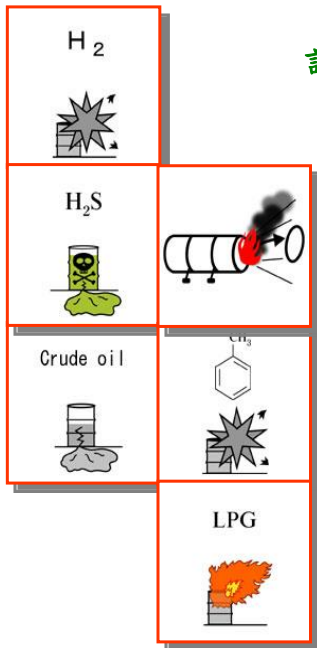


社團法人台灣安全研究與教育學會
設備管線腐蝕及安全檢查技術研討會

材料損傷機制 於設備完整性管理之應用



台灣中油股份有限公司
蘇俊吉
succ6018@gmail.com

1

課程綱要

- 一、設備完整性失效對製程安全之影響
- 二、損傷機制應用在檢查規劃
- 三、損傷機制應用在操作管控
- 四、損傷機制應用在洩漏處理
- 五、結語

2

安全有兩種

職業安全(OSM)

著重於以程序、機具設計和個人防護來預防事故發生，使人員傷害的風險降到最低，例如感電、墜落、窒息、撞擊、燙傷、捲夾等等傷害。

CPCSUCC

製程安全(PSM)

防止或降低毒性、活性、可燃性或爆炸性化學物質大量洩漏所引起之中毒、火災、爆炸等危害或使其發生時傷害降至最低

CPCSUCC



(OSM, Occupational Safety Management)

(PSM, Process Safety Management)

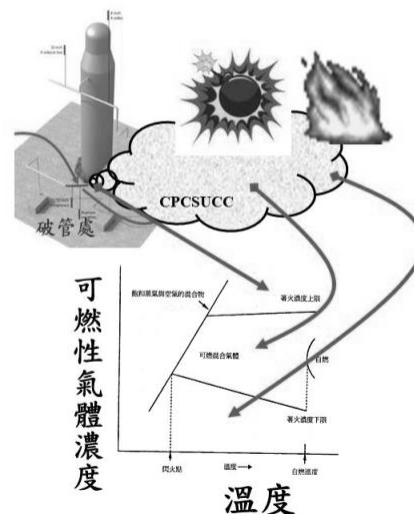
有些事故兼具職業安全和製程安全兩者的特性

【蒸氣雲爆炸VCE小常識】

terrible vapor cloud explosion (VCE)

恐怖的蒸氣雲爆炸

- 大量可燃性氣體由高壓設備或儲槽中逸出，形成蒸氣雲。
- 蒸氣雲散佈於大氣之中，與空氣接觸，空氣逐漸擴散至蒸氣雲中，形成著火性蒸氣雲。
- 蒸氣雲與點火源接觸後，引燃爆炸。



蒸氣雲爆炸慘痛經驗

Vapor Cloud Explosions

2011年1月號



蒸氣雲爆炸發生於大量的易燃或可燃性物質釋放（洩漏）出來，與空氣混合，而後被引燃。蒸氣或氣態燃料釋放的一些原因有：

- 管道、反應器、儲槽，或其它裝有易燃或可燃液體或者易燃氣體的製程容器，因故障/失效而致失去其製程密封性（process containment）。
- 易燃蒸氣經由釋壓系統快速地排至大氣中。
- 於正壓力下儲存的易燃液體（例如液化石油氣LPG）釋放了。所釋出的液體在大氣壓力下會迅速沸騰而形成易燃性蒸氣雲。

CPCSUCC

如果易燃蒸氣雲被引燃，它可能會爆炸，產生衝擊波而會於長距離造成重大破壞。特別是當釋放發生於擁擠或侷限（密閉）的區域、蒸氣雲有漂到這種區域，以及活性物質的情況下更是如此。此外，火球的高熱可能會導致重大的受傷或損害。

在製程工業史上有些最嚴重的災害就是蒸氣雲爆炸。例如：

- 1974年6月 於英國Flixborough（28人死亡）
- 1989年10月 於美國德州休士頓（23人死亡）
- 2005年3月 於美國德州Texas市（15人死亡）
- 2005年12月 於英國Buncefield（沒有死亡，但43人受傷而且損壞嚴重）
- 2009年10月 於印度Jaipur（12人死亡）

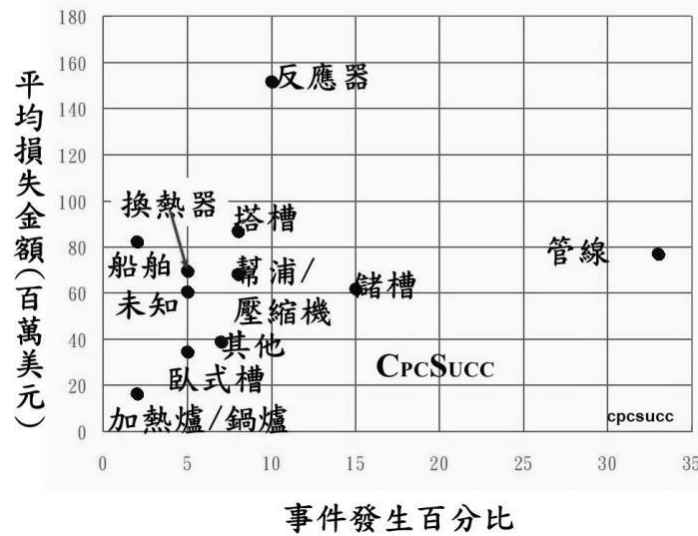
您可以做什麼？

- 請確保管道與設備的檢查和預防保養等任務皆如所規定者確實完成，以確保製程設備的機械完整性（Mechanical Integrity, MI）。保持燃料之密封不漏是防止蒸氣雲爆炸的最好方法。易燃蒸氣雲的引燃源—例如加熱器、車輛、非電氣防爆分類的區域、動火工作、靜電—皆難以控制。
- CPCSUCC
- 確保遵循安全工作方法，包括在存有易燃物質的附近地區進行動火的工作方法。
 - 如果您在含有易燃或可燃液體或者易燃蒸氣的設備偵測到任何洩漏，無論多麼小，都要立即報告，並且要知道如何啟動緊急應變程序。
 - 如果貴工廠有易燃或可燃性物質，您應該已有書面的洩漏時之緊急應變程序。要審查和瞭解這些程序、參與演習，並且知道一旦有洩漏你必須做什麼來保護自己和其他人。知道何時和如何使用適當的個人防護具（例如阻燃的衣服）與洩漏檢測設備（例如可攜式易燃物質檢測器）。

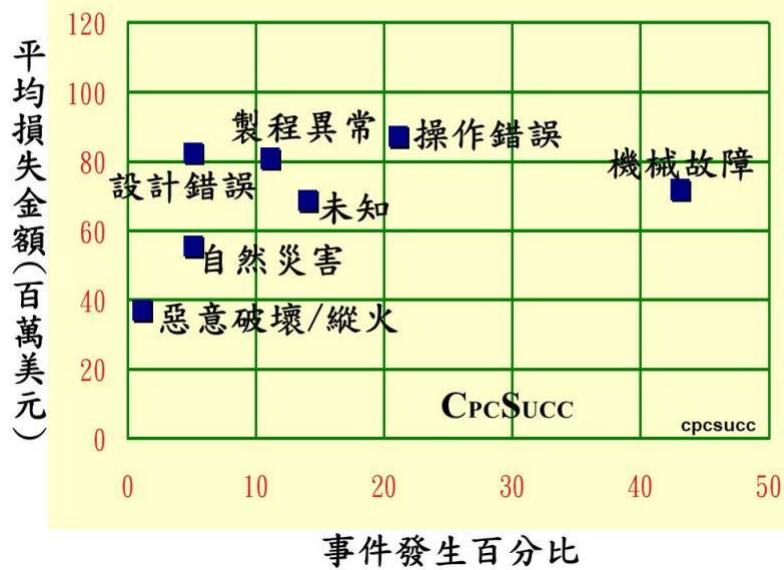
要將易燃性物質保持在製程設備裡面，不外洩！

不要(想當然地)認為在戶外釋放易燃性氣體是安全的！

設備失效比率 and 損失分析

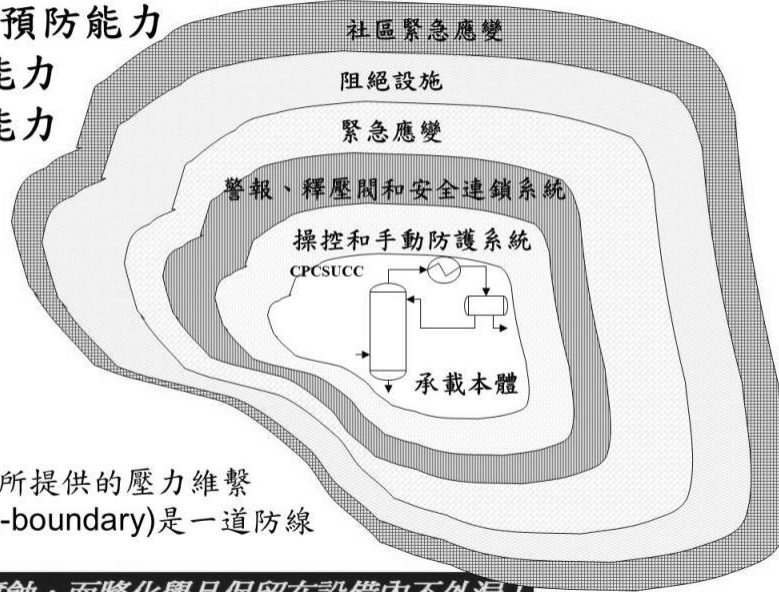


設備失效肇因 and 損失分析



化工製程安全防護架構

- 預知/預防能力
- 應變能力
- 處理能力



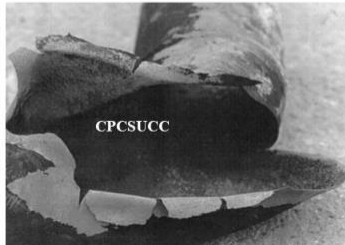
設備本體所提供的壓力維繫
(pressure-boundary) 是一道防線

要提防腐蝕，而將化學品保留在設備內不外漏！

2001年4月16日14:20 ConocoPhillips公司之英國Humber煉油廠（當時屬於Conoco Ltd）的飽和氣體工場在正常操作中，突然發生管線破裂，釋出約170噸高度易燃的液化石油氣（LPG）並形成蒸氣雲（vapor cloud），遇火源引燃造成爆炸火災事故；由於大火波及燒毀其他管線，又再引起更大的火災爆炸事故。氣爆威力使工場區石綿瓦及管線設備保溫材料飛散，離爆炸點約400公尺遠之建築物，亦均受到損害。離氣爆點1公里半徑範圍內的房屋辦公場所均受影響^{P&SUCC}。全部損失已超過美金3億元。財產損失：約2.5億美金，營運中斷損失：約5400萬美金。

-爆炸威力使廠內外建築物受到嚴重損害，使社會大眾對煉油與石化廠的安全管理上產生很大疑慮

-當地政府機關對此事故提出告訴及重罰：事故後於2005年06月29日英國grimsby官方法院判決罰款超過100萬英鎊。



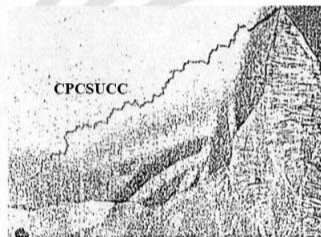
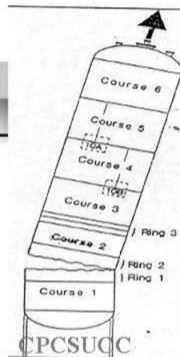
2012年8月
美國加州Chevron公司

- 2012年8月6日美國加州Chevron公司 RICHMOND 煉油廠管線發生驟發性破裂，釋放出可燃性製程碳氫化合物，部分揮發形成大的蒸氣雲
- 火災產生大量未知之粒子漂浮通過加州RICHMOND地區，社區警報系統(CWS)發布3級和避難警報，於晚上11:12解除警報，火警事故發生後數週，15000名附近居民就醫，包括呼吸系統問題、胸痛、喉嚨痛和頭痛等，其中20人住院治療。
- 事故導致該煉油廠停產8個月，Cal/OSHA開出和事故相關之17張罰單以及8張額外罰單，共一百萬美金。



工 安

正視硫化氫腐蝕裂紋問題

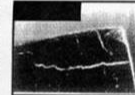


時間：1984,07,23
地點：美國，伊利諾州,Romeoville
損失金額：\$191,000,000

(檢量)

■ 操作員於高55呎，直徑8.5呎之單乙醇胺(MEA)吸收塔破裂前，已發現於焊道周圍有6吋長的水平方向之裂縫，並洩漏出內院，操作員嘗試關閉進料流阻時，裂縫已加長為24英吋；此區域已疏散，廠內消防隊於該塔破裂前即已到達現場。200psig，100°F下的內院驅動重20公噸的反應槽飛轉至3500呎外，並使13.8萬伏特之高壓電傳輸塔傾倒

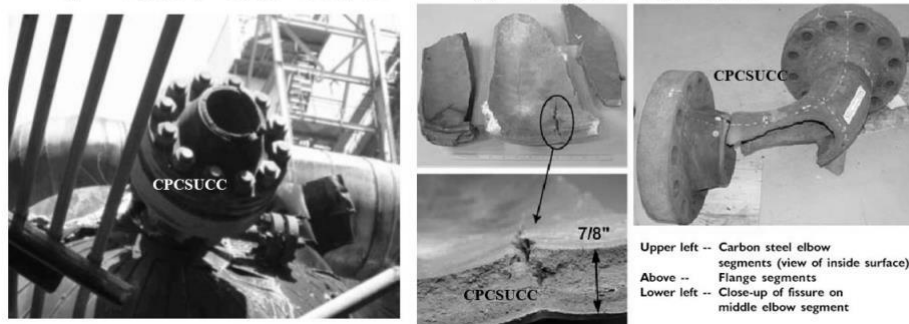
■ 焊道沿著10年前塔槽檢修時低載部(lower girth)焊接處開始分離，吸收塔槽體係由1吋SA 516 Gr70鋼板捲成，以全穿透浸沒電弧接頭焊接方式，但未經焊後熱處理。



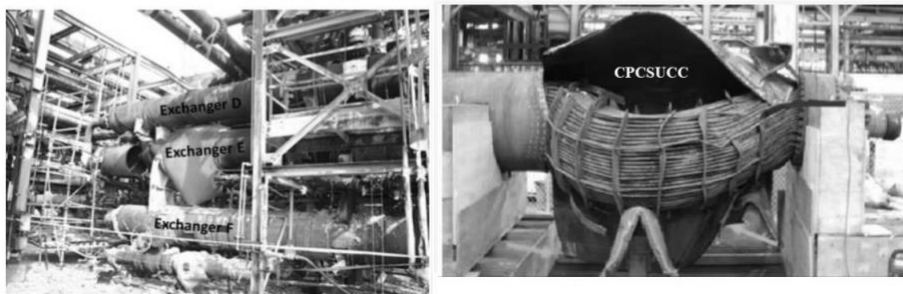
- 1984年美國Union公司芝加哥煉油廠amine吸收塔，17人死亡，肇因鐸補不當引發HIC破裂
- EXXION公司1990年的調查報告存在裂紋之壓力容器佔25%，而HIC佔21% CPCSUCC
- API 1996年報告(1990問卷調查)中指出4987座壓力容器中有26%存在裂紋，而各石油公司統計存在裂紋之比例分佈為10~73%

維修安裝材質誤用

2005年07月28日6pm BP公司德克薩斯市煉油廠RHU #1 Resid Hydrotreater Unit (殘渣油加氫脫硫處理工場) 於正常操作中，反應器系統換熱器出口之8吋氫氣管線彎頭於法蘭接合處突然斷裂，洩漏出高壓高溫循環氫氣(3000psig、500°F)，發生爆炸並引發火災。火燄噴出約75呎高，火災至清晨03:00am撲滅，現場有13名工作人員(BP員工及承攬商)但無人員傷亡。此事故案例造成約美金3000萬元資產設備損傷。



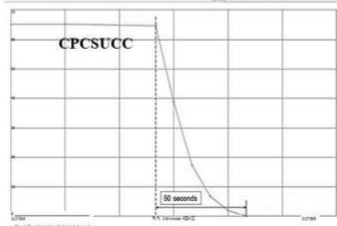
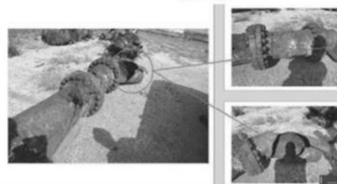
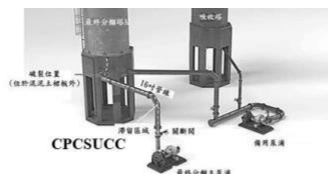
2010年4月2日(星期)上午 12:30美國華盛頓州 TESORO 公司 TESORO ANACORTES 煉油廠觸媒重組工場之石油腦加氫處理單元E-6600E換熱器發生驟發性破裂，如圖一所示，溫度超過500°F之高易燃性石油腦大量外洩，自燃(石油腦自燃溫度為437°F)引發爆炸，並引起大火延燒超過3小時，造成在附近工作之一名值班領班和六名操作員喪生，此為2005年3月BP Texas意外事故以後美國最大之傷亡事故。



TPC PNO工廠丁二烯工場滯留區 爆米花聚合物堆積導致管線破裂 引發爆炸火災事故

時間	發生經過及處理情形
2019/08/04	分餾塔A/B備用泵浦的定期泵浦換台程序，操作過程中，工人先關閉了分餾塔A/B主泵，嘗試重新啟動時卻未運轉，於是提報泵浦維修
11/27 00:54	丁二烯工場後段分餾塔A與停用的主泵上游手動隔離閥之間的滯留管突然破裂，6,000 加侖的丁二烯在不到一分鐘的時間從塔內完全排空
00:56	丁二烯蒸氣雲引發爆炸
02:40	後續引發工場內多起爆炸及火災
13:48	手機捕捉了其中一次爆炸 CPCSUC，另一起爆炸發生，導致該工場的一座塔樓飛向空中隨即落地，該塔降落在 TPC PNO 設施範圍內，其他塔也倒塌
15:28	傑斐遜縣官方對TPC PNO 設施四英里半徑範圍內的區域發布了強制疏散令，周圍四英里半徑範圍內發布了晚上 10 點至上午 6:00之間強制宵禁令
2019/11/29 10:00	解除了疏散和宵禁令
2020/01/04 10:09	所有火災撲滅。
2022/06/01	TPC 根據美國破產法第 11 章申請破產

- 人員傷亡：員工 2 人受傷，承攬商 1 人受傷，民眾 5 人受傷。
- 財物損失：工場財物損失 4.5 億美元，工場外財損 1.53 億美元。
- 2022 年 6 月 1 日，TPC 根據美國破產法第 11 章申請破產。



儲槽完整性失效-儀控 (液位計保護連鎖失效)

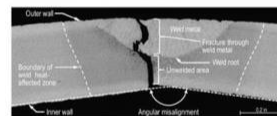
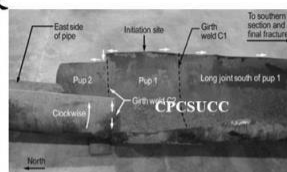
- 2005年12月11日周日上午6:01英國 Buncefield 油槽發生爆炸起火
- 一座油槽先爆炸起火，陸續引起20座油槽起火，導致43人受傷，2000人疏散，無人死亡，CPCSUC
- 事故發生經過如下：早上1:30完成收油工作，無任何異常，03:00時編號912油槽液位計顯示沒有變化，然而油槽持續以550m³/hr的速率進料，5:20油槽滿溢，5:38監視攝影機發現氣體雲霧，5:46氣體雲霧累積厚度達2公尺，同時開始擴散，6:01發生第一次爆炸，接著20個油槽起火
- 此事件肇因為液位計保護連鎖失效，沒有自動關斷開關閥
- 本案例號稱第二次世界大戰以來最大火災事件，對環境污染影響重大。



2010年9月9日 加州太平洋瓦斯與電力公司 (PG&E) 30吋天然氣長途管線 氣爆事故

30吋直縫焊接鋼管(材質API5L-X42)之天然氣管線縱向鉚道破裂，386psi (27.14kg/cm²) 壓力之天然氣自管線噴出起火燃燒。

- 管線鉚接施工不良：管線超壓由鉚接不良處破裂，發現未熔滲、
- 管線超壓
- 導致事故嚴重係因缺乏自動關斷閥和遙控遮斷裝置和該公司的緊急應變不當，當管線破裂後延遲其隔離時間而無法阻斷氣體繼續洩漏



人員傷亡及財物損失情形

- 8人死亡、10人重傷、48名人員輕傷，疏散民眾則約有300戶。至少108棟房子受影響，包括38棟民宅全毀、17棟中度損傷，53棟輕度損傷，74輛汽車受損。
- PG&E計算天然氣損失26萬美元，管線修護費用1350萬美元。
CPCSUC
- 加州公用事業委員會（CPUC）2014年9月2日宣布，PG&E需要為此氣爆事故繳付14億美元罰款。之前CPUC已裁定，PG&E股東需要支付6.35億美元用於更新氣管，有關費用不可轉嫁給用戶。與此同時，PG&E也就本事故面臨聯邦刑事起訴，包括一項妨礙司法公正和27項違反聯邦氣管安全法，PG&E已否認控罪，如被判罪名成立，最高可被罰款11.3億美元

19

2012年12月

哥倫比亞氣體輸送公司

2012年12月11日下午12:41哥倫比亞氣體輸送公司位於西維吉尼亞，(in Sissonville, West Virginia)一條編號為SM-80之20吋天然氣管線破裂，20吋管線分離彈離原來埋設位置約40呎，噴出之高壓天然氣瞬間被引燃，火警面積約820呎寬，沿著管線方向長約1100呎，多家房屋被損壞，無人傷亡，約760百萬立方呎之天然氣外洩並燃燒，相關破管示意圖如圖一和圖二，附近共存在三條天然氣管線，破管時都在輸儲中，操作主管於01:09下令關掉所有閥，技術員花費15分鐘關斷6個閥，此時尚不知三條管線中哪條管線破裂，州際公路關閉19小時，800呎公路路面受損，維修費用約美金2.9百萬元，系統升級至可進行線上檢查約花費美金5.5百萬元，氣體損失約285,000美元。



對企業的衝擊

\$工安/環保問題

- 人員傷亡
- 環境衝擊
- 經營環境惡化

\$資產損失

\$非計劃停爐損失

- 減產損失
- 檢修成本增加

\$經營環境惡化

21

二、損傷機制應用在檢查規劃

22

美國高危害化學品製程安全管理 OSHA 29 CFR 1910.119

Process Safety Management之14要項

- | | |
|--|---|
| • 員工參與
Employee Participation | • <u>機械完整性</u>
<u>Mechanical Integrity</u> |
| • 製程安全資料
Process Safety Information | • 動火許可
Hot Work Permit |
| • 製程危險分析
Process Hazard Analysis | • 變更管理 ^{CPCSUCC}
Management of Change |
| • 操作程序
Operation Procedures | • 事故調查
Incident Investigation |
| • 訓練
Training | • 緊急應變計劃
Emergency Planning and Response |
| • 承攬商
Contractor | • 稽核
Compliance Audits |
| • 開俾前安全檢查 Prestartup
Safety Review | • 商業機密
Trade Secret |
- OSHA :Occupational Safety and Health

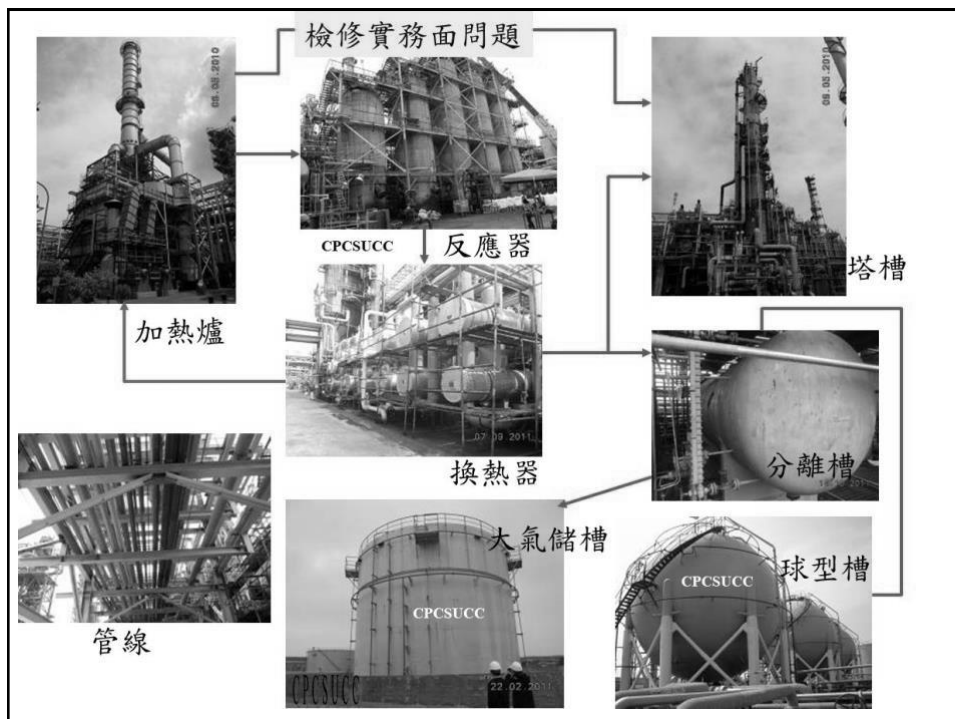
什麼是設備完整性(MI)?

Replace the “breakdown” maintenance philosophy with an on-going equipment integrity philosophy that ensures that process equipment^{CPCSUCC} and instrumentation are designed, constructed, installed, and maintained to minimize the risk of hazardous releases.

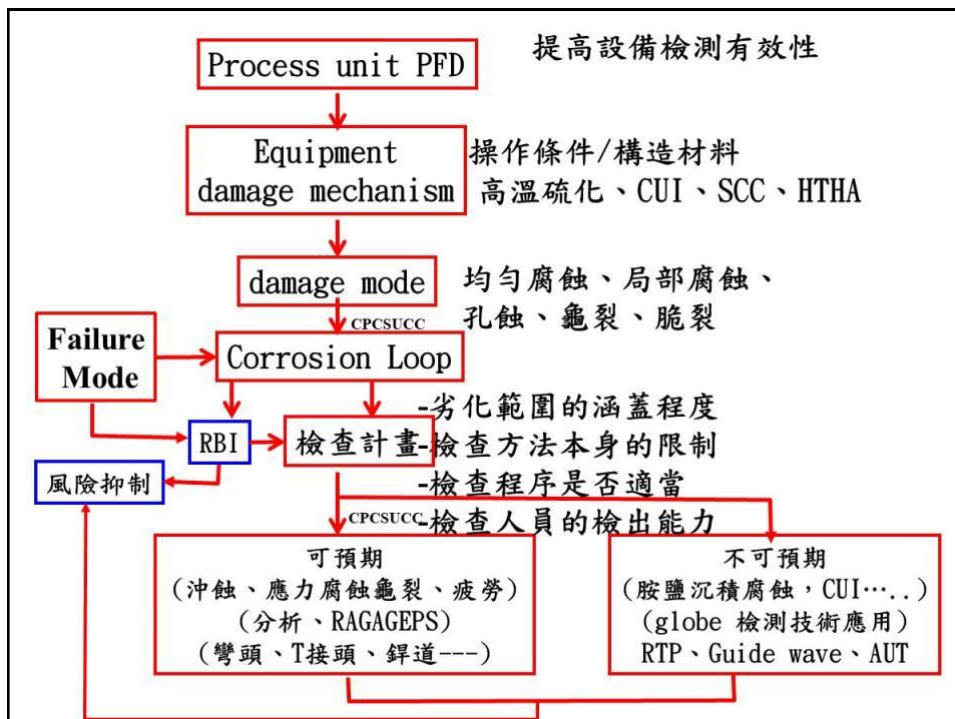
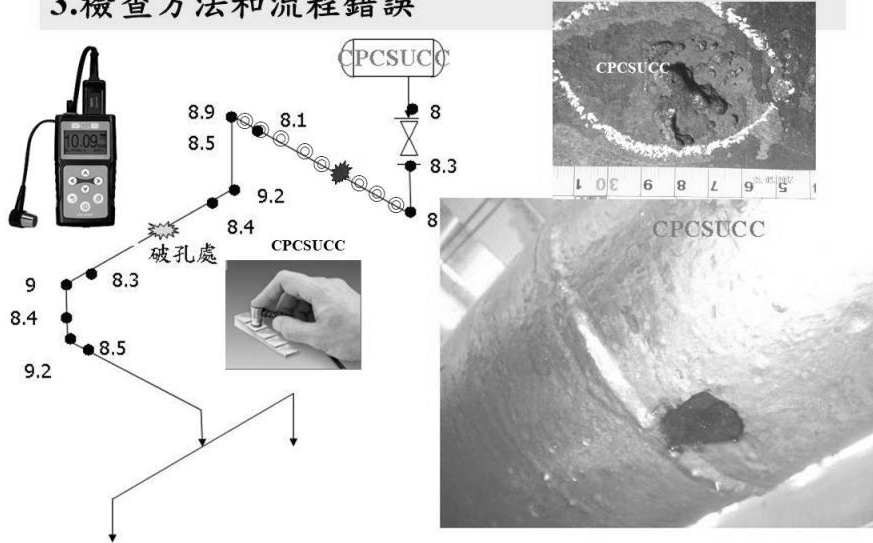
以一個持續設備完整性理念取代損壞維修理念,確保製程設備和儀控從設計、建造、安裝和維護來降低危險物質洩漏的風險

- ◎Pressure vessels, storage tanks
壓力容器(反應器、塔槽、換熱器、分離槽……)、儲槽
- ◎Piping systems (components such as valve)
管路系統(包括附屬組件,例如閥體、法蘭、插管……)
- ◎Relief and vent systems
釋壓和排放系統
- ◎Emergency shutdown systems
緊急遮斷系統
- ◎Controls(monitoring device 、 sensors 、
alarms,and interlocks)
控制系統(監視裝置、感測器、警報器、連鎖裝置)
- ◎轉機
泵浦、壓縮機
- ◎公用系統(冷卻水、蒸氣、空氣、電力……)

25



- 1.無法全面掌握複雜製程之潛在損傷問題:
不知該檢查哪些設備和管線、哪些位置
- 2.無效檢查或低度有效性檢查，出現盲點
- 3.檢查方法和流程錯誤



API 510

5.1.2.2 The inspection plan is developed from the analysis of several sources of data. Equipment shall be evaluated based on present or potential types of damage mechanisms. The methods and the extent of NDE shall be evaluated to ^{CPCSUCC}assure that the specified techniques can adequately identify the damage mechanism and the extent and severity of damage. -Inspection plans shall be reviewed and amended as needed when variables that may impact damage mechanisms and/or deterioration rates are identified, such as those contained in inspection reports or MOC documents.

29

API 570- Inspection plans

檢測規劃

- Inspection plans shall be reviewed and amended as needed when variables that may ^{CPCSUCC}impact damage mechanisms (損傷機制) and/or deterioration rates are identified.
- Piping systems shall be evaluated based on present or possible types of damage mechanisms
- The methods and the extent of NDE shall be evaluated to assure they can adequately identify the damage mechanism and the severity of damage
- The inspection plan shall contain the inspection tasks and schedule required to monitor identified damage

MI架構(OSHA規定要項)-六大項

1.Applications

適用範圍:壓力容器、儲槽、管線、儀控、安全閥、轉機)
(MI第一步篩選出關鍵性設備和元件，RBI、FMEA、RCM、LOPA)

2.Written procedures

撰寫程序(檢查、測試、維護)

3.Training for process maintenance activities

製程維護作業訓練

4.Inspection and testing

檢查和測試(依據好的工程實務，RAGAGEPS)

5.Equipment deficiencies

設備缺失(適用性評估)

6.Quality assurance

品保(材質正確)

RBI: Risk Based Inspection

風險基準檢查

風險=失效可能性×失效影響後果
(likelihood × consequence)

風險(RISK)=設備失效機率(PoF) ×失效後果影響(CoF)

風險=失效可能性×失效影響後果

※損傷機制及速率
-減薄
-環境引起之裂紋
-機械/冶金損傷
※操作時數
※檢查有效性

※傷害
(著火性、毒性、爆炸)
※停機時間
※財物損失
※環境影響

RBI, as a risk-based approach, focuses attention specifically on the equipment and associated damage mechanisms representing the most risk to the facility.(RBI是和損傷機制相關之風險基準策略)

-RBI provides a better linkage between the mechanisms that lead to equipment failure and the inspection approaches that will effectively reduce the associated risks

RBI提供更好導致設備失效之損傷機制和檢查策略更好的連結。



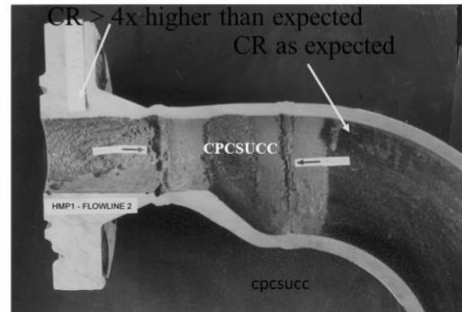
檢查有效性-檢查技術

檢測技術	薄化	表面裂紋	次表面裂紋	微裂紋	冶金改變	尺寸改變	起泡
	CPCSUCC				/孔洞		
目視	1-3	2-3	X	X	X	1-3	1-3
直束超音波	1-3	3-X	3-X	2-3	X	X	1-2
斜束超音波	X	1-2	1-2	2-3	X	X	X
螢光磁粒探傷	X	1-2	3-X	X	X	X	X
液滲探傷	X	1-3	X	X	X	X	X
聲射	X	1-3	1-3	3-X	X	X	3-X
渦電流	1-2	1-2	1-2	3-X	X	X	X
磁漏	1-2	X	X	X	X	X	X
射線	1-3	3-X	3-X	X	X	1-2	X
尺寸量測	1-3	X	X	X	X	1-2	X
冶金分析	X	2-3	2-3	2-3	1-2	X	X

1=高度有效性 2=中度有效性 3=可能有效性 X=不適用

304SS管線測厚20年
氯離子應力腐蝕龜裂!!!
無效檢測

硫酸易侵蝕鋁道
低度有效檢查



API 580

- Identification of the credible damage mechanisms and failure modes for equipment included in a risk analysis is essential to the quality and the effectiveness of the risk analysis.
- The RBI team should consult with a corrosion specialist to define the equipment damage mechanisms, damage modes (optional), and potential failure modes.

Damage Mechanisms

Damage Mode CPCSUCC

The physical manifestation顯示 of damage
(e.g. wall thinning, pitting, cracking, rupture).

Failure Mode

The manner of failure. For RBI, the failure of concern is loss of containment of pressurized equipment items. CPCSUCC
Examples of failure modes are small hole, crack, and rupture.

- a) pinhole leak,
- b) small to moderate leak,
- c) large leak,
- d) ductile rupture,
- e) brittle fracture

冷卻水塔旁管架上一條8吋化學級丙烯碳鋼管線
，操作80°C，矽酸鈣保溫。

1.damage mechanism :corrosion under insulation

2.damage mode : localized corrosion



3.failure modes

- Generalized corrosion : large burst
- localized corrosion : a pinhole type leak.

a) General and localized metal loss: 均勻或局部金屬損耗(減薄)

1) sulfidation and high-temperature H₂S/H₂ corrosion—refer to API 571, Sections 4.4.2 and 5.1.1.5 and API 939-C; 高溫硫化腐蝕

2) oxidation—refer to API 571, Section 4.4.1; 高溫氧化

3) microbiologically induced corrosion—refer to API 571, Section 4.3.8; 細菌腐蝕

4) naphthenic acid corrosion—refer to API 571, Section 5.1.1.7 環烷酸腐蝕;

5) erosion/erosion-corrosion—refer to API 571, Section 4.2.14 沖蝕;

6) galvanic corrosion—refer to API 571, Section 4.3.1; 加凡尼腐蝕

7) atmospheric corrosion—refer to API 571, Section 4.3.2; 大氣腐蝕

8) corrosion under insulation (CUI)—refer to API 571, Section 4.3.3; 包覆層下腐蝕

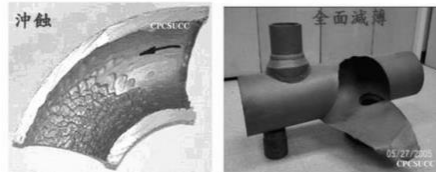
9) cooling water corrosion—refer to API 571, Section 4.3.4; 冷卻水腐蝕

10) boiler water condensate corrosion—refer to API 571, Section 4.3.5;

11) soil corrosion—refer to API 571, Section 4.3.9; 土壤腐蝕

12) ammonium bisulfide and chloride corrosion—refer to API 571, Sections 5.1.1.2 and 5.1.1.3; 硫化銨和氯化銨腐蝕

13) carbon dioxide corrosion—refer to API 571, Section 4.3.6 二氧化碳腐蝕



b) Surface connected cracking:

表面連接之裂紋(起始於內或外表面)

1) mechanical fatigue cracking—refer to API 571, Section 4.2.16;

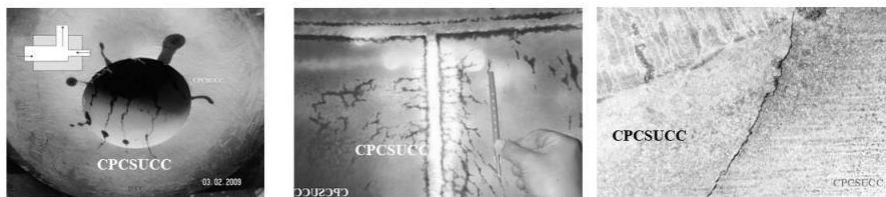
2) thermal fatigue cracking—refer to API 571, Section 4.2.9;

3) caustic stress corrosion cracking—refer to API 571, Section 4.5.3;

4) polythionic stress corrosion cracking—refer to API 571, Section 5.1.2.1;

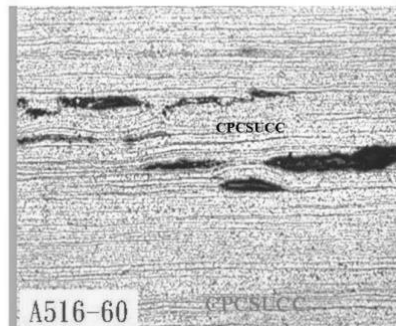
5) sulfide stress corrosion cracking—refer to API 571, Section 5.1.2.3;

6) chloride stress corrosion cracking—refer to API 571, Section 4.5.1.



c) Subsurface cracking:次表面裂紋

- 1) hydrogen induced cracking—refer to API 571, Section 4.4.2;
- 2) wet hydrogen sulfide cracking—refer to API 571, Section 5.1.2.3.

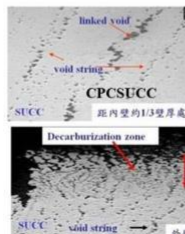
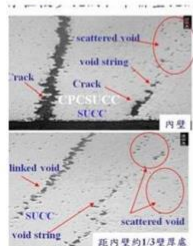


d) High-temperature microfissuring/microvoid formation and eventual macrocracking

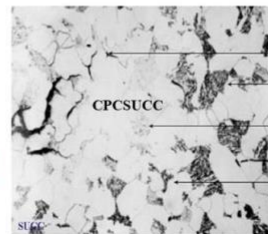
高溫下形成微裂紋/孔洞，最終的巨觀龜裂

- 1) high-temperature hydrogen attack—refer to API 941, Section 6;
- 2) creep/stress rupture—refer to API 571, Section 4.2.8.

creep/stress rupture



high-temperature hydrogen attack



e) Metallurgical changes: 冶金改變(金屬內部異常析出物)

1) graphitization—refer to API 571, Section 4.2.1;

2) temper embrittlement—refer to API 571, Section 4.2.3;

3) hydrogen embrittlement—refer to API 571, Section 4.5.6

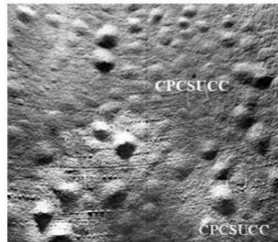
4) 885 °F (475 °C) Embrittlement

5) Sigma Phase Embrittlement

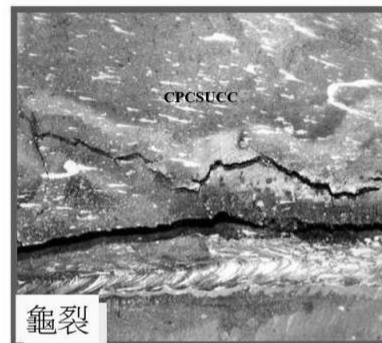


f) Blistering: 起泡

1) hydrogen blistering—refer to API 571, Section 5.1.2.3.



失效嚴重度-失效模式



腐蝕環路

(Corrosion loop , Corrosion circuit)

API 570

pipng circuit

A section of piping that is exposed to a process environment of similar corrosivity or expected damage mechanisms and is of similar ^{CPCSUCG} design conditions and construction material.

NOTE 1 Complex process units or piping systems are divided into piping circuits to manage the necessary inspections, calculations, and recordkeeping.

NOTE 2 When establishing the boundary of a particular piping circuit, the inspector may also size it to provide a practical package for recordkeeping and performing field inspection.

- It is suggested that a “true” corrosion loop should be a grouping were the degradation mechanism is "likely" to be the same i.e.

◎Material of Construction,

◎Process fluid (similar stream properties),

◎Temperature (roughly, or at least within the damage mechanisms susceptibility thresholds),

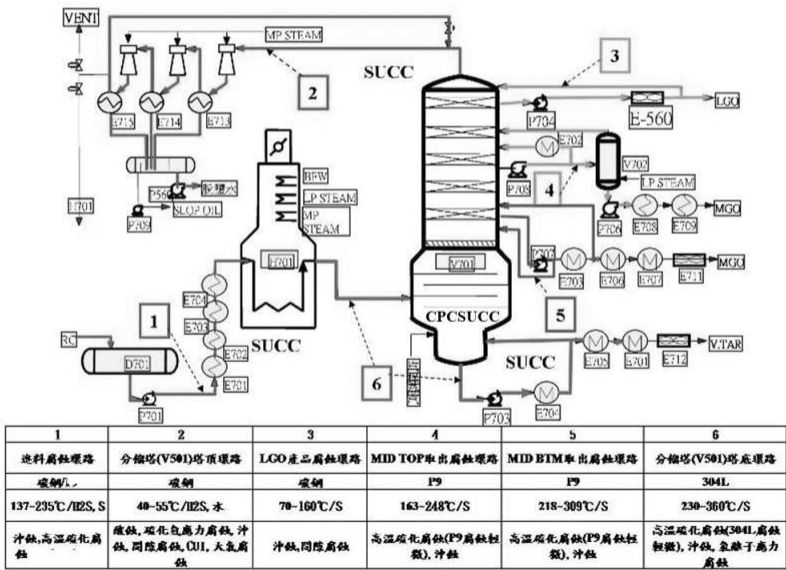
◎Pressure (if the damage mechanism/s of concern is/are reliant upon pressure), and

◎Velocity (again (if the damage mechanism of concern is reliant upon velocity).

腐蝕環路

- 相同材料和類似的操作條件和類似的腐蝕因子存在相同之腐蝕劣化機制所構成之製程區段稱之為腐蝕環路
- 一個腐蝕環路可能存在不同腐蝕劣化機制
- 一個腐蝕環路可能存在不同尺寸管線和設備

腐蝕環路範例



Dead-legs

- The corrosion rate in dead-legs can vary significantly from adjacent active piping.
- The inspector should monitor wall thickness on selected dead-legs, including ^{CPCSUCC} both the stagnant end and at the connection to an active line.
- water can collect in dead-legs that can freeze in colder environments resulting in pipe rupture**
- For such systems, extensive inspection coverage using such techniques as UT scanning and profile RT may be necessary in order to locate the area where dew-point or ammonium-salt corrosion is occurring.

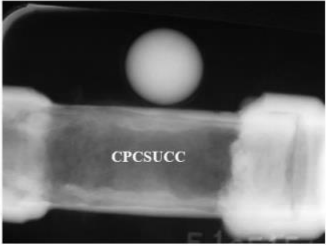
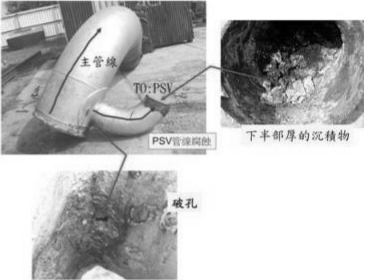
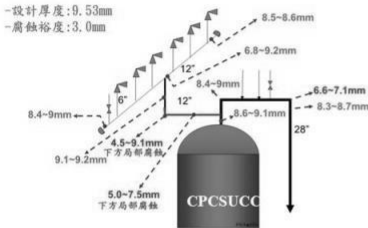
51

檢查規劃

設備類型	設備編號	劣化型態說明	檢查重點和方法	結果問題和追蹤事項以及實勘/搭架說明
管線 (主塔 塔頂環 路)	1.V501塔頂出口-E551-E521-D503 2.V501-P503-E502-V501(***) 3.D503-D504-C501-E522-5905 4.D505-P511-E513-E514-E515-E516-V505	1.此段最易酸蝕,硫化氫應力腐蝕(尤其大小頭銲接處) 2.E502-V501潛在CUI問題	1.塔頂第一迴流側進口附近殼體和管線加強測厚 2.CUI問題:人孔接管(尤其下半部)加強測厚(27層以上) 3. ^{CPCSUCC} 塔底裙板銲道處拆保溫檢查腐蝕或龜裂 4.連接儀表, VENT, DRAIN和安全閥等附屬於殼體滯留區的管線加強UT密集測厚或RTP(尤其塔頂和塔底附近) 5.加強塔內部目視檢查,以發現局部腐蝕,並輔以測厚	搭架,拆保溫

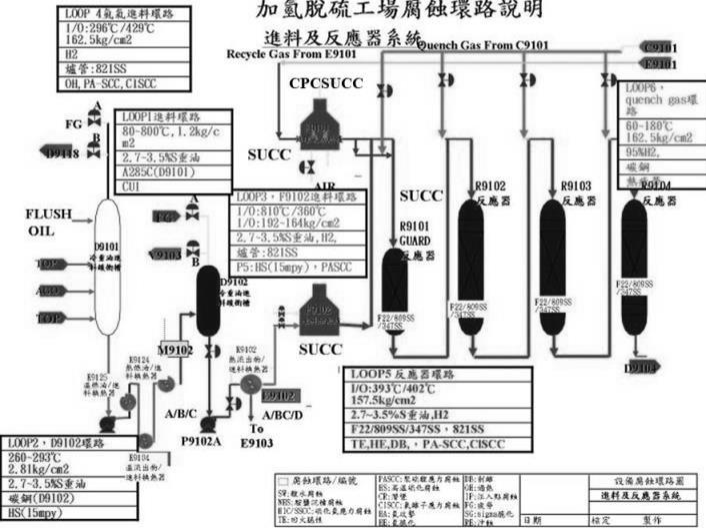
檢查結果

大修前規劃, 大修中有效應用檢測技術落實檢查
發現瀕臨洩漏管線, 避免一次洩漏事件



加氫脫硫工場腐蝕環路

加氫脫硫工場腐蝕環路說明

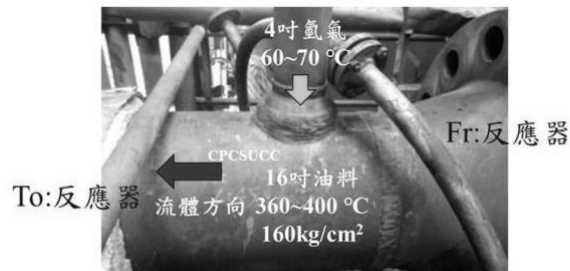


設備類型	設備編號	劣化型態說明	檢查方案	配合事項
反應器	R2001-R2004	2.25Cr-0.5Nb內襯316SS 依目前操作條件分析主要劣化型態以蠕變和應力腐蝕為主	1. 所有法蘭螺栓開啟並作PT檢查 開啟期間可考慮驗先 2. 可選先其中之一座反應器之周向焊縫作UT CPCSUCC 3. 所有內件檢查是否龜裂 4. 遵守開停爐程序 5. 熱點點焊封焊或覆蓋焊處是否龜裂	拆吊溫
 				

API570/API 574 process mixing point -Mixing points are locations in a process piping system <u>where two or more streams meet.</u> -The difference in streams may be composition, temperature or any other parameter that may cause deterioration and may require additional <u>design considerations, operating limits, inspection and/or process monitoring.</u> -Mixing points can be subject to accelerated damage either from corrosion or mechanical mechanisms (e.g. thermal fatigue). -The inspector, unit process engineer, and corrosion engineer will typically review PFDs to identify susceptible process mixing points and define the extent of the mix point circuit 檢查員、製程工程師以及腐蝕工程師應審視機械流程圖(PFD)鑑別出製程混合點，並定義出混合點環路之範圍 -Mixing points identified as such, may be treated as separate inspection circuits, and these areas may need to be inspected differently, using special techniques, different scope, and at more frequent intervals when compared to the inspection plan for the parent/contributing piping stream(s).

劣化機制鑑別

- 反應器16吋進料管線，內容物含重油、燃料油、硫化氫和氫氣等
- 操作壓力約為 160kg/cm^2 ，操作溫度約為 $360\sim 400\text{ }^\circ\text{C}$
- 其上連接一條溫度約 $60\sim 70\text{ }^\circ\text{C}$ 之4吋氫氣驟冷管線，做為控制反應溫度用
- 兩條管線材質均為321不銹鋼



風險評估

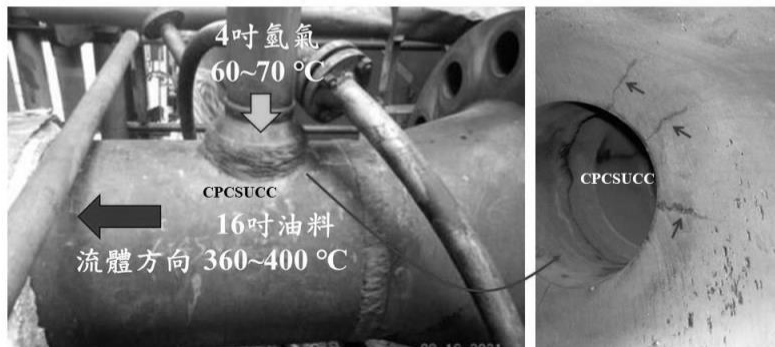
- 失效可能性:潛在高度熱疲勞龜裂(Thermal Fatigue)
API 574定義當主管線流體為液體，插入管線為氣體時，沃斯田鐵材質兩者溫度差異達 $149\text{ }^\circ\text{C}$ 以上時，潛在發生熱疲勞龜裂，API 571也陳述當溫度變化超過 $110\text{ }^\circ\text{C} \sim 165\text{ }^\circ\text{C}$ 時，潛在熱疲勞問題
- 失效嚴重度:屬於API 570 class 1

Table 4—Mix Point Thermal Fatigue Screening Criteria

Flow Medium		Delta Temp ($^\circ\text{F}$)	
Main Pipe	Secondary Pipe	Ferritic	Stainless
Gas	Gas	450	300
Liquid	Liquid	450	300
Liquid	Gas	450	300
Gas	Liquid	275	125

檢查結果

- 規劃相陣列超音波探傷(PAUT)和輔以目視之高度有效性檢查
- 檢查結果在主管線插管處發現輻射狀裂紋，裂縫深度(18mm)
- 裂紋呈現平行狀且無分支，此為典型熱疲勞裂紋



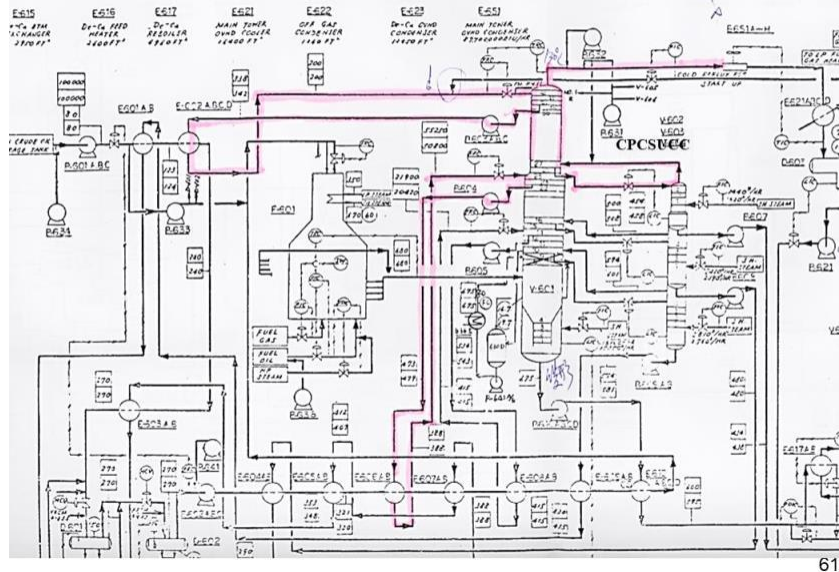
包覆層下之腐蝕 (Corrosion Under Insulation, CUI)

設備皮膚病
設備隱形殺手



CUI腐蝕環路

API:碳鋼材料:操作溫度在-12~175°C

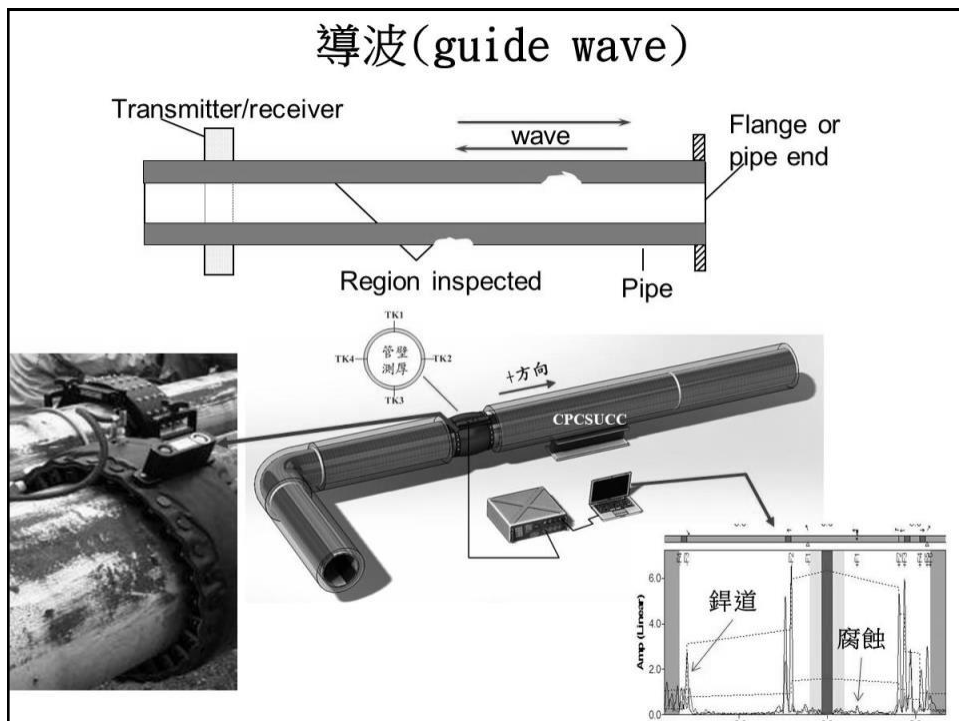
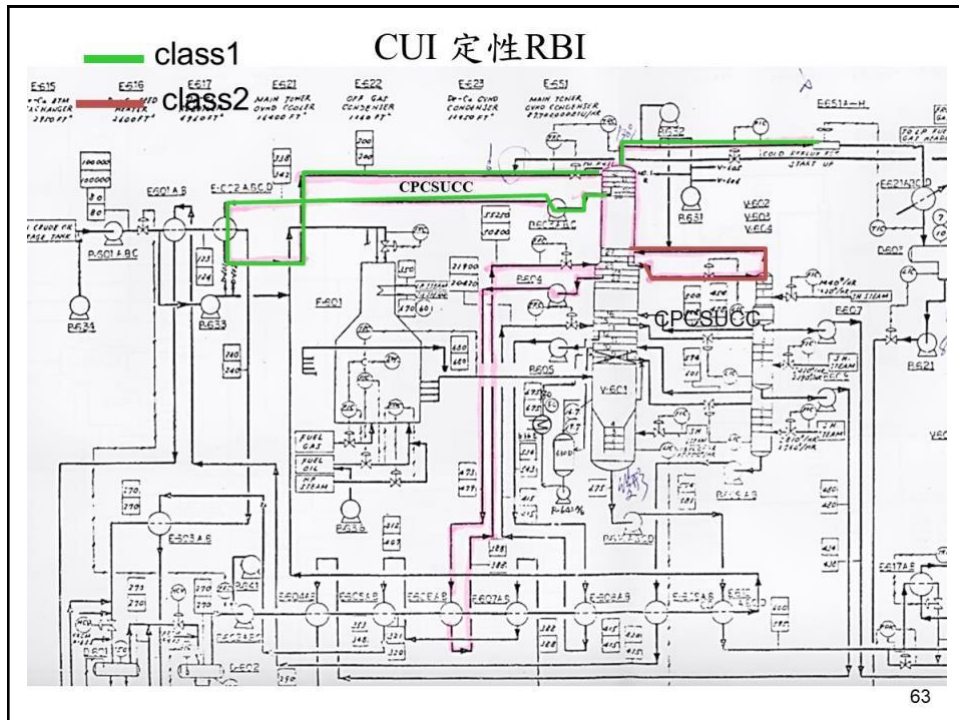


61

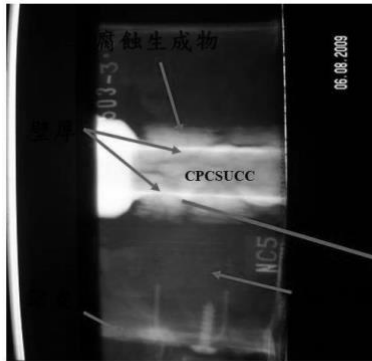
失效嚴重度評估-API 570

管線等級	內 容 物
A (Class 1)	- 洩漏後對安全及環境會有高度緊急衝擊者。 - 內容物為可燃性且會自動結凍導致脆裂者。 - 壓力狀態下之內容物，一旦洩漏或釋放後，會迅速氣化、產生蒸汽雲、形成爆炸性混合物者，例如C₂、C₃、C₄之油料。 - 氣相中H₂S濃度超過3 wt%者^{CPCSUC} - 無水氯化氫(Anhydrous Hydrogen Chloride)。 - 氫氟酸(Hydrofluoric Acid)。 - 操作溫度高於其自燃點之可燃性物質。 - 含氫氣純度達80%以上者。
B (Class 2)	- 工場區之製程管線，漏出時會逐漸蒸發者(例如操作溫度在閃火點以下之油料管線，C5-C12之油料)。 - 氫氣(純度低於80%者)、燃料氣、天然氣、高壓蒸汽之管線。 - 工場區之強酸、強鹼管線。 不屬於A、C、D類之製程管線
C (Class 3)	- 區域之作業活動並不頻繁，且洩漏時不太會蒸發者之油料管線(例如操作溫度低於閃火點之油料管線，高於C₁₂之油料)。 - 蒸餾油及產品之輸送與灌裝管線。 - 工場區以外之酸液及鹼液管線。
D (Class 4)	- 屬於不燃性及非毒性管線。2. 蒸汽、冷凝水管線。 - 空氣、氫氣、潤滑油及密封油管線。4. 純水、鍋爐水及脫酸水管線。 - ASME B31.3屬於D類之流体(如註)。 - 自來水及排放管。

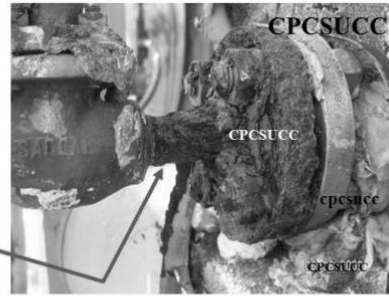
62



- 射線輪廓照相技術(RTP)對液位計短管進行不拆包覆檢查
- 發現管壁外壁明顯減薄，腐蝕生成物外觀呈現千層派狀



射線輪廓照相技術(RTP)結果



拆開包覆檢視結果

65

三、損傷機制應用在操作管控

66

-In today's operating environment, it is not enough to base future inspection plans only on prior recorded/known history of equipment condition.

根據以前之設備狀況記錄和已知歷史來建立未來檢測計畫已不夠

-A fundamental understanding of the process/operating conditions and resulting ^{CPCSUCC} damage mechanisms are required in order to establish and maintain an inspection program that yields the highest probability of detecting potential damage.

建立和維護一個最高潛在損傷檢出機率之檢測計畫，對製程/操作條件以及造成之損傷機制之基本了解是必須的

-A fundamental step is to frequently rationalize and align the developed degradation knowledge base of the materials of construction with the operation of the equipment, its inspection history, measured corrosion rates and known industry ^{CPCSUCC} problems.

一個基本步驟為依據結構材料隨著設備操作、檢查歷史；量測之腐蝕速率以及已知工業的問題，對已發展之損傷知識經常進行合理化和調整

With the move to risk based inspection programs, it is even more vital to identify and track process information that validates or might cause changes to existing inspection plans.

隨著轉向風險基準的檢查計劃，更為重要是鑑別和追蹤以驗證或變更既有檢測計劃

Inspection plans generally assume that the next inspection interval (calculated based on prior damage rates from past operating experience) are scheduled on the basis of what is already known and predictable about equipment degradation from previous inspections.

一般檢測計畫是假設下一個檢查間隔(根據過去操作經驗計算之損傷速率)的時間安排是基於由以前檢查之已知和可預測的損傷機制

Inspection plans are typically based on historic damage mechanisms and trends and are not generally designed to look for unanticipated damage resulting from process variability and upsets.

檢測計畫典型是建立在歷史損傷機制和趨勢，一般不是設計來發現因製程變化和異常所導致不預期之損傷機制

-Inspection plans should be dynamic and account for changing process conditions and current equipment condition.

檢測計畫是動態的，和製程條件改變以及目前設備狀況有關

Without a set of effective and complete IOW's and feedback loop into the inspection planning process, inspections might need to be scheduled on a more frequent time-based interval just to look for anything that might potentially occur from process variability.

假如沒有一組有效和完整之IOW和回饋環路導入檢查計畫，檢查可能需要排定更頻繁之以時間為基準之檢查週期，以期發現因製程變化所潛在發生之任何事。

Pressure equipment is generally fabricated from the most economical materials of construction to meet specific design criteria based on the intended operation and process conditions. The operating process conditions should then be controlled within preset limits (IOW's) in order to avoid unacceptable construction material degradation and achieve the desired economic design life of the assets.

一般壓力容器製造係基於操作和製程條件，選用最經濟之結構材料，以符合特殊設計基準，操作製程條件應被控制在預設之IOW限制內，以避免結構材料不預期之劣化以及達到資產期望之經濟性設計壽命。

-腐蝕裕度(Corrosion Allowance, CA):3mm

-設計壽命:30年

》控制在一組參數條件以下操作，確保腐蝕速率低於
 $3\text{mm}/30\text{年}=0.1\text{mm}/\text{年}$

A properly structured, efficient, and effective inspection program depends on IOW's being established and implemented to improve inspection planning and to avoid unanticipated impacts on pressure equipment integrity.

一個正確架構，高效率 and 有效的檢查程序取決於IOW的CPCSUCC建立和執行，以改善檢測計畫以及避免對承壓設備不預期之影響

操作完整性視窗
Integrity Operating Window
(IOW)

API 584定義

IOW , integrity operating window

Established limits for process variables (parameters) that can affect the **integrity** of the equipment if the process operation deviates from the established limits for a predetermined length of time.

建立製程變數(參數)的限制值，偏移此限制值一段預定時間後將會影響設備的完整性

操作完整性視窗
Integrity Operating Window
(IOW)

IOW process parameters that may influence the mechanical integrity or reliability of the equipment fall into two categories, chemical and physical. The parameters noted below are not all inclusive, but provide examples of the potential process parameters that may need IOW's established in order to control degradation rates and/or avoid the onset on new damage mechanisms that might eventually lead to breaches of containment.

影響機械完整性或可靠度之IOW參數分成兩類
包括化學性和物理性

IOW參數建立的目的是為了控制腐蝕劣化速率以及避免產生新的劣化機制因而導致承載體洩漏

物理性參數

4.1.2 Physical (mechanical, operational) parameters are those that are not chemical in nature, but include all other aspects of a process design that are vital to maintaining control within established design parameters. Examples of physical parameters include: various pressure and temperatures such as design, operating, partial pressures, dew points, dry points, heating and cooling rates, delta pressure, etc. In addition, there are flow rates, injection rates, inhibitor dosage, amperage levels for contactors, slurry contents, hydrogen flux, vibration limits, corrosion probe measurements, etc.

物理性(機械、操作)參數，本質非化學性的，設計/操作壓力和溫度、結露點、乾點、加熱和冷卻速率、差壓、流量，注入速度、抑制劑劑量、氫通量、振動限制值、腐蝕探頭量測-----等等(不是涵蓋全部)

化學性參數

Chemical parameters are those that relate to the chemistry and fluid content of the process. Examples of chemical parameters include: pH, water content, acid gas loading, sulfur content, salt content, NH₄HS content, NH₃ content, TAN, acid strength, amine strength, inhibitor concentration, chloride contamination levels, oxygen content, etc.

化學性參數和製程化學性質和流體內容物有關，包括PH，水含量，酸氣負荷，硫含量，鹽類濃度，NH₄HS含量，氨含量，TAN，酸含量、胺含量，添加劑濃度、氯濃度、氧濃度-----等等(不是涵蓋全部)

Typically IOW's address issues that involve process variables that, when not adequately monitored or controlled, can impact the likelihood and rates of damage mechanisms, which may result in a loss of containment.

IOW著重於當製程參數沒有被適當監測或控制，會影響損傷機制之可能性和速率可能會導致內容物外洩。

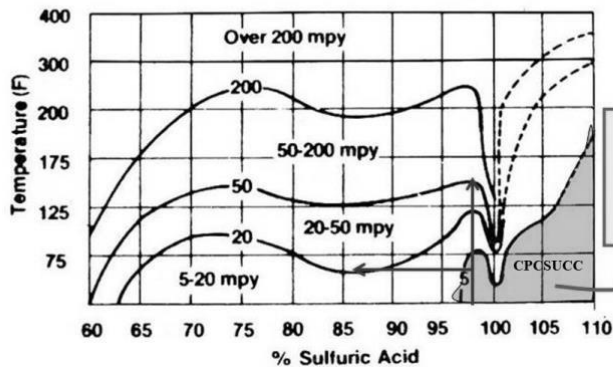
Operation within the preset limits should result in predictable and reasonably low rates of degradation.

操作在預設之限制內，劣化速率應是可預測和在合理低的速率

Operation outside the IOW limits could result in unanticipated damage, accelerated damage and potential equipment failure from one or more damage mechanisms.

操作在IOW限制外，將導致不預期之損傷、加速損傷以及因一個或多個損傷機制，潛在設備失效。

碳鋼在不同溫度和硫酸濃度之等腐蝕曲線 (iso-corrosion curve)



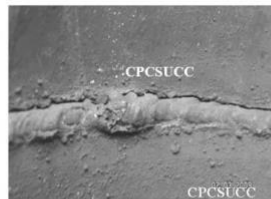
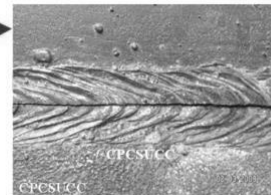
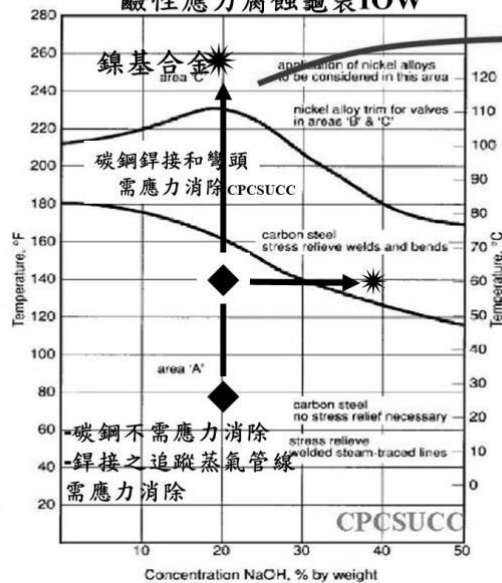
碳鋼在硫酸
操作之IOW
5mpy

5mpy=5mil/年=0.13mm/年=0.0004mm/年

25°C 98% 腐蝕速率: 5mpy	CA: 3mm	預期壽命: 23年
50°C 98% 腐蝕速率: 20mpy	CA: 3mm ^{CPCSUCC}	預期壽命: 5.8年
65°C 98% 腐蝕速率: 50mpy	CA: 3mm	預期壽命: 0.23年(2.76個月)
65°C、80% 腐蝕速率: 50mpy	CA: 3mm	預期壽命: 0.23年(2.76個月)

因NaOH碳鋼管線會有白色結晶析出物，加裝steam tracing後溶解，
發生鐸道龜裂？

鹼性應力腐蝕龜裂IOW



There sometimes is a misunderstanding regarding the differences between the design conditions stamped on the nameplate of the equipment and the actual process operating limits of the equipment based on damage mechanisms.

-在設備的名牌上標註的設計條件與基於損傷機制之設備的實際製程操作限制之間的差異，有時會產生誤解

The mechanical design limits for pressure and temperature per ASME Code construction stamped on the vessel may be much higher than the operating limits established for materials of construction degradation resistance. This difference is one of the many reasons that IOW's are beneficial.

在ASME規範結構的壓力和溫度的機械設計限制可能遠高於抗結構材料劣化的操作限制。這種差異是IOW的許多好處原因之一。

壓力容器設計資料
DESIGN DATA

CODE	ASME SECT.VIII DIV.1	2007 ED.	U-STAMP	YES
FLUID NAME	CONDENSATE		LETHAL/TOXIC	NO/NO
CORROSION ALLOWANCE	SHELL	3 MM	HEAD	3 MM
DESIGN P.	G/F.V.	KG/CM ² G	OPER. P.	3.75 KG/CM ² G
DESIGN TEMP.	299 °C		OPER. TEMP.	148 °C
MIN. DESIGN METAL TEMP.	5.6 °C			
RADIOGRAPH	SHELL SPOT		HEAD	FULL
JOINT EFFICIENCY	SHELL	85%	HEAD	100%
POSTWELD HEAT TREAT	NO			
MAX. ALL WORKING PRESS.	6	KG/CM ² G	@299 °C	
HYDROSTATIC TEST PRESS.	7.97	KG/CM ² G		
PNEUMATIC TEST PRESSURE	---	KG/CM ² G		
INSULATION THICKNESS	40(HOT)	MM		
FIREPROOFING	---	MM		
SPEC. GRAVITY OF CONTENT AT OPER. CONDITION	0.917			
PAINTING	PER CTQI SPECIFICATION XL10-0000-01			
ANCHOR BOLTS / SETTING BOLTS	NO/YES			
SLIDING PLATE / SHIM PLATE	NO/NO			
CNS CATEGORY	第一種壓力容器			

ASME U

U

W
RT 2

CERTIFIED BY: KOCH HEAT TRANSFER COMPANY, LP

SHELLSIDE			TUBESIDE		
MAWP	697	PSIG	MAWP	697	PSIG
AT	464	°F	AT	464	°F
MAEWP	-	PSIG	MAEWP	-	PSIG
AT	-	°F	AT	-	°F
MDMT	-20	°F	MDMT	-20	°F
AT	697	PSIG	AT	697	PSIG

IOW限制等級分三類

- Informational IOW level(IIL)(訊息性 IOW 等級)
- critical IOW level (關鍵性IOW等級)
- standard IOW level(標準性IOW等級)



In order to operate any process unit, a set of operating ranges and limits needs to be established for key process variables, to achieve the desired results (i.e. product within specification, safe operation, reliability, etc.).

操作任何製程，為達到預期之結果(例如產品規範、安全操作、可靠度等等)須對主要製程參數建立操作範圍和限制

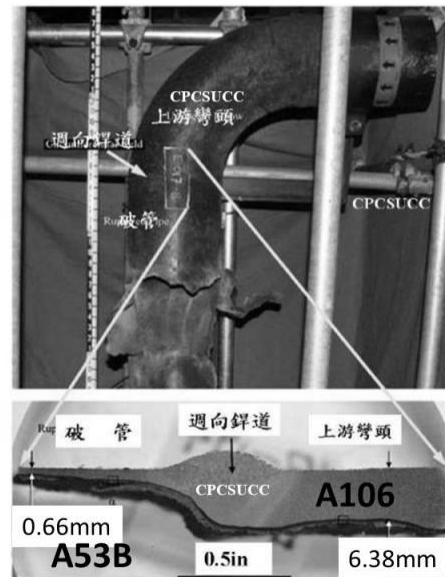
IOW's are a specific subset of these key operating limits that focus only on maintaining the integrity or reliability of process equipment.

IOW是一特定子組合，僅僅聚焦於維護製程設備之完整性或可靠度

高溫設備(爐管、鍋爐管、反應器)IOW

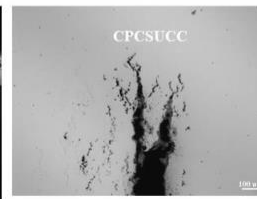
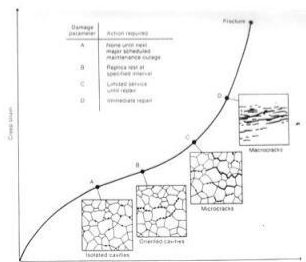
管線高溫硫化減薄破裂

- 導因於高溫硫化減薄所致
- 高於 260°C 以上



潛變(CREEP)

- ◎鋼材長時間在高溫和高應力之環境下使用，隨時間產生之應變現象，潛變初期會在晶界產生孔洞，隨時間增加孔洞會逐漸沿著垂直應力方向發展成具方向性之排列孔洞，孔洞逐漸串連成微裂紋，最後成長為大裂紋，其破口呈現厚唇魚口狀，內外表面會存在較厚之氧化層。
- ◎一般設計要求最小潛變壽命為10萬小時，實際使用壽命，會現場操作條件和材料設計保守度的影響，其中以溫度和熱應力對潛變壽命影響最大



短期過熱 - 應力破裂

Short Term Overheating - Stress Rupture

局部過熱所導致在低應力形成永久的變形。一般會引發鼓脹並最終因應力破裂而發生失效。破裂呈現魚口狀薄化特徵

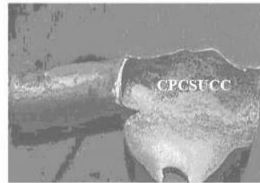
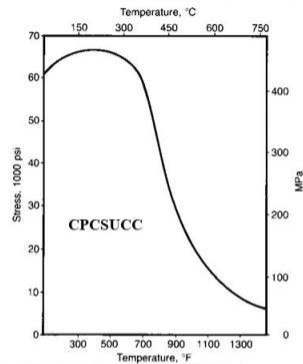
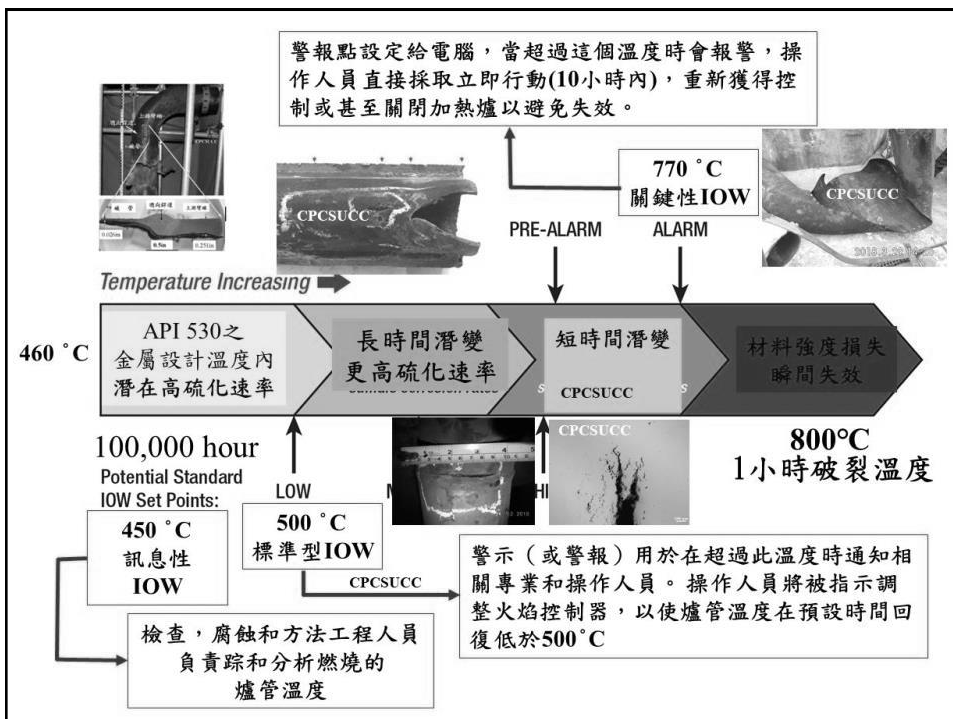


Figure 4-16 - 1C/0.5Mo boiler superheater tube in 700 psig steam service that failed due to overheating.



四、損傷機制應用在洩漏處理

91

2012年8月6日下午3:50
美國加州CHEVRON公司
RICHMOND 煉油廠火災事故



2012年8月6日下午3:50美國加州 Chevron 公司 RICHMOND 煉油廠第四原油蒸餾工場操作人員巡查發現地面存在油漬，經查為距離地面約5米高之一條管線發生滲漏，約每分鐘40滴，召集操作主管、檢查、修護和修護包商共商洩漏後續處置措施，^{CPCSUCC}並通知消防人員到場，^{GPCSUCC}並建立一6公尺平方之熱區(Hot zone)，最後決議拆除包溫觀察後，再決定停爐或克漏，於拆除保溫過程，管線發生驟發性破裂，釋放出可燃性製程碳氫化合物，部分揮發形成大的蒸氣雲



19員工陷入蒸氣雲中，兩分鐘後蒸氣雲被引燃，18名員工於蒸氣雲被引燃前安全從蒸氣雲撤離，一名位於消防車內員工陷入大火中，所幸該名員工^{CPCSUCC}全身穿著防火衣，也順利脫逃，僅6名員工遭受輕微傷害



火災產生大量未知之粒子漂浮通過加州RICHMOND地區，社區警報系統(CWS)發布3級和避難警報，於晚上11:12解除警報，火警事故發生後數週，^{CPCSUCC}15000附近居民就醫，包括呼吸系統問題、胸痛、喉嚨痛和頭痛等，其中20人住院治療。

事故導致該煉油廠停產8個月，Cal/OSHA開出和事故相關之17張罰單以及8張額外罰單，共一百萬美金。

失效損傷機制:高溫硫化



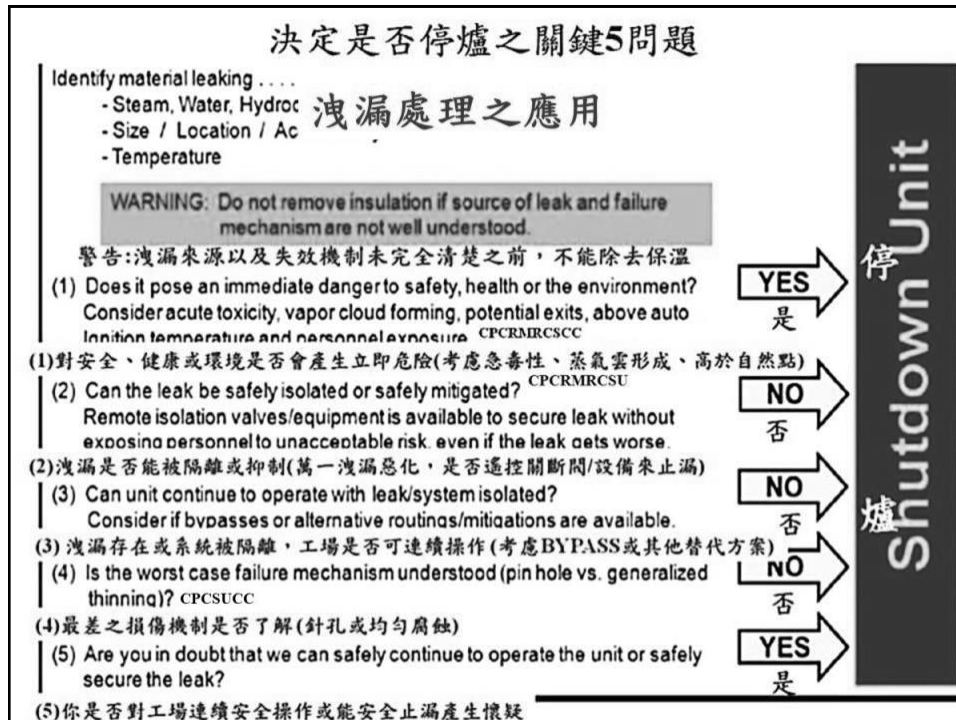
操作人員巡查發現地面存在油漬，經查為距離地面約5米高之一條管線發生滲漏(leak)，當均勻性腐蝕 corroded surface produced by sulfidation, it can lead to rupture type failure rather than a localized or pinhole leak.^{CPCSUCC}約每分鐘40滴，召集操作主管、檢查、修護和修護包商共商洩漏後續處置措施，於拆保溫過程突然發生破裂(rupture)，引發爆炸火災。筆因於高溫硫化(sulfidation)減薄

Because of the smooth, large, relatively uniformly 平滑大範圍相當均勻性腐蝕 corroded surface produced by sulfidation, it can lead to rupture type failure rather than a localized or pinhole leak.^{CPCSUCC}

高溫硫化產生的光滑，較大，相對均勻腐蝕的表面，會導致破裂類型的破壞，而不是局部洩漏或針孔洩漏。



Figure 4-116 – Sulfidation failure of NPS 8 carbon steel pipe. Note the relatively uniform thinning that resulted in a sizeable rupture.



API: 洩漏事件之調查

處理洩漏事件存在風險

(拆保溫勘查、克漏、熱鎖、貼補、Bypass、停爐、更換)

9.3 Investigation of Leaks

On-stream piping leaks in process units can occur for various reasons. Those who investigate the leak may be particularly at risk to the consequence associated with release of the process fluid. A site may want to create a general safety procedure to be followed during a piping leak investigation. A further precaution is to hold a safety review before any leak investigation. The review would consider the state of a piping system in terms of pressure, temperature, remaining inventory of process fluids, potential damage mechanisms and similar factors.

洩漏調查或修護工作, 應基於洩漏原因、操作溫度/壓力、是否在自然點以上、是否有毒性等進行安全評估, 並建立安全作業程序

The safety review team should define:

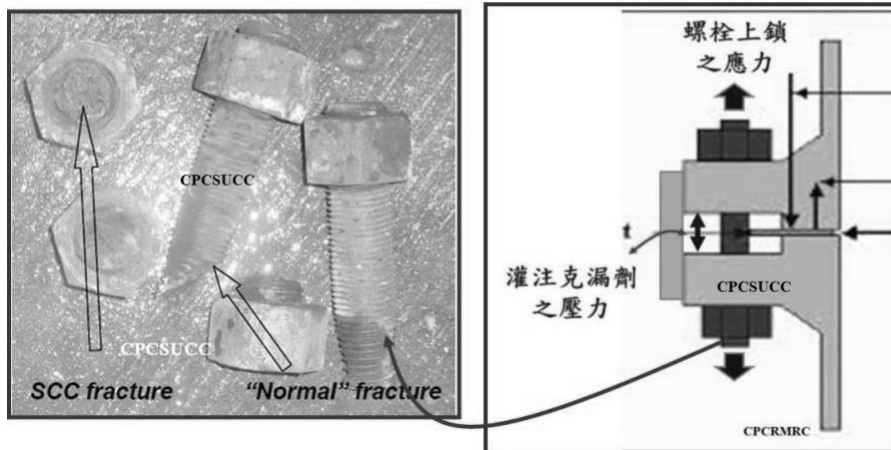
a “hot zone” around the leak site, and establish PPE and additional firefighting equipment requirements to perform work inside this zone; 建立熱區(hot zone)，在此區內之應具備個人防護設備以及消防設施

The safety review team must^{CPCSUCC} be careful making assumptions about the leak's cause. Incidents have occurred where investigative personnel assumed they knew the cause of a small leak on an operating line and were caught unprepared when the leak suddenly became quite large.

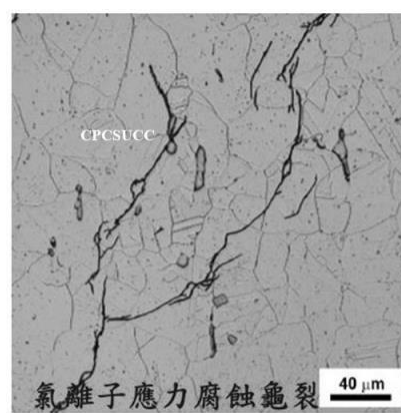
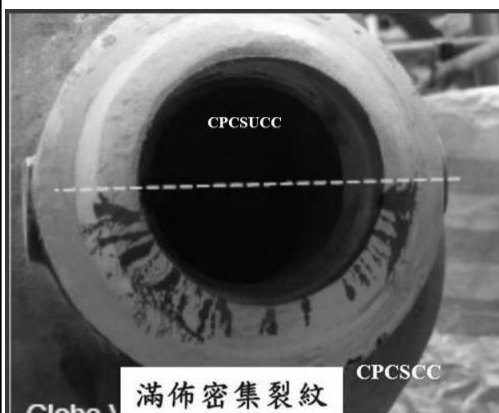
(小洩漏會變成突發性大漏)

克漏事故案例

螺栓鹼性應力腐蝕斷裂



- 1吋手動排放閥上之固定螺栓
- 螺栓材質編號為A193-B8材質(304SS)。
- 操作時間約3年
- 操作壓力74kg/cm²



Corrosion Never Sleep!!!
 Thank You for Your Attention!
 “蝕”在不安全!
 要隨時隨地提防它!!!
 保護
 生命、資產、環境
 【請您隨時要關心它!】
 <<否則總有一天您會懷念它>>



報告完畢
 敬請批評指教

