

H₂ 	管道系統組件自動檢查實務	
H₂S 		
Crude oil 		台灣中油股份有限公司 煉製研究所 蘇俊吉
CH₄ 		
LPG 		

課程綱要

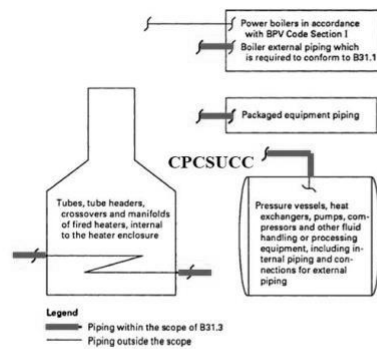
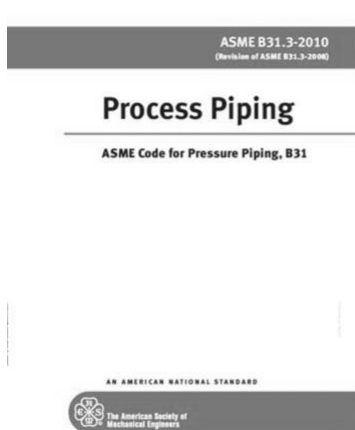
- 一、管道(管線、piping)操作風險
- 二、管線完整性的檢查策略
- 三、管線檢查重點和實務
- 四、結語

一、管道(管線、piping)操作風險



製程管線(process piping)

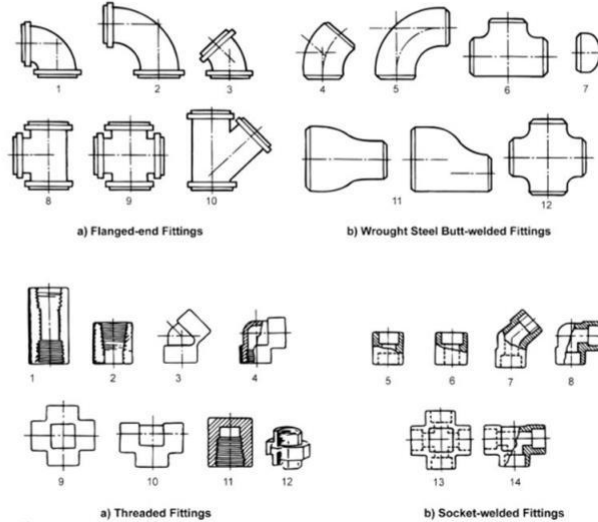
- ASME B31.1 power piping
- ASME B31.3 Process Piping
(Chemical Plant and Petroleum Refinery Piping)



設計、防蝕、維護、檢查
有別於長途輸送管線(pipeline)

管線涵蓋範圍

- Piping Components(Pipe、SBP, Secondary Piping, and Auxiliary Piping)
- Tubing
- Valves
- Fittings
- Flanges
- Expansion Joints
- Piping Supports
- Flexible Hoses



安全有兩種

(一樣重要)

OSHA 29 CFR 1910.119

職業安全管理(OSM)

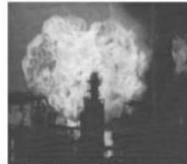
著重於以程序、機具設計和個人防護來預防事故發生，使人員傷害的風險降到最低，例如感電、墜落、窒息、撞擊、燙傷、捲夾等等傷害。

CPCSUCC

製程安全管理(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。

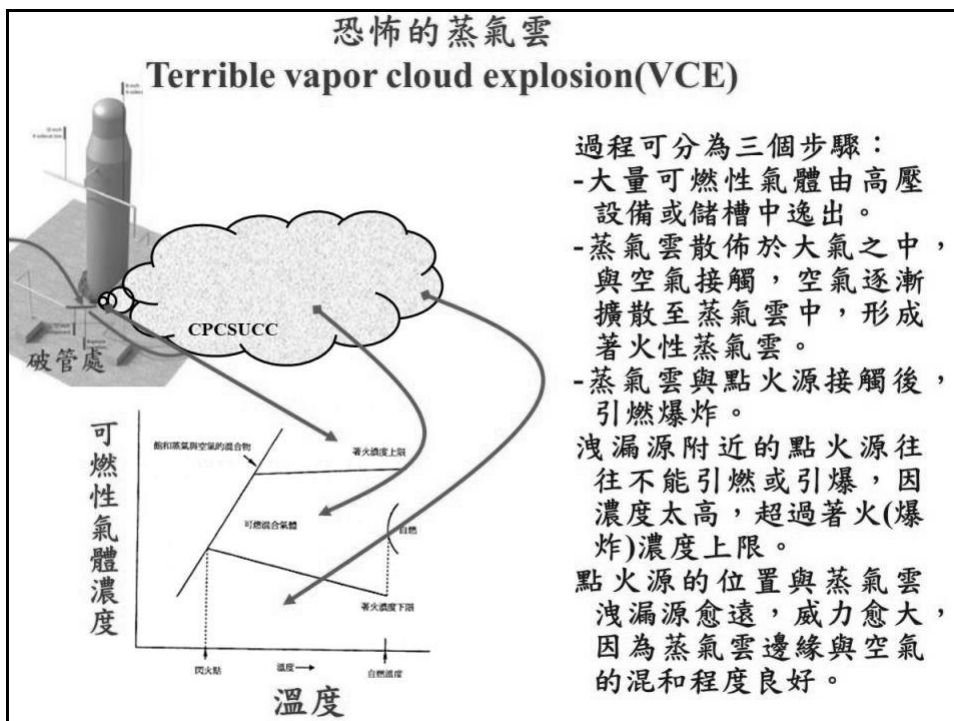
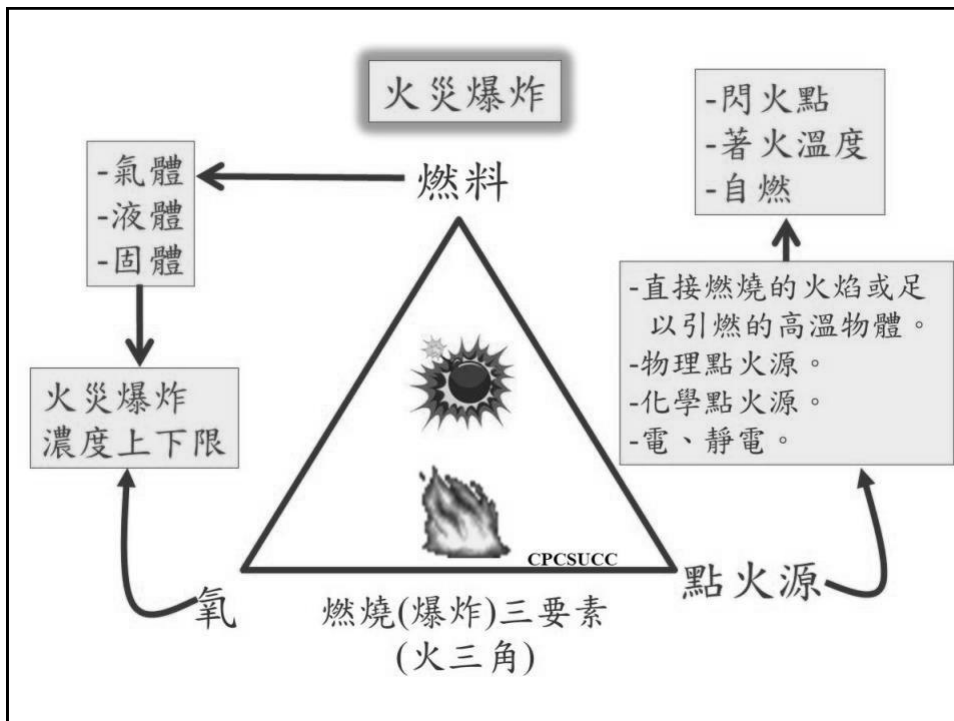
CPCSUCC



(OSM, Occupational Safety Management)

(PSM, Process Safety Management)

預防(Prevention) <-----> 抑制(Mitigation)



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
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

工安/工安

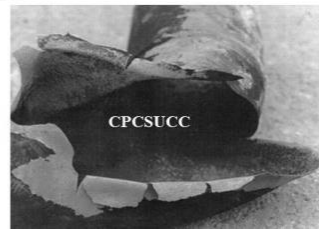
史上最嚴重之化學災害

•1984 年 12 月 3 日清晨，印度波帕爾市 (Bhopal) 從事生產殺蟲劑 Carbaryl 之美商聯合碳化物公司 (Union Carbide Corp.) 漏洩約 40 噸之異氰酸甲酯 (MIC)，造成 3500 人立即喪生，因吸入毒氣或飲用遭污染水源，數週內死亡人數增至 15250 人，釀成人類歷來最嚴重之化學災難。

•多年來持續有人因毒氣後遺症喪命，死亡總人數高達 25000 人，致使公司倒閉，老闆逃逸。

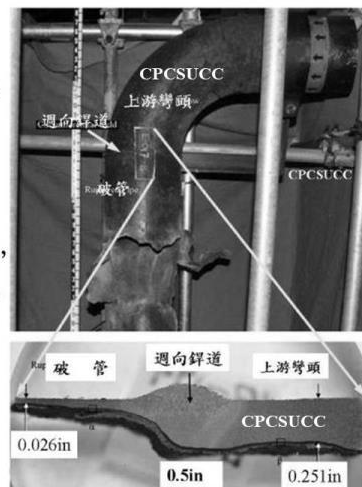
•官司纏訟長達 25 年，2010 年 6 月 7 日印度法庭以「疏忽致死」之罪名將 7 名印度子公司高級職員定罪，可能被判處 2 年有期徒刑。

- 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。
- 大火約在2小時30分鐘後獲得控制並在21:01撲滅；但系統內殘餘氣體繼續燃燒至隔天才全部撲滅。
- 此事故僅造成3人受傷，無人死亡。
- 事故後該工場經數個月檢修 才恢復操作。
- 全部損失已超過美金3億元。



2012年8月 美國加州Chevron公司

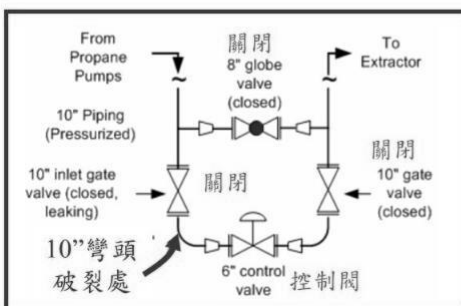
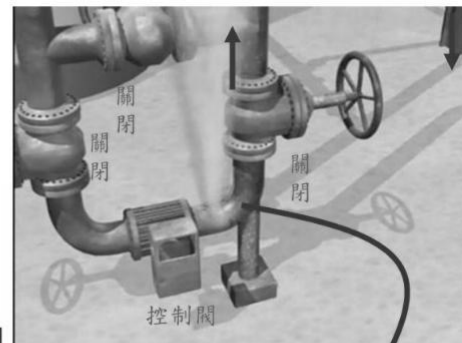
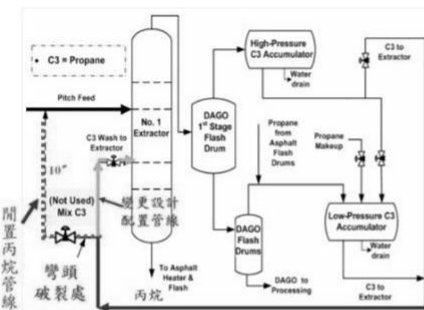
- 2012年8月6日美國加州Chevron公司 RICHMOND 煉油廠管線發生驟發性破裂，釋放出可燃性製程碳氫化合物，部分揮發形成大的蒸氣雲
- 火災產生大量未知之粒子漂浮通過加州RICHMOND地區，社區警報系統(CWS)發布3級和避難警報，於晚上11:12解除警報，火警事故發生後數週，15000名附近居民就醫，包括呼吸系統問題、胸痛、喉嚨痛和頭痛等，其中20人住院治療。
- 事故導致該煉油廠停產8個月，Cal/OSHA開出和事故相關之17張罰單以及8張額外罰單，共一百萬美金。



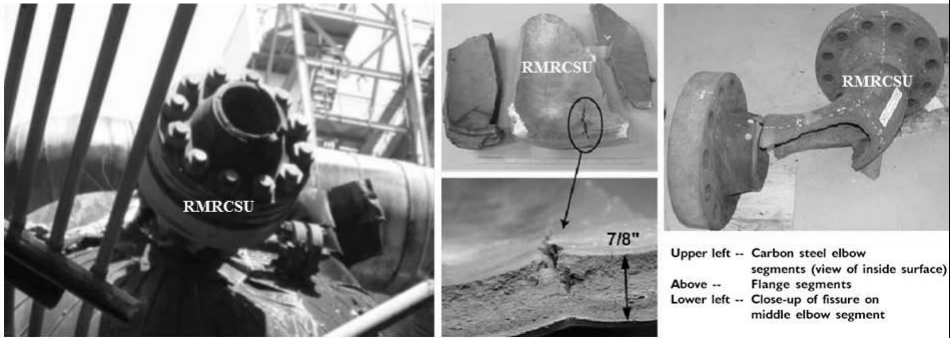
2007年2月16日 Valero能源公司美國德州Mckee 煉油廠丙烷脫柏油工場，一條丙烷管線發生破裂洩漏，造成一連串氣爆火災事故，約在54小時後才撲滅，共造成19人受傷，全廠停爐二個月，丙烷脫柏油工場停爐維修一年，直接損失超過 美金5000萬元。



10" 丙烷管線彎頭處發生破裂，釋出高壓丙烷

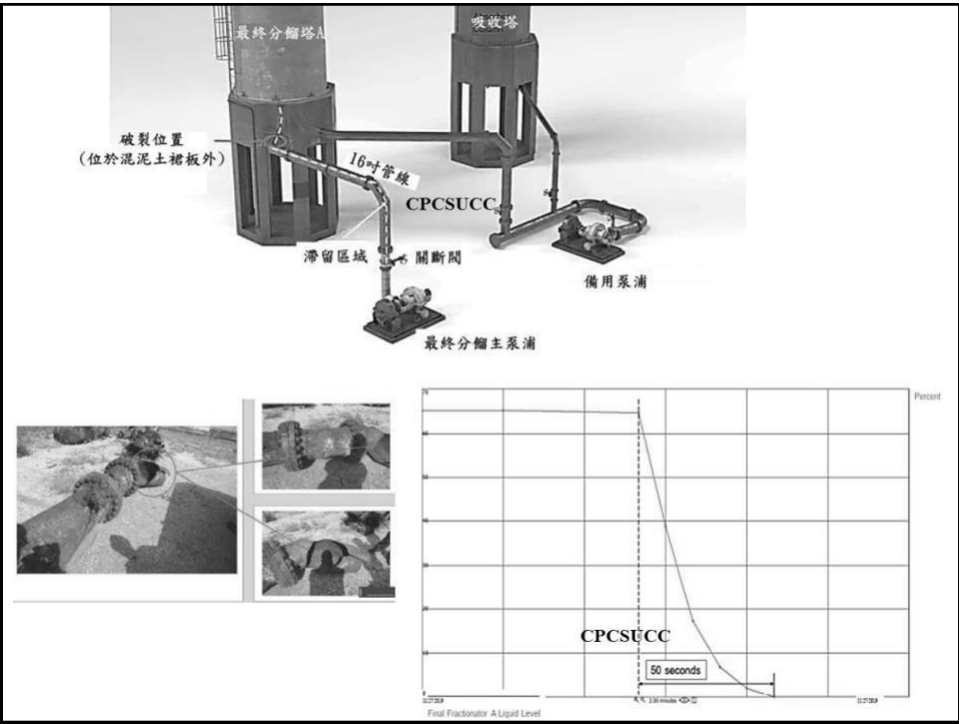


2005年07月28 日 6 pm BP公司德克薩斯市煉油廠RHU #1 Resid Hydrotreater Unit (殘渣油加氫脫硫處理工場)於正常操作中，反應器系統換熱器出口之8吋氫氣管線彎頭 於法蘭接合處突然斷裂，洩漏出高壓高溫循環氫氣(3000psig、500°F)，發生爆炸並引發火災。火燄噴出約75呎高，火災至清晨03:00am撲滅，現場有13名工作人員(BP員工及承攬商)但無人員傷亡。此事故案例造成約美金3000萬元資產設備損傷。



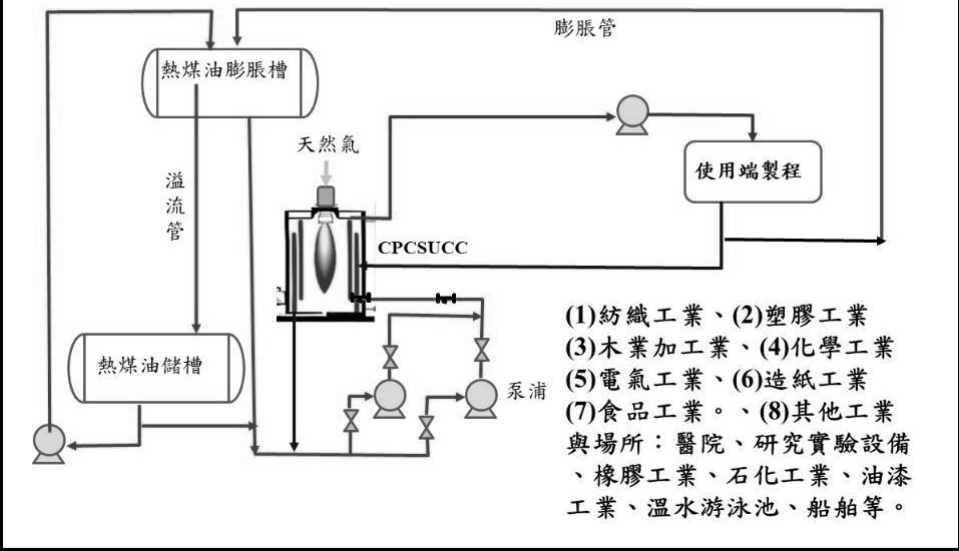
(歷史會重演、記取慘痛教訓)
TPC PNO工廠丁二烯工場滯留區
爆米花聚合物堆積導致管線破裂
引發爆炸火災事故

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，後續引發工場內多起爆炸及火災
02:40	手機捕捉了其中一次爆炸 CPCSUCC
13:48	，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



熱媒油(熱傳導油、道生油)、HEAT TRANSFER FLUID

熱媒油(化學名稱：二苯醚):聯苯與苯醚組成的混合物



- 礦物油/合成油
- 淡黃色
- 不溶於水
- 閃火點:182~329°C(不同產品)
- 自然溫度: 324~538°C(不同產品)
- 沸點:257~359°C(不同產品)
- 爆炸上/下限:10%/0.8%(不同產品)
- 蒸氣密度高於1
- 液體密度:0.856g/cm³@15°C
- 操作溫度:200~400°C(不同產業)

熱媒油引起之火災爆炸事故回顧-歷史會重演

(資料來源：勞工研究所發表論文、北區職安中心：熱媒油災害
案例解說、TUV：導熱油事故案例、學術資料庫)

一、設備檢修過程熱媒油外漏(外力損傷、動火)

1.2006年1月18日

臺南縣某紡織工廠吊裝作業不當，拉斷管線，高溫熱媒油外洩迅速汽化並形成熱媒蒸汽因而產生爆炸隨即發生大火，釀成6死5傷重大災害。

2.2007年7月27日

浙江省嘉興市雄達染織有限公司農用自卸車不慎將一根導熱油管拉斷，發生洩漏，洩漏的導熱油迅速氣化燃燒。

3.2008年7月19日

浙江省慈溪市杭州灣開發區某化纖廠導熱油鍋爐進行管線改造時，發現管路中的法蘭螺栓嚴重銹蝕，他們就用乙炔氧氣氣割，螺栓切割開前，未對管線進行安全清掃，導熱油從切割開的縫隙中洩漏出來迅速氣化，遇到乙炔氧氣火焰後，發生燃燒，釀成火災檢修。

一、設備檢修熱媒油外漏(外力損傷、動火)

4.2008年12月8日

安徽省淮南市安徽超強化工有限責任公司在維修過程中，在緩衝罐和油泵出口處的法蘭檢修出現洩漏，這部分流出的導熱油在碰到反應器之後起火，在燃燒過程中罐內的導熱油受到高溫影響從而發生爆炸

5.2008年12月8日

淮南市某化工公司生產二甲基吡咯烷酮的設備在檢修過程中，由於操作不當，造成導熱油洩漏遇高溫發生爆炸，造成3人死亡。

6.2021年2月25日

福建省福州市長樂區金峰鎮華陽村某印染廠印染車間因員工違規操作，致使吊籃撞斷導熱油管道，洩漏的導熱油迅速氣化爆燃。

7.2021年2月25日

福州市華陽染整公司吊掛鋼桶時碰撞上方熱媒油管道閥件，導致管內熱媒油洩漏遇火花引發爆炸，造成6人死亡、7人受傷，直接經濟損失約人民幣665.42萬元

October 6, 2005

-操作中，推高機拖拉載運鋼瓶拖車，撞斷液態丙烯管線(216 psig)過濾器排放閥短管

-丙烯洩漏形成大的可燃蒸氣雲(large flammable vapor cloud)

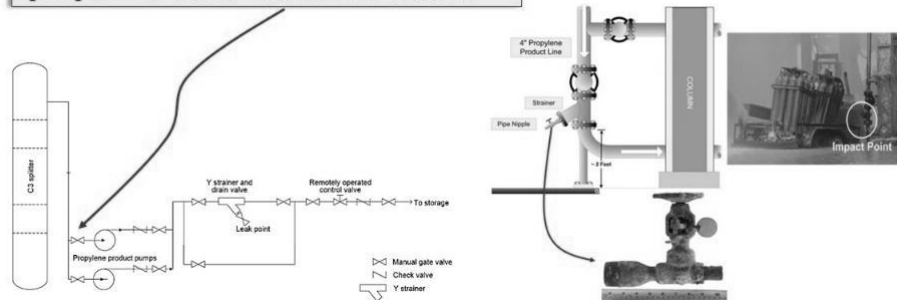
-蒸氣雲引燃(vapor ignited)，產生爆炸(explosion)

-直接燒到兩名操作員，火球高度達150公尺

-延燒5天

-工場停爐5個月

- pump前未裝設遙控關斷閥或緊急遮斷閥
- pump在工場可關斷，控制室無法遙控關斷



二、超溫/超壓/溢流

1.1993 年6 月3 日

義大利西西里的一家煉油廠換熱器內殘留的一些水沒有完全排乾淨，殘留的水進入了導熱油儲槽，約幾百升水進入了溫度是250°C的導熱油儲槽內，然後快速閃蒸，在儲槽內形成了很高的壓力，導致該儲槽物理性的破裂（爆炸），造成7 人死亡和18 人燒傷。根據荷蘭統計調查2005年以前的事故統計資料，至少發生過6 起類似的事。

2.2004年3月27 日

某人造林製品公司甲醛製膠工廠導熱油冷卻器嚴重缺水情況下，導致管路導熱油溫度升高，壓力升高，超過爆破壓力值，引起爆破片爆破，管內壓力98kPa，溫度250°C的導熱油(主要成分為苯醚73%，聯苯27%)，約1噸導熱油噴射外洩，致61人中毒的事。

膨脹過程水的體積膨脹約1 654倍
突然膨脹的水蒸氣與空氣夾著導熱油急速噴濺

二、超溫/超壓/溢流

3. 2007 年11 月19 日

益陽市赫山區佳旺食品廠無證爐工，閥門操作不當，導致導熱油嚴重超溫，超溫報警裝置失靈而沒有及時修復，導熱油管超壓而破裂，大量導熱油流入爐腔，引起火災。

4. 2011年11月19日

山東新泰聯合化工公司冷凝器試壓用水進入熱媒油中突沸噴出爆燃，造成4人當場死亡、15人受傷，其後受傷人員中又有11人因搶救無效死亡，造成15人死亡事故。

5.2014 年7 月7 日

曲靖某化工公司氯苯回收塔塔底導熱油換熱器內漏，高溫導熱油洩漏進入殼程中與氯苯殘液混合，致塔內溫度升高，殘液氯化壓力急劇上升導致氯苯回收塔爆炸和燃燒，致3 人死亡、4 人受傷。

二、超溫/超壓/溢流

6.2023年12月29日

浙江巨聖氟化學公司，因誤操作，熱媒油電加熱器未關閉以及出口閥關閉，高溫熱媒油引發管線超壓爆裂，高溫、高壓導熱油從管線裂口衝出霧化，隨即發生爆燃事故。造成1人死亡、1人受傷，直接經濟損失312.6萬元。

7.國內某一知名生產匹布工廠於春節連續假期結束開工之次日，因熱交換器冷卻水管束洩漏，高溫熱媒溢流膨脹槽洩漏熱媒發生外洩，引發火災事故

8.2025.01

一艘在海上航行的船舶發生了一起與導熱油加熱系統有關的火災和爆炸事件。事故原因由於熱水加熱器的管道洩漏，導熱油與淡水混合，導致水進入導熱油膨脹箱。隨後，在檢查過程中，發現導熱油膨脹箱的溢流，導致熱油濺到煙囪的排氣管上。這起火災事件導致船舶結構、機械和設備嚴重受損，導致推進力喪失，船舶不得不被拖至港。這些事件為重新審視船上工作人員遵循的安全工作規範和公司實施的安全管理系統提供了機會

三、設備損傷熱媒油外漏(設備失去完整性)

1. 2005年6月14日

某印染企業熱煤油管線因熱膨脹問題，導致法蘭於升溫過程中發生嚴重洩漏，高溫導熱油從2.8 m高處灑落，1名工人被落下的高溫液體擊中，造成嚴重燙傷。

2.2007年4月10日

新竹縣某化學纖維工廠廠內生產聚酯纖維之熱煤油幫浦，因幫浦軸封之軸心斷裂，造成機械軸封偏離，固定座與轉動環分離，發生爆裂而造成洩漏且出口端之閘閥未能於第一時間關閉，以致管線回流造成二次洩漏，導致廠區附近及新竹地區瀰漫異味。

3. 2008年6月12日

泉州晉江市福建鳳竹紡織科技有限公司導熱油鍋爐操作工人在開啟管道閘門過程中，閘門發生故障破裂，噴濺而出的導熱油氣化燃燒起火。

4.2009年3月19日

紹興柯北工業園區的一家印染企業導熱油鍋爐向外輸出油管閘門界面處油墊破裂，導熱油從破裂的管道中噴湧而出，並氣化燃燒起火。

三、設備損傷熱媒油外漏(設備失去完整性)

5. 2011年11月

桃園市某塑膠薄膜工廠2樓使用熱媒油系統加熱之縱向延伸機前側第1個預熱輪迴轉接頭處因長期高溫熱媒油使用下，墊片產生劣化，致使管路連結處發生洩漏（噴油），洩漏大量熱媒油流至地面慢慢擴散後，經由導線槽架底部之孔洞，破壞導線絕緣披覆，造成電源線短路，不久即發生爆炸火災，估算約新臺幣1億元

6. 2012年2月28日

河北克爾化工公司，導熱油軟管連接處連續發生洩漏著火後，燒及周邊危害性易燃物化學品(硝酸銨、硝酸胍強氧化劑)急劇分解發生爆炸的二次事故造成29人死亡、46人受傷。

7. 2013年

某皮革企業載體溫度為260°C以上，在運行過程中管線旋轉接頭密封部位受損導致高溫導熱油洩漏，而在旋轉接頭承接位置的上方剛好是正在運行的一整排電熱管，高溫導熱油滴濺到電熱管上造成起火和爆炸。經過近6個小時撲救，大火才被基本撲滅，給企業造成重大損失，不僅燒掉了合成革生產線和車間原材料及數噸導熱油，而且使整個生產廠房面貌全非。

三、設備損傷熱媒油外漏

8. 2014.05

法國: Heat transfer fluid fire in a chemical plant, The failure of a seal on the pump was the cause of the accident.

9. 山東省莒南縣某公司生產車間發生火災，燒毀車間部分廠房(牆體為夾芯板材質)、花生烘乾機等生產設備一宗，起火原因是由於花生烘乾機的導熱油管銲接處發生破裂，洩漏的高溫導熱油遇熱發生燃燒引燃周圍可燃物蔓延火災。

10. 2018年11月12日

濟南某碳素有限公司發生管線洩漏，洩漏之高溫導熱油和瀝青在密閉的瀝青池內混合，引發的瀝青池爆燃事故，造成6死5傷，直接經濟損失1145萬元。

11. 2023年7月2日

桃園市某紡織化纖廠進口管法蘭面之金屬墊片有洩漏情形，造成熱媒油洩漏發生，發生大火及濃煙，導致5樓作業之2名承攬商逃避不及死亡。

12. 2025年2月6日

新竹縣某紡織廠火警案 疑似高壓熱煤油管線洩漏遇熱源爆炸起火，3層樓建物全面燃燒造成2死19傷。

13.歷史已發生過多起因為導熱管破裂，管線洩漏引燃周邊可燃物，2013 年10 月21 日聖利基藥業公司造成4 人死亡1 人受傷“10•21”火災事故，浙江某油脂公司“6•3”導熱油管破裂著火事故

14.斷續操作，溫度變化，熱漲冷縮，導致法蘭滲漏，熱煤油滲入保溫材料，無法察覺，日久起火

(管線、法蘭、泵浦軸封、閥體、鉗道、輪迴轉接頭處、軟管)

四、加熱爐爐管損傷熱媒油外漏

1. 2008 年4 月27 日

浙江環寶飼料股份有限公司工人在用鍋爐加熱導熱油時，廠區突然發生斷電，導熱油的迴流泵無法工作，致使加熱後的導熱油無法正常迴流，造成局部溫度升高，引起導熱油管爆裂，洩漏出導熱油迅速氣化爆燃。

2.2009年

某鞋廠因有機導熱油鍋爐管道發生鉗口斷裂，洩漏的有機導熱油引起火災，造成重大損失，發生斷裂的原因主要是在出油口處的固定口鉗縫存在未鉗透，並且鉗縫根部存在較大的應力集中，導致鉗縫破裂洩漏事故。在使用過程中，由於熱脹冷縮低周疲勞應力迴圈的長期作用，加上管道振動和鉗縫根部的應力集中，鉗縫產生裂紋並擴展，超過一定程度時突然發生斷裂，導致火災事故的發生。

3.2009 年3 月29 日

廈門華特集團泉州瀝青罐庫區導熱油鍋爐爐體內導熱油管破裂，導熱油洩漏，遇到爐室內明火後燃燒，使得爐內溫度、氣壓升高，繼而沖開爐蓋繼而起火爆炸。

四、加熱爐管損傷熱媒油外漏

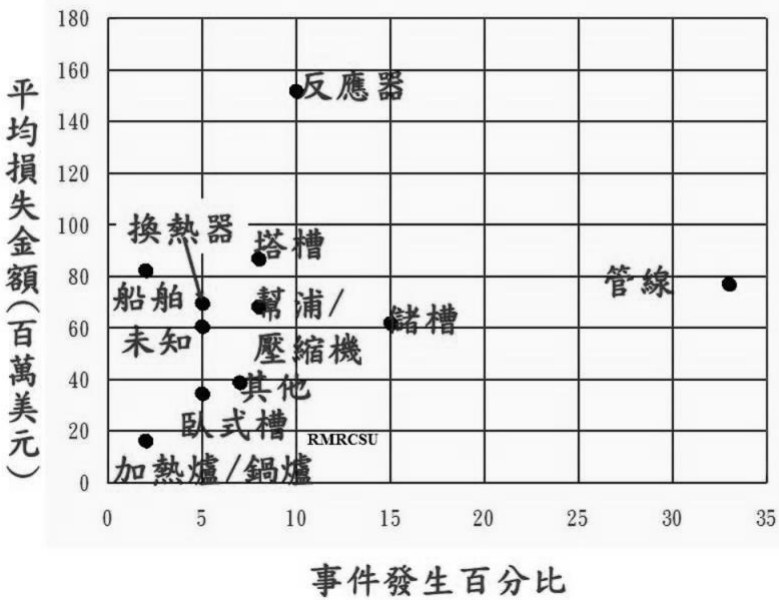
4.2010年7月31日

濮陽市一石化企業導熱油加熱爐爐工用煤炭燒兩個導熱油爐，按正常情況導熱油爐可以燒到300℃，可是這次導熱油爐才燒到270℃就發生了爆炸。發生爆炸之前，導熱油僅用了不足九個月，主要原因是由於導熱油在爐管內嚴重炭化積焦，爐管內壁幾乎都被焦炭狀物堵塞，導致爐管金屬因傳熱受阻而超溫過熱並產生裂縫，加上導熱油易燃的特性，引發爐管燒毀進而發生火災事故。

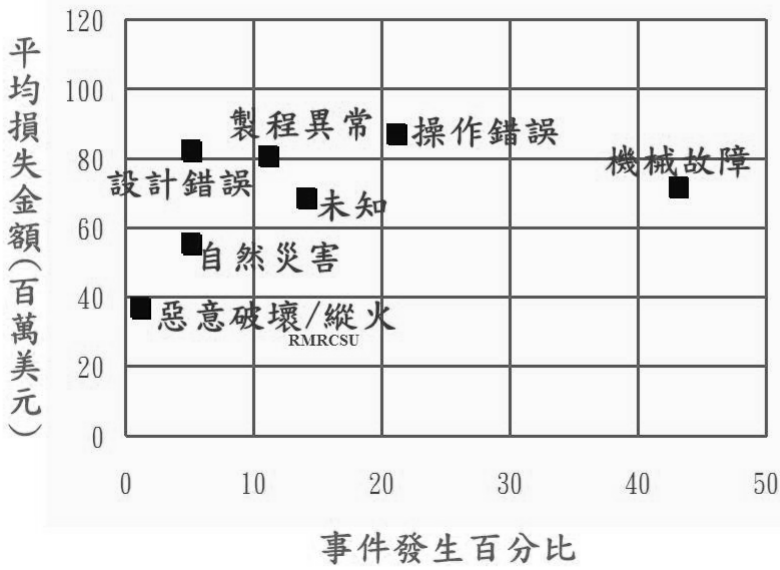
5.2005年

海城市一家染整印花廠1台有機熱載體鍋爐，投產使用不到5個月，就發生導熱油失效事故，導熱油變黑呈粘糊狀，不得不停爐進行內部清洗，更換失效導熱油。導熱油熱穩定性和抗氧性差，受熱易裂解，使用壽命短。有的熱載體鍋爐使用操作不規範，造成導熱油過熱劣化，並在受熱面上炭化積焦，導致爐管燒毀，嚴重影響導熱油爐的安全運行，有的甚至引發火災事故，造成重大財產損失和人身傷害事故。

設備損傷比率和損失分析

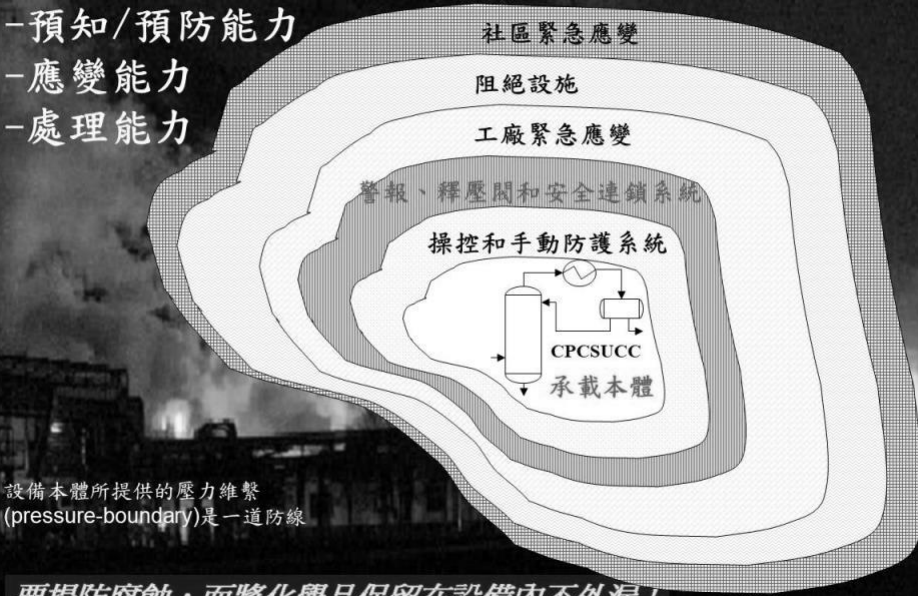


設備損傷肇因和損失分析



化工製程安全防護架構

- 預知/預防能力
- 應變能力
- 處理能力



要提防腐蝕，而將化學品保留在設備內不外漏！

管線問題和現況

- ✻現場製程管線長、組件多且配置錯綜複雜
- ✻內容物組成、相態以及流速各段差異大
- ✻結構變性異性大, 附屬組件多
- ✻管線無法進入內部檢查, 檢查有效性偏低
- ✻檢查需拆保溫和搭架
- ✻國內目前對管線並無定期檢查規定

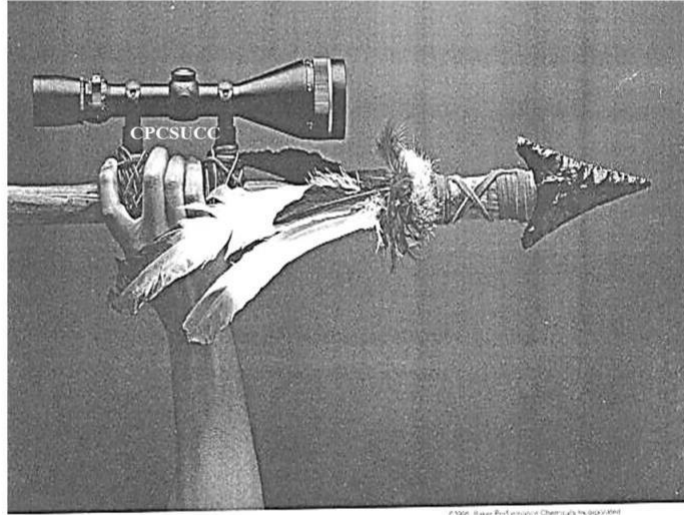


管線檢查常見之情境

1. 不知該檢查哪些管線、哪些位置:
無法全面掌握複雜製程之潛在損傷問題、未鑑別風險
2. 出現盲點: 無效檢查或低度有效性檢查
3. 沒檢出: 檢查方法和流程錯誤



二、管線完整性的檢查策略



美國高危害化學品製程安全管理

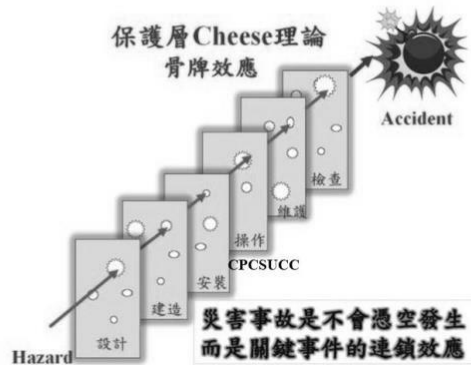
29 CFR 1910.119

Process Safety Management之14要項

- | | |
|--|---|
| • 員工參與
Employee Participation | • <u>設備完整性</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
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 |

機械完整性 (Mechanical Integrity, MI)

- 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



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)
(定義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

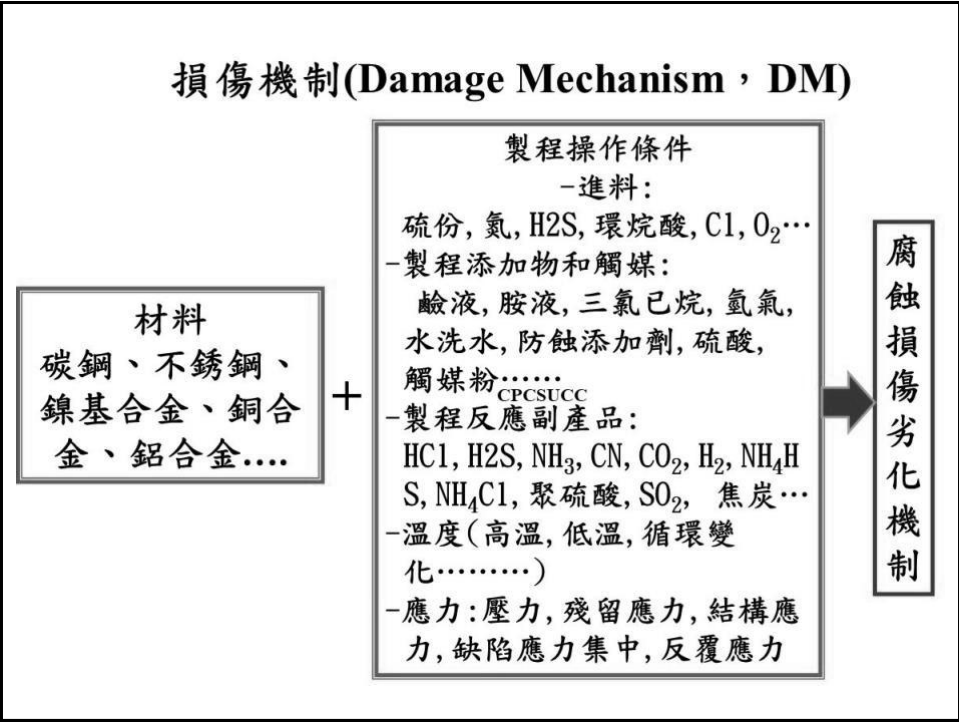
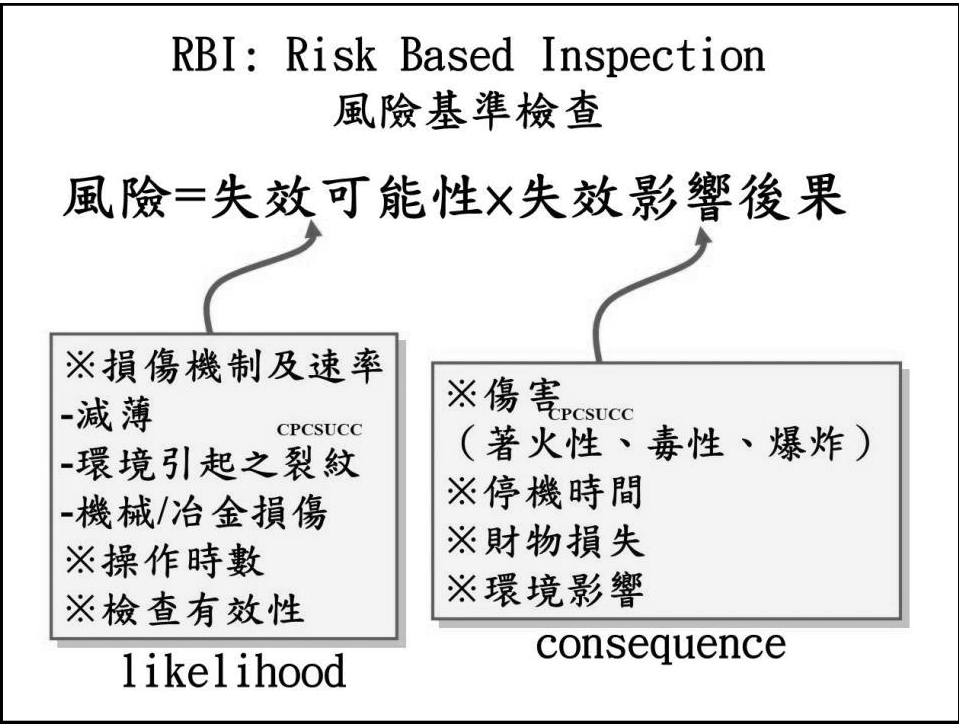
檢查和測試(依據好的工程實務，RAGAGEPS)

5.Equipment deficiencies

設備缺失(適用性評估)

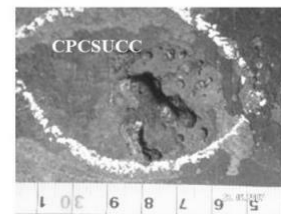
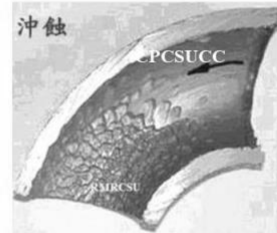
6.Quality assurance

品保(材質正確)



腐蝕減薄機制

- | | |
|---------|---------|
| -鹽酸腐蝕 | -酸水腐蝕 |
| -鹼性腐蝕 | -冷卻水腐蝕 |
| -大氣腐蝕 | -間隙腐蝕 |
| -沉積腐蝕 | -加凡尼腐蝕 |
| -細菌腐蝕 | -露點腐蝕 |
| -土壤腐蝕 | -包覆層下腐蝕 |
| -高溫硫化腐蝕 | -高溫氧化 |
| -環烷酸腐蝕 | -金屬塵化 |



環境引起之龜裂問題

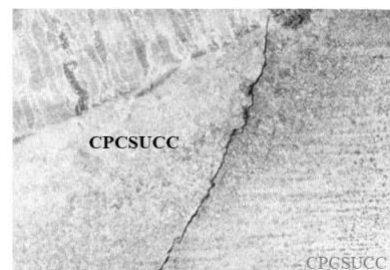
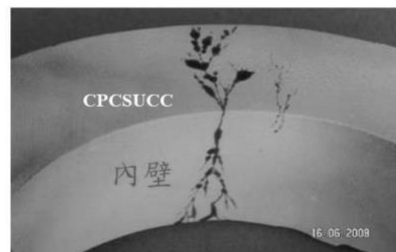
300系列不鏽鋼

- 1.氯離子應力腐蝕龜裂
- 2.聚硫酸應力腐蝕龜裂
- 3.鹼性應力腐蝕龜裂
- 等等

碳鋼/合金鋼

- 1.硫化氫應力腐蝕龜裂
- 2.鹼性應力腐蝕龜裂
- 3.胺液應力腐蝕龜裂
- 4.氨氣應力腐蝕龜裂
- 等等

材料和腐蝕因子
有強烈相關性!!!

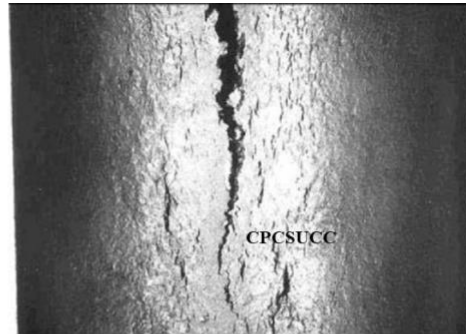


應力引起之裂紋

- 高溫潛變
溫度-應力-時間
- 疲勞(腐蝕)
應力-反覆周期數-(環境)
- 高溫氫攻擊
溫度-氫分壓-時間

材質脆性劣化

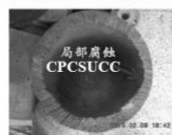
- 低溫脆裂
- 回火脆性
- 885F脆裂
- SIGMA相脆裂



失效可能性-檢查的有效性

- 劣化範圍的涵蓋程度
- 檢查方法本身的限制
- 選用的檢查方法與儀器是否恰當；
- 實施檢查人員使用儀器檢查的檢出能力
- 檢查程序是否適當

局部腐蝕減薄擇點測厚，低度有效檢測



304SS管線測厚20年
氫離子應力腐蝕龜裂!!!



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
	CPCSUC			/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

失效嚴重度

6.3.4.2 Class 1

Services with the highest potential of resulting in an immediate emergency if a leak were to occur are in Class 1. Such an emergency may be safety or environmental in nature. Examples of Class 1 piping include, but are not necessarily limited to, those containing the following:

- a) flammable services that can autorefrigerate and lead to brittle fracture;
- b) pressurized services that can rapidly vaporize during release, creating vapors that can collect and form an explosive mixture, such as C2, C3, and C4 streams; fluids that can rapidly vaporize are those with atmospheric boiling temperatures below 50 °F (10 °C) or where the atmospheric boiling point is below the operating temperature (typically a concern with high-temperature services);
- c) hydrogen sulfide (greater than 3 % weight) in a gaseous stream;
- d) anhydrous hydrogen chloride;
- e) HF acid (e.g. in HF alkylation units, as discussed in API 751, etc.);
- f) piping over or adjacent to water and piping over public thoroughways (refer to national or local regulations [e.g. the Department of Transportation and Coast Guard] for inspection of over water piping);
- g) flammable services operating above their autoignition temperature.

6.3.4.3 Class 2

Services not included in other classes are in Class 2. This classification includes most of the unit process piping and selected off-site piping. Typical examples of these services include but are not necessarily limited to those containing the following:

- a) on-site hydrocarbons that will slowly vaporize during release, such as those operating below the boiling point but above the flash point;
- b) on-site hydrogen, fuel gas, and natural gas;
- c) on-site strong acids and caustics.

6.3.4.4 Class 3

Services that are either flammable but do not significantly vaporize when they leak, i.e. below the flash point, or flammable but are in remote areas and operate below the boiling point are in Class 3. Services that are potentially harmful to human tissue but are in remote areas may be included in this class. Examples of Class 3 service include but are not necessarily limited to those containing the following:

- a) on-site hydrocarbons that will not significantly vaporize during release such as those operating below the flash point;
- b) off-site distillate and product lines to and from storage and loading;
- c) tank farm piping;
- d) off-site acids and caustics;
- e) off-site hydrogen, fuel gas, and natural gas;
- f) other lower risk hydrocarbon piping that does not fall in Class 1, 2, or 4.

6.3.4.5 Class 4

Services that are essentially nonflammable and nontoxic are in Class 4, as are most utility services. Inspection of Class 4 piping is optional and usually based on reliability needs and business impacts as opposed to safety or environmental impact. Examples of Class 4 service include, but are not necessarily limited to, those containing the following:

- a) steam and steam condensate;
- b) air;
- c) nitrogen;
- d) water, including boiler feed water or stripped sour water;
- e) lube oil and seal oil;
- f) ASME B31.3, Category D services;
- g) plumbing and sewers.

4. Inspection and testing

檢查和測試

-Inspections and tests shall be performed on process equipment

製程設備強制執行檢查和測試工作

-Inspection and testing ^{CPCSUCC}procedures shall follow recognized and generally accepted good engineering practices (RAGAGEPs)

檢查和測試程序強制依循認可和一般可接受好的工程實務

-The frequency of inspections and tests of process equipment shall be consistent with applicable manufacturers' recommendations and good engineering practices, and shall occur more frequently if determined to be necessary by prior operating experience.

檢查和測試頻率應和製造廠建議書以及一般可接受好的工程實務一致,必要時應依據以前之操作經驗強制進行更高頻率檢查

什麼是RAGAGEPs

Recognized And Generally Accepted Good Engineering Practices

-RAGAGEPs是提供工程,操作,維修,檢查和測試作業的指引文件
指引文件係依據法規(CODE),標準(Standard),發表之技術報告
以及工業建議準則(Recommended practice,RP)
^{CPCSUCC}

-主要三種依循準則

(A)政府法規

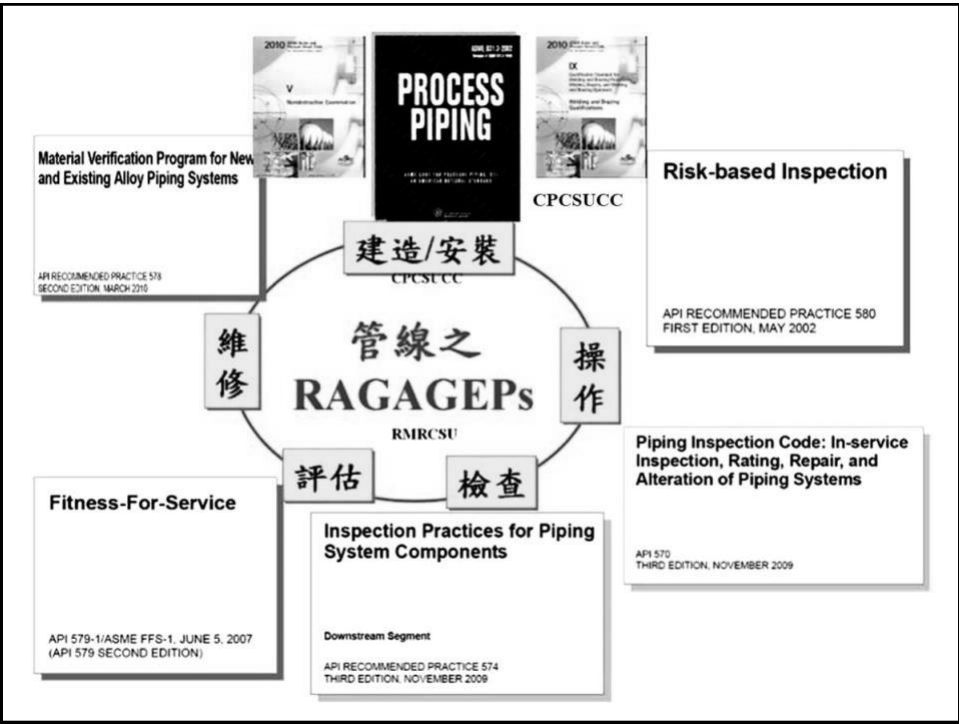
(B)製造(OEM)和製程Licensor程序

(C)工業標準和發表之指引

ASTM, API, NFPA, ASME, NACE, ASNT, IIAR

-其他:公司操作經驗和政策,再保公司

-正確的檢查和測試程序,檢查種類(內部檢查,外部檢查,關鍵性檢查),檢查以及測試頻率



使用後管線(piping)檢查規範

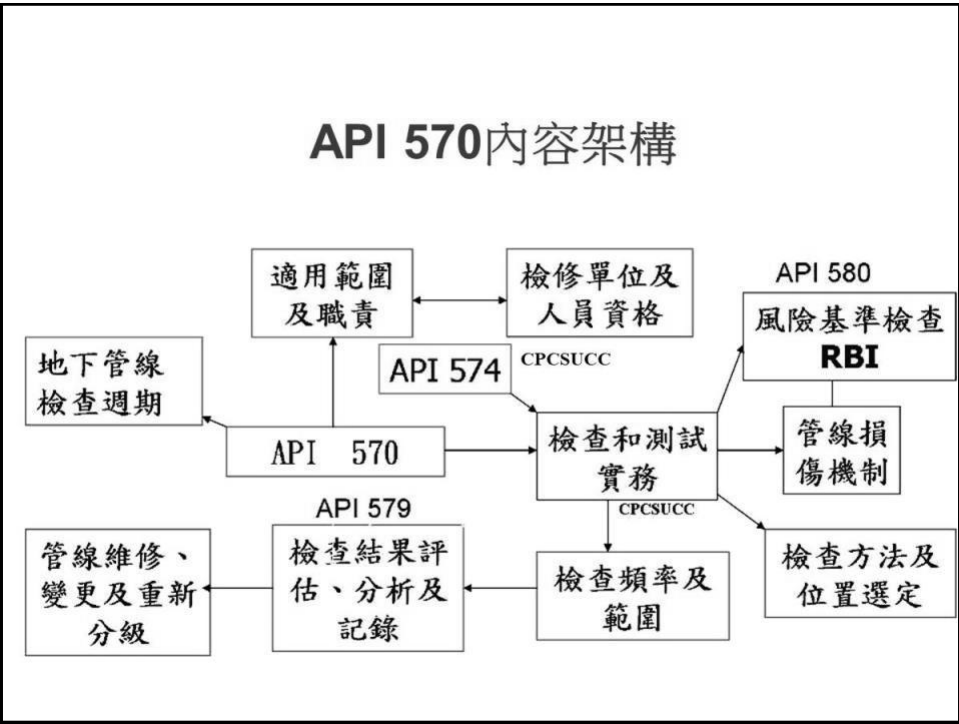
Piping Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping Systems
CPCSUC

API 570
THIRD EDITION, NOVEMBER 2009

Inspection Practices for Piping System Components
CPCSUC

Downstream Segment

API RECOMMENDED PRACTICE 574
THIRD EDITION, NOVEMBER 2009



API 580-RBI
(風險基準檢查評估)

-Identification of the credible damage mechanisms and failure modes ^{CPCSUCC} 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.

API 570- Inspection plans

檢測規劃

- Inspection plans shall be reviewed and amended as needed when variables that may impact damage mechanisms (損傷機制)^{CPCSUCC} 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

三、管線檢查重點和實務

不是新鮮事

但是，這是您不能不知道的問題

常見共通之管線腐蝕劣化問題

- 1.大氣腐蝕
- 2.保覆層下之腐蝕
- 3.異種金屬接合腐蝕
- 4.滯流區腐蝕
- 5.空氣/土壤界面處
- 6.管線接觸點腐蝕
- 7.沖蝕
- 8.環境引起之應力腐蝕龜裂
- 9.疲勞裂紋
- 10.加熱爐問題

(註:管線還有其他腐蝕劣化問題)

1.大氣腐蝕 (管線長泡疤)



大氣腐蝕

- Marine environments and moist, polluted industrial environments with airborne contaminants are the most severe. Dry rural(鄉村) environments cause very little corrosion.
- Corrosion rates increase with temperature up to about 250 °F (120 °C).
- Marine environments can be very corrosive (about 20 mpy)
- Industrial environments that contain acids or sulfur compounds that can form acids (about 5 mpy to 10 mpy).
- Inland locations exposed to a moderate amount of precipitation or humidity are considered moderately corrosive environments (about 1 mpy to 3 mpy).
- Dry rural environments usually have very low corrosion rates (<1 mpy).

CNS 13401 (ISO 9223) 大氣腐蝕環境分類，可分為 C1, C2, C3, C4 與C5 五個等級；
C1 :腐蝕性非常低(very low)
C2:腐蝕性低(low)
C3:腐蝕性中等(medium)
C4 :腐蝕性高(high)
C5 :腐蝕性非常高(very high)
C5+:金屬的腐蝕速率已超過CNS 13401 規範中所規定之C5 的腐蝕速率 CPCSUCC

表 4-17 大氣腐蝕環境分類-以各種標準金屬最初第一年之腐蝕速率區分

腐蝕性 分類	腐蝕速率 (γ _{cor})				
	單位	碳鋼	鋅	銅	鋁
C1	g m ⁻² /yr	γ _{cor} ≤10	γ _{cor} ≤0.7	γ _{cor} ≤0.9	可忽視
	μm/yr	γ _{cor} ≤1.3	γ _{cor} ≤0.1	γ _{cor} ≤0.1	—
C2	g m ⁻² /yr	10<γ _{cor} ≤200	0.7<γ _{cor} ≤5	0.9<γ _{cor} ≤5	γ _{cor} ≤0.6
	μm/yr	1.3<γ _{cor} ≤25	0.1<γ _{cor} ≤0.7	0.1<γ _{cor} ≤0.6	—
C3	g m ⁻² /yr	200<γ _{cor} ≤400	5<γ _{cor} ≤15	5<γ _{cor} ≤12	0.6<γ _{cor} ≤2
	μm/yr	25<γ _{cor} ≤50	0.7<γ _{cor} ≤2.1	0.6<γ _{cor} ≤1.3	—
C4	g m ⁻² /yr	400<γ _{cor} ≤650	15<γ _{cor} ≤30	12<γ _{cor} ≤25	2<γ _{cor} ≤5
	μm/yr	50<γ _{cor} ≤80	2.1<γ _{cor} ≤4.2	1.3<γ _{cor} ≤2.8	—
C5	g m ⁻² /yr	650<γ _{cor} ≤1500	30<γ _{cor} ≤1500	25<γ _{cor} ≤50	5<γ _{cor} ≤10
	μm/yr	80<γ _{cor} ≤200	4.2<γ _{cor} ≤8.4	2.8<γ _{cor} ≤5.6	—

資料來源：CNS 13401 (ISO 9223)

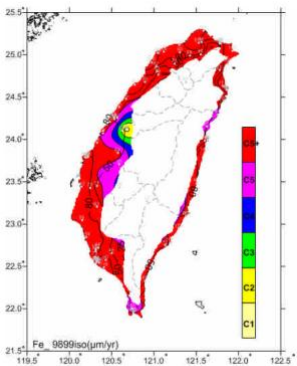


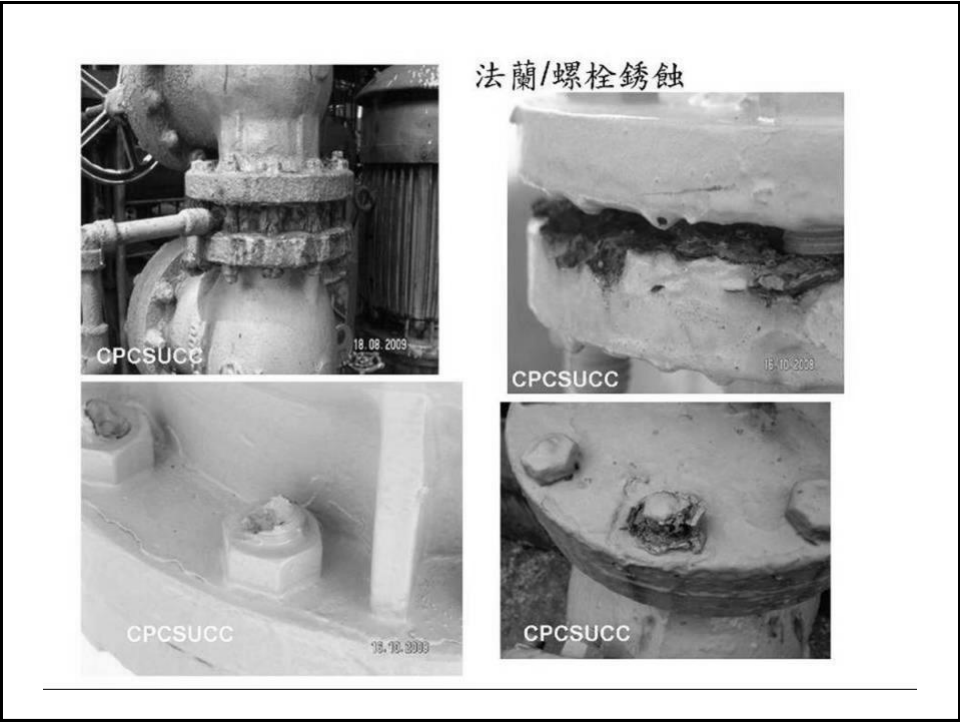
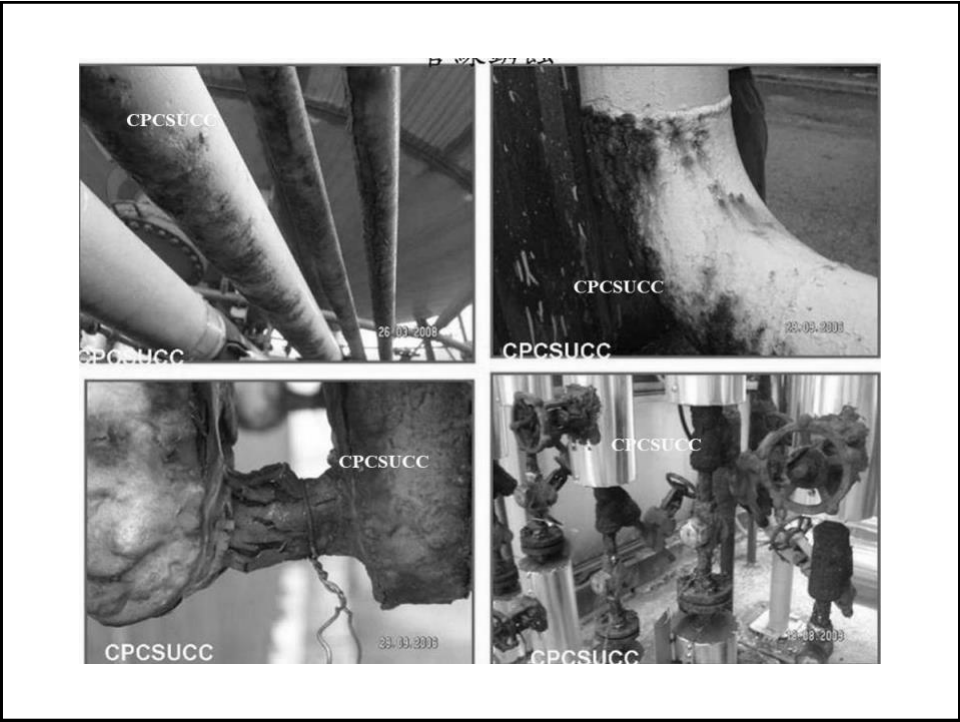
圖 4.49 碳鋼 2009-2010 年腐蝕速率 ISO 分類

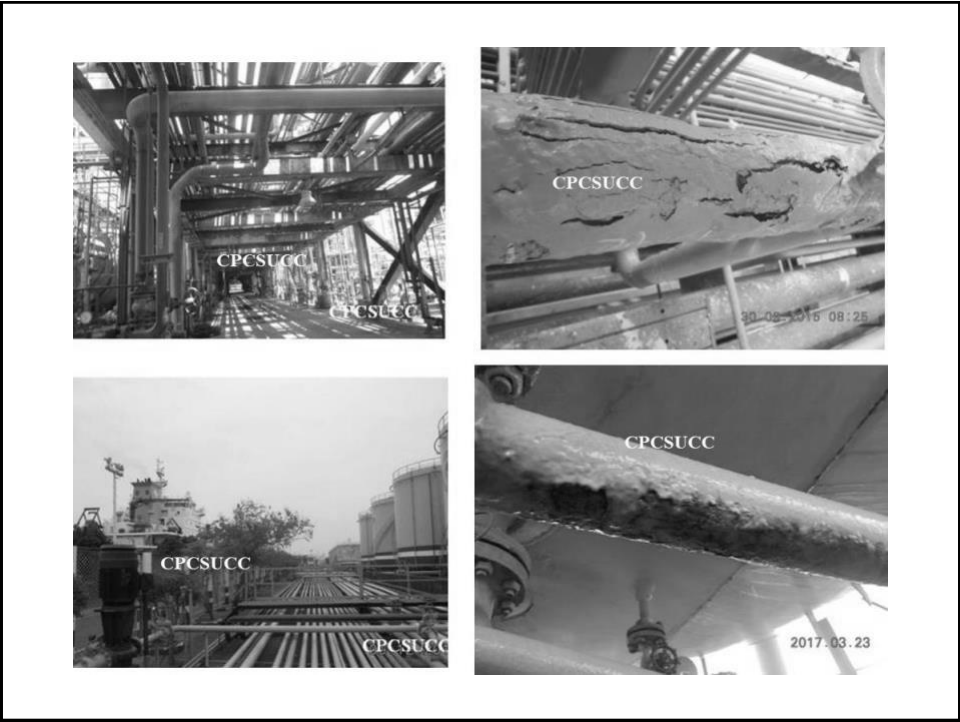
項次	試驗地點	碳鋼	鋅	銅	鋁
44	高鐵嘉義站	C3	C3	C4	C3
45	斗六工業區	C3	C4	C3	C2
46	臺塑六輕試驗線 0m	C5+	C5+	C5+	C5+
47	六輕試驗線 100m	C5	C5+	C5+	C5+
48	六輕試驗線 300m	C5	C5	C5+	C5+
49	六輕試驗線 1Km	C5	C5	C5+	C5+
50	六輕試驗線 3Km	C5	C5+	C5+	C5+
51	王功安檢所	C5	C5+	C5+	C5+
52	彰濱工業區	C5	C5+	C5+	C5+
53	田中工業區	C3	C5	-	C5+
54	南崗工業區	C3	C3	C4	C3
55	大里工業區	C3	C3	C3	C2
56	高鐵臺中站	C3	C4	C4	C2

大氣腐蝕

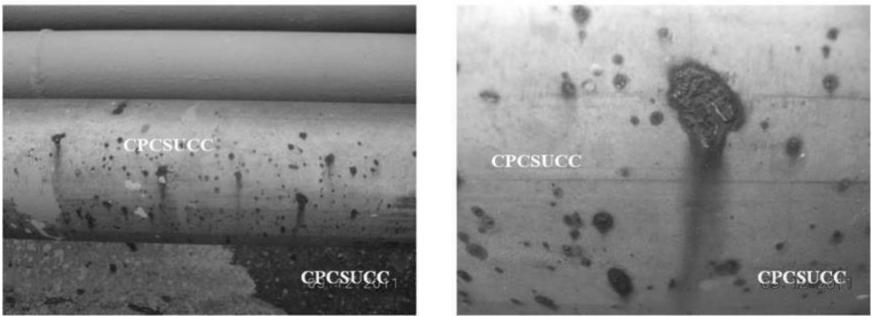
- 檢查：
- 發生條件:-12~175℃
- ※冷卻水塔附近
 - ※低溫管線和設備下方
 - ※蒸汽逸散附近
 - ※酸鹼設備附近
 - ※海洋性環境
 - ※工場或公用管架
 - 低於腰部管線6點鐘方位
 - 高於頭部管線12點鐘方位
 - ※涵洞、涵溝、管溝中管線
 - ※小插管







300系列不鏽鋼孔蝕



大氣腐蝕防治方法

大氣腐蝕檢查

-RBI :-12~175°C

-目視+測厚(UT、孔蝕規、RTP、3D雷射)

-薄膜型液體塗覆，例如油漆

(三分靠品質、七分靠施工)

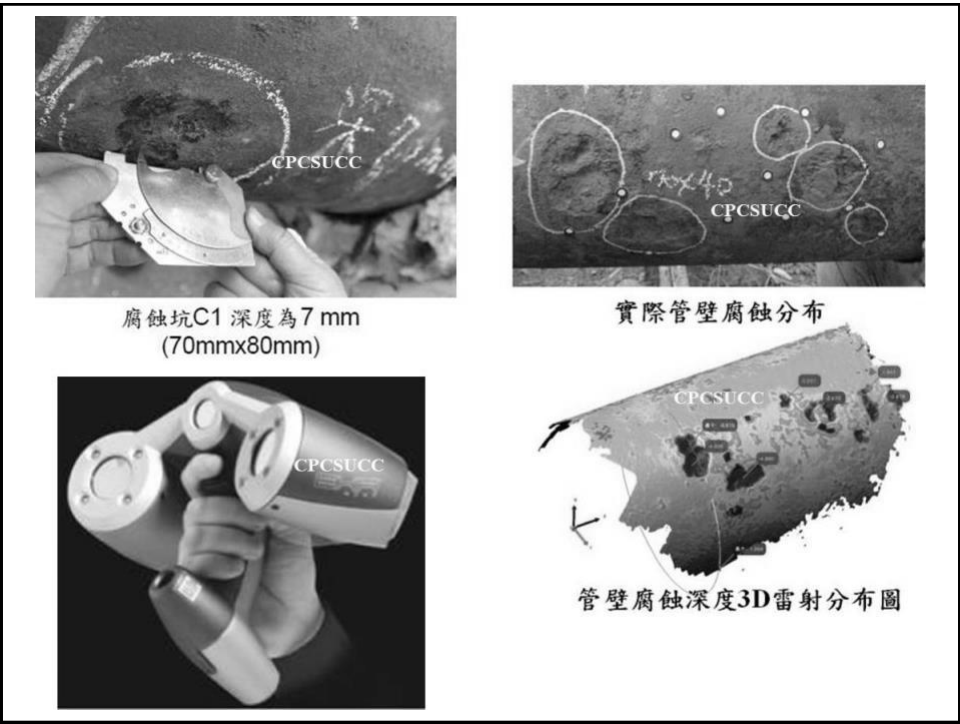
-熱塑型包覆，例如PE

-金屬噴塗，熱浸鍍鋅、熱噴塗鋁(TSA)

(或再加上塗覆)

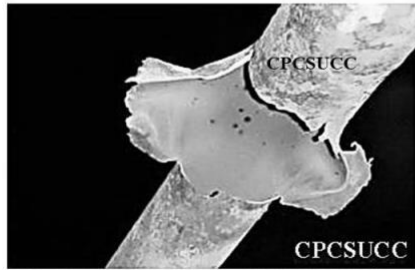
-防蝕帶包覆(臘帶、FRP、PE----)應納入定期檢查





項次	試驗地點	碳鋼	鋅	銅	鋁
44	高鐵嘉義站	C3	C3	C4	C3
45	斗六工業區	C3	C4	C3	C2
46	臺塑六輕試驗線 0m	C5+	C5+	C5+	C5+
47	六輕試驗線 100m	C5	C5+	C5+	C5+
48	六輕試驗線 300m	C5	C5	C5+	C5+
49	六輕試驗線 1Km	C5	C5	C5+	C5+
50	六輕試驗線 3Km	C5	C5+	C5+	C5+
51	王功安檢所	C5	C5+	C5+	C5+
52	彰濱工業區	C5	C5+	C5+	C5+
53	田中工業區	C3	C5	-	C5+
54	南崗工業區	C3	C3	C4	C3
55	大里工業區	C3	C3	C3	C2
56	高鐵臺中站	C3	C4	C4	C2

2.保覆層下之腐蝕 (管線皮膚病) (Corrosion Under Insulation, CUI)



你知道嗎？

API 570

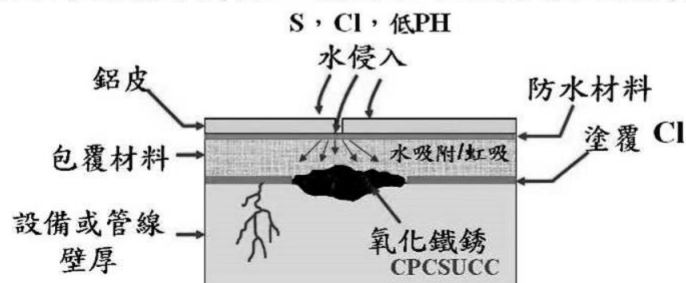
5.3.3 Corrosion Under Insulation

External inspection of insulated piping systems should include a review of the integrity of the insulation system for conditions that could lead to corrosion under insulation (CUI) and for signs of ongoing CUI. Sources of moisture may include rain, water leaks, condensation, and deluge systems.

The most common forms of CUI are localized corrosion of carbon steel and chloride stress corrosion cracking of austenitic stainless steels.

CUI腐蝕機制(Corrosion Mechanisms)

- 水透過鋁皮缺口滲入包覆材內和金屬外壁接觸
- 水和碳鋼、低合金鋼以及不銹鋼起電化學反應，形成腐蝕現象
- 導致壁厚減薄、孔蝕或龜裂，承壓不足，而發生洩漏或挫曲變形
- 不是因為包覆才腐蝕，碳鋼本來就是會大氣腐蝕



CUI發生的條件

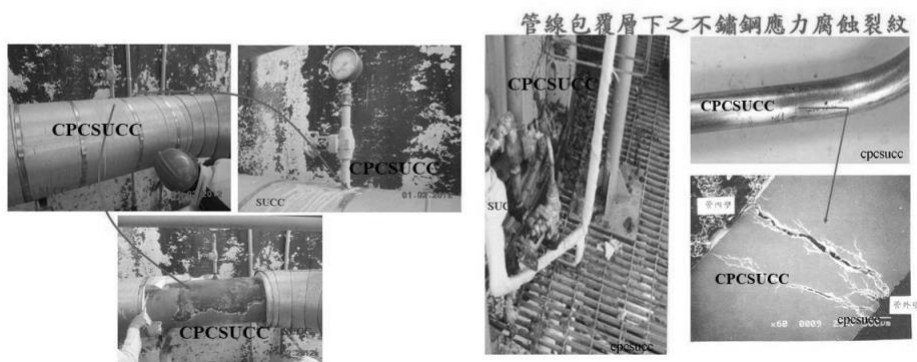
1.碳鋼管線:操作溫度在-12~175°C

-局部腐蝕減薄

2.不鏽鋼管線60~205°C

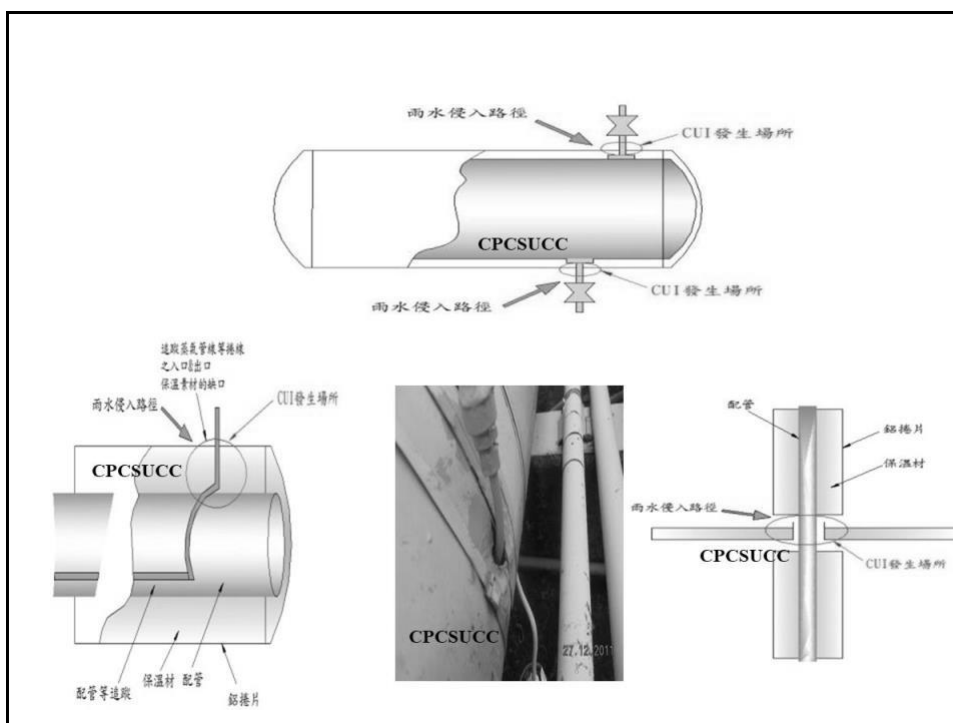
-應力腐蝕龜裂,孔蝕

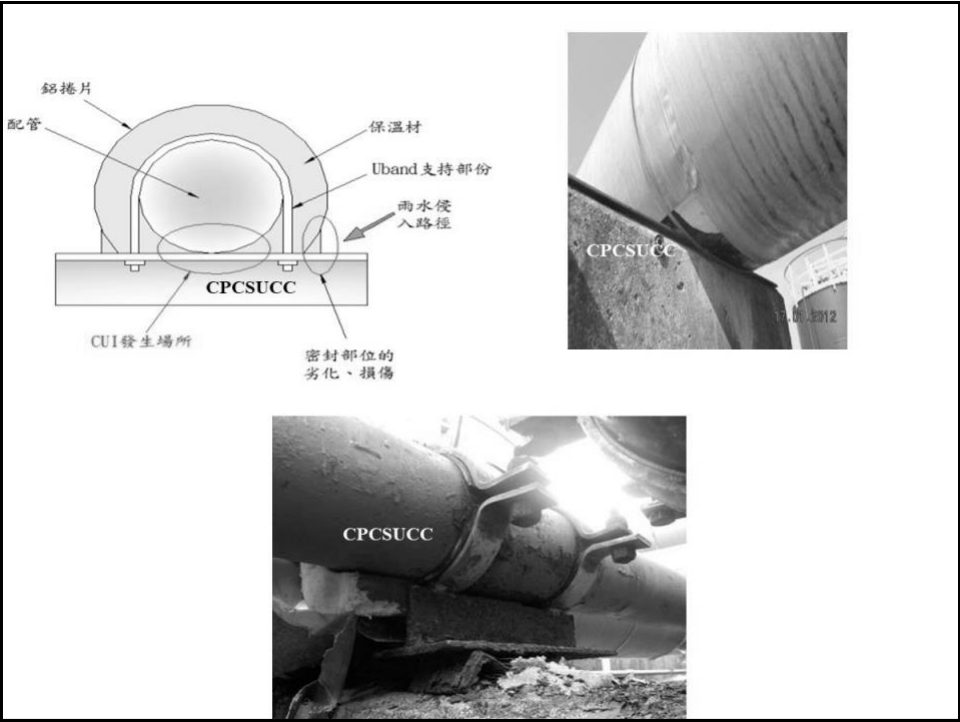
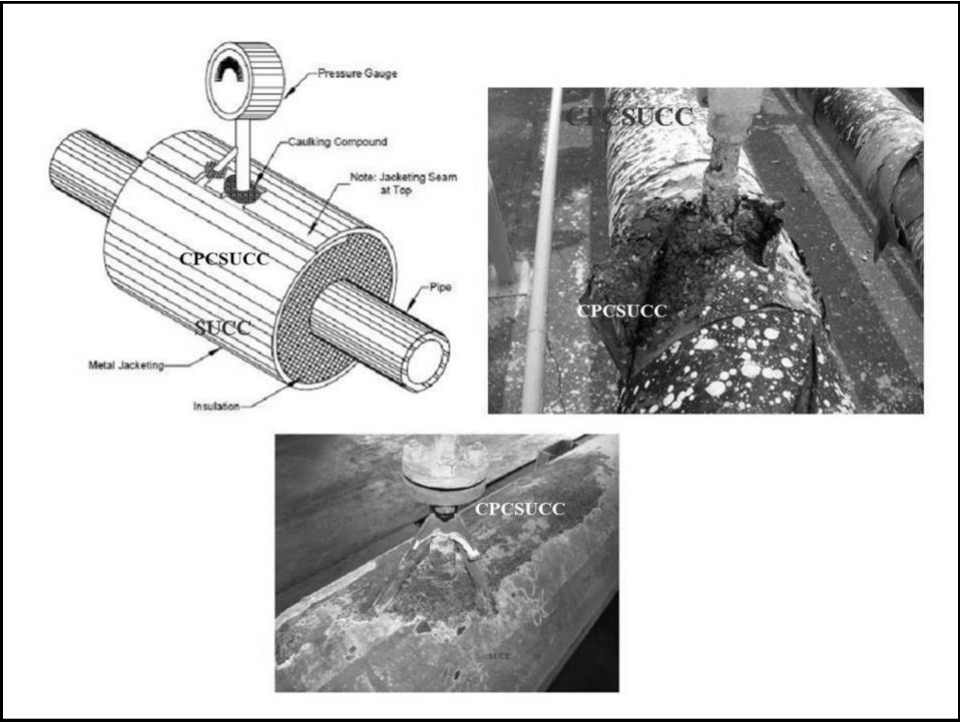
大部分腐蝕為高度局部性，且較為嚴重

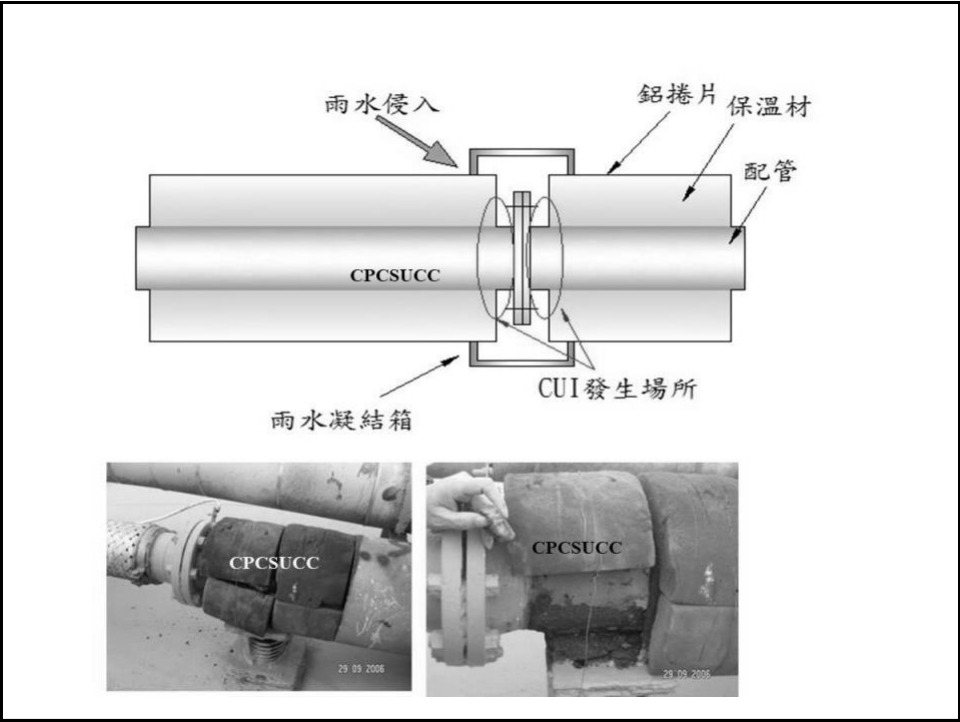
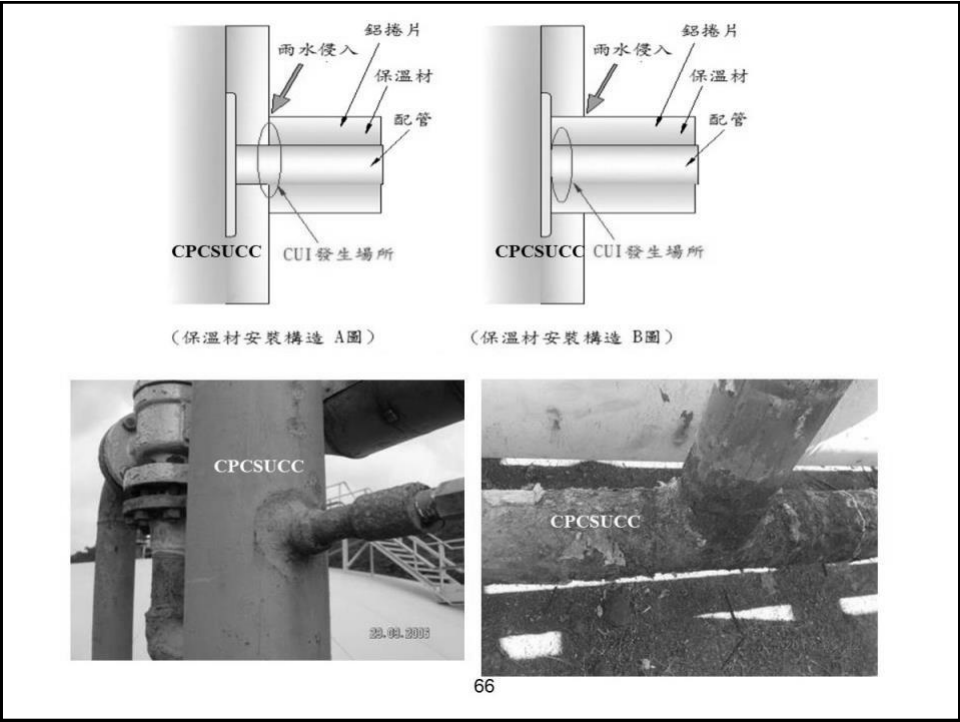


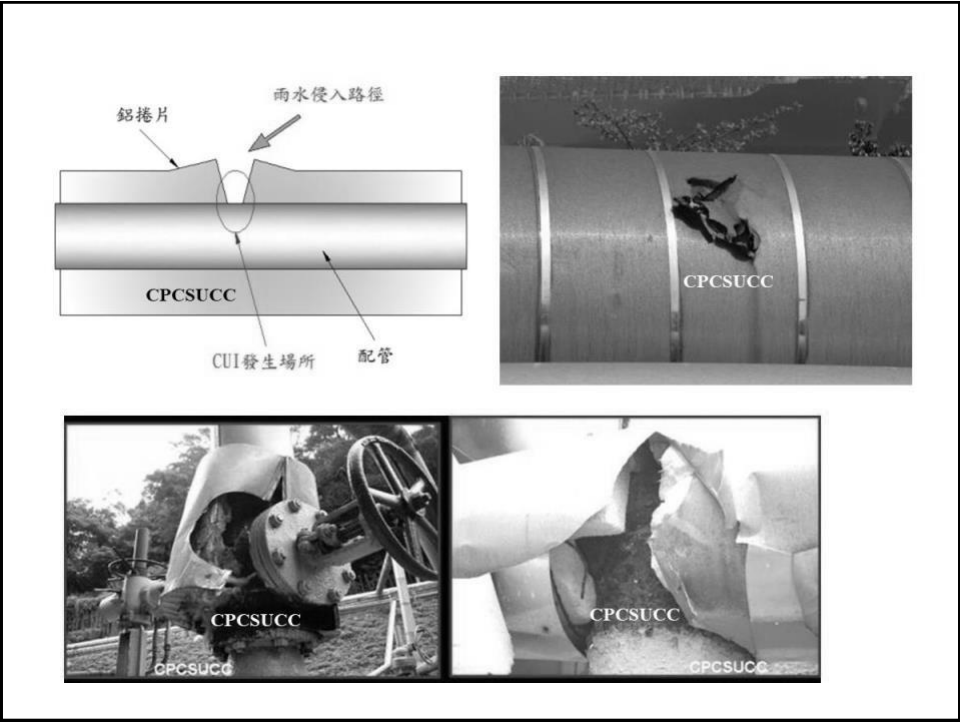
易發生CUI的管線結構因素

- 保溫層系統所有插入和分支的管線, vent、drain、管線懸吊和支撐、閥體以及組件、鎖螺栓之管鞋、蒸氣追蹤管線插入孔
- 法蘭和其他構件保溫的端點
- 保溫層外罩脫落或損壞的區域
- 保溫層外罩接縫處位於水平上半部，或者外罩搭接以及密合不良的區域
- 直立管線保溫的終點
- 填隙材料已硬化、分離或脫落者
- 保溫層或外罩系統鼓起或髒污或者繫帶脫落者
- 管路系統低點存在保溫分支，包含長跨距而無支撐架存在管線低點
- 在高合金管線保溫層下碳鋼和低合金鋼的法蘭、螺栓和其他附件
- 測厚孔



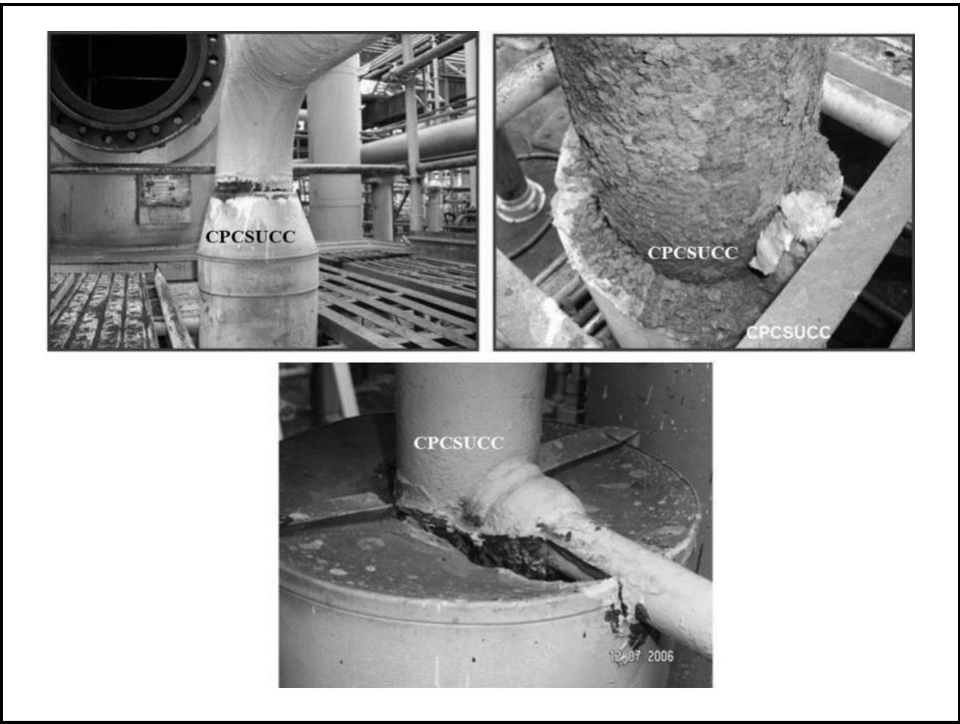
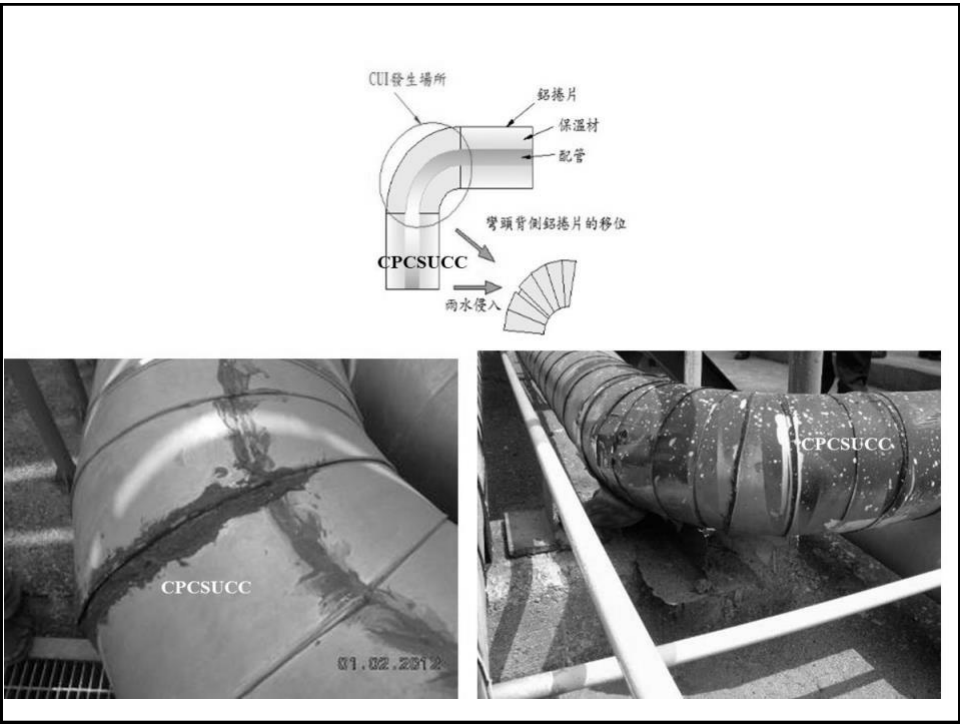


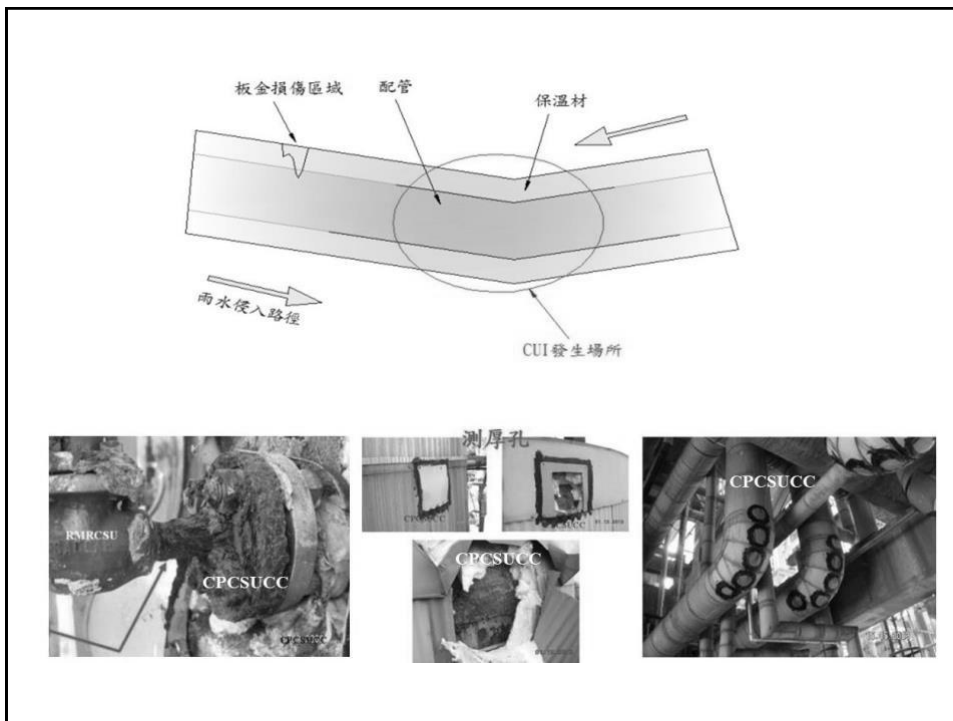




保溫層外罩接縫處不宜位於水平管線上半部



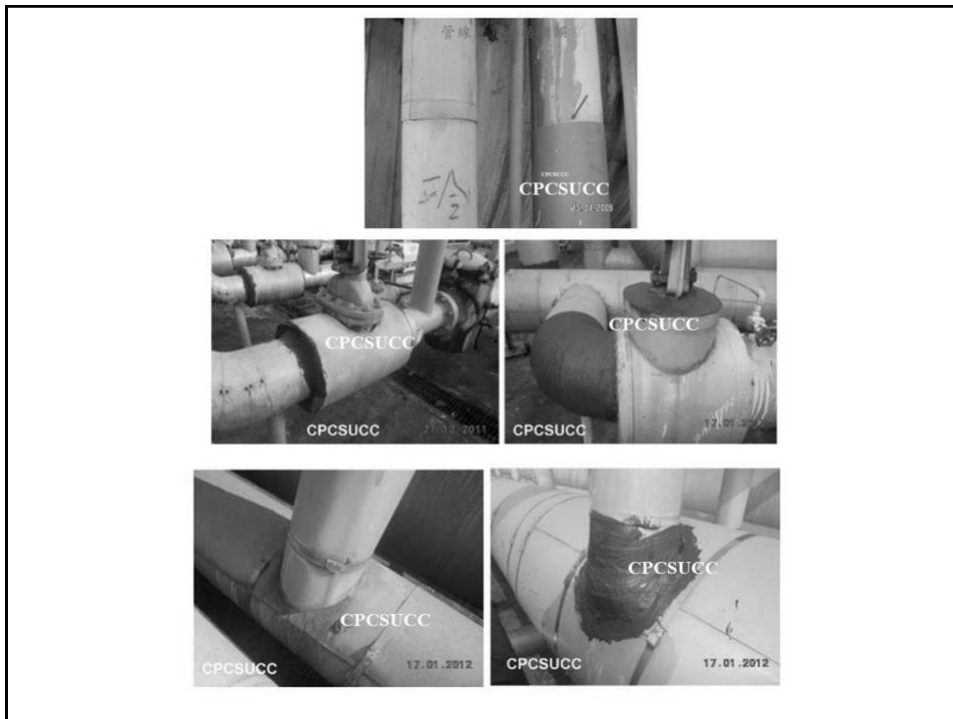




我們能做什麼？

CUI腐蝕管理

- (A) 第一屏障: 水進入到包覆和設備是CUI發生的主因，無水存在即無CUI問題，因此藉由包覆材的設計和安裝以及防水膏來排除水分進入
- (B) 第二屏障: 包覆材長期使用難免會老化(尤其界面處)，因此應用品質佳和長效型有機塗層可有效延長設計壽命，因此塗覆壽命即為CUI發生的起始
- (C) 第三屏障: 對已操作多年的工場(10~15年以上)，利用風險評估理念鑑別出CUI高風險的設備，進行預知保養計劃，包括
 - (a) 定期重新噴砂和塗漆
 - (b) 包覆以及防水膏維護檢修
 - (c) 加強定期檢查
- (D) 在不影響能耗和製程操作穩定下拆掉不必要的包覆，擔心人員燙傷, 外加保護籠罩



檢查策略

1.RBI(CUI發生的可能性X失效嚴重度)

碳鋼:-12~175°C

不鏽鋼:60~205°C

2.檢查方法

(1)全部拆除潛在高風險CUI之包覆，目視異常區域進一步RTP、UT測厚、或孔蝕規測厚、3D檢查

(2)非破壞檢測^{CPCSUC}

-無幾何形狀變異區域

-採用導波法或脈衝式渦電流法

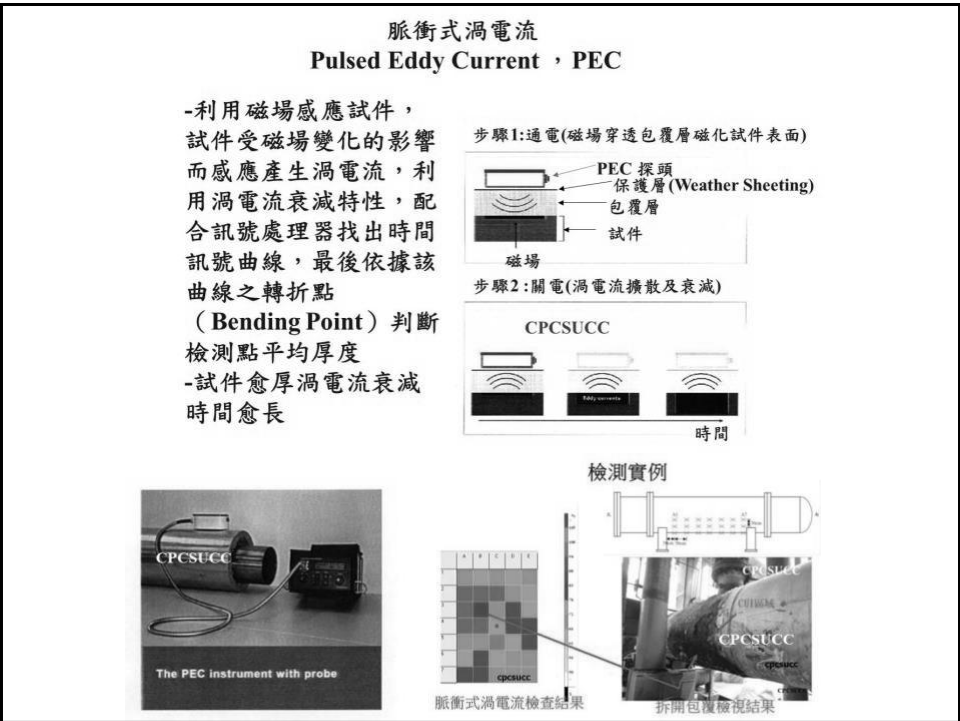
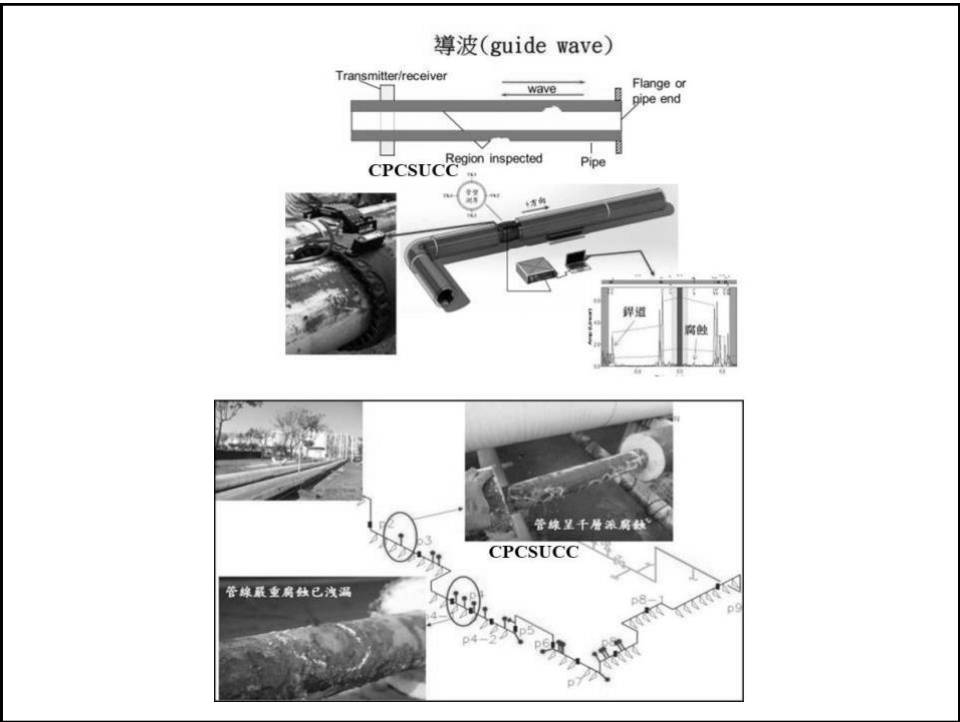
-有問題區域拆包覆進一步進行目視和超音波(UT)或孔蝕規測厚

-管線幾何形狀變異區域:插管、彎頭、支撐---等區域

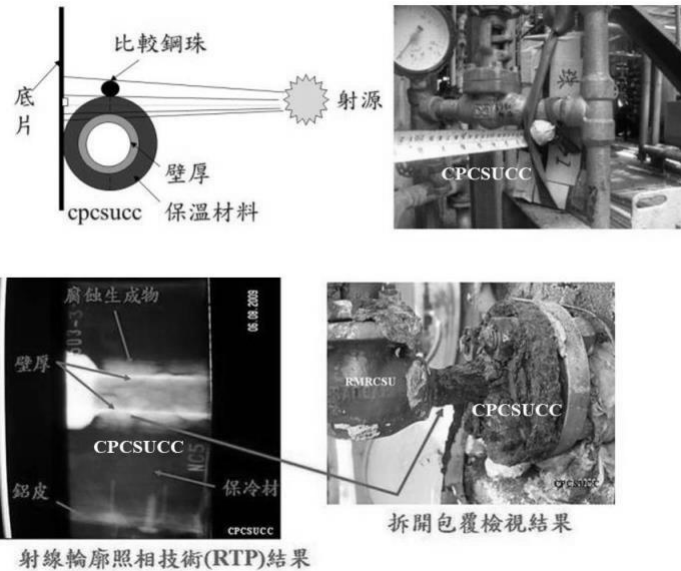
-採用射線輪廓法(RT Profile, RTP)

-以上技術受限無法檢測區域，例如管架、T接頭和法蘭---

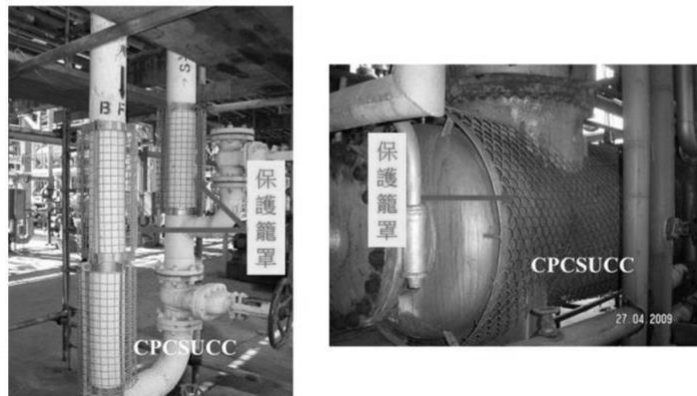
-等區域拆除包覆，目視檢查



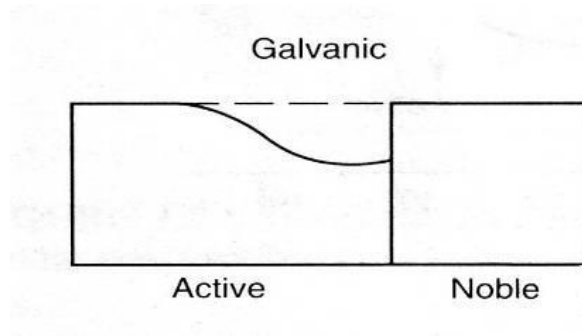
射線輪廓法(RT Profile,RTP)



拆掉不必要的包覆(60~100°C)，例如人員保護之包覆，外加保護籠罩，作為人員保護由CUI轉變成大氣腐蝕，方便檢查和維護(根據計算70~80°C為CUI最高風險)

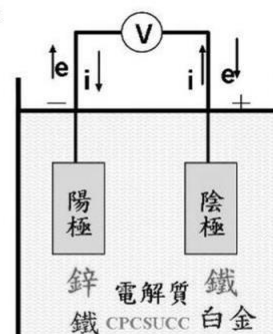
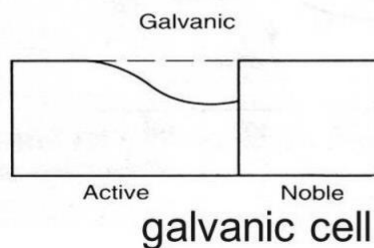


3.異種金屬接合腐蝕 (管線怨偶)

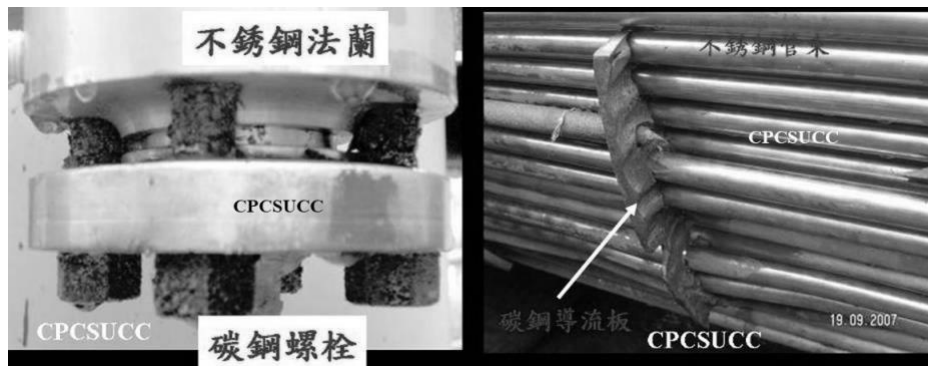
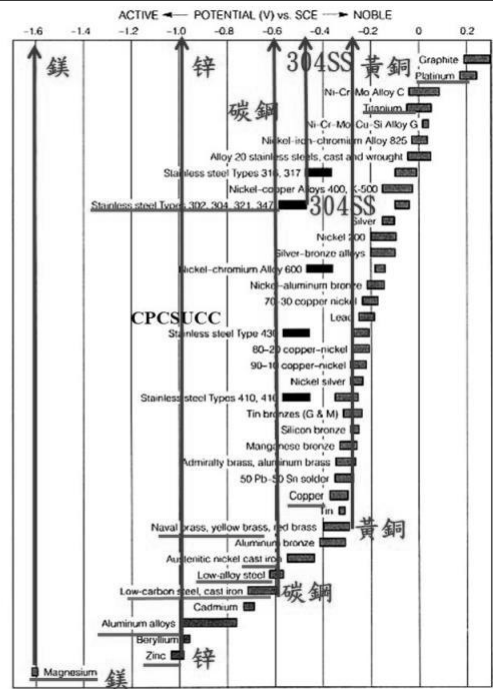


伽凡尼腐蝕(Galvanic Corrosion)

- 兩塊不同合金在腐蝕環境中相接觸時
兩者之間形成電位差，構成電流流動
以電位計可量測到兩者之間有電位差存在
形成了電化學反應或腐蝕的驅動力(driving force)
- 相對腐蝕環境電位比較活潑的形成陽極：發生腐蝕
- 電位比較貴重的形成陰極 CPCSUC
- 比單獨未偶合時腐蝕速率更高

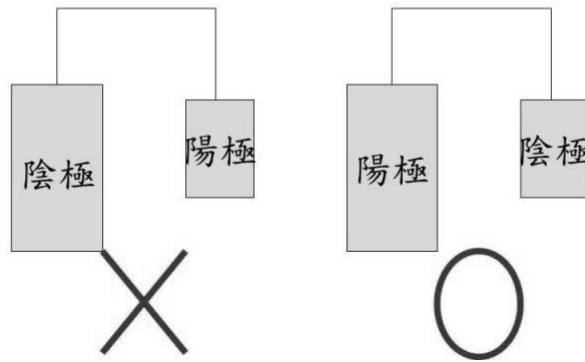


- 伽凡尼電池(Galvanic cell)
- 電位序列通稱伽凡尼序列(Galvanic series)
- 鐵和鋅或鎂合金相接觸
 - ※鋅或鎂合金會被腐蝕
 - ※鐵處於還原狀態不會被腐蝕
- 陰極防蝕應用-犧牲陽極



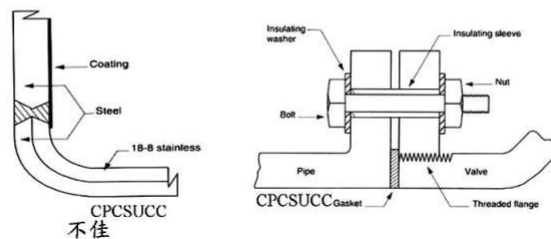
面積的效應

當陽極面積很小，陰極面積很大時，在總電荷一定下則陽極的腐蝕電流密度相對增加以致腐蝕速率增大。



伽凡尼腐蝕的檢查和防蝕方法

1. 目視+測厚
2. 選擇伽凡尼序列中相近的金屬
3. 有效控制面積此
4. 構件塗覆隔離腐蝕環境- 塗層會有所幫助，最佳方式是兩種金屬均塗覆，若僅塗覆單一金屬，金屬越貴重越需要塗層(陽極對陰極的比率小，陽極的腐蝕率會高)
5. 利用絕緣物(例如Teflon，塑膠)分隔藕合金屬隔離



4. 滯流區(Dead legs)腐蝕 (管線盲腸)



你知道嗎？

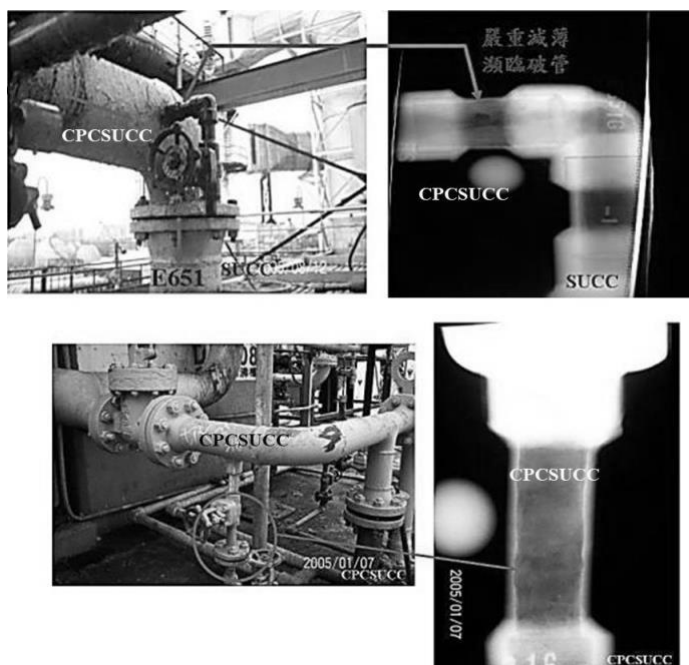
Dead-legs

- The corrosion rate in dead-legs can vary significantly from adjacent active piping.
- The inspector should monitor wall thickness on selected dead-legs, including 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

滯流區(Deadlegs)腐蝕
死區(deadleg)
盲管段

- 滯流區係指管路內流體近乎不流動之部位
- 盲斷之管端、常關關斷閥前之管段、bypass管線、備用泵浦之管線、液位計連接管、安全閥進口管線、高點之排氣管、取樣管、儀器連接管等。
- 這些區域常因沈積物或溫差之關係，使得其腐蝕率高於附近流體經常流通之管線。
- 若製程上已無作用，沒有存在之必要，應考慮將此種管段除去。

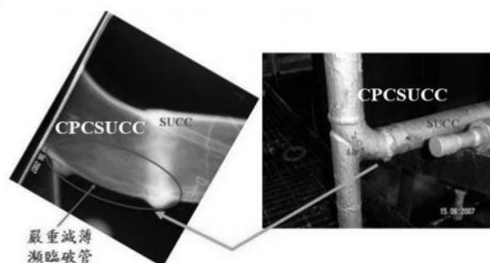
盲腸管!
流水不腐!!



我們能做什麼？

滯流區(Deadlegs)腐蝕管理

- 清查:RBI(存在具腐蝕性水溶液)、列管
- 檢查:射線輪廓法(RTP)。
- 緊急用之管線，應比照正常管線進行保養和檢查。
- 旁通管線應盲斷，且盡量接近製程側。
- 若製程上已無作用，沒有存在之必要，應考慮將此種管段除去。



管帽和管塞(Caps and Plugs) - 總有一天你會懷念它們！ 2011 年 12月號



一塊碎片從臨時性施工鷹架上掉落下來。剛好打中一條製程大管上之 $\frac{3}{4}$ 吋（約 20 毫米）排氣管上直角迴轉(quarter turn)球閥的直柄。掉落的碎片引起排氣閥打開。此大管子內有易燃性物質，就從排氣管釋放出來。排放的物質被點燃了。所引起的火災造成一名外包商工人死亡，並有兩人嚴重燒傷。

當事故發生時，此製程大管上之排氣管端並未裝管帽或管塞。此直角迴轉球閥是防止易燃物質之危險釋放的唯一東西。

此事故之所以發生是因為有東西掉落到閥門把手而打開閥。你能再想出這個閥門可能已洩漏或被意外地打開的其他方式嗎？

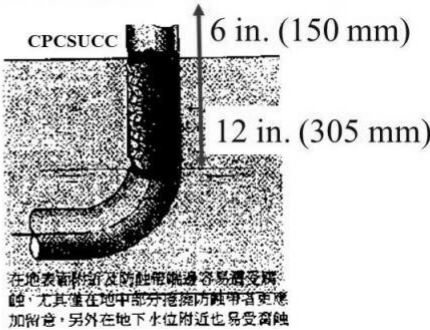
5.空氣/土壤(混凝土)界面處腐蝕



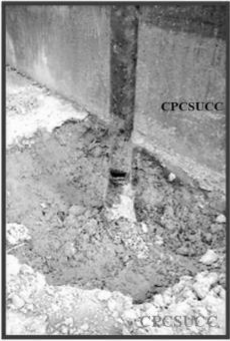
soil-to-air interface , SAI

An area in which external corrosion may occur or be accelerated on partially buried pipe or buried pipe near where it egresses from the soil.

NOTE The zone of the corrosion will vary depending on factors such as moisture, oxygen content of the soil, and operating temperature. The zone generally is considered to be at least 12 in. (305 mm) below to 6 in. (150 mm) above the soil surface. Pipe running parallel with the soil surface that contacts the soil is included.



**土壤與空氣之界面
腐蝕問題**



我們能做什麼？

空氣/土壤界面處腐蝕管理

1.清查:RBI

2.檢查:

-開挖:若此介面處之管外壁無防蝕包覆或包覆不良致使管壁有腐蝕跡象或顧慮時，且無陰極防蝕，超過10年應考慮往地下開挖15~30cm以詳細檢查。

-導波檢測

3.界面防蝕包覆



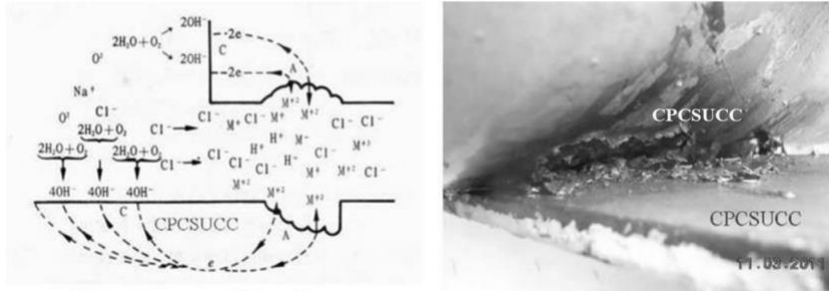
6.管線接觸點腐蝕 (肌膚之親)



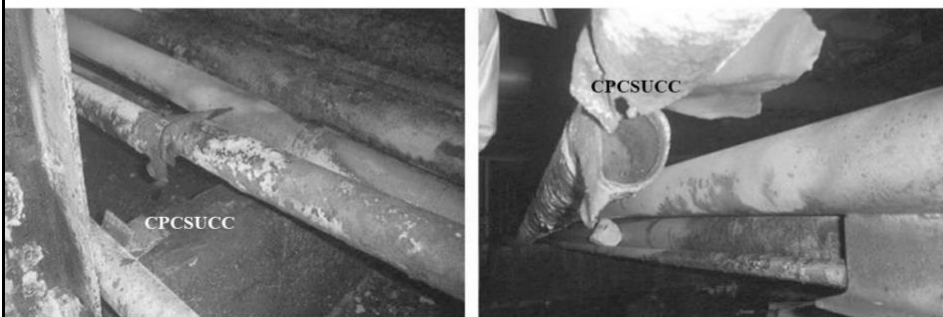
你知道嗎？

API陳述(RAGAGEPs)

- Localized corrosion at pipe support contact points is the result of crevice corrosion due to deposits that contain corrosive species, water and oxygen typical of an externally corrosive environment.
- More corrosion can be expected in moist climates, marine climates, and where contact between pipe and its supports is less of a “point” and more of an “area.” ^{CPCSUCC} If undetected and/or not mitigated, contact point corrosion can lead to leaks.

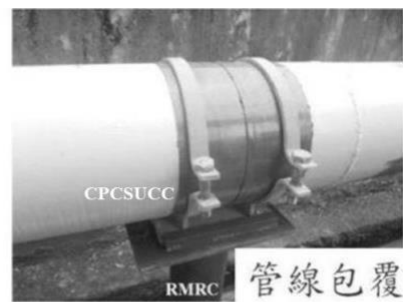
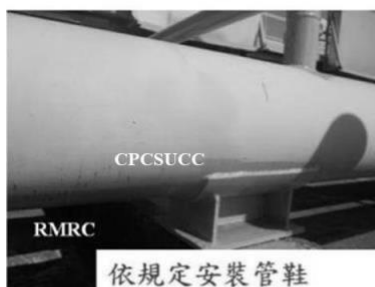
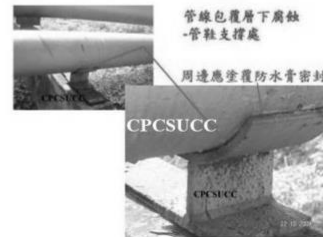


- 管線直接置於混凝土支撐座上，管線底部與支撐座接觸面腐蝕減薄，無法承受操作壓力而破裂
- 管線破裂時急速噴出的氫氣，摩擦破裂孔產生靜電而引燃



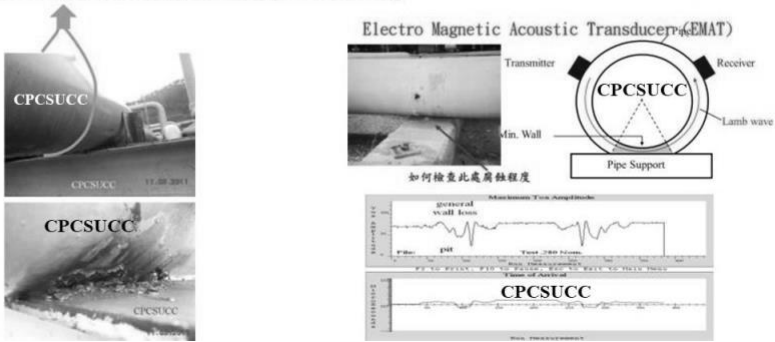
我們能做些什麼？

1. 風險評估並清查建檔管理
(RBI: 小於120°C+高失效嚴重度，火災、爆炸、中毒以及停產之經濟損失)
2. 增設管鞋
3. 因動火問題無法增設管鞋者，可考慮以下方案
- 在管線支撐處之管線選用耐候性和黏著性包覆材料以予包覆隔絕，並納入定期檢查/保養
4. 落實並提高檢查有效性

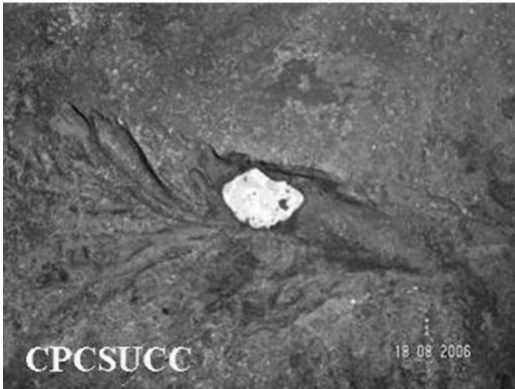


API-External Visual Inspection(外部檢查)

When corrosion product buildup is noted at pipe support contact areas管線支撐接觸點存在腐蝕生成物, it may be necessary to lift the pipe off such supports for inspection. When lifting piping that is in operation, extra care should be exercised (操作中抬起管線進行檢查應特別小心!!)and consultation with an engineer may be necessary. In lieu of or supplementary to lifting the pipe, appropriate NDE methods (e.g. guided wave EMAT lamb-wave) may be used(可採用非破壞檢測方法)

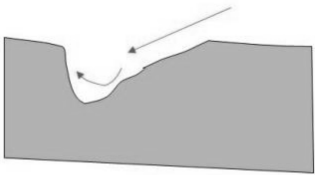
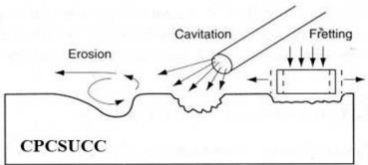


7. 沖蝕



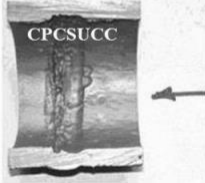
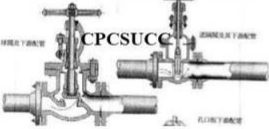
沖蝕 (Erosion Corrosion)

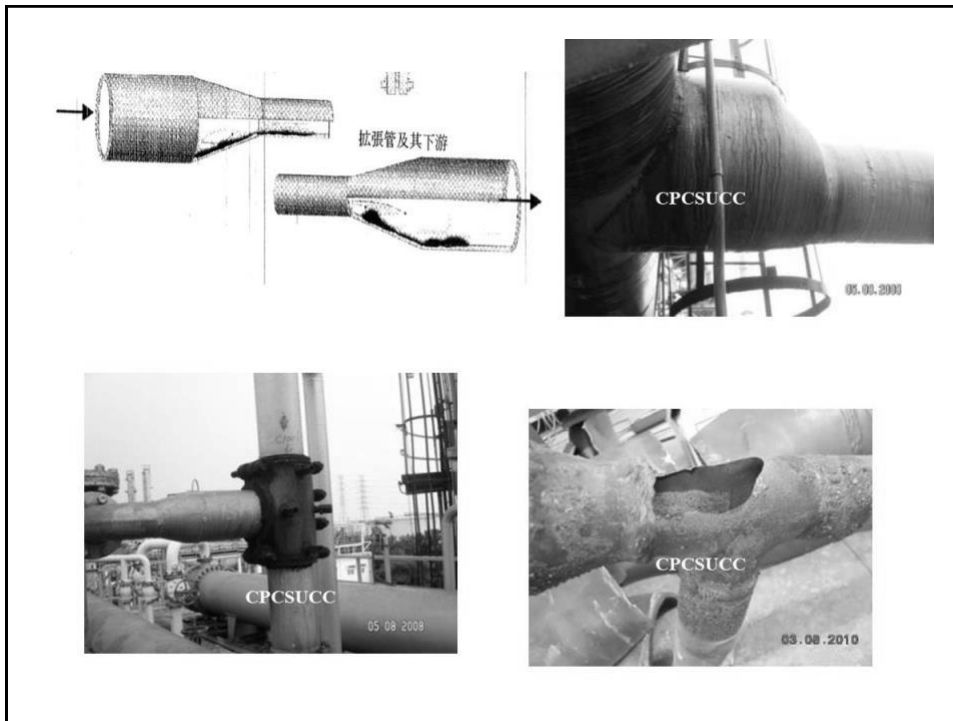
- 金屬和腐蝕環境有相對運動時，兩者之間必有機械摩擦或撞擊，則金屬受到的腐蝕破壞速率會加速，這種現象稱為沖蝕(erosion)
- 若加上腐蝕作用稱為(erosion corrosion)
- 沖蝕的介質不一定是液體，氣體或固體
- 沖蝕的破壞以受到流水的沖擊為最常見
- 固體之間的摩擦(Fretting)
- 液體中小氣泡的破裂(cavitation)
- 特徵是外表會有紋路、溝痕、波浪、圓洞或縱谷這些特徵有強烈的方向性



管線沖蝕經常發生位置

- A. 控制閥下游（尤其會發生驟沸的製程、大壓降）。
- B. 流體流向改變處，如彎頭之內緣及外緣，T接管、大小頭。
- C. 干擾流體流動導致產生擾流處（如焊道、溫度計插入點、法蘭等）之下游, 尤其硫酸環境。
- D. 泵浦出口。
- E. 流孔板下游。





-當高壓液體通過流孔板時，在Vena Contracta區域速度最大，此區域會產生大的壓降，當降至流體蒸氣壓以下，會產生大量氣泡，形成氣液兩相

-流體往前流動，離開Vena Contracta後，流體速度降低，壓力回復升高，導致氣泡破裂，破裂的氣泡形成高壓噴射震波，此噴射震波衝擊管線內壁，導致管線內壁塑性變形，產生圓形蝕坑型態，形成氣蝕(cavitation)，同時氣蝕會產生巨大的噪音，聽起來就像卵石在管道中運行

8.環境引起之應力腐蝕龜裂 (Stress Corrosion Cracking , SCC)



應力腐蝕龜裂 (Stress Corrosion Cracking, SCC)

-亦稱為環境誘導破裂

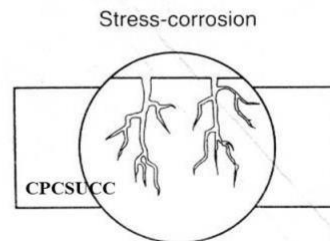
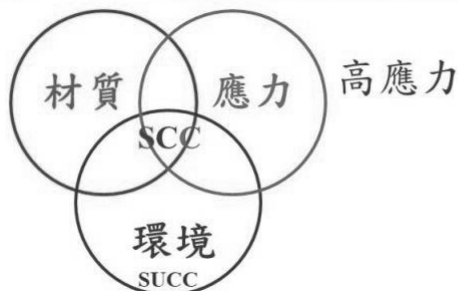
(environmentally induced cracking , EIC)

-金屬在應力作用下於特定環境存在下所造成的龜裂現象

-應力、特定環境和金屬材料

-應力需為張應力，承受應力CPCSUCC常小於降伏強度

-應力腐蝕發生的材料和環境有強烈之相關性



不同合金發生應力腐蝕龜裂的條件

合金	環境
鋁合金	-air -seawater -salt & chemical combination
鎂合金	-nitric acid -caustic -HF solutions -salts -coastal atmospheres CPCSUCC
銅合金	-primarily ammonia & ammonium hydroxide -amines -mercury SUCC
碳鋼	-caustic -anhydrous ammonia -nitrate solutions -amine -CO/CO2 -NaOH-NaSiO2 solutions -wet H2S

以上和溫度/濃度/應力有關

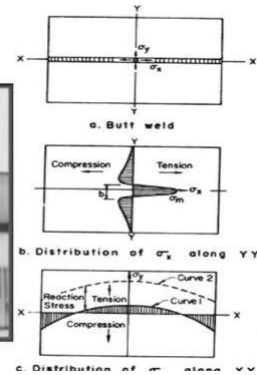
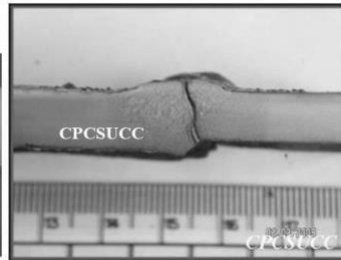
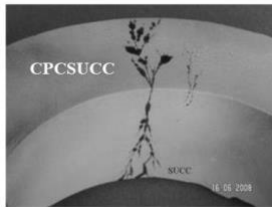
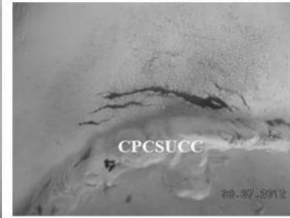
不同合金發生應力腐蝕龜裂的條件

合金	環境
麻田散鐵不銹鋼 &析出硬化型不銹鋼	-seawater -chlorides -H2S solutions -caustic NaOH
沃斯田鐵系不銹鋼	-chlorides (organic & inorganic) -caustic solutions -sulfurous & polythionic acid -neutral halides CPCSUCC -pressurized hot water containing 2 ppm dissolved oxygen
肥粒帖系不銹鋼	H2S、NH4Cl、NH4NO3、hypochlorite SUCC
鎳基合金	-Caustic>315℃ -fused caustic -hydrofluoric acid
鈦合金	-seawater -salt atmospheres -fused salts

以上和溫度/濃度/應力有關

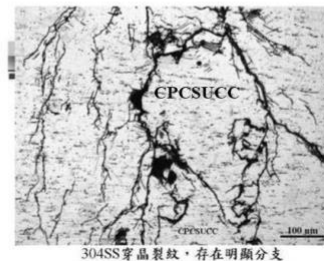
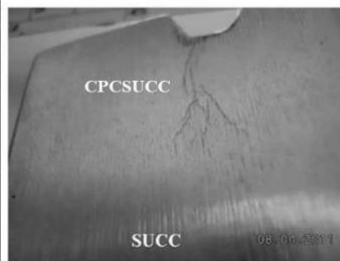
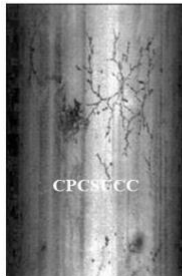
應力的來源

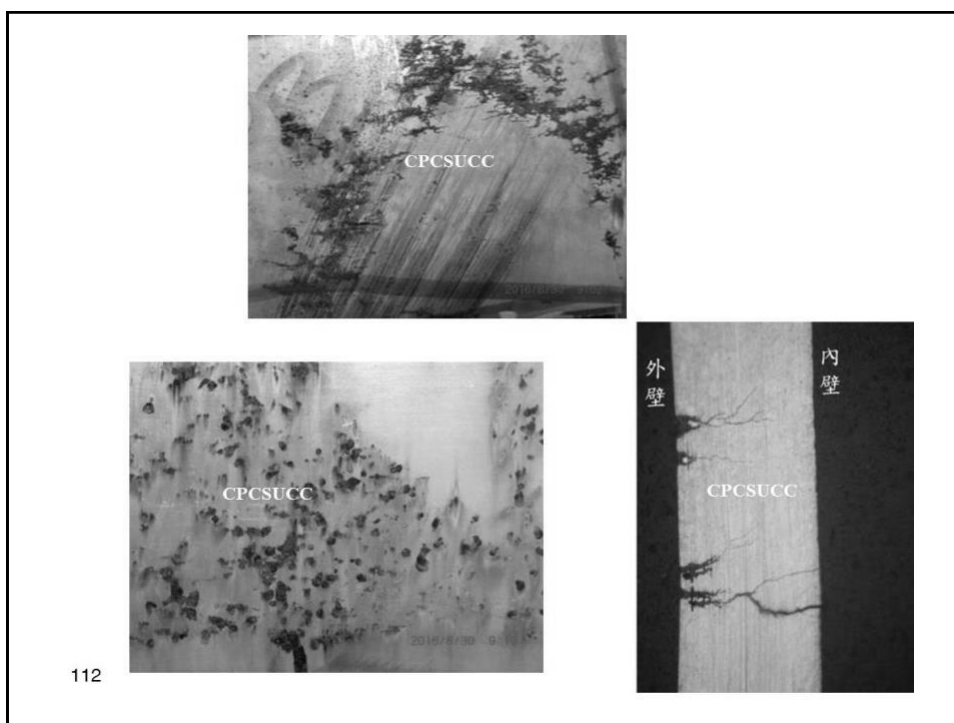
- 外加的應力
- 冷作加工
- 銲接或熱處理後殘存的應力
- 材料缺陷為應力集中來源



氯離子應力腐蝕 Chloride Stress Corrosion Cracking (Cl- SCC)

- 裂縫的產生並不伴隨腐蝕現象。
- 應力腐蝕破裂的特徵為分岐(樹枝狀)的裂縫產生
- 破裂表面 (**Fracture surfaces**) 通常都具有較脆 (**brittle**) 的特性





112

氯離子應力腐蝕 Chloride Stress Corrosion Cracking (Cl- SCC)

影響因素

- 氯離子濃度、pH、溫度、應力、溶氧與合金組成為決定氯化物應力腐蝕破裂是否發生的因素。
- 升高溫度，有助氯化物應力腐蝕破裂的產生。
- 增加氯離子濃度，會增加氯化物應力腐蝕破裂的產生。
- 發生氯化物應力腐蝕破裂之氯離子濃度並無最低之臨界值，因為氯離子都有機會產生濃縮。
- 熱交換的結果會造成氯離子濃度增加(concentrate)，以致產生氯化物應力腐蝕破裂。此外，乾濕交替或蒸氣與水交替的現象，也會增加氯化物應力腐蝕破裂的可能。

氯離子應力腐蝕龜裂風險評估

Table 13.3M – Susceptibility to Cracking – CLSCC

pH ≤ 10				
Temperature (°C)	Susceptibility to Cracking as a Function of Chloride ion (ppm)			
	1-10	11-100	101-1000	> 1000
38 – 66	Low	Medium	Medium	High
>66 – 93	Medium	Medium	High	High
>93 – 149	Medium	High	High	High
pH > 10				
Temperature (°C)	Susceptibility to Cracking as a Function of Chloride ion (ppm)			
	1-10	11-100	101-1000	> 1000
< 93	Low	Low	Low	Low
93 – 149	Low	Low	Low	Medium

304不鏽鋼包覆層下氯離子應力腐蝕龜裂CUI CLSCC

Table 18.2 – SCC Susceptibility – CUI CLSCC

Operating Temperature		SCC Susceptibility as a Function of Driver (Note)			
°C	°F	Marine / Cooling Tower Drift Area	Temperate	Arid	Severe
< 49	< 120	None	None	None	None
49 to 93	120 to 200	High	Medium	Low	High
93 to 149	200 to 300	Medium	Low	None	High
> 149	> 300	None	None	None	None

Note: Driver is defined as the atmospheric condition causing the SCC.

我們能做什麼？

應力腐蝕龜裂的管理

1. 使用耐CI-SCC的材料

(肥粒鐵系列不鏽鋼, 雙相不鏽鋼, 鎳含量高於45%之鎳基合金)。

※ 碳鋼、低合金鋼與400系列不鏽鋼不會有CI-SCC的問題

2. 水壓測試時使用氯離子濃度較低的水, 測試後應儘速完全乾燥。

3. 在保溫層下塗漆。

4. 避免滯留區, 此區將會造成氯化物沉積或氯離子濃度增加。

5. 檢查和監測方法^{CPCSUCC}

- 裂縫在表面連結, 有些可以目視發現。

- PT與相分析的EC技術為適當的檢測方法。

- 渦電流檢測技術也被應用於冷凝管、管線與壓力容器之檢測。

- 細小的裂紋無法使用PT檢測, 此時須要適當的表面處理;

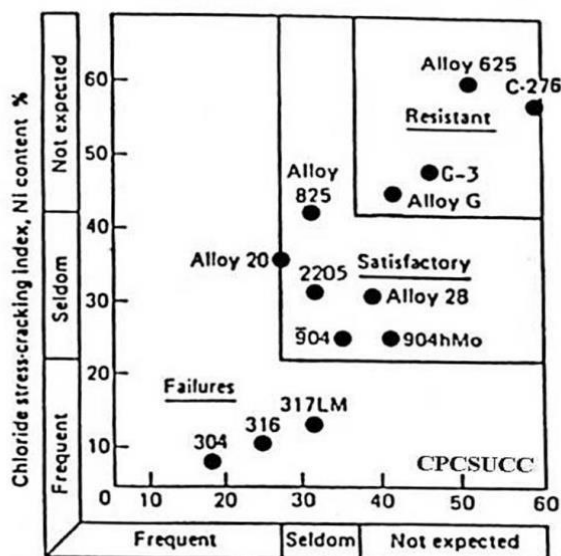
應採用研磨或高壓水blast等方法處理。

- UT。

- 除非是明顯的網狀裂縫, 否則RT不適用

6. 除非製程需求, 不要採用300系列不鏽鋼取碳鋼, 來抗大氣腐蝕

抗應力腐蝕龜裂指標(鎳含量)



Pitting/crevice corrosion index, Wirksomme

抗孔蝕指標(Pitting Resistance Equivalen)
(formula $Cr + 3.3Mo + 30 N$)

不銹鋼和雙相不銹鋼包覆層下典型保護塗料

Table 1
Typical Protective Coating Systems for Austenitic and Duplex Stainless Steels Under Thermal Insulation

System Number	Temperature Range ^{(a)(b)}	Surface Preparation ^(c)	Surface Profile, μm (mil) ^(d)	Prime Coat, μm (mil) ^(e)	Finish Coat, μm (mil) ^(e)
SS-1	-45 to 60 °C (-50 to 140 °F)	SSPC-SP 1 ¹¹ and abrasive blast	50-75 (2-3)	High-build epoxy, 125-175 (5-7)	N/A
SS-2	-45 to 150 °C (-50 to 300 °F)	SSPC-SP 1 and abrasive blast	50-75 (2-3)	Epoxy phenolic, 100-150 (4-6)	Epoxy phenolic, 100-150 (4-6)
SS-3	-45 to 205 °C (-50 to 400 °F)	SSPC-SP 1 and abrasive blast	50-75 (2-3)	Epoxy novolac, 100-200 (4-8)	Epoxy novolac, 100-200 (4-8)
SS-4	-45 to 540 °C (-50 to 1,000 °F)	SSPC-SP 1 and abrasive blast	15-25 (0.5-1.0) CPCSUCC	Air-dried silicone or modified silicone, 37-50 (1.5-2.0)	Air-dried silicone or modified silicone, 37-50 (1.5-2.0)
SS-5	-45 to 650 °C (-50 to 1,200 °F)	SSPC-SP 1 and abrasive blast	40-65 (1.5-2.5)	Inorganic copolymer or coatings with an inert multipolymeric matrix, ^(f) 100-150 (4-6)	Inorganic copolymer or coatings with an inert multipolymeric matrix, ^(f) 100-150 (4-6)

Table 1 (Continued)
Typical Protective Coating Systems for Austenitic and Duplex Stainless Steels Under Thermal Insulation

System Number	Temperature Range ^{(a)(b)}	Surface Preparation ^(c)	Surface Profile, μm (mil) ^(d)	Prime Coat, μm (mil) ^(e)	Finish Coat, μm (mil) ^(e)
SS-6	-45 to 595 °C (-50 to 1,100 °F)	SSPC-SP 1 and abrasive blast	50-100 (2-4)	Thermal-sprayed aluminum (TSA) with minimum of 99% aluminum, 250-375 (10-15)	Optional: sealer with either thinned epoxy-based or silicone coating (depending on max. service temperature) at approximately 40 (1.5)
SS-7	-45 to 540 °C (-50 to 1,000 °F)	SSPC-SP 1	N/A	Aluminum foil wrap with min. thickness of 64 (2.5)	N/A

SP0198-2010

Table 1 (Continued)
Typical Protective Coating Systems for Austenitic and Duplex Stainless Steels Under Thermal Insulation

System Number	Temperature Range ^{(a)(b)}	Surface Preparation ^(c)	Surface Profile, μm (mil) ^(d)	Prime Coat, μm (mil) ^(e)	Finish Coat, μm (mil) ^(e)
SS-6	-45 to 595 °C (-50 to 1,100 °F)	SSPC-SP 1 and abrasive blast	50-100 (2-4) CPCSUCC	Thermal-sprayed aluminum (TSA) with minimum of 99% aluminum, 250-375 (10-15)	Optional: sealer with either thinned epoxy-based or silicone coating (depending on max. service temperature) at approximately 40 (1.5)
SS-7	-45 to 540 °C (-50 to 1,000 °F)	SSPC-SP 1	N/A	Aluminum foil wrap with min. thickness of 64 (2.5)	N/A

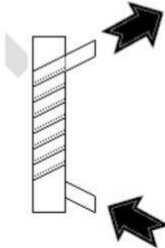
Prime Coat,
 μm (mil) ^(e)

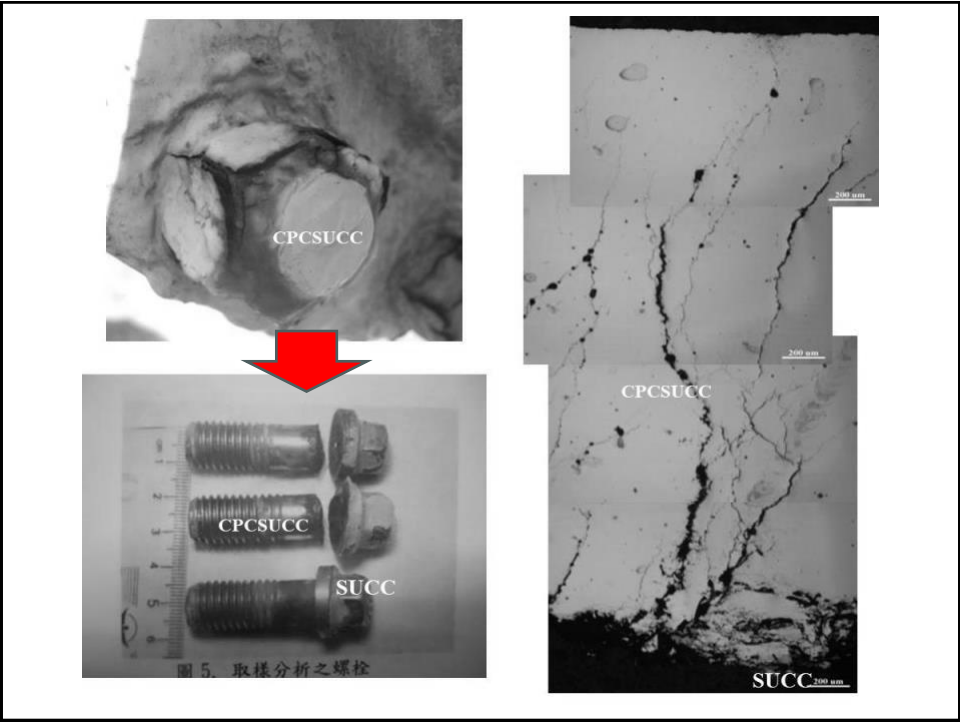
Thermal-sprayed
aluminum (TSA) with
minimum of 99%
aluminum, 250-375
(10-15) CPCSUCC

Aluminum foil wrap with
min. thickness of 64 (2.5)

熱噴塗鋁

鋁箔帶包覆



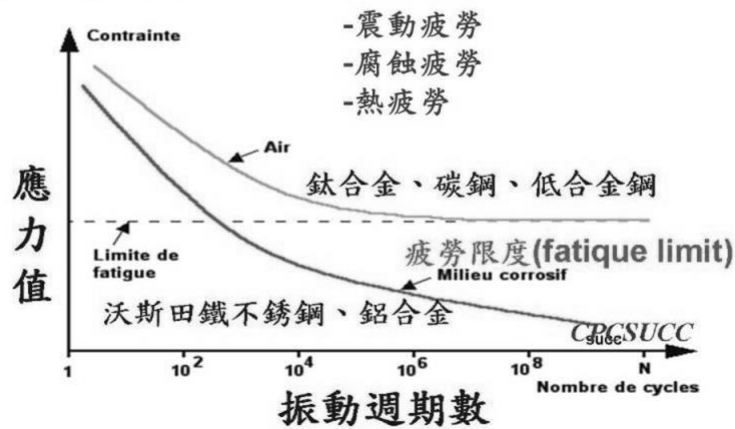


9.疲勞裂紋
(管線過勞死)



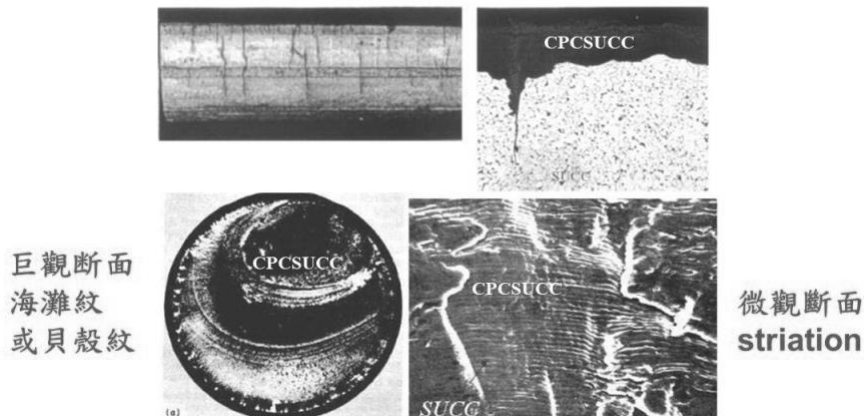
疲勞龜裂(fatigue)

1. 金屬受到週期性的反覆應力而導致破裂的現象
2. 振動、熱循環、壓力變化
3. 影響因素: 負荷、週期、振幅

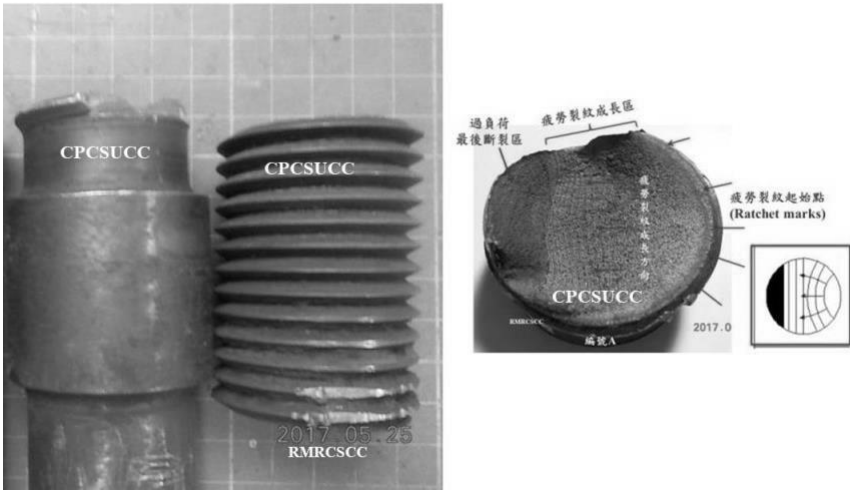


金屬疲勞的特徵

- 裂紋外觀呈平行且無明顯分歧
- 斷面巨觀可發現貝殼紋(或海灘紋, beach mark)
每一條紋代表應力變化之處
- 斷面微觀照片存在平行皺摺條紋striation特徵
兩條皺摺間距代表疲勞週期反覆一次裂紋成長距離。

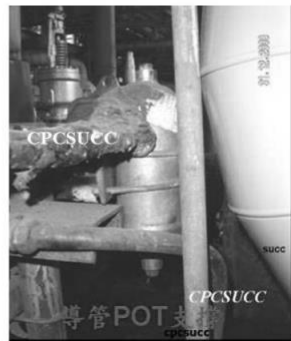
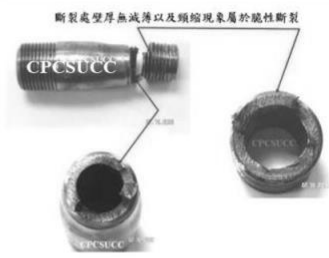
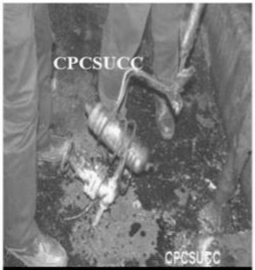
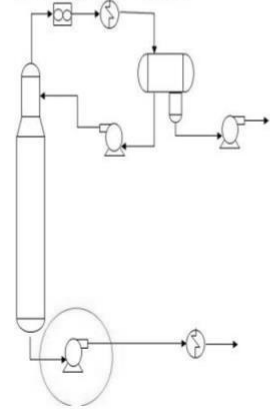


疲勞斷裂實例



案例-振動疲勞龜裂

- 泵浦進口管線1/2" 導管絲牙短管，發生斷裂
- 噴出356°C熱燃料油
- 進口壓力約為1kg/cm²，出口壓力約為25kg/cm²
- 短管材質為WP 316SS



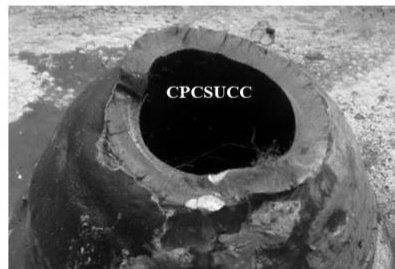
API說法

c. Vibration.

1. Excessive overhung weight.
2. Inadequate support.
3. Thin, small-bore, or alloy piping.^{CPCSUCC}
4. Threaded connections.
5. Loose supports causing metal wear.

風力也會影響疲勞

Components such as small diameter piping that may see vibration from adjacent equipment **and/or wind(風力)**. For small components, resonance can also produce a cyclical load and should be taken into consideration during design and ^{CPCSUCC}reviewed for potential problems after installation.



我們能做什麼？

疲勞龜裂管理

1. 本質安全設計

-應從設計和安裝上著手

(A)降低負荷

(B)減振:嚴重振動加裝吸振器和穩定器

(C)降低振幅

分歧小管線和閥體應考慮裝設額外支撐，
但振動影響會移至它處因此加裝支撐前
應進行整體評估

(D)避免構件形成角隅效應

(E)採用較大壁厚的小管線

(F)牙接改成銲接方式

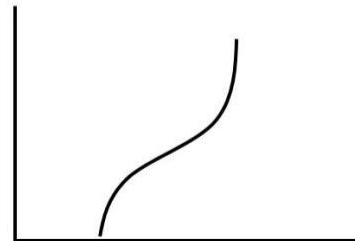
2. 清查和檢查

操作單位和檢查員應認知

It is important that the owner/user and the inspector understand that fatigue cracking is likely to cause piping failure before it is detected with any NDE methods. Of the total number of fatigue cycles required to produce a failure, the vast majority are required to initiate a crack and relatively fewer cycles are required to propagate the crack to failure. Therefore, proper design and installation in order to prevent the initiation of fatigue cracking are important.

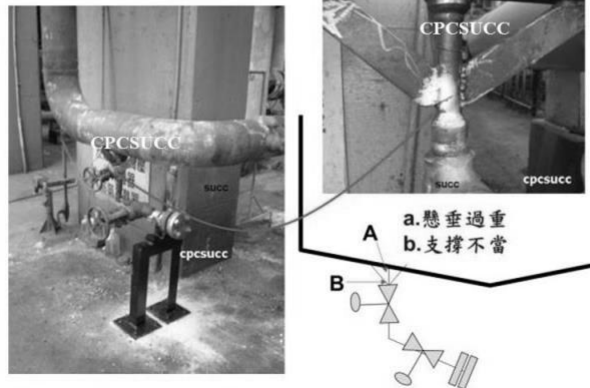
疲勞有可能在被非破壞
檢測之前就可能造成管
線龜裂

-正確設計和安裝為了抑
制疲勞裂紋起始(發生)



API對於加裝支撐說法

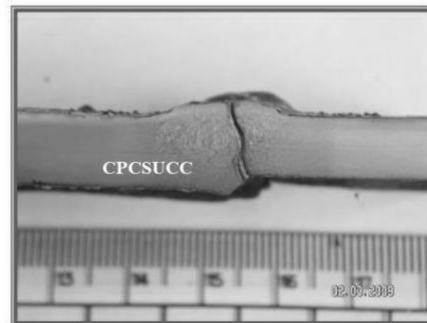
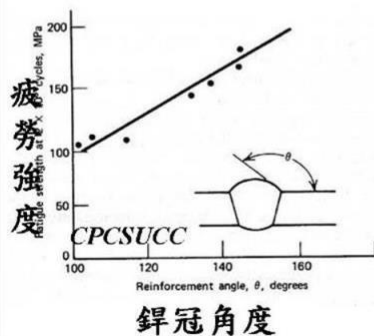
Vibration effects may be shifted when a vibrating section is anchored. Special studies may be necessary before anchors or dampeners are provided, unless the vibration is eliminated by removing the source.



疲勞之發生和構件表面之缺陷有極大之關係

- 表面凹槽
- 銲道處之undercut, overlap
- 銲冠過高
- 蝕孔

均是疲勞之起始點，其疲勞強度比平滑構件低



管線振動清查和檢查

1. 操作人員應將有振動、搖晃及明顯移位之管線告知檢查部門，進行評估和檢查
 - 用儀器量測管線振動
2. 觀察到振動或搖動，鉸道或拘束點應進行裂紋檢查
 - 定期利用PT或MT
 - 定期檢視支撐和懸吊系統

檢查重點位置

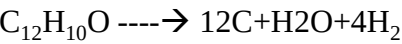
- (1) 振動管路受拘束的接合處檢查是否疲勞破裂，歧管連接處應特別注意。
例如管線和設備焊接點或支撐點附近
- (2) 附有大重量閥體或控制器的小管徑鉸接或牙接管線
- (3) 小管線和大管線鉸接處
- (4) 轉機周邊管線鉸接或牙接處
- (5) 轉機周邊旁通和循環管線
- (6) 常跳脫或異常的安全閥管線
- (7) 高壓降之控制閥和蒸汽壓降站
-----等等

10.加熱爐問題

熱煤油劣化和危害

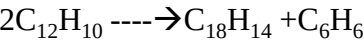
1. 熱劣化

導熱油長期在高溫下就會發生有機分子的碳鏈斷裂，形成低分子化合物主要有氫氣、甲烷、乙烷、丙烷等氣體及低分子量的烴族化合物。



危害

- 這些低分子化合物使導熱油的閃點和著火點降低，飽和蒸汽壓升高，增加了燃爆傾向
- 熱劣化的過程比較複雜，可能會發生很多次聚合反應，生成高分子聚合物，反應產生的物質形成沉積物，加速導熱油的熱劣化和輸油管線的堵塞，可能會導致較為嚴重的安全事故，此外固體顆粒會損傷泵浦軸封。



- 生成物的增加，會引起系統內壓力上升，甚至出現導熱油迴路泵的氣蝕；特別是對於氣相循環系統，壓力上升，則難以控制其內部溫度，進而引起夾套上部或盤管低凹處氣體的積存，造成熱效率降低等不良影響

熱煤油劣化和危害

2. 氧化劣化

高溫導熱油和空氣中的氧接觸後，會氧化生成有機酸，有機酸又會進一步促進導熱油的聚合反應。隨著溫度的升高，氧化速度加快，其結果可導致粘度的增加。油色由黃色到茶褐色，進而變為黑色，此為氧化劣化。

危害

- 有機酸在高溫狀態下對設備有一定的腐蝕作用。
- 氧化生成醛、酮、有機酸和過氧化物。生成的輕組分從膨脹槽排出，過氧化物容易縮合形成膠質和瀝青質，牢固地黏附在管道內壁的金屬表面，嚴重影響傳熱、引起腐蝕。

熱煤油劣化和危害

3. 混入異物劣化

導熱油在煉製和工作的過程中，有可能會混入異物，這些異物有可能會使導熱油分解，或者是導熱油發生聚合反應的催化劑。

危害

- 有的異物會直接和導熱油發生反應，造成導熱油的劣化，降低了導熱油的性能，甚至可能使導熱油變質，影響傳熱的效果。
- 混入的有機物可能成為催化劑，催化油品分解、聚合反應
- 混入水分在高溫下發生氣化，造成操作壓力不穩，嚴重時甚至引起超壓事故。

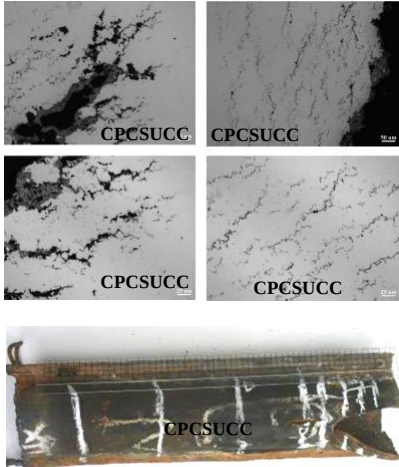
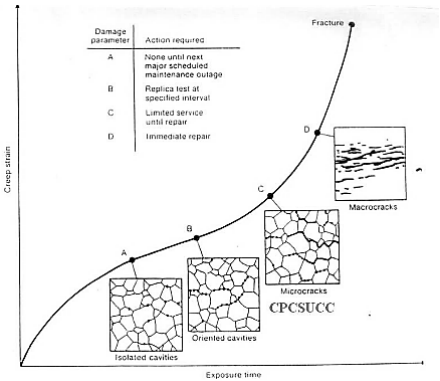
熱煤油劣化加熱爐爐管的危害

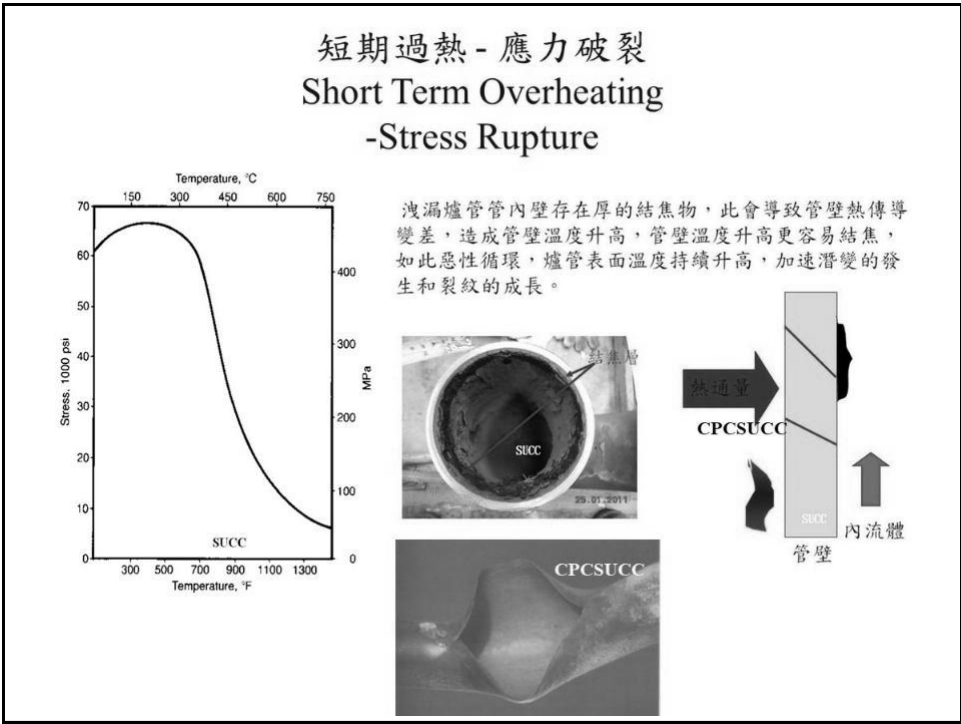
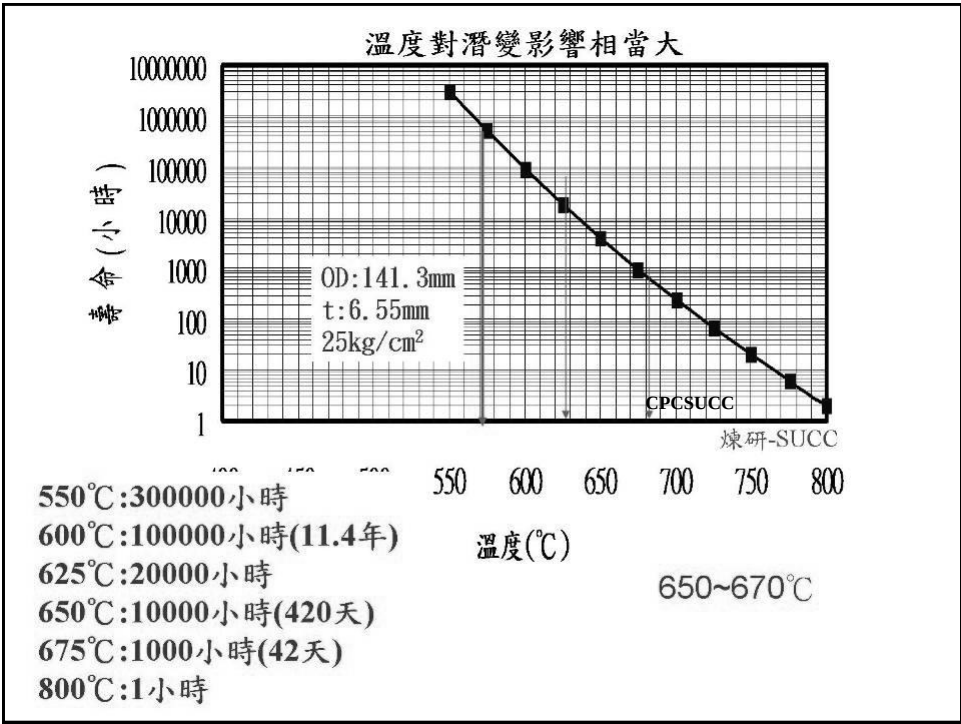
- 1.因管壁內結焦碳厚薄不等，造成工作面溫度不均勻，在管線轉彎處形成局部過熱蓄氣，造成管裂或噴油，釀成火災
- 2.由於結焦層的導熱係數比銅要小得多，有結焦的地方局部熱阻增大，爐管徑向溫度梯度變大。在結焦層最厚的地方導致爐管表面出現熱點，爐管表面溫度上升，影響爐管壽命
- 3.結焦層會導致加熱爐管壁溫度會急劇上升，從而引起爐管鼓包，破裂，燒穿爐管，引起加熱爐著火，爆炸，造成設備和操作者人身傷害等嚴重事故。

高溫潛變

CREEP

(中國大陸用語:蠕變)





四、結 語

- 問題認知
- RBI風險評估
- 推動PSM
- 本質安全設計和改善
- 加強清查和落實檢查
- 提高檢測有效性

報告完畢
敬請批評指教



問題討論
(Q&A)

