

出國報告(出國類別：實習)

美國德州 ERCOT 電力調度現況 與相關技術訓練研習

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：朱振源 電機工程監

鄭宇軒 電機工程師

派赴國家/地區：美國/德州

出國期間：112年12月5日至112年12月14日

報告日期：113年2月15日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：美國德州 ERCOT 電力調度現況與相關技術訓練研習

頁數 64 含附件 是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：臺灣電力公司/翁玉靜/02-2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

姓名	服務機關	單位	職稱	電話
朱振源	台灣電力公司	電力調度處	電機工程監	02-2366-6643
鄭宇軒	台灣電力公司	電力調度處	電機工程師	07-311-3695#265

出國類別：1.考察 2.進修 3.研究 4.實習 5.其他：

出國期間：112 年 12 月 5 日至 112 年 12 月 14 日

派赴國家/地區：美國/德州

報告日期：113 年 2 月 15 日

關鍵詞：電力系統控制與調度(Power System Control and Dispatch)、調度員及值班工程師訓練(Operator and Shift Engineer Training)、電網安全分析(Security Analysis)、德州電力可靠性委員會(ERCOT)、電力調度中心(System Operator)

內容摘要：(二百至三百字)

為實現我國 2050 淨零排放之願景，如何提升電力系統調度控制能力、妥善規劃各項配套維持電力系統穩定度，以協助更多再生能源順利併網發電，已成為十分重要的課題。本次實習透過 PGS Energy Training 舉辦之 Fundamentals of The Texas ERCOT Electric Power Market 課程研討會，以及實地參訪與台灣同為獨立電網且有大量再生能源的美國德州 ERCOT 電力調度中心，了解 ERCOT 系統的現況和未來規劃，包括其電力市場概念及規劃、電源排程、資源充足性、太陽能、風能等分散式發電(DER)帶來的營運問題及因應策略。

本報告將介紹 ERCOT 調度員之調度及值班方式、安全分析、資訊基礎建設、輔助服務運用及設計、再生能源管理、未來市場機制調整議題，以作為提升台電電力調度能力及系統整體韌性之參考。

本文電子檔已傳至公務出國報告資訊網
(<https://report.nat.gov.tw>)

目錄

壹、 目的.....	9
貳、 出國行程.....	11
參、 ERCOT 電力市場基礎課程	12
肆、 ERCOT 系統簡介	15
4.1 基本資訊.....	15
4.2 系統現況.....	16
4.3 ERCOT 市場簡介	18
4.4 ERCOT 實功相關輔助服務	23
4.5 再生能源對 ERCOT 的影響	24
伍、 ERCOT 調度中心值班配置	27
5.1 輪班制度.....	27
5.2 調度資訊顯示畫面.....	28
5.3 輸電監控主任(Transmission and Security Desk)	30
5.4 即時供需控制主任(Real-time Desk).....	34
5.5 輔助服務運用主任(Resource Desk).....	36
5.6 機組排程主任(Reliability Unit Commitment Desk).....	37
5.7 再生能源監控主任(Reliability Risk Desk)	38
5.8 直流介面監控主任(DC tie Desk)	40
5.9 值班工程師(Shift Engineer).....	41
5.10 值班經理(Shift Supervisor).....	42
5.11 調度員訓練.....	42
陸、 ERCOT 其他資訊彙整	44
6.1 基地基礎建設.....	44

6.2	資訊基礎建設.....	46
6.3	GridGeo.....	47
6.4	考慮電網安全的經濟調度(SCED).....	49
6.5	狀態估計.....	50
6.6	輸電設備額定容量之訂定.....	51
6.7	電源充足性相關議題.....	51
6.8	儲能供電能力預估相關議題.....	53
6.9	管理、人力、文化相關議題.....	54
6.10	工程師發展計劃.....	55
6.11	系統改善專案推動方式.....	57
6.12	再生能源併網審查議題.....	58
柒、	心得及建議.....	59
捌、	參考文獻.....	64

表目錄

表 1	出國行程表.....	11
表 2	ERCOT 系統歷史最大淨負載變動量統計 [9].....	26
表 3	NERC 調度員考試類別和資訊 [12].....	43

圖目錄

圖 1	PGS 教室實景	14
圖 2	PGS 上課實況	14
圖 3	美國 NERC 互聯系統圖 [2]	16
圖 4	ERCOT 系統概況介紹-負載範圍及尖峰實績 [3]	17
圖 5	ERCOT 系統概況介紹-裝置容量及發電占比 [3]	17
圖 6	ERCOT 系統概況介紹-基本數據 [3]	18
圖 7	ERCOT 與各角色關係 [4]	19
圖 8	ERCOT 批發市場運作概要 [4]	19
圖 9	ERCOT 市場流程 [4]	20
圖 10	ERCOT 市場流程與時間對應 [4]	20
圖 11	ERCOT 市場流程與 ERCOT/QSE 活動對應-日前 [4]	20
圖 12	ERCOT 市場流程與 ERCOT/QSE 活動對應-小時前 [4]	21
圖 13	DAM 運作示意圖	22
圖 14	ERCOT 輔助服務介紹 [6]	23
圖 15	ERCOT 各項輔助服務執行週期 [6]	23
圖 16	系統偶發事故初期各項資源動作示意	24
圖 17	ERCOT 預估未來風力、光電、儲能及火力容量情況 [7]	24
圖 18	傍晚機組併聯排程示意 [8]	25
圖 19	ERCOT 值班人力配置	27
圖 20	ERCOT 輪值示意	28
圖 21	ERCOT 控制室資訊來源示意 [10]	29
圖 22	ERCOT 控制室 Wallboard Display [10]	29
圖 23	ERCOT 控制中心 [11]	29
圖 24	ERCOT 調度員座位 [11]	30

圖 25	調度員工具-資訊主頁 [10].....	30
圖 26	Transmission and Security Desk 工具-IROL/GTC 總覽 [10]	31
圖 27	Transmission and Security Desk 工具-VPS system alarm [10]	31
圖 28	Transmission and Security Desk 工具-IROL/GTC 詳細資訊 [10]	31
圖 29	Real-time Desk 工具-最大發電偏差統計 [10].....	35
圖 30	Real-time Desk 工具-發電及負載資訊 [10].....	36
圖 31	Resource Desk 工具-Non-spin 和快速啟動容量及執行量 [10]	37
圖 32	Reliability Unit Commitment Desk 工具-RUC 程式狀態警報 [10].....	38
圖 33	Reliability Unit Commitment Desk 工具-系統供電裕度不足警報 [10]	38
圖 34	Reliability Risk Desk 工具-重點地區電壓 [10].....	39
圖 35	Reliability Risk 工具-棄風棄光畫面 [10]	39
圖 36	Reliability Risk 工具-棄風棄光詳細資訊 [10]	40
圖 37	DC tie Desk 工具-潮流交換和排程值 [10].....	40
圖 38	Shift Engineer 工具-即時程式狀態(Real Time Sequence Monitor) [10].....	41
圖 39	Shift Supervisor 工具-節點電價地圖 [10]	42
圖 40	調度員訓練週示意圖.....	43
圖 41	Taylor Campus Google map 街景	45
圖 42	此次參訪於 ERCOT 管制區外與黃舜賢博士合影	45
圖 43	美國國家標準技術研究所網路安全框架.....	46
圖 44	GridGeo 電網圖配合雷達回波訊圖層 [13].....	47
圖 45	GridGeo 變電所單線圖 [13].....	48
圖 46	GridGeo 變電所單線圖多所串聯顯示 [13].....	48
圖 47	GridGeo 電網圖配合颱風路徑圖層 [13].....	48
圖 48	SECD 概念描述 [14].....	50
圖 49	工程師發展計劃執行結果.....	56

壹、目的

為實現我國 2050 年淨零排放目標，政府致力推動能源轉型及積極發展綠能產業，訂定 2025 年再生能源發電占比 20% 政策目標，預計 2025 年太陽光電裝置容量達 20GW，離岸風力裝置容量則達 5.7GW 以上，未來也將持續快速發展，打造我國成為「亞洲綠能中心」，帶動國內綠能產業永續發展與經濟成長。然而，現階段再生能源並非可以穩定發電的電源，其間歇性和其他特性將對電力系統運轉造成挑戰，也將影響傳統電源的營運模式。

目前台電中央調度中心之調度員尚可透過靈活運用抽蓄水力、輔助服務及調整傳統機組來維持穩供，惟未來極大量再生能源勢必加劇電力系統調度運轉挑戰，如何在接納大量再生能源的同時，擬定運轉策略、引進高科技民間資源、調整傳統機組運轉方式及導入各式配套，提升調度人員各類資訊掌握度及運轉靈活性，維持供電可靠度，將是我國未來能源轉型是否順利達成關鍵課題，也是當前電力調度持續努力精進的重點。

美國德州 ERCOT 系統是美國本土的三大電網之一，且為北美地區唯一州內電力系統獨立運轉區域，與台灣獨立電網之運轉模式相似。ERCOT 電力調度中心控制的電網覆蓋 90% 德州負載，2600 萬的用戶，為北美自由市場發展相當成熟之區域。此外，德州主要產業雖為傳統石化業，但州政府致力於發展再生能源，創造友善的法規環境，配合充沛的天然資源環境，使德州風力和太陽能等再生能源發電占比屢創新高，同時又可維持良好的供電可靠度，其配套措施的完整性及高效能可見一斑，是台灣可以參考的良好模範。

本次實習參與由 PGS Training 舉辦之「Fundamentals of The Texas ERCOT Electric Power Market」課程研討會，學習及討論 ERCOT 市場及運轉基礎知識、各項機制設計想法，以及最新發展方向，可快速而全面的認識當前 ERCOT 系統現況。研討主題包括：

1. 日前市場、即時市場及輔助服務市場
2. 電力資源可靠性
3. 太陽能、風能、分散式資源(DER)、需量反應(DR)資源和儲能整合所提出新的運營方式和經濟問題
4. 德州新市場機會-風能、太陽能等再生能源加入系統
5. 面臨新能源、極端氣候衝擊下 ERCOT 重新設計輔助服務及其他精進

本次實習亦實際前往位於德州的 ERCOT 電力調度中心 Taylor Campus，拜訪黃舜賢博士，交流現行 ERCOT 在如此高再生能源占比的情境下，實際使用之調度數位資訊系統、自動化工具及其他配套、電力調度現況及相關調度運轉經驗，作為強化值班人員系統掌握度、開發調度工具提升運轉周全度、改善制度規劃的參考，以利提升台電系統整體韌性，加速台灣能源轉型。

貳、出國行程

本次出國行程 112 年 12 月 5 日自桃園中正機場出發，美國德州時間 12 月 5 日深夜抵達美國休士頓喬治布希國際機場(IAH)，於 12 月 6 日至 12 月 9 日參與 PGS Training 公司舉辦之「Fundamentals of The Texas ERCOT Electric Power Market」課程研討會。12 月 10 日至 12 月 12 日自休士頓移動到奧斯丁東北部 ERCOT 德州電力調度中心 Taylor Campus，向黃舜賢博士請益電力調度實務經驗、資訊介面及運轉策略規劃等面向。12 月 12 日自 ERCOT 返回休士頓，晚上由美國休士頓喬治布希國際機場(IAH)搭機返台，於 12 月 14 日平安返抵國門，圓滿完成任務，結束此次共 10 日之實習行程。出國行程如表 1 所示。

表 1 出國行程表

時間	起訖地點	行程概要
112.12.05	台北→休士頓	往程
112.12.06~112.12.09	休士頓	參加 PGS Training ERCOT 電力市場基礎 (Fundamentals of The Texas ERCOT Electric Power Market)
112.12.10~112.12.12	休士頓→奧斯丁	參訪 ERCOT 調度中心
112.12.12~112.12.14	奧斯丁→休士頓 →台北	返程

參、ERCOT 電力市場基礎課程

PGS Training 公司是電力和能源產業深度研討會的供應商，自 1990 年來已培訓了數千名能源專業人員。課程為小班制，以重點概念講授、配合大量開放性問答方式進行，講師會依各學員想了解的主題進行多元討論。課程有提供每位學員一本紙本教材，內有超過 400 頁簡報，內容有簡單易懂之概念、範例及市場條文講解等。學員來自不同電力公用事業、零售業、再生能源/儲能開發商、市場參與者等。

此次參加的 Fundamentals of The Texas ERCOT Electric Power Market 課程，是針對 ERCOT 的電力批發市場現況及未來進行廣泛的探討，本課程的預期目標是讓學員在參與電力市場時，具備基礎的概念及認知，以及可以理解 ERCOT 市場中的各項作業流程相關時序及目的。課程主題包含以下 [1]：

1. 了解不同類型的參與者、利害關係人及其不同的角色和多重職能
2. 批發和零售市場利害關係人和主要市場參與者介紹，以及他們的活動如何影響 ERCOT 的運作
3. QSE 角色介紹和其重要性
4. 日前拍賣市場的運作、時程和產品類型
5. 日前市場和即時市場的關鍵功能和關係，以及它們在批發和零售市場中的相互作用
6. 節點邊際電價(Locational marginal pricing, LMP)介紹、計算、壅塞管理和 CRR、結算流程及報價策略
7. ERCOT 電能、平衡或現貨市場(spot market)、以及輔助市場的功能
8. DRUC、HRUC 和相關容量市場的含義以及這些差異為何如此重要
9. 拍賣市場和雙邊大宗電力市場之間的差異以及各自的優缺點
10. 兩市場結算(Two-Market Settlement)流程如何運作，以及批發市場的關鍵結算活動

11. Load zone 與 Hub 的 LMP 計算差異
12. 儲備邊際即時能源價格市值與儲備市場之間的關注與關係
13. 新的和潛在的未來輔助服務正在開發中，這將改變所提供的產品數量
14. ERCOT 和電力產業對「遠期容量」市場和價格上限的看法
15. 備轉容量與即時電能價格之間的關係和市場疑慮
16. ERCOT 現在和未來十年面臨的發電、輸電和其他基礎設施問題
17. 「智慧電網」是 ERCOT 中的關鍵問題以及智慧電網可能如何發展並影響批發和零售價格訊號的討論
18. 總結當今的關鍵問題和 ERCOT 的發展方向，包括對智慧電網、再生能源和新輸電線路建設的討論
19. 風能、太陽能和其他再生能源面臨的主要問題，以及這些發電來源與未來可能的骨幹電網建設有何關係
20. ERCOT 的目標是將需求響應部署作為輸電和配電基礎設施升級的經濟高效替代方案，以實現本地可靠性
21. 不同分散式能源在有針對性的需求管理計畫中所扮演的角色
22. 人們對這些分散式發電(non-wires distributed generation, DER)、需量反應(demand response, DR)和相關需求面管理(demand side management DSM)計劃的興趣日益濃厚，以及 ERCOT 在 DER、DR 和 DSM 方案當前和未來面臨的問題
23. 終端用戶如何購買和管理他們的電力選擇和採購，以及他們現在的情況和未來的預期
24. 近期與 ERCOT 發展相關的法規或規則修訂，以及 ERCOT 的態度



圖 1 PGS 教室實景

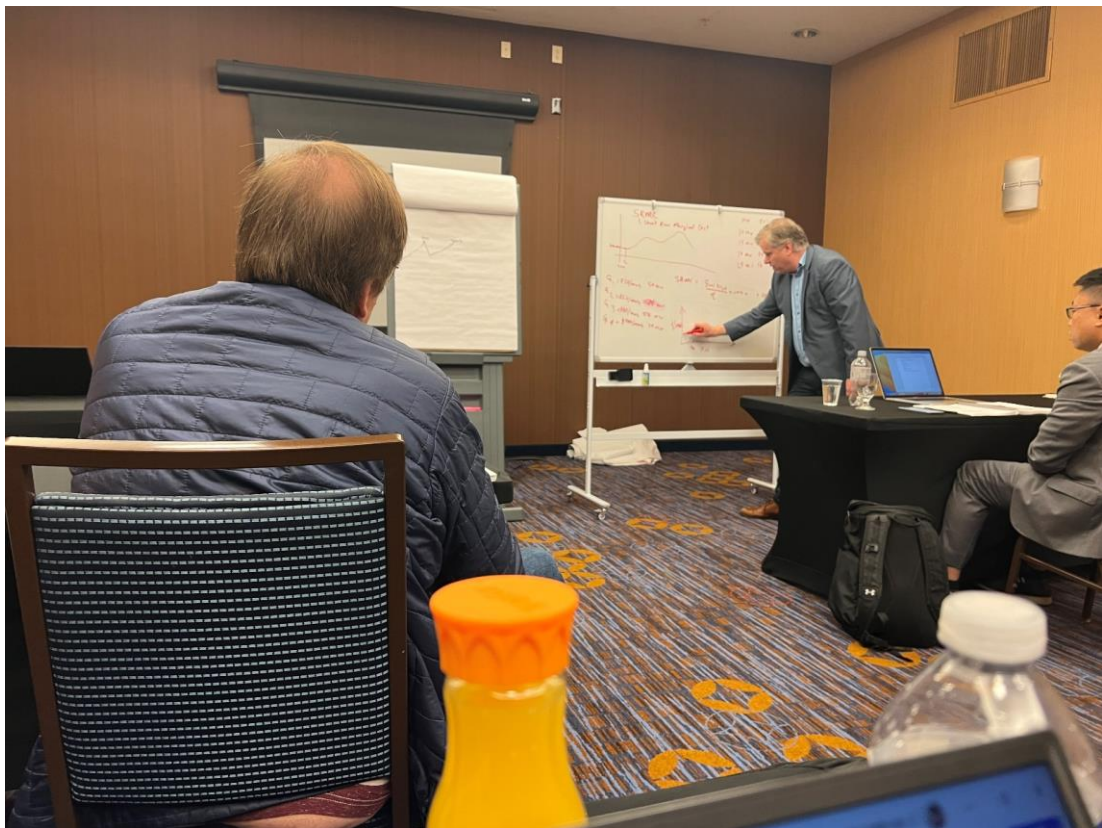


圖 2 PGS 上課實況

肆、ERCOT 系統簡介

4.1 基本資訊

德州電力可靠性委員會 ERCOT(Electric Reliability Council of Texas)是德州的獨立系統營運商(Independent System Operator, ISO)，負責對連接超過 52,700 英里的輸電線路和 1,100 個發電機組(包括私人專用電網)的電網進行電力調度。ERCOT 也為競爭激烈的大型電力批發市場進行財務結算，並管理競爭性選擇區域(competitive choice areas)中超過 800 萬個用戶的零售轉換。ERCOT 是一家會員制 501(c)(4)非營利公司，由董事會管理，並接受德州公用事業委員會(Public Utility Commission of Texas, PUCT)和德州立法機關的監督。

ERCOT 管理德州超過 2,600 萬戶的電力潮流，約占該州負載的 90%，其餘則透過跨轄區直流輸電線路供電(DC Tie)。在美國三大電網中，ERCOT 是唯一沒有跨州運行的系統，僅有少部分直流電力與鄰近電網連結，可視為一個獨立運轉的電力系統，和台灣的電網型態相當類似。

作為該地區的獨立且非營利 ISO 機構，主要任務就是要維持電力系統的可靠度(Reliability)，以協助發電業者進入 ERCOT 所管理的電力市場，並使電力的批發與零售市場都能具有競爭性。比如當發電業者有意願建置新的發電設備，並將電力送到 ERCOT 的電力系統中，則 ERCOT 有義務要協調輸電業者設置輸電線路。

ERCOT 不擁有任何發電機、開關場、輸電及配電線路等設備，也不介入實際市場營運(價錢由電力市場參與者互相競價而得)，只負責監督和管理電力市場的運作，使系統運轉符合最佳成本效益，同時達到北美電力可靠度公司(North American Electric Reliability Corporation, NERC)之可靠度規定。ERCOT 也負責修訂市場規則，如果電力市場參與者對現行規定有意見，可針對各項議題籌組工作小組共同討論，再交由技術諮詢委員會及董事會批准。

ERCOT 的調度中心會負責包含營運市場、調度電源和機組排程維持系統供

需平衡、電網安全分析、解決系統輸電線路擁塞問題、確保足夠電力裕度及緊急復電程序等業務，達成德州穩定供電之任務。

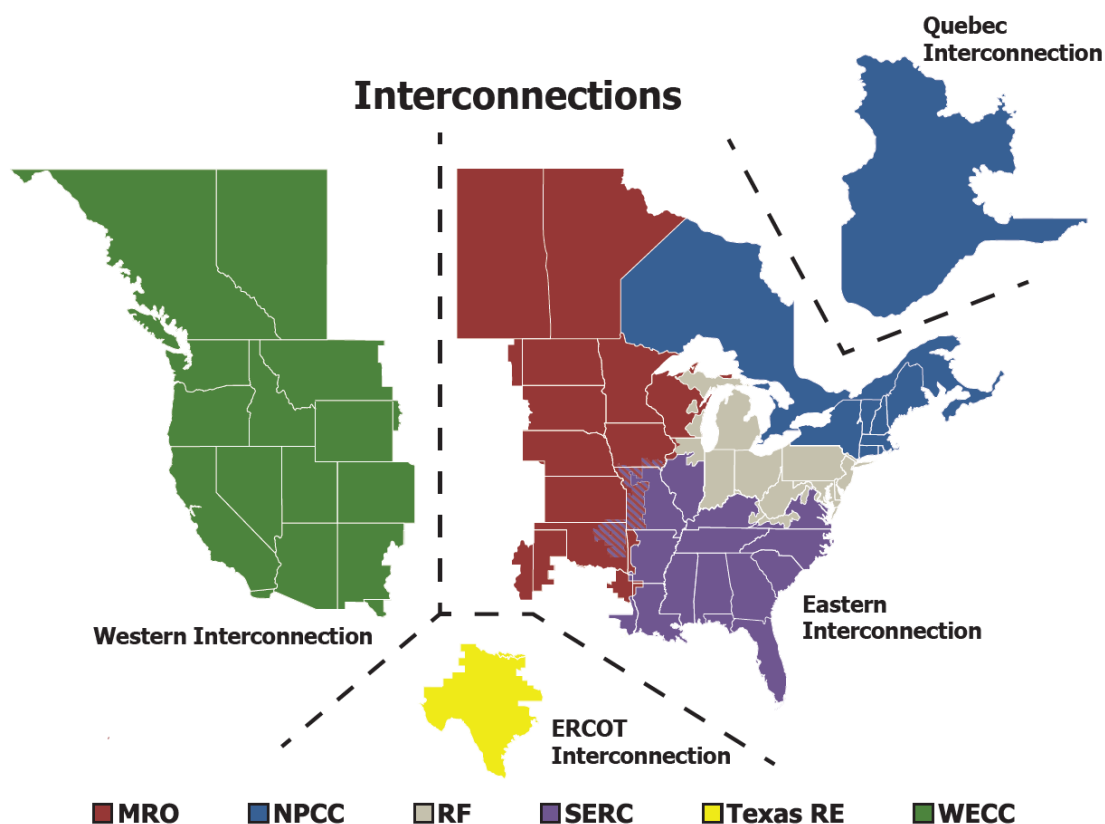


圖 3 美國 NERC 互聯系統圖 [2]

4.2 系統現況

ERCOT 目前歷史尖峰負載記錄為 85,508MW，發生於 2023 年 8 月 10 日。就 2023 年夏季能源別全系統裝置容量來看，ERCOT 以燃氣發電為主(占 41.8%)，接著是風力發電(占 28.6%)、燃煤電廠(16.6%)和太陽光電(11%)，可發現再生能源已較過去大幅成長，且持續快速增加中。值得注意的，2023 年 ERCOT 的風力及光電裝置容量已分別突破 37.7GW 及 18.4GW，且最大發電占比曾分別來到 69.15%及 32.93%，占比極高。

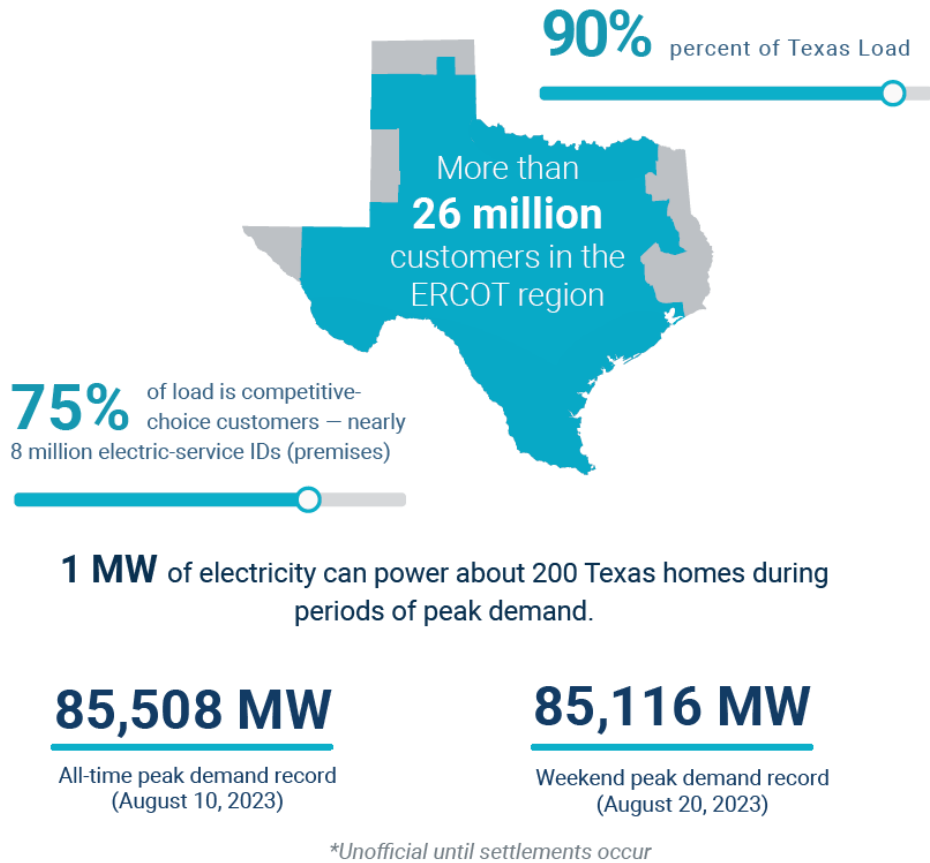
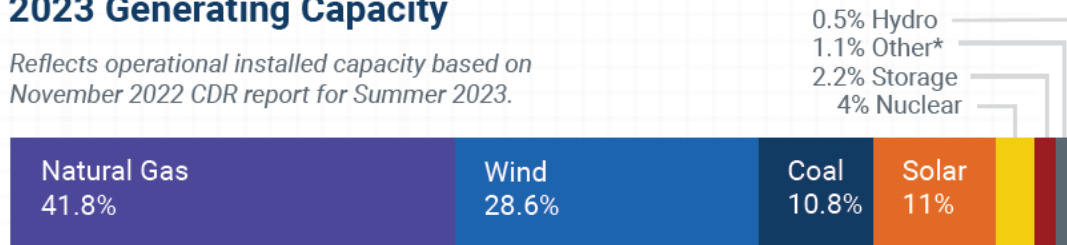


圖 4 ERCOT 系統概況介紹-負載範圍及尖峰實績 [3]

2023 Generating Capacity

Reflects operational installed capacity based on November 2022 CDR report for Summer 2023.



The sum of the percentages may not equal 100% due to rounding.
*Other includes biomass and DC Tie capacity.

2022 Energy Use

*Other includes solar, hydro, petroleum coke (pet coke), biomass, landfill gas, distillate fuel oil, net DC-tie and Block Load Transfer imports/exports and an adjustment for wholesale storage load.

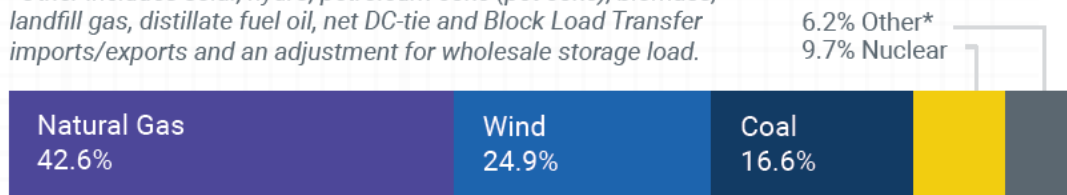


圖 5 ERCOT 系統概況介紹-裝置容量及發電占比 [3]

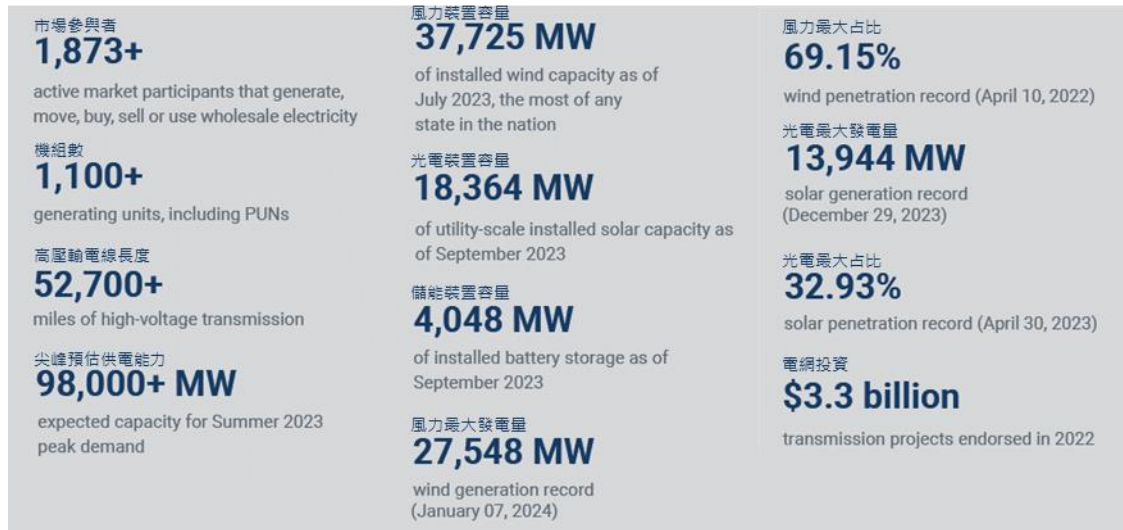


圖 6 ERCOT 系統概況介紹-基本數據 [3]

4.3 ERCOT 市場簡介

ERCOT 在 2010 年 12 月由區域市場(zonal market)轉換至節點市場(nodal market)，並以結點價格(nodal prices)進行結算，結點價格亦稱為區域邊際價格 (Locational Marginal Prices, LMPs)。

ERCOT 批發市場參與者包含以下：

1. QSE(Qualified Scheduling Entity)：合格交易者，為 ERCOT 交易的對象，可提交即時運轉計畫(Current Operating Plan)、投標電能及輔助服務與結算付款。
2. LSE(Load Serving Entities)：負載服務公司，提供用電能服務給終端用戶或批發用戶。
3. RE(Resource Entity)：資源擁有者，擁有或可控制發電機組，或可使用負載充當電源者。
4. TDSP(Transmission/Distribution Service Providers)：輸配電公司，擁有或可運轉操作輸變電設備以傳輸電能。
5. Congestion Revenue Rights(CRR) Account Holder：壅塞收入權帳戶持有者，持有人根據不同節點可獲得或支付壅塞費用。

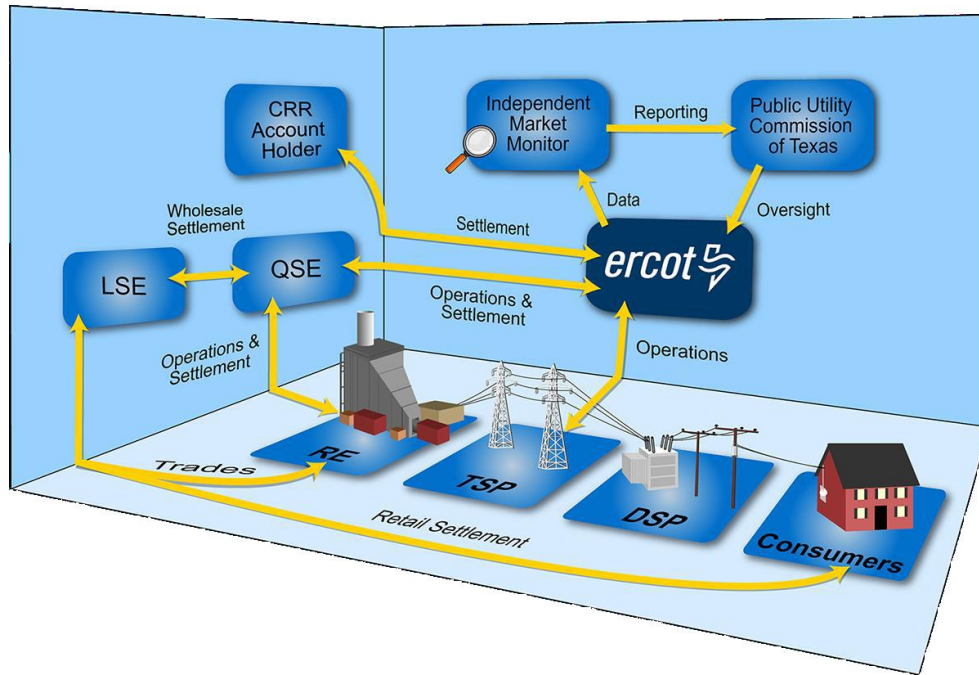


圖 7 ERCOT 與各角色關係 [4]

ERCOT 市場活動包含壅塞權競標(CRR auction)、雙邊交易(bilateral trade)、日前市場(Day-Ahead Market, DAM)、可靠度機組排程(Reliability Unit Commitment, RUC)、調整期(Adjustment Period)、補充輔助服務市場(Supplementary Ancillary Services Market, SASM)、即時運轉(real-time operation)和結算(settlement)等，其時間點及 ERCOT/QSE 活動如下相關圖片所示。

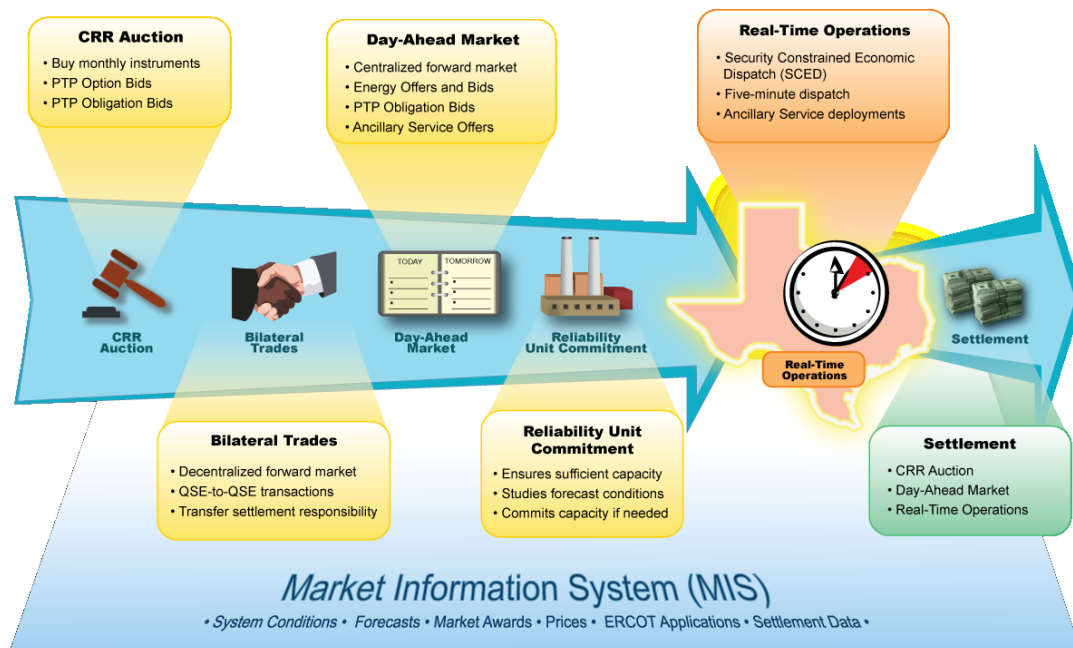


圖 8 ERCOT 批發市場運作概要 [4]

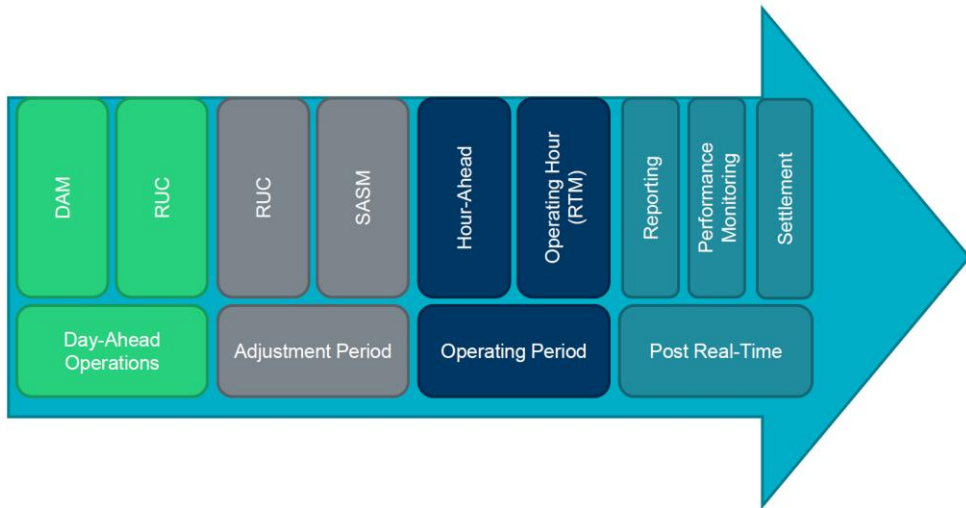


圖 9 ERCOT 市場流程 [4]

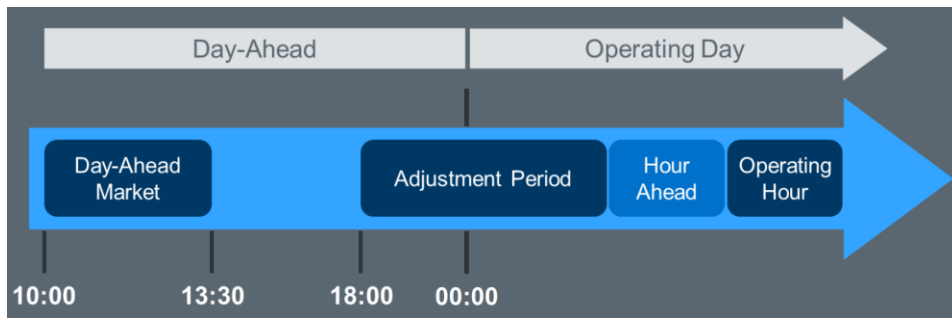


圖 10 ERCOT 市場流程與時間對應 [4]

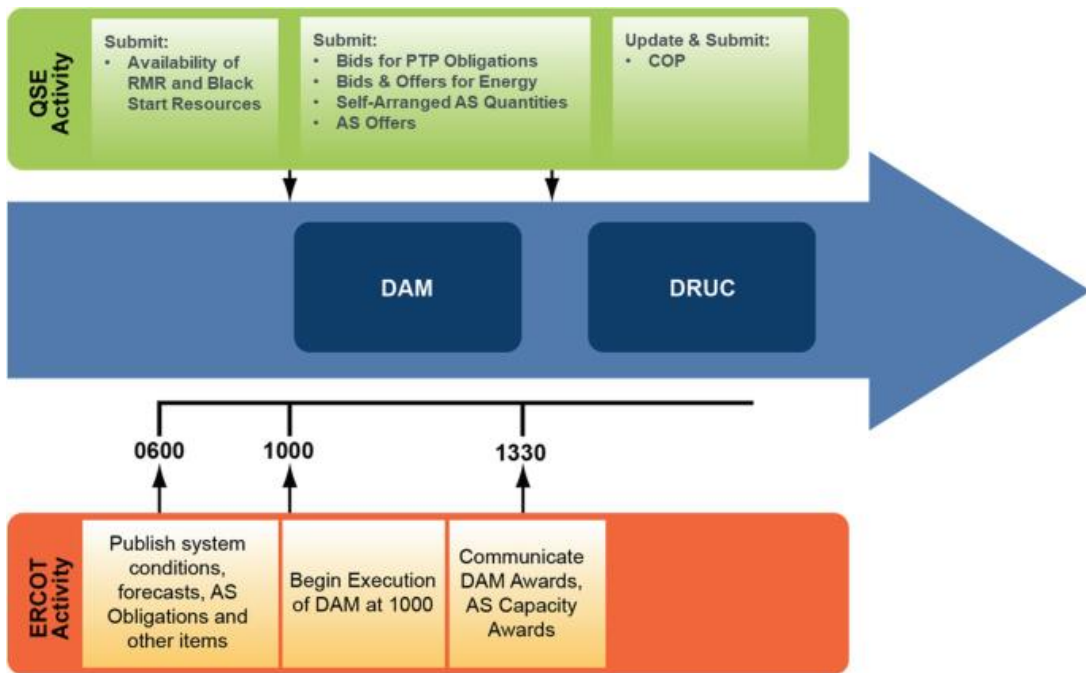


圖 11 ERCOT 市場流程與 ERCOT/QSE 活動對應-日前 [4]

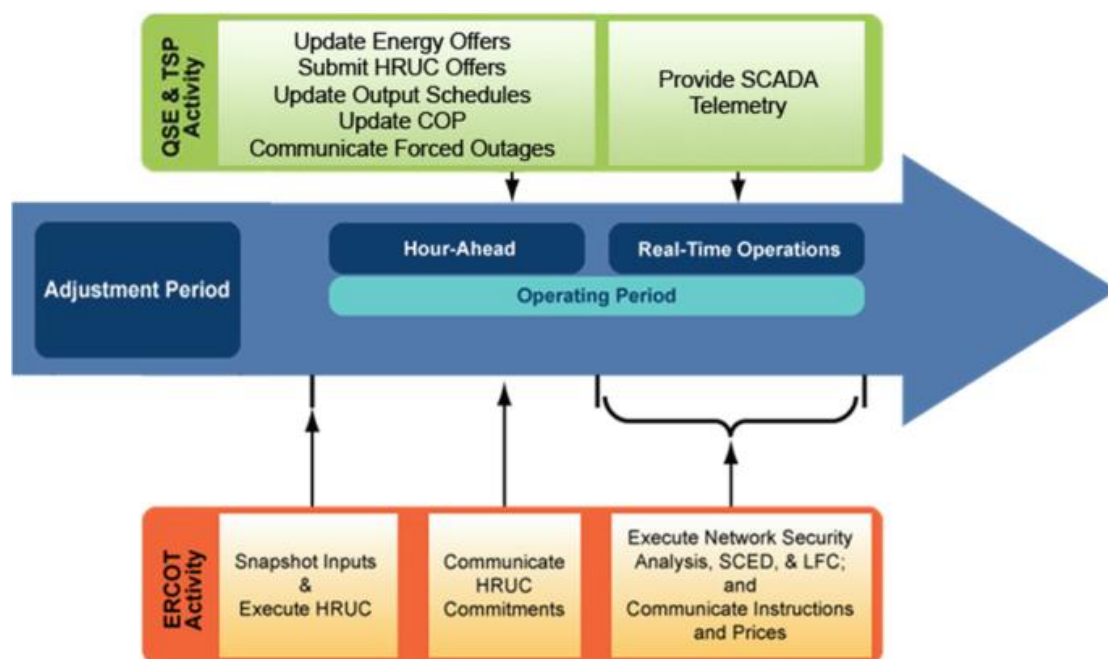


圖 12 ERCOT 市場流程與 ERCOT/QSE 活動對應-小時前 [4]

ERCOT 於 6:00 前之作為，包含公布系統狀況、天氣假設條件(用作系統負載預測及線路動態額定估計)、各區未來 7 天每小時負載預測、負載分配因數(用作估計 BUS 端負載量)、結算節點與系統開關場(廠)BUS 的對照表(使用於市場程式與交易)、發、輸、變電設備限制、負載型態、輸/配電線損率、電網結構。QSEs 則需提供即時運轉計畫(COP)，包含各機組之狀態、PTP Obligations、線損及其價格。ERCOT 於 10:00 開始執行 DAM 結清程序，在 QSEs 所提供買方及賣方之價格，於發、輸、變電設備限制及輔助服務下分析系統電網安全，極大化買方之電能收益減去賣方之成本，以得到優化電能市場排程最佳解。ERCOT 於 13:30 發佈 DAM 得標狀況，QSE 要在 14:30 前依據得標情況和輔助服務責任調整 COP。18:00 至運轉期前的一小時前為調整期，ERCOT 可能會開 SASM。接著於會進入運轉期。 [5]

在即時市場(RT)中，ERCOT 基於經濟性和可靠性來調度電能資源，以滿足系統需求，同時遵守各項電能資源限制和輸、配電設備限制。藉由調整安全約束經濟調度(SCED)，產生線上可運用電能資源之最佳成本，提供即時市場報價。值班人員會監督 QSE 合格排程業者所提供 COP 是否與實際資源狀態相符，每 5 分

鐘執行電網安全分析，並利用 COP 來評估機組狀態及能力，調整 SCED 以滿足負載需求，同時決定市場邊際價格 (LMP)。日前市場的價格結清週期是每小時計算一次，即時市場的價格結清週期是每 15 分鐘計算一次。在即時結算時，將每 5 分鐘指令 SCED 電能價格均化後，以 15 分鐘週期結算。即時系統負載與日前所估計有所差異，QSEs 日前發電得標量與實際發電量相比之差異量以 LMP 結清。

日前市場與即時市場之 LMP 不同，日前市場係由 ERCOT 以日前電能排程所得出之價格，以市場結清價格之容量(Market Clearing Price for Capacity, MCPC)稱之；即時市場則是依系統實際負載，每五分鐘經由經濟調度軟體所計算得出 LMP。

雖大部分電能價格早由雙邊和約定案(約 97%交易採雙邊合約)，但公告市場 LMP 結果則會對於未來市場電能價格極具重要，幫助買/賣電能市場之雙邊合約定價趨近合理化，且提供電能市場及輔助服務市場所對應利潤參考，讓市場參與者決定是否繼續投資新機組建設或除役既設機組。

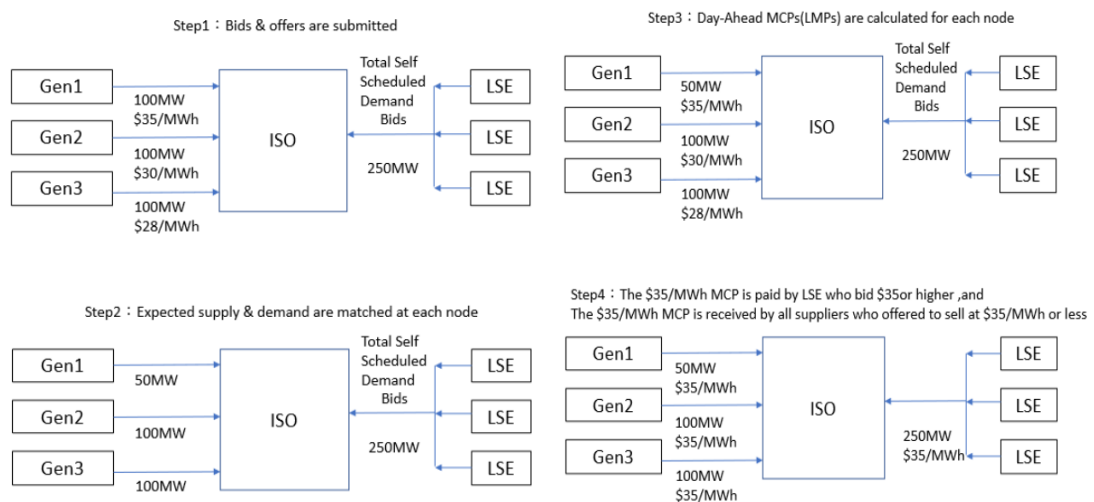


圖 13 DAM 運作示意圖

4.4 ERCOT 實功相關輔助服務

目前 ERCOT 實功相關的輔助服務有 4 種，包含調頻服務(Regulation)、快速備轉容量服務(Responsive Reserve Service, RRS)、緊急儲備服務(ERCOT Contingency Reserve Service, ECRS)及補充備轉服務(Non-Spinning Reserve Service)，規格和功能、時間對應分別如圖 14 和圖 15 所示。與以前不同的是，考量再生能源出力間歇性影響及系統負載需求持續增長，ERCOT 於 2023 年 6 月所新增 ECRS 輔助服務，其反應時間為 10 分鐘，持續 2 小時，可以為系統提供更大的調度彈性，協助系統維持穩供。

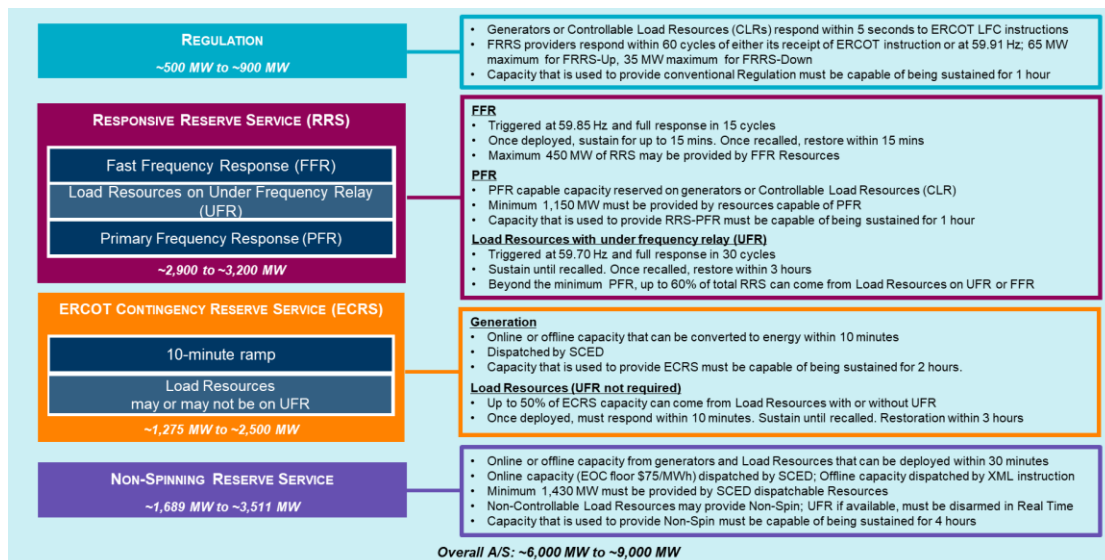


圖 14 ERCOT 輔助服務介紹 [6]

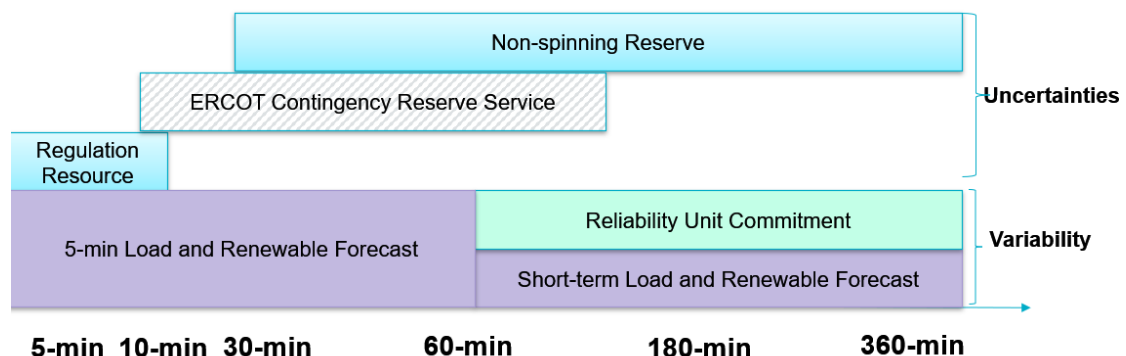


圖 15 ERCOT 各項輔助服務執行週期 [6]

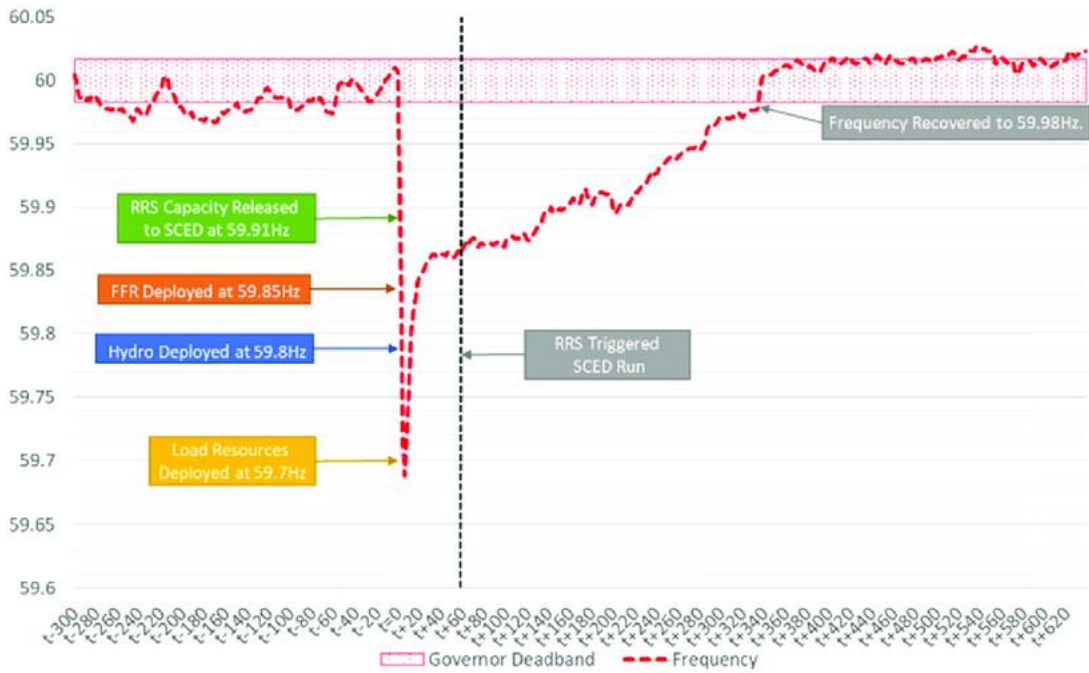


圖 16 系統偶發事故初期各項資源動作示意

4.5 再生能源對 ERCOT 的影響

近年 ERCOT 系統中的太陽光電、風力和儲能不斷增加，火力機組除役超過 6.5GW，可以發現具間歇特性、不穩定的資源逐漸增加，而原本可穩定持續提供電能和維持系統穩定必要輔助服務的資源正逐漸減少。

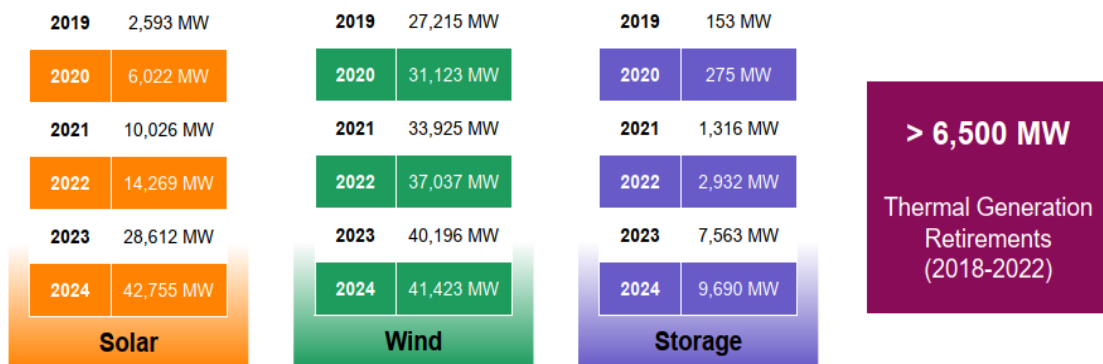


圖 17 ERCOT 預估未來風力、光電、儲能及火力容量情況 [7]

雖然 ERCOT 有不錯的再生能源預測服務，也有從案場取得的預測資訊，但再生能源預測本來就很不容易準確，絕大部分來自天氣預測的誤差，可以精進卻仍有極限。目前 ERCOT 的風力和太陽能裝置容量已分別突破 37GW 和 18GW，誤差幾個 GW 是正常的事情，特別是季節變化的時候。

鴨子曲線問題也日益明顯。傍晚日落，太陽能出力快速降低至零所帶來的淨負載上升，ERCOT 必須安排許多機組快速升載，也可能需要在此期間採購更多的輔助服務，來因應可能的風險，包含機組承諾發電時間安排錯誤、時間誤差、機組故障等情況。

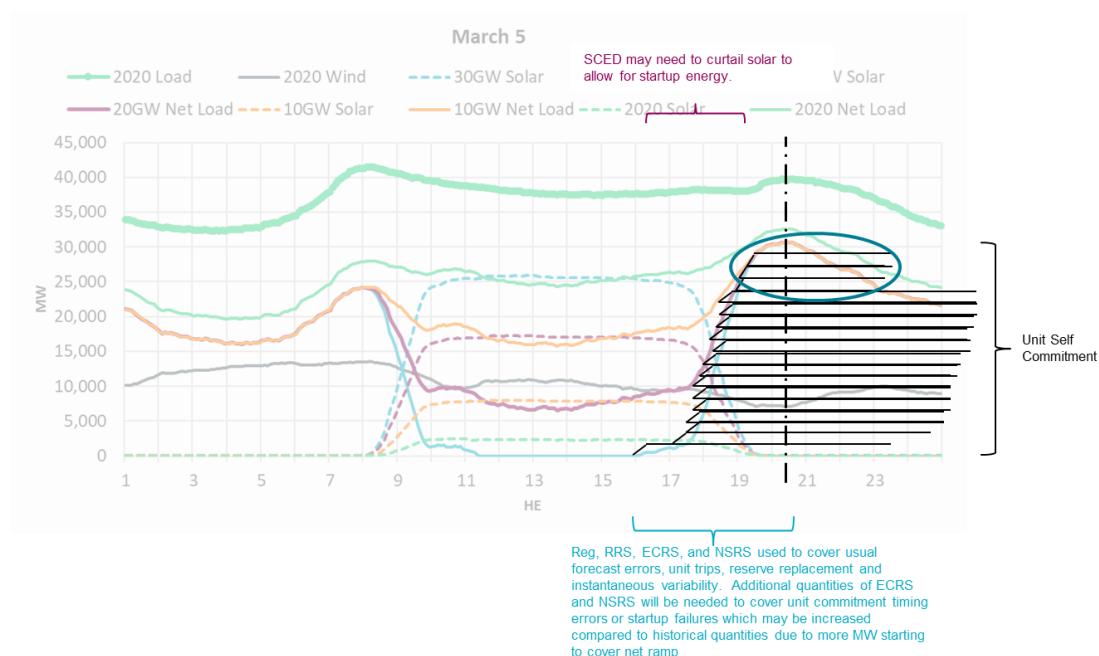


圖 18 傍晚機組併聯排程示意 [8]

另一方面，淨負載變動是十分劇烈的，特別是太陽能，系統必須要有足夠的彈性資源才能維持穩定，不致有停電風險。2023 年 10 月 5 分鐘、10 分鐘、15 分鐘、30 分鐘和 60 分鐘期間的最大淨負載突升分別為 2789MW、3018 MW、4023 MW、7209 MW 和 10797 MW [9]。與歷史值的比較如下表所示，顯示 ERCOT 系統至少可以 60 分鐘內忍受 11GW 的光電變動，而且如果當天調度員發現輔助服

務不足還可以透過市場額外購買，每年也須依規定滾動檢討輔助服務需求量(州政府會核定)。如果未來台灣也有如此大量的再生能源，則可預期系統至少會需要相對應的輔助服務量。

除了再生能源之外，電動車、自用發電設備、表後分散式發電(Distributed Generation, DG)、負載快速成長也都帶來輸電線路壅塞、電壓不穩定和其他的問題，ERCOT 都持續在思考因應對策，相關資訊可參考 Long-Term System Assessment (LTSA)報告和其他文件。

表 2 ERCOT 系統歷史最大淨負載變動量統計 [9]

Month and Year	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min
October 2014	780 MW	1,796 MW	2,152 MW	2,780 MW	4,579 MW
October 2015	1,141 MW	1,553 MW	1,839 MW	2,779 MW	4,606 MW
October 2016	863 MW	1,543 MW	2,035 MW	3,213 MW	5,335 MW
October 2017	812 MW	1,338 MW	1,820 MW	3,029 MW	5,347 MW
October 2018	860 MW	1,386 MW	1,907 MW	2,824 MW	5,346 MW
October 2019	1,192 MW	1,728 MW	2,465 MW	3,537 MW	6,408 MW
October 2020	1,048 MW	1,600 MW	2,488 MW	3,578 MW	6,269 MW
October 2021	1,371 MW	1,949 MW	2,709 MW	5,037 MW	9,438 MW
October 2022	925 MW	1,645 MW	2,292 MW	4,366 MW	7,413 MW
October 2023	2,789 MW	3,018 MW	4,023 MW	7,209 MW	10,797 MW
All months in 2014-2023	2,789 MW	3,018 MW	4,023 MW	7,209 MW	10,797 MW

伍、ERCOT 調度中心值班配置

5.1 輪班制度

1. 一個控制中心有 3 個班(crew)在輪流(兩控制中心共 6 個班)，每班有 7 位調度員(operator)、1 名值班經理(shift supervisor)和 1 位值班工程師(shift engineer)。有數位女性調度員。(註：日前市場另有值班工程師和經理)



圖 19 ERCOT 值班人力配置

2. 一輪循環 6 週，工作日採 12 小時三班制。
3. 日班自 04:00 上到 16:00，夜班則自 16:00 到 04:00。上班時間可能會配合系統情況調整，先前是 06:00 至 18:00，但因太陽光電影響而逐漸討論往前調整，以避開特別忙碌的時段。(ERCOT 系統運轉較為困難時刻包含夏季尖載、夏季傍晚、冬季日出之前暖氣全開等)
4. 幕僚 08:00 和 17:00 交班。運轉規劃相關幕僚部門主管和值班經理每天 08:00 和 17:00 會開視訊會議，讓主管知道當天的情況、可能面臨的問題與因應策略、營運政策和作業程序調整，以及檢討當日發生的事件及明日需要注意事項。兩會議長度皆約 15 分鐘。值班經理負責主辦此會議，報告內容包含當日預估負載、重載預估時段、電網可能壅塞位置、重點停電工作、天氣、風力與光電預估等資訊。
5. 薪資為年薪制，約比一般工程師多 10% (相當於交接班和夜點費，加班另有補休)，主要誘因為每輪完整 2 週休息。
6. ERCOT 調度員業務分配資訊及標準作業流程公布於 ERCOT 官網/market rule/market guide/operating procedures。各台工作部分重疊。

7. 調度員不會被強迫在各桌之間輪流，但 ERCOT 鼓勵大家通過認證輪調，如果要升遷必須具備多個 desk 的值班能力，或是調動至幕僚和審修部門 (outage coordination) 歷練。
8. 為清楚劃分權責，僅有當班人員可以操作系統，其餘班同仁支援期間只可協助觀測、提醒和庶務工作。因文化和使命感的關係，各班通常會在交接班時互相幫忙，主動提早到或延後下班，共同撐過系統最繁忙的時候，故實務上班總時間往往超過預定的時間，鮮有時間到就直接下班離開的情況發生。
9. 調度員主要參考 EMS 資訊，部分時候也會參考 GridGeo(有 60kV 以上的系統資訊)等 PI 即時資訊。每一個在控制中心的操作都有紀錄，如果系統出問題時可以重建整體情境方便分析。

值班輪值週期														
第一週	第二週			第三週			第四週			第五週	第六週			
A班	B、C、D班						E班			F班				
訓練週	連續工作3週						休息週			休息週				
週期	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三	四	五	六	日
B班	白	白	白	白	休	休	夜	夜	夜	夜	休	休	...以此類推 共三週	
C班	夜	夜	休	休	白	白	白	白	休	休	夜	夜		
D班	休	休	夜	夜	夜	夜	休	休	白	白	白	白		

圖 20 ERCOT 輪值示意

5.2 調度資訊顯示畫面

控制中心是一個匯聚資訊的地方，需要管理相當大量的發電機、輸電線、變壓器、開關設備、停電資訊、模型、市場參與者之即時資訊，如何用有限的資源顯示重要的資訊給調度員是每個控制中心持續精進的方向。除了 Wallboard Display(即本處 VPS)之外，每位調度員約有 10 個螢幕，可看 EMS、Macomber Map 電網圖、GridGeo 和其他與其權責相關的資訊。

ERCOT 控制中心選擇要顯示內容的準則如下：

1. 仔細選擇要顯示的訊息，必須要是良好的系統效能指標或關鍵功能指標

才顯示，這些指標背後也會有詳細的資訊做說明

2. 邏輯一致的警報和條件格式
3. 彙整來自多個來源系統的相關資料
4. 明確的職責分工

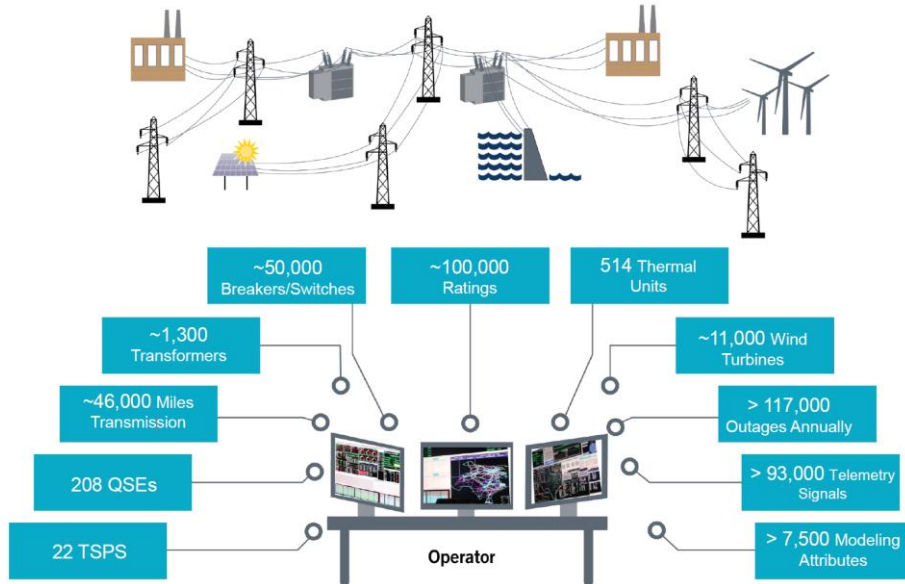


圖 21 ERCOT 控制室資訊來源示意 [10]

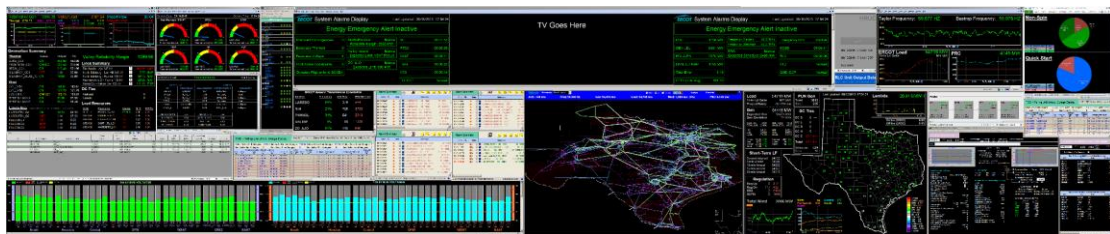


圖 22 ERCOT 控制室 Wallboard Display [10]



圖 23 ERCOT 控制中心 [11]



圖 24 ERCOT 調度員座位 [11]

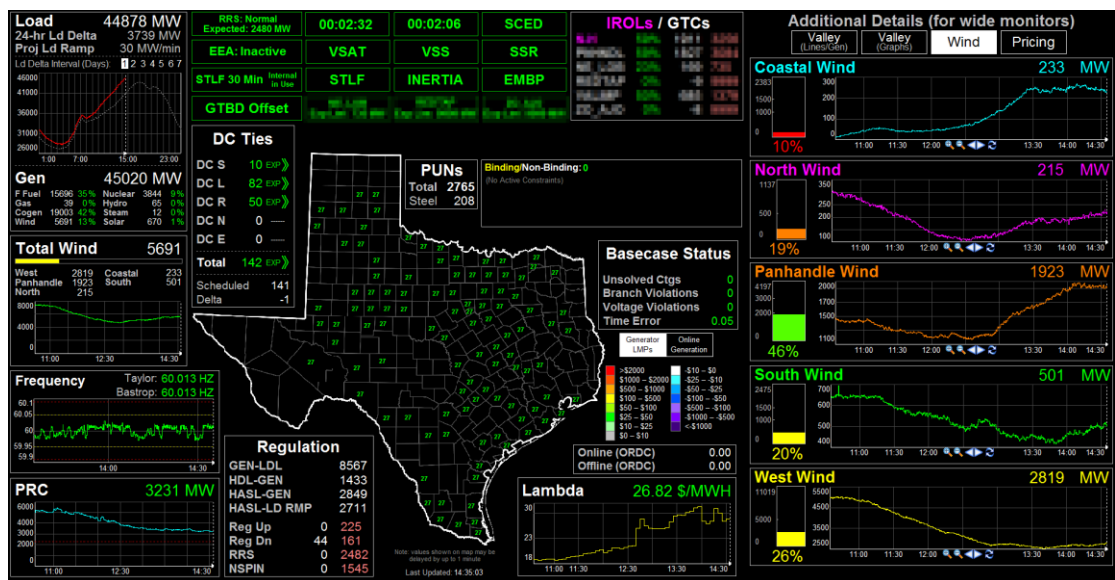


圖 25 調度員工具-資訊主頁 [10]

5.3 輸電監控主任(Transmission and Security Desk)

1. 主要任務為持續透過 EMS 監視電網是否發生壅塞，並手動處理系統自動機制(SCED)無法處理的電網瓶頸。平時需要分析當下情境和下一個事故發生後的情況，並視線路超仔情形採取因應措施。本桌主任也負責每 10 分鐘更新穩定度限制(Generic Transmission Constraints, GTC)，平時會看 IROL(Interconnection Reliability Operating Limits)/GTC 總覽和細節資訊頁

面，相關警報也會呈現在 VPS 上。

ERCOT IROLs / GTCs			
Interface	% Loading	MW Flow	RTMONI Limit
LAREDO	33%	222	680
LISTON	82%	220	270
MOLINA	2%	194	9999
N-H	52%	1619	3105
PNHNDL	3%	300	9999
VALIMP	38%	500	1309
ZO_AJO	56%	502	900

圖 26 Transmission and Security Desk 工具-IROL/GTC 總覽 [10]

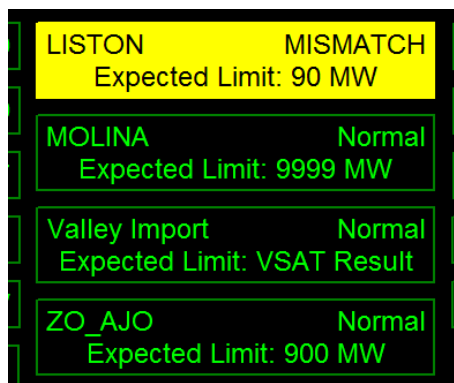


圖 27 Transmission and Security Desk 工具-VPS system alarm [10]

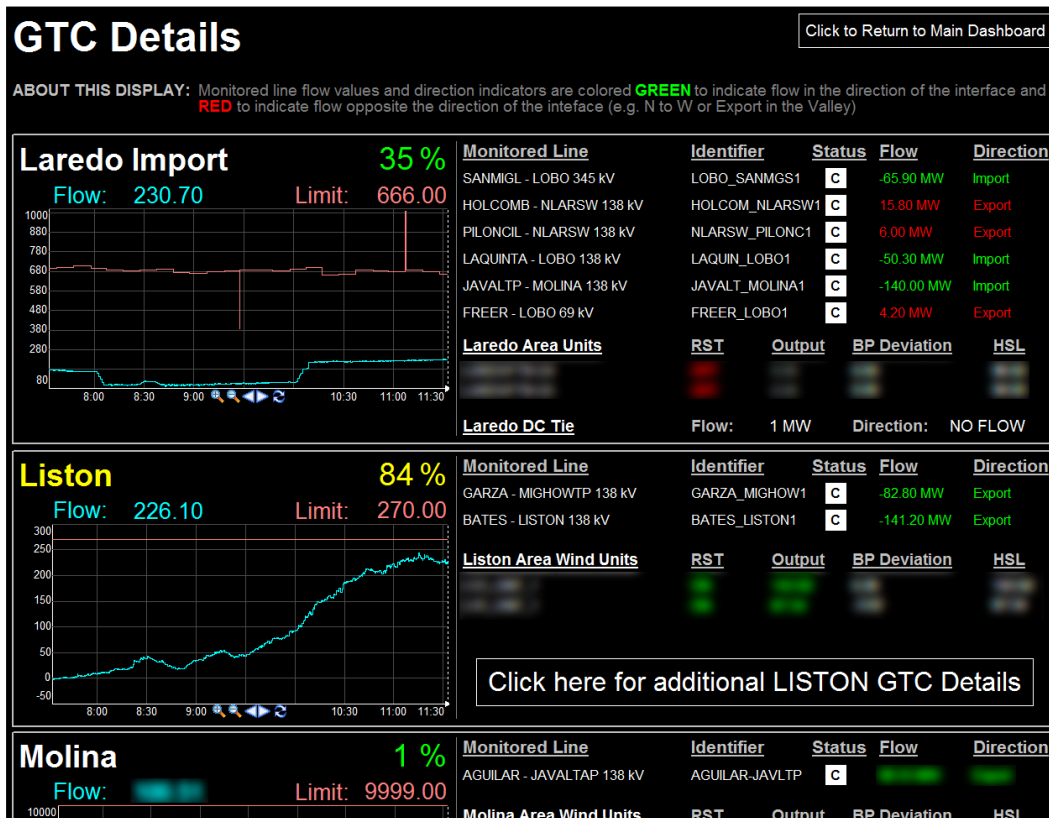


圖 28 Transmission and Security Desk 工具-IROL/GTC 詳細資訊 [10]

2. 因輸電系統為 N-1 規劃，正常跳脫一條線路不會發生超載，故此調度員是專注於處理此 N-1 事故後運用 Real Time Contingency Analysis (RTCA) 分析再發生下一個事故時可能發生的電網問題(壅塞、電壓、穩定度等)。系統偶發事故發生時(達 2-hour rating)，就可以指令輸電公司使用預擬的策略進行緊急應變，若情況較嚴重時(達 emergency)也可能會預先調整電網，降低事故後影響。(ERCOT 設備額定可分為 normal rating、2-hour rating、15 分鐘的 emergency rating 等 3 種，由輸電公司提供)
3. 理想狀況下，如果事故後設備載流量大於 100%，SCED 會介入(kick in)重新分配各機組發電量(redispatch)，LMP 分布圖顏色會有相對應的改變，調度員可藉由觀察 LMP 顏色差異發現有壅塞情況(沒有壅塞時，整個電網 LMP 相同)。下一個 SE 也會發現是否有超載發生。
4. 如果壅塞不嚴重，shadow price 雖然會讓價錢上升，但還在非常輕微的範圍內，不需要調度其他發電機，則不須調度員額外動作。
5. 如果瓶頸的情況嚴重到 SCED 沒辦法利用經濟調度調整機組出力來處理時(亦即 redispatch 後仍有設備超載或電壓問題時)，值班主任就需要思考因應對策(identify mitigation plan)，利用 EMS 擷取全系統當下狀況進行模擬分析(real-time snapshot study)，評估是否人為介入調整以及擬定操作步驟(mitigation plan)，諸如投入或啟斷線路/變壓器等設備之斷路器(CB)、分 BUS、調整發電機端電壓、電容器/電抗器等。此些策略與經驗和技術能力有直接關聯。萬一真的無法解決瓶頸，輸電系統監控主任分析在哪些地點需要執行多少量負載限制(load shedding)，暫停部分負載用電。
6. 原則上 2 位值班主任是同時監看全系統的狀態、電壓穩定度及其他指標，各班可以自行協調合作模式，並沒有硬性規定依照地理位置分配權責區域。
7. ERCOT 系統電壓目前由輸電公司自行調整，調度員僅在 EMS 出現電壓過高/過低警報時通知輸電公司進行處置，不會隨時緊盯電壓數值。若窮

盡所有手段仍無法將電壓調整到合理的範圍，還是可以以負載限制來處理。一般而言，輸電公司會負責控制該區域的電壓，發電機業者(GO)除了依照預設的電壓排程(voltage profile)自動調整電壓之外，也會接受輸電公司指令協助調整端電壓(功因 0.95 範圍內)，也允許變壓器有載分接頭自動調整。

8. 本桌也負責各項設備維護工作前的最終同意確認，以及處理設備故障(forced outage)臨時停電檢修和對應的臨時因應策略，例如臨時暫停(甚至復電)已安排的設備維護工作。
9. 電網審修作業是幕僚部門的工作，業者提出設備維護需求後，再由 ERCOT 分析模擬及審核。考量負載不斷成長，審修工作日益困難，目前 ERCOT 的策略是：系統安全為優先，經濟性次之。如果可以事故後不計成本 redispatch 滿足 N-1 準則，就同意該案件工作請求；如果 N-1 事故後超載很嚴重且無法 redispatch，則會協調挪移工作排程，也甚至可能移動到假日施工。
10. 目前 ERCOT 系統的電壓是由輸電公司自行調整。然而隨著再生能源增加，由各輸電公司自行協調電壓調整策略效率不足，輸電公司亦無完整的全系統資料可進行分析，目前正在討論將電壓調整權責改到中央端統一調度，朝向自動即時提供電壓排程到各設備的方向發展。實務上線上 SE 跟事故分析已發現電壓問題，往往問題出在兩輸電公司交界處附近，例如某一家業者可能沒有發現設備鄰近業者會因為自己沒有投切電容/電抗器而受影響，或是線路兩端電容/電抗器分屬不同公司，屬於溝通問題，ERCOT 已提供更多電網即時資訊供輸電公司參考。
11. ERCOT 有規定輸電公司各負載匯流排平均功率因數應保持在 0.97 以上，否則會要求該業者增加無效功率調整設備或調整控制邏輯，避免消耗系統過多無效功率，再生能源也有提供無效功率調整的義務，避免影響系統電壓。功因 0.97 的規定是底線，實務上因各業者配合度高，較少有人

違反而被提起。無效功率調整是再生能源 inverter 的基本功能，通常性能十分良好，也是國際各電業普遍要求的基本能力，ERCOT 也有要求再生能源案場必須依照規定動態調整電壓。在加入系統前，再生能源必須通過 ERCOT 的無效功率性能測試(commission test 的其中一環)，ERCOT 會通知輸電公司調整該案場責任分界點電壓，確認案場虛功是否有隨之變動，通過才能商轉。平時 ERCOT 也有用 PI 每個月調閱各發電機的 P、Q、V，確認各機組在該電壓和實功出力情況時，Q 是否可以正確反應，每個月列出表現不良者，通知其改善。

5.4 即時供需控制主任(Real-time Desk)

1. 監視系統頻率，確保頻率在 NERC 和公司準則(Protocols)容許範圍內。
2. 監視 SCED、AGC、RLC 等程式執行狀態，並驗證程式產出結果的合理性。正常情況下 SCED 應該每 5 分鐘會自動執行一次，而如果 LFC 自動使用 ECRS 後的 60 秒，或是頻率小於 59.95Hz 超過 2 分鐘時也會自動啟動。部份情況下會需要此名主任手動啟動 SCED，包含連續 5 分鐘頻率偏差 ± 0.05 Hz、發電機跳脫且頻率大於 59.91Hz、超過 50%的 regulation 被使用等。
3. 監視負載預測準確度，必要時調整負載預測資訊來源。
4. 監視全系統一千多部機組的表現，包含是否有依照規定隨頻率調整出力，以及是否有依照 SCED 的指令發電。因機組數量過多，不太容易同時緊盯所有機組發電量，實務上如果有機組表現不佳，系統會提供 alarm 提醒調度員。
5. 如果發現系統因機組跳機、負載突增等因素供需失衡，則可請求輔助服務運用主任啟動輔助服務，確保符合 NERC DCS 準則(15 分鐘內恢復頻率)。座位在 resource desk 旁邊，兩台業務也可互助合作。

6. 因 SCED 會依照負載預測調整全系統機組升降載，EMS 每 4 秒就會提供各機組發電指令(已綜合考慮電能和執行中輔助服務)，故正常情況下無須調度員人為指令升降機組，甚至調度員也不須緊盯負載的變化，只需在負載預測誤差太大出現警報時再處置即可。
7. 此調度員平時主要會使用兩個工具：
- (1) 前 10 大多發和少發機組顯示：可以列出發電機實際發電量和 SCED 指令的誤差，並依據多發和少發分成兩個列表，也可以快速標記可能影響頻率的機組，方便調度員發現有問題的機組。

Top 10 Negative Unit Expected Gen Deviations			
QSE	Plant	Unit	Deviation
			-62
			-13
			-10
			-10
			-10
			-10
			-8
			-8
			-8
			-7

Top 10 Positive Unit Expected Gen Deviations			
QSE	Plant	Unit	Deviation
			43
			30
			26
			24
			24
			19
			16
			16
			15
			15

圖 29 Real-time Desk 工具-最大發電偏差統計 [10]

- (2) 系統總發電及總負載詳細資訊顯示：可以列出目前實績與預測值的差異，以及供電能力和備轉容量計算，呈現 SCED 資源使用狀況。

Load	39119 MW				
24-hr Ld Delta	2018 MW				
Proj Ld Ramp	22 MW/min				

Gen	39348 MW				
Expected Gen	39130 MW				
Gen Deviation	218 MW				

GEN-LDL	8517	HDL-GEN	3859		
GEN-LASL	19232	HASL-GEN	6329		

LDL	29290	HDL	41661		
LSL	18307	HSL	46080		
LASL	18563	HASL	44130		

F Fuel	8658	22 %	Nuclear	5100	13 %
Gas	217	1 %	Hydro	146	0 %
Cogen	15623	40 %	Steam	3	0 %
Wind	9417	24 %	Solar	185	0 %

圖 30 Real-time Desk 工具-發電及負載資訊 [10]

5.5 輔助服務運用主任(Resource Desk)

- 負責所有的輔助服務監控，並於必要時啟動補充輔助服務市場 (Supplementary Ancillary Services Market, SASM)。
- 隨時關注系統情況，適時運用需手動啟動的輔助服務(RRS、non-spin)。
輔助服務是系統緊急使用的彈性資源，SCED 不會將輔助服務納入考量。
當頻率異常、快速備轉不夠多時，就要使用輔助服務，此調度員會決定輔助服務的使用時機、用量及執行者。
- 管理機組停電，包含計畫性排程、維護工作和跳機情況。
- 監視各得標輔助服務的機組，隨時保持在有足夠能力提供服務的狀態。
- 跳機是偶爾就會發生的常見現象，因 ERCOT 遵守 N-1 準則，通常發生跳機事故後，SCED 和自動反應的調速機及輔助服務就會完成處理，而且數分鐘後 SCED 就會自動補足損失的電能，讓自動反應資源可處理下個事故，不會需要人工立即啟動輔助服務，頻率也不會下降太多。

6. 在 ERCOT 中，備轉容量就是輔助服務的量，輔助服務需求可於日前購足。如果運轉日認為輔助服務不足時，也須購買更多輔助服務。

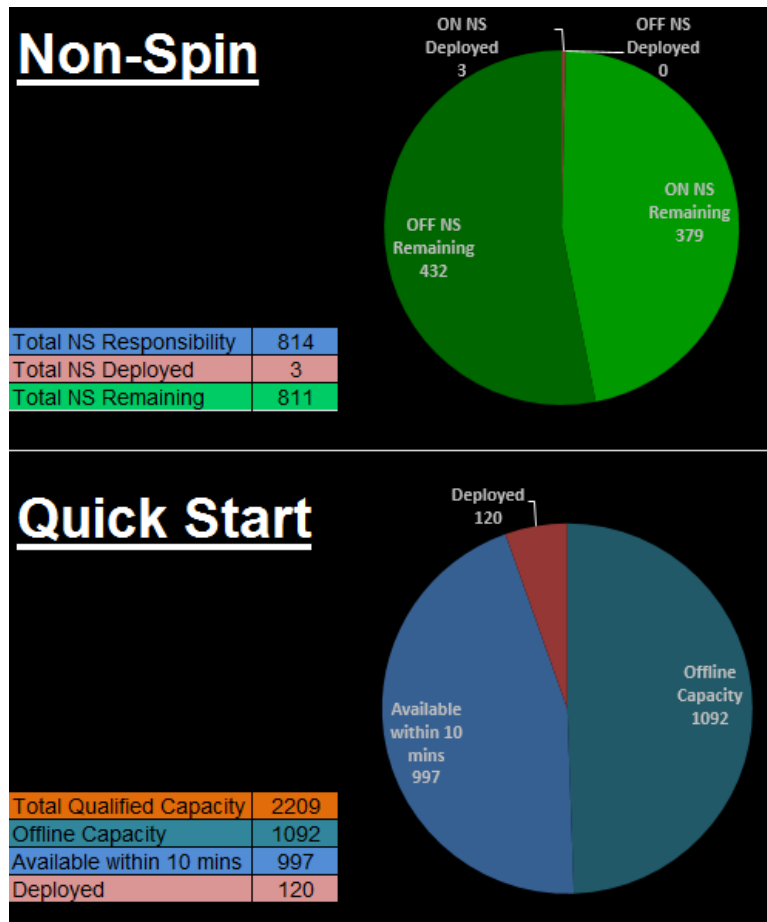


圖 31 Resource Desk 工具-Non-spin 和快速啟動容量及執行量 [10]

5.6 機組排程主任(Reliability Unit Commitment Desk)

- 負責監視週前機組排程(Weekly Reliability Unit Commitment, WRUC)、日前機組排程(Day-Ahead Reliability Commitment, DRUC)和小時前機組排程(Hourly Reliability Unit Commitment, HRUC)，每小時執行一次程式(半自動)，確保線上機組容量提供給 real-time desk 時足夠，亦即確認整體最大供電能力足夠。
- 考量機組故障、負載可能跟預測偏差過大、線路壅塞等因素，發現目前 UC 無法滿足負載，則調度員需要手動 RUC(reliability unit commitment) 機組，並負責和 QSE 聯絡 RUC 事宜。如果系統發現不夠，會顯示警報

提醒調度員。

3. RUC 行為會讓系統運轉的機組數量比電源排程還多，相當於墊高系統成本，很容易引起外界質疑，因此 ERCOT 會盡量減少干預市場的結果，僅在確認有影響系統安全時才會 RUC，平時則盡量從市場面提供誘因讓機組願意上線運轉，就可以減少調度員強迫機組上線的機會。

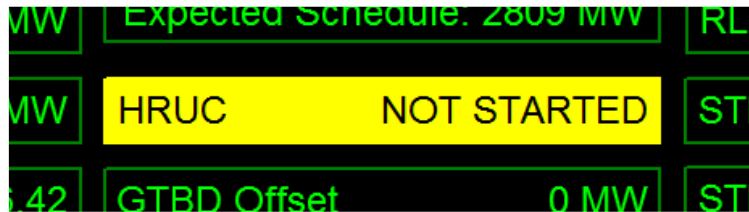


圖 32 Reliability Unit Commitment Desk 工具-RUC 程式狀態警報 [10]



圖 33 Reliability Unit Commitment Desk 工具-系統供電裕度不足警報 [10]

5.7 再生能源監控主任(Reliability Risk Desk)

1. 負責監視所有再生能源的發電量、預測和性能。
2. 負責每小時分析未來 4 小時的系統是否安全，特別是日出或日落時段。調度員會利用 EMS，就當前電網結構、再生能源及負載預測進行潮流分析。
3. ERCOT 有數個再生能源發電預測來源，每套系統都有強項和特性，調度員可以參考預測值超標機率分布，決定以哪套預測作為近期運轉依據。
4. 如果發現當下再生能源實際發電和預測差太多，則會依據警報逐一追蹤誤差較大的案場情況，確認業者無法符合自身預測發電的原因，並提醒

調整其提供 ERCOT 的運轉規劃。如果業者因故無法依照先前提報的發電排程發電，業者有責任向 ERCOT 說明原因，並調整發電規劃(COP)，避免替代成本發生和影響全系統排程。

5. 每小時執行一次 STNET 分析 4 小時後電壓情況(如 01:00 跑 05:00)。如果發現問題則須提醒調度員，也可指令投入電壓調整設備補償電壓。
6. 此職位是因應近年再生能源快速發展而新成立。

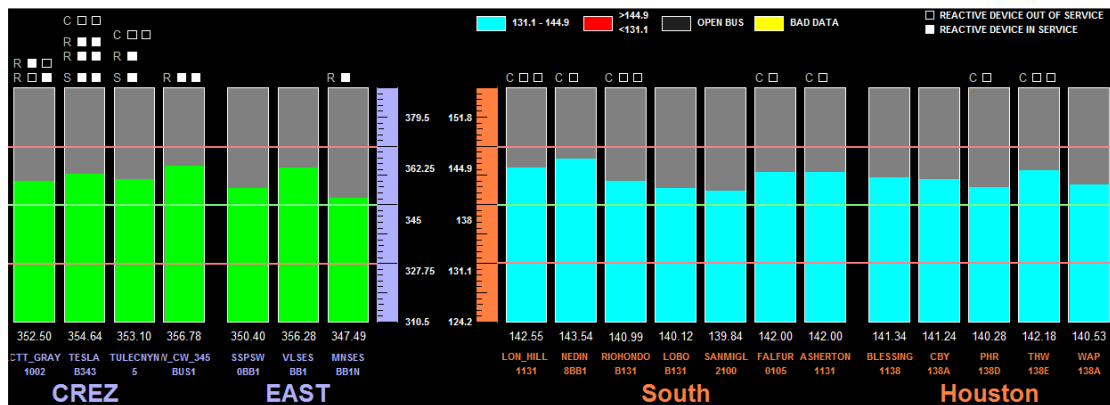


圖 34 Reliability Risk Desk 工具-重點地區電壓 [10]

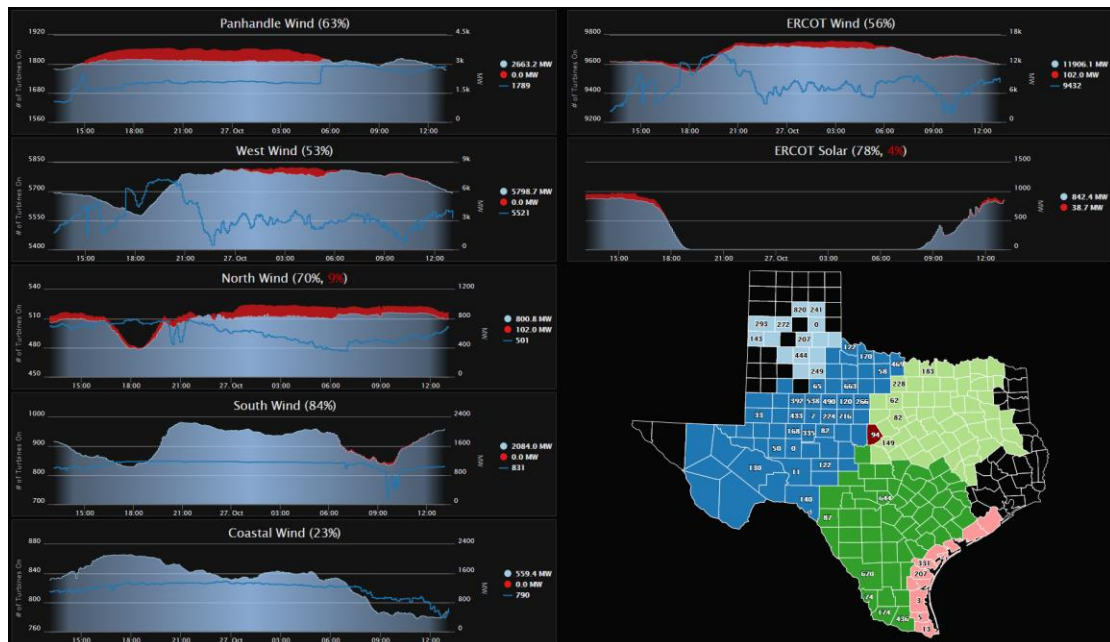


圖 35 Reliability Risk 工具-棄風棄光畫面 [10]

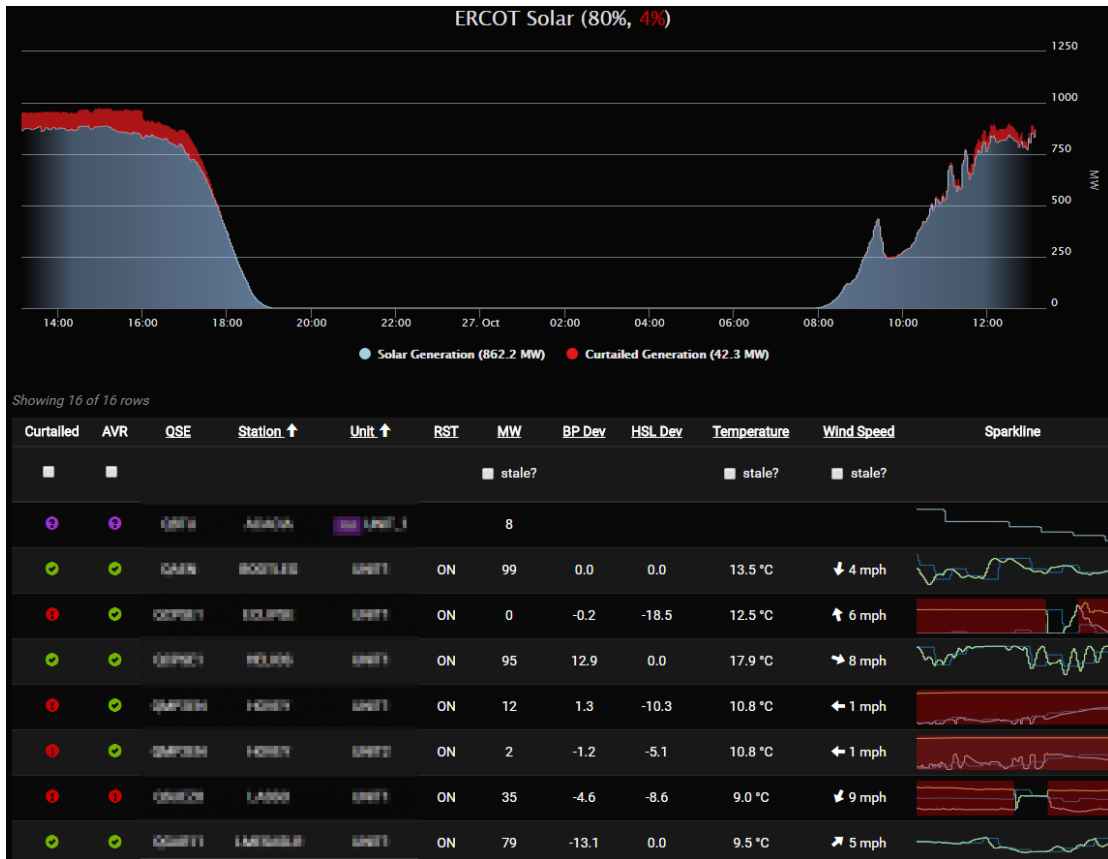


圖 36 Reliability Risk 工具-棄風棄光詳細資訊 [10]

5.8 直流介面監控主任(DC tie Desk)

主要任務為管理與其他系統直流(DC)互連的線路。每天 ERCOT 會告知未來可傳輸的潮流量。如果線路潮流不符合預期，則需要跟有相連的 MISO、墨西哥等伙伴溝通協調。緊急情況時，協調透過直流聯絡線將緊急電力輸入 ERCOT 控制區域。

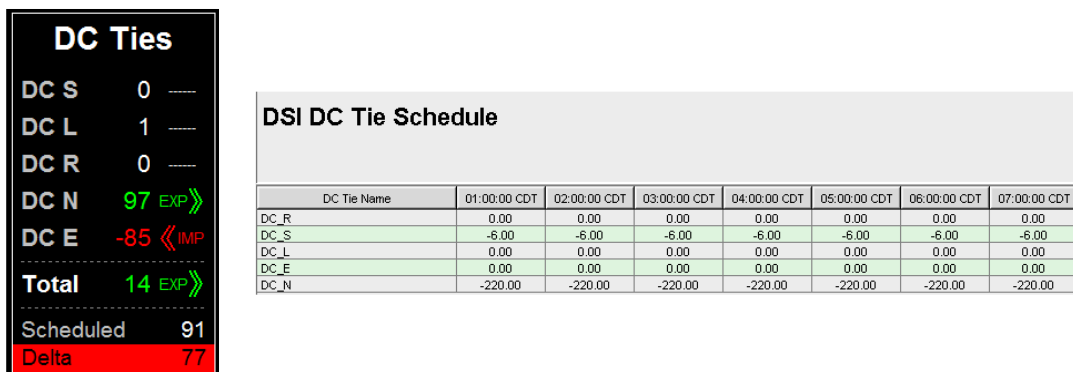


圖 37 DC tie Desk 工具-潮流交換和排程值 [10]

5.9 值班工程師(Shift Engineer)

1. 負責輔助調度員(operator)，可於第一線協助排除問題、分析複雜情境、處理非 SOP 內的狀況，或是判斷可能的故障點後聯絡權責部門來處理。
2. 平時會負責產製例行報表(基本上都是自動的，僅需部分人為微調)，如前一天的壅塞管理計劃及原因分析報表(Congestion Management Plans)、大型機組跳機概略速報 event report 頻率/輔助服務效能/停電情況，也會幫忙處理臨時機動的業務。(但不可製作 NERC 相關的報告，只有 operator 可以)
3. 協助推動新業務。例如 ERCOT EMS 原本只有即時電壓穩定度分析(real-time VSAT)，近期因 GE 與 Powertech 公司合作推出即時暫態穩定度分析(real-time TSAT)功能，就須由值班工程師配合測試驗證結果。
4. 通常具備電力專業背景，了解電力系統相關知識，也較熟悉分析工具的使用，但實際線上經驗通常較 operator 少。(台灣的「調度員」皆具備 ERCOT shift engineer 的能力)
5. 須通過 NERC certificate 及許多內部訓練，新進人員約訓練 3~5 個月可上線輪值。職位和調度員平行，須申請職務調整才能變成調度員。

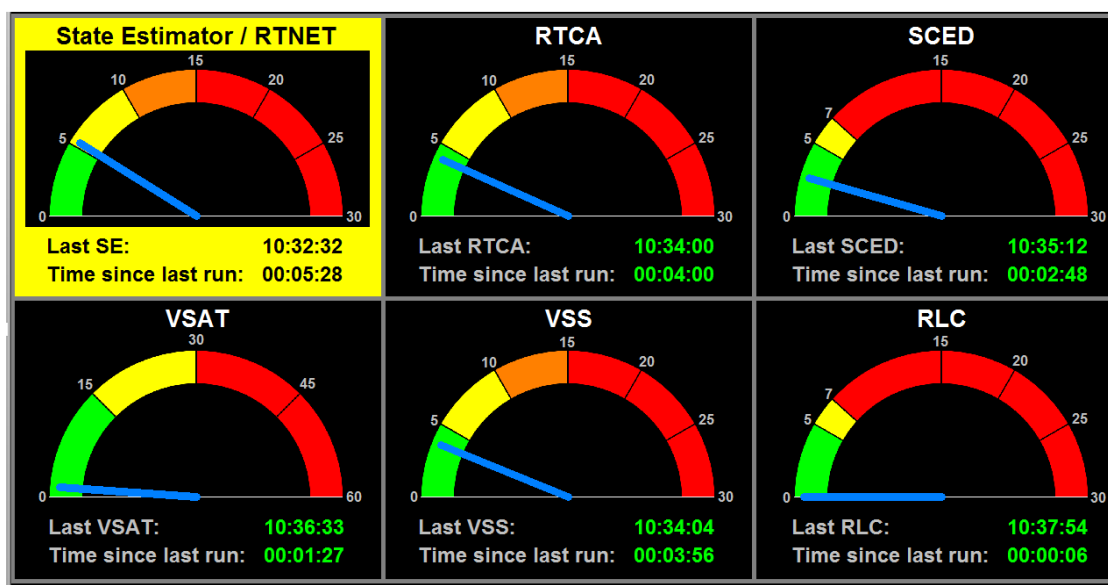


圖 38 Shift Engineer 工具-即時程式狀態(Real Time Sequence Monitor) [10]

5.10 值班經理(Shift Supervisor)

1. 持續分析全系統狀態，系統狀態變化劇烈時仍可掌握全局。
2. 監督各調度員工作狀況。
3. ERCOT 管理層和市場參與者溝通的主要窗口。
4. 負責監督 NERC 規定要提交的報告(如大型事故、核能跳機)。

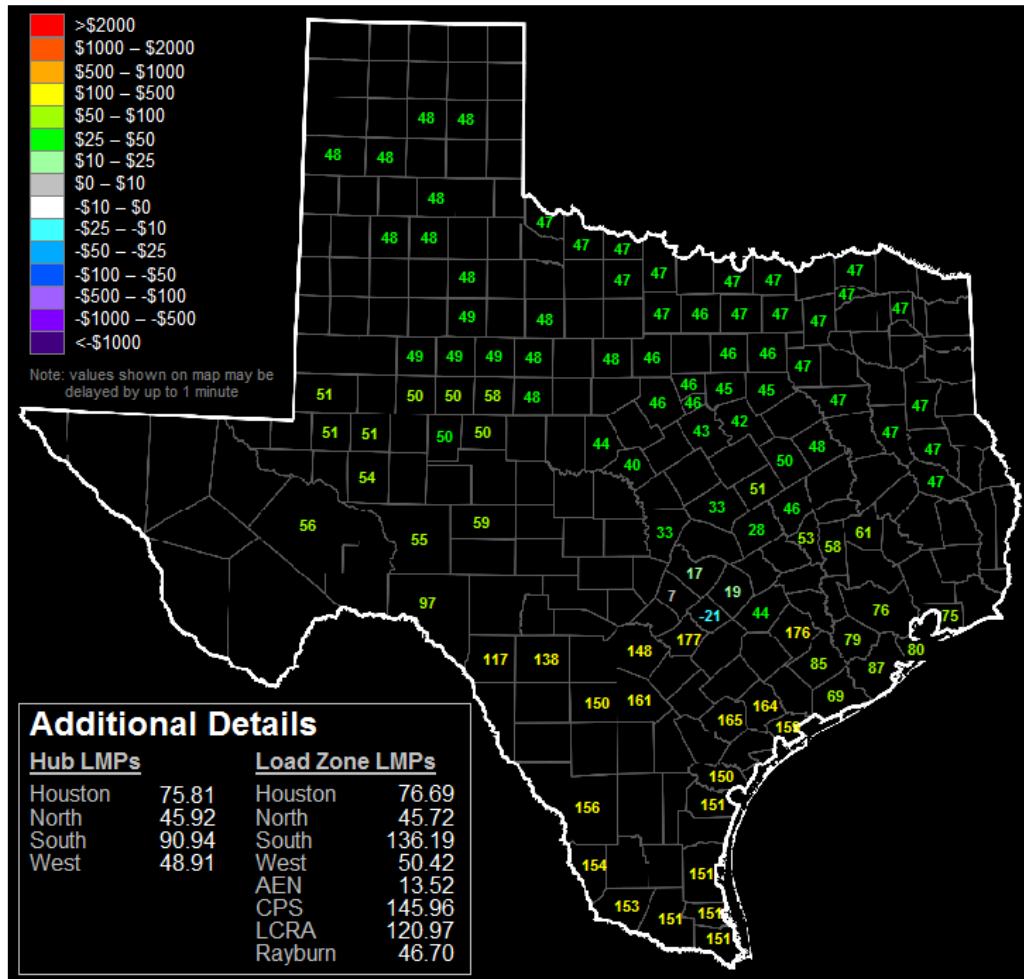


圖 39 Shift Supervisor 工具-節點電價地圖 [10]

5.11 調度員訓練

調度員(operator)無電力專業背景和學歷要求(時常只有高職畢業)，但必須嚴格依照規定執行任務。上線前必須通過 NERC 的認證(system operator certification program，如托福般電腦測驗)，確保了解調度需要的知識概念及情境式動作原則，另有 ERCOT 自家實務運作規定及工具使用訓練。

調度員取得 NERC 證照後，還必須達到 3 年 200 小時訓練時數(continuing education hours, CEH)才能保有效力，以符合 NERC PER-003 的規定，ERCOT 用每輪第一星期訓練來維持調度員 CEH。

訓練部門時常由過去有經驗的調度員所組成，負責準備每輪訓練的課程，以及建立 EMS、情境教材、電腦設定等。每年會分成四個季度辦理訓練，每季主題不同，上課前半年訓練部門會邀集 operation、planning、market 等部門討論教材內容並提供講師，確保調度員能跟上特殊天候情境、操作規定或程序調整、最新工具用法等最新資訊。

表 3 NERC 調度員考試類別和資訊 [12]

考試名稱	職稱	總問題數	考試題數	通過分數
Reliability Coordinator Operator	RC	140	120	92
Balancing, Interchange, and Transmission Operator	BT	140	120	92
Transmission Operator	TO	120	100	76
Balancing and Interchange Operator	BI	120	100	76

輪值週期					
第一週	第二週	第三週	第四週	第五週	第六週
訓練週	連續工作3週			休息週	

Operation、Planning、Market等部門每季想主題上課
+訓練部門設定OTS及其他模擬系統

實務案例操作

操作規定更新

系統注意事項

最新工具用法

圖 40 調度員訓練週示意圖

陸、ERCOT 其他資訊彙整

參訪 ERCOT 期間，黃舜賢博士針對我們的疑問，提供許多專業的概念說明及經驗分享，相關議題及資訊彙整於本章，部分 PGS 講師分享資訊也整併於此。

6.1 基地基礎建設

本次任務造訪 ERCOT 的 Taylor Campus 位於 Austin 東北部郊區，是一個精心規劃且戒備森嚴的基地，以確保電力關鍵基礎設施安全。初步觀察到有幾個特色：

1. 周遭為大面積空地、私人機場及玉米田，人跡罕至。
2. 櫃台值班警衛可以透過系統聽到經過附近的車牌資訊，留意周遭動態。
3. Taylor Campus 與另一個控制中心 Austin Campus 開車約 40 分鐘，具備一定程度的分散風險能力。
4. 調度控制中心位於門口一進來的右側，和左側長短期系統規劃/運轉規劃、樓上會議室、市場營運、隔壁棟市場結算/IT 等區域，藉由切割空間或不同建物實體分隔，確保資訊保密。也因資訊保密需求，參訪者不可於 ERCOT 管制區內拍照。
5. 控制中心土建結構有經過特別加強，可以承受較大的地震、颶風等極端氣候影響。20 年前建造至今，仍為了其他安全性的需求持續強化中。
6. 除了辦公室以外，所有混雜人流的門皆為自動門，可以減少疾病傳染。
7. 在各空間移動每個人皆須刷卡方可過關。



圖 41 Taylor Campus Google map 街景



圖 42 此次參訪於 ERCOT 管制區外與黃舜賢博士合影

6.2 資訊基礎建設

1. 強大的網路頻寬和雲端運算能力

COVID-19 疫情期間，ERCOT 藉由提升網路及資訊基礎設施，使系統具備全公司同時居家遠端辦公(work from home)的能力。除了原有辦公室電腦之外，每人發配一台具備上網能力的筆電，並透過強化的 VPN 和端點監控確保資安。

2. 調度員訓練用的 OTS 室可切換為第三控制中心，曾作為 COVID-19 疫情時輕症者分流上班用。

3. 資安規定嚴格

ERCOT 遵守美國國家標準技術研究所網路安全框架，所有電腦皆隨時受 IT 部門嚴格把關，當發生嚴重違規時，將立即停止公司內所有權限，並及時連絡確認情況。國外無法連結 ERCOT 網站，筆電也不允許帶出國，如須國外辦公須專案申請。

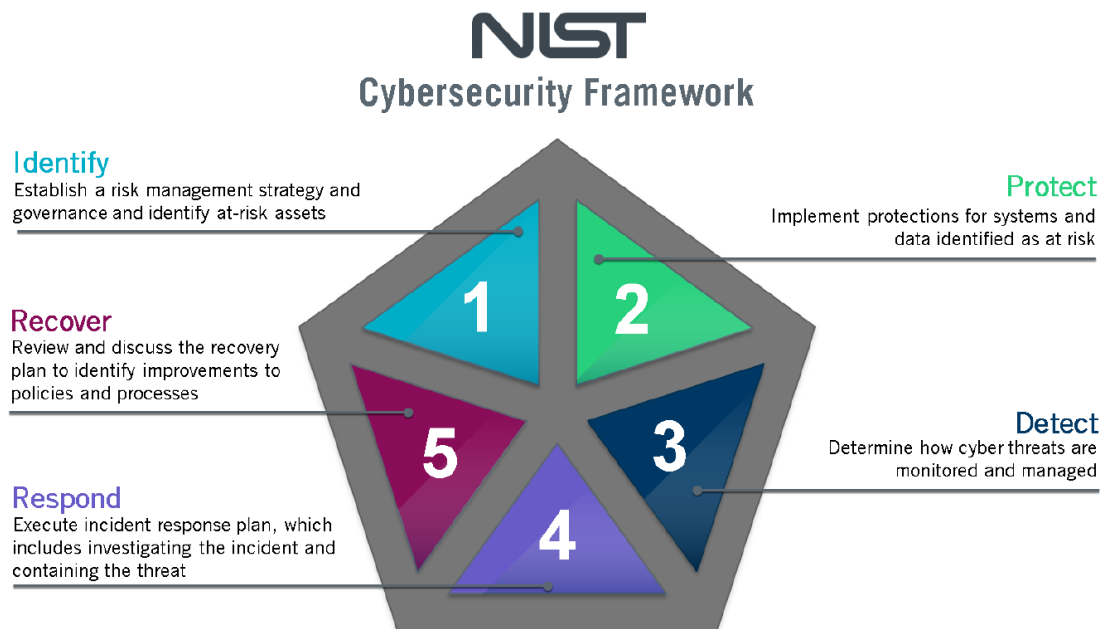


圖 43 美國國家標準技術研究所網路安全框架

6.3 GridGeo

ERCOT IT 部門花 3 年自行開發的瀏覽器工具，調度員值班/訓練、規劃部門都會使用，可顯示電網圖、變電所單線圖、即時和歷史電網資訊等，同時具備縮放功能，可作為本公司未來資訊系統介面設計之參考。功能特色說明如下：

1. 變電所單線圖可以多所串聯顯示，可以使工程師更方便的進行系統分析和調度員執行操作。
2. 如果以滑鼠點線路，會出現詳細資訊(長度、額定、擁所有者、事故分析結果)以及 SCADA 和 SE(RTNET)的數值。
3. 支援呈現該所相關事故分析結果，將事故案例相關設備螢光標示。
4. 不同電壓等級(綠色 345kV、藍色 138kV、紫色 69kV)和停電狀態會有不同顏色。
5. 具備天氣圖層功能，可以顯示以前和未來的雷達回波、風速及風向、颱風單一/各模式預測路徑、淹水等天氣警報。

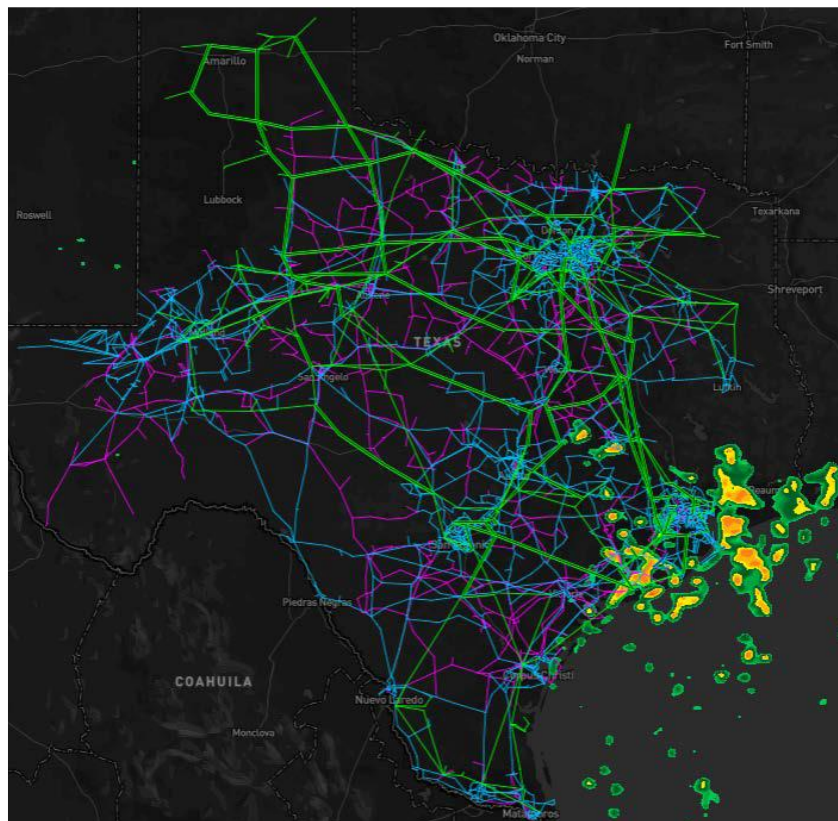


圖 44 GridGeo 電網圖配合雷達回波訊圖層 [13]

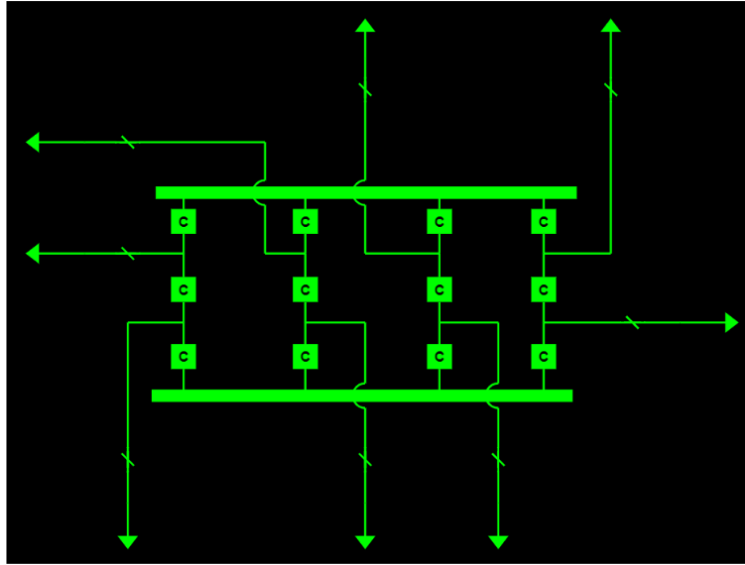


圖 45 GridGeo 變電所單線圖 [13]

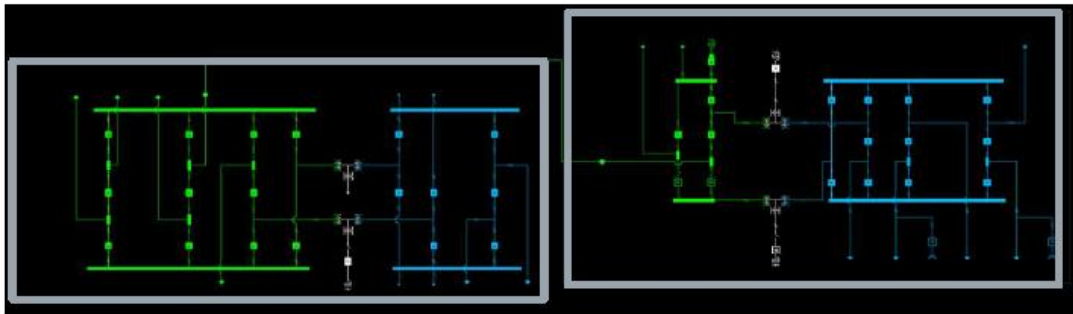


圖 46 GridGeo 變電所單線圖多所串聯顯示 [13]

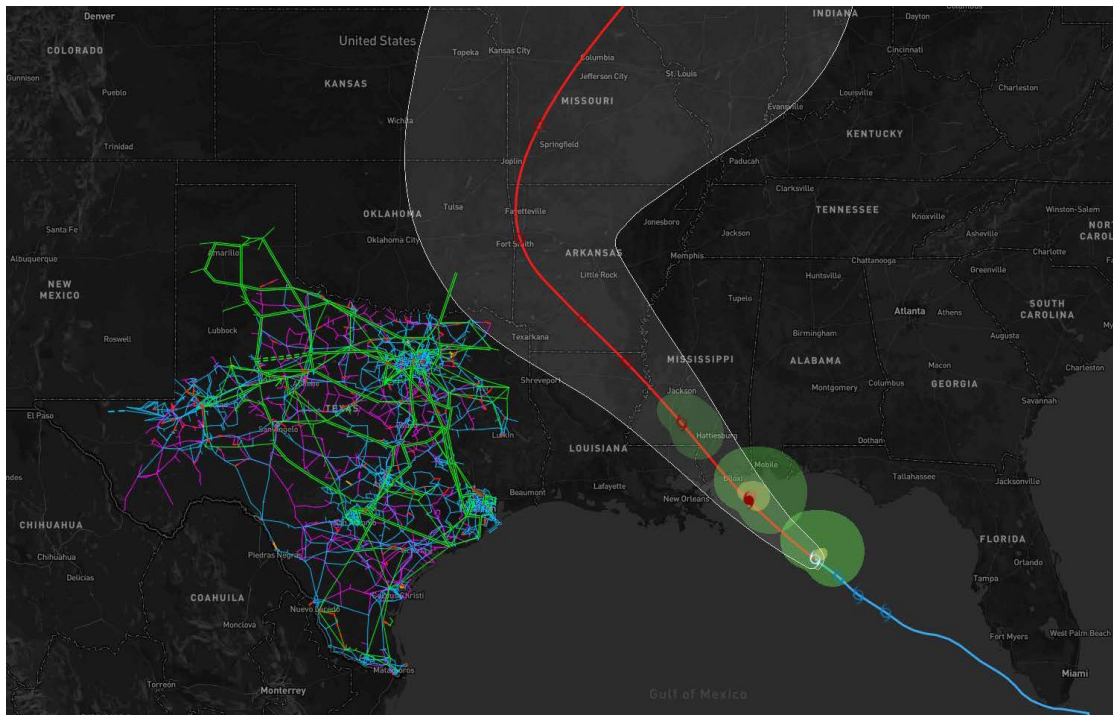


圖 47 GridGeo 電網圖配合颱風路徑圖層 [13]

6.4 考慮電網安全的經濟調度(SCED)

1. SCED(Security Constrained Economic Dispatch)是最重要的核心市場工具之一，用來高效率的尋找市場最低運轉成本，同時避免輸電設備過載(其他穩定度和運轉限制須透過 Generic Transmission Constraint(GTC)來監控)。
2. 程式每 5 分鐘自動執行，擷取當下系統情境(snapshot)進行事故分析(contingency analysis)，產出一組線上各機組發電排程，使全系統運轉在最經濟的情況，同時達成輸電系統安全，避免設備超載(overload)發生。SCED 暫時還無法解決電壓異常的問題，需要調度員手動介入處理。
3. 如果發現某個事故發生會導致違反安全準則時(設備超載或電壓異常)，SCED 會以偏移因子(shift factor，即當系統每個節點注入的功率增加 1MW 時流經感興趣線路的功率的變化)尋找可以舒緩超載最有效的發電機，再將該些發電機升載或降載來解決超載問題。
4. 當有一發電機因為舒緩壅塞配合降載，同時也會於系統別的地方增加發電來平衡系統。
5. 輔助服務是系統緊急使用的彈性資源，正常情況下 SCED 不會將輔助服務納入考量。
6. 如果 SCED failed，短期會先讓各機組維持上一次指令值，並儘速排除故障，無法修復時則啟動備用引擎。

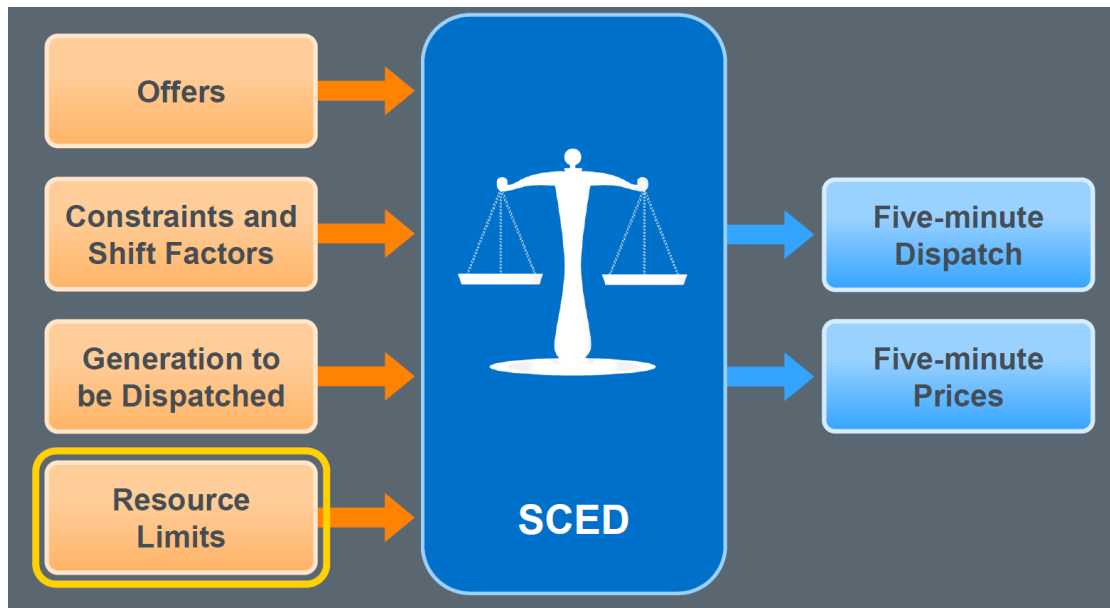


圖 48 SECD 概念描述 [14]

6.5 狀態估計

市場和錢有關係，要做到開放市場，一定要有準確的電網模型，也應該要有很高的狀態估計可觀測率(state estimator observability)，確保隨時都有很準確的系統狀態資訊。ERCOT 幾乎每個點都要有 RTU 取樣回傳 SCADA，就算有一個點數值異常，還可以用其他數值做暫時性預估。為了達成很高的 SE 準確性，ERCOT 會利用 GE EMS 內建功能，隨時比對 SCADA 輸入的資料跟狀態估計的結果 (solution quality check)，有一個小組專門 24 小時監控全系統 SE 的殘差值(residual) 排名。如果某地區殘差過大達到警報值(通常是設備故障、通訊中斷、設備剛加入尚未完成調整等)則會馬上遠端登入處理，通知現場人員維修，並剔除有問題的表計資料、用鄰近電表推估故障電表等方式暫時性調整計算邏輯(需確認暫時預估值跟狀態估計結果誤差可被接受)，使系統盡量還原到接近系統真實狀態。

6.6 輸電設備額定容量之訂定

ERCOT 設備額定可分為 normal rating、2-hour rating、15 分鐘的 emergency rating 等 3 種，由輸電公司(Transmission Service Provider, TSP)提供。因為電網設備是輸電公司所有，輸電公司有權決定設備的運轉能力，ERCOT 通常不會質疑他們提報的數值。有的公司會訂比較保守，有些公司則可能因為用的計算方式比較先進，願意提供比較高的額定容量。如果該設備提報的額定過度保守，往往會比較容易發生壅塞，ERCOT 會想辦法維持該設備運轉在比較低的容量，也因此會影響電價，其他有受影響的市場參與者就會對此提出質疑，並和輸電公司展開溝通。

此外，ERCOT 約 70%的線路採用動態熱容量(dynamic rating)，此功能建置於 EMS 中(GE 製)，為 ERCOT 自行開發，也被 GE 採用和推廣至其新一代 EMS 產品中。

6.7 電源充足性相關議題

1. ERCOT 自去年開始第一次實施電源歲檢修總量管制，作為電網分析前的初步安全篩選機制。ERCOT 會預先公布未來 5 年每一天預計可允許機租維護的總量，以及目前已同意的量，方便各電廠安排修護計畫，也可減少在最後一刻有機組因為環保或各種原因超限必須停機維護的情況發生。
2. 目前的總量管制的機制已考慮維持系統最低安全所需的輔助服務，但隨著極端氣候不斷發生，以及再生能源的發展使傳統機組越來越少時，已可預見未來也會遇到連保命的輔助服務都無法保留的情況。屆時會發生將所有發電機所需要的維修時間回推 RA 計畫，而系統卻給不出足夠的維修時間的窘境。即使 ERCOT 的資源規劃(resource adequacy, RA)做得不錯，但仍有部分時段歲檢修需求大於允許量的情況，須持續強化 RA 評估機制和實際電源開發。

3. 缺電處置是一個簡單而困難的選擇。為了因應短期用電高峰而阻止機組維修，會增加機組故障率，引發更長期的供電能力減少；如果同意機組維修，則將有更高的機率面臨緊急運轉和缺電情況(Energy Emergency Alerts, EEA)。
4. 再生能源案場也須參加停電維護審修，但和傳統機組有些差異。不同於傳統發電機必須整部停機，再生能源可以部分停電工作，在案場內分區輪流維護，甚至太陽能可以晚上維修就好，維護排程的彈性大於傳統機組。
5. ERCOT 2023 年夏季尖峰負載較兩年前增加約 10GW，遠超過預測，還好原本的供電能力夠多，平安度過。但因目前城市高速發展中，加上極端氣候的影響，明後年仍有缺電的風險。
6. 再生能源增加後，系統最危險的時間往往出現在中間，例如日出及日落時段、春秋季，須十分關注淨負載變動。為了避免只有最尖/離峰的模擬導致誤導發展方向，ERCOT 有評估增加分析情境，試圖將風險從單一數值變成一季或一年的某些小時。ERCOT 例行的可靠度評估報告(reliability assessment)是做一年 8760 小時、長度為 20~30 年的蒙地卡羅模擬，來決定電力系統的可靠度。
7. 2023 年 4 月德州參議院通過了一項 100 億美元的能源改革方案，稱為「能源保險計畫」(TEXAS Energy Insurance Program, TEIP)，主要內容為建置(或升級)10GW 的新火力發電機組，並設立國家基金，為新建和現有天然氣工廠提供低利率貸款。發電廠的發電時間受到限制，每年僅可運轉 336 小時，用於測試目的和緊急情況，避免停電。建造和營運設施的成本將由德州納稅人分攤。

6.8 儲能供電能力預估相關議題

1. MORA 報告中有概述儲能供電能力預估方式，可作為規劃人員的學習參考素材。
2. 過去一般都會將儲能供電能力假設為 0，隨著儲能越來越多，也逐漸累積運轉時實績資料(historical performance)，ERCOT 開始改用過去 2~3 年該小時平均儲能發電量或平均最低發電量(可以由各單位視需求選擇)作為儲能的供電能力。假設想知道未來情境 17:00 時儲能得預估供電能力，則可利用過去 2~3 年所有儲能在 17:00 至 18:00 的發電量(完整 profile)，配合當時的裝置容量，即可得到發電量對應裝置容量的比例。儲能目前被假設可連續供電 2 小時。
3. 儲能供電能力規劃是一個風險管理問題。規劃單位傾向使用較保守的數值，但成本會比較高，容易引起其他市場參與者的抗議。最終會財務和風險會達成平衡，讓雙方都願意花這些錢同時承擔相對應的風險。
4. 儲能不可能整天都可用，但因 ERCOT 具備市場機制，可以用電價來預估可用率，當價格高時，儲能的可用率會較高。
5. ERCOT 仍在持續精進儲能納入未來系統規劃的方式，目前還沒有成熟的作法。不同於傳統發電機可長時間運轉，儲能為「有限時間的資源(duration limited)」，用完就沒有了，必須精準的運用，也必須將這個使用方式放入未來的模型中。如何將儲能系統剩餘電量(state of charge)納入電源排程(UC)中確保下次 UC 可有充足的電量、single model 等議題是 ERCOT 正持續發展的重點。
6. 考量儲能有老化問題，儲能營運商應該主動向 ERCOT 回報其當前真實能力，如無法達到宣稱的能力則會有罰款的問題。

6.9 管理、人力、文化相關議題

1. 每一季會有 CEO meeting，做重大政策概念溝通，同步組織想法。
2. 美國沒有退休年齡限制，目前 ERCOT 有七十幾歲的同仁還在職，從事在家遠端跑程式的業務。
3. ERCOT 有不適任員工汰除機制，多數為行為異常或嚴重違反規定者，較少因為工作產出不佳而汰除(文化因素鮮少有怠工情況發生)，而出現狀況的員工通常會先由主管約談，提供改善機會。每年年報會揭露進用和離職的人數及原因。
4. COVID-19 疫情起，調度員以外的一般員工實施部分時段遠端辦公 (hybrid)，每週只需進辦公室約 2 天(最多人同時於星期二上班，約有 50% 員工會來)，業務聯絡及會議通常使用微軟 Teams 召開。此政策整體工作產出未受影響，甚至部分員工的工作效率有所進步，但員工感情和默契確實會因為少了見面而受影響。IT 部門和 EMS 軟體/模型維護的同仁則視業務情況全時居家辦公(辦公座位同步移除)。未來雖可能視美國整體返回實體職場趨勢調整在家辦公的政策，但已奠定堅強的營運韌性。
5. ERCOT 進用人力前，會對該人進行背景調查(background check)，通過者方可錄用。
6. 考量市場變化快速，競業條款僅 2 週，並以保密合約避免機密不當外洩。

6.10 工程師發展計劃

工程師發展計劃(Engineer Development Program, EDP)是一項為期 12-16 個月的強化訓練計劃，專為剛踏入職業生涯的新工程師而設計。EDP 的目標是培養基本的電力工程技能以及有關 ERCOT 每個工程團隊角色的核心知識基礎。ERCOT 期望培訓這些工程師，使他們成為業界成功的工程師。這些工程師將用必要的技能來填補 ERCOT 的空缺職位，以履行所有職責。從該計劃畢業後，EDP 工程師將被安排在一個工程部門擔任全職工程師。

EDP 將真實的日常工程工作與課程相結合，為參與者提供在職業生涯中取得成功所需的技能。EDP 工程師必須展示其對一組核心技能(稱為能力)的熟練程度、完成部門模組(對每個工程小組的長期實習)、並完成長期技術專案，才能完成整個 EDP 計劃。在滿足這些要求的過程中，EDP 工程師位於網路建模小組(Network Modeling group)，並作為該團隊的成員執行日常工作。這些任務進一步解釋如下：

1. 能力(Competencies)：

EDP 工程師應參加各種訓練課程，包括年度 ERCOT 全黑啟動訓練與操作員訓練研討會、ERCOT 相關軟體應用訓練、午餐學習短期課程(Lunch-and-Learn short courses)等。此外，有興趣的 EDP 工程師還可以獲得準備和通過工程基礎考試(這通常是成為專業許可工程師過程中的第一步)和 NERC 考試的支援。所有可用的培訓機會均經過精心挑選，以促進專業發展並為 EDP 工程師未來的職業生涯做好最佳準備。

2. 部門模組(Department Modules)：

部門模組是對 ERCOT 每個工程小組的實際實習。每個模組均由主題專家設計，以使 EDP 工程師了解每個工程小組所執行的工作，以及該小組如何為 ERCOT 的使命做出貢獻。一個模組持續大約 2 到 4 個星期，具體取決於小組的規模。EDP 工程師將執行該小組的一些日常任務，並可

能被分配額外的工作以鞏固對該小組職責的理解。

3. 長期技術專案(Long-Term Technical Project)：

隨著計畫的進展，每位 EDP 工程師都會完成一個長期技術專案。這些專案由工程部門的經理提出，EDP 工程師選擇一個適合他或她興趣的專案。技術專案超出了部門模組或實習生等級工作的範圍，使 EDP 工程師有機會深入研究某個主題，同時為 ERCOT 帶來真正、持久的利益。

截至 2020 年 12 月，該計劃已畢業 39 名 EDP，其中 31 名仍在 ERCOT 工作，他們通常比外部初級員工為組織提供更大的價值。一些最早的畢業生現在已經獲得資歷並進入領導職位。圖 49 為 2016 年至 2020 年 EDP 可用職位以及應屆 EDP 填補的職位。

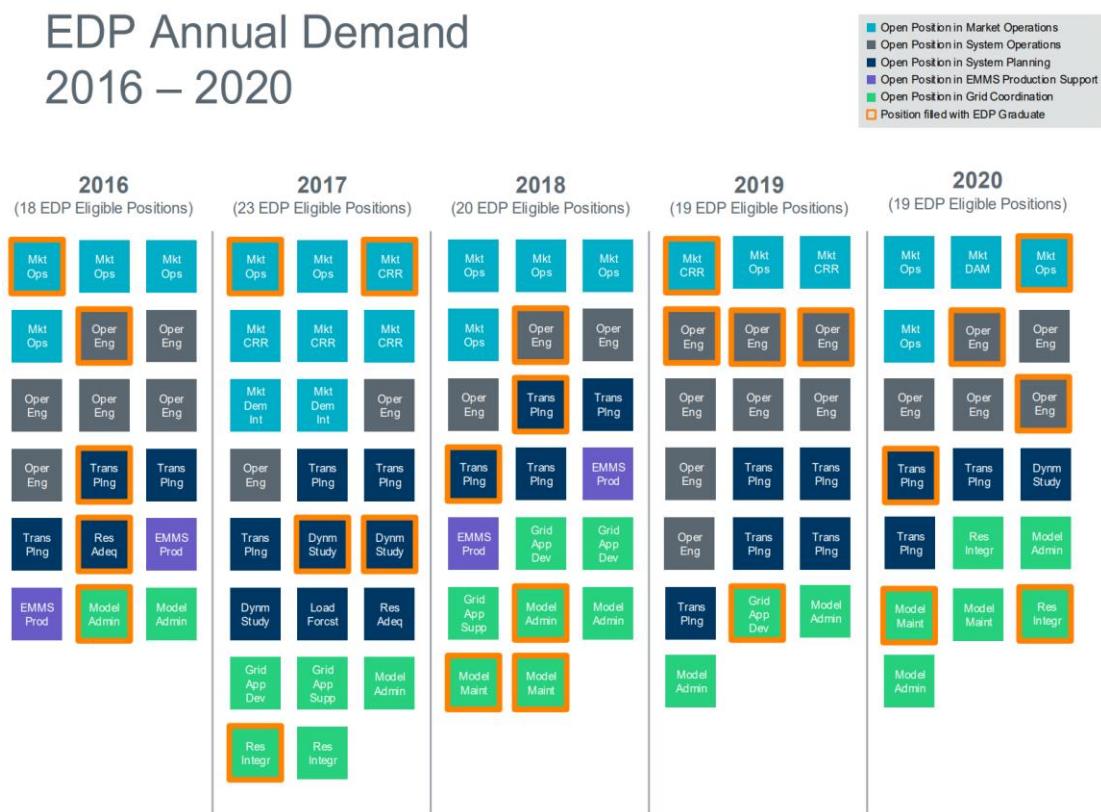


圖 49 工程師發展計劃執行結果

6.11 系統改善專案推動方式

1. 每年公司會有固定的專案預算供各部門使用，各部門會共同討論執行的先後順序，並優先執行相對重要的專案計畫(project)。ERCOT 每個月也會向利害關係人報告目前的狀況，也會提供計畫進度(status update)供外界參考。ERCOT 隨時可能會有 20~30 個專案在執行，而人力或預算會限制可執行量的上限。如果有修法、利害關係人有不同想法或特殊事件發生，則可能隨時調整專案執行的優先順序。
2. 每個專案都會有專案經理(project manager)管理進度，由幾位工程師兼職參與專案規範撰寫及開發。每位工程師可能會參與 2~3 個專案，每個專案可能會橫跨 IT、供應商、運轉規劃及線上運轉等部門超過 30~50 個工程師共同合作。
3. 研究性質的專案會找學界合作，而實際使用的專案還是會以內部人員自行開發搭配供應商協作為主。以儲能 SOC 納入 UC 排程專案為例，因 market core engine 是外包廠商(ABB)寫的，ERCOT 如果有功能調整需求，會開需求規範，如果供應商覺得可行再與之訂定合約，將專案交給廠商開發。
4. ERCOT 新的 EMS 剛於 2023 年 11 月 2 日上線，耗時 3 年多才完成。由於 EMS 更新為重大專案，當時就有動用數名工程師花 1~2 季專職處理(而非兼職)，在 GE 基本標準產品上額外撰寫超過上千隻程式及功能，以滿足業務需求。
5. 專案可依工程量體可以分成 2 種。第一種為 Request for change，以內部吸收的方式來處理比較小型的案件，流程較少，推動速度較快(如調整某軟體界面顏色)，但仍須詳細填寫案由及期望功能文件，也會有詳細的測試驗收流程文件留存；而如果參與的人太多或是花的錢比較多，則會變成 project，跑的流程會比較多(如前述 EMS 功能開發)。

6. ERCOT 的 EMS 功能開發組或外部廠商完成新功能開發後，會交給 EMS 應用程式組進行維護及運轉，也因此讓該組人力需求不斷增加。由於 GE 有提供部分 EMS 程式碼給 ERCOT，ERCOT 有成立 EMS 功能開發組，當作內部 vendor 自行寫程式開發新功能，目前約有 10 幾人。

6.12 再生能源併網審查議題

傳統新設備申請併網是採用「先申請先審查」，適合申請量比較小的情況，過去以水力、核能、燃煤、天然氣或其他大型電廠為主時沒有發生問題。由於再生能源蓬勃發展，近期輸電公司要求併網審查的案件量變得非常多，主要來自風力、光電和儲能的開發案，依照過去一案一案詳細模擬審查的結果，導致後面有大量申請案塞車，需要長時間排隊才會輪到。新的 FERC Order No.2023 (Improvements to Generator Interconnection Procedures and Agreements, Docket No. RM22-14-000)希望能夠簡化併網過程，讓先進的技術能夠儘快開始發電，主要內容概述如下：

1. 要求輸電公司要將併網審查流程從「先到先審、逐案審查」(First-Come, First-Served Serial Process)改為「先好先審、逐群審查」(First-Ready, First-Served Cluster Study Process)。輸電公司未來會將申請者分批編組一起分析，而非每個案場分開審查，改為「逐群審查」可以確保只有準備就緒的項目才能進入待審隊伍中。
2. 增加了輸電公司未能按時完成併網審查的處罰機制、更嚴格的案場財務準備和現場控制要求(避免饋線蟑螂)。
3. 讓發電和儲能更容易通過併網審查等規則。

此為聯邦能源管理委員會(Federal Energy Regulatory Commission, FERC)的規定，ERCOT 因為沒有跨洲互聯，所以原則上不用遵守，但這是熱門議題，PGS 老師覺得 ERCOT 有機會跟進。

柒、心得及建議

1. 本次實習行程得以順利進行並圓滿完成，首先感謝數位發展系統吳進忠副總經理、電力調度處處長周芳正及其他公司內長官，在過往交流中與 ERCOT 黃舜賢博士長久以來維持的情誼，同時給我們機會出國歷練。另一方面，十分感謝黃博士首肯前往 ERCOT，讓我們有機會實地一睹 ERCOT 及資訊系統樣貌，同時花了非常長的時間傾囊相授及解惑，提供許多寶貴資訊和建議。強大的人脈資源是引領進步的重要基石，必須與國內外產業、學界電力專業人士保持良好關係，並在能力許可時幫助他人，建立人脈及回饋社會，讓電力領域更加進步，也可提升台灣國際聲望。
2. 每個電力系統的規則、運作方式和特性皆不同，參訪其他電力公司前必須妥善準備，才能用一樣的語言交流，使參訪更加順利。國外有許多線上及實體的課程或演講，也有許多公開的報告、規章和教育訓練資料，可幫助同仁快速理解。建議各單位持續追蹤國際動態，也可適度揭露本公司運作模式及理念，以利與外界合作及溝通。
3. 經由本次參訪，我們得以進一步了解美國德州的規劃與發展概況。ERCOT 在大量再生能源加入市場後，已推動各類專案研究及組織變革，同時大量利用 IT 輔助電力調度，應用於包含監控、預測、系統安全規劃及分析等領域。學習 ERCOT 有助於本公司面對再生能源高滲透率情境所需之調度工具開發及制度規劃，使電力系統具備足夠的韌性與彈性來因應各種挑戰，也可協助本處值班人員執行細緻化系統調度運轉工作，以因應我國能源轉型之需求。建議應繼續派員參加國外研討會、訓練課程及參訪他國調度中心，師法國際最新的想法和技術，提升系統運轉安全性、經濟性及調度效率。
4. 再生能源如同其他市場參與者，有義務提供發電量，並協助系統維持穩

定供電。ERCOT 要求各再生能源業者須提供未來 168 小時發電預測及相關資料，QSE 兩小時內所提供 COP 排程，要求最大出力限制(HSL)僅能小於或等於 ERCOT 所提供短期負載預測值，以提高對再生能源掌握度。ERCOT 也有要求風力機組須具備初級頻率控制(Primary Frequency Response, PFR)功能以幫助維持系統頻率穩定。除上述以外，ERCOT 近年持續推動 IEEE P2800 作為再生能源的基本要求，裡面包含各面向可靠度相關之標準，台灣應跟隨國際趨勢逐步推動，也期望過內市場參與者和開發商能積極響應，滿足國內需求外，更有機會將商機擴及全球市場。

5. 輔助服務為維持系統穩定運轉安全的必要保險，ERCOT 每年會重新檢討各類輔助服務需求量，並公開詳細的評估報告描述評估過程。此外，ERCOT 於 2023 年 6 月正式實施新的輔助服務-緊急儲備服務(ECRS)，旨在解決因再生能源增加造成淨負載不確定性，增加系統調頻能力，也可有效避免短期負載突升或再生能源變化造成能源價格遽變。我國時常因為備轉容量準備方式引起廣泛討論，未來或許可以參考 ERCOT 作法，公開評估計算公式和數值，使問題討論回歸科學和務實，降低風險。
6. ERCOT 藉由 IT 整合，將再生能源實際及預測出力依轄區顯示，也會比對各案場和區域即時與預測發電量，當誤差達到一定門檻時，發出警報提醒調度員應去了解案場情況，若案場有問題則必須調整 COP，避免影響其他排程，也可提高預測準確度，以利系統調度運轉。ERCOT 也有監控再生能源之 AVR 情況，並每個月調閱各發電機的 P、Q、V，確認各機組在該電壓和實功出力情況時，Q 是否可以正確反應，每個月列出表現不良者通知其改善，確保系統電壓調節能力。台灣目前受限於法規，僅可取得極少量再生能源資訊，且即時性和資料正確性有待商榷。為確保再生能源穩定供電，能源主管機關應修法使台電系統運轉單位得以取得足夠之案場資訊，台電方可掌握再生能源當下及未來發電情況，及逐

步推動類似稽核機制。

7. 大量再生能源的間歇性，容易造成系統頻率大幅變動，也因再生能源具備價格優勢，得以優先進入市場，排擠傳統機組發電，造成系統慣量偏低，頻率不易維持穩定，另有其他許多特性上的差異，使得運轉情境多樣而複雜，也多了許多監視和控制需求。為提升調度預警能力及應變量能，ERCOT 在調度中心新增值班人力-Reliability Risk Desk，即時監控再生能源出力和系統慣量，並密切監視短期風力預測(STWPF)準確性及分析未來 4-6 小時內系統情況，維持系統運轉安全。目前台電的調度員時常為了處理再生能源疲於奔命，建議可學習 ERCOT 增設專責人力，提升系統安全，同時降低調度員壓力。
8. 現行台電中央調度的曲面大螢幕(VPS)僅顯示 161kV 以上電網、重點電廠發電量及區域傳輸限制等資訊，隨著台電系統日益龐大，新加入變電所、線路、電廠等設備逐步增多，VPS 電網圖非常密集，已不容易判讀輸電線路即時狀態，可供值班人員參考性降低。未來可學習 ERCOT 利用 PI 引擎，將各項運轉指標、電源/電網/市場即時資訊(包含系統警報總表、電網分析與排程程式執行狀態、各區域電壓、市場價格、輔助服務資源監視、電網可靠度限制(GTC)、機組發電情況、天氣資訊及其他豐富資訊)，整合顯示在調度室大螢幕上，供值班人員和管理階層即時調度參考，也可將 PI 資訊分享給運轉規劃幕僚，加速決策和各類開發需求。
9. 目前台電雖已有 PLEXOS 最佳化競價機制產生之電源排程，惟受限於政治、環保、民意等特殊成本和電網限制，仍維持在調度員人工機組排程，即使調度效能和最終成本尚可接受，但以國外角度來看，典型發電成本勢必高於程式跑出來的結果。又因再生能源的出現，讓電力系統運轉模式變得多樣而複雜，以前調度員累積的經驗往往不再有用，抑或是讓中央調度體系過度依賴能力超強的調度員(具備人工 SCED 能力)。依

照程式排程調度可確保系統安全運轉，也可提供客觀數據佐證目前運轉行為符合最低發電成本，同時可降低值班人員的工作量及心理壓力，應持續排除萬難推動依照電腦排程及自動調度功能。

10. 再生能源的加入，使得傳統電力系統模擬最尖峰和最離峰情境的做法不敷使用，必須以電腦自動分析各種可能性，才能有較為完整的風險評估和規劃。強大的數位基礎建設是一切進步的基石，應團結 IT 部門力量加強資料治理、推動 EMS 更新、WAMS(含 PMU 建置)、CIM、精準的模型、共用的模型管理系統(NMMS)、SE(RTNET)、RTCA，並加強培養電網分析工程師自行開發 PSS/E 程式批次模擬的能力，以及引入其他系統分析模擬工具(如 PSCAD)、即時線上 TSAT/VAST，輔助系統運轉規劃及線上運轉安全。另一方面，除了熟悉工具操作之外，也須培養判讀模擬結果的能力，才能把事情做對。
11. 憑藉與電能管理系統(EMS)原廠多年的合作經驗，ERCOT 內部 IT 部門可取得部分 EMS 原始碼，開發各類應用程式套用在現行 EMS 上，同時也會與原廠共同分享開發成果，一同成長。考量本公司可能會有自行開發 EMS 工具的機會，未來可以與 EMS 廠商研商開放部分程式碼和修改的合作模式，互惠雙方。
12. 因電力系統數據和 EMS 傳統警報數量眾多，調度員難以隨時關注所有資訊，建議應重新調整警報條件，並比照 ERCOT 調度員看警報調度，使調度員得以將注意力集中於重點事件上。
13. 調度員應隨著系統和工具的變化重新調整工作內容，也應嘗試建立值班 SOP，同步調度員的作法和邏輯，也可避免失誤發生。
14. 為使新功能順利導入中央調度中心，並提供即時電力及資訊系統狀況排除服務，ERCOT 有編制值班工程師隨班輪值，由電力專業之工程師擔任。考量系統情況多變，十分需要即時電網狀況分析人力，未來亦將有許多因應再生能源而需要導入的工具和機制、電能管理系統(EMS)更新

需要推動，建議可增加此崗位，提升值班應變能力，也可縮短調度服務升級時間。

15. COVID-19 疫情期間，ERCOT 藉由提升網路及資訊基礎設施，使系統具備全公司同時遠端辦公的能力。疫情結束後，半數以上幕僚同仁一週仍居家辦公 3 天以上，並以視訊會議取代實體會議，縮短通勤時間及交通費開支，辦公效率並未出現影響。考量辦公空間限制、即時維護及異地合作需求，建議未來可提升資訊基礎建設至全公司可遠端辦公等級，並試辦同仁遠端辦公，使各部門可以跨空間合作，提升行政效率。
16. NERC 規定調度員必須接受 3 年 200 小時的再訓練，方可續照，ERCOT 則藉由每個輪值週期第一週(訓練週)辦理調度員辦理訓練，時數較本處目前調度員 OTS 訓練多。建議未來可視需求增加訓練時數或精進訓練方式(需與值班時間調整一併考量)，以利調度員接軌目前最新的規定、系統情境和調度輔助工具。針對系統運轉策略上，初步可先朝向每季安排上課，就當季季節氣候變換或負載型態不同下，進行策略講解及相關議題討論，同時值班人員可一併回饋運轉經驗，讓彼此實探討調度面臨困境及解決方向，各類訓練也應提供完整電子教材，供值班人員事前瀏覽及課後參閱，提升學習成效。
17. ERCOT 可以自行面試招募人力，確保順利進用可勝任業務的人才。由於再生能源增加，調度運轉需要的工具和功能不斷增加，系統逐漸變大，責任隨之增加，人力的需求也就不斷增加，特別是 IT(最大宗)及再生能源相關分析技術人員。近年來自從 2021 年冰風暴 Uri 發生後，ERCOT 變得極度忙碌，也會有來自長官和政府的壓力。2016 年 ERCOT 人力僅約 600 人 [5]，預計 2024 年底會超過 1000 人，不到 10 年增加近一倍，組織也不斷重新調整，並招募新的專業主管協助管理。目前台電電力調度處和系統規劃處人力僅約 240 人，如果台灣要和 ERCOT 具備相同技術和運轉能力，必須大量進用專業人才，管理制度也應配合革新。

捌、參考文獻

- [1] “Fundamentals of The Texas ERCOT Electric Power Market” , PGS Energy Training, 2023.
- [2] NERC, “ NERC Interconnections, ” [Online]. Available: <https://www.nerc.com/AboutNERC/keyplayers/PublishingImages/NERC%20Interconnections.pdf>. [Accessed 30 Jan 2024].
- [3] ERCOT, “ Fact Sheet, ” Jan 2024. [Online]. Available: https://www.ercot.com/files/docs/2022/02/08/ERCOT_Fact_Sheet.pdf. [Accessed 30 Jan 2024].
- [4] “Wholesale Markets 101,” ERCOT, 2023.
- [5] 祁培倫、蔡金助，「參加『電力市場基礎』課程及洽訪 ERCOT 電力調度中心及舊金山公用事業委員會出國報告」，台灣電力公司，2017。
- [6] “Grid Status” , 30 Jun 2023. [Online]. Available: <https://blog.gridstatus.io/ecrs-first-two-weeks/>. [Accessed 31 Jan 2024].
- [7] “Report on Existing and Potential Electric System Constraints and Needs,” ERCOT, 2022.
- [8] “Impact of Growth in Wind and Solar on Net Load,” ERCOT WMWG, 2021.
- [9] “ ERCOT Monthly Operations Report Reliability and Operations Subcommittee Meeting,” ERCOT , 2023.
- [10] Woody Rickerson, “A Control Room View of the ERCOT Grid,” ERCOT, 2016.
- [11] ERCOT, “ERCOT Control Room Video,” 27 Jun 2018. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=-KatQ9Q_IQk. [Accessed 31 Jan 2024].
- [12] “System Operator Certification Program Manual,” NERC, 2022.
- [13] Joel Koepke, “GridGeo Overview,” ERCOT, 2018.
- [14] “ERCOT Market Education-Resources and Real-Time Operations,” ERCOT, 2021.
- [15] “RELIABILITY PLAN For the ERCOT Reliability Coordinator Area,” Electric Reliability Council Of Texas Reliability Coordinator, 2023.
- [16] Joel Koepke, “From Historical to Actionable:ERCOT’s Changing Use of the OSisoft Ecosystem,” Electric Reliability Council of Texas, 2017.