

台塑石化股份有限公司

公用部

【麥寮廠區蒸汽電力調度管理優化】

報告人:吳育憲
2021年10月20日
【密】 【會後收回】

執行摘要

1. 塑化公用部負責麥寮廠區蒸汽電力供應，廠區總用汽量2,560T/H、總用電量1,650MW，成立調度中心統籌調度管理，調度首重安全，蒸汽電力相關運轉數據與狀態均已納入監控及預警管理，並設置蒸汽及電力調度兩個模擬器，以提升人員應變處置能力，確保系統運轉安全。
2. 經檢討，經濟調度有再優化改善空間，利用PI(Plant Information)資料庫整合各公用廠運轉數據，建置新的模擬器進行數位優化，作為調度人員操作依據，以提升效率及利益，未來將在滿足廠區用汽用電動態需求下，以全廠區汽電整合優化為目標。

推動工作事項包含:

- (1). 機組升降載調度優化模擬器(本次報告主題)。
 - (2). 全廠區汽電整合調度優化模擬器(執行中)。
3. 效益:以機組升降載調度優化模擬器為例，投資費用4,150千元，除可確保供電安全，亦可增加效益:14,224千元(2021年1~9月)。

目 錄

一、製程說明	P3
二、動機說明	P4
三、建置流程	P9
四、優化成果	P21
五、後續推動事項	P24
六、結論	P25

一、製程說明

塑化公用部共四個公用廠供應麥寮廠區68個製程廠蒸汽、電力，從供應端到用戶端重要運轉數值約21,660點均已納入數位監控並由調度中心負責調度管理，架構說明如下：



(供應端)



(輸送設備)



(用戶端)

主要設備	公用一～四廠 16套鍋爐 15部汽發電機 共產汽11,600T/H 最大發電量2,754MW	蒸汽:輸送管線共76條 電力:變電設備及輸電線路 (33KV計186迴路、 161KV計7迴路)	麥寮及海豐區 合計68個製程廠 (蒸汽平均用量:2,560T/H、 全廠區總用電量:1,650MW)
監控項目	1. 鍋爐運轉狀態(包含主汽量、主汽壓力及溫度)。 2. 汽發電機運轉狀態(包含有效電力、無效電力及功率因數等)。	1. 蒸汽管線運轉狀態(包含壓力、溫度及流量)。 2. 輸變電設備運轉狀態(包含電量、頻率及電壓)。	1. 蒸汽供需平衡(包含壓力、溫度及流量)。 2. 供電迴路用電(包含有效電力、無效電力及功率因數)。
監控點數	9,820點	6,350點	5,490點
合計	21,660點		

二、動機說明

4

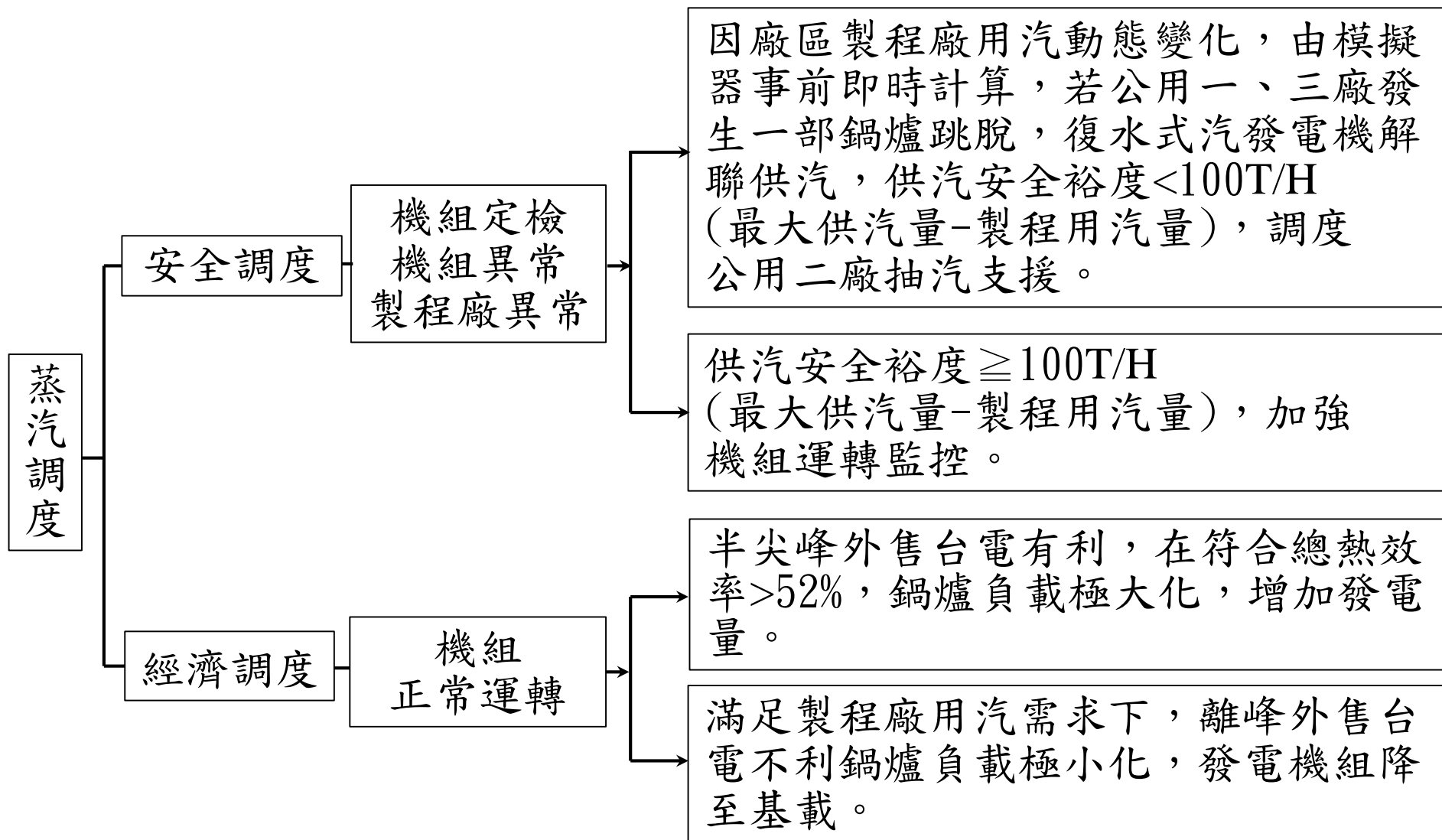
(一). 蒸汽/電力調度管理推動進程：

調度工作首重安全，再追求經濟效益，有關安全調度作業已完成數位優化，有效提升系統運轉安全穩定，擬再針對經濟調度作業進行優化，以增加效益，各階段推動計劃說明如下：

推動進程	模擬器	功能	備註
第一階段 安全調度	1. 蒸汽調度 模擬器 2. 電力管理系統 模擬器	1. 經由模擬器擷取系統即時狀態，可事前模擬鍋爐定檢或異常時供汽安全裕度是否足夠，以利人員應變。 2. 可下載系統即時狀態，事前模擬輸變電設備停檢或異常後潮流變化，確認電力管理系統供需平衡保護(自動卸載及動態剎車) 180個CASE演算正確性。	已完成 (2016/06)
第二階段 經濟調度	機組升降載調度 優化模擬器	每日尖離峰機組升降載調度優化模擬，確保安全及增加效益。	已完成 (2020/01)
第三階段 汽電組合最佳化	全廠區汽電整合 調度優化模擬器	建置AI預測模組，演算全廠區機組抽汽發電組合最佳化配置，使總發電成本最小化，利益最大化。	執行中

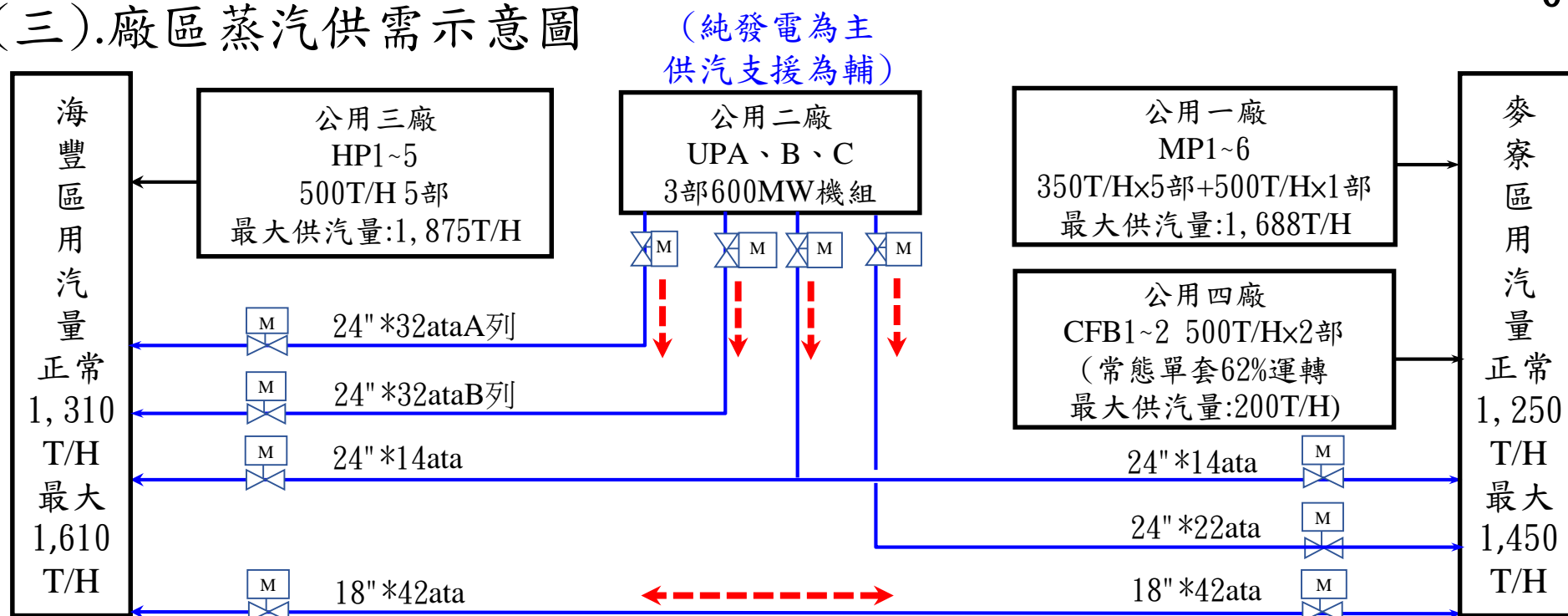
二、動機說明

(二). 蒸汽調度策略：



二、動機說明

(三).廠區蒸汽供需示意圖



半尖峰期間鍋爐、汽發電機負載

機組別	主蒸汽流量 (T/H)	汽機入汽量 (T/H)	發電量 (MW)
MP1、MG1	327.5	176.7	46.4
MP2、MG2	320.5	261.2	20.9
MP3、MG3	328.5	390.4	59.7
MP4、MG4	327.5	228.1	19.8
MP5、MG5	324.7	389.2	58.8
MP6	493.5		
合計	2122.2	1445.6	205.6

公用一、三廠
鍋爐定檢或異常，供汽安全裕度<100T/H，
調度公用二廠
抽汽支援。

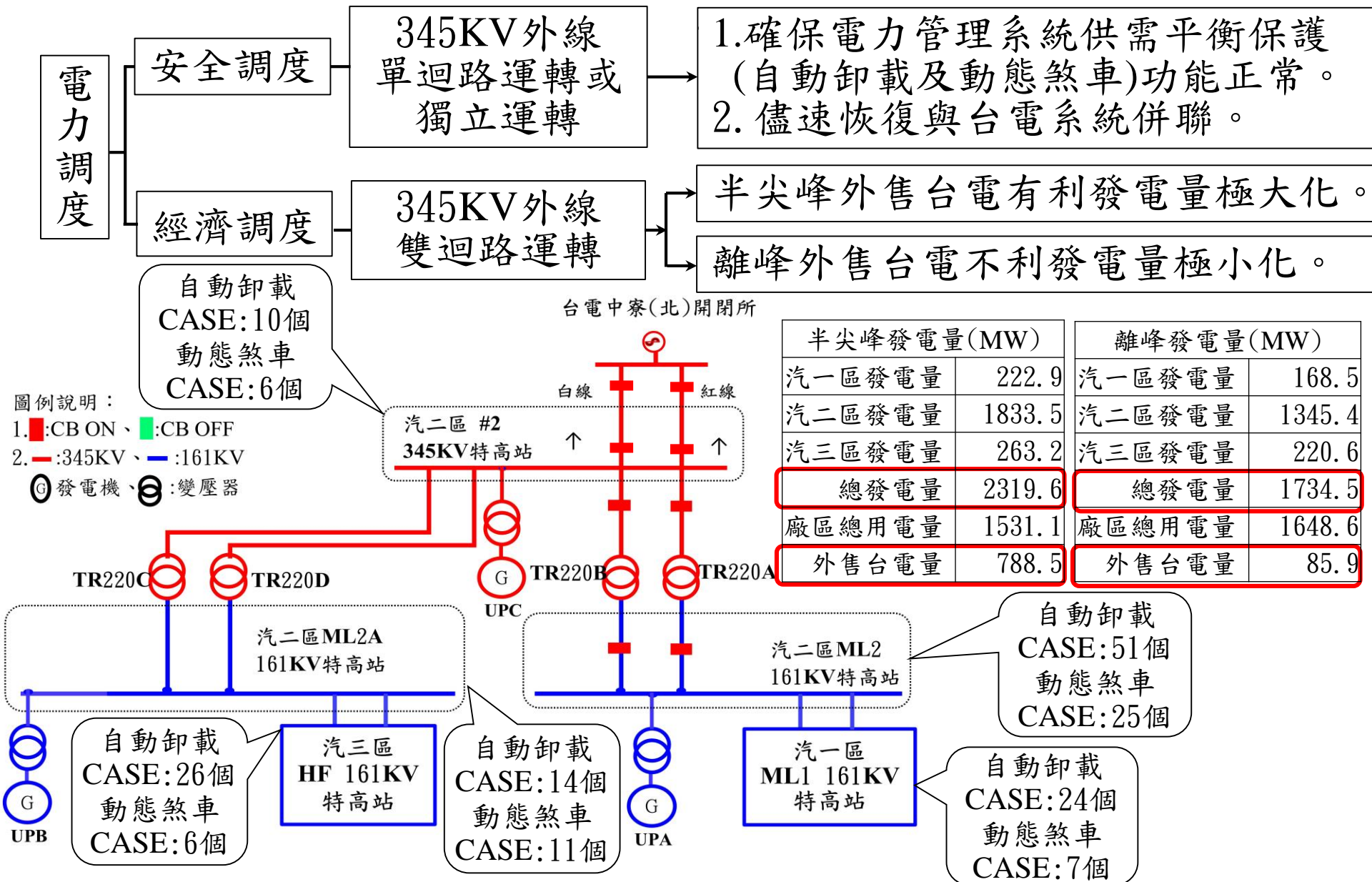
離峰期間鍋爐、汽發電機負載

機組別	主蒸汽流量 (T/H)	汽機入汽量 (T/H)	發電量 (MW)
MP1、MG1	265.0	117.9	28.1
MP2、MG2	261.2	263.9	20.4
MP3、MG3	259.7	345.1	46.1
MP4、MG4	317.2	232.2	20.1
MP5、MG5	325.5	350.9	47
MP6	492.7		
合計	1921.3	1310	161.7

二、動機說明

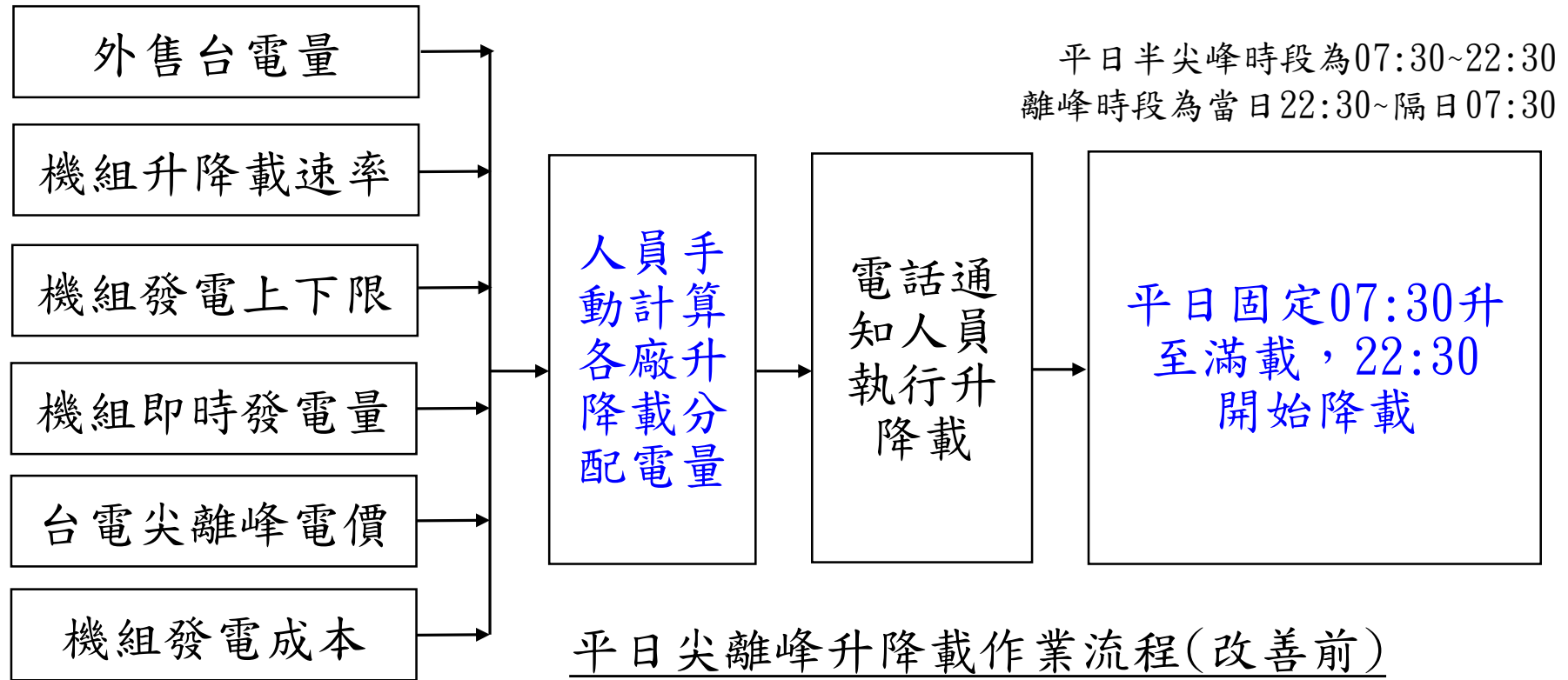
7

(四).電力調度策略：



二、動機說明

(五). 汽電共生售予台電之機組升降載經濟調度未數位優化：

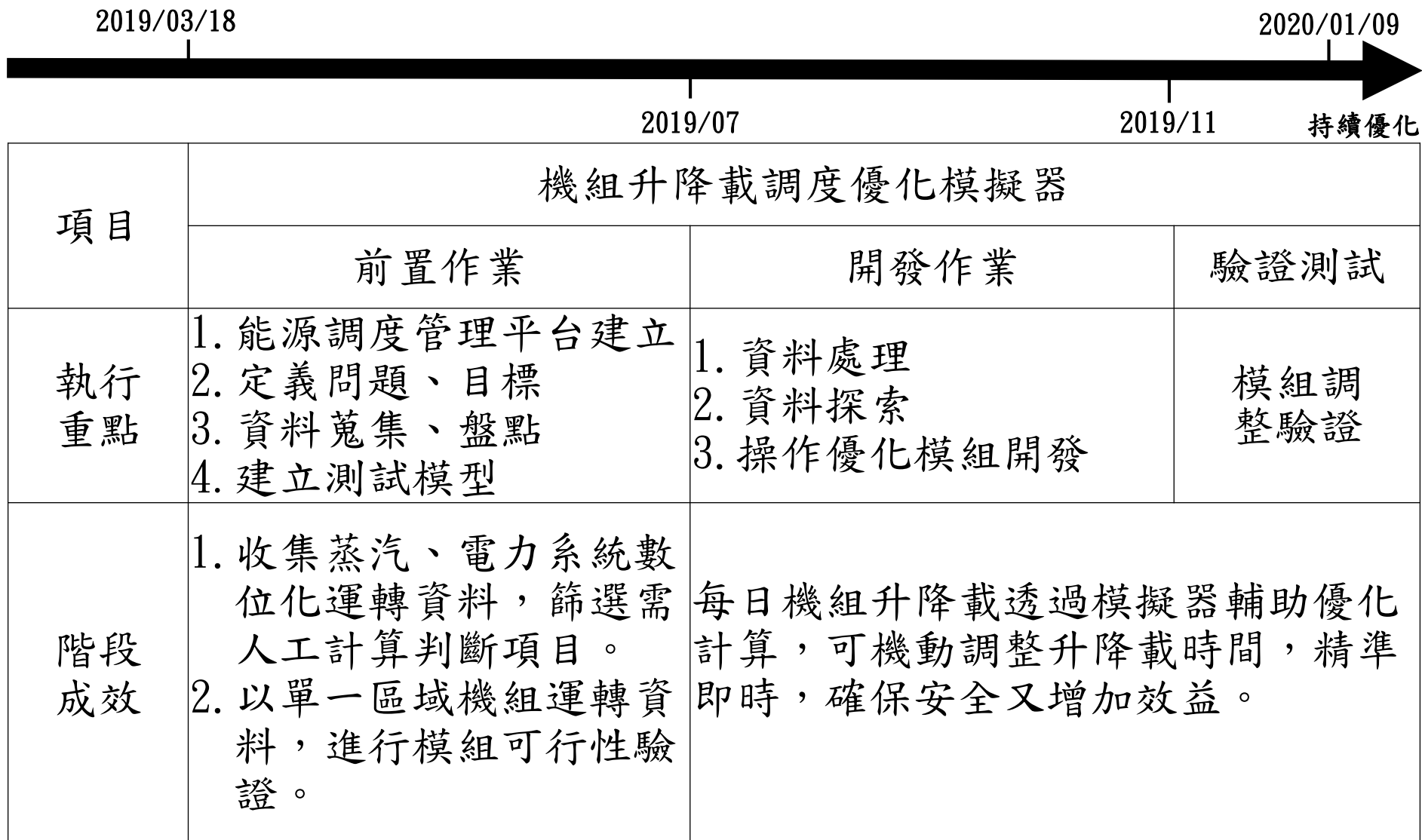


待改善重點

1. 採人工計算作業，無即時演算機能，效率不佳。
2. 機組平日升載完成時間及降載開始時間採固定方式，未隨著
①可升降載電量②發電成本③升降載速率不同有所調整，並非最有利運轉模式。

三、建置流程

機組升降載數位優化開發歷程說明：



三、建置流程-機組升降載調度優化模擬器

10

資料蒐集

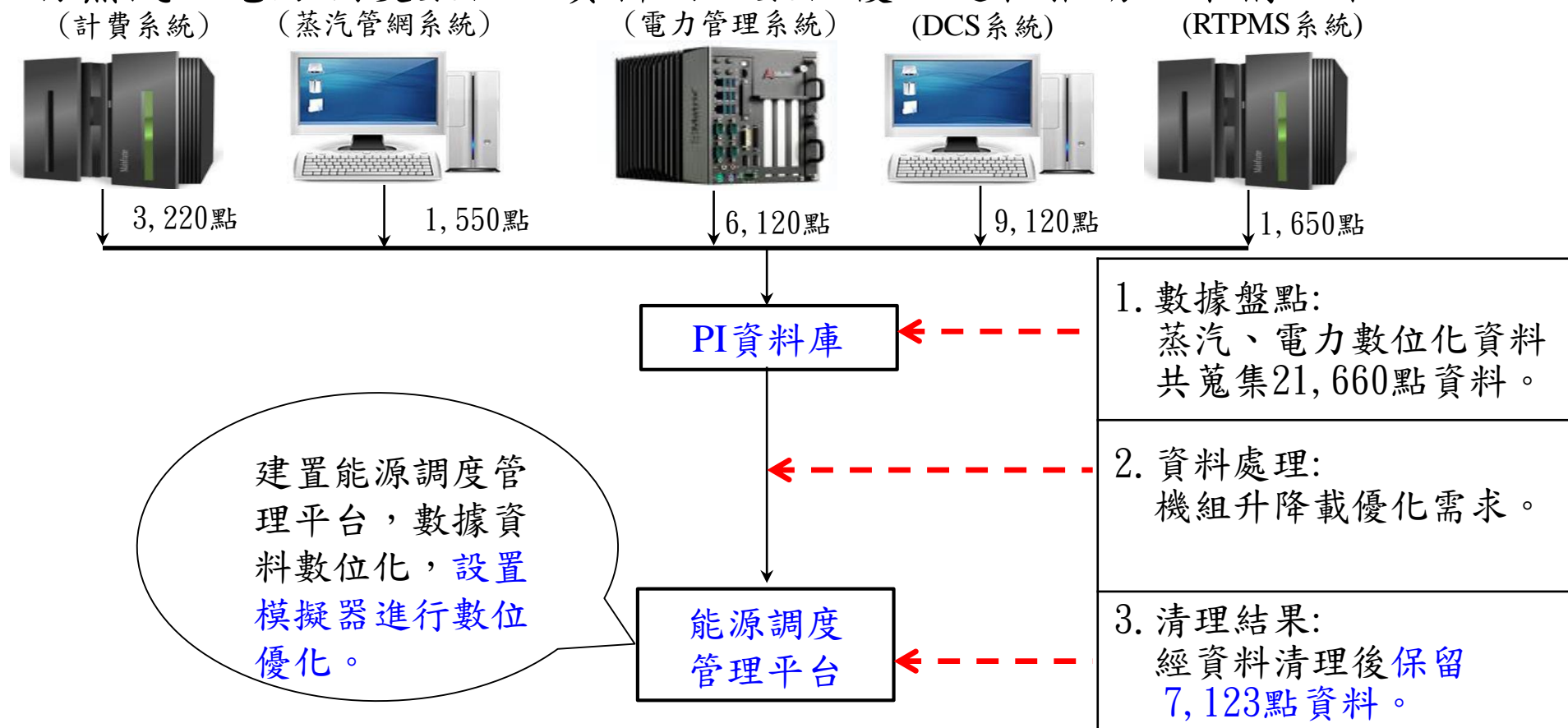
資料探索分析

操作優化開發

線上應用

機組升降載數位優化推動：

透過PI資料庫蒐集整合計費系統、蒸汽管網系統、電力管理系統、DCS系統及RTPMS系統即時運轉資料，建置能源調度管理平台，以此平台將蒸汽、電力調度數位化資料納入數位優化進程推動，架構如下：



資料蒐集

資料探索分析

操作優化開發

線上應用

機組升降載受各種參數影響：

安全需求面

外售台電量
(變動)

1. 外售台電量、機組發電上下限及即時發電量，隨廠區用汽用電動態變化。
2. 機組發電成本隨煤價動態變化。
3. 共15部發電機分成6個群組：公用一廠(MG1~5)、公用二廠UPA、UPB、UPC、公用三廠(HG1~5)、公用四廠(CFB1~2)。

設備條件面

機組升載速率
(固定)

機組降載速率
(固定)

機組發電上限
(變動)

機組發電下限
(變動)

機組即時發電量
(變動)

經濟面

半尖峰外售台電
價格(變動)

離峰外售台電
價格(變動)

機組發電成本
(變動)

三、建置流程-機組升降載調度優化模擬器

12

資料蒐集

資料探索分析

操作優化開發

線上應用

離峰→半尖峰升載需考量重要參數說明：

②6組發電機群組各別即時發電量及發電上限(受廠區製程廠用汽用電變化影響)。

④依據①②③條件計算出6組機群組升載開始及完成時間。

③6組發電機群組升載速率。

未升載前外售台電量:93MW \ 升載後外售台電量:565MW \ 廠區總用電量:1,649MW \

發電機組群組	即時發電量(MW)	機組發電上限(MW)	預估升載電量(MW)	升載開始時間(分)	升載完成時間(分)	升載所需時間(分)	升載速率(MW/分)
公用一廠(MG1~5)	160	160	0	售電不利不升載		0	1.46
公用二廠UPA	450	600	150	05:50	07:30	100	1.5
公用二廠UPB	450	600	150	05:50	07:30	100	1.5
公用二廠UPC	450	600	150	05:50	07:30	100	1.5
公用三廠(HG1~5)	200	230	30	07:07	07:30	23	1.31
公用四廠(CFB1~2)	32	32	0	售電不利不升載		0	0.8
合計	1,742	2,222	480				

機組發電成本(元/度):公用一廠:2.35、公用二廠:1.76、公用三廠:1.91、公用四廠:2.25
(以煤價CFR價格:159.9 USD/T計算)。

半尖峰外售台電價格2.21元/度、離峰外售台電價格1.15元/度。

① 半尖峰時段6組發電機群組發電成本與外售台電價格進行比較，有利則進行升載。

資料蒐集

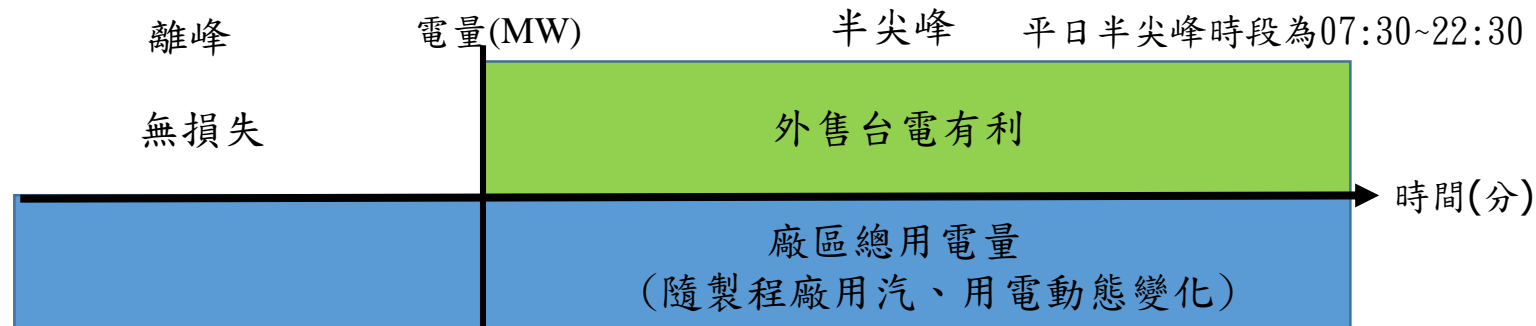
資料探索分析

操作優化開發

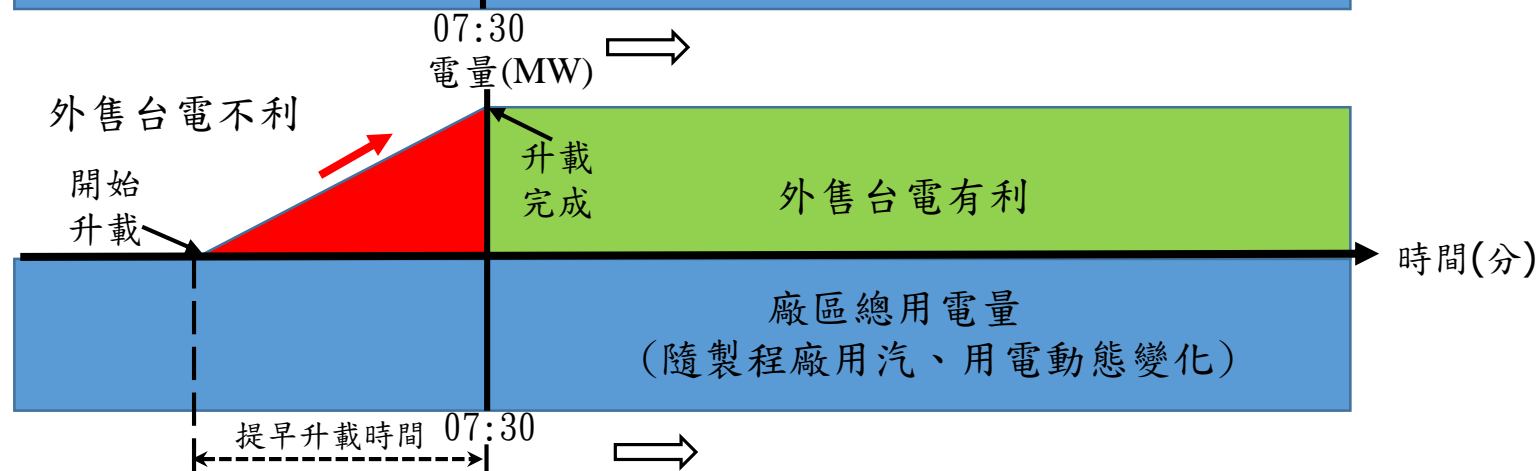
線上應用

煤炭價格高，致離峰外售台電不利時，機組升載操作模式：

1. 理想狀況：



2. 實際狀況：



說明：

1. 理論上07:30若可立即升至全載為最有利。
2. 實際上機組升載需要時間，視升載速率及可升載量而定，並以07:30升載完成為目標，升載過程餘電增加外售台電不利，如上圖紅色三角形部份。

三、建置流程-機組升降載調度優化模擬器

14

資料蒐集

資料探索分析

操作優化開發

線上應用

離峰
(外售台電不利)

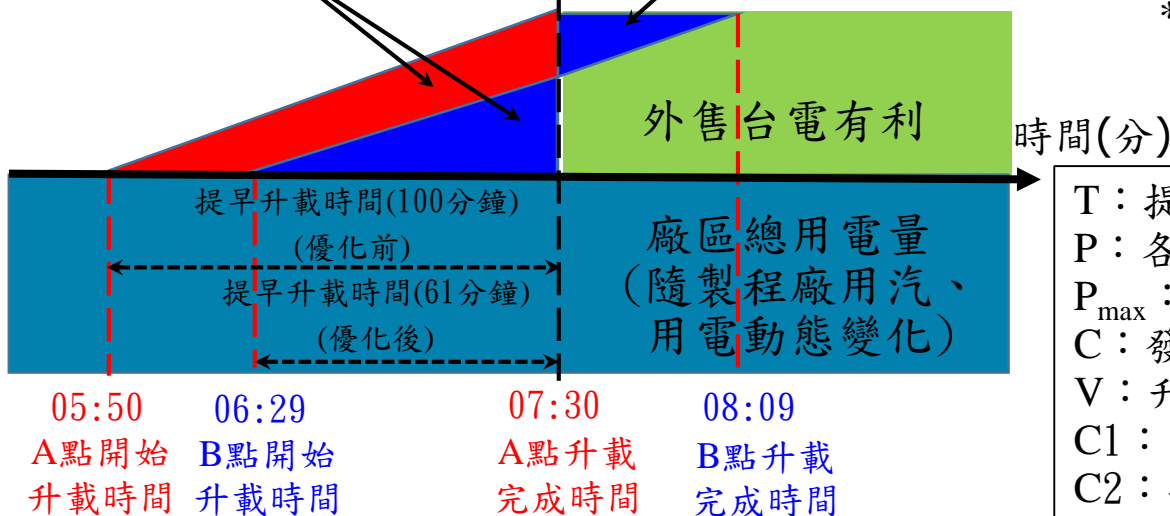
半尖峰
(外售台電有利)

升載過程中
外售台電損失
(離峰升載度數*(發電成本
-台電離峰電價))

電量
(MW)
未滿載前減少之售電利益
(半尖峰未升載度數*(台電半尖峰
電價-發電成本))

升載損失:

$$\begin{aligned} &= (\text{升載過程中外售台電損失} \\ &\quad + \text{未滿載前減少之售電利益}) \\ &= 0.5 * V * (T/60)^2 * (C-C2) * 1000 \\ &\quad + 0.5 * V * (((P_{\max}-P)/V)-T)/60)^2 \\ &\quad * (C1-C) * 1000 \end{aligned}$$



T: 提早升載時間
P: 各機組即時發電量
 P_{\max} : 機組發電上限
C: 發電成本
V: 升載速率
C1: 半尖峰外售台電價格(2.21元/度)
C2: 離峰外售台電價格(1.15元/度)

1. 以UPA機組由450MW升載至600MW, 升載速率1.5MW/分(受鍋爐升載操作特性限制)。

2. 機組發電成本1.56元/度(以煤價CFR價格: 119.07 USD/T計算)。

優化前A點升載損失(升載過程中外售台電損失)= 51,250元。

優化後B點升載損失(升載過程中外售台電損失+未滿載前減少之售電利益)=31,428元。

資料蒐集

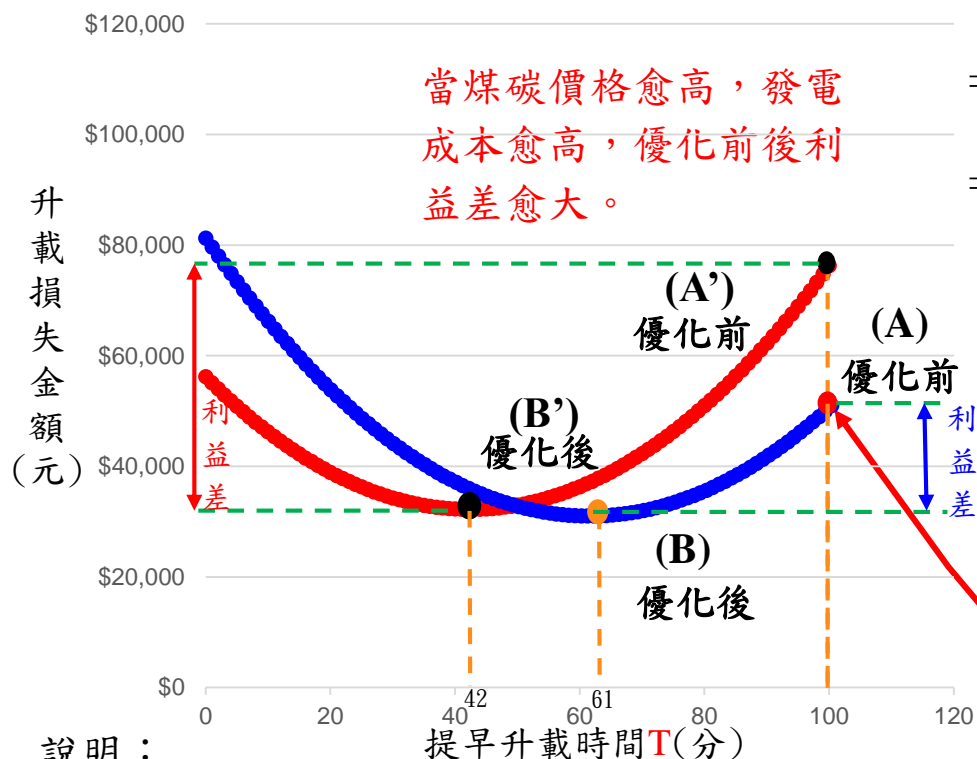
資料探索分析

操作優化開發

線上應用

演算法選用說明:

每日尖離峰升降載操作應以損失最小化為目標，以離峰轉半尖峰升載為例，經計算分析提早升載時間與損失金額之相關性，採固定時間完成升載之外售台電損失非最小，有優化空間，可採線性規劃演算法進行優化。



升載損失:

$$= (\text{升載過程中外售台電損失} + \text{未滿載前減少之售電利益})$$

$$= 0.5 * V * (T/60)^2 * (C-C2) * 1000$$

$$+ 0.5 * V * (((P_{\max}-P)/V)-T)/60)^2 * (C1-C) * 1000$$

半尖峰外售台電價格2.21元/度
離峰外售台電價格1.15元/度

因離峰外售台電不利，升載操作採固定時間方式，以07:30升載完成為目標，需提早100分鐘操作。

說明：

- 1.以UPA機組由450MW升載至600MW，升載速率1.5MW/分(受鍋爐升載操作特性限制)。
- 2.UPA發電成本1.56元/度(以煤價CFR價格：119.07 USD/T計算)。
- 3.UPA發電成本1.76元/度(以煤價CFR價格：159.9 USD/T計算)。

資料蒐集

資料探索分析

操作優化開發

線上應用

機組升降載調度優化採線性規劃設定說明:

1. 線性規劃模型由下列三個部分組成:

(1) 決策變數 (2) 目標函數 (3) 限制式

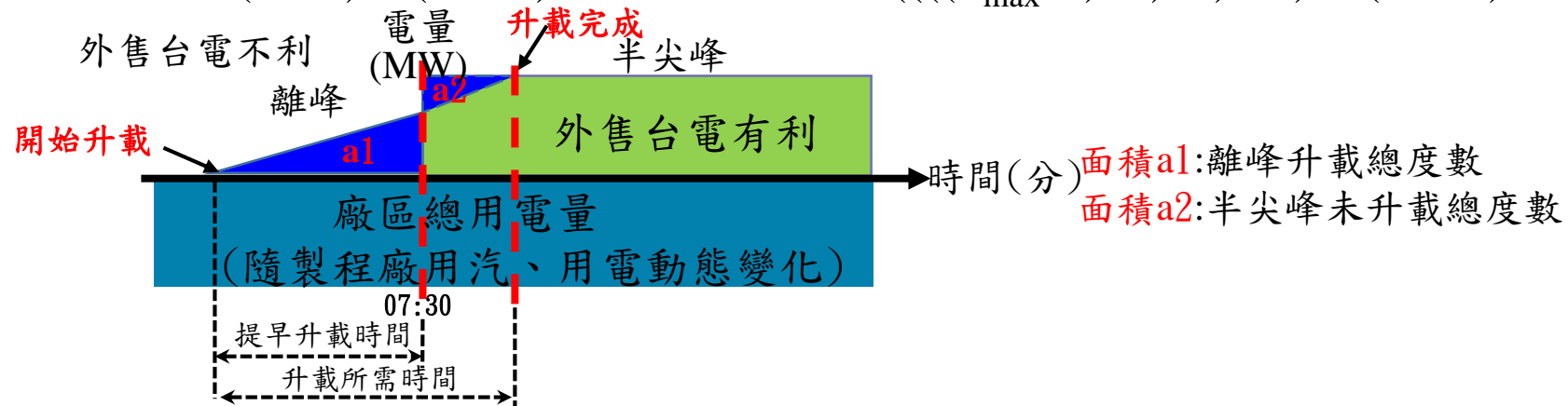
2. 本項優化改善規劃如下:

(1) 決策變數: 提早升載時間、即時發電量

(2) 目標函式:

Min(升載過程中外售台電損失+未滿載前減少之售電利益)

$$= 0.5 * V * (T/60)^2 * (C - C2) * 1000 + 0.5 * V * (((P_{\max} - P)/V) - T)/60)^2 * (C1 - C) * 1000$$



(3) 限制式: ① 發電量 \geq 廠區總用電量 (避免向台電購電)

② 發電下限 $<$ 發電量 $<$ 發電上限

③ 提早升載時間下限 $<$ 提早升載時間 \leq 提早升載時間上限

資料蒐集

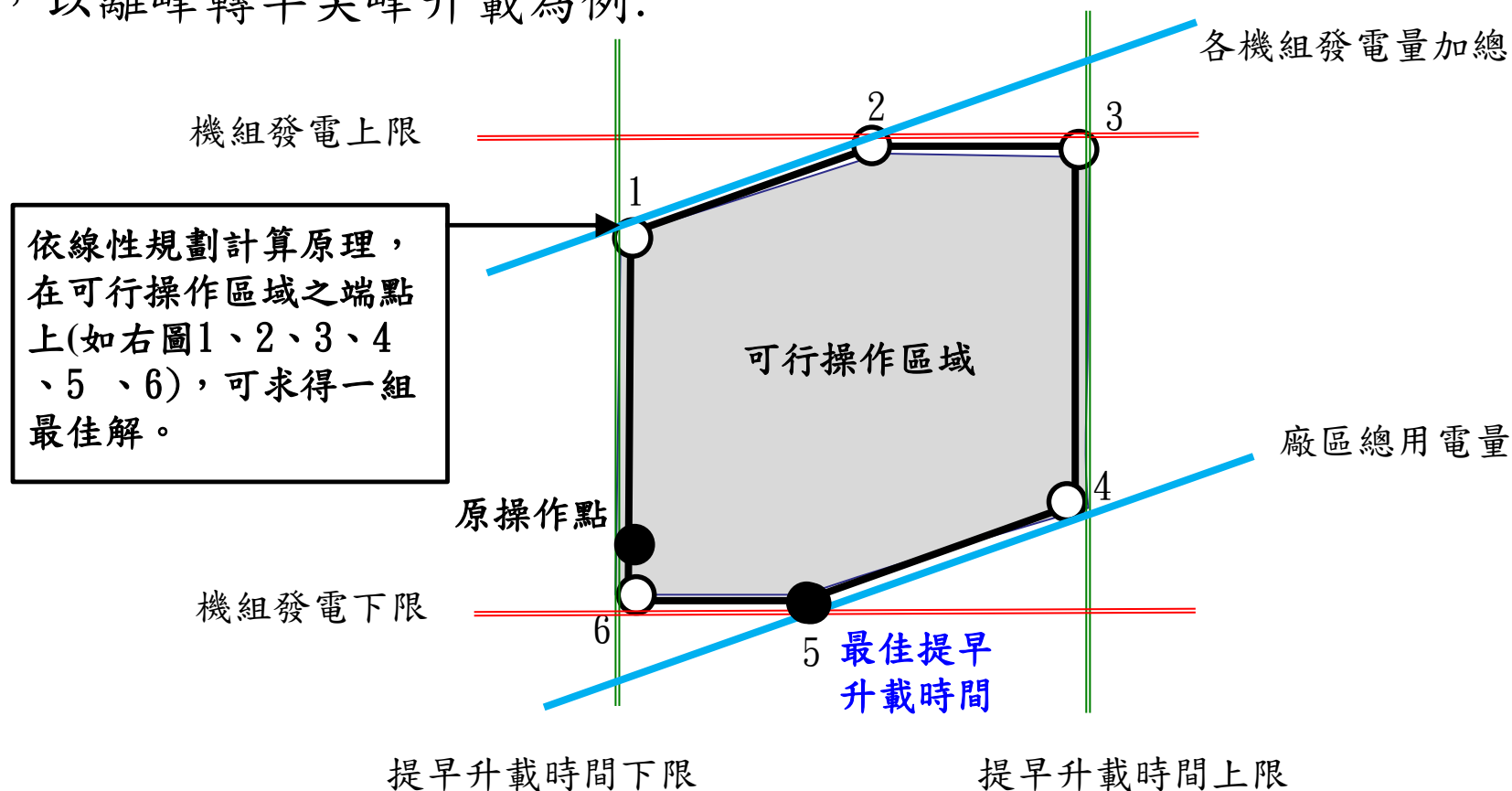
資料探索分析

操作優化開發

線上應用

採線性規劃演算法尋求最佳提早升載時間說明：

在各種操作限制條件所圍成之可行操作區域內，尋找最佳提早升載時間點，以離峰轉半尖峰升載為例：



資料蒐集

資料探索分析

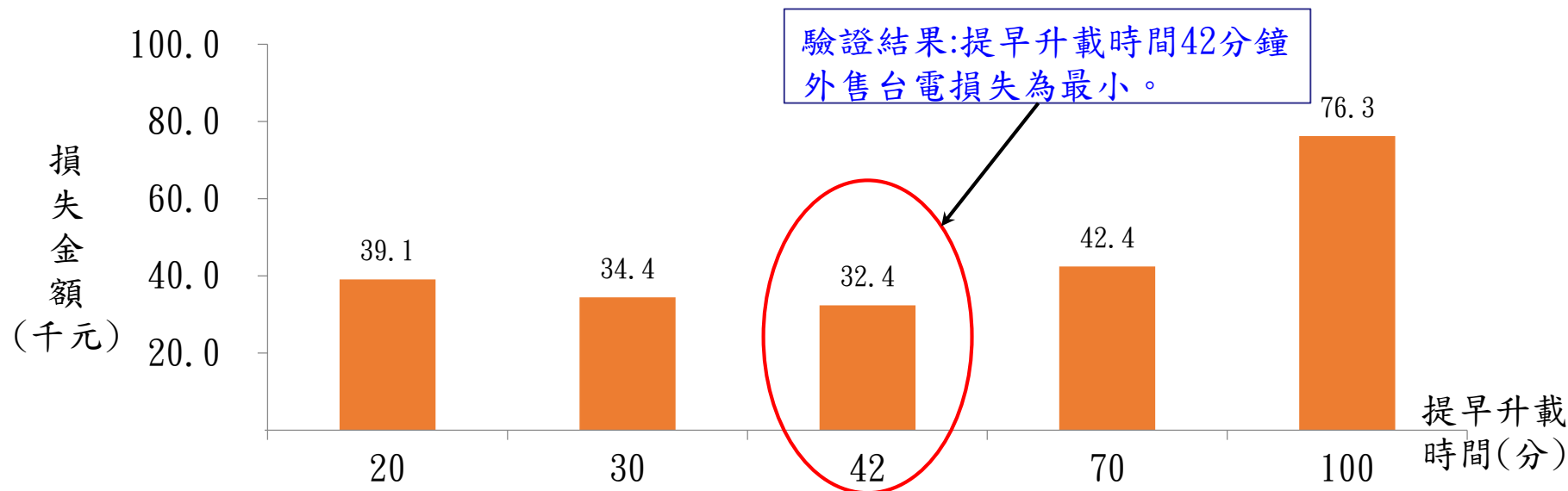
操作優化開發

線上應用

模擬驗證案例說明:

案例一:不同升載起迄時間之外售台電損失比較

以UPA機組進行驗證:離峰發電量450MW、半尖峰發電量600MW、發電成本1.76元/度(煤價CFR價格159.9USD/T)、升載速率1.5MW/分、半尖峰外售台電價格2.21元/度、離峰外售台電價格1.15元/度。



升載開始時間	07:10	07:00	06:48	06:20	05:50
升載完成時間	08:50	08:40	08:28	08:00	07:30

資料蒐集

資料探索分析

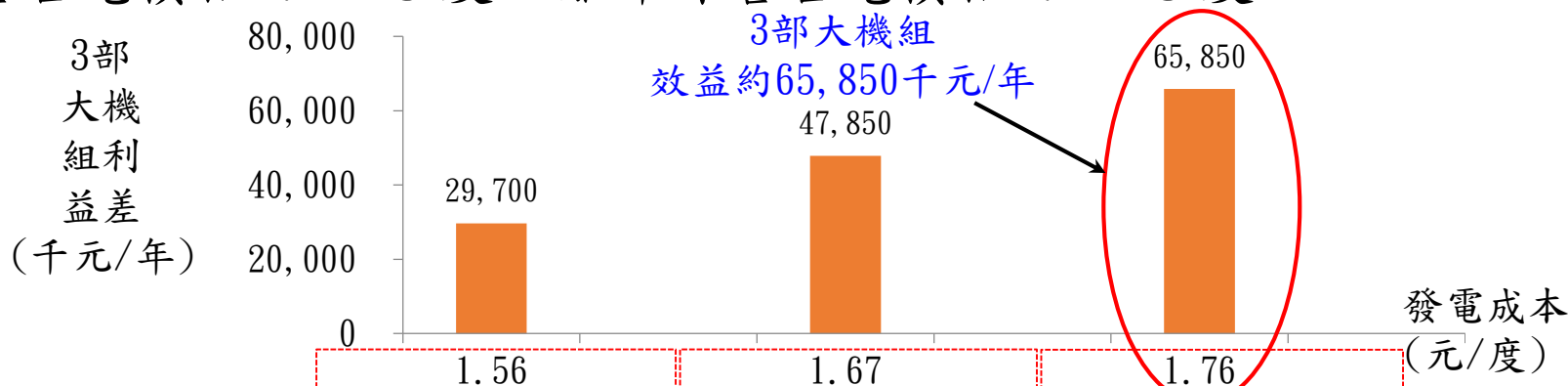
操作優化開發

線上應用

模擬驗證案例說明:

案例二:不同發電成本及不同升載起迄時間之利益差比較

以UPA機組進行驗證:離峰發電量450MW、半尖峰發電量600MW、發電成本分別為1.56/元/度、1.67元/度及1.76元/度、升載速率1.5MW/分、半尖峰外售台電價格2.21元/度、離峰外售台電價格1.15元/度。



項目	1.56		1.67		1.76	
	優化前	優化後	優化前	優化後	優化前	優化後
升載開始時間(分)	05:50	06:29	05:50	06:39	05:50	06:48
升載完成時間(分)	07:30	08:09	07:30	08:19	07:30	08:28
售電損失(千元)	51.2	31.4	65.0	33.1	76.3	32.4
單次利益差(千元)	19.8		31.9		43.9	
煤價CFR價格(USD/T)	119.07		149.03		159.9	

驗證結果:發電成本不同，優化後升載起迄時間改變，發電成本愈高時，優化前、後利益差愈大。

單部大機組效益:43.9千元*2次/日*250日/年=21,950千元/年

三、建置流程-機組升降載調度優化模擬器

20

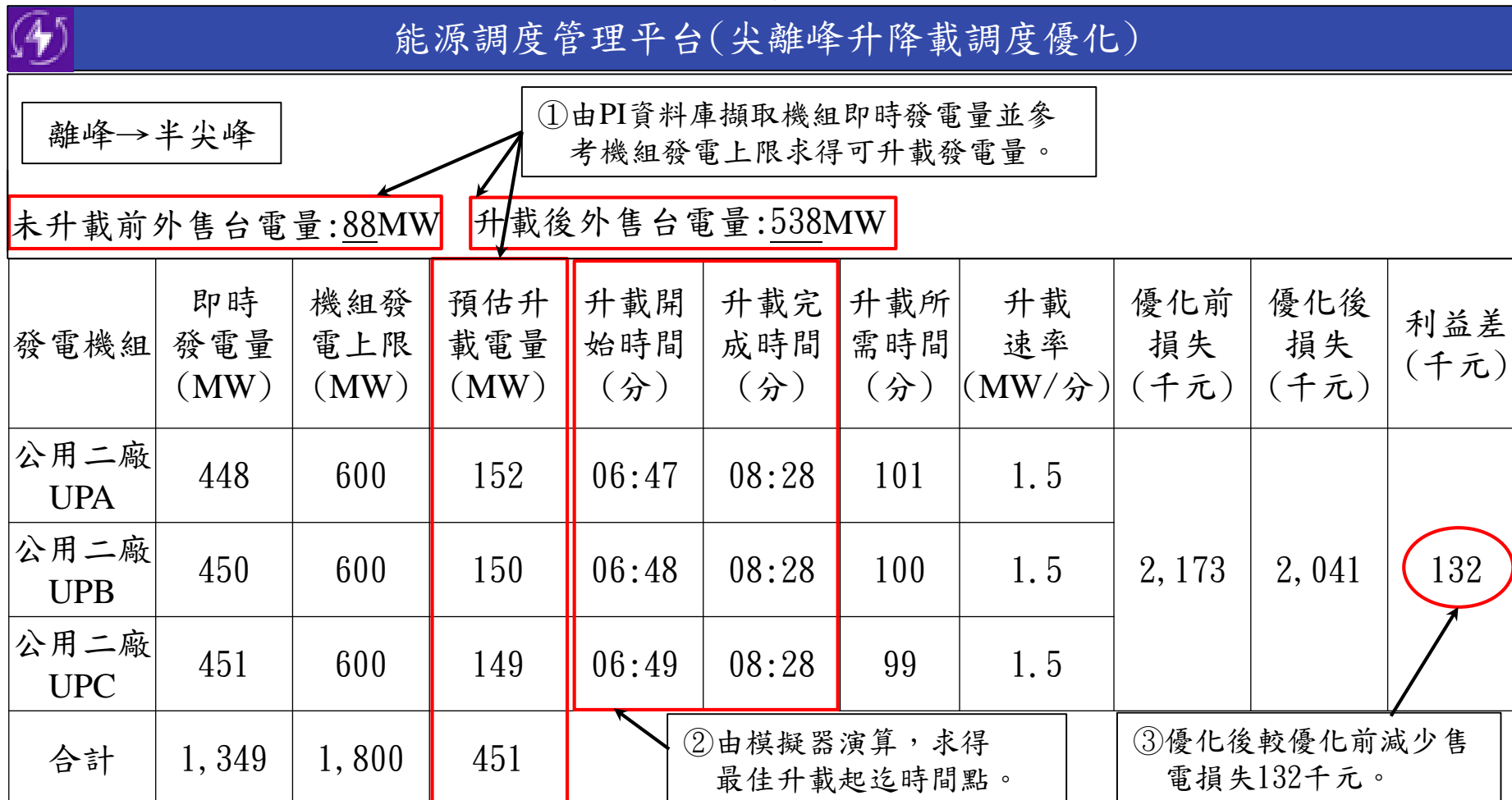
資料蒐集

資料探索分析

操作優化開發

線上應用

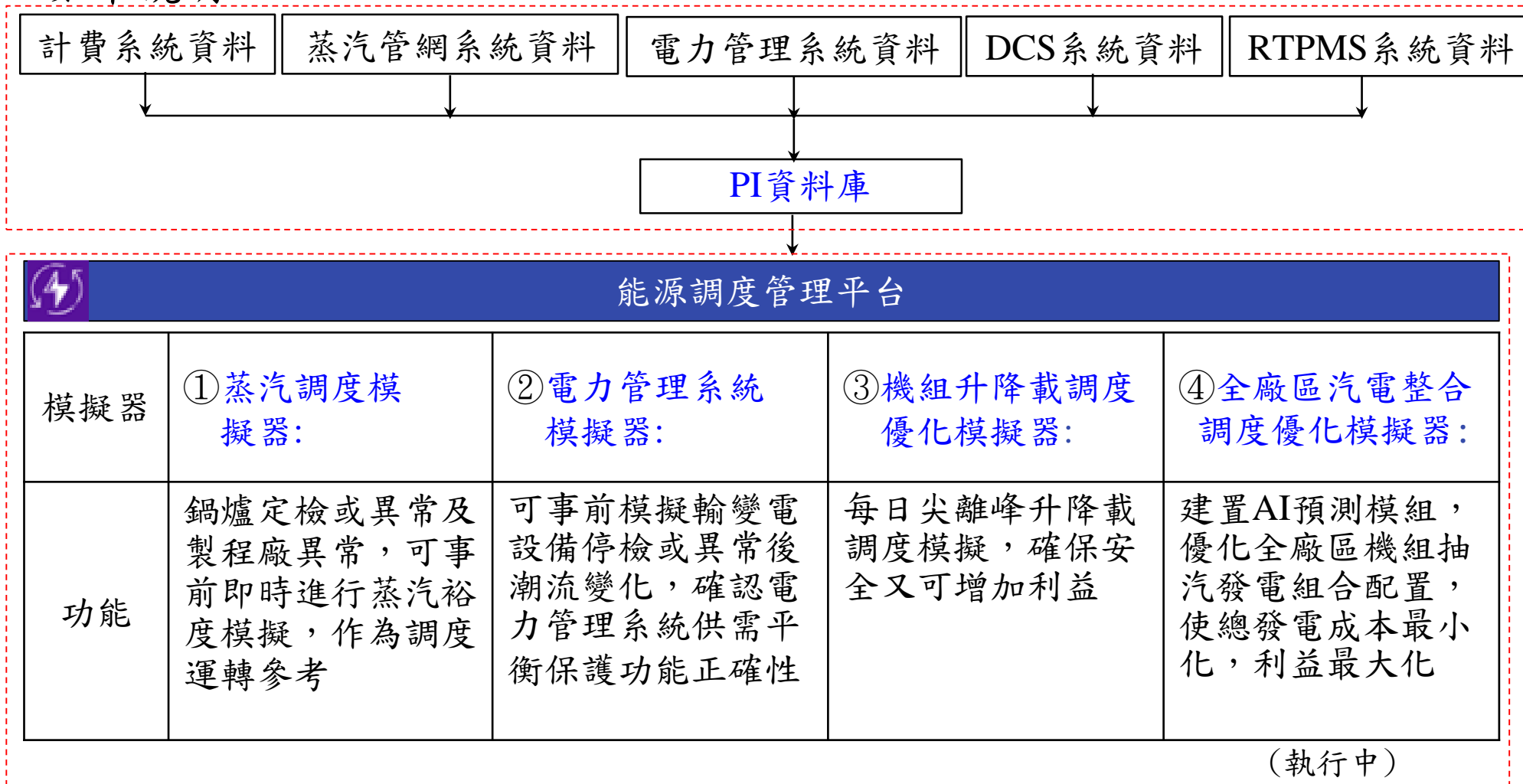
機組升降載調度優化模擬器經過充份模擬驗證，於2020/1/9投入運轉，以公用二廠三部600MW機組離峰轉半尖峰升載實際操作畫面說明如下：



機組發電成本：1.76元/度(以煤價CFR價格：159.9 USD/T計算)。

四、優化成果

為提升人員異常處置時效及調度效益，透過PI資料庫整合即時運轉資料，建置能源調度管理平台，導入數位優化功能，經由模擬器進行數據分析及演算，達蒸汽、電力數位優化調度之目的。本項平台主要機能如下說明：



四、優化成果

22

機組升降載調度優化作業流程改善前後差異比較:

改善前	改善後
<div>1. 平日由人員彙整即時發電量、外售台電量並參考成本與電價，每次作業1小時</div> <div>↓</div> <div>2. 人工計算各廠機組可升降載量，並固定以07:30升載完成及22:30開始降載</div> <div>↓</div> <div>3. 電話通知各廠當班人員配合執行升降載</div>	<div>1. 平日於05、20時兩次，由模擬器自動收集機組即時發電量、運轉成本等9項參數</div> <div>↓</div> <div>2. 依線性規劃演算法自動計算，求取最佳之升降載起迄時間點，求取損失最小</div> <div>↓</div> <div>3. 模擬器演算完成以辦公室自動化(OA)通知各廠當班人員，依計算結果進行升降載</div>
說明:1. 以人工計算作業，效率不佳 2. 固定以07:30升載完成及22:30開始降載作業方式，外售台電損失未最小化	說明:1. 以模擬器自動計算及通知，取代人工作業，可依成本決定向台電購售電並進行滾動式調整，時效性佳，人員可更專注於安全調度工作 2. 依不同成本由模擬器精準計算最佳升降載起迄時間點，提升效益

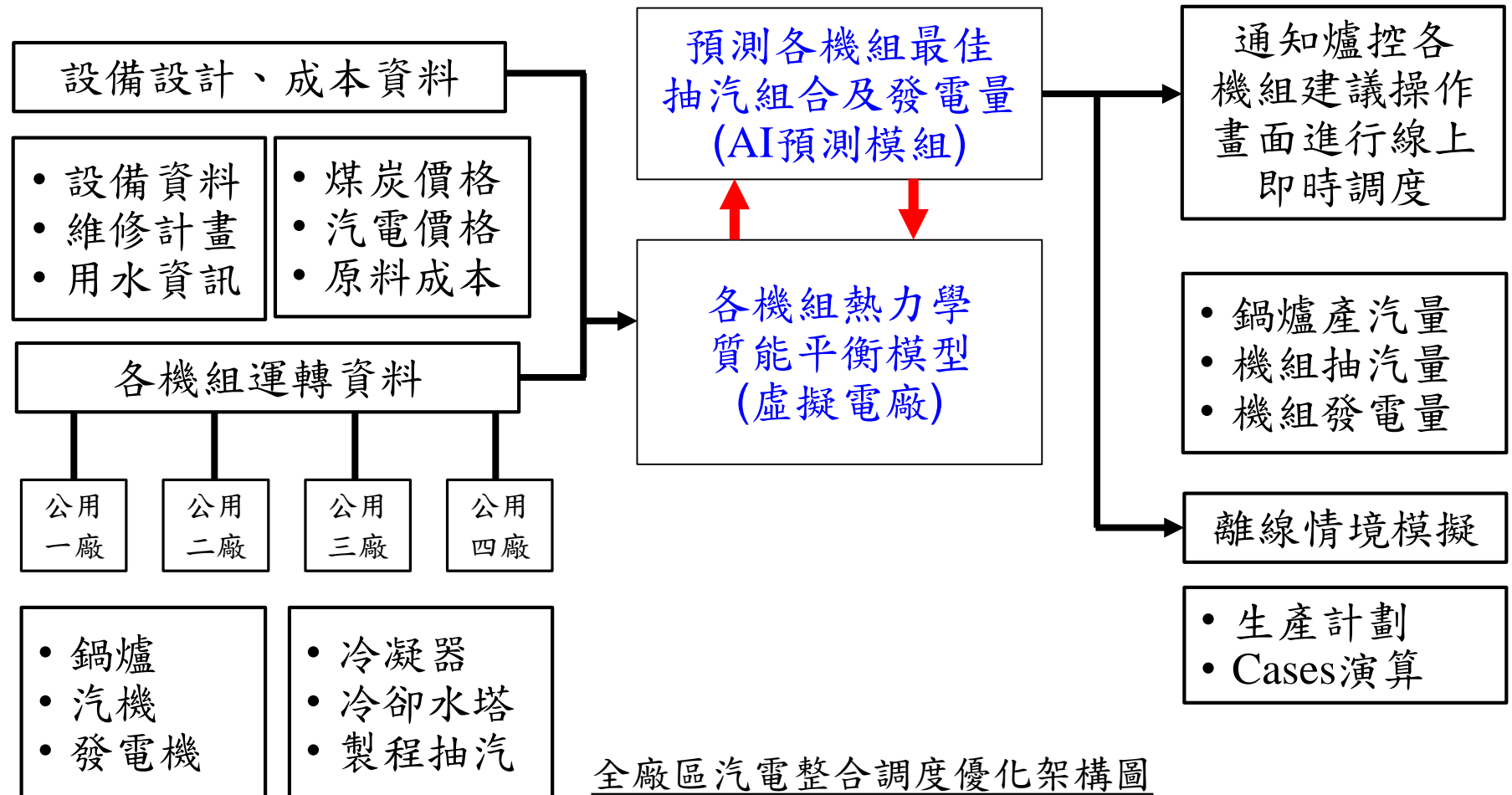
23

(2). 經持續調整優化，且2021年起煤價亦不斷上漲，優化利益差也愈大，統計至2021/9有利14,224千元。

項目 \ 期間	2020	2021/1	2021/2	2021/3	2021/4	2021/5	2021/6	2021/7	2021/8	2021/9
煤價(USD/T)	74.42	79.11	86.16	88.1	94.72	89.85	110.03	119.07	149.03	159.9
優化前損失 (千元)	27,490	2,544	2,176	4,738	2,322	4,839	4,911	5,289	8,408	10,181
優化後損失 (千元)	33,757	3,124	2,810	5,481	3,393	5,731	6,260	6,742	11,710	14,379
利益差(千元)	6,267	580	634	743	1,071	892	1,350	1,454	3,302	4,199
合計(千元)	6,267	14,224								

五、後續推動事項

持續進行經濟調度精進，推動全廠區汽電整合調度優化，優先建立各機組質能平衡模型，在滿足廠區用汽用電動態需求下，透過AI演算尋求16部鍋爐及15部汽發電機抽汽發電組合最佳化配置，使總發電成本最小化，利益最大化。



1. 導入數位優化技術建置能源調度管理平台並設置模擬器，確保廠區供汽供電安全及提升人員緊急應變能力，創造公司利益。
2. 機組升降載調度優化模擬器係與台塑電子材料部共同合作開發設置，投資費用4,150千元，初期效益:6,267千元/年(2020年度)，2021年起煤價持續上漲，優化利益亦趨明顯增加，累計至9月效益14,224千元。
3. 因應未來台電電力交易平台輔助服務需求，預估機組升降載會較頻繁且需能迅速操作反應，將再進一步導入數位優化技術改善，以爭取較佳運轉效益。

報 告 完 畢
恭 請 指 導

附錄一、專有名詞中英文對照表

英文縮寫	英文全名	中文名稱	說明
PI	Plant Information	PI資料庫	運轉生產資訊收集整合介面，作為生產優化改善資訊分享平台。
RTPMS	Real-Time Production Management System	即時生產管理系統	透過網路將生產廠DCS、運轉等數據集中收集至單一的即時數據庫內，配合人機介面設計及統計分析軟體，設計出各種功能與報表，提供各級主管重要生產管理決策訊息。
LP	Linear Programming	線性規劃	為一種數學工具，當企業決策者面臨有限資源的配置問題時，以線性數學模式加以描述，並尋求最佳的解決方案，以達成利潤極大化或成本極小化的企業目標。
KNN	K-Nearest Neighbor	近鄰演算法	是指依據距離相近的鄰居類別，來判定自己的所屬類別相關性。
LM	Lagrange Multipliers	拉格朗日乘數	是指在一個或多個束縛條件下，尋找一個多變數函數的極值(極大值或極小值)。