

CAISO 輸電規劃

一、2020-2021 輸電規劃研究

在過去，水力與其他同步機組會提供足夠的響應給 CAISO 系統以符合相應的規範。截至 2020/10/14，總計 20.3GW 以變流器併接電網的能源(Inverter Based Resources, IBRs)(風、太陽光電、儲能)已併接至 CAISO 系統，且預期在 2030 年前有 33GW 裝置容量將併入系統。其中，除了在 2018/5/15 後簽署最大機組併聯協議(Large Generation Interconnection Agreements, LGIA)的 IBR 外，多數 IBR 並未提供頻率響應。考量如此大量 IBR 的併網對系統的影響，未來頻率響應與其相關衍伸議題將逐漸浮現。除了輸電系統外，截至 2020/4/30 約 9.4GW 的表前分散式電源(Behind the Meter Distributed Energy Resources, BTM DER)已併接至系統，且預期未來 2030 年將有 21GW 的表前分散式電源併接至電網。

如同先前 CAISO 的頻率響應研究，2020-2021 輸電規劃研究集中於 AGC 反應前(或系統操作者反應前)自動響應的主要頻率響應(Primary Frequency Response)此研究的目標為推估 2030 年 CAISO 系統頻率響應情況並確認頻率響應所衍生的系統安全議題。最基本的研究以 2030 年春季尖峰為基本情境，情境中包含假設不同的發電機配置情境、裕度、IBR 提供的頻率響應能力與儲能設備配置。事故分析為跳脫 PG&E 系統中兩台核能機組(為頻率偏差中最嚴重的事故)，為 60 秒動態穩定分析，且依照 2020-2021 規劃流程。

二、研究假設

選用 2030 年春季尖峰。除了新的 IBR 依據 WECC 基本設定外，所有發電機組皆有標示其是否具有頻率響應能力，以及其具備的頻率響應能力為升載部分或降載部分。

大部分非 ISO 發電機組配置是基於 CAISO 2020-2021 TPP 2030 春季尖峰情境。對比 WECC 的情境，在比如西北(Northwest)與亞利桑那(Arizona)區域的發電機輸出依據 TPP 研究而有所調整。COI 的電力潮流結果接近其南部與北部的限制。本研究採用最新版本 WECC 動態檔案(為應用於動態穩定度分析的 WECC 發電機組、HVDC 輸電線路、動態虛功補償設備、保護電驛與其他相關設備)，此檔案由 WECC 每年依據 CAISO 發電設備商提供的資料與設備驗證數據更新數次。由於負載依據季節與每天小時的變化會有所不同，故負載模型不包含在 WECC 動態檔案裡。最新的負載模型為動態模組，其除了反應頻率外也反應季節與小時。負載模型包含了表前分散式電源。此研究假設分散式電源不會受頻率變動影響。分散式電源對電壓變動與頻率變動反應的啟動設定依照 NERC SPIDER 工作團隊推薦設定，這些設定另分散式電源不會因研究中的故障事故而跳脫。除了以上這些基礎情境，也會探討與降低反應靈敏機組裕度相關的研究。

三、研究目的

基礎情境為用於 2020-2021 TPP 的 2030 春季案例(四月七日下午一點的系統)。系統參數如表 1 所示

表 1、系統參數

參數	數值(MW)
COI (N-S)	-3,609.6
PDCI (N-S)	-199.9
Path 15 (S-N)	499.5
Path 26 (N-S)	780.1
Path 46 (WOR)(E-W)	-2,052.3
Path 49 (EOR)(E-W)	-4,718.3
IPPDC (E-W)	403
SDG&E(area 22) Export	461.5
SCE (area 24) Export	5,199
PG&E (area 30) Export	4,475
LADWP (area 26) Export	1,360
ISO installed/dispatched solar	21,506 / 14,357
ISO installed/dispatched wind	7,600 / 2,307
ISO installed/dispatched BESS	2,593 / -2,568 (load)
ISO installed/dispatched BTM DER	21,189 / 17,127
ISO Inertia	94.6 GW.S
WECC Inertia	644.1 GW.S

若風機為感應發電機且其慣性未包含於計算中，則 WECC 慣性為 614.5GWs 且 CAISO 慣性為 83GWs。

初始的動態穩定度分析中發現多項發電機與變流器的模型錯誤。兩台核能機組跳脫第一次的事故分析於基礎情境中模擬，接著分析裕度相關的三種模擬情境。在創建的研究案例中，皆有考慮比如加壓路徑、發電機能力上等限制條件，並假設 IBR 不會提供主要頻率響應。

運用其中一種降低裕度的情境以評估以變流器併接電網的發電機組對頻率響應的影響。(在這些機組擁有裕度且他們會反應頻率變動)相較於其他情境，此情境所提供的頻率響應最低，但仍有足夠的備轉容量。在此情境中，關閉模型可能有錯誤的傳統機組與低發電輸出的水力機組，並將他們負責的輸出重新分配給其他區域的機組負責。藉此降低發電機組現有發電出力與最大出力間的差距。所考慮的情境如表 2 所示

表 2、2020-2021 TPP 頻率響應研究情境

情境	SC1	SC2	SC3	SC4
關閉 IBR 主要頻率響應功能	✓	-	-	-
關閉 IBR 主要頻率響應功能並 降低全體機組裕度	-	✓	-	-
開啟新電池儲能系統主要頻率響應功能並 降低全體機組裕度	-	-	✓	-

開啟新 IBR 主要頻率響應功能(假設有 10%裕度)並降低全體機組裕度	-	-	-	✓
--------------------------------------	---	---	---	---

電池儲能系統(Battery Energy Storage Systems, BESS)在所有情境的一開始便進行充電。在開啟電池儲能系統情境(SC3)中，假設電池儲能系統將在頻率下降時降低系統內的充電量，但不會開始放電。也就是說電池儲能系統不會供應電網電力。雖然部分的電池儲能系統有能力在幾秒鐘內從充電模式轉換成放電模式，此研究仍保守估計他們無法在動態模擬分析中做到這件事。除非電池儲能系統擁有者提供的電池儲能系統參數與控制器資訊導致模擬發生重大誤差或錯誤，抑或擁有者不願提供，否則一般以電池儲能系統擁有者提供的資訊為主。若發生擁有者提供的資訊有誤或不願提供時，則以通用參數取代之。而對於那些能從充電模式快速轉換至放電模式的控制器設定亦需調整成不讓電池儲能系統提供電網電力的設定。

以上情境模擬皆為跳脫兩台核能機組的事故分析，模擬時間為 60 秒，並將觀測以下資訊：

- i. 系統頻率最低點與提供頻率響應後的穩定頻率
- ii. 新 IBR 的總輸出
- iii. 其他 CAISO 發電機組的總輸出
- iv. 主要加壓路徑
- v. WECC 與 CAISO 的頻率響應量測(MW/0.1Hz)
- vi. 各機組提供的頻率響應量(單位為 MW)以及所對應的最大發電比例
- vii. 頻率變動斜率(Rate of Change of Frequency, ROCOF)

四、結論

本文說明美國 CAISO 推估 2030 年系統頻率響應情況，確認頻率響應所衍生的系統安全議題，以 2030 年春季尖峰為基本情境，情境中包含假設不同的發電機配置情境、裕度、IBR 提供的頻率響應能力與儲能設備配置(加入頻率響應功能與不加入頻率響應功能等)，藉由跳脫 PG&E 系統中兩台核能機組(為頻率偏差中最嚴重的事故)，執行 60 秒動態穩定分析，觀測系統頻率響應情況。

五、參考文獻

California ISO, "2020-2021 TRANSMISSION PLAN," 2021.