

保溫層包覆下腐蝕

台灣中油高雄煉油廠
陳志平

高雄市政府勞工局勞動檢查處

101年度石化廠製程管線
保溫層下腐蝕（CUI）防護、檢查及監測宣導會

前言

1. 保溫包覆

- 目的：避免熱損、製程穩定、人員保護、噪音控制、避免表面冷凝結冰
- 材料：保溫材、保冷材、混凝土、噴漿

2. 1970年設備管線發現保溫層下腐蝕現象

3. 1980年後陸續出現破損案例

CUI的危害

- NACE報導保守估計工場因CUI所引起設備維修、汰換和停產損失約為美金2500萬元（1987年）
- 2002年英國SHELL公司發表的資料顯示35%腐蝕意外事件來自CUI問題，該公司位於重工業區環境，非海洋環境
- ExxonMobil公司指出因CUI洩漏80%發生在管線，在損失方面統計顯示(A)60~80%管線維護費用來自CUI、(B)NDE和檢查費用接近重新塗漆費用和(C)修補CUI的費用占維修總預算10%（2003年）

CUI的危害

- 日本化學工程學會調查128件不鏽鋼外部應力腐蝕案例，顯示81件發生在包覆層下的設備
- 一家化學公司之不鏽鋼塔槽因CUI問題，導致外部產生無數裂紋，無法鏟修而必須汰換，損失數百萬美元

國內外重視

1. 日本ENAA協會：99年曾前來台灣中油研討CUI相關問題。
2. 國內石化廠100年連續大火(七案例中有四例屬之)，引起國內(包括公司)重視此議題。
3. API：CUI損傷、影響因子、受影響材質與設備、防治等(2003)
4. 國外相關CUI會議

觀念的省思

- 通常認為**鋁捲片（雨水阻隔物）**是不會透水而能阻止水氣進入，但不完全是這樣，本質上鋁捲片是無法百分之百防水的，因此應假設包覆後水氣是會浸入的。
- **包覆層不會留下水氣**，這同樣不一定是正確，因為水氣是可能在各種包覆型式下留下來，CUI會伴隨各種包覆材料而發生。
- **所使用的保護塗料層會抵擋水氣腐蝕**，這同樣不一定是正確，保護塗料的壽命大約是在2到25年，有些環境下會更長，但有機塗料通常平均不超過10年。

報告大綱

- 1 腐蝕反應機制
- 2 常易發生包覆下腐蝕位置及圖例
- 3 管理體系
- 4 包覆層施做必要性檢討
- 5 CUI風險等級分級
- 6 風險檢查管理計畫與檢測方法
- 7 正確絕緣材料包覆方法及圖例
- 8 免實施CUI檢查條件
- 9 再評估時機
- 10 改善措施

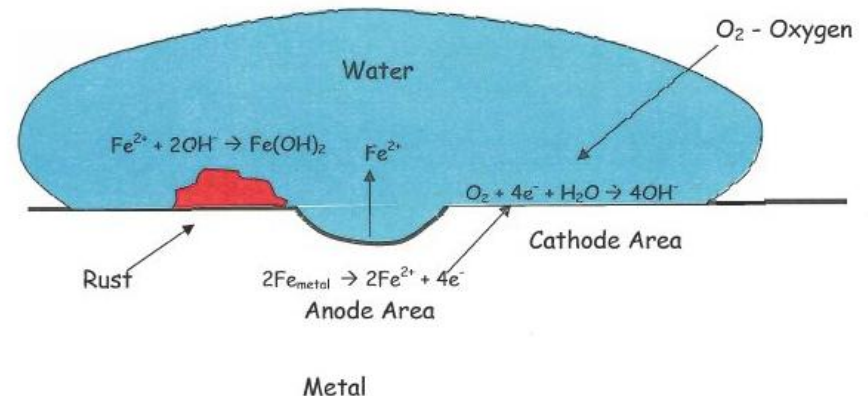
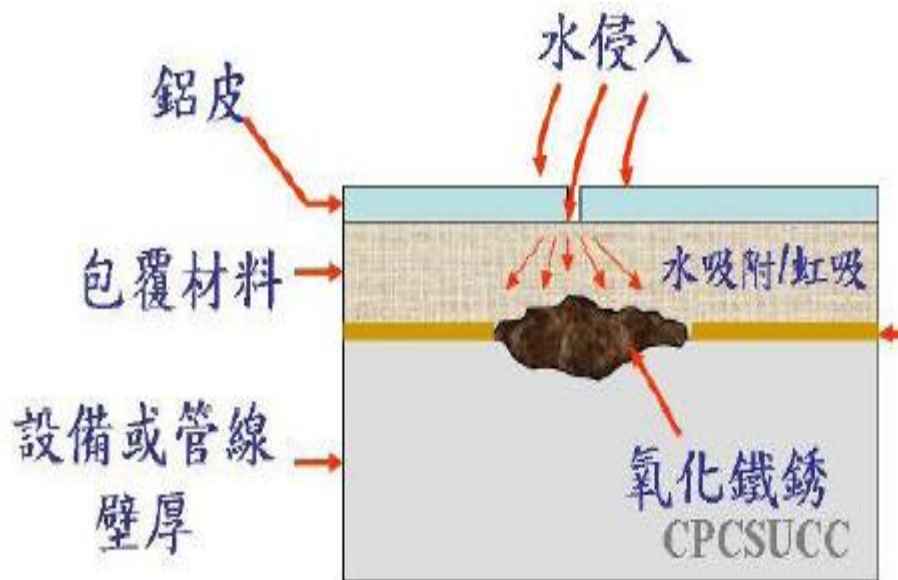
1. 腐蝕反應機制

保溫包覆下腐蝕

- 廣義而言鋼鐵材料必須同時接觸到水及空氣才會腐蝕；保溫與保冷包覆下鋼鐵的腐蝕問題乃保溫材料所提供之環狀空間使得水及氧能聚集在鋼鐵表面，管線支撐、保溫脫落、彎頭及插管部位較易集水故容易腐蝕。
- 腐蝕機構乃水份反覆冷凝/蒸發、水氣覆蓋即反覆乾/溼情況下最容易產生腐蝕問題。

腐蝕機制與成因

- 鋁皮缺口：間隙、破損
- 包覆含水，水和碳鋼、低合金鋼和不銹鋼起電化學反應，形成腐蝕現象。
- 包覆材料具虹吸與吸附水的能力和含腐蝕因子，加速腐蝕。



CUI影響因素-水的來源

- 外部來的水
 - 雨水、冷凝水塔的逸散、蒸氣排放、製程液體的溢流、低溫設備表面結露之冷凝水滴、蒸氣加熱器損傷、排放蒸氣之冷凝水和消防水或溢流液體之噴灑。
- 設備表面冷凝水來自於操作溫度低於室溫，導致設備表面水結露的結果。

CUI發生的溫度條件

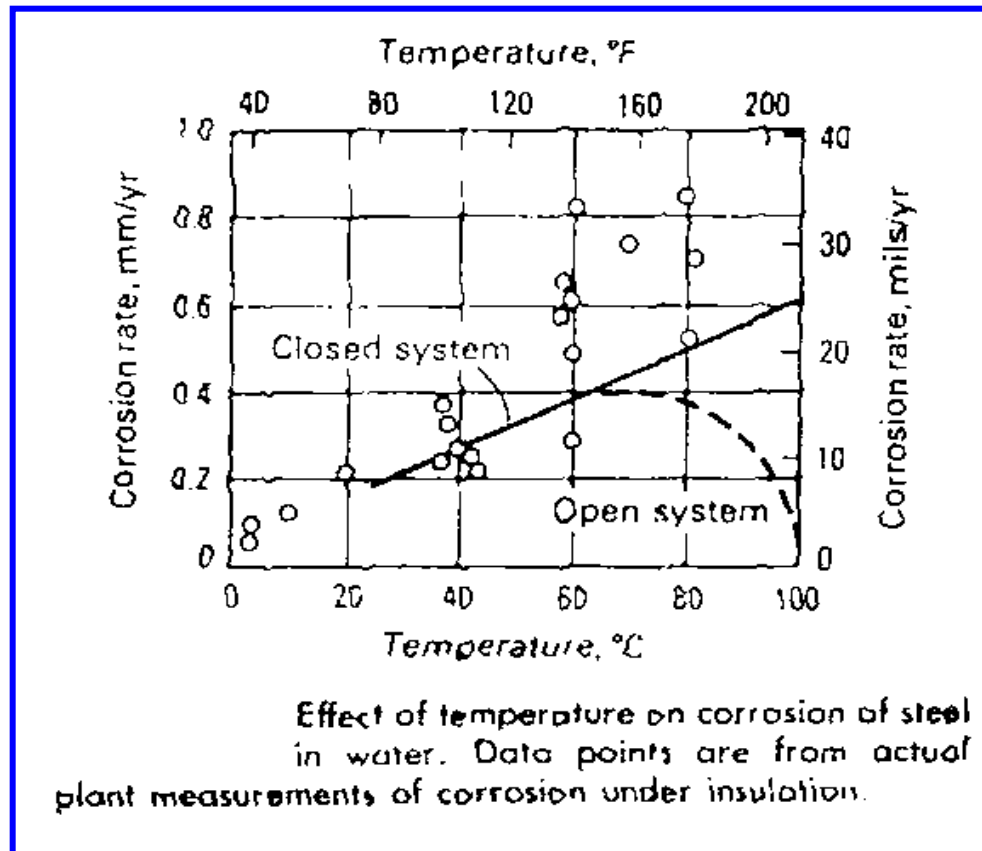
1. 碳鋼/低合金鋼管線:操作溫度在 $-4\sim 120^{\circ}\text{C}$
(API 510-2006, $-12\sim 175^{\circ}\text{C}$)
2. 不鏽鋼管線: $65\sim 204^{\circ}\text{C}$
(API 510-2006, $60\sim 205^{\circ}\text{C}$)
3. 正常操作溫度在 120°C 以上，只間歇性操作
或停用設備，但仍和製程連通者
4. 從包覆管路凸出的滯流管和附件，
其溫度常異於主管線操作溫度

API 510 2006年版新規定

- a. 10°F (-12°C) and 350°F (175°C) for carbon and low alloy steels
- b. 140°F (60°C) and 400°F (205°C) for austenitic stainless steels.

影響腐蝕速率『溫度』

管線溫度愈高腐蝕率升高，相對的溫度愈低腐蝕率降低， 0°C 時水的腐蝕率則近乎零。



CUI影響因素-腐蝕因子

- 海洋性環境的氯離子
- 重工業區排放的二氧化硫
- 金屬鹽類水解導致低PH值

腐蝕型態

- 碳鋼和低合金鋼：

呈現均勻腐蝕和局部腐蝕

但大部分腐蝕為高度局部性，且較為嚴重

- 不鏽鋼管線：

應力腐蝕龜裂，孔蝕

2. 常易發生包覆下腐蝕位置 及圖例

CUI 常發生在包覆結構上

1. 保溫層系統所有插入和分支的管線
 - 滯留管(vent、drain、取樣管、儀表聯接管…….)
 - 管線懸吊和其他支撐
 - 閥體以及組件(不規則包覆)
 - 鎖螺栓之管鞋(Bolted-on shoes)
 - 蒸氣追蹤管線進出口孔
2. 法蘭和其他構件保溫的端點
3. 保溫層外罩脫落或損壞的區域
4. 保溫層外罩接縫處位於水平管線上半部
5. 直立管線保溫的終點

CUI 常發生在包覆結構上

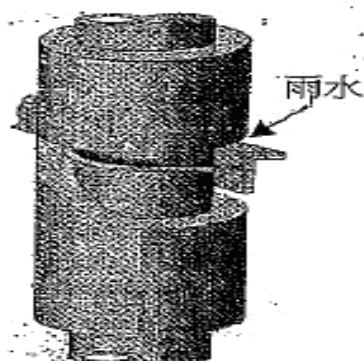
6. 填隙材料已硬化、分離或脫落者
7. 保溫層或外罩系統鼓起或髒污或者繫帶脫落者
8. 存在保溫分支的管路系統低點，包含長跨距而無支撐架存在管線低點
9. 在高合金管線保溫層下存在碳鋼和低合金鋼的法蘭、螺栓和其他附件
10. 測厚孔
11. 有長草、青苔
12. 滴水 and 流出黃銹處

(在不易保溫施工之部位，有因雨水之浸入而發生腐蝕)

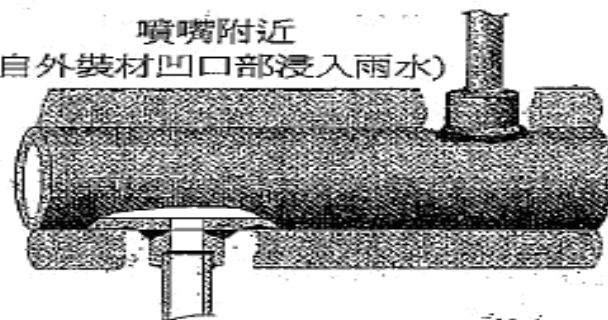
凸緣部(自外裝材端部浸入雨水)



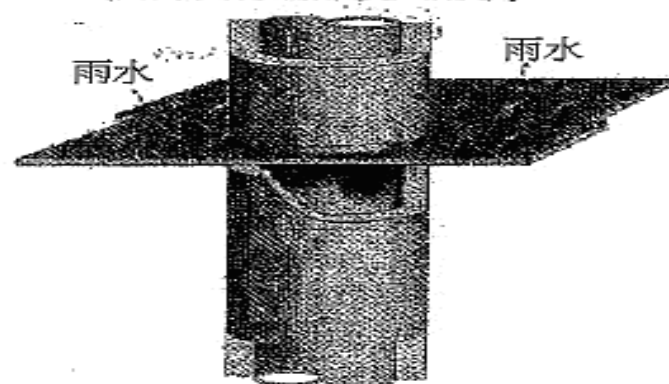
支撐安裝部
(自外裝材凹口部浸入雨水)



噴嘴附近
(自外裝材凹口部浸入雨水)



站台貫穿部
(自外裝材端部浸入雨水)



抱線入口・出口
(自外裝材凹口部浸入雨水)



1. 包覆不連續區

保溫層系統所有插入和分支的管線



- 滯留管(排氣管、排液管、取樣、儀表連接管等)

追蹤蒸氣管線



管鞋部位

鎖螺栓之管鞋



管鞋處



鎖螺栓之管鞋



U型支撐包覆不良區域



2. 鋁捲片之裂化損壞處

包覆鋁皮損傷不良區域



3. 水滯留處

直立管的包覆末端部位



4. 包覆材中累積吸收濕氣之環境

停用或低溫管線之插管附近



3. 管理體系

1. 管理重點

2. CUI管理團隊

管理重點

- 1) 從現場操作、維修及檢測部門至公司等各層級，都應清楚地定義各相關部門在CUI管理上所扮演的角色。
- 2) 制訂一套CUI管理辦法。
- 3) 引進先進檢測技術並落實檢查工作。
- 4) 人員訓練，全員投入。

管理體系

(公司級)

CUI規劃管理小組

- 制定CUI檢查指引
- 負責教育訓練之推動
- 分析「預防CUI」在安全措施上的影響並提出督導方案

(廠/處/室級)

單位負責人

- CUI檢查推動與監督

(轄區組級)

轄區經理

- 依照標準與方法向上級提出管理案例與報告CUI檢查結果

人資部門

- 教育訓練

操作部門

- 負責管線清查
- 負責風險等級分級
- 管理設備操作中之各行檢測工作，並向轄區經理回報進度
- 追蹤並提出CUI檢查時程

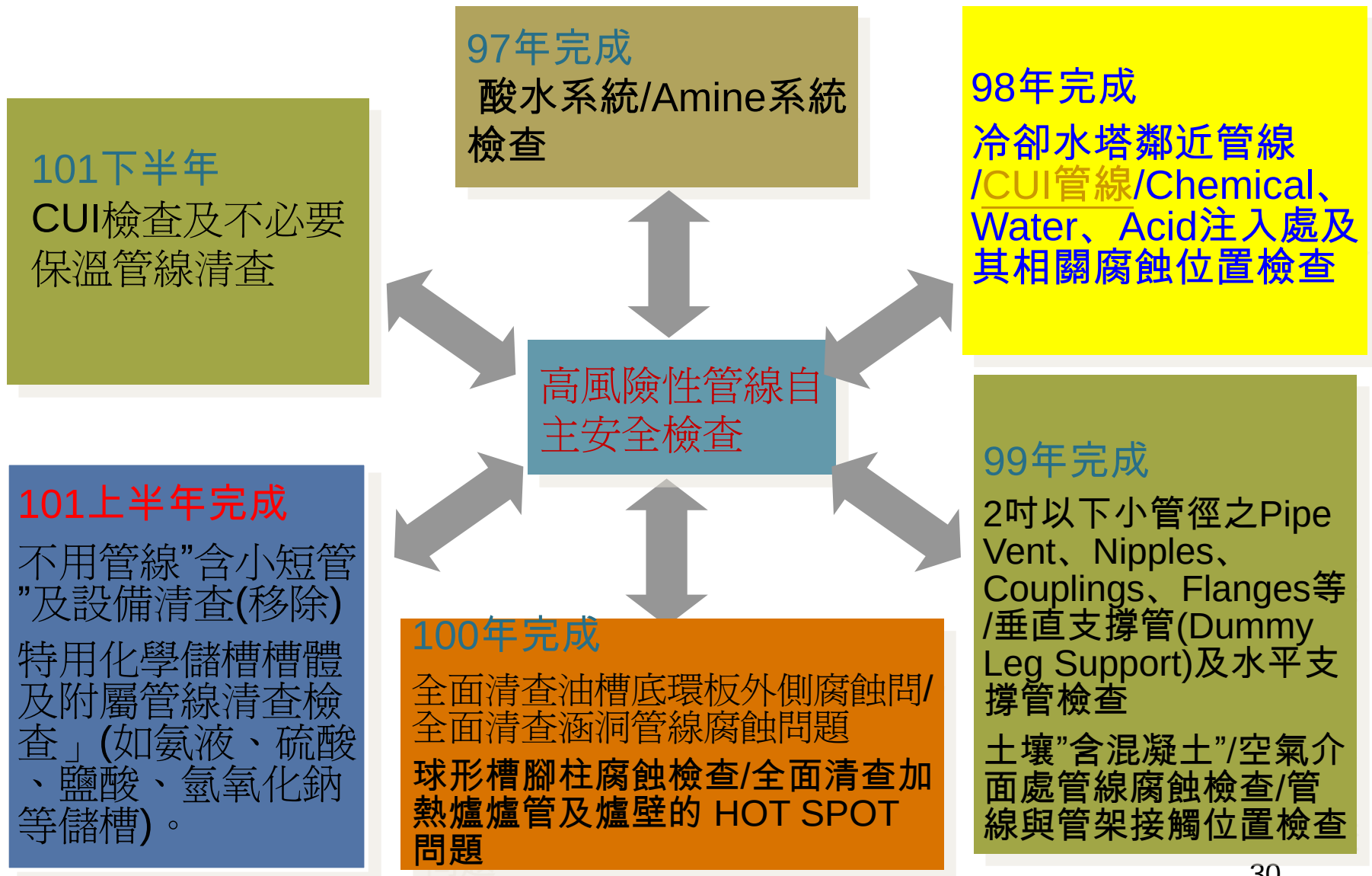
維修及工務部門

- 負責包覆層維修
- 包覆層之設計改善
- 原始版本ISO圖提包覆層供
- 除銹及防蝕塗覆

檢測部門(註)

- 協助管線清查
- 協助風險等級分級
- 定義拆除包覆層、非破壞 檢測區域
- 依照標準及方法進行檢測工作
- 向單位負責人、轄區經理、操作部門報告檢測技術分析結果所顯示之趨勢
- 檢查結果資料更新

高風險性管線自主安全檢查

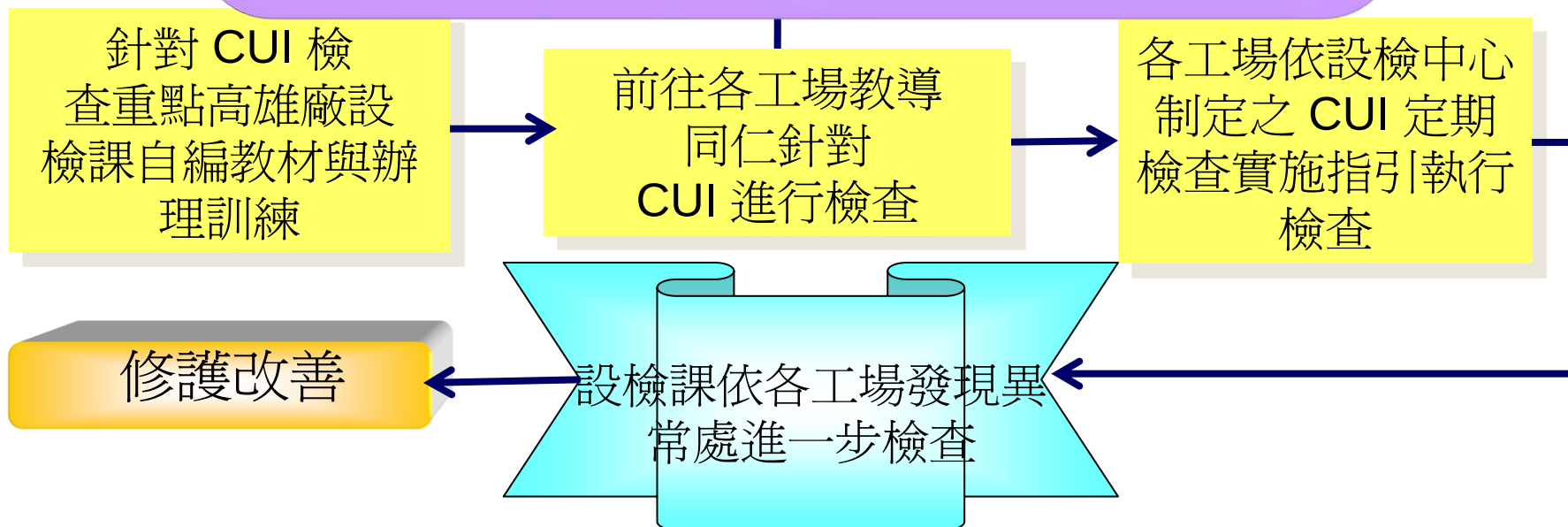


三、設備檢查強化措施(續)

2.保溫層下腐蝕 (CUI) 檢查規劃

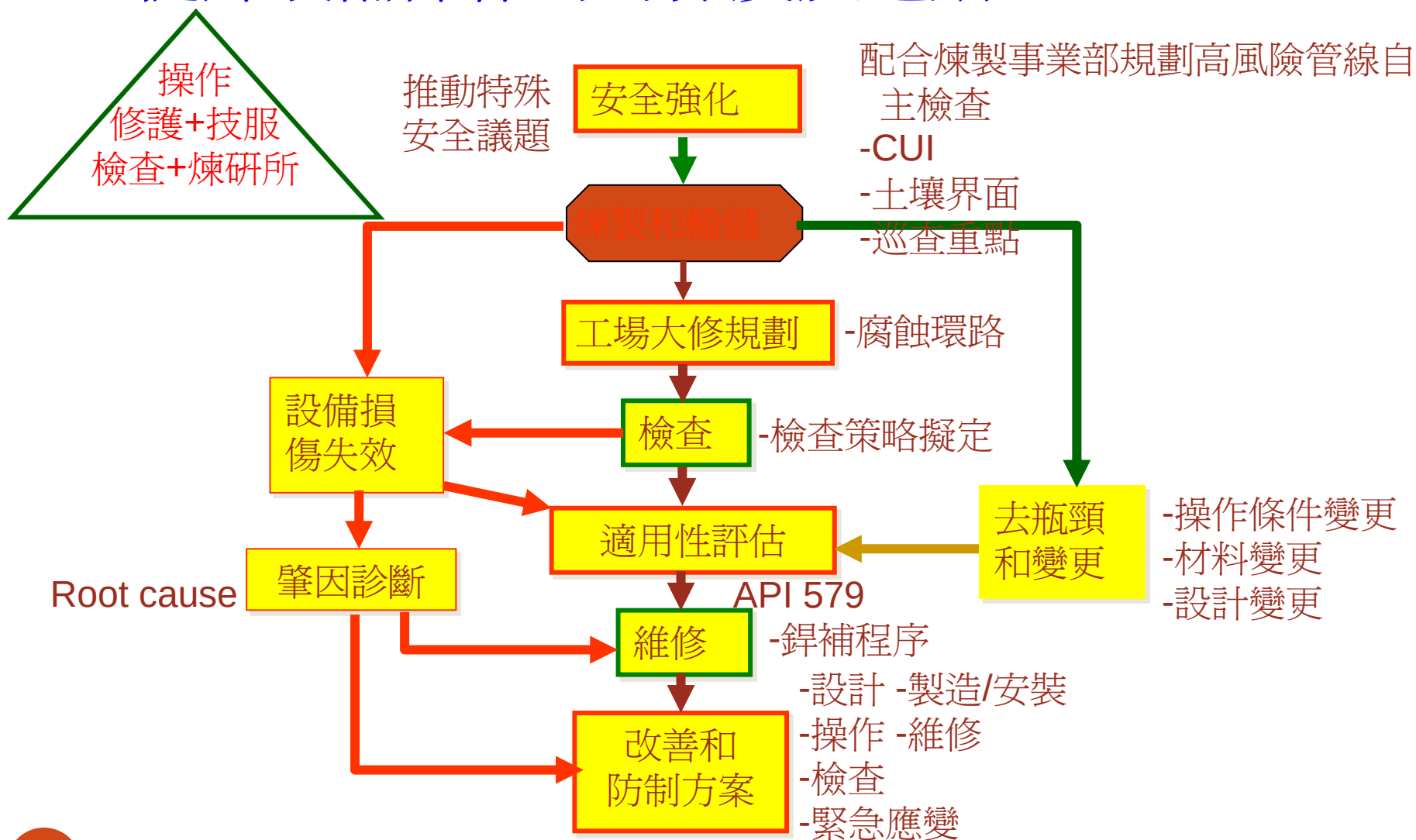
檢查重點

1. 碳鋼/低合金鋼管線:操作溫度在-12~175℃
2. 不鏽鋼管線: 60~205℃
3. 塗層或包覆劣化的管路
4. 管線系統震動使得保溫層外罩損壞導致水分進入
5. 暴露在冷卻水塔溢出水氣的區域



3. 提升設備操作的可靠度及週期

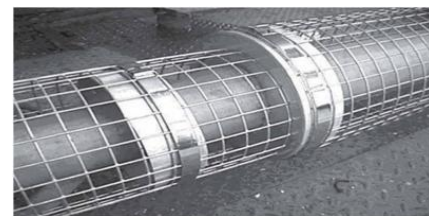
3. 提升設備操作的可靠度及週期



4. 包 覆 層 施 做 必 要 性 檢 討

● 包覆的目的

- 防凍保護(安全考量，不能任意變更)
- 防火被覆(安全考量，不能任意變更)
- 個人安全防護(可考慮其他替代方案)
- 噪音控制(可考慮其他替代方案)
- 節省能源(比較熱損失與CUI防治成本)
- 製程控制(評估相變化, 腐蝕會更嚴重?)



***任何移除或改變包覆的措施都必須依變更管理（MOC）程序實施，並留存紀錄。**

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，尤其人員保護之保溫層

50~90°C CUI腐蝕最為嚴重，
此部份在現場為人員保護包覆(PP)



5. CUI風險等級分級

CUI風險矩陣與檢查優先順序評估

(Corrosion Risk) 腐蝕風險評估	高			最優先	
	中高		優先		
	中		次優先		
	低	一般			
		D	C	B	A
後果評估(Consequence)					

CUI風險評估-矩陣法

- 後果嚴重度之分級
 - 依照 API-570，針對管線洩漏時內容物所造成的後果嚴重程度而定，分為A、B、C、D四級
- 腐蝕風險機率之計算，依下列四項總分，分為低、中、中高、高四級
 - 腐蝕因子
 - 大氣環境
 - 包覆狀況
 - 管壁厚度

(腐蝕風險評估 Corrosion Risk)	高			最優先
	中高		優先	
	中		次優先	
	低	一般		
		D	C	B

後果評估(Consequence)

後果嚴重度分級 (依據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(如LPG)。 - 壓力狀態下之內容物，一旦洩漏或釋放後，會迅速氣化(指常壓沸點低於10°C者)、產生蒸氣雲、形成爆炸性混合物者，例如C₂、C₃、C₄之油料及液氨。 - 氣相中H₂S濃度超過3 wt%者。 - 含無水氯化氫(Anhydrous Hydrogen Chloride)。 - 含氫氟酸(Hydrofluoric Acid)。 - 含氫氣純度80%以上者。 - 操作溫度高於其自燃點之可燃性物質。
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上之油料，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。
C (Class 3)	- 工場區人員較少活動之油料管線，且洩漏時不太會蒸發者(例如操作溫度低於閃火點之油料、高於C₁₂之油料)。 - 蒸餾油等油料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。 - 蒸汽、冷凝水管線。 - 空氣、氮氣、潤滑油及密封油管線。 - 純水、鍋爐水及脫酸水管線。 - ASME B31.3屬於D類之流体(*)。 - 自來水及排放管。

腐蝕機率評估(以量化方式評估)

1. 影響管線腐蝕的腐蝕因素
2. 大氣環境的影響
3. 目視檢查結果
4. 管壁剩餘厚度

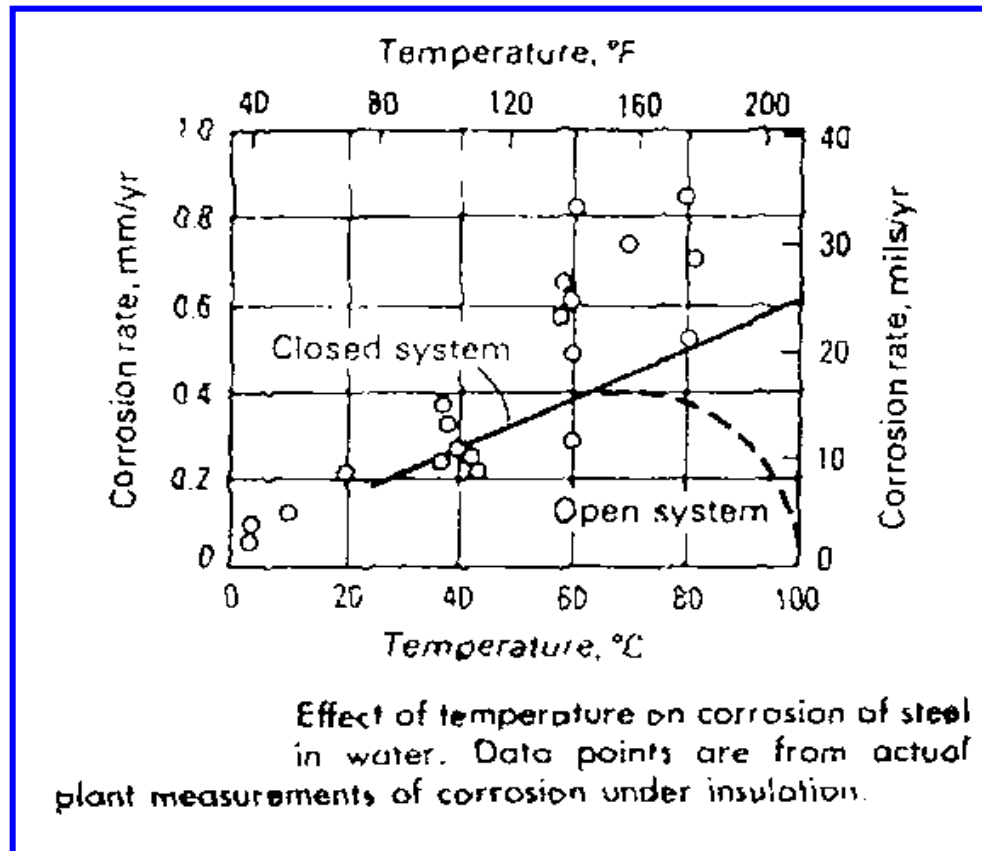
1. 影響管線腐蝕的腐蝕因素

- 1) 管線使用年數
- 2) 管線防蝕塗料
- 3) 操作狀況（連續操作或間歇性操作）
- 4) 管線操作溫度等

管線使用年數		<10年		10~20年				20~30年		>30年
防蝕塗料		-		有		無				
操作狀況		連續	間歇	連續	間歇	連續	間歇	連續	間歇	-
管線操作溫度	-12~60℃	0	0	10	20	10	20	10	20	20
	60~120℃	0	10	10	30	20	30	20	30	30
	120~175℃	0	0	0	20	10	20	10	20	20
備註		接縫的填塞材料2年後裂化，水份開始侵入		管線防蝕塗料開始裂化				管線防蝕塗料完全失去作用，鋁捲片裂化		

影響腐蝕速率『溫度』

管線溫度愈高腐蝕率升高，相對的溫度愈低腐蝕率降低， 0°C 時水的腐蝕率則近乎零。



2、大氣環境因素

大氣環境因素的配分

外在環境		分數
室內		0
室外	一般室外	10
	海邊	20
	常有水氣存在之處	30

3. 目視檢查包覆狀況

- 依目視檢查結果進行評估
- 異常/失效：鏽水流出、長青苔處、包覆材料嚴重裂化處

目視評估後之包覆狀況配分

包覆材料使用年數	目視評估之包覆狀況	
	異常/失效	正常
小於10年	10	0
10-20年	20	10
大於20年	30	20

4、管壁厚度

管壁測厚數據評估後之配分

管線原始 厚度資料	剩餘厚度	分數	備註
$\geq 9.5\text{mm}$	$\geq 9.5\text{mm}$	0	1. 若無前次厚度紀錄，先以原始厚度考量，再擇點量測。 2. 需考慮管內壓力，有需要時再評估。 3. 如果管線包含任何小管徑支管或噴嘴配管，則需量測小管線之厚度。
4.5mm~9.5mm	4.5mm~9.5mm	5	
$\leq 4.5\text{mm}$	$\leq 4.5\text{mm}$	10	

腐蝕機率之分級

以腐蝕因子、大氣環境、包覆狀況、管壁厚
度四項之總分，依下表判定其機率等級：

腐蝕機率等級	分數
低	≤ 40
中	$40 < \text{中} \leq 60$
中高	$60 < \text{中高} < 80$
高	≥ 80

CUI風險矩陣與檢查優先順序評估

(Corrosion Risk) 腐蝕風險評估	高				最優先
	中高			優先	
	中		次優先		
	低	一般			
		D	C	B	A
後果評估(Consequence)					

6. 風險檢查管理計畫

CUI檢查規劃

拆除包覆層比例與NDT檢測

建立管線管理單元

檢測方法與策略

CUI檢查規劃

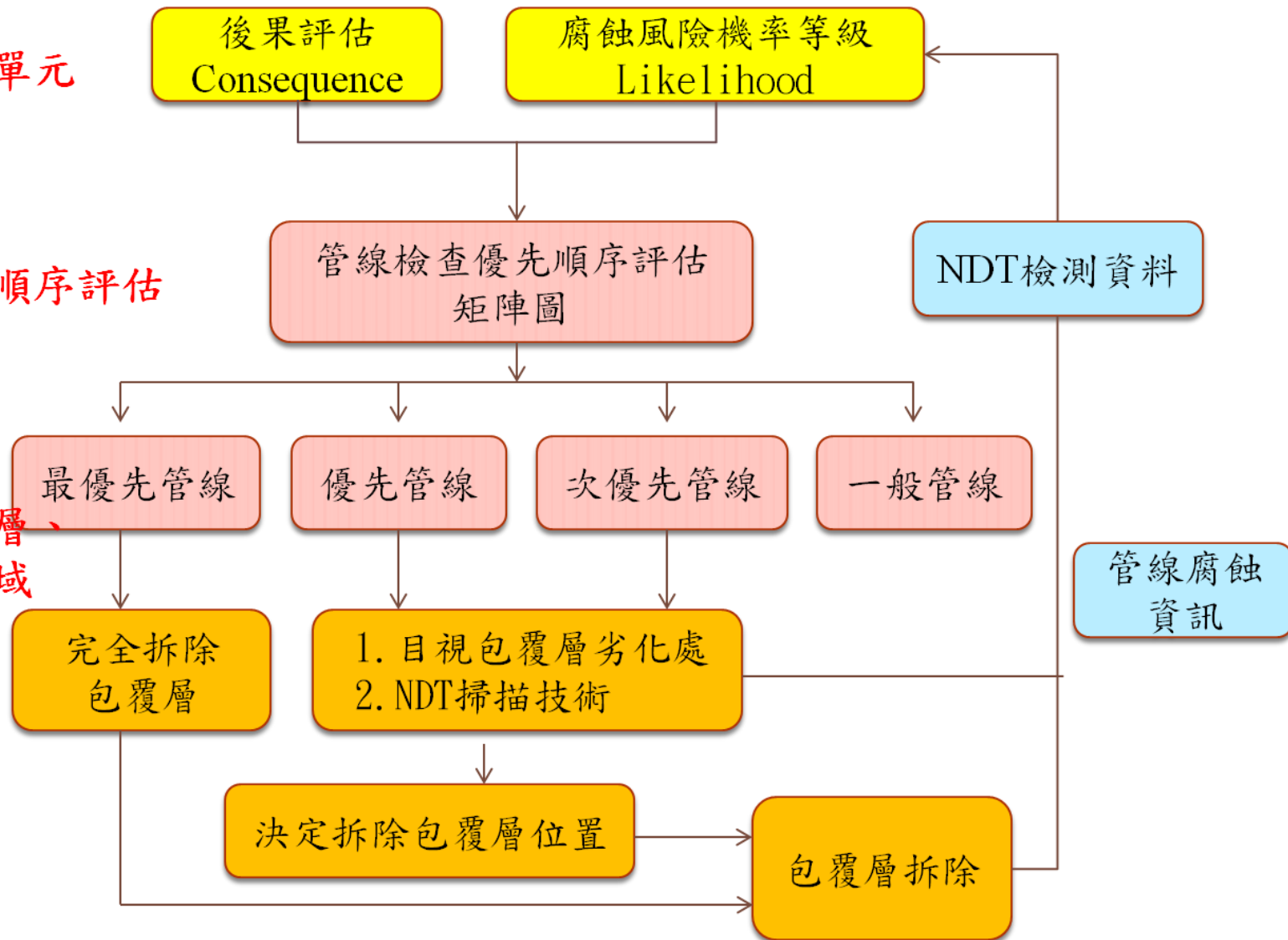
- 那些管線優先檢查?
- 包覆層要拆何處?

建立管線管理單元
CUI風險評估

管線檢查優先順序評估

定義拆除包覆層、
非破壞檢測區域

適用性評估&
資料回饋



拆除包覆層比例與NDT檢測

管線分類	去除包覆檢查	目視檢測後 再利用NDT檢測
最優先	100%	—
優先	40%	100%
次優先	20%	必要時
一般	損壞處	任選

建立管線管理單元

- 管線清查
- 腐蝕風險等級評估

檢測方法與策略

- 目視檢查
- 導波檢查
 - 直管掃描檢測
- 放射線輪廓照相檢查
 - 幾何形狀變異區域
(如：管鞋、彎頭)
- UT測厚
- 脈衝式渦電流
- 中子溼度計
- 紅外線熱影像
- SLOFEC檢測
- EMAT電磁超音波檢測

目視檢查所見之缺失(一)



目視檢查所見之缺失(二)



溫保冷破損



目視檢查記錄範例





15.04.2009

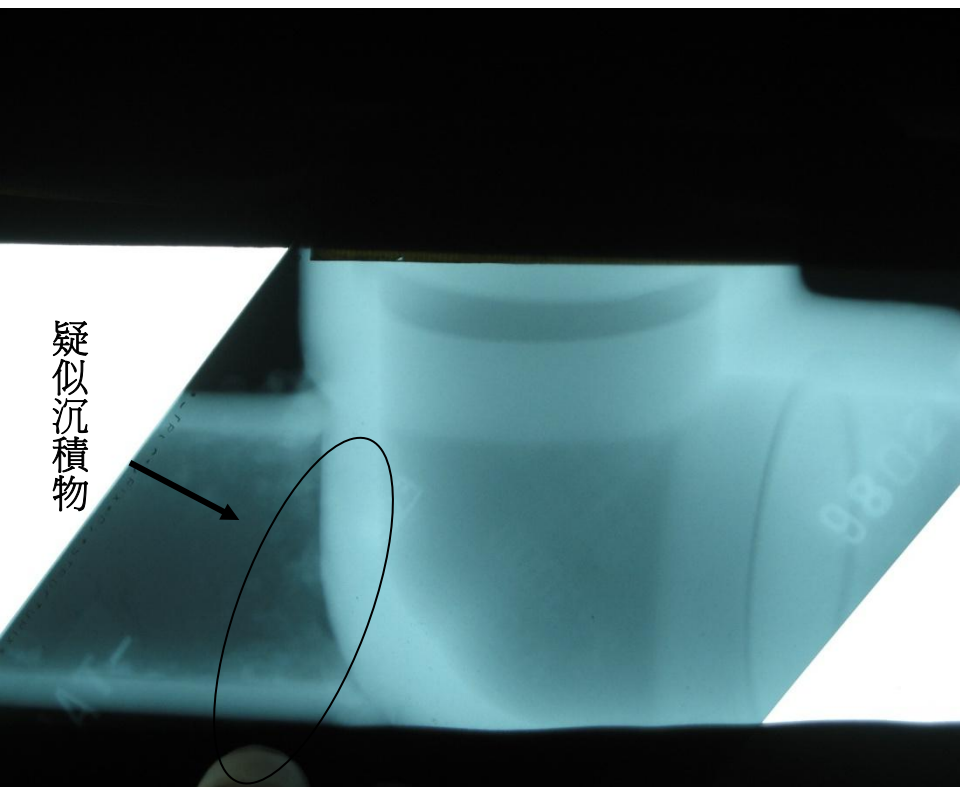
CPCSUC

確保管線及其鄰接結構物之間有足夠的空間，以利檢查與維修。

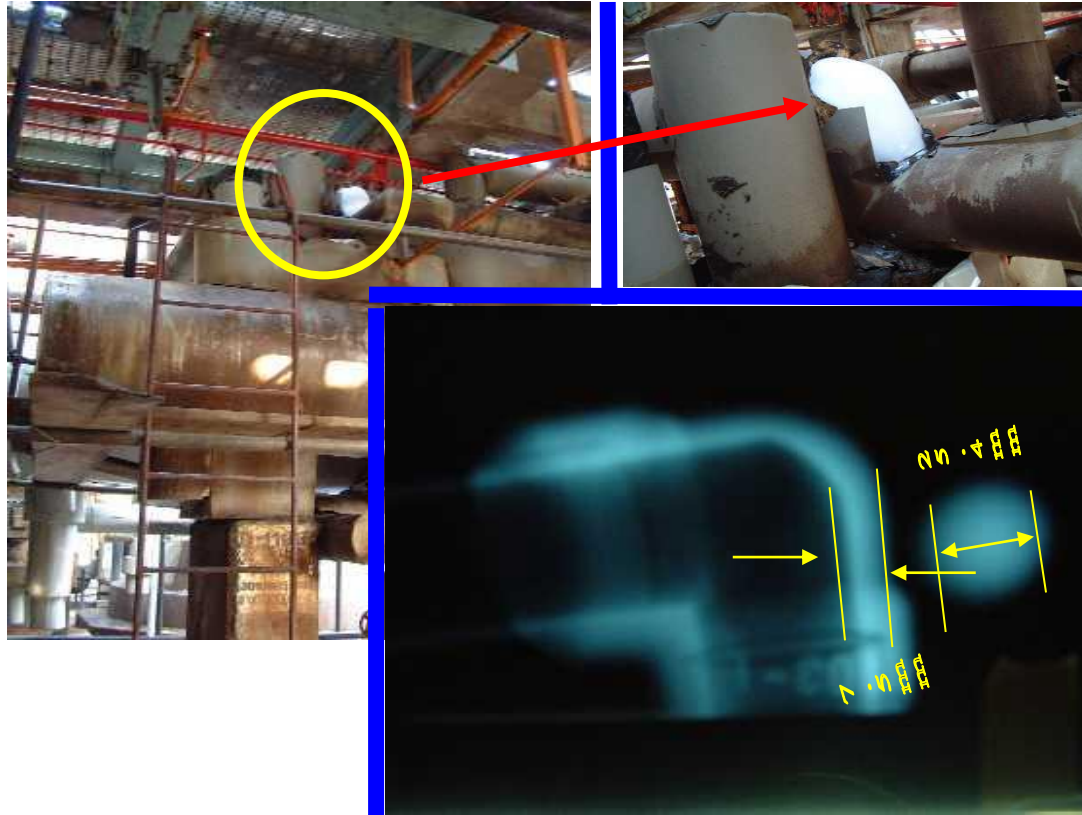


10.04.2009
CPCSUC

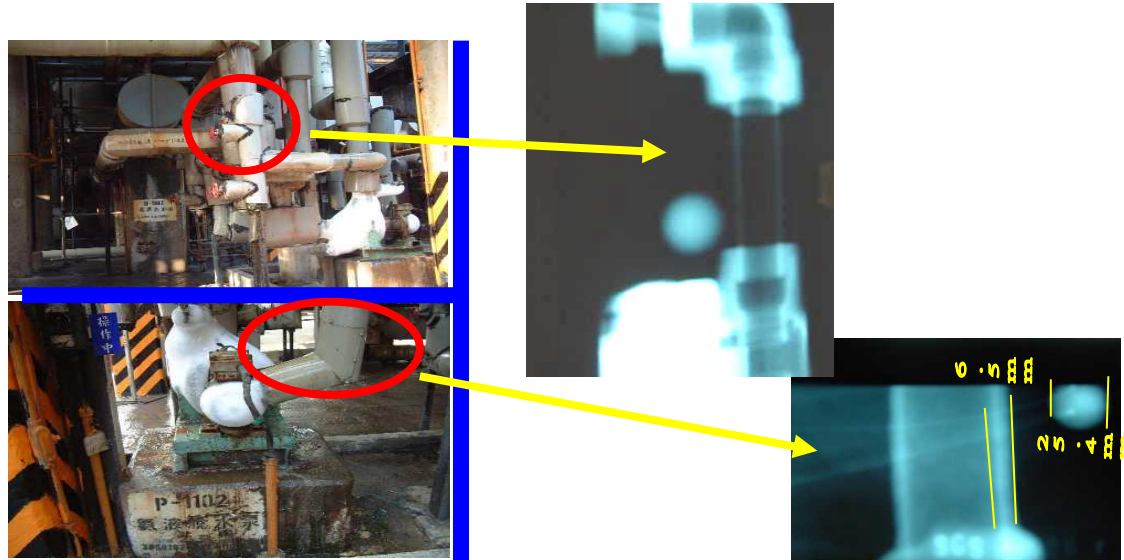
以RTP進行支撐架施工錯誤的檢查(一)



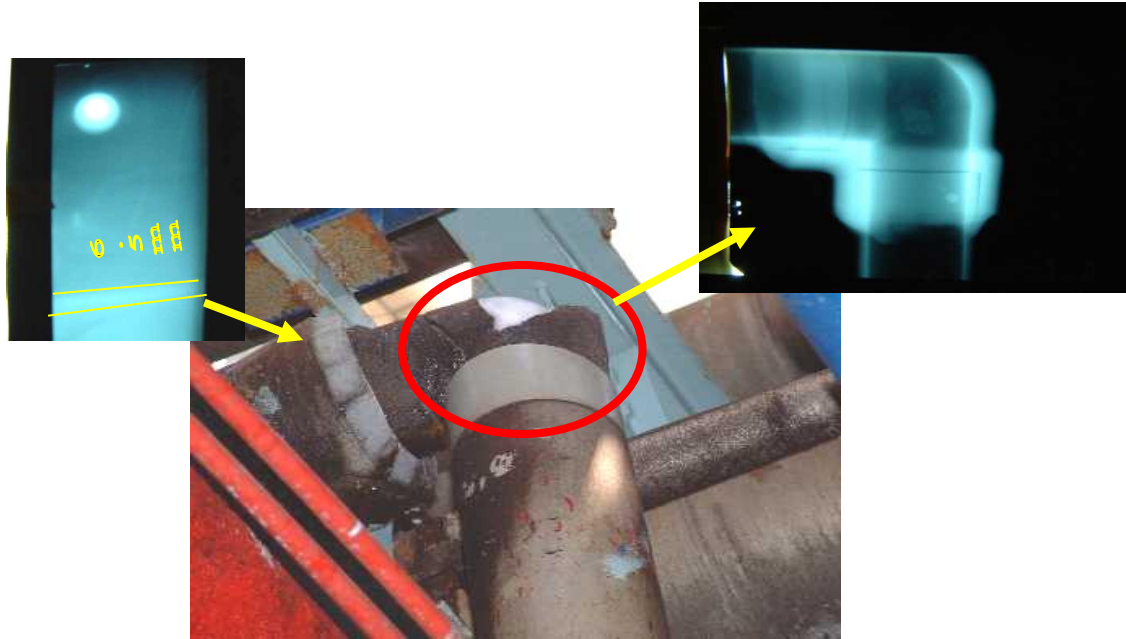
技術運用與成效



技術運用與成效



技術運用與成效



CUI防治方法

平常期間：

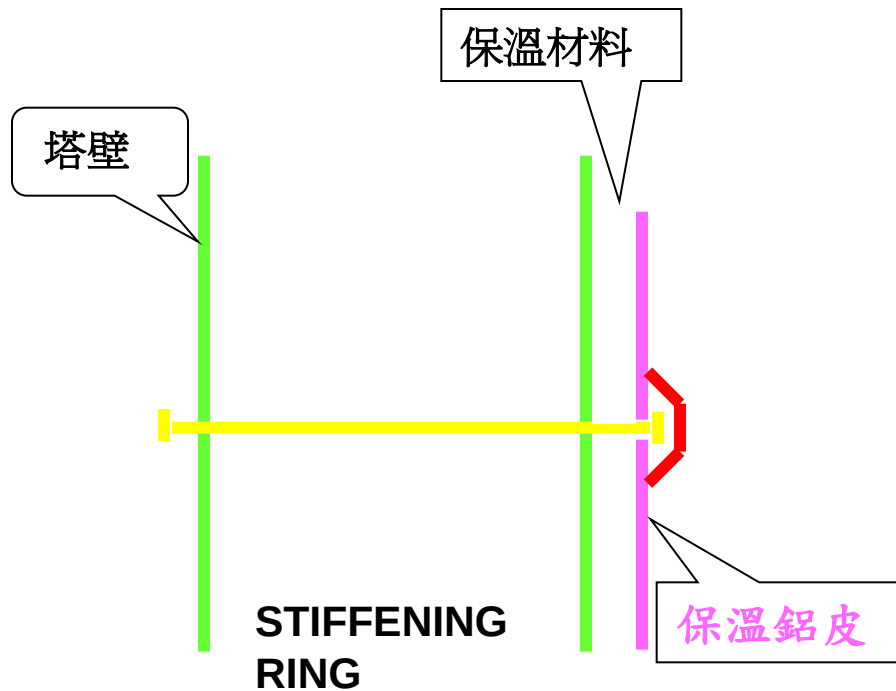
- (A)第一屏障:水進入到包覆和設備是CUI發生的主因，無水存在即無CUI問題，因此藉由包覆材的設計和安裝以及防水膏來排除水分進入
- (B)第二屏障:包覆材長期使用難免會老化（尤其界面處），因此應用品質佳和長效型有機塗層可有效延長設計壽命，因此塗覆壽命即為CUI發生的起始
- (C)第三屏障:對已操作多年的工場，利用風險評估理念鑑別出CUI高風險的設備，進行預知保養計劃，包括
 - (a)定期重新噴砂和塗漆
 - (b)包覆以及防水膏維護檢修
 - (c)加強定期檢查

大修期間：將CUI列入大修檢查計畫

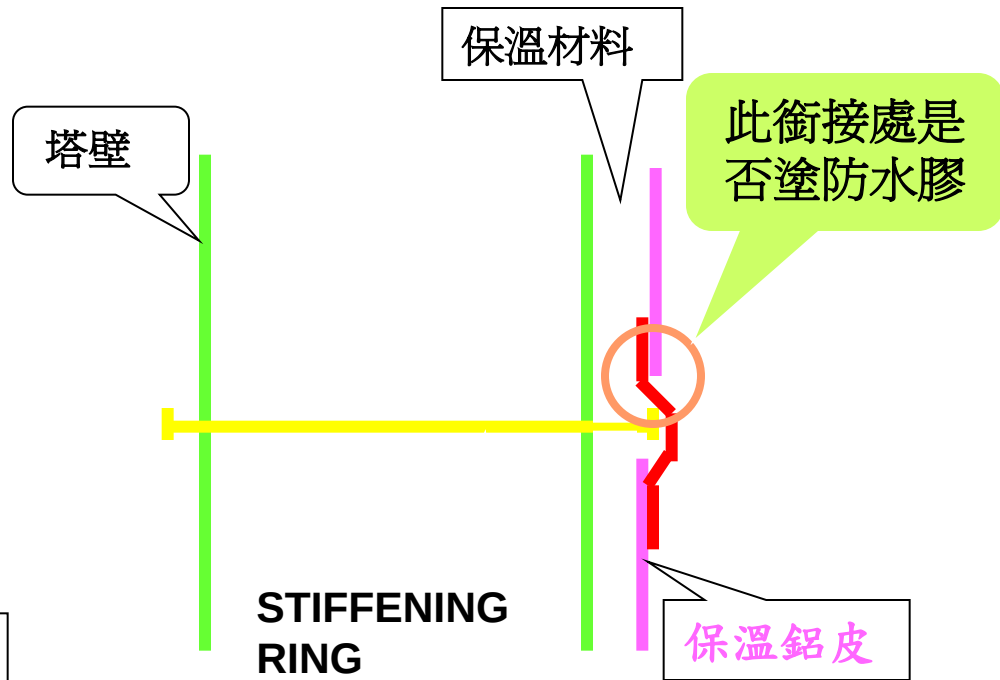
7. 正確絕緣材料包覆方法 及圖例

保溫圖例-1

錯誤保溫方式



正確保溫方式

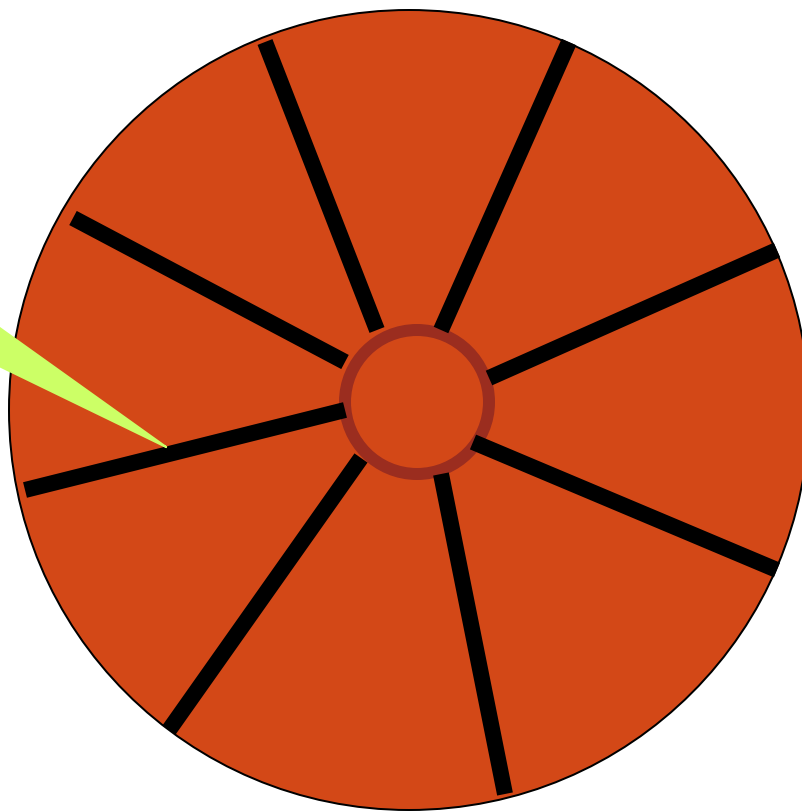


加強環上方腐蝕破孔



保溫圖例-2

目前塔槽頂
部保溫鋁皮
接縫處塗防
水膠



頂部端板保溫破損



保溫圖例-3

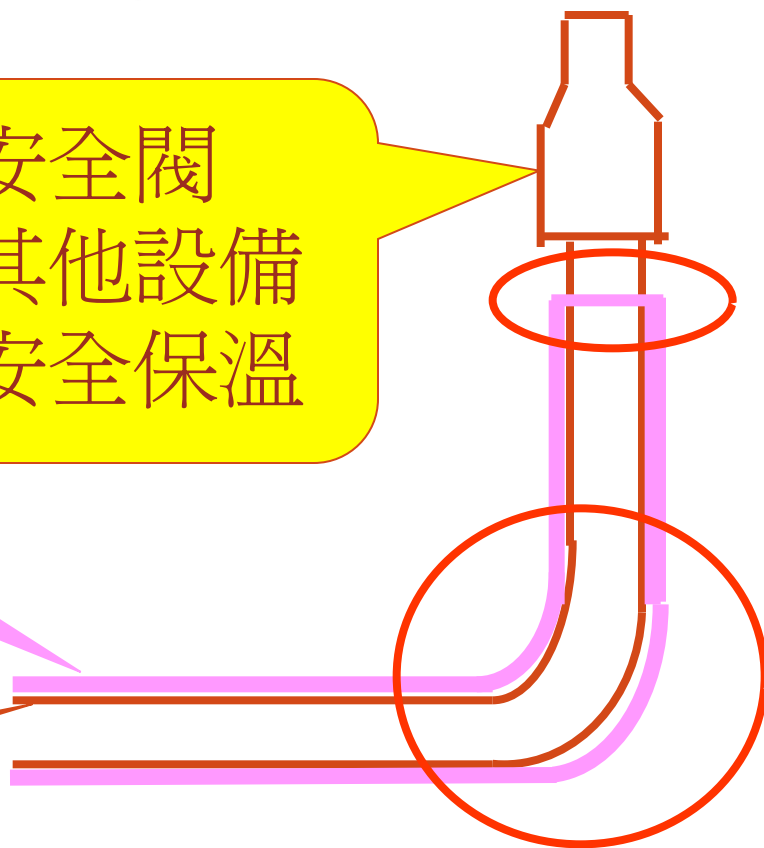
安全閥
或其他設備
或安全保溫

保溫

管壁

保溫防水膠
破損雨水由
此灌入

管線彎曲處
容易積水腐
蝕破洞





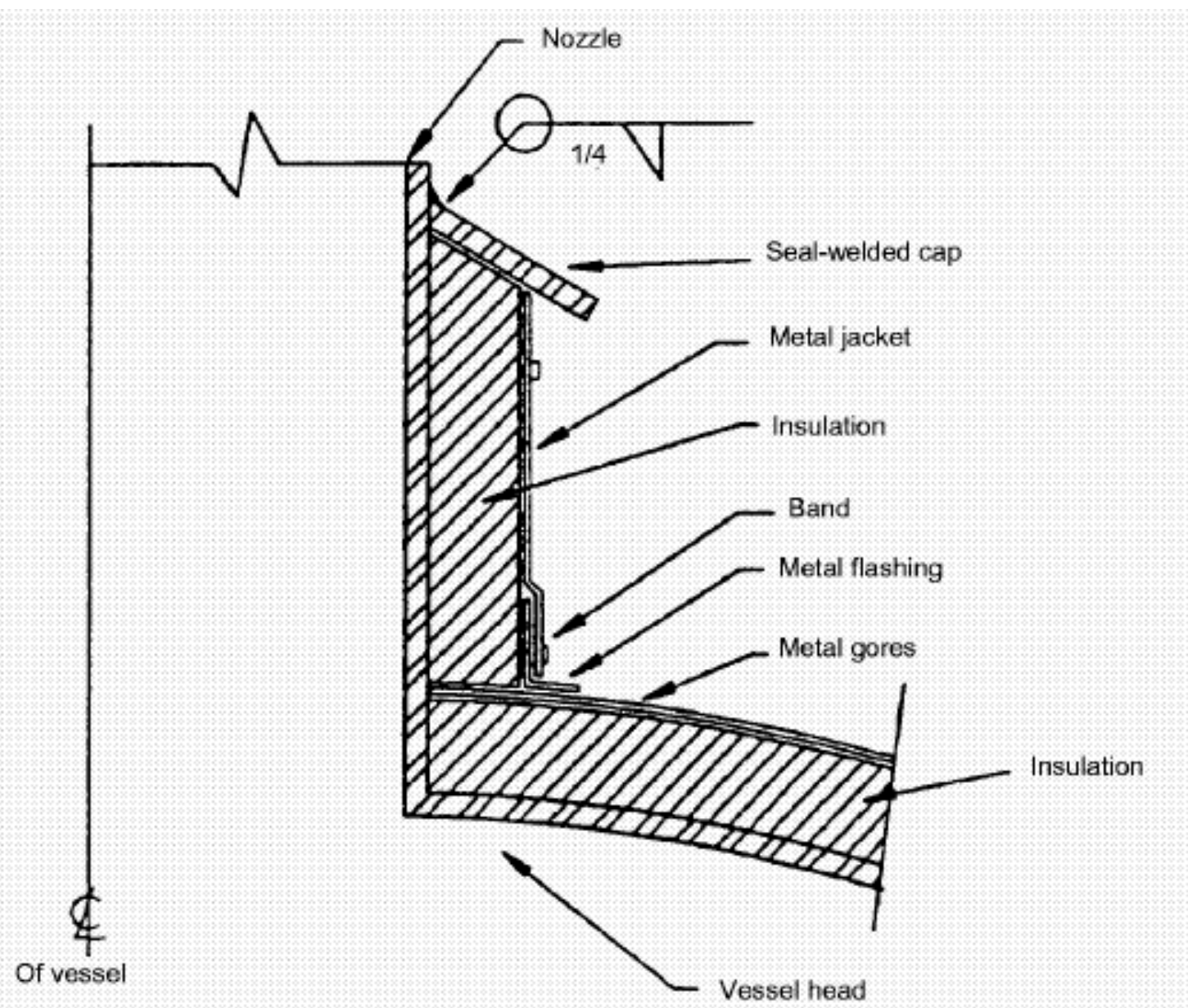


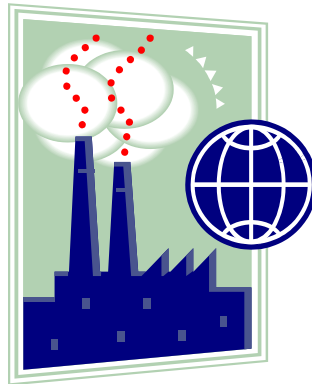
FIGURE 7
Center Nozzle at Top Head of Vessel

案例一

台塑美國德州廠火災事故

案例二

美國德州Mckee煉油廠火災事故



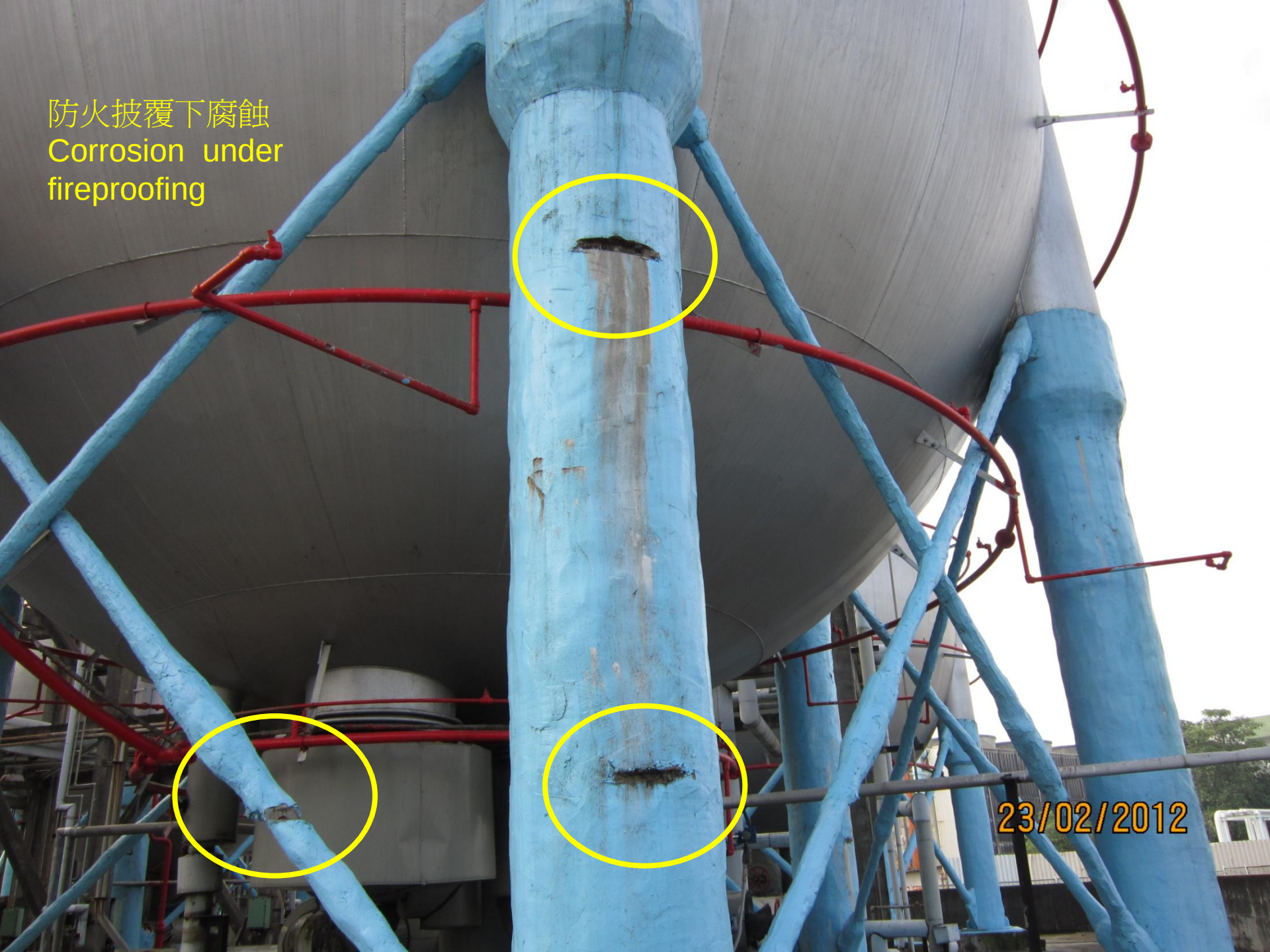
防火披覆下腐蝕

Corrosion under fireproofing

水泥基座破損



防火披覆下腐蝕
Corrosion under
fireproofing

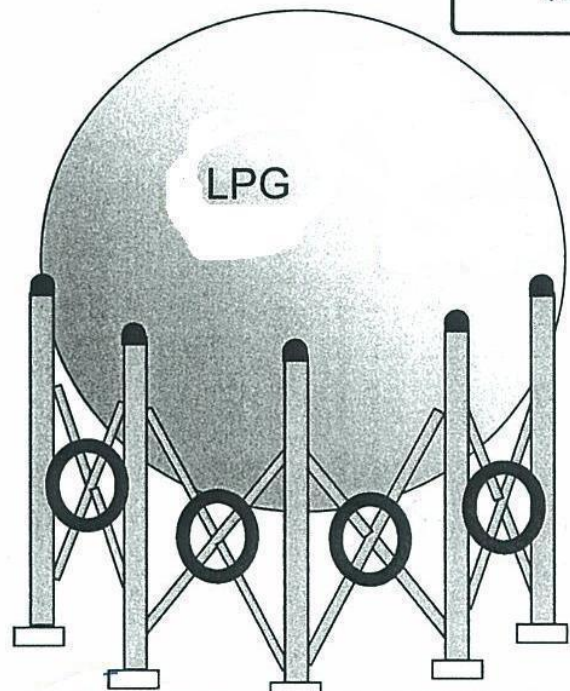


23/02/2012

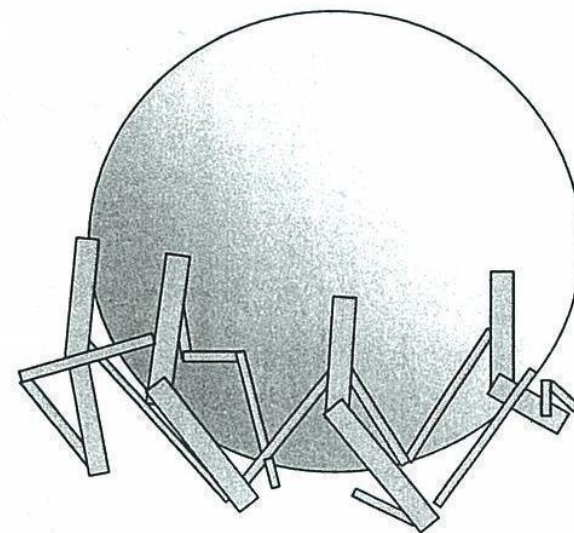
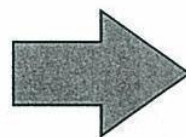
東日本大震災で貯槽倒壊の原因(イメージ図)

(2011.3.11)

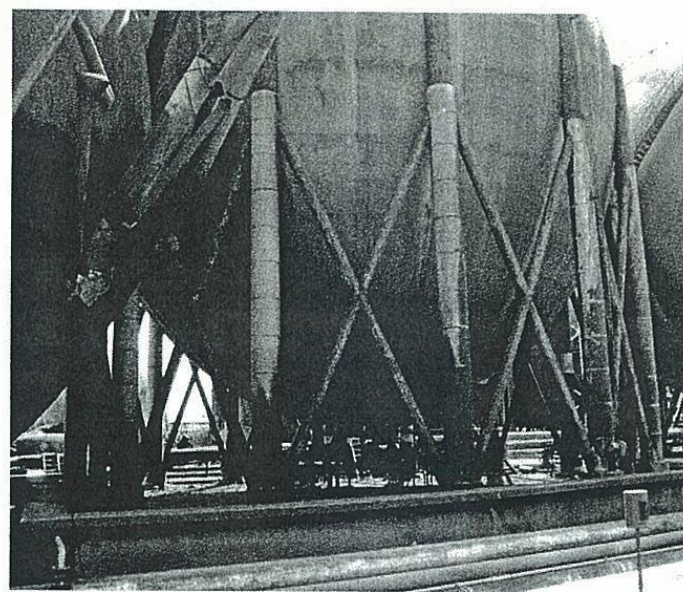
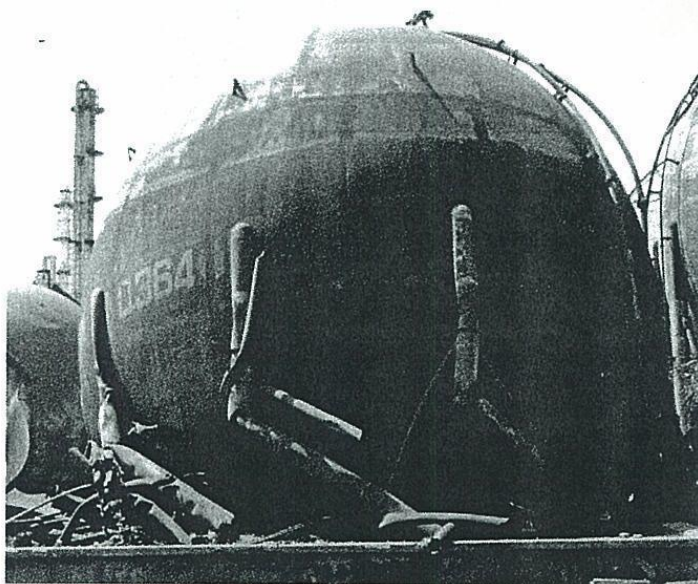
- ・開放検査後、内部の空気をパージするため、LPGの2倍の密度の水が満水に注入されていた



14:46の東北地方太平洋沖地震で多くのブレースが破断



15:15の茨城県沖地震後に倒壊



ほとんど影響を受けなかった球形
タンク



球型槽水壓試驗造成倒塌



免實施CUI檢查條件

- 經評估管線之殘餘壽命超過十年且管線包覆效果良好能有效防止CUI之發生者。
- 包覆良好能有效阻隔外界濕氣進入者。
- 有夾套之冷凍管線系統。
- 在冷箱內部而且有灌入惰性氣體保護之管路。
- 長期保持於CUI操作溫度範圍(-12°C ~ 175°C)之外，使得水氣無法存在之管路。

再評估時機

- 每十年實施CUI評估。
- 操作條件與內容物有變動部分須重新評估

改善措施

石化煉製廠實務上防止CUI的方法

1)使用適當的塗料以抵抗腐蝕

有機塗料、鋁熱熔射TSA(Thermal Spray Aluminum)及鋁箔最常使用。
高品質的有機塗料才能抵擋CUI，好的有機塗料可以支撐9至13年
當水分進入包覆材料時會造成塗料的提早剝裂，進而造成嚴重的CUI，
TSA可達到25年的預期壽命，具較長之生命週期且可減少維修及檢查費用。

2)拆除傳統包覆改用人員保護裝置

阻止CUI及伴隨而來的檢查及維修費用
使用人員保護裝置或陶瓷塗料降低表面溫度

3)定期拆除包覆並重新表面油漆後再包覆。

4)移除不必要的包覆。

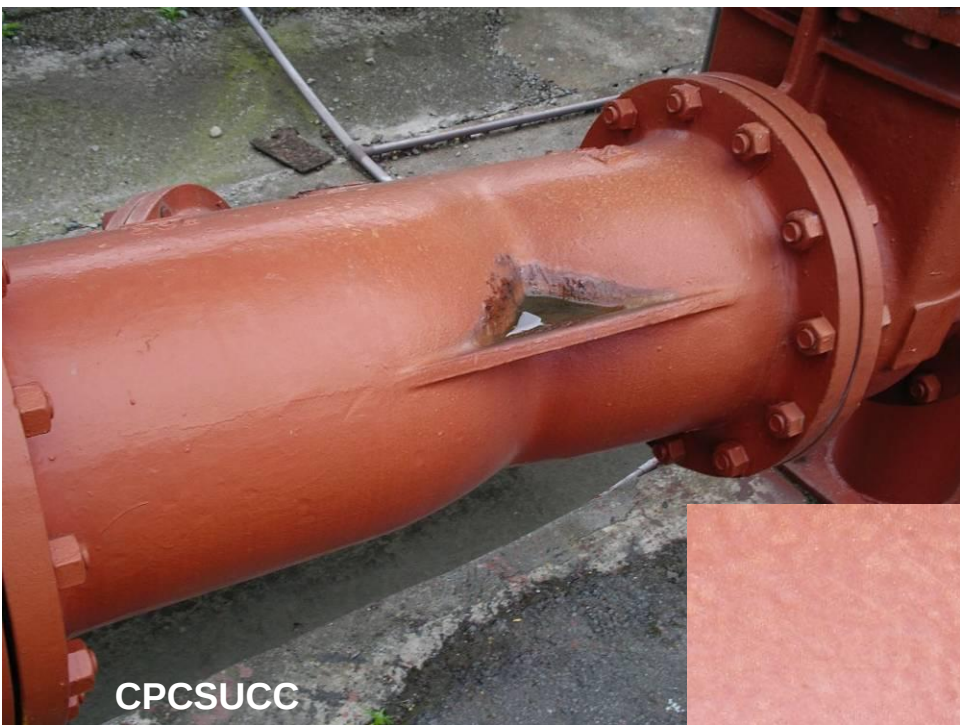
5)對不鏽鋼材質施予鋁箔外裝，以抵擋氯離子應力腐蝕裂紋

鋁箔外包裝最常用在包覆的不鏽鋼設備及管線。
有機塗料可能無法對C1-ESCC提供適當的預防。

6)將管線上的支撐、排氣管等處所之包覆材料移除

改以密封材料(Sealing)膠封，以消除水份由此浸入。

積水銹蝕



CPCSUCC



CPCSUCC





良好的設計

- 1) 將閥及法蘭放置在管線的水平處而非垂直處，以避免積水。
- 2) 確保管線及其鄰接結構物之間有足夠的空間，以利檢查與維修。
- 3) 不要將包覆管線配置在地面以下的管溝。
- 4) 在容易產生CUI的地方避免使用管夾型的管鞋，最好使用鉚接型管鞋。
- 5) 不要對垂直型的管線支撐、排氣管等作包覆。
- 6) 在設計包覆系統時要考慮熱脹冷縮所造成的位移
屬堅硬包覆材料就需要「伸縮接縫」
- 7) 包覆材料的正確選用

法蘭放置在管線的水平處而非垂直處，以避免積水。



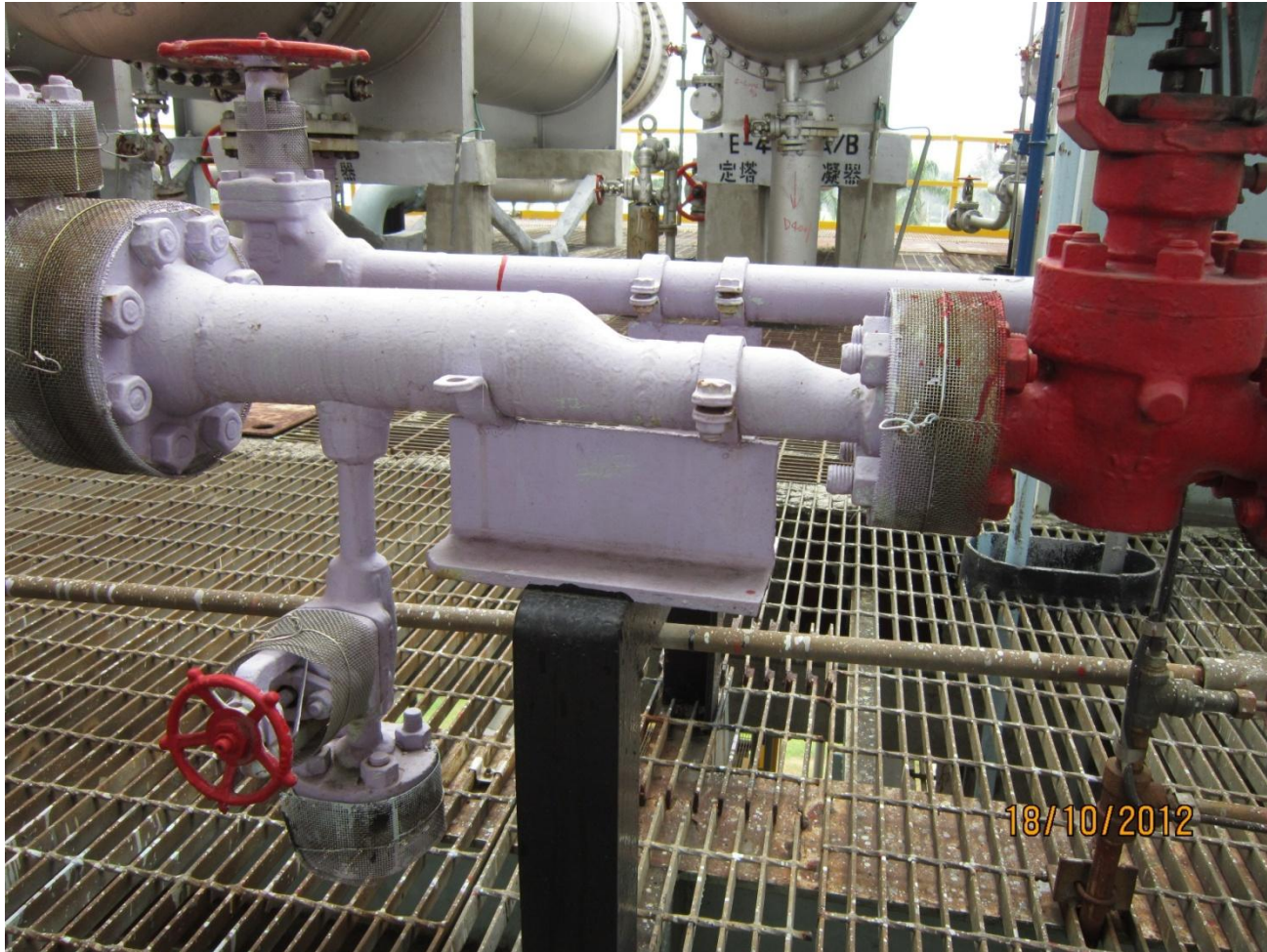
閥及法蘭放置在管線的水平處而非垂直處，以避免積水。



確保管線及其鄰接結構物之間有足夠的空間，以利檢查與維修。



在容易產生CUI的地方避免使用管夾型的管鞋，
最好使用銲接型管鞋。



結語

- 不必要保溫、保冷要去除
- 風險管理
- 加強清查與檢查，破損處即時修補
- 設計、施工及維修要正確
- 提高檢測有效性
- 管線不可踐踏與破壞

敬請指教

Thanks for Your Attention!