

台塑石化公司保養中心

CDU塔頂迴路管線內部腐蝕AI系統

報告人：廖崇志

2021年11月15日

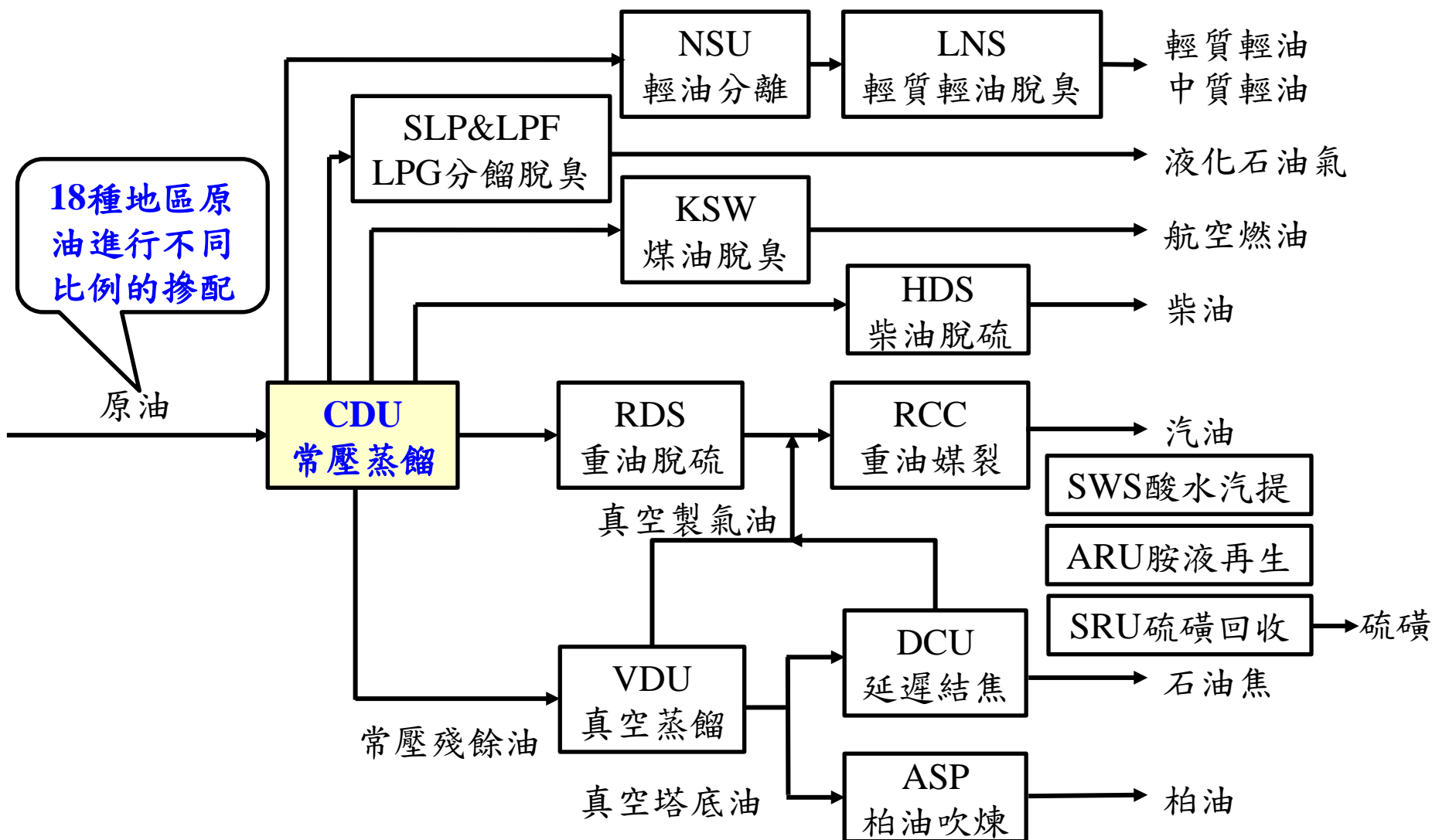
執行摘要

1. 煉油產業原油來源與提煉設備可靠度有相對關係，目前煉油部兩天換槽操作的頻率，對腐蝕管控影響更為重要，常壓蒸餾單元(CDU)為煉油廠第一道製程，主要將原油分餾出不同成分產品，不同產區的原油提煉過程會產生眾多腐蝕因子，導致塔頂管線及熱交換器發生腐蝕降低設備可靠度。
2. 本次報告針對煉油部CDU塔頂迴路管線作內部腐蝕AI系統開發，除能讓該系統有效的腐蝕控管及製程優化操作建議外，也間接讓煉油相關下游單元更穩定操作。
3. 本案利用材料腐蝕專業知識、線上監控技術及統計手法將61個變數篩選出8個特徵變數，開發【腐蝕AI系統】預測腐蝕率，結合【操作優化模組】進行腐蝕控制，防止設備及管線發生洩漏風險
4. 投資金額：6,600千元。
專案完成後，可精準控制腐蝕抑制劑添加量，並延長使用壽命，避免破管廢油回煉，預期效益3,408千元/年。
回收年限：1.9年。

目錄

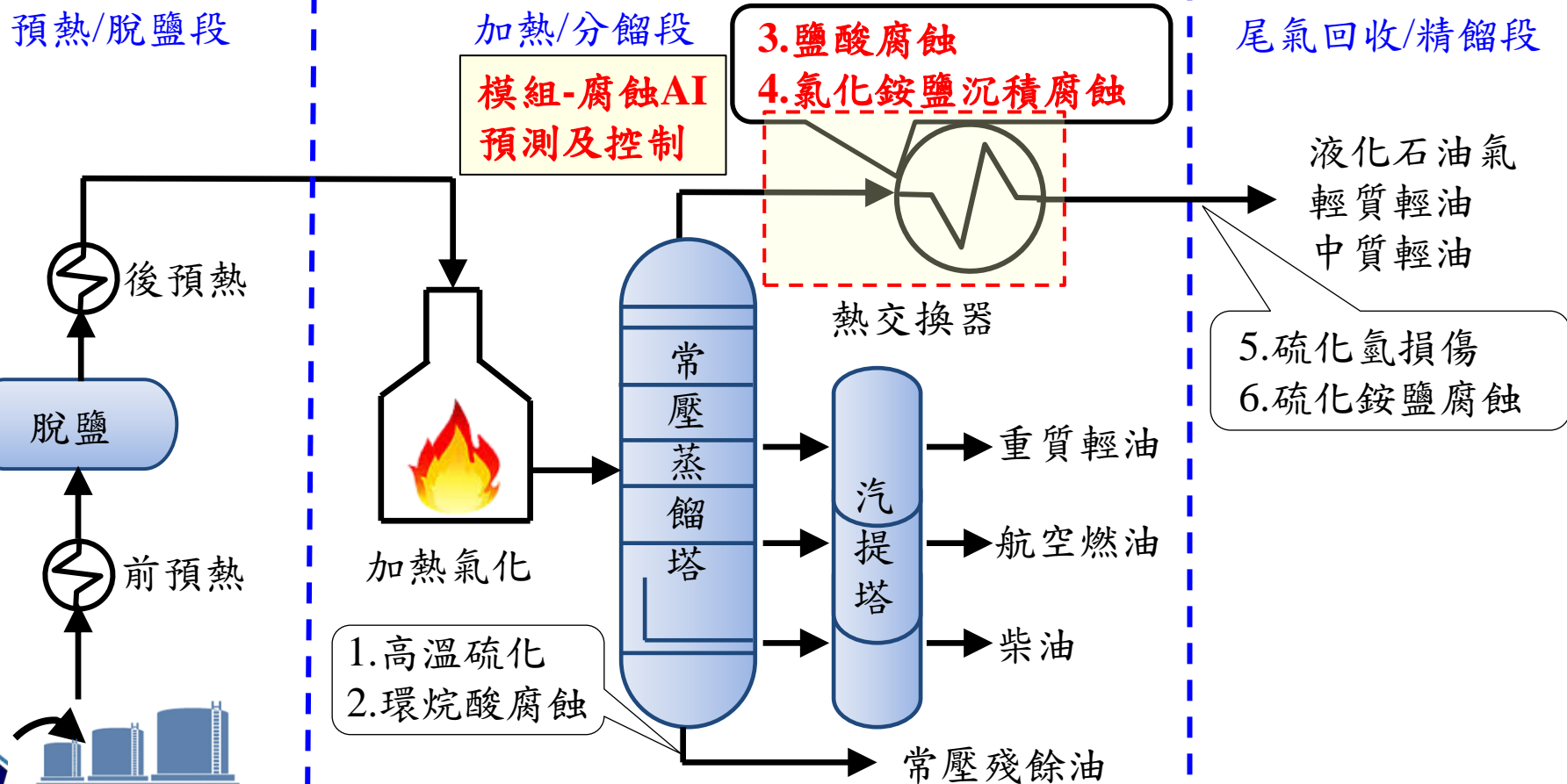
- 一、動機說明
- 二、執行重點
- 三、建置流程
- 四、結論與後續推動事項

➤ 煉油廠製程關聯圖：CDU常壓蒸餾單元為煉油廠的第一道製程



➤ 常壓蒸餾單元(CDU)製程流程圖：

原油於儲槽摻配後，經脫鹽、加熱至常壓蒸餾塔進行分餾，本案為塔頂管線到熱交換器之腐蝕AI預測及控制。

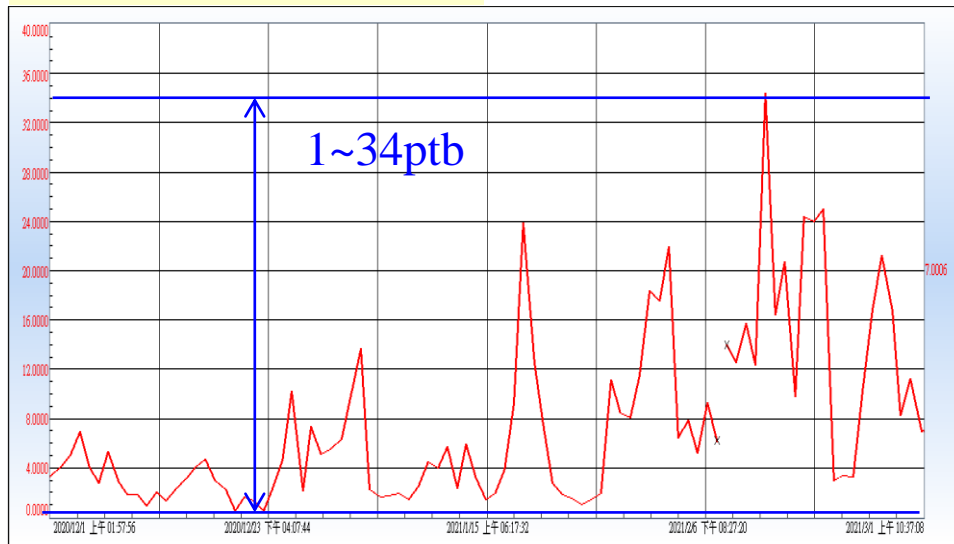


鹽酸腐蝕：氯化氫在有水環境下會發生解離，造成系統酸性均勻腐蝕。
氯化銨鹽沉積腐蝕：氯化銨會發生沉積，但易溶於水。

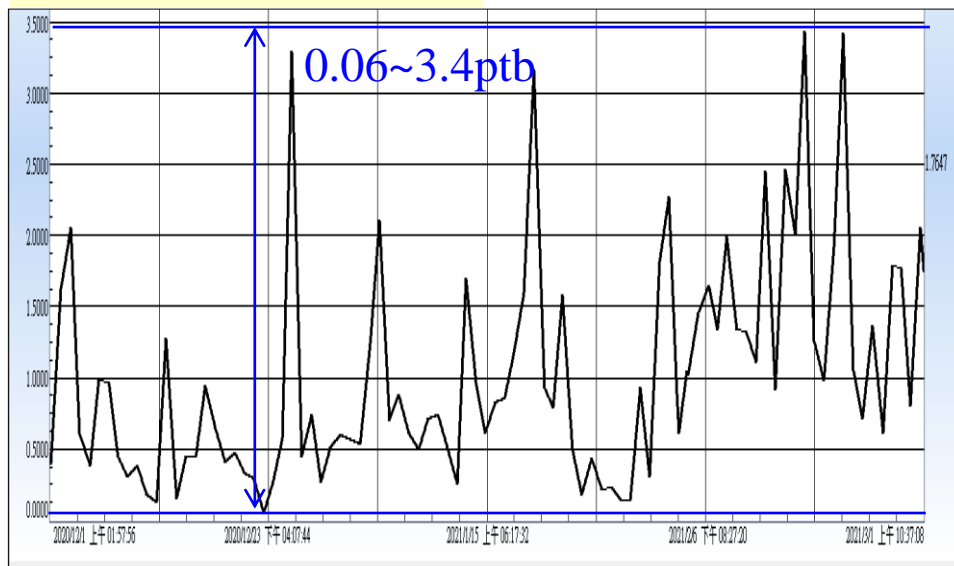
一、動機說明

- 原油入料每兩天切換一次，變動頻繁，原油中腐蝕成分(如鹽分、硫化物等)隨之變化，設備管線腐蝕控制不易，發展AI系統預測及控制設備管線腐蝕狀況。
- 影響區域：主塔塔頂管線系統及熱交換器等。

脫鹽槽入口油鹽含量



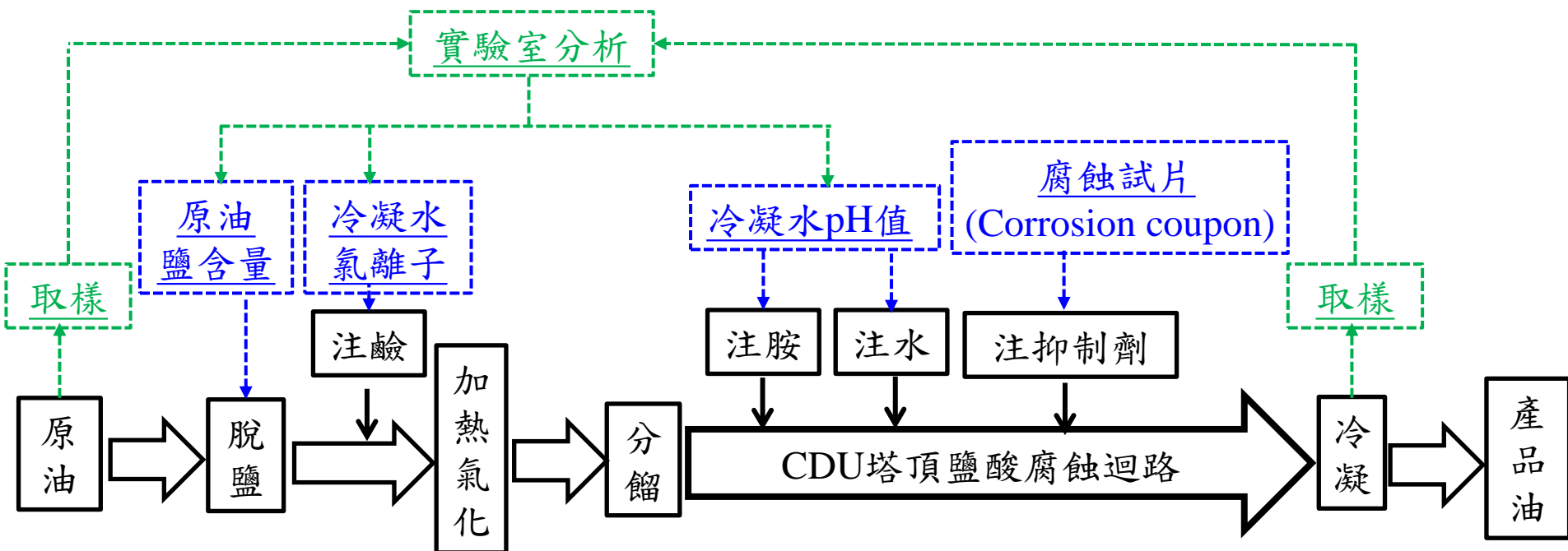
脫鹽槽出口油鹽含量



鹽分：氯化鈉、氯化鎂及氯化鈣等氯化物
ptb：pounds per thousand barrels, 磅每千桶

一、動機說明-腐蝕控制現狀

- 原油經脫鹽槽後，鹽含量仍有變動超限狀況，透過預先注鹼來減少塔頂氯離子濃度。
- 氯離子上升導致pH值下降時，透過注胺、注水及注腐蝕抑制劑，使pH值上升、鐵分下降，每個月以腐蝕試片量測腐蝕率來檢視腐蝕控制情形。



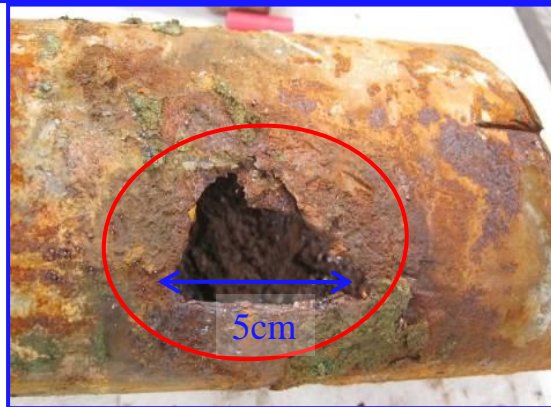
- 塔頂管線到熱交換器常見的內部腐蝕機制為鹽酸腐蝕及氯化銨鹽沉積腐蝕。

熱交換器腐蝕狀況：

塔頂管線腐蝕狀況：

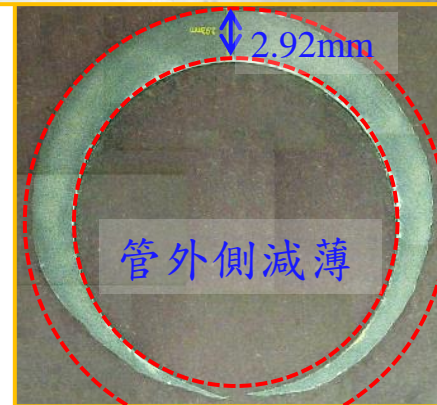


鹽酸腐蝕



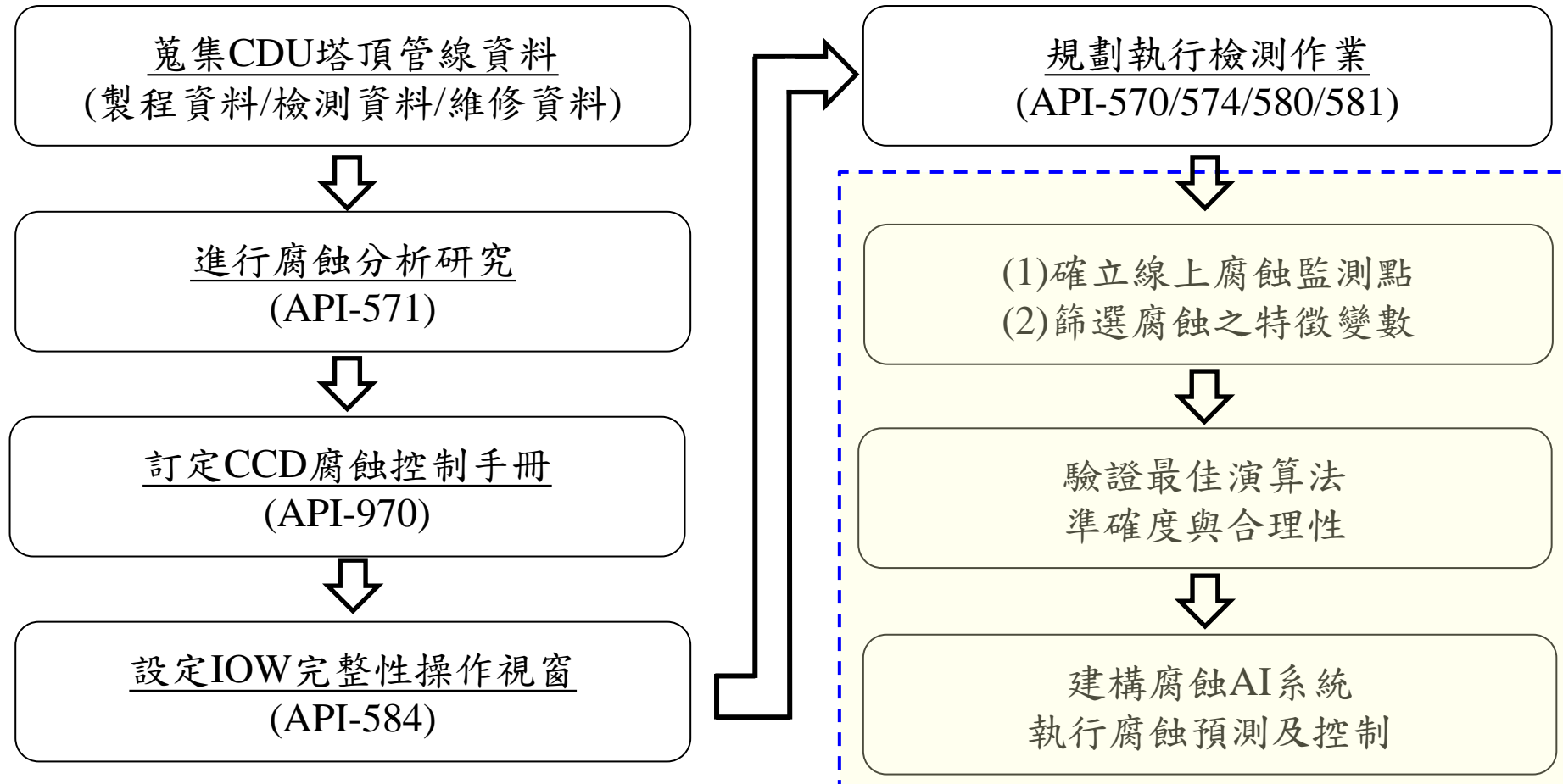
CDU#2 P-12-106管線
4吋管線匯入42吋管線的連接處

鹽酸腐蝕、氯化銨鹽沉積腐蝕



CDU#3 E-1302D熱交換器管
周圍均有嚴重腐蝕減薄情形

- 透過資料蒐集、腐蝕研究及執行檢測取得腐蝕監控點數據，將腐蝕特徵變數資料，以最佳演算法建構腐蝕AI系統。



CCD：Corrosion Control Documents,腐蝕控制手冊

IOW：Integrity Operating Windows,完整性操作視窗

二、執行重點-硬體建置

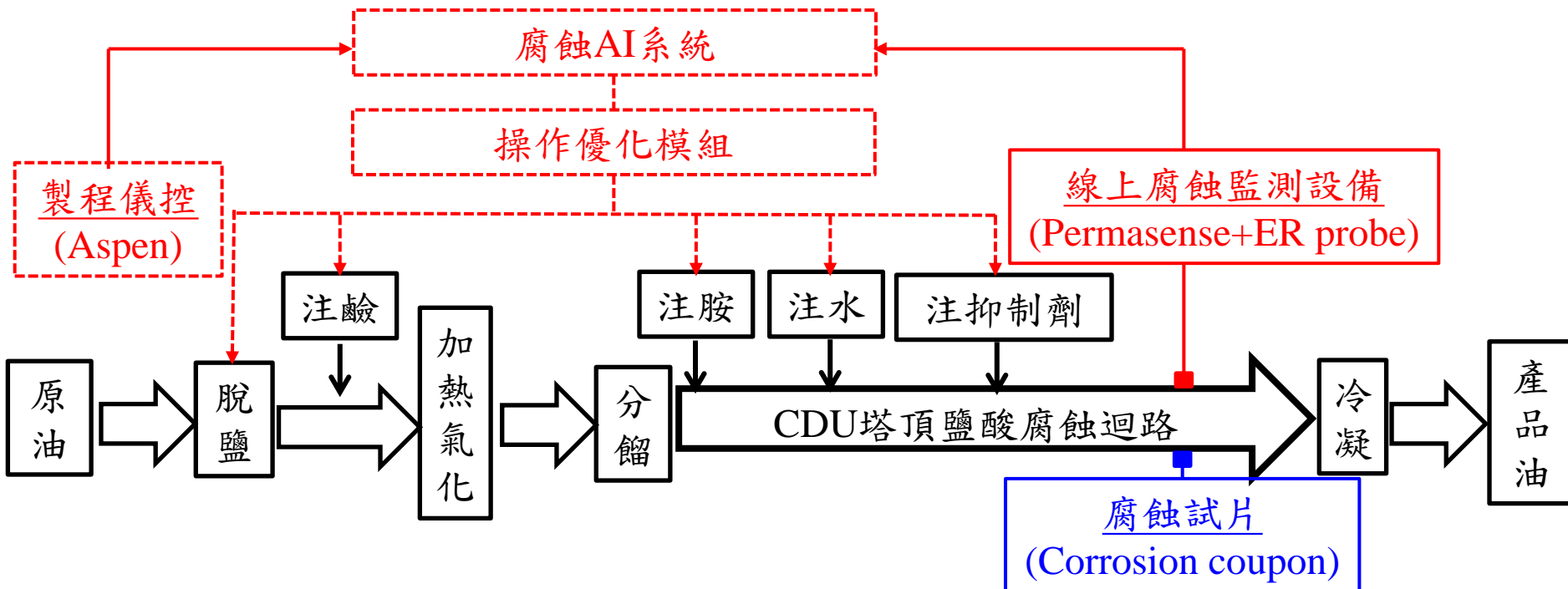
- 檢測數據蒐集檢討後，檢測定位點以無線傳輸進行線上監控。

Permasense(8組)為一種線上非侵入式超音波感測器，監測設備/管線厚度。



- 導入腐蝕AI系統，發展操作優化模組，達到最佳腐蝕控制目的。

比較內容	系統導入前	系統導入後
(1)腐蝕監測技術	傳統腐蝕試片	線上腐蝕監測設備
(2)數據紀錄方式	每月/由人工進行判讀量測	每日/系統自動無線傳輸資料
(3)腐蝕控制方法	原油鹽分/冷凝水值/腐蝕異常再依經驗調整製程參數	由AI系統發展操作優化模組，來精準控制製程參數



➤ 蒐集61個製程變數及1個反應變數並將資料處理取交集。

時間區間: 2020.5.20~2020.8.24

(1反應變數(Y)每小時取樣，共2402筆)

P-12-106腐蝕量紀錄表

時間	Metal loss(μm)
20/05/2020 12:09:54	6.6309
20/05/2020 13:09:54	7.2086
20/05/2020 14:09:54	9.6279
20/05/2020 15:09:54	26.4428
20/05/2020 16:09:54	27.9653
20/05/2020 17:09:54	27.2486
20/05/2020 18:09:54	26.7069
20/05/2020 19:09:54	27.4469
20/05/2020 20:09:54	26.7086
20/05/2020 21:09:54	27.4882
20/05/2020 22:09:54	27.7949
20/05/2020 23:09:54	27.7534
:	:
:	:



**AI技術
找出設備
腐蝕與製
程參數之
關聯性**

(61製程變數(X)每日取樣，共6039筆)

添加記錄表

說明 時間	中和胺 (c.c./min)	腐蝕抑制劑 (c.c./min)	鹼液 (c.c./min)
5月20日	0	40	570
5月21日	0	40	570
5月22日	0	40	570
5月23日	0	40	570
5月24日	0	40	540
5月25日	0	40	540
5月26日	100	40	540
5月27日	100	40	540
5月28日	8	40	780
5月29日	8	40	780
5月30日	8	40	780
5月31日	0	40	570
:	:	:	:
:	:	:	:

CDU#2製程變數記錄表

說明 時間	CAPACITY (NM ³ /hr)	Cl- (% WT)	pH	...	脫後油鹽分 (ptb)
5月20日	991.3	0.0018	7.38	...	0.751
5月21日	989.1	0.0009	6.96	...	0.478
5月22日	988.9	0.0016	7.56	...	0.629
5月23日	988	0.0011	7.18	...	0.843
5月24日	980.6	0.0016	7.18	...	3.569
5月25日	973.9	0.0045	5.41	...	2.654
5月26日	994.3	0.0124	8.23	...	8.538
5月27日	999.2	0.0069	4.74	...	24.653
5月28日	997.5	0.0024	8.23	...	5.474
5月29日	992.3	0.0011	7.87	...	1.169
5月30日	1000.2	0.0020	7.36	...	1.93
5月31日	991.3	0.0018	7.38	...	0.751
:	:	:	:	...	:
:	:	:	:	...	:

資料蒐集
前處理

資料探
索分析

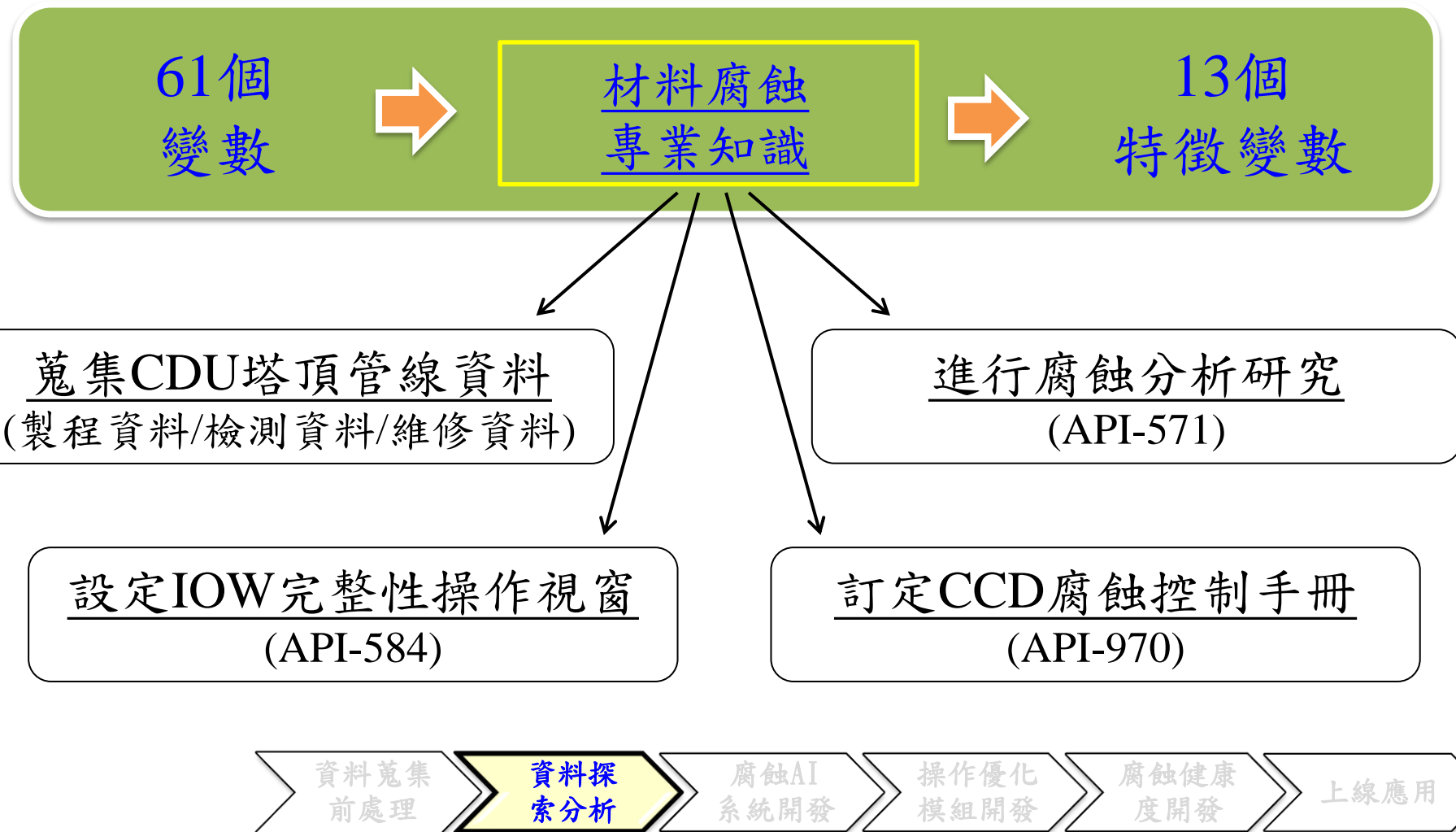
腐蝕AI
系統開發

操作優化
模組開發

腐蝕健康
度開發

上線應用

- Step 1: 常壓蒸餾單元(CDU)有61個變數，依照材料腐蝕專業知識篩選出13個特徵變數。

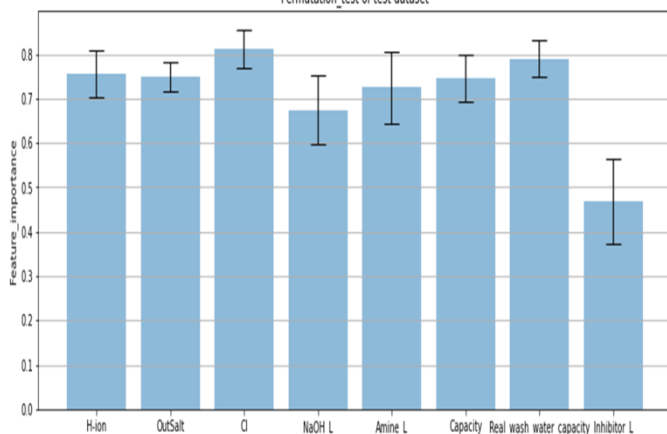


- Step 2:使用Permutation Test (置換試驗)將13個特徵變數再篩選出與腐蝕率有關聯的特徵變數，共選出8個特徵變數，作為模型建置使用。

篩選出8個特徵變數

參數重要性表

Permutation test of test dataset



置換試驗(Permutation Test)
隨機打散某特徵變數數值後，
不影響預測準確率，則表示此
特徵變數不重要，可考慮移除

儀錶編號	變數名稱	說明
12FI004.PNT	煉量	脫鹽槽操作負荷
Wash Water Injection Rate	脫鹽槽洗滌水量	洗滌水量是否足夠進行脫鹽操作
SC1209-IC-SALT-PTB	脫後油鹽含量	脫鹽槽操作性能
S1210A-pH	V-03 出口酸水 pH值	脫後鹽水解反應於塔頂酸水的氯含量所影響的pH值
S1210A-CL_-% WT	V-03 出口酸水 Cl-值	脫後鹽水解反應於塔頂酸水的氯含量
HCP21BY	鹼液量	注鹼調整塔頂酸水氯含量
HCP19BY	中和胺量	注中和胺調整塔頂酸水pH值
P-1222	腐蝕抑制劑量	注腐蝕抑制劑調整塔頂酸水全鐵含量

資料蒐集
前處理

資料探索
分析

腐蝕AI
系統開發

操作優化
模組開發

腐蝕健康
度開發

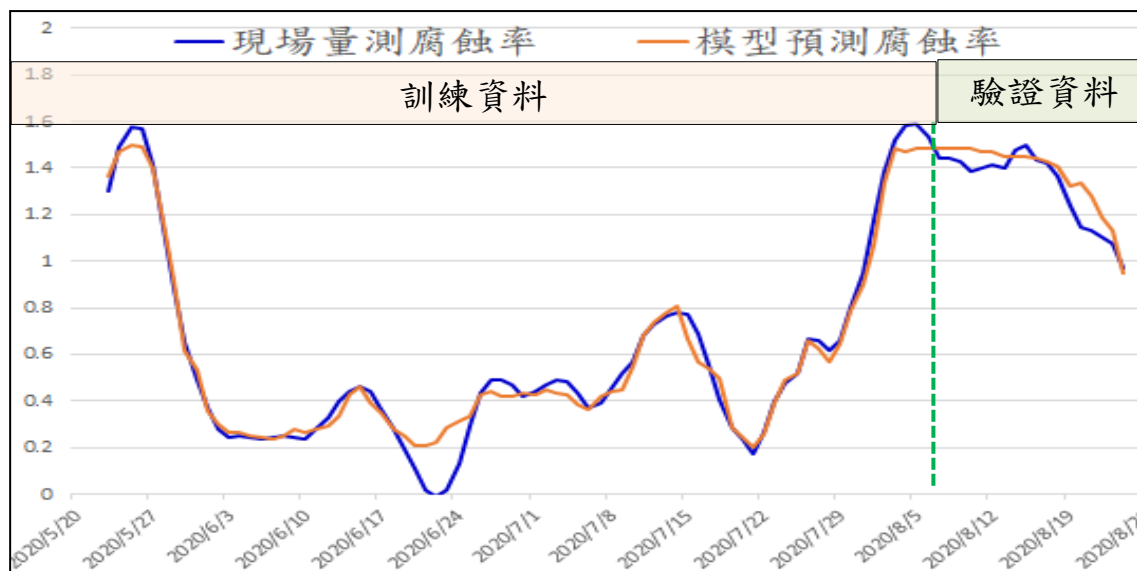
上線應用

- 將數據分為80%訓練數據及20%驗證數據，以2種演算法進行建模與驗證，LSTM此演算法可以學習長時間的腐蝕累積效應。
- 準確度驗證指標為決定係數(R^2)，經評估後，CNN+LSTM有較高的準確度，後續將使用該演算法。

CNN+LSTM

演算法	驗證指標 (R^2)
LSTM (長短期記憶時間)	0.81
CNN+LSTM (卷積神經網絡+ 長短期記憶時間)	0.93

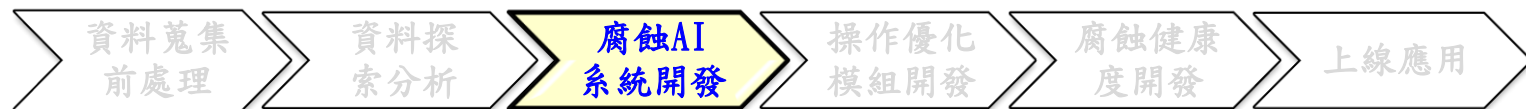
R^2 (決定係數)：預測值與實際值吻合的程度，數值越接近1代表模型越準確。



時間區間: 2020.5.20~2020.8.24

LSTM：Long Short Term Memory,長短期記憶時間

CNN：Convolutional Neural Networks,卷積神經網絡

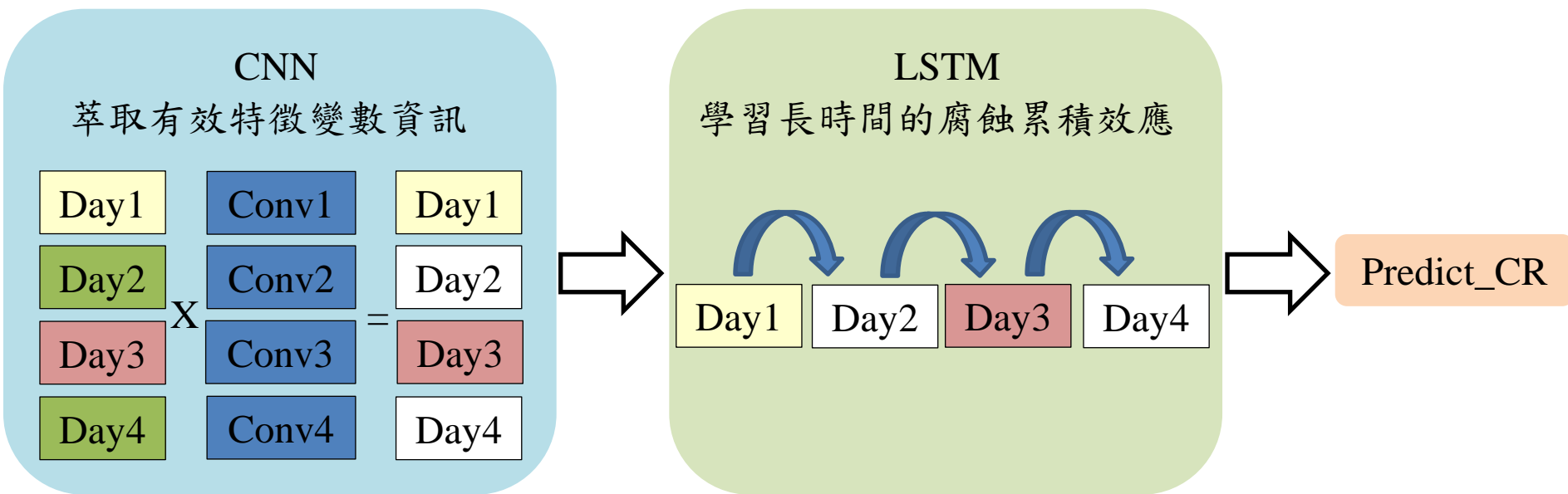
 R^2 ：Coefficient of determination,決定係數

➤ 卷積神經網絡(CNN)優勢：

卷積運算萃取有效特徵變數資訊，濾除不必要的雜訊。

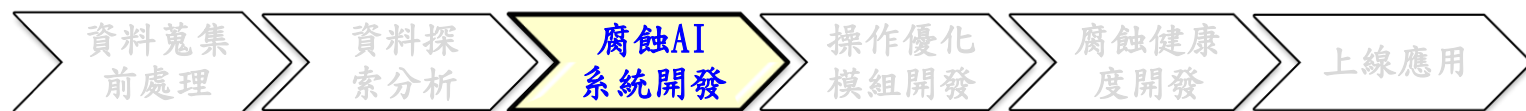
➤ 長短期記憶時間(LSTM)優勢：

有記憶系統的神经网络，學習長時間的腐蝕累積效應。

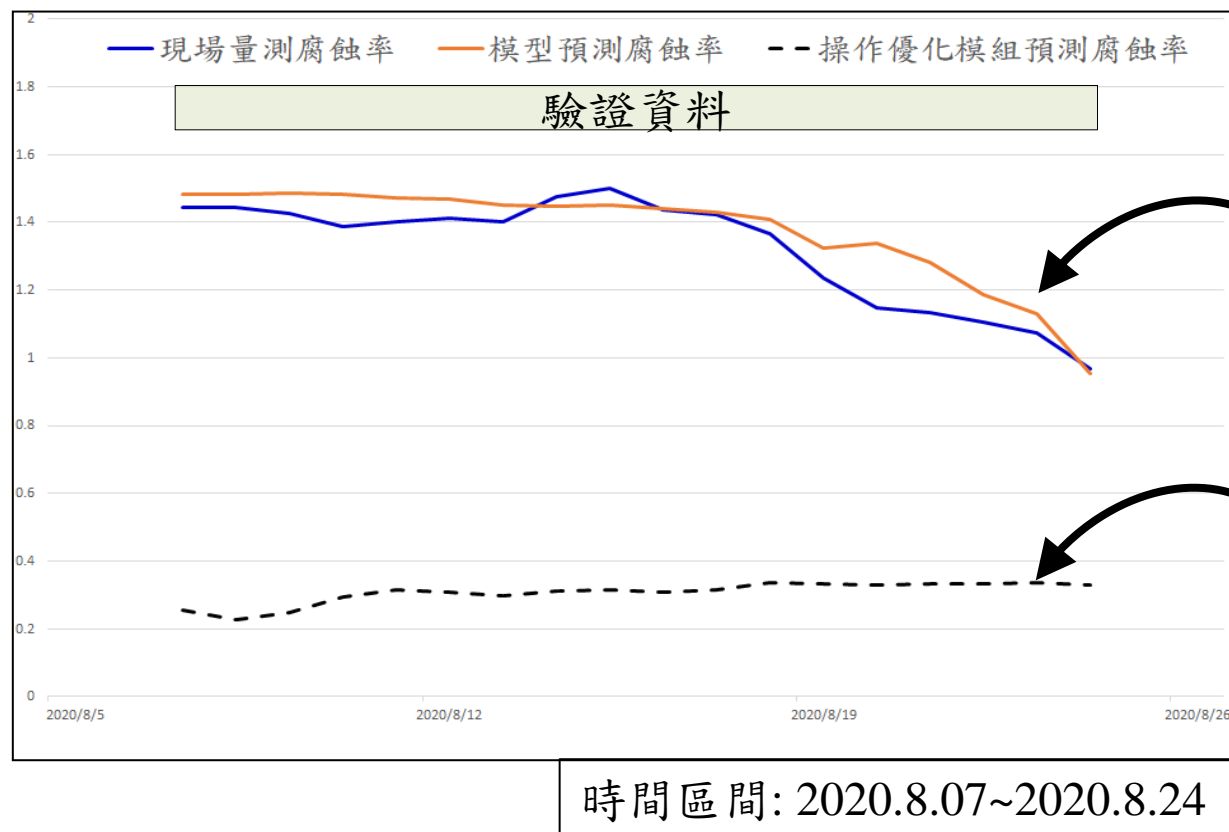


水質、注藥綜合條件

無腐蝕	無腐蝕
中度腐蝕	強度腐蝕



- 腐蝕AI系統已可準確預測腐蝕率，將此系統用來發展操作優化模組，參考操作優化建議後，腐蝕率由1.5mpy降至0.3mpy。



當日重要製程參數：
脫後油鹽含量：2.45 ptb
pH:4.4
煉量：1096 NM³/hr
Cl⁻：0.005 %WT
鹼液= 330 c.c./min
中和胺= 24 c.c./min
腐蝕抑制劑= 60 c.c./min
脫鹽槽洗滌水=17.6 %

操作優化建議：
鹼液= 600c.c./min
中和胺= 10c.c./min
腐蝕抑制劑= 30c.c./min
脫鹽槽洗滌水=25%

資料蒐集
前處理

資料探
索分析

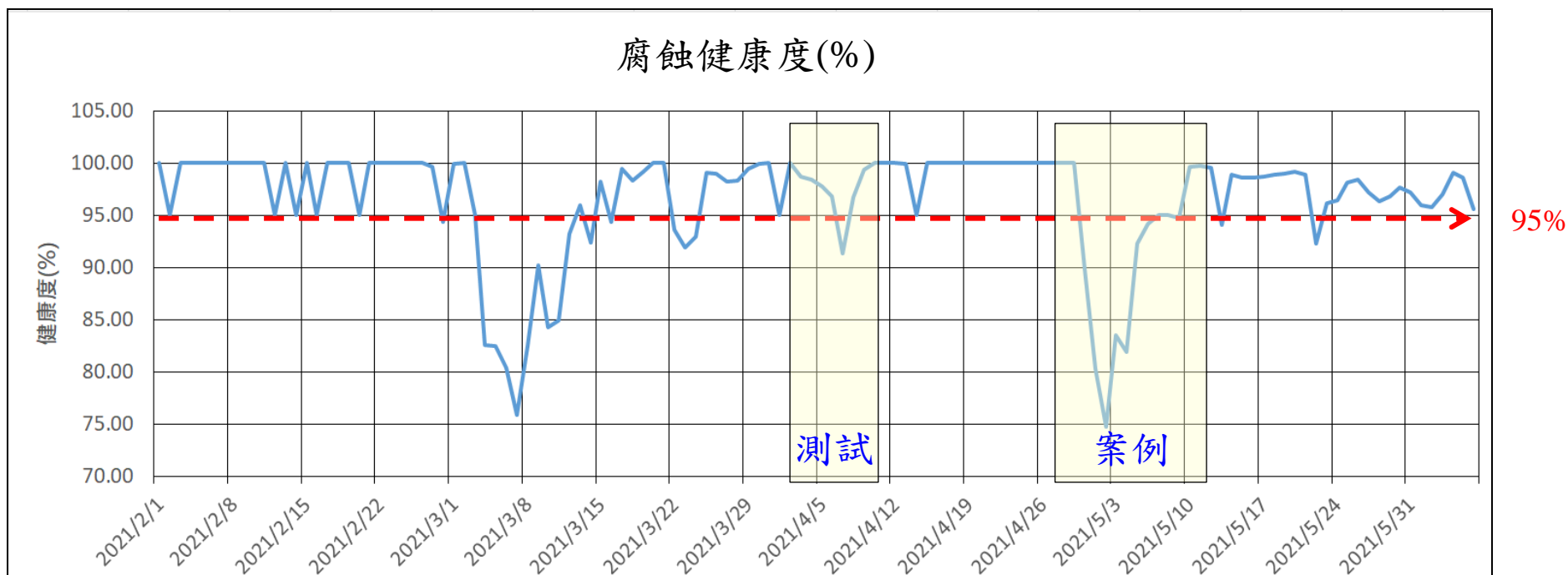
腐蝕AI
系統開發

操作優化
模組開發

腐蝕健康
度開發

上線應用

- 將8個特徵變數及腐蝕率融為腐蝕健康度指標，提供判斷製程是否發生異常腐蝕狀況。
- 數值高於健康度管制值代表目前狀態正常。
- 健康度管制值為95%，當健康度降至95%以下操作優化模組將會介入，提供操作優化建議。



資料蒐集
前處理

資料探
索分析

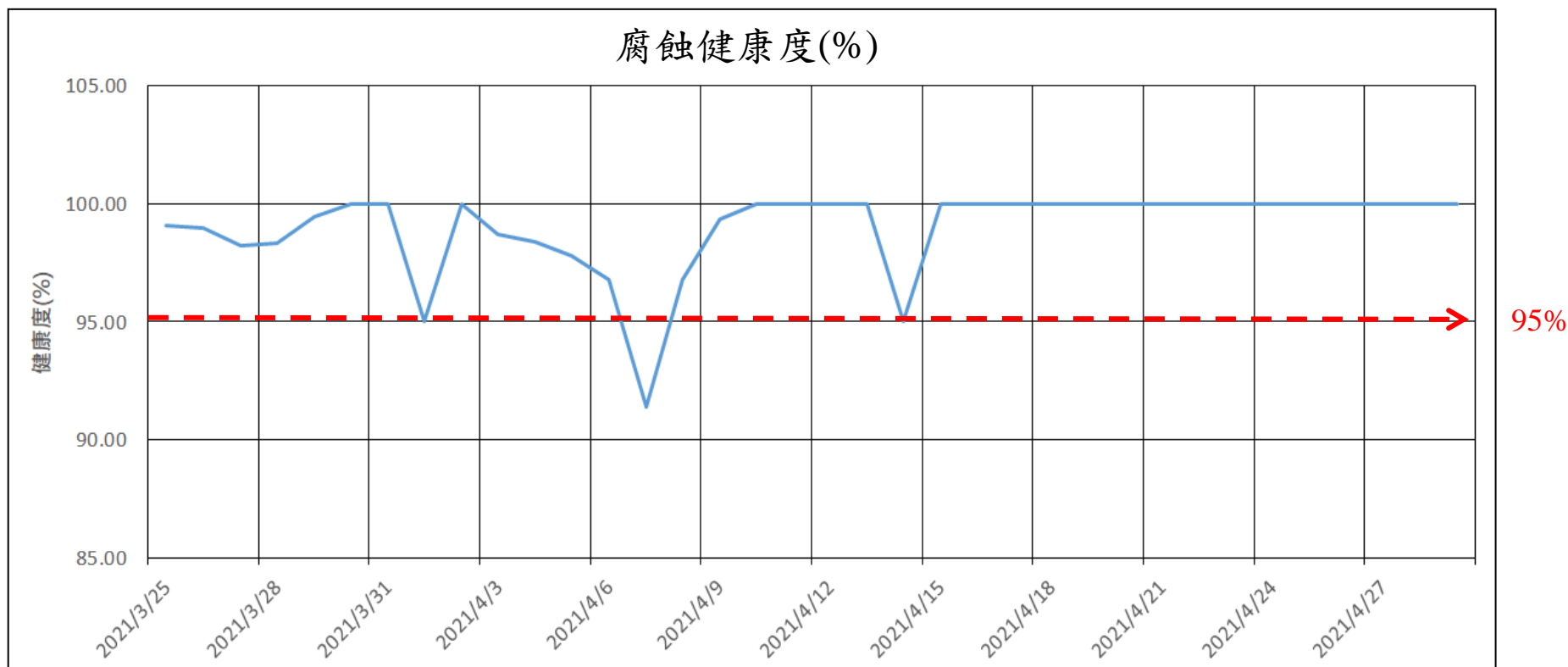
腐蝕AI
系統開發

操作優化
模組開發

腐蝕健康
度開發

上線應用

- 4月初發現腐蝕健康度下降，降至91.4%低於管制值，4月9日依操作優化建議執行後腐蝕健康度恢復正常。



資料蒐集
前處理

資料探
索分析

腐蝕AI
系統開發

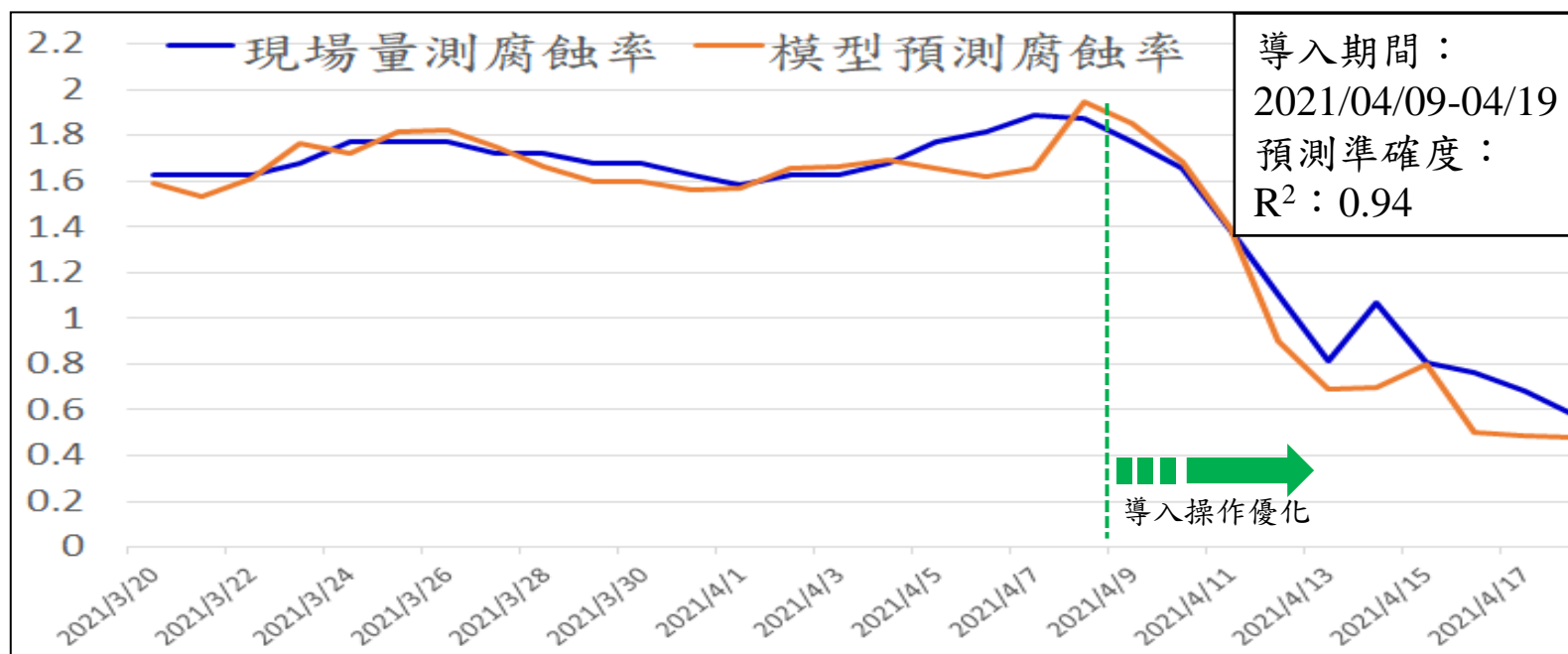
操作優化
模組開發

腐蝕健康
度開發

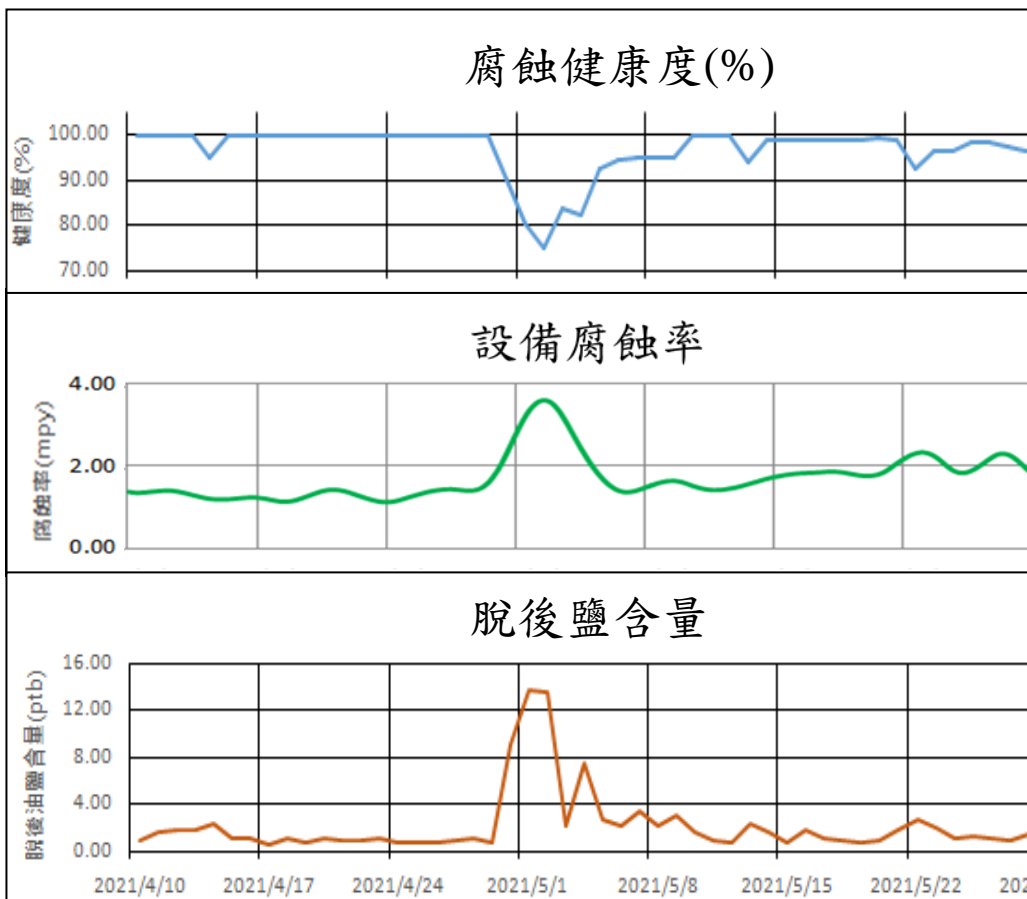
上線應用

➤ 腐蝕率預測及操作優化模組於2021年4月9日上線測試，說明如下：

導入前		導入後	
脫後油鹽含量：1.8ptb	鹼液= 600c.c./min(63%)	脫後油鹽含量：0.9ptb	鹼液= 670c.c./min(85%)
pH:5.7	中和胺= 27c.c./min(8%)	pH:6.8	中和胺= 12c.c./min(2%)
煉量：1106NM ³ /hr	腐蝕抑制劑= 44c.c./min	煉量：1107NM ³ /hr	腐蝕抑制劑= 44c.c./min
Cl ⁻ ：0.0041% WT	脫鹽槽洗滌水=8.8%	Cl ⁻ ：0.0023% WT	脫鹽槽洗滌水=12.59%



- 2021年4月30日案例說明：健康度降至75%，發現為脫後油鹽含量上升導致，提供操作優化建議，將健康度拉回至100%。



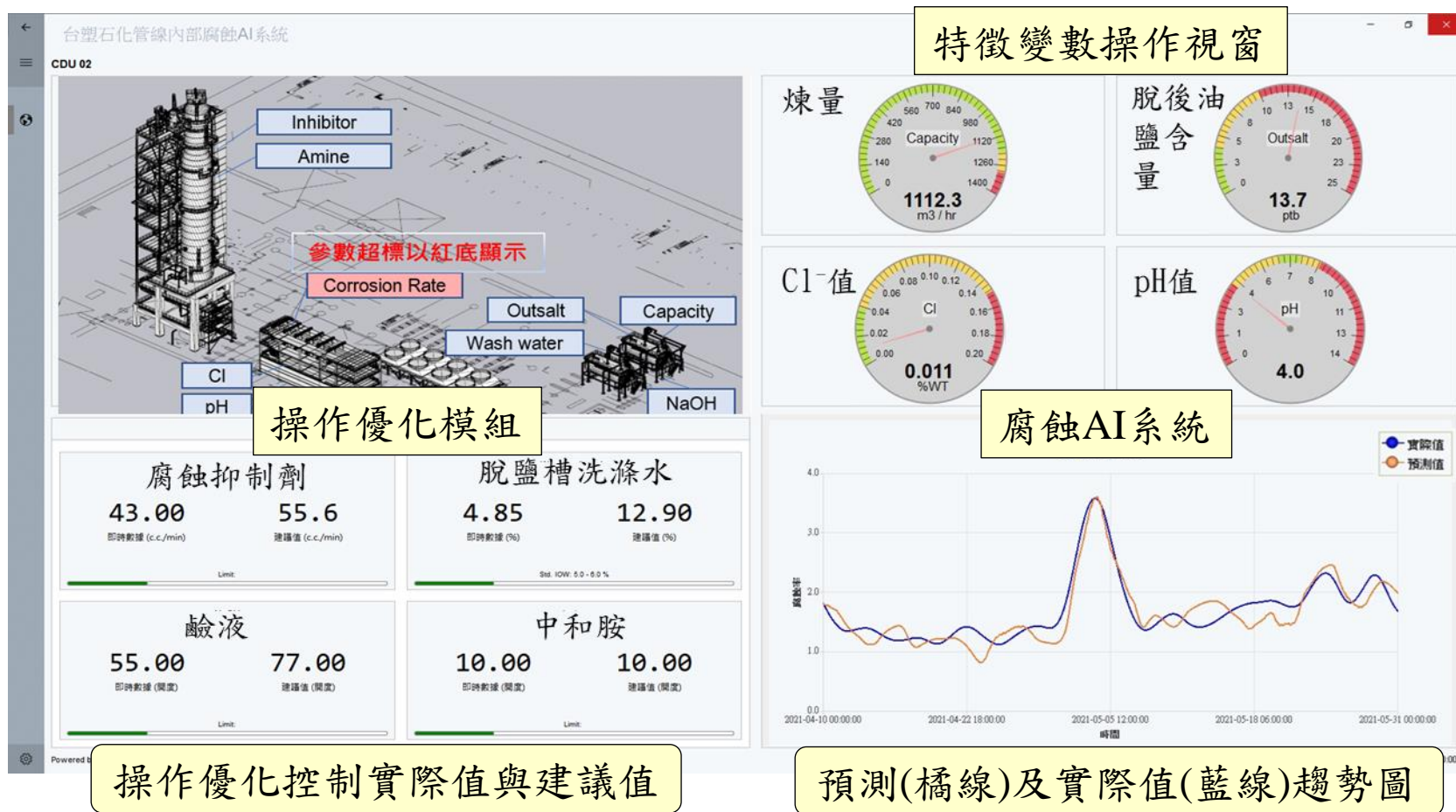
導入前	
脫後油鹽含量：13.7ptb	鹼液= 630c.c./min(55%)
pH:4	中和胺= 40c.c./min(10%)
煉量：1112NM ³ /hr	腐蝕抑制劑= 43c.c./min
Cl ⁻ ：0.011%WT	脫鹽槽洗滌水=4.85%

導入後	
脫後油鹽含量：1.5ptb	鹼液= 720c.c./min(80%)
pH:7.44	中和胺= 50c.c./min(15%)
煉量：1107NM ³ /hr	腐蝕抑制劑= 43c.c./min
Cl ⁻ ：0.0015%WT	脫鹽槽洗滌水=14.6%

資料蒐集
前處理資料探
索分析腐蝕AI
系統開發操作優化
模組開發腐蝕健康
度開發

上線應用

➤ 腐蝕AI系統及操作優化模組系統畫面如下：



資料蒐集
前處理

資料探
索分析

腐蝕AI
系統開發

操作優化
模組開發

腐蝕健康
度開發

上線應用

➤ **結論：**

1. 導入常壓蒸餾單元(CDU)【腐蝕AI系統】預測設備及管線腐蝕率，結合【操作優化模組】能有效進行腐蝕控制，除確保CDU設備及管線壽命及可靠度外，也讓煉油相關下游單元更穩定操作。
2. 目前【腐蝕AI系統及操作優化模組】建置於第二常壓蒸餾單元(CDU#2)，作業已完成。

➤ **後續推動事項：**

本案將持續精進及添購硬體設備，並於2022年12月推廣至第一常壓蒸餾單元(CDU#1)及第三常壓蒸餾單元(CDU#3)擴大效益。

報告完畢

恭請指導

附錄-專有名詞中英文對照表

英文名詞	英文全名	中文名稱	說明
CDU	Crude Distillation Unit	常壓蒸餾單元	將原油分餾出輕重不同之油品，燃氣、液化石油氣、輕油、煤油、柴油及重油
VDU	Vacuum Distillation Unit	真空蒸餾單元	將重油再分餾出真空製氣油與真空塔底油或柏油。
SLP	Sat. LPG Sweetening Unit	飽和液化石油氣甜化單元	去除液化石油氣中之硫化氫及硫醇。
LPF	Sat. LPG Fractionation Unit	飽和液化石油氣分離單元	脫臭後LPG分餾出丙烷、異丁烷、正丁烷。
KSW	Kerosene Sweetening Unit	煤油脫臭單元	去除煤油(航空燃油)中之硫化氫、硫醇水份、雜質。
LNS	Light Naphtha Sweetening Unit	輕質輕油脫臭單元	去除輕質輕油中之硫化氫及硫醇，用來當溶劑或摻配汽油。
NSU	Naphtha Splitter Unit	輕油分離單元	將粗輕油中分餾出重質輕油，其餘入常壓蒸餾單元的SGP段再行分餾。
DCU	Delay Coke Unit	延遲結焦單元	將真空塔底油熱裂解產製燃氣、液化石油氣、輕油、製氣油、石油焦等，提高重質油產值。
SRU	Sulfur Recovery Unit	硫磺回收單元	將胺液再生單元和酸水汽提單元產出之酸氣，經克勞斯硫磺回收技術製成硫磺
ARU	Amine Regeneration Unit	胺液再生單元	提供各單元貧胺液吸收硫化氫，回收富胺液汽提去除硫化氫再生。
SWS	Sour Water Stripper Unit	酸水汽提單元	回收全煉油廠酸水，去除硫化氫及氨氮含量後回收使用。

附錄-專有名詞中英文對照表

英文名詞	英文全名	中文名稱	說明
CCD	Corrosion Control Documents	腐蝕控制手冊	為包含製程單元簡介、腐蝕研究、腐蝕控制及維修改善記錄內容之文件
IOW	Integrity Operating Windows	完整性操作視窗	用來系統性管制製程操作條件以避免引發腐蝕劣化問題的方法指引
API	American Petroleum Institute	美國石油學會	為美國專門制定石油和天然氣業統一工作操作標準以確保設備安全運轉的協會。
API-570	Piping Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping Systems	管線檢測規範	特別針對石化煉油製程管線系統其檢測、維修及變更設計所制定的規範標準。
API-571	Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry	煉油業靜態設備損壞機制	彙整煉油工業管線設備常見之腐蝕破損機制、發生條件及其對應檢測監控方式等內容的說明文件。
API-574	Inspection Practices for Piping System Components	管線系統元件檢測實務	主要說明煉油及石化管線、閥件及管配件等其檢測流程、週期、技術及紀錄方式等相關內容之指引文件。
API-580	Risk-based Inspection	風險基準檢查	提供如何運用以風險為基準之系統架構來有效建立檢測計劃的指引文件。

附錄-專有名詞中英文對照表

英文名詞	英文全名	中文名稱	說明
API-581	Risk-based Inspection Methodology	風險基準檢查方法	示範如何運用RBI技術將有限檢測資源集中於高風險設備管線上以提昇檢測有效性之指引文件
API-584	Integrity Operating Windows	完整性操作視窗	用來系統性管制製程操作參數條件以避免引發腐蝕劣化問題之方法指引
API-970	Corrosion Control Documents	腐蝕控制手冊	為涵蓋製程單元簡介、腐蝕研究、腐蝕控制及維修改善記錄內容之文件
ER-Probes	Electrical Resistance Probes	電阻式感測器	量測電阻值轉換成腐蝕率的感測器，監測製程流體產生化學反應的腐蝕率。
Film-Amines	Film-Amines	腐蝕抑制劑	為長鍊的有機胺類，造成一個保護膜避免腐蝕因子接觸金屬母材腐蝕
B-spline	B-spline	平滑法	當資料跳動頻繁時，對原始數據做平滑與內插，以獲得穩定數據
LSTM	Long Short Term Memory	長短期記憶時間	有記憶系統的神經網路，學習長時間的腐蝕累積效應。
CNN	Convolutional Neural Networks	卷積神經網絡	萃取有效特徵變數資訊，濾除不必要的雜訊。
R2	Coefficient of determination	決定係數	預測值與實際值吻合的程度