

出國報告（出國類別：洽公、開會）

洽商電廠技術支援計畫
及
參加管路薄化檢測評估軟體使用者
組織會議

服務機關：台灣電力公司核能發電處

姓名職稱：主管設備應力分析 陸碧芬

出國地區：美國

出國期間：自96年06月20日至96年06月29日

報告日期：96年08月15日

出國報告審核表

出國報告名稱：洽商電廠技術支援計畫及參加管路薄化檢測評估軟體使用者組織會議		
出國人姓名	職稱	服務單位
陸碧芬	主管設備應力分析	核能發電處
出國期間：96年06月20日至96年06月29日		報告繳交日期：96年08月15日
出國計畫主辦機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input type="checkbox"/> 2.格式完整（本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」） <input type="checkbox"/> 3.內容充實完備 <input type="checkbox"/> 4.建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 5.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 6.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 7.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容以 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 8.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會（說明會），與同人進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 9.其他處理意見及方式：	
層轉機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1.同意主辦機關審核意見 <input type="checkbox"/> 全部 <input type="checkbox"/> 部分_____（填寫審核意見編號） <input type="checkbox"/> 2.退回補正，原因：_____ <input type="checkbox"/> 3.其他處理意見：	

說明：

- 一、 出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。
- 二、 各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 三、 審核作業應於報告提出後二個月內完成。

報告人：	單位：	主管處：	總經理
	主管	主管	副總經理：
			蕭專總

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：洽商電廠技術支援計畫及參加管路薄化檢測評估軟體使用者組織會議

頁數 15 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

陸碧芬/台灣電力公司/核能發電處/核能工程監/(02)2366-7104

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他(洽公、開會)

出國期間：96/06/20-96/06/29

出國地區：美國

報告日期：96 年 08 月 15 日

分類號/目

關鍵詞：電廠技術支援計畫 (Plant Support Engineering Project 簡稱 PSE 計畫)、管路薄化檢測評估軟體使用者組織(Checworks Users Group 簡稱 CHUG)會議、流體加速腐蝕(FAC)

內容摘要：(二百至三百字)

• 洽商 PSE 計畫：

EPRI 建議本公司加入 PSE 最少三年(2008-2010 年)，若僅參加一年祇能拿到參加當年的研發成果，若參加三年則能取得所有在 2010 年以前的 PSE 研發成果報告。

• 參加第 37 屆 CHUG 會議：

參加 CHUG 會議得以與會員交換核電廠實務經驗及向 CHUG 專家直接請益 FAC 相關議題，以及近期 FAC 議題走向和研發成果。今(2007)年初會員票選 FAC 議題走向依重要性排序為 CHECWORKS 軟體升級(改用 Vista 版)、低溫 FAC 報告更新、建立 steam cycle 沖蝕導則、進一步研究 leading edge effect 肇因。明(2008)年，將在日本舉行美國國外第一屆 CHUG 會議。

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

目 錄

	頁數
壹、出國任務.....	2
貳、出國行程.....	2
參、工作內容.....	2
肆、心得與建議.....	10

壹、出國任務：

赴美國電力研究院洽商電廠技術支援計畫及順道參加電力研究院主辦之管路薄化檢測評估軟體使用者組織會議。

貳、出國行程：

96/06/20 往程：台北→美國舊金山→加州 Palo Alto
96/06/21-23 美國電力研究院（Palo Alto）
96/06/24-27 參加管路薄化檢測評估軟體使用者組織會議（聖地牙哥）
96/06/28-29 返程：聖地牙哥→洛杉磯→台北

參、工作內容：

一、赴美國電力研究院洽商電廠技術支援計畫：

1. 緣起：

本公司於 2004-2006 年參加美國電力研究院（Electric Power Research Institute 簡稱 EPRI）電廠技術支援計畫(Plant Support Engineering Project 簡稱 PSE 計畫) 下的老化管理計畫，2006 年老化管理計畫結束後，美國電力研究院又建議本公司參加 full member 的 PSE 計畫，經本處簽會核電廠及核安處均表贊同參加此計畫，本處因此編列明(97)年度參加 PSE 計畫預算(30 萬美金) 並赴 EPRI 瞭解相關細節。

PSE 計畫成立有五大目的：

- (1)對電廠日常（routine）及緊急營運問題提供技術支援。
- (2)開發新的工程產品及技術服務。
- (3)對重大業界議題發表看法
- (4)領導主要設備可靠度之技術開發
- (5)方便電廠會員間之資訊交流。

2. PSE 計畫活動：

PSE 計畫除針對核電廠設備可靠度、電廠執照更新、技術支援及運轉/維護長程規畫等研究可行方案提出完整成果報告並召開會員專案會議及提供相關訓練課程給美國電力公司及國際會員，藉此精進各會員運轉及維護(O&M)技術使減少營運支出成本。PSE 計畫提供下列活動：

(1)出刊 PSE 研究成果報告：

EPRI 在 1991 年成立 PSE 計畫並未設定 PSE 計畫結束限期，祇要核電廠有須要提新議題則此計畫就繼續存在。至今 PSE 計畫已出刊相關研究報告共 3 百 70 本以上。研究報告議題可歸類十四項：

- ①電纜議題(cable issues)。
- ②工程程序/計畫(engineering processes/programs)。
- ③環境驗證(EQ, environmental qualification products)。
- ④設備可靠度(equipment reliability products)。
- ⑤老化管理(life cycle management products)。
- ⑥執照更新(license renewal product)。
- ⑦核能塗裝(nuclear coatings products)。
- ⑧電廠熱效率(plant thermal performance products)。
- ⑨採購導引(procurement engineering products)。
- ⑩地震驗證(seismic qualification products)。
- ⑪廠用水系統(service water system products)。
- ⑫訓練(training products)。
- ⑬工程基礎(engineering fundamentals)。
- ⑭工程技術訓練單元(engineering technical training modules(ETTMs))。

(2)PSE 提供會員技術支援計畫和組織如下：

- ①廠用水協助計畫(Service water assistance program)
- ②設備驗證協助計畫(Equipment qualification assistance program)
- ③電廠績效增進計畫(Plant performance enhancement program)
- ④核能塗裝會議(Nuclear coatings council)
- ⑤電纜使用者組織(Cable users group 參加者須另付費)
- ⑥熱交換器使用者組織(Heat exchanger users group 參加者須另付費)
- ⑦設備驗證管理系統使用者組織(Equipment qualification management system users group 參加者須另付費)

(3)PSE 舉辦各種基礎訓練課程：

所提供訓練課程包括：電纜老化管理、設備使用前驗證(preserving

equipment qualification)、廠用水工程師訓練(service water engineer training)、以及核能業者採購、ASME 採購、微生物腐蝕、塗裝概論、老化偵測及驗證等訓練。

3. 2008-2010 年 PSE 應業界需求及擬訂研討議題範圍如下:

- (1) 訓練及人力技術評估)。
- (2) 電纜老化。
- (3) 採購標準。
- (4) 工程程序改進長程規畫(long-term planning engineering processes improvement)。
- (5) 塗裝老化及其完整性。
- (6) 廠用水系統績效及劣化。
- (7) 電廠熱效率改善。
- (8) 設備驗證支援。

4. 2008-2010 PSE 擬完成工作項目:

- (1) 重要組件長程規畫指引。
- (2) 重要組件更換指引及採購考量。
- (3) 人力技術開發及改進。
- (4) 有效補充人力技術(supplemental workforce skills validation)。
- (5) 定義商業級檢證程序。
- (6) 精進供應商品質。
- (7) 電纜老化管理導則及訓練。
- (8) 熱效率工程師手冊。
- (9) 廠用水導則及協助(assistance)。
- (10)現場老化評估導則及訓練。
- (11)老化管理導則。
- (12)執照更新承諾事項(業界狀況、困難、及導引)。
- (13)塗裝老化管理。

5. EPRI 對本公司加入 PSE 計畫建議：

EPRI 建議本公司加入 PSE 最少三年(2008-2010 年)較為划算，告知若參加一年僅能拿到當年的研發成果，若參加三年則能拿到所有在 2010 年以前的研發成果報告。EPRI 唐惠聰博士承諾在今年年底前會提供更完整參加 2008-2010 年 PSE 之資料供本公司審閱。

二、參加電力研究院主辦之管路薄化檢測評估軟體使用者組織 (CHECWORKS Users Group 簡稱 CHUG)會議

1. CHUG 緣起：

1986 年 12 月 9 日美國 Surry 電廠 2 號機主飼水碳鋼管路發生沖腐蝕 (erosion/corrosion)薄化破管造成 4 人死亡，引起核能業界極大震撼與重視，在各國核能管制單位要求下，全世界各核電廠紛紛建立碳鋼管路薄化檢測計畫。本公司於 1988 年 9 月首度在核三廠 1 機第 3 次大修時執行有計畫碳鋼管路薄化檢測，其後核電廠每次大修均作碳鋼管路薄化測厚工作。1994 年本公司買入 EPRI 所發展的 CHEC 管路壁厚薄化評估軟體，並因此加入由 EPRI 為首使用 CHEC 評估軟體之核電廠為成員(主要是美國核電廠)之管路薄化檢測評估軟體使用者組織(CHUG)，目前 CHUG 已是國際性組織。

沖腐蝕(erosion/corrosion)其後經 CHUG 改稱為流體加速腐蝕(flow accelerated corrosion)簡稱 FAC。

2. CHUG 活動：

(1) 碳鋼管路薄化評估軟體開發升級：

EPRI 協助美國核電廠因應 NRC 要求建立碳鋼管路薄化檢測計畫，於 1987 年 7 月發展出沖腐蝕薄化預估軟體稱為 CHEC，經過多次軟體升級及預估沖腐蝕功能改進，目前軟體版本為 CHECWORKS SFA2.2。

(註：電廠碳鋼管路薄化檢測計畫包括低合金鋼材質管線，因二者抗 FAC 能力類似)。

(2) CHUG 定期會議：

CHECWORKS Users Group 每年召開兩次會議，約在每年一月及六月召開，職此次參加的是第 37 屆會議。INPO 及 NRC 也經常會派員參加 CHUG 定期會議提供意見。

(3) CHUG 訓練：

CHUG 每年召開數次 CHECWORKS 訓練課程(初級/進階級)供從事管路薄化檢測評估人員參加，本處機械組林夢竹君曾於 2005 年參加軟體使用訓練, INPO 及 NRC 也經常會派員參加 CHUG 訓練課程。

(4) CHUG 出版 FAC 文獻：

CHUG 出版經典文獻” recommendation for an effective flow-accelerated corrosion program” .內容講述影響 FAC 因素、選測件/檢測原則及方法、測件壽命預估、測厚長程規劃等等，為各核電廠執行碳鋼/低合金鋼管路薄化檢測原則依歸。由於對 FAC 日趨瞭解及電廠經驗回饋，本書去(2006 年)已發行修訂第 3 版。

CHUG 亦因應業界回饋及需要也不定期出版 CHUG Position Paper，針對特定 FAC 損壞設備或相關議題提出檢測方式及防治建議:例如 Position Paper 4 針對飼水加熱器殼壁 FAC 薄化提出量測方式建議(飼水加熱器殼類似一個大管)，目前本公司核電廠每次大修熱交換器殼壁薄化檢測即依此建議方式執行，電廠其他壓力容器或未列入管路薄化檢測計劃之管線若懷疑有薄化現象也是依上述方式執行;Position Paper 5 是有關量測碳鋼管路元素之取樣原則;Position Paper 7 為 FAC 檢測計畫自我評估。

(5) CHUG 網站：

CHUG設有網站每週會員會收到summary report 通知，提醒會員上網查閱最新提報到網站電廠沖腐蝕案例及FAC最新動態(包括會議記錄及簡報資料)。網站亦供會員間經驗交流。

(6) CHUG 參加會員：

今(2007)年5月由EPRI CHUG網站統計使用CHECWORKS軟體評估之機組有247個，來自11個國家(美國機組仍佔多數約佔60%,國際會員有台、日、韓、墨西哥、加拿大、法、西班牙、比利時、捷克、斯洛法尼亞)，今年6月底職參加37屆CHUG會議時， EPRI公佈CHECWORKS使用者已增至256機組。由於參加CHUG國際會員愈來愈多，CHUG認為國際會員的FAC損壞寶貴經驗值得美國電廠借鏡，明年擬在日本召開CHUG國際年會並廣邀日本國內30-40

電廠參加討論FAC問題，後年則擬在韓國召開。明(2008)年在美國境內仍會照以往召開二次CHUG 會議。

3. 第 37 屆 CHUG 會議：

職此次參加在聖地牙哥舉行之37屆CHUG會議會為期3天，除由CHUG主辦單位報告會務及預算支出情形，會中並選舉advisory committee members。這次會議韓國派約5-6位人員出席其中有研究人員及電廠人員表現積極，並發表有關肘管薄化後變形及破裂形狀研究成果，日本也派一人參加，其餘為歐、美人士。CHUG成立推算已有19年歷史，基本重要流體加速腐蝕議題,例如:檢測薄化方式/方法、篩選系統及測件原則、管件最小壁厚(Tmin)計算等過去均已討論，近年來會議重點則以電廠FAC損壞肇因及防治為探討議題。今年CHUG執行計畫重點經年初會員票選依重要性排序為CHECWORKS軟體升級(改用vista版)、低溫FAC報告更新、建立steam cycle沖蝕導則、進一步研究leading edge effect肇因(抗FAC管件與不抗FAC管件相接觸部位腐蝕問題)等，會中除報告這些議題外，另由各會員報告其電廠最近大修薄化檢測情形，廠商介紹與FAC有關檢測儀器產品、法國EDF報告有關碳鋼管路微量鉻含量若量測儀器未校正或精確度不夠，微量誤差足將易發生FAC之管件誤判為不易發生FAC而疏於列入檢測之虞。會議中還討論其他FAC議題如下：

- (1)飼水加熱器殼壁薄化案例及檢測。
- (2)其他會發生FAC薄化容器。
- (3)低溫流體加速腐蝕。
- (4)廠家管線流體加速腐蝕檢測。
- (5)節流效應(Venturi Issues)。
- (6)碳鋼含高微量鉻組件下游流體加速腐蝕。
- (7)平行串管路電廠經驗。
- (8)其他流體加速腐蝕經驗。

4. 近一、二年來較受注目 FAC 議題概述：

• 低溫流體加速腐蝕：

一般容易發生FAC薄化之溫度為200-450F,然而近年國外有4座PWR電廠在冷凝水淨化器(condensate polisher)下游及S/G blow down demineralizer下游發生薄化溫度約在120°F及低氧環境下，以及2座BWR電廠分別在CRD系統及

在反應器廠房靠近冷卻循環水系統(均為低溫低溶氧環境)發現薄化。CHUG建議各電廠可採下列措施:加強檢測、改換抗FAC材料、將加氨注入點改換至上游、重新考慮較有利之注氧孔位,本處已將 CHUG 建議簽請電廠再檢討其薄化檢測計畫。

CHUG發佈用CHECWORKS程式測試低溫流體加速腐蝕之預估準確性,所得結論是沒有問題。

- **平行串管線流體加速腐蝕：**

有許多電廠發生其平行串管線 FAC 磨耗量(wear)兩管線有很大的不同,起因於平行串兩管線雖運轉及幾何形狀相同,但是例如orifice直徑或valve settings有小量不同;胺或聯胺注入未均勻達到所有平行串兩管線;以及閥維護不好發生洩漏等均可能造成平行串兩管線被磨耗量不同。

- **反應爐底部洩水管線(Bottom Head Drain Lines)流體加速腐蝕**

BWR反應爐底部洩水管若發生薄化破管將無法隔離會造成small LOCA,有可是造成此部分FAC薄化的原因是因該部的氧量低及流速較大,依EPRI 研究報告指出執行加氨水化學超過7年以上且流量率大於70gpm,預估會有比較高薄化率,實際上經CHUG分析39個電廠所提供之量測數據顯示薄化率均很低,CHUG告知要重視此問題,但目前不是急迫性問題。

反應爐底部屬高輻射區且有障礙物空間異常狹小薄化檢測很困難,近期閱讀由CHUG所發表文獻提及已有廠家發明檢測此部分特殊工具。本處將注意此案後續之發展。

- **碳鋼含微量鉻元素影響：**

碳鋼管線含鉻元素高於0.1%以上,抗流體加速腐蝕(FAC)效果很好,沖腐蝕薄化率低,因此測件須再檢測週期較長。CHUG建議對碳鋼管線應作鉻量測定,好處:(1)作此測定有助於篩選檢測件規畫時可減少檢測選件量。(2)若未作鉻含量測定,所選測件正巧含鉻量較高量測出之薄化量少,因CHECWORKS所選測件是屬監測性質則有可能誤判該條管線其餘部分(未含鉻)沖腐蝕小而有可能發生破管的危險。(3)美國已有近30個核電廠發現在易發生FAC系統之管線管件銲道發生腐蝕,原因是管件含微量鉻元素運轉久管件表面氧化層

會富集鉻元素，若其緊接者的銲道若未含鉻產生伽凡尼作用，銲道因此被腐蝕。

碳鋼含鉻量所造成FAC損壞日益受到CHUG及電廠重視，CHUG已於CHECWORKS SFA2.1軟體程式中重新修訂鉻成份影響參數，並建議若管件含鉻量高應檢測緊接銲道否有腐蝕發生。

5. CHUG 澄清 CHECWORKS 程式預估沖腐蝕薄化能力：

參加本次會議得到機會直接與 CHUG 專家討論一直困擾本公司有關法國 AREVA 公司指控 EPRI CHECWORKS SFA 預估薄化能力很差一事。

簡述事件原委如下：

法國 AREVA 公司擬有意向本公司推銷 COMSY 軟體。該公司引用在歐洲召開的 FROG 會議文獻，指控 CHECWORKS SFA 預測能力很差。

經本處機械組參加數次法國 AREVA 來台 FAC 專家簡報及討論，所得印象 COMSY 與 CHECWORKS SFA 緣於同宗，量測及檢測方式完全相同預估薄化率相似度 90% 以上，差別是在 COMSY 電腦程式介面比較” fancy”，另外 AREVA 稱 COMSY 可預測沖蝕率(erosion rate)其專家告知係程式內放入麻省理工學院所發展的一個沖蝕公式，並給予一安全係數來預估薄化率，坦承沖蝕實務上很難預測，因此 COMSY 程式沖蝕公式未依據電廠實際沖蝕數據修訂。

AREVA公司說CHECWORKS預估薄化能力差一事,本公司曾間接透過唐博士反應給CHUG。此次會議中CHUG FAC資深專家Dr. Doug Munson告知已向FROG會議主辦單位抗議，FROG會議文獻使用CHECWORKS SFA評估程式時未經篩選放入一些沖蝕數據(非FAC數據)導致結論不確實，又未先讓CHUG事先有說明的機會，Dr. Munson稱FROG會議秘書已向” EPRI致歉”。

造成碳鋼管路薄化除了流体加速腐蝕(FAC)，尚有穴蝕(cavitation)、水珠串沖擊(liquid droplet impingement)、固体粒子沖蝕(solid particle erosion)、閃化(flashing)等沖蝕(erosion)引起之管線薄化，由於沖蝕實務上不易用公式化預測薄化量與時間之關係，CHUG仍在研發中，稱將來會在CHECWORKS SFA程式加入較務實的沖蝕module。

目前所知並沒有一個薄化評估軟体能將碳鋼/低合金鋼管路薄化所有機制完全納入掌握，而能準確預估管件再檢測週期及剩餘壽命，鑑於CHECWORKS SFA是由EPRI所開發出來，全世界有256機組在使用及驗證，又有NRC及INPO監督，且有EPRI專家一路指導應是”還可以”的程式。

對有經驗的薄化評估者由於掌握有完整歷年檢測資料及實際運轉相關資料，由檢測數據薄化情形研判下次大修是否要再檢測，是否是製造引起假薄化等，很多情形下作研判並不困難，但對於不易預估薄化量與時間關係之管件(Non-Checworks)，若有薄化發生則一般評估者都採下次大修再檢測。

(碳鋼管路壁厚薄化形成機制及流體加速腐蝕評估軟體CHECWORKS SFA介紹詳第12-15 頁)

肆、心得與建議：

• 洽商 PSE 計畫：

EPRI 建議本公司加入 PSE 最少三年(2008-2010 年)，告知若參加一年僅能拿到當年的研發成果，若參加三年則能拿到所有在 2010 年以前的研發成果。EPRI 唐惠聰博士承諾在今年年底前會提供更完整參加 2008-2010 年 PSE 之會員權益相關資料供本公司審閱，屆時仍須請相關同仁及長官提供卓見。

英文非我國母語 370 本的英文研發報告要如何落實供同仁使用是一個問題，唐博士告知日本也向 EPRI 提出相同的語言障礙問題，由於 PSE 計畫已國際化，唐博士擬請其上級考量國際會員的困難處研究是否有彌補的方式。EPRI 若未能提出彌補的方式，本公司加入 PSE 本案初步可能的作法，擬仿照處理老化管理計畫研究報告方式，將重要報告分請廠處相關部門重點摘譯，並將報告及摘譯放於處內網頁供同仁參閱。

以效益考量另建議本公司加入 PSE 計畫三年。

• 參加 CHUG 會議：

參加 CHUG 會議得以與會員交換核電廠實務經驗及向 CHUG 專家直接請益 FAC 相關議題，及最新未來議題走向。

低溫流體加速腐蝕；反應爐底部洩水管線(Bottom Head Drain Lines)流體加速

腐蝕;低銻銲道腐蝕，以及沖蝕(包括穴蝕、水珠串沖擊、固体粒子沖蝕、閃化)造成沖蝕薄化,均是不容忽視管路薄化問題，本處已提供相關資訊給各核電廠檢討其管路薄化檢測計畫。另外很多國外電廠已進行碳鋼管線材質銻含量的測定，本公司尚未開始，均擬列入今年底本處擬召開之廠處 FAC 討論會中討論。

碳鋼管路壁厚薄化機制及流體加速腐蝕評估軟體CHECWORKS SFA介紹：

流體加速腐蝕(簡稱FAC)形成機制：

FAC形成機制：碳鋼或低合金鋼金屬表面鐵氧化物保護層流体(水或水/汽)快速流動發生溶解或剝落，裸露金屬表面又和氧作用生成鐵氧化物保護層，再被水或水/汽溶解(剝落)，不斷重覆此程序金屬材料發生薄化。十幾年前稱此為沖腐蝕(erosion-corrosion)薄化，現今CHUG統一稱為流體加速腐蝕(flow-accelerated corrosion)簡稱FAC薄化，因此FAC 是化學反應及流速所造成，在運轉環境維持一定下FAC 磨耗量(wear)與時間成正比。至目前碳鋼管線薄化破管所洩出高溫水汽發生數起殃及電廠現場人員死亡案件:1986年美國Surry 電廠死亡4人、2004年美濱電廠死亡5人、及2007年Kansas City power and light 下屬火力廠Iatan電廠飼水管線破裂1人死亡。

CHECWORKS SFA檢測管線薄化是監測性質：

由於電廠碳鋼/低合金鋼管線很多，而大修期間有限因此無法對可能發生FAC每條管線均予以測厚，因此用篩選對運轉條件及環境相同之碳鋼管線上最容易發生FAC之管件當監測件，於大修時量測其薄化情形，若所量測薄化量低則代表該管件所在之管線薄化量均低。若量測薄化量高，則在該管線上增加監測管件數量，以監測管線薄化嚴重情形，適時換管以免造成破管危險。

CHECWORKS SFA軟體程式內涵：

FAC沖腐蝕率 = 溫度 (T)·金屬成份(AC)·流速(MT)·溶氧量(O₂)·pH值·管件幾何形狀(G) 空泡率(α) 聯胺(N₂H₄)之函數。此八個參數均與FAC有關(聯胺僅適用於PWR)，每個參數間之數值關係，雖EPRI從未揭露，但是EPRI研究報告「Recommendations for an effective flow-accelerated corrosion program (NSAC-202L-R3)」告訴使用者那些系統沖腐蝕會最嚴重，在什麼環境下，例如溫度、pH值、流速對FAC影響最大;材料含鉻1% 以上不易發生FAC等等，以為使用者篩選檢測系統及篩選檢測件之依據。

易發生FAC薄化者高危險群管路：

- 高溫、高壓飼水管路。
- 高濕抽汽管路。

- 紊流之洩水管路。
- 肘管、大小頭、T型，及其上下游約1-2倍徑管範圍之直管。

CHECWORKS預測不準度來源：

由於FAC量測沖腐蝕薄化率受八個參數影響，因此使用者所輸入CHECWORKS資料是否符合實際狀況是影響預估薄化量準確性最大的因素，例如：所輸入資料是否反應系統實際運轉環境(水化學、溫度、運轉時間等)?管線是否重新設計?是否換過管?是否提升電廠設備功率?管材是否含鉻?以上均應要反應於CHECWORKS程式中。又薄化是否可能因其他因素如由穴蝕(cavitation)、水珠串沖擊(liquid droplet impingement)、固体粒子沖蝕(solid particle erosion)、閃化(flashing)引起，但仍放入CHECWORKS評估?及相關評估人員專業數質良窳例如所選檢測件是否是該管線最具代表性之管件?評估者是否能研判薄化是否因製造不均引起?以及非破壞檢測人員量測數據是否準確?等。

依據FAC發生機制 CHECWORKS軟體僅能預估單相流(水)及雙相流(水/蒸汽)環境下之管件FAC薄化率,再由薄化率預估管件/管線壽命(薄化量與時間成線性正比關係)所以預估 normally open之管線壽命才能準確。對預估 normally closed的管件/管線壽命因沒有水流動、或有閥漏、廠家管線如有運轉資料(如流量)不全、設計資料(無ISO圖)不全等則不適於放入CHECWORKS軟體作評估。我們稱為非CHECWORKS管件/管線，雖不能放入CHECWORKS軟體評估，僅能用本公司發展的pipe程式評估，惟仍列入大修管路薄化檢測計畫，且佔相當大的比例。

為防止管路薄化破管造成人員傷亡，在原能會嚴格管控下，本公司核電廠檢測件篩選分為兩類：CHECWORKS能預測薄化率管件及非CHECWORKS能預測薄化率管件。非CHECWORKS管件由於薄化量與時間關係不確定是正比關係，因此以非常保守的方式預估薄化率例如：首次檢測 normally closed閥的下游管件，第一次檢測其薄化率的估算是假設薄化量是由一次運轉週期所造成(即使電廠已運轉20-30年)，原因即是對閥洩漏率不易掌握，擔心破管。CHUG CHECWORKS對量測薄化率估算管件壽命規則已相當保守，但本公司在原能會管控下不論屬CHECWORKS或非CHECWORKS管件，核電廠管路薄化測厚所量出之薄化率均另乘1.5倍安全係數(不含 normally closed 閥下游第一次量測管件)再估算管路剩餘壽命，遠高於CHUG建議至少用1.1倍安全係數。囿於原能會/台電所訂大修管路薄化檢測遊戲規則相當保守，原能會也允許台電有相當的彈性空間，即評估若需換管或下次大修檢

測，核電廠不欲執行，評估者可用工程經驗研判於大修評估結果報告列表中說明原因，經複審者(品質人員或原能會人員)同意即可。

另一造成測件重覆檢測則是高壓力管線，因高壓力管線最小管壁需求厚度高，再經保守薄化率估算下造成測件重覆檢測。

由於重覆檢測件多，大修期間有限造成新檢測件加入相對減少。

沖蝕損壞機制：

穴蝕(cavitation)、閃化(flashing)、水珠串沖擊(liquid droplet impingement)、及
固体粒子沖蝕(solid particle erosion)

1. 定義：

穴蝕(Cavitation)：

單相流體的壓力低於其蒸氣(vapor)壓力則會形成氣泡，外壓力增加氣泡被壓破產生機械力破壞材料表面。在有流体流動下發生穴蝕對金屬材料多多少少均會產生沖蝕損壞(erosive damage)。

水珠串沖擊(Liquid droplet impingement)：

高速水珠串打擊材料表面引起損壞。

固体粒子沖蝕(Solid Particle Erosion)：

高速流体夾帶固体粒子沖擊材料表面引起之損壞。固体粒子沖蝕有時發生範圍非常局部用一般 FAC 網格去量測薄化範圍並不是很恰當，EPRI CHUG 建議用 scanning UT 或 RT 或將網格間距縮小以檢測薄化範圍較妥當。固体粒子沖蝕損壞在 1 米/秒流速即會產生與時間約成正比關係，但與碳鋼低合金鋼金屬成份含量沒有大關係而與材料硬度有關。

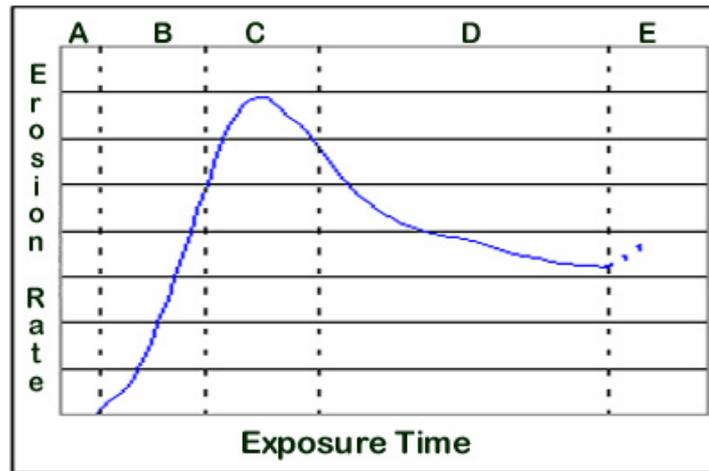
閃化(Flashing)：

當流体流入低於其蒸氣壓力地區，流体產生汽化產生機械能對材料造成損壞。

2. 穴蝕與水珠串沖擊沖蝕不似FAC與時間成正比關係：

其與時間的關係較複雜可分為五期：蘊育期(incubation, A 區)、加速沖蝕期(acceleration, B 區)、沖蝕尖峰期(maximum rate, C 區)、沖蝕率下降期(deceleration, D 區)，最後為穩定期(final steady state stage, E 區)。由於在損害發生前有培育期，在達材料疲勞極限後會發生快速損害(參考圖一)。因此用薄

化量與時間正比關係來預估管件壽命並不恰當。



圖一、Cavitation 或 impingement 沖蝕率與時間關係

3. 穴蝕(Cavitation)，閃化(Flashing)，水珠串沖擊(Liquid droplet impingement)容易發生地方：

- (1) 發生壓力降大之管件下游。
- (2) 劣化設備之下游。
- (3) 曾經發生過沖蝕(erosion)地方。
- (4) 會發生相變化之部位，例如：流至冷凝器管線上之限流孔(orifices)部位。
- (5) 原來設計不是用於控制流量用的閥卻用於控制流量，此閥之下游。
- (6) 引起振動之閥。

4. 固体粒子沖蝕(來自FAC或沖蝕產物)易發生地方：

蒸氣產生器的 blowdown 系統及生水系統高流速區。