

## 台化公司 化工第二事業部

### SM與苯酚製程減碳優化提升競爭力專案報告

| 項次 | 目 錄              | 頁 次     |
|----|------------------|---------|
| 一  | SM與苯酚製程減碳優化綜合報告  | 01 ~ 16 |
| 二  | 苯乙烯廠製程節能減排改善專題報告 | 17 ~ 24 |
| 三  | 能源轉型優化改善專題報告     | 25 ~ 35 |
| 四  | 推動數位優化管理專題報告     | 36 ~ 66 |
| 五  | 附錄:英文專有名詞資料表     | 67 ~ 68 |

開會時間：2022 年 9 月 16 日

※ 資料會後收回

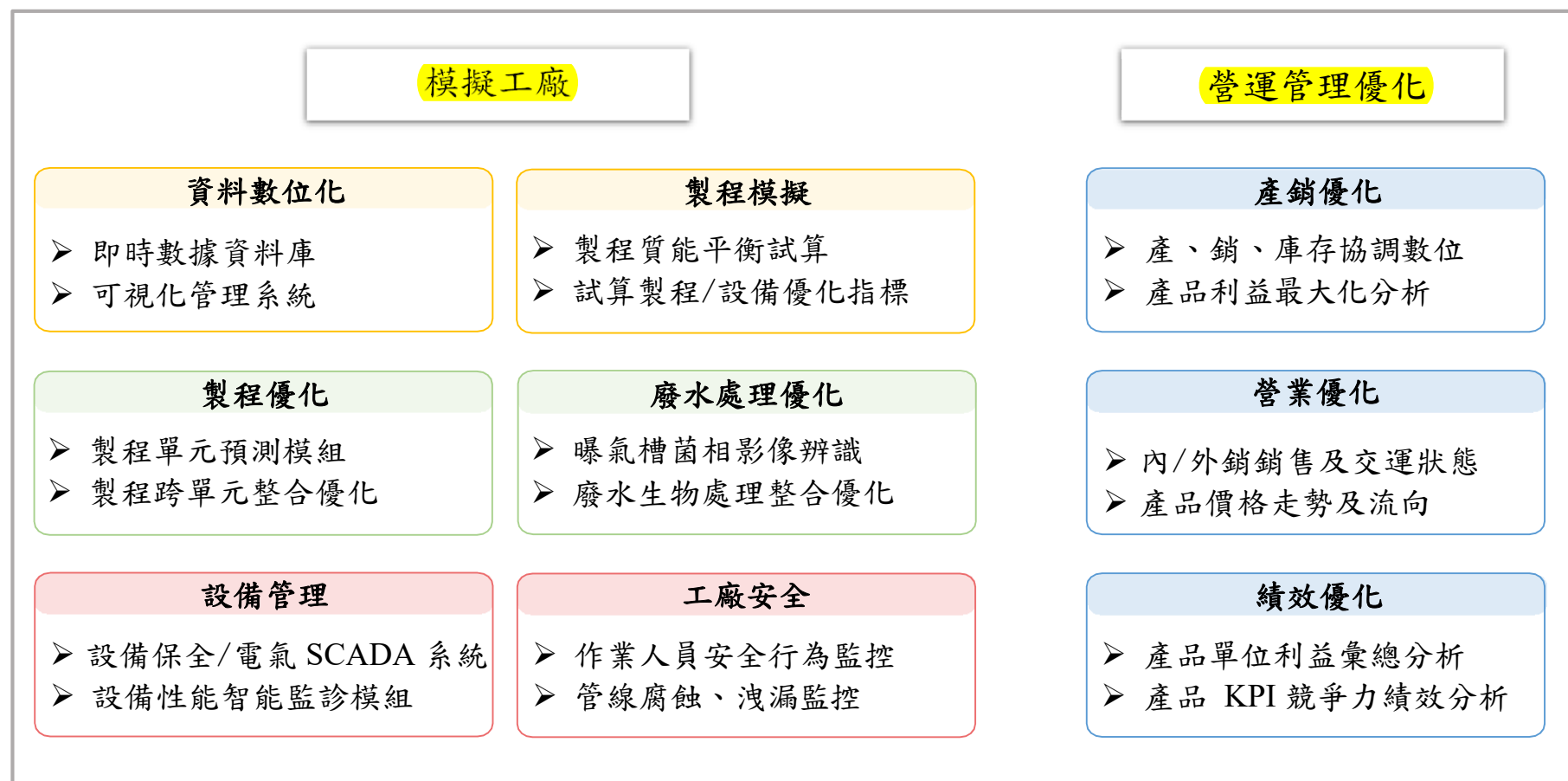
| 項次 | 目 錄          | 頁 次   |
|----|--------------|-------|
| 四  | 推動數位優化管理專題報告 | 36～66 |



## 題目：推動數位優化管理

## 一、前言：

在數位科技(包括雲端運算、物聯網、行動裝置及人工智慧)高度發展下，本部持續以大數據分析、化工模擬軟體、機器學習建模等技術，逐步將現有實體工廠的生產管理與營運管理模式，朝向建構模擬工廠及推動營運管理優化的目標改善。



## 題目：推動數位優化管理

## 二、模擬工廠 AI 專案執行進度：

本部於 2020 年起逐步將現有實體工廠的生產管理模式，導入數位技術來建構模擬工廠，將工廠各單元及設備的運轉效率可視化，並提供最佳化操作建議，達到整廠即時優化的目標，並將現有被動式異常管理模式，發展為具備預測、預警及優化功能的主動管理模式，強化產品競爭力以達永續經營目標。

本部建構模擬工廠 AI 專案，規劃五大類應用機能，共計有 62 案，已經完成 33 案，預估效益 620,491 千元/年，進行中 29 案，預定 2023 年 12 月完成，應用案例及成效說明如下：

| 機 能 類 別  | AI 專案數量 |      |        | 投資金額<br>(千元) | 減碳成效<br>(噸/年)      | 年效益<br>(已完成)         |
|----------|---------|------|--------|--------------|--------------------|----------------------|
|          | 合作開發    | 自行開發 | 合 計    |              |                    |                      |
| 製程操作優化   | 6       | 33   | 39(22) | 24,011       | 44,165<br>(30,978) | 612,369<br>(387,903) |
| 設備健康狀態預警 | 0       | 10   | 10(7)  | 12,299       | —                  | —                    |
| 製程安全管理   | 0       | 9    | 9(3)   | 0            | —                  | —                    |
| 工廠安全管理   | 2       | 0    | 2(1)   | 5,756        | —                  | —                    |
| 廢水生物處理優化 | 2       | 0    | 2(0)   | 6,650        | 1,510<br>(0)       | 8,122<br>(0)         |
| 合 計      | 10      | 52   | 62(33) | 48,716       | 45,675<br>(30,978) | 620,491<br>(387,903) |

## 題目：推動數位優化管理

## 三、模擬工廠 AI 專案：

| 類別     | 方向   | 專題                 | 廠別<br>(案數)         | 合作<br>開發 | 自行<br>開發 | 模組開發成效  | 投資金額<br>(千元) | 預期成效<br>(千元/年)    |
|--------|------|--------------------|--------------------|----------|----------|---|--------------|-------------------|
| 製程操作優化 | 節能操作 | 1. 酚酮分離塔優化模組       | 合成酚<br>苯酚<br>(3 案) | 1        | 1        | 開發麥寮合成酚廠酚酮分離塔(C311/A)兩系列節能模組，已上線應用，合計節省蒸汽 2.1 噸/H。                | 2,286        | 27,334<br>(完成)    |
|        |      |                    |                    | 0        | 1        | 開發寧波苯酚廠酚酮分離塔(C311)節能模組，預估節省蒸汽 1.0 噸/H。                            | 0            | (8,280)<br>(開發中)  |
|        |      | 2. 多效蒸餾系統(MED)優化模組 | SM<br>(2 案)        | 1        | 0        | 開發 SM 廠(麥寮)多效蒸餾系統(MED)優化模組，已上線應用，節省蒸汽 2.3 噸/H。                    | 5,000        | 29,679<br>(完成)    |
|        |      |                    |                    | 0        | 1        | SM 廠(海豐)將於 2023 年 4 月定檢完成設備增設後，進行多效蒸餾系統優化模組開發，預定 2023/12 月完成上線應用。 | 0            | (12,904)<br>(開發中) |
|        |      | 3. 汽提塔優化模組         | SM<br>(3 案)        | 0        | 1        | 開發 SM 廠(海豐)C204 汽提塔優化模組，已上線應用，節省汽 2.0 噸/H。                        | 0            | 25,488<br>(完成)    |
|        |      |                    |                    |          | 2        | 開發 SM 廠(麥寮)C204B/C605 汽提塔優化模組，預估蒸汽合計節省 1.2 噸/時。                   | 0            | (15,293)<br>(開發中) |
|        |      | 4. SM 區乙苯塔優化模組     | SM<br>(1 案)        | 0        | 1        | 開發 SM 廠(海豐)苯乙烯區乙苯塔優化模組，已上線應用，節省蒸汽 0.3 噸/H。                        | 0            | 3,823<br>(完成)     |

## 題目：推動數位優化管理

## 三、模擬工廠 AI 專案：

| 類別             | 方向               | 專題                               | 廠別<br>(案數)   | 合作<br>開發 | 自行<br>開發 | 模組開發成效  | 投資金額<br>(千元) | 預期成效<br>(千元/年)    |
|----------------|------------------|----------------------------------|--------------|----------|----------|---|--------------|-------------------|
| 製程<br>操作<br>優化 | 節<br>能<br>操<br>作 | 5. 苯塔/輕<br>質塔操作優<br>化模組          | SM<br>(2 案)  | 0        | 1        | 開發 SM 廠(海豐)苯塔/輕質塔優化模組，已<br>上線應用，節省蒸汽 0.6 噸/H。                                   | 0            | 8,703<br>(完成)     |
|                |                  |                                  |              | 0        | 1        | 開發 SM 廠(麥寮)苯塔/輕質塔優化模組，預<br>估節省蒸汽 0.3 噸/H。                                       | 0            | (4,402)<br>(開發中)  |
|                |                  | 6. 苯/甲<br>苯塔與苯乙<br>烯塔熱整合<br>優化模組 | SM<br>(2 案)  | 0        | 2        | 開發 SM 廠(麥寮)與 SM 廠(海豐)2 套苯/甲<br>苯塔(C201)與苯乙烯塔(C203)熱整合優化<br>模組，預估合計節省蒸汽 1.0 噸/H。 | 0            | (14,336)<br>(開發中) |
|                |                  | 7. 冷卻水塔<br>優化模組                  | 各廠<br>(6 案)  | 0        | 6        | 開發化二部各廠共 6 套冷卻水塔操作優化模<br>組，已上線應用，合計節省電力 168 度/H。                                | 0            | 1,759<br>(完成)     |
|                |                  | 8. CHP 濃縮<br>單元操作優<br>化模組        | 合成酚<br>(1 案) | 0        | 1        | 開發麥寮合成酚廠 CHP 濃縮單元操作優化<br>模組，已上線應用，節省蒸汽 0.2 噸/H。                                 | 0            | 2,549<br>(完成)     |
|                |                  | 9. EB 區乙<br>苯塔優化模<br>組           | SM<br>(2 案)  | 0        | 2        | 開發 SM 廠(麥寮)與 SM 廠(海豐)2 套 EB 區<br>乙苯塔優化模組，預估合計節省蒸汽 0.4 噸<br>/H。                  | 0            | (5,098)<br>(開發中)  |
|                |                  | 10. EB 區多<br>乙苯塔優化               | SM<br>(2 案)  | 0        | 2        | 開發 SM 廠(麥寮)與 SM 廠(海豐)2 套 EB 區多乙<br>苯塔優化模組，預估合計節省蒸汽 0.4 噸/H。                     | 0            | (5,098)<br>(開發中)  |

## 題目：推動數位優化管理

## 三、模擬工廠 AI 專案：

| 類別             | 方向       | 專題                        | 廠別<br>(案數)         | 合作<br>開發 | 自行<br>開發 | 模組開發成效  | 投資金額<br>(千元) | 預期成效<br>(千元/年)     |
|----------------|----------|---------------------------|--------------------|----------|----------|---|--------------|--------------------|
| 製程<br>操作<br>優化 | 產率<br>提升 | 1. 脫氫反應<br>觸媒性能預<br>測模組   | SM<br>(3 案)        | 1        | 2        | 開發 SM 廠(麥寮)與 SM 廠(海豐)3 套脫氫<br>反應觸媒性能預測模組，已上線應用，節省<br>蒸汽 4.87 噸/H。 | 800          | 62,063<br>(完成)     |
|                |          | 2. 裂鍵反應<br>AMS 產率<br>優化模組 | 合成酚<br>(2 案)       | 1        | 0        | 開發麥寮合成酚廠第一系列裂鍵反應 AMS 產率<br>優化模組，已上線應用，異丙苯少用 817 噸/年。              | 6,000        | 31,038<br>(完成)     |
|                |          |                           |                    | 0        | 1        | 開發麥寮合成酚廠第二系列裂鍵反應 AMS 產率<br>優化模組，已上線應用，異丙苯少用 490 噸/年。              | 0            | 18,615<br>(完成)     |
|                |          | 3. 異丙苯氧<br>化反應產率<br>優化模組  | 合成酚<br>苯酚<br>(3 案) | 1        | 0        | 開發麥寮合成酚廠異丙苯氧化反應產率優化模<br>組，已上線應用，異丙苯少用 4,406 噸/年。                  | 9,200        | 167,387<br>(完成)    |
|                |          |                           |                    | 0        | 2        | 開發寧波苯酚廠異丙苯氧化反應產率優化<br>模組(2 套)開發中，預估異丙苯少用 3,821<br>噸/年。            | 0            | (145,162)<br>(開發中) |



## 題目：推動數位優化管理

## 三、模擬工廠 AI 專案：

| 類別     | 方向   | 專題                 | 廠別<br>(案數)         | 合作<br>開發 | 自行<br>開發 | 模組開發成效  | 投資金額<br>(千元) | 預期成效<br>(千元/年)   |
|--------|------|--------------------|--------------------|----------|----------|---|--------------|------------------|
| 製程操作優化 | 副料添加 | 1. 丙酮塔液鹼添加優化模組     | 合成酚<br>苯酚<br>(3 案) | 1        | 0        | 開發麥寮合成酚廠第 1 系列丙酮塔液鹼添加優化模組，已上線應用，液鹼少用 0.08M <sup>3</sup> /H。       | 725          | 8,742<br>(完成)    |
|        |      |                    |                    | 0        | 1        | 開發麥寮合成酚廠第 2 系列丙酮塔液鹼添加優化模組，預估液鹼少用 0.06M <sup>3</sup> /H。           | 0            | (6,557)<br>(開發中) |
|        |      |                    |                    | 0        | 1        | 開發寧波苯酚廠丙酮塔液鹼添加優化模組，預估液鹼少用 0.06M <sup>3</sup> /H。                  | 0            | (6,557)<br>(開發中) |
|        |      | 2. TEG 萃取蒸餾塔副料添加優化 | 苯酚<br>(1 案)        | 0        | 1        | 開發寧波苯酚廠 TEG 萃取蒸餾塔液鹼添加優化模組，預估液鹼少用 0.002M <sup>3</sup> /H。          | 0            | (218)<br>(開發中)   |
|        |      | 3. SM 區蒸餾塔副料添加優化   | SM<br>(1 案)        | 0        | 1        | 開發 SM 廠(海豐)苯乙烯區蒸餾塔副料添加，預估聚合抑制劑 DNBP 少用 96 kg/H、STY310 少用 41 kg/H。 | 0            | (562)<br>(開發中)   |
|        | 品質提升 | 丙酮產品水分最佳化          | 合成酚<br>(2 案)       | 0        | 2        | 開發麥寮合成酚廠兩系列丙酮產品水分優化模組，已上線應用，合計降低廢水場 2.97 M <sup>3</sup> /H 的處理量。  | 0            | 723<br>(完成)      |

## 題目：推動數位優化管理

## 三、模擬工廠 AI 專案：

| 類別       | 專題                  | 廠別<br>(案數)               | 合作<br>開發 | 自行<br>開發 | 模組開發成效   | 投資金額<br>(千元) | 預期成效<br>(千元/年)       |
|----------|---------------------|--------------------------|----------|----------|--|--------------|----------------------|
| 設備健康狀態預警 | 1. 變壓器設備健康狀態監診      | 保養處<br>(4 案)             | 0        | 3        | 開發麥寮各廠油浸式變壓器偏離預警以及異常判斷模組，操作偏離時可早期控管。   | 0            | ----<br>(開發中)        |
|          | 2. 設備健康狀態監診模組       | SM<br>合成酚<br>苯酚<br>(7 案) | 0        | 3        | 引進 iEM 軟體開發各廠設備健康狀態監診模組，避免設備突發異常。  | 1,401        | ----<br>(完成)         |
|          |                     |                          | 0        | 4        | 引進 PRiSM 軟體開發各廠設備健康狀態監診模組，避免設備突發異常。  | 10,898       | ----<br>(完成)         |
| 製程安全管理   | 1. EB 烷化反應觸媒偏離預警模組  | SM<br>(2 案)              | 0        | 2        | 開發 SM 廠(麥寮)及 SM 廠(海豐)EB 烷化反應觸媒偏離預警模組，以轉化率、操作溫、差壓等條件進行降維、分群，建置健康度監診模組，可提早安排觸媒再生時程。  | 0            | ----<br>(完成:1、開發中:1) |
|          | 2. EB 轉烷化反應觸媒偏離預警模組 | SM<br>(2 案)              | 0        | 2        | 開發 SM 廠(麥寮)及 SM 廠(海豐)EB 轉烷化反應觸媒偏離預警模組，以各床溫升趨勢及操作條件進行降維、分群，建置健康度監診模組，來判斷觸媒操作是否偏移。   | 0            | ----<br>(完成:1、開發中:1) |
|          | 3. 濕式氧化系統偏離預警模組     | 合成酚<br>苯酚<br>(2 案)       | 0        | 2        | 開發濕式氧化反應觸媒操作偏離預警模組，早期發現製程偏離狀態，可即時進行矯正調整，確保出口 COD 符合管制標準。                           | 0            | ----<br>(完成:1、開發中:1) |
|          | 4. 設備腐蝕預警監控模組       | SM<br>(3 案)              | 0        | 3        | 開發 SM 廠(麥寮)與 SM 廠(海豐)3 套粗苯乙烯冷卻器設備腐蝕預警模組，於健康度低基準值時發出腐蝕預警，並利用權重分析演算法進行重要性分析找出偏離之腐蝕測點 | 0            | ----<br>(開發中)        |

## 題目：推動數位優化管理

## 三、模擬工廠 AI 專案：

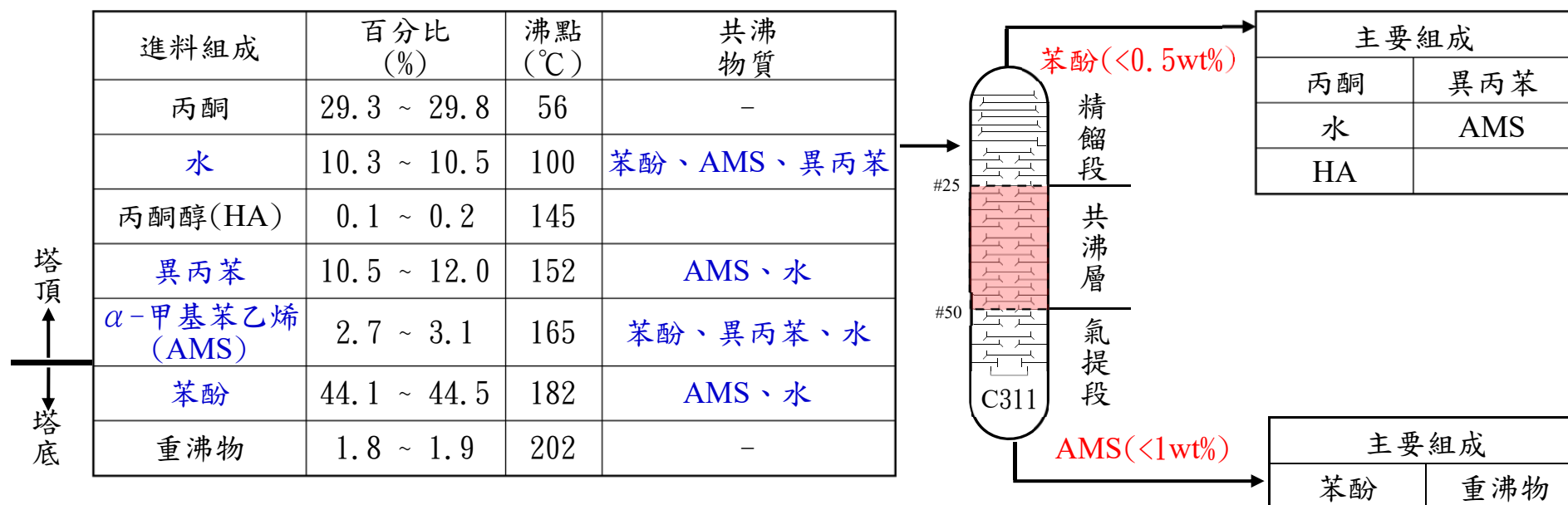
| 類別     | 專題                          | 廠別<br>(案數)         | 合作<br>開發 | 自行<br>開發 | 模組開發成效   | 投資金額<br>(千元) | 預期成效<br>(千元/年)            |
|--------|-----------------------------|--------------------|----------|----------|--|--------------|---------------------------|
| 工廠安全   | 灌裝區槽車裝/<br>卸料作業安全影<br>像辨識模組 | 合成酚<br>苯酚<br>(2 案) | 2        | 0        | 應用 AI 影像辨識技術開發槽車卸料作業安全瑕疵辨識模型，實時監控分析作業人員及作業環境是否符合要求，排除員工作業安全隱患。   | 5,756        | -----<br>(完成:1、<br>開發中:1) |
| 廢水處理優化 | 廢水生物處理<br>優化                | 合成酚<br>苯酚<br>(2 案) | 2        | 0        | 擬應用微生物自動檢測系統、開發微生物 AI 影像辨識模型，並結合廢水處理單元操作/品管數據，應用機器學習建模技術，開發廢水生物處理 AI 優化模組，由模組自動試算，提供廢水生物處理系統最佳參數，指引盤控人員進行操作調整。 | 6,650        | 8,122<br>(開發中)            |
|        | 合計                          | 62 案               | 10 案     | 52 案     |  | 48,716       | 620,491                   |

## 題目：推動數位優化管理

## 四、合成酚廠酚酮分離塔(C311)操作優化改善

## 改善摘要：

1. 合成酚廠酚酮分離塔(C311)為純化段的第一支蒸餾塔，進料組成複雜且物料間存在共沸，設計上須藉由苯酚與 $\alpha$ -甲基苯乙烯(AMS)構成的共沸層(#25板~#50板)進行區隔，確保塔頂物及塔底物經由足夠板數之精餾段與氣提段分離使塔頂及塔底的品質合格，因無法準確掌握共沸層位置變化，操作趨於保守仍有改善空間。

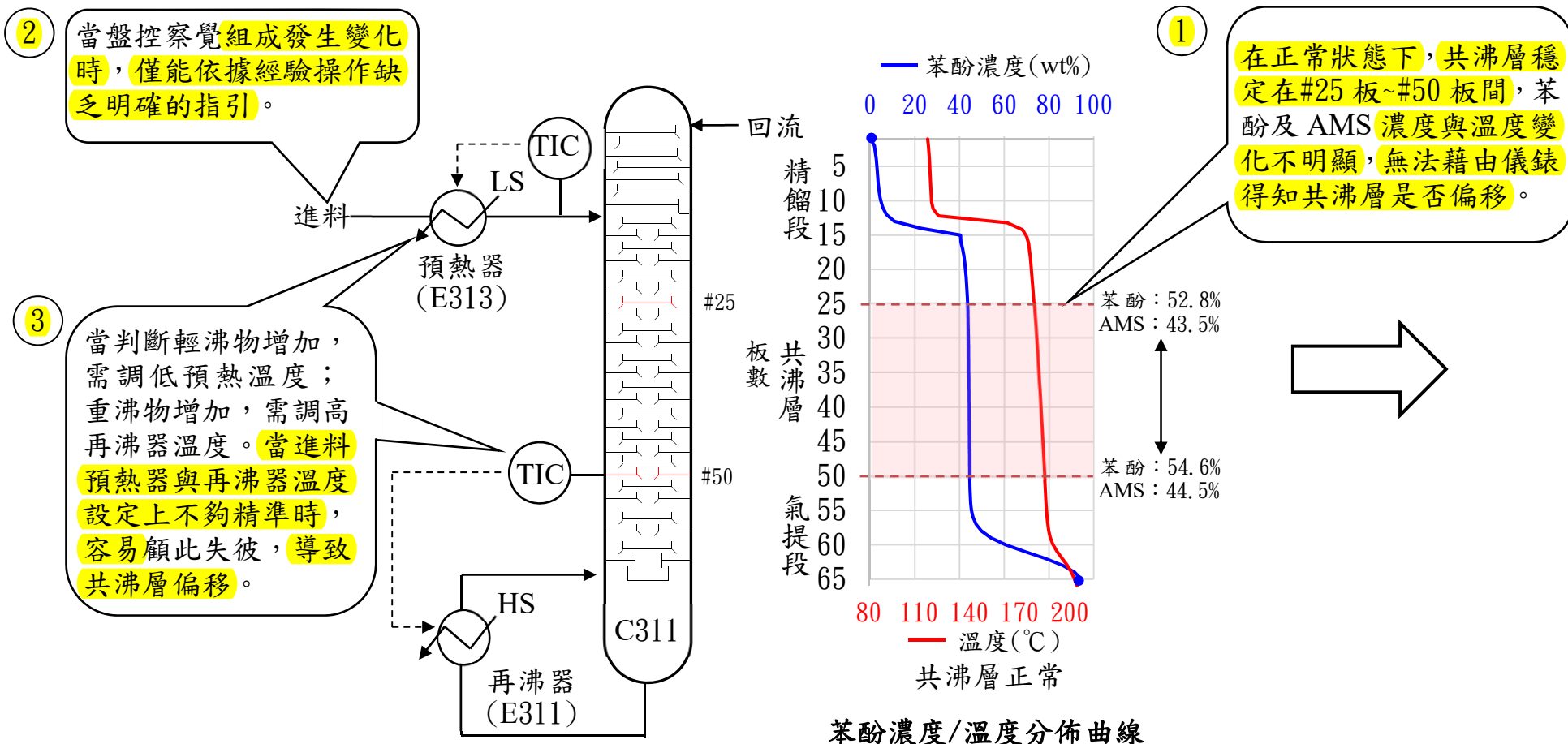


2. 本案由本部 AI 團隊與長庚大學共同開發，應用化工模擬軟體結合 AI 演算技術，找出穩定蒸餾塔操作的關鍵變數建立預測模組，再由模組推薦最佳操作建議，兩系列酚酮分離塔導入優化模組後，可以指引盤控進行優化調整穩定控制之外，亦降低 35K 蒸汽耗用 2.1 噸/時，改善效益合計 27,334 千元/年，減少碳排 5,225 噸/年。

## 題目：推動數位優化管理

## 改善動機：

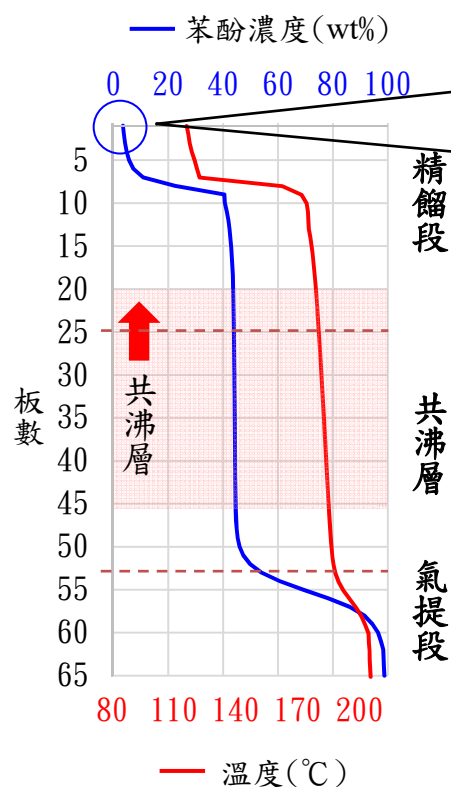
1. 酚酮分離塔的共沸層設計介於#25~#50 板間，因共沸層的溫度變化不明顯，不易藉由溫度變化來確認共沸層位置，同時缺乏明確的指引，在進料預熱器與再沸器溫度設定上不夠精準，容易顧此失彼，導致共沸層偏移。



## 題目：推動數位優化管理

## ① 加熱過度共沸層上移

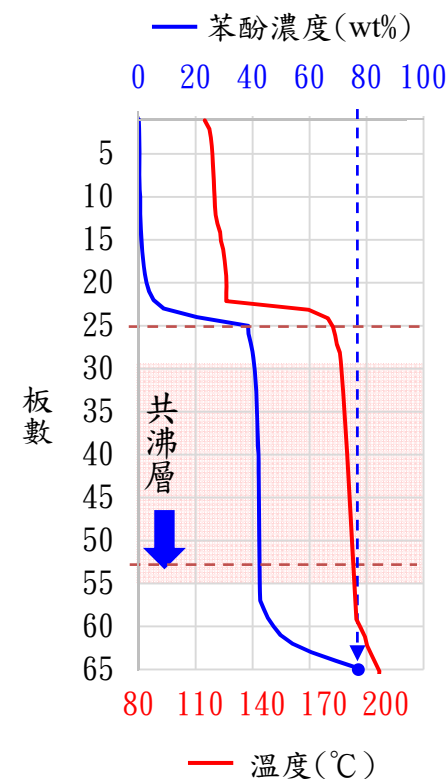
當異丙苯(輕沸物)濃度降低時，若盤控未能即時調低預熱溫度，導致加熱過度，共沸層上移，造成精餾段板數不足及高溫突沸，苯酚容易被蒸餾至塔頂，影響丙酮品質。(苯酚管制值:0.5wt%)。



苯酚濃度/溫度分佈曲線

## ② 加熱不足共沸層下移

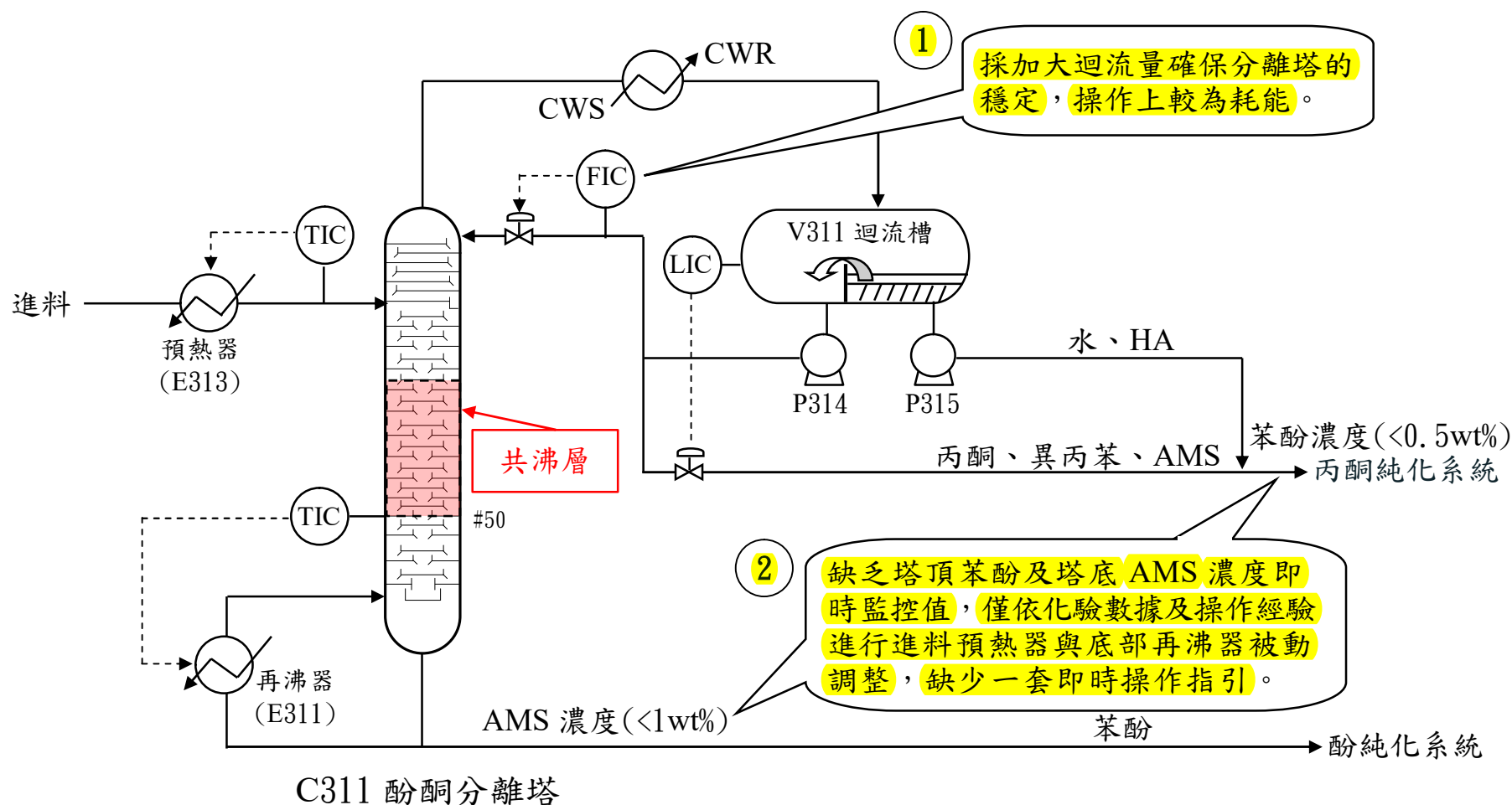
當異丙苯濃度增加時，若盤控未能即時提升再沸器溫度，導致加熱不足，共沸層下移，造成氣提段板數不足及塔底雜質(AMS)過多，影響苯酚品質。(AMS 管制值:1.0wt%)。



苯酚濃度/溫度分佈曲線

## 題目：推動數位優化管理

2. 為穩定酚酮分離塔共沸層的範圍，採取加大迴流量的保守策略，操作上較為耗能，因此擬開發酚酮分離塔(C311)操作優化模組，即時預測塔頂苯酚與塔底 AMS 的濃度來達到前饋控制，提供預熱器與再沸器兩者兼顧的最佳溫度設定操作建議及共沸層板數的試算結果，作為盤控人員調整的依據。





# 題目：推動數位優化管理

定義問題與目標：

酚酮分離塔操作問題點與改善對策。

| 問題點   | 改善對策   |
|---|--|
| <p>1. 酚酮分離塔(C311)因進料組成複雜且彼此間存在共沸難以穩定控制，為確保品質合格，藉由提高迴流量，避免塔頂酚含量過高，增加蒸汽耗用，操作上較為保守，仍有改善空間。</p> <p>2. 當酚酮分離塔進料輕、重物質的比例變化時，盤控無法即時掌握來調整預熱器與再沸器的加熱比例，容易顧此失彼而導致共沸層上移造成塔頂酚含量偏高，需加大迴流增加能耗，下移則影響塔底品質增加後段純化成本，因此現場缺少一套即時操作指引系統。</p> | <p>1. 針對酚酮分離塔，可藉由製程模擬軟體 (Aspen plus) 結合 AI 技術，開發酚酮分離塔預測模組，可即時預測塔頂苯酚與塔底的 AMS 濃度及共沸層的板數試算結果來達到前饋控制。</p> <p>2. 藉由酚酮分離塔優化模組，在品質合格的條件下，提供再沸器最佳節能操作建議，進行最適化操作，達到節能減碳的目的。</p> |

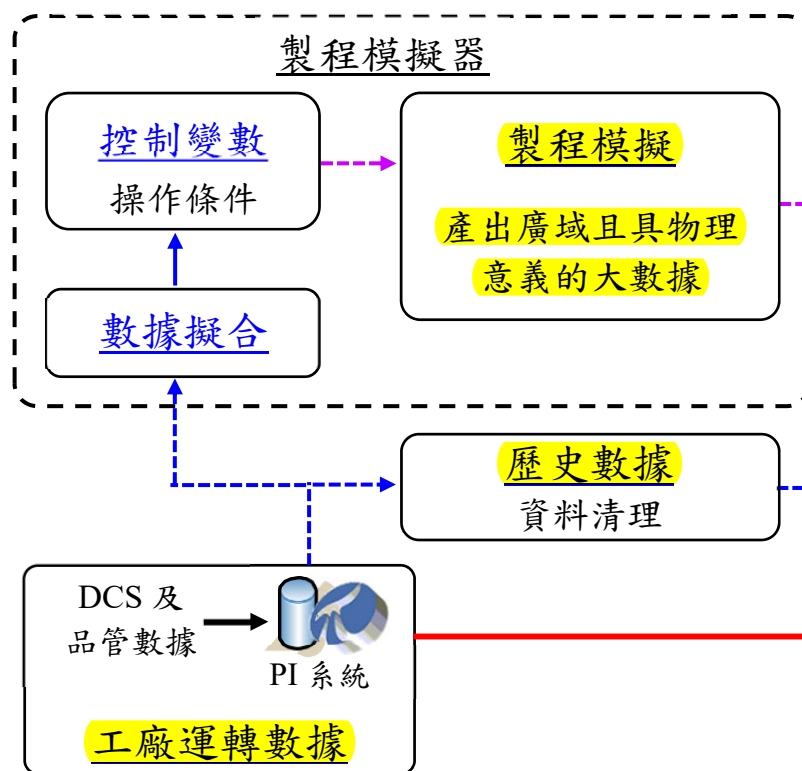


## 題目：推動數位優化管理

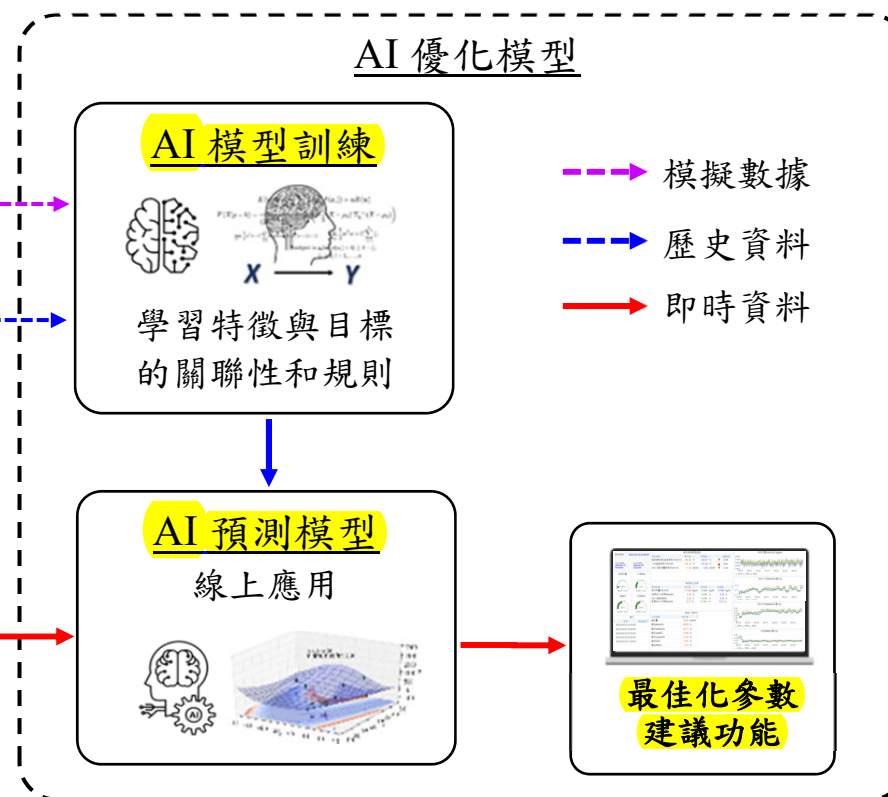
## 模組架構：

為了避免現場收集的數據變異範圍小，導致 AI 模組的適用度與廣度不足，先應用製程模擬軟體 (Aspen plus)，搭配工廠的運轉數據，再結合機器學習技術，進行訓練之後，開發具領域知識的 AI 優化模組，可依據進料流量及組成變化，在確保塔頂苯酚與塔底 AMS 濃度符合要求下，以再沸器蒸汽用量最佳化為目標，由模組提供酚酮分離塔最佳操作參數，指引盤控人員操作調整。

## 1. Aspen plus 理論模型建置



## 2. 開發酚酮分離塔 AI 節能優化模組



--- 模擬數據  
 --- 歷史資料  
 --- 即時資料

## 題目：推動數位優化管理

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

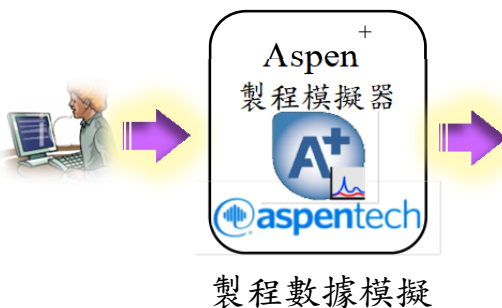
線上應用

模組開發：

## 1. 資料盤點與清理：

模擬數據：以往的製程優化模擬數據，是由工程師根據文獻、設計資料及經驗，用 Trial & Error 的方式，逐筆測試找出最佳的操作條件；使用製程模擬軟體(Aspen<sup>+</sup>)建置完成的酚酮分離塔穩態理論模型，在可操作範圍下，依據進料量、進料組成設計不同操作組合，產出塔頂苯酚與塔底AMS 濃度符合規格及共沸層可穩定介於#25~#50 板間的大量模擬數據。

| 輸入變數(10 個)                                     | 操作範圍  |       |
|--|-------|-------|
|  | min   | max   |
| I <sub>1</sub> _進料量(M <sup>3</sup> /H)         | 70.0  | 80.0  |
| I <sub>2</sub> _進料 Phenol%                     | 40.53 | 49.53 |
| I <sub>3</sub> _進料 Acetone%                    | 26.69 | 32.63 |
| I <sub>4</sub> _進料 water%                      | 9.30  | 11.37 |
| I <sub>5</sub> _進料 Cumene%                     | 9.39  | 11.48 |
| I <sub>6</sub> _進料 AMS%                        | 2.50  | 3.50  |
| I <sub>7</sub> _進料 HA%                         | 0.08  | 0.12  |
| I <sub>8</sub> _C311 第 50 板溫度控制(°C)            | 183.0 | 193.0 |
| I <sub>9</sub> _進料溫度控制(°C)                     | 75.0  | 105.0 |
| I <sub>10</sub> _V311 油相回流量(M <sup>3</sup> /H) | 9.5   | 14.0  |



| 模擬結果         | 輸出參數(26 個)         |                    |                 |                   |                  |     |                               |
|--------------|--------------------|--------------------|-----------------|-------------------|------------------|-----|-------------------------------|
|              | 1. V311 水相 phenol% | 2. V311 油相 phenol% | 3. C311 塔底 AMS% | 4. C311 塔底 HA ppm | 5. E311 蒸汽量 kg/H | ... | 28. 塔底壓力 kg/cm <sup>2</sup> G |
| Out_1        | 0.132              | 0.346              | 0.04            | 15.0              | 27,591           | ... | 0.531                         |
| Out_2        | 0.121              | 0.320              | 0.04            | 14.0              | 27,961           | ... | 0.481                         |
| Out_3        | 0.154              | 0.417              | 0.03            | 12.0              | 27,572           | ... | 0.461                         |
| Out_4        | 0.102              | 0.251              | 0.06            | 18.0              | 27,234           | ... | 0.561                         |
| Out_5        | 0.186              | 0.593              | 0.05            | 16.0              | 27,010           | ... | 0.526                         |
| Out_6        | 0.213              | 0.531              | 0.02            | 11.0              | 27,749           | ... | 0.546                         |
| ⋮            | ⋮                  | ⋮                  | ⋮               | ⋮                 | ⋮                | ⋮   | ⋮                             |
| Out_143, 100 | 0.238              | 0.595              | 0.03            | 13.0              | 28,254           | ... | 0.592                         |

設計的控制組合&amp;操作範圍

產出 143,100 筆廣域具物理意義的大數據

現場數據：收集酚酮分離塔 2019 年 9 月~2020 年 9 月工廠操作及品管檢驗資料，DCS(22 個錶點) 每 5 分鐘 1 筆操作數據 104,256 筆及品管(16 個錶點)每天 1 筆化驗數據 363 筆，經資料對齊及刪除離群值後 342 筆。

## 題目：推動數位優化管理

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

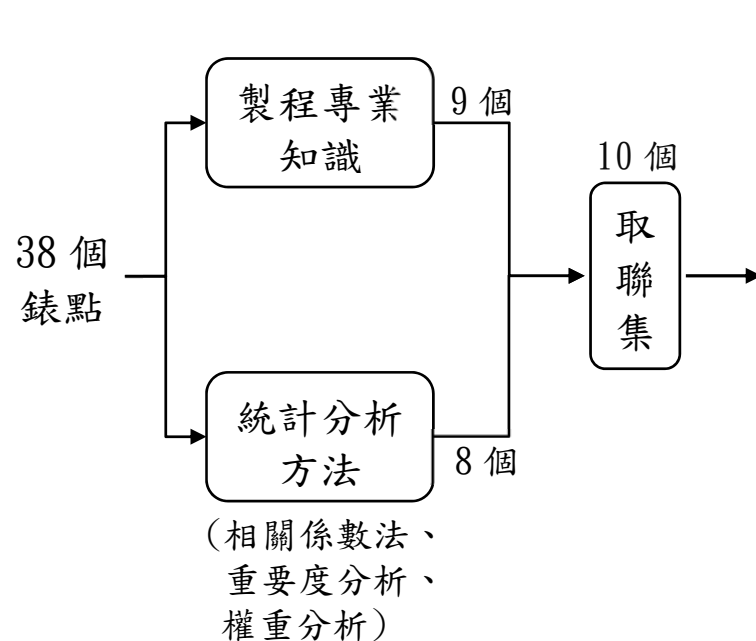
線上應用

## 2. 資料探索分析：

根據製程專業知識以及統計分析方法，從 38 個相關操作變數及進料組成數據，共篩選出 10 個特徵變數(X)(包含 7 個進料條件及 3 個控制錶點)，與 4 個預測目標(Y)(包含 3 個品質預測及 1 個再沸器蒸汽用量)。

特徵變數(X)：10 個

預測目標(Y)：4 個



| 編號 | 錶點編號                    | 錶點名稱            |
|----|-------------------------|-----------------|
| 1  | FIC3103                 | 進料量             |
| 2  | S3102_PHL%              | 進料 Phenol%      |
| 3  | S3102_ACE%              | 進料 Acetone%     |
| 4  | S3102_H <sub>2</sub> O% | 進料 water%       |
| 5  | S3102_CM%               | 進料 Cumene%      |
| 6  | S3102_AMS%              | 進料 AMS%         |
| 7  | S3102_HA%               | 進料 HA%          |
| 8  | TIC3112                 | C311 第 50 板溫度控制 |
| 9  | TIC3103                 | C311 進料溫度控制     |
| 10 | FIC3114                 | V311 油相回流量控制    |

| 編號 | 錶點編號       | 錶點名稱            |
|----|------------|-----------------|
| 1  | S3110_PHL% | V311 水相 phenol% |
| 2  | S3109_PHL% | V311 油相 phenol% |
| 3  | S3105_AMS% | C311 塔底 AMS%    |
| 4  | FIC3107    | E311 再沸器蒸汽量     |

題目：推動數位優化管理

定義問題與目標

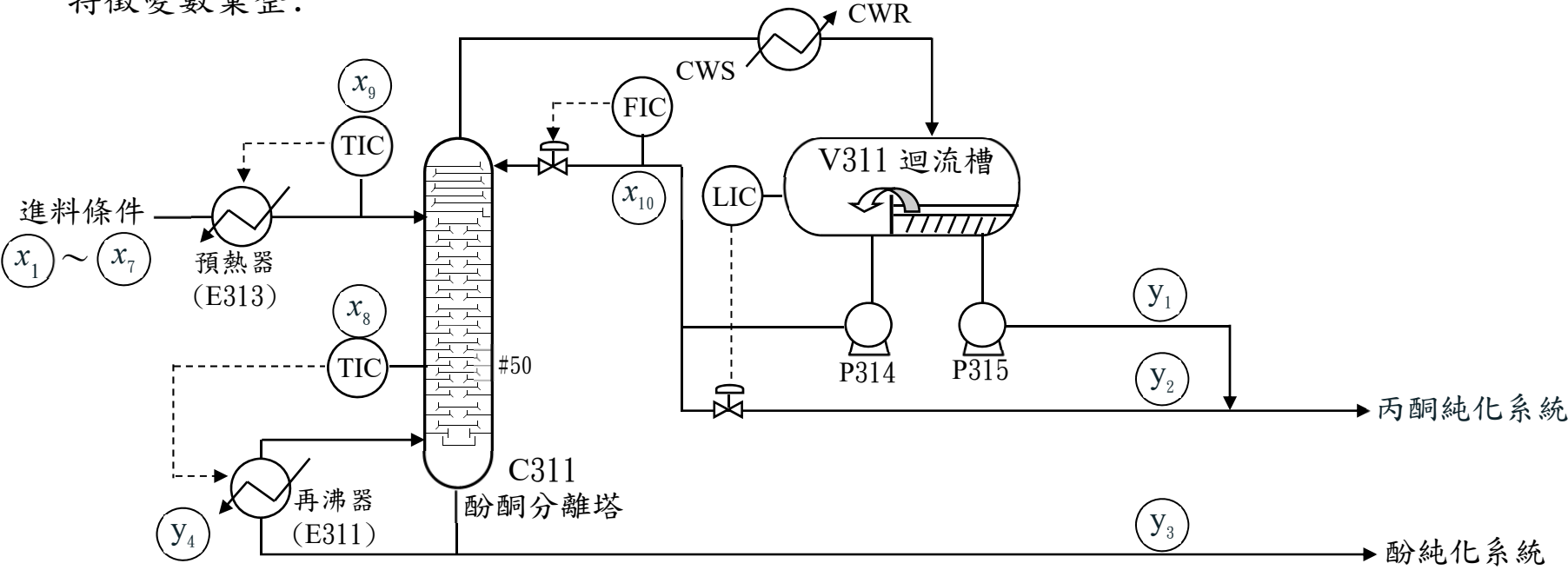
資料盤點與清理

資料探索分析

模組開發與評估

線上應用

特徵變數彙整：



特徵變數(X)：10 個

| 錶點編號           |                         | 錶點名稱        | 錶點編號            |            | 錶點名稱            |
|----------------|-------------------------|-------------|-----------------|------------|-----------------|
| x <sub>1</sub> | FIC3103                 | 進料量         | x <sub>6</sub>  | S3102_AMS% | 進料 AMS%         |
| x <sub>2</sub> | S3102_PHL%              | 進料 Phenol%  | x <sub>7</sub>  | S3102_HA%  | 進料 HA%          |
| x <sub>3</sub> | S3102_ACE%              | 進料 Acetone% | x <sub>8</sub>  | TIC3112    | C311 第 50 板溫度控制 |
| x <sub>4</sub> | S3102_H <sub>2</sub> O% | 進料 water%   | x <sub>9</sub>  | TIC3103    | C311 進料溫度控制     |
| x <sub>5</sub> | S3102_CM%               | 進料 Cumene%  | x <sub>10</sub> | FIC3114    | V311 油相回流控制     |

預測目標(Y)：4 個

| 錶點編號           |            | 錶點名稱            |
|----------------|------------|-----------------|
| y <sub>1</sub> | S3110_PHL% | V311 水相 phenol% |
| y <sub>2</sub> | S3109_PHL% | V311 油相 phenol% |
| y <sub>3</sub> | S3105_AMS% | C311 塔底 AMS%    |
| y <sub>4</sub> | FIC3107    | E311 再沸器蒸汽量     |

## 題目：推動數位優化管理

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

## 3. 模組開發與評估：

為能即時監控塔頂/塔底組成變化趨勢，模型開發以 143,100 筆 Aspen<sup>+</sup> 模擬數據與 342 筆現場操作/分析數據，應用具有時間序列數據建模能力的 LSTM(長短期記憶類神經網路)及 GRU(循環門控單元)演算法，來建模評估選擇最佳的演算法，建置酚酮分離塔預測模型，可即時預測塔頂苯酚與塔底 AMS 濃度，供現場即時監控。

特徵變數  
(10 個 X)

1. 進料量
2. 進料組成(6 個)
3. 控制變數(3 個)

酚酮分離塔預測模型

預測目標  
(4 個 Y)

1. 塔頂組成(2 個)
2. 塔底組成(1 個)
3. 蒸汽用量

模組驗證：

| 演算法評估 | 平均絕對百分比誤差(MAPE) <5%     |                         |                   |                       | 結果 |
|-------|-------------------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|----|
|       | 塔頂 V311<br>水相 phenol(%) | 塔頂 V311<br>油相 phenol(%) | C311 塔底<br>AMS(%) | C311 再沸器<br>蒸汽量(kg/H) |    |
| LSTM  | 3.11                    | 3.08                    | 2.86              | 0.92                  | ○  |
| GRU   | 3.86                    | 5.01                    | 3.28              | 1.82                  | ×  |

以 LSTM 長短期記憶類神經網路建置酚酮分離塔預測模型，經驗證平均絕對百分比誤差(MAPE)較佳，因此選用 LSTM 演算法開發預測模組。

驗證指標:平均絕對百分比誤差(%) $(\sum_{i=1}^n |(y_i - \hat{y}_i)/y_i| \times 100)/n$ ， $y$  為真實數值， $\hat{y}$  為預測數值， $n$  為樣本數。

## 題目：推動數位優化管理

定義問題與目標

資料盤點與清理

資料探索分析

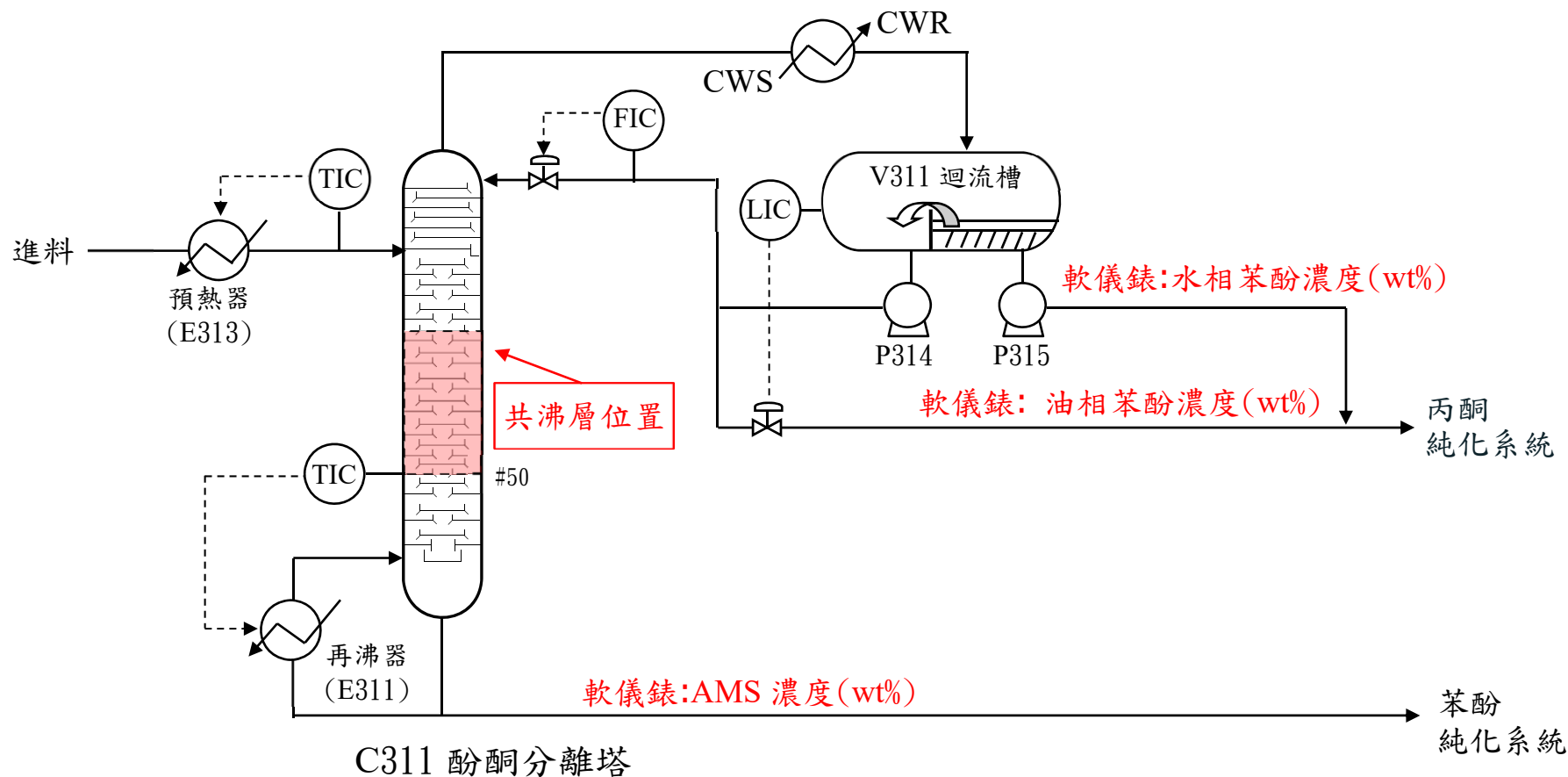
模組開發與評估

線上應用

## 4. 線上應用：

## (1) 酚酮分離塔軟儀錶監控：

應用 AI 預測模型建立塔頂苯酚及塔底 AMS 濃度即時監控軟儀錶，模型根據進料及操作條件，每 30 分鐘更新塔頂苯酚及塔底 AMS 濃度預測值，提供現場即時監控共沸層的狀態。





## 題目：推動數位優化管理

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

## (2) 酚酮分離塔最佳操作參數應用

1

AI 預測模型根據進料條件，由模組運算列出所有符合品質要求的控制變數組合，再以 C311 再沸器蒸汽用量為條件進行排序篩選，找出最佳控制變數組合。

## 即時進料條件：7 個

- 進料量
- 進料 Phenol%
- 進料 Acetone%
- 進料 AMS%
- 進料 Cumene%
- 進料 Water%
- 進料 HA%

## 控制參數試算：3 個

| 特徵錶點    | 試算範圍  |       |
|---------|-------|-------|
| TIC3112 | 183.0 | 193.0 |
| TIC3103 | 75.0  | 105.0 |
| FIC3114 | 9.5   | 14.0  |

## AI-預測模型

酚酮分離塔  
最佳操作條件搜尋

塔頂: 油相 Phenol<0.35%  
水相 Phenol<0.35%  
塔底: AMS<0.5%

## 優化目標：

最小化蒸汽用量

2

再將最佳控制變數組合，呈現於操作介面(Dashboard)做為推薦參數，供現場作為調整的依據。

## 推薦控制變數：3 個

- C311 #50 溫度控制
- C311 進料溫度控制
- V311 油相回流控制

## 題目：推動數位優化管理

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

## (3) 模組操作介面：

合成酚廠 C311 酚酮分離塔優化模組操作介面已於 2021 年 9 月完成上線應用如下圖：



① 模組預測精確度、② 操作參數的調整指引、③ 優化目標與預測目標的現況值、預測值與目標值  
 ④ 進料條件、⑤ 分離塔共沸層試算(Aspen<sup>+</sup>)、⑥ 模組預測趨勢圖

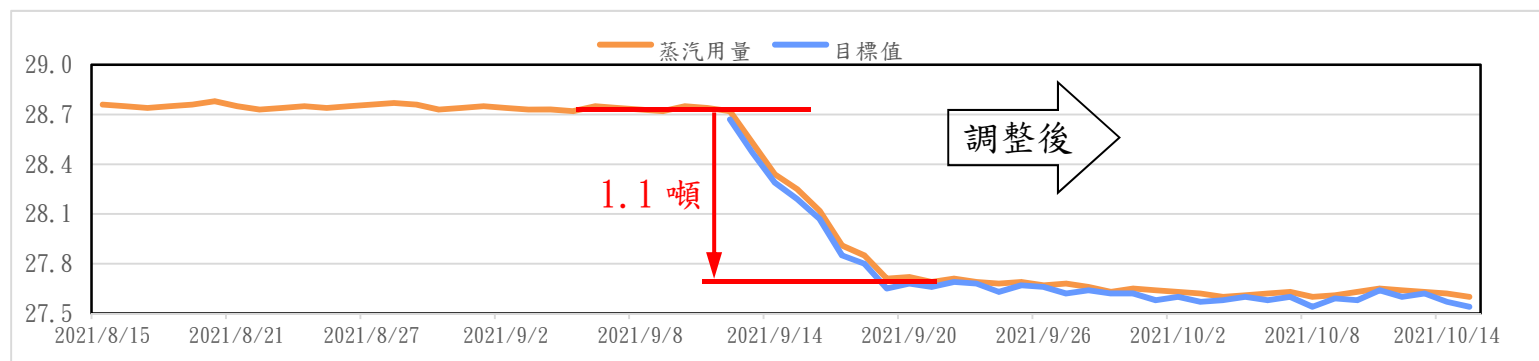


## 題目：推動數位優化管理

## 改善效益與後續工作：

1. 酚酮分離塔 AI 優化模組於 2021 年 9 月投入使用，經由 AI 模組在所有品質符合要求下，自動推薦最佳節能操作建議供現場調整後，可節省 35K 蒸汽用量 1.1 噸/時，效益 14,318 千元/年，減少碳排 2,737 噸/年，投資金額 2,286 千元，回收年限 0.2 年。

| 酚酮<br>分離塔 | 優化操作參數           |                             |                | 品質管制            |                   | 優化目標          |
|-----------|------------------|-----------------------------|----------------|-----------------|-------------------|---------------|
|           | 50 板溫度<br>控制(°C) | 油相回流<br>(M <sup>3</sup> /H) | 進料溫度<br>控制(°C) | 塔頂苯酚<br>(<0.5%) | 塔底 AMS<br>(<1.0%) | 蒸汽用量<br>(噸/H) |
| 調整前       | 188.0            | 11.2                        | 102.2          | 0.25            | 0.23              | 28.7          |
| 模組推薦      | 185.0            | 10.1                        | 102.6          | 0.34            | 0.24              | 27.5          |
| 調整後       | 185.0            | 10.1                        | 102.6          | 0.35            | 0.24              | 27.6          |



2. 第二系列於 2022 年 5 月上線應用後，可再節省 35K 蒸氣 1.0 噸/時，效益 13,016 千元/年，可再減少碳排 2,488 噸/年。以往定檢開俾需 36 小時才能調整至穩定狀態，本次定檢製程操作人員應用模組推薦的操作條件進行調整，僅有 8 小時就達穩定狀態，可減少蒸汽耗用 689 噸。
3. 麥寮合成酚廠酚酮分離塔優化模組已投入且效果良好，寧波苯酚廠已平行自行開發，目前已完成 Aspen<sup>+</sup>理論模型建置，預定 2023/03 月上線。

## 題目：推動數位優化管理

## 五、化二部模擬工廠開發進度：

化二部模擬工廠開發共分為五大階段，預定 2023 年 12 月完成建置。

SM 廠(麥寮)預定 2023 年 12 月完成，SM 廠(海豐)預定 2023 年 11 月完成。

合成酚廠預定 2023 年 9 月完成，苯酚廠預定 2023 年 12 月完成，進度彙總如下：

| 化二部模擬工廠 |             | SM 廠(麥寮)          |              | SM 廠(海豐)        |              | 合成酚廠            |              | 苯酚廠(寧波)         |              | 合計                |
|---------|-------------|-------------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-------------------|
|         |             | 已完成<br>/總數        | 完成日<br>(預完日) | 已完成<br>/總數      | 完成日<br>(預完日) | 已完成<br>/總數      | 完成日<br>(預完日) | 已完成<br>/總數      | 完成日<br>(預完日) | 已完成<br>/總數        |
| 1       | 建立全廠即時數據資料庫 | 10,957/<br>10,957 | 2012.1       | 8,889/<br>8,889 | 2012.1       | 7,430/<br>7,430 | 2012.1       | 8,595/<br>8,595 | 2020.11      | 35,871/<br>35,871 |
| 2       | 開發全廠製程模擬模型  | 6/11              | (2023.7)     | 7/12            | (2023.7)     | 12/15           | (2023.3)     | 6/12            | (2023.9)     | 31/50             |
| 3       | 開發製程預測模組    | 6/15              | (2023.11)    | 6/13            | (2023.10)    | 12/14           | (2023.19)    | 1/8             | (2023.12)    | 25/50             |
| 4       | 開發跨單元整合預測模組 | 0/1               | (2023.12)    | 0/1             | (2023.11)    | 1/3             | (2023.9)     | 0/1             | (2023.12)    | 1/6               |
| 5       | 開發設備性能及預警模組 | 84/98             | (2023.3)     | 72/82           | (2022.12)    | 124/124         | (2022.12)    | 32/34           | (2022.12)    | 312/338           |

## 題目：推動數位優化管理

## 六、附件：SM 廠(麥寮)模擬工廠模組彙總：

SM 廠(麥寮)規劃開發製程單元模擬計 11 個，預測模組計 15 個，跨單元預測模組計 1 個，以及設備性能監控預警模組計 98 個。

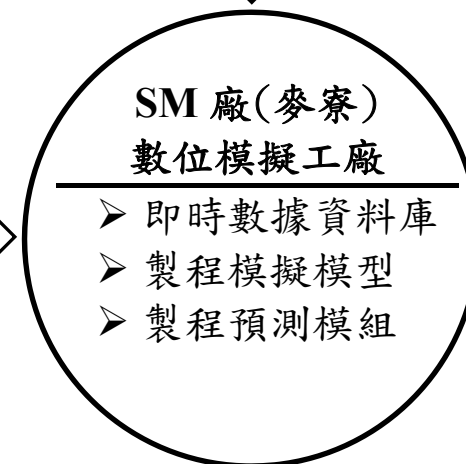
| 製程單元模擬           |
|------------------|
| 反應單元模型：2/5 個     |
| 1. 乙苯反應單元(3 個)   |
| 2. 乙苯脫氫反應單元(2 個) |
| 蒸餾/汽提單元模型：4/6 個  |
| 1. 乙苯蒸餾單元(1 個)   |
| 2. 苯乙烯蒸餾單元(2 個)  |
| 3. 汽提塔單元(2 個)    |
| 4. 尾氣回收系統(1 個)   |



| 製程單元、跨單元預測模組         |
|----------------------|
| 製程預測模組:6/15 個        |
| 1. 乙苯區苯塔/輕質塔優化(0/1)  |
| 2. 乙苯區乙苯塔優化(0/1)     |
| 3. 乙苯區多乙苯塔優化(0/1)    |
| 4. 乙苯脫氫反應單元(2/2)     |
| 5. 苯乙烯多效蒸餾優化(1/1)    |
| 6. 汽提塔單元(0/2 個)      |
| 7. 冷卻水塔(2/2)         |
| 8. 轉烷反應器優化預警模組(1/1)  |
| 9. 烷化反應器預警模組(0/1)    |
| 10. 粗苯乙烯冷卻器腐蝕預警(0/2) |
| 11. 苯甲苯塔/苯乙烯塔優化(0/1) |
| 跨單元預測模組:0/1 個        |
| 1. 苯乙烯產值最大化          |
| ➢ 整合脫氫反應與蒸餾區         |



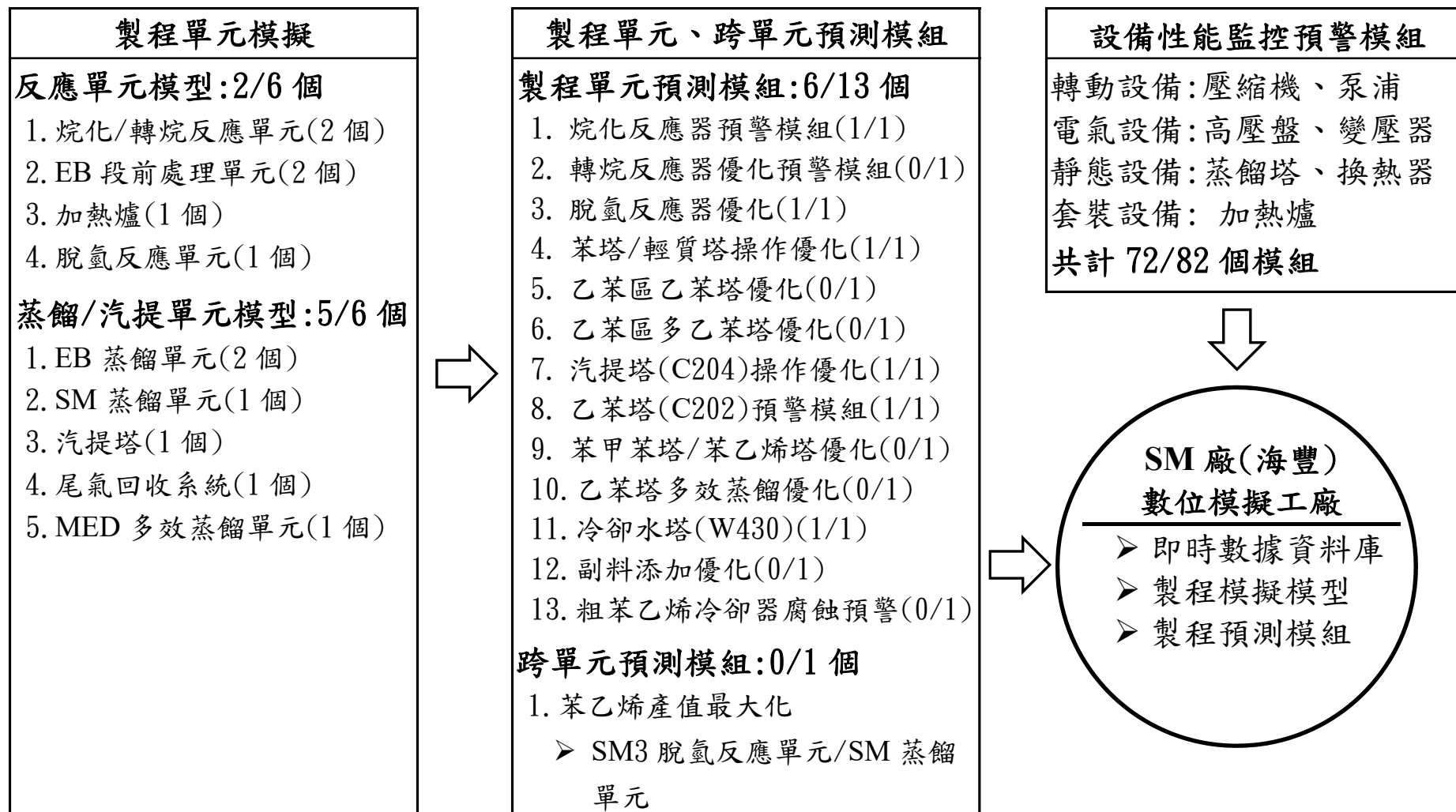
| 設備性能監控預警模組   |
|--------------|
| 轉動設備:壓縮機、泵浦  |
| 電氣設備:高壓盤、變壓器 |
| 靜態設備:蒸餾塔、換熱器 |
| 套裝設備:加熱爐     |
| 共計 84/98 個模組 |



## 題目：推動數位優化管理

## 六、附件(續)：SM 廠(海豐)模擬工廠模組彙總：

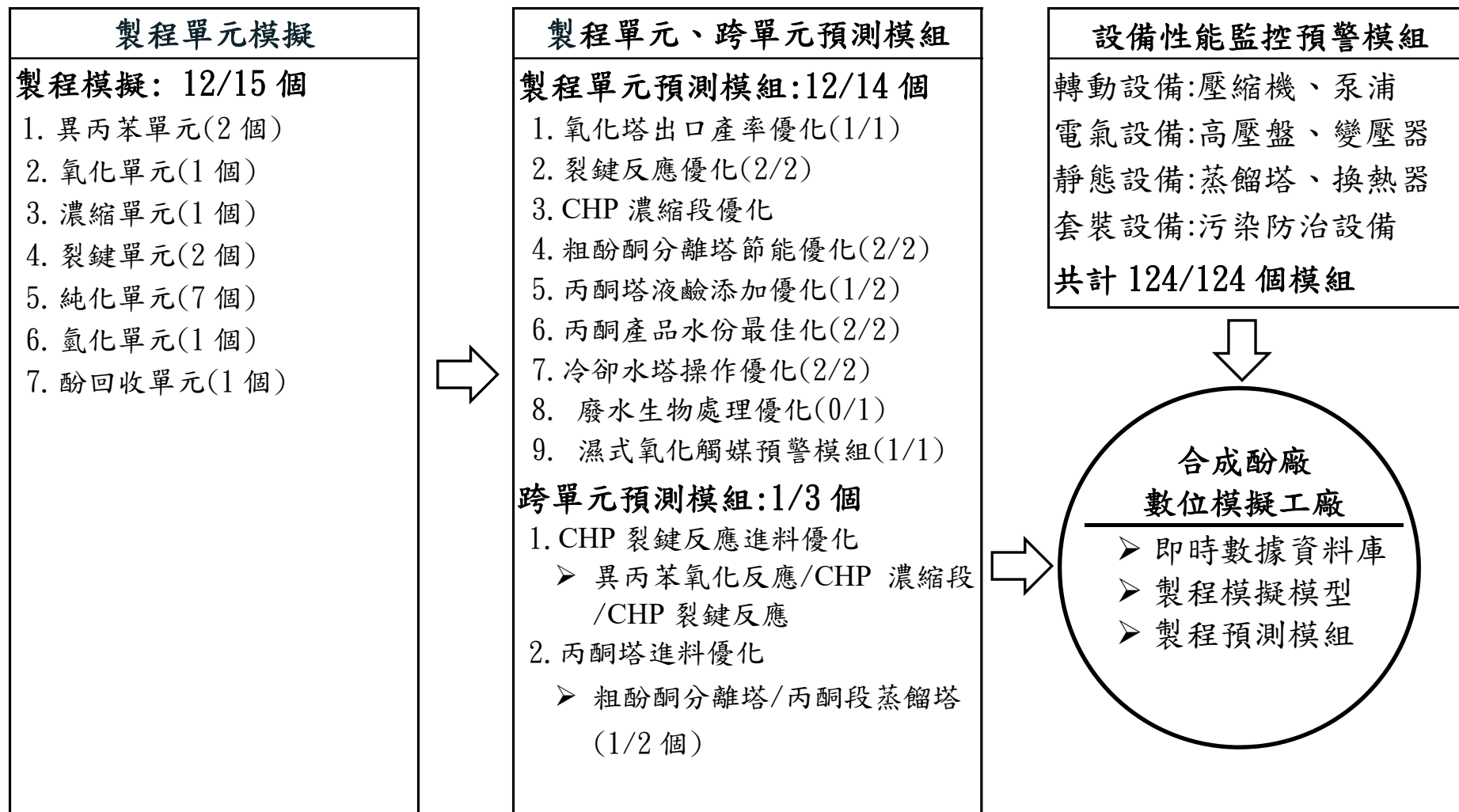
SM 廠(海豐)規劃開發製程單元模擬計 12 個，預測模組計 13 個，跨單元預測模組計 1 個，以及設備性能監控預警模組計 82 個。



## 題目：推動數位優化管理

## 六、附件(續)：合成酚廠模擬工廠模組彙總：

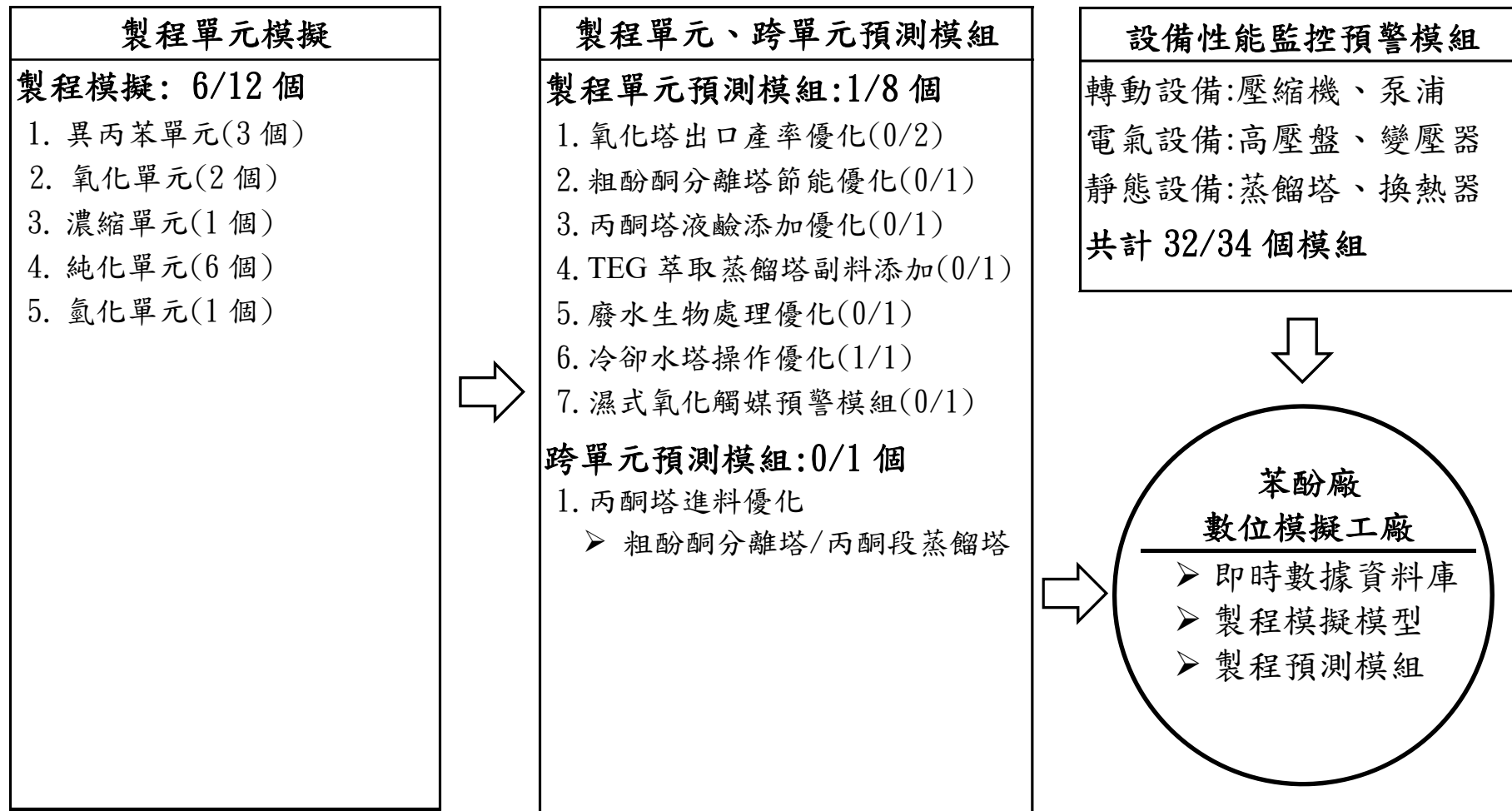
合成酚廠規劃開發製程單元模擬計 15 個，預測模組計 14 個，跨單元預測模組計 3 個，以及設備性能監控預警模組計 124 個。



## 題目：推動數位優化管理

## 六、附件(續)：寧波苯酚廠模擬工廠模組彙總：

寧波苯酚廠預定開發製程單元模擬計 12 個，預測模組計 8 個，跨單元預測模組計 1 個，以及設備性能監控預警模組計 34 個。



## 題目：推動數位優化管理

## 六、附件(續)：化二部全廠即時數據資料庫彙總：

1. 即時數據資料庫(RTPMS, PI 系統)係指即時數據蒐集平台，透過網路將工廠 DCS、能耗、品管、工安環保及保養系統等數據，作完整蒐集及管控。
2. 從 2008 年起陸續將 DCS 操作數據、LIMS 品管數據、保養振動監控數據及電器盤監控數據等資料，整合進 RTPMS 管控。
3. SM 廠/合成酚廠累積在 RTPMS 建置資料點數，彙總如下：

| RTPMS | SM 廠(麥寮) | SM 廠(海豐) | 合成酚廠  | 苯酚廠(寧波) | 合計     |
|-------|----------|----------|-------|---------|--------|
| 資料點數  | 10,957   | 8,889    | 7,430 | 8,595   | 35,871 |

4. SM 廠/合成酚廠累積建置在 RTPMS 管理頁面，彙總如下：

| 廠別       | 生產管理 | 製程管理 | 品質管理 | 保養管理 | 安衛環 | 能源管理 | 其他 | 合計  |
|----------|------|------|------|------|-----|------|----|-----|
| SM 廠(麥寮) | 29   | 29   | 3    | 76   | 43  | 8    | 5  | 193 |
| SM 廠(海豐) | 22   | 13   | 2    | 118  | 24  | 8    | 6  | 193 |
| 合成酚廠     | 25   | 96   | 12   | 34   | 27  | 6    | 10 | 210 |
| 苯酚廠(寧波)  | 14   | 61   | 4    | 22   | 10  | 11   | 1  | 123 |
| 合 計      | 90   | 199  | 21   | 250  | 104 | 33   | 22 | 719 |

## 題目：推動數位優化管理

## 六、附件(續)：化二部製程模擬模型建立進度彙總：

1. 主要用來建立各製程單元的理論模型，利用模型模擬出各製程單元及設備應有的效能，再與實際效能進行比較，監控各單元/設備維持在最佳之狀態下運轉，達到擦邊操作及穩定生產同時兼顧的目標。
2. 應用化工模擬軟體(Aspen plus)，在合理操作範圍內，利用建置完成的製程單元穩態理論模型，依照控制變數對反應的相關性權重，產出具有物理意義且廣域的大數據，供各製程單元建置AI預測模型。
3. 從2019年起引進軟體，陸續完成各廠模型開發，並配合各廠產能提升、製程改善，持續修模，維持模型可反應製程狀況。
4. 開發SM製程單元別模擬模型，模型數量彙總如下：

| 製程單元     | EB 反應單元 |    |     | EB 蒸餾單元 |    |     | SM 反應單元 |    |     | SM 蒸餾單元 |    |     | 合計 |    |     |
|----------|---------|----|-----|---------|----|-----|---------|----|-----|---------|----|-----|----|----|-----|
|          | 總數      | 完成 | 開發中 | 總數      | 完成 | 開發中 | 總數      | 完成 | 開發中 | 總數      | 完成 | 開發中 | 總數 | 完成 | 開發中 |
| SM 廠(麥寮) | 3       | 0  | 3   | 1       | 0  | 1   | 2       | 2  | 0   | 5       | 4  | 1   | 11 | 6  | 7   |
| SM 廠(海豐) | 4       | 0  | 4   | 2       | 2  | 0   | 2       | 2  | 0   | 4       | 3  | 1   | 12 | 7  | 5   |

開發合成酚製程單元別模擬模型，模型數量彙總如下：

| 製程單元    | 異丙苯單元 |    |     | 氧化/濃縮單元 |    |     | 裂鍵單元 |    |     | 純化/氫化單元 |    |     | 合計 |    |     |
|---------|-------|----|-----|---------|----|-----|------|----|-----|---------|----|-----|----|----|-----|
|         | 總數    | 完成 | 開發中 | 總數      | 完成 | 開發中 | 總數   | 完成 | 開發中 | 總數      | 完成 | 開發中 | 總數 | 完成 | 開發中 |
| 合成酚廠    | 2     | 1  | 1   | 2       | 2  | 0   | 2    | 2  | 0   | 9       | 7  | 2   | 15 | 12 | 3   |
| 苯酚廠(寧波) | 3     | 3  | 0   | 3       | 3  | 0   | 0    | 0  | 0   | 6       | 0  | 6   | 12 | 6  | 6   |



## 題目：推動數位優化管理

## 六、附件(續)：化二部單元預測模組彙總：

1. 根據各製程單元操作上的需求，分別對主要蒸餾單元及反應單元開發預測模組及優化操作推薦功能。
2. 從 2017 年起引進數據分析及機器學習技術，並利用化工模擬軟體模型產生操作範圍內的大量數據，開發預測模組及優化操作推薦功能。
3. SM 廠/合成酚廠預測模組開發進度彙總：

| 模組類別     | 製程優化 |    |     | 設備預警 |    |     | 製程安全管理 |    |     | 工廠安全/廢水優化 |    |     | 合計 |    |     |
|----------|------|----|-----|------|----|-----|--------|----|-----|-----------|----|-----|----|----|-----|
|          | 總數   | 完成 | 開發中 | 總數   | 完成 | 開發中 | 總數     | 完成 | 開發中 | 總數        | 完成 | 開發中 | 總數 | 完成 | 開發中 |
| SM 廠(麥寮) | 11   | 5  | 6   | 3    | 2  | 1   | 4      | 1  | 3   | 0         | 0  | 0   | 18 | 8  | 10  |
| SM 廠(海豐) | 10   | 5  | 5   | 3    | 2  | 1   | 3      | 1  | 2   | 0         | 0  | 0   | 16 | 8  | 8   |
| 合成酚廠     | 12   | 11 | 1   | 3    | 2  | 1   | 1      | 1  | 0   | 2         | 1  | 1   | 18 | 15 | 3   |
| 苯酚廠(寧波)  | 6    | 1  | 5   | 1    | 1  | 0   | 1      | 0  | 1   | 2         | 0  | 2   | 10 | 2  | 8   |
| 合 計      | 39   | 22 | 17  | 10   | 7  | 3   | 9      | 3  | 6   | 4         | 4  | 3   | 62 | 33 | 29  |

## 4. SM 廠/合成酚廠跨單元整合預測模組開發進度彙總：

| 跨單元整合    | 總數 | 完成 | 開發中 | 跨單元整合說明   |
|----------|----|----|-----|---|
| SM 廠(麥寮) | 1  | 0  | 1   | 脫氫反應系統 + SM 蒸餾系統(1 案)   |
| SM 廠(海豐) | 1  | 0  | 1   | 脫氫反應系統 + SM 蒸餾系統(1 案)   |
| 合成酚廠     | 3  | 1  | 2   | 1. 異丙苯氧化反應 + CHP 濃縮段 + CHP 裂鍵反應整合(1 案)<br>2. 粗酚酮分離塔 + 丙酮段蒸餾塔整合(2 案) |
| 苯酚廠(寧波)  | 1  | 0  | 1   | 粗酚酮分離塔 + 丙酮段蒸餾塔整合(1 案)  |
| 合 計      | 6  | 1  | 5   |   |

## 題目：推動數位優化管理

## 六、附件(續)：化二部設備預測模組彙總：

1. 根據各廠操作上的需求，分別對轉動設備包括壓縮機、泵浦及靜態設備包括蒸餾塔、加熱爐開發設備預警模組。
2. 從 2018 年起引進 iEM/PRiSM 設備監診軟體，並利用累積的歷史操作數據及設備保全數據，分別開發設備預警模組。
3. SM 廠/合成酚廠設備預警模組開發進度彙總：

單位：模組數量

| 類別    | SM 廠(麥寮) |    |     | SM 廠(海豐) |    |     | 合成酚廠 |     |     | 苯酚廠(寧波) |    |     | 合計  |     |     |
|-------|----------|----|-----|----------|----|-----|------|-----|-----|---------|----|-----|-----|-----|-----|
|       | 總數       | 完成 | 開發中 | 總數       | 完成 | 開發中 | 總數   | 完成  | 開發中 | 總數      | 完成 | 開發中 | 總數  | 完成  | 開發中 |
| iEM   | 66       | 66 | 0   | 48       | 48 | 0   | 99   | 99  | 0   | 0       | 0  | 0   | 213 | 213 | 0   |
| PRiSM | 32       | 18 | 14  | 34       | 24 | 10  | 25   | 25  | 0   | 34      | 32 | 2   | 125 | 99  | 26  |
| 合計    | 98       | 84 | 14  | 82       | 72 | 10  | 124  | 124 | 0   | 34      | 32 | 2   | 338 | 312 | 26  |