

行政院及所屬各機關出國報告  
(出國類別：實習)

研習風險告知在營運期間檢測上之應用

服務機關：台灣電力公司

出國人 職 稱：核能工程師

姓 名：郭國銘

出國地區：美 國

出國日期：92年8月13日~92年8月24日

報告日期：92年10月21日

43/09203638

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：研習風險告知在營運期間檢測上之應用報告

頁數 16 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)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

郭國銘/台灣電力公司/核能發電處/核能工程師/(02)2366-7059

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他（出席國際會議）

出國期間：92年8月13日至92年8月24日

出國地區：美國

報告日期：92年10月21日

分類號/目

關鍵詞：核能發電、營運期間檢測、風險告知

內容摘要：

我國三座核電廠目前之營運中檢測計畫係根據製造廠商之建議、舊有規定及十分保守之假設制訂，雖符合管制要求，卻有檢測逾量、不符經濟成本之虞；而美國近年來在風險告知應用於營運中檢測之研究與實施的經驗，顯示風險告知營運期間檢測計畫的執行，可以降低營相關的成本與輻射曝露，然同時又能維持高水準的安全；本公司有必要引進建立適合我國相關技術基準與方法，以做為未來應用風險告知在營運期間檢測之基礎。

本次出國實習風險告知評估技術，包括管路分段、管路破損可能性與後果評估、管路分段風險分類、以及建立考量風險與效益影響的檢測策略等，有助於爾後在推動本公司核電廠「風險告知應用於營運期間檢測」之參考。

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

# 目 錄

	頁數
一、出國事由.....	2
二、出國行程.....	2
三、研習內容.....	2
四、感想與建議.....	7

## 一、出國事由：

赴美國研習風險告知在營運期間檢測上之應用。

## 二、出國行程：

8月13日	往程：台北→舊金山
8月14日~18日	Palo Alto,美國電力研究所(EPRI) 研習風險告知之檢測與評估技術
8月19日~22日	Irvine, ABS 顧問公司 研習運用風險告知技術評估管路之方法
8月23日~24日	返程：洛杉磯→台北

## 三、研習內容：

### (一) 前言

本公司核能組件現行的檢測規定均依 ASME Sec.XI 鍋爐與壓力容器(簡稱 BPVC)規章，此部規章最早是依據來自在核能運轉經驗之前的其他工業在鍋爐與容器上的運轉經驗，並以透過協商共識而整合的專家意見為基礎而設置的，雖符合管制要求，卻有檢測逾量、不符經濟成本之虞。

美國核能工業界於 1990 年代發展出風險告知在營運期間檢測(RI-ISI, Risk-Informed Inservice Inspection)的導引，同時也透過美國核能協會(Nuclear Energy Institute, 簡稱 NEI)向核管會(NRC)提出兩份主題研究報告的審查與核可申請，此兩份報告均為執行 RI-ISI 方法的文件，其中一個方法由美國機械工程師學會(簡稱 ASME)研究小組與西屋廠家聯盟(簡稱 WOG)合作建立，下文簡稱 WOG 法；另一個方法則是由美國電力研究所(Electric Power Research Institute, 簡稱 EPRI)研發，下文簡稱 EPRI 法；NRC 審查此兩份報告，並分別於 1998 年 12 月與 1999 年 10 月頒佈此兩方法相關的安全評估報告。

此外 ASME 也通過發行了三個規章個案(Code Case)，分別是：

N-560 (Alternative Examination Requirements for Class 1, Category B-J Piping Welds, Section XI, Division I," August 9, 1996)、N-577(Risk-Informed Requirements for Class 1, 2, and 3 Piping, Method A, Section XI, Division 1, September 2, 1997)與 N-578 (Risk-Informed Requirements for Class 1,2,and 3

Piping, Method B, Section XI, Division I, September 2, 1997), 作為 ASME 現行第 XI 部第 1 級管路檢測要求的替代方案。這些規章個案利用風險洞見將電廠管路依照重要性分類，並施以不同程度的檢測。規章個案 N-577 係依據前述 WOG 的方法，而 N-578 則是依據 EPRI 的方法，至於 N-560 亦主要依據 EPRI 的方法，但針對的是第 1 級 B-J 管路焊道，並經修正以納入上述 EPRI 法與 WOG 法的特色。

依據 NEI 的預估到今(2003)年底，美國現有運轉中的 103 部核能機組中，將會有 86 個機組實施 RI-ISI，而這些機組中，有 61 個機組依據的是 EPRI 法，25 個機組依據的是 WOG 法。而據美國核管會(NRC)估計，至 2003 年 5 月為止，共有 71 個 RI-ISI 申請案件提送至美國 NRC 審查，當時為止其中 52 個已獲批准。

除了工業界的努力外，NRC 自 1995 年的「PRA 政策聲明」之後，積極推動風險告知應用於管制事務，並推出了一系列風險告知應用導則，其中有關風險告知營運期間檢測的部分輯錄於法規指引 RG 1.178: An approach for PRA in risk-informed decisions on plant-specific changes to the licensing basis，讓電力公司或其核電廠可依法申請“持照基準變更”(licensing bases exchange)，使電廠之運轉更有彈性，人力和物力等資源的運用更有效率，機組之安全與績效因而獲得提升。NRC 預期在 ASME 推動了 N-560、N-577 與 N-578 等規範案例的發展下，持照者將會陸續提出電廠設計、運轉或其他作業的更動申請，以獲得 NRC 的許可，而在 ISI 計畫中加入風險洞見(即所謂的風險告知 ISI 計畫)。就 NRC 的觀點，電廠持照者如果依據 RG 1.178 的指引，提出 ISI 計畫的修改申請案，就符合 10CFR 50.55a 「規章與標準」中(a)(3)(i)準則所認可的替代檢測計畫，若經 NRC 接受，亦表示修正後的 ISI 計畫在品質與安全上達到可接受的水準。

本公司委託核能研究所辦理中之「風險告知應用於營運期間檢測之先導性研究」研發案，係採用 EPRI 的方法來進行，此次訪問 EPRI 能夠與編寫相關研究報告之專家請益，對 RI-ISI 之認識及理論基礎有進一步瞭解；至於 ABS Consulting 公司則為核能研究所辦理本研發案之顧問公司，曾經負責承辦美國多家核電廠向 NRC 申請 RI-ISI 之案件，擁有實際評估應用之經驗，與其專家請益美國核能界運用 RI-ISI 之方法及現況，認為本公司核電廠營運期間檢測有很大努力空間，必須向管制單位提供充份文件說明，方能順利推展。

## (二) 研習心得

EPRI 的 RI-ISI 程序方法大致可以分成六個主要步驟：1.定義 RI-ISI 計畫的範圍、2.管路分段的失效模式與效應分析(簡稱 FMEA，包括評估管路

破損的後果與評估管路破損的可能性或機率)、3.建立風險分段的特性、4.選取檢測構件、5.評估因檢測計畫更動所致的風險影響、6.納入長期 RI-ISI 計畫。(參考圖 1)

## 1. 管路分段

為了評估電廠系統內所含管路的重要性，必須將管路適當地分段，以便能針對各管路分段評估其破損所造成的風險影響，據以決定各管路分段的風險顯著性；也就是說在 RI-ISI 中，風險評估所操作的項目或單元就是管路分段，而非停留在個別系統的層級。EPRI 法與 WOG 法最明顯的差異之一在於對管路分段的方式，WOG 法主要依據管路破損的後果，而 EPRI 法則除了管路破損後果之外，在分段上也會依據劣化機制的考量。

EPRI 法的管路分段區分方式的目的就在於配合其特有的以「劣化機制評估」作為管路分段破損機率的主要評估方式，而此種評估方式下的管路分段定義特色在於，評估結果不至於取決於分段的大小或分段的數目。EPRI 法中，管路分段的定義為連續的一段管路，並符合下列四個條件：

- A. 管路分段中的任何位置一旦破裂，均有相同後果；
- B. 管路分段中每一個位置可能存在的劣化機制均相同；
- C. 管路分段都位於電廠裡同一個區域內，亦即空間上的影響相同；
- D. 管路分段本身的管路是連續的。

在採用此管路分段的定義之下，管路分段的長度並不是決定在系統組態，而是決定在獨立進行的後果評估與破損可能性評估，並將兩者的分段方式結合，管路分段即亦定義完成。

## 2. 管路破損可能性與後果評估

在 RI-ISI 中，估算管路破損機率方法大致而言有三種，分別是(1)利用歷史數據與工業經驗進行數據評估，(2)結構可靠度計算(尤指機率性破壞力學計算)，(3)專家意見探詢；將這些方法結合起來應用，當最能發揮其用途，管路破損的模式可能是小洩漏，也可能是大洩漏，甚至是破裂，取決於劣化機制與肇始負荷的組合。RI-ISI 的應用所考量的特定破損事件係指壓力邊界破損乃至於造成管路分段安全功能喪失的事件。

ASME 規章中有關設計與建造的法規在預防大部分預期中破損模式方面著有成效，應該考量的輕水式核電廠管路組件破損原因事例如附表 1。管路分段可能的破損模式在評估時，與所評估系統的特性有關的資訊也應該有所瞭解，包括管路材質、系統熱運轉模式(例如壓力、溫度與週期數目)、熱暫態的出現、系統延長維修的經驗、間歇性的系統運轉經驗、系統的水化學狀況與先前 ISI 的經驗等，有關分段管路劣化機制評估作業流程詳附圖 2。

執行劣化機制評估時，必須先審視系統與系統邊界，此過程需要參考管路等視(ISO)圖、電廠程序書(尤指運轉程序書)與計劃、系統與材質規格、設計報告、其他的電廠相關數據庫與分析等，審查時著重在設計特性、製造作業、運轉狀況以及電廠與工業界的營運經驗，劣化機制判定準則與易發生的區域詳附表 2。

管路破損後果的評估，一般即指管路破損所致的爐心受損頻率(CDF)或早期大量輻射外釋(LERF)，當我們評估 ISI 更動所致的風險變化時，應該運用符合實際的條件狀況(電廠在建造與運轉上之現況)來分析，RI-ISI 風險影響評估決策標準參考附圖 3。管路破損風險經過評估，就可以進一步將管路分段歸類為高與低安全顯著類別，此時我們可以再參考其他的假設，確認出風險顯著的管路元件。

EPRI 法在處理管路破損後果上，並不強調定量的風險數字，而著重在後果的排序與分類，例如管路破裂造成的爐水流失事故(LOCA)在安全上的後果是否會比造成飼水喪失來得顯著，EPRI 法為此建立一系列的表格供分析者查閱，從而釐清各管路分段破損的後果歸類與排序，稱為「查表法」。查表法依據 PRA 評估，將管路破損後果的重要程度分成四類：高、中、低、無，「高」後果類別代表對電廠安全有顯著影響的事件(參考附表 3 之 EPRI 法的風險分段特性矩陣表)，相對地所謂的「低」後果類別代表對電廠安全影響微小的事件，而後果類別歸於「無」者的管路位置，則以諸如可以就地棄置的管路為典型代表。

### 3. 管路風險重要性分類

在估算管路分段破損的後果，無論是有量化數字的 CDF 與 LERF 或定性的後果類別之後，就可以將分析過的管路分段，依照一個既定的且與風險重要性(考量管路破損可能性與破損後果)有關連的標準，經過一個分類程序，將其區分到不同的分類。將各管路分段進行分類，其目的就相當於將原有 ASME 檢測要求的管路位置重新分配，在不同風險重要性分類中的管路分段，對應的檢測要求(例如選取檢測構件、檢測取樣、實際檢測位置與檢測頻率等)就有所不同，也因此達到 RI-ISI 所希望的檢測資源重分配，將檢測資源儘可能集中到與安全緊要相關的地方(參考附表 4 之檢測構件選取考量因素表)。EPRI 法在管路分段風險分類上，直接就以管路破損的可能性(與劣化機制息息相關)及管路破損的定性查表評估後果作為風險分類依據。

由於最後管路分段的風險重要性分類是建立風險告知營運期間檢測計畫時的重要依據，無論 EPRI 法與 WOG 法都建議成立專家小組或跨專業討論會，提供意見並確證或審查管路分段風險重要性與構件選取的結果，成立專家小組的用意，主要在於由不同專長的人員，透過討論的形式，建

立或審查前述管路分段風險分類的相關輸入，包括管路破損可能性與管路破損後果或安全顯著性，並加入其他專業領域的意見與定論性考量，將管路分段的風險分類作進一步的確證，同時也參與檢測構件選取的過程；EPRI 法的專家小組主要在審查檢測構件與檢測位置的選取規劃，以及管路分段的風險分類。

#### 4. 檢測策略制訂

在得到專家小組審查後的管路分段風險分類之後，就可以進行風險告知營運期間檢測策略的制訂，其原則在於檢測數量的最低標準應該儘量簡化與明瞭，以求一致適用；檢測的取樣數量應該隨著存在的劣化機制類型而靈活調整，檢查的位置分佈應該儘量偏重於被列於高風險類別的管路分段，同時構件的選取流程與採用的檢測方法都應該確保能夠增進整體檢測的成功率或檢出機率，也就是說新的檢測計畫應該預期能降低管路破損的頻率。

相較於原 ASME 檢測計畫，RI-ISI 計畫改變的是檢測的數目、檢測的位置與檢測的方法，這些都是檢測策略的環節，但原來 ASME 檢測計畫要求中有關檢測區間、瑕疵評估上的可接受準則、發現瑕疵後的擴大檢測標準以及檢測技術與人員的檢定等的部分，基本上都維持不變。

檢測策略訂定的過程分為幾個主要的部分，首先是檢測規劃，亦即按照管路分段風險分類的結果，決定歸屬於各分類的管路分段中，應該選取哪些與多少構件進行檢測，而檢測時應著重在哪些位置，又應該多久檢測一次；基本上的原則是風險顯著性越高的管路分段，所受的檢測應該最多，風險顯著性越低的管路分段或構件，則維持基本的檢測如壓力測試配合目視檢查即可。同時在管路構件的檢測上，相當程度都著重在「針對原因來檢測」的脈絡，也就是說如果管路分段或構件存有已知的劣化機制作用，或依照運轉狀況判定容易出現劣化機制的位置，就會被列為優先檢測的對象，參考表 4 檢測構件選取考量因素表。

EPRI 法在檢測規劃上最倚重的就是與劣化機制有關的電廠營運經驗，個別構件的選取，決定在已呈現的劣化機制相對的嚴重程度、構件實體位置在接近上的限制、構件相關的營運歷史、檢測作業的輻射暴露及成本的考量等幾個因素。

效益影響評估在決策過程中之角色僅為考量因素之一，決策者不應將其視為唯一或者是主要因素。在圖 4 中虛線框的分析步驟可明顯看出，評估乃針對提案對各屬性造成之效益與影響分別進行分析。

兩種不同檢測方式之考量結果比較，以美國核電廠 Millstone #3 號機和 Surry #1 號機為例，如表 5 所示新的思考模式重新檢討電廠管路上需定



期做檢查的焊道數已減少了七、八成之多，這不但減少檢查的工作量，而且也減低機組風險，此外，人員因檢查焊道而接受的輻射劑量每十年約減少 60 至 75 人倫目之多，所以 RI-ISI 檢測方式是值得努力的方向。

#### 四、感想與建議：

1. 核電廠利用風險評估技術已有三十年歷史，隨著時間的增長，風險度評估的技術也更成熟，其應用也更廣泛，更為大家所接納和認同。因此，利用風險的理念來重新評估舊有規定和要求的合理性已是現在核能工業界的風潮。從各方面的資訊顯示，美國已有許多電力公司或其核電廠在此一新的管制模式下，利用風險的理念向美國核能管制委員會申請“持照基準”的變更，而且獲准的實例很多，值得本公司學習和了解。
2. 本公司早自 1983 年起就開始對核電廠進行安全度評估，其後也針對安全度評估的模式及設備故障率數據繼續更新以反應電廠實際運轉狀況，從而提升安全度評估技術及開發安全度評估工具，並建立有關人員在安全度評估和其應用的能力。惟過去國內核能管制機構尚未十分接納此“風險告知”管制模式，所以很難推廣應用；但近期已有改變，就像 Online Maintenance 的執行，讓本公司實際引用風險理念向前邁進一大步，這也使得本公司與核研所安全度評估專業人員有更大發揮空間，希望可以往營運期間檢測上之應用繼續努力。
3. 在營運期間檢測計畫中納入風險告知技術，將能使核電業界與管制單位都有受益，此乃因為更能準確地瞭解電廠組件的機械完整性，讓業界與管制單位都更能夠處理老化與延壽的問題。此外，管制單位與業界也更能夠將有限的資源集中在安全顯著性高的組件上。在風險告知營運期間檢測之下，業界將能夠在維持電廠高水平安全的同時，也降低電廠運轉與維護的成本。
4. 美國境內 103 個輕水式核電機組，其中 86 個已經或計劃執行 RI-ISI，剩餘 17 個則因為機組老舊、設計/維修歷史資料不完整、申辦作業耗時等因素而未推行；所以本公司需對核電機組各類相關文件妥善管理，俾能提供爾後推動 RI-ISI 之需。

附圖 1：EPRI RI-ISI 方法概觀

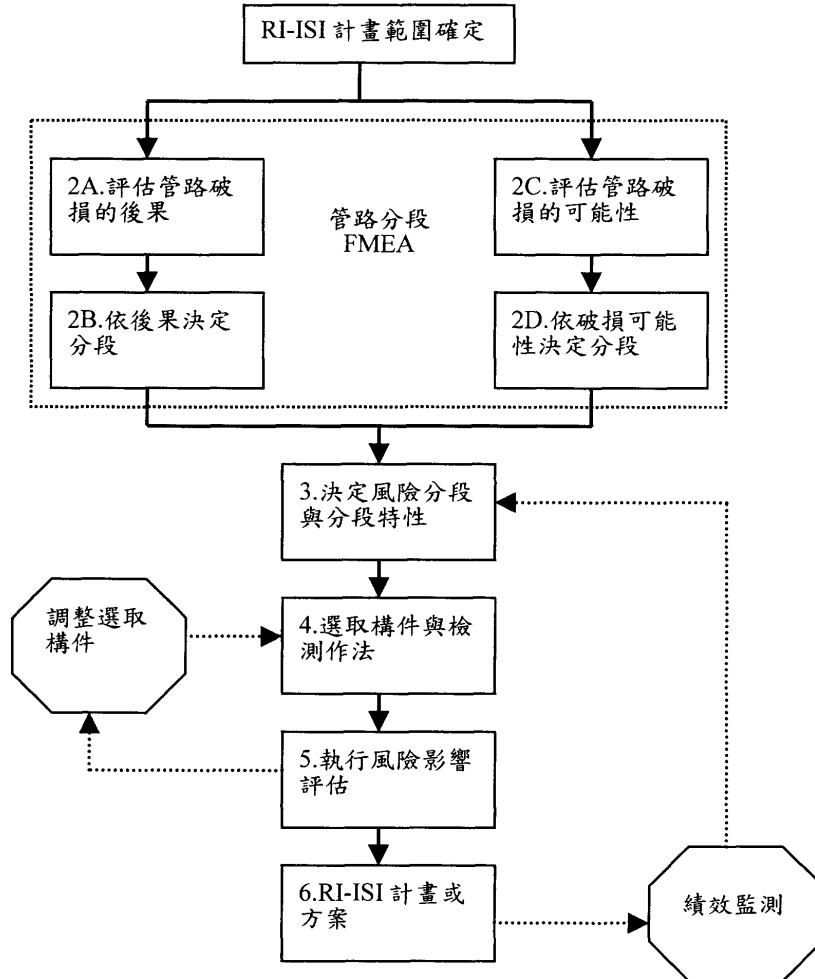
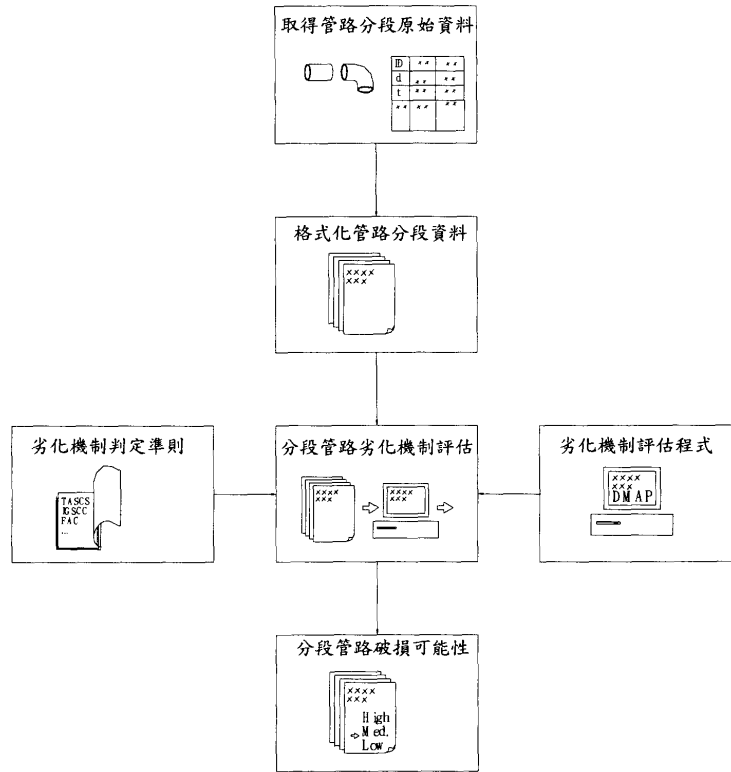


圖 2：分段管路劣化機制評估作業流程



附圖 3：RI-ISI 風險影響評估決策標準

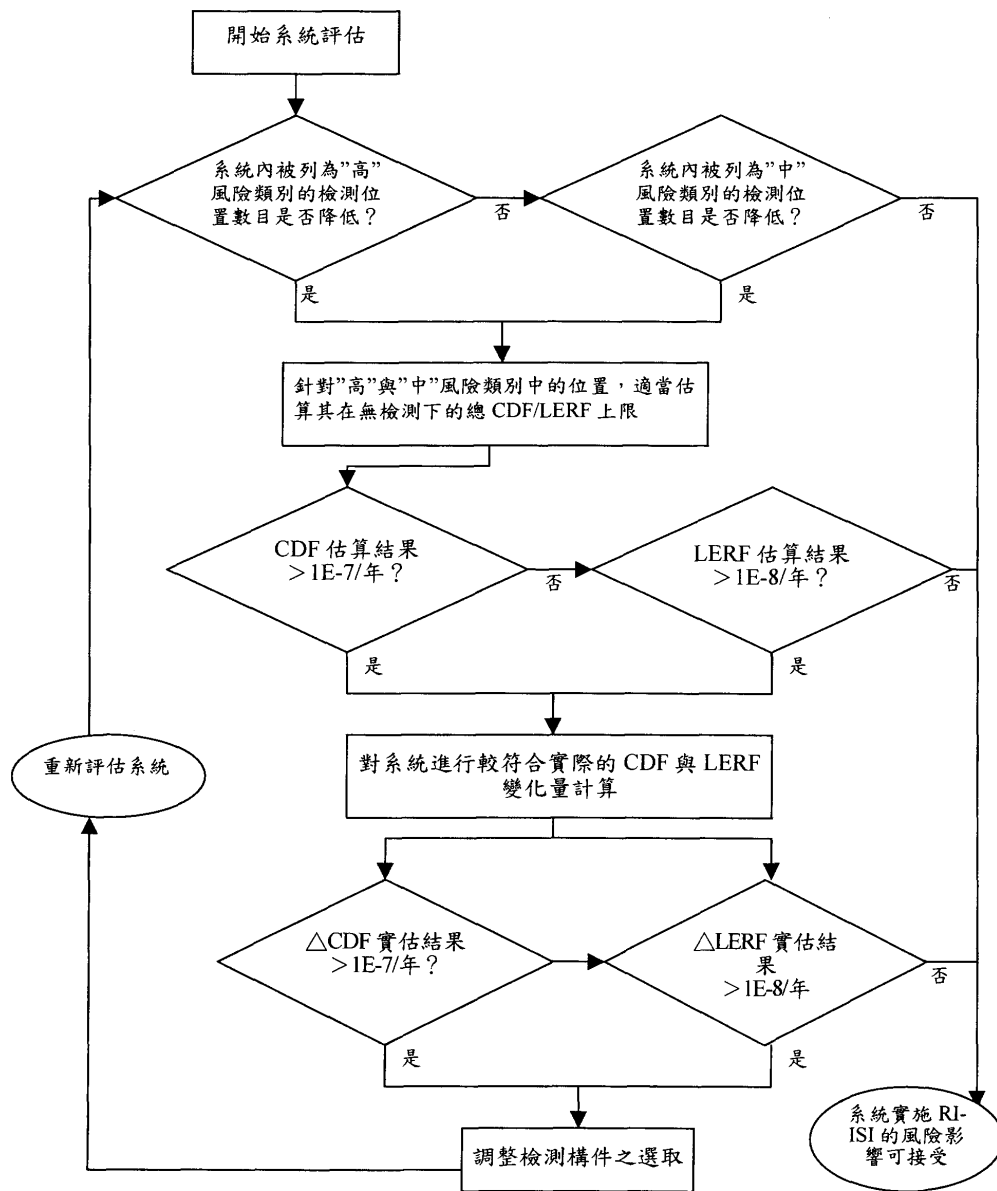
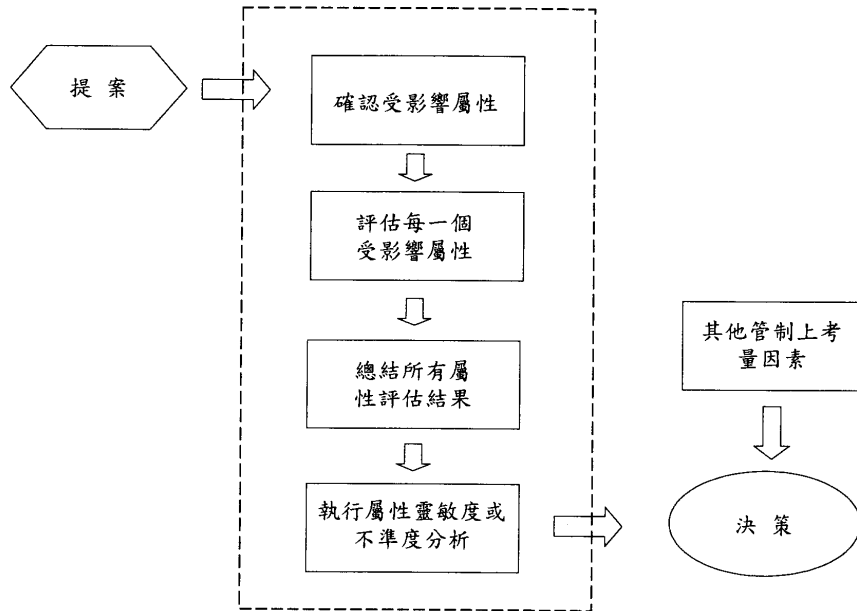


圖 4：效益影響評估在提案決策流程中之角色



附表 1：輕水式核電廠管路組件破損原因事例

<p>沖蝕類(Erosion)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>沖蝕</li> <li>沖蝕/腐蝕</li> <li>機械性磨損(Mechanical Wear)</li> <li>侵蝕(Fretting)</li> <li>孔蝕(Cavitation)</li> </ul> <p>脆化</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>照射(Irradiation)</li> <li>熱老化</li> </ul> <p>腐蝕/龜裂</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>晶間(Intergranular)</li> <li>穿晶(Transgranular)</li> </ul> <p>製造/維修</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>熱處理不當</li> <li>不當修補/更改</li> <li>異類金屬焊道</li> </ul>	<p>疲勞(高週/低週)[Fatigue(high or low cycle)]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>機械性</li> <li>熱效應</li> <li>震動</li> </ul> <p>腐蝕(Corrosion)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>主體腐蝕</li> <li>縫隙(Crevice)腐蝕</li> <li>洞蝕(Pitting Corrosion)</li> <li>電位(Galvanic)腐蝕</li> <li>微生物影響</li> <li>凹洞(Pitting)</li> </ul> <p>機械損傷</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>水鎚</li> <li>支撐設置不當或劣化</li> <li>限制器設置不當或劣化</li> <li>外部負荷/撞擊</li> </ul>
--	--

附表 2：劣化機制判定準則與易發生的區域

劣化機制		準則	易發生區域
熱疲勞 (Thermal Fatigue)	熱分層、循環與剝蝕 (TASCS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 管徑 &gt; 1 吋；且</li> <li>- 管路分段斜率 &lt; 45° (由水平起算，包括連接至垂直管路的肘管或 T 形管)；且</li> <li>- 連接某一組件的某段管路內出現緩流，使得冷熱流體得以混合；或</li> <li>- 有穿越閥的洩漏(亦即內漏、外漏與跨漏)，使得冷熱流體得以混合；或</li> <li>- 連接至某熱流體源的管路段盡頭被熱對流加熱；或有雙相流(水/蒸汽)現象；或</li> <li>- 集管中有呈現高紊流的熱流體，而連接至該集管的分枝管路也出現紊流滲入等，且</li> <li>- 計算或測得的 <math>\Delta T &gt; 50^{\circ}\text{F}</math>，且</li> <li>- Richardson 數 &gt; 4.0</li> </ul>	管嘴，分枝管路接點，安全端管，焊道，熱影響區 (HAZ)，母材，應力集中區
	熱暫態 (TT)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 不銹鋼管路，運轉溫度 &gt; 270°F，或碳鋼管路，運轉溫度 &gt; 220°F；且</li> <li>- 呈現較快速的溫度變化，例如冷流體注入熱管路分段，或熱流體注入冷管路分段；且</li> <li>- 不銹鋼管路，<math> \Delta T  &gt; 200^{\circ}\text{F}</math>，或碳鋼管路，<math> \Delta T  &gt; 150^{\circ}\text{F}</math>，或 <math> \Delta T  &gt;</math> 允許的 <math>\Delta T</math> (前兩者皆適用)</li> </ul>	
應力腐蝕龜裂 (Stress Corrosion Cracking)	晶間應力腐蝕 (IGSCC) BWR 電廠	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 依據電廠既有的 IGSCC 計畫計算(NRC 通函 88-01 要求)</li> </ul>	奧斯田鐵不銹鋼的焊道與熱影響區
	晶間應力腐蝕 (IGSCC) PWR 電廠	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 運轉溫度 &gt; 200°F；且</li> <li>- 易發生 IGSCC 的材質(碳含量 <math>\geq 0.035\%</math>)；且</li> <li>- 存有拉伸應力(包括殘餘應力)；且</li> <li>- 存有氧或有氧化力的物質；</li> <li>或</li> <li>- 運轉溫度 &lt; 200°F，但上述情況存在；且</li> <li>- 起始污染物(例如硫代硫酸鹽、氟化物，氟化物)存在</li> </ul>	
	穿晶應力腐蝕 (TGSCC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 奧斯田鐵不銹鋼；且</li> <li>- 運轉溫度 &gt; 150°F；且</li> <li>- 存有拉應力(包括殘餘應力)；且</li> <li>- 存有鹵化物(例如氟化物、氯化物)或 NaOH；且</li> <li>- 存有氧或有氧化力的物質(搭配鹵化物的存在)；</li> </ul>	奧斯田鐵不銹鋼母材、焊道與熱影響區

附表 2：劣化機制判定準則與易發生的區域

劣化機制		準則	易發生區域
	氯侵入應力腐蝕 (ECSCC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 運轉溫度 &gt; 150°F；且</li> <li>- 存有拉應力；且</li> <li>- 管路外部表面在洩漏可能途徑(例如閘幹)的 5 倍直徑之內，同時包覆在不符合 RG 1.36 規定的非金屬絕緣內；或管路外部表面浸潤在含氯化物的環境中(例如海水、鹽水)；且</li> </ul>	奧斯田鐵不銹鋼母材、焊道與熱影響區
	一次側水應力腐蝕 (PWSCC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 管路材質為英高鎳(Alloy 600)；且</li> <li>- 暴露在 T &gt; 570°F 的一次側水中；且</li> <li>- 材質本身經銑工退火與冷加工，或經冷加工同時在未釋放應力下焊接</li> </ul>	管嘴，焊道與未經應力釋放的熱影響區
局部腐蝕 (Localized Corrosion)	微生物作用腐蝕 (MIC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 運轉溫度 &lt; 150°F；且</li> <li>- 低或中流速；且</li> <li>- pH &lt; 10；且</li> <li>- 有機物質(例如生水系統)存在或侵入，或水源未經殺菌(例如燃料換填水槽)</li> </ul>	配件，焊道，熱影響區，母材，異類金屬接合處(例如焊道、法蘭)與包含縫隙的區域
	洞蝕 (PIT)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 有緩流(low flow)出現的可能；且</li> <li>- 存有氧或有氧化力的物質；且</li> <li>- 起始污染物存在(例如氟化物，氯化物)</li> </ul>	
	縫隙腐蝕 (Crevice Corrosion)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 有縫隙存在(例如熱套管)；且</li> <li>- 運轉溫度 &gt; 150°F；且</li> <li>- 存有氧或有氧化力的物質</li> </ul>	
流動引致劣化 (Flow Sensitive)	沖蝕孔蝕 (Erosion-Cavitation)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 孔蝕來源存在；且</li> <li>- 運轉溫度 &lt; 250°F；且</li> <li>- 每年超過 100 小時有水流經過；且</li> <li>- 速度 &gt; 10 公尺/秒 (30 呎/秒)；</li> <li>- <math>(P_d - P_v) / \Delta P &lt; 5</math></li> </ul> <p>P<sub>d</sub> 為孔蝕源頭(泵、閘、限流孔)下游處的靜壓；P<sub>v</sub> 為蒸汽壓；<math>\Delta P</math> 為前述源頭兩端的壓差；V 為前述源頭入口處的平均流速</p>	配件，焊道，熱影響區與母材
	流動加速腐蝕 (FAC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 依據電廠既有的 FAC 計劃計算</li> </ul>	依照電廠的 FAC 計劃

附表 2 第 2/2 頁



附表 3：EPRI 法的風險分段特性矩陣

管路破裂可能性 (依照劣化機制篩濾標準)	管路破裂的後果 (對條件 CDP 與條件 LERP 造成的影響)			
	無	低	中	高
高	低	中	高	高
中	低	低	中	高
低	低	低	低	中

附表 4：檢測構件選取考量因素表

檢測構件選取程序的考量因素	傾向選	傾向不選
電廠營運歷史	績效不好	績效好
劣化機制的嚴重程度	高	低
構件的形態/可接近程度	易於檢測	不易
輻射暴露	低	高
應力集中程度	高	低
實體的靠近	容易	困難

附表 5：風險告知和傳統兩種不同思考模式之考量結果比較

廠別	目前之 NDE 檢查 位置	風險告知之 NDE 檢查位 置	減量 (%)	風險改變	十年內所減少 之人員劑量
Millstone #3 號機					
Class 1	446	59	87%	風險不變	
(B-J excl socket welds)	(404)	(44)	(89%)		
Class 2, 3, and non-code	307	48	84%	風險降低	
全部	753	107	86%	風險降低 75 (人侖目)	
Surry #1 號機					
Class 1	221	59	73%	風險不變	
(B-J excl socket welds)	(116)	(26)	(78%)		
Class 2, 3, and non-code	165	81	50%	風險降低	
全部	386	140	64%	風險降低 60 (人侖目)	
B-J: Dissimilar & Similar Metal Weld in Piping					