

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所研究報告

期末審查報告

危險性設備延長及替代檢查審查指引建立研究

**Establishing an Auditing Guide of Extension and
Alternative Inspection for Pressure Vessels**

研究主持人：曹常成

計畫主辦單位：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

研究期間：中華民國九十一年三月至九十一年十二月

印製日期：中華民國九十一年十二月

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

摘 要

本計畫針對危險性設備的替代檢查，提出檢查評估方法及技術指引。計畫中將針對危險性設備的替代檢查方案，研擬事業單位應提出的文件內容，並建立危險性設備替代檢查技術方法及指引，其內容包括危險性設備各種可能之損傷機制評析與說明、各種可能之損傷機制檢測方法、檢測實施方法評析、檢測數據之處理與分析、危險性設備附屬設備之檢測及危險性設備之風險評估。本計畫所發展之危險性設備替代檢查技術指引可供石油工業、化工工業、製造工業等的安全工程師或維修工作人員進行設備完整性評估，並可供檢查機構人員作為審查替代檢查方案之指引。

關鍵詞：危險性設備、替代檢查、壽命評估

Abstract

This study has proposed an alternative auditing method and technical guideline for pressure vessels. This guideline, which qualifies the document needed, includes an illustration of damage mechanism and assessment, the test method suitable for various cracks, testing method assessment, collected data treatment and analysis, the inspection of attachment of pressure vessels, and, overall equipment risk analysis. This study matches with the trend of industrial world instituting the continuous running system technical base and type of inspection for the dangerous equipment in order to research academic studies, and establish our dangerous equipment that extend and open inspection of technical modes.

Key words : Pressure vessels, Alternative interval inspection, Life assessment

目錄

Abstract	ii
目錄	iii
圖目錄	v
表目錄	vi
表目錄	vi
第一章 緒論	1
第一節 研究背景與動機	1
第二節 研究目的與內容	2
第三節 研究方法	3
第二章 國內外危險性設備替代檢查規範	5
第一節 我國危險性設備替代檢查規定	5
第二節 美國危險性設備替代檢查規定	6
第三節 日本危險性設備替代檢查規定	8
第三章 危險性設備的損傷機構與檢測方法	25
第一節 破損機構	25
第二節 腐蝕的種類	25
第三節 損傷的檢測方法	31
第四節 以風險為基準的檢測	38
第五節 設備非破壞檢測適用方法及檢查重點部位	44
第四章 設備壽命預測	52
第一節 壽命預測的意義	52
第二節 壽命預測的方法	54
第三節 設計與壽命之判定	61
第四節 設備的壽命預測	68
第五章 替代檢查之審查指引研擬	77
第一節 危險性設備延長或替代內部檢查審查指引	77
第二節 危險性設備內部檢查周期設定指引	85
第六章 案例探討	95
第一節 熱交換器風險評估、壽命評估及檢測期限設定	95
第二節 氫氣產生器風險評估、壽命評估及檢測期限設定	104
第七章 討論	118
第一節 法規體系建構部分	118
第二節 自行檢查體系建構部分	119
第三節 特殊危險性設備之檢查	119
第八章 結論與建議	124

第一節 結論.....	124
第二節 建議.....	124
參考文獻.....	126
附錄一 行政院勞工委員會北區勞動檢查所受理危險性設備延長內部檢 查期限或替代檢查方式審查處理原則.....	129
附錄二 設備損傷相應之檢測方法.....	135
附錄三 開放檢查周期修正係數之計算.....	136

圖目錄

圖 1.1 美國自 1980 年到 1990 年間鍋爐爆炸事故統計圖.....	4
圖 2.1 設備機械完整性的檢查、評估流程.....	11
圖 2.2 各個 API 標準對設備機械完整性的之整合	11
圖 3.1 各種腐蝕型態示意圖.....	30
圖 4.1 疲勞之 SN 曲線圖	63
圖 4.2 材料之潛變曲線.....	63
圖 4.3 Nelson chart	65
圖 4.4 最大孔蝕深度之 Gumbel 圖.....	71
圖 4.5 圖解方式評估材料壽命圖.....	71
圖 4.6 不同時間下最大孔蝕深度圖.....	72
圖 4.7 疲勞壽命預測基本流程.....	75
圖 6.1 熱交換器組件.....	95
圖 6.2 熱交換器風險評估示意圖.....	96
圖 6.4 熱交換器損傷非破壞檢測方法示意圖.....	99
圖 6.5 數據統計模型分析(Weibull 分布)	101
圖 6.6 數據統計模型分析(Gumbel 分布)	101
圖 6.7 熱交換器 IRIS 超音波檢測數據	102
圖 6.8 熱交換器 IRIS 超音波檢測數據及壽命評估圖	102
圖 6.9 熱交換器失效機率圖.....	103
圖 6.12 氫氣產生器風險評估圖.....	112
圖 6.13 歷年觸媒洩放噴嘴管身厚度示意圖	115
圖 6.14 第一年觸媒洩放噴嘴管身厚度分布圖.....	116
圖 6.15 歷年觸媒洩放噴嘴管身厚度失效可靠度圖	116

表目錄

表 2.1	高壓氣體儲槽使用中內表面檢查要點.....	12
表 2.2	高壓氣體儲槽開放檢查週期認定評估要點.....	13
表 2.3	高壓氣體自主保安檢查認定.....	14
表 2.4	鍋爐與第一種壓力容器連續運轉認定.....	22
表 3.1	腐蝕分類診斷方法.....	31
表 3.2	超音波檢測.....	35
表 3.3	放射線檢測的優缺點.....	35
表 3.4	液滲檢測的優缺點.....	36
表 3.5	磁粒檢測的優缺點.....	36
表 3.6	目視檢查之優缺點.....	37
表 3.7	常見非破壞檢測技術原理及其應用特性.....	45
表 3.8	壓力容器破損檢查適用之檢查方法與器具.....	46
表 3.9	塔槽檢查重點部位.....	47
表 3.10	熱交換器檢查重點部位.....	48
表 3.11	反應器檢查重點部位.....	49
表 3.12	加熱器檢查重點部位.....	50
表 3.13	配管檢查定期重點部位.....	51
表 4.1	壽命預測方法計算法.....	74
表 4.2	壽命預測之非破壞檢測法.....	76
表 4.3	對劣化模型之檢查方法及判斷基準例.....	76
表 6.1	熱交換器風險分析.....	97
表 6.2	IRIS 量測最小壁厚數據(單位：inch).....	99
表 6.3	氫氣產生器危害與可操作分析.....	105
表 6.4	氫氣產生器進行 Hazop 分析時所考慮之損傷機理及結構特徵.....	112
表 6.5	氫氣產生器非破壞檢測規劃.....	113
表 6.7	相對於最小要求厚度之各年度失效機率.....	116

第一章 緒論

第一節 研究背景與動機

由於鍋爐、第一種壓力容器及高壓氣體特定設備等危險性設備所具有的高溫、高壓、高儲存量特性，及鑑於處置不當而發生的重大災難事件，促使各國政府對於危險性設備訂定嚴謹的安全標準，並透過檢查的機制，確保其安全性能。這是普世的安全規範，中外皆然[1]。我國對於危險性設備的安全檢查規定訂於勞工安全衛生法第八條[2]。

根據勞工安全衛生法第八條及其相關附屬法規規定[3,4]，危險性設備的安全檢查包括有熔接檢查、構造檢查、竣工檢查、定期檢查、重新檢查及變更檢查。其中熔接檢查、構造檢查及竣工檢查屬於製造檢查，定期檢查屬於使用中檢查，重新檢查及變更檢查屬於狀態的變換檢查。製造檢查及狀態的變換檢查主要確認設備的本質安全性能，而定期檢查則確認設備的經年時效影響程度。設備的安全性即透過上述的檢查機制加以確認。

對於設備安全確認的檢查機制，隨著科技的進步，檢測技術的提升、材料性質的更加了解及管理系統的日趨健全，日本及美國等國家，有關設備的定期檢查，已由固定週期開放檢查的方式，逐步同意事業單位亦可根據設備的安全狀況，實施延長設備定期檢查。事實證明，這種檢查方式對事業單位的安全自主管理、生產能力都起了激勵與提升作用（如圖 1 所示）[5-7]。

我國為因應這種發展趨勢，在危險性機械設備安全檢查規則中，訂有第一種壓力容器、高壓氣體特定設備及高壓氣體容器在實施內部檢查有困難時，雇主可提出替代檢查方案，報請檢查機構核可後實施替代檢查（危險性機械設備安全檢查規則第 109 條、133 條及 156 條）的規定。

然而，囿由實施危險性設備替代檢查的對象、方法、剩餘壽命評估及檢查期限訂定的方法等，在檢查機構與事業單位間尚未取得一致的共識，故目前無法有效推行替代檢查方案。

另一方面，國內對於液氧、液氮、液氫等不具腐蝕性的儲槽

及平底低溫（隔膜式）儲槽是否需要實施定期開放內部檢查、連續製程中的危險性設備是否可以實施替代或延長檢查及如何檢查等議題，一直困擾著事業單位及檢查機構，一方面由於缺乏國外相關文獻資料佐證，一方面國內事業單位亦未提出實際的數據，故至今對於液氧、液氮、液氫等不具腐蝕性的儲槽、平底低溫（隔膜式）儲槽及連續製程中的危險性設備是否可以實施替代或延長檢查亦尚未取得共識。

鑑於目前國內檢查機構對於替代及延長檢查應該如何審查、事業單位如何規劃實施替代及延長檢查，尚無一套完整的檢查審查程序與指引，致使檢查機構與事業單位間缺乏溝通共通語言，故亟需透過理解國外審查機制，以建構我國危險性設備替代及延長檢查之實施依據。

第二節 研究目的與內容

本研究目的為建立一技術指引，以提供檢查機構依「危險性機械及設備安全檢查規則」（以下簡稱規則）第一九條、第一三三條、第一五六條的規定，審查事業單位申請第一種壓力容器、高壓氣體特定設備、高壓氣體容器(以下簡稱設備)延長內部檢查期限或實施替代檢查方式時，作為審查的依據。

本研究的基本原則為事業單位提出延長內部檢查期限時，在延長內部檢查的期限內，設備的強度必須在安全限度內；事業單位提出其他替代檢查方式時，其替代檢查方式應足以達到內部檢查的功能，並確保設備之強度必須在安全限度內。

為使上述設備在延長內部檢查期限或實施其他替代檢查方式(以下簡稱替代檢查)時的強度符合安全要求，事業單位所提的設備替代檢查方案，需能顯示出該設備之設計、製造、維修、檢查、管理之完善性，證明該設備在延長內部檢查期限或以其他替代檢查方式檢查下，能繼續使用而不會發生危險。

故本計畫將針對危險性設備替代檢查，提出檢查評估方法及技術指引，其內容涵蓋下列事項：

- 一、針對危險性設備替代檢查方案，訂立事業單位應提出之文件內容，如構造檢查合格明細表、構造詳圖；自動控制系統圖及安全保護裝置；安全衛生管理狀況；自動檢查計畫暨執行紀錄；

緊急應變處置計畫；檢查替代方案建議書實質內容等。

二、建立危險性設備替代檢查技術方法及指引，其內容包括：

- (1) 危險性設備各種可能的損傷機構(Damage mechanisms)評析與說明；
- (2) 各種可能之損傷機構的檢測方法；
- (3) 危險性設備的風險評估，據以作為檢測實施方法依據；
- (4) 檢測數據的處理與分析；
- (5) 擬訂可接受的內部檢查週期。

第三節 研究方法

一、蒐集、比較國內外危險性設備替代檢查相關法規與標準規定。

二、蒐集、分析危險性設備可能發生的損傷機構。

三、蒐集、分析危險性設備損傷機構的檢測方法與適用性。

四、進行危險性設備危害或風險分析。

五、進行危險性設備剩餘壽命評估。

六、進行危險性設備內部檢查週期擬定。

針對上述實施方法，計畫研究步驟如下：

一、蒐集國內外危險性設備檢查及安全管理相關法規與資料，利用腦力激盪法，建立危險性設備替代檢查的機制與準則：

- (1) 蒐集國內外文獻對於危險性設備實施「自行檢查」之相關基準；
- (2) 專業人員及檢查組織系統的建立；
- (3) 設備關鍵性部位的檢查；
- (4) 檢測方法的確認；
- (5) 連續運轉的安全管理及制度的追蹤考核。

二、建立危險性設備的剩餘壽命評估方法，以文獻比較及數據統計法則，發展剩餘壽命評估模式：

- (1) 探討國外法規相關標準如 API 510 等的壽命評估方法。
- (2) 翻譯彙整日本相關協會(如石油協會)實施不停爐檢查之相關基準與評估方法。
- (3) 從實際缺陷量測數據中，利用外差法、極值分布法 (Gumbel

distribution)、威布爾分布法(Weibull distribution)，建構危險性設備剩餘壽命預測，並利用擬合度分析曲各種分布之擬合良度，以決定預測之準確性。對於上述方法擬合結果，歸納最佳之評估工具。

三、損傷機構檢測方法：說明比較一般常使用的檢測方法，如目視檢測(VT)或超音波測厚，或液滲檢測，磁粒檢測等；另外針對危險性設備中存在許多傳統檢測方法無法檢測的盲點，如熱交換器管束之管內檢查必須利用渦電流檢測或 IRIS、保溫材料下厚度量測則需選用暫態渦電流(PET)、X-ray 投射法(RT profiler)等，另外說明比較渦電流檢測、渦電流檢測等方法。本研究利用文獻比較法及專家討論法，探討傳統檢測方法及國內外先進檢測方法的適用性及檢測效果。

四、建立風險評估：利用 HAZOP 或 FMEA 方法建構其風險度。針對危險性設備等可能造成的失誤進行安全評估，以找出其最佳檢測方法與壽命評估及可靠度。

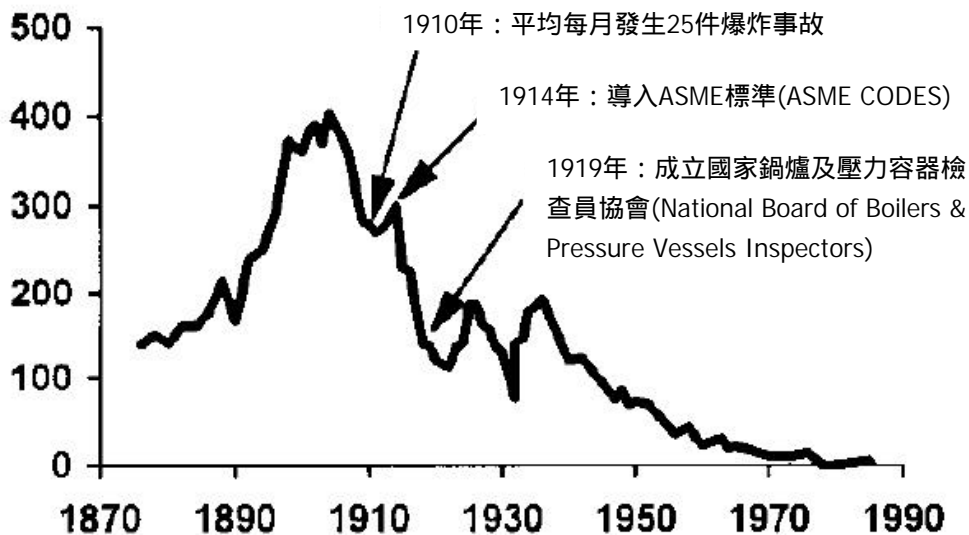


圖1.1 美國自1870年到1990年間鍋爐爆炸事故統計圖

第二章 國內外危險性設備替代檢查規範

第一節 我國危險性設備替代檢查規定

我國對於危險性設備的安全檢查規定訂於勞工安全衛生法第八條：雇主對於經中央主管機關指定具有危險性之機械或設備，非經檢查機構或中央主管機關指定之代行檢查機構檢查合格，不得使用；其使用超過規定期間者，非經再檢查合格，不得繼續使用。前述所稱之危險性設備的種類、應具之容量與其實施檢查之程序、項目、標準及檢查合格許可有效使用期限等事項之規則，由中央主管機關定之。

依據「勞工安全衛生法」附屬規則「危險性機械及設備安全檢查規則」第一九條、一三三條及一五六條規定：雇主對於第一種壓力容器、高壓氣體特定設備及高壓氣體容器無法實施內部檢查時，得檢附相關資料及檢查替代方式報請檢查機構核定延長其內部檢查期限或以其他檢查方式替代。其相關資料如下：

- 1.安全衛生管理狀況；
- 2.自動檢查計畫暨執行情形；
- 3.設備檢查合格證明影本、構造圖與構造明細表；
- 4.生產流程圖；
- 5.緊急應變處置計畫；
- 6.自動控制系統圖；
- 7.事業單位所提出之替代方案建議書。

所謂無法「實施內部檢查」，係指依「危險性機械及設備安全檢查規則」第一九條、一三三條及一五六條規定：依規定免設人孔或構造上無法設置人孔、掃除孔、檢查孔者、或內存觸媒、分子篩或其他特殊內容物者，或該設備為低溫或超低溫之高壓氣體特定設備，或其他實施內部檢查有困難之設備。

根據上述規定，行政院勞工委員會北區勞動檢查所訂定「行政院勞工委員會北區勞動檢查所受理危險性設備延長內部檢查期限或替代檢查方式審查處理原則」如附錄一。

第二節 美國危險性設備替代檢查規定

美國對於危險性設備的安全管理係屬州政府的管轄權。美國各州對於危險性設備定期檢查的規定大同小異。州法規僅對設備檢查的主管機構、檢查機構、檢查員、檢查頻率、收費標準、檢查合格證等訂定原則規範，具體的檢查標準、方法等則在法規中直接引用相關工業標準。

以華盛頓州為例[8,9]，州法規規定壓力設備之定期檢查由受雇於檢查單位或獲得自主安全檢查資格的設備擁有者的檢查員實施檢查；定期檢查分為外部檢查及內部檢查。內部檢查期限為鍋爐每年一次，壓力容器每2年一次；經主管機關核可得延長其內部檢查期限；對於沒有腐蝕之慮的壓力設備則不需要實施內部檢查。而檢查標準及方法則引用 API510 及 NBIC[10,11]。

API510 標準使用於石化工廠的壓力設備，而 NBIC 標準則使用於石化工廠的設備。無論 NBIC 或 API510 對於內部檢查期限的訂定準則，則是依據設備剩餘壽命評估的結果，取剩餘壽命的一半為下次檢查的年限，但最長不超過十年。API510 亦規定事業單位可以選擇使用風險基的評估方法，擬訂設備檢測計畫；亦即允許事業單位由工廠內部整體系統的風險評估著手，依設備的風險程度，規劃個別設備的檢測週期。關於檢測方法方面，除了開放內部實施檢測外，亦可以實施替代檢測，但未規範替代檢測細節。

此外，事業單位亦可透過申請成為自主安全檢查單位 (Owner/User Program)，以事業單位為一系統，申請成為自主安全檢查單位，報請管制單位核定後，由事業單位自行實施檢查[12]。

為推展上述檢查機制，美國 API 新近於 2000 年一月及五月分別完成「適用性評估標準」及「風險基檢測標準」[13,14]，事業單位可以根據 API510 檢查方法所獲得的檢查結果，透過 API579 評估設備缺陷劣化程度，評量設備適用性及可靠度，並經由 API581 標準建立設備系統風險指標，而將設備檢查、評估整合起來，擬訂設備的檢測規劃及藉以計算設備剩餘壽命，達到機械完整性評估目的。圖 2.1 及 2.2 為設備機械完整性評估的整個流程。

API510 內部檢查與運轉中檢查(On-Stream Inspection;OSI)的檢查週期是根據設備的腐蝕速率來判斷，依據設備剩餘壽命評估的結果，取剩餘壽命的一半為下次的年限，但最長不超過十年；但是，設

備的剩餘安全運轉壽命若估計少於 4 年時，則該設備的檢查週期最多為 2 年。

內部檢查是一般的檢查方法，用以檢查容易發生明顯局部性腐蝕或其他形態之損傷；但對於下列情況，經由授權檢查員 (Authorized Inspector, AI) 判斷，可以運轉中檢查取代內部檢查：

1. 由於設備的尺寸、外形上的原因，物理上無法接近或進入設備內實施內部檢查。
2. 設備之腐蝕速率低於 0.005in(0.125mm)/年，或估計設備的剩餘壽命超過 10 年，並滿足下列情況者：
 - 1) 至少已經掌握相同或可以類比的設備 5 年運轉經驗，對於設備內之內容物特性，包括內容物流經部位受到的影響。
 - 2) 設備的密封狀態沒有問題。
 - 3) 鋼製胴體之運轉溫度未超過該材料的潛變破壞範圍的下限。
 - 4) 設備並未在會發生裂縫或氫破壞之液體環境中運轉。
 - 5) 設備不是 strip lined 或 plate-lined 製成的。

高壓設備的剩餘壽命可由下列公式計算：

$$\text{剩餘壽命(年)} = \frac{t_{\text{actual}} - t_{\text{minimum}}}{\text{腐蝕速率[in(mm)/年]}}$$

其中 t_{actual} ：最近一次檢查某個位置或某個元件的厚度紀錄，in(mm)

t_{minimum} ：某個位置或某個元件的最小容許厚度，in(mm)。

$$\text{腐蝕速率} = \frac{t_{\text{previous}} - t_{\text{actual}}}{t_{\text{previous}} \text{ 與 } t_{\text{actual}} \text{ 相隔之年數}} [\text{in(mm)/年}]$$

其中 t_{previous} = 在相同的檢查位置，上一次檢查時之量測厚度，in(mm)。

可以應用統計分析於計算設備斷面腐蝕速率與其剩餘壽命，統計方法可以評估該設備是否可以運轉中檢查取代內部檢查，或是用以推估設備之內部檢查週期，推估時必須很小心地確認檢查結果及統計處理，因為此檢查結果是反映設備斷面之現況，統計分析不可以運用於明顯的局部腐蝕之處理。

判斷設備之腐蝕速率可以包括在兩個不同時段蒐集之資料，可以由授權檢查員來決定短期間(short-term)與長期間(long-term)腐蝕速率之適用性，當短期間與長期間之腐蝕速率有差異時，可能要去詢問對設備腐蝕之經驗比較豐富之工程師，討論有關那些有差異之腐蝕速率，以計算設備之剩餘壽命及下一次檢查日期。

大型的高壓設備可能會同時存在兩個或以上不同腐蝕速率之區域，兩次檢查之週期或是否可以運轉中檢查取代內部檢查，其實每個區域都可以單獨處理，如果使用多區域分析(multi-zone-analysis)，則應選擇其中最短的剩餘半壽命為檢查週期，參考內部檢查週期或運轉中檢查取代內部檢查的極限情況(limiting case)。

根據計畫中檢查對象之高壓設備之最大容許工作壓力(Maximum Allowable Working Pressure ; MAWP)來計算剩餘壽命，並以該剩餘壽命來推估設備需要的檢查週期。

- 1.外部檢查週期：至少每 5 年或預估剩餘腐蝕壽命 1/4 中較小者檢查一次。
- 2.內部檢查週期：至少每 10 年或預估剩餘腐蝕壽命 1/2 中較小者檢查一次。
- 3.當預估剩餘壽命低於 4 年時，則以預估剩餘壽命年限為檢查週期，但最高不得超過 2 年。
- 4.如設備之確實腐蝕率低於 0.0254mm/年(0.001 吋/年)，只要設備運轉條件不變更，且完全符合下列條件時，可不需要執行高壓設備之內部檢查：
 - 1)該設備之內容物曾有五年相同運轉而無腐蝕之紀錄。
 - 2)外部檢查時未發現可疑問題點。
 - 3)操作溫度低於設備本體材料可能產生潛變破壞溫度下限值。(碳鋼一般為 370 ，鎳基合金約為 200)。
 - 4)設備之內容物無被腐蝕物污染之可能性。

此外，事業單位亦可透過申請成為自主安全檢查單位(Owner/User Program)，事業單位可就所屬設備實施檢查。

第三節 日本危險性設備替代檢查規定

日本的鍋爐及第一種壓力容器屬厚生勞動省管轄，而高壓氣體特定設備及高壓氣體容器則屬於經濟產業省管轄。有關其定期檢查的檢查頻率、檢查方法及判定基準等，規定於日本「勞動安全衛生法」、「鍋爐及壓力容器安全規則」、「高壓氣體保安法」及「一般高壓氣體安全規則」等附屬規則與相關基準中。

危險性設備除了依據法規實施定期檢查外，亦可根據設備壽命評估結果，經檢查機構核可後延長檢查期限。另外，日本厚生勞動省及經濟產業省分別頒布「鍋爐等四年連續運轉認定要領」及「高壓氣體自主保安大臣認定」省令，規定事業單位亦可透過連續運轉認定或自主保安檢查認定的機制，向檢查機構申請認定並經核定後，在認定保安檢查期限內，可就事業單位內的設備剩餘壽命評估結果，擬訂內部檢查的期限與方法，並由事業單位本身執行檢查[15-16]。

另日本為有效推展檢查結果之評估，在法規鬆綁的政策下，由日本高壓力技術協會與美國 API 合作，轉換美國 API579 成為日本「壓力機械的龜裂狀缺陷評價方法」標準[17]，據以作為評估設備缺陷劣化程度之依據。

1. 個別設備之替代(延長)檢查：在各地地方行政首長認可之情況下，對使用中的儲槽可以進行由儲槽外部至內部表面（以下簡稱為「內表面」）的檢查（以下簡稱為「使用中內表面檢查」代替開放檢查。但被認定為保安檢查實施者則不在此限。實施過使用中內表面檢查後，下一期的檢查必須照一般開放檢查程序辦理。

使用中內表面檢查應依表 2.1「高壓氣體儲槽使用中內表面檢查要點」的規定實施。又，各地地方行政首長的認可應依表 2.2「高壓氣體儲槽使用中內表面檢查認可評估要點」之規定實施。另外，實施過使用中內表面檢查後，下一期的檢查必須照一般開放檢查程序辦理。

另依據一般高壓氣體保安規則另表第 3 第 1 項第 11 號至第 13 號、液化石油氣體保安規則另表第 3 第 1 項第 17 號至第 19 號及石化廠等保安規則另表第 4 第 1 項第 18 號至第 20 號止相關之保安檢查之中，平底低溫儲槽（含隔膜(membrane)式）、汽化器(cold evaporator)、液態氧、液態氮、液態氫之儲槽，在設備內部或從設備的內部進行的檢查之檢查方法尚未確立前，不適用。

2. 自主保安檢查認定—高壓氣體設備(高壓氣體特定設備)：日本除了個別設備可以實施延長檢查外，針對個別事業單位亦實施自主保安檢查認定制度。日本高壓氣體設備之「事業單位自主保安檢查認可制度」自 1998 年開始實施，至今(2000 年)已經有 70 家通過運轉中認定保安檢查。以下就針對日本之高壓氣體設備、鍋爐與第一種壓力容器，實施保安檢查認定經過簡單說明。

日本高壓氣體設備製造事業單位之通產大臣認定，法源依據為高壓氣體保安法之相關省令技術基準。實施方法：製造高壓氣體設

備之事業單位，對於自行製造之設備，可以進行相關的耐壓試驗、氣密試驗與厚度量測，由通商產業大臣先確認該實施方法正確後加以認定之制度。日本大臣認定制度之經緯如下：

- 1)昭和 43 年(1968 年)依據高壓氣體取締法施行細則，開始實施種類別(第一種為高壓氣體製造事業單位，第二種為高壓氣體設備製造者，第三種為工程公司)大臣認定
- 2)昭和 50 年(1975 年)修正高壓氣體取締法，1977 年制定高壓氣體特定設備檢查規則，部份高壓氣體設備自種類別大臣認定對象中排除。
- 3)昭和 60 年(1985 年)申請認定之事業單位，可以直接向高壓氣體保安協會會長申請。
- 4)通過大臣認定之事業單位，每三年由都道府縣知事、通商產業局長、高壓氣體保安協會會長三者實施追蹤調查。
- 5)平成 5 年(1993)5 月起，為確保大臣認定制度公正性與審查之合理化，計畫將其與國際品質管理系統加以整合。

有關日本高壓氣體保安協會之[高壓氣體自主保安大臣認定]，即日本之壓力容器不停爐檢查體制認定基準如表 2.3 所示。保安規則樣式《認定完成/保安檢查》包括有總公司的體制、事業單位的體制、有關認定完成檢查之體制等三大項(十六個項目)。

- 3.連續運轉之認定—鍋爐及第一種壓力容器：日本實施鍋爐與第一種壓力容器 2 年連續運轉之認定，係根據日本之鍋爐及壓力容器安全規則第 40 條第 1 項之但書，與第 75 條第 1 項但書之規定。該制度開始施行之日期為平成八年(1996)3 月 22 日，實施方法根據勞動基準局公佈之基發第 141 號之 2「鍋爐與第一種壓力容器之運轉中認定有關事項」(屬於該局舊的要領)，另外，「鍋爐等 4 年連續運轉認定要領」(屬於新的要領)自平成十一年(1999 年)4 月 1 日開始適用。有關日本鍋爐與第一種壓力容器連續運轉中檢查認定基準如表 2.4 所示。

綜合而言，上述檢查機制，管制單位（如檢查機構）僅就其評估過程予以稽核審查，而事業單位應負責完成詳細的整廠安全管理計畫與設備檢測評估規劃。

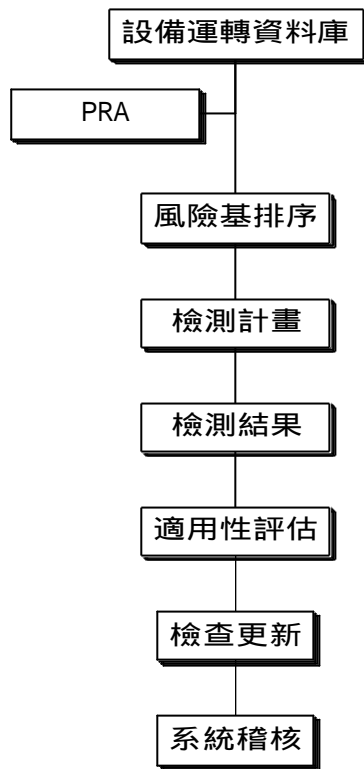


圖2.1設備機械完整性的檢查、評估流程

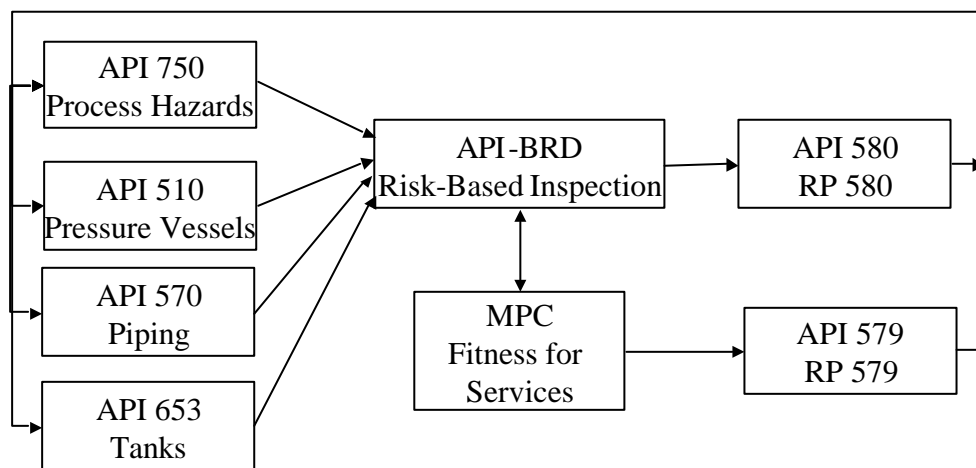


圖2.2各個API標準對設備機械完整性的之整合

表2.1 高壓氣體儲槽使用中內表面檢查要點

- 1.目的：說明由儲槽外部來檢查儲槽內部表面（以下稱為「使用中內表面檢查」）以代替開放檢查之儲槽檢查方法。
- 2.檢查對象設備
 - (1)板厚在 12 mm 以下之碳鋼或低合金鋼。
 - (2)不含對應力腐蝕龜裂或顯著腐蝕等儲槽造成損害之物質（如：氨或硫化氫 10 ppm 以上等）。
 - (3)儲槽表面的狀態不會對熔接部的表面檢查造成困難。
 - (4)治具痕跡等檢查部位清楚可知。
 - (5)最近的 2 次開放檢查沒有熔接修補（不含輕微修補）。
- 3.檢查方法等
 - (1)檢查方法：以超音波探傷法由儲槽外部來檢查儲槽內部表面的缺陷。同時，檢查結果應自動記錄。
 - (2)檢查裝置的性能：具有能確認儲槽內部表面深度 0.5 mm 的缺陷之性能者。
 - (3)檢查部位：儲槽內表面的熔接部、認影響部及治具痕跡等部位。
 - (4)實施檢查者：具有超音波檢查(UT-2) 2 種以上的資格，對檢查儲槽有充分經驗者。

4.判定及處置

判 定	處 置
內表面無傷痕或龜裂	決定下次開放檢查的時間。
內表面傷痕或龜裂未達最小板厚，且其深度在 2 mm 以下	針對檢查出的傷痕或龜裂，以 3 所示的方法每年檢查 1 次以上。但如認為有損及最小板厚（需要預留腐蝕部者以最小板厚加上預留腐蝕部之板厚為最小板厚）之虞者應馬上進行開放檢查。
內表面傷痕或龜裂已達最小板厚，且其深度超過 2 mm	馬上將儲槽開放，施以熔接修補後進行耐壓試驗。且於耐壓試驗實施後 1 年內進行開放檢查，確認沒有傷痕或龜裂。

表2.2 高壓氣體儲槽開放檢查週期認定評估要點

- 1.對象設備：經各地方行政首長認可，將依據表 2 適用開放檢查週期延長之儲槽。
- 2.評估對象者：高壓氣體製造事業單位。
- 3.評估項目及評估基準
 - (1)開放檢查相關規程
 - A.訂有適用於儲槽的檢查方法及明確的檢查基準，並將其文件化。
 - B.明確的訂有適切的缺陷去除方法、熔接修補等方法以及熔接修補後的確認方法等與開放檢查相關的作業手冊，並適時修正。
 - C.對發生的缺陷及腐蝕檢討其原因與對策，並依據檢討結果明確的決定開放檢查之週期，同時有完整的文書化記錄。
 - D.將檢查工作外包時，訂有明確的管理制度，並將其文件化。
 - (2)開放檢查的評估體系：有一名以上的負責人員，負責對開放檢查的結果給予確實的評估。該負責人員必須是日本非破壞檢查協會(NDI)所認定的非破壞檢查技術人員，並具有磁氣檢查 2 種 (MT 2 種) 以上及甲種機械責任者或甲種化學責任者資格證書者。但，對非腐蝕性氣體，若為不需要現場施工之儲槽，則只需乙種機械責任者資格證書。
 - (3)開放檢查資料的保管：開放檢查的數據資料應依時間序列加以保管，並建立可以明確掌握儲槽檢查結果的管理體制。
 - (4)開放檢查的實績：依適當的開放檢查期限所進行的最近 2 次的開放檢查，其檢查結果符合一般高壓氣體保安規則另表第 3 第 1 項第 11 號、液化石油氣體保安規則另表第 3 第 1 項第 17 號及石化廠等保安規則另表第 4 第 1 項第 18 號的但書之儲槽。
 - (5)其他評估時應考慮事項：儲槽的製造年月日、運轉與安全管理的狀況、內容物的確認資料以及開放檢查的實施者等。
- 4.認定時的評估之實施
 - (1)實施認定評估的人員為法第 35 條第 1 項所列之地方政府首長、協會或指定的保安檢查機關 (以下稱為地方政府首長等) 之中，做過該等開放檢查相關保安檢查者。
 - (2)地方政府首長等在保安檢查時，對事業單位所期望的每一個儲槽的開放檢查週期之申請、認定相關評估應儘速進行。
 - (3)地方政府首長等應確認 3 之(1)至(4)各評估項目及評估基準以及其他評估時應考慮事項，基於評估結果進行總和判定再予以認定。

表2.3 高壓氣體自主保安檢查認定

1.目的：(略)

2.對象及範圍

(1)完成檢查之認定(使用於製造設施)：實施認定完成檢查，對於其可以實施完成檢查之對象範圍，係所有滿足下列所有要件之製造設施，其特定變更工程必須實施之完成檢查。

- A. 連續運轉 2 年以上製造高壓氣體設施的相關工程。
- B. 滿足 A 條件設施中，於申請時列舉的設施相關工程。
- C. 雖然為 B 的設施，但是不包括製造設施的廢料及土木工程。
- D. 雖然為 B 的設施，但是不變更得到製造許可的氣體名稱之工程。
- E. 雖然為 B 的設施，但是該製造設施之處理能力增減不超過 20% 以上之工程。
- F. 雖然為 B 的設施，但是不變更製程(Process)之增設、變更機械之工程。

(2)完成檢查之認定(第一種儲存所)：實施認定完成檢查，可以實施完成檢查之對象範圍，係指設置新的儲存設備以外的特定工程的完成檢查。(註：第一種儲存所係指儲存量 300 m³ 以上的儲存場所)

(3)保安檢查之認定：實施認定保安檢查，可以實施完成檢查之對象範圍，係指所有下列要件的製造設施之保安檢查：

- A. 連續運轉 2 年以上製造高壓氣體設施的相關工程。
- B. 滿足 A 條件設施中，於申請時列舉的設施相關工程。
- C. 雖然為 B 的設施，但是該製造設施之處理能力增減不超過 20% 以上之設施相關保安檢查。
- D. 雖然為 B 的設施，但是不變更製程(Process)之增設、變更機械之設施相關保安檢查。

3.可以申請的事業單位必須滿足下列(1)~(3)的要件：

(1)自開始製造高壓氣體之日起滿 2 年。

(2)過去 2 年內，高壓氣體製造設施或第一種儲存所未發生下列災害：

- A. 1 人以上死亡之事故。
- B. 重傷(治癒需一個月以上)2 人以上之事故。
- C. 受傷(重傷者除外)6 人以上之事故。
- D. 直接損失金額達 2 億日圓以上之事故。
- E. 被公認為影響大之事故。
 - (A) 曾經疏散附近居民之事故。
 - (B) 第一種保安物件或第二種保安物件損壞之事故。
 - (C) 明顯破壞環境之事故。

(3)違反法或是依法訂定之命令，被處以罰金以上之刑罰，自接受處罰結束後滿 2 年者。

(4)申請者雖為法人，但是其執行業務職員中無(3)或(4)人員者。

4.申請

(1) 首次申請或更新

A.完成檢查認定時根據下列規定：

- (A) 依一般高壓氣體保安規則(以下稱為「一般則」)樣式第 48 之規定。
- (B) 依液化石油氣保安規則(以下稱為「液石則」)樣式第 47 之規定。
- (C) 依冷凍保安規則(以下稱為「冷凍則」)樣式第 33 之規定。
- (D) 石化工業區保安規則(以下稱為「石化工業區則」)樣式第 27 之「認定完成檢查實施者申請書」之規定。

B. 保安檢查認定時根據下列規定:

- (A) 一般則樣式第 50。
- (B) 液石則樣式第 49。
- (C) 冷凍則樣式第 35。
- (D) 石化工業區則樣式第 29 之「認定完成檢查實施者申請書」, 及下列文件八份及 8 手續費之規定之金額向協會本部申請。並填寫下列資料:
 - a. 聯絡地址: 提出申請之總公司及相關事業單位之聯絡者姓名、電話號碼。
 - b. 企業概況: 企業設立之年月日、資本額及資本關係、事業單位名稱、員工人數、主要製品及組織圖。
 - c. 接受認定之事業單位(或是第一種儲存所)概要: 設立年月日、員工人數、佔地面積、每一種氣體處理能力(或儲存能力)一覽表、主要製品名稱、每年生產金額、高壓氣體設備一覽表、製造過程有關之記載。
 - d. 下列各項文件

[完成檢查認定]	[保安檢查認定]
一、總公司體制	一、總公司體制
A. 有關保安之基本態勢	A. 有關保安之基本態勢
B. 保安管理	B. 保安管理
二、有關事業單位之體制	二、有關事業單位之體制
A. 有關有關保安之基本態勢	A. 有關有關保安之基本態勢
B. 組織	B. 組織
C. 業務	C. 業務
D. 教育訓練	D. 教育訓練
E. 事故防止對策	E. 事故防止對策
F. 工程管理	F. 工程管理
G. 協力公司	G. 協力公司
H. 防災體制	H. 防災體制
三、有關認定完成檢查之體制	三、有關認定保安檢查之體制
A. 認定完成檢查組織	A. 不停止運轉實施保安檢查之措施
B. 認定完成檢查業務	B. 認定保安檢查組織
C. 認定完成檢查之檢查管理	C. 認定保安檢查業務
	D. 認定保安檢查之檢查管理
	E. 開放檢查體制
	F. 數據運用現況
	G. 操作說明書之置備

備註 1: 保安檢查認定時, 特定設備停止運轉作保安檢查之申請者, 不適用三、A 之「不停止運轉實施保安檢查之措施」與三、G 之「操作說明書之置備」。

備註 2: 提出更新申請時, 與前一次提出的申請文件為變更的調查項目, 則可以免填寫該項目, 但是, 該項目也不可以從檢查項目中排除。

日本高壓氣體協會專家對申請案之審查標準如下:

- (一) 總公司體制: 經營者對於保安採取積極的態勢與對保安管理部門的單位之指導力。
- (二) 事業單位體制
 - 1. 申請的事業單位必須維持其三個部門的獨立性與有作用之機能。

2. 必須實施以事故事例與危險預測為基礎之管理面、設施面之對策。
3. 必須已經彙整工程管理與對協力公司管理有關之規定、基準類資料，並確實地實施。

(三) 認定保安檢查 (保安檢查) 體制

1. 申請連續運轉期間，預測壓力容器壽命後採取設備應有的對策，實施設備檢查工作。
 2. 檢查組織運用協力公司前應先擬定檢查計畫，並對於檢查結果的判定對該事業單位負起應負的責任。
 3. 檢查管理組織對檢查組織的檢查結果進行評估、判定時必須保持中立公正性。
 4. 實施開放檢查週期之適切性，必須適切實施各種開放檢查。
 5. 必須確實使檢查數據等作靈活運用。
- (2) 設施之追加認定：上述(1)的規定準用於設施之追加認定申請。追加認定申請時，與首次申請或更新申請的文件比較，未變更的調查項目，則可以免填寫該項目，但是，該項目不可以從檢查項目中排除。

(3) 同時申請

- A. 完成檢查認定與保安檢查認定的首次申請與更新的同時申請時
此情況之申請文件，只要填寫任何一種的申請文件全部的調查項目，而其他申請文件僅需要填寫該申請文件的該項目即可。
- B. 完成檢查認定與保安檢查認定的首次申請與更新申請，以及設施的追加認定組合的同時申請時。
此情況之申請文件，只要填寫首次申請或更新申請的全部的調查項目，而設施的追加認定的申請文件，僅需填寫該申請文件的該項目即可。
- C. 完成檢查認定與保安檢查認定的設施的追加認定同時申請。
此情況之申請文件，與首次申請或更新申請的文件比較，未變更的調查項目，則可以免填寫該項目，但是，該項目不可以從檢查項目中排除。

5.認定的有效期限

- (1) 認定之有效期限是自認定之日起 5 年。
- (2) 既有設施之追加認定
A. 既有設施之追加認定之有效期限，是自該認定之日起至申請追加認定前，原有設備認定之有效期限終了日為止。

6.調查申請書之製作方法：提出八份調查申請書，期中包括正本 1 份、副本 3 份及影印本 4 份；正本及副本係指在調查申請書該公司印章者，而影印本係指正本之影印。

(1) 調查申請書

- A. 調查申請書之「申請種類」欄位必須清楚地填寫首次申請、更新申請或追加申請。
- B. 保安檢查認定的申請者中，以不停止運轉方式進行保安檢查時，調查申請書中的「不停止運轉進行保安檢查之特定設施及連續運轉時間」欄位，應清楚地填寫每座申請的設施及其連續運轉時間。
- C. 申請之設施名稱，係指得到日本都道府縣許可時所記載的設施名稱。
- D. 提出認定更新申請及設施的追加認定之同時申請時，在調查申請書中的「申請種類」欄位填寫「更新、追加」，再申請的設施名稱欄位，必須將需要更新或追加申請的相關設備名稱，加以區別清楚後再填寫。

(2) 調查申請書文件

- A. 調查申請書紙張原則上使用 A4 尺寸 (超過 A4 之圖表，摺疊成 A4 尺寸)。
- B. 調查申請書紙張縱式紙張作橫式書寫，左側裝訂，調查申請書可雙面印刷。
- C. 調查書中不得已使用簡稱填寫時，應將簡稱之原文以易懂之說明作成一個簡稱對照

表，附於申請文件後方。

- D. 調查申請書文件必須附有目錄，且各個項目應附有索引(index)。
- E. 調查申請書文件即使是同時申請，原則上裝訂成一個卷宗(file)。
- F. 同時申請時，依各個申請類別應附有索引，使其易懂與區別，可以省略之欄位也要填寫調查項目，並註明「已經填寫」之字樣。
- G. 說明書的本文說明宜適當地使用圖表，並簡潔、易懂地填寫。
- H. 4.申請(1) C 中的「製造工程圖」，係提出申請的設施主要設備名稱(或是記號)、遮斷閥、安全閥的位置、最高或最低的常用溫度或壓力、高壓氣體設備、氣體設備等，以顏色加以區分及記載，並將該申請之設施範圍以紅色筆清楚地標示。

7.調查

- (1) 調查可分為書類審查與現地調查。
- (2) 書類審查與現地調查並無明顯的區分，現地調查係根據書類審查結果作進一步合理的調查。
 - A. 根據調查書文件作說明、提問題及現場調查(主管及負責部門，只有在該部門作說明時段可以退席)
 - (A) 必須說明成為認定(完成、保安)檢查實施者的基本想法、實施方法、組織、資格、措施等，且要作充分地說明。
 - (B) 從紀錄確認(書類或現場)
 - a. 有關確保保安之理念、基本方針、對全體員工滲透程度。
 - b. 規格、基準之制定、改善、廢止等實際績效。
 - c. 設備改善績效。
 - d. 設備檢查績效。
 - e. 各種保安活動之績效。
 - f. 保安相關技術研究、開發之現況。
 - g. 各種會議之績效。
 - h. 其他。

8.手續費

(1) 調查申請手續費

申請種類	費用
1.認定完成檢查實施者之認定有關之調查之首次申請或更新申請(第 2 項者除外)	2,220,000 日圓
2.認定完成檢查實施者之設施追加認定申請	930,000 日圓
3.認定完成檢查實施者之認定(不停止運轉進行保安檢查者)有關之調查之首次申請或更新申請(第 4 項者除外)	2,930,000 日圓
4.認定完成檢查實施者之認定(不停止運轉進行保安檢查者)之設施追加認定申請	1,320,000 日圓
5.認定完成檢查實施者之認定(停止運轉進行保安檢查者)有關之調查之首次申請或更新申請(第 6 項者除外)	2,570,000 日圓
6.認定完成檢查實施者之認定(停止運轉進行保安檢查者)之設施追加認定申請	1,120,000 日圓
7.第 1 項與第 3 項之首次申請或更新申請	4,110,000 日圓
8.第 1 項與第 5 項之首次申請或更新申請	3,750,000 日圓
9.第 3 項與第 5 項之首次申請或更新申請	4,460,000 日圓
10.第 1 項、第 3 項與第 5 項之首次申請或更新同時申請	5,170,000 日圓

- (2) 銀行劃撥、銀行名稱、帳戶名稱、帳戶號碼、調查申請時，銀行的劃撥單影印本一份持參。
- (3) 有關申請之手續費，受理申請後，無正當理由者不退還費用。

為使申請程序更具體化，針對上述各項再作介紹。以日本高壓氣體榜安法之石化工業區則樣式第 29 之「認定完成檢查實施者申請書」內容為主，包括有石化業總公司的體制、事業單位的體制、有關認定完成檢查之體制等三大項(內含十六個項目)[9]：

一、總公司的體制

(一) 有關保安的資本態勢

經營者必須樹立保安的理念，而基本方針等各種政策必須明確規定，且書面化。上述各種政策必須讓公司所屬各事業所內所有的員工理解，實施及維持公司的政策。

(二) 保安管理

- A. 保安對策本部必須設置董事頭銜的武館，決定保安管理的基本方針，每個事業所的保安管理績效必須明定實施的方式，而且加以書面化。
- B. 除了挑選工董事擔任保安管理工作外，也應設置獨立的保安管理部門，公司的生產計畫、設備管理計畫時，應充分反映保安管理部門的意見，這些應明確規定並書面化。
- C. 保安管理部門主管，必須統括申請及其他有關認定的業務，成為認定業務的負責人，這些應明確規定並書面化。

二、事業單位的體制

(一) 有關保安的基本態勢

事業單位主管必須樹立保安的理念，而基本方針等各種政策必須明確規定且書面化。上述各種政策必須讓員工理解、實施以及持續。

(二) 組織

- A. 事業單位內除了必須獨立設置保安管理部門、設備管理部門以及操作管理部門（以下稱這些部門為「管理部門」），管理部門之間為使工作圓滑地推展，在組織上及職務上緊密聯絡體制必須明確規定且文書化。
- B. 各級管理者（職級）及法規管理者（保安統括者等）之間應有明確的對應關係，其責任權限及指揮命令系統必須明確規定且文書化。
- C. 管理部門的主管必須有十五年以上經驗（管理部門的經驗年數累積），且持有甲種化學責任者證書，或是甲種機械責任證書。但是，有關證書，直接協助管理部門的人員持有該種證書者，不受此限。
- D. 保安管理部門及操作管理部門的所屬人員 50% 以上必須持有製造保安責任者證書。
- E. 設備管理部門所屬人員 50% 以上，必須持有製造保安的責任者證書，或是必要的非破壞檢查技術相關資格。
- F. 必須具有保安管理部門主管對於事業單位主管提出全盤性保安管理意見的制度，此制度必須明確規定且文書化。
- G. 保安管理部門的意見必須充分反映在保安相關預算、教育訓練計畫等，這些必須明確規定且文書化。
- H. 操作元的交換班，傳承體制必須明確規定且書面化。

(三) 業務

- A. 管理部門的業務範圍及責任所在，必須明確規定且書面化
- B. 保安管理、設備管理及操作管理有關的規程、基準類，必須明確規定，且加以置備。
- C. 各種規程、基準類的制定、修改的程序，必須明確規定，且實施適切的修正。
- D. 對於設備管理部門，新設、增設、變更製造設施時的材料選擇、腐蝕與模號等的保安

- 對策上，應特別考慮事項有關的規程、基準類，必須明確規定，且加以置備。
- E. 操作管理部門應經常準備操作手冊。
 - F. 應明確規定保安管理部門，積極蒐集公司內外相關資訊（最新的保安技術資訊、高壓氣體相關事故資訊等），將該資訊製作違規成類資料作有效運用。
 - G. 設備管理部門及操作部門，應依據種類不同規定日常檢查、通常檢查及定期檢查的檢查方法，且文書化，適切地實施檢查。
 - H. 保安管理部門應掌握檢查結果（包含分析、評估），有效運用於設備管理、操作管理等。

（四）教育訓練

- A. 為實施下列的教育訓練項目，應明確規定教育訓練計畫，且文書化。
 - （A）有關保安相關資訊事項。
 - （B）為徹底執行規程、基準類的相關事項。
 - （C）自主保安活動相關事項。
 - （D）提案制度相關事項。
 - （E）緊急實立即反應訓練等防災訓練相關事項。
 - （F）其他教育訓練整體相關事項。
- B. 應製作及保存教育訓練實施相關紀錄。
- C. 教育訓練用的裝置、資源器材應準備，並有效運用。

（五）事故防止對策

調查事業單位內外的事故(包含潛在事故)的原因，其調查結果可以作為防止類似事故再發生的體制應明確化。

（六）工程管理

- A. 有關工程管理，應準備下列事項規程、基準類資料，且應明確具有可順利實施的體制。
 - （A）作業範圍及責任歸屬有關事項
 - （B）操作部門與工程負責部門之間，有關接受及轉交方法之相關事項。
 - （C）徹底實施工程作業管理之有關事項。
 - （D）其他工程管理相關事項。

（七）承攬（協助）公司

- A. 有關承攬（協力）公司，應準備下列事項規程、基準類資料，且應具有可順利實施的體制
 - （A）作業範圍及責任歸屬有關事項。
 - （B）選擇承攬公司有關事項。
 - （C）承攬公司員工教育訓練的有關事項。
 - （D）選用複數的承攬公司時，該所有承攬公司組成的承攬公司之間的協議組織的有關事項。
 - （E）其他有關承攬公司管理的管理事項。

（八）防災體制

- A. 有關發生災害時災害對策總部與事業單位內外相對設置的防災組織有關事項。
- B. 至防災體制建立為止的應急措施（包括夜間、假日時等的對應措施）
- C. 各種防災設備的整備、維持管理相關事項。
- D. 緊急停止的有關事項。
- E. 與各相關政府機關及關連事業單位間緊急即時通報聯絡體制有關事項。
- F. 夜間、假日非值勤者等（包過承攬公司員工）緊急傳呼體制有關事項。

- G. 關連事業單位之間相互支援協定之訂定，以及與其有關的訓練及資訊交換有關事項。
- H. 防止因導管引起災害的有關事項。
- I. 其他防災管理的有關事項。

二、對認定保安檢查實施者所進行之檢查（以下稱為認定保安檢查）的體制。

（一）非停止操作進行之保安檢查的措施。

- A. 為進行非停止運轉保安檢查，必須進行適當的設備改善工作。
- B. 每種進行非停止運轉保安檢查的設施，必須明確訂定該設施運轉期間之壽命預測及掌握其發生障礙的要因，且文書化，必要時進行適當設備改善。
- C. 有關前款的設備改善，其改善位置、內容、理由等必須明確化。

（二）認定保安檢查組織

- A. 認定保安檢查組織（以下簡稱為檢查組織）必須明確規定，且書面化。
- B. 檢查組織的主管應有十五年以上的經驗（在管理部門工作年數也一併計算。）而且，必須有甲種機械負責人之證照。關於該項證照，檢查組織主管的直接助理人員若是有該項證照者，則不受此限。
- C. 隸屬於檢查組織（除檢查組織主管之外。）百分之五十以上人員必須有製造保安負責人證照，或是具有必要的非破壞檢查技術相關資格。

（三）認定保安檢查業務

- A. 必須明確規定檢查組織執行之業務及其責任所在，且加以書面化。此種情況，即使是請協力公司協助實施認定保安檢查，檢查結果的評估、判斷必須由該事業單位來完成。
- B. 認定保安檢查必須由各個檢查場所具有適當檢查經驗者擔任，根據本法第 39 條之五第一款第二項的保安檢查規程，明確規定必須實施檢查項目。
- C. 為適切地實施認定保安檢查，必須明確規定事業單位擁有或是調度必要且合宜精度的檢查設備，且加以文書化。
- D. 認定保安檢查的相關規程必須規定，且依該規程做成紀錄加以保存。而且，需建立保存的紀錄可作為爾後認定保安檢查時可以靈活運用的體制。

（四）認定保安檢查的檢查管理

- A. 檢查以外的組織（包括委員會）對於認定保安檢查的實施狀況不完備，即檢查結果不符合本規則之基準時所提出改善建議（命令）（以下稱為「檢查管理」）事業單位必須明確訂定可以實施上述作業的體制，且加以文書化。
- B. 實施檢查管理的主管（但是，檢查組織主管兼任者不於承認）必須有十五年以上的經驗（在管理部門的工作年數累積），且需具有甲種化學負責人證照或甲種機械負責人證照者。但是，該在直接協助該組織主管之人員具有該證照者，則不受此限。
- C. 執行檢查管理的組織所屬人員（執行檢查管理之主管除外。）必須明確規定有五年以上經驗者應有 2 人以上，且加以文書化。
- D. 檢查檢查管理的相關規程必須訂定，且依該規程做成紀錄加以保存。而且需建立保存的紀錄，可作為爾後認定保安檢查時靈活運用的體制。

（五）開放檢查體制

- A. 有關開放檢查體制，需準備下列是相的規程、基準，且有明確可以是切實施的體制。
 - （A）有關開放檢查週期的設定方法之事項。
 - （B）有關開放檢查方法之事項。
 - （C）有關決定各個機器更換時期方針之事項。
 - （D）其他有關開放檢查之事項。

(六) 數據的運用狀況

- A. 認定保安檢查（包括開放檢查。）通常檢查等的檢查數據需做綜合解析，且需明確建立將該數據解析結果做為設施的新設、變更、運轉管理、檢查時可運用的制度。
- B. 有關運轉紀錄（包括相關的保安紀錄。）的規程必須訂定，且依該規程做成紀錄及運用。
- C. 所有的機器設置後的檢查紀錄及保全紀錄，需訂定相關歸成加以規範，且依該規程做成紀錄及保存。
- D. 依據前述個相的檢查紀錄等做成的分析、評估結果，需確實掌握每個機器的經年變化，而也，可有效運用於判斷機器是否要修理，推測其壽命的依據。

(七) 操作說明書（Manual）的置備

為執行連續運轉保安檢查的設施管理，必要的操作說明書（依每個工程的操作條件等）需明確規定且置備。

備註：

- 一、本基準一、（一）的項目與 A 的規定，再總公司設置一個以上的管理部門，該部門與事業單位為密不可分關係的組織，且有明確的責任權限即只命令系統被承認時，也可以包含在總公司設置的管理部門。
- 二、唯有特定設施停止運轉以執行保安檢查時，其認定保安檢查實施者的申請，不適用本基準三、（一）及（七）的項目。

表2.4 鍋爐與第一種壓力容器連續運轉認定

1. 運轉管理體制
2. 保安全管理體制
3. 相關紀錄、數據之檢查
4. 鍋爐與第一種壓力容器運轉狀態下之外觀檢查

若是發現有必要再檢查時，停止運轉鍋爐或第一種壓力容器，經冷卻、清掃及其他必要措施，對該部份進行開放檢查。

日本鍋爐協會負責執行鍋爐與第一種壓力容器之連續運轉認定工作，「鍋爐等 2 年連續運轉認定要領」主要項目如下：

1. 認定申請書
2. 組織與安全管理
3. 運轉管理
4. 保安全管理
5. 自動控制裝置等

除了上述之 2 年連續運轉認定外，依據平成 9 年(1997 年)3 月之局長通達，日本鍋爐與第一種壓力容器之 2 年連續運轉之認定制度自 1996 年開始實施；自 1999 年開始試辦鍋爐與第一種壓力容器 4 年連續運轉，「4 年連續運轉試辦認定要領」主要項目如下：(以下「鍋爐等」係指鍋爐與第一種壓力容器)

一、要件

1. 運轉中檢查結果運用實際積效

擬成為認定對象之鍋爐等還在平成 8 年(1996 年)3 月 22 日基發第 141 號之 2 「有關鍋爐與第一種壓力容器之運轉中檢查之認定」(即 2 年連續運轉認定)的有效期間內，且，連續有 2 年連續運轉 3 次以上(新的設備應有連續有 2 年連續運轉 2 次以上)之檢查結果運用實際積效。而且，部分的鍋爐等更換時，更換後的鍋爐等為新品，僅限於與更換前的鍋爐是屬於同樣機種同樣形式，且，其材料、性能、使用條件為相同程度者，更換前後之運用實際積效可以通盤計算。

2. 經年損傷之防止對策

- (1) 關於鍋爐的材質，必須考慮其最高使用溫度、壓力、內容物特性形狀與水質管理方法，準備適當的選用基準，根據選用基準，確認該等材料對於腐蝕、磨蝕及裂縫、劣化是否適當。
- (2) 在容易產生應力腐蝕裂縫(SCC)、潛變裂縫、氫裂縫、疲勞裂縫等裂縫的環境下的鍋爐

等，找出容易產生裂縫的部位並實施適切的檢查，以確認該部位不會發生裂縫。

- (3) 在容易產生氫氣侵蝕、高溫脆化等裂縫的環境下的鍋爐等，找出容易引起劣化的部位並實施適切的檢查，以確認該部位不會引起有害的劣化。
- (4) 使用期間超過 40 年之鍋爐等，找出主要的耐壓部位有發生應力集中之虞之部位、焊接部位與有發生疲勞裂縫之虞之部位並實施適切的檢查，以確認該部位不會發生裂縫、有害的劣化。
- (5) 即使曾在耐壓部位發生過腐蝕、磨蝕、裂縫、劣化(以下稱為「損傷」)並修補過的鍋爐等，並曾經再發生損傷者，調查損傷的原因，並採取有效的防止再發生的措施者，則不在此限。

3. 剩餘壽命之評估

- (1) 鍋爐等對於腐蝕、磨蝕損傷曾經實施壽命評估，構造規格上的母板的最小板厚必須使鍋爐等還有 8 年以上之壽命。且在其耐壓面已有為防止腐蝕的玻璃內襯等耐蝕性披覆處理者，應確認披覆層之完整性。
- (2) 有必要做潛變診斷之鍋爐等，對於鍋爐等的耐潛變性實施壽命診斷，對於潛變必須有 8 年以上的壽命。

4. 自動控制裝置之維護管理

- (1) 確認鍋爐等必須對自動控制裝置加以整備，使其具有正常的機能。
- (2) 開放時，對於自動控制裝置的機能必須以疑似信號確認其機能正常，緊急時，必須將必要的遮斷閥加以分解整備。
- (3) 運轉中，必須以適切的方法確認自動控制裝置的機能正常。
- (4) 必須具有安全上重要的系統與故障也安全 (Fail Safe) 的機能。

5. 安全閥之維護管理

安全閥必須根據整備要領做定期整備工作，且，必須保存整備紀錄。或者，找出容易發生粘固、阻塞的製程流體，採取有效的防止措施。

6. 水質管理

- (1) 鍋爐水等必須使用純水(不可使用單純的軟化水)。
- (2) 關於曾經發生過水質問題的鍋爐，必須重新檢討水質分析項目(與 JIS 標準的項目做比較評估)，並重新檢討檢驗頻率。

7. 自主檢查

關於自主檢查，必須整備運轉時用的與開放時用的適切的自主檢查基準，並根據該基準實施自主檢查。

付有工作單的自主檢查工作中，必須依據檢查目的、檢查部位、檢查對象與缺陷的種類，實施一種以上的檢查。且檢查方法、檢查器具等，必須可以使用具有同等現賴性的的其他

方法等。

8. 管理系統

(1) 文書管理

關於運轉、保全的文書，必須訂定製作、審查、核可、分發、管理等的基準，並依據該基準實施。

(2) 教育、訓練

[1] 對於做運轉、檢查與保全工作的要員，必須確立指出教育、訓練的必要性與基準，且根據該基準訂定教育、訓練的計畫，並確實實施。

[2] 對於從事自主檢查業務人員，必須適切第實施教育、訓練或是根據其經驗決定資格認定的基準，並持續地維持。

若是自主檢查工作委托給公司以外的檢查機構做者，自主檢查結果的評估與判定也必須由公司內的保全組織來實施。

(3) 檢查與測定裝置的管理

必須訂定一套管理、校正、維護自主檢查等使用的檢查與測定裝置的基準，根據該基準加以實施。

(4) 矯正措施：

必須訂定實施發生不適當情況之矯正措施的順序，並加以實施。

特別是為防止鍋爐等再度發生同樣的災害，必須對於公司內發生過的意外事例與其他公司災害事例原因加以檢討、記錄，訂定有效的再防止對策並持續進行。

(5) 紀錄之管理

必須訂定自主檢查紀錄等的製作、處理與管理有關的基準，並根據該基準實施管理。

且運轉紀錄、水質管理紀錄、安全裝置等的作動機能測試之紀錄，資格認定者的名單(list)，至少保管 5 年。

二、 認定之審查：鍋爐與第一種壓力容器 4 年連續運轉試辦的認定手續，準用平成 8 年 3 月 22 日基發第 141 號之 2 「有關鍋爐與第一種壓力容器之運轉中檢查之認定」運轉時檢查認定要領中，「1.認定之申請」、「2.事前審查」、「4.認定申請之審查」、「6.變更之認定」、「8.認定之取消」、與「9.性能檢查代行機關之」之規定。

大致而言，將上述各項之「運轉時檢查」以「4 年連續運轉試辦」取代。

第三章 危險性設備的損傷機構與檢測方法

第一節 破損機構

設備的損傷機構依其損傷原因和形狀可以分為三種：

- (1) 腐蝕性損傷
- (2) 機械力損傷
- (3) 高溫損傷

腐蝕性損傷包括均勻腐蝕、粒間腐蝕、孔蝕、隙縫腐蝕、伽凡尼腐蝕及去合金腐蝕。此外，腐蝕現象亦會與機械力共同作用，造成的應力腐蝕破壞、腐蝕疲勞破壞、氫脆裂、沖蝕及磨耗腐蝕損傷。

第二節 腐蝕的種類

設備常見的腐蝕型態大略有下列幾種（如圖3.1所示）：

1. 大氣腐蝕 (Atmospheric Corrosion)：管線曝露於大氣中，容易受到環境中水份、鹽份、溫度、二氧化硫及其它浮游物質之侵蝕。尤其目前有不少石化工廠均設於濱海的工業區內，大氣腐蝕的防範更顯得特別重要。其中二氧化硫對於碳鋼和低合金鋼的腐蝕，P. J. Sereda 依暴露試驗的結果，提出一實驗公式：

$$\text{腐蝕量 (m.d.d)} = 0.131 (\text{SO}_2 : \text{mg/dm}^2 \cdot \text{day}) + 0.018 (\text{濕潤時期的月平均溫度, } ^\circ\text{C}) + 0.787$$

其中 m.d.d：mg/dm²/day

2. 均勻腐蝕 (Uniform Corrosion)：均勻腐蝕為最為常見之腐蝕類型，腐蝕金屬本身同時提供作為陽極與陰極。陰極位置通常為金屬表面暫時被厚腐蝕生成物所覆蓋之部位，或金屬與含較高濃度還原性物質溶液相接觸之部位。常發生於含有鹽酸 (HCl)、硫酸 (H₂SO₄)、氫氟酸 (HF)、硫化物等環境中之管線。
3. 伽凡尼腐蝕 (Galvanic Corrosion)：常發生於異金屬或不同電位金屬接觸處，活性較大的金屬成為陽極，較小的成為陰極，形成一個封

閉的腐蝕電路。此兩種金屬的腐蝕電位差愈大者，其腐蝕則愈嚴重。此情況常發生於誤用材料處。

4. 罅隙腐蝕 (Crevice Corrosion)：其特性與伽凡尼腐蝕類似，不同處為其發生於不同濃度的腐蝕介質中，所以可稱為濃度差電池腐蝕。因罅隙甚窄，內部溶液不易獲得外部氧氣之補充，而使內部溶氧被還原反應耗光。但罅隙外部金屬由於能持續獲得氧氣及獲得由罅隙內部金屬進行氧化反應所產生之電子，而一直進行還原反應，因此罅隙外部金屬不會發生腐蝕，但會加速罅隙內部金屬之腐蝕。

在罅隙內部進行陽極反應所產生甚多之金屬陽離子，會吸引外部陰離子，特別是氯離子，進入罅隙內部而與金屬陽離子形成金屬氯化物，這些具溶解性之金屬氯化物會進行水解反應，依下式生成酸性溶液。



此處 M 為腐蝕金屬，所產生之鹽酸，會使罅隙內部 pH 值下降，並且鹽酸分子會解離，放出氯離子再度與更多金屬離子反應，罅隙溶液酸度逐漸增高，而增加金屬溶解速率。

罅隙腐蝕易發生於較緊密結合的間隙處，如法蘭墊片 (Gaskets)、螺牙接合處、套座接合處等，及沈積物覆蓋之金屬表面。通常罅隙腐蝕會進一步導致應力腐蝕破裂，或腐蝕疲勞之發生。

5. 點蝕 (Pitting)：點蝕是局部的穿孔腐蝕，在金屬表面生成一個個或許多密集的坑坑洞洞，深淺不一。點蝕之起始是由於金屬表面的皮膜局部崩破所造成，崩破可能發生在皮膜較弱之部位，每一崩破處都變成一個微小陽極，因面積小，電流密度大，所以造成點蝕。點蝕起始後，其繁衍機制與罅隙腐蝕幾乎相同，氯離子或其它侵蝕性離子藉電移作用進入蝕孔而形成金屬鹽類，再進行水解反應，使得蝕孔內部溶液形成酸性很高的環境。

點蝕為一種非常集中的局部腐蝕，可在油漆不良的大氣腐蝕管表面或遭遇氧氣侵蝕的管內表面以及受氯離子侵蝕的不銹鋼管中發現。通常在氯化物或鹵素溶液中是最常發生點蝕，特別是在靜滯溶液或慢速流體。此外，碳鋼碰到含二氧化硫或三氧化硫的低 pH

水份時，也會受到點蝕侵害。點蝕通常比其它類型腐蝕更易造成未預期之損害，因其會造成快速穿孔，所以此類型腐蝕就顯得特別狠毒。

6.晶間腐蝕 (Intergranular Corrosion)：金屬由液體凝固時，以許多質點為中心，開始凝固結晶，生成許多交錯的結晶顆粒，顆粒與顆粒的交接區，稱為晶粒邊界 (Grain Boundary)。晶粒邊界是液體金屬最後凝結的部份，其熔點較低，固體金屬熔解時，此部份最先熔解，晶粒邊界也是高能量區，富有化學活性，所以金屬腐蝕時，也是先由晶粒邊界開始，並且腐蝕的較快。

晶粒邊界有許多間隙，而這些間隙是由許多未能正確排列原子之集合體所居位置，由於其存在會使鄰近晶體扭曲。由於間隙晶粒與間隙處鄰近金屬晶粒之組成有差異，所以可能於晶粒間隙處造成伽凡尼腐蝕。如不銹鋼，大部份碳含量均會沈積在晶粒邊界處，當溫度上升至 500 以上時，鉻會以較快速率擴散至晶粒邊界處，並在該處形成 $Cr_{23}C_6$ 碳化物沈澱，該碳化物對腐蝕沒什麼影響，但會在晶粒邊界鄰近甚窄面積處造成嚴重的缺鉻區，如此會使含 18 % 鉻之晶粒與含鉻量幾近為零之晶粒邊界鄰近區，形成微小之伽凡尼腐蝕電池。此時的不銹鋼，耐蝕性大減，稱之為敏化 (Sensitization)，意即對腐蝕敏感，或者說容易被腐蝕。

晶間腐蝕是一種選擇性腐蝕型態，它是沿著晶粒邊界所進行的一項腐蝕現象，而大多數之晶粒內部則不受影響。晶間腐蝕會發生在 300、400 系列不銹鋼及一些高鎳奧斯田鐵合金，這些合金在溫度 450~870 間容易受到敏化，敏化的合金如果遇到某些腐蝕媒體，如硝酸 (HNO_3)、鹽酸 (HCl)、亞硫酸 (H_2SO_3)、硫酸 (H_2SO_4)、磷酸 (H_3PO_4) 等就容易引起腐蝕。此一腐蝕都發生在晶粒邊界，所以稱為晶間腐蝕。此種腐蝕會降低材料的強度並引起破裂。

易受敏化的不銹鋼及含高鎳合金如下：AISI 302、304、309、310、316、317、430、446 及 Inconel 600、601, Incoloy 800、800H, Nickel 200, Hastelloy 合金 B & C。

7.應力腐蝕龜裂 (Stress Corrosion Cracking；簡稱 SCC)：內有張應力 (Tension)，外有腐蝕媒體，聯合造成之金屬腐蝕，稱為應力腐蝕，

應力腐蝕大都發生裂紋，所以叫做應力腐蝕龜裂。應力來源可為焊接時之殘留應力及外加機械應力，而應力需為強張應力或扭應力，俾使破裂張開，每當一破裂被起始後，在破裂處因固體腐蝕生成物體積膨脹之楔形作用力，會給破裂添增額外之應力，由於應力與腐蝕之同時存在，故能進一步延伸應力腐蝕破裂。通常某一類合金僅會在少數特定環境中發生破裂，如不銹鋼管在氯離子環境中易發生破裂，表 5-1 將列出合金與環境易發生 SCC 之相互關係。管線在氯化物、苛性鹼、氨、胺液等環境中，較易發生龜裂或裂化的現象。

8.疲勞腐蝕 (Fatigue Corrosion)：疲勞腐蝕造成失效之條件是需具有起伏或週期性張應力。金屬在受到反覆或變化的應力及應變，組織結構會發生改變，縱然此一變化之應力遠低於一次使材料失效所需之應力，但經多次反覆作用後，亦可能使材料失效。易發生疲勞腐蝕的地方有冷熱交替處、機械震盪處、易發生水錘作用處，其裂紋通常出現於管線受限處，如歧管、支撐、限制器處或不同膨脹係數金屬連接處。

9.高溫氧化 (Elevated Temperature Oxidation)：金屬曝露於高溫含氧的環境中和氧起化學反應，產生 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、 FeO 氧化層，氧化層會持續成長和剝離，因而導致管壁厚度逐漸減薄，最後因耐壓能力不足而發生破管。常發生氧化之區域為 (a) 加熱爐管外壁，(b) 高溫水蒸氣管線，水蒸氣在高溫下會分解出氫氣和氧氣，此時之氧化比前者空氣中氧化更為嚴重。

每一種合金均有其使用極限溫度，操作時高於此溫度，金屬氧化速率將急遽增加。如碳鋼之氧化極限溫度為 565、1.25Cr-1Mo 為 635、5Cr-0.5Mo 為 650、9Cr-1Mo 為 700、18 Cr-8Ni 為 870。

10.硫化物腐蝕 (Sulfide Corrosion)：原油中硫化物的腐蝕相當嚴重，其中以硫化氫的腐蝕最具活性。硫的來源主要包括 (a) 原油中之元素硫或在 150 以上溫度水解成 H_2S 和 SO_2 ，(b) 原油中之有機硫會分解為 H_2S 和硫醇 (Mercaptans)，(c) 原油中之 H_2S 及 (d) 加氫脫硫產物 H_2S 。在有水存在的環境中，如在蒸餾工場的頂流系統中有水凝結的地方，會產生硫化鐵垢，進而產生氫起泡及氫脆化的

現象。在高溫 232 (450) 以上時，腐蝕速率會隨溫度增加而增加。一般硫化氫腐蝕方程式為：



11. 高溫氫侵蝕 (Hydrogen Attack): 氫在高溫 (超過 450) 高壓 (氫分壓高於 100psi) 之環境中，能分解成氫原子，將穿入金屬內與鋼中碳反應生成甲烷，甲烷在鋼中無法擴散，只好聚積在其生成之處。同時在氫與碳產生反應的附近，即造成了脫碳 (Decarburization) 現象，於是碳的濃度減低而破壞了平衡狀況，致使周圍生成碳之移動 (Carbon Migration)，又生成新溶解的氫氣與移動之碳素，再度形成甲烷的連鎖反應。此甲烷氣不斷的累積，結果形成一大壓力，而導致「鼓出」現象或發生微細的裂紋 (Microcracking)。氫侵蝕的結果將導致材料失去強度、延性及破裂。溶解的氫氣量可由下式表達：

$$[\text{H}] = K_p \text{H}^{0.5} e^{(-6500 / RT)}$$

在鋼中，擴散的氫與碳化物形成甲烷，其反應式如下：



12. 沖蝕腐蝕 (Erosion Corrosion): 流體中含有固體粒子，若以快速流過金屬表面，通常會破壞任何保護膜並移走金屬，形成蝕溝，或圓形孔洞。大多數的沖蝕問題是在擾流 (Turbulent Flow) 情況下發生，而擾流之產生通常是由於管徑改變，或流體流向驟然改變，或管中有阻礙物。尤其當流體被迫在流動方向有尖銳的改變時，會嚴重的衝撞金屬表面。流速及固體含量、擾流及腐蝕媒体等因素為造成沖蝕腐蝕嚴重性的決定因子，沖蝕角度在 20-30 度間最具破壞性，常發生處所如下：

- (1) 控制閥的下游，尤其會發生驟沸處。
- (2) 流孔板 (Orifice) 下游。
- (3) 泵浦出口管線。
- (4) 彎頭的內外軸處。
- (5) 管線構造改變處，如法蘭處。

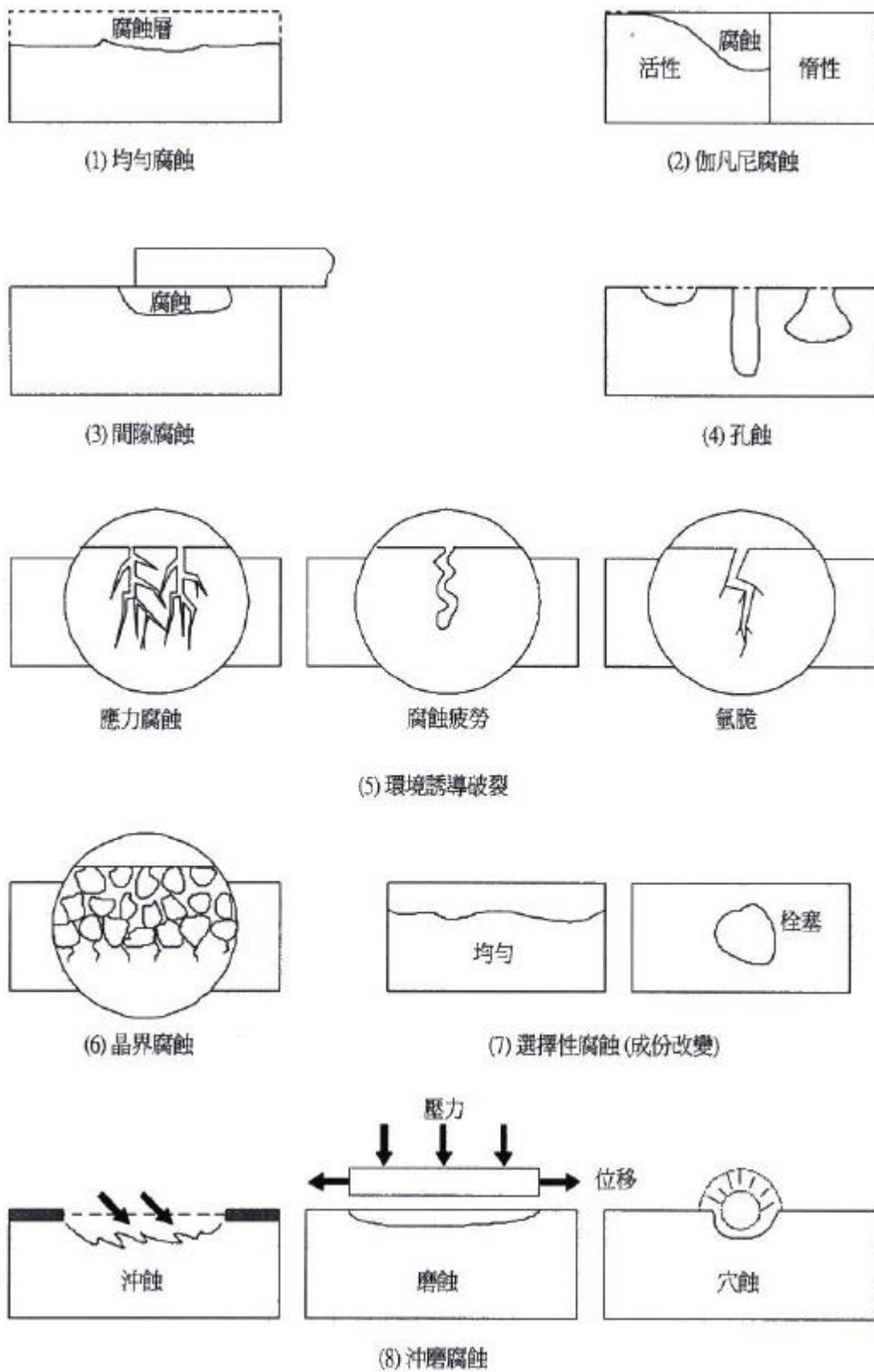


圖3.1 各種腐蝕型態示意圖

機械力破損包括應力腐蝕與疲勞破損。應力破損又分為延性應力破損、脆性應力破損及準劈裂破損。

高溫破損可以分為高溫強度破損及高溫腐蝕破損。而高溫破損包括凝固熱脆、回火脆裂、硬化脆裂、磨裂及熱震破壞。高溫腐蝕破損係由高溫破損與腐蝕性破損相互作用所形成，主要包括有高溫氧化、高溫硫化、鈮侵蝕、氧化鉛腐蝕及熱鹽腐蝕。

第三節 損傷的檢測方法

材料可以藉由「破壞形態觀察(Fractography)」、「破壞成分分析(Fracture chemistry)」、「非破壞性檢測(Non-destructive testing)」、「破壞力學應用」與「模擬試驗分析」，檢測材料是否損壞。

- 1.破壞形態觀察：由肉眼開始觀察，初步判斷材料的受力狀態、裂縫起始點、破裂之機構、破壞路徑。使用儀器觀察可以分為(1)巨觀破壞形態（放大倍數低於 15 倍），(2)微觀破壞形態（放大倍數低於 2,000 倍），(3)電子光束觀察破壞形態（放大倍數低於 200,000 倍）。

表3.1 腐蝕分類診斷方法

方法	工作內容	適用性	使用限制
測量 Test piece 重量變化	1.全面腐蝕之腐蝕度 2.全體之變化	簡單 定量 直接	1.僅量測腐蝕量估算值 2.因生成物不同而有誤差 3.不適用局部腐蝕
電化學方法 1.分極電阻的變化 2.浸泡電阻之變化	1.腐蝕度之定量評估 2.環境之腐蝕性評估	可以連續量測 非破壞方式	1.有必要做間接檢定 2.披覆層與液面會妨礙量測
1.分析液體中金屬離子 2.氫氣產生量 3.氧氣消耗量	腐蝕度之定量評估	瞬間之腐蝕 速率	1.生成物的不完全溶解 2.析出物(硫化物、氫氧化物) 3.耗氧性腐蝕
目視觀察方法	1.判定腐蝕型態與程度 2.銹蝕程度 3.有無發生裂縫 4.孔蝕之程度	簡單	1.主觀的方法 2.定性的方法

方法	工作內容	適用性	使用限制
	5.相片或攝影		
非破壞檢測方式	1.超音波、X射線 2.渦電流法	定量	1.腐蝕量估算值 2.僅有量測部位之資訊
破壞檢查方式(顯微鏡觀察)	1.回收腐蝕之部位 2.量測腐蝕深度 3.量測結晶組織之變化	補充方式	半定性的方法
機械性質之變化	1.量測拉伸強度、硬度、裂縫時間等 2.應力腐蝕、氫脆化試驗	量測材料之特性變化	僅有估算值

1)巨觀破壞形態觀察工具：巨觀破壞形態觀察的工具包括有放大鏡、磁鐵、銼刀、砂輪切割機、材料強度試驗機等。低倍率放大鏡之放大倍率由 1 倍至 15 倍左右，解析度至 10 μ m 左右，其優點為價格低廉，操作容易，攜帶方便且樣品準備簡單；缺點為放大倍率低，解析度受到限制，無法做細微之觀察。以磁鐵可以觀察材料是否具有體磁性。利用銼刀、砂輪切割機研磨材料，以產生的火花判斷材料之材質、含碳量等。材料強度試驗機主要用途如下：

- A. 確認材料之機械性能是否合乎規格之要求
- B. 可以獲得材料的平面應變破裂韌性值
- C. 模擬使用狀況，求取材料之機械性質
- D. 評估材料於使用一段期間後，材質劣化或變化的程度
- E. 輔助評估材料壽命或安全性

材料強度試驗中的硬度測試接近於非破壞檢測，是一種最簡單的機械性能試驗，可以用於評估熱處理品之優劣，估計材料之強度，檢查材料是否過度加熱，而造成脫碳、軟化現象，或是判斷材料因加工、滲碳、氮化而硬化。

當材料的機械性質低於規格的數據 5~ 10 % 時，尚不能判定破損是因為機械性質太差所致，因為實驗室進行的小試驗片的機械性能試驗結果，無法完整的呈現中大型構件的行為。因為材料組織經過鑄造、鍛造及軋壓過程後，在不同的方向，存在有不同的機械性質，故進行機械性能試驗前之試片取樣時，必須考慮材料受力的情況，選擇

正確的取樣方向與位置

2) 微觀破壞形態觀察工具：

A. 光學顯微鏡(Optical Microscope ; OM)：光學顯微鏡的原理是將可見光聚焦後在觀察面上反射，並經過接物鏡及接目鏡放大，由肉眼直接觀察或以照相機作記錄，並且可以投影至電視或螢幕。目前比較先進的光學顯微鏡則裝配有數位照相機，可以做影像處理與定量之金相分析。光學顯微鏡之放大倍率為 5~1000 倍，解析度達到 $0.14 \mu\text{m}$ ，景深為 $250 \mu\text{m}$ 至 $0.08 \mu\text{m}$ 。光學顯微鏡主要使用於金相觀察，首先將測試片經過化學藥品浸蝕後，可以觀察金屬之晶粒、晶界及材料微結構。

B. 金相檢查分析：由金相檢查結果可以了解材料是否正常，判斷材料的等級。由金相組織亦可了解材料的熱處理方式，亦可評估材料受熱影響的程度，其他如氧化、脫碳、滲碳、氮化等都可以明顯地看出，也可以發現材料的缺陷，如縮孔、夾渣、介在物、偏析、晶界析出等。

金相檢查可以評估材料的種類，製造方式(鑄造、鍛造、壓延、粉末冶金等)，可以檢查出鑄造引起的縮孔、氣孔及夾渣，鍛造或壓延過程引起的夾層、破裂等，熱處理後是否脫碳、晶粒粗大、晶界析出、淬裂、加熱不充分、冷卻過慢等，電鍍或披覆層是否附著性不佳、電鍍層與母材間存在有雜質等均可以由金相觀察獲得。

C. 掃描式光學顯微鏡(Scanning Electron Microscope ; SEM)：掃描式光學顯微鏡的構造包括有電子槍、電子光學系統、真空系統與控制系統，通常電子束之加速電壓約為 20 至 25 KV(千伏)，以 SEM 作微觀檢查可以確認材料之破損形態，尤其對於破裂之起點與缺陷、介在物、加工凹痕等的關係，可以得到進一步確認結果。

2. 破壞成分分析包括有下列三種：

- (1) 表面分析 (分析深度小於 50 \AA)
- (2) 次表面分析 (分析深度小於 $10,000 \text{ \AA} = 1 \mu\text{m}$)
- (3) 本體成分分析 (材料內部之化學成分)

化學分析是破損分析中的例行檢查作業，由化學分析可以判斷其使用的材料是否錯誤，或者不合乎規格之要求。如果化學分析出之成分與材料規格僅有少許之偏差，則不能視為破損的原因。大多數的情況，材料分析的結果與材料的破損經常無直接關聯。化學分析在破損分析上比較有用的是化學性破損原因分析，在腐蝕介質、沉積物、流體、潤滑劑等與作業環境有關的物質分析，以了解材料受到哪些物質或成分的影響。

化學分析係分析破損件表面、破斷面及其沉積物的微分析或表面分析，最普遍的方式利用掃描式電子顯微鏡(SEM)，配合 X 光能量分布光譜儀(EDS)，SEM/EDS 儀器允許使用比較大的試驗片，分析速度也比較快。

- 3.非破壞性檢測：利用各種物理方法，包括有音波、電氣、磁力及放射線等，在不破壞材料的情況下，偵測材料表面及內部之破壞裂紋，及其他造成破壞之材料缺陷。就分析的本質而言，非破壞性檢測可以歸納於「破壞形態觀察」範疇，但是，兩者之分析原理與儀器而言，非破壞性檢測與宏觀、微觀、電子光束觀察技術有極大之差異。

常見的非破壞檢測法有超音波探傷法(UT)、射線探傷法(RT)、液體滲透探傷法(PT)、磁粉探傷法(MT)、渦電流檢驗法等技術(ET)，可以檢測出材料中缺陷的位置、大小、形狀，為材料提供最佳的現況資料。

- 1)超音波檢驗法：係將具有高頻的音能波束射入材料中，以檢測材料的厚度、表面及次表面的缺陷，表面至缺陷的距離或深度。當超音波音束在材料中行進，直到遇到材料的缺陷表面或是材料表面才會發生反射，當波束受到缺陷或界面干擾時部分音波會因而反射，反射量多寡則是由缺陷的特性、方向或是界面的特性所決定，因此，超音波音能波束在材料中行進的時間，可以獲得材料的厚度、缺陷位置等的資料。

表3.2 超音波檢測

優點	1.對裂縫之檢出靈敏度極高，且能精確定義缺陷之尺寸大小與深度。 2.有極佳之穿透能力，檢測厚度幾乎沒有太多限制。 3.相對於 RT 檢測，UT 只需要能接近物體之某一側即可。
缺點	1.檢測結果之研判需要專業人員。 2.較難提供完整之永久紀錄。 3.而且檢測表面必需相當平滑。

2)射線探傷法：係以具有高穿透性的放射線，如 X 射線或 γ 射線來穿透檢測物，因為射線會受到檢測物的種類、厚度、密度或內部缺陷不同，使其透射或吸收的程度有明顯的差異，在底片上之感光程度會有不同，經過顯像後立即顯示出明顯的對比，藉底片呈現之對比可以判斷材料的缺陷。因為金屬檢測物的空孔對於射線的吸收量小於實體金屬，故在空孔位置射線穿透的強度較大，在底片空孔位置曝光較多，經顯像處理後，空孔位置的影像較黑暗。檢測時應注意檢測物內部缺陷之幾何形狀會影響到缺陷被檢測出的程度，例如，材料內部的裂縫若是與射線入射方向垂直，則該缺陷就很難被檢測出來，裂縫若是與射線入射方向平行，則該缺陷就很容易被檢測出來。

表3.3 放射線檢測的優缺點

優點	對一般工程材料除可檢測出表面及次表面之缺陷外，亦可檢測出材料內部之品質。 可留下永久記錄，以便以後參考。
缺點	檢測設備昂貴，且放射線對人體有害，一有疏忽，易產生危害。 必須能接受檢物體之兩側。 放射線檢測係以穿透照相平面投影方式呈現檢測結果，對夾層或平行於表面方向之裂紋或細微之疲勞裂紋等缺陷，其檢出靈敏度低。 一般無法使用射線加以檢測。

3)液體滲透探傷法適用於檢測材表面的缺陷，可以檢測出磁粉探傷法無法檢測的非磁性材料。液體滲透探傷法可以檢測出表面僅有 1 μ m 寬度的缺陷。探傷的程序為：

- (1) 噴灑清潔劑，去除污垢
- (2) 噴射滲透液，藉由毛細現象使滲透液滲入裂縫或缺陷中
- (3) 去除材料表面多餘的滲透液

- (4) 噴灑顯像劑，使得鮮豔的滲透液再度滲出而呈現裂縫或缺陷的位置或形狀。

表3.4 液滲檢測的優缺點

優點	<ol style="list-style-type: none">1.不限於金屬材質，只要是非孔性材料均可使用此法檢測表面缺陷。2.材料價格低廉，若使用色比法滲透液一般不需任何電源，攜帶與操作方便，極適合於現場設備之局部抽檢。3.且液滲檢測法靈敏度極高，具有檢出表面細微缺陷或裂縫之能力。4.被檢物大小、形狀限制少。
缺點	<ol style="list-style-type: none">1.僅能用以檢測開口達表面之缺陷，對內部之缺陷則完全無法檢出。2.對於磁粒檢測法，液滲檢測較費時且檢測前表面清潔工作要求高，檢測後亦需清潔物體表面。3.若表面缺陷之縫隙為雜物所填塞，滲透液將無法滲入，使得缺陷無法被檢出。4.多孔性材料因無法提供潔淨之表面，亦不適用於液滲檢測。

- 4)磁粉探傷法：對於具有鐵磁性的材料，利用鐵磁粉末或顆粒，可以直接顯示材料材料缺陷的位置、大小、形狀。磁粉探傷技術對於表面的裂縫檢測，可以得到較高的信賴度，且容易學習。一般，對於被測物的大小與形狀並無太大的限制，即使被測物表面有披覆層，亦可以檢測出材料的缺陷。

表3.5 磁粒檢測的優缺點

優點	<p>可檢出表面及次表面之細微裂紋。</p> <p>儀器簡單、操作容易、材料成本低廉。</p> <p>對被檢物表面之前處理要求並不高。</p>
缺點	<p>僅可應用於鐵磁性被檢物，且雖然有檢出次表面缺陷之能力，但檢出深度一般均不超過 1 mm，對較深層之內部缺陷則無法檢出。</p> <p>檢查後需經消磁步驟，物件有較厚之塗層如油漆等會影響檢測之結果。</p> <p>如缺陷與磁力線方向相平行，因無或甚少磁漏產生，檢出能力趨近零。</p>

- 5)目視檢查：目視檢查為所有檢查中使用最頻繁、效率最高之一種非破壞檢查方法。檢查可以眼睛直接執行，亦可使用放大鏡或內視鏡協助檢查。

表3.6 目視檢查之優缺點

優點	1.眼睛為與生俱有之工具，不需添購檢測儀器即可進行檢查。 2.對一般腐蝕、變型、大裂痕等破損型態，可很快速完成大面積檢查。
缺點	人眼視力靈敏度有限，只可檢測出物體表面上之缺陷，對細微裂紋、厚度減薄、內部缺陷等劣化型態無法有效檢出。

6)其它特殊檢測方法：除了上述一般傳統性檢測方法外，其他有被使用於定期檢查之非破壞性檢測方法尚包括有音洩檢測法 (Acoustic Emission , ; AE)、波行時間繞射法 (Time Of Flight Diffraction ; TOFD)、渦電流檢測法 (Eddy Current Testing ; ET)、氬質譜儀洩漏檢測法、C – SCAN 影像超音波掃描法等。由於這些檢測方法使用較精密檢測技術，其檢測設備較為貴重精密，且檢測結果之分析多需借助電腦處理分析，再由專技人員解讀研判，檢測費用一般而言較傳統性檢測方法高出許多，以除了有特殊考量之情況外，定期檢查一般仍以前述傳統性檢測方法為之。至於這些先進檢測方法之原理與應用簡述如下：

A. 音波檢測法：利用材料受應力或塑性變形或破裂時，部分內部之應變能量將以高頻率釋出，而這些高頻率聲波釋出後將沿材料向四面八方傳送，經由預先架設貼附於設備表面之偵檢探頭可檢出由材料缺陷處所傳出之聲波，因偵檢探頭分別安置於設備不同位置，其距離缺陷位置之距離互異，收到訊號之時間自然不同，此差異透過電腦程式分析計算可定位出缺陷所在位置。

此方法之優點是不需排空設備內部之原料即可進行檢測，且可在短時間內對整座設備進行整體性檢測評估。其缺陷則是檢測時易受外界干擾產生非缺陷雜訊，影響檢測結果之正確性，且由於會影響音波在設備內進行之因素頗多，造成缺陷位置研判時經常出現頗大的誤差。可靠度偏低是一般不考量採行此方法之主因。

B. 飛行時間繞射法：為超音波檢測之另一種應用，但不同於一般超音波以縱波或橫波之回波來檢知缺陷，波行時間繞射法係利用縱波碰到缺陷時於其端部產生之微弱繞射波來檢知缺陷之大小與位置。此檢測方法對缺陷大小之量測有極高之精度，可協助評估缺陷之大小是否需加以處理，減少不必要之修補工作，亦可透過週期性檢查監控缺陷發展之速度。此檢測方法屬較先進技術，目前使用尚不普遍，但因其檢測精度高，已逐漸受到重視。

- C. 渦電流檢驗法：利用感應線圈對健全材料與有缺陷材料所產生之渦電流會有相位之差異來檢知缺陷是否存在。因其感應線圈可依檢測物之形狀加以設計，所以可用於平面材料之檢測，亦可用於管子材料之檢測。目前較常用於熱交換器傳熱管之檢查，亦有被設計成推車型用於大型儲槽底板之掃描檢查。
- D. 氦質譜儀洩漏檢測法：利用氦氣分子尺寸小，可通過極微細孔洞之特性，以氦氣為洩漏偵檢氣，透過氦質譜儀來量測設備洩漏之速率，或找尋洩漏源。此檢測方法為所有檢測法中靈敏度最高之一種，其它洩漏檢測方法尚包括泡沫洲、音源放大器、氦檢出劑及冷媒檢出器等。
- E. C-SCAN 影像超音波掃描法：超音波檢測之一種，以脈波檢測方式對大面積之材料進行掃描，透過電腦軟體程式之處理分析，有此程式可將掃描結果以不同顏色來區分被檢材料厚度之差異，有此程式則可呈現三度空間之立體影像，讓檢測人員可以從影像上清楚看到被檢物反面材料之腐蝕狀況。

檢測本身所用之超音波儀器與傳統式探傷儀器並無太大差異，但電腦軟體程式則是其精華所在，一套軟體動輒數十萬元以上。目前有應用在大型儲槽底板之掃描，亦有用於管線高腐蝕區域之掃描。

第四節 以風險為基準的檢測

以風險為基準的檢測 (Risk Based Inspection, RBI) 系統是由 API 委託 DNV 公司主導進行發展的，參與或贊助本計畫的公司包括 Shell、Exxon、Mobil、Amoco 等共 21 家公司。根據 API 581 中的說明內容，對於大多數操作中的工廠，其絕大部份的危害風險是來自少數設備的失效所致，如何發現並針對這些具有高危害風險的少數設備，予以加強檢測是降低危害風險的有效方法之一。RBI 系統即是一種依據風險為基準，來排序與管理工廠檢測計畫的分析方法，RBI 系統評估的結論可提供我們作為將有限的檢測資源，集中運用於少數具有較高風險的設備上，以提昇檢測工作的有效性。一般而言，RBI 評估系統具有下列的功能：

1. 於現有工廠之內部，篩選出具有較高危害風險的區域。

- 2.在煉油或石化工廠內，以比較一致的方式來評估每個操作中的設備之可能危害風險。
- 3.將各設備依評估所得到的風險進行排序。
- 4.根據評估結果，發展更符合實際要求的檢測計畫。
- 5.系統化管理設備失能故障時的可能風險。

潛在的可能危害風險將隨檢測活動之增加而下降，危害風險降低減少的速率在檢測活動頻率增加的初期遠比末期為快。在到達某一特定點之後，危害風險之值就幾乎不隨檢測活動的頻率而有所變化。同時，不同的檢測計畫對降低危害風險的能力也有所不同。RBI系統的檢測計畫將檢測活動的資源集中於較高風險的設備，故其在相同的檢測活動資源下，能夠較有效的降低潛在的可能危害風險。

現有的 API 檢測標準，如 API RP-510，API RP-570，API RP-653 等提供了針對壓力設備的各種檢測方式。然而，這些工業標準提供的僅是各類設施最低要求的檢測頻率，而 RBI 評估系統則是根據前述工業標準的內容，引進風險管理與風險評估的精神，以合理有效的應用有限的檢測資源。

- 1.定性 RBI 與定量 RBI：RBI 評核計畫的目的在提供風險管理的觀念進入檢測計畫中，然而隨著評估風險工作的細緻程度不同，我們所需投入的人力成本也有所不同，因此 RBI 提供了定性與定量兩種工具以達成最適化的目標。

定性 RBI 提供了一個大範圍的評估方法，其評估的對象可以是整座工場，或是工場的一部份。定量 RBI 則可針對單獨的設備個體進行危害風險評估。

定性 RBI 評估的結果較定量 RBI 評估的結果來得不精確，但是相對的，它所投入的人力成本也較低。在 API581 中，定性 RBI 評核被設計成一個個的問答題，以評估整個區域的風險。定性 RBI 評估的結果可以整理成一個 5 x 5 的風險矩陣，用以區分不同製程單元或區域的危害風險之相對大小。定量 RBI 評核分析是一種評估個別單獨設備之危害風險的工具。它也可以用來評估現有的檢測計畫，對降低潛在的危害風險之有效性。

- 2.定性 RBI 系統：定性 RBI 評估計畫，可以應用在下列範圍中：

- 1) 整個工場單元：如完整的氯乙烯反應工場單元。
- 2) 工場中具有特定功能的區段單元或主要單元：如乙二醇工場的蒸發濃縮區。
- 3) 一個系統單元（一個主要的設備暨其附屬設備）：如一座分餾塔、一個再沸器及其進料前之泵浦、管線，構成一個單元或迴路。

定性 RBI 具有下面三種的主要功能：

- 1) 適當的評估該單元是否有更進一步分析的必要及其效益。
- 2) 對該單元進行適當的風險評核，並在風險矩陣中給予適當的評價。
- 3) 辨識出工場中可能需要投入更多檢測活動資源之區域。

定性 RBI 分析中考慮兩個主要因子，一個是在該單元中設備失效的可能性，另一個是設備失效事件發生後的後果嚴重性。風險矩陣則合併考慮前述兩個因子，用以對單元的潛在可能危害風險進行分級之工作。

- 1) 設備失效可能性的評估：定性 RBI 評核中，失效的可能性是指單元設備發生外洩事故的可能性。在定性 RBI 中採用下列六種因子來評估單元設備失效的可能性，並且對每一種不同的因子給予不同的權重：

A. 設備因子（Equipment Factor；EF）：考慮被評估單元中所具有的設備總數目之影響，最高評分為 15 點。

B. 損壞因子（Damage Factor；DF）：考慮被評估單元中已知的腐蝕損壞機制，對單元失效可能性的影響。考慮的因子有一般性腐蝕、疲勞破裂、低溫曝露與高溫劣化等因子，最高評分為 20 點。

C. 檢測因子（Inspection Factor；IF）：提供一個對現有檢測制度之有效性的評斷依據，並且瞭解現有檢測評核制度，對辨識現有/潛藏的損壞機制之能力。本因子考慮實施檢測的方法，該檢測方法的有效程度與整個檢測制度的管理。本因子的評分是以負分的方式為之。這是因為良好的檢測計畫可以降低前述損壞機制所造成單元失效的可能性。本因子最高評分為 15 點。

D. 現況因子（Current Condition Factor；CCF）：本因子以維護保養的觀點來評估所考慮單元之現況。本因子藉由現場走動管理

(Walkthrough) 的方式，對單元現況與保養情況給予適當評核，最高評核配分為 15 點。

- E.製程因子 (Process Factor ; PF)：本因子考慮潛在的異常操作或干擾情況，引發外洩事故發生的可能性。製程因子考慮製程年度平均停車次數（包含計畫性與非計畫性停車）、製程安定性、製程防護設備失效的可能性等因素，最高的評分為 15 點。
- F.機械設計因子 (Mechanical Design Factor ; MDF)：本因子考慮被評估單元內的設備，在設計上是否有考慮足夠的安全因素：是否依照現有工業標準設計，設備是否具有替代性暨設備設計的複雜度等，本因子最高評分可有 15 點。

前述六項因子之總和即是失效可能性的因子。

2)外洩事故後果嚴重性評估：煉油與石化工廠中兩個最主要的潛在危害為：(1)火災爆炸危害風險及(2)毒性危害風險兩種。定性 RBI 中對此種事故後果採用不同的評核方式。如果某物質同時具有前述兩種危害，則應分別評核並採用危害性較大的一種情形作為潛在的危害風險。另外，須附帶一提的是，定性 RBI 評核在毒性危害後果方面僅考慮立即性的毒性危害，對慢性的毒性危害則並未列入 RBI 評核分析的考慮因素之中。

3)火災爆炸危害之後果：定性 RBI 的火災爆炸危害後果中，考慮下列六種因素：

- A.化學因子 (Chemical Factor ; CF)：化學因子考慮化學物質本身發生燃燒的傾向。此因子包含了閃火性及反應性兩個因子。閃火性及反應性是藉由 NFPA (National Fire Protection Association) 的分類等級進行考慮。
- B.物質總量因子 (Quantity Factor ; QF)：物質總量因子用以反應被評估單元內危險物、有害物的物質總量對危害後果的影響。
- C.狀態因子 (State Factor ; SF)：狀態因子考慮當危險性物質被洩放至外界時，在大氣環境內揮發擴散的情形。它是以流體在大氣壓力下的沸點進行評估。
- D.自燃因子 (Autoignition Factor ; AF)：自燃因子評估流體是否有可能在高於其自燃溫度的狀況下，外洩至外在的環境中。

E.壓力因子 (Pressure Factor ; PRF) : 壓力因子一旦流體發生洩漏時，其洩漏速率的快慢傾向。通常液體與高壓氣體洩漏速率較快，也比較可能形成瞬間型洩漏，因而具有較大的危害性。

F.防護因子 (Credit Factor ; CRF) : 防護因子考慮被評估為單元內各種安全方面的設計措施對危害風險的影響。良好的安全設計措施對降低潛在危害發生時的風險，有著重要的影響。在定性 RBI 評核系統中，考慮下述的防護措施：

- (1)對外洩氣體的偵測能力。
- (2)惰性氣體的密封問題。
- (3)火系統的能力。
- (4)單元隔離的能力。
- (5)爆炸防護的能力。
- (6)緊急洩放系統的設計。
- (7)電纜與鋼結構物之相關防火設計。
- (8)消防水之備用量。
- (9)是否設有固定的消防泡沫系統設計。
- (10)是否設有監測系統。

火災爆炸後果的危害等級分類，即是依照前述六種因子的綜合效應來決定。

4)毒性物質之健康危害：毒性物質之健康危害等級分類，考慮下述的各種因子：

A.毒性物總量因子 (Toxic Quantity Factor ; TQF) : 毒性物總量因子中考慮的因素包括物質總量與所含毒性的強弱之因素。毒性強弱之判別依據是採用 NFPA 的毒性強弱因子，NH，作為評量分析的標準。

B.擴散因子 (Dispersibility Factor ; DIF) : 擴散因子是考慮毒性物質外洩後的擴散能力，它由物質的沸點來決定。

C.防護因子 (Credit Factor ; CRF) : 防護因子評估單元內有關安全設計方面，在定性 RBI 中應考慮下列因素：

- (A)發生毒性物質外洩時，對毒性氣體的偵測能力。
- (B)隔離系統單元之能力。
- (C)危害削減系統之設計。

D.人員因子 (Population Factor ; PF) : 人員因子評估毒性物質外洩時 , 可能會受到影響之人員數目。

毒性物質健康危害之等級為前述各因子總和的影響。

3.危害風險矩陣 : 根據失效之可能性等級與危害影響之等級 , 我們可將結果標示於危害風險矩陣圖上。經由此圖可以瞭解被評估的各單元間之相對風險值的高低。進行定量 RBI 分析須收集下列資料 :

- 1)設備組立圖 (Equipment Assembly) 或管線立體配管圖 (Piping Isometrics)
- 2)相關製程操作條件
- 3)相關物料的物性資料
- 4)廠區消防設計狀況的資料
- 5)廠區氣體偵測的資料
- 6)設備檢查計畫書/設備檢查結果報告
- 7)廠區附近氣象/地質資料
- 8)設備價值估算資料
- 9)停工日損金額估算資料

定量 RBI 分析結果的精確度與前述資料之收集有著密切的關係 , 定量 RBI 分析的計算包含洩漏速率計算、可能性分析、後果分析與風險分析四部份。其中可能性分析的部份最為複雜。

4.定量 RBI 計算 : 定量 RBI 作業準則介紹定量 RBI 分析之詳細步驟 , 其是以填表方式並配合基本數據文件 BRD (Base Resource Document) 完成定量分析。其內容涵蓋 API 581 中第六章至第八章 , 引導使用者一步一步完成風險分析。此作業準則是針對某一操作設備設計。RBI 基本數據文件將意外事件之後果分成四大部份 :

- 1)可燃性後果 (Flammable Consequence)
- 2)毒性後果 (Toxic Consequence)
- 3)環境性後果 (Environmental Consequence)
- 4)生產損失後果 (Business Interruption Consequence)

可燃性與毒性之後果以影響面積表示。環境與生產損失以金錢表示。為了進行 RBI 定量評估 , 某些洩漏特性須加以定義。PART.A

涵蓋洩漏速率、洩漏時間、洩漏型態之初步計算。可能性分析 (PART.B) 所進行失能頻率計算，是以一般失能頻率為起始點，對不同的設備現況，一般失能頻率需再加以若干相關係數修正。這些修正係數使在各個特定工廠內的不同設備所得出的失能頻率更加正確，其可分為以下各項：

- 1) 腐蝕損壞機制 (Technical Module) 次係數：腐蝕損壞頻率與檢測有效性綜合度量。
- 2) 全廠性狀況 (Universal) 次係數：影響所有工廠內設備的通用係數。
- 3) 設備機械性質 (Mechanical) 次係數：設備或管線本體特性之相關係數。
- 4) 製程特性 (Process) 次係數：製程穩定性或釋壓閥的度量。
- 5) 製程安全管理修正 (Process Safety Management) 次係數：PSM 之修正係數。

風險計算是失誤可能性頻率與 4 種後果之乘積。這 4 種後果 (可燃性後果、毒性後果、環境性後果、生產損失後果) 是針對單一設備之所引起意外事件的後果所計算而得。以上所敘述的評估程序須對於工廠內或操作單元內之所有管線設備重複計算，各管線設備所得之潛在風險值加以排序，以定出進行設備完整性 (Mechanical Integrity) 之優先順序。

第五節 設備非破壞檢測適用方法及檢查重點部位

非破壞檢測以不破壞物件而進行檢測的方法，如目視檢測、射線檢射、超音波檢測、磁粒檢測、液滲檢測、渦電流檢測、洩漏檢測、紅外線檢測等，其檢測人員需具備適當合格檢定資格。表 3.5 與表 3.5 分別介紹 NDT 原理與應用特性與壓力容器破損檢查適用之檢查方法與器具，另表表 3.9 至表 3.13 為日本塔槽、熱交換器、反應器、加熱器與配管定期檢查之重點部位。

表3.7 常見非破壞檢測技術原理及其應用特性

方法	原理	應用
目視	肉眼，藉放大鏡低倍率顯微鏡、燈、反射鏡	僅在容易看見的地方，小裂縫之發現需要較多的經驗。
滲透劑	有色液體（滲透劑）被刷擦於材料上並容許其滲入裂縫中；擦掉滲透劑並用白粉的快乾懸浮物（顯影劑），滲透劑的殘留物在裂縫中被顯影劑脆取出而展現出有色的痕跡	僅在容易看見的位置。敏感度與目視檢查同級。
磁粉 （磁性 粒子）	欲偵測的部分批覆一層含有鐵粉的螢光性液體。這部分被至於強磁場中且在紫外線下觀察。在裂縫處，磁場線會被攪亂。	僅適用於磁性材料。偵測的部分必須分解且於特別的實驗室中檢查。凹痕和其他不規則處也會產生徵候。檢查較敏感。
X-ray	X 射線由可攜帶的 X 射線管放出，經過結構物且打在膠片上。裂縫吸收的 X 射線小於周圍材料所吸收的 X 射線，在膠片上以黑線被描繪出。	此方法有較大的適用性和敏感度。最適用於裂縫發生在細帶狀物內或補強物的邊緣。在厚板中的小表面瑕疵偵測困難。
超音波	探測針（壓電晶體）傳遞高頻率波進入材料。波反射在末端即裂縫處。輸入脈動和反射都顯示在示波器上。首先的脈動和反射間的距離標示了裂縫的位置。入射波傳抵裂縫處後，則反射波會有所改變。	幾乎為一全能的方法，因為有多種的碳針和輸入脈動可供選擇。
渦電流	在金屬中，線圈感應渦電流。在一裂縫存在下，感應改變；在線圈中的電流為表面狀況度量。	便宜的方法，不需昂貴的設備和易於應用。線圈可以做得小的足以進入孔洞，常被熟練的操作者應用，為一敏感的方法。
音洩法	量測材料內部因裂縫尖端塑性變形，即裂縫增長而放射出應力波強度。	偵測荷重下的結構。連續監視是可能的。需要昂貴的設備，訊號的解釋判讀較為困難。需有經驗者來操作。

表3.8 壓力容器破損檢查適用之檢查方法與器具

檢查目的	檢查目標部位	檢查方法	檢查器具
腐蝕	表面狀況	目視檢查 SUMP 檢查	-- --
	內面狀況	管內檢查類 放射線透過試驗	管內檢查鏡、管內檢查器 線裝置
	減薄	壁壓檢查	超音波探傷器、超音波測厚計
	腐蝕監視	電氣式檢查 SUMP 檢查	Corozometer(音譯) 對 Cu, Fe 等分析
裂縫	表面狀況	目視檢查 SUMP 檢查	-- --
	表面裂縫	滲透探傷試驗 磁粉探傷試驗 渦電流探傷試驗 超音波探傷試驗 放射線透過試驗 裂縫深度電阻試驗	染色、螢光探傷劑 兩極間磁粉探傷器 渦電流探傷器 超音波探傷器 線裝置 龜裂深度計
	內部裂縫	放射線透過試驗 超音波探傷試驗	線裝置 超音波探傷器
洩漏	氣密狀況	氣密試驗 水壓試驗 氣體檢測試驗	肥皂水、超音波探測器 -- 氣體檢測器
振動		目視檢查 感觸檢查 儀器檢查	-- -- 振動計
溫度狀況		溫度量測	表面溫度計、紅外線溫度計
阻塞、污穢		放射線攝影檢查	線裝置, Scale checker

表3.9 塔槽檢查重點部位

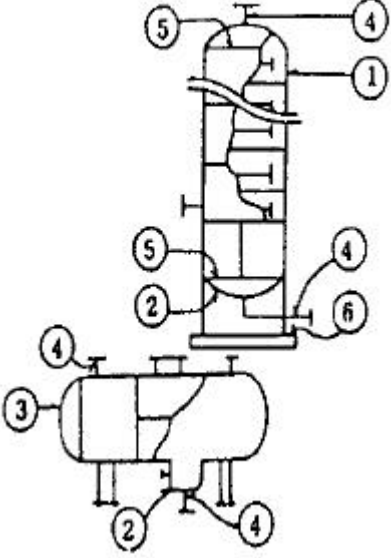
	略 圖	檢查重點部位	缺陷形態	發生原因
塔 槽		托盤支撐環 (tray support ring)及其四周之胴板	全面及局部的凹凸腐蝕、點蝕	與堆積物引起電化學反應，腐蝕介質引起之化學反應。
		塔槽底部	全面及局部的凹凸腐蝕、微小裂紋	與堆積物引起電化學反應，氫致腐蝕。
		受流體衝擊之部位	均勻腐蝕、點蝕	機械性攻擊，阻抗攻擊
		噴嘴(Nozzle)	均勻腐蝕、噴嘴底部溝狀腐蝕	沖蝕、化學性腐蝕
		主要焊道	焊接鋼之選擇性腐蝕、裂縫	殘留應力、應力腐蝕裂縫、氫致腐蝕
		基礎及基礎螺栓	全面局部均勻腐蝕	濕氣
		噴嘴等的保溫開口位置	全面局部均勻腐蝕	濕氣

表3.10 熱交換器檢查重點部位

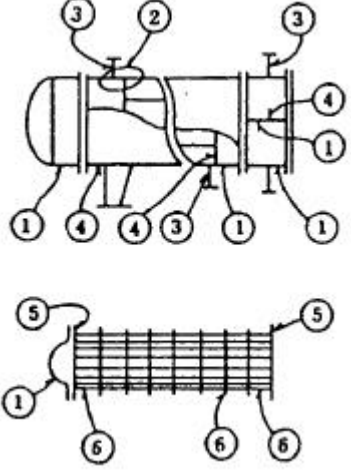
	略 圖	檢查重點部位	缺陷形態	發生原因
熱 交 換 器		<p>胴板的底部(死角、擾流板位置)</p>	<p>全面凹凸、點蝕、溝狀腐蝕</p>	<p>與堆積物引起</p>
		<p>初期凝結位置</p>	<p>全面凹凸、點蝕、溝狀腐蝕、微小裂紋</p>	<p>電化學反應、腐蝕介質引起之</p>
		<p>噴嘴</p>	<p>均勻腐蝕</p>	<p>化學反應、</p>
		<p>主焊道</p>	<p>焊接鋼板的選擇性腐蝕</p>	<p>氫致沖蝕、阻抗攻擊、化學性沖蝕(高流速)、殘留應力、應力腐蝕裂縫、氫致腐蝕。</p>
		<p>管板(Tube Sheet)</p>	<p>全面局部均勻腐蝕</p>	<p>與堆積物引起電化學反應、與堆積物引起之化學反應、滑動腐蝕、高流速、亂流、殘留應力、焊接裂縫。</p>
<p>外側管與管板接合處，緩衝板(Baffle)內管之擴管部位及其末端，密封焊接處。</p>	<p>全面局部均勻腐蝕</p>			

表3.11 反應器檢查重點部位

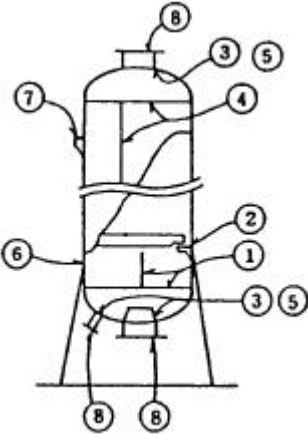
	略 圖	檢查重點部位	缺陷形態	發生原因
反 應 塔		內 部 對接焊道	裂縫、焊道缺陷 (搭疊 overlap、氣 泡孔 blowhole、小 孔 pinhole、夾渣 slag)	高溫潛變等
		支撐座及其他 金屬件焊接	裂縫、焊道缺陷 (小孔 pinhole、搭 疊 overlap 等形狀 不佳)	高溫潛變等
		噴嘴之焊道	裂縫、焊道缺陷 (同上)	高溫潛變等
		墊片組(gasket group)	裂縫、焊道缺陷 (同上)	應力腐蝕裂縫 等
		外 部 對接焊道	裂縫、焊道缺陷 (同上)	高溫潛變等
		噴嘴焊道	裂縫、焊道缺陷 (同上)	高溫潛變等
		裙部(skirt)焊道	裂縫、焊道缺陷 (同上)	高溫潛變等
		拖架(ladder) 夾 (clip)金屬件焊 道	裂縫、焊道缺陷 (同上)	高溫潛變等

表3.12 加熱器檢查重點部位

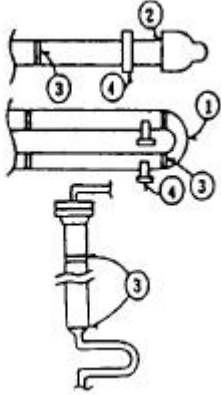
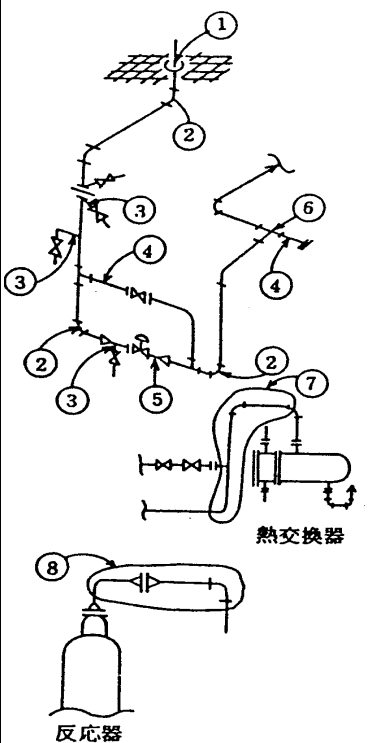
	略 圖	檢查重點部位	缺陷形態	發生原因	
加 熱 爐		管 管路(tube)、回流 彎管(return bend)	減薄、彎曲、翹 度、膨脹、表面 裂紋、擠縫 (caulking)	腐蝕、潛變、 局部加熱	
		管 管路擴管部	洩漏	擴管部位鬆弛	
		管 焊道	裂縫	應力腐蝕裂 縫、潛變損壞	
		支 撐	管支撐(tube support)、分隔器 (keeper)、吊桿 (hanger)	割損	脆化、油灰 腐蝕
		其 他	爐壁、燃燒器壁磚 (tile) 爐本體	溶解掉落、鬆弛 掉落、接縫之鬆 動、油漆變色、 減薄	低溫腐蝕

表3.13 配管檢查定期重點部位

		檢查重點部位	缺陷形態	發生原因
配 管		管路與甲板 (stage)、檢查台接 觸部位	全周溝狀腐蝕、 全面腐蝕	濕氣
		肘管(L bow)	全面均勻腐蝕、 點蝕	沖蝕腐蝕
		節流孔之短接頭 (orifice stub)、壓力 計用小管	全面均勻腐蝕、 點蝕	沖蝕腐蝕
		易滯留部位(管末 端、盲板)	底部全面凹凸狀	與堆積物之電 化學作用或腐 蝕介質的化學 作用
		控制閥之下游	均勻腐蝕	沖蝕
		T型管(Tee)	點蝕、局部均勻 腐蝕	阻抗 (Impediment)
		異種流體匯流點 及其下游	全面均勻腐蝕、 局部均勻腐蝕	因相變化引起 之亂流、沖蝕
		熱應力較大部位 之焊接	裂縫	熱應力、潛變
		有振動之配管(特 別是小管)	裂縫	疲勞
有保溫、保冷之配 管(特別是小管)	全面局部腐蝕	濕氣		

第四章 設備壽命預測

第一節 壽命預測的意義

設備安全管理最關鍵的技術是壽命評估。具體的掌握設備「究竟會發生何事」，則不須進行「不知會發生何事而檢查」的作業；如能知悉「究竟會在何處出事」，則可將該處作為檢查重點，大幅地縮小檢查範圍，節省不必要之經費與人力；更進一步，如能預測「何時會出事或達到可接受的安全臨界點」，則至此時點前可安心的運轉。

為達成壽命預測之目標，應摒棄以往「損壞後再加以修繕」的保養觀念，進而積極實施設備安全管理，拓展預測設備「於何時」、「在何處」、「會發生何事」之預知保養理念。因此，結合壽命預測的設備安全管理，可消除無謂的檢點或檢查，並可將節省的時間、資源及人力轉換成更有效的設備安全管理，由此亦可有效地減少故障的發生。

設備的壽命，係指設備至喪失其機能為止的時間。經預測所得之壽命，在機率上必然有落差，以決定論而言，必然伴隨有誤差之存在。造成壽命預測之落差之原因，有下列幾種因素：

- 1)受預測之設備之機能喪失為受複數要因引起之系統(system)為預測之對象物者，例如液泵軸承之摩耗，機械密封之漏洩，泵葉之損傷，均可導致液泵機能之喪失，如將各別構件之劣化現象加以綜合，採擇同一方法論預測液泵壽命時，將增大壽命預測之落差。
- 2)壽命預測之個體差之問題。例如更換零件後，雖在同一條件下使用，有者可維持相當長之時間，但也有不久即損壞之不同之落差。在此種情形，如將各別之零件詳細調查其故障原因，或許可說明為何其壽命發生落差，但通常均將此等落差歸咎於零件之品質。惟近來對品管已有相當之進展，此種個體引起之壽命之落差已可縮小其差距之勢。
- 3)最影響壽命落差原因者莫如使用條件之差異，也即忽視其承受之壓力(承壓；stress)之處置。例如預測前述泵之機械密封之壽命時，如採擇以其形式相同為由，而使用設施中之機械密封之故障數據，必

然導致增大其落差。此緣由可因流體之種類、流速、溫度、壓力等各種運轉條件以承壓影響其壽命，故如非充分考量其依存性，自無法獲得正確之壽命預測。以下是幾種壽命預測的方法：

一、依趨勢管理之外插

為觀測反映與壽命預測對象關連之劣化現象之屬性，由其變化之趨勢，以外插法預測到達界限值之時間之方法，為最直接之壽命管理法。如此，在線上觀測劣化之趨勢時，並非預測，應視為監視。如為壽命預測，則必須決定，究竟應在中途之何一時點進行觀測「至為重要」。如過早，則屬處於新品狀態下尚未進入變化時之觀測，故必然增大預測之誤差，過遲，則有虞不及於故障之處理，故其觀測時點應為一個重要之 know how。

二、仰賴以往數據之統計手段

就迄至目前蒐集之相同設備有關之壽命數據使用統計處理，預測現今使用中設備壽命之方法，為最被歡迎之手段。此種方法雖理所當然，惟僅能適用於以往所經驗之相同之劣化現象為對象，對未經經驗之對象之壽命，則必須仰賴類似之其他現象之數據類推，故也極端地降低其精確度。

曾被實際使用者，有使用極值統計解析之孔蝕引起之熱交換器管之壽命預測例。此為抽出數支管為樣本，測定其孔蝕深度之結果，假設其最大值之分布 Gunbel 分布時，則可推斷其餘之管孔蝕之最大值。再由迄至目前之使用時間求取腐蝕進度速度，由此預測管之剩餘壽命。

三、依據故障物理之推斷

對劣化之進展機構，已有相當多之論著，與材料之摩耗、疲勞或腐蝕有關者，已獲得速度論性見解之劣化現象。因此，例如使用模擬 (simulation) 手段，已可預測某一程度之壽命。然而，已如前述，劣化現象因受繁多要因條件之影響，故也難以單純之故障物理正確地表現其劣化速度。

雖言如此，故障物理所持有之特徵，在於事前可解開劣化速度究受何種承壓所影響為其優點。也即，可使用故障物理，描繪出劣化之模型，如將包含於此之數種參數值，採取自對象設備之觀測數據決定

之方式，必然可期待提高預測之精確度。

第二節 壽命預測的方法

提升預測之精確度，惟有仰賴適用各種劣化模型之壽命預測方法。因此，在此擬就壽命預測技術與劣化模型加以對比，簡單說明其「技術解說」或「預測方法」，並以蒐集之實施例（包括成功之例與失敗之例），探討其癥結。

一、依據以往數據之壽命預測方法：

一)依定期、不定期設備檢診結果之預測

1)概要．目的：就以何種劣化模型，可預測壽命。

a)就遇有停止設備進行定期檢查工作，或因某種理由進行不定期檢查結果，與以往之檢查結果比對，判斷其進行度，預測今後尚可使用之期間之方法。

b)就目視檢查評估全盤之劣化程度，預測壽命之方法。

c)板厚測定對均勻之全面腐蝕為有效之預測技術。

d)其他，如 NDT（非破壞試驗）；利用其各別試驗方法之優點，定量評估檢出缺陷之進行度，預測壽命之方法(RT, MT, PT, ET, SM etc)。

2)預測技術．方法之說明：在某時點之檢查結果與初期值或以往檢查結果比較，自該期間內之進行度判定劣化速度，預測其壽命。

3)適用例：最適用於測定板厚，由此掌握剩餘厚度，預測壽命之方法。但定期決定定點測定板厚之方法宜視為壽命管理，不應視為壽命預測之範疇。

4)適用時之癥結點、應注意事項

a)以目視檢查供作全盤性劣化評估之基礎，可受檢查者之熟練程度而有所差異。故應與其他客觀評估之檢查方法組合，決定判斷基準為要。

b)厚度測定對顯示均勻之全面腐蝕趨勢之設備頗有效果，但對孔蝕或不特定場所之局部性腐蝕環境之設備，則不適當。

c)在其他之使用 NDT 之評估，被認對檢出之裂隙之壽命預測之判斷為頗困難，此由於發生時點與進行速度難予掌握之故。

二)自相同設備之壽命判斷，更新設備所得實蹟實施之預測。

1)概要、目的

- a)調查相同條件下運轉之設備之劣化之更新實蹟，判斷壽命。
- b)適用於無法定量評估之劣化模型（材質劣化等）之設備或極難實施檢查之設備壽命預測之評估。

2)預測技術、方法之說明：從調查被更新之設備之實績，計算出使用期間，將此與現有設備比較，預測至壽終期間。

3)適用例：對隨動活塞(piston flow)型反應系統以 3~4 支管束設置之餘熱熱交、反應器及冷卻熱交，各別以 1 座代表進行檢查，判斷其壽命，依此建立全部設備之更新計劃。由於腐蝕速度受溫度而變化，致使各反應器之腐蝕速度不同，無法獲得適當之更新時期。

4)適用時之癥結點，應注意事項

- a)在相同使用條件下，設備之使用材質等相同為至要之要件。
- b)在中途之運轉條件之變化等可構成不特定之要素，此可影響預測之精確度。
- c)詳細調查更新而廢棄之設備，確認劣化程度，由此可提昇壽命判斷之精確度。

三)以類似設備之實績之預測

1)概要、目的：調查類似製程或溶液環境下運轉之使用同材質之設備之劣化，由此預測壽命（適用於前述之無相同條件之實績之設備或檢查極端困難時等設備之壽命評估）。

2)預測技術、方法之說明：與前述項目相同，由調查被更新之設備之實績，計算出使用期間，將此與現有之設備比較，預測至壽終之期間。此際，有斟酌若干不同條件之係數(Factor)之必要。

3)適用例：擬就醋酸蒸餾設備蒸餾塔相同設備之腐蝕速度之實績預測，尤適用於塔之設計。有因內存液體中不純物量之差，致使腐蝕速度相異。

4)適用時之癥結點、應注意事項：由於非絕對為相同之使用條件，如何評估若干條件之差異為其重點。因此應再加評估對壽命究有多少程度之影響，依此乘以必要之係數。

四)依據文獻之記載之判斷(以事業本身全無以往之數據時)

- 1)概要、目的：在事業本身無相同之製程及可參考之數據時，應調查文獻或其他事業之資訊，依此預測壽命。
- 2)預測技術、方法之說明：僅從文獻等之資訊預測壽命之可行性極低，惟如有被認具有權威性之數據，對單純之溶液，被認可設計預想之壽命。
- 3)適用例：NASE-Corrision Date Surrey 等數據(被認屬概略預期)。
- 4)適用時之癥結點、應注意事項：對製程條件或設備規格，與文獻或其他事業例有多少可吻合，應詳細加以調查。尤其如何蒐集資訊為重點，實際上可當作參考值，而為檢討之對象，但僅採用以此等資訊為壽命之預測值，則頗困難。

二、利用條件監控之預測

由於監控為監視技術，故於利用此數據進行壽命預測時，應先行預想劣化參數之模型，於此套上數據進行預測。又也可思考從監視數據導出劣化參數之可能性。

一)裝設實際機組利用試片(test piece)評估材質之劣化。

- 1)概要、目的：適用於新設設備或變更製程之設施，尤對掌握設備材質之劣化速度，由此預測壽命。
- 2)預測技術、方法之說明：選擇擬預測所用之構料相同之試片，使其處於電氣性絕緣狀態，於實際運轉環境進行試驗。當停止設備時，卸下試片，調查劣化狀況，判定其速度，預測實際設備之壽命。
- 3)適用例：為調查新溶劑製程之實際設備之腐蝕，於裝置試驗，評估其劣化速度。不僅腐蝕，尚發生局部性應力腐蝕裂隙，得知實際設備之壽命，遠較試片之全面腐蝕評估壽命為短。
- 4)適用時之癥結點、應注意事項
 - a)將代表環境之臨界點(Critical point)設定於何處為首要。如非縮緊其範圍，則會增加試片之數目。
 - b)實際設備使用之構料與試片應為同一材質，且應受相同加工條件之限制。尤其涉及裂隙問題時之試片，應以湊齊反應條件為重點。此外，有時應就內部之流動條件或傳熱條件與實際設備比較，究

可正確地再現至何種程度，由此也影響精確度。

- c)為供作下次更新時之材質之檢討，或蒐集技術性數據，以同時併設其他材質之構料試片為宜。

二)溶液中之溶出金屬分析

- 1)概要、目的：取系統內之溶液為樣品，分析其所含因腐蝕而溶出之金屬成分及量，由此判定腐蝕速度，進行壽命預測。對系統整體為均勻之腐蝕環境則頗具效果。
- 2)預測技術、方法之說明：分析、測定樣品液體中之金屬成分及量，由液體之流出量等計算腐蝕速度。
- 3)適用例：在含有硫酸分之有機溶劑之蒸餾塔，發生蒙乃爾合金 (Monel-metal)料之腐蝕，但並未往系外之金屬分流出。以溶液中之鎳分量與運轉時間及裝置內表面積推定腐蝕速度。雖並非塔內全面之腐蝕，且內部構材之表面積不明，但乃獲得相當良好之推斷。
- 4)適用時之癥結點、應注意事項：分析所有進出系統內之相關溶液，且應確認流出之金屬成分究滯留在系統內或流出。此外，如在系統內之腐蝕均勻，則可獲得正確之預測。如為特定成分之選擇性腐蝕，則應自金屬組成換算。

三)AE 計測

- 1)概要、目的：依劣化之進展，進行發生 AE 波故障（裂隙、漏洩等）之監控，由其 AE 發生狀況判斷壽命。
- 2)預測技術、方法之說明：為獲得所發生之 AE 波，直接將探觸元件 (sensor)裝設在設備構料之表面，進行受信信號之解析，判定所發生劣化種類或進展情況，由此預測壽命。
- 3)適用例：為檢出在高溫狀態下含氫環境所使用之低合金鋼容器發生之裂隙，實施 AE 計測，由於是否為 AE 波或聲音之解析發生困難，故未能判斷。
- 4)適用時之癥結點、應注意事項：實際之壽命預測必須疊集相當量之數據，在現狀尚無使用案例。惟當作劣化損傷之信號，如自初期階段發出，能確切解析，此種方法自有其可採之處。

四)利用應變計(strain gauge)之變形計測

- 1)概要、目的：以斷續或連續承受高壓力，或設備之構料在高溫狀態承受壓力時，則有發生潛變等之變形。在如此之設備，得計測其變形量，進行未破斷前之壽命預測。
- 2)預測技術、方法之說明：在設備直接裝設應變計或決定計測點，計測開始使用前之尺度，定期測定其變形量。將測定值與事前被確認之材質、溫度、應力與變形速度或至破斷時之變形量之數據比較，由此判定壽命。
- 3)適用例：為判定氣體分解加熱爐之不銹鋼管之潛變損傷之壽命，在停止運轉時進行變形量計測，自其變形程度判定壽命。由於變形至何種程度及可至損傷之數據不足，以致在未能判斷前已發生損傷。
- 4)適用時之癥結點、應注意事項
 - a)必須在事前蒐集變形應變量與壽命間之關係數據。
 - b)如變形速度為一定時，自無問題，如緩緩變化時，必須充分掌握其特性。

三、統計解析

- 1)概要、目的：此種方式可運用在使用直接檢查法評估發生困難之孔蝕等局部腐蝕之壽命預測方法，已相當普通地在使用。但以在腐蝕環境均勻之設備使用為宜。
- 2)預測技術、方法之說明：自實際設備之極小部分之最大侵蝕深度數據之極值機率分布，求取設備整體中之最大侵蝕深度，進行壽命預測。
- 3)適用例
 - a)如屬多管式熱交換器管之孔蝕，可在停機時抽出樣品管進行檢查，由此數據求取整體之最大侵蝕深度。
 - b)自儲槽底板之部分孔蝕深度數據，求取槽底整面之最大孔蝕深度，預測壽命。
- 4)適用時之癥結點、應注意事項
 - a)可適用之設備範圍被受限，必須為均勻腐蝕為條件，如有若干不同條件致使腐蝕速度變化時，會降低其精確度。
 - b)為提升其精確度，必須多取樣品，致增加經濟負擔。
 - c)如腐蝕偏存時，由於樣品採取點，而使評估結果發生差異。

四、構築物理模型進行劣化速度之判斷與壽命預測

- 1)概要、目的：預測某種設備之壽命時，將其進行劣化之參數加以模型化，構築劣化速度對時間軸成幾次方之比例或為其他之參數等，構築物理模型〔或算術〕。在此模型下，將初期階段或以前之數據與其後之數據比較，由其變化預測壽命。
- 2)預測技術、方法之說明：將腐蝕或裂隙之劣化進行參數，由以往之實績或文獻等加以模型化，於其劣化參數曲線，植入具有時間差之測定值，由此進行壽命預測。
- 3)適用例：依 Larson-Miller 之中參數，預測材料強度之劣化，由此判斷壽命。
- 4)適用時之癥結點、應注意事項
 - a)必須明晰劣化模型與劣化參數之模型。
 - b)必須疊集為獲得其模型與實際之整合性之數據。

五、破壞檢查、加速試驗

一)機械強度試驗（實績構料之樣品）

- 1)概要、目的
 - a)對被預期在外觀上並無變化之曝露在高溫或滲透性腐蝕氣體之構料之脆化等材質劣化時，得在設備構件採樣，確認機械強度，預測壽命之方法。
 - b)對曾有反復多次熔接補修或其後之熱處理等經歷之設備等，為判斷其劣化，也可實施。
- 2)預測技術、方法之說明：從被預期有顯著劣化之部分採取構料樣品實施機械試驗（拉力、硬度、衝擊等之試驗）。以此就所要求之機械強度與劣化進行速度比較，預測壽命者。
- 3)適用例：在碳鋼製反應器之發生缺陷處數次加以熔接補修，之後也經相同次數之熱處理，為確認抗拉強度之下降，而實施機械試驗，確認並無大幅度之下降，故繼續使用該反應器。
- 4)適用時之癥結點、應注意事項：機械強度之變化雖可判定，惟對其變化至何種程度則與壽命關連，決定此一基準值頗為重要，且也不易。設能僅以單純之抗拉強度判斷，則不成問題。如涉及衝擊值之判斷，則頗困難。

二)以微觀試驗等之組織判定(金屬組織：滲碳、氮化、敏化度、硬度等)

1)概要、目的：在高溫中之爐內或曝露在腐蝕性氣體之構料，因遭受滲碳或氮化而敏化時，得以微觀觀察其金屬組織，以非破壞性手段判定其劣化程度，以此判斷其壽命。

2)預測技術、方法之說明：就被預期有劣化構料表面之 SUMP 或採取構料之一部分觀察其金屬組織。另也可採用超音波探傷等非破壞檢查手段，判定浸碳或氮化層之進展量或判定其敏化度，使用硬度測定等判定材質之劣化程度由此判斷壽命。

3)適用例

a)氣體分解爐耐熱管管料之超音波法測定空腔裂紋(Void fissure)之發生狀況之壽命判定。

b)使用微觀組織檢查及硬度測定等判定在高溫反應氮氣反應器之氮化進展程度，以板厚方向之進展度判定壽命。

4)適用時之癥結點、應注意事項：應充分蒐集組織之變化或劣化之進展，尤其為機械性強度之下降間相關之數據。

三)腐蝕促進試驗

1)概要、目的：在腐蝕環境較緩和之設備實施之壽命預測或計劃設備之腐蝕壽命之預測時，得以促進條件下於短時間實施腐蝕試驗，可迅速預測壽命。

2)預測技術、方法之說明：以促進腐蝕環境之條件下實驗，以此結果換算成實際之腐蝕條件，預測壽命。

3)適用例：為確認氯引起之鍍鉻之孔蝕，實際為數 10 ppm 程度之含有量，惟將其濃度提升至數 % 實施試驗。結果，獲得被認或因濃度過高，形成全面腐蝕，卻未發生明顯之孔蝕。惟僅發現有部分之孔蝕，雖確認含有孔蝕之發生，但無法預測其進展速度。

4)適用時之癥結點、應注意事項：如何在實際之腐蝕環境設定其促進條件，及如何使其能取得理論上正確性為頗重要。故必須累積多量之實際證明、驗證，提升其正確性為其重點。如僅單純地增高濃度，似不能視其為腐蝕環境之促進，理應確實促進與腐蝕相關之因子為條件設定為宜。

四)疲勞強度試驗

- 1)概要、目的：適用於預期有疲勞損傷之構件，或無疲勞限度之腐蝕環境進行之壽命預測。
- 2)預測技術、方法之解說 使用疲勞試驗進行一般之疲勞試驗，或腐蝕疲勞試驗，求取載荷應力與反復次數間之關係，自實際設備之應力判斷壽命。
- 3)適用時之癥結、應注意事項
 - a)因必須蒐集實際設備之應力值或腐蝕環境與試驗條件以及求取與反復次數之關係進行之數據採取，也必須實施多次試驗，故被認不易實施。
 - b)關於疲勞強度相關之數據，現已有資料庫等，如能參考，則可減少試驗。

第三節 設計與壽命之判定

一、設計時對壽命應顧慮之事項：

設備被認在使用環境下經年性劣化以至壽終，其長短也受使用環境中各種因子所左右。例如腐蝕減厚係基於氯離子等之腐蝕因子之濃度等、氫侵蝕則以氫分壓等左右其壽命之長短，為具有代表性之因子。在此擬就設備在進入使用前之設計製作階段影響其壽命之項目，在現今尚應加以顧慮之事項加以檢討。

- 一)設計裕餘之思考：在設備之設計，應對應製程設計之要求事項，在材料設計或強度設計時對設計或設計基準均保留有裕餘，甚少採取接近於界限之設計。對此擬就設計之裕餘或設計基準，加以探討。
 - a)腐蝕裕度：設備之必要最小厚度，大致在法規或規格均列有其計算方法。此厚度為強度上所必要之最小限度值。通常對此均考慮其減厚，而以加上腐蝕裕度計算、製作。一般均取減厚速度為0.1mm/year，取30年壽命，故採用3.0mm，此種思考並無任何憑據可言。此外，也有在法規或規格規定，或對已悉流體性狀而以耐蝕性材料處置者，也有取腐蝕裕度為0者。不論如何，此等不外為以預想與流體接觸之全面腐蝕之思考模式，與局部性減厚之腐蝕形態並未能吻合。

現實之腐蝕極少為全面腐蝕，減厚之大部分愈有大小之差異，更易屬局部性腐蝕，為眾所周知。現實上，在小型者為自直徑約在 1mm 程度之點蝕(pitting)，至於大型者，僅有例如在氣液分離器所發現，在設備上半部分（氣相部）為全面減厚之例。對如此之劣化，如已知悉流體性狀者，一般多以材質對應。與此相反，如顧慮設備下半部（液相部）之腐蝕時，也有採用混凝土襯墊之施工方式。然而，如此之對應方式，首在已充分知悉流體之腐蝕性，卻無法對應一般性腐蝕造成之劣化。

在保養階段，對全面之腐蝕應加以顧慮者自不待言，惟對局部性腐蝕之掌握實較具切實，故而現實上也造成為掌握局部性腐蝕之發生位置而勞心、勞力。設能確切掌握腐蝕速度，必然可提升與減厚相關之壽命預測之水準。

- b)應力：設備之材料，係就應力與伸長之關係等物理特性以材料力學掌握，在此等數據為基礎，另在法規或規格設定安全率，當作各別材料之容許應力，以此與溫度之關連加以規定。例如在壓力容器，係取材料之降伏點為基準，取安全率為 4，以降伏點之 1/4 為容許應力。
- c)反覆疲勞次數：承受反復應力之設備，均設定反復次數，自實驗數據所得之 SN 曲線求取反復容許應力。因此，決定反復次數本身事實上則已在設定壽命。然而，對反復應力之計測，例如在旋轉機械，得以運轉時間實施管理，惟在靜態設備，究如何評估運轉之停止、開始與內壓之微妙變化，迄今尚有待探討。

茲就疲勞之 SN 線圖列示於圖 4.1。由此圖得知，與反復疲勞相關者，在碳鋼等，如在疲勞限度以下，則顯示得半永久性使用。

- d)潛變壽命之設定：在高溫環境下承受應力之材料，隨著時間之經過而增加其應變，以致使材料產生劣化，稱此為潛變。例如在加熱管之設計，均在事前設定耐用時間，使用對應於此之容許應力計算其厚度是。惟在保養階段，卻以實際之運轉條件或運轉時間推算其消耗率，進行壽命預測。因此，就計算而言，設計與實際運轉間則產生某種程度之落差，就潛變壽命而觀，被評斷尚有相當量之裕餘。惟實務上之採樣或更新時之破壞檢查，則多採用組織形態觀察予以評估。茲就與材料之潛變相關之應變與時間之關

係列示於圖 4.2。

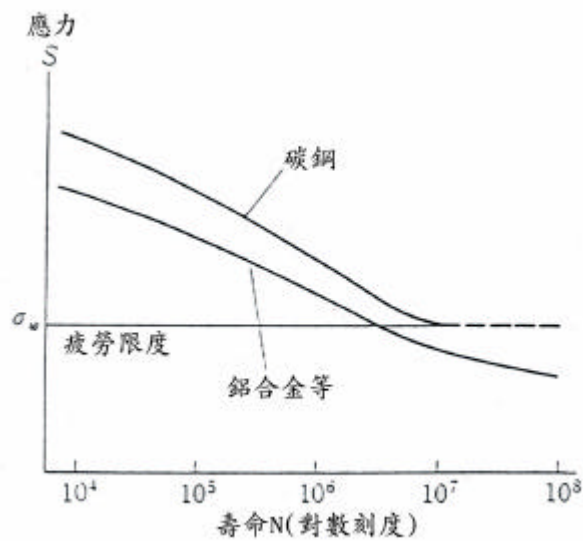


圖4.1 疲勞之SN曲線圖

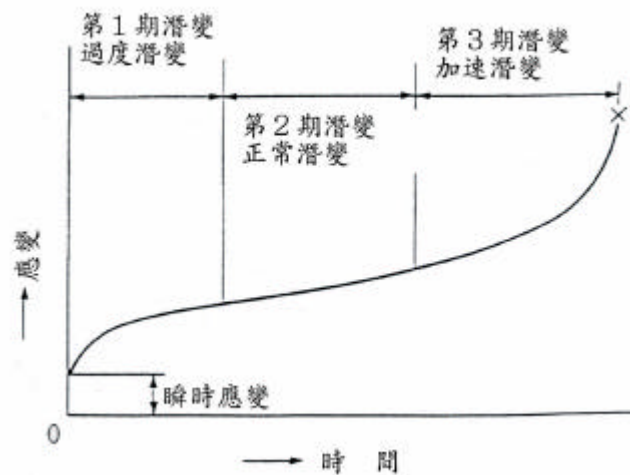


圖4.2 材料之潛變曲線

e) 氫脆化：在處置氫之系統，對鋼遭受氫之侵蝕引起之氫脆化為一問題。對此，在 Nelson chart(如圖 4.3)中曾對各別種類之材料提示有其使用界限。此為流體中之氫分壓與溫度決定材料之圖。在設計階段，應以氫分壓改為全壓當作裕度，在材料選擇之境界，則採用提升一格(rank)之材料。此外，近來則以規制材料之不純物質防此脆化，將不純物質之總量為指標規範，以此訂作材料。尚有自不純物質之含量推定回火脆化溫度作保養之指標者。

f) 殘餘應力(residual stress)：在設備之製作過程中發生之殘餘應

力，雖得以熱處理等排除，但被認並無法完全卻除。因此也有可能由此殘餘應力為起因而發生裂隙。現今，對殘餘應力尚未建立一測定技術，應視為尚在開發之階段。在設計階段，一般對殘餘應力之顧慮，都以購入材料當時及考慮補修時之退火次數作為材料設計之規格。

二)對設計裕餘之對策

- a)材料之選擇基準：關於材料對流體之耐蝕性，尚有待包括使用環境之流體性狀與材料之組合引起之減厚（腐蝕、摩蝕）有關之文獻數據等之充實，同時對其活用，應充分正確掌握流體性狀，無遺漏地檢點減厚之有無或腐蝕速度等。此外，對材料本身之劣化有關者，雖也有使用破壞檢查或非破壞性方法加以測定或評估，其細節擬於後述。
- b)對備件之思考：設備係由其構成構件所構成，如任一構件發生故障，必然導致喪失或下降其機能。規劃延長各別構件至發生故障之期間（壽命），則不如定期更換構件，由此延長設備整體之壽命為較合乎經濟。是故，在設備之設計，應考慮更換部位之構造或材料為前提，將其以消耗品之思考設計，或當作耐久構件設計。在實際之設備，雖應區別視其為耐久構件或為消耗品，惟有時必須斟酌其經濟性或使用環境，再以個別判斷。
- c)環境之遮斷：不論在設計階段或保養階段，對延長壽命（延命）對策則有環境之遮斷對策，此可大列為下列之三種。在現實上，由於使用階段之改良，已有多種方案，在此擬加以略述。
 - 1)遮斷材料與流體之直接接觸之對策，有護面、襯墊。
 - 2)逆用腐蝕機構之方策，有電氣防蝕。
 - 3)緩和流體本身之腐蝕性，有防蝕劑之注入。

此外，在保養階段之施工，有可能因施工性之不良或受工程或施工環境等之限制，減少對其效果之期待。為求取施工效果或品質之確實性，仍應在設計階段加以考慮、檢討，在製作階段予以施工為要。

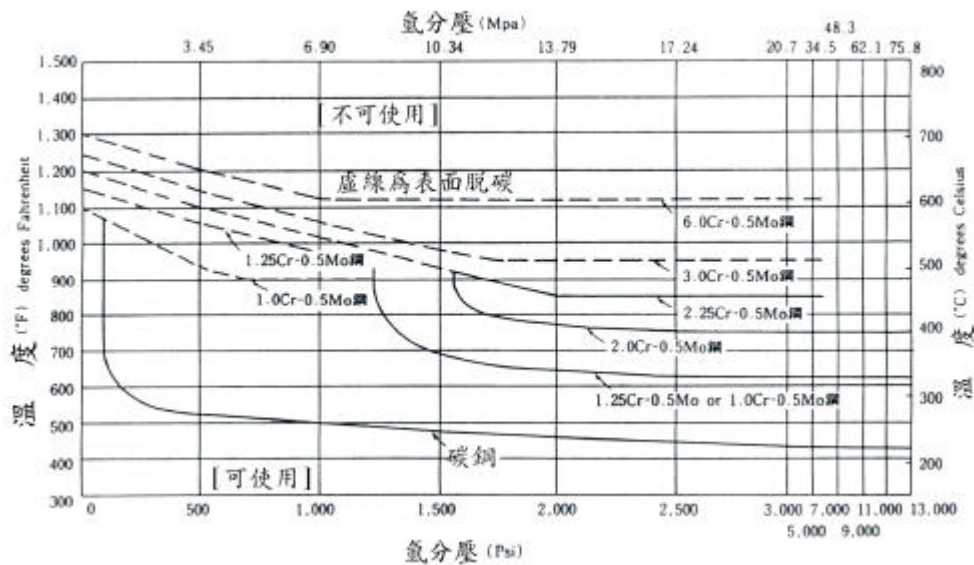


圖4.3 Nelson chart

d) 構造設計：近代在設計階段，為防止劣化，延長壽命，已致力於各種構造之改良。此主要在於應力之緩和或使劣化處於最小限度之方策。例如在高溫、高壓環境下，使用之設備之設計，已將鋼裙裝設部以一體鍛造成環型等是。

此外，又如將管口(Nozzle)裝設部之補強，從墊板改為一體鍛造型管口，更在熔接構造方面，也從填角改為置盾形式而使用對接熔接構造。對設備內設置之除霧器等以更換為前提之構件，設計或考慮更換作業時之方便之尺度或構造。

另在配管設計方面，設計成使腐蝕性物質不致在死角部等濃縮之構造。又對配管配件也應考慮減少熔接為目的之設計。

e) 製作技術：設備係以購入構件之材料，加以裁切、彎曲、熔接、退火等製作程序而完成製品。自也無法避免入熱或殘餘應力。近代對減少質量之技術開發也逐次在拓展。例如為減少熔接時之入熱，則將開槽變狹，或為多層熔接等。此外，為排除殘餘應力必須實施退火，此等也得以材質設定不同之保持溫度、保持時間、升溫 / 降溫速度等。

f) 設備之構造：在製程中有時在運轉時難免有熱交換率之下降或壓差之上升等劣化其性能或機能等，關於此等，在某一方面應認其

為設備之壽命，對此均在設計構造面採取對應。例如加熱管內部之結焦對策即有設置除焦裝置，使其在運轉中或停止中作動。又對熱交換器之性能之下降，也有將機器並列設置，替換使用之例。

又對自以往即具有高之離心壓縮機或以間歇運轉也無妨之液泵外，大致均以置備備用之製程液泵或往復式壓縮機等備用設備。

二、關於影響壽命之運轉

一)運轉與設計之落差：由於社會環境與經濟情勢之變遷，設備之運轉或多或少都與當初之製程設計在不同之條件下進行運轉。其中最具代表性之例，有如裝置之螺栓頸解除，由此增加處理量之能力。此外也有為省能等，而脫離原有設計之溫度或壓力等實施運轉者。此外，因原料等之變化以致生成不同之劣化因子，而左右其壽命。為配合成品規格之變動，而變更運轉條件，因此也支配其壽命等是。

在上述之情況，理應時常就實際運轉條件與設備之規格結合，隨時檢討其造成劣化之可能性。此外，對將條件緩和之設備也不應掉以輕心，例如也有因降低溫度反而使腐蝕環境趨向不利之例。

二)連續運轉與間歇運轉：設備之壽命也受運轉形態所左右。例如對間歇運轉之設備，可因停止運轉中之設備之溫度下降，使外面腐蝕或內部之流體或銹造成阻塞。尤其受保溫之機器或雨水侵入配管造成之腐蝕並無法直接目視，故應確立適當之管理，建立間歇運轉設備之停止運轉中保存處置等之規範為是。另對備置供作連續運轉之設備，也應對設備停止中之管理加以顧慮，設立管理規範為宜。

三、其他左右壽命之個別顧慮事項

設備之設置地域在設備之設計時則應加以顧慮。在設備之設計面，個別之設備在設計階段並無多大之差異，惟在配管設計或保溫、冷施工設計之面，則必須付出更多之關心。在此擬就此敘述如下。

一)在地理條件應顧慮事項：在台灣，甚多設備多面臨海岸設置，以致外面腐蝕引起之劣化有相當不同之處。又接近都市區內之工廠，雖對所有設備採取對策，但仍有其他不同設備之設置。例如對噪音，則可使用低噪音機器或設置防音牆等，對內部流體之臭

氣，則對其除氣應加以顧慮等。

對建廠條件之顧慮事項 對氣象條件之溫暖地區與寒冷地帶等條件，在設備之設計雖無多大差異，惟對配管或保溫、保冷之規格或構造，則有極大之差異。例如在設計基本條項是否非訂定積雪荷重或荷風量，則必須檢討，一般此等應由使用者規範。此外，對地震應檢討之條件或地盤之強度也應加以顧慮。

二)對製程原有要求之顧慮事項：在製程之性格上有要求避免風雨所致溫度變化等之外來因素者，尤應在設備之規格或施工要領等加以顧慮。

四、對設計之回授(feed back)

一)製作時加工上之問題點 從製作現場往設計之回授：設計者係以熟知之製作技術及具有之技能從事設計，但事實上尚有不少製作現場之問題並未回傳至設計者。例如構造問題，在施工方法或製作程序上經常被發現預想外之情事存在。因此，從若符合設計者之規格則可之觀點，往往會流於僅重視其結果。事實上，常有因製作過程導致減短設備壽命者並不鮮見。

然而，此種問題往往被認可在同一製作廠獲得解決，因而也忽略使用者之設計理念，以致與製作者之意識脫節。

二)設計時假設條件之驗證 從運轉(保養)現場往設計之回授：設備係在前題條件下，以科學為背書之技術而設計、製作。但是否嚴謹地遵守前提條件進行運轉，或以稍有不同之前提條件進行運轉，迄今尚鮮有回授於設計部門。

實際運轉是否與設計脫節，由此結果，其壽命究有否丕變，其直接原因為何等加以回授，對下次之設計必然可期待獲得良好設計，應無疑問。

三)設計思想之傳達 從設計往運轉(保養)現場：為使設備之設計思想，能明確地傳達至運轉、保養現場，一般均以圖面或要領書等之設計圖書或「處置說明書」方式傳達，由此獲得其理解力與周知之方策。此外尚邀聘製作者之指導員傳授新設時之安裝或運轉時要點、分解、整備等之保養重點，以此傳達設計思想之習例。

四) 案例之數據化：雖在一部分之設備所有人已在實施損傷案例之資訊蒐集或提供之系統，共持案例，致力於防止類似事故之重演。此點在飛機之領域，由製作者對設備之保養，則以 RCM 為中心在積極進行。

五) 今後之課題：時至今日，接受製程設計階段之要求事項之所謂設計條件或尺度、材質等之指示，而依此等為基礎，製作符合其機械性能之設備，為設備之設計者或製作者之主要業務。又製程設計者與設備設計者分別屬於不同之機構（公司）之情況，為司空見慣之常事。

在現今，於使用之階段，如在製程上有所不適，大致均將其訊息傳達於製程之設計者，而鮮有傳達於設備設計者。又對設備相關之資訊中，由製程設計者之性能或材質、尺度相關之資訊，也或多或少回授至製程設計者。至於就機械性質之劣化或壽命相關之資訊回授至設備設計者之情事，除非製程與設備之設計為同一機構者，則極鮮見。

在今後之設備管理必然壽命預測技術為中心。為此，今後理應建立使設備設計者得自使用者回收其所使用之設備之劣化狀況或與壽命相關之資訊，設計者本身也應構築壽命預測技術，從設計階段即充分檢討設備之壽命，以此設計與製作之體制。為此，也應致力建立收集或提供與設備壽命相關之資訊，確立壽命預測之技術。

有鑑於此，在設備使用者之管理部門，應不僅止於蒐集其本身所有設備之保養資訊，對其他者設置之設備，再進一層，對設備之製程設計者或設備設計、製作者間，利用資訊交換方式，使資訊共有，構築資訊庫，負資訊蒐集、供應之系統之責為是。

第四節 設備的壽命預測

一、壽命預測之概要

探討開放檢查，必然涉及壽命預測。在壽命預測之信賴性未能完全建立前，現實上必須導入運轉中檢查，以為相輔。在此擬對各別設備之劣化模型，就其檢查方法及判斷例列示於表 2，爾後必然有新檢查技術之開發，對檢查周期之設定，有損傷程度之判別，及技術熟練

度等問題，尚待克服。

二、壽命預測法

操作環境之溫度若是在金屬材料的再結晶以下時，壽命預測需要考慮材料之腐蝕壽命與疲勞壽命預測。設備在運轉期間受到操作條件(如溫度、壓力、內容物腐蝕性、大氣環境腐蝕性)影響，逐年減薄，至更換判斷點則準備更換材料。

設備的壽命預測工作，主要考慮設備的腐蝕。判定基準有兩種，第一種為根據設備之腐蝕後的厚度為計算方法，另外一種為取設備原有的厚度的 1/2 為計算厚度。有關脆化、相變化的標準化判定基準，則是依照實際狀況綜合考量，由複數的檢查方法及壽命預測評估。一般而言，腐蝕可以分為均勻腐蝕與局部腐蝕，其使用壽命之計算方法如下：

1. 均勻腐蝕壽命評估：材料腐蝕依其型態不同而可分為均勻腐蝕與局部腐蝕兩大類。因其型態不同，其壽命評估方法及不相同。以均勻腐蝕而言，其壽命評估方法相當簡便，即利用下式可以預測設備的壽命 (Remaining Life, L_s)

$$L_s = \frac{t_0 - t_c}{C_R} \dots\dots\dots (1)$$

其中 C_R 為材料在特定環境中之腐蝕速率； t_0 為結構體之原始厚度；而 t_c 為結構體臨界厚度，亦當結構體厚度瀕臨此臨界值時，結構體 (如儲槽等) 即不堪使用而有變形損壞之虞。至於已在使用中之結構體，其殘餘壽命 (Remaining Life , L_R) 之評估可依下式處理，即

$$L_R = \frac{t - t_r}{C_R} \dots\dots\dots (2)$$

其中 t 為在使用一段時間後之殘餘厚度；若 t 小於 t_r ，當然其殘餘壽命為零。在上述中之腐蝕速率 C_R ，可以經由試驗方式取得，或可由文獻或各種腐蝕手冊中取得。

2. 局部腐蝕(孔蝕)壽命評估：局部腐蝕又可以區分為孔蝕、應力腐蝕破裂、氫脆、耦合腐蝕、間隙腐蝕等不同的特質。每一種局部腐蝕

有其發生的條件與不同之嚴重程度。通常局部腐蝕是用目測，甚至是目前常用之物理檢測方法無法有效偵測其程度的腐蝕現象。局部腐蝕對於材料巨觀之重量或平均厚度之變化常常是微乎其微，但是在微觀方面而言，卻常常較均勻腐蝕速率高出數個數量級以上；因局部腐蝕而大幅縮減結構體之壽命之事故，乃更具震撼性及危險性。因為局部腐蝕發生之原因極為複雜，故壽命評估方法，目前仍是學術界及工業界的重要課題。

材料發生孔蝕時，其孔蝕深度不一，亦即在不同位置之孔蝕穿透速率不同，從工程觀點而言，最大孔蝕深度(Maximum Pit Depth)是決定材料殘餘壽命最重要的因素。有關孔蝕引起之壽命評估研究，需利用統計學的方法處理，評估孔蝕的成長速率及蝕孔的個數，這種方法不牽涉複雜的孔蝕機構及離子擴散問題，處理上較為簡單，但其結果不具普遍性，在不同的材料及環境組合中便無法適用。

目前最常用之方法是採用 Gumble distribution 進行評估，亦即最大分佈法。腐蝕數據處理常用雙指數分佈（最大值；Gumble distribution）

$$F(x) = \exp \left[-\exp \left\{ -\left(\frac{x-\lambda}{\alpha} \right) \right\} \right] \dots\dots\dots (3)$$

$$f(x) = \frac{1}{a} \exp \left[-\frac{x-l}{a} - \exp \left\{ -\left(\frac{x-l}{a} \right) \right\} \right] \dots\dots\dots (4)$$

由式(3)之雙指數分佈計算式兩邊取自然對數，就可以描繪如圖 4.4 之最大孔蝕深度 Gumbel 圖。

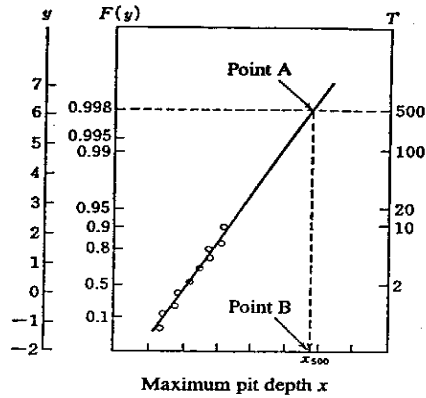


圖4.4 最大孔蝕深度之Gumbel圖

圖 4.5 之 x 軸表示最大孔深度， y 軸(右)主軸表示 T 表示其順序， y 軸(左) 副軸表示 $F(x)$ 累積分佈函數，另 y 軸右側之主軸表示 $-\ln(-\ln F(x))$ 。量測設備內欲置的腐蝕試驗片孔蝕深度，作為極值評估之數據，孔蝕深度取樣可由對象設備本體或腐蝕測定片得知，取樣之最小單位面積中隨機量取孔蝕深度數點，點數越多則精確性越高，取最大值最為此一面積中之最大可能孔蝕深度，成為一組數據，取多組腐蝕測定片或多組最小單位面積。由小而大排列，由最大可能孔蝕深度與累積分佈函數作圖，圖中之直線以外差法求出設備之所有內表面積，以 $T=500$ 時之 x 值，預測其最大可能孔蝕深度。

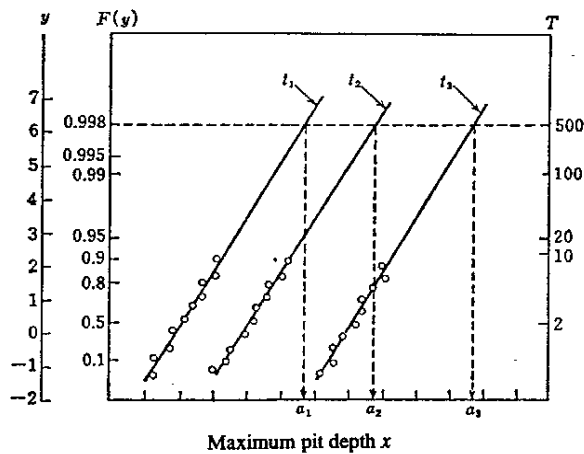


圖4.5 圖解方式評估材料壽命圖

圖 4.6 是經由不同之時間間隔所預測之最大可能孔蝕深度做出數條曲線，可得知不同的時間間隔或開放檢查年限下所預測的最大孔蝕深度。

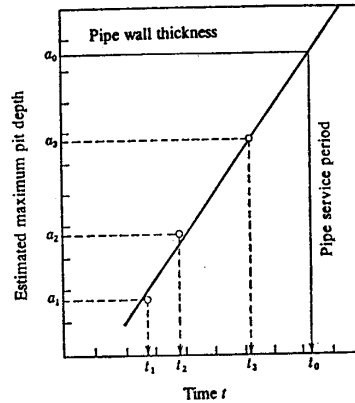


圖4.6 不同時間下最大孔蝕深度圖

圖 4.5 之 y 軸 a_1 、 a_2 、 a_3 分別代表不同之孔蝕深度；x 軸之 t 為設備材料浸漬在腐蝕環境中的時間(月)。將 (t_1, a_1) 描至圖 4.6，而求得到達最大可能孔蝕深度時間 (t)，並以圖 4.6 預測設備可能之壽命。

3. 疲勞壽命預測：若是壓力容器材料在無腐蝕環境下反復受力時，即使該材料受到的應力是在抗拉強度以下，但是，因為反受拉壓亦有可能造成破壞之現象稱為疲勞破壞。

一般，金屬材料發生疲勞會在結晶面之間產生滑動(Slip)，因疲勞而造成的滑動，與受到靜應力而使得材料發生降伏的滑動有顯著的不同，靜應力引起的滑動幾乎與引起最大剪應力的方向相同均勻地產生，這是因為應力是僅有一個方向所致，且因發生降伏而造成應力的平均化。相對地，因疲勞引起的滑動有正與逆方向的應力，在阻力(強度)比較小的部位會產生局部的變形。

疲勞現象的內容很複雜，若注意巨觀的現象時，疲勞壽命之預測大致分為兩種：

- 1) 預測材料何時會發生裂縫(Crack)之裂縫發生壽命預測
- 2) 已經產生的裂縫會如何傳播，何時會破壞之裂縫進展壽命預測。

對於上述之壽命預測方法，分為如表 4.1、表 4.2 所示之計算法

與非破壞檢測法。

- A. 計算法：對於預定進行之壽命評估之機器設備或結構物，依據過去受到應力(或是應變)的頻度，與今後可能會有的應力頻度，使用相關材料的特性以求該材料之疲勞壽命，現階段主要是以計算法為主。以此方法作疲勞壽命評估，不僅對於運轉中的有效，對於設計階段的設備亦有效。圖 3.2 是其基本的評估順序。
- B. 非破壞檢測法：以非破壞檢測法作壽命評估時，不需考慮過去的應力(應變)頻度。圖 4.7 為疲勞壽命預測之流程，開始執行壓力容器壽命預測時，先以目視或使用儀器檢查有無裂縫，若是有裂縫者，以超音波影像處理技術檢查裂縫之形狀與方向性，再量測施加於容器之外力大小，將這些數據以有限元素法計算應力強化係數 K 值，再計算外力可能發生的機率，預測發生裂縫後的壽命 L_p ，與該壓力容器考量其經濟、技術上因素耐用年數⁺之 L_c 作比較，若是 $L_p > L_c$ 者，則可以結束預測工作。

若在壓力容器未發現裂縫，判斷其是否可以量測到應力，可以者，再判斷是否可以量測局部應力，可以者則繼續量測局部應力，計算外力頻率，計算預測發生裂縫後的壽命 L_e ，若 $L_c > L_e$ 則結束，若是否者，則回到以有限元素法計算應力強化係數 K 值。若是無法量測到應力或局部應力者，量測外力或公稱應力後以有限元素法作應力分析。

表4.1 壽命預測方法計算法

方法 預測	計算法	
	計算式	參數
發生 裂縫 之壽 命預 測	<p>飯田等之計算式</p> $\Delta e_{ta} = 0.286 e_f N_c^{-(0.0425 e_f + 0.544)} +$ $(5.26 \times 10^{-6} s_u + 0.0013) N_c^{-(0.173 - 1.074 \times 10^{-4} s_u)}$ <p>Δe_{tc} = 全應變振幅(= $e_i / 2$)</p> <p>e_f 靜破壞延性(= $\ln \frac{100}{100 - RA}$)</p> <p>RA = 斷面收縮率(%)</p> <p>N_c = 至發生裂縫Δe_{ta} 反復次數</p> <p>($a = 0.2 \sim 0.5mm$)</p> <p>s_u = 拉伸強度(MN / m^2)</p>	<p>拉伸強度</p> <p>s_u</p> <p>斷面收縮率</p>
	<p>直線損壞法則</p> <p>$\sum_i (n_i / N_{ci}) = 1.0$時, 發生裂縫</p> <p>$n_i$: n_{cai} 反復之次數</p> <p>N_{ci} : 目視觀察至發生裂縫之 n_{cai} 反復之次數</p>	<p>實際應力 (應變)之頻度</p>
裂縫 成長 之壽 命預 測	<p>破壞力學參數的應力強度因子</p> $K = \frac{\Delta \sigma}{\sigma} g(a)$ <p>K : 應力強度因子的變動幅度</p> <p>$\Delta \sigma$: 應力的變動幅度</p> <p>$g(a)$: 裂縫形狀、依荷重形式決定裂縫尺度之函數</p>	<p>裂縫形 狀、尺度、 實際應力 (應變)</p>
	<p>Paris 法則</p> $N = \int_{a1}^{a2} \frac{da}{C \Delta K^m}$ <p>N : 裂縫尺度自 $a1$ 至 $a2$ 所需 之反復次數</p> <p>C, m : 材料之定數</p>	<p>實際應力 之頻度</p>

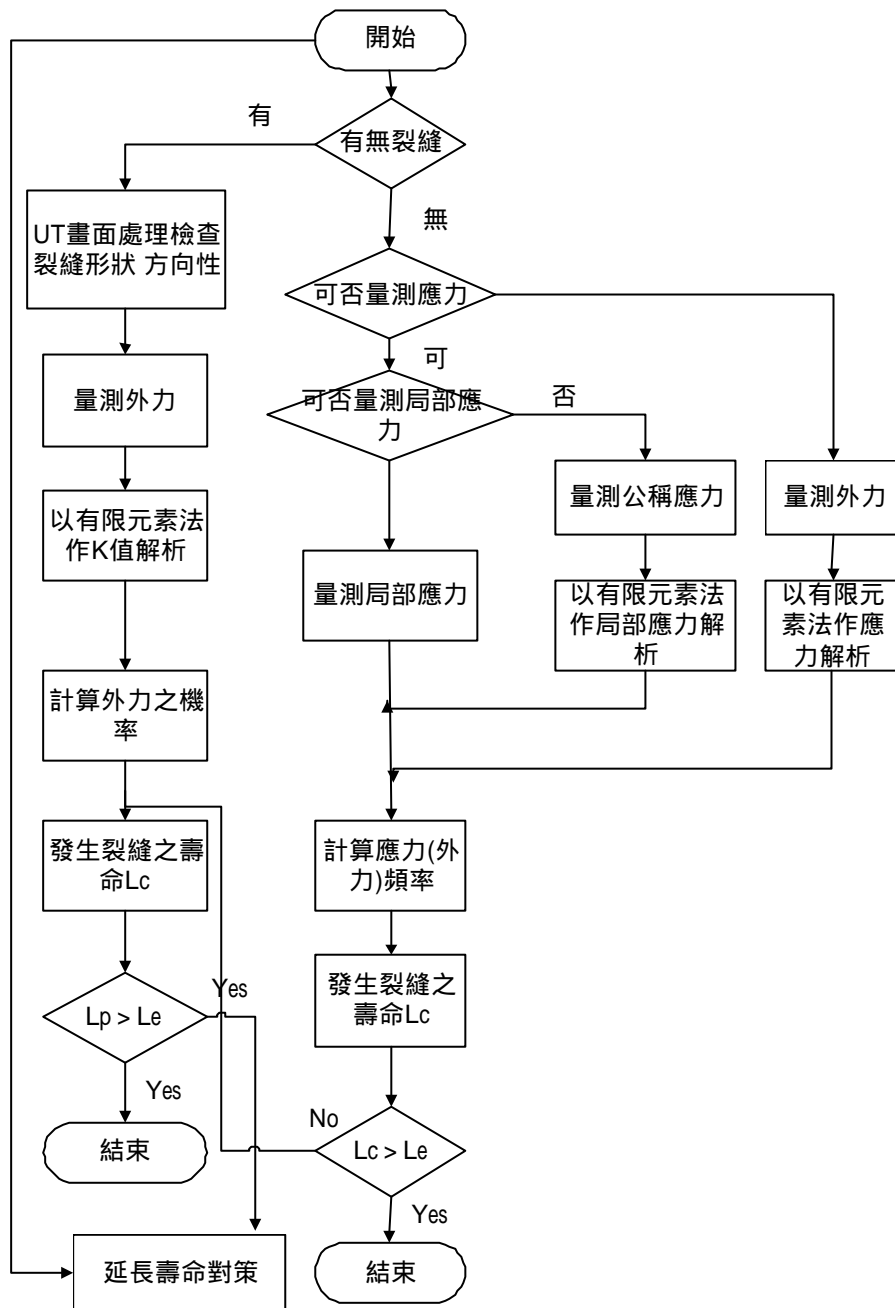


圖4.7 疲勞壽命預測基本流程

表4.2 壽命預測之非破壞檢測法

方法 預測	非破壞檢測法	
	檢測法	參數
發生裂縫之壽命預測	量測硬度法	硬度變化
	渦電流試驗法	電阻變化
裂縫成長之壽命預測	X 線折射法	折射強度曲線(角度、半幅強度)
	AE 量測法	彈性波

表4.3 對劣化模型之檢查方法及判斷基準例

No	對象設備	部 位	劣化模式	影響要因	現象機構	檢查方法 屬性參數	檢查周期及其決方法 判斷基準(更新基準)	問題點
4.1	鍋 爐	加熱管	潛變 減厚	溫度 腐蝕性物質 溫度	氧化	UT(水浸法)	厚度	
4.2	熱交換器 (S&T)	管、殼 管道、 管板	腐蝕減厚	流速 堆積物	侵蝕 濃淡電池 腐蝕因子之凝 聚	. ET (內外面) 餘厚	因海水流速致 2-4 年如 從製造核可預期時為 2 年內(新設機器)。以後 依檢查結果為 2~6 年 原尺寸之 1/2 以下	
			HIC	PH、硫化氫 溫度	氫之侵入析出 由氫壓裂隙	. TM、UT . 裂隙深度	. 1 年~12 年 . 原尺寸之 1/2 以下	. 裂隙及非金 屬介存物 之區分
4.2	風葉片	管	腐蝕 減厚	流速 堆積物	侵蝕 濃淡電池 腐蝕因子之凝 聚	. RT . 拔管 極值統計法	新設後 3 年內, 以後以 3-5 年周期依劣化程度 擴大檢查範圍。 在 RT 有 30% 以上減厚 時 餘命 2 年以內	
		頂箱	腐蝕減厚 HIC	堆積物	濃淡電池 腐蝕因子之凝 聚	. TM 腐蝕速度	. 6 月~1 年 . 餘命在 2 年以內	
4.3	加熱爐	加熱爐	潛變	溫度、時間 應力 金屬組織變 化	空腔之發生 進展至裂隙	. 外周測定 . 表面欠陷 之確認 . 內在欠陷 之確認 . 拔管 . 硬度 LM 曲線	. 1~10 年 . 餘命在 5 年內或潛變消 耗率 40% 以上	. 迄無有效之 非破壞檢 查技術

第五章 替代檢查之審查指引研擬

第一節 危險性設備延長或替代內部檢查審查指引

1. 適用範圍

本指引提供檢查機構依「危險性機械及設備安全檢查規則」(以下簡稱規則)第一九條、第一三三條、第一五六條之規定,審查事業單位申請第一種壓力容器、高壓氣體特定設備、高壓氣體容器(以下簡稱設備)延長內部檢查期限,或實施替代檢查方式之依據。

2. 基本原則

本指引的基本原則為事業單位提出延長內部檢查期限時,在延長內部檢查的期限內,設備的強度必須在安全限度內;事業單位提出其他替代檢查方式時,其替代檢查方式應足以達到內部檢查的功能,並確保設備之強度必須在安全限度內。

為使上述設備在延長內部檢查期限或實施其他替代檢查方式(以下簡稱替代檢查)時的強度符合安全要求,事業單位所提之設備替代檢查方案,需能顯示出該設備之設計、製造、維修、檢查、管理之完善性,證明該設備在延長內部檢查期限或以其他替代檢查方式檢查下,能繼續使用而不會發生危險。

3. 申請之事業單位基本條件

事業單位申請實施設備延長或替代內部檢查時,必須滿足下列各點要件;但設備依規定免設人孔或構造上無法設置人孔、掃除孔、檢查孔者、或內存觸媒、分子篩或其他特殊內容物者,或該設備為低溫或超低溫之高壓氣體特定設備者得免除下列第1)規定:

- 1) 申請實施替代檢查的設備必須具有運轉二年以上之經歷,且至少實施內部檢查二次以上,其檢查結果應符合內部檢查、外部檢查之法規安全性能標準。
- 2) 最近二年內,申請之事業單位未發生重大職業災害及未受勞動檢查停工處分。

4. 申請之事業單位應檢附之基本資料

事業單位申請實施設備延長或替代內部檢查時，應檢附下列文件以說明符合本處理原則 5 至 7 點之規定：生產流程圖說、構造檢查合格明細表、構造詳圖、自動控制系統圖及安全保護裝置、安全衛生管理狀況、自動檢查計畫暨執行紀錄、緊急應變處置計畫、檢查替代方案建議書。

4. 完善的設計及製造

事業單位對所提實施替代檢查的設備，需依照國家標準等設計規範設計。如使用其他的設計規範，如美國機械工程師學會(ASME)之鍋爐及壓力容器規範等，其所依據之設計規範應獲得該檢查機構認可。危險性設備之任何一項設計不可採用混合的設計規範。

事業單位應檢附所提實施替代檢查設備的檢查合格證明文件，以證明其製造檢查合格。審核人員應就事業單位所提之文件資料，查核事業單位的各項設施，包括設備各構件及其附屬設備、附屬品的完整性，以證明其設備可處於安全運轉的狀態；必要時，應赴現場查核。

證明設備完善設計的檢查文件需包括：一套完整的設備構造詳圖、構造檢查合格明細表、自動控制系統圖、安全保護裝置、及與本設備有關之生產流程圖。並應註明下列事項：

- 1)構造詳圖應註明該設備之安全保護裝置、人孔、清掃孔及檢查孔之尺寸及數量。
- 2)自動控制系統圖應註明若該設備因升溫、洩漏、超壓或操作異常將會引起災害時的安全系統作動情形；整體製程安全自動控制系統及異常狀況發生時，安全自動控制系統動作情形。
- 3)安全閥、洩壓閥等保護裝置應註明其洩放能量。
- 4)生產流程圖應提出製程生產流程示意圖、化學反應式及相關製程說明，並以有色筆標示擬申請對象設備，另應說明管線內容物之物性、化性、各節點操作溫度、壓力、流向及其安全裝置。

證明設備完善製造的審查文件包括設備竣工檢查合格證、定期檢查合格證及相關測量文件，例如：

- 1)材質證明書、焊接程序規範、焊接合格紀錄等。

2)測試方法。

3)其他與設備製造檢查相關之合格證書。

5. 完善的維修檢查

雇主應備有完善的(依年代編排)設備檢查維修紀錄、檢查時程、制度及結果，以及所作的修理及更換。

5.1 檢查

事業單位應就所屬設備的材質、內容物、操作溫度及壓力範圍、操作環境及製程等狀況，評估可能發生之腐蝕或缺陷型態與處所，匹配合適之檢測方法。以下是可用於檢查或檢視設備安全狀況的方法：

- 1)合格的非破壞檢查技術，例如超音波檢測、導波法檢測、放射線檢測、磁粉探傷、液滲探傷、脈衝波渦電流探傷、音洩法探傷、渦電流探傷、飛行時間繞射法探傷及即時射線檢測法探傷等。
- 2)其他線上檢查技術及腐蝕率測定裝置等，該等技術或裝置應經評估且為事業單位安全主管所認可。

5.2 修護及修改

任何會損及設備完整性以及會影響設備適用性的修護，皆需經過工廠安全主管的書面同意。事業單位必需提交修護計畫書及品質檢測報告以供審查，內容包括修護規範及進行修護的程序。任何修護規範及程序需顧及原來的標準及設計。

5.3 自動控制裝置之維護檢查

- 1)確認事業單位已對設備之自動控制裝置進行整備，使其具有正常的運作機能。
- 2)在進行設備停機開放內部檢查時，必須以疑似信號確認自動控制裝置之機能為正常；必要時，必須將必要的遮斷閥加以分解整備。
- 3)在設備運轉中，必須以適切的方法確認自動控制裝置的機能為正常。
- 4)自動控制裝置必須具有失效安全的機能。

5.4 安全閥之之維護檢查

- 1)安全閥必須根據整備要領做定期整備工作，且必須保存整備紀錄。

2)找出容易發生粘固、阻塞的製程流體，並採取有效的防止措施。

6. 完善的管理

6.1 組織

事業單位為實施設備替代檢查，必需有健全的組織及人員，以落實替代檢查方案。符合設備替代檢查的事業單位其組織架構必須包含以下要素：

1)安全檢查組織架構與職掌

a.事業單位對安全檢查之基本政策

事業單位主管必須樹立安全的理念，而基本方針等各種政策則必須明確規定且書面化。上述各種政策必須讓員工理解、實施以及持續。

b.組織

(1)事業單位內除了必須設置安全管理部門、設備管理部門以及操作管理部門（以下稱這些部門為「管理部門」），管理部門之間為使工作順利地推展，在組織功能上應有緊密聯絡的機制，且必須明確規定及文書化。

(2)各級管理人員（職級）及安全管理人員之間應有明確的對應關係，其職權、指揮命令系統及問責範圍必須明確規定且文書化。

(3)管理部門的主管必須有五年以上經驗（管理部門的經驗年數可累積）。

(4)應有設計單位主管提出全盤性安全管理意見的制度，而此制度必須明確規定且文書化。

(5)安全管理部門的意見必須充分反映在相關安全預算、教育訓練計畫等之上，必須明確規定且文書化。

c.業務

(1)管理部門的業務範圍及職責與問責範圍，必須明確規定且書面化。

(2)安全管理、設備管理及操作管理有關的規程、基準等，必須明確規定，且加以置備。

(3)各種規程、基準制定、修改程序，必須明確規定，並實施適切的修正。

(4)設備管理部門對於新設、增設、變更製造設施時，應特別

考慮相關材料的選擇、腐蝕與磨耗等安全對策；相關事項的規程、基準等，必須明確規定，且加以置備。

- (5)操作管理部門應置備操作手冊。
- (6)應明確規定安全管理部門積極蒐集事業單位內外相關資訊（最新的安全技術資訊、設備相關事故資訊等），並將該資訊製作為規程類資料，且作有效運用。
- (7)設備管理部門及操作部門，應依據設備種類不同，訂定日常檢點、一般檢查及定期檢查的檢查方法，並文書化，且實施適切的檢查(即訂定自動檢查計畫，實施自動檢查)。
- (8)安全管理部門應掌握檢查結果（包含分析、評估），並將其有效運用於設備管理、操作管理等。

d.教育訓練

事業單位應實施下列的教育訓練項目，明確規劃教育訓練計畫，並應製作及保存教育訓練實施相關紀錄，且文書化。

- (1)有關安全相關資訊事項。
- (2)為徹底執行規程、基準類的相關事項。
- (3)自動檢查等活動相關事項。
- (4)安全提案制度相關事項。
- (5)緊急應變、立即反應訓練等防災訓練相關事項。
- (6)其他教育訓練整體相關事項。

e.事故防止對策

調查事業單位內事故(包含潛在事故)發生的原因，並將其調查結果明確化，用以防止類似事故再發生的機制。

f.工程管理

有關工程管理，應準備下列事項規程、基準等資料，且應明確具有可順利實施的機制。

- (1)作業範圍、職權與問責範圍歸屬有關事項。
- (2)操作部門與工程負責部門之間，有關接受及轉交方法之相關事項。
- (3)徹底實施工程作業管理之有關事項。
- (4)其他工程管理相關事項。

g.承攬商之管理

有關承攬（協力）商之管理，應準備下列事項規程、基準等資料，且應具有可順利實施的機制

- (1)作業範圍、職責及問責範圍歸屬有關事項。
- (2)承攬商選擇有關事項。
- (3)承攬商勞工進廠教育訓練有關事項。
- (4)選用二個以上承攬商時，承攬商之間的協議組織有關事項。
- (5)其他有關承攬商管理事項。

h.防災機制

- (1)發生災害時，有關救災指揮中心與事業單位內外相對設置的防災組織事項。
- (2)至防災體制建立為止的應急措施（包括夜間、假日時等的對應措施）
- (3)各種防災設備的整備、維持管理相關事項。
- (4)緊急停止有關事項。
- (5)與各相關政府機關及相關事業單位間緊急即時通報聯絡機制有關事項。
- (6)夜間、假日非值勤者等（包括承攬商員工）緊急傳呼機制有關事項。
- (7)相關事業單位之間相互支援協定之訂定，以及與其有關的訓練及資訊交換事項。
- (8)防止因導管引起災害的有關事項。
- (9)其他防災管理的有關事項。

2)有關實施替代檢查之組織架構與職掌

a.實施替代檢查之措施

- (1)為進行運轉中安全檢查，必須進行適當的設備改善工作。
- (2)每種進行運轉中安全檢查的設施，必須明確訂定該設施運轉期間之壽命預測及掌握其發生障礙的主因，且文書化，必要時進行適當設備改善。
- (3)有關前述的設備改善，其改善位置、內容、理由等必須明確化。

b.替代檢查組織

- (1)替代檢查組織必須明確規定，且書面化。
- (2)實施替代檢查的主管應具有五年以上的經驗(在管理部門工作年數也一併計算)，若替代檢查組織的主管直接助理人員

具有該項資格證照者，則不受此限。

- (3)隸屬於替代檢查組織(除檢查組織主管之外)至少一位人員必須具有安全管理師證照，或是具有必要的非破壞檢查技術相關資格。

c.替代檢查業務

- (1)必須明確規定檢查組織執行的業務及其責任所在，並且加以書面化。若是由協力公司協助實施檢查的情況下，檢查結果的評估、判斷，原事業單位仍必須負責最終責任。
- (2)替代檢查之檢查必須由各個檢查場所具有適當檢查經驗者擔任，並應明確規定必須實施檢查項目。
- (3)為適切地實施替代檢查，必須明確規定事業單位擁有或是調度必要且合宜精度的檢查設備，且加以文書化。
- (4)必須規定替代檢查的相關規程，且依該規程做成紀錄並加以保存。需建立保存的紀錄可作為爾後實施替代檢查時可以靈活運用的機制。

d.替代檢查之管理

- (1)事業單位必須明確訂定替代檢查之管理組織體制，且加以文書化。
- (2)實施替代檢查管理的主管(替代檢查組織主管兼任者不予承認)必須有五年以上的經驗(在管理部門的工作年資可累積)。
- (3)檢查管理的相關規程必須訂定，且依該規程做成紀錄加以保存。而且需建立保存的紀錄，可作為爾後認定替代檢查時靈活運用的體制。

e.開放檢查體制

有關開放檢查體制，應有明確可以適切實施的體制，且需準備下列事項的規程、基準：

- (1)有關開放檢查週期的設定方法之事項。
- (2)有關開放檢查方法之事項。
- (3)有關決定各個設備元件更換時期方針之事項。
- (4)其他有關開放檢查之事項。

f.數據運用：

- (1)替代檢查(包括開放檢查)、外部檢查、線上監測等的檢查

數據需做綜合解析，且需明確紀錄並將該數據解析結果做為設施的新設、變更、運轉管理、檢查時可運用的制度。

- (2)有關運轉紀錄（包括相關的安全紀錄）的規程必須訂定，且依該規程做成紀錄及運用。
- (3)所有的設備於設置後其檢查紀錄及安全紀錄，需訂定相關規程加以規範，且依該規程做成紀錄並保存。
- (4)依據前述的各項檢查紀錄所做成的分析、評估結果，需確實掌握每個設備的經年變化，據以作為可有效運用於判斷設備是否要修理，及推測其壽命的依據。

g.操作說明書之置備

7. 繼續使用不會造成危險

7.1 替代檢查計畫

事業單位為實施替代檢查，必須提出替代檢查計畫。一個被認可的替代檢查計畫，必須是事業單位經過詳細的研究及分析後，提出一個足以確保設備安全運轉之計畫，該替代檢查計畫必須包括下列項目：

- 1) 設備所屬製程系統及安全儀控系統之安全評估。
- 2) 評估設備及其組件可能發生之腐蝕、劣化機構及其可能性評估。
- 3) 具體評估設備易腐蝕、劣化部位及組件。
- 4) 確立檢測設備及其組件可能發生腐蝕、劣化之相應檢測方法（包含檢測點、檢測數量等），且檢測點與量上具有統計上的代表性。
- 5) 設備及其組件失效後，造成危害的嚴重度評估。
- 6) 設備及其組件的剩餘壽命評估。
 - a.事業單位根據 API510、API579 之剩餘壽命及適用性評估方法，可被視為可以接受的評估方法，唯設備腐蝕、劣化之深度超過最小要求厚度時，該設備應視為檢查不合格。
 - b.事業單位依據本指針「設備內部檢查周期設定指引」之方法，針對設備實施開放檢查週期之設定，可被視為可以接受的評估方法。

- 6) 提出確保設備及其組件在運轉中不會失效的檢測計畫(包括設備檢測點，應附上圖面說明)、檢查方法、檢查週期等之具體規劃。
- 7) 事業單位若以其他替代檢查方式實施內部檢查時，其替代檢查計畫必須顯示該替代檢查方式能檢測出設備材料內部變化情形；不論使用直接或間接檢測方式，事業單位必須舉證或具體說明其方法本體上足以了解設備材料內部變化情形，且檢測點與量上具有統計上的代表性。
- 8) 事業單位應根據上述評估結果，應定期更新擬定相應之設備檢測計畫。

7.2 緊急應變計畫

- 1) 緊急應變運作流程與組織。(與該工作場所有關之緊急應變為限；以下同)。
- 2) 緊急應變組織架構與職權及問責範圍歸屬。
- 3) 緊急應變控制中心位置與設施。
- 4) 緊急應變運作流程與說明。
- 5) 緊急應變設備之配置及援外單位之聯繫。
- 6) 緊急應變演練計畫與演練紀錄。(因全廠設備、管線、閥類超壓、漏洩、爆炸或火災發生緊急狀況之緊急處置。)
- 7) 高壓氣體容器緊急應變處置計畫，另應包括高壓氣體灌裝及運送安全有關之緊急狀況處置(含緊急應變措施、緊急應變處理方法等)。
- 8) 緊急應變之修正。

第二節 危險性設備內部檢查周期設定指引

1. 前言

本指針作為危險性設備中有關第一種壓力容器、高壓氣體特定設備及高壓氣體容器設定開放內部檢查(以下簡稱開放檢查)周期之方法。本指針僅為設定設備開放內部檢查周期方法之一，其他任何獲得檢查機構認可的評估方法亦應視為有效。

2. 適用範圍

本指針適用於危險性設備中有關第一種壓力容器、高壓氣體特定設備及高壓氣體容器(以下簡稱設備)開放檢查周期之設定。

3 用辭定義

- (1)開放檢查 - 係指開放設備內部，檢查、評估設備內部之腐蝕、劣化損傷情況，藉以確認該設備之耐壓性能、設備延長壽命之效果以及設備剩餘壽命之預測精度。
- (2)剩餘壽命 - 係指設備自最近一次實施開放檢查至無法確保其耐壓性能為止之期間。
- (3)設備生涯壽命 - 係指設備自開始使用至無法確保其耐壓性能為止之期間。
- (4)開放檢查周期 - 係指設備自最近一次實施開放檢查至下次開放檢查之期間。
- (5)開放檢查周期修正係數(a) - 設備之開放檢查期限應在未達其剩餘壽命以前實施，此期限為該設備之剩餘壽命乘以修正係數 a。稱此係數 a 為開放檢查周期修正係數。
- (6)最長開放檢查周期 - 係指設備應實施開放檢查之最長容許期限。

4. 設備腐蝕、劣化損傷機構之辨識

進行設備之剩餘壽命評估，首先必須正確掌握其可能發生之損傷機構。事業單位可以透過危害或風險分析方法，辨識設備可能發生之腐蝕、劣化損傷之種類。

5. 開放檢查周期設定之相關基本事項

5.1 開放檢查周期的設定方法

設備之腐蝕、劣化損傷，主要受到設備操作條件、環境與設備材料交互影響所致。而設備剩餘壽命評估，依其發生腐蝕、劣化損傷機構的特性，可區分為可預測剩餘壽命者及預測剩餘壽命困難者。

開放檢查的周期可由剩餘壽命評估的結果予以設定。對於可進行剩餘壽命評估的設備，應對該設備運轉時可能發生的腐蝕、劣化損傷種類，分別進行剩餘壽命評估，藉以設定其開放檢查的周期；對於實施剩餘壽命評估有困難的設備，則可藉由損傷防止對策的介入，並經確認該介入對策對防止設備損傷的有效性後，以該對策有效使用期間設定為開放檢查的周期。

設備發生複合腐蝕、劣化損傷時，應選擇最嚴重的損傷機構作為設定開放檢查周期的基準。

設備開放檢查周期的基本設定期間為最長開放檢查周期。但影響

設備開放檢查周期的運轉條件（運轉溫度、運轉壓力等）變更或檢測發現有腐蝕、劣化損傷因子時，應評估設備剩餘壽命或損傷防止對策之有效性，重新檢討設備開放檢查周期。

5.2 開放檢查周期設定之基本程序

評估設定設備的開放檢查周期時，應事先確認個別設備可能發生之腐蝕、劣化損傷機構，並檢討分析可否進行剩餘壽命預測、鑑別損傷防止對策的效果，依圖 1 之設備開放檢查周期設定基本流程進行開放檢查周期的設定。以下依設備可預測剩餘壽命者及預測剩餘壽命困難者分別說明其開放檢查周期設定的程序。

(1)可預測剩餘壽命設備的開放檢查周期設定的程序：

- ◆依下式計算個別設備的剩餘壽命。對於金屬損失類(包括一般金屬損失、局部金屬損失、均勻腐蝕、局部腐蝕點蝕等)，其設備的剩餘壽命為：

$$L_R = \frac{t - t_a}{C_R} \dots\dots\dots (1)$$

式中， L_R ：以最近實施開放檢查時為起點之剩餘壽命(year)； t ：最近實施開放檢查時的厚度(mm)； t_a ：設備在檢查位置的設計壓力、設計溫度下必要的最小厚度(mm)。 $C_R = t / Y$ 為年腐蝕率(mm/year)， t ：評估期間 Y 內之材料厚度減少值(mm)， Y ：腐蝕率之評估期間(year)。

- ◆依下式計算設備的開放檢查周期。

$$P = f_e \times f_c \times f_m \times L_R = a \times L_R \quad 10 \text{ 年} \dots\dots\dots (2)$$

式中， P ：開放檢查的周期(year)； L_R ：以最近實施開放檢查時為起點之剩餘壽命(year)； $a = f_e \times f_c \times f_m$ ：開放檢查周期修正係數(參照 5.3)。

- ◆依剩餘壽命預測結果設定之開放檢查周期超過 5.4 規定之最長開放檢查周期時，以最長開放檢查周期為開放檢查周期。

(2)設備剩餘壽命預測困難者之開放檢查周期設定的程序：

- ◆採取損傷防止對策介入之設備，以損傷防止對策實施後之實際有效使用期間為其開放檢查周期。

有效使用期間係指設備自變更其使用材料、改善其構造及使用環境等實施損傷防止對策起至最近檢查確認其有效性止之

期間（參照附件 2）。

- ◆未採取損傷防止對策之設備，經檢查確認該設備無損傷而能安全使用，自開始使用起至最近檢查確認無損傷止之期間為其開放檢查周期（參照附件 2）。
- ◆前列◆及◆之期間超過最長開放檢查周期時，以最長開放檢查周期為開放檢查周期。

5.3 開放檢查周期修正係數 a 之設定

設備開放檢查周期修正係數 a 為使設備安全運轉之安全係數，其值由下列式子決定：

$$a = f_e \times f_c \times f_m \dots \dots \dots (3)$$

在實際進行開放檢查周期評估時，上列 a 之計算應考量個別設備之重要度、腐蝕、劣化損傷之種類及事業單位安全管理狀況而定。其中 f_e 為設備修正因子， f_c 為後果嚴重度修正因子， f_m 為事業單位管理修正因子。 f_e 由附件 3 表 1 至表 6 評估計算而得， f_c 由附件 3 表 8 至表 18 評估計算而得，當設備設備同時具有損壞影響與健康影響時， f_c 取損壞影響修正係數與健康影響修正係數較大者。 f_m 則由附件 3 表 19 評估計算而得。

5.4 最長開放檢查周期之設定

設備在設計時應考量其操作環境及內容物等對設備的材料腐蝕、劣化的影響，通常應設計有相當的腐蝕劣化容度，故在正常的運轉條件下，其腐蝕、劣化速度較緩。

另一方面，考量設備在運轉中所可能出現之不確定因素，設備仍應藉由內部檢查或運轉中檢查以確認設備之機械完整性。

目前設備取最長開放檢查周期為 10 年。

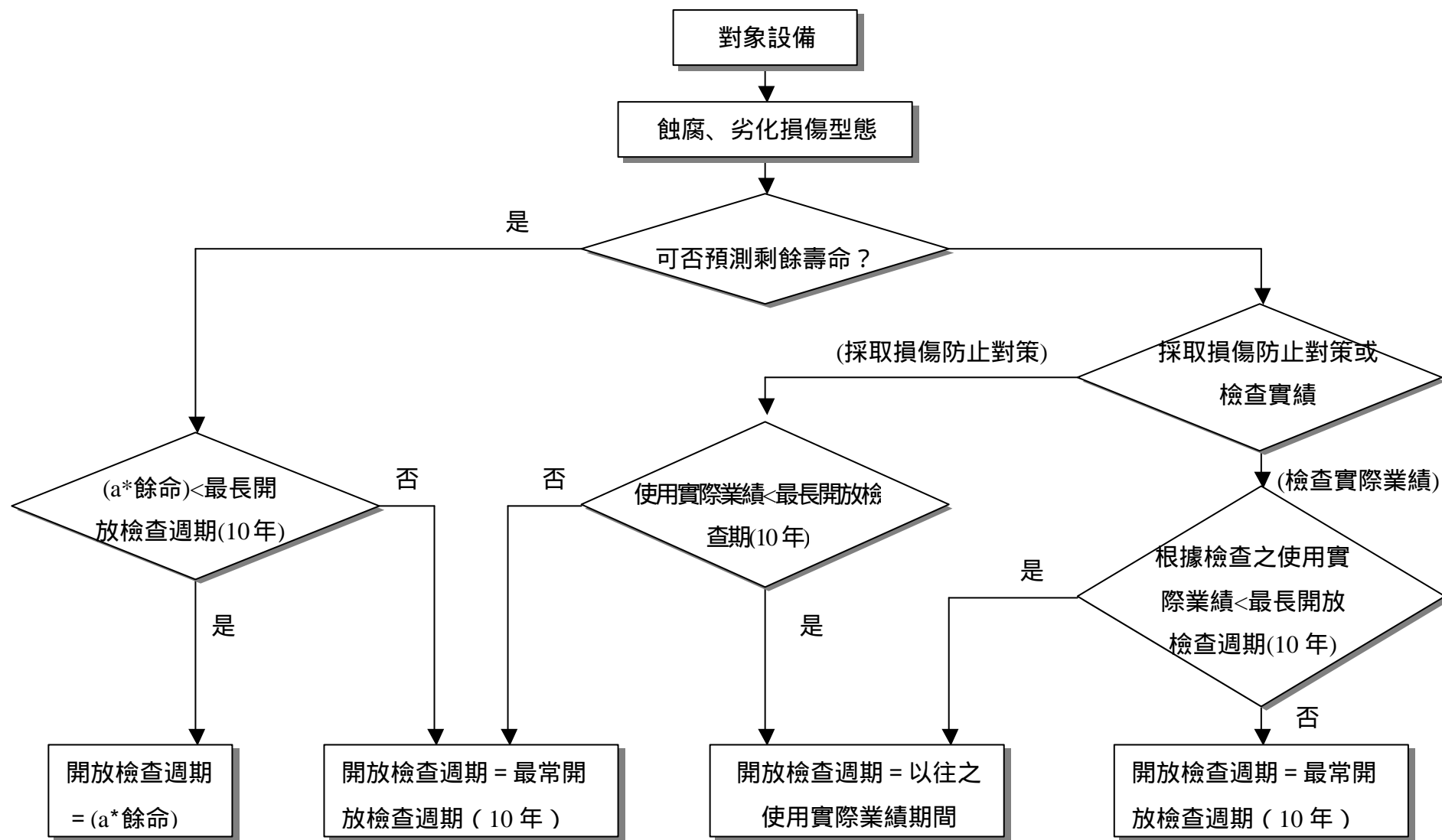


圖 1 設備開放檢查週期設定基本流程

6. 具有腐蝕、劣化損傷而可預測剩餘壽命之設備的開放檢查周期設定過程

6.1 腐蝕損傷類型設備的開放檢查周期設定

設定開放檢查周期之基本相關事項：腐蝕相關的剩餘壽命預測及開放檢查周期的設定，以下列基本方法及步驟擬訂。

1) 檢測：為能適切地進行腐蝕剩餘壽命評估，應實施設備腐蝕檢薄測定。厚度測定應掌握設備整體（包括局部腐蝕在內）之腐蝕減薄位置及減薄狀況（可透過危害或風險分析方法確認）；必要時，應實施複數檢測。

厚度測定位置應依以往檢查結果，考慮腐蝕環境、腐蝕形態、設備之構造及元件的厚度或材質的差異等決定。

厚度測定應使用超音波、放射線及其他有效之非破壞檢測方法。

2) 腐蝕率之計算：設備材料之年腐蝕率 C_R 為：

$$C_R = t/Y \dots\dots\dots(4)$$

式中 C_R ：年腐蝕率(mm/year)； t ：評估期間 Y 內之材料厚度減少值(mm)； Y ：腐蝕率之評估期間(year)。

腐蝕率應至少使用兩個以上不同之檢測時期的厚度測定數據決定。厚度減少值 t 得以適當之統計方法處理或以數值解析法求取決定。在設備中設定有複數之厚度測定點時，應就各別之複數測定點求取腐蝕率。

參考例 1) 依 API 510 計算設備腐蝕率

$$\text{腐蝕速度 } C_R = \frac{t_{previous} - t_{actual}}{t_{previous} \text{ 至 } t_{actual} \text{ 為止之年數}} \dots\dots\dots(5)$$

式中， $t_{previous}$ ：前次檢查時之最小厚度(mm)； t_{actual} ：與 $t_{previous}$ 同一測定點所獲得之最小厚度(mm)。但 C_R 與下述之 $C_{R(L.T)}$ 之值有差異時，則應盡一步評估、考慮使用何值設定設備之腐蝕率。

$$\text{腐蝕速度 } C_{R(L,T)} = \frac{t_{\text{initial}} - t_{\text{actual}}}{\text{自 } t_{\text{initial}} \text{ 至 } t_{\text{actual}} \text{ 為止之年數}} \dots\dots\dots (6)$$

式中， $C_{R(L,T)}$ ：長時期之腐蝕(mm/year)； t_{initial} ：設備之初期(開始使用時)的厚度(mm)。

參考例 2) 使用統計法評估：腐蝕速度 C_R 應取 C_{R1} 與 C_{R2} 之任一較大之值。

$$C_{R1} = \frac{t_{\text{previous}} - t_{\text{actual}}}{\text{自 } t_{\text{previous}} \text{ 至 } t_{\text{actual}} \text{ 為止之年數}} \dots\dots\dots (7)$$

式中， t_{previous} ， t_{actual} 分與公式(5)項同。 C_{R2} ：自(包括)最近之厚度測定值使用 3 次上不同時期之厚度數據，以統計法求得之厚度減少率(比例)之值(mm/year)。

3) 剩餘壽命之計算：

$$L_R = \frac{t - t_a}{C_R} \dots\dots\dots (8)$$

式中， L_R ：以最近實施開放檢查時為起點之剩餘壽命(year)； t ：以最近實施開放檢查時之最小厚度(mm)； t_a ： t 處之設計壓力、設計溫度時之必要最小厚度(mm)。

設備設定有複數厚度測定點時，其剩餘壽命應對所有複數測定點逐一算出，並取其最小值為該設備之剩餘壽命。

4) 開放檢查周期之設定：

$$P = f_e \times f_c \times f_m \times L_R = a \times L_R \quad 10 \text{ 年} \dots\dots\dots (9)$$

參考例 3) 開放檢查周期之設定例

經檢查結果(或自公認資料)所得設備之腐蝕速度 $C_R=0.2\text{mm/year}$ ，最近實施開放檢查時之最小厚度 $t=6.1\text{mm}$ ， t 處之必要最小厚度 $t_a=2.3\text{mm}$ ，取 $a=0.5$ 時，得設備剩餘壽命為：

$$L_R = \frac{6.1 - 2.3}{0.2} = 19 \text{ 年}$$

$$L_R \times a = 19 \times 0.5 = 9.5 \text{ 年} < 10 \text{ 年，故 } P=9.5 \text{ 年}$$

因此，下次開放檢查時期應在最近實施開放檢查時起算 9.5 年以內。

參考例 4) 開放檢查周期之設定例

經檢查結果（或自公認資料）所得護面料之腐蝕速度 $C_R=0.05\text{mm/year}$ ，最近實施開放檢查時護面料(SUS 405)之最小厚度 $t_c=3.0\text{mm}$ ，母材（碳鋼）之使用厚度 $t=19.0\text{mm}$ ，母材之必要最小厚度 $t_a=10.8\text{mm}$ ，取 $a=0.8$ 時，得剩餘壽命為：

$$\text{餘命}L_R = \frac{3.0}{0.05} = 60\text{年}$$

$$L_R \times a = 60 \times 0.8 = 48\text{年} > 10\text{年}，\text{故 } P=10$$

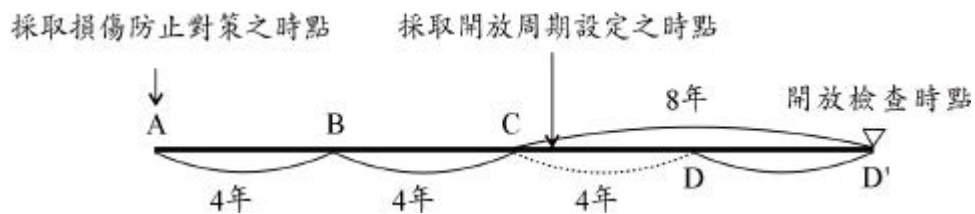
因此，下次開放檢查時期應在最近實施開放檢查時起算第 10 年（最長開放檢查周期）以內。

6.2 預測剩餘壽命困難設備的開放檢查周期設定

- 1) 設備採取損傷防止對策時的開放檢查周期設定：對已採取損傷防止對策的設備，得以採取該對策後之實際有效使用期間為其開放檢查周期。

參考例 5) 設備採取損傷防止對策時的開放檢查周期設定例

如下圖所示，設備在 A 時間點採取損傷防止對策，歷經 B、C 時間點實施開放檢查，並未發現設備有劣化損傷，並確認該損傷防止對策為有效。



以往對此情況，一般認應自 C 時間點後 4 年的 D 時間點為適當的開放檢查時間，唯既然自 A~C 期間（歷時 $2 \times 4 \text{年} = 8 \text{年}$ ）並未發現劣化損傷，且已確認該損傷防止對策為有效，故下次開放檢查時間可取自 C 時間點以後第 8 年的 D' 時間點以內。

在 D' 時間點實施開放檢查，設備仍未發現有劣化損傷，且確認該損傷防止對策為有效時，理論上應可自 A 時間點開始至 D' 時間點的 16 年以

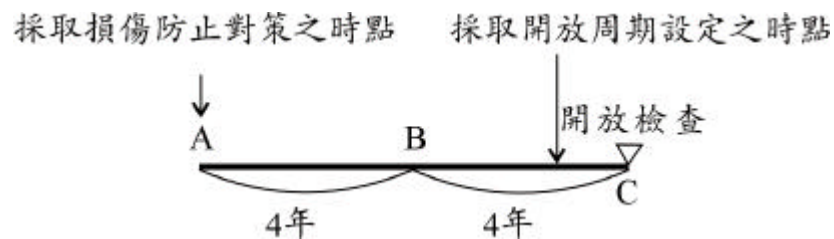
內為再次開放檢查時間。唯如前述，既取 10 年為最長開放檢查周期，故下次開放檢查之時間點，應自 D' 時間點起的 10 年以內實施開放檢查。

參考例 6) 設備採取損傷防止對策時的開放檢查周期設定例

如下圖所示，設備在 A 時間點實施損傷防止對策，其後在 B 時間點實施開放檢查時，並未發生劣化損傷，且經確認該損傷防止對策為有效。

下次開放檢查時間，應自採取損傷防止對策的時間點 A 到實施開放檢查 B 時間點止之 4 年有效使用期間，故應取自 B 時間點之 4 年後之 C 時間點為下次開放檢查時間。

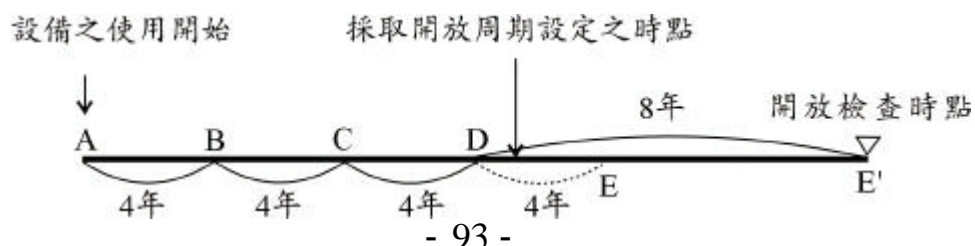
如在 C 時間點實施開放檢查，未發生劣化損傷，且經確認該損傷防止對策為有效時，則至 C 時間點止該損傷防止對策有效使用期間為 A~C 之 8 年，因此，下次開放檢查的實施時間點為自 C 起算 8 年以內。



2) 設備未採取損傷防止對策的開放檢查周期設定: 對於未採取損傷防止對策的設備，得以經開放檢查確認未發生劣化損傷的期間為下次開放檢查的周期。

參考例 7) 設備未採取損傷防止對策時的開放檢查周期設定例

如下圖所示，設備於 A 時間點開始使用，其後於 B、C、D 時間點實施開放檢查，確認未發現劣化損傷，其開放檢查周期之設定得為 D 時間點以後 4 年以內。下次開放檢查之時期，以往係以自 D 起算 4 年後之 E 時間點，但理論上，如在各次開放檢查確認並無劣化損傷，下次開放檢查時間點得自 D 時間點起算 12 年以內之 E' 時間點為下次開放檢查時間點。



7. 其他事項

運轉中檢查、附隨設備清掃銹垢、更換催化劑等工程所實施之開放檢點，可視為開放檢查之輔助檢查。

亦即不論藉由開放檢查以確認所推定之設備剩餘壽命的精度，或者藉由實施設備清掃銹垢、更換催化劑等工程而實施之內部檢點，因皆為運轉檢查的目的之一，故不論何者，就其檢查定位而言均可視為開放檢查之輔助檢查。

此外，對於具有代表性設備的檢查，如已有充足之檢查數據，且其檢查的有效性已被確認，則亦可作為設備開放檢查年限的參考。

對於已經延長內部檢查之設備，於延長內部檢查期限前，必須實施開放內部檢查，以確認設備內部安全狀況。

第六章 案例探討

第一節 熱交換器風險評估、壽命評估及檢測期限設定

熱交換器是大多數石油裂解工廠或化學工廠必備之設備。少數特殊的熱交換器材質(石墨、玻璃、鐵弗龍等)具高抗蝕力，但其工作壓力和溫度是應用上的最大限制。故此大部分的熱交換器，不論何種形式，其材質仍以金屬為主，包括各種鋼材、鋁基、銅基、鎳基、鈦基合金等。金屬和冷卻媒介或反應器中的待冷卻物質接觸，就存在著腐蝕劣化的問題。熱交換器的使用環境一般都在高溫高壓下，加上冷卻媒介流動的作用，使金屬材質暴露在極特殊的環境下，其腐蝕發生的機率與型態也異於一般環境。熱交換器的腐蝕問題包含了與環境化學成份有關的均勻腐蝕(uniform corrosion)、孔蝕(pitting corrosion)、氫誘發破裂(hydrogen induce cracking)，與機械設計有關的間隙腐蝕(crevice corrosion)、腐蝕磨耗(corrosion wear)、應力腐蝕破裂(stress corrosion cracking)，與溫度和應力有關的腐蝕疲勞(corrosion fatigue)，與流體流速有關的沖蝕(erosion corrosion)等，一旦發生腐蝕損壞，不僅減少熱交換器壽命，甚至於造成內容物之異常外洩，輕則造成財物上的損失，重則危害人員的安全。

熱交換器設備各項目編號：

- | | |
|------------|------------|
| 1. 胴體 | 14. 繫桿及隔桿 |
| 2. 胴體端板 | 15. 橫檔板或托板 |
| 3. 胴體倒槽端法蘭 | 16. 沖擊檔板 |
| 4. 胴體端板端法蘭 | 17. 折流隔板 |
| 5. 噴嘴管台 | 18. 通氣接口 |
| 6. 浮頭管板 | 19. 排放接口 |
| 7. 浮頭蓋 | 20. 儀器接口 |
| 8. 浮頭法蘭 | 21. 支持鞍 |
| 9. 浮頭背夾板 | 22. 吊耳 |
| 10. 固定管板 | 23. 傳熱管 |
| 11. 導槽或固定頭 | 24. 堰 |
| 12. 導槽蓋 | 25. 液面計接口 |
| 13. 導槽噴嘴 | |

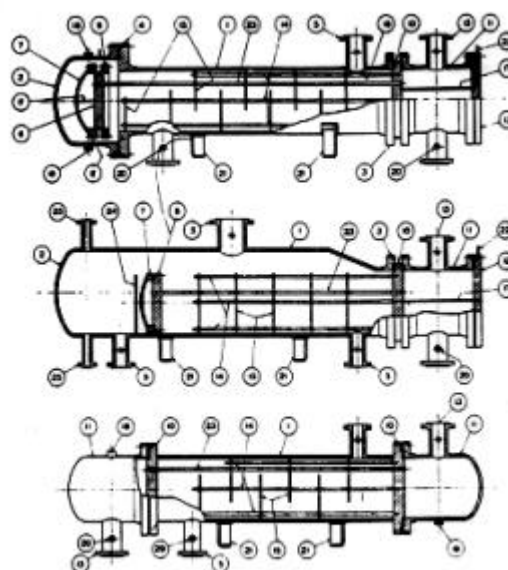


圖6.1 熱交換器組件

熱交換器是以傳熱為目的，腐蝕性流體與設備內外面接觸的傳熱面與表面積極大，由於腐蝕、穿孔、接合部的應變等導致外漏發生的危險率也高。因此熱交換器的防蝕、防漏對策最為重要。

整體而言，熱交換器的外殼側若發生破漏，會造成直接且重大的工安事故；而在管的部份，雖然管側的破漏並不會造成直接的工安事故，由於其檢修維護上的困難，而造成工安上的死角，卻會使產品受到污染、工廠必須停機檢修，造成工廠的間接損失。若能事先檢測出其厚度減薄量，進而推算出腐蝕速率，便能做事前的預防。

假設某 C 煉油廠的熱交換器已使用 17 年，根據設計最小需求厚度為 0.036 英吋，材質為鋼管，考慮該熱交換器供作一般熱水交換用，設可靠度要求設為 99.9%。

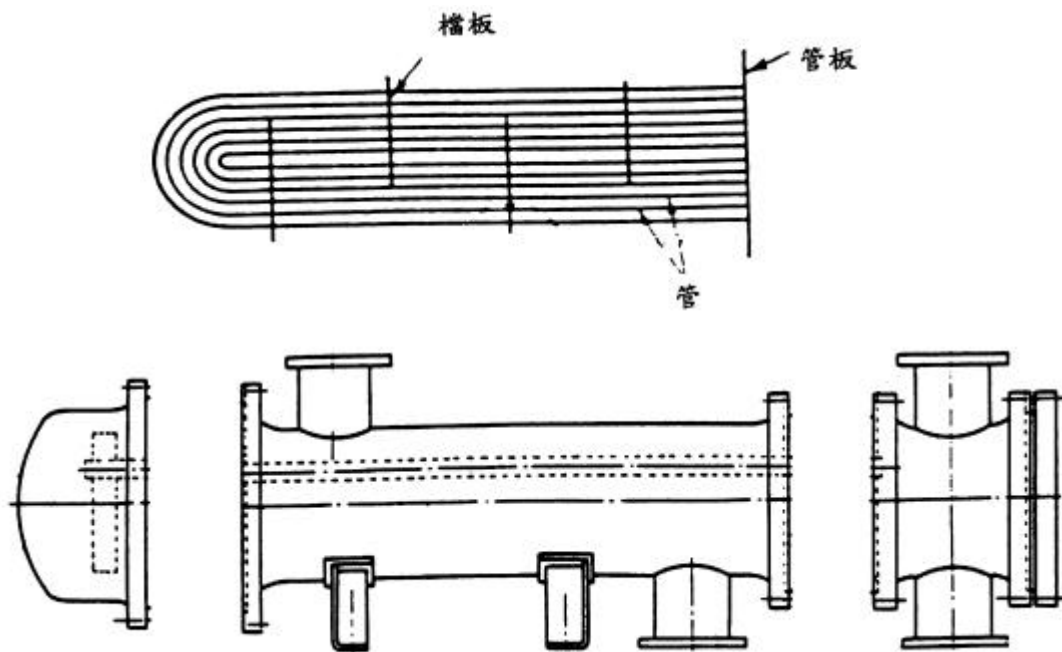


圖6.2 熱交換器風險評估示意圖

一、熱交換器風險分析

為辨識熱交換器的損傷機構，由現場人員、專家組成小組，使用失誤模式與影響分析（FMEA）辨識熱交換器的損傷機構。表 6.1 及圖 6.3 為分析結果的一部份，以作為案例說明。

表6.1 熱交換器風險分析

製程名稱：熱交換器 設備描述：C 煉油廠的熱交換器 所含管線與設備編號： 圖號：1					
項目	失誤模式	可能原因	影響	防護措施	改善建議
1.1 檔板	1.1.1. 均勻減薄 1.1.2. 孔蝕 1.1.3. 異金屬腐蝕 1.1.4. 間隙腐蝕 1.1.5. 腐蝕疲勞	1. 均勻減薄：本案例檔板之材質為碳鋼。熱交換器碳氫化合物側的主要腐蝕劑為硫的化合物，碳鋼通常在 260 以上的高溫受硫化氫的作用生成 FeS。 2. 孔蝕：是一種極端的局部腐蝕，只發生在具鈍態性金屬，而氯離子是促使腐蝕之主因。 3. 異金屬腐蝕：當兩種相異的金屬接合時，由於腐蝕電位的不同自然形成電池迴路。 4. 間隙腐蝕：發生於縫隙內部的腐蝕，因外物之附著或沉積所造成，如絕緣墊圈的夾縫最常發現。 5. 腐蝕疲勞：腐蝕環境如同時存在循環應力時，則腐蝕破壞與疲勞破壞可同時發生。	1. 因硫化氫的作用而生成之多孔質且比容積大，易剝離之 FeS 生成物，且易堆積於下游機器，造成停爐之意外發生。 2. 不易偵測，常常造成局部穿孔而導致整個結構損壞。 3. 造成較活性的金屬腐蝕溶解來保護較貴重的金屬。 4. 造成局部穿孔而導致局部結構損壞。 4. 使疲勞裂縫之萌生與成長有額外之加成效果造成結構損壞加速。	1. 均勻減薄在偵測與防治上比較單純，定期測厚即可了解腐蝕的情形。 2. 避免造成積垢的死角，長期關機時應注意維持乾淨去除潮濕。 3. 這類型的腐蝕主要肇因於設計疏失，是最容易防範的一種。 4. 避免造成積垢的死角；長期關機時應注意維持乾淨去除潮濕。 5. 消除震動或減低振幅。	1. 選用適當的材質或添加腐蝕抑制劑可有效防治這類腐蝕發生。 2. 材料的選擇是最重要的一環，不銹鋼等鈍化金屬，對氯離子尤其敏感應避免使用於海水環境中。金屬抗孔蝕能力的之順序如下： 304SS 316SS 鎳基超合金鈦。 4. 使用焊接，避免鉚釘或螺帽，或無吸水性之墊圈如特弗龍。 5. 添加抑制劑及適當的鍍層。

表 6.1 熱交換器風險評估(續)

製程名稱：熱交換器					
設備描述：C 煉油廠的熱交換器					
項目	破壞機制	可能原因	可能後果	防護措施	改善建議
1.2 管身	1.2.1.均勻腐蝕	1.均勻減薄：管身之材質為碳鋼。熱交換器碳氫化合物側的主要腐蝕劑為硫的化合物，碳鋼通常在 260 以上的高溫受硫化氫的作用生成 FeS。	1.因硫化氫的作用而生成之多孔質且比容積大，易剝離之 FeS 生成物，且易堆積於下游機器，造成停爐之意外發生。	1.定期測厚可了解腐蝕的情形。	1.選用適當的材質或添加腐蝕抑制劑等，都能有效防治這類腐蝕發生。
1.3 管板	1.3.1.焊接腐蝕	1.管口部份以焊接法結合，焊接區域會有熱影響區及存在殘留內應力，導致焊接腐蝕。	1.若焊接後沒有妥善的熱處理，將造成材料微觀結構的改變，導致材料強度、抗潛變、抗疲勞能力等變差。構件存在殘留內應力於腐蝕環境中易產生應力腐蝕加速構件破漏之發生。	1.維持乾淨去除潮濕。	1.適當的鍍層於短時間內完成焊接或於焊接完成後進行適當之熱處理。

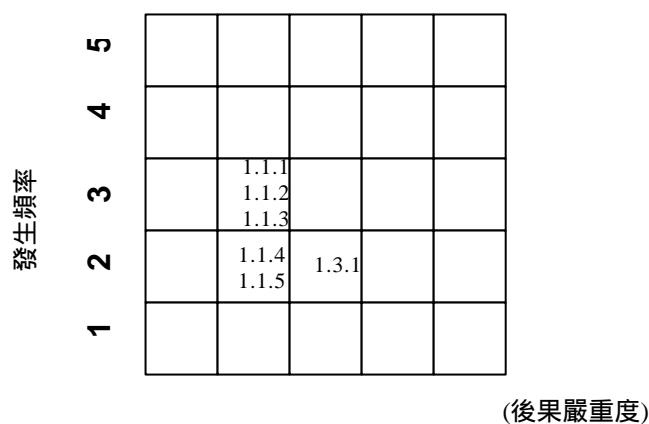


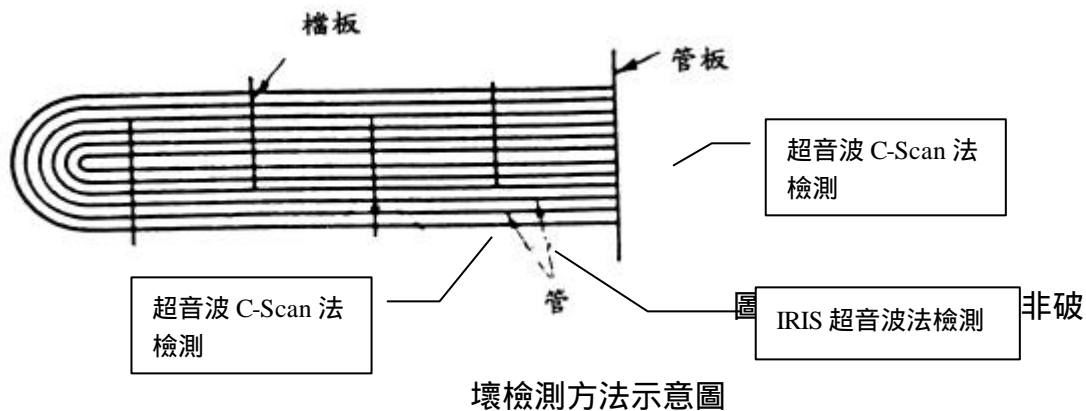
圖 5.3 熱交換器風險矩陣圖

二、熱交換器損傷機構檢測方法之選擇

根據上述風險及危害分析的結果，對應於各種損傷類型，選定非破壞檢測方法為在管板及擋板部分，並參考附錄 3 各種非破壞檢測方法所能檢測之缺陷型態，採用超音波 C-Scan 法檢測，在管身部分採用 IRIS 超音波檢測。檢測結果假設發現管身部分腐蝕最為嚴重，在 250 根的熱交換管中抽取 46 根進行檢測，檢測結果數據如表 5.2：

表6.2 IRIS量測最小壁厚數據(單位：inch)

0.05 ✕	0.058 ✕	0.063 ✕	0.066 ✕
0.055 ✕	0.059 ✕	0.064 ✕	0.067 ✕
0.056 ✕	0.061 ✕	0.065 ✕	0.069 ✕



三、熱交換器壽命評估(一)數據統計分佈分析：根據前章數據統計分佈分析之方法，經擬合度測試，獲得最佳之統計分佈為 Gumbel 極值分佈，其中累積密度分佈函數(CDF) $F(x)$ 及機率密度函數(PDF) $f(x)$ 分別為：

$$F(t) = 1 - e^{-e^{-\frac{t-j}{d}}} \quad f(t) = \frac{1}{d} \cdot e^{-\frac{t-j}{d}} \cdot e^{-e^{-\frac{t-j}{d}}}$$

其中 $\lambda = 0.003175$ ， $\mu = 0.06427$ ；亦即管陣在第 17 年時的特徵厚度為 0.06427 英吋。

(二)熱交換器壽命評估：設設備原始量測獲得最大厚度為 0.101 英吋，最小厚度為 0.083 英吋，而 $\lambda = 99.8\%$ 。則由上式 Gumbel 極值分佈之累積密度分佈函數 $F(x)$ 可得：

$$F(0.101) = 99.9\% = 1 - \exp\{-\exp[(0.101 - \mu) / \lambda]\}$$

$$F(0.083)=0.1\%=1-\exp\{-\exp[(0.083-)/]\}$$

解得 $t_0=0.0020362$, $t_{17}=0.09706$; 亦即新管的特徵厚度為 0.09706 英吋。另一方面, 亦可由圖解法近似得到, 亦即在圖 5.9 中, 在橫座標 0.101 處, 縱座標取 99.8%, 在橫座標 0.083 處, 縱座標取 0.1%, 將該二點連成一線, 即為該熱交換器在第 0 年時的管陣厚度分布圖。

由圖 6.9 中, 我們發現, 第 0 年的管陣厚度分布圖與第 17 年的管陣厚度分布圖幾乎平行, 由此可以推得該熱交換器的管陣損傷型態為均勻腐蝕。故年腐蝕率 C_R 為:

$C_R = t / \text{year} = (t_{17} - t_0) / 17 = 0.00193$ (英吋/年) 由已知管陣設計最小需求厚度為 0.036 英吋, 考慮該熱交換器供作一般熱水交換用, 可靠度要求設為 99.9%。則熱交換器的最終可用壽命時的累積密度分布函數 $F(x)$:

$$F(0.036)=0.1\%=1-\exp\{-\exp[(0.036-)/]\}$$

此處, 由於熱交換器的管陣損傷型態為均勻腐蝕, 故可設 $t_0=0.003175$, 而得 $t_{12}=0.05783$ 。因此熱交換器的剩餘壽命為:

$$L_R = t / C_R = (t_{12} - t_0) / C_R$$

$$C_R = (0.06427 - 0.05783) / 0.00193 = 3.3 \text{ year}$$

故該熱交換器的剩餘壽命為 3.3 年。

四、熱交換器開放檢查周期評估: 設備開放檢查周期依下式計算:

$$P = f_e \times f_c \times f_m \times L_R = a \times L_R \quad 10 \text{ 年}$$

式中, P: 開放檢查的周期(year); L_R : 以最近實施開放檢查時為起點之剩餘壽命(year); $a = f_e \times f_c \times f_m$: 開放檢查周期修正係數, 由附錄三設事業單位自評計算結果, 得到設備修正因子 (f_e)、重要度修正因子 (f_c) 及管理修正因子 (f_m) 分別為: $f_e=0.8$ 、 $f_c=0.85$ 、 $f_m=0.85$, 則:

$$P = f_e \times f_c \times f_m \times L_R = a \times L_R = 0.8 \times 0.85 \times 0.85 \times 3.3 = 1.9 < 10 \text{ 年}$$

故下次開放內部檢查期限應設在 1.9 年以內。

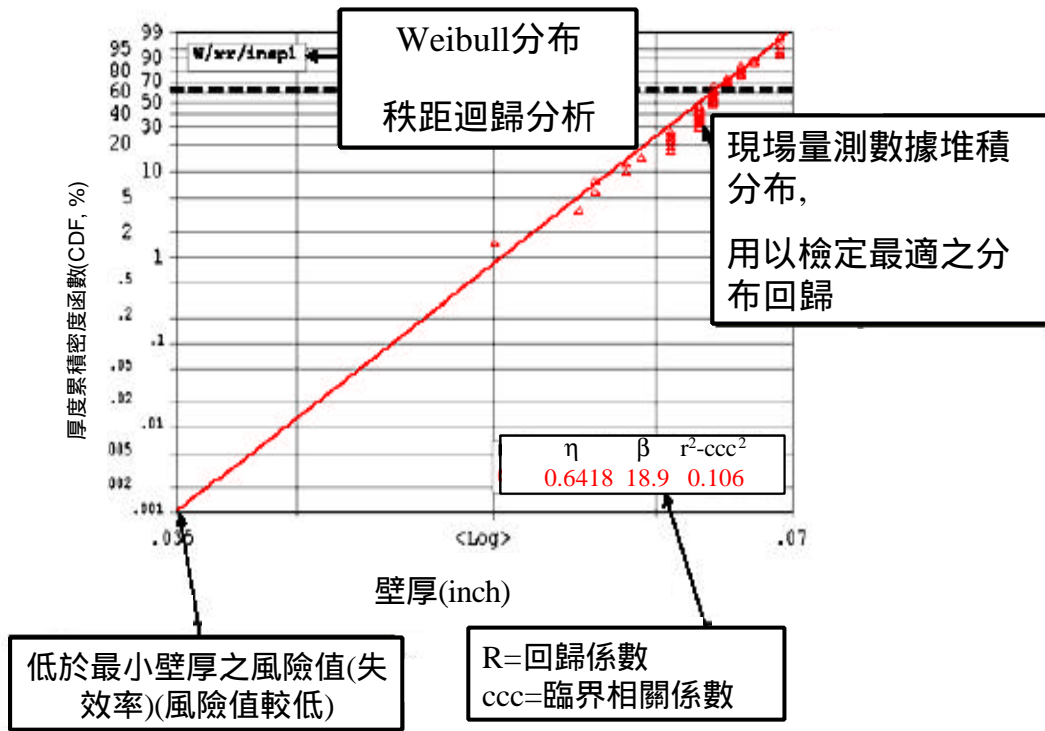


圖6.5 數據統計模型分析(Weibull分布)

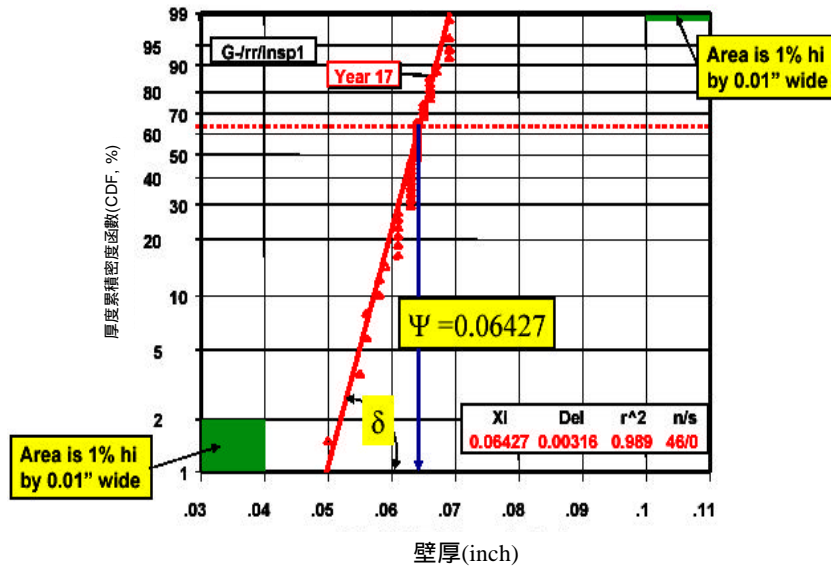


圖6.6 數據統計模型分析(Gumbel分布)

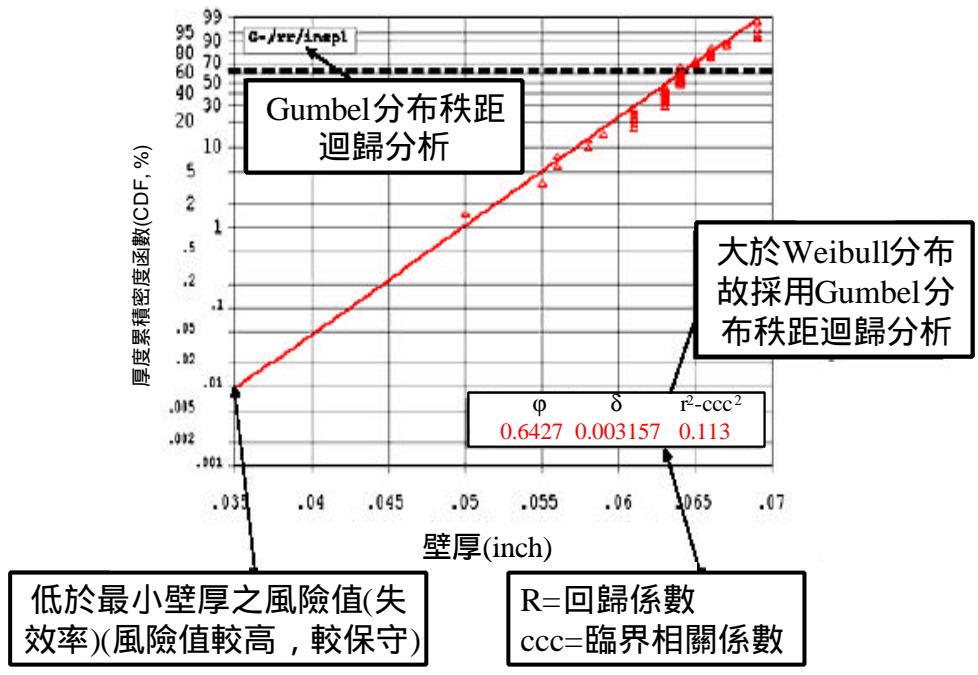


圖6.7 熱交換器IRIS超音波檢測數據

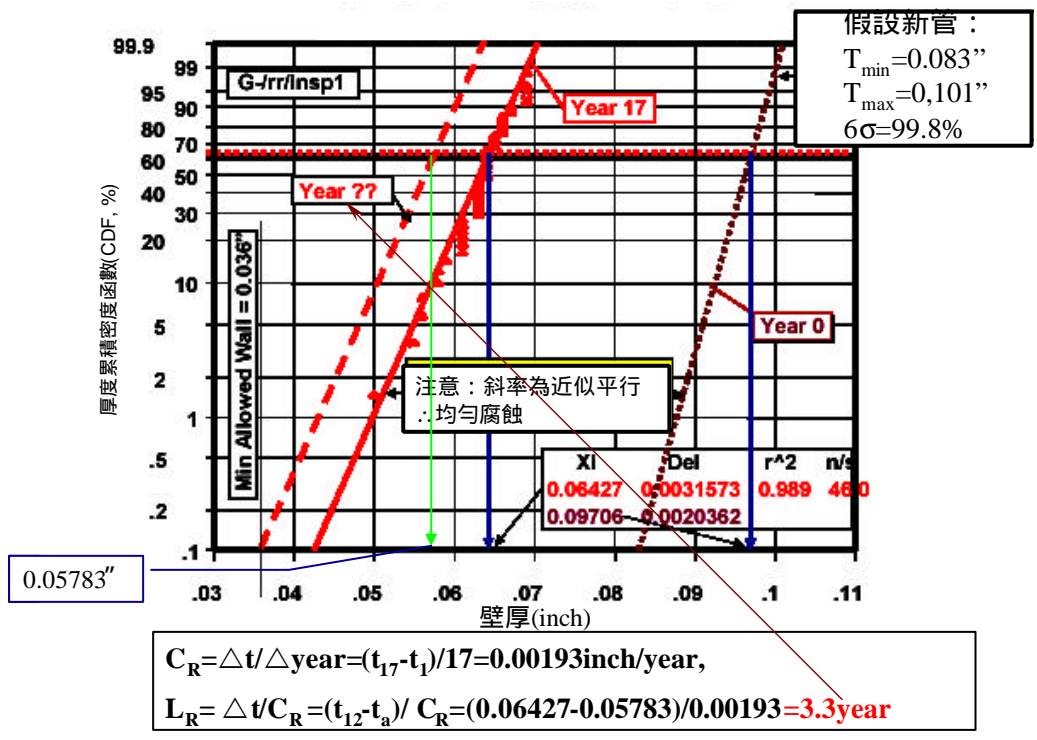


圖6.8 熱交換器IRIS超音波檢測數據及壽命評估圖

第17年機率密度函數

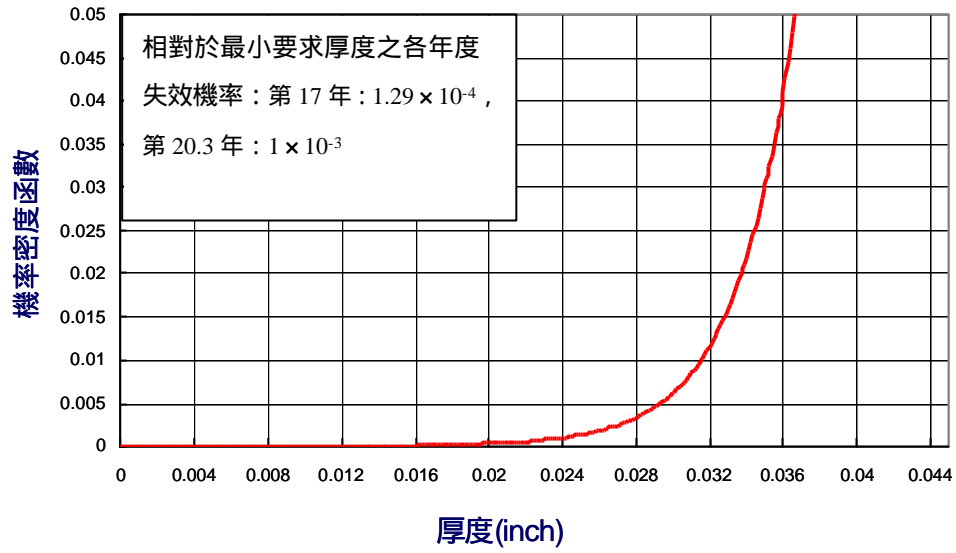


圖6.9 熱交換器失效機率圖

第二節 氫氣產生器風險評估、壽命評估及檢測期限設定

在某一個氫氣產生反應爐中，乙醛和酮類和氫氣同時利用酒精被轉換出來，這些氫氣產生反應物是利用一種鍍鎳之觸媒參與作用且以氣相被產生。該氫氣產生反應爐如圖 6.11 所示。

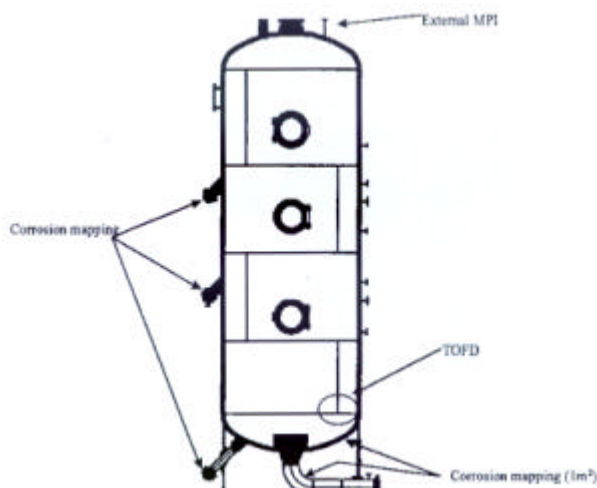


圖 6.11 氫氣產生器外觀圖及檢測方法示意圖

一、氫氣產生器風險分析

為辨識氫氣產生器的損傷機構，由現場人員、專家組成小組，使用危害與可操作分析（HAZOP）辨識氫氣產生器的損傷機構（如表 6.3）。表 6.3 及圖 6.12 為分析結果的一部份，以作為案例說明。這主要的破壞機制為有機酸導致內部腐蝕，所以我們以因為內部腐蝕所造成的噴嘴洩漏當作最大危害，發生局部內部腐蝕是經由於在噴嘴的低點，壓縮與累積有機酸和含有二氧化碳的水，在這裡任何激烈的洩漏都是危險的；因為氫的噴射，觸媒與揮發性物質將直接散落。

綜觀氫氣產生器的工作溫度範圍，如果壓力容器底部溫度過高，則情況是最糟糕的，因為底部已發生有機酸腐蝕，除此之外高流速也有可能造成有機酸腐蝕的增加，相對地在出口噴嘴將會是嚴重發生腐蝕的地方，且在出口噴嘴與法蘭之間的彎管特別地會被認為是特別容易受到腐蝕的地方，然而在此處的洩漏將會導致周遭地區陷入火災，陷入終極的安全危害中。

表6.3 氫氣產生器危害與可操作分析

設備名稱：氫氣產生反應爐 管線或設備描述：利用酒精產生氫氣之反應爐及其管路 所含管線與設備編號： 圖號：1					
項目	破壞機制	可能原因	可能後果	防護措施	改善建議
1.1 端板/n	1.內部腐蝕 2.外部腐蝕 3.水槌現象 4.氫脆破壞	1.化學腐蝕：高溫氧化。 電化學腐蝕：異金屬焊道腐蝕。 2.化學腐蝕：高溫腐蝕，低溫腐蝕。 3.噴嘴口局部阻塞。 4.氫原子滲入金屬原子間的晶格。	1.金屬氧化產生銹皮，銹皮因持續成長而可能剝落，阻塞於噴嘴口處，使得反應爐內部壓力突然升高，對元件造成損傷。 2.高溫腐蝕，低溫腐蝕：生成之銹皮使實際有用之板厚減薄。 3.同 1。 4.使金屬失去延展性或原來的強度而至破裂。	1. 定期測厚可了解腐蝕的情形。 2.同 1。 3.反應爐有壓力指示計。	1~4. 材料的選擇是最重要的一環，選用適當的材質可防治這類腐蝕發生。
1.2 端板/1	1.內部腐蝕 2.氫脆破壞 3.延性破壞	1.化學腐蝕：高溫氧化。 電化學腐蝕：異金屬焊道腐蝕。 2.氫原子滲入金屬原子間的晶格。 3.噴嘴口遭阻塞，使爐內壓力持續增高。	1.金屬氧化產生銹皮，銹皮因持續成長而可能剝落，阻塞於噴嘴口處，使得反應爐內部壓力突然升高，對元件造成損傷。生成之銹皮使實際有用之板厚減薄。 2. 使金屬失去延展性或原來的強度而至破裂。 3.破斷前爐體會有明顯變形。	1. 定期測厚可了解腐蝕的情形。 3.反應爐設有壓力指示計及警告裝置。	
1.3 端板/n	1.內部腐蝕 2.水槌現象 3.氫脆破壞	1.化學腐蝕：高溫氧化。 電化學腐蝕：異金屬焊道腐蝕。 2.噴嘴口局部阻塞。 3.氫原子滲入金屬原子間的晶格。	1.金屬氧化產生銹皮，銹皮因持續成長而可能剝落，阻塞於噴嘴口處，使得反應爐內部壓力突然升高，對元件造成損傷。 異金屬焊道腐蝕：噴嘴口部份以焊接法結合，焊接區域會有熱影響區及存在殘留內應力。可能造成材料微觀結構的改變，導致材料強度、抗潛變、抗疲勞能力等變差。構件存在殘留內應力於腐蝕環境中易產生應力腐蝕加速構件破漏之發生。 2.同 1。 3.使金屬失去延展性或原來的強度而至破裂。	2.反應爐設有壓力指示計及警告裝置。	1&3.適當的鍍層 於短時間內完成焊接或於焊接完成後進行適當之熱處理。

表 6.3 氫氣產生器危害與可操作分析(續)

項目	破壞機制	可能原因	可能後果	防護措施	改善建議
1.4 胴身焊道 ¹	1.內部腐蝕 2.氫脆破壞 3.延性破壞	1.化學腐蝕：高溫氧化。 電化學腐蝕：異金屬焊道腐蝕。 2.氫原子滲入金屬原子間的晶格。 3.噴嘴口遭阻塞，使爐內壓力持續增高。	1.金屬氧化產生銹皮，銹皮因持續成長而可能剝落，阻塞於噴嘴口處，使得反應爐內部壓力突然升高，對元件造成損傷。生成之銹皮使實際有用之板厚減薄。異金屬焊道腐蝕：噴嘴口部份以焊接法結合，焊接區域會有熱影響區及存在殘留內應力。可能造成材料微觀結構的改變，導致材料強度、抗潛變、抗疲勞能力等變差。構件存在殘留內應力於腐蝕環境中易產生應力腐蝕加速構件破漏之發生。 2.使金屬失去延展性或原來的強度而至破裂。 3.破斷前噴嘴會有明顯變形。	1.定期測厚可了解腐蝕的情形。	適當的鍍層 於短時間內完成焊接或於焊接完成後進行適當之熱處理。
1.5 觸媒支撐閘 ⁿ	1.內部腐蝕 2.氫脆破壞	1.化學腐蝕：高溫氧化。 電化學腐蝕：異金屬焊道腐蝕。 2.氫原子滲入金屬原子間的晶格。	1.金屬氧化產生銹皮，銹皮因持續成長而可能剝落，阻塞於噴嘴口處，使得反應爐內部壓力突然升高，對元件造成損傷。 2.使金屬失去延展性或原來的強度而至破裂。	1.定期測厚可了解腐蝕的情形。	材料的選擇是最重要的一環，選用適當的材質可防治這類腐蝕發生。
1.6 入口噴嘴 ⁿ	1.內部腐蝕 2.疲勞破壞 3.外部腐蝕 4.氫脆破壞	1.化學腐蝕：高溫氧化。 電化學腐蝕：異金屬焊道腐蝕。 2.進料噴嘴承受變動應力。 3.化學腐蝕：高溫腐蝕，低溫腐蝕。 4.氫原子滲入金屬原子間的晶格。	1.金屬氧化產生銹皮，銹皮因持續成長而可能剝落，阻塞於噴嘴口處，使得反應爐內部壓力突然升高，對元件造成損傷。生成之銹皮使實際有用之板厚減薄。異金屬焊道腐蝕：噴嘴口部份以焊接法結合，焊接區域會有熱影響區及存在殘留內應力。可能造成材料微觀結構的改變，導致材料強度、抗潛變、抗疲勞能力等變差。構件存在殘留內應力於腐蝕環境中易產生應力腐蝕加速構件破漏之發生。 2.在變動的應力下使裂縫萌生。 3.實際有用之板厚減薄。 4.使金屬失去延展性或原來的強度而至破裂。	1.定期測厚可了解腐蝕的情形。	

表 6.3 氫氣產生器危害與可操作分析(續)

項目	破壞機制	可能原因	可能後果	防護措施	改善建議
1.7 入口噴嘴 ¹	1.內部腐蝕 2.氫脆破壞 3.疲勞破壞	1.化學腐蝕：高溫氧化。 電化學腐蝕：異金屬焊道腐蝕。 2.氫原子滲入金屬原子間的晶格。 3.進料噴嘴承受變動應力。	1.金屬氧化產生銹皮，銹皮因持續成長而可能剝落，阻塞於噴嘴口處，使得反應爐內部壓力突然升高，對元件造成損傷。生成之銹皮使實際有用之板厚減薄。異金屬焊道腐蝕：噴嘴口部份以焊接法結合，焊接區域會有熱影響區及存在殘留內應力。可能造成材料微觀結構的改變，導致材料強度、抗潛變、抗疲勞能力等變差。構件存在殘留內應力於腐蝕環境中易產生應力腐蝕加速構件破漏之發生。 2.使金屬失去延展性或原來的強度而至破裂。 3.在變動的應力下使裂縫萌生。	1.定期測厚可了解腐蝕的情形。	
1.8 出口噴嘴 ⁿ	1.內部腐蝕 2.氫脆破壞	1.化學腐蝕：高溫氧化。 電化學腐蝕：異金屬焊道腐蝕。 2.氫原子滲入金屬原子間的晶格。	1.金屬氧化產生銹皮，銹皮因持續成長而可能剝落，阻塞於噴嘴口處，使得反應爐內部壓力突然升高，對元件造成損傷。生成之銹皮使實際有用之板厚減薄。異金屬焊道腐蝕：噴嘴口部份以焊接法結合，焊接區域會有熱影響區及存在殘留內應力。可能造成材料微觀結構的改變，導致材料強度、抗潛變、抗疲勞能力等變差。構件存在殘留內應力於腐蝕環境中易產生應力腐蝕加速構件破漏之發生。 2.使金屬失去延展性或原來的強度而至破裂。	1.定期測厚可了解腐蝕的情形。	
1.9 出口噴嘴 ¹	1.氫脆破壞	1.氫原子滲入金屬原子間的晶格。	1.使金屬失去延展性或原來的強度而至破裂。	1.定期測厚可了解腐蝕的情形。	適當的鍍層可減緩這類腐蝕發生。

表 6.3 氫氣產生器危害與可操作分析(續)

項目	破壞機制	可能原因	可能後果	防護措施	改善建議
1.10 蒸氣冷卻噴嘴 /n	1.內部腐蝕 2.外部腐蝕 3.氫脆破壞	1.化學腐蝕：高溫氧化。 電化學腐蝕：異金屬焊道腐蝕。 2.化學腐蝕：高溫腐蝕，低溫腐蝕。 3.氫原子滲入金屬原子間的晶格。	1.金屬氧化產生銹皮，銹皮因持續成長而可能剝落，阻塞於噴嘴口處，使得反應爐內部壓力突然升高，對元件造成損傷。生成之銹皮使實際有用之板厚減薄。異金屬焊道腐蝕：噴嘴口部份以焊接法結合，焊接區域會有熱影響區及存在殘留內應力。可能造成材料微觀結構的改變，導致材料強度、抗潛變、抗疲勞能力等變差。構件存在殘留內應力於腐蝕環境中易產生應力腐蝕加速構件破漏之發生。 2.實際有用之板厚減薄。 3.使金屬失去延展性或原來的強度而至破裂。	1. 定期測厚可了解腐蝕的情形。	1&3.適當的鍍層 於短時間內完成焊接或於焊接完成後進行適當之熱處理。
1.11 蒸氣冷卻噴嘴 /l	1.內部腐蝕 2.氫脆破壞	1.化學腐蝕：高溫氧化。 電化學腐蝕：異金屬焊道腐蝕。 2.氫原子滲入金屬原子間的晶格。	1.金屬氧化產生銹皮，銹皮因持續成長而可能剝落，阻塞於噴嘴口處，使得反應爐內部壓力突然升高，對元件造成損傷。生成之銹皮使實際有用之板厚減薄。異金屬焊道腐蝕：噴嘴口部份以焊接法結合，焊接區域會有熱影響區及存在殘留內應力。可能造成材料微觀結構的改變，導致材料強度、抗潛變、抗疲勞能力等變差。構件存在殘留內應力於腐蝕環境中易產生應力腐蝕加速構件破漏之發生。 2.使金屬失去延展性或原來的強度而至破裂。	1. 定期測厚可了解腐蝕的情形。	適當的鍍層 於短時間內完成焊接或於焊接完成後進行適當之熱處理。
1.12 觸媒洩放噴嘴 /n	1.內部腐蝕 2.氫脆破壞 3.沖蝕破壞	1.化學腐蝕：高溫氧化。 電化學腐蝕：異金屬焊道腐蝕。 2.氫原子滲入金屬原子間的晶格。 3.機械力沖刷導致材料損耗。	1.金屬氧化產生銹皮，銹皮因持續成長而可能剝落，阻塞於噴嘴口處，使得反應爐內部壓力突然升高，對元件造成損傷。生成之銹皮使實際有用之板厚減薄。噴嘴口部份以焊接法結合，焊接區域會有熱影響區及存在殘留內應力。 2.使金屬失去延展性或原來的強度而至破裂。 3.實際有用之板厚減薄。	1. 定期測厚可了解腐蝕的情形。	適當的鍍層 於短時間內完成焊接或於焊接完成後進行適當之熱處理。

表 6.3 氫氣產生器危害與可操作分析(續)

項目	破壞機制	可能原因	可能後果	防護措施	改善建議
1.13 觸媒洩 放噴嘴 /1	1.氫脆破壞	1.氫原子滲入金屬原子間的晶格。	1.使金屬失去延展性或原來的強度而至破裂。	1. 定期測厚可了解腐蝕的情形。	適當的鍍層可減緩這類腐蝕發生。
1.14 人孔/n	1.內部腐蝕 2.外部腐蝕 3.氫脆破壞	1.化學腐蝕：高溫氧化。 電化學腐蝕：異金屬焊道腐蝕。 2.化學腐蝕：高溫腐蝕，低溫腐蝕。 3.氫原子滲入金屬原子間的晶格。	1.金屬氧化產生銹皮，銹皮因持續成長而可能剝落，阻塞於噴嘴口處，使得反應爐內部壓力突然升高，對元件造成損傷。生成之銹皮使實際有用之板厚減薄。異金屬焊道腐蝕：噴嘴口部份以焊接法結合，焊接區域會有熱影響區及存在殘留內應力。可能造成材料微觀結構的改變，導致材料強度、抗潛變、抗疲勞能力等變差。構件存在殘留內應力於腐蝕環境中易產生應力腐蝕加速構件破漏之發生。 2.實際有用之板厚減薄。 3.使金屬失去延展性或原來的強度而至破裂。	1. 定期測厚可了解腐蝕的情形。	1&3.適當的鍍層 於短時間內完成焊接或於焊接完成後進行適當之熱處理。
1.15 人孔/1	1.內部腐蝕 2.氫脆破壞 3.延性破壞	1.化學腐蝕：高溫氧化。 電化學腐蝕：異金屬焊道腐蝕。 2.氫原子滲入金屬原子間的晶格。 3.噴嘴口遭阻塞，使爐內壓力持續增高。	1.金屬氧化產生銹皮，銹皮因持續成長而可能剝落，阻塞於噴嘴口處，使得反應爐內部壓力突然升高，對元件造成損傷。生成之銹皮使實際有用之板厚減薄。異金屬焊道腐蝕：噴嘴口部份以焊接法結合，焊接區域會有熱影響區及存在殘留內應力。可能造成材料微觀結構的改變，導致材料強度、抗潛變、抗疲勞能力等變差。構件存在殘留內應力於腐蝕環境中易產生應力腐蝕加速構件破漏之發生。 2. 使金屬失去延展性或原來的強度而至破裂。 3.破斷前噴嘴會有明顯變形。	1. 定期測厚可了解腐蝕的情形。	適當的鍍層 於短時間內完成焊接或於焊接完成後進行適當之熱處理。

表 6.3 氫氣產生器危害與可操作分析(續)

項目	破壞機制	可能原因	可能後果	防護措施	改善建議
1.16 測溫孔 /n	1.內部腐蝕 2.外部腐蝕 3.氫脆破壞	1.化學腐蝕：高溫氧化。 電化學腐蝕：異金屬焊道腐蝕。 2.化學腐蝕：高溫腐蝕，低溫腐蝕。 3.氫原子滲入金屬原子間的晶格。	1.金屬氧化產生銹皮，銹皮因持續成長而可能剝落，阻塞於噴嘴口處，使得反應爐內部壓力突然升高，對元件造成損傷。生成之銹皮使實際有用之板厚減薄。異金屬焊道腐蝕：噴嘴口部份以焊接法結合，焊接區域會有熱影響區及存在殘留內應力。可能造成材料微觀結構的改變，導致材料強度、抗潛變、抗疲勞能力等變差。構件存在殘留內應力於腐蝕環境中易產生應力腐蝕加速構件破漏之發生。 2.實際有用之板厚減薄。 3.使金屬失去延展性或原來的強度而至破裂。	1. 定期測厚可了解腐蝕的情形。	1&3. 適當的鍍層 於短時間內完成焊接或於焊接完成後進行適當之熱處理。
1.17 測溫孔 /1	1.內部腐蝕 2.氫脆破壞	1.化學腐蝕：高溫氧化。 電化學腐蝕：異金屬焊道腐蝕。 2.氫原子滲入金屬原子間的晶格。	1.金屬氧化產生銹皮，銹皮因持續成長而可能剝落，阻塞於噴嘴口處，使得反應爐內部壓力突然升高，對元件造成損傷。生成之銹皮使實際有用之板厚減薄。異金屬焊道腐蝕：噴嘴口部份以焊接法結合，焊接區域會有熱影響區及存在殘留內應力。可能造成材料微觀結構的改變，導致材料強度、抗潛變、抗疲勞能力等變差。構件存在殘留內應力於腐蝕環境中易產生應力腐蝕加速構件破漏之發生。 2.使金屬失去延展性或原來的強度而至破裂。	1. 定期測厚可了解腐蝕的情形。	適當的鍍層 於短時間內完成焊接或於焊接完成後進行適當之熱處理。

表 6.3 氫氣產生器危害與可操作分析(續)

項目	破壞機制	可能原因	可能後果	防護措施	改善建議
1.18 Impingement plate /n	1. 內部腐蝕 2. 疲勞破壞 3. 水槌現象 4. 氫脆破壞	1.化學腐蝕：高溫氧化。 電化學腐蝕：異金屬焊道腐蝕。 2. 進料噴嘴承受變動應力。 3. 噴嘴口局部阻塞。 4. 氫原子滲入金屬原子間的晶格。	1.金屬氧化產生銹皮，銹皮因持續成長而可能剝落，阻塞於噴嘴口處，使得反應爐內部壓力突然升高，對元件造成損傷。生成之銹皮使實際有用之板厚減薄。異金屬焊道腐蝕：噴嘴口部份以焊接法結合，焊接區域會有熱影響區及存在殘留內應力。可能造成材料微觀結構的改變，導致材料強度、抗潛變、抗疲勞能力等變差。構件存在殘留內應力於腐蝕環境中易產生應力腐蝕加速構件破漏之發生。 2.在變動的應力下使裂縫萌生。 3.同 1。 4.使金屬失去延展性或原來的強度而至破裂。	1. 定期測厚可了解腐蝕的情形。	
1.19 支撐環/n	1. 內部腐蝕 2. 氫脆破壞 3. 疲勞破壞 4. 延性破壞	1.化學腐蝕：高溫氧化。電化學腐蝕：異金屬焊道腐蝕。 2. 氫原子滲入金屬原子間的晶格。 3. 進料噴嘴承受變動應力。 4. 噴嘴口遭阻塞，使爐內壓力持續增高。	1.金屬氧化產生銹皮，銹皮因持續成長而可能剝落，阻塞於噴嘴口處，使得反應爐內部壓力突然升高，對元件造成損傷。生成之銹皮使實際有用之板厚減薄。異金屬焊道腐蝕：噴嘴口部份以焊接法結合，焊接區域會有熱影響區及存在殘留內應力。可能造成材料微觀結構的改變，導致材料強度、抗潛變、抗疲勞能力等變差。構件存在殘留內應力於腐蝕環境中易產生應力腐蝕加速構件破漏之發生。 2.使金屬失去延展性或原來的強度而至破裂。 3.在變動的應力下使裂縫萌生。 4.破斷前噴嘴會有明顯變形。	1. 定期測厚可了解腐蝕的情形。	適當的鍍層、於短時間內完成焊接或於焊接完成後進行適當之熱處理。
1.20 襯裙-胴身焊道	1. 外部腐蝕	1.化學腐蝕：高溫腐蝕，低溫腐蝕。	1.高溫腐蝕，低溫腐蝕：生成之銹皮使實際有用之板厚減薄。	1. 定期測厚可了解腐蝕的情形。	1.材料的選擇是最重要的一環。

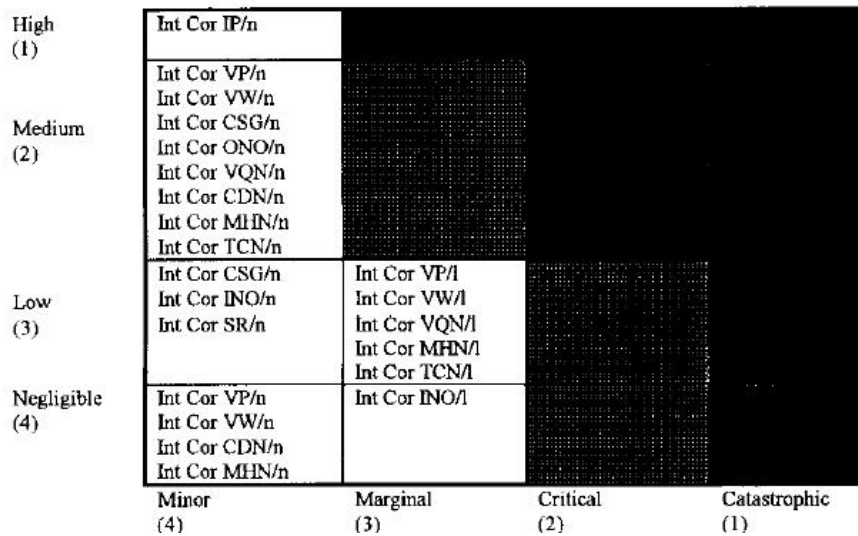


圖6.12 氫氣產生器風險評估圖

表6.4 氫氣產生器進行Hazop分析時所考慮之損傷機理及結構特徵

損傷機構	結構特徵
內部腐蝕	容器端版
外部腐蝕	容器焊道
孔蝕	觸媒網閘
疲勞（熱疲勞、機械性疲勞等）	入口噴嘴
脆化	出口噴嘴
氫氣損傷（脆化、HIC、SOHIC等）	蒸氣冷卻噴嘴
水槌	觸媒洩放噴嘴
延性破壞	人孔噴嘴
脆性破壞	熱電耦噴嘴
機械性破壞	Impingment plate
沖蝕	支撐環、襯裙與容器間的焊道

二、氫氣產生器損傷機構檢測方法之選擇

根據上述風險及危害分析的結果，對應於各種損傷類型，選定非破壞檢測方法為在管板及擋板部分，並參考附錄 3 各種非破壞檢測方法所能檢測之缺陷型態，採用檢測方法如表 6.5 所示。

非破壞性檢測方法是用來鎖定為了提高安全性之區域與高風險之局部特定位置，隨著可靠度變化，特定的檢測技術會針對於特定形式的損害做檢測，除此之外其他 HAZOP 所定義的較不重要區域也將一併被注意，如同在噴嘴可能的破壞機制為內部焊接腐蝕為第一考量；對於在氫氣產生器外殼圓周方向或徑向焊接之任何破壞形式之極限破壞，是被認為利用失敗機制去做預定檢測最好的方法，但是檢測及測試保證應該被注意是否違反法令之規定。

檢測結果假設發現觸媒洩放噴嘴管身部分腐蝕最為嚴重，且用 C-Scan 超音波檢測法檢測結果數據如表 6.6。

假設觸媒洩放噴嘴管身部分最小容許厚度為 6mm；材質為鋼管，可靠度要求設為 99.99%，假設統計分析模型分析結果，擬合度最佳之分布為 Weibull 分布。

表6.5 氫氣產生器非破壞檢測規劃

- 1.使用 C-Scan 超音波檢測法，檢測觸媒洩放噴嘴下端點的腐蝕映像
- 2.使用 C-Scan 超音波檢測法，檢測位於出口噴嘴與盲封法蘭間的出口彎管的腐蝕映像
- 3.使用磁粒線檢測法，檢測位於入口噴嘴與胴體的焊道外表面所可能發生的疲勞裂縫
- 4.使用飛行時間繞射法，檢測位於出口噴嘴與盲封法蘭間的出口彎管的腐蝕映像
- 5.使用 C-Scan 超音波檢測法，檢測 1m² 的底端板的腐蝕映像
- 6.使用超音波測厚法，在所有指示器處，檢測、監視壁厚變化

表 6.6 觸媒洩放噴嘴管身壁厚歷年檢測數據表(Millimeter)

位置	第 1 年	第 2 年	第 4 年	第 6 年	第 8 年	第 10 年	第 12 年
1	7.75	7.62	7.57	7.65	7.49	7.39	7.37
2	7.82	7.75	7.67	7.72	7.49	7.47	7.49
3	7.90	7.90	7.72	7.75	7.62	7.59	7.49
4	8.03	7.90	7.87	7.95	7.75	7.62	7.62
5	8.08	8.08	7.90	7.98	7.82	7.75	7.67
6	8.15	8.08	7.95	8.00	7.85	7.82	7.82

三、氫氣產生器壽命評估(一)數據統計分佈分析：根據前章數據統計分布分析之方法，經擬合度測試，獲得最佳之統計分布為 Weibull 分布，其中累積密度分布函數(CDF) $F(x)$ 及機率密度函數(PDF) $f(x)$ 分別為：

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{h}\right)^b}$$

$$f(t) = \frac{b}{h} \left(\frac{t}{h}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{t}{h}\right)^b}$$

由上式可得各年觸媒洩放噴嘴管身壁厚歷年檢測之 Weibull 分布參數如圖 5.13。

(二) 氫氣產生器壽命評估：假設觸媒洩放噴嘴管身壁厚最小厚度為 6mm，由圖 中，我們發現觸媒洩放噴嘴管身壁厚歷年檢測厚度分布圖基本上為平行，由此可以假設觸媒洩放噴嘴管身損傷型態為均勻腐蝕。

由已知管陣設計最小需求厚度為 6mm，考慮該觸媒洩放噴嘴管身的可靠度要求設為 99.9%。則觸媒洩放噴嘴管身的最終可用壽命時的累積密度分布函數 $F(x)$ ：

$$F(6) = 0.01\% = 1 - \exp\{-\exp[(6/)^b]\}$$

此處，由於觸媒洩放噴嘴管身的損傷型態為均勻腐蝕，故可設 $b = 52.5202$ ，而得 $h = 7.6479$ 。

以歷年觸媒洩放噴嘴管身的特徵厚度作為壽命評估的基礎，可得年腐蝕率 C_R 為：

$C_R = t / \text{year} = (t_{12} - t_1) / (12 - 1) = 0.034(\text{mm}/\text{年})$ 因此熱交換器的剩餘壽命為：

$$L_R = t / C_R = (t_{12} - t_a) / C_R = 14.2 \text{ year}$$

故該觸媒洩放噴嘴管身的剩餘壽命為 14.2 年。

四、氫氣產生器開放檢查周期：設備開放檢查周期依下式計算：

$$P = f_e \times f_c \times f_m \times L_R = a \times L_R \quad 10 \text{ 年}$$

由附錄三設事業單位自評計算結果，假設得到設備修正因子 (f_e)、重要度修正因子 (f_c) 及管理修正因子 (f_m) 分別為： $f_e=0.75$ 、 $f_c=0.8$ 、 $f_m=0.82$ ，則：

$$P = f_e \times f_c \times f_m \times L_R = a \times L_R = 0.75 \times 0.8 \times 0.82 \times 7.0 = < 10 \text{ 年}$$

故下次開放內部檢查期限應設在 7 年以內。

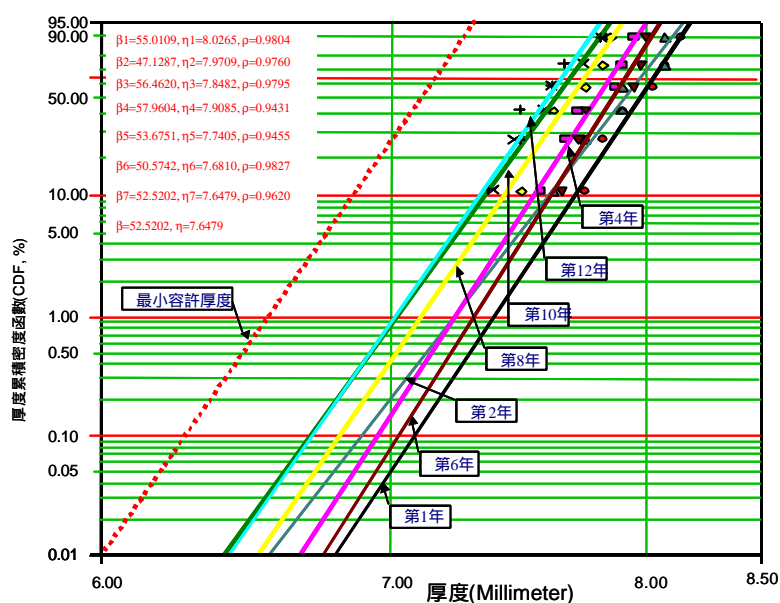


圖6.13 歷年觸媒洩放噴嘴管身厚度示意圖

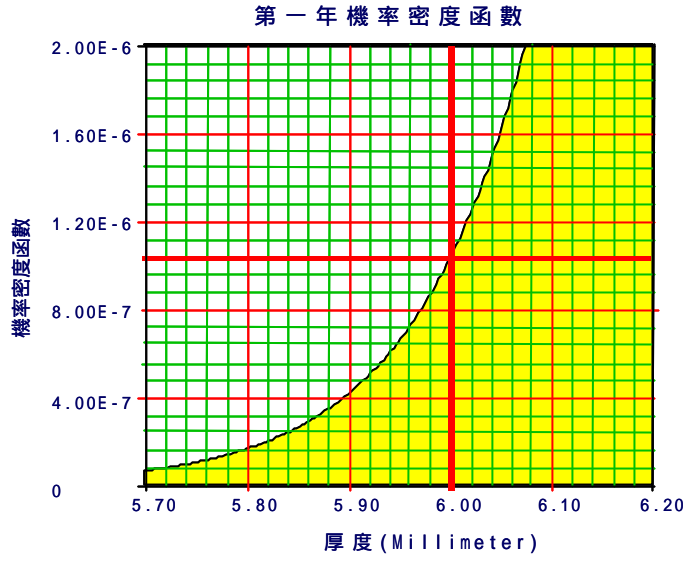


圖6.14 第一年觸媒洩放噴嘴管身厚度分布圖

表6.7 相對於最小要求厚度之各年度失效機率

第 1 年	第 2 年	第 4 年	第 6 年	第 8 年	第 10 年	第 12 年
1.12×10^{-5}	1.54×10^{-4}	2.60×10^{-5}	1.12×10^{-5}	1.15×10^{-4}	3.76×10^{-4}	2.92×10^{-4}

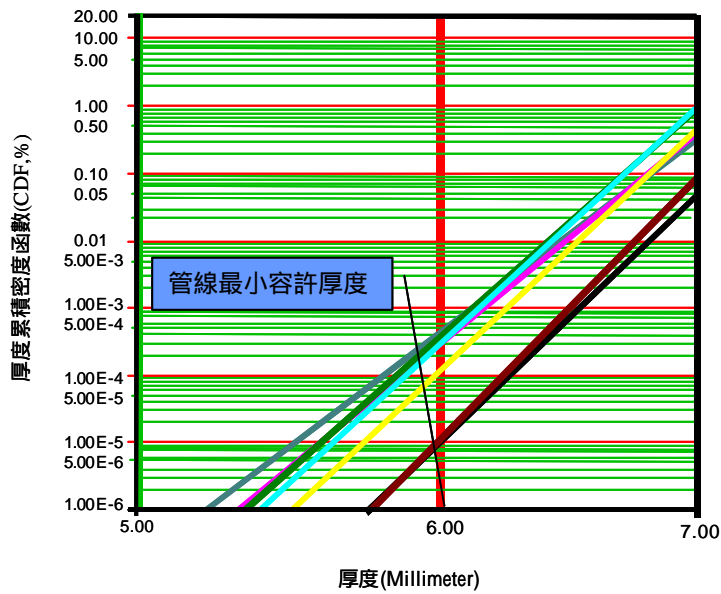


圖6.15 歷年觸媒洩放噴嘴管身厚度失效可靠度圖

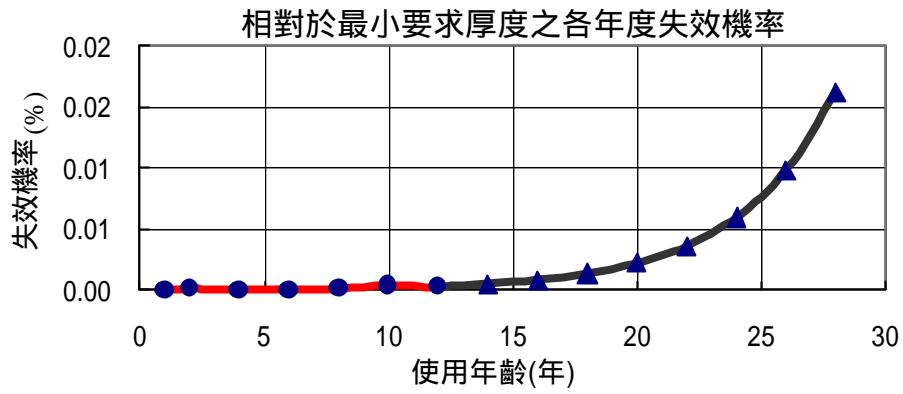


圖 6.16 歷年觸媒洩放噴嘴管身厚度失效機率圖

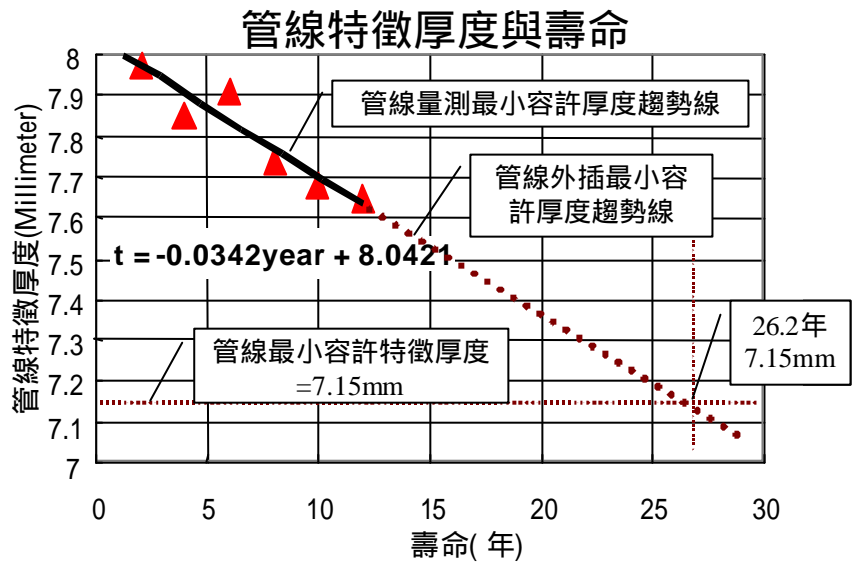


圖 6.17 觸媒洩放噴嘴管身厚度減薄趨勢圖

第七章 討論

第一節 法規體系建構部分

有關危險性設備之檢查，日本係由政府明訂詳細的法規標準，並由檢查機構及其代行檢查機構實施檢查；而歐美等國家，係透過政府認證機制，授權由民間保險公司等進行檢查工作，而具體法規規範部分，則透過引用相關標準的機制，指定民間相關協會的標準，如 ASME CODE、API CODE、NBIC 等。

在日本，高壓氣體特定設備及高壓氣體容器係由產業經濟省管理，鍋爐係由厚生勞動省管理。日本對於上述危險性設備之安全規範，係經過長期結合各界力量，如政府管制單位之產業經濟省、厚生勞動省、民間業者、研究機構、民間協會如高壓氣體保安協會、壓力容器協會及鍋爐協會等，日積月累所建立起之政府與業者能共同遵循的規範；另一方面，歐美國家鑑於危險性設備安全規範的繁雜且技術導向，乃透過法令直接引用標準的方式，由民間單位進行相關標準的定期檢討，如美國機械工程師協會(ASME)、美國石化協會(API)、國家鍋爐及壓力容器檢查員協會(NB)對其所屬之 ASME CODE、API CODE、NBIC 等標準每兩年修訂一次。總的來說，無論日本或美國，其危險性設備安全檢查規範皆很難經由一機構在短期內建構完成。

相較於國外作法，以我國的政府的人力及資源，實務上的確難以負荷各式各樣的設備標準不斷改進與修訂，我國似可參考國外作法，由政府輔導成立危險性設備標準工作小組或相關協會，尤其經常性的召集民間業者、政府代表、學者專家交換意見，定期性地檢討相關法令要求，以因應危險性設備檢查技術規範不斷更新之趨勢。

第二節 自行檢查體系建構部分

目前我國對於危險性設備的檢查工作係由政府檢查機構及代行檢查機構實施，對於危險性設備的替代或延長檢查則由事業單位向檢查機構提出申請後，由檢查機構審查檢查。唯目前不論日本或美國，除了由檢查單位實施檢查外，另設計有自行檢查的機制，如第二章所述，美國的 Owner/User Program 及日本產業經濟省的「自主保安檢查認定制度」與厚生勞動省的「鍋爐等 4 年連續運轉認定要領」，事業單位可就其本身的專業人員、組織架構、管理制度等狀況向主管機關提出申請，經審查合格後，在其有效時間內，由事業單位自身實施危險性設備的檢查，實現自主安全管理的目的。

由於有愈來愈多事業單位要求比照國外作法，依據設備的風險大小及剩餘壽命多寡，擬訂開放內部檢查週期，或以替代檢查方式實施定期檢查，使其能在安全的基礎上，亦能兼顧事業單位生產需求，而非目前僅以實施內部檢查有困難的設備為限。再加上個別設備的安全性與整個系統有密切的關聯，從以往危險性設備所發生的事故來看，其安全性與周邊製程系統環環相扣。且個別設備為審理對象可能面臨檢查人力窮於應付，鑑於我國現有為數龐大的危險性設備，依法事業單位只要提出申請實施延長或替代檢查，檢查機構即需受理審查，以目前檢查機構的人力與時間，要針對的各個危險性設備逐一進行審核評估，委實難以應付。反觀國外作法，提供事業單位以整個設備系統考量，就事業單位的安全管理、設備風險等情況，核定其自行檢查的機制，故就安全性與事業單位整體營運需求而言，國外作法似可借鏡。

第三節 特殊危險性設備之檢查

一、有關平底低溫儲槽、液氮、液氧、液氫及不具腐蝕性之高壓氣體特定設備，國外定期內部檢查規定如下：

(一) 美國的定期檢查規定：美國的壓力容器及鍋爐定期檢查屬

州政府管轄，以美國華盛頓州（Chapter 70.79 RCW, Boilers and unfired pressure vessels）規定為例，對於不具腐蝕性的壓力容器不需要實施內部檢查。

（二）日本的定期檢查規定：日本法規（高壓氣體保安法、一般高壓氣體保安規則、液化石油氣體保安規則、有關高壓氣體設備耐壓測試之內部及外部檢查確認期限等相關處置之修正通知）對於平底低溫儲槽（含隔膜(membrane)式）、汽化器(cold evaporator)、液態氧、液態氮、液態氫之儲槽，在設備內部或從設備的內部進行的檢查之檢查方法尚未確立前，有關之耐壓、氣密及內部厚度之檢測規定不適用（即可排除之）。

（三）德國的定期檢查規定：依據德國壓力容器規則（Order on pressure vessels, gas pressure vessels and filling plants, 【Pressure vessel order- Druckbeh V】），對於非腐蝕性氣體或氣體混合的壓力容器的內部檢查為每隔 10 年實施一次，每隔 2 年實施外部檢查一次。前述之壓力容器，若為供應大眾使用之氣體的高壓貯存容器，假如每隔 2 年由授權檢查員實行外部非破壞檢查，且未發現任何缺陷，則內部檢查及水壓測試的週期可延長至 15 年。具下列情況的壓力容器，前述定期內部檢查可免除實施。

- 1.單獨使用於貯存符合標準純淨度丙烷、丁烷或二者混合物之壓力容器。
- 2.壓力容器內部無加熱環或補強環等內部附件，且
- 3.容量不超過 3 噸。

對於低溫（操作溫度低於 -10C 以下）氣體或氣體混合的壓力容器，僅規定在大修等停機狀況下，才需實施定期內部檢測及定期壓力檢測。

綜合上述各國的規定，對於低溫及不具腐蝕性的設備普遍傾向不強制實施內部開放檢查。我國似可比照國外作法，以外部檢查加上周邊安全裝置之定期測試替代該等設備之內部檢查。有關不具腐蝕性之定義，可比照 API510 之規定：設備之確實腐蝕率低於 0.0254mm/年(0.001 吋/年)，只要設備運轉條件不變更，且完全符合下列條件時，可不需要執行高壓設備之內部檢查：

- 1)該設備之內容物曾有五年相同運轉而無腐蝕之紀錄。
- 2)外部檢查時未發現可疑問題點。
- 3)操作溫度低於設備本體材料可能產生潛變破壞溫度下限值。
- 4)設備的內容物無被腐蝕物污染的可能性。

二、國外並無針對屬於連續性生產設備的高壓氣體特定設備，訂定特別的定期內部檢查規定；但對於壓力設備的內部檢查期限，除定期開放內部的檢查方式外，另有以下列擬訂檢查期限的方法及實施方式可供事業單位採行：

(一)美國的定期檢查規定：美國對於壓力容器的內部檢查期限，以美國華盛頓州規定為例，州法規規定對於獲得 Owner/user program 的事業單位，可以依據 NBIC(National Board Inspection Code) 或 API510(American Petroleum Institute)的內部檢查期限規定實施檢查；亦即依據設備壽命評估的結果，取剩餘壽命的一半為下次內部檢查的年限，但最長不超過十年。

API510 標準使用於石化工廠的壓力設備，而 NBIC 標準則使用於非石化工廠的設備。無論 NBIC 或 API510 對於內部檢查期限的訂定準則，則是依據設備壽命評估的結果，取剩餘壽命的一半為下次的檢查期限，但最長不超過十年。關於檢查方法，對於無法或不能實施開放內部檢查的設備，API510 規定事業單位可以運轉中檢查 (On-Stream

Inspection) 替代。API510 亦規定事業單位可以選擇使用風險基的評估方法，擬訂設備檢測計畫及檢測頻率；亦即允許事業單位由工廠內部整體系統的風險評估著手，依設備的風險程度，規劃個別設備的檢測方法及週期。此外，事業單位亦可申請實施自主安全檢查 (Owner/User Program)，賦予事業單位自行實施設備安全檢查的機制。

Onwer/user program 為一授權事業單位自行實施定期檢查的方案。事業單位經 NB 或政府管制機關審核其組織架構、檢查人員及檢查方案等要求條件後，該事業單位即成為 Onwer/user inspection organization，其所屬之壓力容器就由該事業單位自行實施定期檢查。

(二) 日本的定期檢查規定：日本對於高壓氣體特定設備內部檢查期限的擬定方法，除依設備種類、材質，以表列方式規定實施內部檢查的期限外 (相同於我國的規定)，另有下列方式可供事業單位採行：

1. 事業單位可以透過申請取得高壓氣體自主保安檢查認定，在認定保安檢查期限內，可就事業單位內的設備剩餘壽命評估結果，擬訂內部檢查的期限與方法，並由事業單位本身執行檢查。
2. 事業單位經地方行政首長認可，可延長前述表列所規定之內部檢查期限，從三年到十年不等。另儲槽類高壓氣體特定設備定期內部檢查期限最長亦可依計算所得之剩餘壽命一半實施。
3. 事業單位經地方行政首長認可，其所屬之儲槽類高壓氣體特定設備可以由外部的非破壞檢查替代內部檢查，並依設備歷年腐蝕劣化狀況，擬訂下次開放內部檢測期限。

比較上述國外作法，我國現階段似可將針對屬於連續製程的高壓氣體特定設備，納入為實施內部檢查有困難的設備，事業單位可就其提出替代檢查申請。

第八章 結論與建議

第一節 結論

本研究針對危險性設備替代檢查，提出檢查評估方法及技術指引，其內容涵蓋下列事項：

- 一、針對危險性設備替代檢查方案，訂立事業單位應提出之文件內容，如構造檢查合格明細表、構造詳圖；自動控制系統圖及安全保護裝置；安全衛生管理狀況；自動檢查計畫暨執行紀錄；緊急應變處置計畫；檢查替代方案建議書實質內容等。
- 二、建立危險性設備替代檢查技術方法及指引，其內容包括：
 - (一)危險性設備各種可能之損傷機制(Damage mechanisms)評析與說明
 - (二)各種可能之損傷機制檢測方法。
 - (三)危險性設備之風險評估，據以作為檢測實施方法依據。
 - (四)檢測數據之處理與分析。
 - (五)擬訂可接受之內部檢查週期。

第二節 建議

- 一、未來可先徵選事業單位依本研究研擬之「危險性設備延長或替代檢查審查指引」試辦。
- 二、關於替代檢查方法部分，牽涉到檢查方法的選擇，鑑於各種設備內在結構、材質、內容物及外在檢查方法的多樣性及異質性，目前國內外並無替代檢查方法的統一審查標準，未來可就此一部份進行進一步的研究；另外，建議鼓勵性質相近之產業提出個別產業替代檢查基準，再透過行政程序，引用為檢查審查之基準。
- 三、建議政府輔導成立危險性設備標準工作小組或相關協會，透過經常性的召集民間業者、政府代表、學者專家交換意見，定期性地檢討相關法令要求，再據以引用為法令規章。
- 四、建議建置事業單位自行檢查的機制，就事業單位的安全管理、設

- 備風險等情況，核定其自行檢查，以達到自主安全管理的目的。
- 五、對於低溫及不具腐蝕性的設備國外普遍傾向不強制實施內部開放檢查。我國似可比照國外作法，以外部檢查加上周邊安全裝置之定期測試替代該等設備之內部檢查。有關不具腐蝕性之定義，可比照 API510 之規定。
- 六、建議將屬於連續製程的高壓氣體特定設備，納入為實施內部檢查有困難的設備，事業單位可就其提出替代或延長檢查申請。

參考文獻

- [1] 行政院勞工委員會，”NBIC Inspector Training”，Aug28- Sep.1,2000，台北。
- [2] 行政院勞工委員會，91.6.12; “勞工安全衛生法”。
- [3] 行政院勞工委員會，91.4.25; “勞工安全衛生法施行細則”。
- [4] 行政院勞工委員會，90.12.12; “危險性機械及設備安全檢查規則”。
- [5] 張銘坤，2000；“壓力容器不開放檢查之技術規範建立研究”，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所研究報告，IOSH89-S132。
- [6] Woodhouse, J., “ What shutdowns, why and when? ” ERTC Conference, Sep. 2000。
- [7] Holland M. L., “Cost saving achievable through application of risk based inspection philosophies” Risk, Economy and safety, Failure Minimisation and Aanalysis.
- [8] Washington State, USA, “ Boilers and Unfired Pressure Vessels,” Chapter 70.79 RCW.
- [9] Washington State, USA, “ Board of Boiler Rules--Substantive,” Chapter 296-104 WAC.
- [10] American Petroleum Institute , “ API510;Pressure vessel inspection code: Maintenance inspection,Rating, Repair, and Alteration” , Dec. 2001。
- [11] The National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors (NBBI), “ National Board Inspection Code” , 19th.,1998。
- [12] The National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors (NBBI), “ Owner/User Program” ,
www.nationalboard.org/Programs/ouprog.html。
- [13] American Petroleum Institute , “ API579 : Fitness-for-Service” , Jan. 2000。
- [14] American Petroleum Institute , “ API581 : Risk Based Inspection Base Resource Document” , May. 2000。
- [15] 勞動基準調查會， “ 安衛法便覽” ，日本，平成13年度版。
- [16] 高壓氣體保安協會， “ 高壓氣體保安法規集” ，日本，平成13年度改訂版。

- [17] 日本高壓力協會， “ HPIS Z 101 壓力機械的龜裂狀缺陷評價方法”， 日本， 平成13年。
- [18] Washington State, USA, “ Boilers and Unfired Pressure Vessels,” Chapter 70.79 RCW.
- [19] Washington State, USA, “ Board of Boiler Rules--Substantive,” Chapter 296-104 WAC.
- [20] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section II, 1986 Ed., American Society of Mechanical Engineers.
- [21] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section XI, 1989 Ed., American Society of Mechanical Engineers.
- [22] Sütterlin, L. and Liemersdorf, H., “Probabilistic Risk Assessment of Nuclear Power Plants for Seismic Events in the Federal Republic of Germany,” *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 110, pp. 165-169. 1988.
- [23] Pradlwarter, H. J., Schuëller, G. I. Jehlicaka, P. and Steinhilber, H., “Structural Failure Probabilities of the HDR-Containment,” *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 128, pp. 237-246., 1991.
- [24] Ho, V. and Apostolakis, G., “COMPBRN – a Computer Code for Probabilistic Fire Risk Analysis,” *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 138, pp. 357-373., 1992.
- [25] Aggarwal, M. L., Kozluk, M. J., Lin, T. C., Manning, B. W. and Vijay, D. K., “A Leak-before-break Strategy for CANDU Primary Piping Systems,” *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol. 25, pp. 239-256., 1986.
- [26] Phillips, C. M. G. and Warsick, R. G., “A Survey of Defects in Pressure Vessels Built to High Standard of Construction and its Relevance Nuclear Primary Circuit Envelops,” AHSB(S) R162, United Kingdom Atomic Energy Authority, 1967.
- [27] ASME *Power Piping*, 1977 Ed., American Society of Mechanical Engineers.
- [28] 蔡長艷， 工業配管學， 全華科技圖書公司， 1998.
- [29] Sir, R. A., Kokarakis, J. E., Wells, C. H. and Taylor, P. K., “ A Probabilistic Structure Life Prediction System for Container Ship Repair and Inspection,” *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol. 50, pp. 297-315, 1992.

- [30] Kurth, R., Leis, B., Cox, D. and Pan, J., “Probabilistic Analysis of Piping Systems,” *Battelle Columbus Laboratories*, Columbus, Ohio.
- [31] Wilson, S. A., “Estimating the Relative Probability of Pipe Severance by Fault Cause,” *Report GEAP-20616*, General Electric Company, 1974.
- [32] American Petroleum Institute, 1999; “API 510 Pressure Vessel Inspection Code”.
- [33] American Petroleum Institute, 1998; “API 572 Inspection of Pressure Vessel”.
- [34] American Petroleum Institute, 1998; “API 579 Recommended Practice For Fitness-For-Service”.
- [35] 日本高壓氣體保安協會，2001；“特定設備檢查規則、容器保安規則關係例示基準集”。
- [36] 今川博之，1998；“工廠之余壽命評估”。

附錄一 行政院勞工委員會北區勞動檢查所 受理危險性設備延長內部檢查期限或替代 檢查方式審查處理原則

(目的、依據)

壹、事業單位依「危險性機械及設備安全檢查規則」第一九條、第一三三條、第一五六條規定，對第一種壓力容器、高壓氣體特定設備、高壓氣體容器提出申請延長內部檢查期限或以其他替代檢查方式(以下簡稱替代方案)時，行政院勞工委員會北區勞動檢查所(以下簡稱本所)為建立審查處理程序，以便審查核定及輔導、協助事業單位申請替代方案，爰訂定本處理原則。

(應檢附之文件)

貳、事業單位設置之危險性設備如無法依規定期限實施內部檢查時，得於內部檢查有效期限屆滿前三個月，檢附下列書面資料，向本所提出申請替代方案審查。

1. 生產流程圖說，如附件一。
2. 構造檢查合格明細表、構造詳圖，如附件二。
3. 自動控制系統圖及安全保護裝置，如附件三。
4. 安全衛生管理狀況，如附件四。
5. 自動檢查計畫暨執行紀錄，如附件五。
6. 緊急應變處置計畫，如附件六。
7. 檢查替代方案建議書，如附件七。

(審查機制)

參、本所受理事業單位申請後，如為單座設備由本所依規定審查；如為連續生產設備，則由本所先將案件函請轄區內之代行檢查機構就事業單位申請資料及依歷年定期檢查之狀況提附審查意見，送交本所辦理。

(審查會)

肆、本所受理替代方案時，得邀集產官學等專家召開審查會議審查，

必要時並得赴現場實施檢查，據以作出審查決議。

(核定後之檢查)

伍、對經核定實施替代方案之設備，代行檢查機構應依本所核定之替代檢查方式、延長開放檢查期限實施定期檢查。

(監督檢查)

陸、經核定替代方案之設備，本所將列為重點監督檢查對象，若發現事業單位對所核定替代方案之設備，未依核定替代方案辦理管理及檢查者，或發生職業災害時，本所得撤銷該替代方案之核可，經撤銷核可之事業單位應即向代行檢查機構申請內部檢查。

(實施)

柒、本處理原則自九十一年二月二十日起適用於本所轄區內事業單位，並公告於本所網站。

附件一 生產流程圖說：

- 一、應說明申請對象設備無法實施內部檢查之原因及適用「危險性機械或設備安全檢查規則」之條、款。
- 二、應提出製程生產流程示意圖、化學反應式及相關製程說明，並以有色筆標示擬申請對象設備，另對管線內容物之物化性、各節點操作溫度、壓力、流向及安全裝置均應詳加說明。
- 三、應說明申請對象設備之材質、內容物及其化學性質、操作溫度及壓力等，說明及評估內容物對設備及安全裝置材質之腐蝕劣化之影響及相關資料
- 四、說明使用材質之潛變破壞下限溫度，對於操作壓力或溫度有變動時，應特別說明循環負荷之情形，另應說明製程異常時之可能最高溫度、最高壓力。
- 五、以熱煤油作為熱源者，另應提出熱煤油之性質、更換或補充之時間表及執行情形。

附件二 構造檢查合格證明細表、構造詳圖

- 一、應提出申請對象設備檢查合格證(或檢查結果證明)影本、構造詳圖及構造明細表影本。

- 二、說明申請對象設備設計、製造所依據之規範。
- 三、說明申請對象設備之人孔、清掃孔及檢查孔之尺寸及數量。
- 四、說明其外部有無保溫材或內部有無不易腐蝕之內襯，是否設有腐蝕測定片或其他腐蝕率測定裝置及電位保護裝置。
- 五、內存觸媒、分子篩或其他內容物者，應說明觸媒、分子篩特性、使用年限（須檢附觸媒資料）及更換觸媒之期限、時間。
- 六、說明設備材質與內容物名稱及其化學性質、流速、操作溫度及操作壓力等，並說明內容物對設備材質之腐蝕性。

附件三 自動控制系統圖及安全保護裝置：

- 一、申請為單座設備者：應詳細說明該項設備有因升溫、洩漏、超壓或操作異常將會引起災害時之安全系統作動情形。
- 二、連續生產製程設備：應詳細說明整體製程安全自動控制系統及異常狀況時之安全自動控制系統作動情形。
- 三、高壓氣體容器：與申請為單座設備者同。

附件四 安全衛生管理狀況：

- 一、說明事業單位組織架構及安全衛生組織系統
- 二、說明自動檢查實施人員之分工權責(與本方案有關者為限；以下同)
- 三、說明檢測、維修實施人員之分工權責
- 四、詳細說明相關自主管理及自動檢查運作情形及該設備操作人員設置情形及檢附其相關證照。
- 五、承攬商管理機制
- 六、動火、侷限空間及特殊作危害業管制機制
- 七、說明最近二年職業災害發生情形及勞動檢查缺失事項之改善情形。

附件五 自動檢查計畫暨執行紀錄：

應提出申請對象設備之年度自動檢查計畫，詳細說明實施方式、使用儀器、實施人員、由實施人員及主管簽章確認之最近三年之自動檢查紀錄等資料外，對於不同設備或其他實施內部檢查困難者，另應分別提出下列自動檢查紀錄資料

- 一、依勞工安全衛生組織管理及自動檢查辦法（以下簡稱安自辦法）規定期間實施之本體、蓋板螺栓、管、閥及安全閥、緊急遮斷裝置、壓力表與其他安全裝置、自動警報裝置之自動檢查紀錄。壓力表、溫度計之性能檢測紀錄，安全閥、緊急遮斷裝置之作動試驗紀錄。
- 二、歷年超音波測厚紀錄及可顯示測厚位置之構造示意圖(拆除保溫材)，並據以預測腐蝕率及確保未開放檢查期間殘留厚度足夠。
- 三、具夾套構造之設備，內胴無法實施測厚者，其夾套部仍應依前述規定實施測厚檢查。
- 四、以抽真空夾層方式致無法拆除保溫材實施測厚者，另應提出最近一年內之每六個月真空度測試紀錄。
- 五、以冷箱包覆、保溫材包覆方式致無法拆除保溫材實施測厚者，應提出最近一年內之外觀檢查紀錄。
- 六、應提出最近一年內之槽體銲道(含熱影響區 HAZ.)非破壞探傷檢測(NDT)紀錄：非破壞探傷方法以超音波檢測(UT)為原則，不適用 UT 者，經審查會議決議同意者，得以其它非破壞探傷檢方法代替，並應說明實施檢測方法選擇，另該檢測紀錄應能明確顯示實施部位、檢測參數、檢測人員相關證照資格、依據規範、接受標準、檢測結果、判定人員總結意見等，並妥為評估有無缺陷及劣化情形。
- 七、實施申請對象設備剩餘壽命預測、劣化要因分析，並說明採取必要之因應對策。

附件六 緊急應變處置計畫

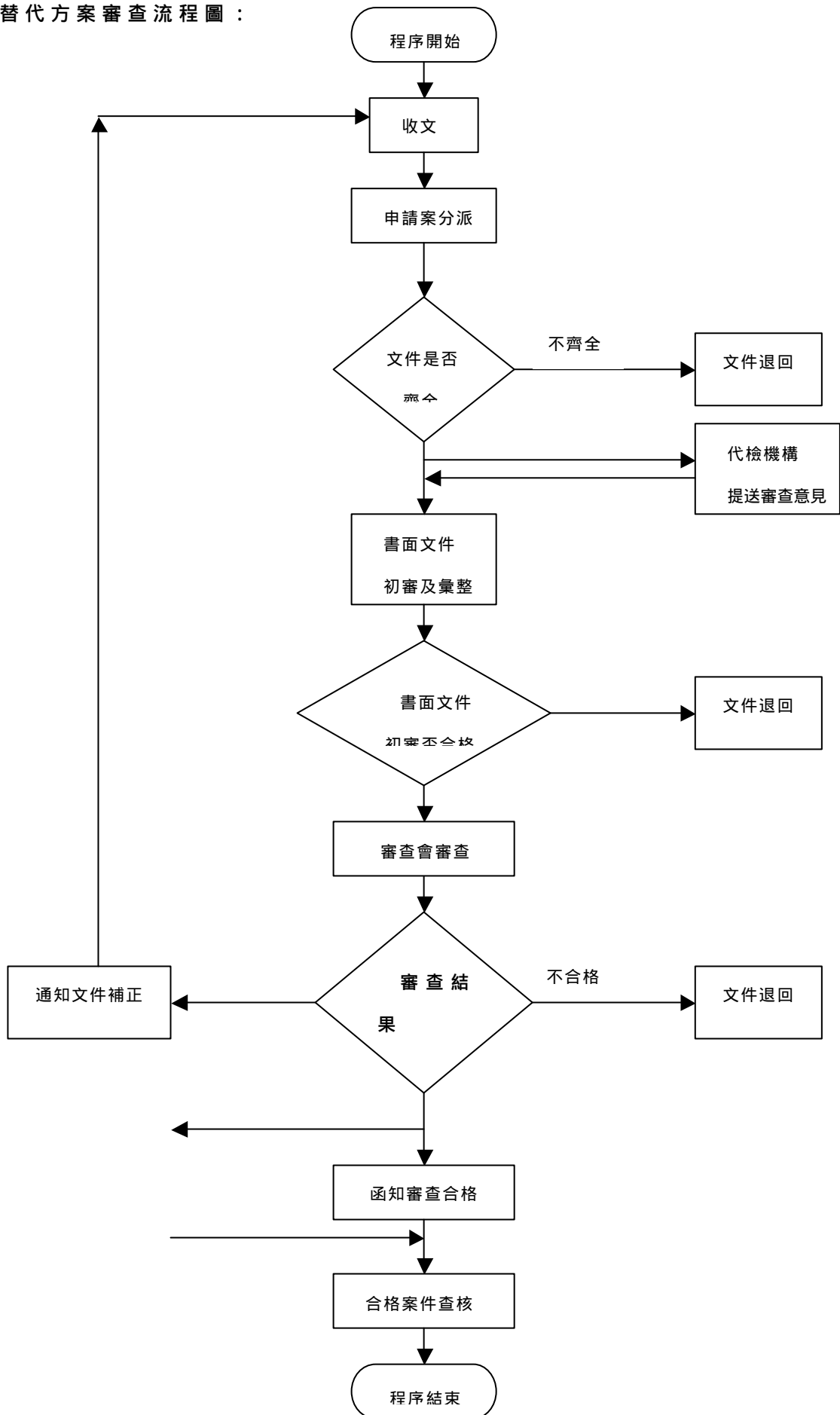
- 一、緊急應變運作流程與組織。(與該工作場所有關之緊急應變為限；以下同)
 - (一)緊急應變組織架構與權責。
 - (二)緊急應變控制中心位置與設施。
 - (三)緊急應變運作流程與說明。
- 二、緊急應變設備之配置及援外單位之聯繫。
- 三、緊急應變演練計畫與演練紀錄。(因全廠設備、管線、閥類超壓、漏洩、爆炸或火災發生緊急狀況之緊急處置。)
- 四、高壓氣體容器緊急應變處置計畫，另應包括高壓氣體灌裝及運送安全有關之緊急狀況處置(含緊急應變措施、緊急應變處理方法等)。
- 五、緊急應變之修正。

附件七 檢查替代方案建議書

其內容應以能確保於延長內部檢查期限或以其他檢查方式替代檢查期間，該設備或生產製程可持續安全操作為原則。替代檢查方案應包括下列各項，惟不適用者或實施有困難，不在此限。

- 一、實施申請對象設備剩餘壽命預測、劣化要因分析，並採取必要之因應對策，並據以初步擬定開放內部檢查年限，開放內部檢查年限最長以該設備剩餘壽命之二分之一為限，但最長不得超過十年。
- 二、對槽體銲道(含熱影響區 HAZ)、管台接合部等實施超音波檢測(UT)(或其他同效能之 NDT)，每年至少一次以上，並妥為評估有無缺陷及劣化情形。
- 三、對槽體實施實施超音波測厚檢查(有保溫層者，應拆除之)或其它相當效能之測厚檢查，每年至少一次以上。設有腐蝕片者應實施其腐蝕率之測定每年至少一次以上。
- 四、設有防腐蝕保護裝置者，應每年實施保護電位之測定一次以上。
- 五、以常用壓力之 1.1 倍以上之壓力實施內容物耐壓試驗每年至少一次以上。
- 六、安全閥每年應實施作動試驗一次以上。
- 七、緊急遮斷閥每月應實施作動試驗一次以上。
- 八、安全保護裝置每年實施功能測試檢查一次以上。
- 九、警報系統每半年測試一次以上。
- 十、對冷箱包覆之設備，每月應對其迫氣實施採樣分析一次以上或採取連續監控方式偵測分析。以抽真空夾層方式致無法拆除保溫材實施測厚者應實施真空度測試每月至少一次以上。
- 十一、每月對管路之凸緣及迫緊狀況確實實施自動檢查一次以上。
- 十二、內容物為可燃性者，應實施接地電阻測定。
- 十三、內容物為可燃性或毒性者，應對槽體、管線、閥實施洩漏檢查。
- 十四、內容物為可燃性者，應隨時對相關氣體洩漏警報裝置實施功能測試。
- 十五、其他審查建議事項。

替代方案審查流程圖：



附錄二 設備損傷相應之檢測方法

損傷機構	適用之非破壞檢測方法
內壁之減薄	VT、 UT、 RT
內壁之檢薄（包覆絕緣層）	VT、 UT、 RT、 PEC
因氫氣造成之破裂	VT、 PT、 TOFD
高溫氫氣造成破損	VT、 MT、 RT、 UT
表面裂縫	VT、 UT、 MT、 RT、 ET、 AET
潛變、機械變形	VT、 RT、 PT、 MT、 UT
脫層	VT、 UT
裂縫	VT、 UT、 PT、 MT、 RT、 ET
表面腐蝕裂縫、氣孔	VT、 UT、 PT、 MT、 RT、 ET、 TOFD
管壁減薄	VT、 UT

附錄三 開放檢查周期修正係數之計算

一、設備影響修正係數

表 1 損壞係數

損壞係數(DF, Damage Factor) 損壞係數是評估設備已知存在或潛在之損壞機制的風險，此損壞機制是指其會產生嚴重的事件者。			
如果存在已知的損壞機制，會造成碳鋼或低合金鋼的腐蝕 DF1 = 5	2		
如果碳鋼材料因為低溫操作，製程條件變異或材料未經適當的衝擊性試驗，而有急遽的脆化失效的可能 DF2 = 4	3		
在單元中已有機械引發的疲勞失效發生，而這個疲勞機制仍可能繼續發生，DF3 = 4	4		
如果有高溫氫氣侵蝕，DF4 = 3	5		
如果已知製程的結果，會對奧斯田不銹鋼產生腐蝕，DF5 = 3	6		
如果局部腐蝕已發生，DF6 = 2	7		
如果一般性腐蝕已發生，DF7 = 2	8		
如果已知在高溫製程中(包括燃燒爐及加熱爐)已發生潛變(Creep)，DF8 = 1	9		
如果已發生材質劣化(如產生 相，碳化，碳析出...等)，DF9 = 1	10		
如果發現還有其他的破壞機制正發生，DF10 = 1	11		
如果在製程中可能發生的破壞機制未曾被評估過，並且沒有定期的由合格的材料工程師檢討，DF11 = 10	12		
$\sum_{i=1}^{11} DF_i$	13		

表 2

檢測係數(IF, Inspection Factor)			
檢測係數是評估針對設備之損壞進行檢測計畫的有效性。			
設備檢測計畫： <ul style="list-style-type: none"> ● 如果檢測計畫良好，且使用許多不同的檢測方式，IF1 = -5 ● 如果有正式的檢測計畫，並且大部份檢測有執行，但基本上為目測和超音波測厚 IF1 = -2 ● 如果沒有正式的檢測計畫，IF1 = 0 	IF1	14	
管線檢測計畫： <ul style="list-style-type: none"> ● 如果檢測計畫良好，並且使用許多不同的檢測方式，IF2 = -5 ● 如果有正式的檢測計畫，並且大部份檢測有執行，但基本上為目測和超音波測厚，IF2 = -2 ● 如果沒有正式的檢測計畫，IF2 = 0 	IF2	15	
整體檢測計畫： <ul style="list-style-type: none"> ● 如果每個設備的劣化機制都能發現，並且根據材料工程師的研判依檢測結果修正檢測計畫，IF3 = -5 ● 檢測計畫的設計，對於發現設備失效的機制，和對於所有檢測結果做關鍵性評估，兩項功能中只能做到一項，IF3 = -2 ● 如果檢測計畫都無法達到上述兩項功能 IF3 = 0 	IF3	16	
	$\sum_{i=1}^3 IF_i$	17	

表 3

<p>狀況係數(CCF, Condition Factor)</p> <p>狀況係數是評估工廠維修與整潔的有效性。</p>			
<p>在現場巡視時，工廠的清潔狀況(包括油漆、絕緣維持、蒸汽排放...等)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 比一般工業水準高很多，CCF1 = 0 ● 和一般工業水準差不多，CCF1 = 2 ● 比一般工業水準低很多，CCF1 = 5 	CCF1	18	
<p>工廠設計和建造的品質</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 比一般工業標準高很多，CCF2 = 0 ● 和一般工業標準差不多，CCF2 = 2 ● 比一般工業標準低很多，CCF2 = 5 	CCF2	19	
<p>在檢討工廠維修保養計畫的有效性時，如果</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 比一般工業標準高很多，CCF3 = 0 ● 和一般工業標準差不多，CCF3 = 2 ● 比一般工業標準低很多，CCF3 = 5 	CCF3	20	
	$\sum_{i=1}^3 CCF_i$	21	

表 4

<p>製程係數(PF, Process Factor)</p> <p>製程係數是評估是否有潛在或不正常操作狀況足以導致失控事件發生。</p>															
<p>在正常連續的製程操作下，平均每年(最少三年的平均值)預期和非預期的停機數</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>停機數</th> <th>PF1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0 ~ 1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2 ~ 4</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>5 ~ 8</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>9 ~ 12</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>> 12</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>		停機數	PF1	0 ~ 1	0	2 ~ 4	1	5 ~ 8	3	9 ~ 12	4	> 12	5		
停機數	PF1														
0 ~ 1	0														
2 ~ 4	1														
5 ~ 8	3														
9 ~ 12	4														
> 12	5														
		PF1	22												
<p>評估在操作中超出關鍵性製程參數的可能性</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 如果製程非常穩定，並且沒有已知的異常狀態而會造成失控反應或其他不安全狀態存在，PF2 = 0 ● 只有在非常少的情況下，會由異常狀態導致不安全狀態，PF2 = 1 ● 如果存在已知的異常狀態，而導致設備加速損壞或其他的不安全狀態，PF2 = 3 ● 如果製程中潛在失控的可能性，PF2 = 5 															
		PF2	23												
<p>評估製程中的保護裝置如釋壓閥或其他關鍵性感測元件，會由於堵塞或製程流體結垢而無法操作的可能性。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 潔淨的環境，不會結垢，PF3 = 0 ● 輕微的堵塞或結垢可能性，PF3 = 1 ● 很可能堵塞或結垢，PF3 = 3 ● 保護裝置已損壞無法操作，PF3 = 5 															
		PF3	24												
		$\sum_{i=1}^3 PF_i$	25												

表 5

機械設計係數(MDF, Mechanical design Factor)		
<p>機械設計係數是評估設備之某些設計上的問題。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 如果設備未依據現有法規或標準設計，MDF1 = 5 (例如：未經衝擊試驗之碳鋼使用於低溫製程；氫氣製程之設備材質使用範圍在尼爾生曲線之上(above the latest Nelson curve)；在特殊之製程中使用非應力釋放材質(例如在鹼性製程中)；依現行法規或準則，材質板厚度需使用應力釋放材質。) ● 所有設備皆依據建廠當時之法規或標準設計，MDF1 = 2 ● 所有設備皆依據現有法規或標準設計，MDF1 = 0 		
MDF1	26	
<ul style="list-style-type: none"> ● 如果製程是特殊的、單一的或是製程設計條件都接近極限值，MDF2 = 5 例如：設計條件是考慮 <ul style="list-style-type: none"> ◆ 操作壓力高於 10,000psi ◆ 溫度高於 1500 ◆ 要求高於 SS 316 的防腐蝕性設計 ● 如果製程是常見的，並在正常的設計條件下，MDF2 = 0 		
MDF2	27	
$\sum_{i=1}^3 \text{MDF}_i$	28	

表 6

設備修正因子	
設備修正因子係由失效可能性係數，經下列轉換而得。	
第 13,17,21,25,28 等係數項之總和	29
決定設備修正因子	
<u>失效可能性係數</u>	最大設備修正因子
0 ~ 15	0.9 以下
16 ~ 25	0.8 以下
26 ~ 35	0.7 以下
36 ~ 50	0.6 以下
51 ~ 75	0.5 以下
設備修正因子	30

二、損壞影響修正係數

表 7

<p>化學物質係數(CF, Chemical Factor)</p> <p>化學物質係數是評估化學物質之引火傾向，此表中所考慮之化學物質為製程中最重要之物質、或代表性之物質，若設備中有不同之製程流體，則各製程流體需分開個別評估。</p>																																											
<p>決定閃火係數</p> <p>NFPA Class B (閃火點 > 200) CF1 = 1</p> <p>NFPA Class & A (閃火點 : 100~200) CF1 = 2</p> <p>NFPA Class B&C (閃火點 < 100 , 沸點 > 100) CF1 = 3</p> <p>NFPA Class A , 或易燃性氣體其蒸氣密度 < 1 CF1 = 4</p> <p>易燃性氣體其蒸氣密度 > 1 CF1 = 5</p>	<table border="1"> <tr> <td>CF1</td> <td>31</td> <td></td> </tr> </table>	CF1	31																																								
CF1	31																																										
<p>決定反應性係數</p> <p>化學物質是完全穩定 CF2 = 1</p> <p>若加熱會輕微反應 CF2 = 2</p> <p>中度反應 CF2 = 3</p> <p>若氣體或蒸氣密閉，可能會引起爆炸 CF2 = 4</p> <p>即使氣體或蒸氣不密閉，亦可能會引起爆炸 CF2 = 5</p>	<table border="1"> <tr> <td>CF2</td> <td>32</td> <td></td> </tr> </table>	CF2	32																																								
CF2	32																																										
<p>決定化學物質係數</p> <p style="text-align: center;">反應性係數(第 32 項)</p> <table border="1"> <tr> <td></td> <td><u>1</u></td> <td><u>2</u></td> <td><u>3</u></td> <td><u>4</u></td> <td><u>5</u></td> </tr> <tr> <td><u>1</u></td> <td>1</td> <td>5</td> <td>10</td> <td>15</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td><u>2</u></td> <td>2</td> <td>5</td> <td>10</td> <td>15</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>閃火係數(第 31 項)</td> <td><u>3</u></td> <td>4</td> <td>5</td> <td>10</td> <td>15</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td></td> <td><u>4</u></td> <td>7</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>15</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td></td> <td><u>5</u></td> <td>10</td> <td>11</td> <td>12</td> <td>15</td> <td>20</td> </tr> </table>		<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>1</u>	1	5	10	15	20	<u>2</u>	2	5	10	15	20	閃火係數(第 31 項)	<u>3</u>	4	5	10	15	20		<u>4</u>	7	8	10	15	20		<u>5</u>	10	11	12	15	20	<table border="1"> <tr> <td>CF</td> <td>33</td> <td></td> </tr> </table>	CF	33	
	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>																																						
<u>1</u>	1	5	10	15	20																																						
<u>2</u>	2	5	10	15	20																																						
閃火係數(第 31 項)	<u>3</u>	4	5	10	15	20																																					
	<u>4</u>	7	8	10	15	20																																					
	<u>5</u>	10	11	12	15	20																																					
CF	33																																										

表 8

物質量係數(QF, Quantity Factor)

物質量係數是評估在單一意外事件發生時，化學物質可能洩漏之最大量。

決定物質量係數

<u>單一事件最大可能洩漏量(Kg)</u>	<u>物質量係數</u>
< 5K	0.2
5 K ~ 未滿 50K	1.0
50 K ~ 未滿 500K	5
500K ~ 未滿 5M	20
5M	100

QF 34

表 9

狀態係數(SF, State Factor)

狀態係數是評估化學物質溫度與其沸點之相關性(亦即化學物質洩漏時的揮發程度)。

針對每一種化學物質，以其製程溫度(T_p)與沸點(T_b)之比值決定狀態係數

$\frac{T_p}{T_b}$	狀態係數
< 0.8	0.5
0.8 ~ 0.9	0.75
0.9 ~ 1.0	1.0
1.0 ~ 1.1	1.5
1.1 ~ 1.2	2.0
> 1.2	2.5

SF

35

表 10

<p>蔓延係數(ESF, Escalation Factor)</p> <p>蔓延係數是評估一個次要的意外事件蔓延成一個主要意外事件的可能性。</p>			
<p>可燃性物質是否具有毒性，導致當洩漏意外發生時，難以止漏或滅火。</p>			
ESF1 = 1.5	NFPA 指數, Nh = 4		
ESF1 = 1.3	NFPA 指數, Nh = 3		
ESF1 = 1.1	NFPA 指數, Nh = 2		
ESF1 = 1.0	NFPA 指數, Nh = 1 or 0		
		ESF1	36
<p>在製程中之最大壓力?(例如：釋放閥的壓力)</p>			
ESF2 = 1	最大壓力 < 100 psig		
ESF2 = 1.5	最大壓力 100~500 psig		
ESF2 = 2	最大壓力 500~1000 psig		
ESF2 = 2.5	最大壓力 1000~3000 psig		
ESF2 = 3	最大壓力 3000~10000 psig		
ESF2 = 4	最大壓力 > 10000 psig		
		ESF2	37
<p>當最嚴重之意外事件發生時，是否需要廠外之消防隊援助?</p>			
<p>若是，則 ESF3 = 1.3</p>			
<p>若否，則 ESF3 = 1.0</p>			
		ESF3	38
		$\prod_{i=1}^3 \text{ESF}_i$	39

表 11

保護係數(CRF, Credit Factor)			
保護係數是評估當一個意外事件發生時，可以提供若干保護措施以減少損失。			
如果有配置 氣體監測器，且能偵測 50%以上的氣體洩漏，則 CRF1 = 0.95，否則為 1.0。	40		
如果設備大部份時間在惰性氣體密閉或吹沖下操作，CRF2 = 0.95，否則為 1.0。	41		
如果消防系統在發生重大事件時，可保持安全狀態(即在爆炸時消防水系統能保持完整)，CRF3 = 0.80，否則為 1.0。	42		
如果在此區域內的隔離系統可以遠距離控制，並且 <ul style="list-style-type: none"> ● 隔離及相關儀器具有火災 / 爆炸保護，CRF4 = 0.80 ● 隔離及相關儀器具有火災保護，CRF4 = 0.85 ● 對火災 / 爆炸不具保護能力，CRF4 = 0.9 否則為 1.0。	43		
如果大多數關鍵設備(一般為最高壓力設備)有防爆牆 CRF5 = 0.9，否則為 1.0。	44		
如果有排放或洩流系統，且具有 90%的可靠度，能在 5 分鐘或更少的時間內，將化學物質排除 75%或以上，CRF6 = 0.8，否則為 1.0。	45		
如果建築及纜線都有防火措施，CRF7 = 0.9，如果建築或纜線只有其中之一有防火措施，CRF7 = 0.95，其他為 1.0。	46		
如果消防水系統最少可供應 4 小時，CRF8 = 0.95，否則為 1.0。	47		
如果有配置泡沫系統 CRF9 = 0.95，否則為 1.0。	48		
如果有消防系統監視器，可觀察整個受影響區域，CRF10 = 0.95，否則為 1.0。	49		
	$\prod_{i=1}^{10} CRF_i$	50	

表 12

損壞潛在係數(DPF, Damage Potential Factor)			
估計製程在所含最大數量化學物質的情況下發生重大意外事故時，其半徑 100ft 之內的所有設備之總價值與可能損失。			
<u>設備價值(台幣)</u>	<u>DPF1</u>		
< 3M	1		
3M ~ 30M	2		
30M ~ 300M	4		
300M ~ 3000M	8		
> 3000M	16		
		DPF1	51
估計製程在所含最大數量化學物質的情況下發生重大意外事故時，其半徑之 500ft 之內的所有設備之總價值與可能損失。			
<u>設備價值(台幣)</u>	<u>DPF1</u>		
< 3M	1		
3M ~ 30M	1.2		
30M ~ 300M	1.5		
300M ~ 3000M	2		
> 3000M	4		
		DPF2	52
		$\sum_{i=1}^2 DPF_i$	53

表 13

設備重要度因子	
決定損壞影響係數，損壞影響係數是上述所有係數之總和	
將第 33,34,35,39,50,53 等項的總乘積	54
決定損壞影響等級：	
<u>損壞影響係數</u>	<u>損壞影響等級</u>
0 ~ 3	0.9 以下
3 ~ 50	0.8 以下
50 ~1000	0.7 以下
1K ~ 25K	0.6 以下
> 25K	0.5 以下
損壞影響等級	55

三、健康影響修正係數

表 14

毒性含量係數(TQF, Toxic Quantity Factor) 毒性含量係數是同時評估化學物質之數量與毒性強度的指標。		
在單一之洩漏事件中，化學物質的最大可能洩漏量：		
<u>物質洩漏量</u>	<u>含量係數(TQF1)</u>	
< 1000 lb	50	
1K ~ 10 K lb	150	
10 K ~ 100 K lb	600	
> 1 million lb	2500	
	TQF1	56
化學物質的毒性強度：		
<u>NFPA 指數,Nh</u>	<u>毒性係數(TQF2)</u>	
0	0	
1	0.01	
2	0.1	
3	1.0	
4	10.0	
	TQF2	57
	$\prod_{i=1}^2 TQFi$	58

表 15

擴散係數(DIF, Dispersibility Factor)

擴散係數是評估外洩之化學物質的擴散能力。

決定擴散係數：

<u>沸點(Tb,)</u>	<u>DIF</u>
< 30	1
30 ~ 80	0.5
80 ~ 140	0.3
140 ~ 200	0.1
200 ~ 300	0.05
> 300	0.03

DIF 59

表 16

<p>保護係數(CRF, Credit Factor)</p> <p>保護係數是評估當一個意外洩漏事件發生時，所採取之安全措施，包含：偵測、隔離、與削減。</p>			
<p>如果有配置偵測器，可偵測 50% 或以上的初期洩漏，CRF1 = 0.80，否則為 1。</p>			
	CRF1	60	
<p>如果含毒性物質的設備於意外發生時能自動隔離，並且可由偵測器的高濃度警報值直接啟動隔離裝置，CRF2 = 0.80，或是...</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 隔離裝置是由遠距離人工啟動，CRF2 = 0.90 ● 隔離裝置由人工操作啟動，CRF2 = 0.95 <p>否則為 0。</p>			
	CRF2	61	
<p>如果保護系統(例如：水幕)被證實確認：當洩漏事件發生時可減少 90% 以上的毒性物質洩漏，CRF3 = 0.90，否則為 1.0。</p>			
	CRF3	62	
	$\prod_{i=1}^3 CRF_i$	63	

表 17

人員係數(PPF, Population Factor)

人員係數是評估可能受毒性事件影響之人員數目。

以洩漏處 400 公尺(0.25 英哩)附近的全日平均人員數為準，但位於工廠界線內之人員數以日間平均人員數為準。

<u>在 400 公尺半徑內的人員數</u>	<u>PPF</u>
< 10	1
10 ~ 100	7
100 ~ 1000	50
1000 ~ 10000	200

PPF 64

表 18

健康影響修正因子		
決定健康影響修正因子，健康影響係數是前述各種係數之總乘積。		
第 58、59、63、64 等項的總乘積		65
決定健康影響等級：		
<u>健康影響係數</u>	<u>健康影響修正因子</u>	
< 1	0.9 以下	
1 ~ 10	0.8 以下	
10 ~ 100	0.7 以下	
100 ~ 1000	0.6 以下	
> 1000	0.5 以下	
健康影響修正因子		66

表 19 管理系統評估修正因子

1	領導及管理 領導在實施及維持一個有效的製程安全管理上被視為非常重要的	可能的分數	實際分數
1.1	組織在企業或區域層級是否有一個一般性的政策聲明，反應出管理階層的對製程安全管理的承諾，同時強調安全及損失控制？	10	
1.2	一般性的政策聲明： a. 記載於操作手冊中？ b. 張貼於各種不同的地點？ c. 寫於所有的規則小冊子中？ d. 所有重要的訓練課程中均有提及？ e. 採用其他方式宣導？(請說明)	2 2 2 2 2	
1.3	製程安全衛生的職責是否清楚的定義於每個管理人的工作說明中？	10	
1.4	在製程安全衛生方面，是否有建立每一個管理人員的年度目標？這些年度目標是否列為年度績效考核的重點？	15	
1.5	有多少比例的管理團隊曾在過去三年中參與製程安全管理的正式訓練課程、或是外部的研討會或討論會？	% x 10	
1.6	是否有工作場所安全委員會或與其相當的組織？ a. 委員會的組成是否代表組織的一部份？ b. 委員會是否定期開會，並將適當的建議實施情形記錄下來？	5 5 5	
總分		70	

2	製程安全資料	可能的分數	實際分數
2.1	<p>每一製程單元中所使用及處理的所有化學物質是否都有物質安全資料表(MSDS)？</p> <p>a. 每一化學物質的現場最大存量是否列表？</p> <p>b. 這些資料是否提供給製程單元中操作及保養人員以及適當的承攬人？</p> <p>c. 不同物質不慎混合若會產生任何危害效應，是否清楚地說明在標準作業程序中並在操作員訓練課程中強調？</p>	<p>5</p> <p>2</p> <p>2</p> <p>2</p>	
2.2	是否具備並執行品質控制程序，以確保所有物質在驗收及使用時符合規格？	10	
2.3	製程單元中是否具備最新的書面資料，包含：		
	a. 製程化學的概述？	3	
	b. 列出溫度、壓力、流量、組成等的安全上下限？	3	
	c. 說明偏離這些上下限時的安全相關後果？	3	
2.4	是否有方塊流程圖或簡易製程流程圖以協助操作員了解製程？	5	
2.5	所有製程單元現場均有管線儀器圖(P&ID)？	10	
2.6	文件中是否顯示出製程單元中所有設備的設計及建造均符合適用的規則、標準與一般接受的優良工程實務？	8	
2.7	所有的既有設備是否已鑑別出是依據已不再使用的規則、標準與工程實務所設計與建造？	4	
	是否有紀錄說，這樣的設備之設計、保養、檢查及測試能允許其安全地操作？	4	
2.8	製程中每一個設備是否有書面紀錄的檔案，其是否包含下列所有項目？		
	a. 建造材料	1	
	b. 採用的設計規則及標準	1	
	c. 電氣分級	1	
	d. 釋壓系統設計及設計基準	1	
	e. 通風系統設計	1	
	f. 安全系統，包含安全互鎖、偵測及抑制系統	1	
2.9	是否具備確認程序，以確保每一位負有管理製程	5	

	職責的人，能具備履行其職責所應具有的製程安全資料知識？		
2.10	所有上述製程安全資料的文件檔案是否保存於廠內作為參考？資料中的個別資料可以不同形式保存並置於不同地點，但檔案中應確認每一資料之存在及其存放地點。	8	
總分		80	

3	製程危害分析	可能的分數	實際分數
3.1	過去五年中，廠內所有處理危害性化學物質的製程單元中，已完成製程危害分析的佔多少比例？	% x 10	
3.2	是否已訂定未來進行製程危害分析的優先順序？ 優先順序的判定基準是否強調下列因素 1)工作現場中，毒性、可燃性、或爆炸性物質的數量 2)物質的毒性或反應性的等級 3)廠區附近有多少人，包括廠內和廠外 4)製程複雜度 5)危險的操作條件或會引起腐蝕或侵蝕的條件	5 1 1 1 1 1	
3.3	製程危害分析是否強調 a. 製程的危害 b. 分析製程單元中曾發生的事故/意外報告以鑑定可能造成嚴重後果的舊事故 c. 防止危害的工程及管理控制及二者之關聯性 d. 工程及管理控制失效之後果 e. 廠景佈置 f. 人為因素 g. 控制失效時可能對員工安全衛生影響的定性評估	2 2 2 2 2 2 2	
3.4	依據最近的製程危害分析： a. 小組組長對採用的分析技術是否有經驗？ b. 對所採用的分析方法，小組組長是否曾	3	

	經受過正式的訓練？	3	
	c. 小組成員中至少有一人精通所分析的製程？	3	
	d. 分析進行中，要求小組採取適當的紀律？	3	
	e. 小組成員中至少有一人沒有參與廠的最初設計？	3	
3.5	是否具備正式的制度以迅速提出製程危害分析之發現及建議，確保這些建議能適時解決，並記錄下來？	8	
	a. 若有，則是否訂定實施時間表？	3	
	b. 該系統是否要求將製程危害分析提出建議之決定及其執行狀況與所有操作、保養或其他可能會受到影響的人員溝通？	3	
3.6	曾經採用以及/或者未來將採用的製程危害分析方法，相對於製程之複雜性是否適當？	10	
3.7	製程危害分析的領導人是否曾受過所採用的方法之訓練？	12	
3.8	依據最近進行的製程危害分析，平均分析速率相較於被分析系統之複雜性是否適當？（一般來說，一天可分析普通複雜的 2-4 個管線儀器圖）	10	
3.9	辨識出製程危害後，是否採用定性或定量技術來評估失誤情況的可能性及嚴重度？	5	
總分		100	

4	變更管理	可能的分數	實際分數
4.1	廠內是否有書面的變更管理程序，當新添設施或製程有變更時必須遵循？	9	
	核准程序是否陳述清楚，並具適當水準？	5	
4.2	下列的變更形式是否要執行變更管理程序？		
	a. 廠的物理性改變，而非更換類型（擴充、設備修改、儀器或警報系統修改等等）	4	
	b. 製程化學物質改變（進料、催化劑、溶劑等）	4	
	c. 製程條件改變（操作溫度、壓力、生產速率等）	4	

	d. 操作程序的重大改變 (啟動或停機程序、單元人事分派等)	4	
4.3	是否清楚瞭解什麼構成『暫時改變』？	5	
	a. 變更管理處理暫時及永久的改變？	4	
	b. 暫時裝置的項目，在合理的一段時間後經追蹤確認被移除掉或重新定位為永久裝置？	5	
4.4	當製程有變更時，變更管理程序是否明確要求下列措施？		
	a. 要求對該單元執行適當的製程危害分析	3	
	b. 更新所有受影響的操作程序	3	
	c. 更新所有受到影響的保養方案及檢查計劃	3	
	d. 修改管線儀器圖、操作限制、物質安全資料表、及其他被影響到的製程安全資料	3	
	e. 通知所有在變更範圍內工作的製程及保養人員，並提供必要的訓練	3	
	f. 通知所有被變更影響到的承攬人	3	
	g. 審查所提出的變更對所有個別、但互相關連的上下游設施之影響	3	
4.5	當製程或操作程序有變更時，是否有書面程序要求審查這些變更對設備及建材之影響，以判定是否會加速劣化或故障，或導致製程設備故障機制改變？	10	
4.6	當設備或建材因汰換或保養而有所改變時，是否具備一個制度來正式審查任何冶金變化，以確認新的材質適用於此製程？	5	
總分		80	

5	操作程序	可能的分數	實際分數
5.1	所有單元的操作及保養人員均可獲得書面操作程序？	10	
	操作程序是否清楚的定義出負責操作人員的職務？	5	
5.2	下列操作事項是否涵蓋在所有的標準操作程序中？		
	a. 最初啟動	2	
	b. 正常 (及緊急) 操作	2	

	c. 正常停機	2	
	d-1. 緊急停機	2	
	d-2. 是否清楚指定可以啟動這些程序的人員	2	
	e. 為修正或避免操作偏離及偏離後果所需之步驟	2	
	f. 歲修之後重新啟動	2	
	g. 安全系統及其功能	2	

5.3	下列安全衛生考慮是否涵蓋在所有製程中使用化學物質的標準作業程序？ a. 化學物質的性質及危害 b. 為防止暴露的必要注意事項，含控制方法及個人防護具 c. 物理性接觸發生時須採取的控制方法	3 4 3	
5.4	標準操作程序是否以清楚、簡潔的方式書寫，可以容易瞭解並協助使用者遵守？	10	
5.5	是否有換班時交換資訊的適當程序？	10	
5.6	為確保操作程序能反應現行操作實務，操作程序多久會進行審查以做必要的更新？（單選） ____ 每年至少一次，或有變更時 ____ 每兩年 ____ 只在製程有變更時 ____ 沒有定時間表	11 6 3 0	
5.7	書面操作程序的遵守程度多久會評估一次？（單選） ____ 每六個月 ____ 每年 ____ 每三年 ____ 未做	8 4 2 0	
總分		80	

6	安全工作實務	可能的分數	實際分數
6.1	是否建立並實施安全工作實務，提供給員工及承攬人，於操作或保養時控制危害，內容包括： a. 動火作業 b. 管線開封程序 c. 上鎖/上籤 d. 侷限空間之進入 e. 打開製程設備或管線 f. 保養、承攬、實驗室或其他支援人員進入廠區 g. 車輛進入 h. 起重機 i. 處理特殊危害物質(毒性、放射性等)	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	

	j. 運轉設備的檢查或保養	2	
6.2	所有列在 6.1 中的安全工作實務在動工前是否需要工作許可？ 若需要，許可核准程序是否包含下列功能？ a. 申請表格適當的涵蓋工作區域 b. 清楚指示發證份數以及誰收到這些許可證 c. 發證的權責 d. 工作完成時簽認程序 e. 換班後，許可證之延期或重發程序	10 1 1 1 1 1	
6.3	是否有提供正式的訓練給上述每一項許可的發證人？	10	
6.4	上述工作許可及程序是否要求會受到影響的員工接受訓練？	10	
6.5	針對組織內主要單元，多久辦一次獨立評估(例如：由安全部門或類似單位執行)以判定符合工作許可及特別程序要求的程度，評估結果要通報適當的管理階層？(單選) _____ 每三個月 _____ 每六個月 _____ 每年 _____ 未做	8 4 2 0	
6.6	是否具備一個審核程序，要求所有工作許可程序及工作規則至少每三年要正式審核一次且作必要的修正？ 紀錄是否顯示這些審核適時地實施？	10 5	
6.7	是否有進行調查以判斷工作環境是否符合人因工程標準？ 若調查發現有缺失，這些缺失被修正了嗎？	4 3	
總分		85	

7	訓練	可能的分數	實際分數
7.1	是否有一個書面程序定義出新進員工該接受的現場安全程序、工作實務等的一般訓練？	10	
7.2	除了 7.1 的一般訓練以外，是否有一個書面程序，定義出新指派到操作職務的員工在開始其任務前該接受的特定現場訓練的內容？	10	

7.3	<p>在 7.2 所述的程序中，是否要求訓練涵蓋下列項目？</p> <p>a. 製程概述及其特定的安全衛生危害</p> <p>b. 所有操作程序的訓練</p> <p>c. 現場緊急程序的訓練</p> <p>d. 強調安全相關事項，例如工作許可，安全互鎖裝置及其他安全系統的重要性等等</p> <p>e. 安全工作實務</p> <p>f. 適當的基本技術</p>	<p>3</p> <p>3</p> <p>3</p> <p>3</p> <p>3</p> <p>3</p>	
7.4	<p>當操作人員完成正式訓練時，用什麼方法來確認員工瞭解訓練的內容？(單選)</p> <p>a. 成果測試並記錄觀察結果</p> <p>b. 只做成果測試</p> <p>c. 講師的意見</p> <p>d. 無確認作業</p>	<p>10</p> <p>7</p> <p>3</p> <p>0</p>	
7.5	<p>操作員工多久接受一次正式的在職訓練？(單選)</p> <p>_____ 至少每三年一次</p> <p>_____ 只有在重大製程改變時</p> <p>_____ 從來沒有</p>	<p>10</p> <p>5</p> <p>0</p>	

7.6	每一年，每一個操作員平均接受多少訓練？(單選) ____ 每年 15 天以上 ____ 每年 11 至 14 天 ____ 每年 7 至 10 天 ____ 每年 3 至 6 天 ____ 每年少於 3 天	10 7 5 3 0	
7.7	有否採用一個系統化的方法(例：員工調查、工作分析等)來辨識廠內所有員工之訓練需求，包括 7.1 和 7.2 中所提的訓練計畫 a. 依據訓練需求建立訓練計畫？ b. 是否定期審查並更新訓練需求？	4 4 4	
7.8	下列特點是否納入工廠正式的訓練計畫中？ a. 建立訓練員之資格要求，並記錄每一訓練員之資格。 b. 採用書面課程計畫，經審查確認其完整涵蓋課程主題。 c. 可適當採用訓練輔具及模擬器來進行實際操作。 d. 保存每一位受訓人員的受訓紀錄，紀錄包括受訓日期及確認瞭解訓練內容的方法。	5 5 5 5	
總分		100	

8	機械完整性	可能的分數	實際分數
8.1	是否有建立書面的製程單元檢查計畫，其包含下列項目： a. 辨識出所有應接受檢查的設備？ b. 已指派執行檢查之職責？ c. 已建立檢查頻率？ d. 已指定檢查方法及地點 e. 已訂定檢查報告要求	2 2 2 2 2	
8.2	在 8.1 中所提的檢查計畫是否包含對所有製程單元的一個正式的、外部目視檢查計畫？ a. 目視檢查計畫是否考慮所有下列因素：設備外部情況、隔熱、油漆、包覆、支撐和附加物、辨識機械損壞、腐蝕、震動、洩	2 1	

	漏、或不適當的元件或修理？		
	b. 依據 8.1 中所提的檢查計畫，製程單元中的所有壓力容器是否至少每五年接受一次外部目視檢查？	2	
	c. 依據此檢查計畫，所有處理揮發性、可燃性、毒性、酸、鹼、及其他類似物質的管線系統，是否至少每五年接受一次外部目視檢查？	2	
8.3	依據此檢查計畫，製程單元中的所有壓力容器是否至少每 10 年接受一次採用非破壞檢測程序之內部或詳細檢查？	5	
8.4	每一項製程設備是否經適當人員審查，來辨識其劣化或故障的可能原因？	5	
	a. 這項資料是否應用在檢查方法、地點、頻率及預防保養計畫之建立？	1	
	b. 是否依據運轉考量來建立缺失標準？	1	
8.5	是否有採用一個正式的管線及容器測厚計畫？	3	
	a. 當選擇測厚位置時，		
	1. 失誤的可能性及嚴重性是否為一個重要因素？	1	
	2. 是否考慮局部的腐蝕及侵蝕？	1	
	b. 測厚位置是否清楚標示於檢查圖上及容器或管線上，以便能精確地在同一位置重複測量？	2	
	c. 厚度調查有否更新？	2	
	d. 測量結果是否用來預測剩餘壽命並調整未來的檢查頻率？	2	
8.6	所有的管線系統是否採用適用法規及目前的操作條件以訂定最大容許工作壓力(MAWP)？	3	
	每次測厚完成，是否有依最新的壁厚及腐蝕速率來更新最大容許工作壓力的計算？	2	
8.7	是否有一個書面程序，要求檢查頻率或檢查方法及測試程序有任何改變之前要有適當的審查及授權？	5	
8.8	是否有訂定適當的檢查查核表，目前有使用嗎？	3	
	查核表是否有定期審核，當設備或製程變更時是否更新？	2	
8.9	製程設備所有的檢查、測試及修繕是否都有立即	3	

	<p>紀錄下來？</p> <p>紀錄文件是否包括下列<u>所有</u>資訊？</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.檢查日期 2.檢查人員姓名 3.受檢查設備之編號 4.檢查或測試之描述 5.檢查結果 6.檢查結果之所有建議 7.保養作業的日期及作業說明 	3	
8.10	<p>是否有一書面程序，要求所有檢查出的製程設備缺失能安全並適時地修改，同時，是否進行追蹤已確認完成修改作業？</p> <ol style="list-style-type: none"> a. 是否採用什麼制度來協助判定修改作業的優先順序？ b. 若發現缺失，則是否要繼續操作該設備之決定是依據良好的工程評估嗎？ 	5	
		1	
		2	
8.11	<p>是否有一個完整的，更新的中心檔案，保存所有的檢查計畫資料及報告？</p> <p>這個檔案資料是否可以提供給每個參與該製程的人？</p>	3	
		2	
8.12	<p>所有參與保養及檢查製程設備的員工是否都有製程概述及其危害之訓練？</p>	5	
8.13	<p>所有參與保養及檢查製程設備的員工是否都有接受其工作相關的作業程序訓練，以確保其能安全並有效地執行職務？</p> <p>在完成上述之訓練時，有否採用正式的方法來確認員工已瞭解訓練內容？</p>	3	
		2	
8.14	<p>是否有遵照工業法規及標準(例如 API 510、570、653)來驗證檢查員的績效？</p>	5	
8.15	<p>需特別技巧或技術以安全執行工廠中承攬作業時，是否針對承攬商的員工辦理訓練計畫？</p>	5	
8.16	<p>製程單元中的所有釋壓閥是否均有訂定檢查或測試時間表？</p> <ol style="list-style-type: none"> a. 是否符合時間表的進度？ b. 所有的檢查和修繕作業是否全部紀錄下來？ c. 所有的修繕工作是否由受過訓練且具釋壓閥保養經驗的人員來進行？ 	3	
		1	
		1	
		1	

8.17	廠內採用的預防保養計畫是否符合下列標準？ a. 所有攸關重大安全項目及其他重要設備有特別提出，例如，電器開關和轉動設備。 b. 使用查核表和檢查單。 c. 工作能如期完工。 d. 依據檢查結果持續修正本計畫。 e. 預防保養計畫最終是要找出修繕需求，並追蹤其作業至完成。	1 1 1 1 1	
8.18	廠的建造及保養是否有品質保證計畫以確保： a. 使用適當的建材？ b. 製造及檢查程序適當嗎？ c. 設備的保養符合法規及標準嗎？ d. 法蘭是否適當地組裝並鎖緊？ e. 替代及保養材質經適當地指定，檢查及存放？	1 1 1 1 1	
8.19	所有的壓力容器是否有永久且持續的紀錄，其包含下列 <u>所有</u> 項目？ a. 製造商的資料報告和其他適宜的資料紀錄 b. 容器辨識號碼 c. 釋壓閥資訊 d. 到目前為止所有檢查、修理、改變或重新分級的結果	5	
8.20	是否具備書面要求，監督人員簽署等制度，足使壓力容器或管線系統的所有設計修改能符合當初建造的標準或運轉中修繕及檢查標準？	5	
總分		120	

9	啟動前安全審查	可能的分數	實際分數
9.1	公司政策是否要求所有新開發計畫、建造及重要變更計畫，在構思或設計階段要有一個正式的製程危害分析？	10	
9.2	是否有一個書面程序，要求在啟用新的或經重大改變的設施之前，必須完成下列 <u>所有</u> 項目？ a. 公佈書面操作程序 b. 參與製程的所有人員均已完成訓練 c. 具備適當的保養、檢查、安全及緊急程序 d. 先前的製程危害分析結果所提出的建議事	10	

	項均已完成		
9.3	是否有一個書面程序，要求所有設備在啟動前接受檢查，以確定其依照設計規格及製造商的建議來安裝？	10	
	a. 此程序是否要求在建造中的每一適當階段要有正式的檢查報告？	5	
	b. 當發現缺失時，此程序是否界定改善措施及必要的追蹤措施	5	
9.4	在啟動前安全審查中，是否要求進行健診以確認下列事項：		
	a. 所有的機械設備在將高危害化學品引進製程前要裝置緊密不洩漏	5	
	b. 啟動前所有的控制設備均操作正常	5	
	c. 所有的安全設備均安裝妥當且操作正常 (釋壓閥、安全互鎖、測漏設備等)	5	
9.5	是否有要求在啟動前正式記錄第 9.1、9.2、9.3、9.4 問題中各項目之完成，並將影本送交管理人員？	5	
總分		60	

10	緊急應變	可能的分數	實際分數
10.1	是否有書面的緊急計畫提及所有可能的緊急情況？	10	
10.2	是否要求按指定的時間表進行緊急計畫的正式審查與更新？	5	
	a. 變更管理程序包括要求考慮對工廠緊急計畫的可能影響？	2	
	b. 新的或更新的製程危害分析結果，是否有經審查以判斷是否因新發現的危害而需要改變設施緊急計畫？	2	
10.3	緊急計畫是否至少涵蓋下列事項？		
	a. 在緊急情況下指定一人為協調人員之程序，並清楚說明其職責	2	
	b. 緊急逃生程序及緊急逃生路徑分配	2	
	c. 留下執行工廠重要操作的員工在撤離前應遵守的程序	2	
	d. 緊急撤離完成後向所有員工說明的程序	2	

	e. 執行救援和醫療任務的員工之職責	2	
	f. 報告火災及其他緊急事件的優先方法	2	
	g. 控制危害物質的程序	2	
	h. 搜救計畫	2	
	i. 清場及重新進入的程序	2	
10.4	廠內的緊急控制中心有標示出來嗎？ 其有沒有下列最基本的資源？	5	
	1. 緊急動力來源	2	
	2. 適當的溝通設施	2	
	3. 廠內所有製程單元的管線儀器圖，標準作業程序，物質安全資料表，位置圖及其他重要安全資料影本	2	
10.5	是否已指派人員，可與其聯繫其他相關資訊或緊急計畫中的任務說明？	5	
	指派人員名單是否告示於所有適當地點(控制室、警衛室、緊急控制中心等等)？	2	
10.6	是否定期進行演習來評估並加強緊急計畫？	10	
總分		65	

11	事故調查	可能的分數	實際分數
11.1	是否有書面事故/意外調查程序，包括意外與虛驚事故？	10	
	程序要求調查之發現與建議能立即提出並解決？	5	
11.2	此程序要求調查小組包括：		
	a. 一個組員受過意外調查技術的訓練？	3	
	b. 生產監督人員或與其相同熟悉製程的人？	3	
11.3	調查程序是否要求直屬監督人進行下列項目的調查，並將調查結果記錄在標準表格上？		
	a. 火災爆炸	2	
	b. 財產損失	2	
	c. 所有非殘障傷害及職業病	2	
	d. 危害物質排放	2	
	e. 其他意外/事故(虛驚)	2	
11.4	意外/事故調查是否有標準表格，其包含下列資料？		
	a. 事故發生日期	2	
	b. 事故調查開始時間	2	

	c. 事故描述	2	
	d. 事故基本原因	2	
	e. 評估其可能的嚴重度及再發生的可能性	2	
	f. 防止再發生之建議	2	
11.5	依據工廠紀錄之審查，遵守事故調查程序的程度如何？	5	
11.6	若事故/意外涉及設備元件或設備的故障，是否要求適當的調查人員或工程人員參與故障分析來找出引起故障的情形？	10	
11.7	事故調查報告是否與所有受到影響的人員檢討？這些人員的工作與事故所發現的結果有關，例如承攬商的員工。	5	
11.8	過去 12 個月中，有沒有任何一個事故報告或報告的結論有傳給公司內其他操作類似設施的廠？	6	
11.9	事故報告及製程危害分析的程序是否要求所有事故報告的發現要檢討並納入未來的製程危害分析中？	6	
總分		75	

12	承攬商	可能的分數	實際分數
12.1	在交付承攬前，挑選承攬商的程序是否包含下列事項？		
	a. 審查承攬商現行的安全衛生計畫	3	
	b. 審查承攬商以往的損失經驗資料	3	
	c. 審查必要的經驗及技術記載文件，以期承攬商能安全且有效率地執行工作	3	
12.2	承攬雇主是否於開始工作前被書面告知：		
	a. 製程及承攬工作的所有潛在危害？	2	
	b. 工廠安全工作實務？	2	
	c. 入廠管制？	2	
	d. 緊急應變計畫的所有適用規定？	2	
12.3	是否與承攬商舉辦工作前會議，審查承攬工作範圍、公司對安全的要求、品質確認及績效？	9	
12.4	有否進行定期評估以確保承攬雇主提供其員工必要的訓練、指導、監測等，確保承攬員工遵守所有的安全工作實務。	9	

12.5	所有維修、歲修、重大翻新或特殊工作的承攬商均有涵蓋在本段所提的程序中嗎？	10	
總分		45	

13	管理系統評鑑	可能的分數	實際分數
13.1	多久進行一次正式的製程安全管理系統書面評鑑？(單選) ----- 每年 ----- 每三年 ----- 未做過	10 7 0	
13.2	是否已建立一個改善計畫以符合前次評鑑的要求？	10	
13.3	依據最近一次的評鑑，評鑑小組成員中是否有人具備下列技術？ a. 評鑑技術的正式訓練？ b. 深入瞭解受評鑑的製程？	5 5	
13.4	檢討最近一次評鑑，該評鑑的廣度與深度是否適當？	10	
總分		40	

管理修正因子													
管理修正因子係由管理評估所得之總分，經下列轉換而得。													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>管理評估所得之總分</th> <th>最大管理修正因子</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>901 ~ 1000</td> <td>0.9 以下</td> </tr> <tr> <td>801 ~ 900</td> <td>0.8 以下</td> </tr> <tr> <td>701 ~ 800</td> <td>0.7 以下</td> </tr> <tr> <td>601 ~ 700</td> <td>0.6 以下</td> </tr> <tr> <td>501 ~ 600</td> <td>0.5 以下</td> </tr> </tbody> </table>	管理評估所得之總分	最大管理修正因子	901 ~ 1000	0.9 以下	801 ~ 900	0.8 以下	701 ~ 800	0.7 以下	601 ~ 700	0.6 以下	501 ~ 600	0.5 以下	
管理評估所得之總分	最大管理修正因子												
901 ~ 1000	0.9 以下												
801 ~ 900	0.8 以下												
701 ~ 800	0.7 以下												
601 ~ 700	0.6 以下												
501 ~ 600	0.5 以下												
設備修正因子													