

出國報告（出國類別：實習）

赴美國研習核能電廠反應爐維修技術

服務機關：台灣電力公司
姓名職稱：臧鶴年 (機械工程監)
 林夢竹 (核能工程師)
派赴國家：美國
出國期間：94.12.29 至 95.01.12
報告日期：95.02.20

目 錄

	頁數
一、出國目的	1
二、出國行程	1
三、內容與過程	1
四、心得與建議	9

一、出國目的

核能電廠大修期間，反應爐內部組件目視檢查工作與核燃料挪移(例如更換新核燃料、燃料重新佈局..等)工作，佔要徑工作相當比例，美國奇異公司設計一套安裝於反應爐上方之 360 度工作平台，能將前述兩項工作相互干擾之程度降至最低，使要徑工作時間縮短，進而縮短全部大修時程，因此首先前往位於 San Jose 之奇異公司(Engineering & Facility Center)，研習此工作平台之功能及設計原理。

其次因美國 Clinton 核電廠(位於伊利諾州之 Clinton)已安裝奇異公司之 360 度工作平台，而該核電廠反應爐與核二廠同為奇異公司之沸水式第六代(BWR-6)設計，故亦前往了解其實際使用情形及交換反應爐維修經驗。

最後前往位於北卡羅來納州 Charlotte 附近 Huntersville 之奇異公司，該處為反應爐目視檢測作業總部，研習及洽談反應爐目視檢測新的技術及方法，以期研擬出最佳策略，進而縮短電廠大修工期。

二、出國行程

94 年 12 月 29~30 日	往程	台北→舊金山→San Jose
94 年 12 月 31 日~	奇異公司(GENE)	研習反應爐 360 度工作平台基本功能及設計原理
95 年 01 月 04 日	San Jose , 加州	
95 年 01 月 05 日~	Clinton 核電廠	研習反應爐 360 度工作平台實際使用情形及交換反應爐維修經驗。
95 年 01 月 07 日	Clinton ,伊利諾州	
95 年 01 月 08 日~	奇異公司(GENE)	研習反應爐目視檢測最佳策略，以期縮短大修工期。
95 年 01 月 09 日	Huntersville, 北卡羅來納州	
95 年 01 月 10~12 日	返程	Charlotte→New York→台北

三、內容與過程

(一) 赴位於 San Jose 之美國奇異公司(GE Nuclear Energy, GENE)研習：

(1)概述

此次行程首先赴 (GENE)位於美國加州 San Jose 之美國奇異公司 (Engineering & Facility Center)研習，由 Reactor Services Engineering 部門 Principal Engineer Mr. Teddy Pao 負責，安排由該部門經理 Mr. Terry L.

Chapman 及 Site & Operations manager Mr. Scott A. Bump、Product Line Manager Mr. Ahdee Q. Chan、Mechanical System Design Engineer Mr. Scott J. Jiracek、Japan Product & Services Manager Mr. Gakuto Nakamura(中村 岳人)等，解說及討論反應爐 360 度工作平台其基本功能及設計原理(如圖一)，並赴位於該處之運轉人員燃料吊車操作全尺寸模擬訓練中心(如圖二)研習燃料更換相關設施。



圖一



圖二

(2)奇異公司反應爐 360 度工作平台簡介

美國奇異公司爲了因應核電廠縮短大修工期的世界潮流，設計了新的 360 度工作平台，取代輔助工作平台，使燃料更換時仍能使用此平台且供多組人員同時進行爐心內部檢測等工作，其研發過程共分下列階段：

★第一階段(Dance Floor 360 Platform)：

奇異公司於 2001 年，研發出 BWR/3-5 使用之 360 度平台，並提供美國 Dresden 二號第 17 次大修時使用，至目前美國 Exelon 電力公司已有 6 部 (Dresden 2&3, Quad Cities 1&2, La Salle 1&2) BWR 核電廠採用，該項設備於 2002 年獲 NEI 頒 Top Industry Practice Award 獎項，GE 估計已於 12 次大修中，因縮短要徑時間 (Critical Path) 而節省 1 億 5 千萬美元。

註：此階段平台(BWR/3-5)與 BWR-6 不同，僅直接坐於上孔穴水泥屏蔽 (Upper cavity shield block ledge) 上。

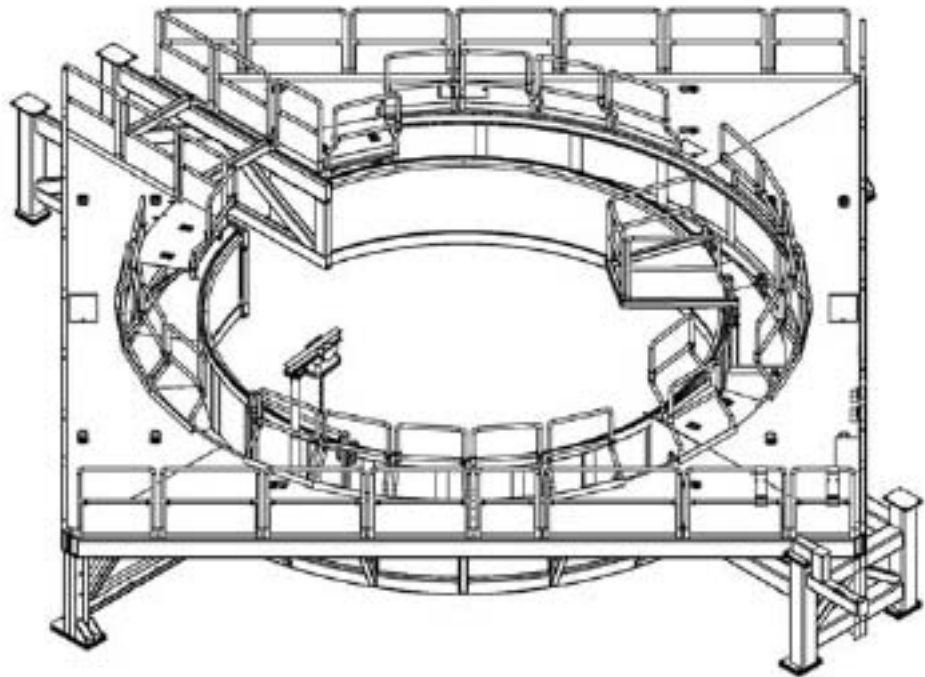
★第二階段(Enforcer 360 Aux. Platform)：

奇異公司於 2003 年研發出供 BWR-6 核電廠使用之 360 度工作平台，美國 Clinton 核電廠一號機於 2004 年第 9 次大修時首次使用，該平台亦獲 NEI 2005 年 Top Industry Practice Award 獎項。

註：沸水式 (BWR-6) 核電廠燃料更換池 (Refueling Pool) 水平面上方兩側原有兩條軌道，提供燃料更換吊車平台 (Refueling Machine Platform) 及輔助工作平台 (Aux. Platform) 使用，然而此兩項平台設備因水平高度及輔助工作平台中心無與反應爐同尺寸之圓孔設計等問題，無法交錯通過、不能同時供多組人員使用，即當使用燃料吊車更換燃料時，不能同時供多組人員進行爐心內部檢查等作業 (例如爐心內部目視檢查 (IVVI)、異物移除……等)，故奇異公司設計新的馬達帶動平台取代舊式平台。

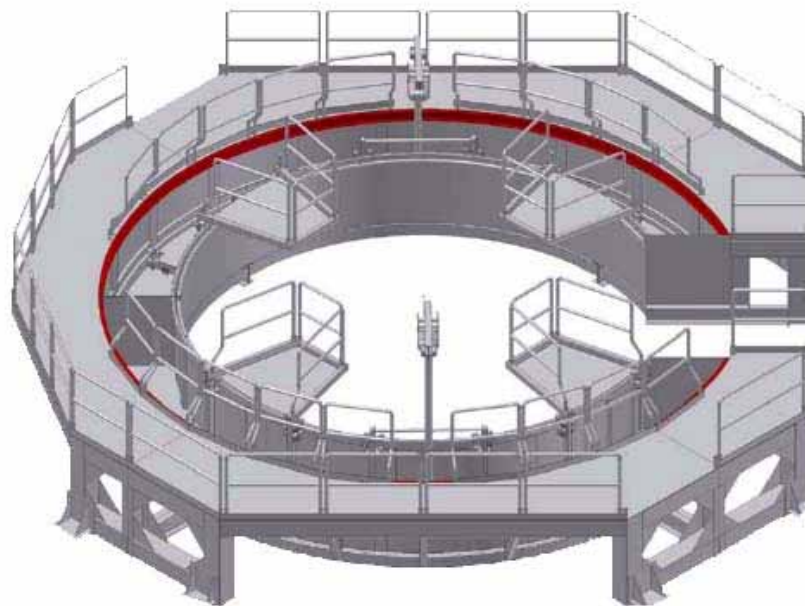
★第三階段(PPL 360 Aux. Platform)：(如下圖)

奇異公司於 2004 年研發出新型之 360 度平台供 PP&L 電力公司 Susquehanna(BWR-4)核電廠二號機第 12 次大修時使用 (2005 年春天)，估計約節省 7.5 天之要徑工作時間。



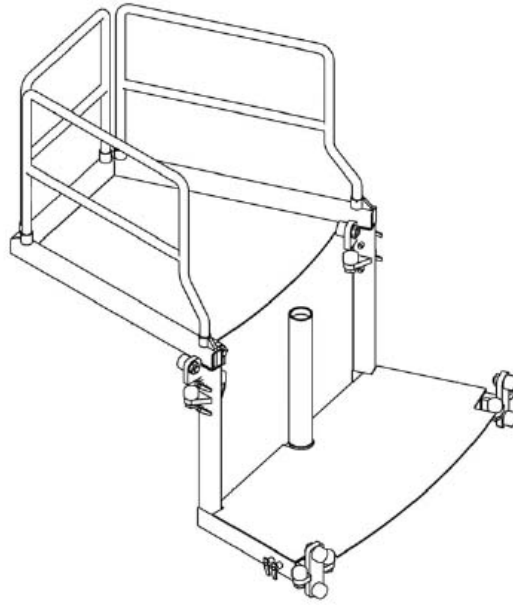
Susquehanna(PPL)360 Aux. Platform

★第四階段新一代平台設計(Latest generation platform design，如下圖)：



經由前三階段之發展後，改良之設計基準如下：

- 可架設 4 座可移動式人員工作台 (Mobile Personnel Carriages, 如下圖)，每座可負荷 50 Lbs/ft²。



▶可架設兩座 1000 磅吊重之 Jib Hoist 單臂) 吊車(如下圖)。



▶允許燃料吊車經由 360 度工作平台之開槽通過其上方至 360 度工作平台中心之開孔進行燃料更換工作。

▶低於水平面之不鏽鋼槽結構 (Submerged Trough)，外表面以 Glass-Bead Blasting 方式加工，易於除污。

▶模組化及螺栓連接易於組裝及拆解，安裝時間不超過 1 小時

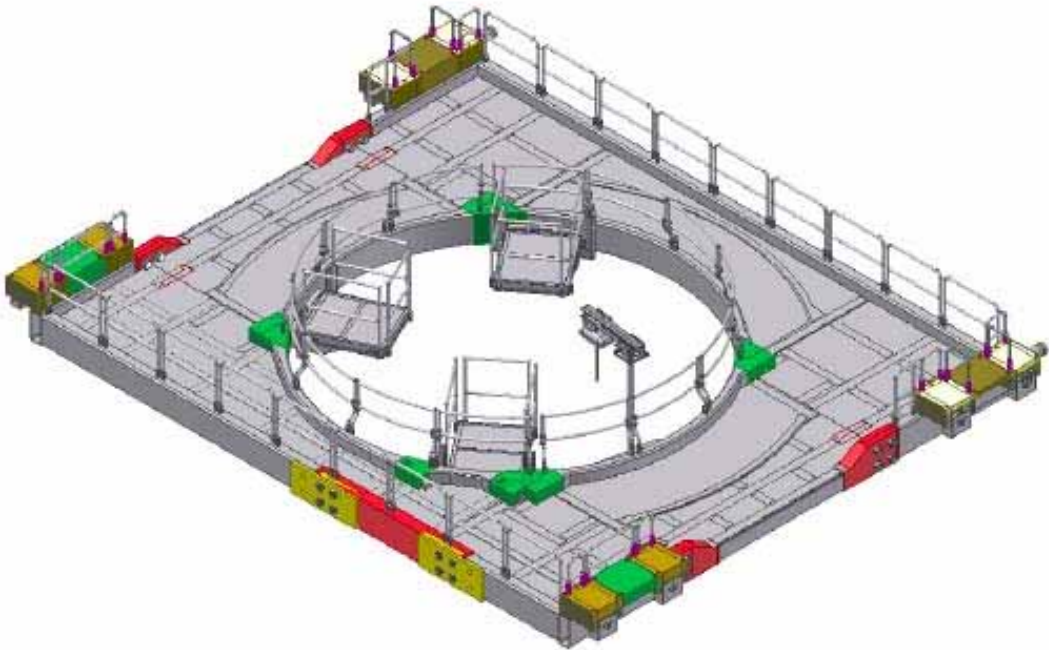
★Perry 核電廠 (BWR-6) 360 度工作平台簡述(如下圖)：

▶經由 Dresden, Clinton 及 Susquehanna 等平台改良而成。

▶有 3 座 Mobile Personnel Carriages。

▶有 1 座可荷重 1000lb 之吊臂 (Jib) 吊車。

- 有 3 區 Submerged Work Trough。
- 可縮小成輔助平台模式，較不佔空間。



Perry 核電廠 (BWR-6) 360 度工作平台

(3)GE 360 度工作平台(Platforms)已有 16 次大修使用，前 12 次經驗依序如下：

序號	電廠/機組名稱	使用時間及大修別	360 度工作平台型,式
1	Dresden 2	October 2001 (R17)	Dance Floor 360 Platform
2	Quad Cities 2	February 2002 (R16)	Dance Floor 360 Platform
3	Dresden 3	October 2002 (R17)	Dance Floor 360 Platform
4	Quad Cities 1	November 2002 (R17)	Dance Floor 360 Platform
5	Dresden 2	October 2003 (R18)	Dance Floor 360 Platform
6	LaSalle 1	January 2004 (R10)	Dance Floor 360 Platform
7	Quad Cities 2	March 2004 (Q2R17)	Dance Floor 360 Platform
8	Clinton	February 2004 (R09)	Enforcer 360 Aux. Platform
9	Dresden 3	October 2004 (R18)	Dance Floor 360 Platform
10	LaSalle 2	February 2005 (R10)	Dance Floor 360 Platform
11	Susquehanna 2	March 2005 (R12)	PPL 360 Aux. Platform
12	Quad Cities 1	April 2005 (R18)	Dance Floor 360 Platform

註一：下列電廠均屬美國 Exelon 電力公司：

BWR-3/4/5---- Dresden 2 & 3 ， Quad Cities 1 & 2 ， LaSalle 1 & 2

BWR-6-----Clinton

註二：Susquehanna 2 屬美國 PP&L 電力公司

(二) 赴 Clinton 核電廠研習：

自舊金山搭機經聖路易（St Louis）轉機至底開特（Decatur）機場，即可前往 Clinton 核電廠（位於伊利諾州中部，距 Clinton 6 哩處），Clinton 核電廠淨發電量為 1017MWe（1987.11 商轉），原屬 AmerGen 公司所有，現已與 Exelon 電力公司合併，約有 530 名 AmerGen 員工。

Clinton 核電廠目前僅有一部機組（但已預留另一部機組之廠址），佔地 14,300 英畝，主要冷却系統是由一佔地約 5,000 萬畝之集水池（Reservoir，如下圖）提供冷卻水（無冷卻塔設施）。該廠警衛深嚴，由兩人一組之警衛持長槍巡邏，主警衛室之保全亦全副裝備，為防恐怖攻擊，大門口以高於人之水泥塊阻擋，僅留供人員通過之間隙。



Clinton 核電廠主要冷却系統集水池

入廠所取之證件為 Escort，即訪客須全程有人陪同（上洗手間也不例外），不准帶照相機進電廠。在 Clinton 電廠期間，主要由 GE 之 Mr. Jerry Hartigan 負責接待，並拜訪 Clinton 之 Outage Manager, Mr. J.M. Stovall 及 Exelon 之

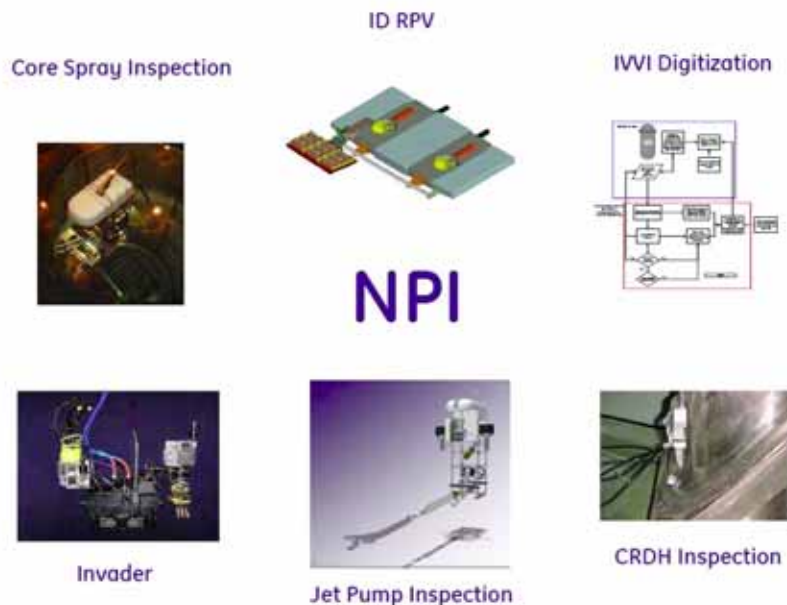
Refuel/UV , Mr. Jerry Pavetto , 了解其大修工期及參訪電廠，據 Mr. Hartigan 表示，GE 每次大修約有 300 人在 Clinton 支援大修工作（含 GE 下包人員），工作範圍除反應爐心外，包括泵、閥維修，甚至包括汽機間（BOP）之工作，因此在 Clinton 有常設之貨櫃辦公室（Trailers）及人員在 Clinton 電廠上班。

(三) 赴位於 Huntersville 之美國奇異公司(GE Nuclear Energy, GENE)研習：

此次行程最後赴 (GENE)位於美國北卡羅來納州 Huntersville 之美國奇異公司反應爐目視檢測作業總部(Reactor & Field Service)研習，由 Reactor Services 部門 Inspection Service Projects 經理 Mr. F.Wayen Bentley 及 Mr. Paul R. Johnson、Mr. Steve Everett、Mr.Hugo Winterhalter 等人解說及討論反應爐目視檢測新的技術及方法，並參觀作業總部內研發工廠。

(1) GE 首先詳細講解大修期間工作，從停機至反應爐蓋拆解、燃料挪移更換第一階段、控制棒葉片工作、爐心內部組件目視檢查(IVVI)、燃料挪移更換第二階段、反應爐蓋回裝、水壓試驗、低、高壓轉子測試等，所有要徑工作時程均以小時為單位分解，講解那一步驟可同時進行或縮短，即將大修時程縮至最短。

(2) 此作業總部不斷研發新的檢測設備，供電廠使用，當電廠使用後，立即將使用經驗回饋作業總部，再予以研究改進，以縮短大修工作時間，目前較新之反應爐內檢測設備有：Invader、Jet Pump Inspection Tool、CRDH Inspection Tool、....等(如下圖)



新的反應爐內檢測設備

- (3) 在作業總部研發工廠內，有一全尺寸反應爐實體模擬設備(如下圖)，據 GE 表示，是某一 BWR 電廠訂單被取消後，才改放置於此，因焊道位置與電廠完全相同，可供研發檢測設備測試及人員訓練教材。



BWR 反應爐實體模擬設備

四、心得與建議

(一) 赴 GE 公司(San Jose)研習反應爐 360 度工作平台功能及設計原理心得

1. GE 於 2001 年首度發展出 360 度工作平台，使用於 Dresden 電廠(BWR-4)，其後陸續安裝於其他 BWR 電廠。Clinton 電廠(BWR-6，核二廠同型姊妹廠)於 2004 年 2 月安裝使用。迄今此 360 度工作平台於不同電廠機組共累計了 16 次大修使用經驗。
2. GE 根據各廠大修使用經驗回饋，陸續改善其設計，增加功能，迄今已漸趨於成熟，預期美國各電廠亦將陸續採用。
3. 本公司核一、二廠大修要徑工期均在於燃料填換樓(Refuel Floor)作業，若欲有效縮短大修工期，燃料填換與爐心作業(包括 IVVI 或爐心組件維修)工期勢必要縮短，在此情形下，能夠允許前述兩項工作同時進行之 360 度工作平台，似乎是必行的選擇方案，本公司核發處、核一、二廠均應對此趨勢投注更多心力，密切注意其發展。

4. 以核二廠而言，因為吊運燃料工期與爐心作業工期(包括 IVVI 以及 CRB 檢查更換等爐心作業)均比一般 BWR 電廠較長，因此 360 度工作平台之採用更具其優勢。(節省工期效益較顯著)

(二) 赴 Clinton 電廠研習實際使用 360 度工作平台之心得

1. Clinton 電廠於 2004 年 2 月第 9 次大修時，首次安裝及使用該平台，由於安裝時與 Fuel Pool 堰牆有干擾情形，未能發揮其功能。
2. 經改善後，預定於 2006 年 1 月 30 日開始之第 10 次大修時第二次使用(註：Clinton 為 24 個月燃料週期)，此次該廠大修包括反應爐爐心側板安裝 Tie Rod (工期約 8 天)，在此情形下，其整個大修工期亦只有 25 天，關鍵因素就是要使用此工作平台，將 IVVI 等爐心作業與 Shroud Tie Rod 安裝平行作業(尚未考慮與吊燃料同時作業，因為其平台設計須另行修改成部份浸在水面下，才能達此功能。)。核發處與核二廠將密切追蹤其大修工期與使用平台成效。
3. Perry 電廠(BWR-6 電廠，亦為核二廠姊妹廠)目前正進行此 360 度平台之設計，GE 已融合 Clinton 電廠與其他 BWR (主要是 Susquehanna)之使用經驗，設計出可以吊燃料與爐心作業同時進行之工作平台，核二廠可以密切觀察追蹤其未來使用績效，作為採用之參考。

(三) 對於核一、二廠是否於未來採用 360 度工作平台之建議

1. 由於核一廠並未派員參與此次出國任務，建議核一廠以後另找適當機會蒐集此方面資訊，作為未來採用之參考。
2. 以大勢所趨及 360 度工作平台之使用績效而言，未來核一、二廠採行之可能性甚高，相關部門應多注意此發展，並可邀請 GE 多提供此方面訊息。
3. 採行 360 度工作平台應考慮之相關因素
 - 3.1 各廠現場情況不同，360 度工作平台屬於量身訂作，核一、二廠可考慮先安裝一台，若成效良好，另一部機才跟進。
 - 3.2 由於美國採用 360 度工作平台之電廠，其 Refuel Floor 工作均由 GE 承包(包括吊燃料、爐心作業等)，因此兩項作業平行進行時，其協調較易，若本公司採用此工作平台，因為吊燃料係本廠人員執行，與 GE 之爐心作業並行作業時，其溝通、協調較困難，甚至會影響其成效，此點必須事先妥善規劃。

3.3 由於使用 360 度工作平台，IVVI 等爐心作業，可多組人馬同時作業，所需人力較多，因此事先須洽 GE 妥為規劃，大修時派遣足夠人力，因為美國電廠大修集中在春、秋兩季，尖峰人力需求龐大，不易羅致優秀好手，若新手充斥，工作效率將打折扣。

(四) 赴 GE (Huntersville) 檢測中心研習 IVVI 最佳策略及縮短大修工期心得

1. GE 公司位於北卡 Huntersville 之 Inspection Center，係 GE 爐心檢測作業總部，任務包括檢測人員訓練、調派、檢測機具、技術研發等，本公司對於 GE 執行大修爐內組件檢測時，應要求其提供效率高且可靠之檢測設備，以縮短工期。
2. 經與 GE 洽談美國各電廠 IVVI Scope，以便與核一、二廠 IVVI Scope 比較，GE 告知由於各電廠情況不同，檢測要求重點不同，甚難比較。不過，GE 公司認為本公司核二廠每次大修，為檢查 CRB，必須將燃料束移出再進行 CRB 檢查，額外花費要徑工時約 3 天，此點是美國其他電廠所無。雖然各國核能管制單位要求不同，但是本公司核一、二廠近年來擴大檢查 CRB 已有一段時間，是否考慮向原能會爭取放寬檢查，值得深思。
3. 與 GE 洽談大修工期縮短議題時，提到國外 BWR-6 電廠工期都在 30 天以內，較同型之核二廠標準工期 40 天少了 10 天以上。國外電廠之大修要徑與核二廠相同，都是在反應器系統，但是每個作業過程工期均較核二廠為短，尤其是在燃料吊運、爐心組件檢測、啟動過程等三階段。因此，核二廠想要進一步縮短大修工期，勢必要在這三階段上努力突破。
4. 由於大修工期縮短涉及各部門作業，因此建議廠處組成專案團隊，與 GE 公司密切合作，針對各階段作業作時間差異分析(Gap Analysis)，就輕重緩急，難易程度找出努力方向後，再集中公司內外資源，予以突破，此種作法應較過去多年來只是少數部門或同仁，單打獨鬥方式研究縮短工期，更有成功希望。

(五) 其他心得與建議：

1. Clinton 核電廠主警衛室前設置一直立式紅、黃、綠燈(其功能與原能會推動之核安管制紅綠燈類似)，並附說明其義意【Traffic Light Legend—At Cliton Power Station safety is the way we think, work and live. 綠燈表示

安全日，無輻射、工安、人爲疏失等事件發生；黃燈表示輻射、工安、人爲疏失等事件幾乎(Near miss)發生；紅燈表示發生輻射、工安、人爲疏失等事件，請洽監工了解】，另電廠餐廳等處之液晶電視公佈 Exelon 之事項及目前股價，顯示 Exelon 是一善於管理且活力很強之公司。

2. Clinton 核電廠全廠整潔明亮，House Keeping 做得很好，例洩水孔均 plug 完全，看不到有漏水痕跡；雖地處偏僻，安全措施完善、警衛嚴格、電廠人員警覺性很高等，值得借鏡。
3. 核一、二廠若考慮採用 GE 360 度工作平台，宜先評估工作人員於低於水平面之不鏽鋼槽結構 (Submerged Trough) 時，燃料更換池水溫度及輻射計量之影響。
4. 出國計劃人員最好先準備好簽證，因美國仍在反恐期，對核能工作人員似特別敏感，尤其是 B1(Business)簽證，取得較觀光簽證(B2)費時。