

南亞塑膠工業股份有限公司  
塑膠第三事業部

硬管重量管制率製程優化

報告人：丁誌儀  
2022年5月24日

# 執行摘要

- 一、硬管製程以重量管制率(硬管實際重量與最小厚度之重量比值)作為原料成本管制標準，以最小厚度換算，最佳狀況是100%；廠探討如何降低重量管制率(降低成品厚度)，以降低用料成本，經設備及製程改善後，重量管制率由103.04%降至102.46%，因人工無法隨時調整成品厚度，難再有效降低。
- 二、重量管制率由人工調整遇到瓶頸，擬導入AI做智慧控制，由製程生產經驗及統計手法將硬管32項製程變數，篩選出引取機、供料機及押出機轉速3項關鍵變數，並開發AI重量管制率預測模型，找出製程最佳條件，進行生產線即時智慧控制，取代人工調整，有效降低重量管制率。
- 三、專案目標：降低小口徑重量管制率0.6%，由102.46%降至101.86%。
- 四、投資費用:23,200千元  
硬管小口徑改善後追蹤至2021年，重量管制率由102.46%降至102.19%，降低0.27%，減少用料11.54噸/月，年效益5,568千元，回收年限：4.1年。  
持續優化小口徑重量管制率由102.19%降至目標101.86%，預估年效益6,753千元；並橫向展開至硬管中、大口徑，預估年效益11,577千元。

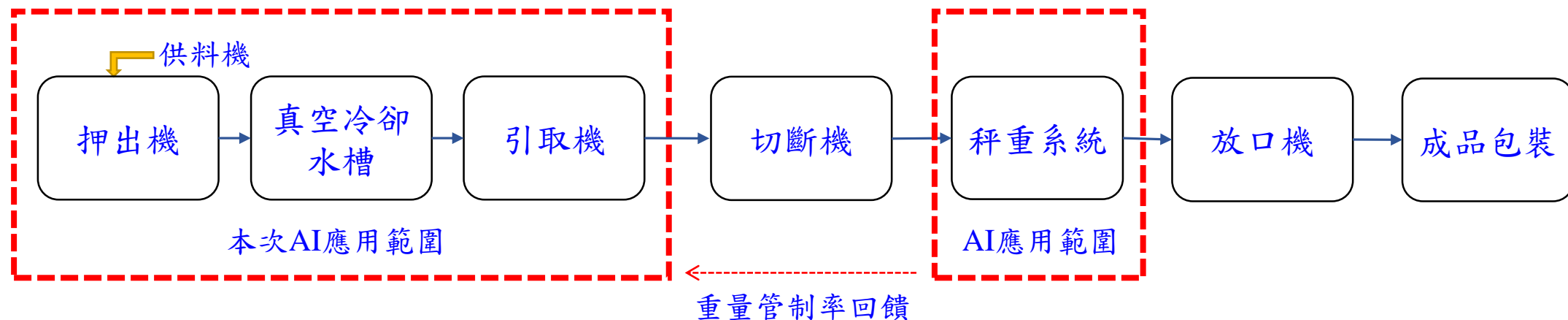
# 報告內容

- 一、硬管製程說明
- 二、改善動機
- 三、AI模型開發歷程
- 四、上線應用
- 五、執行成果與效益
- 六、後續工作規劃

# 一、製程說明

## (一)硬管製造流程：

1. 押出機將原料混煉膠化後擠出模具，經過真空冷卻水槽冷卻成型。
2. 引取機以馬達傳動履帶引導管子前進，切斷機依規格長度裁切成品。
3. 成品秤重後，放口機將成品端口加熱放口，並進行包裝。



## (二)成品重要指標：包括成本指標為重量管制率，品質指標為厚度。

成本指標	管制標準
重量管制率	100%~105% (1,137g~1,194g)

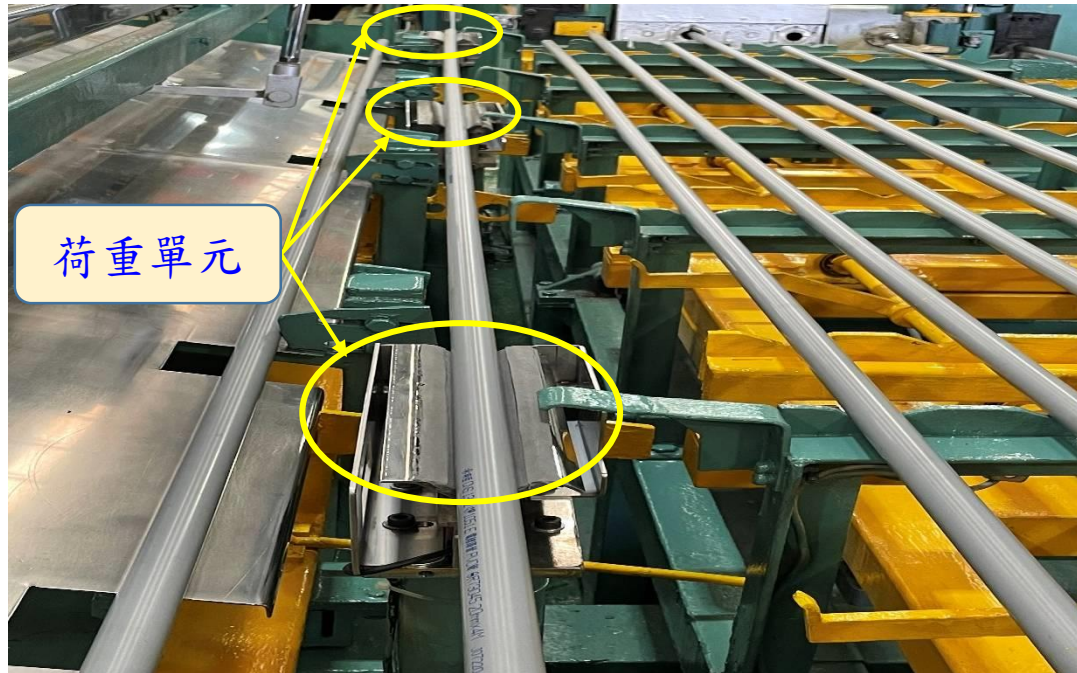
以3/4”W管為例

品質指標	管制標準
成品厚度	$2.7 \pm_{-0}^{0.6}$ mm (2.7mm~3.3mm)

# 一、製程說明

## (三)成品秤重系統圖示：

荷重單元



秤重轉換器及顯示螢幕



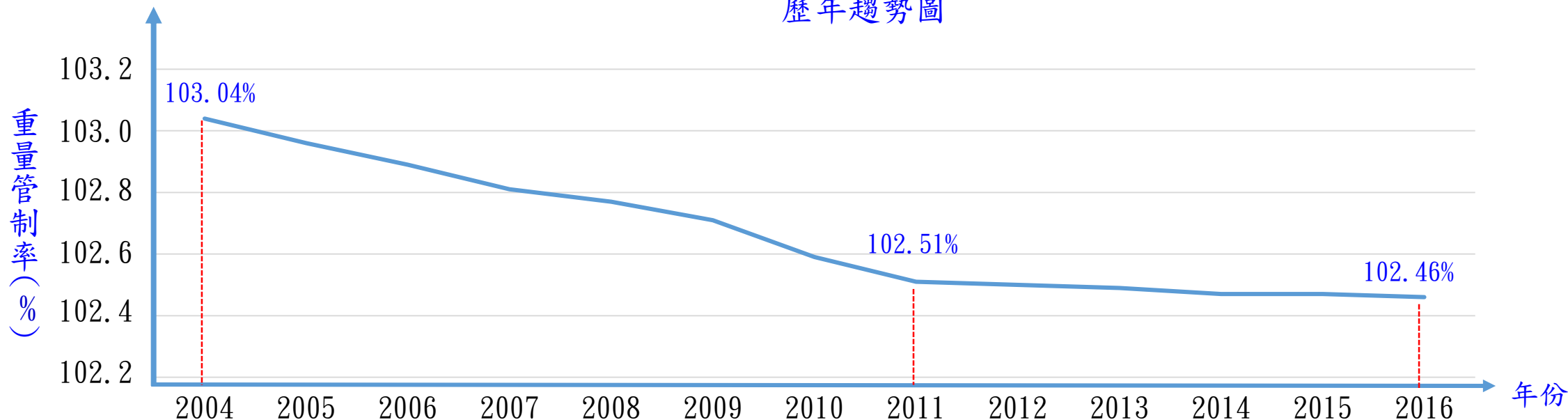
秤重系統由3組荷重單元組成，成品秤重後之重量信號，傳送至秤重轉換器進行運算。

秤重轉換器運算後，即時顯示成品重量，並自動換算為重量管制率，同時上傳至即時生產管理系統。

## 二、改善動機

### (一)改善緣由：

歷年趨勢圖



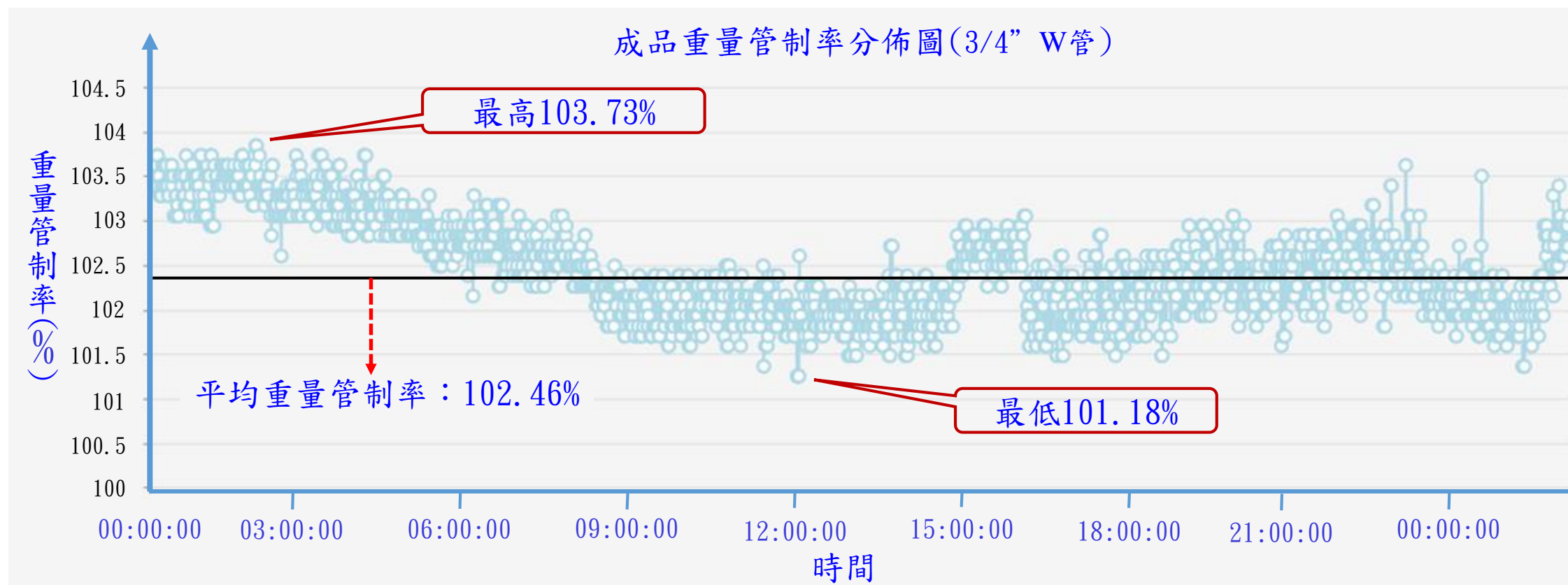
1. 硬管小口徑重量管制率2004年為103.04%，透過集中監控系統、自動秤重、模具真圓度、配合粉自循環等製程改善，2011年降至102.51%，下降0.53%，2016年再降至102.46%，僅下降0.05%，靠人工調整難以再降低。
2. 運用AI技術進行重量管制率調降優化，收集硬管製程參數進行分析，找出影響重量關鍵因子，建立預測模型，找出製程最佳條件，自動回饋作線上智慧控制，降低重量管制率。



## 二、改善動機

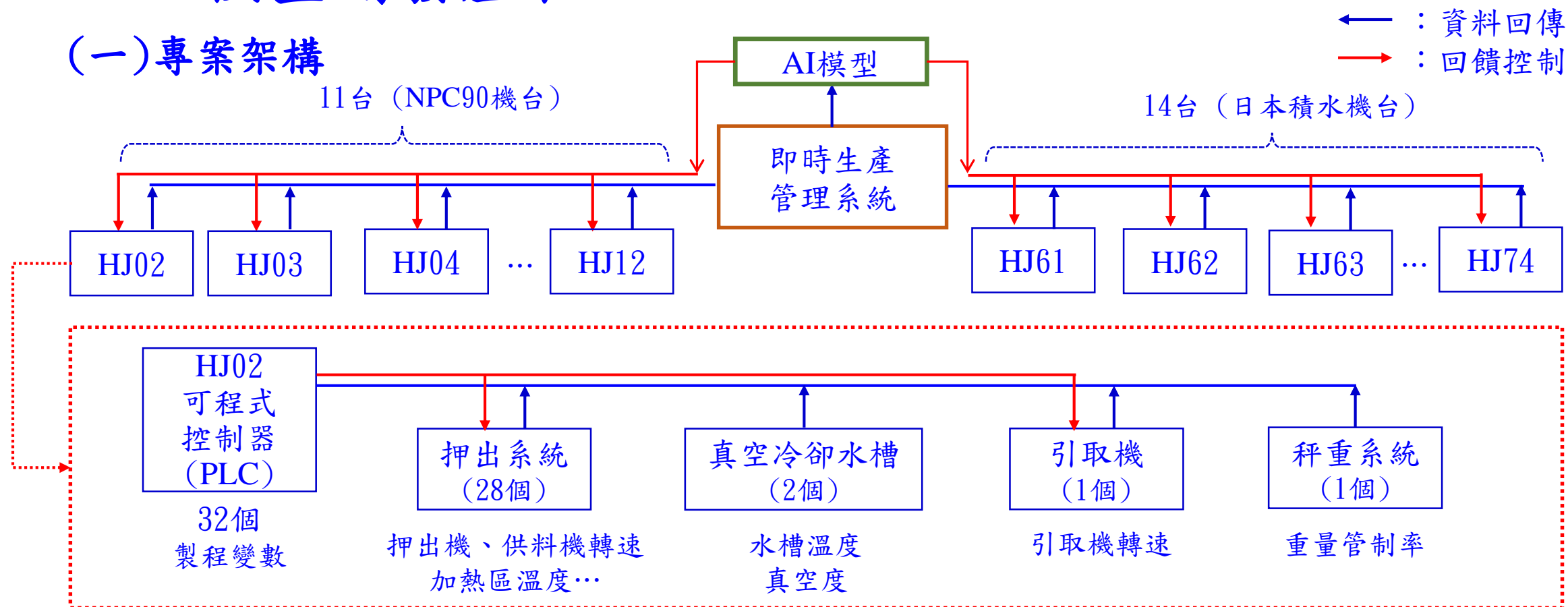
### (二)生產線數據分析：

進行重量管制率數據分析，重量管制率平均值102.46%，最高103.73%與最低101.18%變化幅度達2.55%，擬運用AI技術進行製程優化，提升製程穩定性，以縮小變化範圍，並有效降低重量管制率。



# 三、AI模型開發歷程

## (一)專案架構

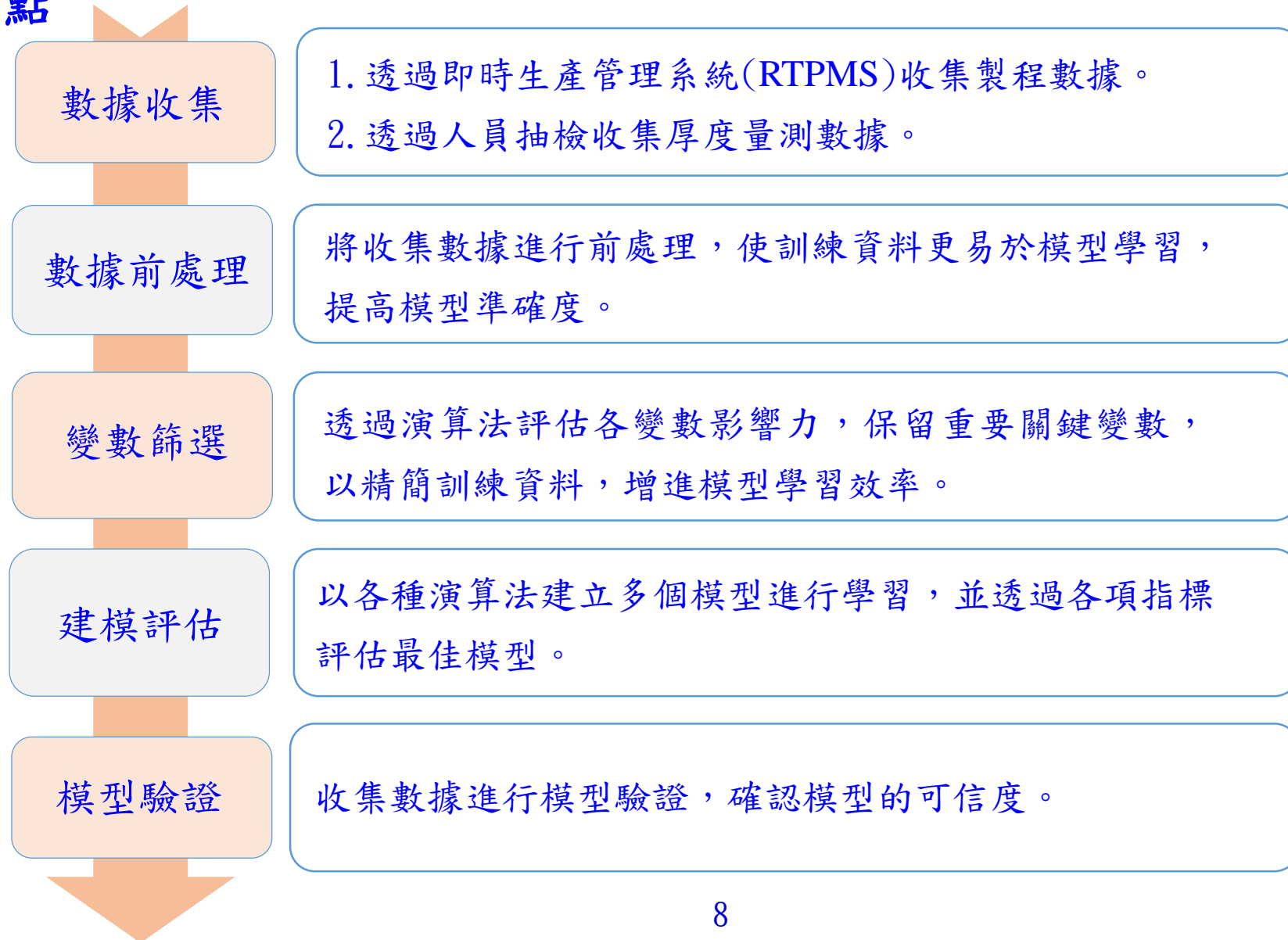


1. 硬管小口徑共25條生產線，每條生產線總計收集押出系統、冷卻水槽、引取機及秤重系統等32個製程變數之數據。
2. 各機台製程變數透過可程式控制器(PLC)，將數據資料上傳至即時生產管理系統，提供AI模型進行分析應用。
3. AI模型運算後，將最佳條件經由可程式控制器(PLC)回饋至生產線，進行線上智慧控制。

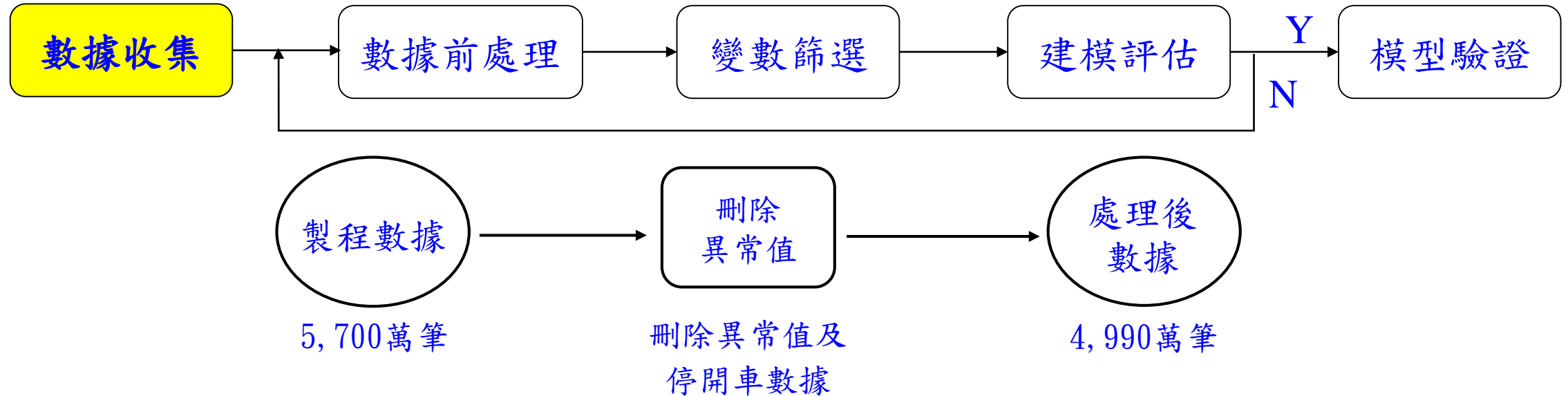


# 三、AI模型開發歷程

## (二)執行重點



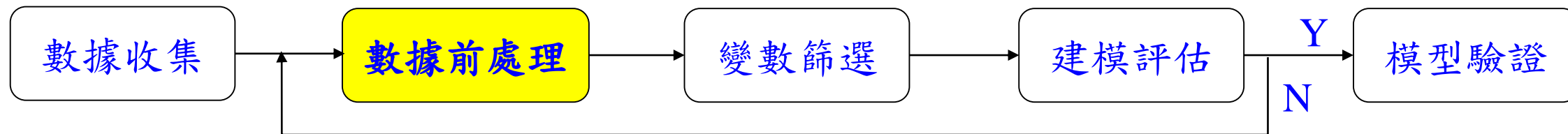
### 三、AI模型開發歷程



項次	項 目	製程變數 (個)	數據量(萬筆)	
			處理前	處理後
1	RTPMS製程參數及秤重數據	32	5,700	4,990
2	厚度量測數據	1	1.5	1.5

1. 收集小口徑25台機台、每台32個製程變數、30天的時間共5,700萬筆生產數據，經刪除異常值及停開車期間數據，剩下4,990萬筆數據，將80%作為訓練資料，20%作為驗證資料進行後續建模評估。
2. 收集15,000筆厚度量測數據，監控重量管制率調降時，成品厚度仍可符合CNS品質規範。

### 三、AI模型開發歷程

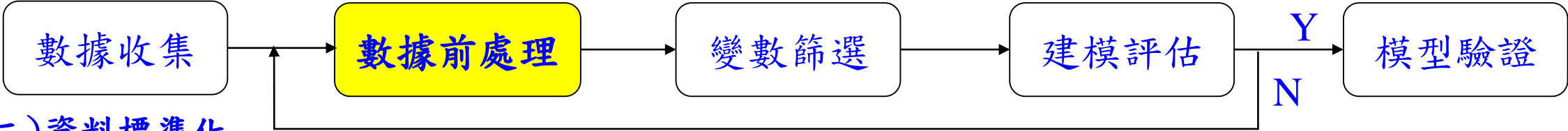


#### (一)精簡資料：機台參數-重量管制率

← 32個製程變數 →							資料取平均值	← 32個製程變數 →						
支號	變數筆數	押出機轉速	供料機轉速	引取機轉速	...	重量管制率		支號	變數筆數	押出機轉速平均值	供料機轉速平均值	引取機轉速平均值	...	重量管制率
1	1	43.5	29.0	960	...	尚未秤重	以3/4" W管為例 每支約可收集20筆	1		43.50	29.02	960.12	...	102.23%
	2	43.5	29.0	960	...	尚未秤重		2		43.50	29.15	960.15	...	102.21%
	⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮		3		43.50	29.11	960.23	...	102.19%
	20	43.5	29.1	961	...	102.23%		4		43.50	29.13	960.21	...	102.20%
2	1	43.5	29.1	961	...	尚未秤重		5		43.50	29.12	960.19	...	102.20%
	2	43.5	29.1	961	...	尚未秤重		6		43.50	29.11	960.20	...	102.20%
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

因每支成品(3/4" W管)生產時間約20秒會產生約20筆製程數據，但重量管制率只有1筆數據，因此將每支硬管產生之製程數據取平均值，使每支成品的重量管制率只對應至1筆製程數據，精簡資料以利後續模型訓練。

# 三、AI模型開發歷程



## (二)資料標準化

32個製程變數因單位及數值大小不同，為避免數值大小差異影響模型準確度，以極小極大手法(Min Max Scaler)進行數據標準化，讓數據在同一基準下進行建模，以提高模型準確度。

原始數據 (單位、數值範圍不同)				標準化轉換後數據 (無單位，且分布在0到1之間)			
32個製程變數				32個製程變數			
時間 \ 變數	押出機轉速 平均值(rpm)	引取機轉速 平均值(rpm)	...	時間 \ 變數	押出機 轉速	引取機 轉速	...
2016/9/1 00:00:00	43.50	960.12	...	2016/9/1 00:00:00	0.5000	0.6012	...
2016/9/1 00:00:20	43.50	960.15	...	2016/9/1 00:00:20	0.5000	0.6015	...
2016/9/1 00:00:40	43.50	960.13	...	2016/9/1 00:00:40	0.5000	0.6013	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

標準化  
轉換  
  
Min Max  
Scaler

Min Max Scaler 公式:  $X^* = \frac{X - \min}{\max - \min}$       X:製程變數  
max: 最大值  
min: 最小差

### 三、AI模型開發歷程



排名	製程變數	模型係數( $a_i$ )
1	引取機轉速	-6.25597
2	供料機轉速	5.11223
3	押出機轉速	1.65721
4	押出機扭力	0.08436
5	套筒第三區溫度	0.07524
6	套筒第五區溫度	0.00568
⋮	⋮	⋮
32	押出機齒輪箱溫度	0.00000

表示變數對重量管制率影響程度

係數絕對值大：影響程度高

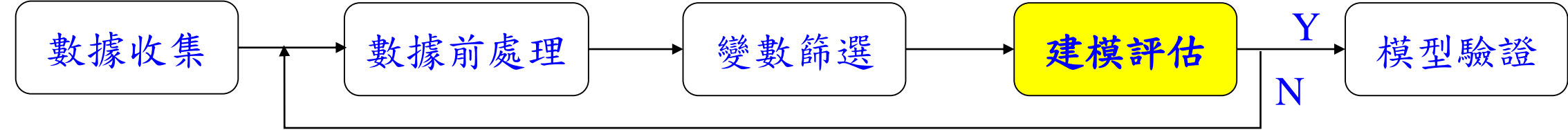
正值：與重量管制率為正相關

負值：與重量管制率為負相關

模型係數為0之變數，經製程人員確認，對於重量管制率影響程度低，故予以剔除。

1. 利用Lasso演算法計算出模型係數，判斷製程變數對重量管制率的影響程度，將不顯著之變數予以刪除，簡化模型分析的複雜度，以降低不確定性，最終篩選出引取機轉速、供料機轉速、押出機轉速、押出機扭力、套筒第三區溫度及第五區溫度6個製程變數。
2. 依生產經驗判斷，套筒溫度無法即時回饋控制，押出機扭力為不可調控變數，最終篩選引取機、供料機及押出機轉速3個變數，作為後續模型學習使用。

### 三、AI模型開發歷程



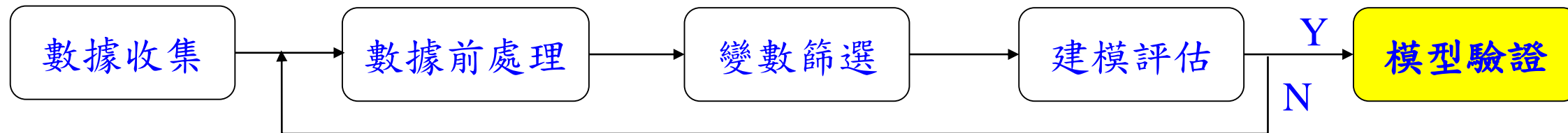
項目 \ 演算法	Lasso (套索迴歸)	Ridge (脊迴歸)	Random Forest (隨機森林)	XGBoost (極限梯度提升)
模型類別	線性	線性	非線性	非線性
平均絕對百分比誤差(MAPE)	0.30%	0.30%	0.25%	0.24%
均方根誤差(RMSE)	3.95	3.94	3.23	3.09
決定係數(R <sup>2</sup> )	0.57	0.58	0.89	0.93

MAPE：越趨近於0越準確    RMSE：越趨近於0越準確    R<sup>2</sup>：越趨近於1越準確

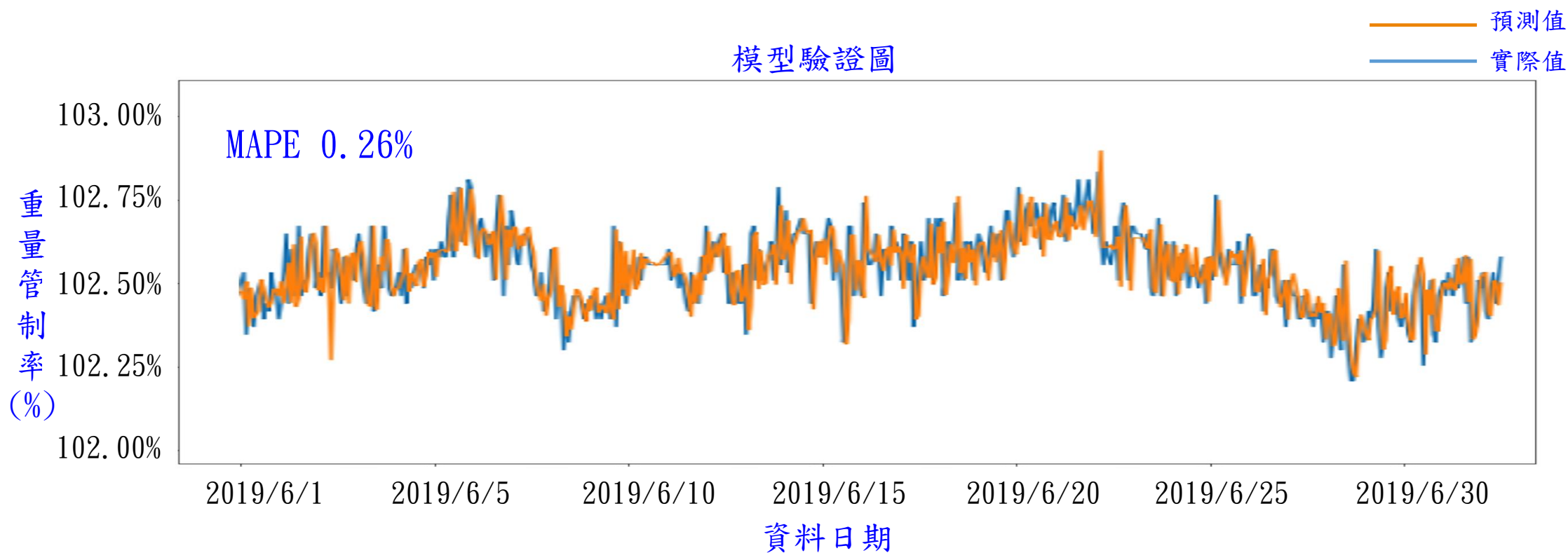
由於重量管制率屬於連續性數值資料，因此採用常見的四種迴歸演算法進行比較，結果以XGBoost所建之模型平均絕對百分比誤差MAPE 0.24%與均方根誤差RMSE 3.09最低，決定係數R<sup>2</sup> 0.93最高，因此選定此模型進行後續驗證是否適用於重量管制率之預測。



### 三、AI模型開發歷程

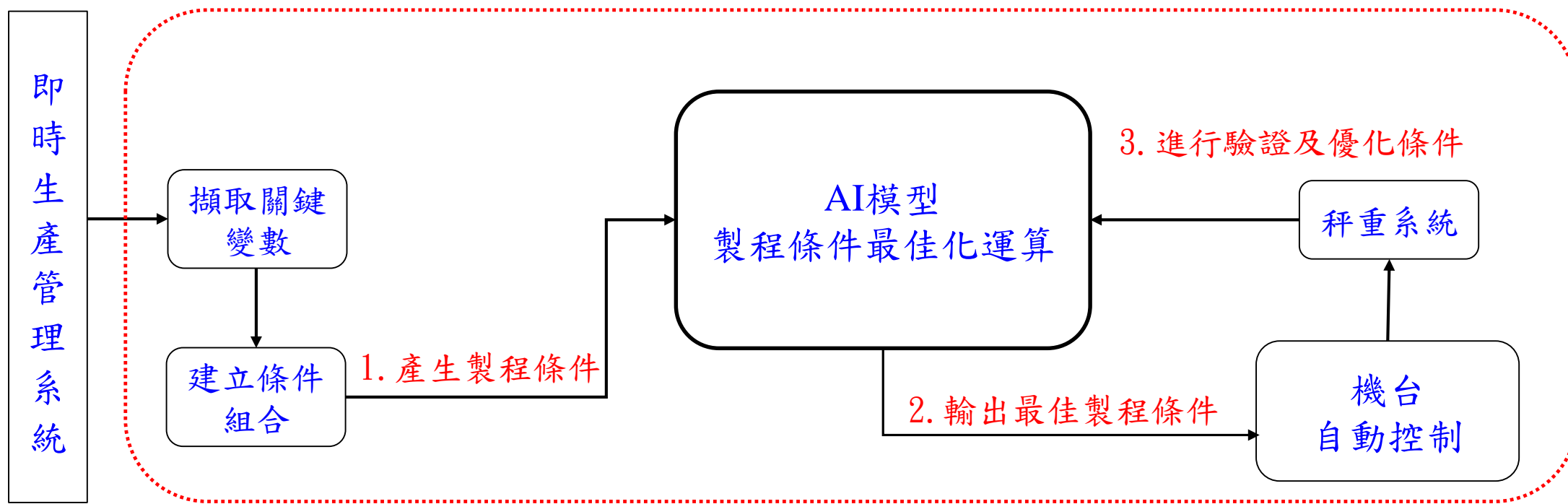


採用2019年6月份製程數據進行模型驗證，驗證結果XGBoost模型之平均絕對百分比誤差MAPE 0.26%，與建模時0.24%相當，判斷可進行後續上線應用。



# 四、上線應用

## (一) AI智慧控制-程式架構



1. 使用Python建置智慧控制程式，由即時生產管理系統擷取關鍵變數及建立條件組合，產生製程條件供AI模型進行運算。
2. 經AI模型進行製程條件運算後，輸出最佳製程條件回饋至機台進行自動控制。
3. 成品再由秤重系統將重量管制率之數據，納入AI模型進行驗證並持續優化，以降低重量管制率。

# 四、上線應用

## (二) AI智慧控制-建置操作條件組合

標準操作條件

規格	變數名稱	標準操作範圍 (rpm)	最小 調整刻度 (rpm)	調整級距 (個)
3/4" W管	押出機轉速	42.5 ~ 44.5	0.2	11
	供料機轉速	28.2 ~ 31.2	0.3	11
	引出機轉速	912 ~ 1008	1.0	97

AI程式

押出機轉速 / 供料機轉速  
引出機轉速

操作條件組合(11, 737組)

↑ 升速  ↓ 降速	押出機、 供料機轉速	44.5/31.2 912	44.5/31.2 913	44.5/31.2 914	...	44.5/31.2 1008
		44.3/30.9 912	44.3/30.9 913	44.3/30.9 914	...	44.3/30.9 1008
		44.1/30.6 912	44.1/30.6 913	44.1/30.6 914	...	44.1/30.6 1008
		43.9/30.3 912	43.9/30.3 913	43.9/30.3 914	...	43.9/30.3 1008
		43.7/30.0 912	43.7/30.0 913	43.7/30.0 914	...	43.7/30.0 1008
		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
		42.5/28.2 912	42.5/28.2 913	42.5/28.2 914	...	42.5/28.2 1008
		← 降速                      引出機轉速                      升速 →				

1. 為使AI智慧控制能於標準操作範圍內找出最佳製程條件，避免偏離操作範圍引起製程異常，須透過AI控制程式產生操作條件組合。
2. 以3/4" W管為例，每個關鍵變數之標準操作範圍，設定最小調整刻度建立操作條件組合，如押出機轉速調整級距有11個、供料機轉速11個、引出機轉速97個，三項變數形成11, 737組，供AI模組算出最佳製程條件，再供機台自動控制生產。  
(押出機轉速11個 X 供料機轉速11個 X 引出機轉速97個 = 11, 737組)

## 四、上線應用

### (三)AI智慧控制-建立製程條件最小調整範圍

### 實際製程條件及重量管制率

變數名稱	製程條件	重量管制率
押出機轉速	44.1	102.39%
供料機轉速	30.6	
引取機轉速	913	

操作條件組合(11, 737組)

↑ 升速  ↓ 降速	44.5/31.2 912	44.5/31.2 913	44.5/31.2 914	...	44.5/31.2 1,008
	44.3/30.9 912	44.3/30.9 913	44.3/30.9 914	...	44.3/30.9 1,008
	44.1/30.6 912	44.1/30.6 913(102.39%)	44.1/30.6 914	...	44.1/30.6 1,008
	43.9/30.3 912	43.9/30.3 913	43.9/30.3 914	...	43.9/30.3 1,008
	43.7/30.0 912	43.7/30.0 913	43.7/30.0 914	...	43.7/30.0 1,008
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	42.5/28.2 912	42.5/28.2 913	42.5/28.2 914	...	42.5/28.2 1,008
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <span>← 降速</span> <span>引取機轉速</span> <span>→ 升速</span> </div>					

1. 為確保製程穩定，必須先設定一個最小調整範圍，給AI去做逐步控制。
2. 依實際的製程條件及重量管制率，在操作條件組合中，由程式找出該條件相鄰的範圍共9個製程條件，供AI模型去預測相鄰條件的重量管制率。

## 四、上線應用

### (四) AI智慧控制-製程條件最佳化

操作條件組合(3/4" W管)

44.5/31.2 912	44.5/31.2 913	44.5/31.2 914	...	44.5/31.2 1,008
44.3/30.9 912	44.3/30.9 913	44.3/30.9 914	...	44.3/30.9 1,008
44.1/30.6 912	44.1/30.6 913(102.39%)	44.1/30.6 914	...	44.1/30.6 1,008
43.9/30.3 912	43.9/30.3 913	43.9/30.3 914	...	43.9/30.3 1,008
43.7/30.0 912	43.7/30.0 913	43.7/30.0 914	...	43.7/30.0 1,008
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
42.5/28.2 912	42.5/28.2 913	42.5/28.2 914	...	42.5/28.2 1,008

AI模型  
演算

預測

重量管制率預測值組合

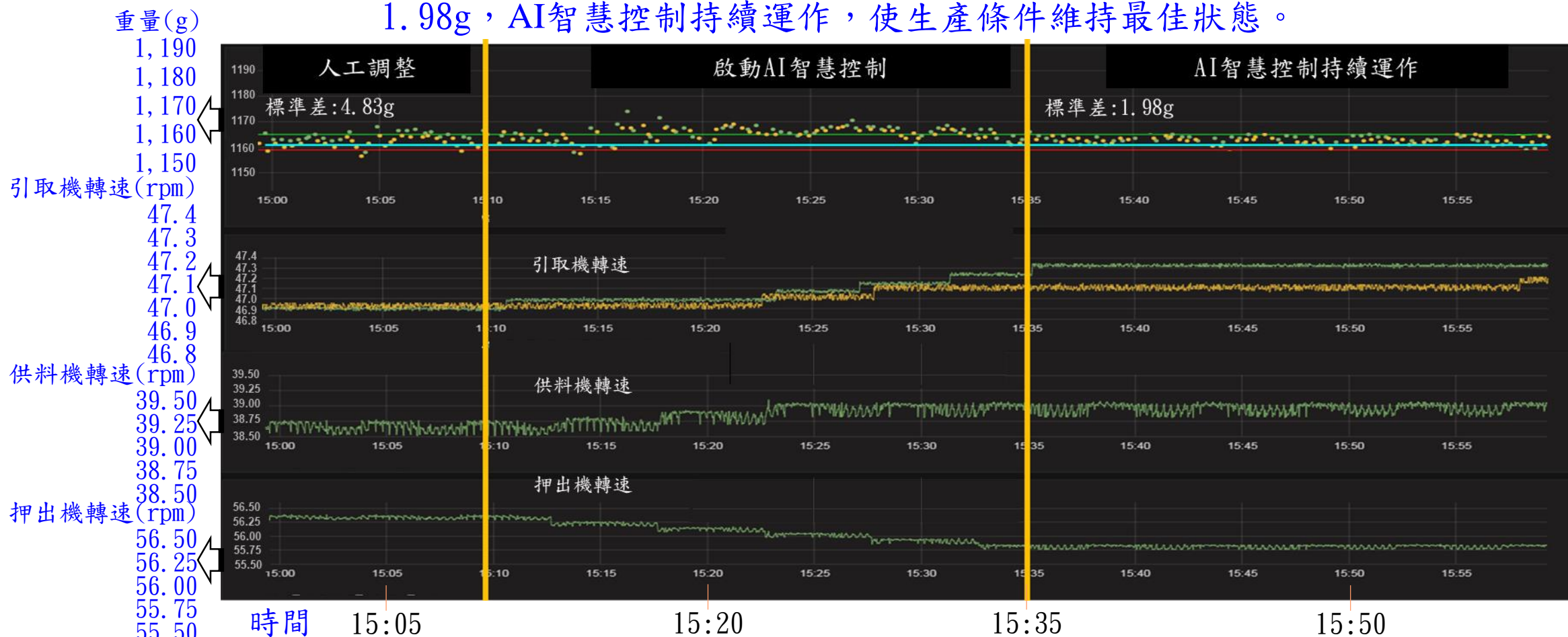
102.54% (預測值)	102.44% (預測值)	102.42% (預測值)
102.45% (預測值)	102.39% (實際值)	102.32% (預測值)
102.37% (預測值)	102.25% (預測值)	102.19% (預測值)

1. 將已取得之最小調整範圍內9個條件匯入AI模型，以XGBoost進行演算，除實際值外，另外產生8個相鄰操作條件之重量管制率預測值組合。
2. 依預測結果，預測值最小(102.19%)就是目前的最佳操作條件，AI系統會將此條件回饋至機台進行自動控制，並持續進行製程條件最佳化。

## 四、上線應用

### (五)硬管重量智慧控制-線上控制即時畫面

1. 改善前:人工調整時，硬管重量變化大，重量標準差4.83g，穩定性較差。
2. 改善後:啟動AI智慧控制，自動調整製程條件，同時進行多變數自動控制，即時調整引取機、供料機及押出機轉速，使成品重量趨於穩定，重量標準差下降至1.98g，AI智慧控制持續運作，使生產條件維持最佳狀態。

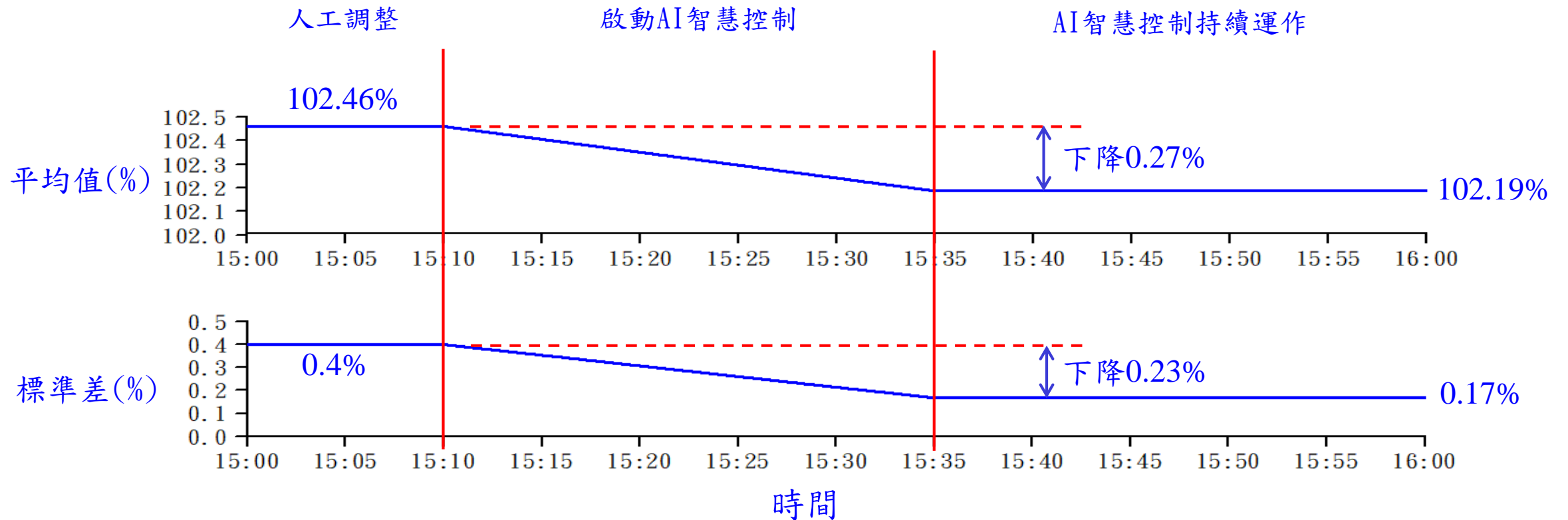




## 四、上線應用

### (六)重量管制率線上控制結果

透過硬管重量管制率線上智慧控制後，提高製程之精度與準度，使成品重量管制率短時間趨於穩定，硬管重量管制率平均值由102.46%降至102.19%，下降0.27%，標準差由0.4%降至0.17%，下降0.23%。



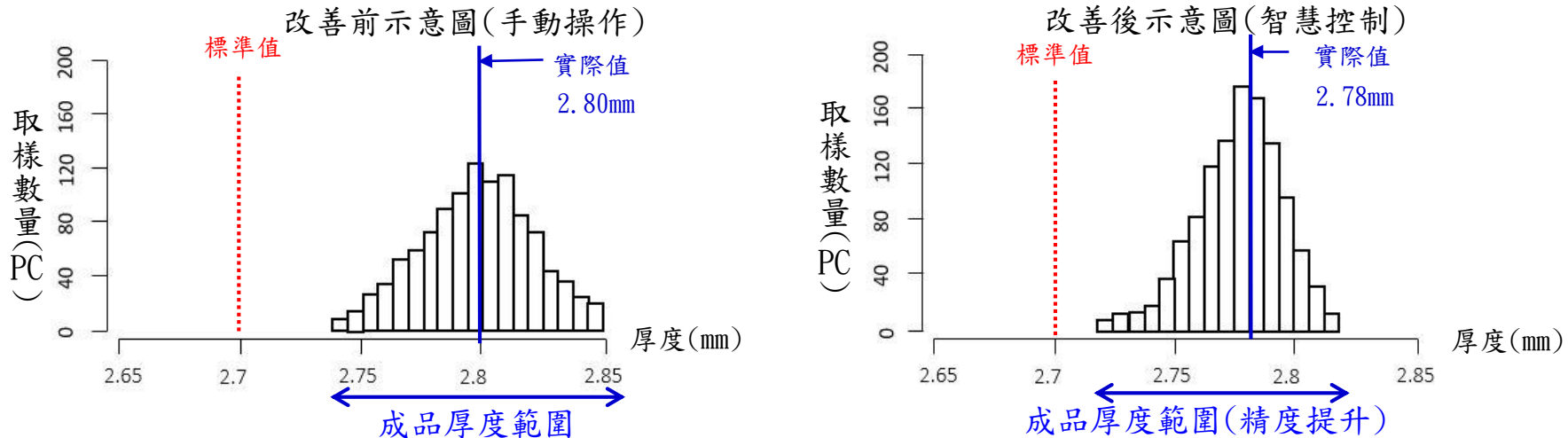
# 五、執行成果與效益

## (一)成本指標：重量管制率

- 1. 硬管小口徑系統優化完成後，重量管制率由102.46%降低至102.19%，降低0.27%。
- 2. 以2021年小口徑規格產量4,275噸/月計算，重量管制率下降，減少用料11.54噸/月，實際年效益5,568千元。

## (二)品質指標：成品厚度

經重量管制率優化系統自動控制後，3/4” W管平均厚度由2.80mm降至2.78mm，標準差由0.022mm降至0.012mm，提升製程控制之精度及準度。



項 目	手動操作	智慧控制
管制標準(mm)	2.7~3.3	
取樣數量(PC)	600	600
平均厚度 (mm)	2.80	2.78
標準差(mm)	0.022	0.012

## 六、後續工作規劃

(一)持續優化小口徑重量管制率，預計由102.19%續降至目標值101.86%，再下降0.33%；為使AI預測模型更精準，已再增設線上配合粉假比重分析儀及成品厚度測厚儀，收集相關數據中，建立預測模型納入智慧控制，預定2022/12/31完成。

(二)橫向展開推動至硬管中、大口徑，目標重量管制率各調降0.5%，中口徑由102.29%降至101.79%，大口徑由102.34%降至101.84%。

## 六、後續工作規劃

(三)後續工作預定完成日期及效益分析如下：

項次	項目名稱	原料節省 (噸/月)	預定完成日期	年效益 (千元)
1	硬管小口徑重量管制率再優化	14	2022/12/31	6,753
2	硬管中口徑重量管制率優化	15	2023/06/30	7,236
3	硬管大口徑重量管制率優化	9	2023/12/31	4,341
4	能源智慧控制系統	—	2022/07/31	3,346
5	螺桿套筒壽命預測	—	2022/12/31	986
合計				22,662

1. 規劃硬管小口徑重量管制率再優化至101.86%，預定於2022/12/31前完成、年效益6,753千元，中口徑預定於2023/6/30前完成、年效益7,236千元，大口徑預定於2023/12/31前完成、年效益4,341千元；硬管大、中、小口徑重量管制率優化，共計年效益18,330千元。
2. 另外能源智慧控制系統預定於2022/7/31前完成、年效益3,346千元，螺桿套筒壽命預測預定於2022/12/31前完成、年效益986千元。
3. 全部項目完成後，硬管合計年效益22,662千元。

報告完畢  
恭請指導