各種特定檢測制訂出統一的 ETSS，使用者可確保檢測的不確度在合理的範圍內，講師以幾種典型的 ETSS 說明一般參數組合。
- **Typical Steam Generator Eddy Current Training Manual**
以 AREVA 標準訓練教材複習渦電流檢測理論及常用渦電檢測技術。
- **AREVA Remote Analysis Guidelines**
主要說明 AREVA 公司遠端分析之規定，包括遠端分析室之儀器使用規範、分析員職責及工作要求、校準要求等。
- **Eddy Current Data Review**
以現場檢測訊號說明渦電流訊號判讀重點，此部份講師提供包括校準管訊號、抗震棒振動磨耗管壁訊號及 Loose Part 等檢測訊號檔案供學員練習判讀技巧。

4 PDI 制度

美國 Nine Mile Point 核電廠於 1981 年執行大修例行管路銲道超音波檢測，發現合格之超音波檢測技術未能檢出穿管晶間應力腐蝕龜裂（through-wall intergranular stress corrosion cracks (IGSCC)）。此一事件引發管制單位對核電廠維護技術的疑慮，要求各電廠需增加檢測頻率、增加檢測人員訓練及認證要求，並且承諾致力開發新超

音波檢測技術提昇檢測能力。這些管制要求促進了超音波檢測技術的發展，並構成後來的 ASME Section XI, Appendix VIII(超音波能力驗證要求)。美國電力研究所(EPRI) 主導之 Performance Demonstration Initiative (簡稱為 PDI) 計畫則提供了一個符合 Appendix VIII 規格的超音波檢測技術認證制度，在管制單位強烈要求下，美國境內核電廠已全面執行 PDI 制度 (規定於 10CFR50.55a)，此一改變對後續之核電廠維護與管制技術產生重大影響。

PDI 制度包括檢測技術、儀器及人員之驗證檢定，檢定項目則包括瑕疵偵測 (Detection)、長度評估 (Length Sizing)、深度評估 (Depth Sizing)；檢測科目主要分為 Piping Welds 及 Vessels 兩大分類整理如下：

- Piping
 - Supplement 2 – Wrought austenitic
 - Supplement 3 – Ferritic
 - Supplement 8 - Bolting
 - Supplement 9 – Cast austenitic (being prepared)
 - Supplement 10 – Dissimilar Metal
 - Supplement 11 –Overlay
 - Supplement 12 – Coordinated Implementation
 - Combined Supplement 2 & 3
- Vessels
 - Supplement 4 – Clad/Base Metal Interface Region
 - Supplement 5– Nozzle Inner Radius
 - Supplement 6 – RPV Welds other than those under
 - Supplement 7 – Nozzle to Vessel Weld
 - Supplement 13 – Coordinated Implementation
 - Combined of several Supplements

各檢定科目皆有嚴格的應用限制，通過檢定之檢測員必須了解其證照之適用範圍，例如通過管路內表面瑕疵檢測之證照將不適用於管路外表面瑕疵檢測，如現場需要檢測管路外表面瑕疵，需另外準備程序書及檢測試塊重新檢定；又例如通過自動超

音波檢測檢定之檢測員不適用執行現場手動超音波檢測。2004 年版以後的 ASME Code SEC XI 除了人員及儀器的驗證要求外，尚包括檢測程序書驗證的要求。

5 QDA 制度

蒸汽產生器 (SG) 為 PWR 之重要組件，為確保其內部各管段之完整性，各電廠皆使用整合機械手臂之渦電流檢測系統進行檢測，然而因系統組成較為複雜，各檢測儀器製造商規格又不一致，使用不同的儀器、設定及判讀人員是否可達到一致的檢測品質？如果無法確定檢測的有效性，如何能確保此一重要組件的運作安全。美國核能業界很早就注意到此一問題，為確保有一致的標準及可靠度，Nuclear Energy Institute's Initiative (NEI) 97-06, Steam Generator Program Guidelines, 提供業界一個蒸汽產生器管檢測作業標準，並由各 PWR 電廠業主承諾遵守，與 EPRI 共同合作成立 Qualified Data Analyst 計畫 (簡稱 QDA) 加以執行。

EPRI 分析美國各種 PWR 電廠 SG 設計及損壞機制 (例如因抗振棒震動磨耗或 PWSCC 龜裂)，評估使用合格程序書、儀器及 QDA 進行檢測之可靠度並建立「EPRI PWR Steam Generator Examination Guidelines」導則，要求會員需強制執行此一導則以確保蒸汽產生器檢測工作之品質。由於此制度可降低檢測不確定度至合理範圍 (根據評估)，儘管各會員聘用不同之檢測公司進行檢測，仍可保證其檢測品質足以互相比對，因此目前已成為美國 PWR 業主共同遵守的制度。EPRI 並進一步收集各電廠之渦電流檢測訊號加以分析，並將各種損壞與未損壞之檢測訊號評估後整合至資料庫中，建立一標準之 Performance Demonstration Database (簡稱為 PDD)，其會員可透過購買 PDD 使用權或通過外包服務檢定自己的檢測員 (通過檢定之渦電流檢測員亦被稱為 QDA)。

「EPRI PWR Steam Generator Examination Guidelines」目前最新版本為今年剛生效之 Rev 7。與過去版本最大之差異主要如下：

- Rev 7 以前版本之 QDA 有效期為三年，每三年 QDA 需再重新檢定，從 Rev 7 以後之 QDA Certification 永遠有效，除非 EPRI 發佈新的損壞機制，並規定在一定期間內重新檢定。

- Rev 7 將蒸汽產生器管之超音波檢測 (UT) 也納入檢定，而不只限定用於渦電流檢測技術，同時 PDD 亦加入 UT 檢測訊號檔。

事實上，由於業主有強制遵守「EPRI PWR Steam Generator Examination Guidelines」的要求，受訓期間 AREVA 正在訓練第一批蒸汽產生器管 UT 檢測員，由於 AREVA 公司購買了 EPRI PDD 使用權，訓練完成後即可使用 PDD 自行檢定 UT 檢測員，使其能維持與其他服務供應商競爭的優勢。

「EPRI PWR Steam Generator Examination Guidelines」要求一個檢測團隊需分為 Primary 及 Secondary QDA、Resolution (也可以分為 Primary 及 Secondary) 及一個代表業主之 Independent QDA (IQDA) 組成，這表示一個不需輪班的最少量需求工作至少要有 4~5 個 QDA，實際大修工作需要的 QDA 人數可能為 2~3 倍。工作劃分為第一階 QDA 過濾所有檢測訊號，第二階 Resolution 負責複判或解決較有爭議的訊號，最後 IQDA 代表業主進行品質查證 (但不能修改 Resolution 的判定)。

6 CP-189 及 SNT-TC-1A 考訓制度比對

人員考訓制度 ASME SEC III 長久以來皆引用 SNT-TC-1A (根據工作經驗換照)，而 ASME SEC XI 於 1992 年 Addenda 後已改為 CP-189 (需以考試重新檢定換照)，講師除解說兩者不同之考訓規定，並分析其換照要求原因為：ASME SEC III 應用於製造核能級組件，檢測標的為常見之製造過程瑕疵 (如滾壓製程發生的疊層瑕疵或銲接製程發生的溶合不良等)，因而隨工作經驗增加，檢測人員常有機會見到不同的製造瑕疵，因而可同意以工作經驗換照；然而，ASME SEC XI 應用於運轉中核電廠，檢測標的為不易檢測之疲勞龜裂，此類瑕疵可能檢測人員經年不遇，因而以工作經驗換照是較不合理的作法。

三、心得

1. 檢測的有效性一直都是管制單位及業主關心的議題，尤其是運轉中電廠瑕疵多為不易測得之疲勞龜裂，檢測的不確定除了來自檢測技術本身、檢測儀器的差異，個人的技藝亦是重要考量。為確保檢測的有效性，管制單位及業主在 Quality Assurance (QA) 工作上花了很多工夫，然而光靠品質文件管制似乎不能保證檢測更加可靠。近年來，利用不確定性評估技巧確定檢測的有效性成為一種趨勢，美國核能業界運作 PDI 及 QDA 計畫的經驗即為一例，雖然執行過程中管制單位及業主都有其立場，但相關研究提供合理的計算基礎，使各方能達成共識制訂一致接受的標準。
2. 執行 Code Work 時，因相關之 ASME SEC II (材料標準)、SEC V (檢測標準) 及 SEC IX (銲接標準)，常發生不一致之複雜情況，因而在規劃時需要一再驗證製造作業是否已滿足 ASME SEC II、III、V、IX 及 XI 相關規定，但需要注意 ASME SEC II、V 及 IX 等 Reference Code 不可與主導的 ASME SEC III 及 XI Code 衝突。
3. 數位化 X 光檢測應用有增加的趨勢，使用此技術可以較少的 X 光能量得到較以往清晰的影像，且已開發資料庫軟體用於數位化 X 光影像檔案管理與進一步研究。目前美國已有核電廠將數位化 X 光檢測技術應用於管路薄化檢測，其優點為不必拆裝保溫（美國仍有電廠以石棉等對人體有害材料製作保溫），且裝備簡單有利現場空間操作，可縮短大修時間及維護工作。
4. 工作現場丈量及評估是異材管路銲道覆銲工作最重要的一環，根據 AREVA 執行經驗，圖面資料與現場常有出入，尤其是欲執行覆銲工作之管路本身厚度常與圖面資料有很大差異。如在大修期間檢測發現龜裂，為免影響大修，通常設計覆銲的時間並不多，如果只以電廠提供圖面進行設計，工作失敗的風險很大，因此執行工作規劃前務必與設計單位溝通，確定影響設計之因素皆已於工作現場調查工作時充分掌握。

四、建議

1. 由於美國多年未有核能電廠的興建，因此設計公司、顧問公司及管制單位皆是面臨人才老化及流失的窘境，隨著核能工業復甦，各單位都在想辦法增加可用人力。本次受訓期間發現 AREVA 公司內部隨處可見訓練中的新生代職員，且亦藉由與地區學校合作研究計畫，或以直接至學校開課方式讓學生對核能工業產生興趣並從中挑選人才，這些方法都值得國內參考。
2. 此次赴 AREVA 公司受訓對監查工作有很大助益，然而公差於出國前約一個月才確定成行，受訓人員為配合核一廠大修時間執行監查作業亦無法延後受訓時間，出國準備工作相當匆促，建議未來如有類似行程應及早規劃。