

台塑石化公司

②

汽電廠操作優化推動報告

公用部 彙編

2020年7月13日

【密】 【會後收回】

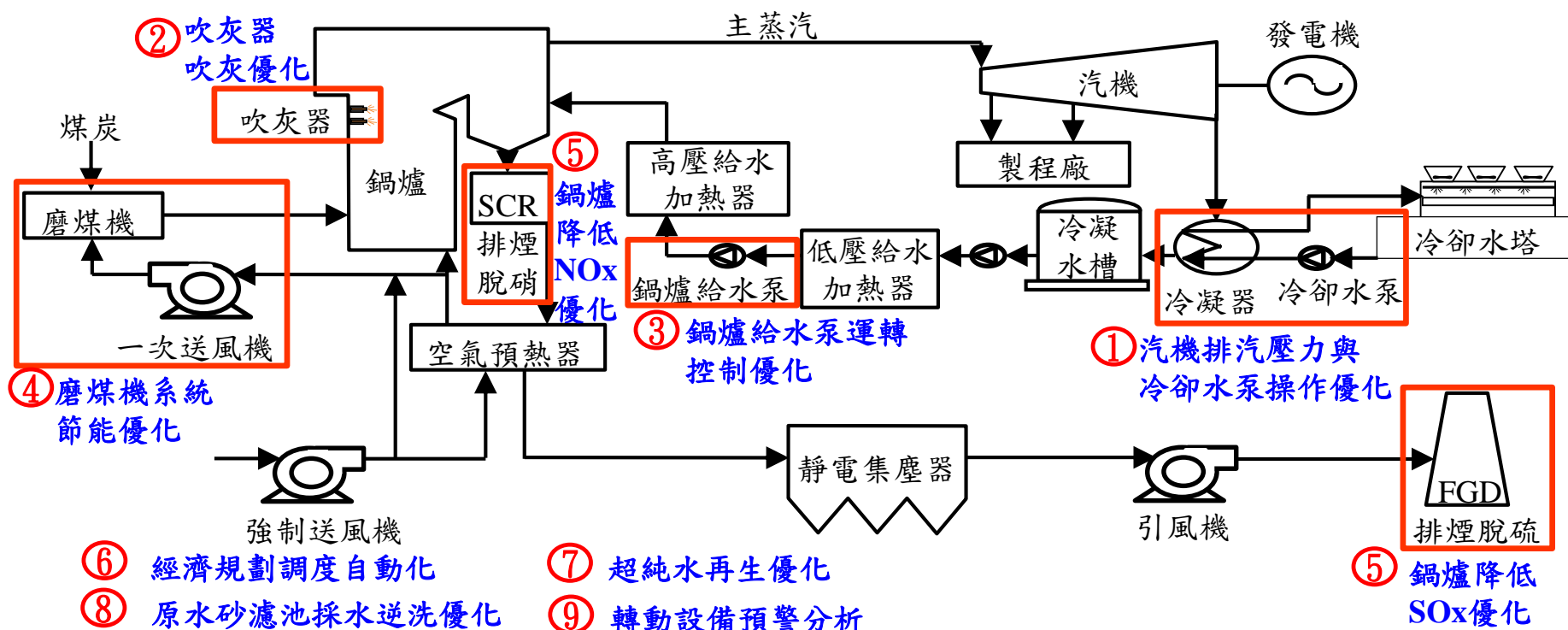
報告內容

- 一、動機說明
- 二、執行規劃與架構
- 三、汽機排汽壓力與冷卻水泵節能應用案例
- 四、未來強化重點

一、動機說明

(一)操作優化盤查：

1. 汽電廠設備節能改善早期以單元設備為主，經多年推動多數已改善完成，未來以提升操作效率作為節能優化的目標，經盤查後優先推動操作優化空間大設備，包括汽機排汽壓力與冷卻水泵操作優化、經濟規劃調度自動化等9項。
2. 因須利用大量運轉數據做分析演算，導入AI技術即時尋找最佳操作點。



操作優化盤查示意圖

一、動機說明

(二)操作優化推動進度：(1/2)

針對推動中9個項目，將先驗證有預期成效後再平行展開至其它機組(詳細內容如第3頁、第4頁)。本次提出已有模擬驗證項次1汽機排汽壓力與冷卻水泵操作優化執行案例分享報告。

項次	操作優化推動項目	規劃改善台數	投資金額(千元/台)	預估年效益		改善內容重點
				節能	(千元/台)	
1	公用部汽機排汽壓力與冷卻水泵操作優化	8	1,380	節電 96度/時	1,699	優化汽機末段排汽壓力操作範圍，尋找發電機發電量與冷卻水泵用電量差異，達到最大淨發電量。
2	公用部鍋爐吹灰器吹灰優化	16	1,991	節汽 0.22噸/時	1,418	由既有定時吹灰，改為狀態基準吹灰，降低吹灰次數減少蒸汽使用量。
3	公用部鍋爐給水泵運轉控制優化	5	1,968 (5台)	節電 66度/時	1,162 (5台)	演算汽鼓水位、蒸汽流量、給水流量運轉值減少鍋爐給水泵用電量。
4	公用部鍋爐磨煤機系統節能優化	16	1,662	節電 89度/時	1,566	控制磨煤機系統(一次風風量/風壓等)縮小操作範圍，達到節能。
5	公用部鍋爐降低NO _x 、SO _x 優化	16	2,484	減排改善		由鍋爐流場分析，調整鍋爐燃燒狀態，減少SO _x 、NO _x 排放。

一、動機說明

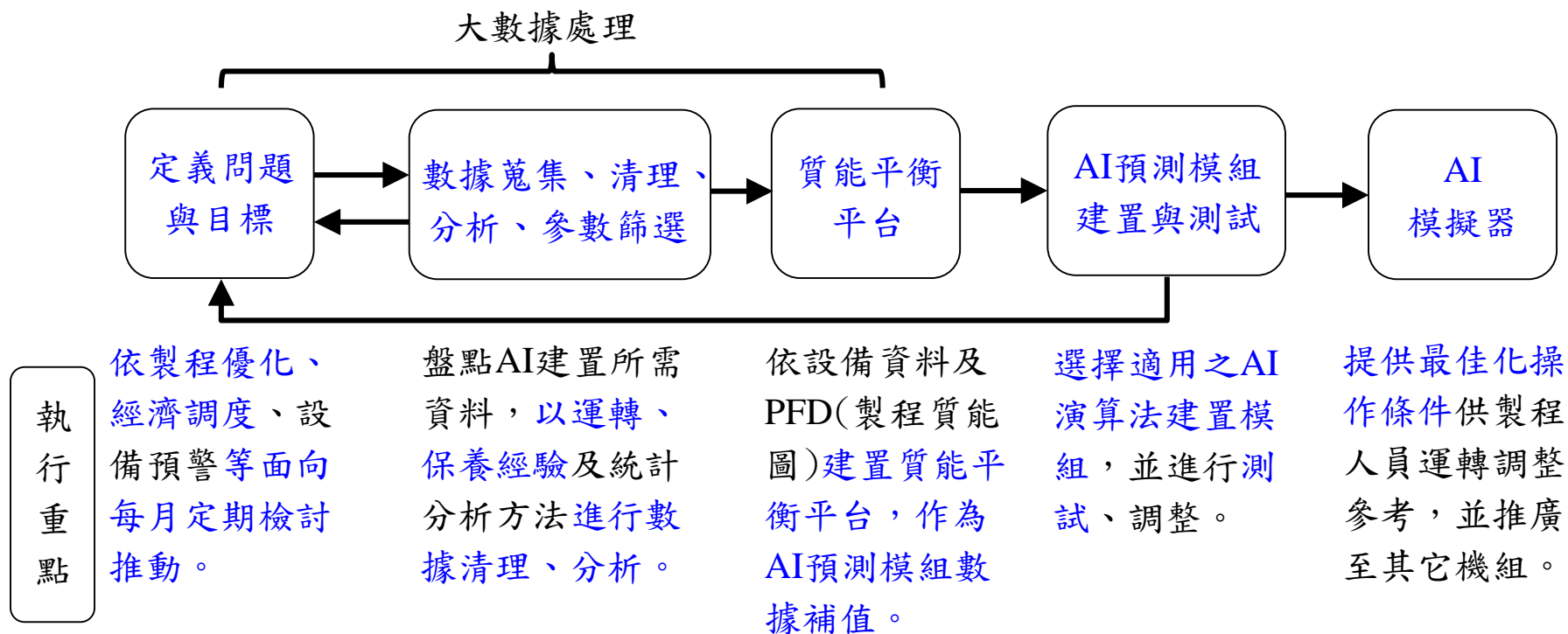
(二)操作優化推動進度：(2/2)

項次	操作優化推動項目	規劃改善數量	投資金額(千元/ST)	預估年效益		改善內容重點
				節能	(千元/ST)	
6	公用部經濟規劃調度自動化	1	4,150	節煤 1,650 噸/年	4,267	系統演算公用部16部機組最佳升降載時間點，並配合製程廠用電/汽變化建立各機組開停車排程及系統購(售)電狀況。
7	公用部超純水再生優化	2	6,130	節電 11.6度/時 節水 11.5噸/時	2,919	藉由AI分析不同季節下，採水量與導電度、氯鹽等關聯性，預測可採水時間，減少再生次數及用電量。
8	公用部原水砂濾池採水逆洗優化	1	980	節電 0.5度/時 節水 3.3噸/時	315	藉由AI分析處理水量與濁度之關聯性，增加8系列採水時間，減少砂濾池逆洗次數及用電量。
9	公用部轉動設備預警分析	16	6,500	預警分析		建置汽機、發電機、鍋爐給水泵設備運轉趨勢預警系統。

二、執行規劃與架構

(一)AI建置規劃(流程示意圖)：

1. 學習業界方法，我們推動AI有5大步驟，主要分為定義問題與目標，數據蒐集、清理及參數篩選，建置質能平衡平台，AI預測模組建置與測試，建置AI模擬器。
2. 初期以購買可運用軟體及產學合作方式來執行，由各廠推行專人實際參與，學習質能平衡平台建置、建模技術與演算法應用。



二、執行規劃與架構

(二)定義問題與目標：

1. 公用部汽電廠主要供應麥寮廠區製程廠蒸汽、電力，隨製程廠用汽量調整，汽機抽汽量、復水量及發電量會隨之變動。

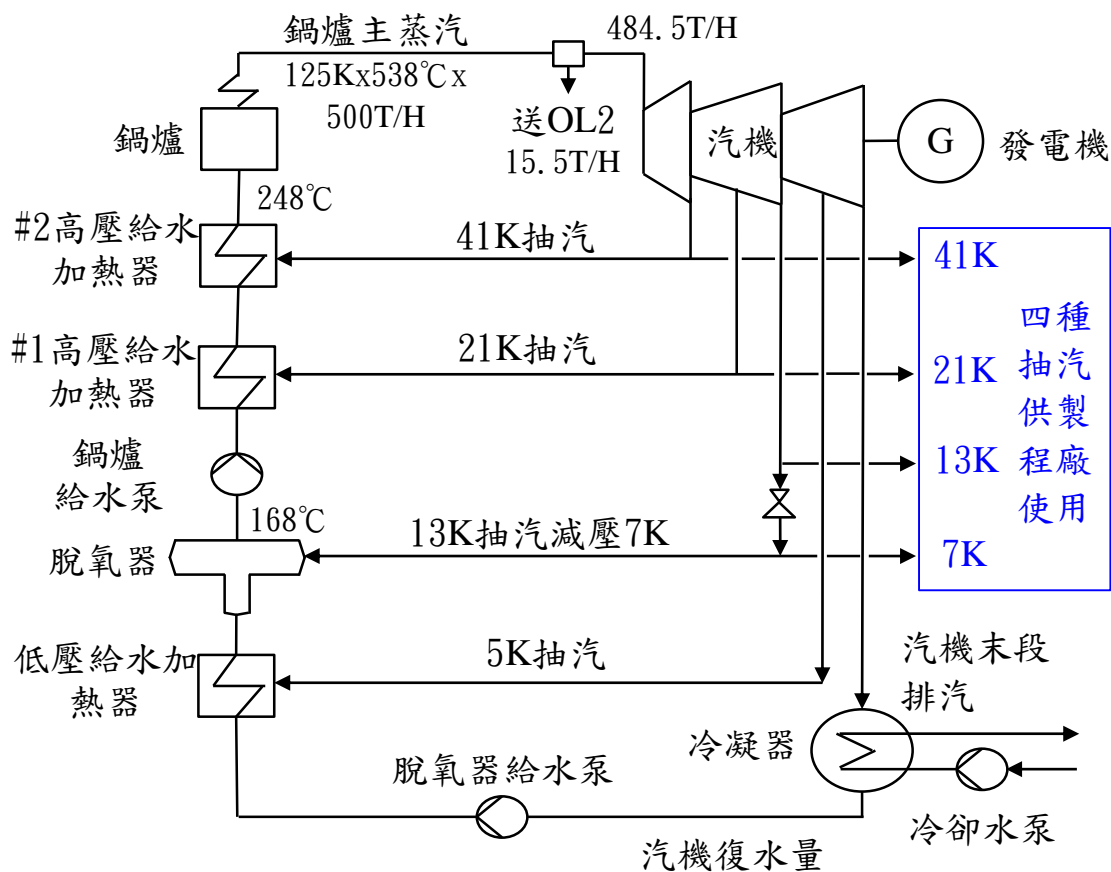


圖1：汽電共生機組基本循環圖

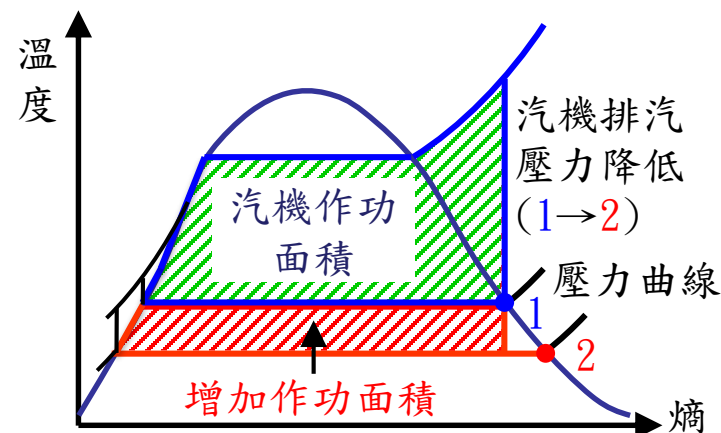


圖2：朗肯循環(Rankine Cycle)曲線

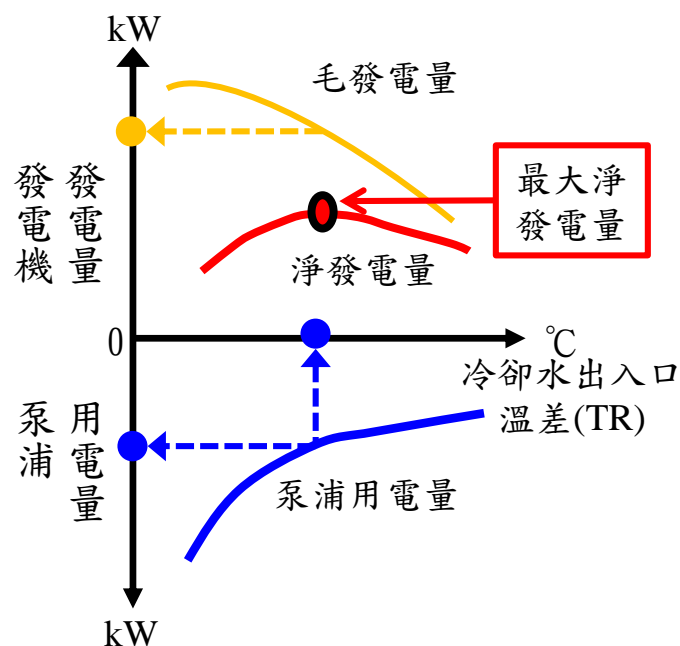
汽機末段排汽壓力是利用冷卻水進行熱交換，排汽壓力愈低(真空度愈高)，汽機做功愈多，發電量愈高。

當冷卻水量增加排汽壓力降到一定程度，發電機發電量將無明顯變化，反而增加冷卻水泵用電，所以冷卻水量有優化調整空間。

二、執行規劃與架構

(二)定義問題與目標：

2. 冷卻水流量是由操作人員依冷卻水出入口溫度差(TR)進行冷卻水泵運轉起停。
3. 以HG1汽發電機為例，冷卻水出入口溫度差控制在4~9°C，經統計2019年<7.0°C計有261天偏向管制值下限，所以冷卻水量偏多，仍有減少空間，因人工無法即時計算最大淨發電量，所以擬藉由AI協助。



淨發電量 = 毛發電量 - 泵浦用電量

冷卻水量	冷卻水出入口溫度差	發電機毛發電量(A)	泵浦用電量(B)	淨發電量(A-B)
愈多 ↑	愈小 ↓	愈高 ↑	愈高 ↑	非最大淨發電量

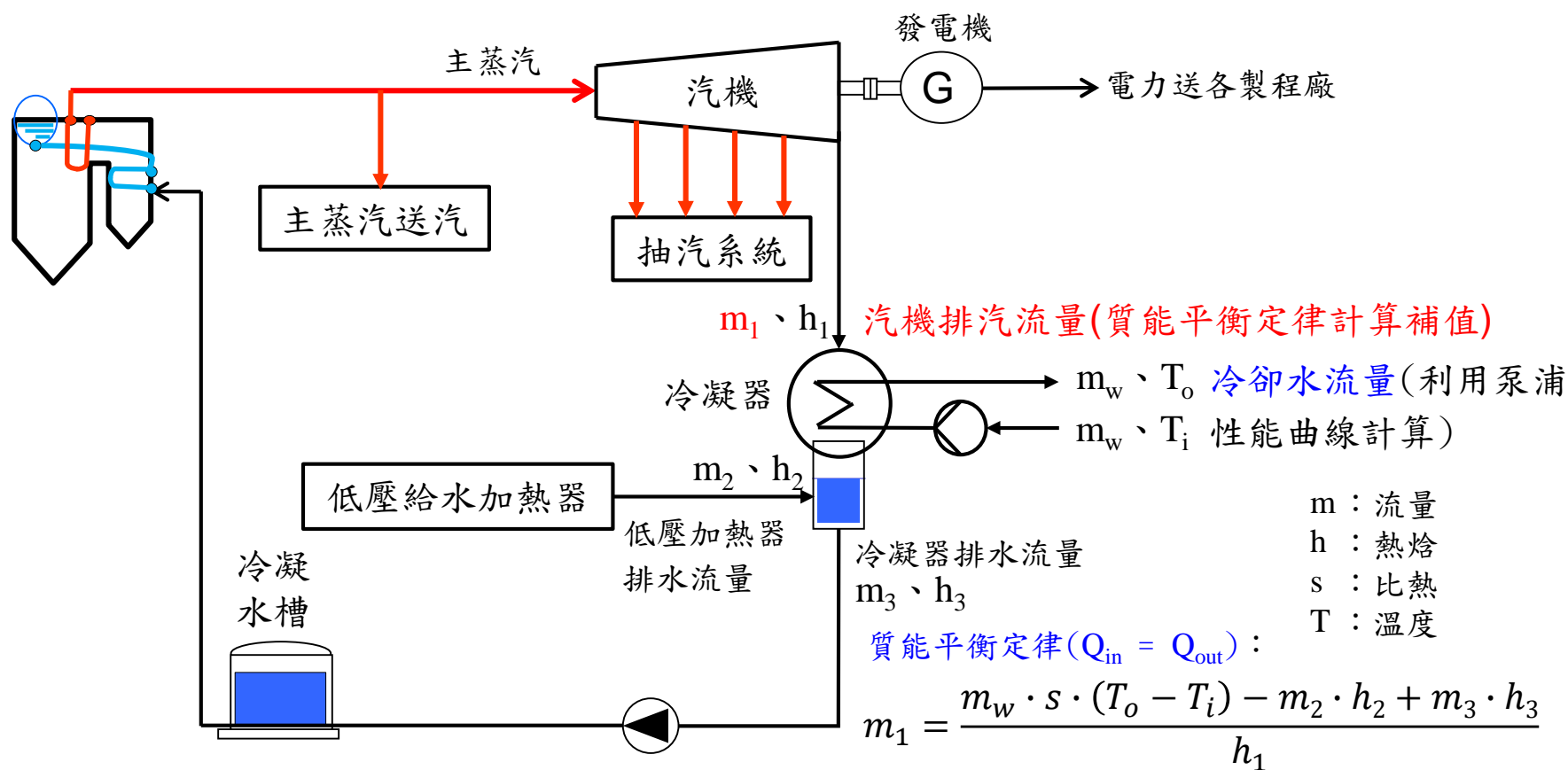
執行項目	汽機操作規範		
現況冷卻水泵目前運轉方式	TR：冷卻水出入口溫度差 調整說明： $4^{\circ}\text{C} \leq \text{TR} \leq 9^{\circ}\text{C}$ 1.當TR大於 9°C 時，即增加冷卻水流量 2.當TR小於 4°C 時，即減少冷卻水流量		
實際冷卻水出入口溫度差統計	TR($^{\circ}\text{C}$)	平均TR($^{\circ}\text{C}$)	運轉天數
	$7.0 < \text{TR} \leq 9.0$	7.4	104
	$4.0 \leq \text{TR} \leq 7.0$	5.5	261

HG1汽發電機冷卻水出入口溫度差2019年運轉統計表

二、執行規劃與架構

(三)數據蒐集、清理及參數篩選：

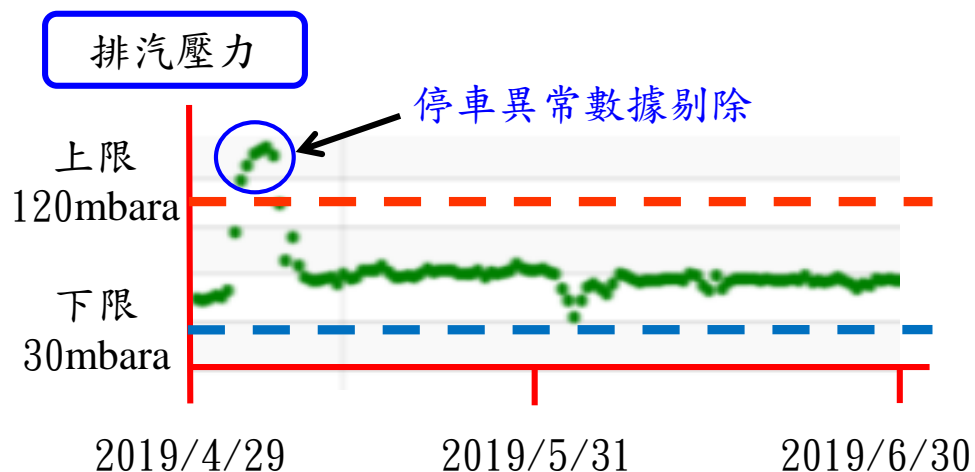
1. 執行數據蒐集時，線上儀錶已足夠運轉操控，藉由AI尋找最佳冷卻水量時，發現欠缺汽機排汽流量數據。
2. 由於汽電廠製程係依熱力學質能平衡定律設計，可利用此定律計算補足欠缺的數據，如下圖所示。



二、執行規劃與架構

(三)數據蒐集、清理及參數篩選：

3. 由運轉、保養人員經驗，蒐集2019/04/29~6/30期間與冷卻水流量相關聯34個參數，數據約20.5萬筆。
4. 將開停車、儀錶檢修及設備異常數據剔除，再利用統計分析手法，篩選出與冷凝器冷卻水流量相關聯6個關鍵參數約3.5萬筆數據。



1mbara=10.19mmH₂O

汽機排汽壓力異常數據剔除

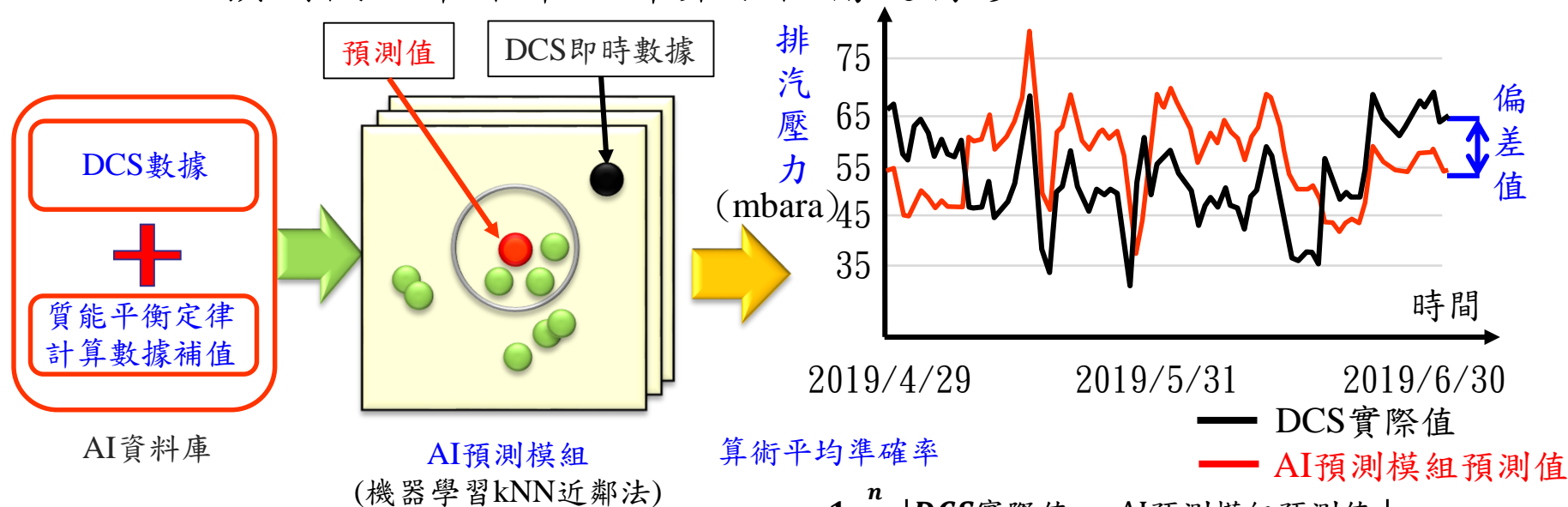
以冷凝器「冷卻水流量」為
目標函數篩選出6個關鍵參數

關鍵參數名稱
冷卻水出口水溫(°C)
冷卻水入口水溫(°C)
低壓加熱器排水流量(T/H)
汽機排汽溫度(°C)
汽機排汽壓力(mbara)
汽機排汽流量(T/H)

二、執行規劃與架構

(四)AI預測模組測試(質能平衡定律計算數據)：

1. 經清理、篩選後數據資料，導入AI預測模組，以冷凝器排汽壓力來驗證模組準確率，演算預測值與DCS實際值之算術平均準確率只有64.5%。
2. 經檢討計算數值未考慮設備實際運轉性能所造成偏差，為提高AI預測模組準確率，計算數值需進行修正。



算術平均準確率

$$= \left(1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|DCS\text{實際值}_i - AI\text{預測模組預測值}_i|}{DCS\text{實際值}_i}\right) \times 100\%$$

偏差值=DCS實際值-AI預測模組預測值

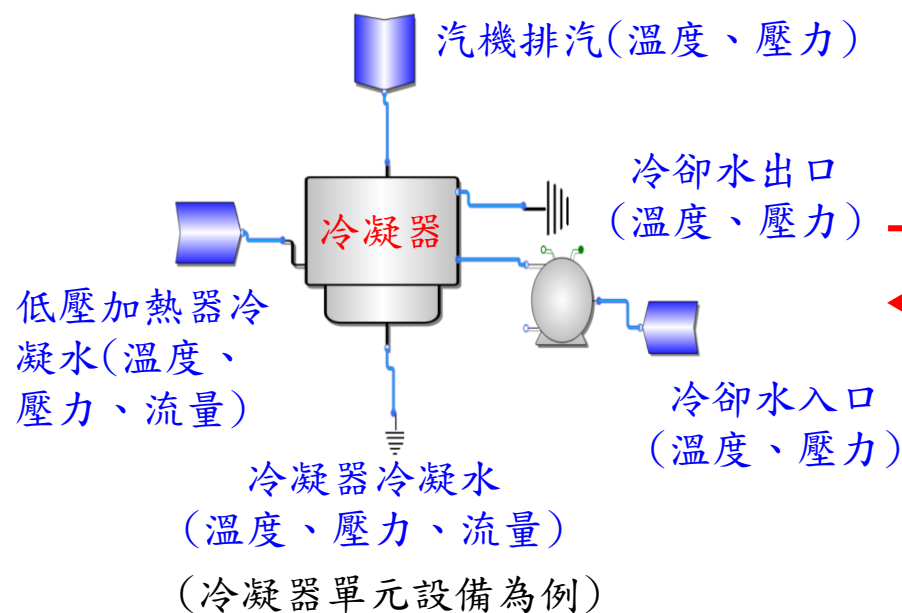
偏差值愈大→算術平均準確率愈低

利用質能平衡定律計算數據導入AI預測模組準確率測試

二、執行規劃與架構

(五)質能平衡平台建置說明：

1. 冷凝器實際運轉的熱交換效率會受到銅管塞管率、銅管清潔度等6項參數影響，需進行參數調整來提高AI預測模組準確率。
2. 經多方洽詢評估與核研所合作以冷凝器廠商設計資料建置質能平衡平台，以冷凝器之汽機排汽、低壓加熱器冷凝水等5項DCS數據來反覆調整冷凝器6項參數，當質能平衡平台運算值與DCS數據誤差小於0.5%，此時冷凝器質能平衡平台即建置完成。



調整參數	數據來源
銅管塞管率(%)	定檢檢測報告
銅管數量(pc)	定檢檢測報告
銅管外徑尺寸(mm)	設備設計資料
冷凝器表面積(m ²)	定檢檢測報告
銅管清潔度(%)	平台運算
冷卻水循環量(m ³)	平台運算

反覆調整

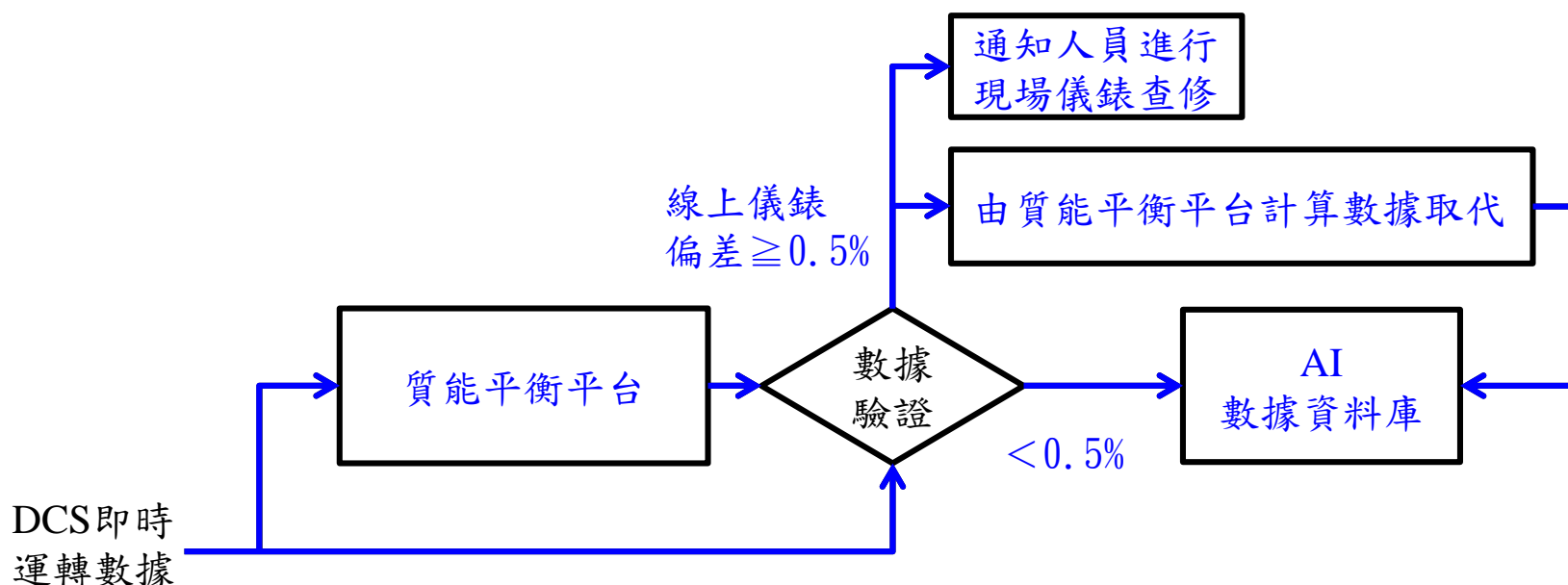
依據美國熱交換協會規範 HEI Standards for Steam Surface Condensers

二、執行規劃與架構

(五)質能平衡平台應用：

3. 經參數調整完成的質能平衡平台除可將DCS缺少之數據計算補足，若線上儀錶數據與平台計算數據偏差小於0.5%直接匯入AI資料庫，偏差大於0.5%通知人員進行現場儀錶查修外，並以質能平衡平台計算數據取代，匯入至AI數據資料庫。

質能平衡平台優點：經實際驗證數值誤差率小於0.5%符合ASME規範。



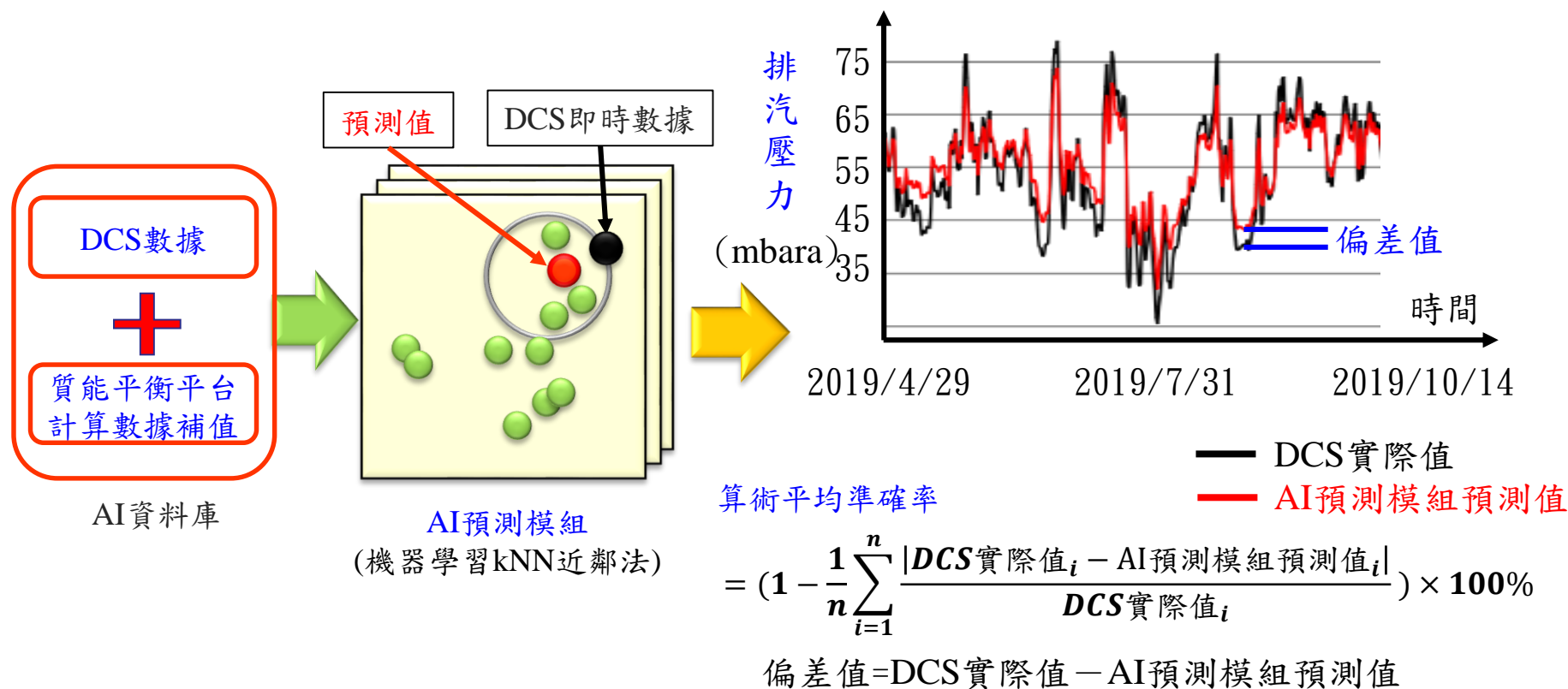
ASME PTC：American Society Of Mechanical Engineers Performance Test Codes 工程判斷：<0.5%

質能平衡平台應用流程示意圖

二、執行規劃與架構

(六)AI預測模組測試(質能平衡平台計算數據)：

為印證質能平衡平台計算數據可提升AI模組準確率，以2019/4/29~10/14期間DCS數據加上質能平衡平台計算數據，導入AI預測模組，同樣以冷凝器排汽壓力作測試，演算預測值與DCS實際值算術平均準確率由原本64.5%提高至95.6%。

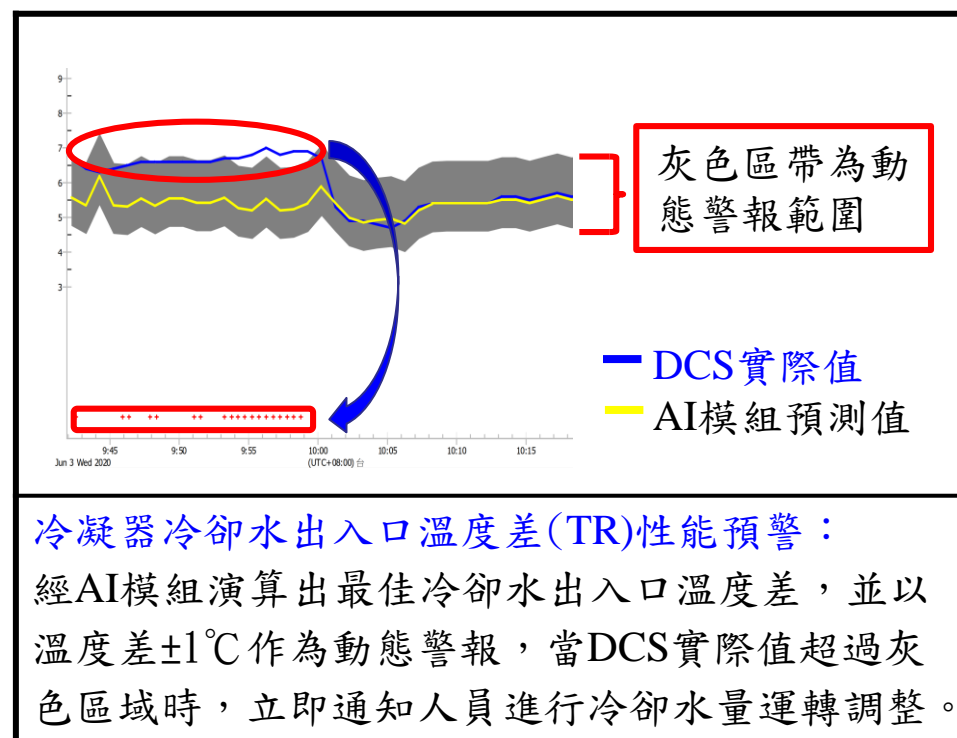
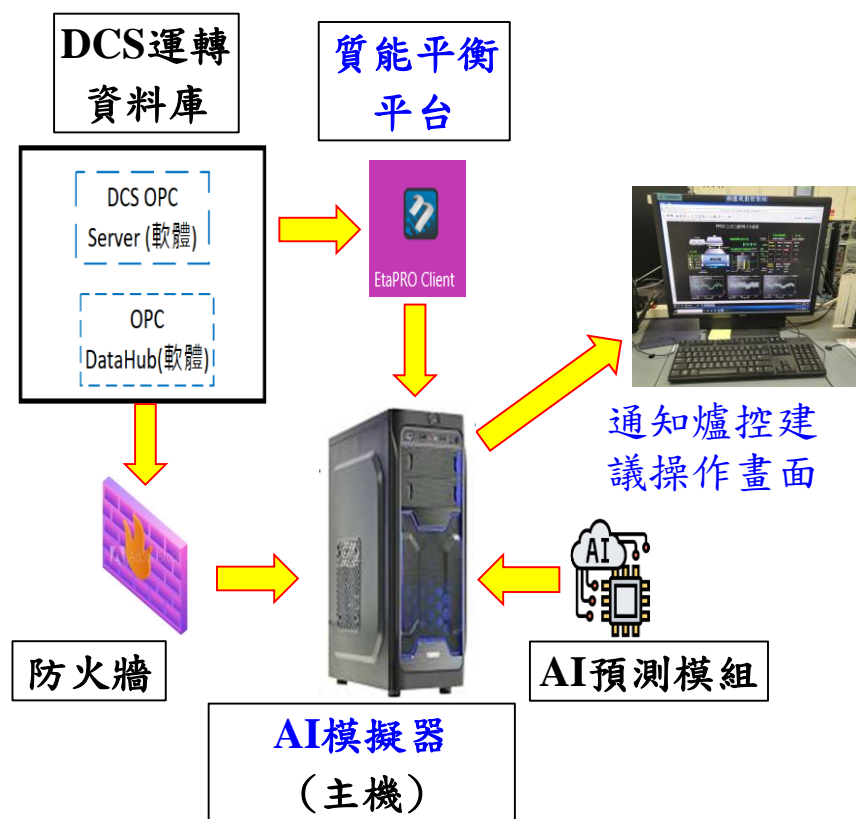


利用質能平衡平台計算數據導入AI預測模組測試

二、執行規劃與架構

(七)AI模擬器：

1. 此模擬器內建符合熱力學電廠單元設備質能平衡平台，可結合AI演算法，提供模擬演算建議操作畫面。
2. 已應用於冷凝器冷卻水出入口溫度差性能預警，超過動態警報上限或下限 1°C (依ASME規範)，通知人員進行冷卻水運轉調整。



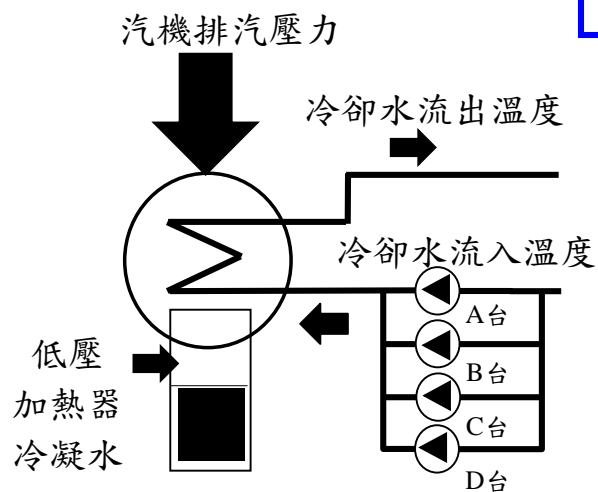
AI模擬器應用架構示意圖

三、HG1汽機排汽壓力與冷卻水泵節能應用案例

(一)優化成果：

1. 以2019/5/2運轉條件，冷卻水量8,400T/H、冷卻水出入口溫度差4.9℃，發電量53,942kW。
2. 經AI模擬演算，冷卻水量為6,032T/H時，冷卻水出入口溫度差7.8℃，可達到最佳節電效益，因冷卻水量減少，泵浦可減少用電量200kW；汽機排汽壓力雖上升4.7mbara，發電機發電量減少31kW，但總體可節電169kW。

$$\text{節電效益} = \text{泵浦減少用電量} 200\text{kW} - \text{發電機減少發電量} 31\text{kW} = 169\text{kW}$$



冷卻水泵7101A~C
(4,200T/H、400kW)
冷卻水泵7101D
(2,200T/H、200kW)

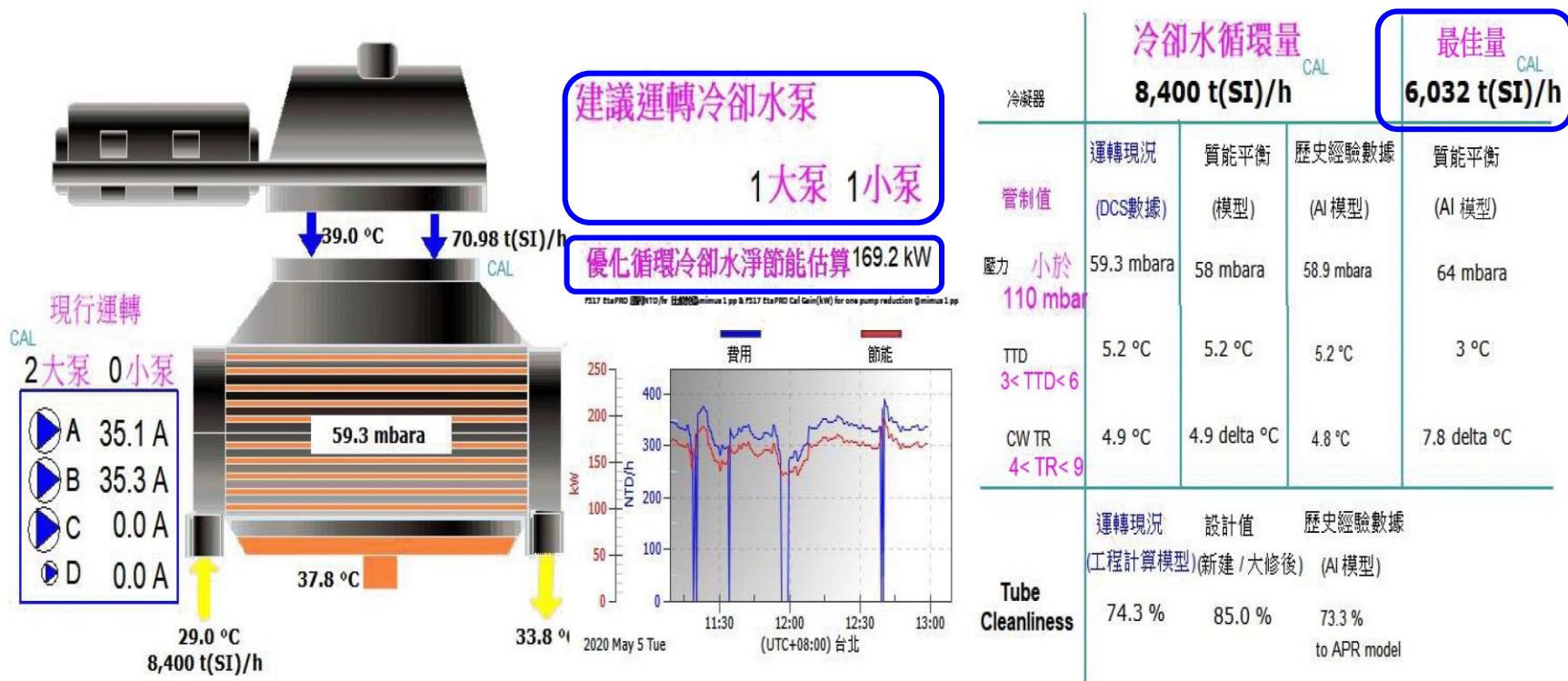
2019/5/2 原始數據	冷卻水量 (T/H)	冷卻水 出入口 溫度差 TR(℃)	汽機 排汽 壓力 (mbara)	發電機 發電量 (kW) (A)	泵浦 耗電量 (kW) (B)	淨發 電量 (kW) (A-B)
DCS 即時 數據	8,400	4.9	59.3	53,942	800	53,142
AI預測 模組 演算	6,032 (-2,368)	7.8 (+2.9)	64.0 (+4.7)	53,911 (-31)	600 (-200)	53,311 (+169)

1mbara=10.19mmH₂O

三、HG1汽機排汽壓力與冷卻水泵節能應用案例

(一)優化成果：

3. 即時模擬演算於2020/5/18上線，受限既有設備配置雖然模擬演算最佳冷卻水流量為6,032T/H現只能選擇較相近的運轉組合6,400T/H運轉，尚有節電空間，擬再增設變頻調速裝置，增加節電效益。



TTD(Terminal Temperature Difference)：
冷凝器終端溫度差

HG1汽發電機冷凝器冷卻水模擬演算建議操作畫面

三、HG1汽機排汽壓力與冷卻水泵節能應用案例

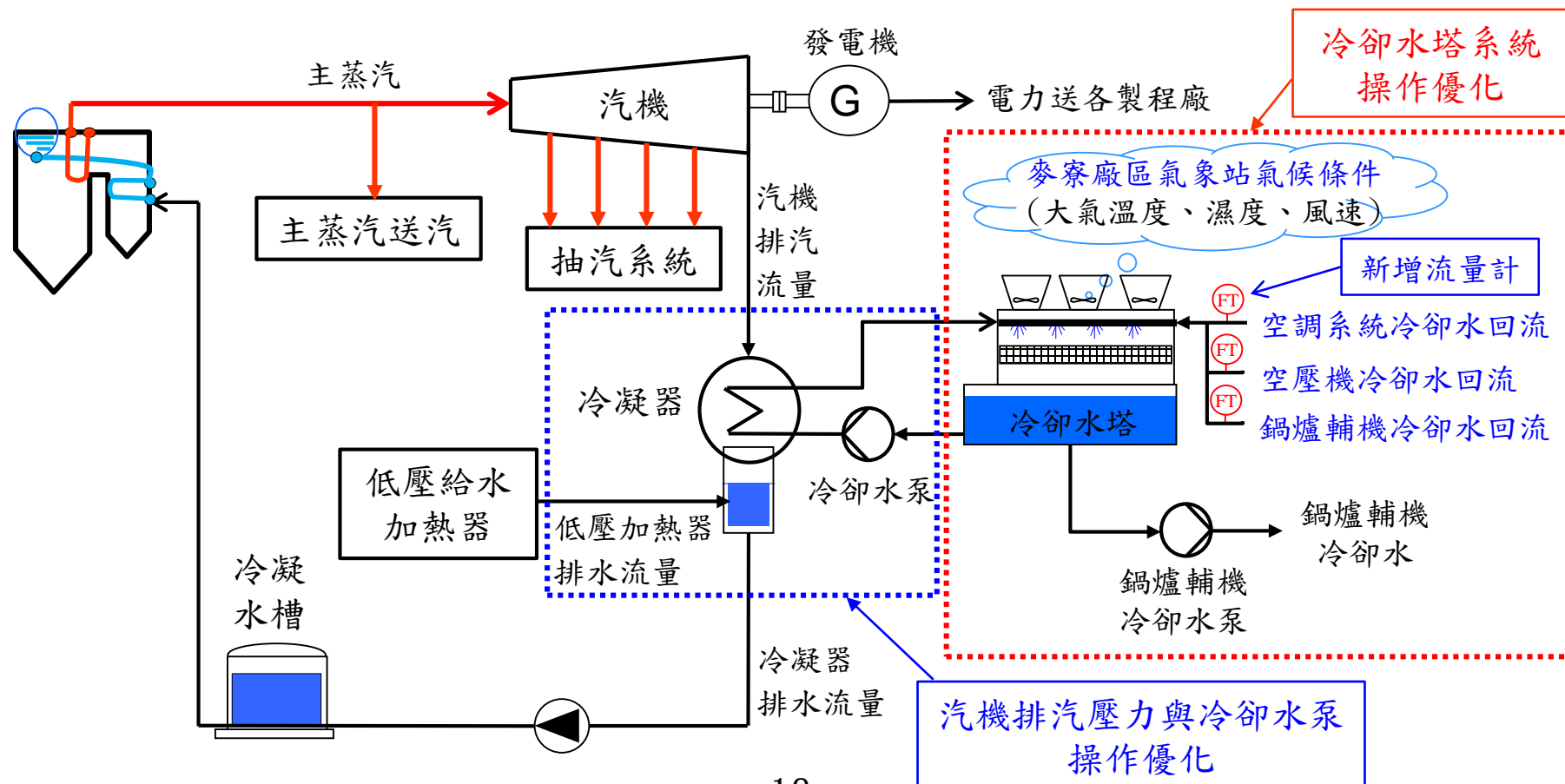
(二)效益分析：

1. 本案投資：1,380千元。
2. 改善效益：以2019/4/29~2020/4/29期間數據資料經模組模擬演算最佳冷卻水量，受限既有設備配置，選擇最相近運轉組合運轉，每年節電效益1,699千元，回收年限0.81年。

	節電(度/時)	節電金額(千元)
每年節電效益(單台機組)	96	1,699

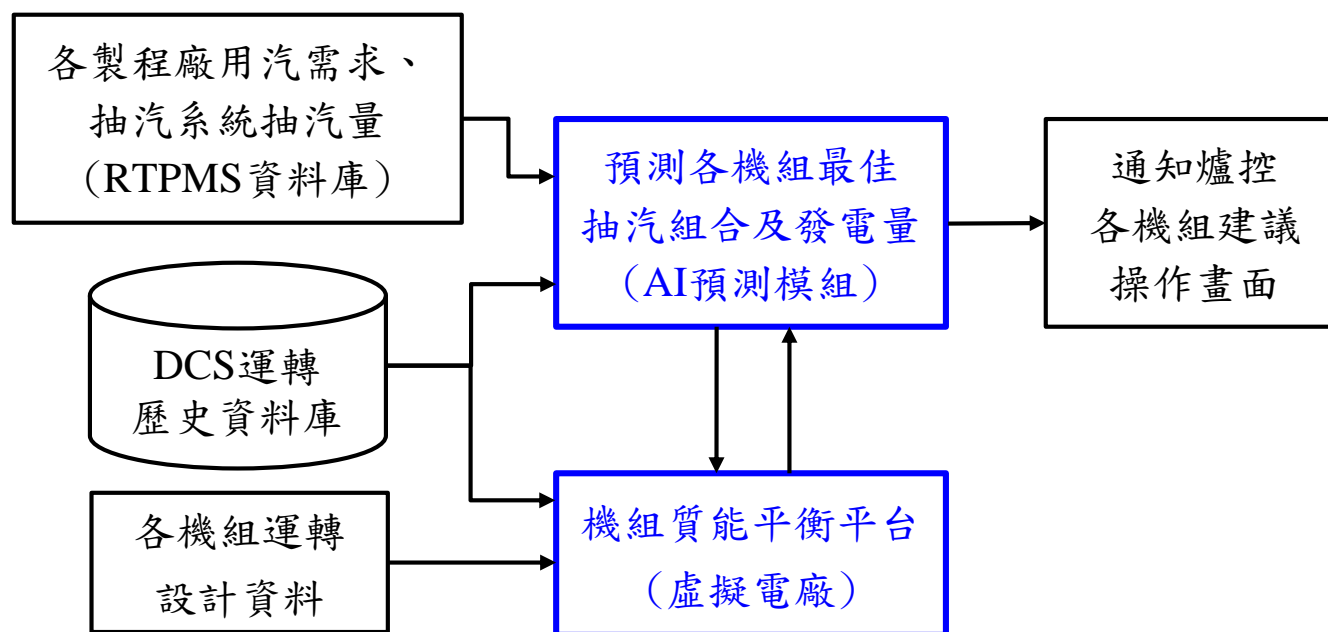
四、未來強化重點

(一)HG1汽機排汽壓力與冷卻水泵操作優化，經實際驗證已具有節電成效，持續擴展至冷卻水塔系統操作優化改善，目前因現有分析數據尚未連結氣候條件(大氣溫度、濕度、風速)及欠缺公用區(空壓機、空調系統)輔機冷卻水流量等數據，導致準確度偏低，已規劃連結當地氣象站數據與增設輔機冷卻水流量計，以提高模組準確度，達到淨發電量最大效益。



四、未來強化重點

(二)進一步建置各單元設備之質能平衡平台，結合成完整虛擬電廠，藉由各機組完整質能平衡平台，在機組負載和製程廠用汽量動態平衡下，透過AI演算尋找機組最佳抽汽分配組合，除穩定供應各製程廠蒸汽，並降低發電成本。



RTPMS(Real-Time Power Management System)：即時電力管理系統

(三)經驗證有預期成效優化項目，將推廣至本部其他機組，提供企業汽電廠參考應用。

報 告 完 畢
恭 請 指 導