

出國報告（出國類別：實習）

## 區域電力調度如何穩定再生能源供應

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：楊哲維 電機工程師

林雨璐 電機工程師

派赴國家：美國

出國期間：112年10月31日至112年11月9日

報告日期：113年1月9日

# 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：區域電力調度如何穩定再生能源供應

頁數 22 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司/翁玉靜/(02)23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

楊哲維/台灣電力公司/供電處/運轉分析專員/(02)23666603

林雨璐/台灣電力公司/供電處/策劃專員/(02)23666578

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會 6 其他

出國期間：112 年 10 月 31 日至 112 年 11 月 09 日

派赴國家/地區：美國

報告日期：113 年 01 月 09 日

關鍵詞：再生能源(Renewable Energy)、壅塞管理(Congestion Management)、調度人員訓練(Operation Training)、ISO(Independent System Operator)

內容摘要：（二百至三百字）

台灣 2050 淨零轉型目標的能源轉型策略為增加再生能源、天然氣及儲能，減少燃煤的使用，惟再生能源間歇性、不易預測性及同區域高密度再生能源併網對電網衝擊甚大。目前各國皆為達成 2050 淨零排放的目標，不斷增加再生能源發電比例，歐美國家在這方面有較豐富經驗，透過本次出國了解國外針對再生能源的預測及調度，並順便了解國外如何訓練調度人員因應大量再生能源進入系統。

本次前往美國三個 ISO(Independent System Operator)進行參訪，分別是 NYISO、ISO-NE 及 MISO，各 ISO 因各自系統的差異，針對再生能源調度及人員訓練皆有不同做法，相信可供本公司作為參考。

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

# 目錄

一、	出國目的.....	1
二、	參訪機構.....	2
	(一) NYISO.....	2
	(二) ISO-NE.....	9
	(三) MISO.....	15
三、	心得與建議.....	21
四、	出國期間所遭遇的困難與特殊事項.....	22
五、	參考文獻.....	22

# 圖目錄

圖 1 各 ISO 服務區域圖 .....	1
圖 2 NYISO 供電區域.....	3
圖 3 NYISO 各燃料別裝置容量配比.....	3
圖 4 NYISO 參訪合照.....	4
圖 5 NYISO 再生能源規劃.....	5
圖 6 NYISO 未來興建計畫.....	6
圖 7 NYISO 儲能預測裝置容量.....	7
圖 8 NYISO 調度台.....	8
圖 9 ISO-NE 服務區域.....	9
圖 10 ISO-NE 與附近機構聯絡線.....	10
圖 11 ISO-NE 參訪合照.....	11
圖 12 ISO-NE 未來能源組成架構.....	12
圖 13 ISO-NE 離岸風電開發示意圖.....	12
圖 14 ISO-NE EMS 架構圖.....	15
圖 15 MISO 服務區域.....	16
圖 16 MISO 各燃料別裝置容量配比.....	16
圖 17 MISO 參訪合照.....	17
圖 18 MISO LRZ 區域圖示.....	18
圖 19 MISO 風力與太陽能分佈圖.....	19
圖 20 MISO 調度台.....	20

## 一、出國目的

全球氣候變遷所造成的影響已受社會、企業及在地團體高度重視，諸多國家陸續提出「2050 淨零排放」的宣示與行動，如歐盟提出「碳邊境調整機制」、英國將淨零轉型視為「綠色工業革命」、日本訂定「2050 碳中和綠色成長戰略」、韓國頒布「碳中和基本法」等。而台灣總統亦於 2021 年 4 月 22 日世界地球日宣示此目標，於 2022 年 3 月發布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」，以落實淨零轉型目標。

台灣以十二項關鍵戰略作為 2050 淨零轉型，朝風電/光電、氫能、前瞻能源、電力系統與儲能、節能、碳捕捉利用及封存、運具電動化及無碳化、資源循環零廢棄、自然碳匯、淨零綠生活、綠色金融及公正轉型方向推動。規劃離岸風電於 2030 年累計裝置容量達 13.1GW；2050 年達 40~55GW，太陽光電 2030 年累計裝置容量達 30GW；2050 年達 40~80GW。面對大量風光電併入系統中，電力系統調度將面對巨大挑戰，故需前往美國了解先進國家的電網架構如何面對如此挑戰。

本處出國實習規劃拜訪中西部電力調度中心(Midcontinent Independent System Operator, MISO)、紐約電力調度中心(New York Independent System, NYISO)及新英格蘭電力調度中心(Independent System Operator New England, ISO-NE)，這些機構針對再生能源調度、再生能源發電量預測、線路壅塞處置、調度人員培訓皆有豐富的經驗及完整的規定值得台灣去探討及學習，美國各 ISO 服務區域圖如圖 1 所示。

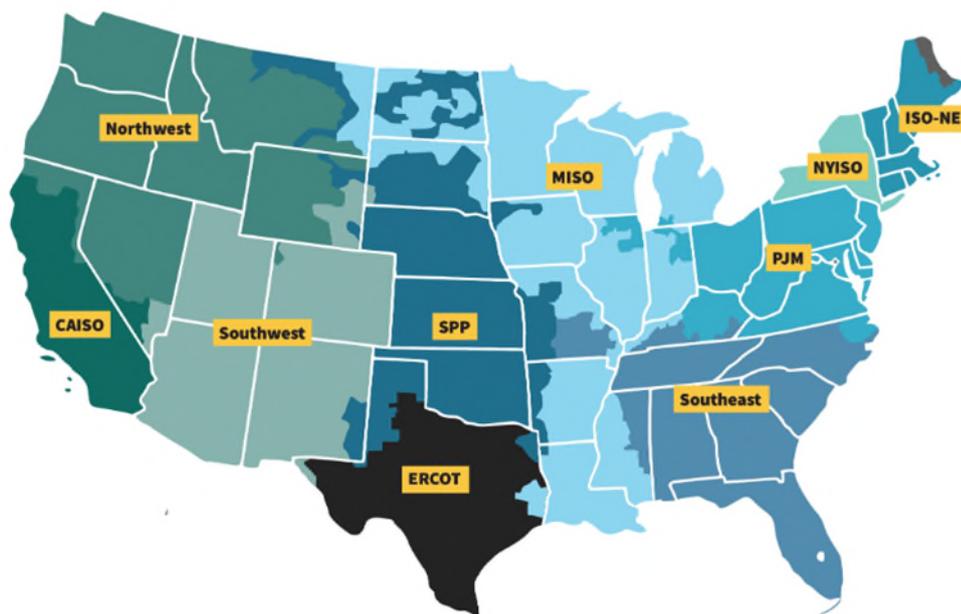


圖 1 各 ISO 服務區域圖

有關出國期程自 112 年 10 月 31 日起至 112 年 11 月 9 日止，前後共 10 天，詳細行程如 1 所示。

表 1 出國行程

日期	起訖地點	參訪行程
112.10.31	台北→紐約→奧本尼→倫斯勒	往程
112.11.01~112.11.02	倫斯勒	NYISO 電力調度中心
112.11.03	霍利奧克	ISO-NE 電力調度中心
112.11.04~112.11.05	紐約→卡梅爾	往程
112.11.06~112.11.07	卡梅爾	MISO 電力調度中心
112.11.07~112.11.09	卡梅爾→芝加哥→台北	返程

## 二、參訪機構

### (一)NYISO

#### 1. 機構簡介

NYISO 為目前北美 9 家電力調度中心之一，於 1999 年 12 月 1 日正式成立，其前身為紐約電力池(New York Power Pool, NYPP)，係因 1965 年 11 月 9 日發生第一次美加東北大停電後，美國聯邦電力局(Federal Power Commission, FPC)於 1967 年呈報美國詹森總統的大停電事故調查報告中，為避免大停電再發生，建議成立區域性可靠度協調機構，1968 年美國 12 個區域組織合組成立國家電力可靠度理事會(National Electric Reliability Council NERC, NERC，至今演變為北美電力可靠度公司)，其中之一的東北電力協調理事會(Northeast Power Coordinating Council, NPCC)係由紐約州、新英格蘭地區及加拿大安大略省電業所組成；而紐約州內的七大民營電業則在大停電次年 1966 年 7 月 21 日就簽屬協定成立紐約電力池(NYPP)。NYISO 服務範圍為全紐約州，共分為 11 個供電區域(如圖 2)，系統裝置容量約為 37,178MW，NYISO 能源組成架構如圖 3 所示，以火力機組為大宗，2022 尖峰負載約為 30,505MW。

### NY Load Zones

- A- West
- B- Genesee
- C- Central
- D- North
- E- Mohawk Valley
- F- Capital
- G- Hudson Valley
- H- Millwood
- I- Dunwoodie
- J- NYC
- K- Long Island

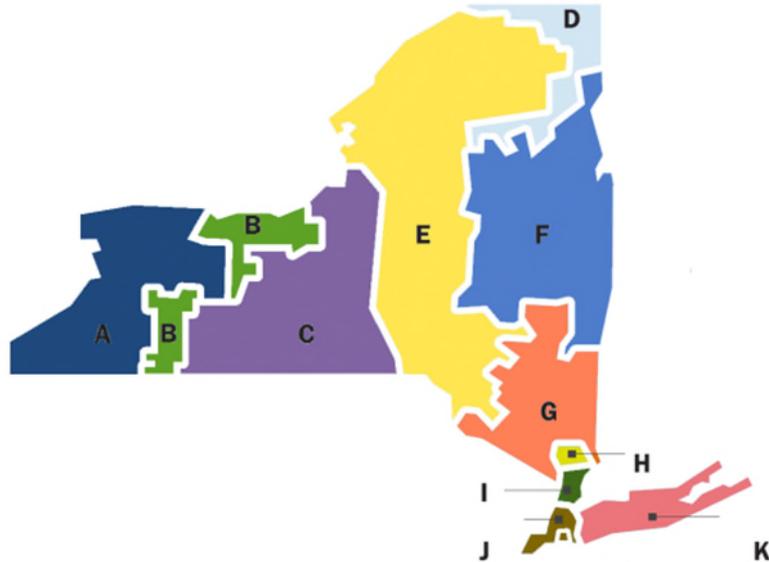


圖 2 NYISO 供電區域

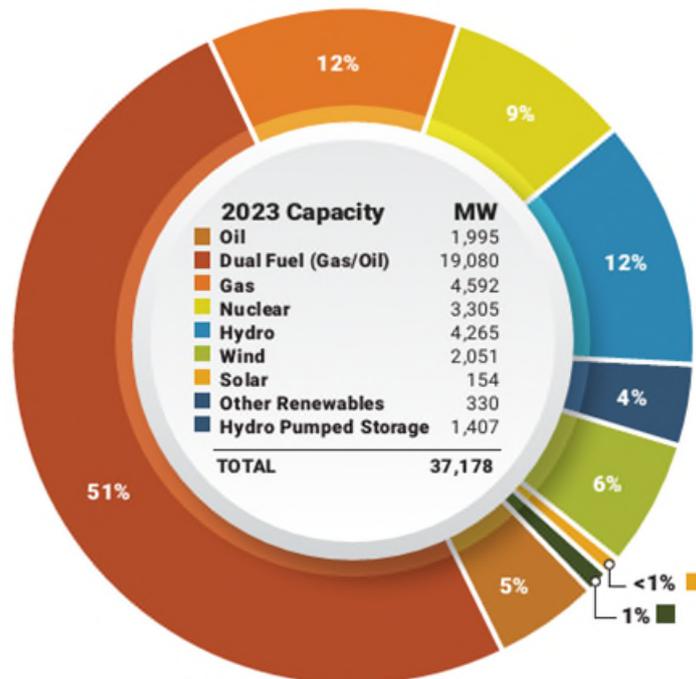


圖 3 NYISO 各燃料別裝置容量配比

NYISO 由 10 名成員組成的獨立董事會管理，董事會成員具有電力系統、金融、資訊科技、通訊和公共服務領域的背景。NYISO 不隸屬於任何市場參與者或政府單位。董事會成員以及所有員工與任何市場參與者沒有業務、財務、營運或其他直接關係。NYISO 不擁有任何發電廠或輸電線路。

NYISO 讓相關利益者參與強大且透明的共享治理流程，該流程涉及各種利益相關方的代表，包括輸電所有者、發電機所有者、公共當局和市政公用事業、大型和小型消費者以及環境倡導者。透過與利害關係人的公開參與和建立共識，制定了針對

NYISO 批發電力市場、系統規劃和電網營運的規則和程序。

本次參訪 NYISO 係由 Hitachi 公司的 Mohit Saigal(VP, Business Development)協助安排，2023 年 11 月 1 日~2023 年 11 月 2 日參訪期間與 NYISO 的 Jon Sawyer (Director, Grid Operations)、Yachi Lin (Director, System Planning)、Nathaniel Gilbraith (Manager, Energy Market Design)、Matthew Musto (Technical Specialist, Market Solution Engineering)等人進行相關議題的討論，並就輸電系統再生能源壅塞問題及調度人員訓練進行意見交換。



圖 4 NYISO 參訪合照

## 2. 再生能源調度策略及壅塞處理

美國聯邦電力事業(Federal Energy Regulatory Commission, FERC)提出一種使用權 FTR(Firm Transmission Rights), 指區域電價由電力市場決定，並獲准 FTR 持有人權利去收取或支付特定接點的電力流入流出的「過路費」。

利用 FTR 相似的概念，在 NYISO 的電力市場中，TCC(Transmission Congestion Contract) 被視為一種電力市場的買賣商品，用於在指定的時間區間內支付或收取兩個地點批發電價之間的價差，TCC 持有者需要承擔線路壅塞而增加成本的風險，但同時亦會獲得補償金，因此在 NYISO 系統中 TCC 權衡了電能買賣家雙方之間的輸電費用的波動，將輸電費用維持在固定價格，如此一來也利用市場原則，以調解電力潮流以解決線路壅塞的問題。

在本次訪談會議中也提到面臨大量再生能源併網相關議題，目前 NYISO 系統中太陽光電發電量達 154G，且目標於 2040 年達成 100%淨零碳排；基於系統穩定考量，對於風力發電業者的案場，NYISO 擁有操作權，且從再生能源預測系統資料(在 NYISO 的風電預測通常由第三方執行，太陽能預測系統則使用內部預測系統 METRIX)，設定操作風場可運轉的閥值(Operating Set Point)，倘再生能源業者超載或無法提供預期的發電量將被處以罰金，利用罰金督促發電業者依照電力市場買賣契約配合調度運轉，倘若發生緊急狀況則 NYISO 也有操作權直接將再生能源案場切離系統，以確保電力系統穩定運轉。

在討論會議中，NYISO 提到於因應長島外圍規劃大量離岸風機併網，未來將達 3000MW 的風電經匯集於長島經由紐約市及其他區域，如此大規模的電能由同一節點匯入須要更大的輸電容量，並由紐約州公共服務委員會(New York State Public Service Commission, NYPSC)提出精進電網的公共投資政策，再由 NYISO 徵求提案並評估其可行性，選擇更有效或更具成本效益的電網精進方案，為來將提供從離岸風電項目輸送至少 3,000 MW 的輸電能力，進一步推動紐約州更接近 2035 年離岸風電 9,000 MW 的願景。

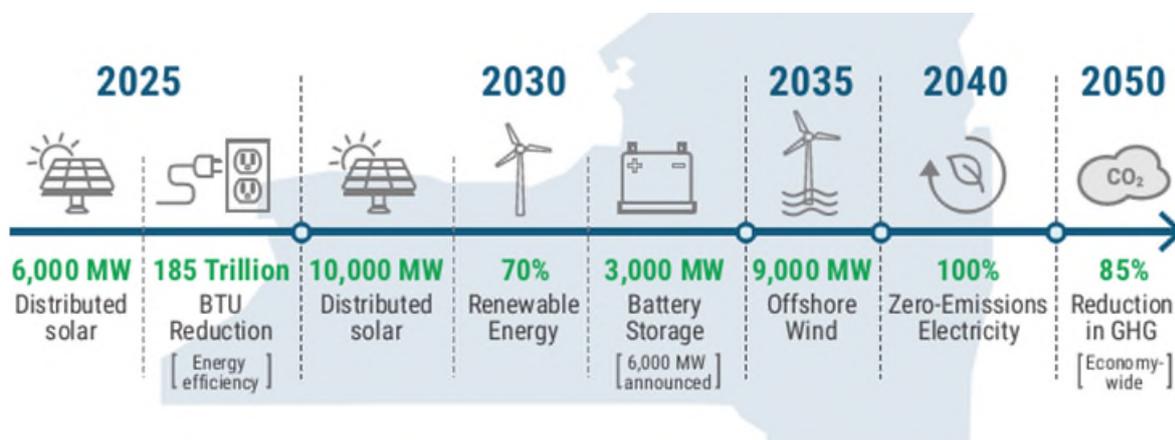


圖 5 NYISO 再生能源規劃

民眾使用越來越多的電動車及電熱器，NYISO 預測負載將在 2050 時超過 70,000MW，且 NYISO 負載重心為紐約市及長島地區，屬轄區最南端，為此 NYISO 將開發更多電能進入系統。多數 NYISO 水力電廠、陸域風機及火力發電機分布在轄區北區及中區，需透過大量輸電線路運送至負載中心。為此 NYISO 規劃請當地輸電公司興建大量輸電線路，在系統不壅塞及故障電流不超標得情況下將電能送入負載中心。

NYISO 未來興建計畫如圖 6 所示，除此之外，NYISO 也同步在規劃將長島外圍規劃大量離岸風機併網。上述規劃方向也值得台灣參考。

參訪期間與 NYISO 分享目前台灣再生能源併網情形及現階段遇到困境，並詢問他們針對台灣系統的一些建議。NYISO 提了下列幾點建議：

- (1) 於高密度再生能源併網且造成壅塞之地區，限制再生能源發電量，或興建多條輸電線路。
- (2) 於再生能源併網熱區裝設儲能裝置，將可能造成系統壅塞的電能以電池形式儲存，達到削峰填谷。
- (3) 建立完整電力市場，用價格抑制再生能源發電量及用戶用電情形，將系統壅塞所可能造成之成本轉移給消費者及業者。

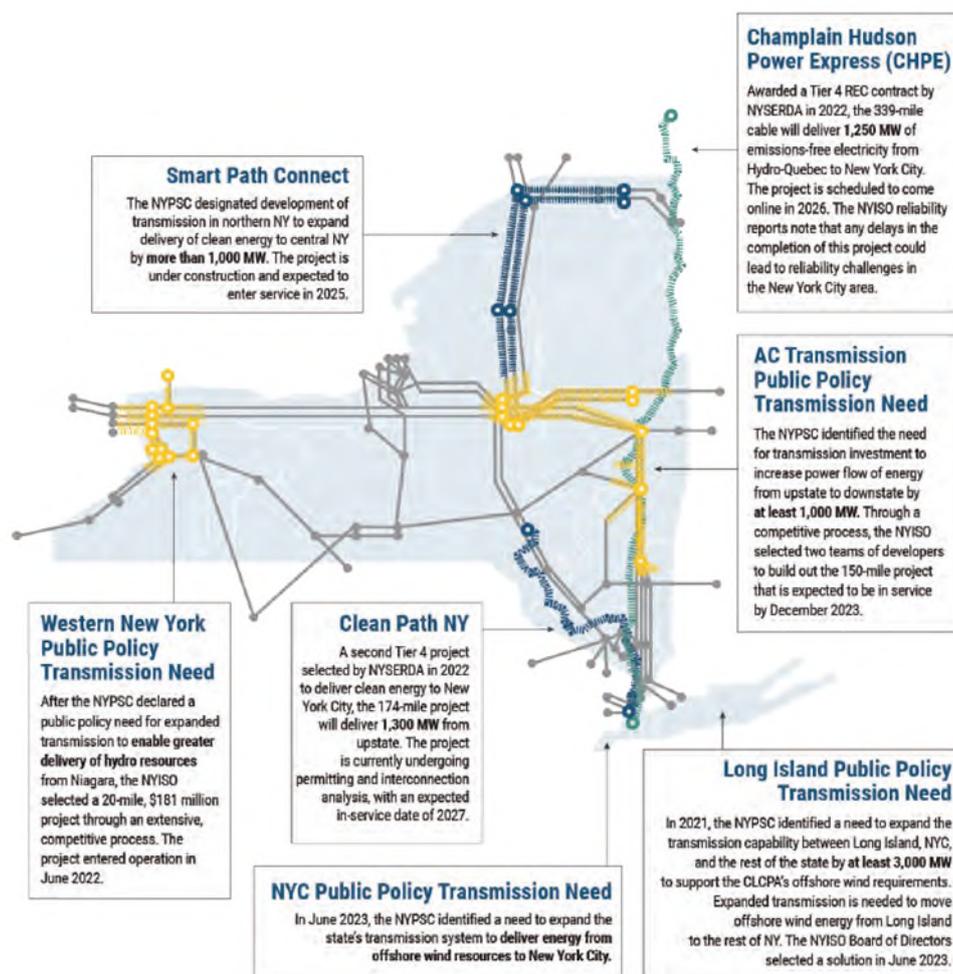


圖 6 NYISO 未來興建計畫

### 3. 儲能調控應用

本次參訪恰巧有討論儲能調控相關議題，NYISO 預計有將近 1,500MW 的儲能於

2030 年加入系統，但 NYISO 也說這些不包含錶後的儲能，錶後的儲能可能達到 3,000MW。NYISO 樂觀看待這些錶後的儲能，希望能在尖峰期間進行支援。與 NYISO 討論時，得知儲能常與再生能源結合，除了已知 Hybrid 方式結合再生能源外，近期還有 Co-location 之儲能，主要為兩個資源共同一個併接點，但可分開投標參與市場，因為在美國要尋找併接點困難，程序冗長，費用昂貴，用 Co-location 之方式較容易進入市場，且目前州政府對於 Co-location 之政策有補助、稅率優惠。針對儲能之調控規劃整理如下：

- (1) 若儲能為市場參與者自行管理之參與方式(Self-manage)，NYISO 會避免調度此類參與方式之儲能，避免實際儲能 SOC 與規劃不符。
- (2) 若可於即時調度使用，則不會忽略儲能之初始 SOC，會將其納入考慮，產生在一個具約束性時間範圍(time interval)的排程。
- (3) 若需被安排 Operating Reserves，儲存資源的初始 SOC 將被用來確保該資源在轉換為電能後能夠持續一小時。
- (4) 同上，因儲能 SOC 不足之 LESRs (Limited Energy Storage Resources)則不會被使用在事故時 reserve pickups 模式調度，也不用於 max gen pickups 模式，AGC 控制訊號會發送 0MW 給 LESRs。

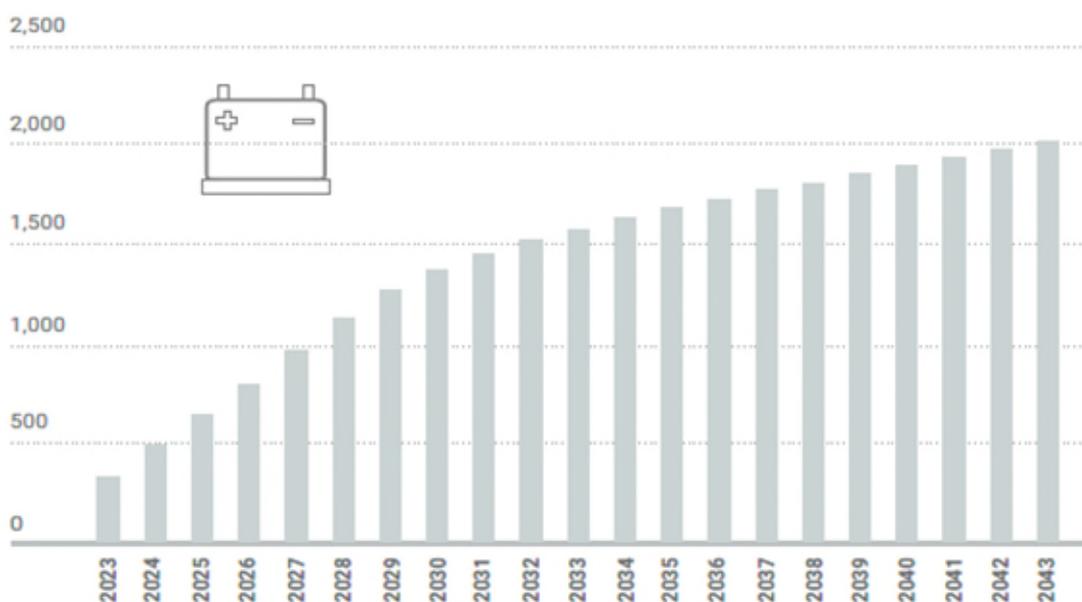


圖 7 NYISO 儲能預測裝置容量

#### 4. 調度人員訓練

在本次的參訪行程中，有幸參觀到 NYISO 調度員的模擬訓練場地及調度台(如圖 8 所示，照片取自 NYISO 網站)，調度員依不同分工以小組形式進行訓練，每位調度員皆須要擁有調度台上每一種職位(如負載預測、電廠操作、電網操作、電力交易等)的技能。訓練場地內每台電腦皆安裝模擬訓練系統，並可同步執行模擬訓練，訓練系統可直接讀取 EMS 資料，讓模擬環境更接近現實。取得調度員資格同時要符合有約 120 小時訓練時數(線上課程+調度台模擬訓練)以及考取相關證照，因此台電公司供電系統之調度人員資格管理方式與 NYISO 相差不大，皆有回訓及考照機制，只是本處較無人力每年辦理 120 小時訓練，如需比照 NYISO 訓練模式，需要增加專職人員。



圖 8 NYISO 調度台

NYISO 訓練系統也是屬 EMS 系統的功能之一，訓練系統可直接讀取 EMS 資料，將現有系統複製進入模擬系統，讓模擬環境更接近現實。據 NYISO 表示，訓練系統的電力潮流、故障電流及暫態分析是由 PSS/E 和 Power World 進行模擬。訓練系統可以將歷史情境像是轄區全黑啟動、變電所全停等重現，讓調度人員訓練時更深入其境。NYISO 有幾位專人專責處理這些訓練教材及訓練題目。訓練題目包含下列項目：

- (1) 點檢停復電操作
- (2) 電網事故之應變
- (3) 發電機事故之應變
- (4) 系統全黑啟動

- (5) 電力市場交易
- (6) 與鄰近系統合聯操作
- (7) 系統壅塞排除

## (二)ISO-NE

### 1. 機構簡介

ISO-NE 是一家獨立的非營利區域傳輸組織(Regional Transmission Organization, RTO)，總部位於麻薩諸塞州霍利奧克(Holyoke, Massachusetts)，為康乃狄克州(Connecticut)、緬因州(Maine)、麻薩諸塞州(Massachusetts)、新罕布夏州(New Hampshire)、羅德島州(Rhode Island)及佛蒙特州(Vermont)提供服務。ISO-NE 監督著新英格蘭發電機構和輸電線路的運營，維持新英格蘭地區供電穩定，如轄區內有任何狀況也可透過與鄰近機構的聯絡線接受支援，包括魁北克水電公司(Hydro-Québec)、新不倫瑞克省電力公司(New Brunswick Electric Power Corporation)……等。

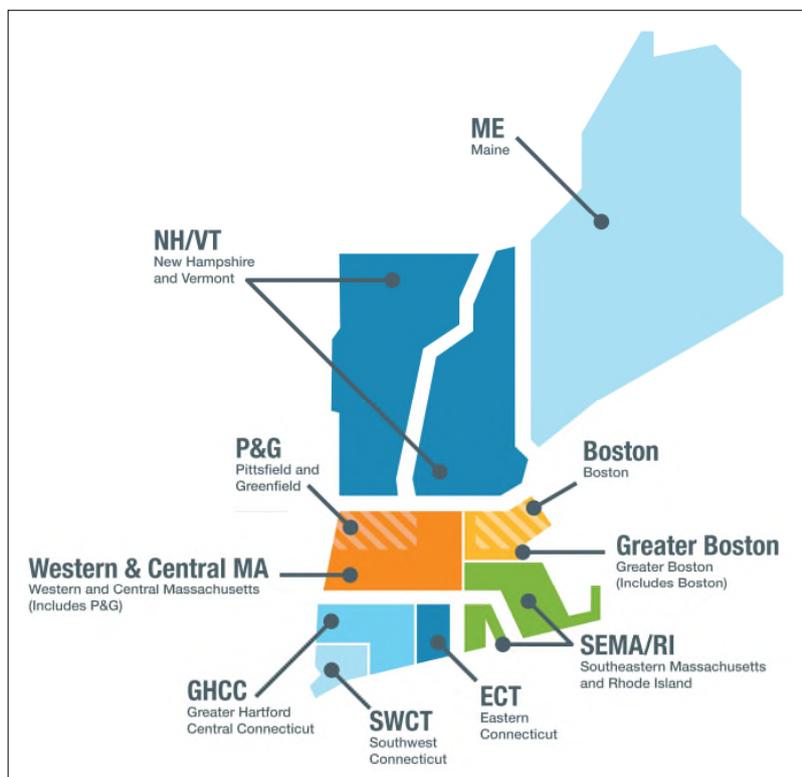


圖 9 ISO-NE 服務區域

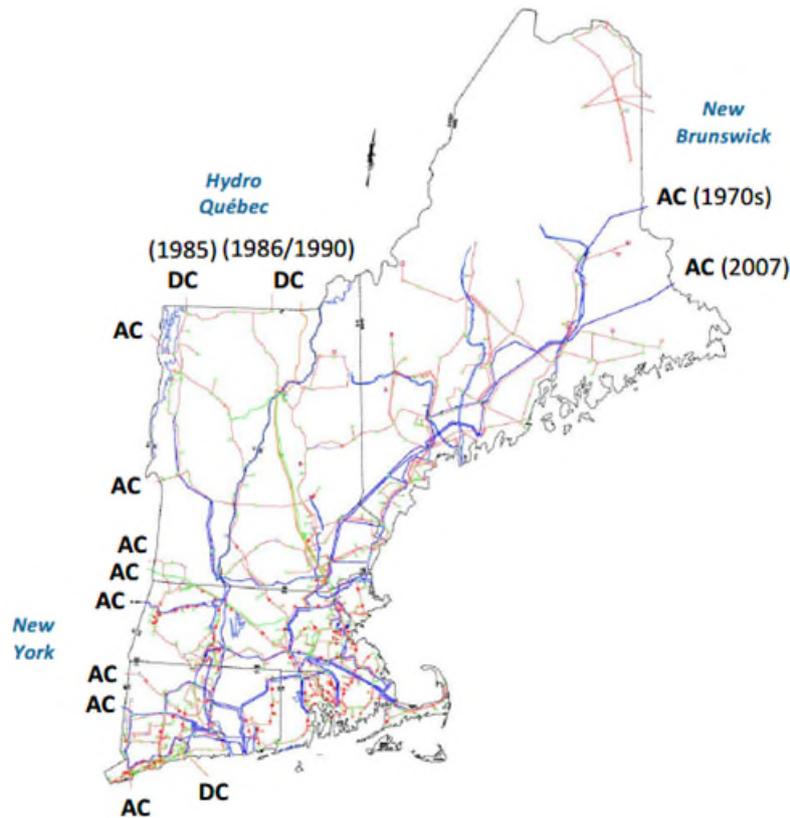


圖 10 ISO-NE 與附近機構聯絡線

ISO-NE 和台灣一樣，為夏季尖峰系統，其負載最大值發生在 2004 年 8 月 2 日，尖峰為 28,130 MW。ISO-NE 擁有 350 個可調度發電機，共計 31,500MW 的裝置容量，但有 5,200 MW 的發電機將在近幾年除役，且轄區內電動車使用量及冷氣裝設量每年持續增加，負載將持續成長，為解決轄區電力供需問題，ISO-NE 正在積極尋找新能源及興建更多輸電線路。

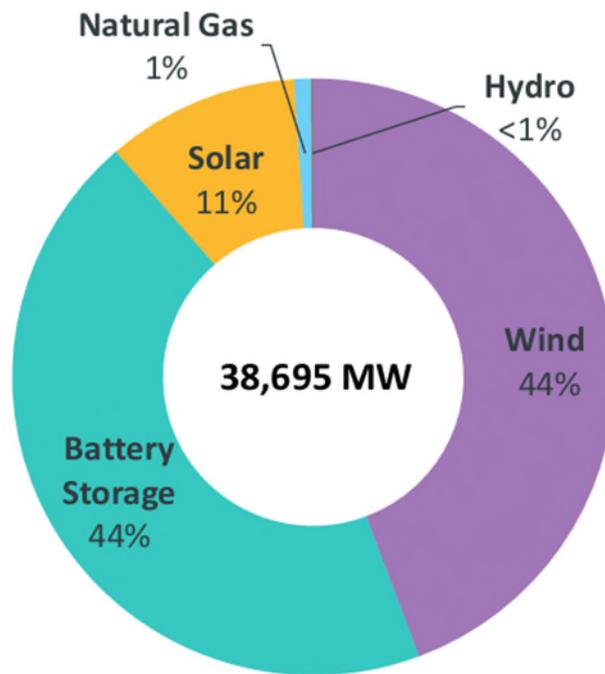
本次參訪 ISO-NE 係由 GE 公司的 Kwok Cheung 博士 (Director, Global Market Management Solution)及 Boon Keng Neo(Senior Sales Director)協助安排，2023 年 11 月 3 日參訪期間與 ISO-NE 的 Melissa Winne (State Policy Advisor)、Marissa Ribeiro Dahan(State Policy Advisor)等人進行相關議題的討論，並就輸電系統再生能源壅塞問題及調度人員訓練進行意見交換。



圖 11 ISO-NE 參訪合照

## 2. 再生能源調度策略及壅塞處理

全球目前共同朝向 2050 淨零排放的目標，不論是國家或企業都面臨必須更積極減碳的壓力，為達目標，ISO-NE 也加速再生能源開發，以降低碳排放，為此 ISO-NE 修正了未來能源組成架構，將風力發電及儲能占比各提高至 44%。ISO-NE 計劃增加 15,000MW 再生能源發電進入系統，其中包含大量離岸風電。為解決大量離岸風電進入系統造成區域線路壅塞，ISO-NE 也計劃請當地輸電公司新建大量輸電線路，將離岸風電直接送入轄區負載中心，解決因過度密集再生能源併網所造成的線路壅塞問題，也實現綠電直送。



September 2023

圖 12 ISO-NE 未來能源組成架構

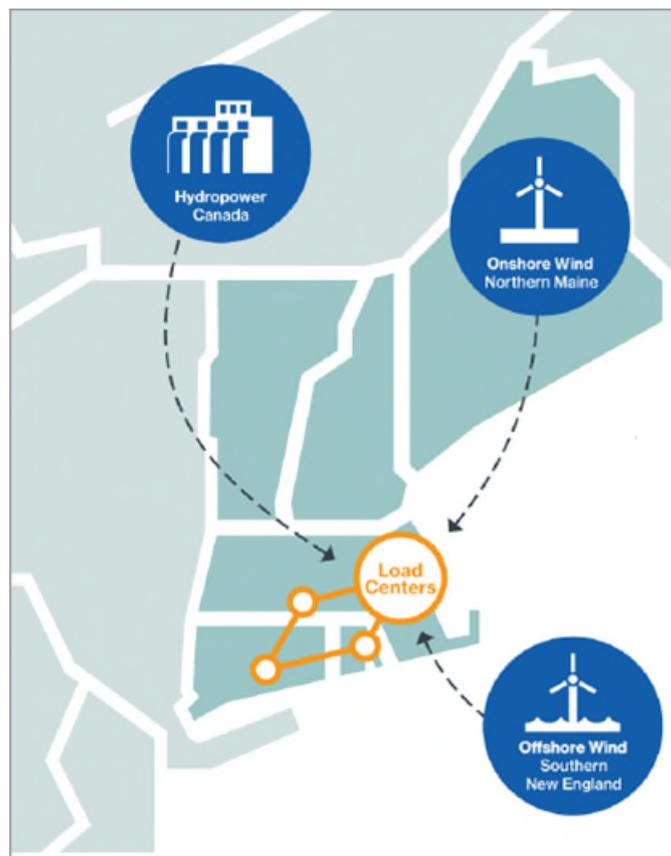


圖 13 ISO-NE 離岸風電開發示意圖

由於美國電力市場已經開放，潮流壅塞的成本會反映到用戶所付出的費用，換句話說，壅塞區域的用戶需要付出更高額的費用給提供給該區域的發電業者。

市場的參與者可以選擇購買 Financial Transmission Rights (FTR)，作為一種金融及

避險的工具，FTR 能補助市場參與者獲得 ISO 收取到的超額「壅塞收入」(每年或每月)。「壅塞收入」來自 ISO 購買到最便宜的電力與由於系統壅塞而用戶必須付出更昂貴的電力之間的價差。

因此為了避免系統發生壅塞，ISO-NE 事先進行負載預測需求並制定電力市場規則，並選擇成本最低的電源，但同時也需要符合輸電系統上任何限制；這可能意味著位於重載地區（例如都會區）附近的發電機或電源可以排程在某一天發電，即使它不是成本最低的資源。

ISO-NE 的再生能源以風電為主(約 4 成)，其中又以離岸風力發電為主要來源，因此與台灣電力系統一樣的情況，許多再生能源集中在人口稀疏及離岸區域。平常再生能源售電業者須符合市場規則，並聽從 ISO-NE 調度，然當發生不可控的線路壅塞事件時，ISO-NE 將指令再生能源業者進行降載，如再生能源業者的系統控制失能暫時無法降載或者不配合進行降載時，ISO-NE 有權將造成系統壅塞之再生能源直接切離系統，以保護電力系統穩定為最大宗旨。

為有效管理轄區內再生能源發電情形，ISO-NE 會委託第三方公司針對轄區內風力發電進行預測。據 ISO-NE 人員表示，第三方公司有每支風力發電經緯度、風機高度、風機型號、裝置容量等資訊，再依據每個地點的天氣資訊(風速)來進行發電量預測。依據預測結果進行系統模擬，檢視是否會有線路壅塞及超載情形。如有前述情形，ISO-NE 會限制風力發電量，並給其一個限制值，發電量超過限制值時，ISO-NE 有權將其切離系統。

參訪期間也與 ISO-NE 分享目前台灣再生能源併網情形及現階段遇到困境，並詢問他們針對台灣系統的一些建議。ISO-NE 提了下列幾點建議：

- (1) 於大量再生能源併網且造成壅塞之地區，限制再生能源發電量，必要時將再生能源切離系統以維系統安全。
- (2) 於再生能源併網熱區裝設儲能裝置，將可能造成系統壅塞的電能以電池形式儲存，達到削峰填谷。
- (3) 興建多條輸電線路，將大量再生能源直接送入負載中心像是新竹科學園區等。
- (4) 建立能源管理系統 EMS 系統及完善的再生能源發電預測系統，提早預測系

統狀況並請值班人員預為準備。

### 3. 調度人員訓練

ISO-NE 依不同職位分工，並要求調度人員需學習所有的技能並能擔任所有分工的腳色，將調度人員人分為 6 組，每組會接受 3 組循環的訓練，每組循環訓練需約 1 周的時間，總計下來每位調度員於每年受訓時間約 120 小時。

在 ISO-NE 共有 4 套獨立的能源管理系統(又稱 EMS，由 GE 建構)，且互相可以支援備援，實體上 2 處調度中心設備並各自位於不同廠址，每處調度中心由 2 套 EMS 同步運作，若其中一套 EMS 失能時，另外任何一套 EMS 可支援備援。透過能源管理系統整合能源管理、電力調度、人員訓練等子系統，包含子系統如下:

- (1) 模擬訓練系統(又稱 TTES-DTS)，計 3 套
- (2) 開發軟體(Development)，計 2 套
- (3) 調整系統(Modification)，計 2 套
- (4) 備援與服務系統(prof service)，計 4 套
- (5) 市場管理系統(MMS)

ISO-NE 有一組 4 人團隊專門在為調度人員設計訓練題目，設計訓練教材，他們使用 EMS 系統中的 Testing/Training Simulation Environment (TTSE)及 Dispatcher Training System (DTS)，訓練系統會將現有系統狀態複製進來，或者可以重現特定時間系統狀態。訓練包含以下內容：

- (1) 點檢停復電操作
- (2) 電網事故之應變
- (3) 發電機事故之應變
- (4) 系統全黑啟動
- (5) 系統壅塞處置
- (6) 電源不足時之卸載操作

在建置 EMS 前，ISO-NE 的訓練團隊是使用 PSS/E 及 Power World 建置訓練模型供值班人員訓練用，但詳細建置情形因年代久遠無法取得詳細資訊。

## PowerWorld EMS Integration

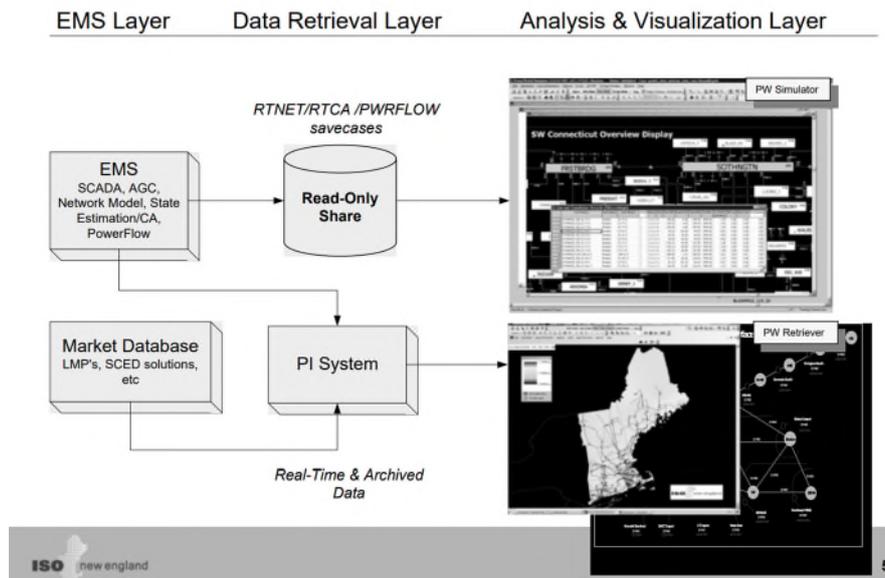


圖 14 ISO-NE EMS 架構圖

### (三)MISO

#### 1. 機構簡介

Midcontinent Independent System Operator (簡稱 MISO), 於 1996 年建立雛形, 於 2001 年 12 月 20 日成為美國第一個獲得 FERC 批准的區域輸電組織(RTO)。2002 年聯邦能源管制委員會(FERC)接受 MISO 的開放併網輸電費率 (Open Access Transmission Tariff, OATT), MISO 能夠開始提供區域傳輸(代輸)服務。2005 年 MISO 建立電力市場, 並開始管理金融輸電權交易市場。2009 年 MISO 推出輔助服務市場, 同時成為該地區的平衡管制機構, 對發電資源進行區域平衡的調度指揮。2013 年 MISO 將其區域擴展到阿肯色州、密西西比州、路易斯安那州和德克薩斯州這四個區域, MISO 的” M” 也由一前的 Midwest 改成 Midcontinent。

MISO 轄區範圍包含美國 15 個州(阿肯色州、伊利諾州、印第安納州、愛荷華州、肯塔基州、路易斯安那州、密西根州、明尼蘇達州、密西西比州、密蘇裡州、蒙大拿州、北達科他州、南達科他州、德州、威斯康辛州)和加拿大曼尼托巴省, 如圖 15 所示, 輸電線路達 75,000 英里。系統用戶人口數有 4,500 萬, 機組裝置容量約為 190GW, 由 6,800 台機組組成, 各燃料別裝置容量配比如圖 16 所示。歷史尖峰負載為 127.1GW, 發生在 2011 年 7 月 20 日, 風力歷史最高發電量為 2022 年 11 月 30 日 24.1GW, 太陽

光電歷史最高發電量發生在 2023 年 8 月 16 日 3.1GW。



圖 15 MISO 服務區域

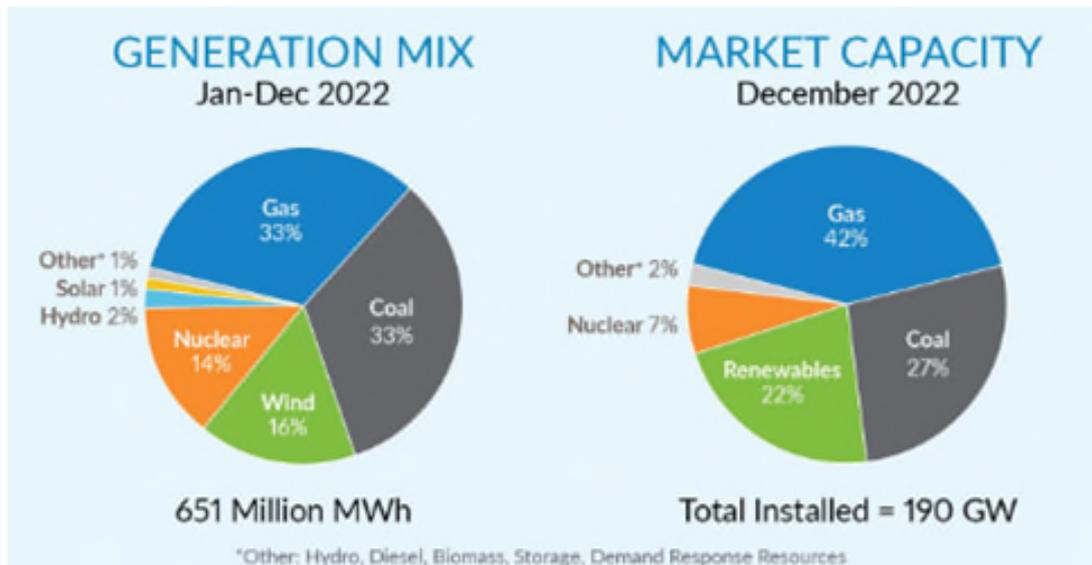


圖 16 MISO 各燃料別裝置容量配比

本次參訪 MISO 也是由 GE 公司的 Kwok Cheung 博士及 Boon Keng Neo 協助安排，2023 年 11 月 6 日至 2023 年 11 月 7 日參訪期間，由 MISO 的 Ted Vatnsdal (Executive Director, Strategic Planning Strategy Business Development) 所率領的團隊進行相關議題的討論，Ted 也請 MISO 各個領域專業人員給我們講解 MISO 的做法及機制。



圖 17 MISO 參訪合照

## 2. 再生能源調度策略及壅塞處理

北美電力可靠度管理處(North American Electric Reliability Corporation, NERC) 規定每個地區、區域或跨州間聯合設立可靠性協調者(Reliability Coordinator)，可靠性協調者負責可靠度評估和緊急應變措施，並協調各地區間的平衡機構 (Balancing Authorities, BA) 和電力調度中心(Transmission Operators)，並進行電力買賣交易。而在 MISO 系統中 BA 又可細分為數個區域平衡機構(Local Balance Authority, LBA)負責整合轄區內各類電源，並維持轄區範圍內供需平衡，以及維持 LBA 間電網的頻率。由於 MISO 系統範圍橫跨 15 個州，相較美國其他電力公司的規模大上許多，在 MISO 電力系統之下以地理區域切分為 9 個(Local resource zone, LRZ)，其中由數個 LBA 參與電力市場及維持電網穩定。

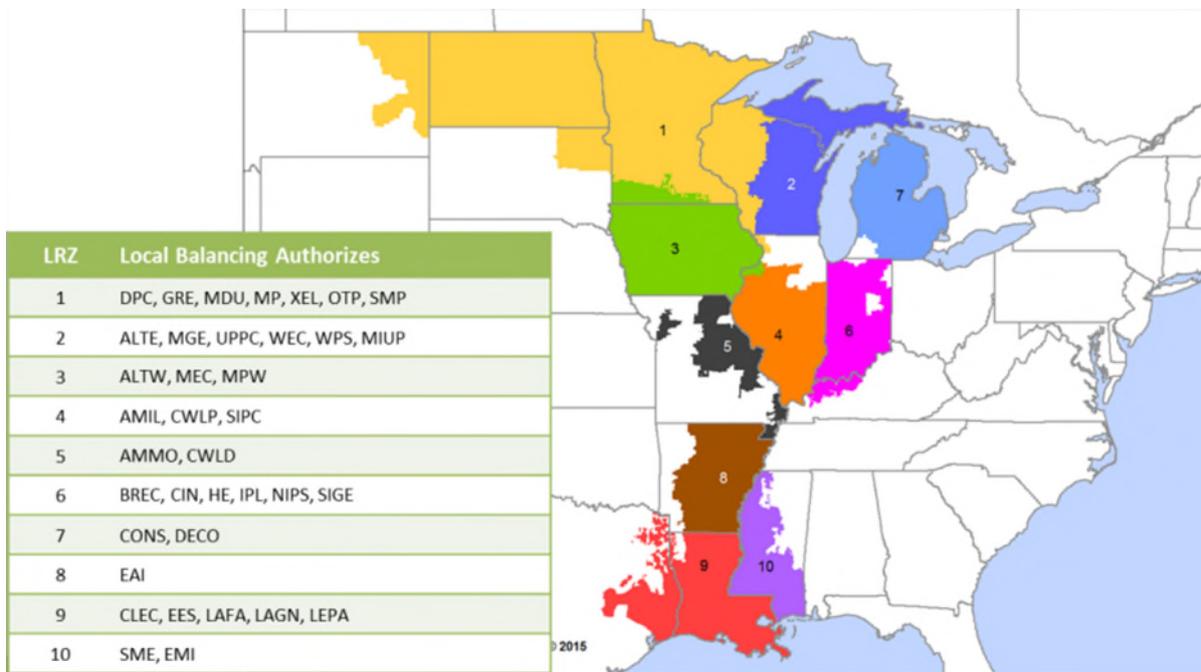


圖 18 MISO LRZ 區域圖示

在 MISO 系統，發輸配公司不見得分家，因此電力市場組成相較其他 ISO 較為複雜，而 MISO 作為可靠性協調者 BA 的角色，協調電力調度中心與 LBA，以維持整體電力系統的可靠運轉，因此 MISO 面臨系統壅塞時，同時要達成穩定運轉與經濟考量 2 大目標。

區域邊際價格(Local Marginal Price, LMP)考量設備的物理和操作特性，以及能源、線損與壅塞等限制條件下，反映在電網上的特定節點市場價格。以實際案例來說，目前 MISO 再生能源中，風力發電佔比達 26GW，且接近 80%再生能源集中於 MISO 區域的北端(如圖 19)，目前因此該區域電網也面臨莫大的挑戰，除了提升電網韌性的頭資計畫外，目前 MISO 也從電力交易市場中利用區域邊際價格(LMP)解決線路壅塞的問題，實際做法如下，再生能源發電過多導致壅塞時，會降低該地區用戶電費以鼓勵該地區增加用電進而增加負載，並要求發電業者如需發電就必須付錢給 MISO 進而降低發電量。

MISO 鼓勵風電業者自行提供風力預測，因此並未強制要求他們提供即時氣象資料，只是要求他們遞交即時 SCADA 發電數據。MISO 也另外委託預測服務單位進行風力發電預測，用於檢查風電業者預測值是否合理，是否超過其裝置容量，若結果不合理，則將改以 MISO 的預測結果替代，但大多數情況仍是以風電業者所提供資料為主。風場於註冊時需要提供所在位置的經緯度、風機高度、風機型號、裝置容量等資

訊，MISO 的預測服務單位會購買氣象資料並著手進行預測。MISO 會透過網路方式把每分鐘的風力發電出力傳給預測服務單位，風機的檢修計畫以及「調度減少發電訊號」也傳給預測服務單位，預測服務單位利用這些資訊進行風力發電預測。MISO 人員建議風力發電預測不要使用歷史資料推估，使用氣象資訊預測會更佳準確。

MISO 在再生能源發展初期也無法控制轄區內風力發電出力，在各界努力下，轄區大部分風電都變成可調控資源。如轄區有壅塞情形發生，MISO 會給風電業者一個限制值，風場也會經由調整各風機葉片角度，進而調整發電量，因此被稱為 DIR (Dispatchable Intermittent Resources)。

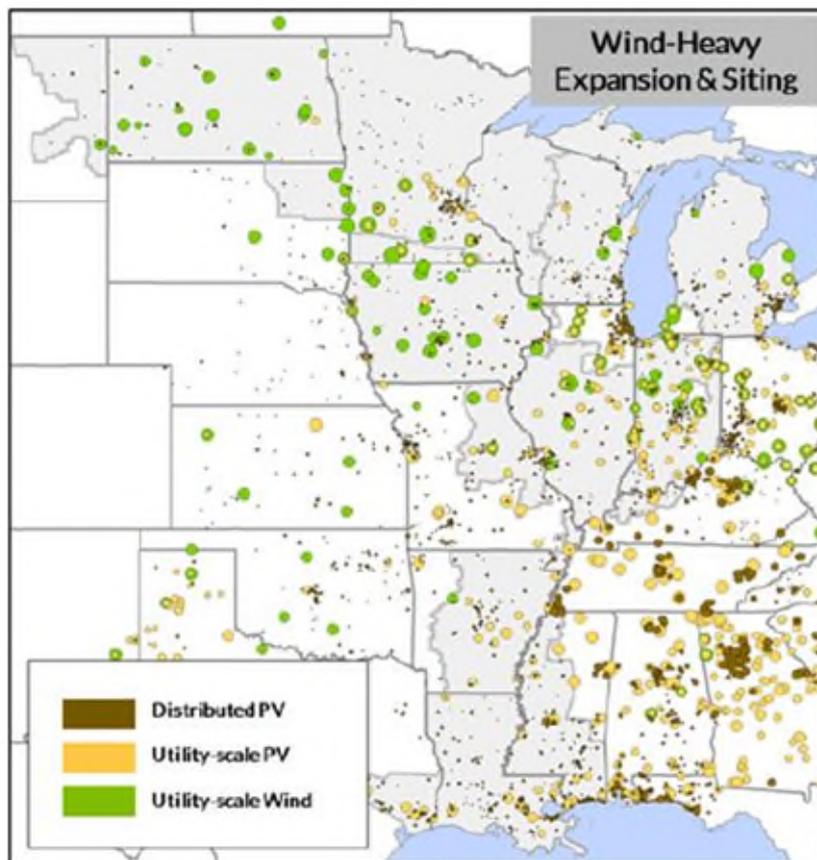


圖 19 MISO 風力與太陽能分佈圖

在討論會議中曾提到因應大量再生能源加入系統，興建更多輸電線路將再生能源送入負載中心是最直接的方式，但 MISO 提出另一個可行的想法，利用儲能系統解決線路壅塞，替代新建輸電線路這類需要較多資源投資的方案。對於台電公司而言是一個新的概念。

另外為了維持輸電網路的電壓穩定，由電網公司評估維持區域內電壓所需之虛功量，發電業者或其他來源將虛功補償、電壓調控的行為作為一種市場服務，在電力市

場中買賣，並依規定用戶必須購買該服務；然而也發生發電業者為了節省成本將虛功補償需求較高之發電機退役，對系統可靠性產生負面影響，因此考慮未來尋找虛功補償的更節省成本的替代方案是 MISO 一大課題。目前台電沒有虛功補償的買賣服務，因此虛功補償或電壓調控都是由調度人員負責，未來機組退役且再生能源增加時，電壓調控將更為困難，如建立完善電力交易市場應該可以獲得緩解。

### 3. 調度人員訓練

本次 MISO 參訪並未安排調度台參觀或與調度培訓人員進行訪談(調度台照片取自 MISO 網站)，僅能透過網站了解 MISO 的訓練項目。MISO 的線上訓練課程有開放讓外部人員(例如：轄區發電業者、輸電公司員工、轄區用戶…等)參加，只需註冊帳號且 MISO 認可即可線上上課。裡面課程與調度員相關的如下列所示：

- (1) 夏季颶風襲擊之因應
- (2) 線路壅塞處置辦法
- (3) 極端氣候因應辦法
- (4) 全黑啟動



圖 20 MISO 調度台

### 三、心得與建議

本次參訪與電力調度處同仁及工研院人員一同前往，並感謝 Hitachi 及 GE 安排各個 ISO 的參訪行程。美國各 ISO 在再生能源調度運轉方面已非常成熟並持續在精進，且在調度人員訓練也很扎實，這些都是值得台電公司學習，就這次的實習所得資料及心得提出建議如下：

- (一) 目前台灣再生能源的大量併網，風電光電優先的情況下增加電力系統調度運轉的困難度，建議可仿照本次參訪 ISO 所使用之模式，在壅塞情況下給予再生能源一個限制發電量，如超過限制值則進行罰款或直接切離以維系統安全。
- (二) 再生能源業者可以將再生能源結合儲能設備一併建置，從再生能源業者端規劃訂定固定發電量，不僅可讓業者持續發電，更可舒緩調度的困難，達到穩定供電的目的。
- (三) 在再生能源熱區鼓勵其他業者或由本公司架設大容量、長時間放電的儲能設備，儲存再生能源多餘的發電量並於再生能源發電不足時作為基載放電，以達到削峰填谷的功效，降低調度運轉的困難，另儲能設備建置時間快速，是目前能較快速解決再生能源壅塞的方法。
- (四) 建立完整再生能源預測系統，預測當日及短期、中期的再生能源發電情形，讓調度人員預為準備。目前本公司是使用研究單位自行預測的資料，惟預測準度不佳。有關風力發電部分建議效仿 ISO-NE 及 MISO，增加風機高度與所在經緯度資訊，並依風機所在位置請相關團隊購買氣象資料進行預測，以提升風力發電預測準度。
- (五) 建立完善電力交易市場，以市場機制來調控再生能源發電量，將系統壅塞所可能造成之風險成本轉移給消費者及業者。另一好處是區域電壓調控也可透過
- (六) 各 ISO 皆有設置專職人員辦理調度人員訓練，建議本處也比照辦理，讓專職人員設計訓練情境及訓練題目，將訓練教材多元化。
- (七) 建議可參考美國 ISO 對外部人員開放參與調度人員之教育訓練，達到兼顧未來電業自由化之下維持各家發、輸、配公司之調度人員素質，亦能作為台電公司多元化發展的商品，推動公司永續發展亦能促進電網操作穩定安全。
- (八) 建議輸電系統儘速建置 EMS 系統，將監控再生能源發電、再生能源發電預測、調度員訓練等功能納入。

#### 四、出國期間所遭遇的困難與特殊事項

- (一) 日支費主要依各大型都市訂定補助的金額，惟本次參訪區域其中位於紐約州郊區都市，日支費只能領「其他」區域的數額，但當地消費水準還是相對高昂，使得參訪行程略顯入不敷出。
- (二) 各國物價在新冠疫情後皆成長不少，本次參訪僅能透過入住廉價旅館及餐餐速食來節省開支，盼能增加日支費或其他補助款，讓出國參訪人員獲得舒適休息環境及良好的飲食，以最佳狀態面對連續幾天的參訪行程。
- (三) 由於出國前後行政流程及與廠商洽談流程相對繁瑣，對於初次執行出國計劃者從準備到最後報銷流程容易誤解或資訊不足，建議公司建立出國計畫執行輔導機制，讓出國計劃執行者與各審查流程的業管單位可比較有效率運作。
- (四) 本次參訪多數參考文件為機密文件，且現場也不允許使用手機拍照，導致多數資訊無法帶回國參考使用。

#### 五、參考文獻

- [1] 臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明，2022 年 3 月。
- [2] NYISO， <https://www.nyiso.com/>。
- [3] ISO-NE， <https://www.iso-ne.com/>。
- [4] MISO， <https://www.misoenergy.org/>。