

## 題目：台化工務部智能工廠AI執行報告

工務部AI執行現況：

工務部各公用廠自2019年開始推動AI技術應用，開發案件包括利用數據分析之製程操作優化、影像辨識技術應用之製程安全管理，及導入設備預警系統iEM與PRiSM，進行設備健康度預測監控等三大類，目前AI案件已立案共計30案，已完成18案上線中，進行中12案，其中自行開發27案，委外合作開發3案，預估年效益41,525千元，本部AI案件彙總如下：

幣別：新臺幣

類別	項次	題 目	自行開發	委外合作開發	實際(預定)完成日	預估年效益(千元)
製程操作優化	1	NB3 機組汽發電機提高淨發電量操作優化	○		2020/06	3,032
	2~6	LT2、LT3、SK4、NB1、NB2 汽發電機提高淨發電量操作優化(平行展開)	○		1. 2022/03 完成非夏月效益測試。 2. 預計 2022/07 完成夏月效益測試。	10,410
	7	龍德公用廠離峰時段機組負載優化	○		2021/07	4,520
	8	龍德公用廠 LT2 高壓加熱器操作優化	○		2022/03	5,751
	9~13	LT3、SK1~4 高壓加熱器操作優化	○		(2022/09)	14,856
	14	SK4 靜電集塵器操作優化		○	(2022/10)	364
	15	LT2 一次風車操作優化	○		(2022/11)	275
	16	SK4 MGGH 熱能回收最佳化模組	○		(2023/02)	1,067
	17	汽機離峰時段滑壓操作優化		○	(2023/02)	1,250

## 題目：台化工務部智能工廠AI執行報告

AI 案件彙總(續)：

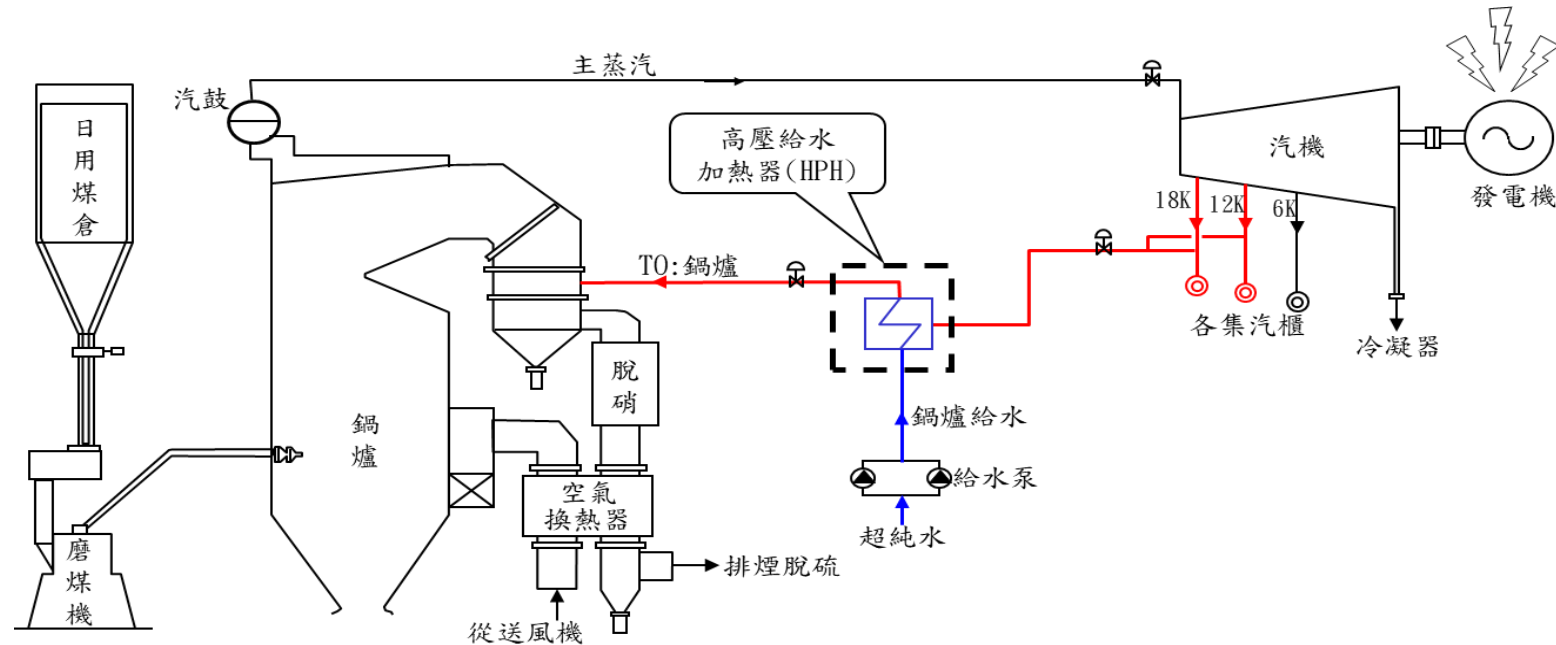
類別	項次	題 目	自行 開發	委外 合作 開發	實際(預定)完成日	預估年 效益 (千元)
	18	FGD 加藥量操作優化	○		(2023/03)	1,350
製程安全 管理	19	新港公用廠飛灰洩漏偵測影像辨識	○		2020/10	避免環 保異常
	20~21	龍德公用廠、寧波熱電廠飛灰系統洩漏 影像辨識(平行展開)	○		2021/06、2021/02	
	22	寧波熱電廠 FGD 污泥聚合槽異常影像 辨識	○		2021/03	
	23	龍德公用廠 FGD 污泥聚合槽異常影像 辨識(平行展開)	○		2022/08	
	24	SK4 爐前管線(粉煤、蒸汽及重油)洩漏 辨識	○		2021/08	
	25	新港燃料煤取樣智慧拍照管理	○		2021/12	安全操 作管理
	26	NB2 底灰機灰渣量異常影像辨識	○		2021/12	提升設 備安全
	27	新港公用廠輸煤皮帶破損影像辨識	○		(2022/12)	
設備預警 監控	28	設備性能監診模組(iEM)	○		2022/03	
	29	設備性能監診模組(PriSM)	○		2022/03	
	30	爐管初期洩漏預警		○	(2023/05)	
合計						41,525

## 題目：台化工務部智能工廠 AI 執行報告

### 一、龍德公用廠 LT2 高壓給水加熱器操作優化

#### (一)動機說明：

1. 公用廠鍋爐運轉為節省用煤量，都會在鍋爐給水段設置高壓給水加熱器 (HPH, High Pressure Heater)，然後利用汽機 18K 或 12K 抽汽來加熱 HPH，以提高給水溫度，但增加抽汽加熱 HPH 時，也會同時造成發電量降低。相對的，若要確保發電量，則須減少加熱 HPH 之汽機抽汽，此時因給水加熱不足，就需增加鍋爐用煤量以確保主蒸汽。
2. 過去因尖/離峰電價差異大，長期運轉模式設定為尖峰以 12K 抽汽(188°C)加熱以增加發電量，離峰則以 18K 抽汽(205°C)加熱以減少用煤量。但近年來煤價急遽上漲，原設定模式已不能確保 HPH 運轉在最有利操作點，因此擬開發 AI 模組，來提供最佳操作建議，以達到利益最大化。



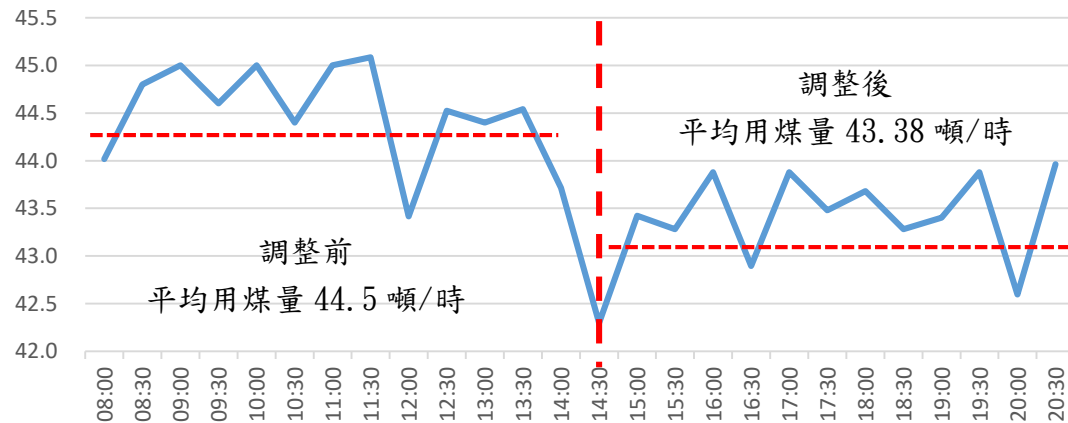
鍋爐給水 HPH 加熱流程示意圖

## 題目：台化工務部智能工廠 AI 執行報告

### (二) 模組開發應用成果：

本案 AI 模組已於 2022 年 3 月上線應用於龍德公用廠 LT2 機組，經實際測試比較，非離峰時段用煤量平均減少 1.12 噸/時，售電量平均減少 2,498 度/時，綜合用煤與售電損益計算，效益差是每小時 1,278 元，預估年效益約新臺幣 5,751 千元。

03/29 用煤量(噸/時)



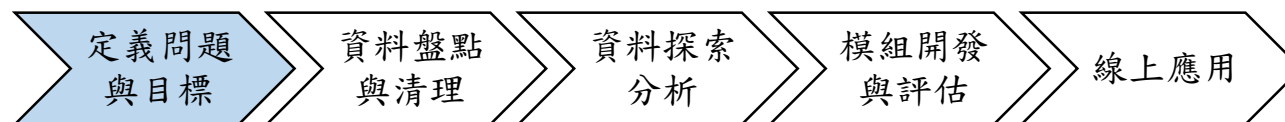
03/29 售電量(千度/時)



非離峰時段 調整	HPH 出口 給水溫度 (℃)	平均用煤量 (噸/時)	平均售電量 (度/時)
調整前(A)	188	44.50	36,751
調整後(B)	205	43.38	34,253
差異(B-A)	17	-1.12	-2,498

## 題目：台化工務部智能工廠 AI 執行報告

### (三)模組開發流程：



#### 1. 定義問題：

高壓給水加熱器(HPH)係利用汽機抽汽來加熱鍋爐給水，當給水溫度提高，可以節省鍋爐用煤量，但蒸汽耗用卻會降低發電量，以往在考慮設定 HPH 溫度控制點時，雖有針對燃料煤熱值、抽汽影響發電量、鍋爐效率、汽機效率等進行計算預估，但因各數值並非即時的，計算結果未必能符合實際工況。

高壓給水加熱器(HPH) 出口給水溫度	用煤量(成本)	毛發電量(收入)
升高 ↑	減少 ↓	減少 ↓
降低 ↓	增加 ↑	增加 ↑

#### 2. 定義目標：

以利益最大化為目標， $\text{利益} = \text{收入} - \text{成本}$ ，利用數值分析及機器學習技術，開發毛發電量與飼煤量 AI 預測模組，依照當時的煤價、電價及用電需求，預測毛發電量(收入)及飼煤量(成本)間的最有利損益點，以提供最佳的 HPH 出口溫度操作建議，使利益達到最大化。

## 題目：台化工務部智能工廠 AI 執行報告

### 3. 資料盤點與清理：

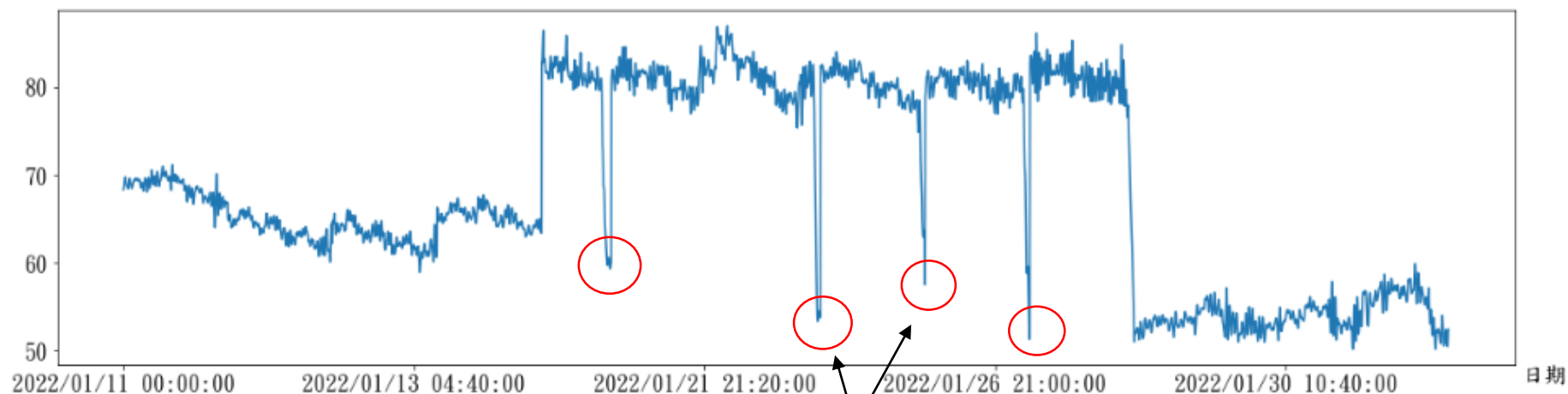
#### (1) 資料盤點：

為取得模型訓練資料，龍德公用廠於 2022/01/11~01/31 半尖峰及離峰時段進行 HPH 各種工況的測試調整。經收集與毛發電量相關共 20 個特徵變數(包含飼煤量、主汽量、各壓力送汽量、HPH 出口溫度等)數據，收集頻率為每分鐘一筆，總共 4,560 筆。

#### (2) 資料清理：

為避免模組學習錯誤數據，利用數據視覺化繪出分佈圖(如下圖)，進行數據清理。1/19~1/27 HPH 測試時間為 17:00~23:00，廠內於 22:30 後為離峰時段，鍋爐操作人員會開始降載，因該時段在升降載數據波動較為劇烈，故剔除 22:30 之後的數據，剩餘 4,450 筆數據。

毛發電量



升降載時數據波動大，非有效數據，予以剔除。

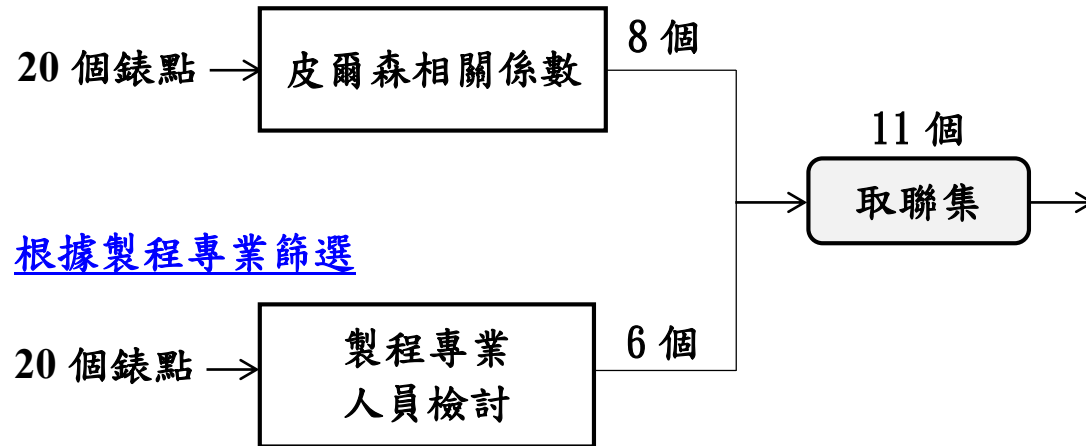


## 題目：台化工務部智能工廠 AI 執行報告

### 4. 資料探索分析：

(1) 將 20 個與毛發電量相關特徵變數，以統計分析方法(皮爾森相關係數) 進行初步變數篩選，選取原則為：相關係數絕對值大於 0.3 ( $|r| > 0.3$ )，共選出 8 個變數，另根據製程專業篩選與毛發電量有關的變數計 6 個，取聯集後，共選出 11 個錶點，作為建模變數，其中 HPH 出口給水溫度為可控變數。

#### 以統計分析方法篩選



#### 根據製程專業篩選

皮爾森相關係數：

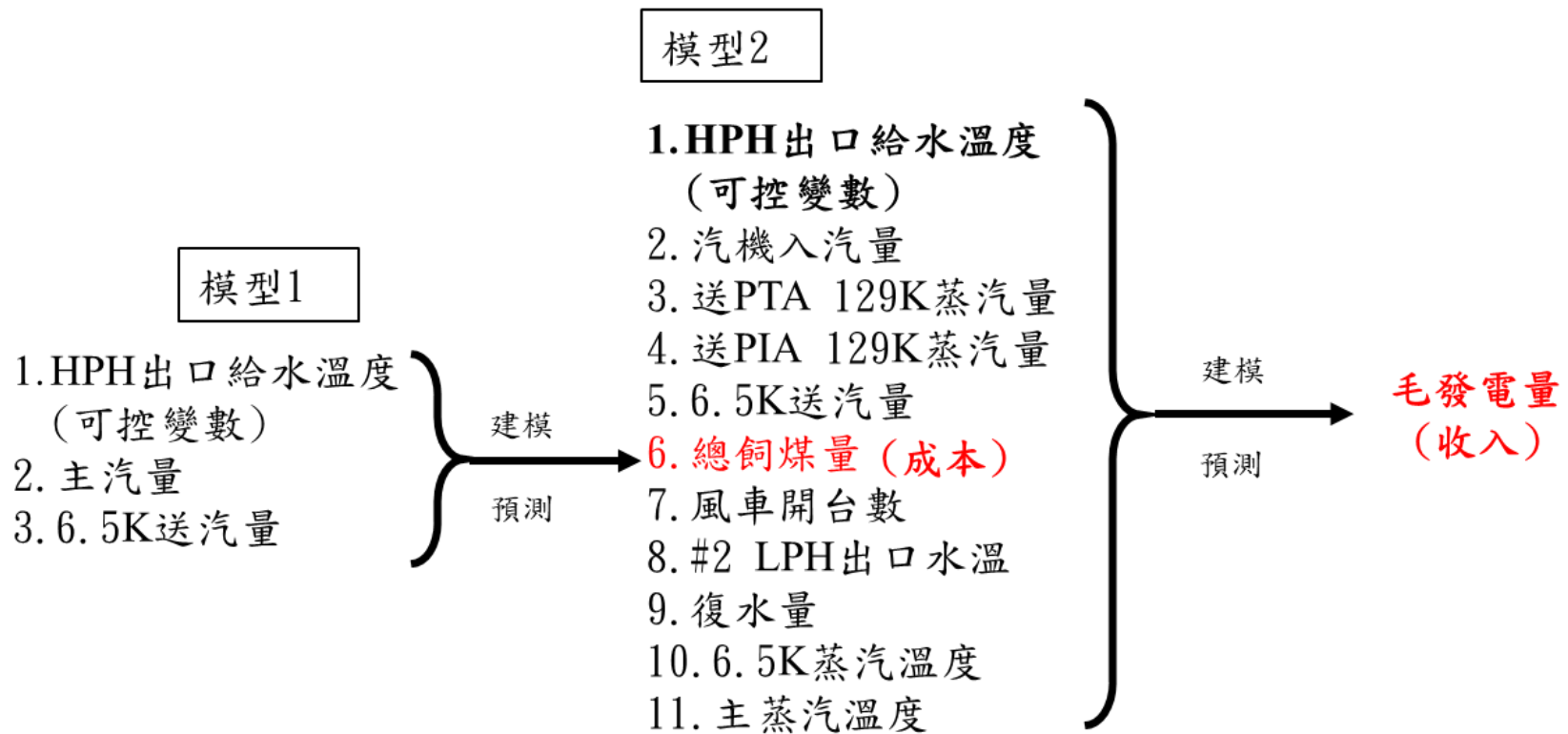
用於度量兩個變數之間的相關程度，其值介於-1 與 1 之間。

- 0.3 以下為低相關
- 0.3~0.7 為中等相關
- 0.7 以上為高度相關

錶點名稱	相關係數		製程專業
① #2 LPH 出口水溫	0.97	◎	
② 汽機入汽量	0.97	◎	◎
③ 總飼煤量	0.92	◎	◎
④ 復水量	0.91	◎	
⑤ 風車開台數	0.81	◎	
⑥ 送 PIA 129K 蒸汽量	0.10		◎
⑦ 6.5K 總送汽量	-0.04		◎
⑧ HPH 出口給水溫度	-0.21		◎
⑨ 6.5K 蒸汽溫度	-0.32	◎	
⑩ 送 PTA 129K 蒸汽量	-0.39	◎	◎
⑪ 主蒸汽溫度	-0.47	◎	

## 題目：台化工務部智能工廠 AI 執行報告

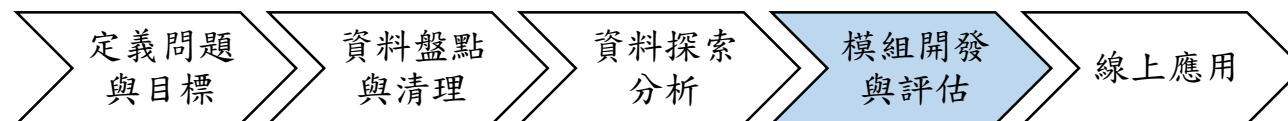
(2)依據製程專業提供意見，在主汽量不變的情況下，HPH 出口給水溫度改變時，會先直接影響「總飼煤量」之變化，再間接影響毛發電量的改變，可見這兩項變數之間存在有較高線性相關性，會導致模型準確度下降，為解決此問題，本案決定以分模概念建置二個模組，先以 HPH 出口給水溫度、主汽量及 6.5K 送汽量建立「總飼煤量」模型，再將預測之總飼煤量與其他 10 個特徵變數作為「毛發電量」建模變數，模組架構及特徵變數如下圖示：





## 題目：台化工務部智能工廠 AI 執行報告

### 5. 模組開發與評估：



- (1) 將資料清理後的數據，選取 80% 作為訓練數據、20% 作為驗證數據。
- (2) 「總飼煤量」及「毛發電量」等模組預測目標為連續型數值，故選擇以下機器學習演算法進行建模，其模組評估指標須符合  $R^2 > 0.9$  且  $MAPE < 5\%$ 。其中「總飼煤量」也可以用理論公式進行推估，但公式內有許多參數皆為假設，計算結果會有較大誤差，經與其他演算法比較後，以線性迴歸表現較佳。

模組演算法	① 總飼煤量 預測模組		② 毛發電量 預測模組	
	$R^2$	MAPE(%)	$R^2$	MAPE(%)
1. 線性迴歸(Linear Regression)	0.922	2.833	0.998	0.939
2. 隨機森林(Random Forest)	0.905	3.144	0.990	1.520
3. 極限梯度提升(Xgboost)	0.903	3.130	0.993	1.317
4. 理論公式	0.913	3.145	—	—

備註：

總飼煤量理論公式：(主蒸汽熱焓-HPH 出口給水溫度熱焓)×主汽量÷鍋爐效率÷煤碳熱值

決定係數( $R^2$ )：代表模組預測值與實際值的趨勢相似程度，越趨近於 1 越準確。

平均絕對誤差率(MAPE)：代表預測值與實際值的平均誤差率，單位為%。越趨近於 0 越準確。

## 題目：台化工務部智能工廠 AI 執行報告

### 6. 線上應用：

定義問題  
與目標

資料盤點  
與清理

資料探索  
分析

模組開發  
與評估

線上應用

- (1) 依龍德公用廠 LT2 機組 HPH 運轉模式，HPH 操作區間為 188~205℃，可由模組計算出各溫度之淨發電量，並結合其他生管資訊計算利益，再選取利益最大之運轉溫度做為操作建議。
- (2) 已開發操作建議畫面(如下圖)，由 AI 模組提供最佳之操作建議，供盤控人員因應現場運轉狀況，即時調整 HPH 出口給水溫度，確保全廠利益最大化。

龍德公用廠LT2機組HPH優化操作畫面

日期：2022-03-29 12:30

即時運轉數據		
主汽量	409.5	T/H
主汽溫度	540.1	℃
主汽壓力	124.3	kg/cm2
售廠區電量	31.01	MW
129K送汽量	52.6	T/H
6.5K送汽量	31.6	T/H
售台電電價	2.3260	元/度
煤碳到廠價	6.155	元/kg

LT2HPH操作條件建議					
項目	實際值		推薦值		
HPH出口給水溫度	188.2	℃	205.0	℃	
總飼煤量	44.5	T/H	43.5	T/H	
售台電量	38.8	MW	36.3	MW	
實際/預估邊際利益	-191,770	元/時	-190,667	元/時	
預估邊際利益差			1,193	元/時	

2022 年 3 月 29 日為例，HPH 出口給水溫度建議提高至 205℃。

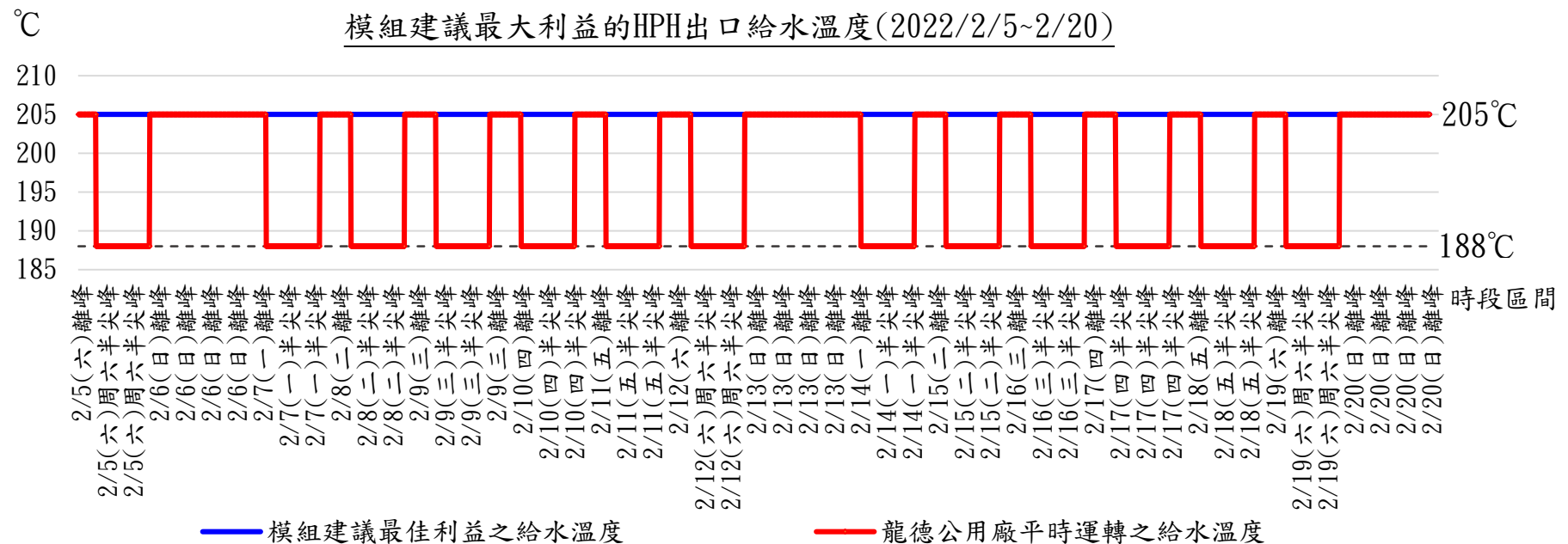
模組依當時煤、電價估算可增加利益 1,193 元/時。

目前HPH操作溫度 188.2℃，建議 提升至 205.0℃，將 減少 發電 2,433 kW、節省 用煤 1.0 T/H、增加利益 1,193 元/時。

## 題目：台化工務部智能工廠 AI 執行報告

### 7. 模組操作優化效益：

- (1) 龍德公用廠過去會依不同時段，進行 HPH 給水溫度調整，在非離峰時段(尖峰、半尖峰及周六半尖峰)降低給水溫度(188℃)，離峰時段提高給水溫度(205℃)，運轉模式如下圖紅色曲線。
- (2) 本案模組開發後，將過去(2/5~2/20)運行資料數據輸入模組，進行最佳利益的給水溫度推薦，結果顯示，在煤價偏高的條件下，模組建議全時段皆運轉在 205℃ 的給水溫度(如下圖藍色曲線)，效益可達到最大化。
- (3) 經 03/29 測試，14:30 依照模組建議操作後，用煤量平均減少 1.12 噸/時，售電量平均減少 2,498 度/時。統計 2022 年非離峰時段共 4,500 小時，2022 年 1 月~4 月龍德公用廠平均煤碳到廠價 6.001 元/公斤，非離峰時段平均售電價 2.179 元/度。預估年效益(省煤成本-減少售電收入)：  
 $(1.12 \text{ 噸/時} \times 4,500 \text{ 時/年} \times 6,001 \text{ 元/噸}) - (2,498 \text{ 度/時} \times 4,500 \text{ 時/年} \times 2.179 \text{ 元/度}) = 5,751 \text{ 千元/年}$

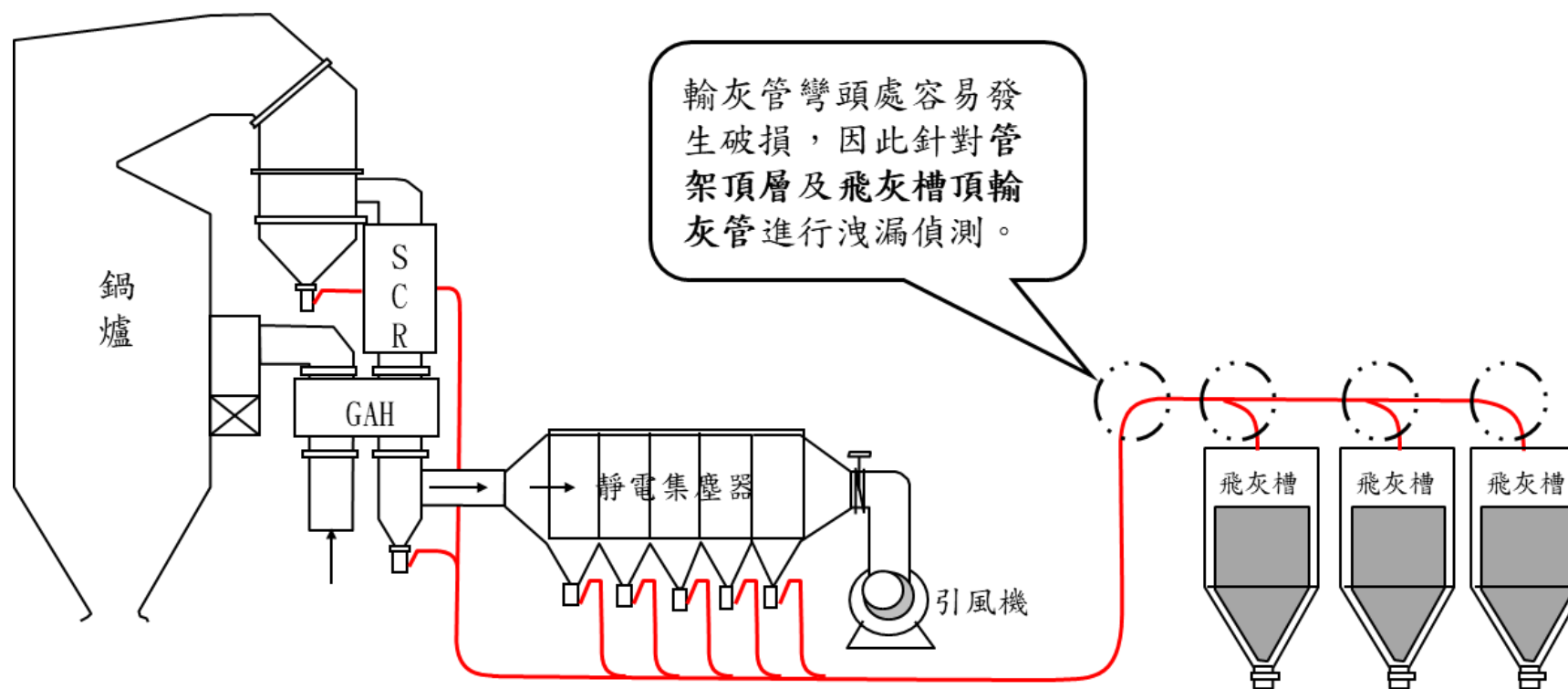


## 題目：台化工務部智能工廠 AI 執行報告

### 二、新港公用廠飛灰洩漏偵測影像辨識

#### (一)動機說明：

1. 燃煤機組煤灰收集後，係以空輸方式送至飛灰儲槽，因煤灰容易磨損管路，造成輸灰管線破漏。一旦飛灰管線發生洩漏，若未能在短時間內處理好，恐會衍生環保問題，損及公司形象。
2. 由於飛灰管線主要配設於管架頂層，且飛灰儲槽槽頂超過 20m 高，平日巡檢不易，洩漏時不易在第一時間被發現，因此擬利用影像辨識技術，來偵測飛灰洩漏，當洩漏發生時，能夠由 DCS 在第一時間自動遮斷洩漏源，並立即通知現場人員進行異常排除。



飛灰輸送系統流程示意圖

## 題目：台化工務部智能工廠 AI 執行報告

### (二) 模組開發應用成果

模組開發完成後，已具備以下三種功能：

1. 發出聲光警報
2. 異常 line、微信即時推播
3. DCS 即時遮斷

當系統偵測到飛灰洩漏時，現場人員可在第一時間知道異常發生，即時處理。

異常警示燈



控制室設置異常警示燈



LINE 即時推播畫面

**異常說明：**2022/05/04 14:48 模型偵測到飛灰洩漏，於中控室及 LINE 發出警報通知相關人員。

**異常原因：**#2-1 E/P 出灰管破漏，造成飛灰逸散。

**處理方式：**爐控收到警報後，即時通知輔機到現場確認，並停止輸送飛灰，避免異常擴大。



## 題目：台化工務部智能工廠 AI 執行報告

### (三) 模組開發流程：

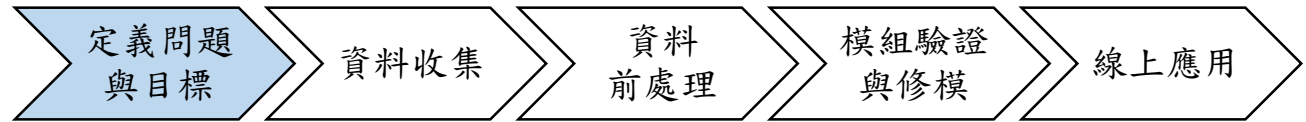
#### 1. 定義問題與目標：

##### (1) 定義問題：

公用廠飛灰輸送管線、儲槽及頂部袋濾式集塵機等設備，因設置高處不易巡查，一旦「飛灰輸送管線破漏」或「集塵機故障」，造成飛灰逸散，若未能即時發現處理，將造成環保問題。

##### (2) 定義目標：

藉由 AI 影像辨識技術結合既有攝影機，開發飛灰洩漏影像辨識模組，當飛灰輸送系統發生洩漏異常，立即發出警報，通知現場人員及時處理，避免進一步衍生更嚴重環保問題。



新港公用廠飛灰輸送管線



新港公用廠飛灰儲槽



## 題目：台化工務部智能工廠 AI 執行報告

### 2. 資料收集：

影像辨識模組需要有圖像檔作為訓練資料，經收集新港公用廠既有攝影主機歷史影片檔案、寧波廠區飛灰洩漏異常照片以及槽車出灰異常照片，擷取漏灰相關相片，透過影像切割軟體，將相片切成約 400 張圖像檔。




定義問題  
與目標

資料收集

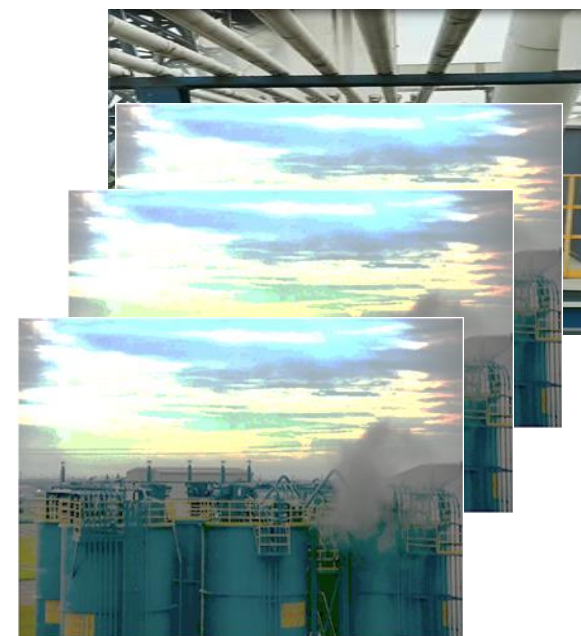
資料  
前處理

模組驗證  
與修模

線上應用

資料來源		
		
新港廠歷史漏灰	寧波廠區飛灰洩漏	槽車卸料

影像  
切割



影像檔

多張圖像檔

## 題目：台化工務部智能工廠 AI 執行報告

### 3. 資料前處理：

因為飛灰洩漏並無固定外型及固定位置，評估以深度學習的物件偵測技術 YOLO(You only look once) 演算法來建模。

在圖像資料收集後，需針對所收集之相片標記屬於飛灰物件之區域，讓 AI 模組能夠透過學習來偵測匡列影像中的物件。實際作法是透過圖像標記程式(LabelImg)框選漏灰區域為物件及定義物件類別，如左圖，程式取得該物件中心座標、寬度及高度，並存成物件偵測建模可讀取之格式(如右圖)，做為物件偵測模組訓練資料。



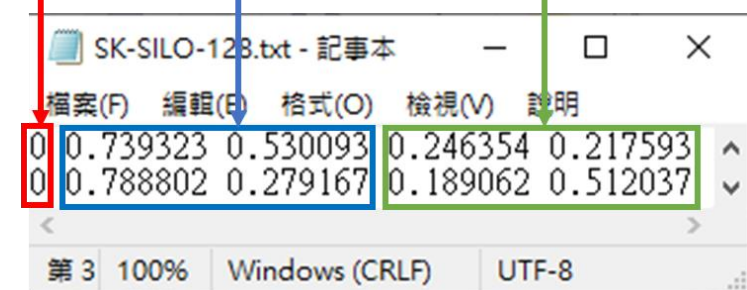
圖像標記程式(LabelImg)

定義 class=0 為飛灰

Bounding box 中心點座標 x,y

類別 id

w, h 寬高座標



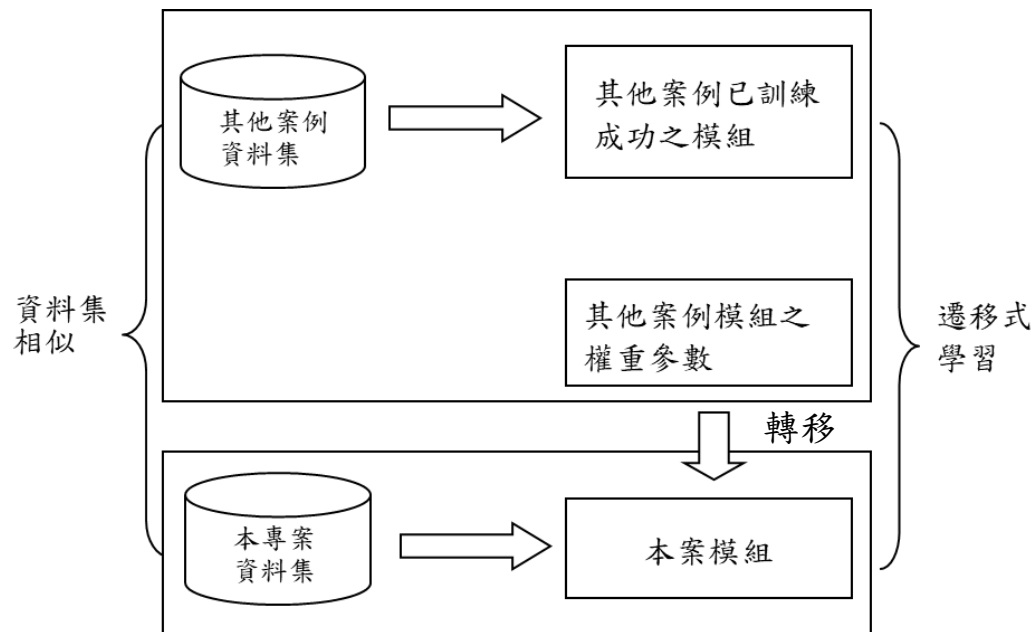
物件偵測建模所能讀取之格式

備註：YOLO 為物件偵測的演算法，用來在圖像中找到某些特定的物體，辨識這些物體的種類，並同時標出物體所在位置。

## 題目：台化工務部智能工廠 AI 執行報告

### 4. 模組驗證與修模：

- (1) 本案初步建模完成後，因歷史漏灰影像數量少，上線偵測結果有誤報情形發生，如右上圖所示，且因無規則可循，模組未能有效學習到飛灰逸散特徵，致無法準確辨識，須再進行修模。
- (2) 經參考深度學習常用修模技巧，可採用遷移式學習來改善模型準確度，此做法是將其他已訓練好的模組權重參數，轉移至另一個相似的模組來幫助訓練學習，可不需從新建模，如左圖所示。
- (3) 因先前本部在其他案已有建立偵測煙霧模組，能確實有效偵測，加上兩者目標物件雷同，經沿用該模組權重套入本案重新訓練，已能準確偵測飛灰洩漏(如右下圖)。



遷移式學習概念流程圖



模組改善前，將雲朵誤判為洩漏



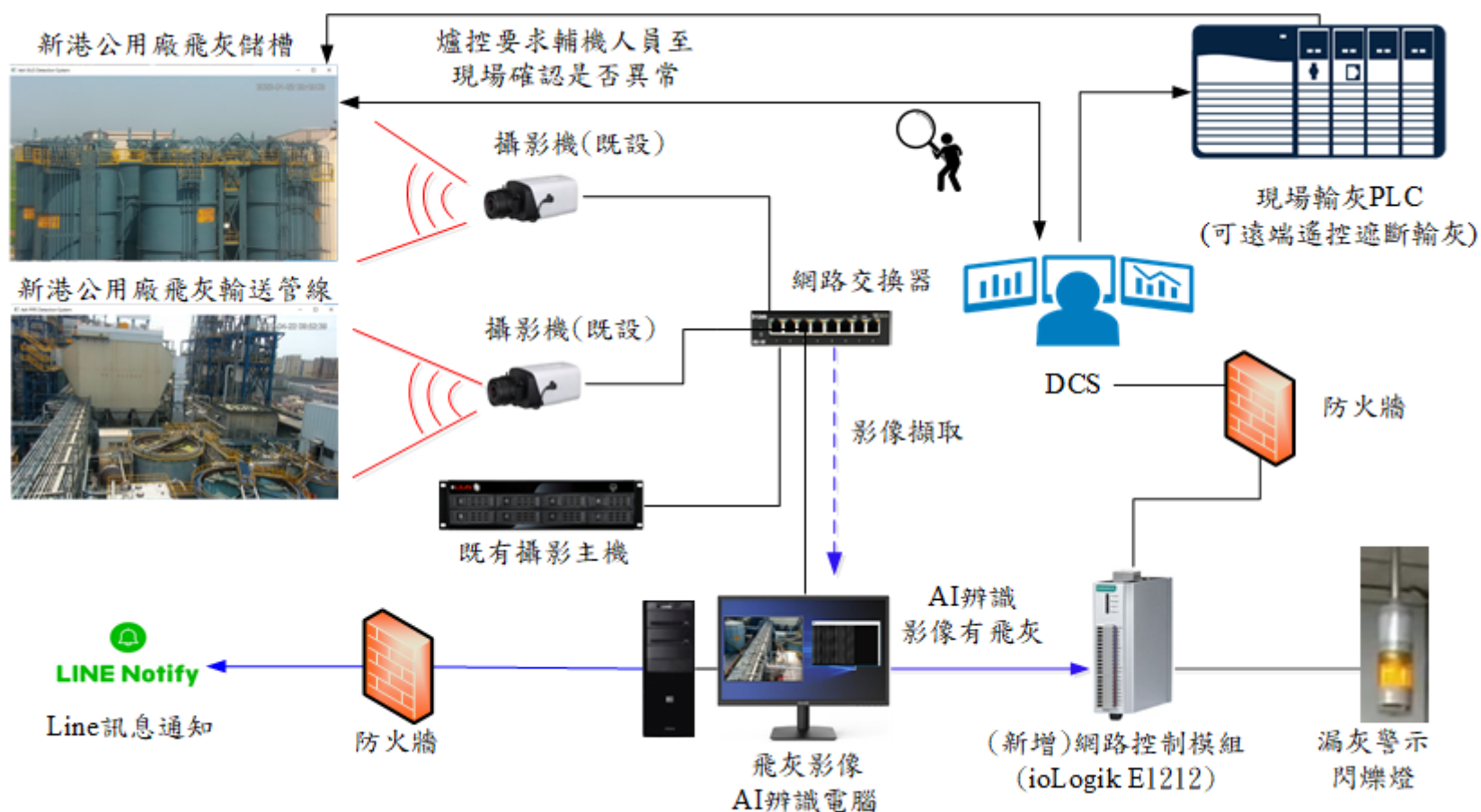
模組改善後，可正確偵測洩漏位置



## 題目：台化工務部智能工廠 AI 執行報告

### 5. 線上應用：

(1)新港公用廠飛灰洩漏影像辨識模組建模完成後，依實際需求進行辨識系統及輸灰控制系統整合設計，同時將飛灰儲槽及飛灰管線之攝影機畫面納入影像辨識模組，系統架構如下圖所示。



## 題目：台化工務部智能工廠 AI 執行報告

定義問題  
與目標






資料收集

資料  
前處理

模組驗證  
與修模

線上應用

(2)新港公用廠飛灰洩漏偵測辨識系統，於 2020/10/20 完成正式上線使用，目前也已同時平行展開至龍德及寧波廠區，各廠完成建模上線後，都有成功偵測到飛灰洩漏異常，並即時處理完成，如下表所示：

廠區	新港廠	龍德廠	寧波廠
時間	2021 年 9 月 17 日 偵測到飛灰逸散異常	2021 年 6 月 10 日 偵測到漏灰異常	2022 年 3 月 6 日 偵測到漏灰異常
偵測相片			
推播訊息			微信推播畫面： 

## 題目：台化工務部智能工廠 AI 執行報告

### 三、結論：

1. 工務部自導入 AI 技術應用後，已自行開發完成汽發電機提高淨發電量、離峰時段負載優化、HPH 操作優化等製程操作優化模組，並獲得良好成效，目前 HPH 操作優化也已陸續平行展開應用至 LT3、新港公用廠 SK1、SK2、SK3 及 SK4 等五部機組，預定 2022/09/30 前全數上線，預估年效益共計 20,607 千元。

機組	LT2	平行展開機組					合計
		LT3	SK1	SK2	SK3	SK4	
預定上線日	已上線	9/30	6/30	6/30	7/31	8/31	-
預估年效益	5,751	479	2,300	2,300	4,026	5,751	20,607

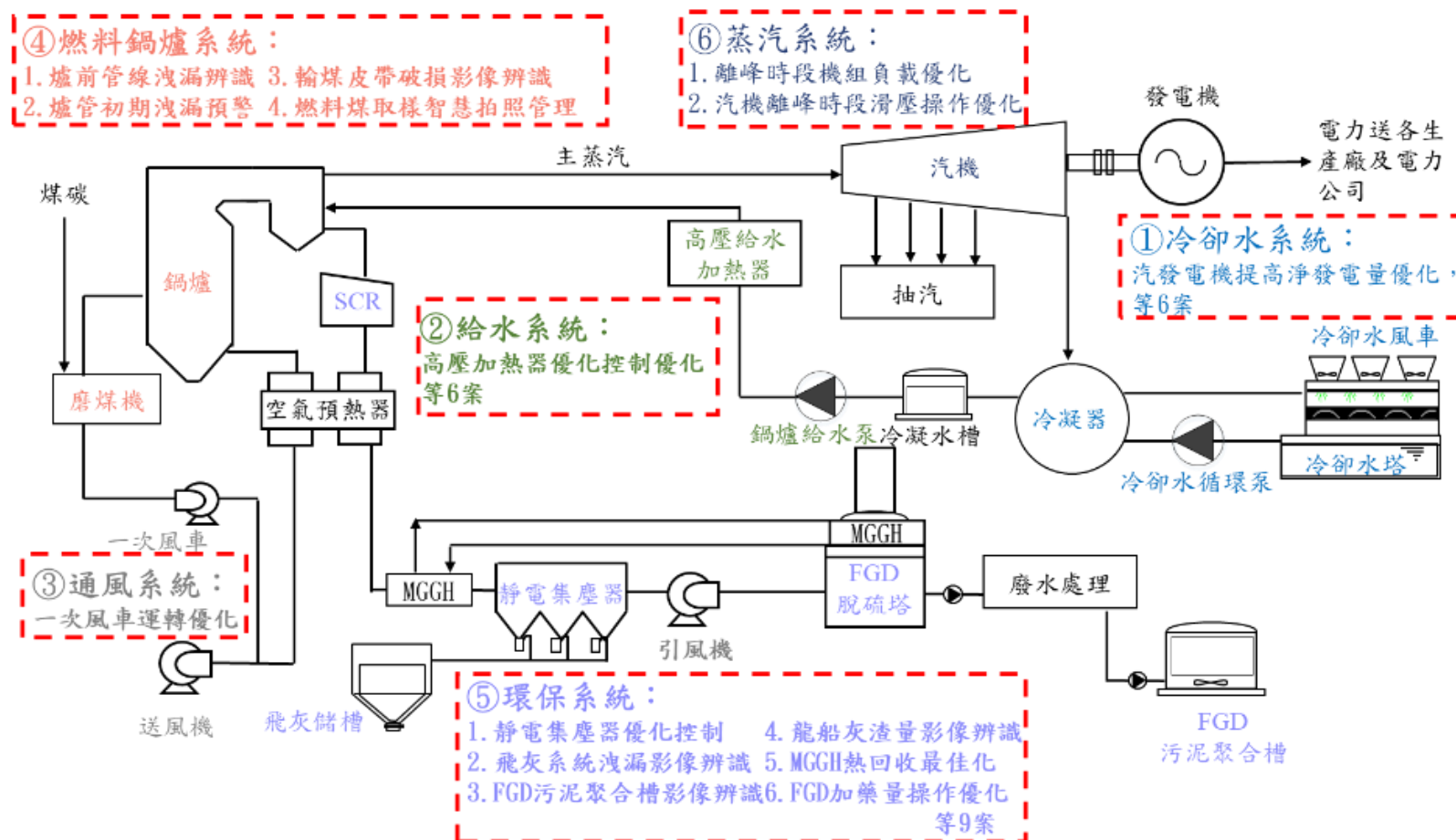
2. 本部各公用廠除了須確保穩定供電、供汽外，在環保與污染防治方面，也要避免異常以確保企業形象，因此本部也運用影像辨識技術自行開發了飛灰洩漏偵測、重油、粉煤管線洩漏檢測等 AI 模組，檢出正確率均有不錯的表現，後續已再針對污泥聚合、鍋爐結渣等易發生異常設備，同樣利用影像辨識技術來進行開發檢測，可有利於及早偵測出異常與處理。
3. 本部近年來受到碳排壓力與燃煤價格飆漲等諸多不利因素影響，在經營上面臨極大挑戰，面對日趨嚴峻的外在環境，本部仍將持續開發 AI 新題目，並精進 AI 技術來輔助優化製程操作與設備性能監控，以提升運轉效益及確保安全生產。



## 題目：台化工務部智能工廠 AI 執行報告

### 附件一：公用廠數位工廠優化應用說明

公用廠發電流程如下圖，包括冷卻水、給水、通風、燃料、環保、蒸汽等六大系統，主要運轉成本以燃料煤及所內用電影響最大，規劃冷卻水塔省電運轉優化、高壓給水節煤操作優化等 3 個 AI 模型，環保減漏優化規劃 5 個 AI 模型，製程優化規劃 4 個 AI 模型，各系統共立案 12 個改善項目。



## 題目：台化工務部智能工廠 AI 執行報告

### 附件二：LT2 高壓給水加熱器操作優化之模型預測與推薦

以 2/5~2/20 的運轉工況數據、煤價及電價用模型進行測試，得到以下結論：

煤價	模組建議 HPH 出口給水溫度	說明
>4.732 元/kg (高煤價)	所有時段皆運行在 205°C	因煤價高，模組建議多抽汽加熱 HPH 出口給水，減少用煤量。
<2.208 元/kg (低煤價)	所有時段皆運行在 188°C	因煤價低，模組建議少抽汽加熱 HPH 出口給水，增加發電量。
2.208~4.732 元/kg (煤價介於中間)	離峰運行在 205°C，其餘時段運行在 188°C	煤價介於中間，建議尖峰降低 HPH 出口給水溫度，離峰提高 HPH 出口給水溫度，減少用煤量。

英文名詞	英文全名	中文名稱	說 明
iEM	-	-	AI 預知保養系統，中瑞泰公司研發
PRiSM	-	-	AI 預知保養系統，AVEVA 公司研發
MGGH	Media Gas Gas Heater	水媒式煙氣加熱器	利用水作為媒介，通過水循環方式將脫硫前高溫煙氣的熱量吸收，用於加熱脫硫後的淨煙氣，提升淨煙氣的溫度，消除煙囪白煙。
FGD	Flue-Gas Desulfurisation	排煙脫硫	去除燃煤電廠煙氣中的硫氧化物(SO <sub>x</sub> )設備。
HPH	High Pressure Heater	高壓加熱器	利用蒸汽對鍋爐給水進行加熱的裝置
Linear Regression	Linear Regression	線性迴歸	為線性建模演算法。
RandomForest	RandomForest	隨機森林	為非線性建模演算法。
XGBoost	XGBoost	極限梯度提升	為非線性建模演算法。

英文名詞	英文全名	中文名稱	說 明
R <sup>2</sup>	R-Square	決定係數	模型評估準確度的方法之一。代表模組預測值與實際值的趨勢相似程度。越趨近於 1 越準確。
MAPE	Mean-absolute percentage error	平均絕對誤差率	模型評估準確度的方法之一。代表預測值與實際值的平均誤差率，單位為%。越趨近於 0 越準確。
DCS	Distributed Control System	分散式控制系統	當正常機制發生異常，無法在短期間內排除，繞過這些機制，使系統繼續運行。
YOLO	You only look once	—	物件偵測的類神經網路演算法。
RTPMS	Real-time Production Management System	即時生產管理系統	將廠內的即時生產操作數據儲存於資料庫，並可將數據顯示於電腦。
SOP	Standard Operating Procedures	標準作業程序	把事件的操作步驟用標準化方式寫下來，用在企業指導或是規範員工的工作內容。