



風險基準檢查(RBI)於機械完整性 之應用分享

報告者：鍾永文 副總廠長

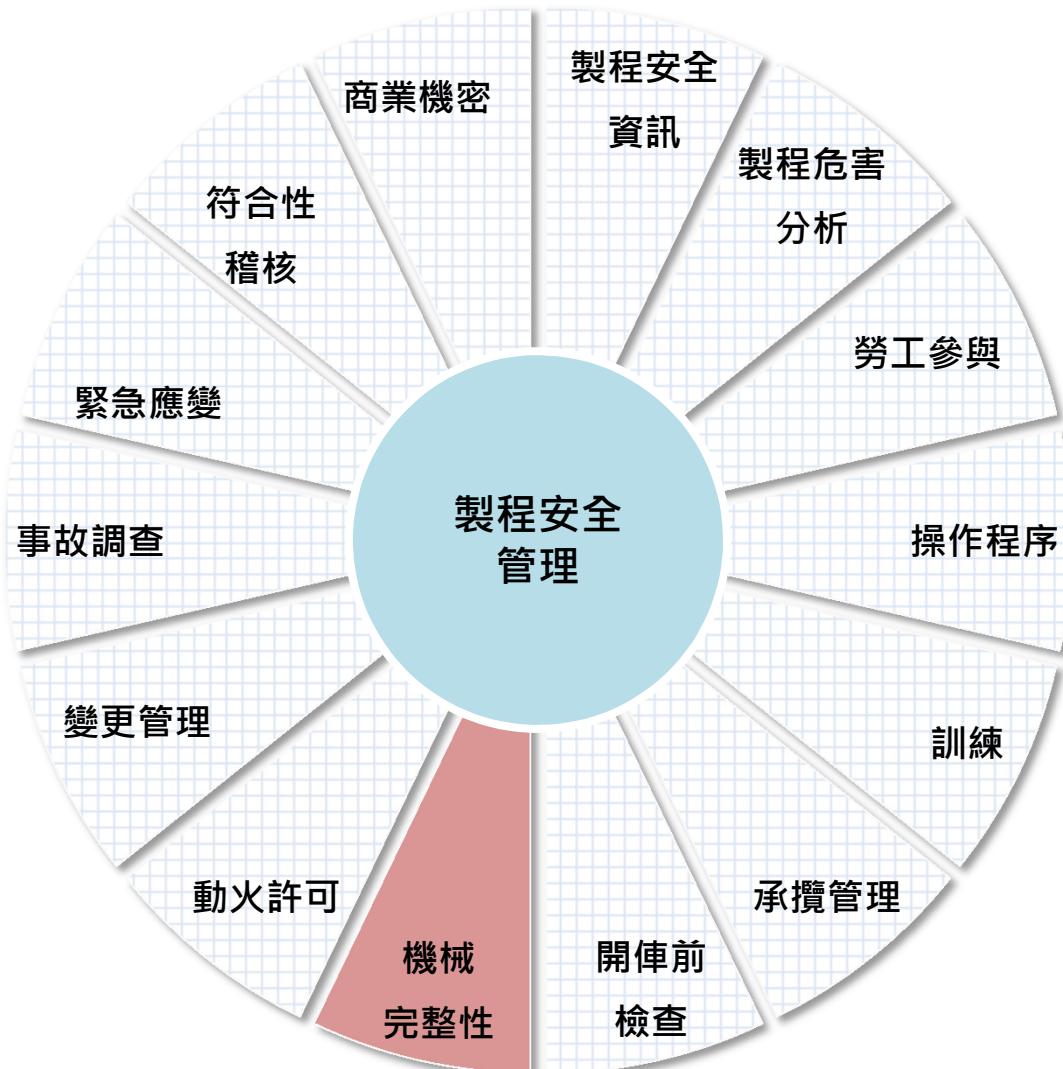
所屬公司：台灣氯乙烯工業股份有限公司

日期：2018/11/22



台灣氯乙烯工業股份有限公司
TVCM Taiwan VCM Corporation

製程安全管理之要求



- PSM的適用範圍為製程工廠內**高危害化學物質**流經的區域（以及有相互影響關係的區域）
- PSM所規範的是“重大”危害的預防。目標是一次也不能發生。
- PSM起點是危害辨識，分析手法是區域內每一個設備、每一個裝置都要分析。
- 我國對製程安全管理之要求訂於製程安全評估定期實施辦法中
 - 一、從事石油裂解之石化工業。
 - 二、從事製造、處置或使用危害性之化學品數量達中央主管機關規定量以上。



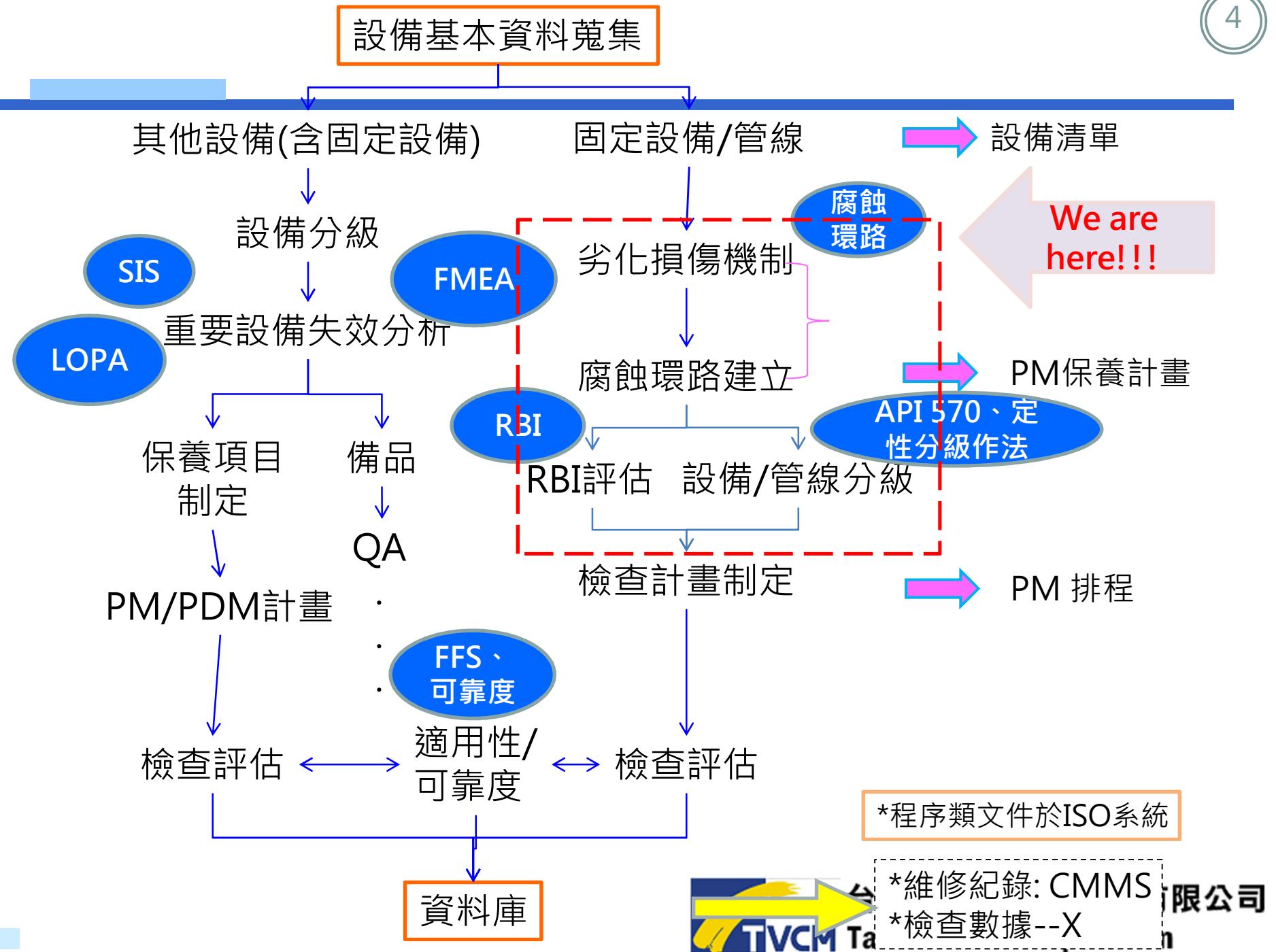
台灣氯乙烯工業股份有限公司
Taiwan VCM Corporation

製程安全評估定期實施辦法

附表八 機械完整性

對壓力容器與儲槽、管線(包括管線組件如閥)、釋放及排放系統、緊急停車系統、控制系統(包括監測設備、感應器、警報及連鎖系統)、泵浦等製程設備執行下列事項，以確保製程設備程序完整性：

- 一、建立並執行書面程序。
- 二、針對維持設備持續完整性之勞工，提供製程概要與危害認知及適用於勞工作業相關程序之訓練。
- 三、檢查及測試：
 - (一)製程設備須實施檢查及測試。
 - (二)檢查與測試程序、頻率須符合相關法令及工程規範。
 - (三)依照製程設備操作與維修保養經驗，定期檢討檢查及測試頻率。
 - (四)應有詳實之書面紀錄資料，內容至少載明檢查或測試日期、執行檢查或測試人員姓名、檢查或測試製程設備編號或其他識別方式、檢查或測試方式說明、檢查或測試結果等。
- 四、未對超出製程操作或設備規範界限實施矯正前，不得繼續設備之操作。
- 五、對設備之建造、組裝，應訂定品質保證計畫，以確保下列事項：
 - (一)採用正確之材質及備品，並確認適用於製程。
 - (二)執行適當之檢點及檢查，以確保設備之正確安裝，並符合原設計規格。
 - (三)確認維修材料、零組件及設備符合未來製程應用之需要。



風險基準檢查 (RBI)

Risk-Based Inspection

主要應用對象為內部存有高危害化學物質的設備或管線

於現有工廠之內部，篩選出具有較高危害風險的區域。

在煉油或石化工廠內，以比較一致的方式來評估每個操作中的設備之可能危害風險。

將各設備依評估所得到的風險進行排序。

根據評估結果，發展更符合實際要求的檢測計畫。

系統化管理設備失能故障時的可能風險。

Risk可以衡量\$及機率。

RBI是API針對PSM法規所發展出來的”策略”



台灣氯乙烯工業股份有限公司
Taiwan VCM Corporation



執行RBI計畫的步驟



台灣氯乙烯
有限公司
TVCM Taiwan VCM Corporation



腐蝕環路建立

- 主要進行腐蝕機制的判定
- 做為後續檢測計畫的基礎
- 依製程的操作特性，將工廠現有系統群組化
- 主要考量設備或管線的材質、內容物、操作條件，或是酸鹼值、包覆狀態及注入點的條件
- 若有**製程修改(MOC)**，亦或是圖面的更新，應更改製程環路的內容



台灣氯乙烯工業股份有限公司
TVCM Taiwan VCM Corporation



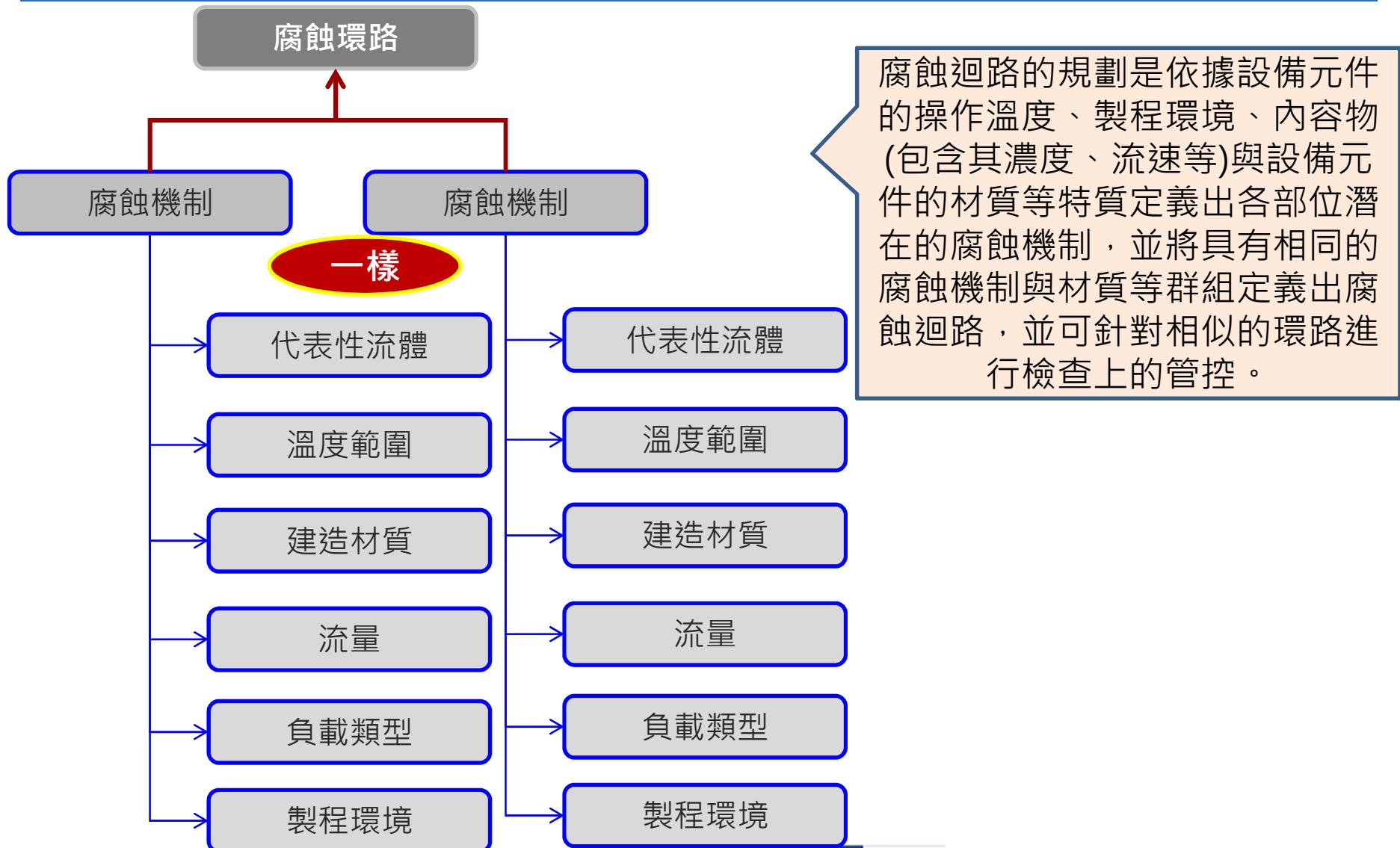
腐蝕環路的應用



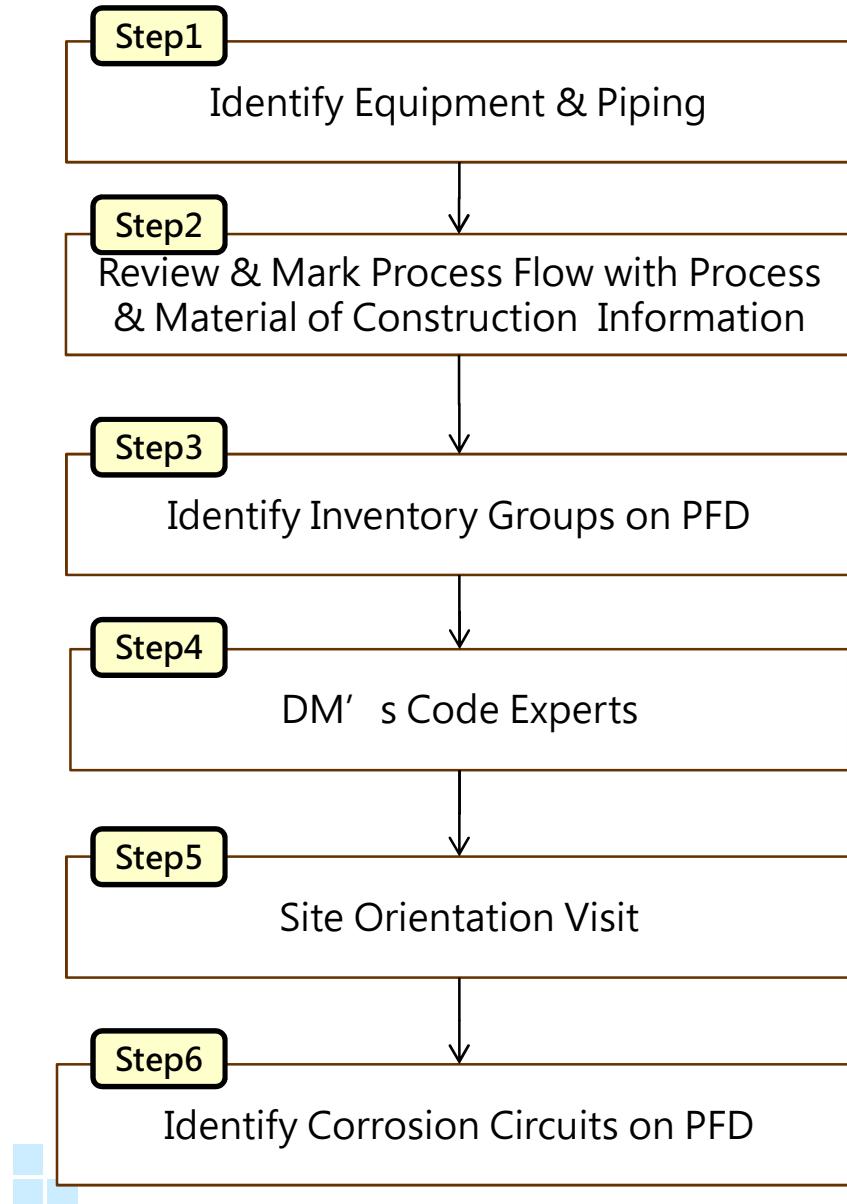
台灣氯乙烯工業股份有限公司
TVCM Taiwan VCM Corporation



腐蝕環路定義



腐蝕環路執行流程

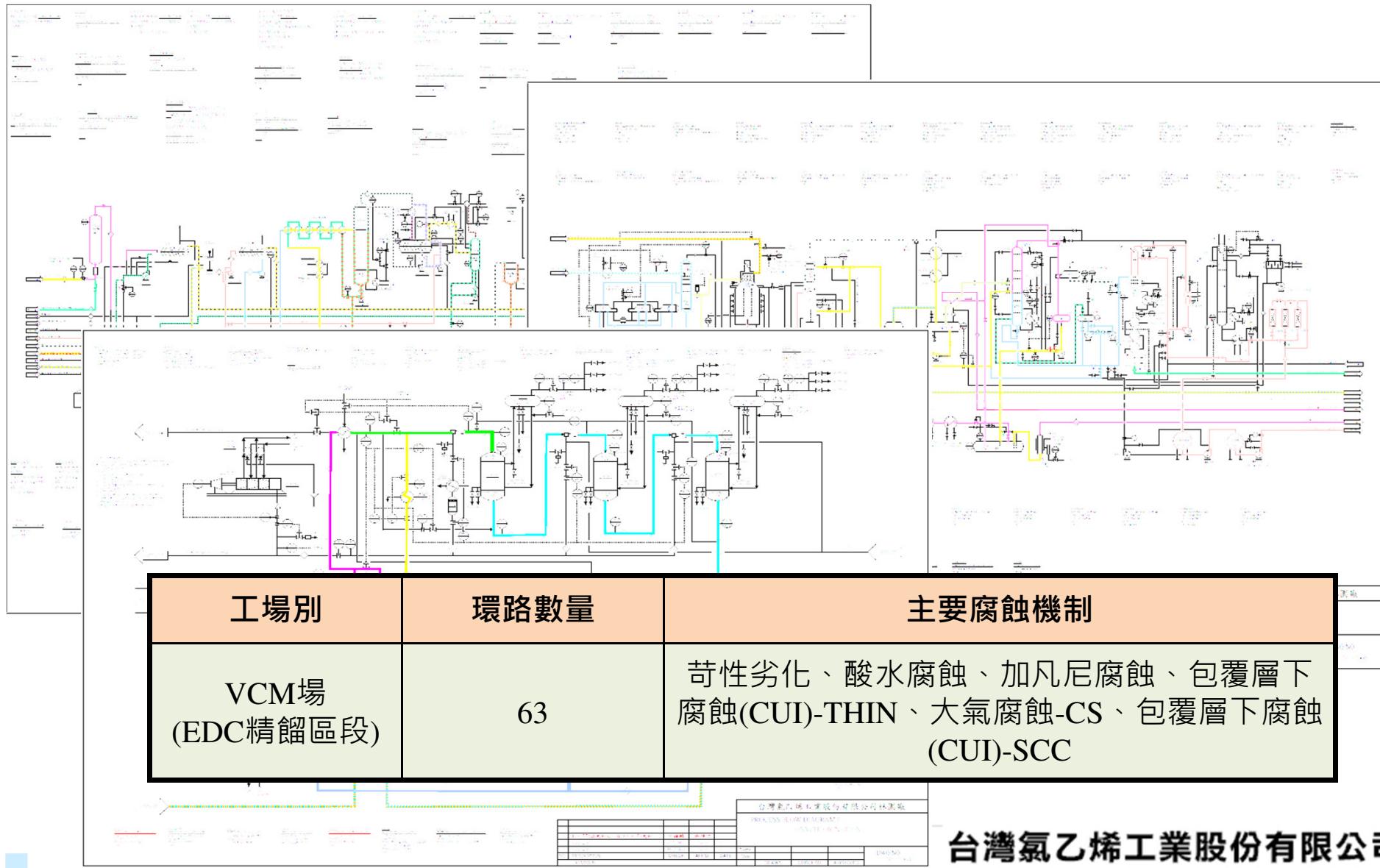


1. 彙整/決定主要分析設備與管線資料。
2. 檢視並註記製程流體，包含製程條件與建造材質的相關資訊。
3. 於製程流程圖上辨識物流群組。
4. 決定腐蝕機制(利用相關腐蝕參考資訊或專家經驗等)。
5. 現場訪視可疑區塊。
6. 於製程流程圖(PFD)辨識腐蝕環路。



台灣氯乙烯工業股份有限公司
TVCM Taiwan VCM Corporation

VCM場(EDC精餾區段)腐蝕環路圖



苛性劣化

項目	說明
腐蝕型態	<ul style="list-style-type: none"> • 應力腐蝕劣化
形成環境	<ul style="list-style-type: none"> • 未經過PWHT處理或具有殘留應力之碳鋼 • 有殘留應力之不銹鋼
易發生區域	<ul style="list-style-type: none"> • 主要發生在HAZ的碳鋼焊接，且未經過PWHT處理或冷作處理 • 在可能發生苛性劣化環境下之蒸氣管線或加熱盤管易受腐蝕
檢測方法	<ul style="list-style-type: none"> • 針對裂縫進行檢查 • 偵測裂縫：PT、WFMPT • 測量裂縫深度：UT超音波檢測



鹽酸腐蝕

項目	說明
腐蝕型態	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 減薄
形成環境	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 製程中含有鹽酸，或自由水的存在（自由水，(free water) 不被植物細胞內膠體顆粒或大分子所吸附、能自由移動、並起溶劑作用的水。） ◦ pH值<7.0
易發生區域	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 當金屬表面越粗糙、pH值越低、操作溫度越高的區段腐蝕情形越嚴重
檢測方法	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 目視、射線檢測RT、超音波檢測UT



台灣氯乙烯工業股份有限公司
Taiwan VCM Corporation

大氣腐蝕-CS

項目	說明
腐蝕型態	<ul style="list-style-type: none">一般外部腐蝕
形成環境	<ul style="list-style-type: none">受空氣中的大氣條件影響，當空氣相對濕度增加且達到關鍵值，在金屬表面將形成水的薄膜，腐蝕隨之發生。
易發生區域	<ul style="list-style-type: none">海洋環境與受到汙染的工業區相對乾燥的環境則較不易發生
檢測方法	<ul style="list-style-type: none">目視檢查、超音波檢測(UT)



台灣氯乙烯工業股份有限公司
TVCM Taiwan VCM Corporation



包覆層下腐蝕(CUI)-THIN

項目	說明
腐蝕型態	<ul style="list-style-type: none"> 減薄，碳鋼與低合金鋼絕緣體下之孔蝕 (pitting) 腐蝕
形成環境	<ul style="list-style-type: none"> 當水滲入品質不良之絕熱封套時，損壞狀況發生。
易發生區域	<ul style="list-style-type: none"> 絕緣層底部 金屬穿過絕緣層之部分，如絕緣層支撐環 當冷熱循環區域發生時，其冷熱溫度區之邊界 耐候封套(weather sealing)之損壞部位
檢測方法	<ul style="list-style-type: none"> 超音波檢測 (UT) 、射線檢測 (RT)



台灣氯乙烯工業股份有限公司
Taiwan VCM Corporation



包覆層下腐蝕(CUI)-SCC

項目	說明
腐蝕型態	<ul style="list-style-type: none"> 孔蝕腐蝕，不銹鋼之氯化物 (chloride) 應力腐蝕 (SCC)
形成環境	<ul style="list-style-type: none"> 當水滲入品質不良之絕熱封套時，損壞狀況發生。
易發生區域	<ul style="list-style-type: none"> 絕緣層底部 金屬穿過絕緣層之部分，如絕緣層支撐環 當冷熱循環區域發生時，其冷熱溫度區之邊界 耐候封套(weather sealing)之損壞部位
檢測方法	<ul style="list-style-type: none"> 超音波檢測 (UT) 、射線檢測 (RT)



迦凡尼腐蝕

項目	說明
腐蝕型態	<ul style="list-style-type: none"> 在不同種類金屬的接合處之腐蝕。
形成環境	<ul style="list-style-type: none"> 如果有不同腐蝕趨勢的兩個金屬在電解溶液中使用，並且兩個金屬接觸在一起，則腐蝕會發生。
易發生區域	<ul style="list-style-type: none"> 例如管件的材料和冷卻水交換器的薄管片不一樣。 兩不同種類金屬，擁有極大腐蝕趨勢的差距，在低溫腐蝕環境下通電接觸。
檢測方法	<ul style="list-style-type: none"> 目視檢測(VT)，射線檢測(RT)，超音波檢測(UT)。



台灣氯乙烯工業股份有限公司
Taiwan VCM Corporation



VCM場(EDC精餾區段)腐蝕環路

腐蝕環路編號	1	2	3	4	5	6	...
腐蝕環路名稱	氯氣進料	E-6209換熱回收 EDC管線	V-6115入口	V-6102 底部出口	鹼液進料管線	氯氣進料	...
相關設備	E-6162 TS	--	A-6115、V-6115	V-6102	V-6115 A-6115 V-6102 E-6162 TS
內容物組成(%)	氯氣	EDC	V-6115 : EDC、水 80ppm 管線 : Cl 21-22ppm	V-6115進口 : 錳鎳合金 V-6115 : CS V-6115出口 : CS(鐵氟龍內襯)	CS(鐵氟龍內襯)	以相同內容物、相同操作條件、相同腐蝕機制做為環路的區分	...
材料組成	CS	錳鎳合金	V-6115進口 : 錳鎳合金 V-6115 : CS V-6115出口 : CS(鐵氟龍內襯)	CS(鐵氟龍內襯)	CS	CS	...
操作溫度範圍	65-70	50	42.8	40	30-40	65-70	...
保溫型式	E-6102前後 : Y 匯流前 : Y V-6115進料前 : Y 其他 : N	N	N	N	N	E-6102前後 : Y 匯流前 : Y V-6115進料前 : Y 其他 : N	...
備註事項	接近入口處更換鐵氟龍內襯，但仍有破損					接近入口處更換鐵氟龍內襯	腐蝕機制判定
腐蝕機制	(CUI)-THIN 大氣腐蝕-CS	--	大氣腐蝕-CS 酸水腐蝕	大氣腐蝕 -CS	大氣腐蝕-CS 苛性劣化	(CUI)-THIN 大氣腐蝕-CS	...
預測腐蝕率(mm/y)/敏度	0.254	--	1.5	0.127	0.127/ Medium	0.254	...
腐蝕 機制	苛性劣化						預測之腐蝕率/敏度
	酸水腐蝕		v				
	加凡尼腐蝕						
	包覆層下腐蝕(CUI)-THIN	v					v
	大氣腐蝕-CS	v	v	v	v	v	
	包覆層下腐蝕(CUI)-SCC						
	沉積腐蝕						

腐蝕率評估



估計值

依據不同腐蝕環境(溫度、內容物)
計算腐蝕率。

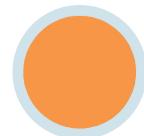
如：**文獻數據**
(API581)、腐蝕
速率表、**原廠建**
議或**專家建議**。
(通常來自設計資
料)



模擬值

由相同製程之工廠提供
類似操作經驗的腐蝕率，
或以小型工廠、實驗室
進行腐蝕狀況模擬。

如：實驗室數據(需模
擬實際操作狀況)、**腐**
蝕試片、相同製程提供
之實測腐蝕率。



測量值

於狀況監測位置
紀錄厚度數值變
化，至少應包含
三次以上的檢查
數據。

需**固定檢測位置**，
且**製程條件不能**
有顯著變化，以
取得正確的檢測
點厚度變化趨勢。



台灣氯乙烯工業股份有限公司
TVCM Taiwan VCM Corporation

腐蝕機制與腐蝕率數據

腐蝕機制	腐蝕率/敏度 取得方式	腐蝕率(mm/yr)/ 敏度數據
苛性劣化	估計值	Medium
	實測值	None
酸水腐蝕	估計值	0.25-0.76
	實測值	0.01-0.2
包覆層下腐蝕(CUI)-THIN	估計值	0.127-0.051
	實測值	0.03-0.04
大氣腐蝕-CS	估計值	0.254
	實測值	0.01-0.2

- 針對苛性劣化、HCl 腐蝕、包覆層下腐蝕(CUI)-THIN、大氣腐蝕-CS等腐蝕機制整理其腐蝕率/敏度的**估計值(文獻數據(API581))**和**實測值(厚度數值變化之紀錄)**。
- 經由數據的比對，可發現不同的腐蝕率/敏度取得方式明顯影響腐蝕率/敏度數據。
- 紀錄顯示**估計值較實測值保守**。





RBI風險評估

- 主要採用API 580/581概念進行分析
- 選用**全定量**評估方法



台灣氯乙烯工業股份有限公司
TVCM Taiwan VCM Corporation

RBI檢查技術的緣起

API(美國石油學會)

- 20家石化公司贊助API(美國石油學會)，共同進行RBI技術發展，未來將制訂「API RP 580」作為RBI的工業標準

版本

- API581-Risk-Based Inspection Technology這份文件從1996年的初稿、到2000年第一版，於2008年底出了第二版，並於**2016年初第三版**。

概念

- 不可能消除所有大小風險，要找出真正有意義風險

檢查的重要性

- 兩種檢查的極端－「過度檢查」、「檢查不足或無效」

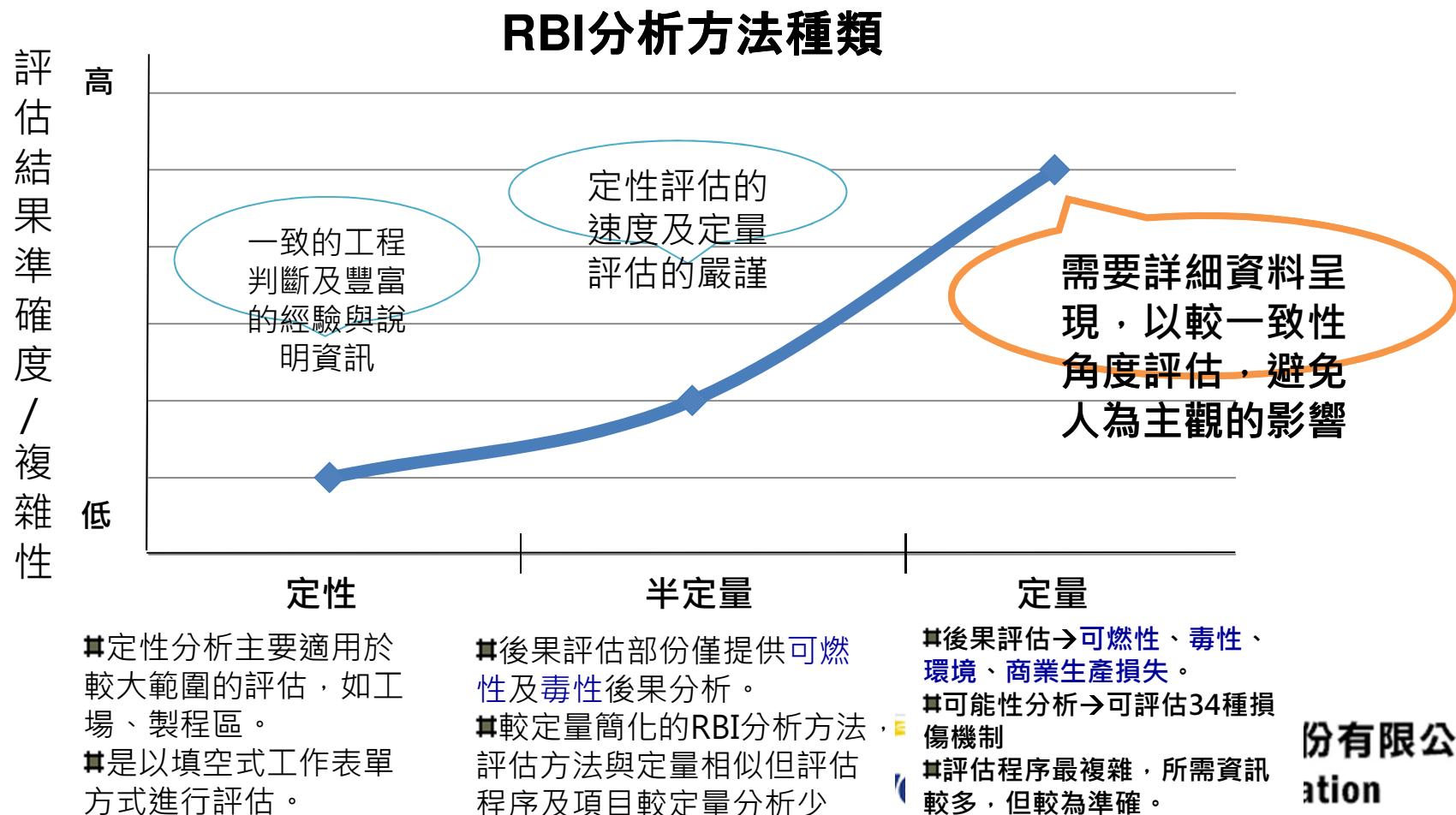
PDCA

- 利用RBI技術規劃最適當的檢查計劃，降低設備風險



分析方法的演進

- ✓ API 581首版發布於2000年，評估方法分為三種(定性、半定量、定量)
- ✓ 2008年改版只剩下定量方法，評估結果更客觀，以較一致性角度評估
- ✓ 2016年調整部分計算公式及對應表格，更加**強調評估RBI時所輸入資料的正確性**

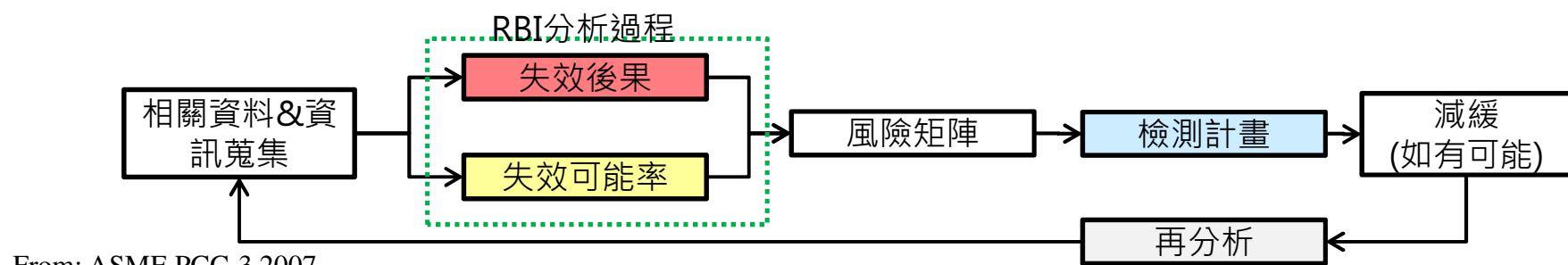
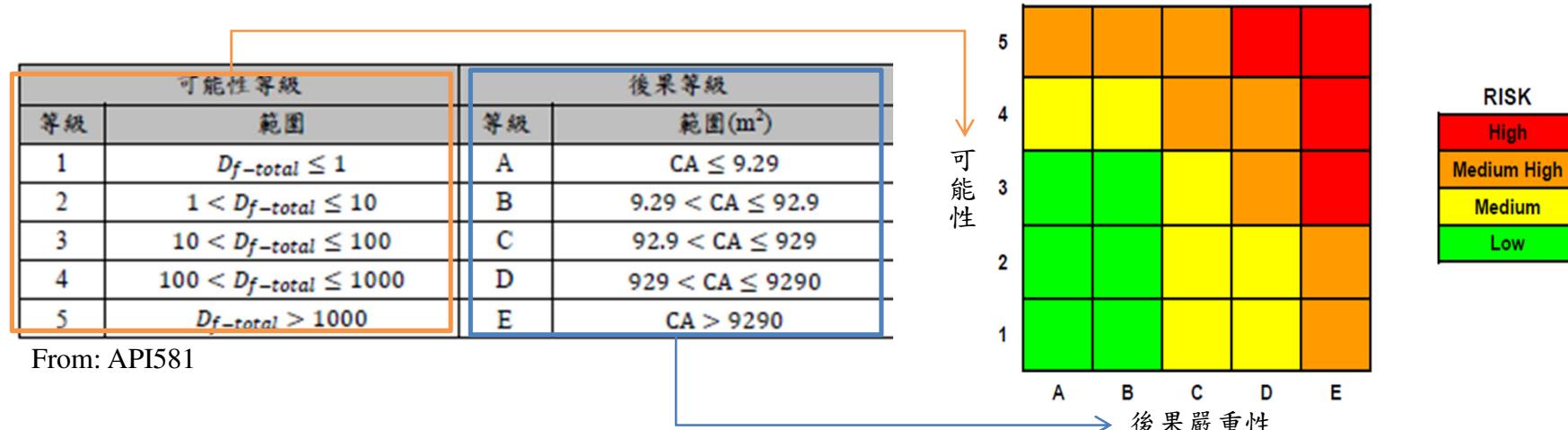


RBI的風險評估邏輯

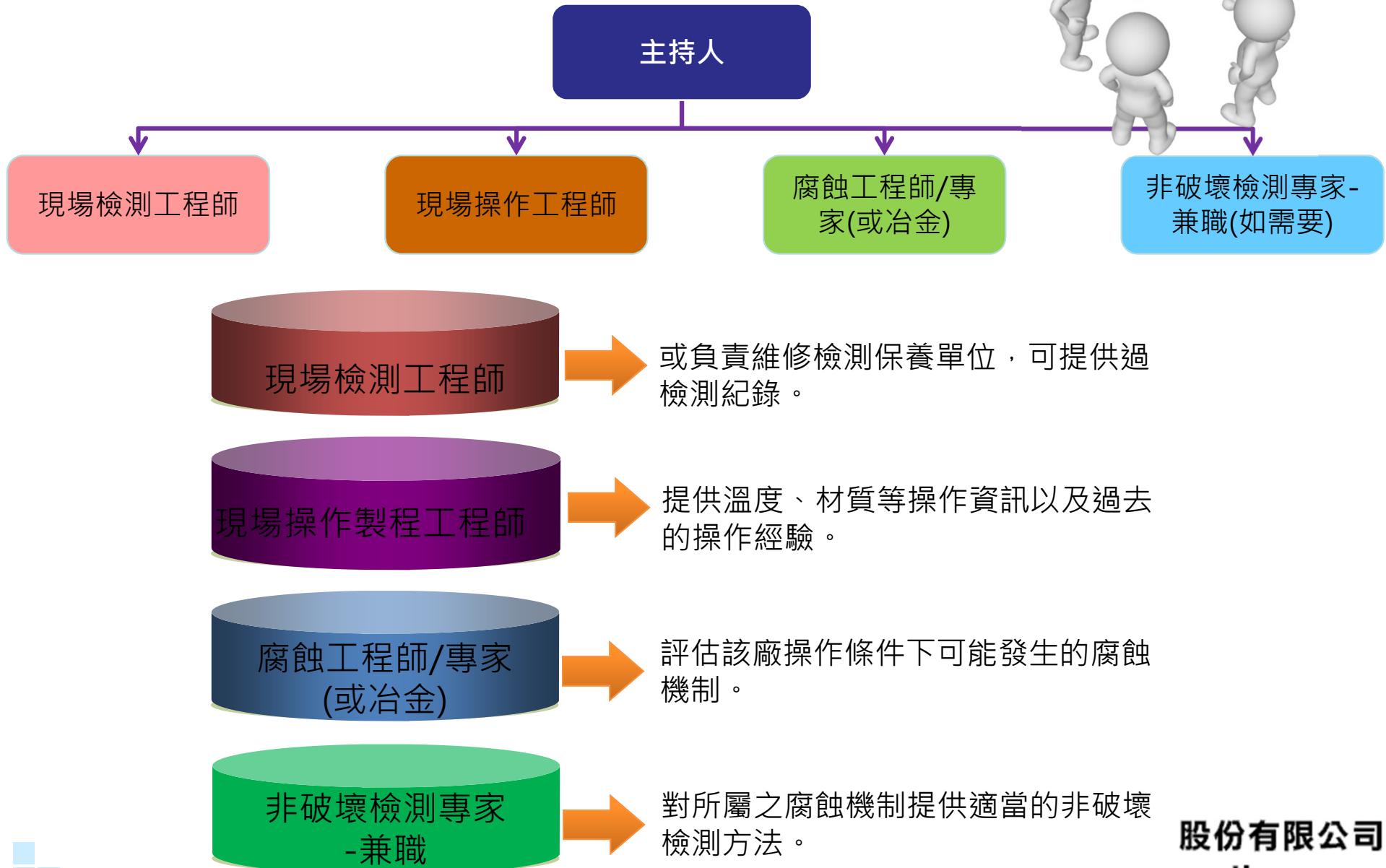
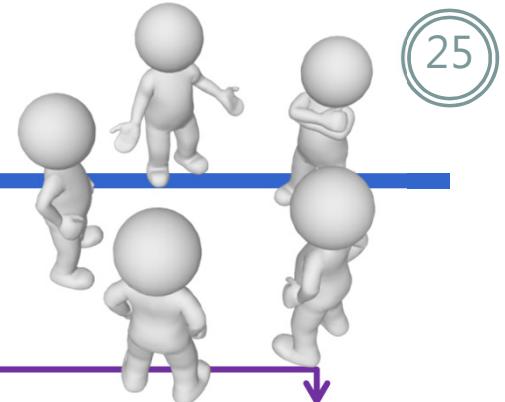
➤ 風險 = 可能性×後果 $R(t) = P_f(t) \cdot FC$

潛在事件後果發生的可能性 ← 事件場景(scenario)

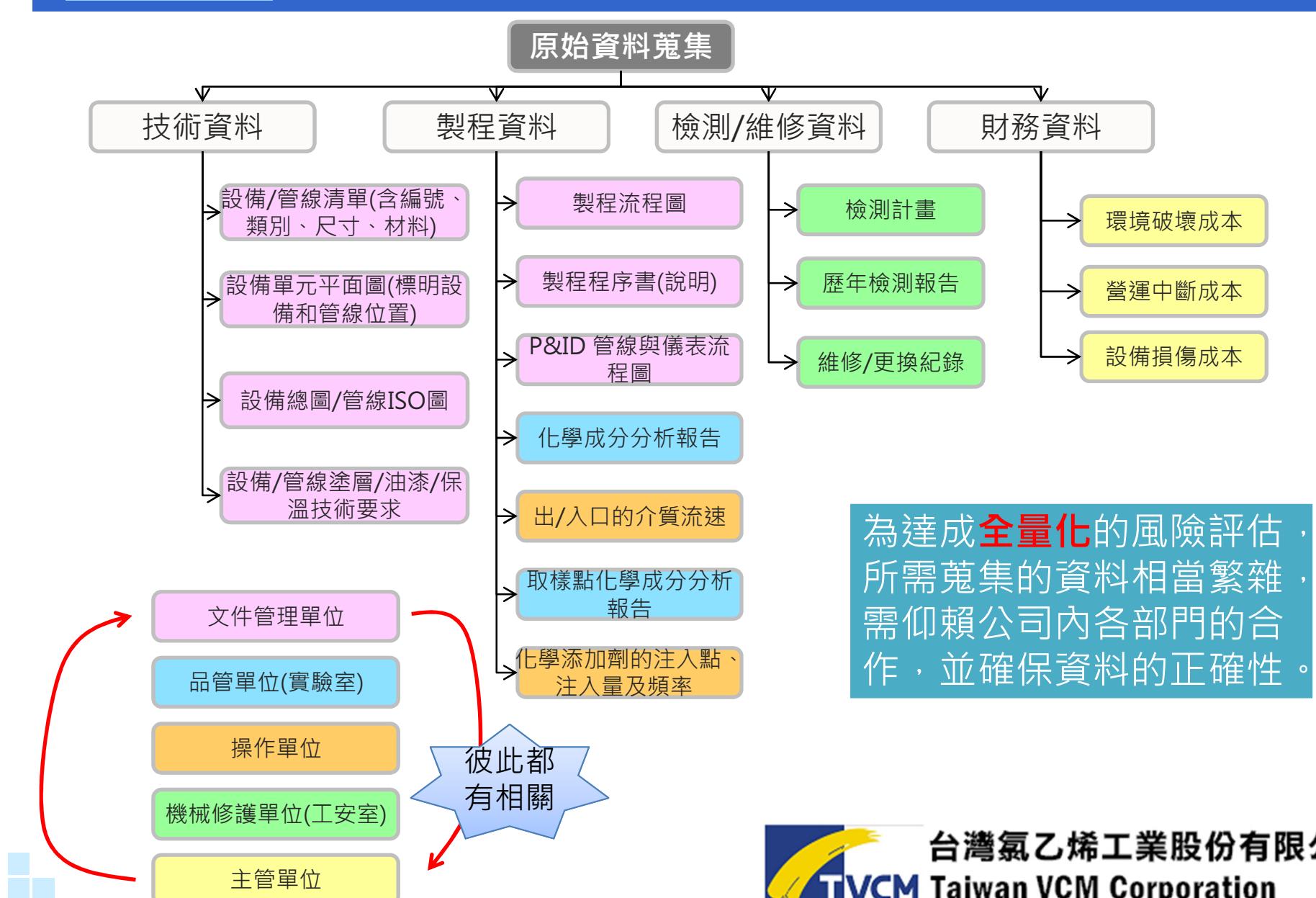
事件發生可能性隨時間而變 ⇒ $R=R(t)$ 、 $P_f=P_f(t)$



RBI執行團隊



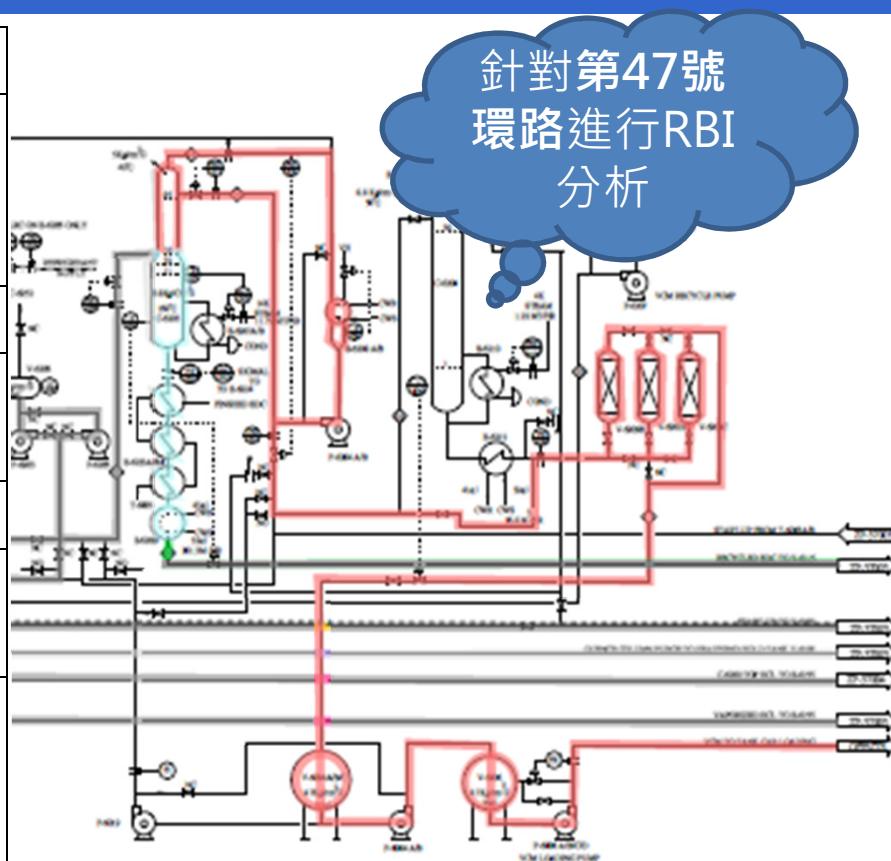
所需蒐集之資料



台灣氯乙烯工業股份有限公司
Taiwan VCM Corporation

主要評估對象、評估時間

評估環路	47
評估對象	管線：11條 設備：10座(塔槽：1/壓力容器：3/熱交換器：6)
材質	CS
內容物	VCM、HCL、EDC、NaOH(54-56.3%)
操作溫度範圍	37~180度(攝氏)
可能存在腐蝕機制	減薄(酸水腐蝕)、苛性劣化、碳鋼大氣腐蝕、碳鋼CUI
RBI評估日期	2018(現在) 2021(未來) 2024(未來) 2027(未來)



除了評估現在的風險外，同時還評估未來幾年的風險變化。



台灣氯乙烯工業股份有限公司
TVCM Taiwan VCM Corporation



1.RBI評估結果

- 當前風險
- 未來無檢查之風險變化



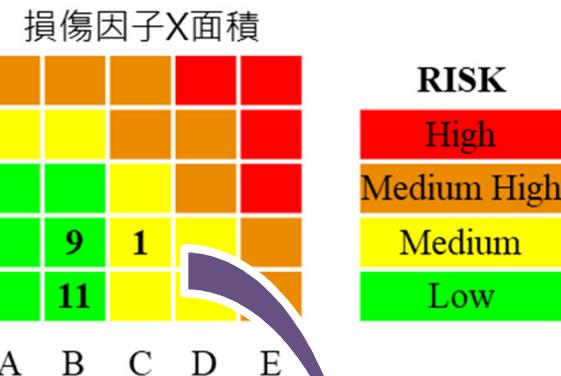
台灣氯乙烯工業股份有限公司
TVCM Taiwan VCM Corporation



風險變化-1

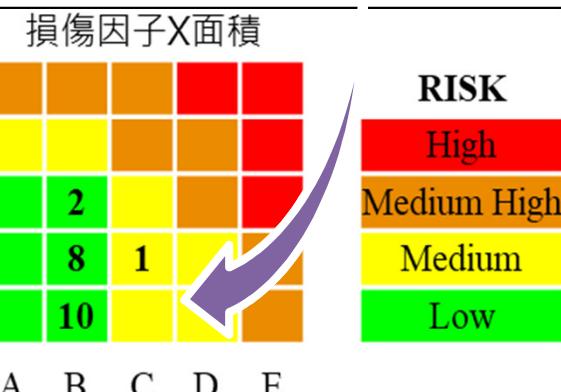
當前風險

2018



三年後未投入任何檢查之風險變化

2021



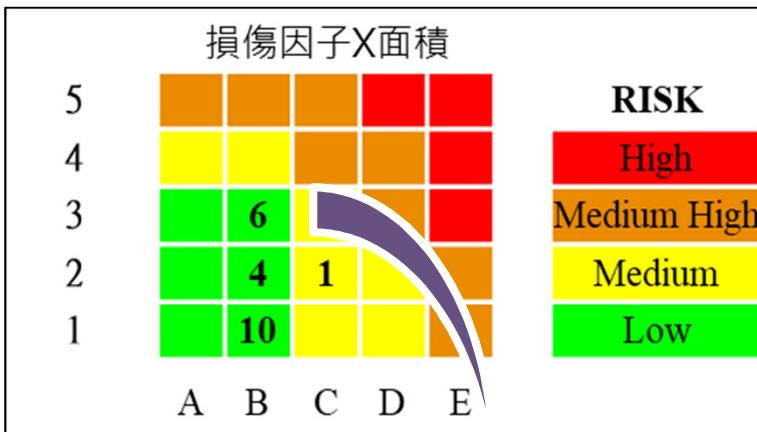
1. 本環路因製程流體存有HCL，主要腐蝕機制為減薄。
2. 過去檢測紀錄顯示每一年皆有進行測厚檢查，因檢查數據品質良好，故評估對象多屬低風險。
3. 藉由RBI評估，了解未來未進行檢查之風險變化，便藉由風險變化擬定合適的檢查計畫。
4. 如左圖所示，三年內未進行檢查，管線/設備的可能性等級逐漸攀升，但**未有風險跨級**之狀況發生。
5. 透過檢查能確定設備/管線目前腐蝕狀況，進而安排合適的維修方案，以避免危害性化學品洩漏。故僅能將低失效可能性，無法藉由檢查降低失效後果。



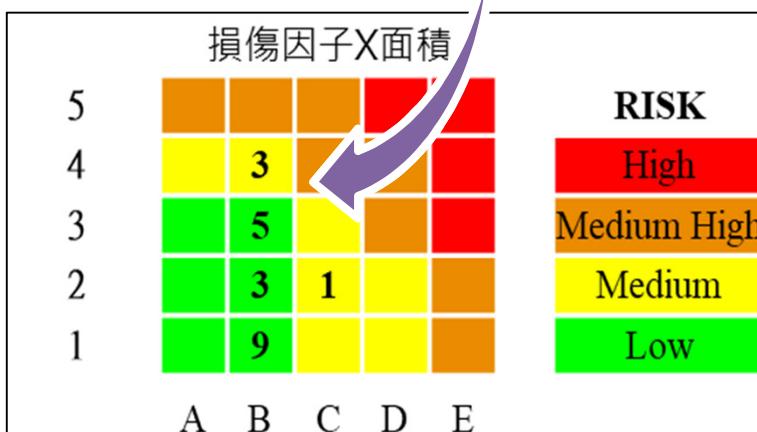
台灣氯乙烯工業股份有限公司
TVCM Taiwan VCM Corporation

風險變化-2

2024



2027



- 隨著時間的變化，若無任何檢查投入，失效可能性等級將會持續升高。
- 至2027年，已有3座設備/管線之風險等級跨級，由**原本的低風險攀升為中風險**。
- 針對風險跨級的設備/管線，建議應安排合適的檢查計畫。
- 或配合公司內的風險管理政策，**擬定可接受風險閾值**。



台灣氯乙烯工業股份有限公司
TVCM Taiwan VCM Corporation



2.腐蝕率之影響

量測腐蝕率vs預估腐蝕率對風險變化的影響

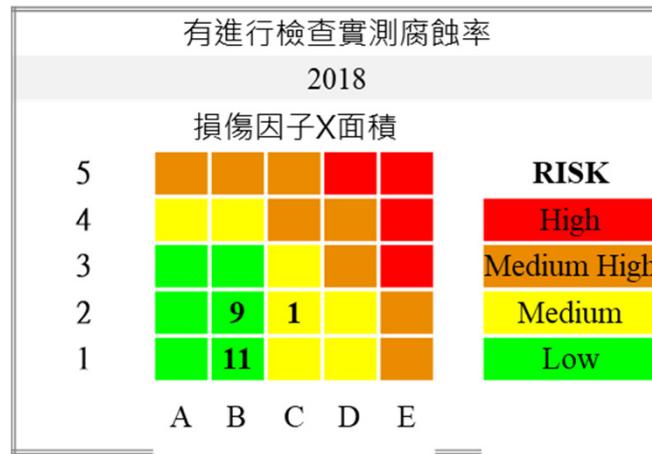


台灣氯乙烯工業股份有限公司
TVCM Taiwan VCM Corporation

評估結果(量測腐蝕率vs預估腐蝕率)-1

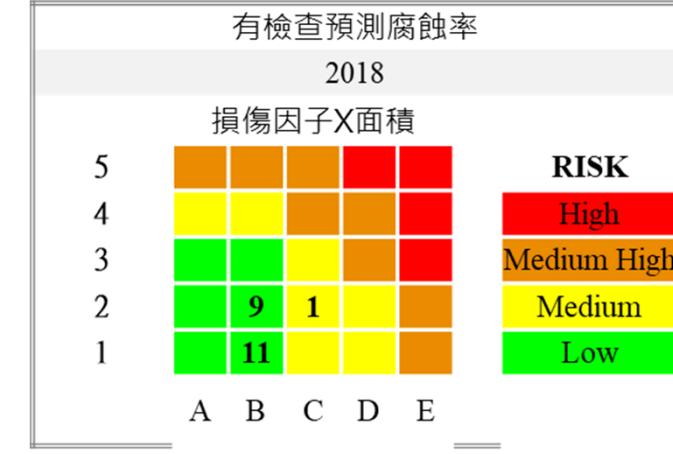
實測腐蝕率

腐蝕率區間：0.01~0.2mm/yr



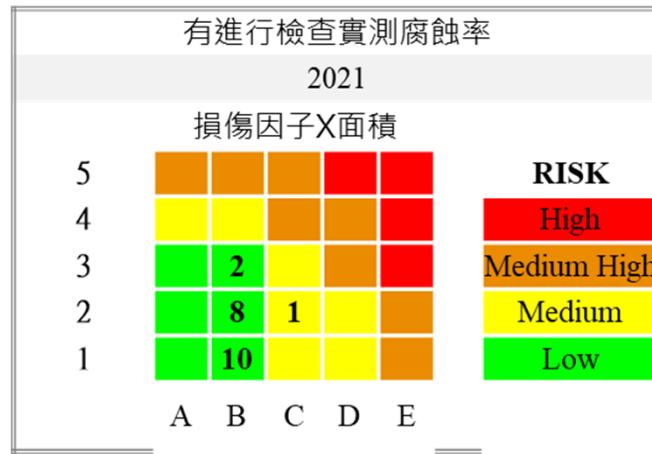
預測腐蝕率

腐蝕率區間：0.127~0.76mm/yr

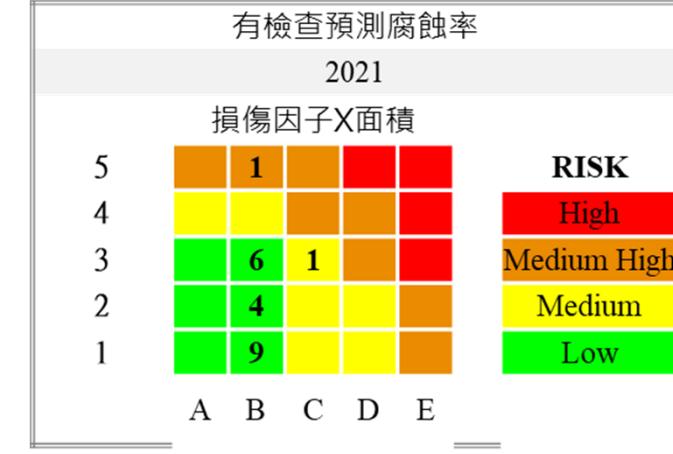


當前風險因過去有進行檢查的緣故，故腐蝕率的影響不明顯

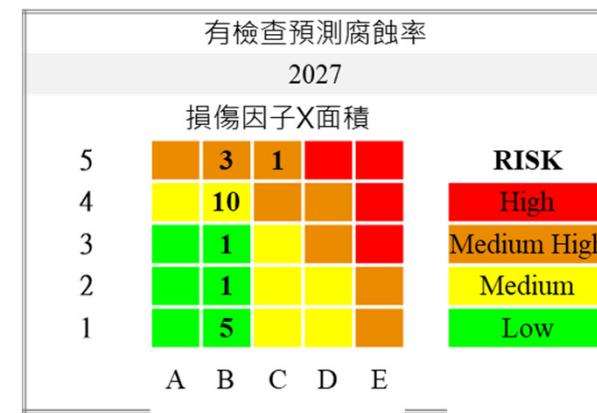
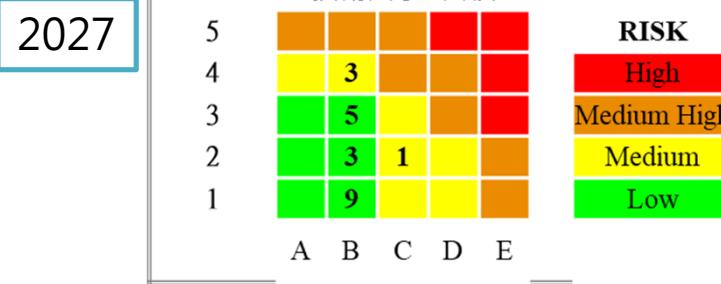
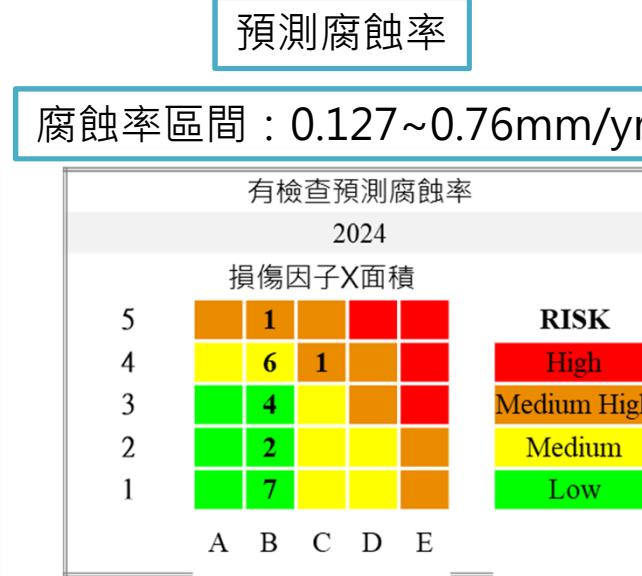
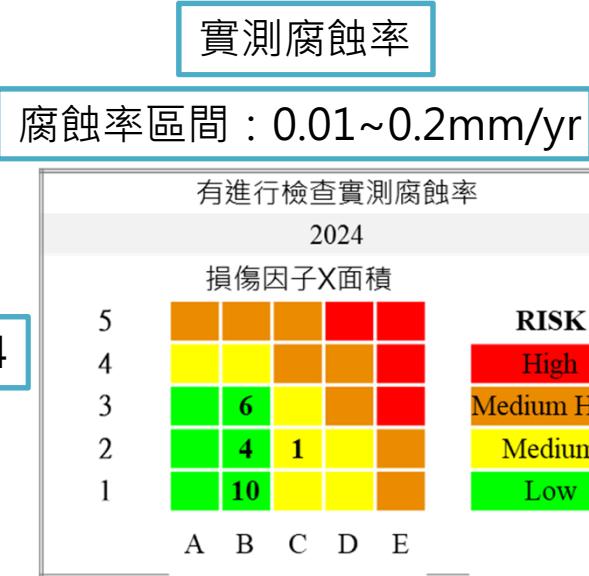
2021



三年後，文獻所預估的腐蝕率風險攀升快



評估結果(量測腐蝕率vs預估腐蝕率)-2



- 於 RBI 評估中 **腐蝕率為一關鍵性參數**，若過去檢查紀錄良好保存並針對測點做腐蝕率評估，則較能夠有效掌握設備/管線之實際風險。
- 但是若沒有相關腐蝕率之數據，在計算時會根據**文獻模式進行預估**，但此方式會使的設備/管線的**風險快速增加**。
- 實行檢查以獲得設備/管線實際之腐蝕率，有利於評估出設備/管線之實際風險。

關鍵仍在於檢查紀錄的落實與檢查資源的投入!!!

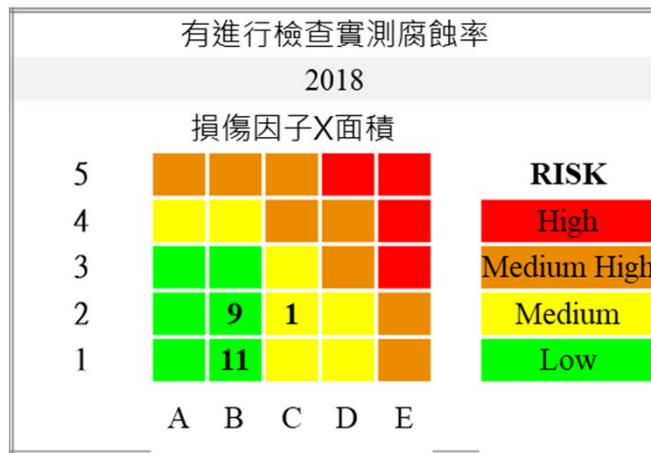


3. 檢查對風險之影響

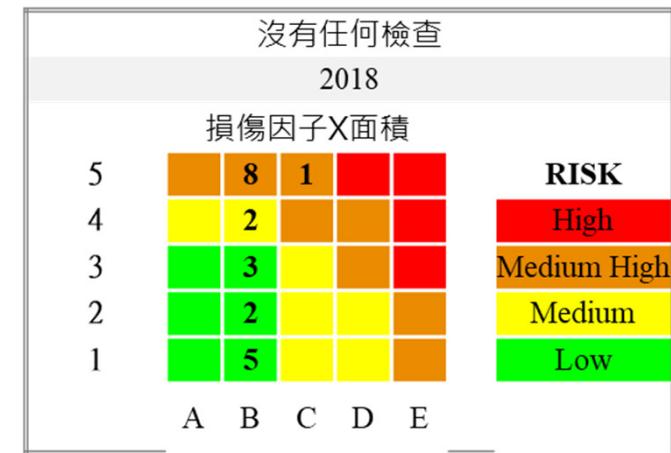


評估結果(有檢查v.s. 無檢查)-1

有檢查

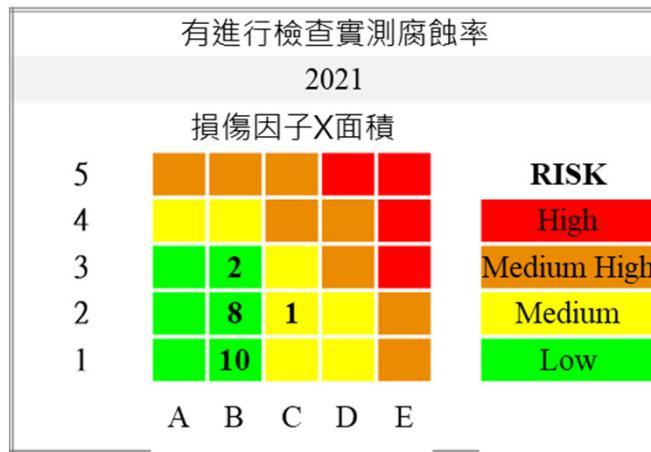


無檢查

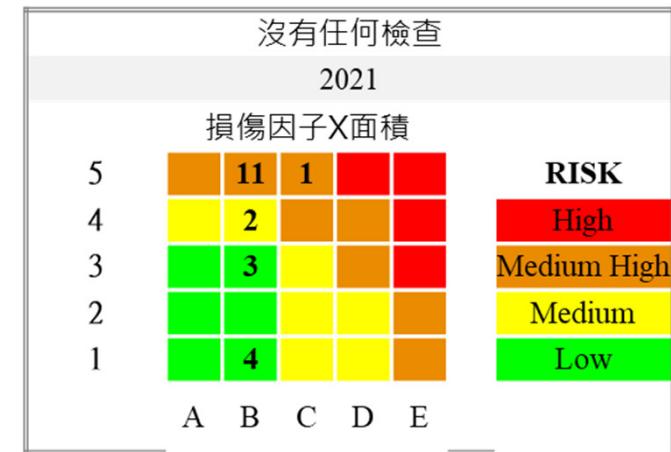


設備/管線在啟用後若沒有經過任何檢查，經過 RBI 評估後，已可明顯看出設備/管線當前風險的明顯差異。

2021

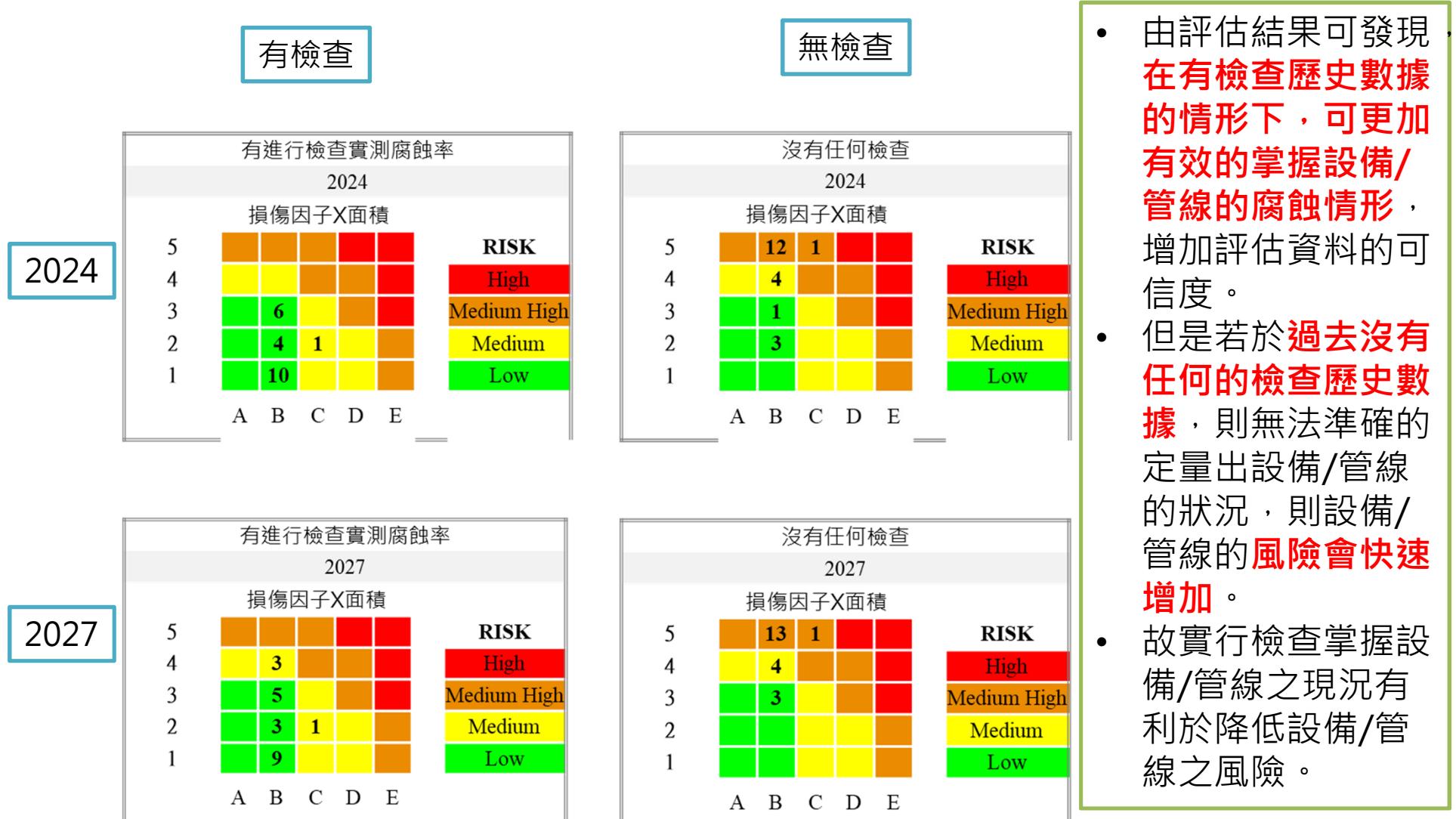


三年後，設備/管線風險攀升，中高風險數量已達半數



台灣氯乙烯工業股份有限公司
Taiwan VCM Corporation

評估結果(有檢查v.s. 無檢查)-2



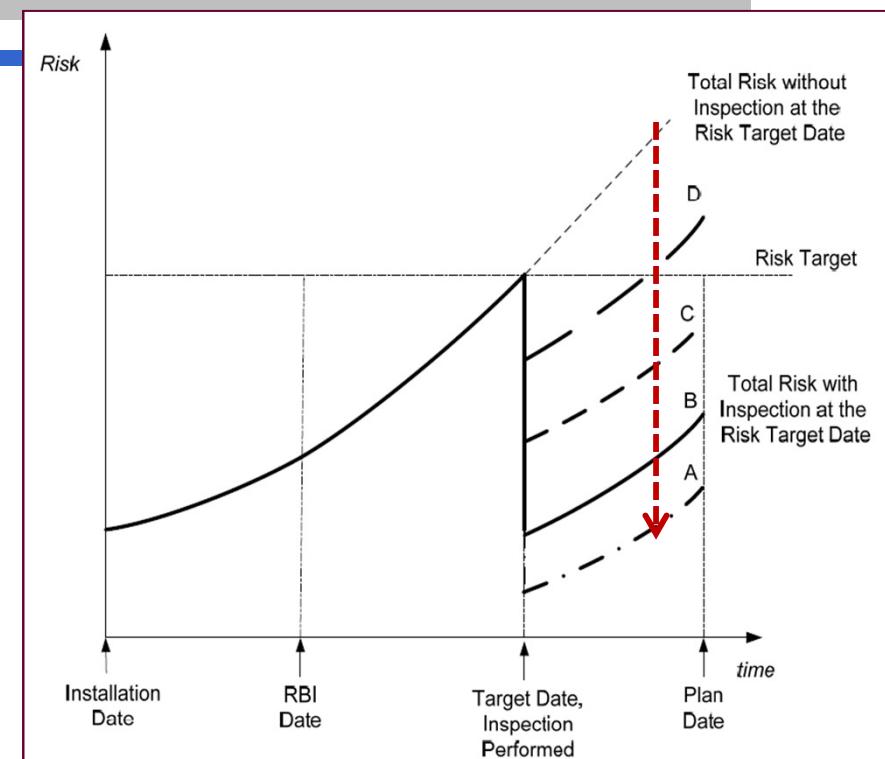
- 由評估結果可發現，在**有檢查歷史數據**的情形下，可更加有效的掌握設備/管線的腐蝕情形，增加評估資料的可信度。
- 但是若於**過去沒有任何的檢查歷史數據**，則無法準確的定量出設備/管線的狀況，則設備/管線的**風險會快速增加**。
- 故實行檢查掌握設備/管線之現況有利於降低設備/管線之風險。



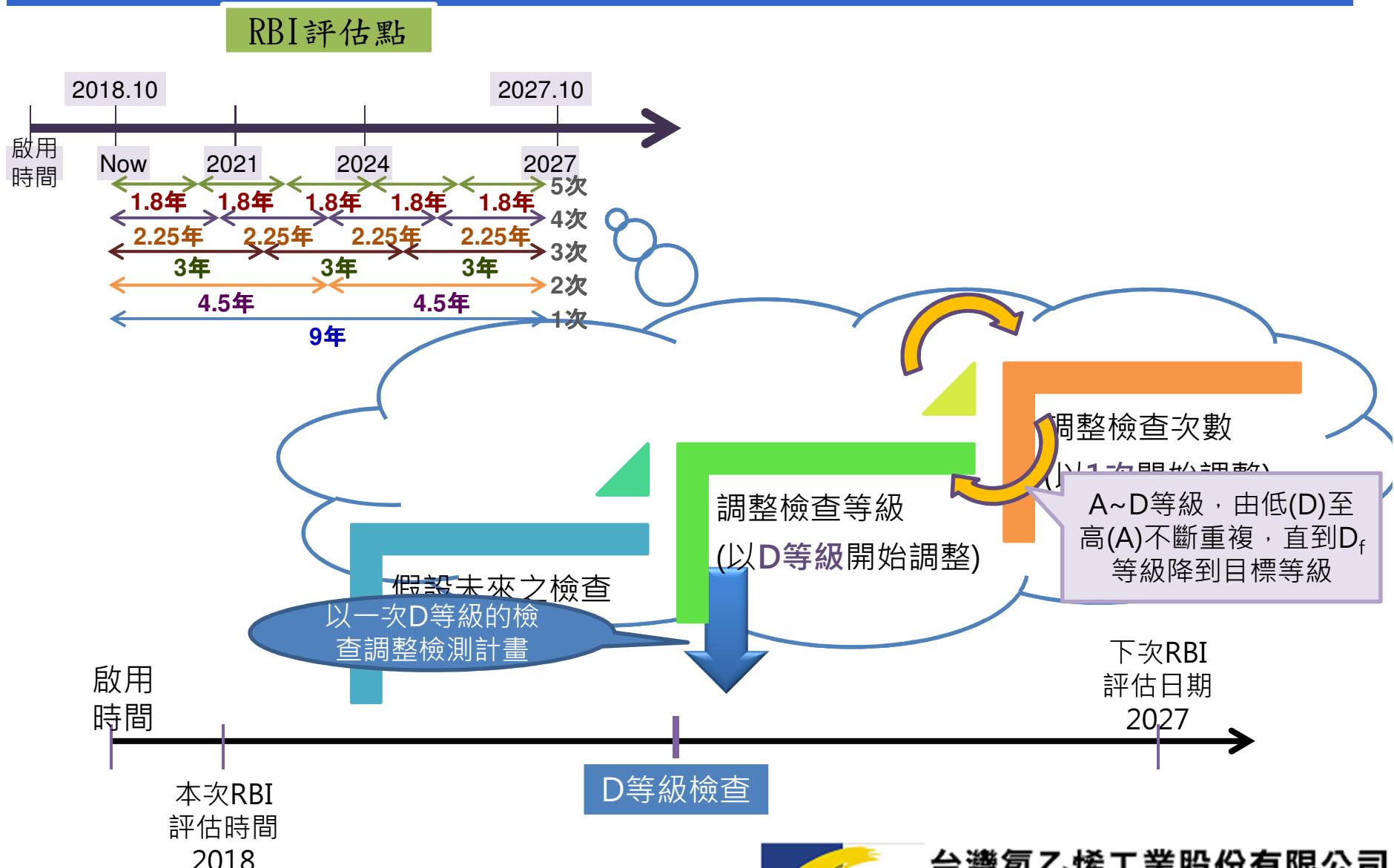


4. 檢測規劃

透過檢查將風險逐漸提高的設備，降至低風險的區域。



API 581之檢查等級與週期之規劃概念



台灣氯乙烯工業股份有限公司
Taiwan VCM Corporation

檢查有效度的差異

- 透過檢查週期、檢測方法、檢查涵蓋率等方式調整，配合廠內歲修/大修時間、檢查成本等擬定合適的檢查計畫

檢測等級	檢測有效性等級	非侵入性檢查	減薄損傷之檢查有效度等級
A	高度有效	對於總表面積進行100%UT或RT檢查；或針對可能發生腐蝕之區域進行10%RT-P掃描	
B	通常有效	對於總表面積進行75%UT或RT檢查；或針對可能發生腐蝕之區域進行5%的5%RT-P掃描	
C	普通有效	對於總表面積進行> 50%UT檢查；或隨機區域進行RT-P掃描	
D	效果差	對於總表面積進行> 25%的UT檢查	
E	無效檢查	使用無效的檢查方法進行檢測。	

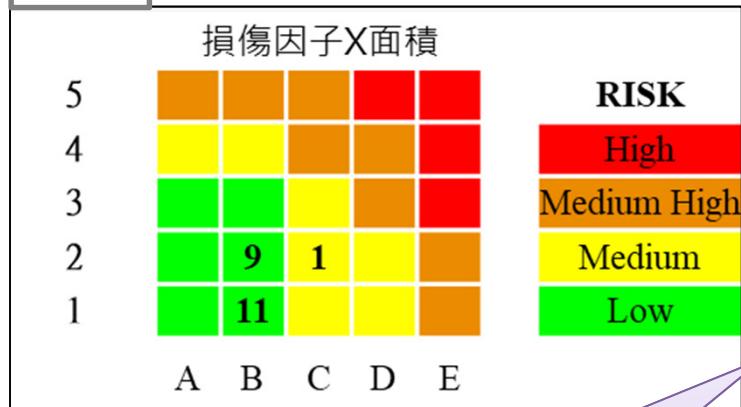


台灣氯乙烯工業股份有限公司
TVCM Taiwan VCM Corporation

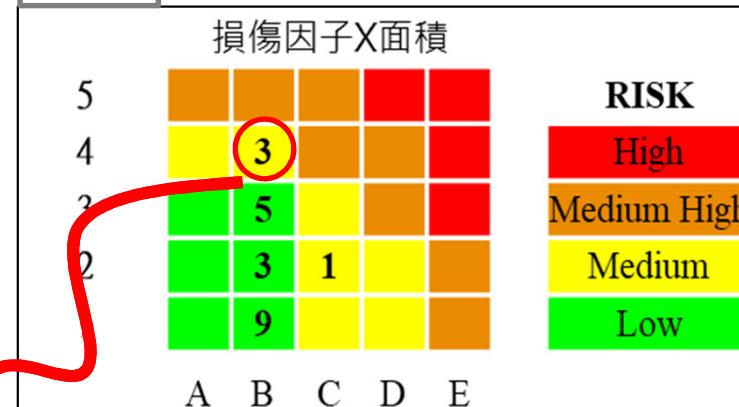


造成風險提升之主要對象

2018



2027



未進行檢測的情形下，管線、設備元件之**風險提升**，在未來將造成工廠內較大的風險損失。

→透過進行RBI分析，找出主要造成工廠風險提升的設備/管線。

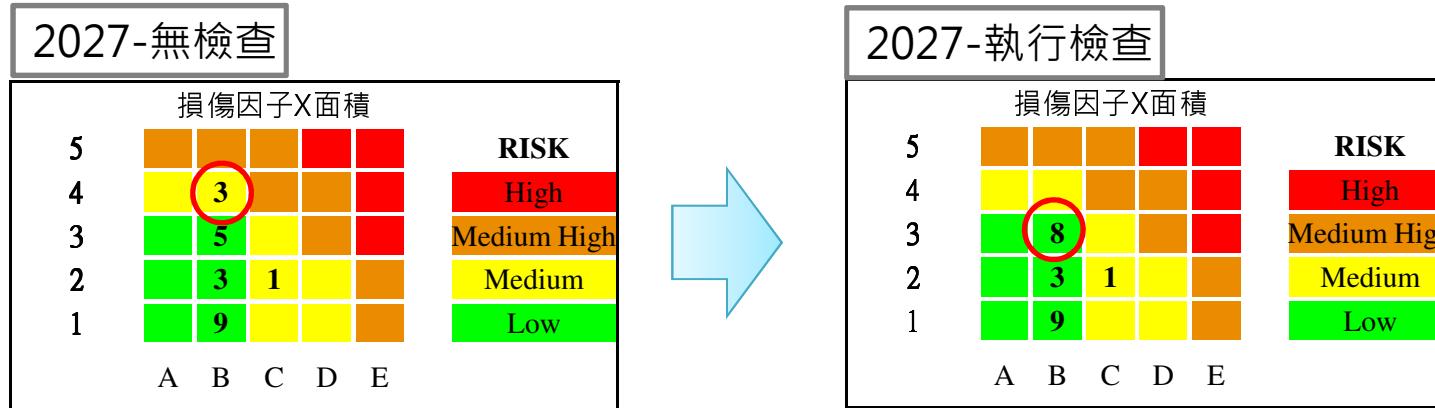
→針對這些設備/管線進行檢測規畫。

編號	設備/管線ID	風險等級
14	4"-VC-310MA(062)--V-6202C→V-6209B	4B
16	4"-VC-310MA(073)--LV-209→V-6004ABC	4B
15	4"-VC-310MA(063)--V-6202B→V-6209B	4B



台灣氯乙烯工業股份有限公司
TVCM Taiwan VCM Corporation

檢測規劃



- 檢查方法有效性選主要考量成本；檢查次數(間隔)則與停機間隔及其他成本考量有關。
- 在未來的9年中，至少應針對該3條管線進行**2次C等級的檢查或4次D等級的檢查**，即可將風險的等級**降至低風險**。
→**平均每兩年**對該3條管線執行管線/設備表面積範圍大於**25%**的UT或RT檢查，便能有效地降低管線的運轉風險。



評估結論(1/2)

本次評估對象為47號環路，共計21個設備/管線，經過計算後於2018年設備/管線中其中低風險數量為20，中風險數量1。

同時評估於3年、6年、9年後若沒有再對設備/管線施以任何檢測計畫。於9年後風險變化為低風險數量17、中風險數量4。

於評估對象中，其中僅4條管線/設備之洩漏可能性有上升，建議可於未來9年之中規劃2次以上之C等級之檢查，且其中若加裝針對**HCL濃度偵測**之線上偵測系統，則可有效控制風險的提升。



台灣氯乙烯工業股份有限公司
TVCM Taiwan VCM Corporation

評估結論(2/2)

在以RBI評估時，過去**檢查資料的保存情況或是有無進行相關之檢查**，對於設備/管線評估之風險會有顯著之影響。

在進行檢測時建議應**固定測點**，以更好的掌握設備/管線的實際減薄的程度，更好的測量腐蝕率，會有利於評估設備/管線之風險。

於此部分環路之中，部分區段有NaOH流經，於最初判斷可能有苛性鹼腐蝕，但是由於其壓力釋放及熱處理方式與NaOH的濃度關係，經過RBI判斷，其敏度為0，不會發生苛性鹼腐蝕，建議在往後若更換管線時，**管線須經過應力消除及焊後熱處理**，可預防NaOH腐蝕的情況。



總結-1

風險基準檢查(RBI)

01. RBI在MI條文中完全沒提到，就如同機械完整性中只提到設備/管線要有檢查計畫。若沒有一套說法，則可以被無限要求全部設備和管線。
02. Risk計算中只面對定性或定量？定性的結果易被誤用、而且與定量計算結果無法完全呼應。
03. 全量化後，資料間的相關性很精密，與檢測作業的配合很好。但仍多只有外國公司或其台灣的分支機構才有能力可做。
04. RBI無形間把先進vs落後工廠拉得更遠。
05. RBI於MI的價值是協助工廠聚焦高風險設備。



台灣氯乙烯工業股份有限公司
TVCM Taiwan VCM Corporation



總結-2

風險基準檢查(RBI)

06. RBI不是一次性作業，而是常態性使用工具。
07. 新版RBI對產業的衝擊是一突顯管理的好壞。
08. RBI導入時所用到的廠內資料很多，因此間接受到MOC的影響極大。
09. RBI並不是total solution，好的管理才是。



台灣氯乙烯工業股份有限公司
Taiwan VCM Corporation

敬請指教

Thank you for your attention