

南亞塑膠工業股份有限公司

化工一部

2EH廠OXO單元操作條件優化

報告人：王錦良
2019年10月25日

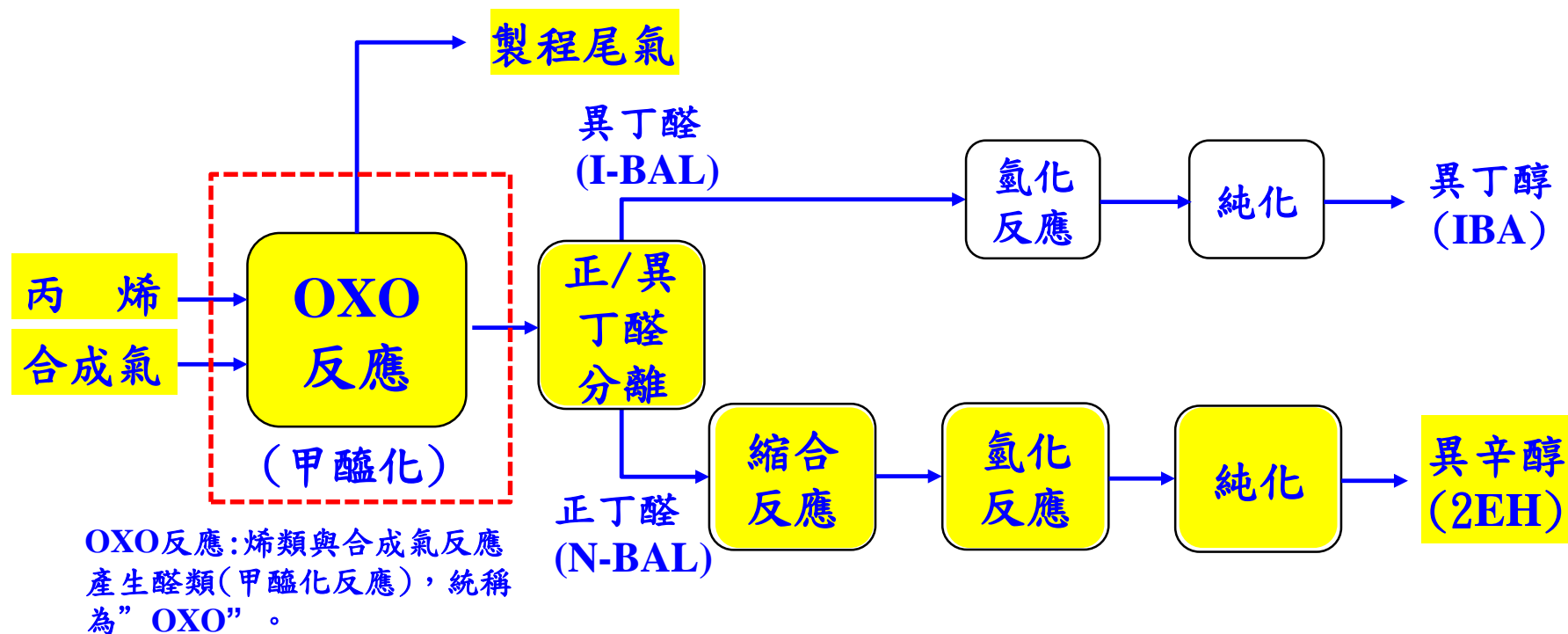
報告摘要

- 一、2012至2017年應用統計軟體及實驗計劃法，進行2EH製程OXO單元製程優化，降低原料單位用量，丙烯由602降至597公斤/噸(降低5公斤/噸)，合成氣由456降至431公斤/噸(降低25公斤/噸)，年效益112,723仟元。
- 二、2018年起應用AI演算法利用製程既有大量數據，建立可靠的製程單元模型，透過模型演算找出較佳操作條件，進一步降低原料及能源單耗等操作成本，年效益64,326仟元。
 - (一)OXO單元模型於2019/4/30建置上線完成，丙烯進一步降至595公斤/噸(降低2公斤/噸)，合成氣進一步降至427公斤/噸(降低4公斤/噸)，年效益31,330仟元。
 - (二)橫向展開至2EH製程其他4個單元，於2019/7/31建置上線完成，年效益32,996仟元。

報告內容

- 一、2EH製程說明
- 二、改善動機
- 三、AI模型開發歷程
- 四、製程調整與效益
- 五、橫向展開執行成果
- 六、後續工作

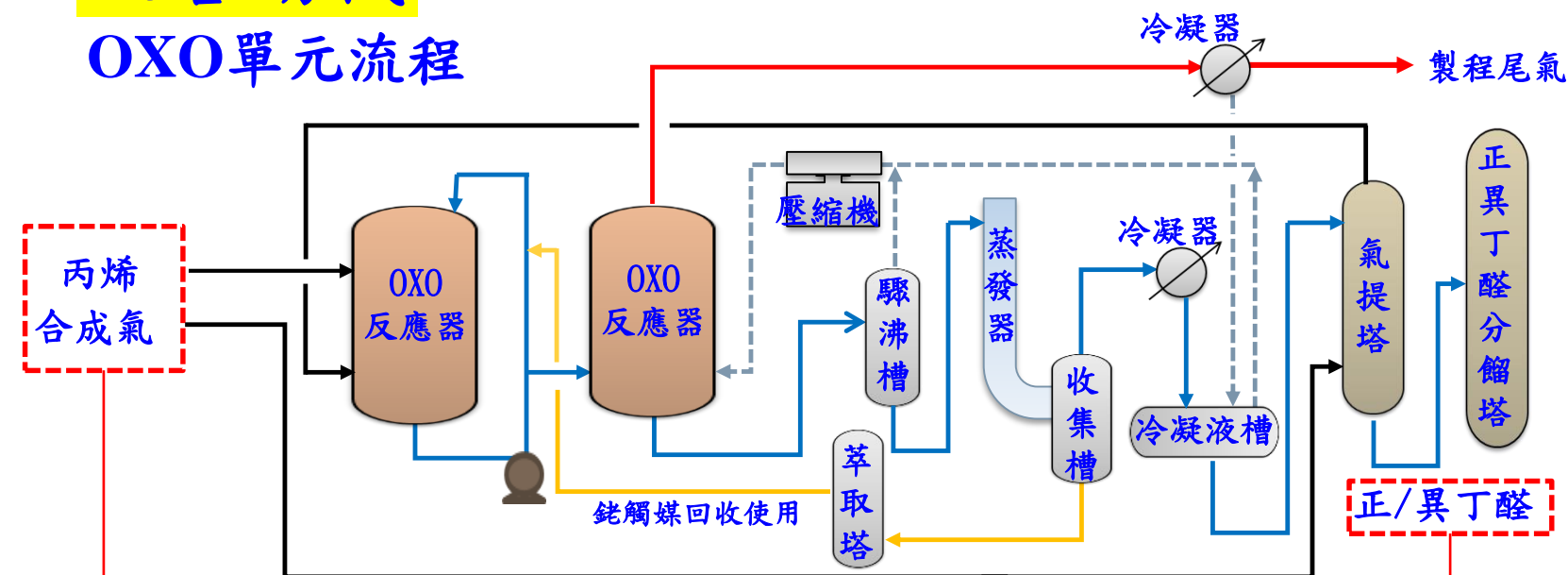
一、2EH製程說明



OXO反應過程中，製程尾氣含有少量的未反應丙烯及合成氣當重組爐燃料，為降低原料耗用量，優先開發OXO單元AI模型優化操作條件，提高原料轉化率及正丁醛選擇率。

二、改善動機

OXO單元流程



原料項目	單位用量(公斤/噸-丁醛)		
	2012年	2017年	目標
丙烯	602	597	593
合成氣	456	431	426

項目	2012年	2017年	目標
正/異丁醛比例(N/I比)	30	32	36

1. OXO單元改善重點為提升原料轉化率以降低丙烯及合成氣單位用量與提升正/異丁醛比例(N/I比)。
2. 提升原料轉化率，可能對正丁醛選擇率(N/I比)不利，故需建立N/I比品質預測模型與丙烯及合成氣單位用量預測模型，找出較佳操作條件。

三、AI模型開發歷程

執行重點

數據收集
與前處理

1. 收集OXO單元製程數據及人工取樣分析數據。
2. 將數據進行前處理，以提高模型準確度。

建立
品質及製程
預測模型

模型1：N/I比品質預測模型
模型2：丙烯單位用量預測模型
模型3：合成氣單位用量預測模型

開發操作條件
指引程式

設定關鍵變數之合理範圍，藉由電腦模擬不同操作條件組合，找出N/I比高且原料單位用量低的較佳操作條件。

模型上線
運用

藉著即時演算，將操作建議值呈現於即時生產管理系統(RTPMS)，提供盤控人員調整參考。

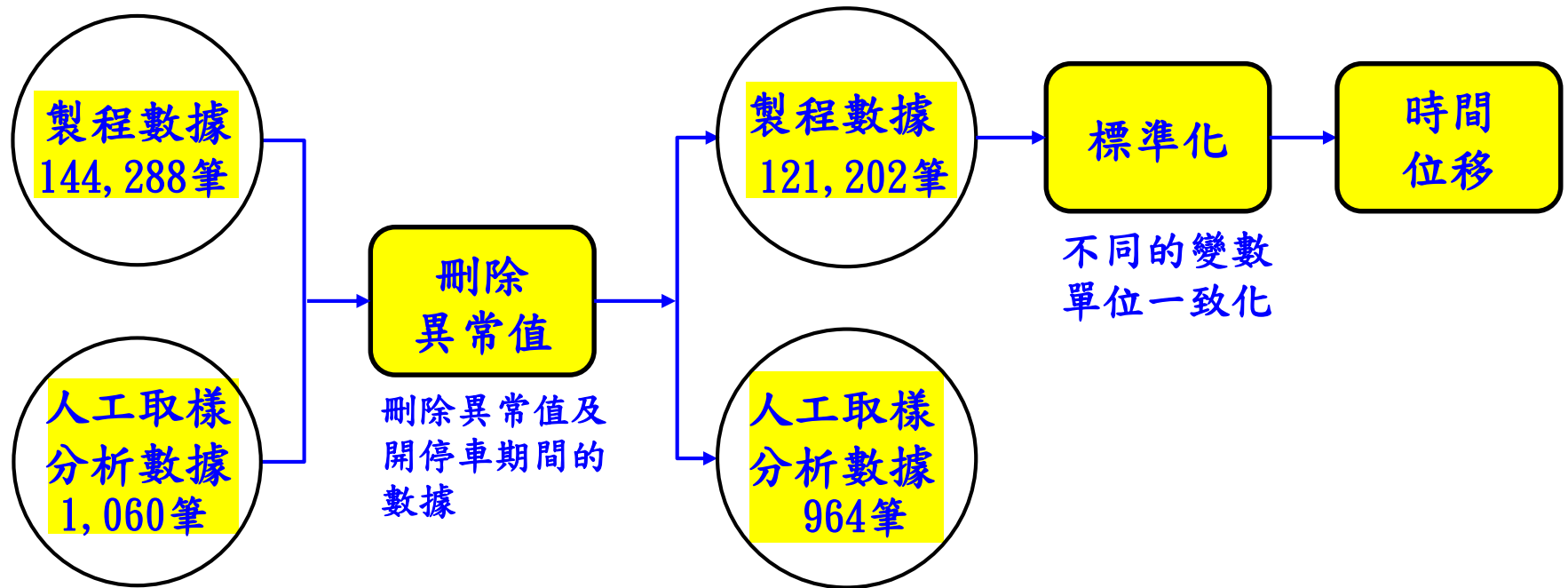
OXO單元模型開發彙總

項目 \ 模型	N/I比品質 預測模型	丙烯單位用量 預測模型	合成氣單位用量 預測模型
數據前處理	刪除異常值 標準化 時間位移	刪除異常值 標準化 時間位移	刪除異常值 標準化 時間位移
演算法	Lasso (套索迴歸)	Ridge (脊迴歸)	Ridge (脊迴歸)
MAPE (平均絕對誤差)	1.93%	1.15%	1.50%
RMSE (均方根誤差)	0.78	1.91	1.29
R ² (決定係數)	0.89	0.91	0.89
目標	提高N/I比由32↗36 (提升2EH產量)	降低丙烯單位用量 由597↘593公斤/噸	降低合成氣單位用量 由431↘426公斤/噸

OXO單元所建置的三個模型，分別使用Lasso和Ridge演算法進行建模，各模型之MAPE皆符合10%以內需求。

(一)數據收集與前處理

2016~2018年



1. 收集2016~2018年製程及人工取樣分析數據(N/I比)，經刪除異常值及開停車期間數據，將80%數據做建模使用，20%數據做驗證使用。
2. 製程數據因每個變數的單位數值大小不同，為避免數值大小差異影響模型準確度，以極小極大手法(MinMax scaler)進行標準化，讓數據在同一基準下進行建模，以提高模型準確度。
3. 在連續式製程中，當前段的操作條件發生變化時，一段時間後才影響後段製程，故依製程人員經驗將標準化後數據位移半小時。

(二) 建立品質及製程預測模型

模型1：N/I比品質預測模型



排名	製程變數	模型係數
1	FI-222-1.PV	3.055
2	TIC-249-7.PV	2.932
3	PIC-264-1.PV	-2.232
⋮	⋮	⋮
80	SI-X274-C1.PV	-0.002
81	TI-195-3.PV	-0.001
82	FI-201-1.PV	0.000
⋮	⋮	⋮
149	TIC-222-1.PV	0.000
150	PI-X274-1.PV	0.000

表示變數對N/I比影響程度

正值：與N/I比為正相關

負值：與N/I比為負相關

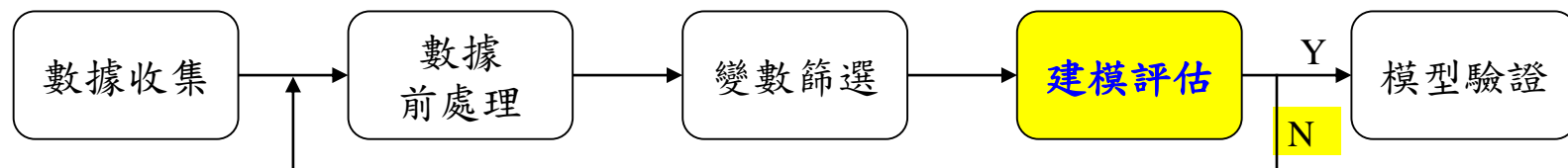
係數絕對值大：影響程度高

係數絕對值小：影響程度低

將模型係數為0之變數剔除

1. OXO單元製程變數多達150個，過去篩選重要變數大多依照操作經驗，缺乏資料科學基礎。
2. 利用Lasso演算法計算出的模型係數判斷變數對N/I比的影響程度，將模型係數為0之變數剔除，篩選出81個變數作為後續建模依據。

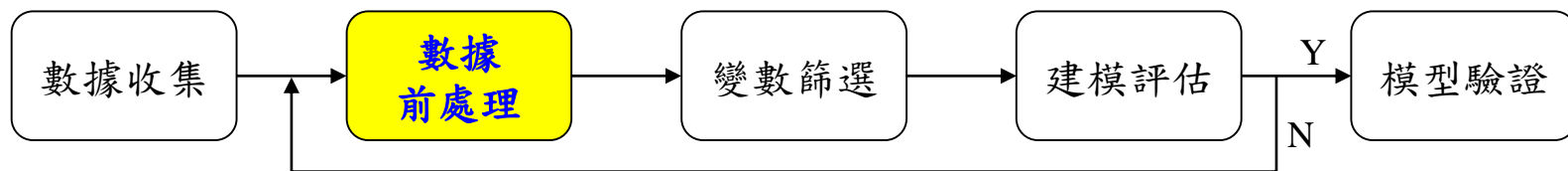
模型1：N/I比品質預測模型(續)



演算法	Lasso (套索迴歸)	Ridge (脊迴歸)	SVM (支援向量機)	XGBoost (極限梯度提升)
模型類別	線性	線性	非線性	非線性
MAPE (平均絕對誤差)	18.2%	19.6%	26.7%	23.1%
RMSE (均方根誤差)	2.38	2.51	2.74	2.69
R ² (決定係數)	0.55	0.48	0.32	0.41

1. 以4種演算法進行建模，MAPE均高達18%以上，無法符合10%以內需求。
2. 進一步與製程人員檢討，認為應是數據時間位移半小時與實際狀況不符，造成模型準確度不足。

模型1：N/I比品質預測模型(續)



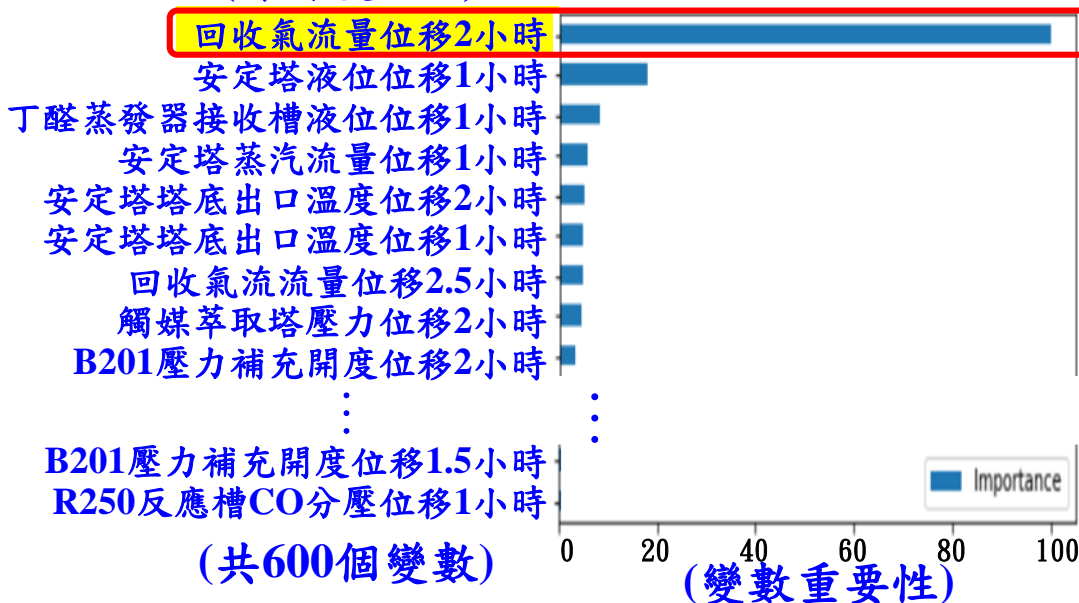
(操作變數X)

時間位移

操作變數

取代 X_n

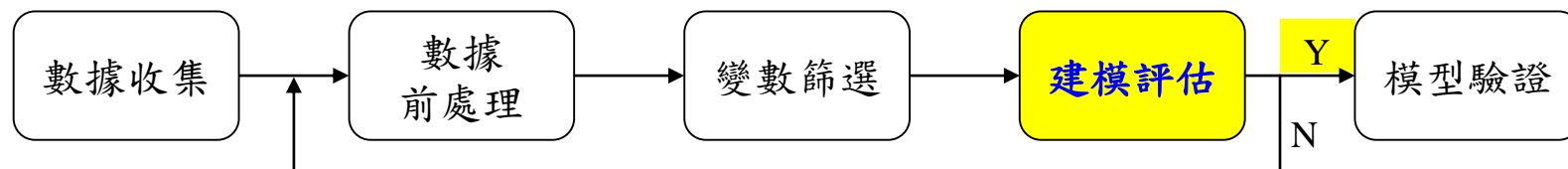
N/I比



Time	X_n	平移2小時 X_n	Y
08:00	X_1	X_b	
09:00	X_2	X_0	
10:00	X_3	X_1	y_1
11:00	X_4	X_2	
12:00	X_5	X_3	
13:00	X_6	X_4	

1. 將操作變數(150個)進行時間位移，分別延後1、1.5、2及2.5小時四個時段，整合為600個變數對N/I比預測，以梯度提升迴歸(GBR)演算法建立模型，找出較適當的位移時間。
2. 根據模型特性可排列出變數重要性，顯示回收氣流量位移兩小時重要性較高，其餘變數依其重要性進行對應的時間位移。
3. 依前述方式重新進行變數篩選，篩選出72個變數作為後續建模依據。

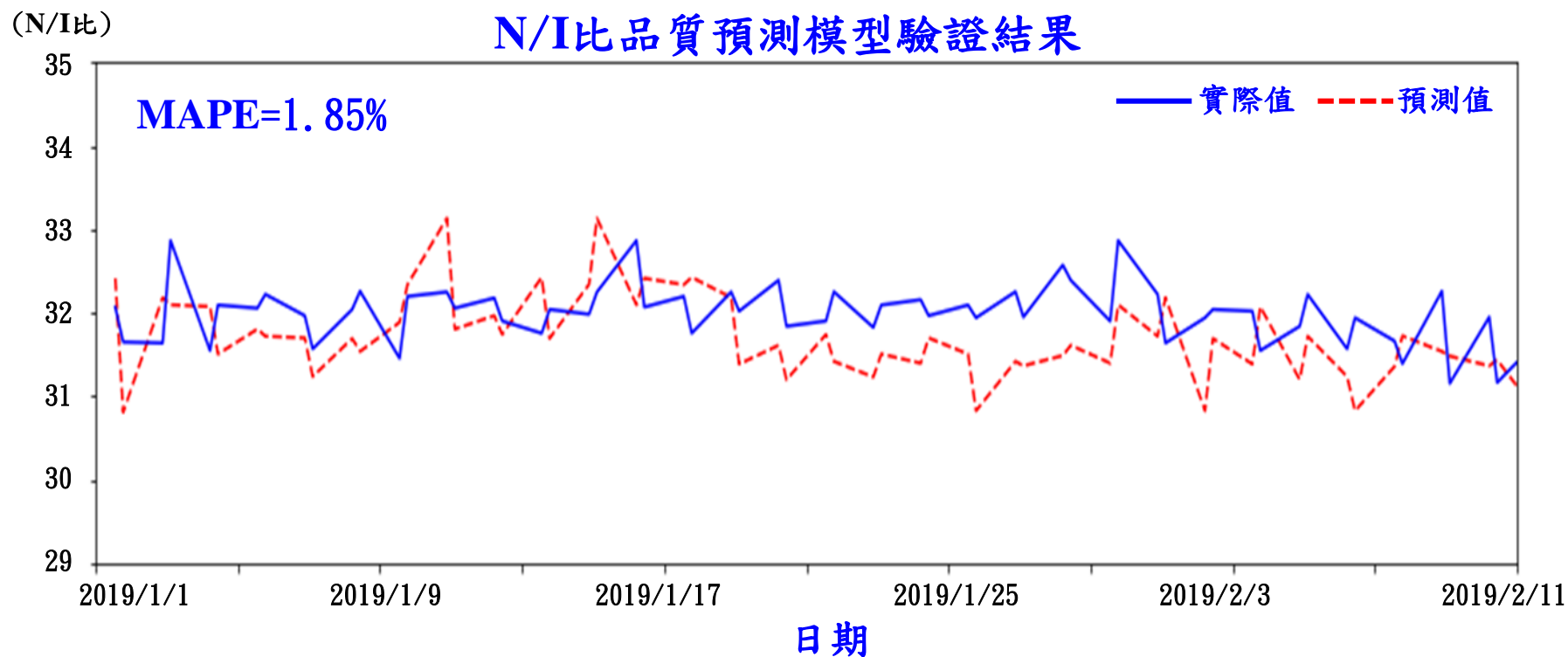
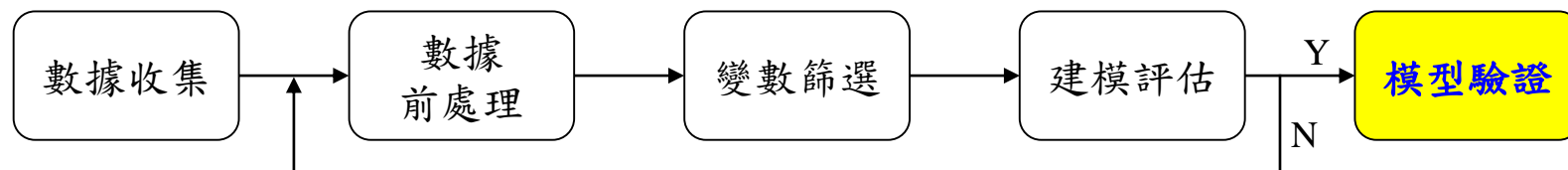
模型1：N/I比品質預測模型(續)



演算法	Lasso (套索迴歸)	Ridge (脊迴歸)	SVM (支援向量機)	XGBoost (極限梯度提升)
模型類別	線性	線性	非線性	非線性
MAPE (平均絕對誤差)	1.93%	1.96%	2.78%	2.39%
RMSE (均方根誤差)	0.78	0.79	1.04	0.85
R ² (決定係數)	0.89	0.82	0.73	0.78

再次進行建模，經評估 Lasso模型MAPE 1.93%與RMSE 0.78最低，R² 0.89最高，故選定Lasso模型進行驗證。

模型1：N/I比品質預測模型(續)



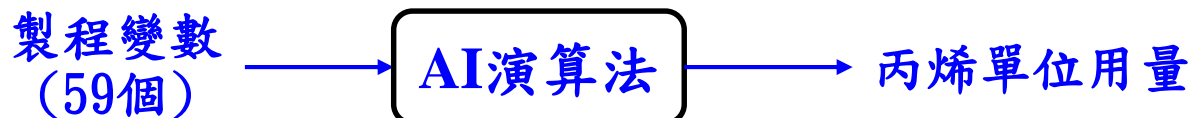
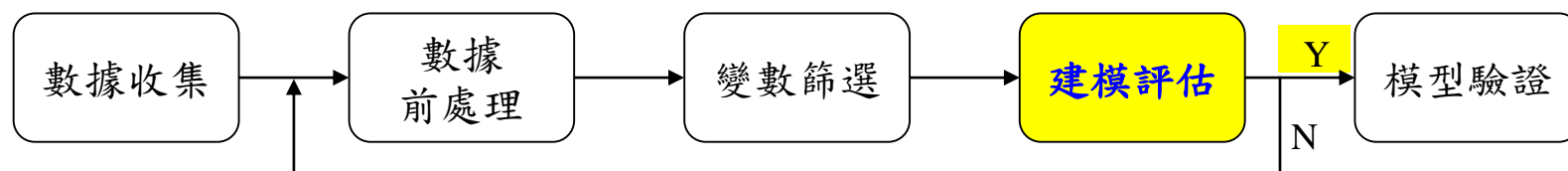
採用2019年1、2月的人工取樣分析數據(共84筆)進行Lasso模型驗證，MAPE為1.85%，與建模時誤差1.93%相當。

模型2：丙烯單位用量預測模型



1. 此模型同樣以GBR手法計算位移時間，各變數依其重要性進行對應的時間位移。
2. 第一階段利用Lasso迴歸演算法篩選變數，製程預測模型變數由150\83個(品質預測模型為72個)。
3. 第二階段依化工製程原理檢討，選定59個變數，作為建模的依據。

模型2：丙烯單位用量預測模型(續)

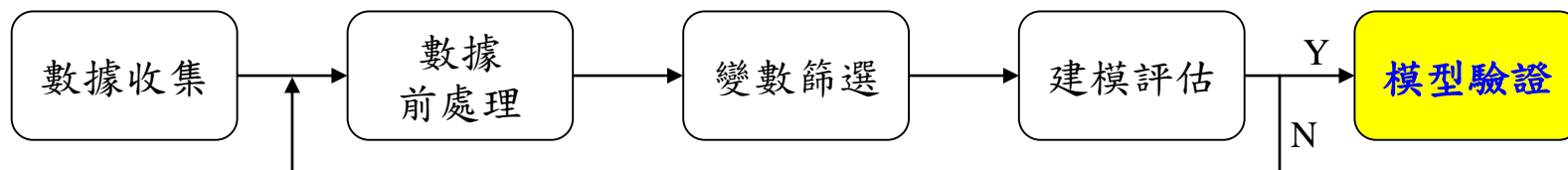


丙烯單位用量建模結果

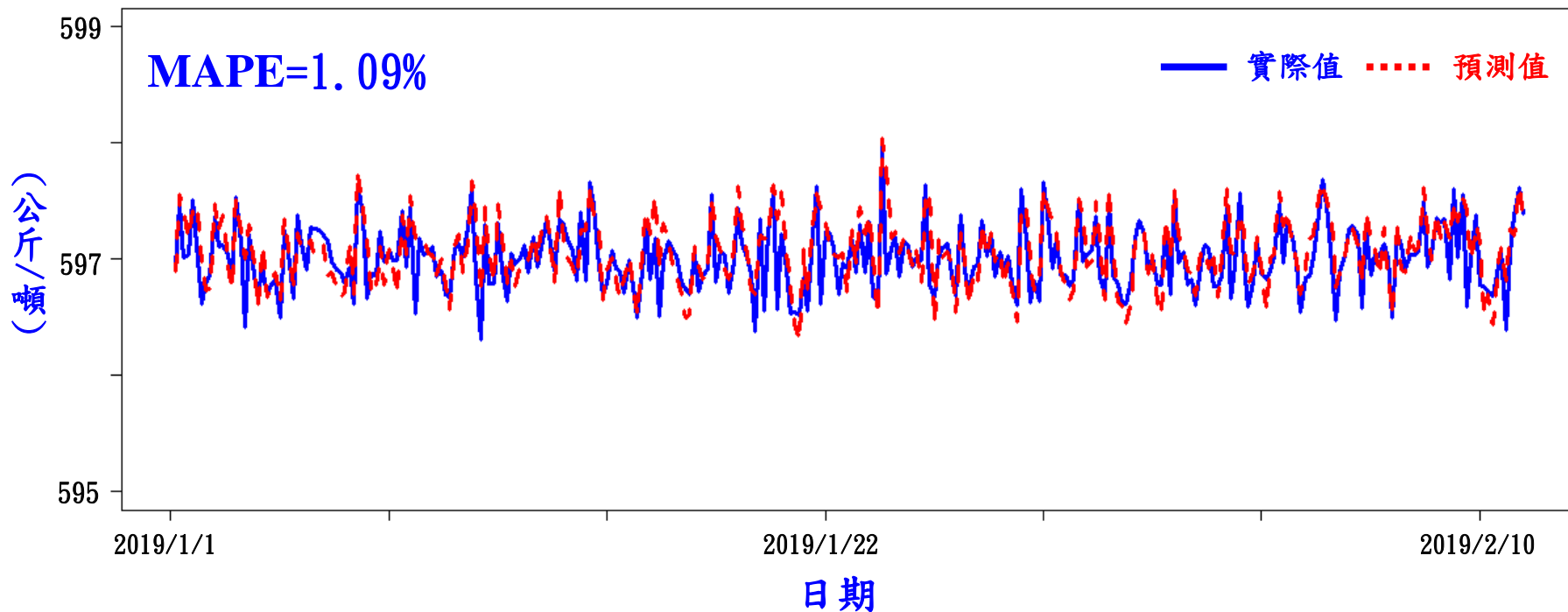
演算法	Lasso (套索迴歸)	Ridge (脊迴歸)	SVM (支援向量機)	XGBoost (極限梯度提升)
模型類別	線性	線性	非線性	非線性
MAPE (平均絕對誤差)	1.50%	1.15%	1.84%	1.26%
RMSE (均方根誤差)	2.04	1.91	2.15	1.97
R ² (決定係數)	0.88	0.91	0.87	0.90

經評估 Ridge 模型MAPE 1.15%與RMSE 1.91最低，R² 0.91最高，故選定Ridge模型進行驗證。

模型2：丙烯單位用量預測模型(續)

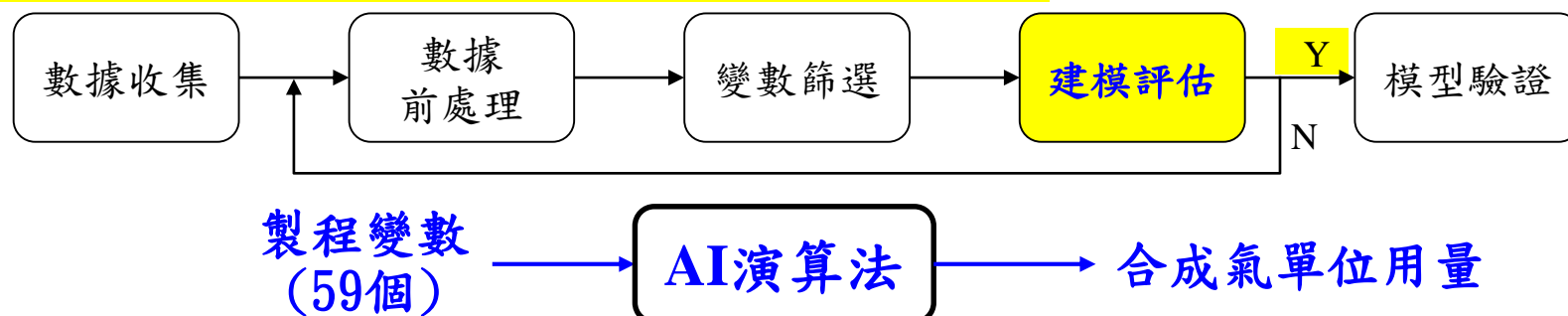


丙烯單位用量模型驗證結果



採用2019年1、2月的數據(共4,263筆)進行Ridge模型驗證，MAPE為1.09%，與建模時誤差1.15%相當。

模型3：合成氣單位用量預測模型

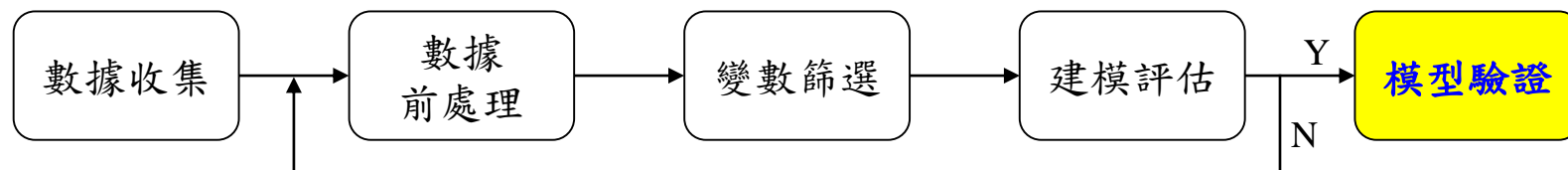


合成氣單位用量建模結果

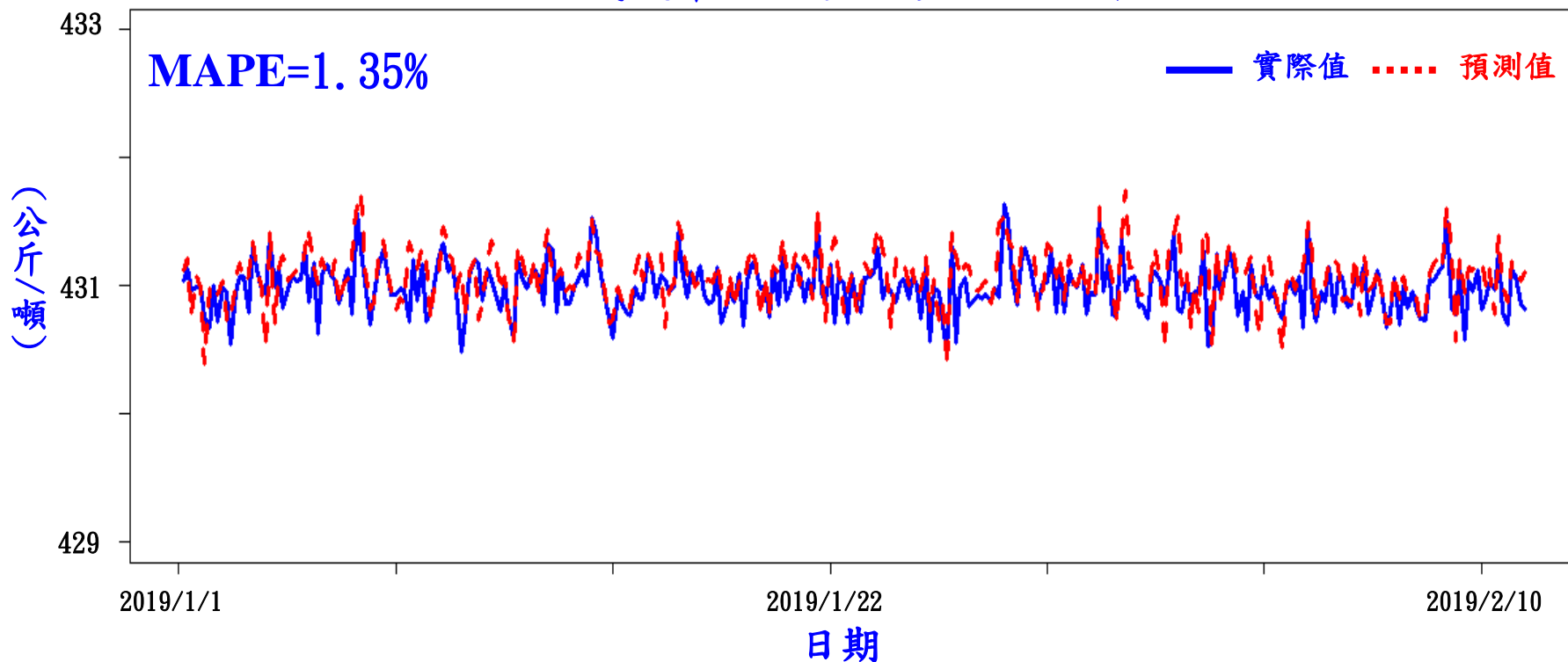
演算法	Lasso (套索迴歸)	Ridge (脊迴歸)	SVM (支援向量機)	XGBoost (極限梯度提升)
模型類別	線性	線性	非線性	非線性
MAPE (平均絕對誤差)	1.95%	1.50%	2.39%	1.64%
RMSE (均方根誤差)	2.32	1.29	2.48	2.33
R ² (決定係數)	0.82	0.89	0.73	0.84

1. 合成氣單位用量預測模型比照丙烯單位用量預測模型之作法，各變數依其重要性進行對應的時間位移，並篩選出59個變數。
2. 經評估Ridge模型MAPE 1.50%及RMSE 1.29最低，R² 0.89最高，故選定Ridge模型進行驗證。

模型3：合成氣單位用量預測模型(續)



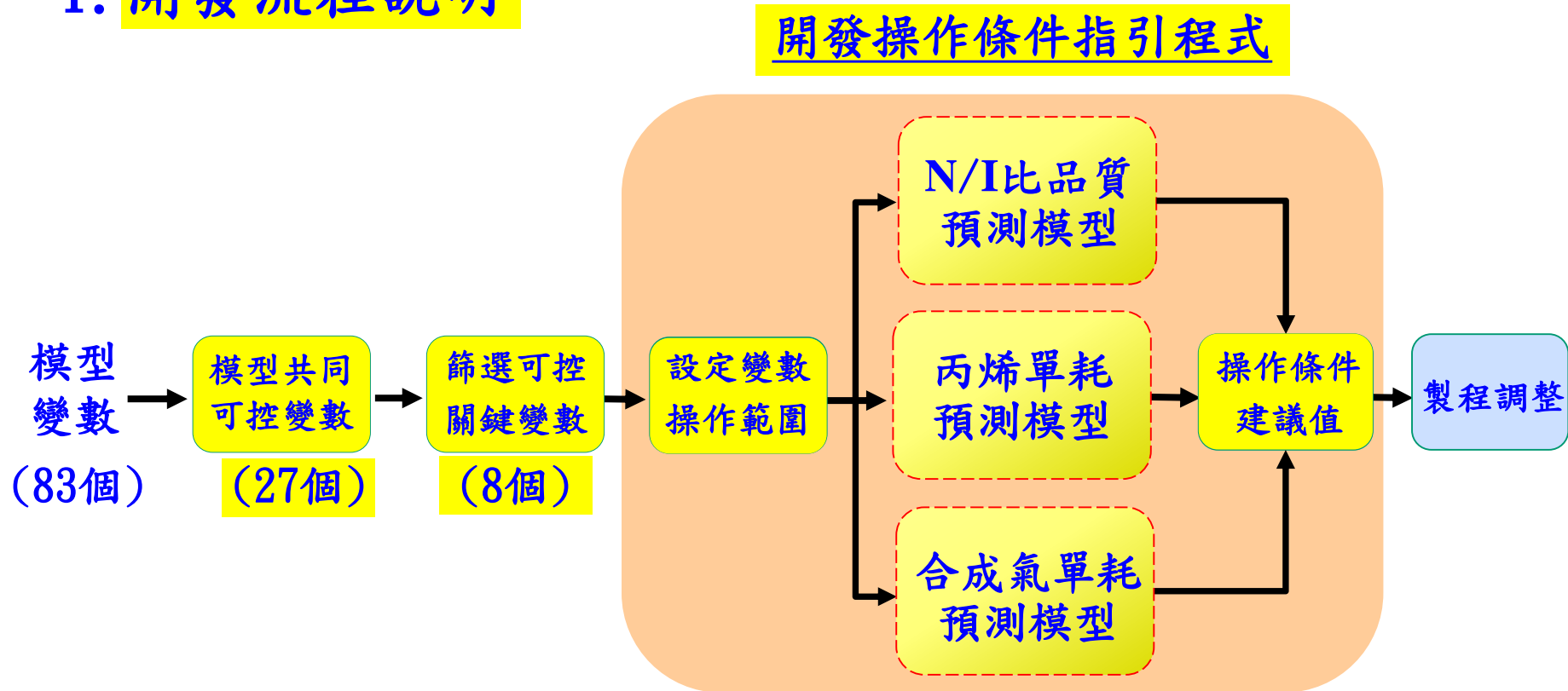
合成氣單位用量模型驗證結果



同樣採用Ridge模型，並以2019年1、2月的數據(共4,263筆)進行驗證，MAPE為1.35%，與建模時誤差1.50%相當。

(三) 開發操作條件指引程式

1. 開發流程說明



1. 為找出N/I比高且原料單位用量低的操作條件，須進一步以Python程式語言開發操作條件指引程式。
2. 從3個模型篩選出27個共同可控變數，再選出8個可控關鍵變數，設定變數可操作範圍，藉由電腦模擬不同操作條件組合後，自動帶入預測模型計算，找出較佳操作條件建議值。

2. 篩選可控關鍵變數

項次	N/I比 模型係數	丙烯 模型係數	合成氣 模型係數	TAG編號	中文說明
1	0.3731	0.7438	0.5621	PIC-249-5B.PV	R249壓力(第一反應槽)
2	0.2831	-0.1998	-0.1102	TIC-250-1.PV	R250溫度
3	0.0229	0.3897	0.4287	FIC-245-1.OP	C245觸媒萃取塔出料閥開度
4	0.0830	0.0719	0.0832	FFI-234-2.PV	觸媒回流比
5	-0.0223	0.0169	0.0132	PIC-263-1.PV	R250壓力(第二反應槽)
6	0.0108	-0.0166	-0.0143	LIC-250-1.PV	R250液位
7	0.0132	0.0116	0.0110	TIC-249-7.PV	R249溫度
8	-0.0128	-0.0147	-0.0112	FIC-234-1.OP	V265觸媒接收槽回流閥開度
9	0.0035	0.0049	0.0038	TIC-220-1.PV	C203進料溫
10	-0.0044	-0.0037	-0.0023	FIC-235-1.PV	除霧器下洗量
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
26	0.0003	0.0005	0.0003	FIC-234-1.PV	含觸媒丁醛回流量
27	0.0003	0.0003	-0.0002	LIC-245-2.PV	C245液位

1. 從驗證完成之3個預測模型中，找出同時影響N/I比與丙烯及合成氣單位用量之27個可控變數。
2. 檢視模型係數，排前8名可控變數影響程度較高，且為避免一次調整過多變數影響製程穩定度，檢討後選前8名作為關鍵變數上線調整。

3. 設定合理操作區間及預測目標值

控制變數			條件設定		
			操作範圍	調整間距	操作點
1	R250壓力(第二反應槽)	Kg/cm ² g	10.4 ~ 11.2	0.2	5個
2	R250溫度	℃	70.0 ~ 73.0	0.3	11個
3	C245觸媒萃取塔出料閥開度	%	8.0 ~ 12.0	1.0	5個
4	R250液位	%	78.0 ~ 83.0	1.0	6個
5	R249壓力(第一反應槽)	Kg/cm ² g	11.0 ~ 12.0	0.2	6個
6	V265觸媒接收槽回流閥開度	%	10.0 ~ 75.0	5.0	14個
7	R249溫度	℃	70.0 ~ 73.0	0.3	11個
8	觸媒回流比	—	3.8 ~ 4.6	0.2	5個
目標值	N/I比	—	極大化(望大)		
	丙烯單位用量	公斤/噸	極小化(望小)		
	合成氣單位用量	公斤/噸	極小化(望小)		

1. 設定8個可控關鍵變數操作範圍及調整區間，共有762萬種操作條件組合。
2. 設定3個模型之目標值，N/I比為極大化(望大)，丙烯及合成氣單位用量為極小化(望小)。

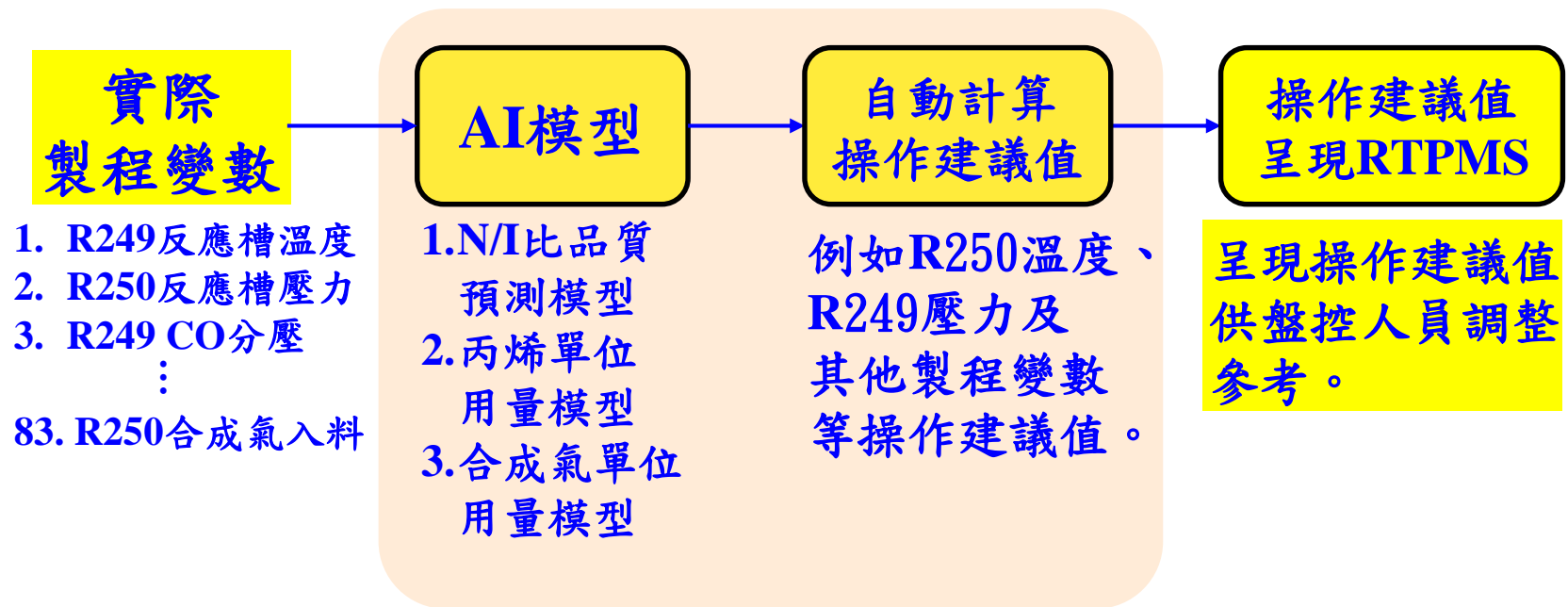
4. 找出較佳操作條件

模型名稱			N/I比	丙烯 單位用量 (公斤/噸)	合成氣 單位用量 (公斤/噸)	模型計算 較佳條件
項次	控制變數	單位	調整方向			
1	R250壓力(第二反應槽)	Kg/cm ² g	↗	↘	↘	10.6
2	R250溫度	℃	↘	↗	↗	71.2
3	C245觸媒萃取塔出料閥開度	%	↘	↘	↘	8.0
4	R250液位	%	↗	↗	↗	83.0
5	R249壓力(第一反應槽)	Kg/cm ² g	↘	↘	↘	11.0
6	V265觸媒接收槽回流閥開度	%	↗	↗	↗	75.0
7	R249溫度	℃	↘	↘	↗	70.9
8	觸媒回流比	—	↘	↘	↘	3.8
9	目標值	—	36	593	426	—

1. 程式自動將762萬種操作組合帶入3個預測模型中計算，並取得一組N/I比最高且丙烯及合成氣單位用量最低的操作條件。
2. 導入製程調整前需進行變更管理(MOC)，並檢討其合理性及適用性，避免造成製程異常。

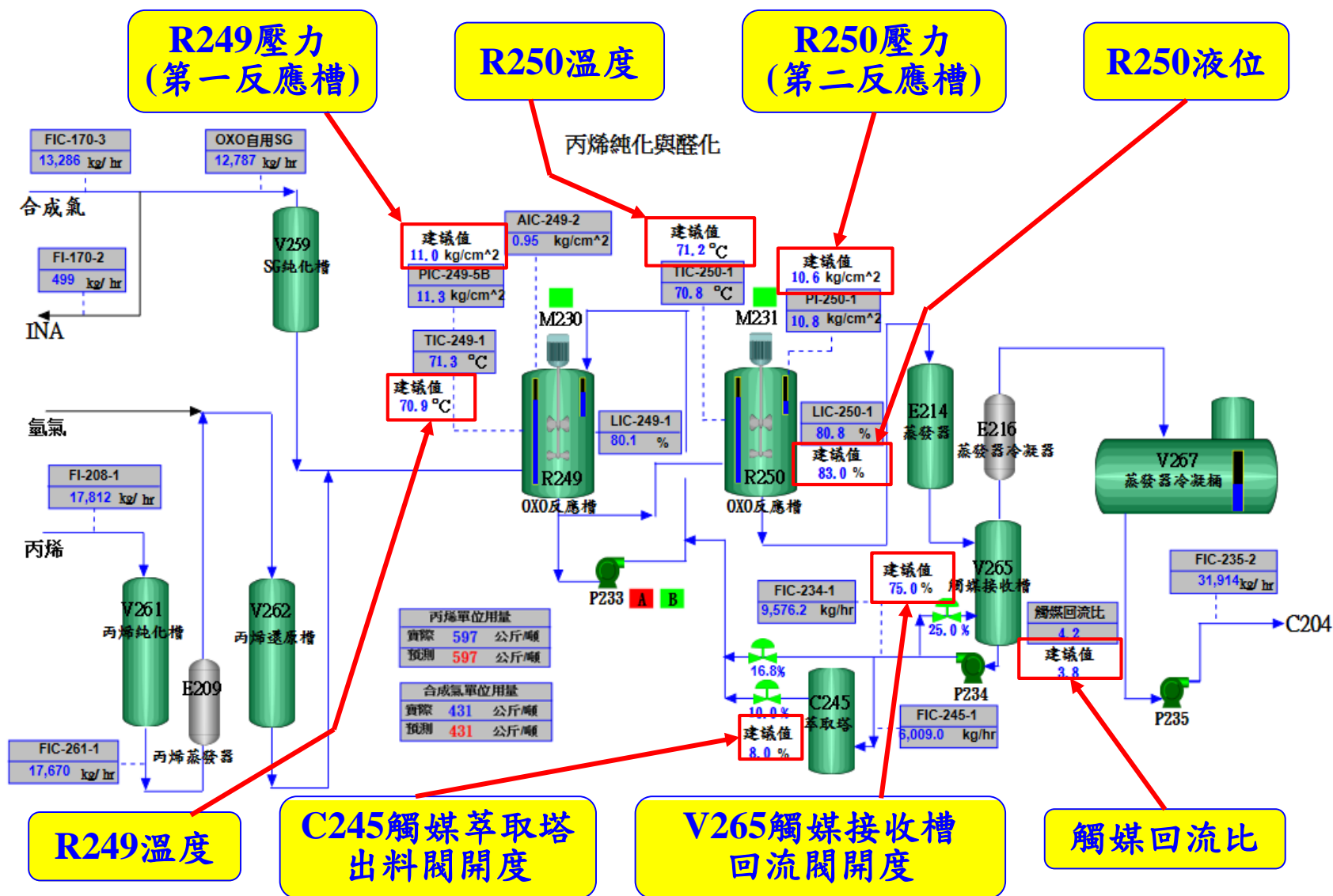
(四) 模型上線運用

伺服器運算平台



1. 將實際製程變數傳至AI模型，可自動計算出操作建議值，並呈現至即時生產管理系統(RTPMS)。
2. 盤控人員參考模型計算出的操作建議值進行評估並調整。

(四)模型上線運用(續)



將預測模型操作建議值呈現於RTPMS畫面，即時提供盤控人員調整參考，後續規劃呈現於DCS畫面上。

四、製程調整與效益

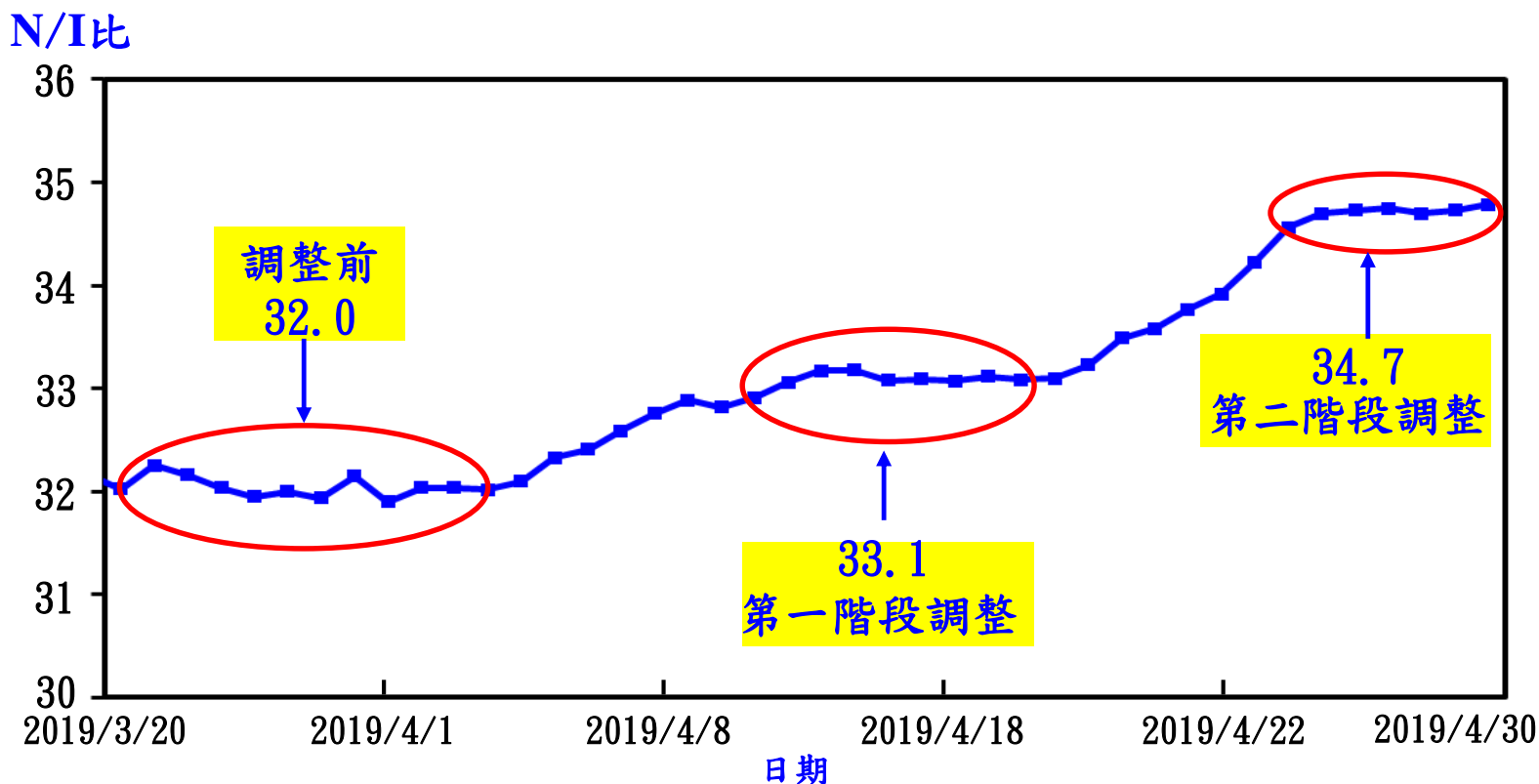
(一) 經篩選影響N/I比及原料單位用量最大的操作變數共8個，為驗證模型演算建議較佳操作條件的可靠度要上線調整，為避免一次調整過多變數影響製程穩定，分兩階段調整。

代號	操作變數	單位	調整前	較佳操作條件	調整規劃
X ₁	R250壓力(第二反應槽)	kg/cm ² g	10.8	10.6	第一階段 (4/1~4/18)
X ₂	R250溫度	℃	70.8	71.2	
X ₃	C245觸媒萃取塔出料閥開度	%	10.0	8.0	
X ₄	R250液位	%	80.8	83.0	
X ₅	R249壓力(第一反應槽)	kg/cm ² g	11.3	11.0	第二階段 (4/18~4/30)
X ₆	V265觸媒接收槽回流閥開度	%	25.0	75.0	
X ₇	R249溫度	℃	71.3	70.9	
X ₈	觸媒回流比	—	4.2	3.8	

(二) 調整前後比較

代號	可控關鍵變數	單位	調整後 (A)	目標 (B)	調整前 (C)	比目標 (A比B)	比調整前 (A比C)
X ₁	R250壓力 (第二反應槽)	kg/cm ² g	10.6	10.6	10.8	-	-0.2
X ₂	R250溫度	℃	71.2	71.2	70.8	-	0.4
X ₃	C245觸媒萃取塔 出料閥開度	%	8.0	8.0	10.0	-	-2.0
X ₄	R250液位	%	83.0	83.0	80.8	-	2.2
X ₅	R249壓力 (第一反應槽)	kg/cm ² g	11.0	11.0	11.3	-	-0.3
X ₆	V265觸媒接收槽 回流閥開度	%	75.0	75.0	25.0	-	50.0
X ₇	R249溫度	℃	70.9	70.9	71.3	-	-0.4
X ₈	觸媒回流比	-	3.8	3.8	4.2	-	-0.4
Y ₁	N/I比	-	34.7	36.0	32.0	-1.3	2.7
Y ₂	丙烯單位用量	公斤/噸	595.0	593.0	597.0	-2.0	2.0
Y ₃	合成氣單位用量	公斤/噸	427.0	426.0	431.0	-1.0	4.0

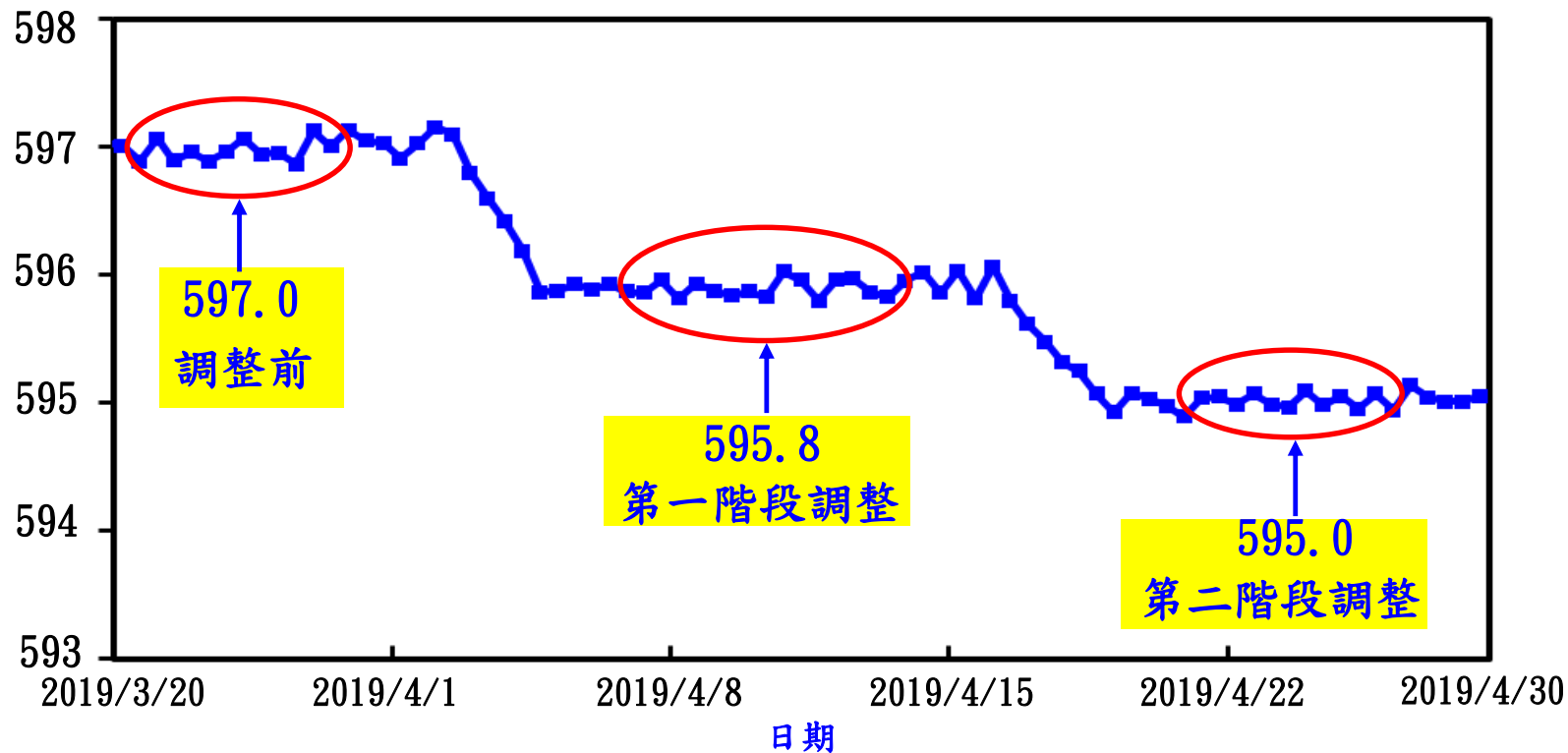
(三)調整成效-N/I比趨勢圖



1. 第一階段調整後N/I比由32.0上升至33.1。
2. 第二階段調整後N/I比由33.1上升至34.7。
3. 正丁醛選擇率(N/I比)提升，2EH產量增加460噸/年，年效益4,481仟元。

(三)調整成效-丙烯單位用量趨勢圖

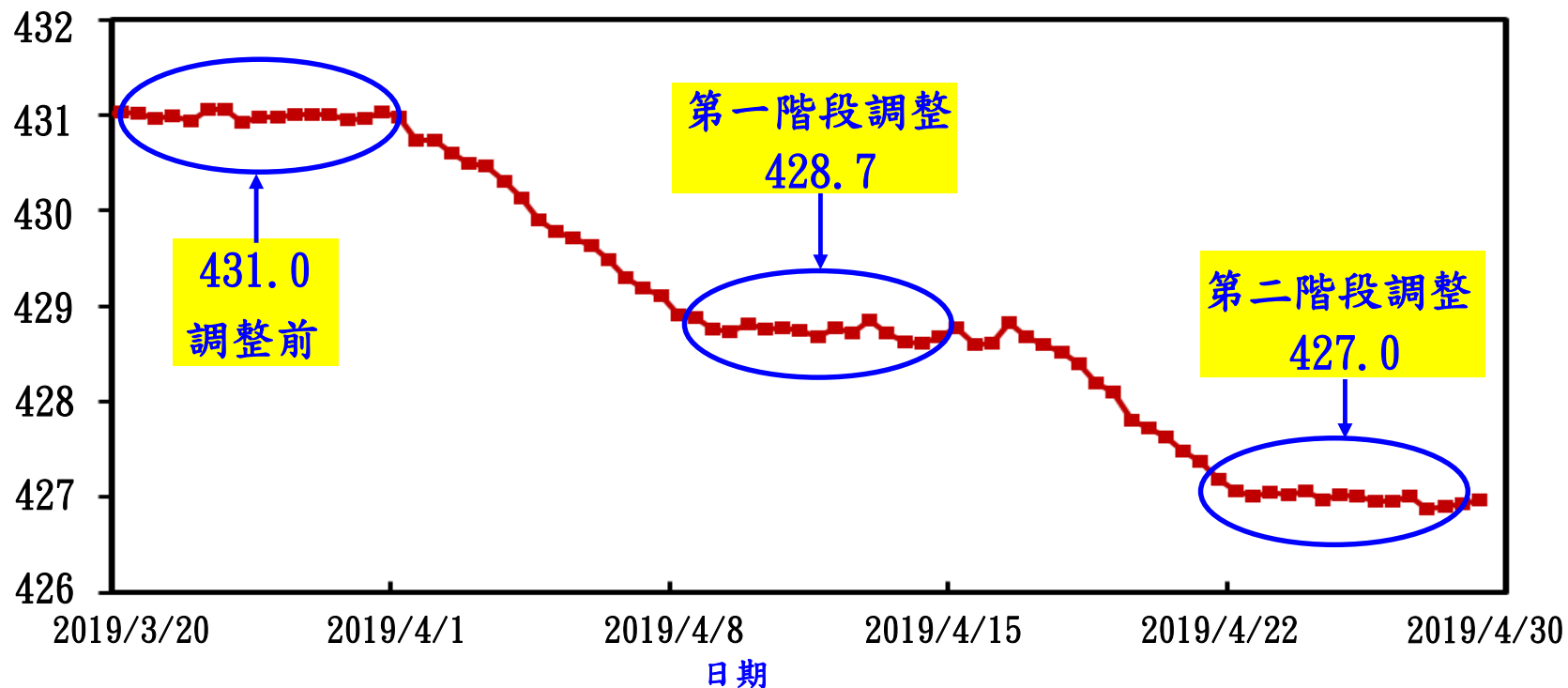
丙烯單位用量
(公斤/噸)



1. 第一階段調整後丙烯單位用量由597.0降至595.8公斤/噸。
2. 第二階段調整後丙烯單位用量由595.8降至595.0公斤/噸。
3. 合計丙烯單位用量由597.0降至595.0公斤/噸，年效益14,689仟元。

(三) 調整成效-合成氣單位用量趨勢圖

合成氣單位用量
(公斤/噸)

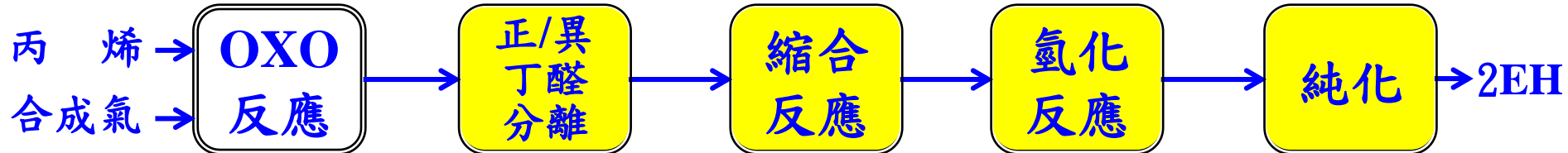


1. 第一階段調整後合成氣單位用量由431.0降至428.7公斤/噸。
2. 第二階段調整後合成氣單位用量由428.7降至427.0公斤/噸。
3. 合計合成氣單位用量由431.0降至427.0公斤/噸，年效益12,160仟元。

OXO單元提升N/I比及降低原料單位用量合計年效益31,330仟元。

五、橫向展開執行成果

(一)橫向展開之動機



單元 類型	OXO反應	正/異丁醛 分離	縮合反應	氫化反應	純化
改善 目標	1. N/I比由32 提升36 2. 降低丙烯單位 用量4公斤/噸 3. 降低合成氣 單位用量 5公斤/噸	1. 正丁醛純度 99.6%↗99.7% 2. 降低蒸汽用量 0.60噸/時	1. 正丁醛/EPA 單位用量由 1.208↘ 1.202噸/噸 2. 降低蒸汽用量 0.10噸/時	1. 降低副產物 發生20 kg/hr 2. 降低用電量 30度/時	2EHB/C發生量 降低，增加2EH 產量240噸/年

2EH製程分為5個單元，將OXO單元應用數據處理及演算法之經驗橫向展開至其他4個單元，針對各單元降低原料單耗、能耗等改善目標，分別建立品質及製程預測模型，找出較佳操作條件。

(二) 2EH製程各單元模型建置成果

單元	模型	變數	演算法	MAPE	完成日
OXO反應	N/I比品質預測模型	72個	Lasso	1.93%	2019/4/30
	丙烯單位用量預測模型	59個	Ridge	1.15%	
	合成氣單位用量預測模型	59個	Ridge	1.50%	
正/異丁醛分離	正丁醛純度預測模型	20個	Ridge	0.9%	2019/5/25
縮合反應	正丁醛單位用量預測模型	14個	XGBoost	1.5%	2019/6/25
氫化反應	反應槽熱點溫度預測模型	19個	Ridge	0.6%	2019/7/10
純化	2EH中重質物含量預測模型	18個	Ridge	4.7%	2019/7/31

(三) 2EH製程其他4個單元AI執行成效

單元 類型	正/異丁醛分離	縮合反應	氫化反應	純化
操作調整	1. 回流量由 95↘87噸/時 2. 塔底溫度由 94.7↘94.0℃ 3. 回流溫度由 50↗52℃	1. 正丁醛預熱溫度由114↘113℃ 2. 觸媒氫氧化鈉用量由220↘210 kg/hr	1. 輕質物塔中 2EH回煉量由 1,000↗1,200 kg/hr 2. 重質物塔中 2EH回煉量由 650↗700 kg/hr	1. 回流量由18.2↗18.8噸/時 2. 回流溫度由 99↗99.5℃
改善成效	1. 正丁醛純度 99.6%↗99.7% 2. 降低蒸汽用量 0.55噸/時	1. 正丁醛/EPA 單位用量由 1.208↘1.199 噸/噸 2. 降低蒸汽用量 0.10噸/時	1. 降低副產物發生10 kg/hr 2. 降低用電量 28度/時	2EHB/C發生量降低，增加2EH產量216噸/年
年效益 (仟元)	4,644	18,477	3,107	6,768
合計	32,996			

六、後續工作

- (一)OXO單元雖透過模型找出較佳操作條件，但丙烯及合成氣單位用量與N/I比仍未達目標，安排定檢進行反應槽反應效率提升改善(提升攪拌機轉速)，12月開車後收集數據及修正模型，預定2020年3月進行後續調整。
- (二)OXO單元操作建議值已上線至即時生產管理系統(RTPMS)，目前僅供盤控人員作調整參考，未來目標直接顯示至DCS並做自動控制，其他4個單元亦比照OXO單元之作法。
- (三)SG製程優化後，合成氣產量達13.9噸/時(103.8%)，為進一步增加合成氣產量降低生產成本，比照2EH製程將SG製程分為5個單元，分別建立品質及製程預測模型，目標增加合成氣產量0.8噸/時及降低蒸汽用量0.5噸/時，年效益37,723仟元，預定2020年9月建置上線完成。

報告完畢

恭請指導