

行政院及所屬各機關出國報告
(出國類別：實習)

核能電廠線上維修方案與制度

服務機關：台灣電力公司核能發電處

出國人職稱：十等核工師

姓名：趙文龍

出國地區：美國

出國期間：自92年08月07日至92年08月18日

報告日期：92年09月19日

93/09203609

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：核能電廠線上維修方案與制度 頁數 20 含附件：有 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

Cop20360P

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

趙文龍/台灣電力公司/核能發電處/核工師/(02)23667063

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：自 92 年 08 月 07 日至 08 月 18 日

出國地區：美國

報告日期：92 年 09 月 19 日

分類號/目

關鍵詞：核能電廠維護

內容摘要：(二百至三百字)

1. 提升核能發電績效已成為核能工業界努力之方向，線上維修方案 (OLM, On-Line Maintenance) 也兼顧核能電廠之系統、子系統、結構、設備、組件、(SSCs, System、Structures、Components) 之可靠性及增加營運之績效，在美國核能電廠已是一種通案性質非常普遍在推動執行中。
2. 美國線上維修所涵蓋範圍很廣，包括：運轉規範中提到的安全相關 SSCs，各種偵測試驗、預防保養、矯正性維修及組件更新工作等，美國依「維護法則」規範線上維修作業，管制單位 NRC 不會加以特殊管制。
3. 目前美國核能電廠絕大部份是實施循環式 (Rolling) 線上維修，以 12 或 13 星期為一週期，連續不斷重覆地執行，而我國目前僅能以個案方式向原能會提出申請，獲核可後方可執行。

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

目 錄

| | <u>頁數</u> |
|--------------|-----------|
| 一、目的..... | 2 |
| 二、過程..... | 2 |
| 三、內容..... | 3 |
| 四、心得與建議..... | 19 |

一、目的：

1999 年本公司核能發電處委託核能研究所完成「台灣電力公司核能電廠線上維修作業及審查程序」；2002 年原能會及本公司分別委託核研所完成核能機組運轉期間及停機期間之安全度模式同行審查 (Peer Review) 工作；2003 年 8 月原能會同意核能一廠執行本公司核能機組首次之線上維修 (OLM: On-Line Maintenance) 作業。本公司核能電廠在 OLM 之努力上雖已有十年之長，然目前有實質之成果也僅有如上述之核一廠之案例而已，比起美國電廠普遍超過 1/3 以上之執行率，仍有非常大的空間需努力。

美國線上維修的涵蓋範圍很廣，其在所謂「維護法則」(Maintenance Rule) 規範下，皆能自行對安全相關之 SSCs (System, Structures, Components) 實施線上維修，美國核管會不會加以特殊管制，目前我國原能會未實施維護法則，原能會對核能電廠線上維修採個案審查立場，在推動一段時間後對以後能繼續提出那些線上維修的個案，及將來管制單位參照美國的作法，建立連續性、循環式的 (Rolling Schedule) 時，美國核能電廠的實際做法，均是本次實習之目的。

二、過程：

(一) 行程：

| <u>時間</u> | <u>地點</u> | <u>工作摘要</u> |
|-------------|-------------------|-------------------|
| 08/07~08/07 | 台北→洛杉磯 | 往程 |
| 08/08~08/16 | ABS Consulting 公司 | 研習美國核能電廠線上維修方案與制度 |
| 08/17~08/18 | 洛杉磯→台北 | 返程 |

(二) 訪問 ABS 顧問公司：

1. ABS 公司西元 1862 年從海運工業之安全檢查起家，發展至今該公司經過合併購後，其所從事之事業不再侷限於前項，目前已成為一跨國際性之集團，年收益超過美金 130 百萬元，分散於全球 32 個國家，主要顧問人員有 1,100 位，所服務內容包括：海運、財務風險評估、保險精算、土木結構、地震、火災之安全評估及核能工業安全度評估等。
2. 本次所訪問為洛杉磯部門之資深顧問——林超先生 (Mr. James C. Lin)，目前職位為部門副總裁，他有 22 年經驗於核能工業之相關業務，其主要負責業務事項有：風險度評估 (PSA)、設備可靠性、可用度評估、營運期間檢測 (ISI、IST) 風險評估、線上維修及大修管理之規劃與分析等。林副總裁曾協助核研所承辦本公司所委託之研發計畫案件，如：民國 88 年協助制定本公司線上維修作業審查程序，91 年完成核一、二、三廠運轉期間及停機期間之安全度模式同行審查 (Peer Review)，目前核研所亦邀其協助本公司委託之風險告知應用於 ISI 之先導性研究計畫案。

三、內容：

(一) 前言：

線上維修 (OLM) 在美國核能電廠可說是已經非常普遍的、大量的，將大修的工作項目轉移至機組運轉期間來執行，OLM 漸漸增加其重要性，因為用電市場的競爭及美國相關管制規定之鬆綁使然，在美國線上維修的涵蓋範圍

很廣，包括：運轉規範中提到的安全相關 SSCs、維護法則所定的安全關連 SSCs、與安全無關的一般 SSCs 所做之各種偵測試驗、功能測試 (Performance Test)、預防保養、矯正性維修及組件更新工作等。目前美國允許電廠可主動進入運轉限制條件 (LCO)，只要達到維護法則 (Maintenance Rule) 的要求，核管會不會加以特殊管制，所以美國已將以上所提之項目以循環式排程 (Rolling Schedule) 安排一種連貫性，於機組運轉期間去執行線上維修工作，而在台灣核能電廠對運轉規範中提到的安全相關 SSCs 則需以個案方式向原能會提出申請，經核可後始能執行。

(二)美國核能廠實施現況：

1. 相關導則：

雖然美國核管會僅以維護法則來要求電廠必需自設 SSCs 之不可用度，並無另項法規做其它的要求，然而核能工業界之研究機構，如 NEI、INPO、EPRI 等都在相關領域從事研發及應用的工作，而核能發電業主相關組織亦根據這些工作結果訂定導則供電廠遵循，這些導則在定量安全評估方面都是依據風險度評估應用導則 (PSA Application Guide)，在定性評估上所提出的注意事項均類似，摘要如下：

- 實施 SSCs 不能僅為縮短大修工期，必需考量被保養 SSCs 的可靠度與可用度間之平衡，以確保安全增進。
- 對既定之 SSCs 必需審慎規劃其線上維修，不可重覆進出 LCO。

- 執行線上維修時應確保備用 SSCs 為可用。
- 執行線上維修時，應避免對其它 SSCs 執行有增加電廠暫態可能性之任何測試。
- 對維護法則所定義之高安全重要度 SSCs 而言，由於各種原因（包括線上維修）造成之不可用度必需小於對該 SSCs 預定性能準則（Performance Criteria）之不可用度。
- 對線上維修需仔細評估、計畫、及執行，避免電廠系統發生暫態，並確信反應爐之安全裕度足夠保守。
- 線上維修工時以運轉規範允許不可用時間（AOT，Allowed Outage Time）之 50%或 60%為宜。
- 在線上維修的評估及執行過程中，可藉重運轉經驗及分析工具（如 PSA）的結果來控制廠內系統組態（Configuration），確保特定 SSCs 不可用後電廠仍能維持足夠之深度防禦。

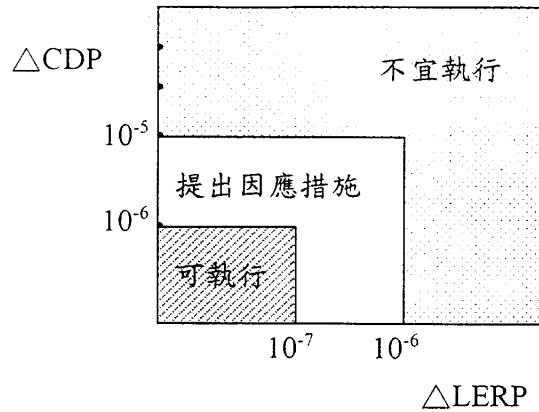
(1)瞬時風險限值：

- 瞬時爐心受損頻率 $<10^{-3}$ /年。
- 瞬時早期大量外釋頻率 $<10^{-4}$ /年。

(2)線上維修期間所增加之爐心受損機率（ Δ CDP）及早期大量外釋機率（ Δ LERP）：

- Δ CDP $\leq 10^{-6}$ ，且 Δ LERP $\leq 10^{-7}$ ，可執行線上維修。
- Δ CDP $> 10^{-5}$ ，且 Δ LERP $\leq 10^{-6}$ ，不可執行線上維修。
- $\Delta 10^{-6} < \Delta$ CDP $\leq 10^{-5}$ ，且 Δ LERP $\leq 10^{-6}$ 或 $\Delta 10^{-7} < \Delta$ LERP $\leq 10^{-6}$ ，且 Δ CDP $\leq 10^{-5}$ 時需提出因應措施以管制線上維修之執行。

以上所述之三項準則，彙整如下列圖形



(3) 累計年度風險限值

除了執行線上維修期間之瞬時風險限值外，尚需注意整年內是否因執行線上維修而使累計年度風險超出下列限值。

- 總爐心受損機率 CDP (含非線上維修期間) $< 10^{-4}$ 。
- 總早期大量外釋機率 LERP (含非線上維修期間) $< 10^{-5}$ 。

註：目前我國原能會所訂定之「核能電廠執行線上維修案實施要點」內之風險評估準則與此規定相同。

2. 排程方案：

- (1) 絕大部份的電廠都是實施循環式 (Rolling) 線上維修，以 12 或是 13 星期為一週期，連續不斷地重覆執行線上維修。以 12 星期為一週期的原因是許多三個月 (12 週) 或一個月 (4 週) 測一次之偵測試驗，在此週期內可被執行之次數為整數，在工作的安排方

面，大多數的電廠在週期中任一星期（或任二星期）僅做某一串（Division 或 Train）的工作，次一星期（或次二星期）則排定另一 Division 或 Non-Division，如此避免交互串重疊性（Cross-Division）的工作，可減少系統組態的亂度並充份掌握風險，有些電廠將安全相關 SSCs 的線上維修集中在大修前數週實施，若有預期外之事件發生，可直接進入大修去執行。除了風險評估外，大修期間的工作可否移至線上需經維護、運轉等專業人員個案討論，部份不易執行的項目，經過修改運轉規範及硬體改善後可順利執行線上維修，這些措施因廠而異，並無一定的準則，廠內相關專業人員的工程經驗及管理階層的政策，決定了由大修移至線上工作量的多寡。在實施維護法則後，有些電廠為了繼續保持良好的 WANO 功能指標及達到高度之效能目標（Performance Goal），該廠減少了一些會影響到 SSCs 可用度的線上維修。

表 1 為安全系統各串（或 Division）在循環式排程的基本分配方式之一。表 2 為美國 Browns Ferry 電廠線上維修的長期排程實例，以 12 星期為一週期，共 5 個週期（60 個星期），以 Div I 及 Div II 輪流方式排訂。

表 1 循環式線上維修不同串之排程

| QUARTERLY SCHEDULING MATRIX UNITS 1/2 SAFETY SYSTEMS TRAIN ASSIGNMENTS | | | | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| WEEK | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 |
| U1 | S | B | S | A | S | B | S | A | S | B | S | A |
| U2 | A | S | B | S | A | S | B | S | A | S | B | S |
| COMMON | A | B | B | A | A | B | B | A | A | B | B | A |

註：「A」代表 A 串系統。

「B」代表 B——。

「S」為非串式少量的可任於 A、B 串間轉換的 SSCs。

表2 BWR-4 廠 1998 年線上維修排程

| Work Week Managers | WEEK DATES | WK-1 | WK-2 | WK-3 | WK-4 | WK-5 | WK-6 | WK-7 | WK-8 | WK-9 | WK-10 | WK-11 | WK-12 |
|--|-------------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | WV CODE (WEEK BEGINNING DATES) | 1/27/1998 9801 | 2/3/1998 9802 | 2/10/1998 9803 | 2/17/1998 9804 | 2/24/1998 9805 | 3/2/1998 9806 | 3/9/1998 9807 | 3/16/1998 9808 | 3/23/1998 9809 | 3/30/1998 9810 | 4/6/1998 9811 | 4/13/1998 9812 |
| Wks 1 & 2 Eldorado Inc. Cullin, 7915 page 90-110 | | 3/20/1998 9813 | 3/27/1998 9814 | 4/3/1998 9815 | 4/10/1998 9816 | 4/17/1998 9817 | 4/24/1998 9818 | 5/1/1998 9819 | 5/8/1998 9820 | 5/15/1998 9821 | 5/22/1998 9822 | 5/29/1998 9823 | 6/5/1998 9824 |
| Wks 3 & 4 Perry Nuclear ent. 7150 page 90-111 | | 6/15/1998 9825 | 6/22/1998 9826 | 6/29/1998 9827 | 7/6/1998 9828 | 7/13/1998 9829 | 7/20/1998 9830 | 7/27/1998 9831 | 8/3/1998 9832 | 8/10/1998 9833 | 8/17/1998 9834 | 8/24/1998 9835 | 8/31/1998 9836 |
| Wks 5 & 6 Perry Nuclear ent. 7651 PAGE 70-864 | | 9/7/1998 9837 | 9/14/1998 9838 | 9/21/1998 9839 | 9/28/1998 9840 | 10/5/1998 9841 | 10/12/1998 9842 | 10/19/1998 9843 | 10/26/1998 9844 | 11/2/1998 9845 | 11/9/1998 9846 | 11/16/1998 9847 | 11/23/1998 9848 |
| Wks 6 & 7 Perry Nuclear ent. 7611 page 10-118 | | 11/30/1998 9849 | 12/7/1998 9850 | 12/14/1998 9851 | 12/21/1998 9852 | 12/28/1998 9853 | 1/4/1999 9854 | 1/11/1999 9855 | 1/18/1999 9856 | 1/25/1999 9857 | 2/1/1999 9858 | 2/8/1999 9859 | 2/15/1999 9860 |
| | DIVISION | DIV I | DIV I(U3) | DIV II | DIV I(U3) | DIV I | DIV I(U3) | DIV II | DIV II(U3) | DIV I | DIV I(U3) | DIV II | DIV I(U3) |
| | SYSTEM DESCRIPTION | | | | | | | | | | | | |
| | MAIN STEAM INCLADS | | | | | | | | | | | | |
| | MAIN COND DEW/STORAGE/EXER | | | | | | | | | | | | |
| | RY FEEDWATER CTRLS & FEEDWATER CTRL | | | | | | | | | | | | |
| | EXTRACTION STEAM | | | | | | | | | | | | |
| | HEATER DRAINS & VENTS | | | | | | | | | | | | |
| | AUXILIARY BOILER | | | | | | | | | | | | |
| | FUEL OIL | | | | | | | | | | | | |
| | CENTRAL LUBE OIL | | | | | | | | | | | | |
| | RHR SERVICE WATER | | | | | | | | | | | | |
| | RAW COOLING WATER & RAW WATER | | | | | | | | | | | | |
| | CHLORINATION | | | | | | | | | | | | |
| | RAW SERVICE WATER | | | | | | | | | | | | |
| | HIGH PRESSURE FIRE PROTECTION | | | | | | | | | | | | |
| | CONDENSER CIRC WATER/TUBE CLG | | | | | | | | | | | | |
| | WATER TREATMENT | | | | | | | | | | | | |
| | POTABLE/TREATED WATER | | | | | | | | | | | | |
| | REACTOR/TURBINE/RAHWASTE BLDG | | | | | | | | | | | | |
| | VENTS | | | | | | | | | | | | |
| | CONTROL BAY HVAC | | | | | | | | | | | | |
| | (3)XNTR-DRYWELL CNTRL/EMERGENCY | | | | | | | | | | | | |
| | CNTRL AIR | | | | | | | | | | | | |
| | (3)SERVICE AIR | | | | | | | | | | | | |
| | VACUUM PRIMING | | | | | | | | | | | | |
| | GEN-H2O SEAL OIL STATOR COOLING | | | | | | | | | | | | |
| | GLAND SEAL WATER | | | | | | | | | | | | |
| | (CO) STORAGE & FIRE PURT/GENERATOR | | | | | | | | | | | | |
| | PURGE | | | | | | | | | | | | |
| | STATION DRAINAGE | | | | | | | | | | | | |
| | SAMPLING & WATER QUALITY | | | | | | | | | | | | |
| | BUILDING HEATING | | | | | | | | | | | | |
| | TURBINE GENERATOR CONTROL | | | | | | | | | | | | |
| | BREATHING AIR | | | | | | | | | | | | |

表 2 BWR-4 廠 1998 年線上維修排程(續)

| Work Week Managers | WK-1 | WK-2 | WK-3 | WK-4 | WK-5 | WK-6 | WK-7 | WK-8 | WK-9 | WK-10 | WK-11 | WK-12 |
|--|--------------------|-------------------|--------------------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| | 12/29/1997 9801 | 1/5/1998 9802 | 1/12/1998 9803 | 1/26/1998 9804 | 1/26/1998 9805 | 2/7/1998 9806 | 2/07/1998 9807 | 2/16/1998 9808 | 2/16/1998 9809 | 2/21/1998 9810 | 3/01/1998 9811 | 3/16/1998 9812 |
| WEEK DATES W.W. CODE | 3/23/1998 9813 | 3/30/1998 9814 | 4/6/1998 9815 | 4/13/1998 9816 | 4/20/1998 9817 | 4/27/1998 9818 | 5/4/1998 9819 | 5/11/1998 9820 | 5/18/1998 9821 | 5/25/1998 9822 | 6/1/1998 9823 | 6/8/1998 9824 |
| (WEEK BEGINNING DATES) | 6/15/1998 9825 | 6/22/1998 9826 | 6/29/1998 9827 | 7/6/1998 9828 | 7/13/1998 9829 | 7/20/1998 9830 | 7/27/1998 9831 | 8/3/1998 9832 | 8/10/1998 9833 | 8/17/1998 9834 | 8/24/1998 9835 | 8/31/1998 9836 |
| | 9/7/1998 9837 | 9/14/1998 9838 | 9/21/1998 9839 | 9/28/1998 9840 | 10/5/1998 9841 | 10/12/1998 9842 | 10/19/1998 9843 | 10/26/1998 9844 | 11/2/1998 9845 | 11/9/1998 9846 | 11/16/1998 9847 | 11/23/1998 9848 |
| | 11/20/1998 9849 | 12/7/1998 9850 | 12/14/1998 9851 | 12/21/1998 9852 | 12/28/1998 9801 | 1/4/1999 9802 | 1/11/1999 9803 | 1/18/1999 9804 | 1/25/1999 9805 | 2/1/1999 9806 | 2/8/1999 9807 | 2/15/1999 9808 |
| SYSTEM DESCRIPTION | DIV I | DIV I(UJ) | DIV II | DIV II(UJ) | DIV I | DIV I(UJ) | DIV II | DIV II(UJ) | DIV I | DIV I(UJ) | DIV II | DIV II(UJ) |
| SEISMIC MONITORING SYSTEM | 52 | | | | | | | | | | | |
| SEQUENTIAL EVENTS RECORDING / MONITORING | 55 | | | | | | | | | 55 | | 52 |
| BIO-THERMAL RESEARCH FACILITY | 58 | | | | | | | | | | | |
| OFFGAS/COMBINER/CHARCOAL FILTER | 66 | | | | | | | | | | | |
| EMERGENCY EQUIP. COLLING WATER & SODIUM HYPOCHLORITE | 64 & 50 | A3 PUMP A STRN | 67 | U3 EECV B1 PUMP B STRN | 66 | C3 PUMP C STRN | 66 | D3 PUMP D STRN | A1 PUMP A STRN | 67 | B3 PUMP B STRN | |
| RADWASTE | 77 | | 77-RW | | | | 77-RW | | | 77-RW | | |
| PENETRATIONS | 100 | | | | | | | | | | | |
| CRANES & HOISTS | 111 | U2 TB CRANE | | U1 TB CREANE | CRANES RX BLDG | U3 TB CRANE | | MANTOWOC | | OVG STACK | | PASS MONORAIL/DIST |
| SHOP EQUIP/ENNT | 112 | | | | 112 | | | | | | | |
| SECURITY(260F FIRE RATED DOORS ONLY) & 240 LIGHTING(SECURITY LIGHTING) | 260 & 247 | 260 | DOORS | | | | | | 280 | | | 247/260 |
| PLANT COMPUTER | 261 | | | | | | | | | | | 261 |
| SEWAGE DISPOSAL SYSTEM | 301 | | | | 301 | | | | | | | |
| BUILDINGS & STRUCTURES | 303 | | | | | 303 | | | | | | |
| MET-TOWER | 417 | 417-MET | | | | | | | | | | |
| ISSUE DATE 2/6/98 | WK-1 | WK-2 | WK-3 | WK-4 | WK-5 | WK-6 | WK-7 | WK-8 | WK-9 | WK-10 | WK-11 | WK-12 |

表2 BWR-4 廠 1998 年線上維修排程 (續)

| Work WEEK MANAGERS | WEEK DATES | WK-1 | WK-2 | WK-3 | WK-4 | WK-5 | WK-6 | WK-7 | WK-8 | WK-9 | WK-10 | WK-11 | WK-12 |
|--|----------------------------------|-------------|------------|-----------|------------|----------|------------|----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| | W.W. CODE (WEEK BEGINNING DATES) | 12/29/1997 | 1/5/1998 | 1/12/1998 | 1/26/1998 | 2/2/1998 | 2/2/1998 | 2/9/1998 | 2/16/1998 | 2/23/1998 | 3/9/1998 | 3/16/1998 | |
| | | 9801 | 9802 | 9803 | 9804 | 9805 | 9806 | 9807 | 9808 | 9809 | 9810 | 9811 | 9812 |
| Wks 1 & 3: Eldorado Nic Cailey, 7035 page 90-410 | | 9801 | 9802 | 9803 | 9804 | 9805 | 9806 | 9807 | 9808 | 9809 | 9810 | 9811 | 9812 |
| Wks 2 & 8: Jerry Whire ext. 3129 page 40-705 | | 9813 | 9814 | 9815 | 9816 | 9817 | 9818 | 9819 | 9820 | 9821 | 9822 | 9823 | 9824 |
| Wks 3 & 9: Living Hills ext. 3138 page 90-413 | | 9825 | 9826 | 9827 | 9828 | 9829 | 9830 | 9831 | 9832 | 9833 | 9834 | 9835 | 9836 |
| Wks 4 & 10: Pers Jeffers ext. 7653 PAGE 70-864 | | 9837 | 9838 | 9839 | 9840 | 9841 | 9842 | 9843 | 9844 | 9845 | 9846 | 9847 | 9848 |
| Wks 5 & 11: Paul Hams ext. 7879 page 90-414 | | 9849 | 9850 | 9851 | 9852 | 9901 | 9902 | 9903 | 9904 | 9905 | 9906 | 9907 | 9908 |
| Wks 6 & 12: Rich Ruczyk ext. 2611 page 10-138 | | DIV I | DIV II(U3) | DIV II | DIV II(U3) | DIV I | DIV II(U3) | DIV II | DIV II(U3) | DIV I | DIV II(U3) | DIV II | DIV II(U3) |
| SYSTEM DESCRIPTION | DIVISION | DIV I | DIV II(U3) | DIV II | DIV II(U3) | DIV I | DIV II(U3) | DIV II | DIV II(U3) | DIV I | DIV II(U3) | DIV II | DIV II(U3) |
| STANDBY DIESEL GEN & DIESEL STARTING AIR | UG 82 & 86 | 1A/1B | 1C/D | 1A/1B | 1C/D | 1A/1B | 1C/D | 1C/D | 1C/D | 1A/1B | 1A/1B | 1C/D | 1C/D |
| 4KV UNIT BOARDS | 202 | 1B BD | 2C BD | 3C BD | 3C BD | 3C BD | 3B BD | 3B BD | 3B BD | 2A BD | 2A BD | 2B BD | 2C BD |
| 4KV COMMON BOARDS | 203 | UBS 2 | | | | | | | | | | | B BD |
| [57-4] UNIT STAR BD & BUS | 204 | | | | | | | | | | | | |
| COOLING TOWER SWITCHGEAR | 205 | | | | | | | 205 | | | | | |
| 4KV BID-THERMAL BDS | 206 | | | B BD | | | | | | | | | |
| 4KV BUS TIE BOARD | 210 | | | | | | | | | | | | A BD |
| 4KV SHUTDOWN BOARDS & BUSES | 211 | A/B 3EA/3EB | C/D | 3EA/3EB | A/B | 3EA/3EC | C/D | 3EA/3EC | A/B | A/B | 3EA/3EB | C/D | 3EA/3EB |
| 480V COMMON BOARDS | 215 | BD 2 | | | | | | | | | | | |
| 480V DIESEL AUX BOARDS | 219 | | 3EA/BO | B BO | 3EB BO | | | | | A BD | | | |
| 480V UNIT BOARDS | 225 | 2A BD | | 2B BD | 3B BD | | | | | 1A BD | | | |
| 480V SHUTDOWN BOARDS | 231 | | | | | | | | | 1A BD | | | 3C/D |
| 480V COOLING TOWER SWITCHGEAR | 232 | | | | | | | 232 | | | | | |
| 480V BID-THERMAL BOARDS | 233 | | B BD | | | | | | | | | | |
| MAIN TRANSFORMERS(00-207KV) | 236 | | MIN BNK 2 | | | | | | | | | | |
| 480 SERVICE BLDG MAIN BOARD | 237 | 237 | | | | | | | | | | | |
| 480V XFORMER YARD DISTRIBUTN CABINETS | 238 | | | | | | | | | | | | |
| 480V LIGHTING BOARDS | 239 | | | | | | | | | | 239 | | |
| [57-4] 480V WATER SUPPLY BOARD | 240 | | | | | | | | | | | | |
| 10KV SWITCHYARD | 241 | | | | | | | | | | | | |
| 600KV SWITCHYARD & GENERATORS | 242 | U1 | U2 | U2 | U0 | 241 | U1 | U0 | | | | 240 | |
| UNIT STA SERV XFORMER(20.7-16KV) | 243 | 3A-3B USST | | | | | IA-IB USST | | | U3 | | U2 | U0 |
| COMMUNICATIONS | 244 | | | | | | | | | | | | |
| [57-5] COMMON STATION SCV XFORMER | 246 | CSST B | | | | | | | | | | | |
| [57-5] COOLING TOWER TRANSFORMER | 247 | | | | | | | | | | | | |
| 240V LIGHTING | 243 | | 247 | | | | 246 | | | | | | |
| 240V DC | 248 | BT BD 1 | SD C & D | | | | | | | | | | |
| [57-2] PLANT PREFERRED 120V AC | 249 | | BT BD 2 | SD JEB | | | | | | | | | |
| [57-3] PLANT NON-PREFERRED 120V | 250 | | | | 249 | | | | | | | | |
| 48V DC POWER | 251 | | | | | | | | | | | | |
| UNIT PREFERRED 120V AC | 252 | | | | | | | | | | | | |
| 120V AC INSTR & CONTROL POWER SUPPLY | 253 | | | | | | | | | | | | |
| DIESEL 125V DC | 254 | 1A/1B DG | 1C/D DG | 1A/1B DG | 1A/1B DG | 1A/1B DG | 3A-3B DG | 1C/D DG | 1C/D DG | 1A/1B DG | 1A/1B DG | 1C/D DG | 3C/D DG |
| ECCS INVERTERS | 256 | BATT | BATT | BATT | BATT | BATT | BATT | BATT | BATT | BATT | BATT | BATT | BATT |
| GENERATOR BLS DLT COOLING | 262 | U3 | | | | | | | | | | | |

表2 BWR-4 廠 1998 年線上維修排程 (續)

| WEEK DATES (WEEK BEGINNING DATES) | WK-1 | WK-2 | WK-3 | WK-4 | WK-5 | WK-6 | WK-7 | WK-8 | WK-9 | WK-10 | WK-11 | WK-12 |
|--|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| 480V REACTOR BLDG VENTILATION BOARDS | 12/29/1997 9801 | 1/5/1998 9802 | 1/13/1998 9803 | 1/26/1998 9804 | 1/26/1998 9805 | 2/2/1998 9806 | 2/9/1998 9807 | 2/16/1998 9808 | 2/23/1998 9809 | 2/23/1998 9810 | 3/9/1998 9811 | 3/16/1998 9812 |
| 480V CONTROL BAY VENTILATION BOARDS | 3/23/1998 9811 | 3/30/1998 9814 | 4/6/1998 9815 | 4/13/1998 9816 | 4/20/1998 9817 | 4/27/1998 9818 | 5/4/1998 9819 | 5/11/1998 9820 | 5/18/1998 9821 | 5/25/1998 9822 | 6/1/1998 9823 | 6/8/1998 9824 |
| 480V REACTOR MOV BOARDS | 6/15/1998 9825 | 6/22/1998 9826 | 6/29/1998 9827 | 7/6/1998 9828 | 7/13/1998 9829 | 7/20/1998 9830 | 7/27/1998 9831 | 8/3/1998 9832 | 8/10/1998 9833 | 8/17/1998 9834 | 8/24/1998 9835 | 8/31/1998 9836 |
| 480V TURBINE BLDG MOV BOARDS | 9/7/1998 9837 | 9/14/1998 9838 | 9/21/1998 9839 | 9/28/1998 9840 | 10/5/1998 9841 | 10/12/1998 9842 | 10/19/1998 9843 | 10/26/1998 9844 | 11/2/1998 9845 | 11/9/1998 9846 | 11/16/1998 9847 | 11/23/1998 9848 |
| CONDENSATE DENITRIFIER BOARDS | 11/20/1998 9849 | 12/7/1998 9850 | 12/14/1998 9851 | 12/21/1998 9852 | 12/28/1998 9901 | 1/4/1999 9902 | 1/11/1999 9903 | 1/18/1999 9904 | 1/25/1999 9905 | 2/1/1999 9906 | 2/8/1999 9907 | 2/15/1999 9908 |
| 480V AUX BOILER BOS | DIV I | DIV (U3) | DIV II | DIV (U3) | DIV I | DIV (U3) | DIV II | DIV II (U3) | DIV I | DIV II (U3) | DIV II | DIV III (U3) |
| 480V WATER & OIL STORAGE BD | 1A BD | 1B BD | 1B BD | 1B BD | 2A BD | 2A BD | 2B BD | 2B BD | 2B BD | 3A BD | 3A BD | 3B BD |
| 480V RADWASTE BLDGS | 'B' BD | 2A BD | 2B BD | 2B BD | 2D BD | 2D BD | 2E BD | 2E BD | 2E BD | 2E BD | 2E BD | 2E BD |
| 480V SERVICE BLDG VENT BOARD | 1A & 1B BD | 2E LPCI | 1E BD & 2DA LPCI | 3C BD | 3C BD | 3C BD | 3C BD | 3C BD | 3C BD | 3C BD | 3C BD | 3C BD |
| 480V PWR CAB 1.3.1.4.3 CABINET | 2A BD | BD 2 | 2B BD | BD 3 | BD 3 | BD 3 | BD 3 | BD 3 | BD 3 | BD 3 | BD 3 | BD 3 |
| 480V GATEHOUSE PANEL BD | 2A BD | BD 2 | 2B BD | BD 3 | BD 3 | BD 3 | BD 3 | BD 3 | BD 3 | BD 3 | BD 3 | BD 3 |
| 240V DIST CAB 500KV SYSTEM | CAB 3 | 277 | 277 | 277 | 277 | 277 | 277 | 277 | 277 | 277 | 277 | 277 |
| BATTERY BOARDS | BT BD 3 | BT BD 1 | BT BD 2 | BT BD 2 | BT BD 2 | BT BD 2 | BT BD 2 | BT BD 2 | BT BD 2 | BT BD 2 | BT BD 2 | BT BD 2 |
| 250V REACTOR MOV BOARDS | 2A BD | 2A BD | 2B BD | 2B BD | 2C BD | 2C BD | 2C BD | 2C BD | 2C BD | 2C BD | 2C BD | 2C BD |
| 250V DC DISTRIBUTION BOARDS | 2A BD | 2A BD | 2B BD | 2B BD | 2C BD | 2C BD | 2C BD | 2C BD | 2C BD | 2C BD | 2C BD | 2C BD |
| 24-24V DC POWER SYSTEM | 281 | 282 | 282 | 282 | 282 | 282 | 282 | 282 | 282 | 282 | 282 | 282 |
| 480V POWER OUTLETS | 283 | 284 | 284 | 284 | 284 | 284 | 284 | 284 | 284 | 284 | 284 | 284 |
| TEMPERATURE MONITORING | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 |
| STEANDBY LIQUID CONTROL | 61 | 61 | 61 | 61 | 61 | 61 | 61 | 61 | 61 | 61 | 61 | 61 |
| PRIMARY CONTAINMENT | 64A | 64A | 64A | 64A | 64A | 64A | 64A | 64A | 64A | 64A | 64A | 64A |
| CONST PURGE SYS/RX BLDG VENT | 64B | 64C RFF | 64B-U1 | U1 64C RX | 64B-U2 | 64B-U2 | 64B-U2 | 64B-U2 | 64B-U2 | 64B-U2 | 64B-U2 | 64B-U2 |
| SECONDARY CONTAINMENT | 64 C | 64C RFF | 64D PCIS | U1 64C RX | 64B-U2 | 64B-U2 | 64B-U2 | 64B-U2 | 64B-U2 | 64B-U2 | 64B-U2 | 64B-U2 |
| PRIMARY/SECONDARY ISOLATION | 54 D | 64D PCIS | 64D PCIS | 64D PCIS | 64D PCIS | 64D PCIS | 64D PCIS | 64D PCIS | 64D PCIS | 64D PCIS | 64D PCIS | 64D PCIS |
| STANDBY GAS TREATMENT | 65 | SGT 'B' | SGT 'B' | SGT 'B' | SGT 'B' | SGT 'B' | SGT 'B' | SGT 'B' | SGT 'B' | SGT 'B' | SGT 'B' | SGT 'B' |
| RX WATER RECIRC & RX RECIRC FLOW CONTROL | 68 & 96 | 68 & 96 | 68 & 96 | 68 & 96 | 68 & 96 | 68 & 96 | 68 & 96 | 68 & 96 | 68 & 96 | 68 & 96 | 68 & 96 | 68 & 96 |
| REACTOR WATER CLEANUP | 69 | PMP 2A | PMP 1B | PMP 1B | PMP 1B | PMP 1B | PMP 1B | PMP 1B | PMP 1B | PMP 1B | PMP 1B | PMP 1B |
| REACTOR BUILDING CLOSED WATER | 70 | 70-U1 | 70-U1 | 70-U1 | 70-U1 | 70-U1 | 70-U1 | 70-U1 | 70-U1 | 70-U1 | 70-U1 | 70-U1 |
| REACTOR COKE ISOLATION COOLING | 71 | 71-U2 | 71-U2 | 71-U2 | 71-U2 | 71-U2 | 71-U2 | 71-U2 | 71-U2 | 71-U2 | 71-U2 | 71-U2 |
| HIGH PRESSURE COOLANT INJECTION | 71 | 71-U2 | 71-U2 | 71-U2 | 71-U2 | 71-U2 | 71-U2 | 71-U2 | 71-U2 | 71-U2 | 71-U2 | 71-U2 |

表2 BWR-4 廠 1998 年線上維修排程 (續)

| WEEK | WK-1 | WK-2 | WK-3 | WK-4 | WK-5 | WK-6 | WK-7 | WK-8 | WK-9 | WK-10 | WK-11 | WK-12 |
|---|--|----------------------|------------------------|---|------------------|------------------|----------------|----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| DATES | 12/29/1997 | 1/5/1998 | 1/12/1998 | 1/26/1998 | 1/26/1998 | 2/2/1998 | 2/9/1998 | 2/16/1998 | 2/16/1998 | 2/23/1998 | 3/6/1998 | 3/16/1998 |
| WV CODE | 9801 | 9802 | 9803 | 9804 | 9805 | 9806 | 9807 | 9808 | 9809 | 9810 | 9811 | 9812 |
| (WEEK BEGINNING DATES) | 1/23/1998 | 1/30/1998 | 1/27/1998 | 2/3/1998 | 2/10/1998 | 2/17/1998 | 2/24/1998 | 3/3/1998 | 3/10/1998 | 3/17/1998 | 3/24/1998 | 3/31/1998 |
| Work WEEK MANAGERS | | | | | | | | | | | | |
| Wks 1 & 7: Eldorado Nic. Canille 2915 page 90-410 | | | | | | | | | | | | |
| Wks 2 & 8: Jerry Where est 7129 page 40-795 | | | | | | | | | | | | |
| Wks 3 & 9: Living Hills est 7128 page 90-413 | | | | | | | | | | | | |
| Wks 4 & 10: Perry Jeffers est 7653 PAGE 70-864 | | | | | | | | | | | | |
| Wks 5 & 11: Paul Hems est 7879 page 90-414 | | | | | | | | | | | | |
| Wks 6 & 12: Rich Ruszyk est 2611 page 10-138 | | | | | | | | | | | | |
| SYSTEM DESCRIPTION | DIV I | DIV I(U3) | DIV II | DIV II(U3) | DIV I | DIV I(U3) | DIV II | DIV II(U3) | DIV I | DIV I(U3) | DIV II | DIV II(U3) |
| RESIDUAL HEAT REMOVAL | | | | | | | | | | | | |
| CORE SPRAY COOLING | U7 | | U7 | U3 | | U7 | U3 RHR LOOP II | U3 RHR LOOP II | U3 RHR LOOP I | U3 RHR LOOP I | U2 RHR LOOP II | |
| CONTAINMENT INERTING | CS LOOP I | | CS LOOP II | CS LOOP II | | CS LOOP I | | | | | | |
| FUEL POOL COOLING & DEMINERALIZER/AIDR | 2R H2O2 ANALYZER | 1A H2O2 ANALYZER | PMP 3A | | 2A H2O2 ANALYZER | 3B H2O2 ANALYZER | | | 76-U2 | PMP 2A | | |
| FUEL HANDLING | | | | | | | | | | PMP 3B | | |
| PRIMARY CONTAINMENT COOLING | | | | | | | | | | | | |
| CONTAINMENT AIR DILUTION | 84-TNK A | | | | | | | | | | | |
| CONTROL ROD DRIVE | | | | | | | | | | | | |
| RADIATION MONITORING | | | | | | | | | | | | |
| NEUTRON MONITORING | 2-RM-90-131D 3-RM-90-251 3-RM-90-249 | U7 | U2 | U2 | U2 | U3 | U2 | U3 | U3 | U2 | U2 | U3 |
| | | APRMA U3 APRME | APRMA U3 APRMA F | APRMA U3 APRMA D U3 APRMA B&D | SRM A&C | SRM A&C | SRM B&D | SRM B&D | SRM B&D U3 IRM G&E | IRM A&C U3 IRM A&C | IRM A&C U3 IRM F&H | IRM F&H U3 IRM B&D |
| TRAVELING IN CORE FOR REACTOR PROTECTION | | | | | UP TRANS | | | | MG SET 1A & 1B R JB | 3AMG SET | MG SET 2B | |

(2) 美國電廠對可用度之定義有程度上之不同，對設計為自動啟動之 SSCs，若線上維修時隔離自動啟動功能，有些廠就將其視為不可用，但另有些廠認為是否可用要經仔細評估，若能立刻（在事故發生後之特定時間內）恢復該 SSCs 功能，則亦應被視為可用，例如派專人在電源之斷路器旁，遇有事故時可立即恢復供電，有了這類輔助措施，線上維修時有些 SSCs 可被評估為可用。維護法則對 SSCS 是否可用定義之原文為：

Unavailability – The numerical complement of availability. An SSC that cannot perform its intend function. An SSC that is required to be available for automatic operation must be available and respond without human action.

根據上文，SSCs 之可用性應該不包括任何人為動作，然而經過數年的維護法則實施經驗後，許多電廠及研究單位認為過於保守，因此 NEI 提議將原有定義修改如下：

Unavailability – The numerical complement of availability. An SSC that cannot perform its intend function. An SSC that is required to available for automatic actuation can be capable of automatic actuation, or capable of being placed in service by immediate manual actuation.

若根據修改後的定義，電廠判定 SSCs 是否可用的空間比較大，電廠也必須派專員執行或準備執行某

些預備措施，對風險管理未嘗不是具正面作用。

3. 美國線上維修經驗汲取：

(1) 此次實習訪談中 ABS 公司從美國 16 個電廠中歸納共同大宗之 OLM 項目：

- 輔助飼水泵。
- 圍阻體噴灑泵。
- 餘熱移除泵。
- 廠用水泵 (Service Water Pump)。
- 馬達帶動閥。
- 柴油發電機。
- 圍阻體局部洩漏率測試 (LLRT)。
- ECCS 各系統。

除了上述設備外，WOG 旗下之 PWR 有些對圍阻體隔絕閥 (Containment Isolation Valves)、Class 1E 變壓器、飼水加壓泵 (Booster Pumps)，有些廠將來的線上維修項目可能擴及蓄電池組、控制室通風系統、Essential Chilled Water System、更多之 LLRTs、反應爐冷卻風扇等各種設備。

(2) 此次實習訪談中亦請教 ABC 顧問公司專家，本公司核能電廠執行線上維修工作，選那些 SSCs 最有利基，及如何排其優先順序。然林超副總裁以專業的口吻表示：一方面各廠各機組因考量角度不同，如有的著重於電廠安全考量 (線上維修最原始之宗旨)；有的又比較在意於績效的考量 (縮短大修工期)，就會

有不相關項目的產生；另一方面他不瞭解目前本公司各機組各相關 SSCs 之維護情況。所以不好隨意挑選某一個項目來顯現對電廠為最有利，他謙虛的表示他實在沒能力回答我這個問題。

- (3) 實施線上維修主要目的之一當然是縮短大修工期，但影響大修工期的因素很多，美國 Limerick 電廠近幾次大修均能維持在 20 天左右，該廠大修經理認為這些因素包含：全體員工共同的目標、工作意願的提昇、工期的仔細規劃、組織協調的增進、其它電廠資源的分享、運轉規範的修改、線上維修的實施、硬體設備及工作程序的改善等，因為大修的要徑 (Critical Path) 工作往往不能移至線上進行，故線上維修對縮短大修工期的直接效果在某個程度後是有限的，但對大修期間人力資源的運用及對電廠組態 (Configuration) 的控制以減少大修期間亂度的幫助卻是顯而易見的。
- (4) 有許多因素可影響線上維修項目的選定及受益的評估，包括執行線上維修是否會影響系統之整體可用度？資源是否可得更佳之運用？可否減低大修工作量？能否縮短大修要徑？然而這些因素很多都是因廠而異的，是否執行線上維修往往取決於廠內的政策，例如甲廠的績效無論是 NRC 或是 WANO 的評價都很高，該廠具備完整之線上維修程序書，過去亦執行過許多線上維修項目，但為了達到維護法則的性能準則，同時保持優異之 SSCs 可用度，甲廠目前僅對備用安全系統，如 D/G、AFW、RHR、CS 等，之設

備進行線上維修。另外乙廠之政策則大不相同，過去大修被認為是最佳的設備保養期間，如今線上維修每周都在進行，對於緊急安全系統的測試或預防保養等工作，只要在 60% LCO 允許不可用時間內能完成，乙廠皆排訂線上維修執行。

- (5) 線上維修是有計畫性之維修，可有效地運用人力，理論來說其維修品質應該較佳，實施線上維修後，電廠內由於測試失效或其它原因造成之非計畫性維修次數可能會減少，這些會逐年反映在 PSA 之數據上，下圖，為某 BWR 電廠連續二年實施線上維修之 CDF 及 CDP 的比，因該電廠實施定期循環式之線上維修，在對應的月份內維修項目不至於有太大差異，由該圖可看出第二年之 CDP 較第一年低一些，有可能是上述非計畫性維修次數減少的原因，也可能是第二年因經驗增加而減少了線上維修所造成之 SSCs 不可用，更可能是二個原因都有，總之，長期來看線上維修雖會增加 SSCs 因計畫性維修之不可用度，但非計畫性維修之不可用度會降低，總 CDP 也可能會逐年下降至某一程度。

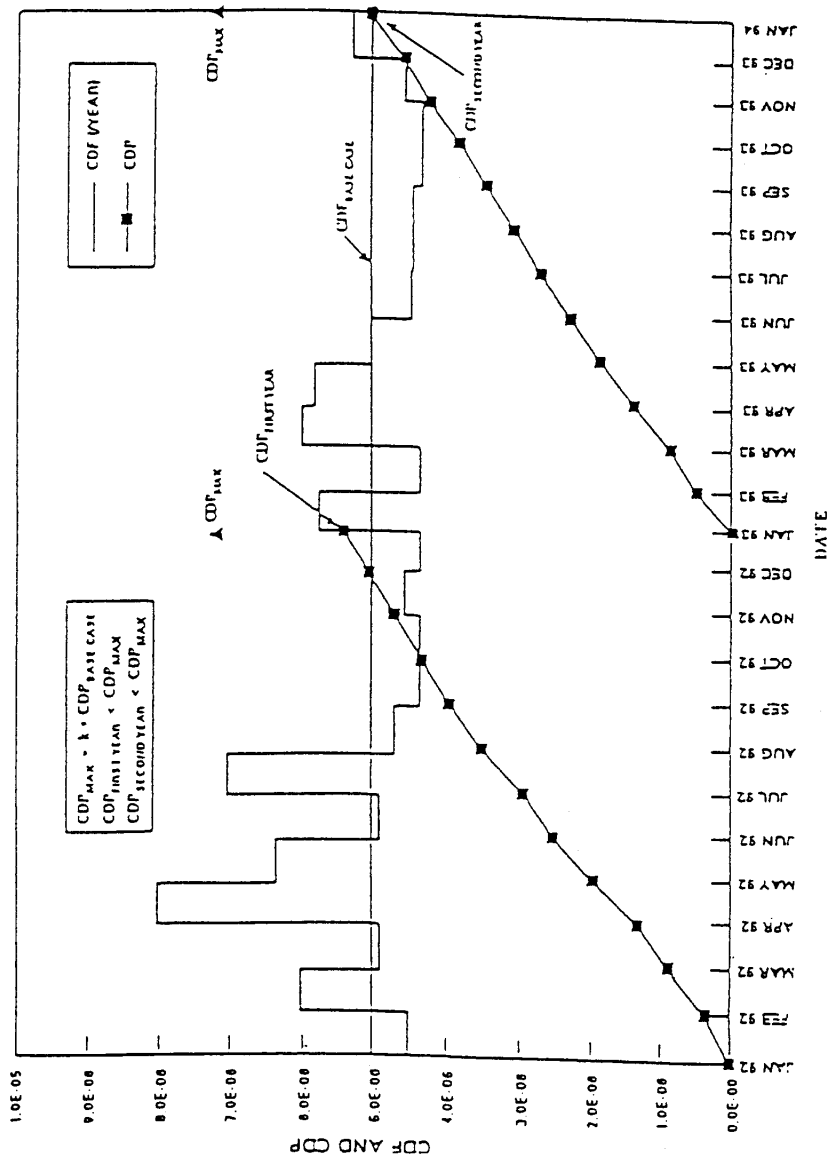


圖 某 BWR 線上維修二年 CDF 及 CDP 之比較

(6) 美國有許多電廠實施定期的循環式線上維修，也有些廠雖全面實施線上維修，但不是以十二或十三星期為週期來不斷循環，而是將欲線上維修的 SSCs（特別是安全相關 SSCs）集中於某段期內執行，好處是不會經常有安全系統不可用，工作人員在這段特殊期間內加強注意力，效率有可能更高，國內法規即使允許長期實施線上維修，應在既有之運轉維護制度下循序漸進，先期以安全相關之 SSCs 為主，將其集中於某段期間內執行，並儘量避免對既有之偵測試驗制度有所更改。

四、心得與建議：

1. 線上維修實施方案的擬訂應遵循管制單位的政策，美國電廠之線上維修就是遵循維護法則，滿足相關 SSCs 之既定功能目標，來達到核管會的要求。目前在國內核管單位（行政院原子能委員會）採個案審查的方式來審核電廠線上維修的申請，在此政策下，是依據行政院原子能委員會「核能電廠執行線上維修案實施要點」辦理，若將來原能會准許通盤性之實施線上維修，各電廠可依各自之需求而制訂長期實施方案。
2. 線上維修執行方案：方案一：採取以 12 週（或 13 週）為一循環單元之長期循環實施方案。方案二：將線上維修集中於大修前若干個月實施，且每個燃料週期實施一次。

在推行線上維修初期或由大修移至線上之工作量不大時可實行此方案，待經驗豐富後再推行長期循環實施方案。

3. 若將來國內在不推行維護法則，允許電廠長期實施線上維修並以通案方式管制，可於現有之作業及審查程序中加入如風險評估矩陣及適當之長期排程規劃，且電廠宜對欲實施線上維修的系統自訂累計不可用度上限，做為風險管理之目標，達到風險管理之目的。
4. 目前原子能委員會准予本公司執行線上維修的範圍僅限定於：餘熱移除系統(RHR)、緊急海水系統、緊急寒水系統、爐心噴灑系統。現今核一、二、三廠，僅以 RHR 系統內某單一設備為開端來嘗試，建議擴大至 RHR 整串之線上維修，效益會比較大。