

四、全面推動數位工廠執行報告

專題	目錄	頁次
(一)	前言	55 ~ 55
(二)	數位工廠優化架構	56 ~ 56
(三)	數位工廠製程優化應用說明	57 ~ 59
(四)	龍德PTA廠氧化段CTA氧化反應優化模組開發	60 ~ 67
(五)	數位工廠優化開發進度與總結與後續工作	68 ~ 68
(六)	化三部數位工廠(AI)應用彙總	69 ~ 75
(七)	各廠數位工廠優化項目	76 ~ 78

四、全面推動數位工廠執行報告

題目：數位工廠優化推動計畫

(一)、前言：

隨著電腦運算效能與數值方法應用的快速發展，可以運用過去累積的數據，經由數據分析、模擬軟體應用、機器學習建模，將現有管理方式優化至預測、預警，並提供操作建議的管理模式，達到提升產品品質、降低成本，並提高營運管理效率。

本部推動方向主要有數位工廠優化與營運管理優化兩部分，數位工廠優化是建立製程即時管理系統，並進一步導入優化模組，應用在製程優化、製程模擬、設備管理、工廠安全；營運管理優化是透過數位化工具，將重覆性、例行性高的工作進行連續性的分析及優化。

因純對苯二甲酸(PTA)與純間苯二甲酸(PIA)製程相似，現階段優先執行PTA的數位工廠優化，後續將平行展開到PIA工廠。

數位工廠優化

製程優化

- 即時製程管理系統
- 製程優化模組
- 品質預測模組

設備管理

- 轉動設備振動即時監診
- 設備健康度預警模組

製程模擬

- 製程流量、組成軟儀錶點建置

工廠安全

- 作業人員安全行為監控
- 管線腐蝕、洩漏監控

營運管理優化

商情資訊

- 原料及產品價格統計分析
- 原料及產品供需統計分析
- 同業銷售量商情統計分析

營業管理

- 訂單進度即時追蹤
- 客戶需求及庫存資訊整合
- 客戶貢獻分析

產銷優化

- 產、銷、庫存協調數位化
- 產品損益預估
- 產銷量最適化推薦

四、全面推動數位工廠執行報告

題目：數位工廠優化推動計畫

(二)、數位工廠優化架構：

數位工廠優化需自動化收集整合不同的數據來源，運用製程模擬與機器學習等工具，結合製程、保養等領域知識，開發管理系統以及預測、優化模組，反映工廠運行的狀態，並進一步利用模組達到提升效益及預警監控的效用。

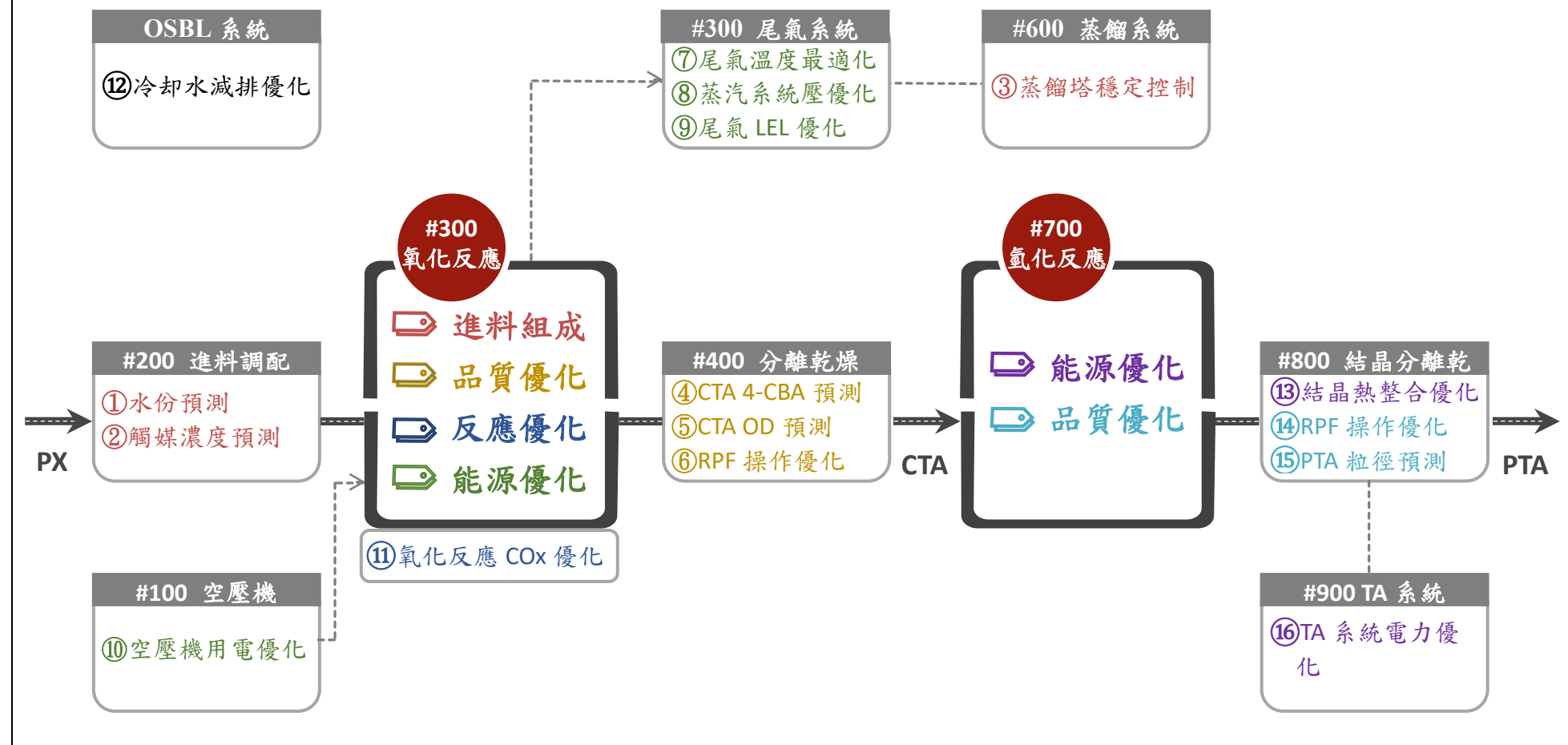


四、全面推動數位工廠執行報告

題目：數位工廠優化推動計畫

(三)、數位工廠製程優化應用說明：

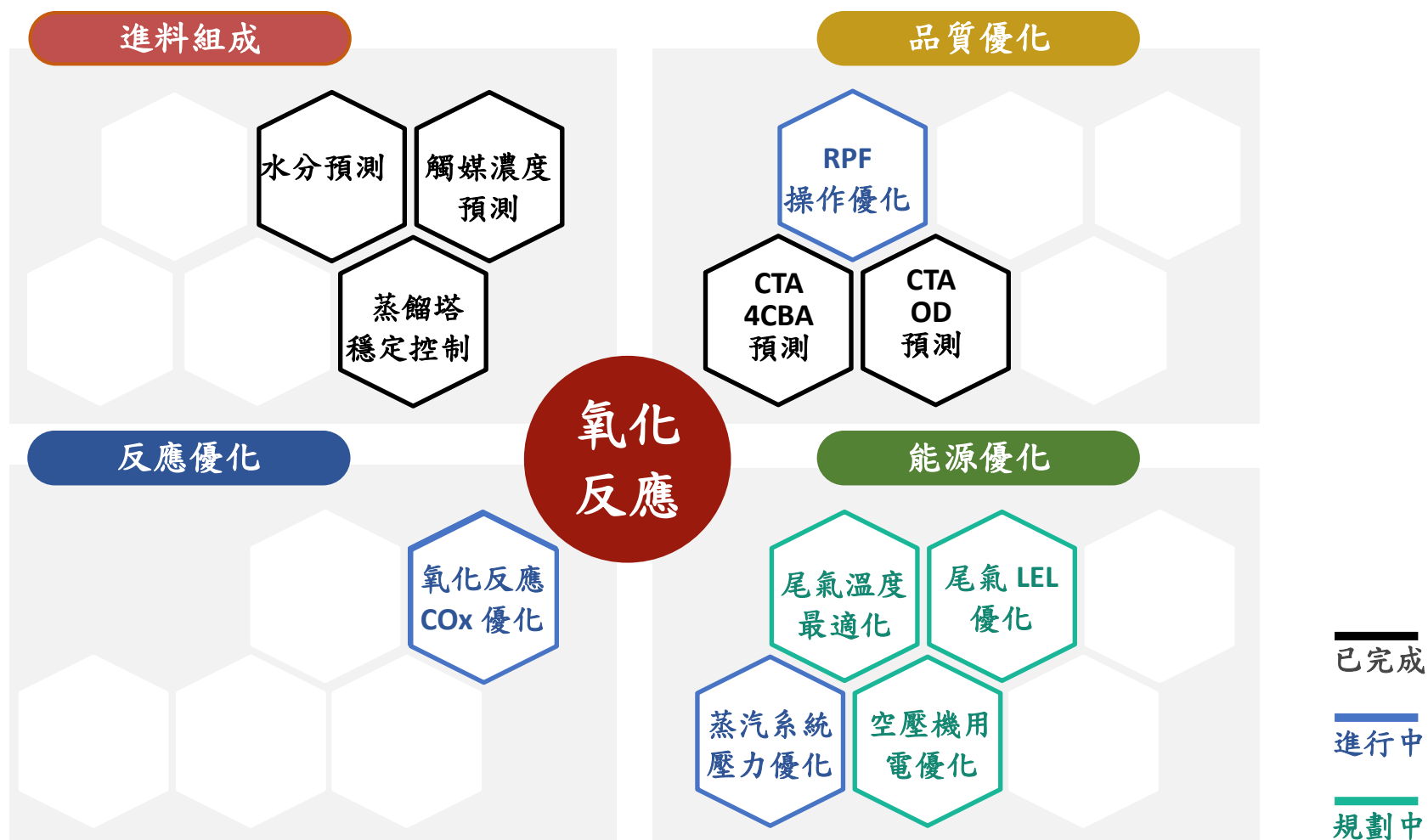
本部產品包含純對苯二甲酸(PTA)與純間苯二甲酸(PIA)，氧化反應為製程核心，影響成品品質與醋酸等單耗，規劃進料組成、品質優化、反應優化、能源優化四個類別，共檢討12個AI模型子項目，而氧化反應是全廠能耗最高的單元，規劃能源優化及品質優化兩個類別，共4個AI模型子項目。



四、全面推動數位工廠執行報告

題目：數位工廠優化推動計畫

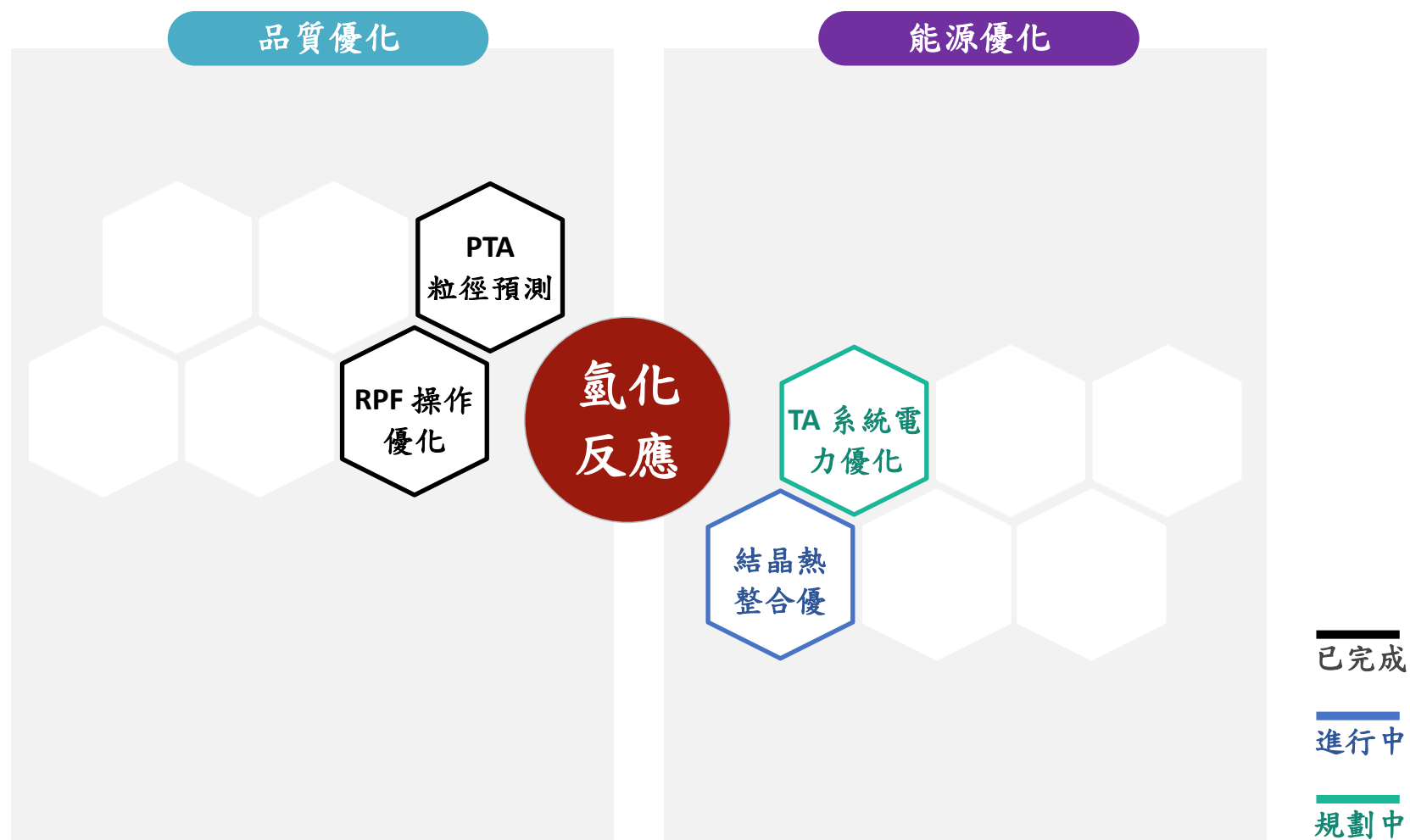
氧化反應段進料組成、品質優化、反應優化、能源優化四個類別目前已完成、進行中、規劃中的AI模型子項目如下圖。氧化反應為製程核心，因此需先達到進料組成與產品品質的穩定，才可更進一步對氧化反應進行優化分析，以降低產品單耗。



四、全面推動數位工廠執行報告

題目：數位工廠優化推動計畫

氮化反應段品質優化及能源優化兩個類別目前已完成、進行中、規劃中的AI模型子項目如下圖：



四、全面推動數位工廠執行報告

題目：數位工廠優化推動計畫

(四)、龍德PTA廠氧化反應優化模組開發：

模組開發歷程

【問題點】

對二甲苯(PX)氧化為劇烈的放熱反應，過程中伴隨PX與醋酸燃燒等副反應，增加原單位。尾氣COX($\text{CO} + \text{CO}_2$)為燃燒副反應的指標，如COX越低，表示醋酸因燃燒反應造成的損失越低。

【改善對策1】理論模型

透過ASPEN PLUS理論模型建立反應優化模型，但實際與計算COX的平均誤差大於5%。誤差偏大原因為反應方程式中活化能 E_A 使用固定值，未考慮氧化觸媒Co/Mn/Br濃度的變化，會改變活化能，影響反應速率。

【改善對策2】理論模型+數據模型

為改善理論模型與實際數據的誤差，以數據模型建立活化能 E_A 與觸媒濃度製程變數之關係，修正理論模型，以提高COX計算準確度。

【改善對策3】最佳操作建議

以理論模型+數據模型的優化模型，產生廣域製程條件下的COX結果，找出最佳氧化條件(觸媒濃度、氧化溫度、液位...等)，並提供製程人員操作建議。

四、全面推動數位工廠執行報告

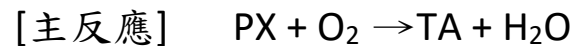
題目：數位工廠優化推動計畫

(四)、龍德PTA廠氧化反應優化模組開發：

1. 【問題點】：定義與目標

對二甲苯(PX)氧化為劇烈的放熱反應，過程中共有兩類反應發生，一類是對二甲苯(PX)氧化成對苯二甲酸(TA)的主反應；另一類則是同時伴隨發生的副反應，主要是指溶劑醋酸(HAC)、原料對二甲苯(PX)的燃燒反應。

由於醋酸消耗是影響PTA生產成本的主要項目之一，擬進一步尋求更優化的氧化操作條件，減少醋酸燃燒損失，降低原單位。



燃燒指標

問題點	改善對策
對二甲苯(PX)氧化為劇烈的放熱反應，過程伴隨醋酸(HAC)、對二甲苯(PX)燃燒副反應發生，經檢討可進一步尋求更優化的操作條件，降低原單位。	以Aspen Plus建置穩態模擬理論模型，並引入數據模型修正誤差，建立氧化反應優化模型，以降低醋酸(HAC)燃燒的指標CO、CO ₂ 為目標，提供操作建議。

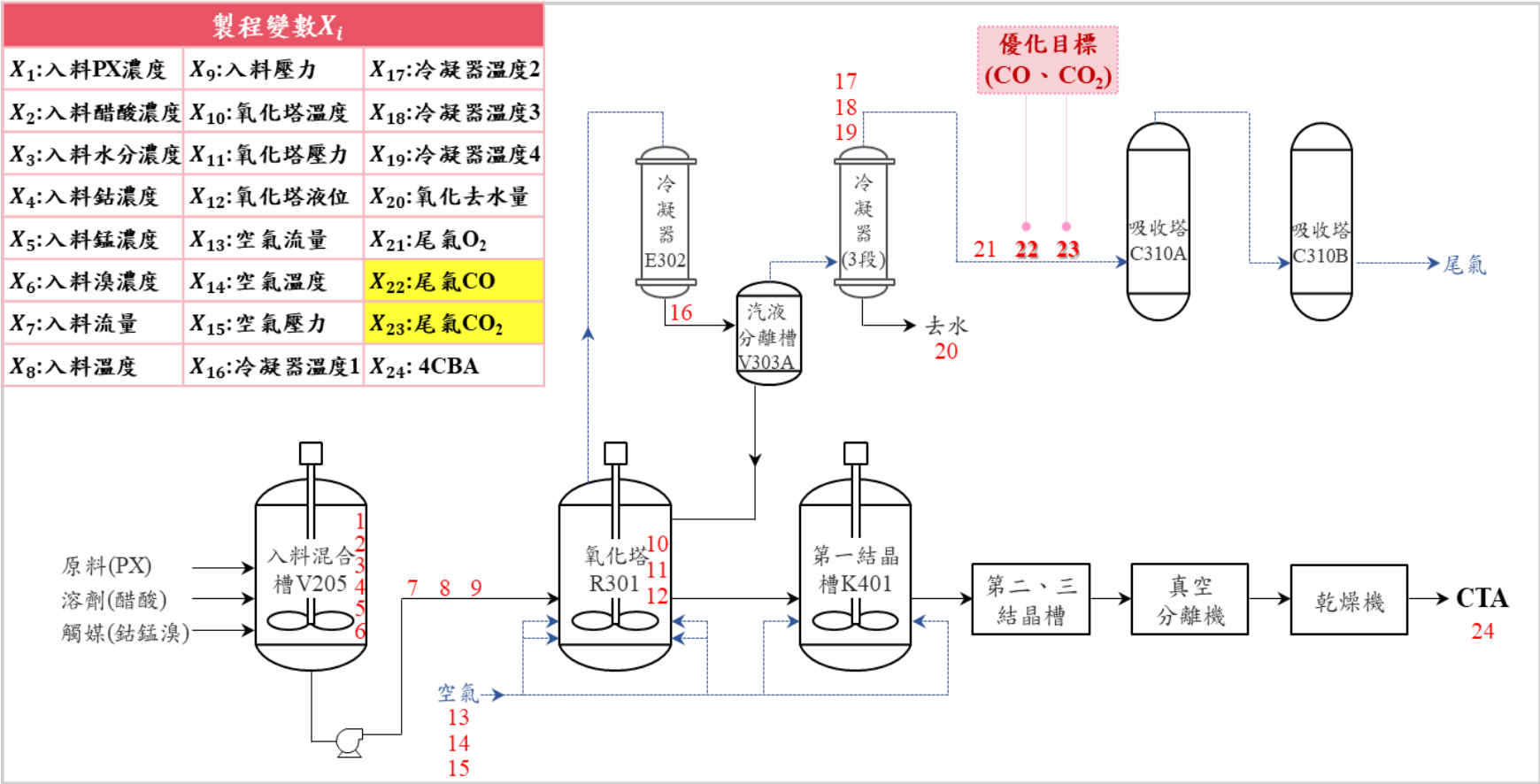
四、全面推動數位工廠執行報告

題目：數位工廠優化推動計畫

2. 【改善對策1】:理論模型

(1). 資料盤點

經與製程檢討，盤點相關的24個變數如下圖(含製程儀錶測點與品管檢測數據)：



四、全面推動數位工廠執行報告

題目：數位工廠優化推動計畫

(2). 模組建立

- ①. PX氧化反應機構，主反應可分為6條反應方程式、副反應(PX、醋酸燃燒)可分為5條反應方程式，依此建立Aspen Plus理論模型。

PX氧化反應式				反應機理	
主反應	1	$\text{PX} + \text{O}_2 \rightarrow \text{TALD} + \text{H}_2\text{O}$	64.99		
	2	$\text{TALD} + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{PTS}$	51.52		
	3	$\text{PTS} + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{-CBA} + \text{H}_2\text{O}$	85.06		
	4	$4\text{-CBA} + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{TA}$	78.25		
	5	$\text{PX} + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{TALC}$	65.28		
	6	$\text{TALC} + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{TALD} + \text{H}_2\text{O}$	57.42		
副反應 (燃燒)	7	$\text{PX} + 15/2\text{O}_2 \rightarrow 8\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$	49800	$\text{PX} + \text{O}_2 \xrightarrow[r_7]{k_7} \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	
	8	$\text{PX} + 7/2\text{O}_2 \rightarrow 8\text{CO} + 3\text{H}_2\text{O}$	55400	$\text{PX} + \text{O}_2 \xrightarrow[r_8]{k_8} \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$	
	9	$\text{HAC} + 2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	80000	$\text{HAC} + \text{O}_2 \xrightarrow[r_9]{k_9} \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	
	10	$\text{HAC} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO} + 2\text{H}_2\text{O}$	65000	$\text{HAC} + \text{O}_2 \xrightarrow[r_{10}]{k_{10}} \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$	
	11	$\text{HAC} + \text{PX} + 3/2\text{O}_2 \rightarrow \text{MA} + \text{BA} + \text{H}_2\text{O}$	55000	$\text{PX} + \text{HAC} + \text{O}_2 \xrightarrow[r_{11}]{k_{11}} \text{MA} + \text{BA} + \text{H}_2\text{O}$	

四、全面推動數位工廠執行報告

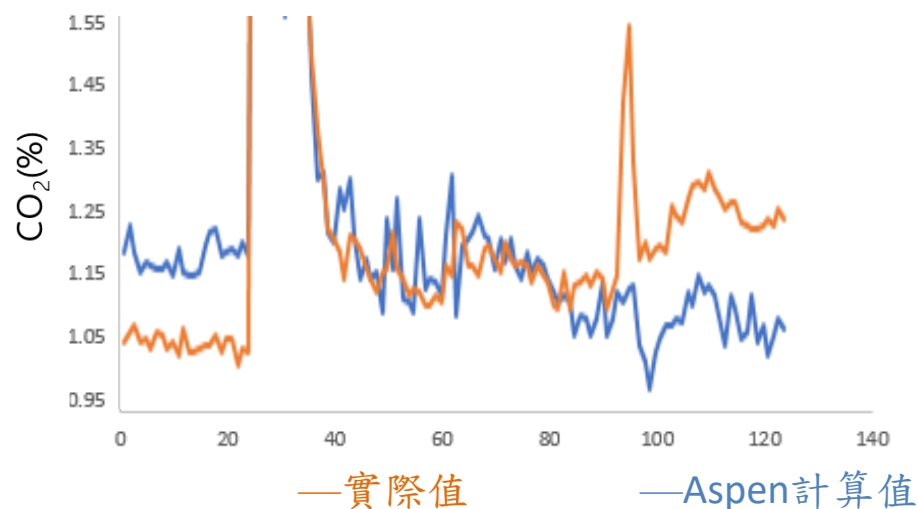
題目：數位工廠優化推動計畫

- ②.由於系統中的醋酸氣體分子會透過氫鍵結合為二聚體，因此熱力學方法選用可描述真實氣體狀態的NRTL-HOC模型。
- ③.以現場製程數據導入Aspen Plus理論模型，計算出CO、CO₂濃度。模型架構如下：



(3).結論

理論模型計算的尾氣CO與CO₂濃度與實際數據的平均誤差大於5.0%，如下圖。



四、全面推動數位工廠執行報告

題目：數位工廠優化推動計畫

3. 【改善對策2】:理論模型+數據模型

(1).誤差偏大原因為反應中活化能 E_a 使用定值，未考慮Co/Mn/Br氧化觸媒濃度的變化會改變活化能，影響反應速率 r 。因此建立氧化觸媒濃度對活化能關係之數據模型，以修正理論模型計算與實際之誤差。

$$\text{反應速率 } r = k_0 e^{-E_a/RT} [\text{反應物}]^n$$



$$\text{反應速率 } r = k_0 e^{-f(\text{觸媒濃度})/RT} [\text{反應物}]^n$$

(2).數據模型以2020年5月穩定數據做為訓練集，2020年6~7月做為測試集，嘗試KNN、Random Forest、PLS、SVR、Ridge等演算法，其中以Ridge的結果最佳。模型架構如下圖:氧化觸媒數據輸入數據模型，以計算出符合實際生產狀態下的活化能 E_a ，再與製程數據輸入至理論模型，可得更貼近實際的CO、CO₂。

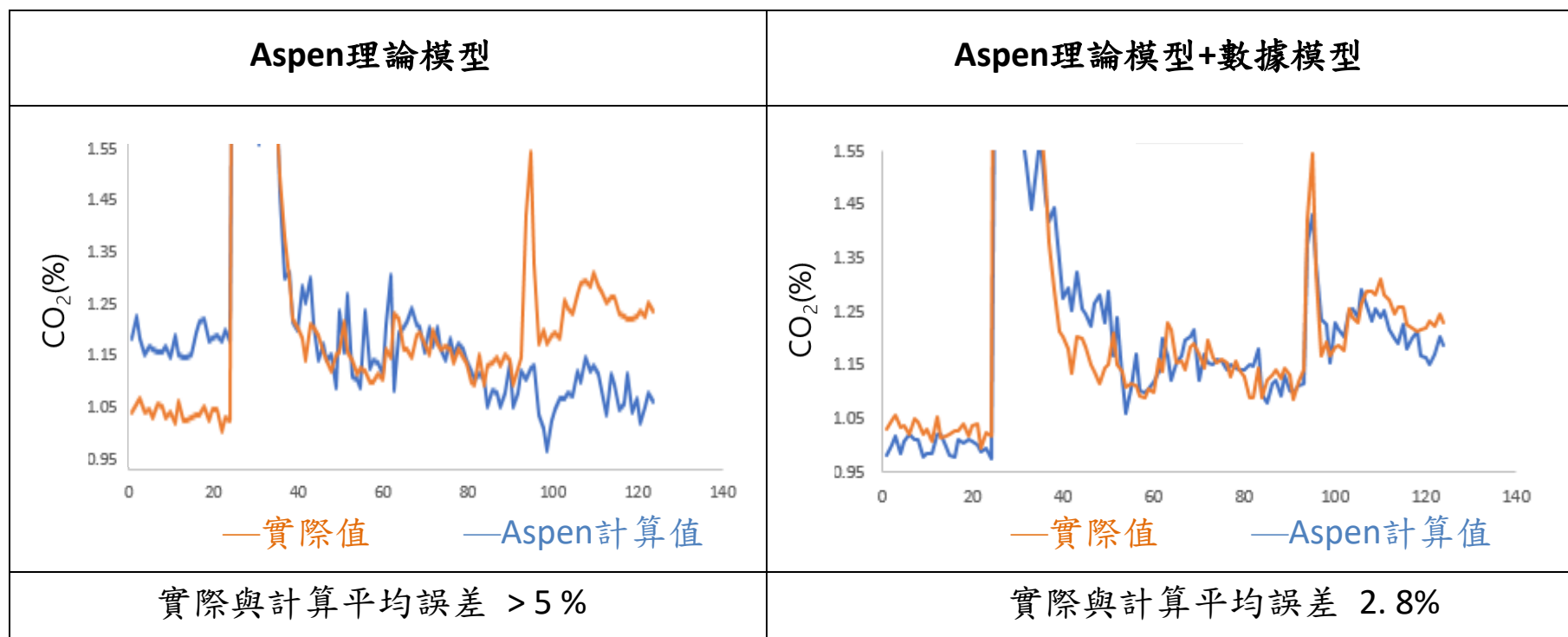


四、全面推動數位工廠執行報告

題目：數位工廠優化推動計畫

(3).結論

以數據模型修正後的理論模型計算結果，CO₂平均誤差降至2.8%，如下圖，有效改善模型的性能。



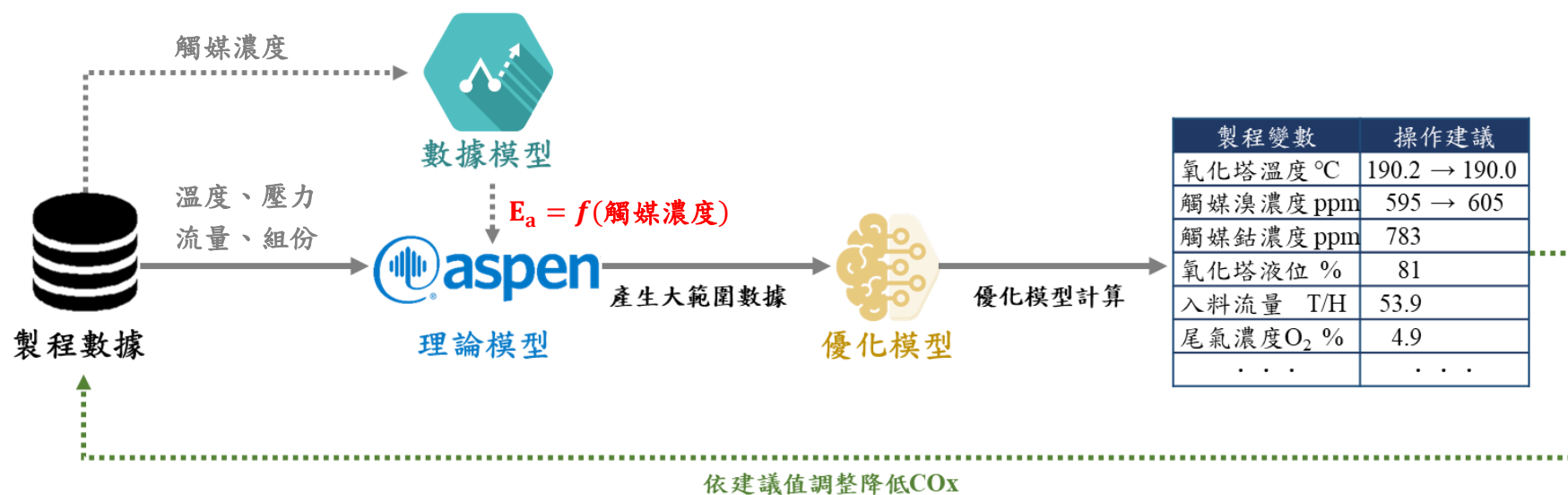
四、全面推動數位工廠執行報告

題目：數位工廠優化推動計畫

4. 【改善對策3】:最佳操作建議

- (1).以理論模型結合數據模型，產生大量且廣域的數據，建立優化模型。透過優化模型可讀取即時數據，在品質合格的條件下，以降低COx為目標，經過優化模型計算可控製程變數(氧化塔溫度、觸媒濃度)的操作建議值，來減少醋酸燃燒損失。

優化模型應用方式



(2).效益

預定2022年3月完成，上線後預期COx降低0.035%，醋酸原單位降低0.3 kg/噸PTA，年效益2,579千元。

四、全面推動數位工廠執行報告

題目：數位工廠優化推動計畫

(五)、數位工廠優化開發進度

化三部龍德、麥寮、寧波三個PTA廠相似，已同步展開數位工廠優化開發，後續規劃的案件將分配各廠分頭進行，待完成後將共通性的案件平行展開。

數位工廠優化進度	龍德PTA廠		麥寮PTA廠		寧波PTA廠	
	完成/計畫量	預完日	完成/計畫量	預完日	完成/計畫量	預完日
即時製程管理系統	211/213	2021.12	143/149	2021.12	132/167	2021.12
製程優化模組	2/9	2023.12	2/9	2023.12	1/4	2023.12
品質預測模組	3/6	2022.12	4/6	2022.12	2/6	2022.12
設備監診模組	20/39	2022.6	22/36	2022.6	38/38	2021.7
工廠安全	1/2	2022.12	0/1	2022.12	0/2	2022.12

(六)、總結與後續工作

本部數位工廠優化架構已規劃完成，並陸續完成4-CBA、OD、進料觸媒組成與水份等預測模組，將持續積極開發優化模組，提升生產效益及設備妥善率。

目前已使用理論模結合數據模的方式，自行開發PTA廠氧化反應優化模組中，此模式也已開始套用到PIA廠，並逐步建立全廠的優化模組。化三部數位工廠優化計劃在2023年12月完成。

四、全面推動數位工廠執行報告

題目：數位工廠優化推動計畫

化三部智能工廠(AI)應用彙總

本部2018年起推動智能工廠，AI專案類別主要分為製程操作管理優化、品質管理優化、設備健康度監診、工廠安全管理等四大類，立案數共32案(合作開發10案，自行開發22案)，投資金額25,067千元，預估年效益176,482千元。目前上線應用共20案，年效益74,275千元，持續進行中12案。

機能類別	專案類別	AI 專案數量			投資金額 (千元)	年效益 (已完成)
		合作開發	自行開發	合計		
製程操作管理優化	1.蒸餾塔穩定提升	4 (3)	0 (0)	4 (3)	18,080	139,800 (37,593)
	2.蒸汽節能	1 (0)	3 (0)	4 (0)		
	3.冷卻水塔優化	0 (0)	2 (2)	2 (2)		
	4.氧化反應優化	1 (0)	1 (0)	2 (0)		
	5.醋酸反應優化	1 (0)	1 (0)	2 (0)		
	6.設備操作優化	0 (0)	3 (3)	3 (3)		
品質管理優化	1.CTA 品質(4-CBA、OD)	0 (0)	7 (7)	7 (7)	653	36,682 (36,682)
	2.CTA 進料組成(觸媒、水份)	0 (0)	3 (1)	3 (1)		
	3.PTA 品質(粒徑)	1 (1)	0 (0)	1 (1)		
設備健康度監診	iEM/PRISM 開發設備監診模組	0 (0)	2 (2)	2 (2)	2,996	-
工廠安全管理	電氣室高壓盤人員穿著安全監控	1 (1)	0 (0)	1 (1)	3,338	-
	醋酸廠氫氣管線洩漏監控系統	1 (0)	0 (0)	1 (0)		
合 計		10 (5)	22 (15)	32 (20)	25,067	176,482 (74,275)

四、全面推動數位工廠執行報告

題目：數位工廠優化推動計畫

(一)、製程操作管理優化

類別	AI 專案	合作 開開	自行 開發	模組開發成效	投資金額 (千元)	年效益 (開發中)
1 蒸餾塔穩定提升	(1)CTA 蒸餾塔穩定控制	3	0	麥寮 PTA 廠，第一階段利用數據探索分析，找出影響醋酸脫水蒸餾塔穩定的顯著變數，提供製程控制模式調整指引，節省蒸汽 0.96 噸/H，以及共沸劑 10.3KG/H。	1,000	10,443
				麥寮 PTA 廠，第二階段建立氧化系統水份的操作建議模組，投入後系統水份的偏移量由 0.22%下降至 0.16%，節省醋酸 0.1 噸/H。	2,000	11,138
				龍德 PTA 廠，開發脫水蒸餾塔導電度預測模組，上線應用後蒸餾塔導電度穩定度提升，節省蒸汽 0.8 噸/H。	0	4,595
	(2)醋酸區成品塔及丙酸塔穩定控制	1	0	醋酸廠，開發成品塔丙酸預測模組，優化蒸餾單元內回流能耗，達到節能操作的目的，預計節省蒸汽 0.1 噸/H。	900	(958)
2 蒸汽節能	(1)PTA 結晶熱能回收優化與粒徑分析	1	0	麥寮 PTA 廠，建立 ASPEN 穩態模擬模型，提供最大化回收蒸汽能源方案，改善高壓蒸汽使用效率，並提高結晶槽熱能回收，預計節省蒸汽 4.5 噸/H。因節能改善需調整結晶槽溫度壓力，造成液位操作裕度減小，同時導入粒徑預測數據模型，維持粒徑穩定度。	950	(31,104)
	(2)2K 蒸汽壓力最適化控制	0	1	麥寮 PTA 廠，開發氧化塔及第一結晶槽尾氣熱能回收優化模組，提升熱回收效率，預計節省蒸汽 3.6 噸/H。	0	(14,546)

四、全面推動數位工廠執行報告

題目：數位工廠優化推動計畫

類別	AI 專案	合作 開開	自行 開發	模組開發成效	投資金額 (千元)	年效益 (開發中)
2 蒸 汽 節 能	(3)CIA 尾氣加熱溫度最適 化控制	1	0	龍德 PTA 廠，開發氧化尾氣含水率預測模組，計算膨脹機出口露點溫度，優化入口溫度控制，預計節省蒸汽 3.3 噸/H。	0	(35,581)
	(4)CO 轉化器出口溫度優化	0	1	寧波 PTA 廠，開發 CO 轉化器出口溫度預測模組，優化 CO 轉化器操作，預計節省蒸汽 0.2 噸/H。	0	(1,561)
3 冷 卻 水 塔 優 化	(1)冷却水塔減排優化	0	1	麥寮 PTA 廠，開發冷卻水塔關鍵指標預測模組，最大化提升濃縮倍數，降低排水量，節省藥劑用量。	0	76
	(2)冷却水系統用電優化	0	1	寧波 PTA 廠，開發對冷卻水塔用電量優化模組，計算啟/停冷卻水泵或風扇對冷卻水溫度影響，節省電力 42 度/H。	0	724
4 氧 化 反 應 優 化	(1)CIA 氧化反應優化	1	0	龍德 PTA 廠，開發 CIA 氧化反應優化模組，降低醋酸燃燒副反應(以尾氣 COx 為指標)，預計節省醋酸 13KG/H、觸媒 1KG/H。	0	(2,586)
	(2)CTA 氧化反應優化	0	1	龍德 PTA 廠，開發 CTA 氧化反應優化模組，降低醋酸燃燒副反應(以尾氣 COx 為指標)，預計節省醋酸 23KG/H。	0	(2,579)

四、全面推動數位工廠執行報告

題目：數位工廠優化推動計畫

類別	AI 專案	合作 開開	自行 開發	模組開發成效	投資金額 (千元)	年效益 (開發中)
5 醋酸 反應 優化	(1)POx 反應器進料單元最佳化操作	1	0	醋酸廠，開發 POx 反應器優化模組，提升 CO 產率，預計 CO 產率由 45.98%提升至 46.5%以上。	5,510	(13,292)
	(2)醋酸區反應水份最佳化控制	0	1	醋酸廠，開發醋酸反應器水份預測模組，建立軟儀表輔助盤控員更即時調整製程，提升反應活性穩定。	0	-
6 設備 操作 優化	(1)PTA 高壓過濾機(RPF)優化	0	1	麥寮 PTA 廠，開發 RPF 堵管預警系統，輔助製程人員即時監控堵管程度，延長設備運轉週期，節省檢修費用。	0	3,873
	(2)CIA 乾燥機操作最適化	0	1	龍德 PTA 廠，開發乾燥機結垢預警系統，輔助製程人員即時監控設備狀態，延長運轉週期，節省停車損失。	0	6,744
	(3)iEM 監控分析系統規劃	0	1	醋酸廠，規劃 30 個系統單元，開發健康狀態預警模組，早期發現異常，可提前處置(備料、維修等)，避免無預警損壞。	4,420	-

四、全面推動數位工廠執行報告

題目：數位工廠優化推動計畫

(二)、品質管理優化

類別	AI 專案	合作 開開	自行 開發	模組開發成效	投資金額 (千元)	年效益 (開發中)
1 C T A 品質	(1)CTA 品質 4CBA 預測 管控	0	4	龍德 PTA 廠，開發 CTA 品質 4CBA 預測及操作建議模組，提升品質穩定度，提高氧化反應穩定，PX 原單位降低 0.45KG/噸-PTA，醋酸原單位降低 1.5KG/噸-PTA。	0	16,939
				麥寮 PTA 廠，開發 CTA 品質 4CBA 預測及操作建議模組，提升品質穩定度，提高氧化反應穩定，PX 原單位降低 0.45KG/噸-PTA，醋酸原單位降低 1.5KG/噸-PTA。	0	16,743
				寧波 PTA 廠，開發 CTA 品質 4CBA 預測及操作建議模組，提升品質穩定度，提高氧化反應穩定，醋酸原單位降低 0.1KG/噸-PTA。	0	3,000
	(2)CTA 品質 OD 值預測 管控	0	3	龍德 PTA 廠，開發 CTA 品質 OD 預測模組，建立即時預警機制，提升品質穩定度。	0	-
				麥寮 PTA 廠，開發 CTA 品質 OD 預測模組，建立即時預警機制，提升品質穩定度。	0	-
				麥寮 PTA 廠，開發 CTA 品質 OD 預測模組，建立即時預警機制，提升品質穩定度。	0	-

四、全面推動數位工廠執行報告

題目：數位工廠優化推動計畫

類別	AI 專案	合作 開開	自行 開發	模組開發成效	投資金額 (千元)	年效益 (開發中)
2 C T A 進 料 組 成	(1)CTA V205 觸媒組成預測 管控	0	2	龍德 PTA 廠，開發進料調配槽 V205 觸組預測及操作建議模組，建立即時預警機制，提升氧化塔進料組成穩定度。	0	-
				麥寮 PTA 廠，開發進料調配槽 V205 觸組預測及操作建議模組，建立即時預警機制，提升氧化塔進料組成穩定度。	0	-
	(2)CTA V205 水份預測管控	0	1	龍德 PTA 廠，開發進料調配槽 V205 水份預測及操作建議模組，建立即時預警機制，提升氧化塔進料組成穩定度。	0	-
3 P T A 品 質	(1)PTA 成品平均粒徑預測	1	0	麥寮 PTA 廠，開發 PTA 成品平均粒徑預測模組，即時預判製程變化對應粒徑的影響，供操作人員即時調整指引，強化品質管控。	653	-

四、全面推動數位工廠執行報告

題目：數位工廠優化推動計畫

(三)、設備健康度監診

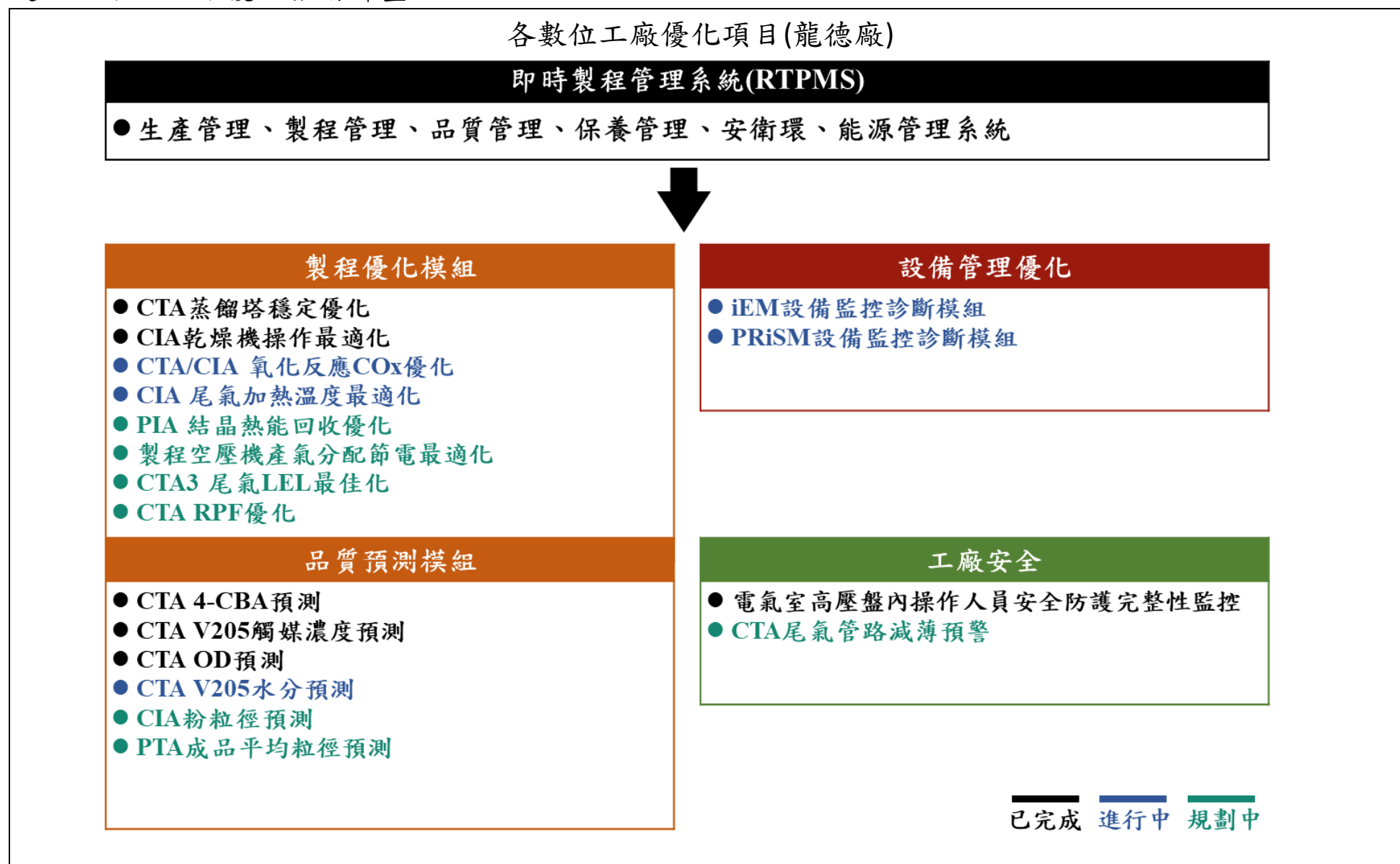
類別	AI 專案	合作 開開	自行 開發	模組開發成效	投資金額 (千元)	年效益 (開發中)
設備健康度監診	(1)iEM/PRiSM 開發設備監診模組	0	2	引進 iEM 軟體，針對重要設備開發監控診斷模組，提供早期預警機制，目前已上線 24 個設備模組，後續規劃再建立 28 個設備模組。	0	-
				引進 PRiSM 軟體，針對重要設備開發監控診斷模組，提供早期預警機制，目前已上線 5 個設備模組，後續規劃再建立 18 個設備模組。	0	-

(四)、工廠安全管理

類別	AI 專案	合作 開開	自行 開發	模組開發成效	投資金額 (千元)	年效益 (開發中)
工廠安全管理	(1)電氣室高壓盤人員穿著安全監控	1	0	龍德 PTA 廠，開發 AI 影像辨識模組，確保電氣室操作人員正確配戴安全防護器具，保護人員不受設備非預期異常所發生之電弧能量衝擊危害。	1,888	-
	(2)醋酸廠氫氣管線洩漏監控系統	1	0	醋酸廠，開發氫氣管線溫度趨勢變化預警模組，即時監測氫氣洩漏，當溫度偏移時即發出警報，並標記異常位置，通知 DCS 人員迅速採取因應措施，降低火災擴大風險。	1,450	-

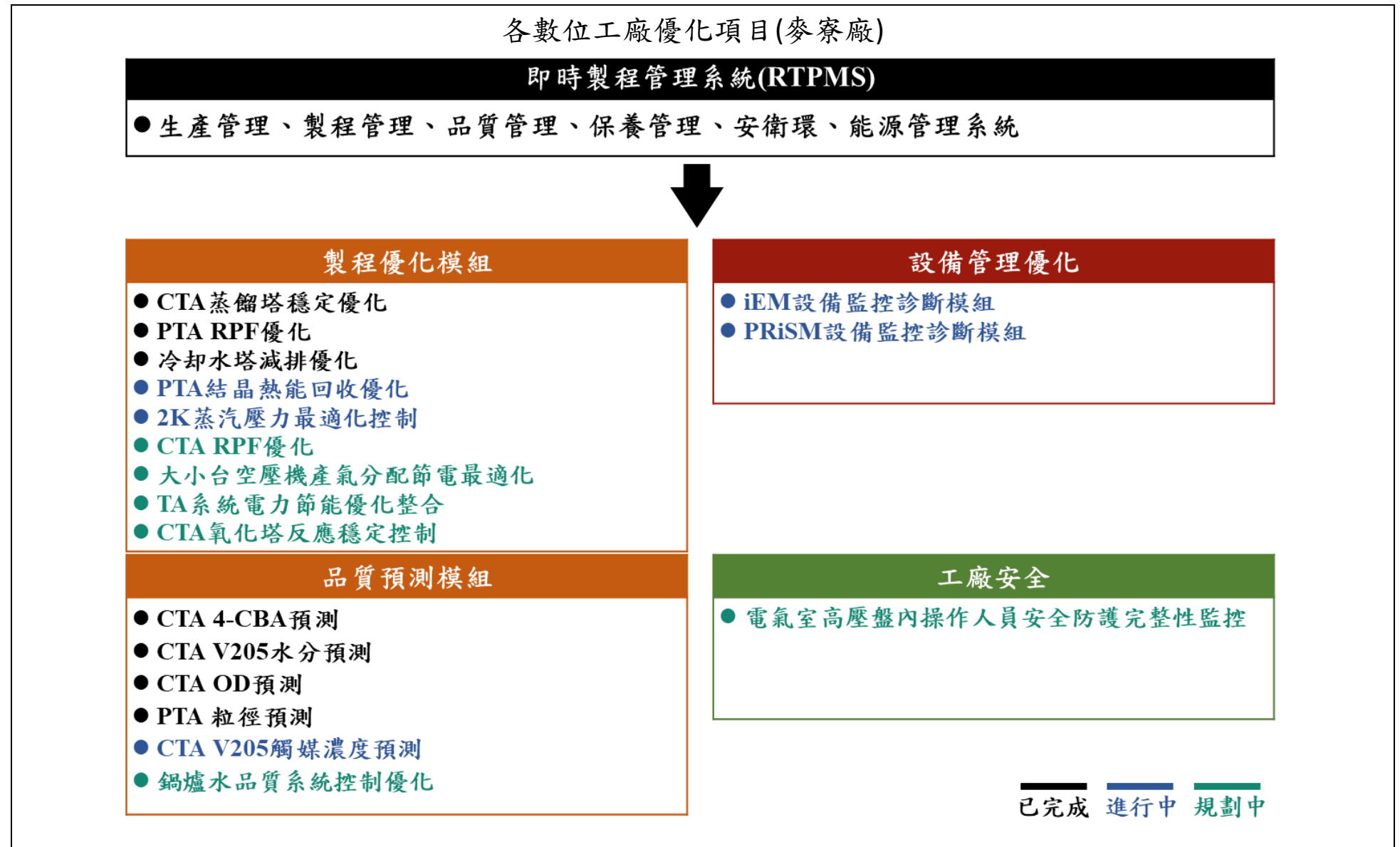
四、全面推動數位工廠執行報告

題目：數位工廠優化推動計畫



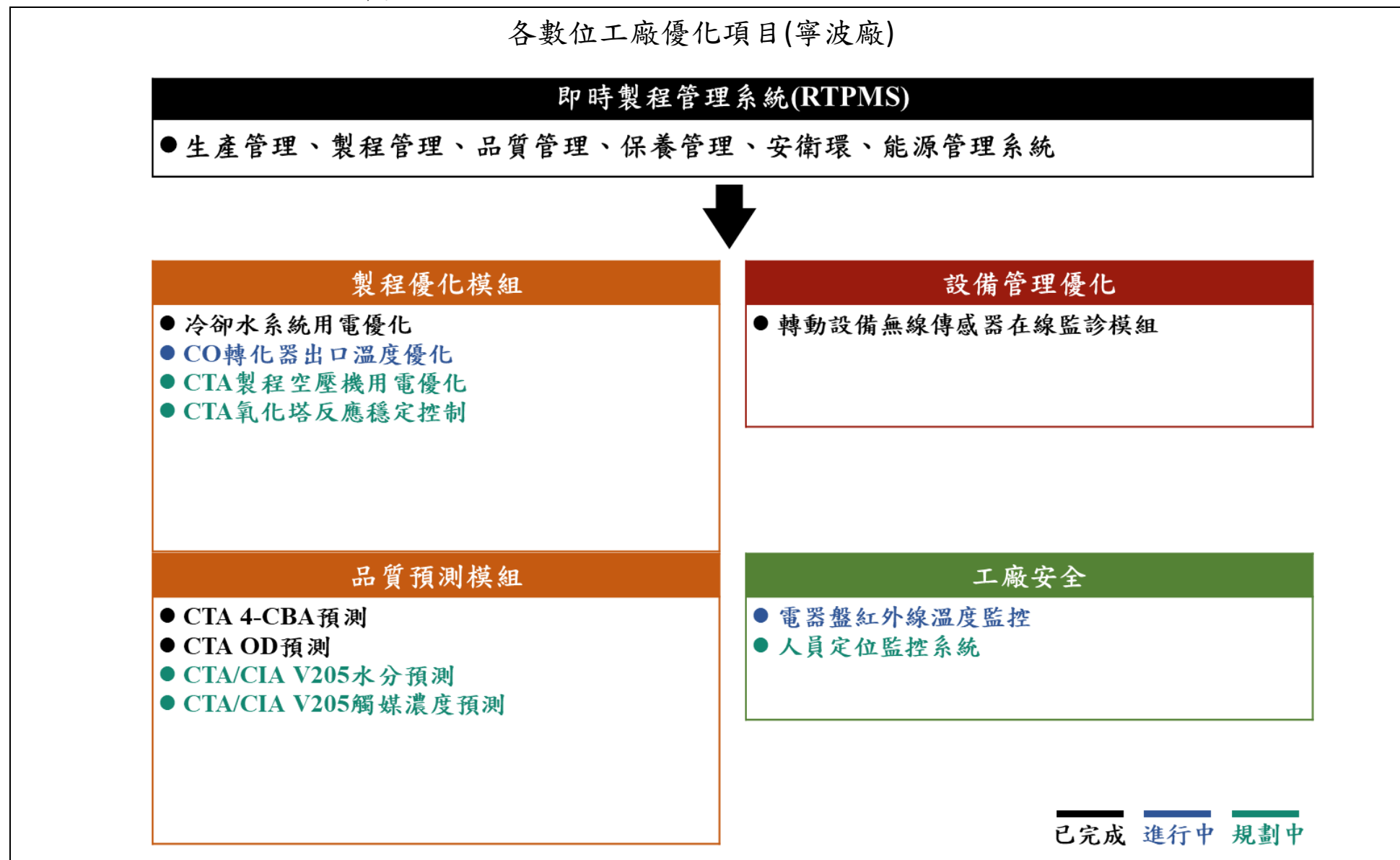
四、全面推動數位工廠執行報告

題目：數位工廠優化推動計畫



四、全面推動數位工廠執行報告

題目：數位工廠優化推動計畫



恭請 總裁指導